

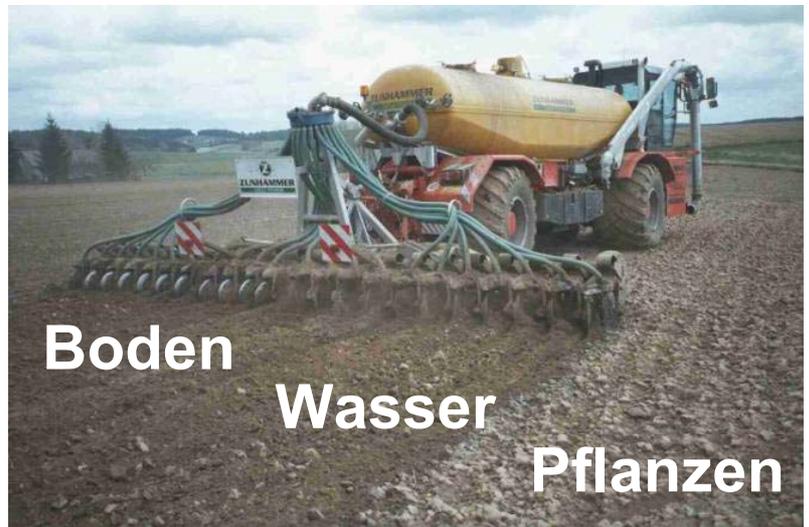


LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

TUM
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN

Schweinegülle – Quelle für potentiell unerwünschte Stoffe?



5. Kulturlandschaftstag



Schriftenreihe

12
2006
ISSN 1611-4159

Impressum:

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: <http://www.LfL.bayern.de>

Redaktion: Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
E-Mail: Agraroeekologie@LfL.bayern.de
Tel.: 08161/71-3640

1. Auflage April / 2006

Druck: lerchl-druck, 85354 Freising

© LfL



**Schweinegülle –
Quelle für potentiell unerwünschte Stoffe
(Boden, Wasser, Pflanze) ?**

5. Kulturlandschaftstag

am 04. Mai 2006

in Freising-Weißenstephan

Tagungsband

Inhaltsverzeichnis	Seite
Einführung	13
1 Antibiotikarückstände in Gülle	15
1.1 Einleitung	15
1.2 Material und Methoden	15
1.2.1 Probenmaterial	15
1.2.2 Methoden zum Nachweis von Antibiotika in Schweinegülle	15
1.3 Ergebnisse	16
1.3.1 Methodvalidierung	16
1.3.2 Antibiotikagehalte in Schweinegülle des Rückstandsmonitorings	17
1.4 Schlussfolgerungen	19
1.5 Literaturverzeichnis	20
2 Antibiotikaresistente Bakterien und Resistenzgene in Gülle	21
2.1 Sachstand	21
2.2 Material und Methoden	21
2.3 Ergebnisse und Diskussion	22
2.4 Schlussfolgerungen	26
2.5 Literaturverzeichnis	27
3 Schwermetalle und Spurenelemente in Gülle	29
3.1 Einleitung und Sachstand	29
3.2 Material und Methoden	30
3.2.1 Auswahl der Betriebe für Güllemonitoring	30
3.2.2 Untersuchungsumfang, Analytik	30
3.3 Ausgewählte Ergebnisse und Diskussion	31
3.3.1 Schwermetallgehalte	31
3.3.2 Schwermetall- und Spurenelement-Frachten durch Schweinegülle	32
3.3.3 Quellen für Schwermetalle und Spurenelemente in Schweinegülle (in Anlehnung an UBA 2004, KTBL 2005)	34
3.4 Schlussfolgerungen, Bewertung	35
3.5 Literatur	35
4 Wirkung von antibiotikahaltiger Gülle auf Bodenmikroorganismen	37
4.1 Einleitung	37
4.2 Material und Methoden	37
4.3 Ergebnisse und Diskussion	38
4.3.1 Feldversuche	38

4.3.2	Laborversuche mit Gülle.....	39
4.3.3	Laborversuche ohne Gülle	42
4.4	Schlussfolgerungen	43
4.5	Literaturverzeichnis	43
5	Wirkung von antibiotikahaltiger Gülle auf Lumbriciden und Collembolen	45
5.1	Einleitung	45
5.2	Laborversuche	45
5.2.1	Material und Methoden	45
5.2.2	Ergebnisse der Laborversuche mit <i>Eisenia fetida</i> und <i>Folsomia candida</i>	46
5.3	Feldversuche	47
5.3.1	Material und Methoden	47
5.3.2	Ergebnisse der Feldversuche.....	48
5.4	Bewertung	50
5.5	Literaturverzeichnis	50
6	Persistenz und Verlagerung von Antibiotika im Boden	51
6.1	Einleitung	51
6.2	Material und Methoden	51
6.2.1	Versuchsanlage	51
6.2.2	Sorption von Antibiotika im Laborversuch	51
6.2.3	Lysimeteruntersuchungen	51
6.2.4	Feldversuche 2003-2005	52
6.3	Ergebnisse	52
6.3.1	Sorption von Antibiotika im Boden / Persistenz (Laboruntersuchungen)	52
6.3.2	Lysimeteruntersuchungen im Freiland.....	53
6.3.3	Feldversuche mit Chlortetrazyklin (CTC)	54
6.4	Schlussfolgerungen	55
6.5	Literaturverzeichnis	56
7	Übergang von Antibiotika aus der Gülle in Wasser	57
7.1	Eintragswege	57
7.2	Analytik.....	57
7.3	Ausgewählte Untersuchungsergebnisse	57
7.3.1	Ergebnisse LfW 1999-2001	57
7.3.2	Bundesweites Arzneimittelmonitoring (Bund/Länderausschuss Chemikaliensicherheit – BLAC).....	57

7.3.3	Untersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Niedersachsen (Hamscher, Tierärztliche Hochschule Hannover).....	58
7.3.4	Antibiotika in bayerischen Trinkwassergewinnungsanlagen.....	58
7.3.5	Untersuchungen in bayerischen Oberflächengewässern 2005.....	58
7.4	LfU-Projekt „Auswaschung Wirtschaftsdünger“ (Projektleitung Dr. Weiß)	59
7.5	Bewertung der Ergebnisse	60
7.6	Literaturverzeichnis	61
8	Vorkommen von Antibiotika in Lebensmitteln pflanzlichen und tierischen Ursprungs.....	63
8.1	Einleitung und Zielsetzung	63
8.2	Untersuchungsmethodik.....	63
8.3	Ergebnisse	64
8.3.1	Medikationsstudien – Stoffbilanzierung	64
8.3.2	Antibiotika-Transfer Boden - Pflanze.....	66
8.4	Literaturverzeichnis	68
9	Maßnahmen zur Minderung von Spurenelementen und Schwermetallen in Gülle.....	71
9.1	Sachstand	71
9.2	Cu/Zn – Versorgungsempfehlungen/Höchstgehalte/Homöostase	72
9.3	Cu-/Zn - Sonderwirkungen	73
9.4	Cu-/Zn (Cd, Pb, Hg) - Minderungen in der Gülle.....	73
9.5	Zusammenfassung und Handlungsbedarf.....	75
9.6	Literaturverzeichnis	76
10	Maßnahmen zur Minderung von Arzneimittelrückständen in Gülle – zum Beitrag von Haltungsbedingungen und Management.....	77
10.1	Einleitung	77
10.2	Anforderungen an tiergerechte Schweinehaltung	78
10.3	Einfluss des Haltungssystems auf die Tiergesundheit von Mastschweinen	78
10.4	Bedeutung von Managementfaktoren	79
10.5	Ausblick	79
10.6	Literaturverzeichnis	80
	Adressenverzeichnis der Referenten.....	81

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abb. 1: Kumulative Häufigkeitsverteilung von Tetracyclinen in Schweinegülle (n=380).....	17
Abb. 2: Kumulative Häufigkeitsverteilung von Sulfonamiden in Schweinegülle (n=380).....	18
Abb. 3: Vergleich der prozentualen Resistenzraten von <i>E. coli</i> -Isolaten aus Schweinegülle, Mastschweinen (DANMAP 2003) und Humankliniken (GENARS 1/2003).....	22
Abb. 4: Mehrfachresistenz bei <i>E. coli</i> -Isolaten aus Schweinegülle mit unterschiedlichem Antibiotika-Status.....	23
Abb. 5: <i>tet</i> (O)-Gehalte in Schweine-Fäzes während und nach Chlortetracyclin- Fütterung.....	24
Abb. 6: Aufgliederung der <i>tet</i> (M)-Gehalte in Gülleproben nach TET-Gehalt.....	25
Abb. 7: Abbau von <i>tet</i> (M) im Grünland.....	26
Abb. 8: Bleigehalte in Schweinegülle nach Betriebstyp (Anzahl der Gülle).....	31
Abb. 9: Einfluss von Betriebstyp und -größe auf Kupfergehalte in Schweinegülle.....	32
Abb. 10: Kupfer – und Zink-Einträge durch Schweinegülle und Abfuhr mit Ernteprodukten (g/ha und Jahr) bei Düngung von 170 kg N/ha.....	33
Abb. 11: Auswirkungen von Kontrollgülle (K-G), CTC-Gülle (CTC-G), Mineraldünger (MD) sowie Mineraldünger + Fungizid (MD+F) auf Individuendichte und Biomasse der Regenwürmer in Pulling I (1. Probennahme 2003): Medianwerte, Vertrauensbereich (0,05), Minimal- und Maximalwerte.....	48
Abb. 12: Auswirkungen von Kontrollgülle (K-G), CTC-Gülle (CTC-G), Mineraldünger (MD) sowie Mineraldünger + Fungizid (MD+F) auf Individuendichte und Biomasse der Regenwürmer Versuch Kempten I (1. Probennahme 2004 – I): Medianwerte, Vertrauensbereich (0,05), Minimal- und Maximalwerte.....	49
Abb. 13: Sorptionskinetik von C14 Sulfadiazin an die Böden des Freilandversuchs in Pulling I (2003), Pulling II (2004) und Kempten.....	53
Abb. 14: Tiefenverlagerung von Chlortetracyclin und Epi-CTC (als Summensignal) am Beispiel eines Lysimeters.....	54
Abb. 15: CTC-Gehalte im Boden zwischen 0 und 50 cm im Pullinger Feldversuch 2005.....	55
Abb. 16: Abflussganglinien der Dränen und des Trinkwassersammlers (WR 1-3 = Ackerstandort mit Winterroggen, W = Wiesenstandort mit Torfboden, Klee = Ackerstandort mit Klee gras, TW-S = Trinkwassersammler).....	59
Abb. 17: Wiederfindungsraten von Sulfadimidin und Sulfadimidin-Metabolit in Dränabflüssen und in einem Trinkwassersammler (Zuordnung der Standorte siehe Abb. 16).....	60
Abb. 18: Umwandlungsprodukte des Chlortetracyclins („Metabolite“, Auswahl).....	64
Abb. 19: Ausscheidungsprofil von CTC und Metaboliten in Faeces (Tier 95).....	65

Abb. 20: Verteilung der ³ H-Tetracyclin-Einlagerungsaktivitäten in Weizenpflanzen als Funktion der Zeit (5 μmol CTC/iso-CTC dotiert mit 740 KBq 7- ³ H- Tetracyclin)	68
Abb. 21: Spurenelementversorgung und Leistung	73
Abb. 22: Kupfer- und Zinkversorgung beim Ferkel (8-30 kg LM), (13,0 MJ/12,0/11,5g Lysin/Phytase).....	75

Tabellenverzeichnis

Seite

Tab. 1: Schwermetall-, Arsen- und Spurenelement-Einträge durch Schweinegülle (g/ha und Jahr) bei Düngung von 170 kg N/ha (= Maximum nach DüV)	33
Tab. 2: Bodenparameter und Nutzung der Testböden für Laborversuche	38
Tab. 3: Einfluss der CTC-Gülle und Antastmon-Gülle (A-Gülle) auf die mikrobiellen Bodenparameter in den Feldversuchen Pulling 2003 - 2005	39
Tab. 4: Wirkstoffgehalte der Gülle in den Laborversuchen (mg/kg)	40
Tab. 5: Einfluss von Sulfadiazin/Trimethoprim (A=Antastmon) auf die mikrobiellen Bodenparameter im Laborversuch mit Gülle.....	40
Tab. 6: Einfluss von Chlortetrazyklin auf die mikrobiellen Bodenparameter im Laborversuch mit Gülle.....	41
Tab. 7: Einfluss der Wirkstoffe CTC und Sulfadiazin/Trimethoprim (Antastmon) auf die mikrobiellen Bodenparameter im Laborversuch ohne Gülle	42
Tab. 8: Einfluss von Kontrollgülle (0-CTC- bzw. 0-AS-Gülle) sowie von CTC- bzw. AS-Gülle auf <i>Eisenia fetida</i> , Laborversuch mit KE = Kunsterde	46
Tab. 9: Einfluss von Kontrollgülle (0-CTC- bzw. 0-AS-Gülle) sowie von CTC- bzw. AS-Gülle auf <i>Folsomia candida</i> , Laborversuch mit KE = Kunsterde	46
Tab. 10: Laborversuche mit künstlich mit CTC bzw. Sulfadiazin/Trimethoprim angereicherter Gülle mit <i>Eisenia fetida</i> , Laborversuch mit KE = Kunsterde	47
Tab. 11: Standort- und Bodenkenndaten der Versuchsstandorte	52
Tab. 12: Vergleich verschiedener CTC-Summengehalte in Schlachtproben ohne Wartezeit (Tier 95, n = 2).....	65
Tab. 13: Vergleich verschiedener CTC-Summengehalte in Schlachtproben nach 14-tägiger Wartezeit (Σ CTC + e-CTC) / Σ total CTC- Metabolite).....	66
Tab. 14: CTC-Gehalte in Winterweizen (2-fache Gülle-Beaufschlagung) (Wurzel, Grünteile: mg/kg TM, Korn: mg/kg FG; Mittelwerte von 4 Proben, n=3)	67
Tab. 15: Versorgungsempfehlungen, gültige und diskutierte Höchstgehalte.....	72
Tab. 16: Maßnahmen zur Minderung von Spurenelementen und Schwermetallen	74
Tab. 17: Risikofaktoren für die Herdenprävalenz von Pneumonie und Pleuritis von Schlachtschweinen in 150 geschlossenen Betrieben (nach MAES et al. 2001).....	79

Einführung

Prof. Dr. Johann Bauer, Lehrstuhl für Tierhygiene, Technische Universität München

In Bayern fallen jährlich ca. 7,8 Millionen Tonnen Schweinegülle an, die als wirtschafts-eigene Dünger auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden.

Neben erwünschten, wichtigen Pflanzennährstoffen kann diese aus produktions-technischen Gründen potenziell umwelt- und/oder gesundheitsrelevante Stoffe (Arzneimit-tel, insbesondere Antibiotika, Schwermetalle) enthalten, über deren Art und Menge teil-weise erhebliche Unsicherheiten bestehen.

Insbesondere fehlen Erkenntnisse, welche Stoffe in welcher Menge auf den Boden und möglicherweise in die Pflanze oder über den Pfad Boden-Sickerwasser ins Grundwasser gelangen und wie sie sich auf die Bodenmikrobiologie und die Bodenfauna auswirken.

Dabei ist der Eintrag von Arzneimitteln in die landwirtschaftliche Kette nicht unerheblich. Allein im 2. Halbjahr 1993 wurden im Weser-Ems-Gebiet knapp 7000 kg Tetrazykline an Geflügel und ca. 7500 kg Tetrazykline sowie 3300 kg Sulfonamide an Schweine ver-schrieben (RASSOW UND SCHAPER, 1996). Darüber hinaus besteht Unklarheit, in welchem Umfang antibiotikaresistente Keime bzw. Resistenzgene über Wirtschaftsdünger in die Umwelt gelangen und möglicherweise über die Nahrungskette den Menschen erreichen.

Aus diesem Grunde sollte eine „Fachliche Überprüfung und Neubewertung von Wirt-schaftsdüngern“ durchgeführt werden.

Die Grundlagen hierfür wurden im Rahmen eines vom Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten geförderten Forschungsvorhabens ermittelt, dessen Ziel die Klärung folgender Fragen war:

- Vorkommen umwelt- und gesundheitsrelevanter Stoffe (Schwermetalle, Antibiotika) in Gülle zum Zeitpunkt des Ausbringens,
- Vorkommen von Resistenzgenen bzw. antibiotikaresistenten Keimen in Gülle zum Zeitpunkt des Ausbringens,
- Regionale, tier- bzw. betriebsspezifische Abschätzungen des Flächeneintrags von Umweltchemikalien und Antibiotika,
- Persistenz ausgewählter Antibiotika in Gülle, Bildung von Metaboliten,
- Abbau, Umbau und Verlagerung von Antibiotika im Boden,
- Einfluss antibiotikahaltiger Gülle auf Bodenfauna,
- Einfluss antibiotikahaltiger Gülle auf die Stoffwechselaktivität von Bodenmikroorga-nismen,
- Ausbreitung antibiotikaresistenter Keime bzw. von Resistenzgenen im Boden.

Zur Bearbeitung dieser Thematik wurde zum einen ein so genanntes „Güllemonitoring“ durchgeführt, das vor allem den Grad der Kontamination von Güllen aus bayerischen Schweinehaltungsbetrieben mit Schwermetallen und Antibiotika sowie antibiotikaresisten-ten Mikroorganismen und Resistenzgenen darlegen sollte. Zum anderen sollten gezielte,

praxisnahe Experimente und Feldversuche vor allem den Verbleib (Sorption, Abbau, Verlagerung) von Chlortetrazyklin und Sulfadiazin im Boden und ihre Wirkung gegenüber Lumbriciden und Collembolen sowie gegenüber Bodenmikroorganismen klären. Darüber hinaus galt das Interesse auch der Persistenz von Resistenzgenen im Boden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden im Rahmen des 5. Kulturlandschaftstages vorgestellt.

Da jedoch das Schicksal von potentiell unerwünschten Gülleinhaltsstoffen nicht unbedingt im Boden endet und deren möglicher Eingang in die Nahrungskette von erheblichem Interesse ist, sollte dieses Thema möglichst in seiner gesamten Komplexität vorgestellt werden. Deshalb wurden kompetente Referenten von Außen eingeladen, die am Beispiel des Vorkommens von Antibiotika in Wasser bzw. Lebensmitteln pflanzlichen und tierischen Ursprungs diese Thematik beleuchten. Nicht weniger wichtig ist, Wege zur weiteren Verbesserung der Situation aufzuzeigen. Deshalb werden auch Möglichkeiten zur Minderung des Austrages unerwünschter Stoffe (Schwermetalle, Antibiotika) mit der Gülle dargestellt.

1 Antibiotikarückstände in Gülle

Katrin Harms, Dr. Karsten Meyer, Lehrstuhl für Tierhygiene, Technische Universität München

1.1 Einleitung

Sowohl in der Human- als auch in der Veterinärmedizin haben Antibiotika einen hohen Stellenwert in der Therapie von zahlreichen Erkrankungen. Das vermehrte Auftreten von antibiotikaresistenten Keimen hat die Diskussion nach Ursachen hierfür unter anderem auf den Einsatz der Antiinfektiva in der Nutztierhaltung gelenkt. Vor allem deren nicht sachgemäße Anwendung bringt Risiken mit sich.

Für den Einsatz von Antibiotika in der Therapie von Nutztieren gibt es zahlreiche Gründe. Der Tierschutz steht hierbei an erster Stelle; aber auch die Verhinderung der Ausbreitung von Krankheiten, sowie die Vermeidung der Übertragung von Zoonoseerregern auf den Menschen begründen den Einsatz dieser Pharmaka. Die hohe Bedeutung spiegelt sich auch in den umgesetzten Mengen wider: 1998 wurden 3902 t Antibiotika für therapeutische Zwecke in der Tierhaltung in Europa verbraucht (FEDESA, 1999).

Hinsichtlich der möglichen Gehalte an Antiinfektiva und deren Metaboliten in Gülle wurden bis vor kurzem wenige Daten publiziert. Ziel dieser Arbeit war daher einerseits die Entwicklung von sensitiven und robusten Analysemethoden zum Nachweis von Antibiotika in Schweinegülle mittels LC-MS, andererseits die Untersuchung von Feldproben aus bayerischer Schweinehaltung auf mögliche Antibiotikarückstände im Wirtschaftsdünger zum Zeitpunkt der Ausbringung.

1.2 Material und Methoden

1.2.1 Probenmaterial

Zur Methodenentwicklung und -validierung stand antibiotikafreie Gülle zur Verfügung. Diese wurde am Institut für Tierernährung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Grub produziert.

In einem bayernweiten Monitoring wurden 380 Schweinegülle gewonnen. Informationen zu Betriebstyp (Zucht-, Mast- und Gemischtbetriebe) und Betriebsgröße (zwei Größenklassen) wurden dabei miterfasst.

1.2.2 Methoden zum Nachweis von Antibiotika in Schweinegülle

Extraktion

Aliquote der Gülle (1 g Frischmasse) wurden mit Citratpuffer pH 4,7 (1 ml, Tetrazykline) bzw. mit einem Sörensenpuffer pH 7,0 (3 ml, Sulfonamide, Enrofloxacin, Tiamulin, Florfenicol) versetzt. Für die Analyse der Tetrazykline wurden PP-Zentrifugenröhrchen verwendet. Nach zweimaliger Extraktion (10 ml Ethylacetat, 30 min Horizontalschüttler, 10 min Zentrifugation bei 6200 g (Erdbeschleunigung), anschließend 15 min Tiefgefrieren bei -70°C) wurden die vereinigten Überstände bei 40 °C in der Vakuumzentrifuge bis zur Trockne eingengt und in 300 µl Methanol/Reinstwasser (2/1) resolviert.

Aufreinigung

Dem Rohextrakt wurde Hexan (1 ml) zugegeben, intensiv vermischt (30 s, Vortex) und anschließend zentrifugiert (1600 g, 3 min). Der Überstand wurde verworfen und die Prozedur wiederholt. Der verbleibende Hexanfilm wurde in der Vakuumzentrifuge entfernt (40 °C, 3 min); 1,7 ml Reinstwasser wurden hinzugefügt. Bei der folgenden Festphasenextraktion wurde 1 ml des Extraktes auf die zuvor konditionierten Kartuschen (StrataX, PHENOMENEX) aufgetragen, anschließend mit Methanol/Reinstwasser (5/95) gewaschen und mit 1 ml Methanol eluiert. Das Eluat wurde in der Vakuumzentrifuge eingeeengt (40 °C, 35 min), in ein HPLC-Fläschchen überführt (für Tetrazyklinanalyse mit methanolischer EDTA-Lösung gespült), unter einem sanften Stickstoffstrom evaporiert, anschließend in HPLC-Fließmittel (200 µl, Acetonitril/Reinstwasser, 1/1) gelöst und bis zur Analyse bei -20 °C gelagert.

LC-MS-Analyse

Die analytische Auftrennung sowie die Quantifizierung und Identifizierung der Analyten erfolgte mittels HPLC (WATERS 2690), gekoppelt an ein Quadrupol-Massenspektrometer (VG Platform 2) mit einer Elektrospray-Ionisationsquelle (positiver Modus). Zur Auftrennung wurde für die Tetrazykline eine RP-C₈- (Luna, 2,0 x 150 mm, 3 µm, PHENOMENEX), ansonsten eine RP-C₁₈- (Atlantis, 2,1 x 150 mm, 3 µm) Säule verwendet. Das HPLC-Programm sah jeweils einen Reinstwasser/Acetonitril-Gradienten vor. Das Injektionsvolumen betrug 5 µl. Die Identifikation erfolgte durch die relative Signalintensität der aufgezeichneten Quasimolekular- und Fragmentionen (m/z) sowie die Retentionszeit. Die Quantifizierung erfolgte durch den Vergleich der Signalintensität mit einem externen Standard.

Methodenvalidierung

Zur Validierung wurden die Methoden durch Analyse von in abgestuften Konzentrationen (5; 0,5; 0,1 und 0,05 mg/kg) artifiziell kontaminierten Proben in fünffacher Wiederholung überprüft. Im Einzelnen wurden folgende Antibiotika in die Untersuchung einbezogen:

- *Wirkstoffgruppe Tetrazykline*: Tetrazyklin (TC), Chlortetrazyklin (CTC), Oxytetrazyklin, Doxyzyklin
- *Wirkstoffgruppe Sulfonamide*: Sulfadiazin-methazin, -thiazol, -methoxazol, -guanidin, -merazin, -dimethoxin, -chloropyridazin, -methoxyppyrizin, -meter, -doxin, -phenazol, -isomedin, -pyridin, N4-Acetyl-Sulfamethazin
- *Weitere Antibiotika*: Trimethoprim, Enrofloxacin, Florfenicol und Tiamulin.

1.3 Ergebnisse

1.3.1 Methodenvalidierung

Tetrazykline

Die mittleren Wiederfindungsraten betrugen für Chlortetrazyklin 75,5 %, für Tetrazyklin 70,3 %. Die Bestimmbarkeitsgrenze, definiert als die niedrigste mit bestimmter Präzision und Richtigkeit ermittelte Konzentration, lag bei 0,1 mg/kg. Die Nachweisgrenze, die die kleinste noch quantitativ erfassbare Konzentration darstellt, lag für die Analyse von Chlortetrazyklin und Doxyzyklin bei 0,05 mg/kg, für Tetrazyklin bei 0,04 mg/kg und für Oxytetrazyklin bei 0,06 mg/kg. Die Konzentration an Chlortetrazyklin wurde jeweils als Gesamtgehalt (CTC, Epi-CTC, Iso-CTC) bestimmt. Semiquantitative Bestimmungen artifi-

ziell kontaminierter Proben und Feldproben mit Konzentrationen über 1 mg/kg zeigten, dass der Anteil an unverändertem Chlortetrazyklin bei durchschnittlich 40 % lag.

Sulfonamide und weitere Antibiotika

Bei der Analyse der Sulfonamide wurden mittlere Wiederfindungsraten von 61,5 % bis 105,4 % ermittelt. Für Sulfamethazin, N4-Acetyl-Sulfamethazin, Sulfamerazin, Sulfamethoxazol und Sulfadimethoxin wurde eine Nachweisgrenze von 0,02 mg/kg erreicht. Bei den weiteren Sulfonamiden lag sie in Höhe der Bestimmbarkeitsgrenze (0,05 mg/kg). Die mittleren Wiederfindungsraten für die weiteren untersuchten Antibiotika lagen zwischen 71,9 % und 90,7 %. Für Florfenicol und Tiamulin lag die Nachweisgrenze bei 0,02 mg/kg, für Enrofloxacin bei 0,1 mg/kg.

1.3.2 Antibiotikagehalte in Schweinegülle des Rückstandsmonitorings

Vorkommen von Tetrazyklinen

In 140 Proben (37 %) konnte Chlortetrazyklin nachgewiesen werden ($> 0,1$ mg/kg). Tetrazyklin wurde in 111 Proben (29 %) bestimmt. In 16 Proben (4 %) konnte Oxytetrazyklin mit Gehalten zwischen 0,1 bis 0,9 mg/kg (Median 0,14 mg/kg) detektiert werden. Doxycylin fand sich in 5 Proben (1 %) in Konzentrationsbereichen zwischen 0,1 und 0,7 mg/kg.

Der kumulativen Häufigkeitsverteilung der jeweiligen Konzentrationen oberhalb der Bestimmbarkeitsgrenze (Abb. 1) kann entnommen werden, dass ca. 11 % der Befunde mehr als 1 mg/kg Chlortetrazyklin enthielten, 8 % der Proben lagen im Konzentrationsbereich über 2 mg/kg. Bei der Tetrazyklinanalyse lagen ca. 13 % der Proben im Konzentrationsbereich über 1 mg/kg.

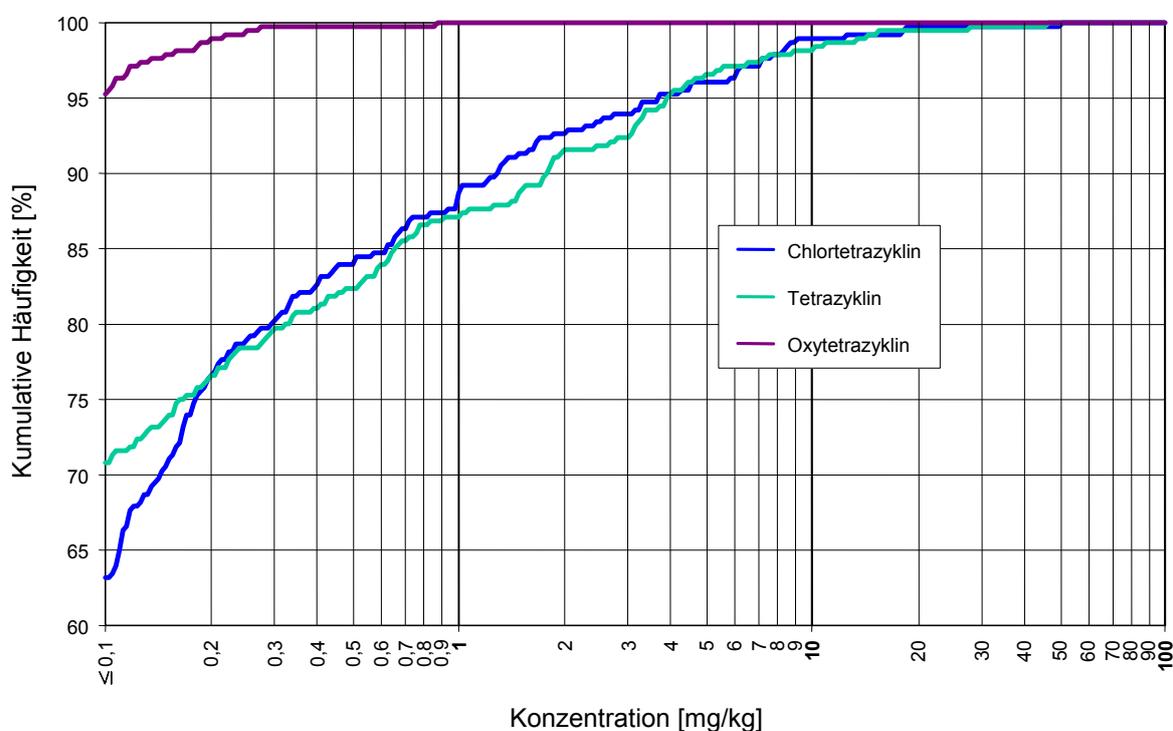


Abb. 1: Kumulative Häufigkeitsverteilung von Tetrazyklinen in Schweinegülle (n=380)

Zwischen den Betriebsformen Mast und Zucht ließen sich keine deutlichen Unterschiede in den Medianwerten feststellen. Bei den großen Betrieben (über 220 Masttiere bzw. über 45 Zuchtsauen) lag der Median der Tetrazyklin- und Chlortetrazyklingehalte höher als bei kleineren Betriebsformen.

Vorkommen von Sulfonamiden und Trimethoprim

In den Proben des Güllemonitorings konnten Sulfamethazin (+ N4-Acetyl-Sulfamethazin), Sulfadiazin (+ N4-Acetyl-Sulfadiazin), Sulfamerazin (+ N4-Acetyl-Sulfamerazin), Sulfathiazol, Sulfamethoxazol und Sulfadimethoxin nachgewiesen werden. In 181 Proben (48 %) wurde Sulfamethazin, in 117 Proben (31 %) der N4-Acetyl-Metabolit bestimmt (> 0,05 mg/kg). Sulfadiazin konnte in 19 Proben nachgewiesen werden. Für die weiteren Sulfonamide (Sulfaguanidin, -pyridazin, -doxin, -isomedin, -pyridin und Sulfameter) und Trimethoprim konnte mit den gewählten Methoden kein positiver Nachweis erbracht werden. In 29 Proben wurde mehr als ein Sulfonamid quantifiziert. Neun Proben enthielten Sulfamethazin (+ N4-Metabolit) und Sulfadiazin. In 3 Proben konnten sowohl Sulfamethazin (+ N4-Metabolit), Sulfadiazin als auch Sulfamerazin detektiert werden.

Aus der kumulativen Häufigkeitsverteilung der Sulfonamidanalyse (Abb. 2) wird der geringe Anteil hochbelasteter Proben ersichtlich. Während bei der Untersuchung der Güllen auf Tetrazykline ca. 92 % der Proben Werte unter 2 mg/kg aufwiesen, waren dies bei den Sulfonamiden 97 bis 99 %.

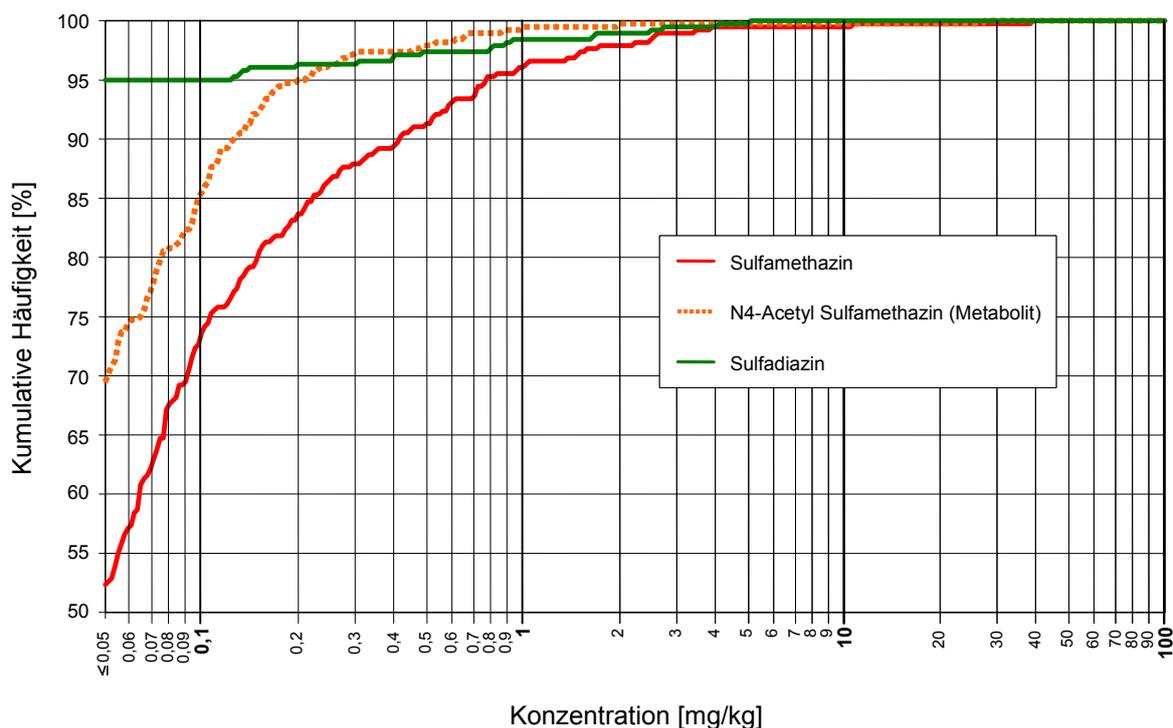


Abb. 2: Kumulative Häufigkeitsverteilung von Sulfonamiden in Schweinegüllen (n=380)

Generell lagen die detektierten Sulfonamidgehalte unter denen der Tetrazyklinbestimmung. So konnten lediglich in 2,2 % der großen Mastbetriebe Konzentrationen über 4 mg/kg (Sulfamethazin) nachgewiesen werden. Bei den übrigen Betriebstypen wurde diese Konzentrationsstufe nicht erreicht. Ein signifikanter Unterschied der negativen Befunde zwischen den Betriebsgrößen war lediglich bei den Gemischtbetrieben zu verzeichnen (Chi²-Test, Signifikanzniveau 0,05 %).

Gehalte an weiteren Antibiotika

Die Analyse der Proben auf die weiteren Antibiotika Enrofloxacin und Florfenicol ergab bei einer Bestimmbarkeitsgrenze von 0,1 mg/kg keine positiven Befunde. Tiamulin konnte in einer Probe mit einer Konzentration von 0,5 mg/kg nachgewiesen werden.

Mehrfachbefunde

135 Proben (35,5 %) wiesen einen, 76 (20,0 %) zwei Wirkstoffe auf. In 46 Proben (12,1 %) konnten drei, in 9 Proben (2,4 %) vier der untersuchten Antibiotika detektiert werden. Zwei Proben (5 %) enthielten fünf Wirkstoffe.

1.4 Schlussfolgerungen

Vorkommen von Antibiotika in Gülle (Tetrazykline und Sulfonamide)

In 29,5 % der Proben konnte keine der untersuchten Verbindungen nachgewiesen werden; in 70,5 % wurde mindestens ein Antibiotikum (Tetrazykline und/oder Sulfonamide) in Konzentrationen bis zu 50,8 mg/kg (Tetrazykline) bzw. 38,4 mg/kg (Sulfonamide) detektiert. Dies weist einerseits auf den weit verbreiteten Einsatz von Antibiotika in der Schweinehaltung hin, andererseits ist es auch Ausdruck der relativ hohen Umweltstabilität. Diese Kontamination der Güllen mit Tetrazyklinen und Sulfonamiden sind zunächst weder für Mensch noch für das Tier als unmittelbar gefährlich einzustufen, jedoch im Hinblick auf die Gefahr antibiotikaresistenter Bakterien zu bewerten.

19,5 % der Befunde überschritten eine Gesamtkonzentration (Σ CTC, TC) von 1 mg/kg, 6,3 % eine von 4 mg/kg. Diese Werte gelten als minimale Hemmkonzentration bei der Einstufung der Bakterien als „intermediär“ oder „resistent“. Güllen, die derart mit Tetrazyklinen belastet sind, fördern selektiv das Wachstum und die Persistenz „resistenter“ Populationen. Weitere Gülleparameter wie der Trockensubstanzgehalt oder der pH-Wert beeinflussen die Verfügbarkeit und Wirkung des Antibiotikums, sind jedoch nicht exakt quantifizierbar. Jedoch auch subinhibitorische Konzentrationen sind als kritisch einzustufen, da diese ebenfalls, wenn auch im geringen Umfang, den Austausch von Plasmiden und Transposons auslösen können (CORPET et al., 1989; DOUCET-POPULAIRE et al., 1991; OHLSEN et al., 2003). Des Weiteren fördern diese geringen Antibiotikagehalte niedrigresistente Populationen gegenüber der sensiblen Flora, was durch Adaptionsprozesse an steigende Konzentrationen zu hohen Resistenzlevels einzelner Keime führen kann (GEORGE & LEVY, 1983; BAQUERO et al., 1997).

Mögliche Antibiotikaeinträge bei der Ausbringung

Die möglichen Antibiotikaeinträge bei der Ausbringung der Gülle auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen können durch drei Szenarien beschrieben werden.

Eine Gülledüngung von 170 kg Stickstoff (N) pro Hektar (z. B. 30 m³, N-Gehalt 5,7 kg/m³, 7,5 % TS), würde bei einem Gehalt entsprechend der Bestimmbarkeitsgrenze von 0,1 mg/kg zu einem Eintrag von 3 g TC bzw. CTC/ha führen, was der Menge entspricht, die bei einer 3-tägigen Behandlung eines Läufers angewendet wird (50 kg Körpergewicht; 20 mg CTC/kg Körpergewicht * Tag). 70 % (TC) bzw. 63 % (CTC) der untersuchten Praxisgüllen wiesen keine Befunde oberhalb der Bestimmbarkeitsgrenze auf; der Eintrag durch diese Güllen liegt also zwischen 0 und < 3 g/ha.

Der Median der positiven Proben von 0,7 (TC) bzw. 0,3 mg/kg (CTC) würde Frachten von 20,4 g TC/ha bzw. 9 g CTC/ha mit sich bringen. 19 % (TC) bzw. 15 % (CTC) aller Praxisgüllen bedingen demnach eine Zufuhr von $\geq 3 - 20,4$ g bzw. $\geq 3 - 9$ g Wirkstoff/ha.

Der gemessene Maximalgehalt von 46 mg TC/kg (korrigiert um die analytische Wiederfindungsrate von 70 %: 59,8 mg/kg) würde zu 1,8 kg TC pro Hektar führen. Bei CTC läge dieser Wert bei 1,9 kg/ha (CTC max.: 50,0 mg/kg; korrigiert um die Wiederfindungsrate von 75 %: 62,5 mg/kg). Nach Abzug des epimeren Anteils betrüge der Anteil an unverändertem Chlortetrazyklin 0,8 kg/ha. Ergebnisse von ENGELS (2004), GRAFE (2000) und LANGHAMMER (1989) bestätigen diese Größenordnung.

1.5 Literaturverzeichnis

BAQUERO, F.; M. NEGRI; M. MOROSINI; J. BLÁZQUEZ (1997): In: Antibiotic resistance: Origin, evolution and spread, Wiley, Chichester.

CORPET, D.; S. LUMEAU; F. CORPET (1989): Minimum antibiotic levels for selecting a resistance plasmid in a gnotobiotic animal model. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 33(4), 535-540.

DOUCET-POPULAIRE, F.; P. TRIEU-CUOT; I. DOSBAA; A. ANDREMONT; P. COURVALIN (1991): Inducible transfer of conjugative transposons *Tn1545* from *Enterococcus faecalis* to *Listeria monocytogenes* in the digestive tract of gnotobiotic mice. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 35(1), 185-187.

ENGELS, H. (2004): Verhalten von ausgewählten Tetrazyklinen und Sulfonamiden in Wirtschaftsdüngern und in Böden. Georg-August-Universität Göttingen, Dissertation.

FEDESA (1999): Antibiotics for animals – A FEDESA perspective on antibiotics, animal health and the resistance debate.

<http://www.ifahsec.org/europe/topics/antibio/pdf/Dossier9.pdf>

GEORGE, A. & S. LEVY (1983): Amplifiable resistance to tetracycline, chloramphenicol and other antibiotics in *Escherichia coli*: Involvement of a non-plasmid-determined efflux of tetracycline. *Journal of bacteriology*, 155(2), 531-540.

GRAFE, A. (2000): Untersuchungen zum Einsatz pharmakologisch wirksamer Stoffe in der Veredelungswirtschaft unter besonderer Berücksichtigung der Tetrazykline. Georg-August-Universität, Dissertation.

LANGHAMMER, J.-P. (1989): Untersuchungen zum Verbleib antimikrobiell wirksamer Arzneistoffe als Rückstände in Gülle und im landwirtschaftlichen Umfeld. Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Dissertation.

OHLSEN, K.; T. TERNES; G. WERNER; U. WALLNER; D. LÖFFLER; W. ZIEBUHR; W. WITTE; J. HACKER (2003): Impact of antibiotics on conjugational resistance gene transfer in *Staphylococcus aureus* in sewage. *Environmental microbiology*, 5(8), 711-716.

2 Antibiotikaresistente Bakterien und Resistenzgene in Gülle

Christina Burghard, Prof. Dr. Johann Bauer, Lehrstuhl für Tierhygiene, Technische Universität München

2.1 Sachstand

Die Bedeutung des Antibiotika-Einsatzes in der Veterinärmedizin für die humanmedizinische Resistenzproblematik steht seit mehreren Jahren wiederholt in der Diskussion. Der Übergang resistenter Bakterien vom Tier auf den Menschen wurde bereits in den 70er Jahren nachgewiesen (LEVY et al. 1976); AUBRY-DAMON et al. publizierten 2004 beim Menschen eine signifikante Assoziation der Antibiotikaresistenz von Kommensal-Bakterien mit dem Faktor „Schweinehaltung“. Phänomene der Kreuz- und Coselektion können verantwortlich dafür sein, dass der Antibiotikaeinsatz in der Nutztierhaltung bei Tier-Isolaten Resistenzen nicht nur gegen veterinärmedizinisch eingesetzte Substanzen, sondern auch gegen humanmedizinische Therapeutika einschließlich der so genannten „Reserveantibiotika“ bedingt. Gülle bietet darüber hinaus ein Milieu, in dem hohe Bakteriendichte im Verbund mit eventuellem Selektionsdruck durch Antibiotikarückstände horizontalen Gentransfer favorisieren kann (SEVENO et al., 2002). Mit der Gülle gelangen antibiotikaresistente Bakterien und somit auch Resistenzgene in den Boden (SENGELØV et al., 2003). Horizontaler Gentransfer unter Bakterien im Boden wurde nachgewiesen; dies umfasst auch Resistenzgen-tragende Elemente: HAACK ET AL. (1996) beschrieben den Transfer des die Tetrazyklin-Resistenzdeterminante *tet(M)* beinhaltenden Transposons Tn916 von *E. faecalis* zu *B. thuringiensis* im Boden.

2.2 Material und Methoden

Die vorliegende Untersuchung sollte die Bedeutung von Bakterien aus Schweinegülle im Zusammenhang mit dem humanrelevanten phänotypischen und genotypischen Resistenzgeschehen objektivieren. Zu diesem Zweck wurde untersucht, ob und in welchem Umfang Bakterien in Schweinegülle zum Zeitpunkt des Ausbringens Resistenzen gegen ausgewählte veterinärmedizinische, vor allem aber gegenüber humantherapeutisch relevanten antimikrobiellen Wirkstoffen exprimieren. Zudem wurden die Gehalte an ausgewählten Tetrazyklin-Resistenzgenen erhoben und unter Einbeziehung verschiedener Einflussfaktoren, darunter auch der Tetrazyklin-Gehalt der Gülle, verglichen.

306 Gülle aus bayerischen Schweinehaltenden Betrieben mit bekanntem Antibiotikagehalt wurden mikrobiologisch-kulturellen Untersuchungen einschließlich der phänotypischen Resistenztestung der Isolate unterzogen, 115 der Gülle in der RealTime-PCR nach Direkt-Extraktion der DNA mittels PowerSoilKit™ auf das quantitative Vorkommen der Tetrazyklin-Resistenzgene *tet(M)*, *tet(O)* und *tet(B)* hin geprüft. Zudem wurden in gleicher Weise einzelne Proben von Böden vor und in regelmäßigem Abstand nach Düngung mit Chlortetrazyklin- und Resistenzgen-haltiger Gülle molekularbiologisch untersucht.

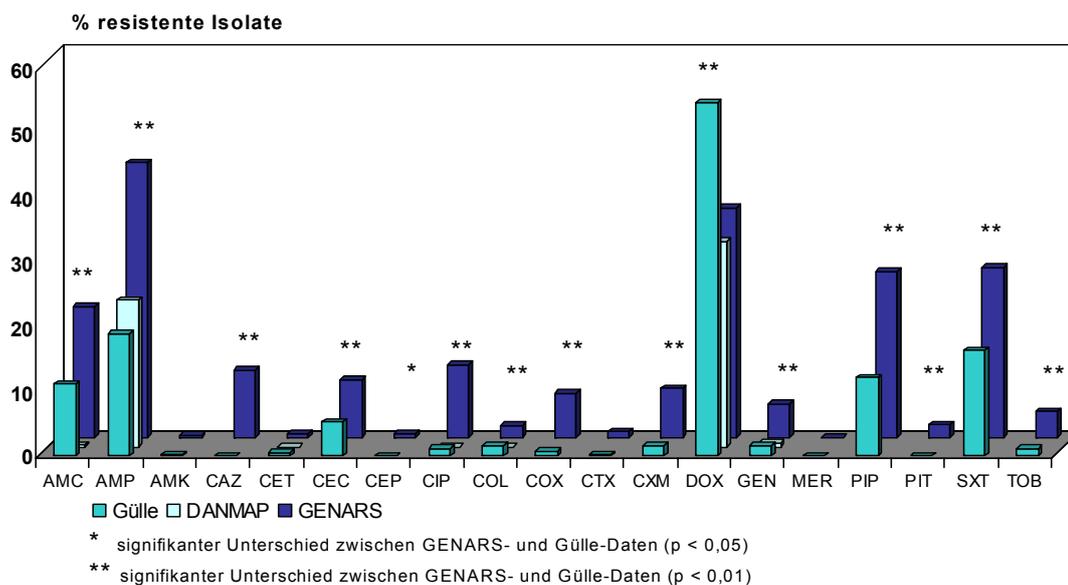
Aus 306 Gülle wurden Bakterien der Gattungen *Escherichia* (*E. coli*, n = 613), *Enterococcus* (*E. faecalis*, n = 387; *E. faecium*, n = 183; andere n = 467), *Clostridium* (n = 536) und *Lactobacillus* (n = 552) isoliert. Das Resistenzverhalten der Isolate gegenüber bis zu 29 größtenteils human-relevanten Wirkstoffen wurde im semi-automatisierten Mikrodilutionsverfahren (Micronaut-System) überprüft; die Methode wurde hierbei an das

Verfahren des „GENARS-Projektes“ angepasst, ein Zusammenschluss acht überregional verteilter klinisch-mikrobiologischer Labore mit zentraler Resistenzfassung.

2.3 Ergebnisse und Diskussion

Phänotypische Resistenz

Verglichen mit den Daten zu human-klinischen Isolaten (GENARS-Projekt) lag der Prozentsatz resistenter Bakterienisolate aus Gülle in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle unter den humanmedizinischen Zahlen. Eine Ausnahme bildete Doxycyclin (als Vertreter der Tetracycline), mit bis zu 20 % höherem Resistenzauftreten in der Gülle, was mit dem weit verbreiteten Einsatz der Tetracycline in der Nutztierhaltung begründet werden kann. Abb. 3 zeigt Resistenzraten von *E. coli* klinischer und Tier-assoziiierter Herkunft.



AMC Amoxicillin/Clavulansäure AMP Ampicillin AMK Amikacin CAZ Cefazolin CET Ceftazidim CEC Cefaclor CEP Cefepim CIP Ciprofloxacin COL Colistin COX Cefoxitin CTX Cefotaxim CXM Cefuroxim DOX Doxycyclin GEN Gentamicin MER Meropenem PIP Pieracillin PIT Piperacillin/Tazobactam SXT Cotrimoxazol TOB Tobramicin

Abb. 3: Vergleich der prozentualen Resistenzraten von *E. coli*-Isolaten aus Schweinegülle, Mastschweinen (DANMAP 2003) und Humankliniken (GENARS 1/2003)

Die Resistenz gegen Reserveantibiotika lag bei *E. coli* zwischen 0 und 2 %; im Einzelfall höher bei Enterokokken (z. B. Rifampicin; Synercid bei *E. faecium*). Glykopeptidresistente Enterokokken traten nicht auf. Es zeichnete sich ein signifikanter Einfluss der Betriebsgröße auf die Resistenzparameter ab, mit höheren Resistenzraten in größeren Betrieben aller Betriebsformen.

Die Analyse der phänotypischen und ausgewählter genotypischer Resistenzparameter im Zusammenhang mit den Antibiotika-Gehalten der Gülle ergab in mehrerlei Hinsicht Einflüsse der von HARMS (2006) in den gleichen Gülle erhobenen analytischen Antibiotika-Befunde: Unter Tetracyclin-haltigen Gülle nahm die Zahl solcher Gülle, aus denen ausschließlich Tetracyclin-resistente *E. coli* isoliert worden waren, mit steigendem Tetracyclin-Gehalt (in den Aufteilungen $\leq 0,1$ mg/kg, $> 0,1 - 1$ mg/kg, $> 1 - 4$ mg/kg, > 4 mg/kg) kontinuierlich zu, der Anteil an Gülle ohne resistente *E. coli*-Isolate entsprechend ab (von 29 % über 24 % und 13 % - jeweils sensible und intermediäre Keime – auf

9 % - nur intermediäre Keime). Jedoch finden sich auch in Konzentrationsbereichen > 4 mg/kg neben resistenten nach wie vor sensible Bakterien. Dieser Befund ist von Bedeutung, da die erhaltenen sensiblen Bakterien als Schlüsselstelle für die Verdrängung der resistenten Keime und die Re-Etablierung einer sensiblen Population gelten.

Abhängig davon, ob in den Güllen der Nachweis von Tetrazyklinen und/oder Sulfonamiden gelang, stiegen die Resistenzraten für mehrere Substanz/Keim-Paarungen. Dies betraf auf signifikantem Niveau Doxycyclin/*E. coli*, *E. faecium*, *Lactobacillus spp.*; Sulfamethoxazol + Trimethoprim und Ampicillin/*E. coli*; Streptomycin HighLevel/*E. faecalis*; Fluorquinolone/*E. faecium* und Clostridien; Synercid und Tylosin/*E. faecium*. Auch MOLITORIS et al. hatten 1986 bei Untersuchungen an Chlortetrazyklin-gefütterten Schweinen und Kontrolltieren einen gleich gerichteten numerischen Unterschied im Anteil Tetrazyklin-resistenter *E. faecium*-Stämme festgestellt, der jedoch statistisch nicht signifikant war. Von höheren Resistenzraten in antibiotikahaltiger Gülle sind neben veterinärmedizinischen Wirkstoffen, die im Monitoring tatsächlich nachgewiesen worden waren, auch andere Wirksubstanzen betroffen, darunter auch solche, deren restriktive Handhabung empfohlen wird (Fluorquinolone, Synercid).

Mehrfachresistenz

Über alle Spezies hinweg fanden sich in antibiotikahaltigen Güllen weniger sensible, einfach oder gering-mehrfach-resistente Isolate und mehr Isolate mit mittel- bis hochgradiger Mehrfach-Resistenz als in analytisch antibiotikanegativen Proben. Diese „Rechtsverschiebung“ der kumulativen Häufigkeitskurven bildet Abb. 4 für *E. coli* ab.

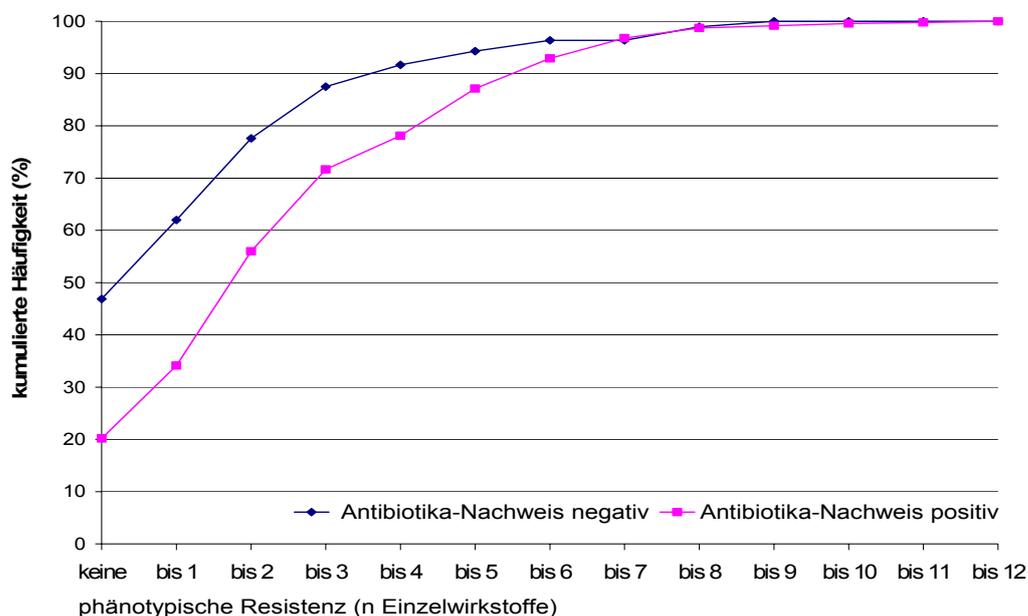


Abb. 4: Mehrfachresistenz bei *E. coli*-Isolaten aus Schweinegüllen mit unterschiedlichem Antibiotika-Status

Die Zahl der Güllen, die hochmehrfach-resistente Bakterien beherbergten, war hierbei zwischen antibiotikahaltigen Proben und solchen ohne entsprechenden Nachweis nicht signifikant verschieden. Jedoch differierte der Prozentsatz hochmehrfach-resistenter Isolate nach Tetrazyklin-Gehalt: 6,3 % der Güllen mit einem Tetrazyklingehalt von 0,1 – 1 mg/kg enthielten hochmehrfach-resistente Isolate, hingegen 18,3 % der Proben mit Gehalten > 4 mg/kg. Zudem exprimierte der Querschnitt aller Isolate innerhalb einer Gülle mit hochmehrfach-resistenten Keime in nachweislich antibiotikahaltigen Proben signifi-

kant mehr Antibiotikaresistenzen (3,3) verglichen mit analytisch negativen Proben (2,5). Hochmehrfach-Resistenz ist in vielen Fällen durch das Auftreten von Resistenz-Genkumulierenden Plasmiden oder die Überexpression von Multidrug-Transportern bedingt. Tetrazykline (ebenso wie Chloramphenicol) können eine Überexpression des Multidrug-Transporters AcrAB induzieren (GHISALBERTI et al., 2005). Zudem ist Tetrazyklin ein potenter Induktor des Transfers bzw. Co-Transfers Resistenz-codierender Plasmide, selbst dann, wenn diese Resistenzen sich gegen andere Wirkstoffe als Tetrazykline richten (VALENTINE et al., 1988). Beide Tatsachen bieten einen Erklärungsansatz für eine erhöhte Neigung zu Mehrfachresistenz in Proben mit positivem Antibiotika-Nachweis.

In mehreren Güllen mit hochmehrfach-resistenten Keimen gab es phänotypische Indizien für den intergenerischen horizontalen Transfer eines oder mehrerer Resistenzgene.

Tetrazyklin-Resistenzgene im Fäzes während und nach Chlortetrazyklin-Fütterung

Bei der Herstellung Tetrazyklin-haltiger Gülle konnte ein Anstieg der Gene *tet(M)* und *tet(O)* durch die Verfütterung therapeutischer Tetrazyklin-Konzentrationen an Mastschweine nachgewiesen werden, vgl. für *tet(O)* Abb. 5. Der Anstieg der Gen-Gehalte erfolgte hierbei erheblich rascher als deren Absinken nach Beendigung der Chlortetrazyklin-Fütterung. Dies deckt sich mit Beobachtungen von LEVY (1986), der auf phänotypischer Ebene ebenfalls von einem raschen Anstieg der Resistenzraten und einem ungleich langsameren Rückgang spricht. Die Untersuchung der *tet(M)*-Gehalte im Fäzes von antibiotikafrei-gehaltenen Tieren, die über Umweltfaktoren wie z. B. die Stallluft mittelbar in Kontakt zu Chlortetrazyklin-gefütterten Schweinen standen, zeigte einen Parallelverlauf der *tet(M)*-Gehalte auf insgesamt niedrigerem Niveau.

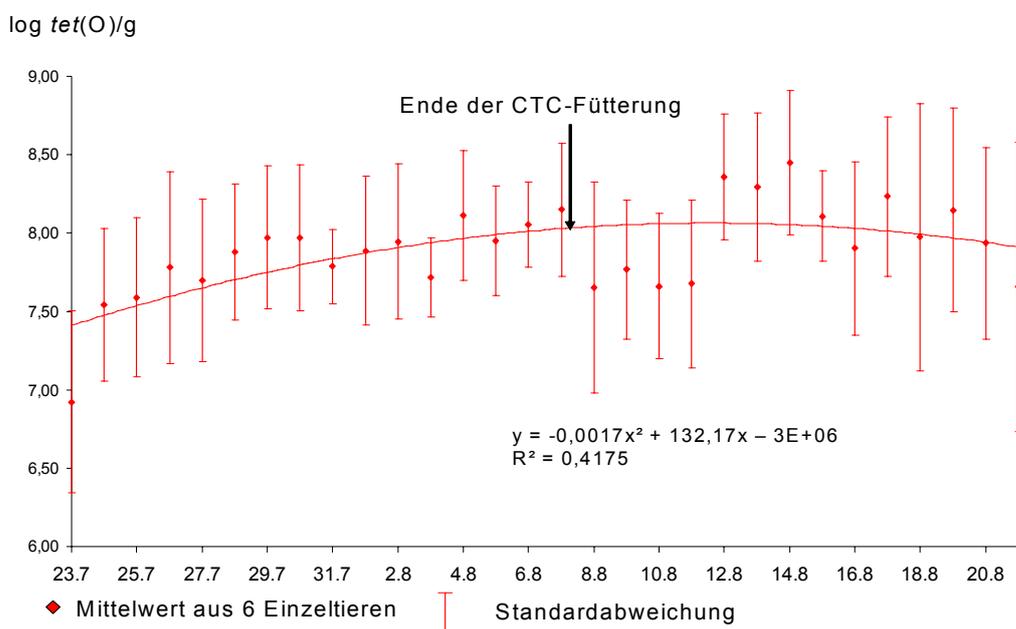


Abb. 5: *tet(O)*-Gehalte in Schweine-Fäzes während und nach Chlortetrazyklin-Fütterung

Tetrazyklin-Resistenzgen-Gehalte in Praxisgüllen

Quantitative Untersuchungen zum Vorkommen der Resistenzgene *tet(M)*, *tet(O)* und *tet(B)* in Praxisgüllen zeigten die Abhängigkeit der Konzentration der Gene *tet(M)* und *tet(O)* vom Tetrazyklingehalt. In beiden Fällen ereignete sich ein signifikanter Anstieg der Resistenzgen-Gehalte bereits im Konzentrationsbereich ab 0,1 mg Tetrazyklin/kg Gülle (Summe der untersuchten Tetrazykline: Chlortetrazyklin, Tetrazyklin, Oxytetracyclin und

Doxycyclin; TET) gegenüber antibiotikafreier Gülle (Bestimmbarkeitsgrenze 0,1 mg/kg). Der Anstieg bewegte sich für *tet(M)* und TET-Konzentrationen $> 0,1 < 1$ mg/kg im Bereich von ca. 200 Mio. copies gegenüber TET-freier Gülle, vgl. Abb. 6.

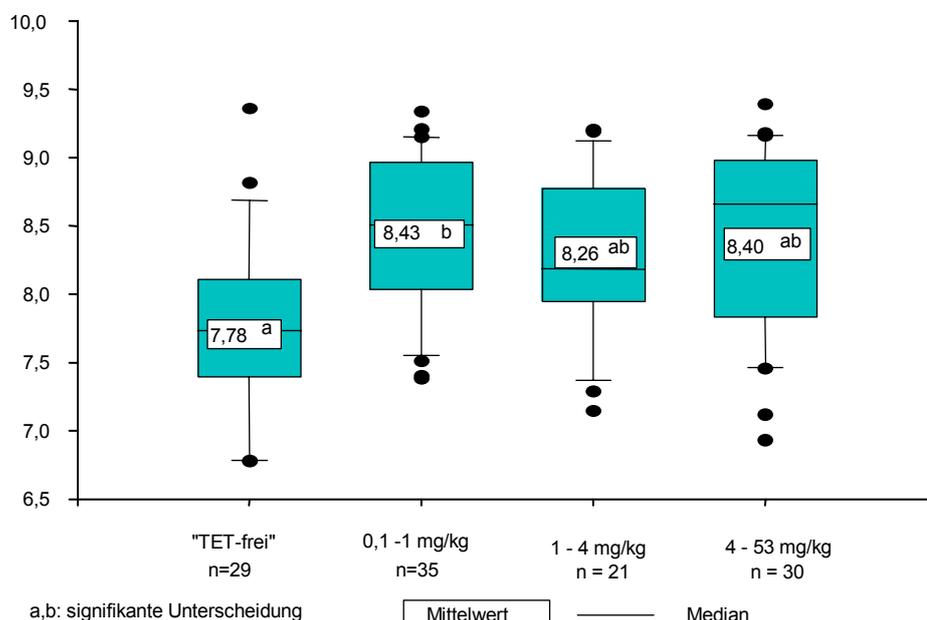


Abb. 6: Aufgliederung der *tet(M)*-Gehalte in Gülleproben nach TET-Gehalt

Für *tet(M)* war ein signifikanter Einfluss bereits bei Tetrazyklingehalten im Bereich der Nachweisgrenze gegeben. Dies ist in Übereinstimmung mit Untersuchungen von BAHL et al. (2004) über den Transfer des *tet(M)* tragenden Transposons Tn916 im Darm gnotobiotischer Ratten: Die Zahl der Transkonjuganten unterschied sich hochsignifikant zwischen den Tieren abhängig davon, ob eine Tetrazyklinsupplementierung des Trinkwassers durchgeführt worden war; in den Tetrazyklin-supplementierten Versuchsgruppen war jedoch die Zahl der Transkonjuganten unabhängig von der angewandten Tetrazyklin-Konzentration identisch. SMITH et al. (2004) untersuchten die Konzentration von *tet(O)* in Rindergülle-Lagunen mit sub- und supermedianen Tetrazyklingehalten. Ähnlich zur vorliegenden Untersuchung ergaben sich signifikante Unterschiede, mit höheren Gehalten in Proben supermedianer Tetrazyklin-Konzentration.

Tetrazyklin-Resistenzgen-Gehalte im Boden

Der Anteil der Resistenzgene, der sich nach Düngung mit Chlortetrazyklin (CTC)- und Resistenzgen-haltiger Gülle im Boden wiederfand, war erheblich geringer als die in Gülle gefundenen Gehalte und erreichte in Ackerland bis zu einer Woche nach Ausbringung Maximalwerte von 480.000 copies/g; ab Woche 3 nach Begüllung gab es keinerlei positive Befunde oberhalb der Nachweisgrenze im Bereich von 100 copies/g. Im Grünland waren die *tet*-Resistenz-Determinanten nach initialen Maximalwerten um 10.000 copies/g Boden nach 7 Wochen noch in Konzentrationen bis 100 copies/g nachzuweisen. Auch bei einer Berücksichtigung der – im Boden gegenüber der Gülle niedrigeren – Wiederfindungsrate betragen die maximalen im Ackerboden gefundenen *tet(M)*-Konzentrationen somit nur etwa 0,3 % der durchschnittlichen Gehalte in Gülle. Die Verhältnisse im Grünland im zeitlichen Verlauf zeigt Abb. 7. Die verwendete Gülle hatte einen CTC-Gehalt von 9,1 mg/kg und wies 8,16 log₁₀ copies *tet(M)* je Gramm auf.

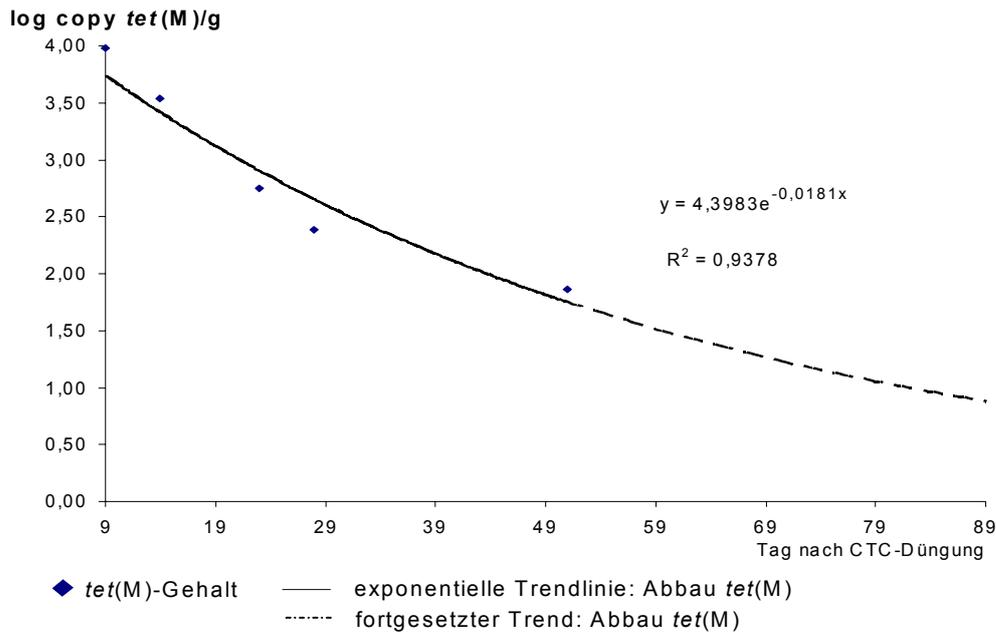


Abb. 7: Abbau von *tet(M)* im Grünland

Nach 12 Wochen war im Grünland keines der untersuchten Gene mehr nachweisbar. Zieht man die Ergebnisse für Gülle-Proben heran, die auch in Gülle von Tetrazyklin-frei gehaltenen Schweinen Resistenzgen-Gehalte bis 10^7 copies/g ergaben, erscheint es wenig wahrscheinlich, dass die Gülle-Bakterien zwar überlebten, jedoch in Abwesenheit eines Tetrazyklin-Selektionsdruckes ihre Resistenzgene verloren; vielmehr scheinen die Gülle-Bakterien in Konkurrenz mit der autochtonen Bodenflora kontinuierlich abzusterben. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie ähneln jenen der Kultivierung phänotypisch resistenter Bakterien aus Boden nach Güllendüngung (SENGELØV et al., 2003): Auch in der Relation Tetracyclin-resistenter Bakterien zur aeroben Gesamtkeimzahl ergaben sich nach Düngung mit unter Tetrazyklin-Behandlung erzeugter Gülle nur temporäre Veränderungen.

2.4 Schlussfolgerungen

In Bakterien-Isolaten aus Schweinegülle zeigten sich keine besonders auffälligen Resistenzentwicklungen gegenüber humanmedizinischen Antibiotika. Positive Antibiotikafunde in den Güllen gingen jedoch einher mit höheren Resistenzraten der Isolate gegen verschiedene Substanzen, darunter auch einzelne Reserve-Antibiotika.

Bereits Tetrazyklingehalte im Bereich von 0,1 – 1 mg/kg Gülle ziehen eine signifikante Erhöhung der Gehalte an *tet(M)* und *tet(O)* nach sich. Da die Hemmung sensibler Populationen in diesem Bereich erst allmählich einsetzt, ist dieser absolute Anstieg nicht in erster Linie durch eine Selektion der Genträger zu erklären, sondern geht mit großer Wahrscheinlichkeit auch auf eine induzierte Weitergabe der Resistenzgene an bis dahin Nicht-Träger zurück.

Eine dauerhafte Etablierung einer Resistenzgen-Träger-Population im Boden lässt sich aus den Beobachtungen nicht ableiten. Einschränkend gilt neben der geringen Zahl untersuchter Bodenproben zu beachten, dass basierend auf diesen Untersuchungen das Ausmaß eventueller kumulativer Effekte über mehrere Düngeperioden hinweg nicht abgeschätzt werden kann, da durchweg Böden verwendet wurden, die jahrelang nicht mit Gülle in Berührung kamen.

2.5 Literaturverzeichnis

- AUBRY-DAMON, H., GRENET, K., SALL-NDIAYE, P., CHE, D., CORDEIRO, E., BOUGNOUX, M.E., RIGAUD, E., LE STRAT, Y., LEMANISSIER, V., AR-MAND-LEFEVRE, L., DELZESCAUX, D., DESENCLOS, J.C., LIENARD, M., ANDREMONT, A. (2004): Anti-microbial resistance in commensal flora of pig farmers. *Emerging Infectious Diseases* 10, 873-879.
- BAHL, M.I., SORENSEN, S.J., HANSEN, L.H., LICHT, T.R. (2004): Effect of tetracycline on transfer and establishment of the tetracycline-inducible conjugative transposon Tn916 in the guts of gnotobiotic rats. *Applied and Environmental Microbiology* 70, 758-764.
- DANMAP (2003): Consumption of antimicrobial agents and occurrence of antimicrobial resistance in bacteria from food animals, food and humans in Denmark. Statens Serum Institut, Danish Veterinary & Food Administration, Danish Medicines Agency, Danish Veterinary Laboratory. <http://www.dfvf.dk/Default.asp?ID=9200>
- GENARS - German Network for Antimicrobial Resistance Surveillance: Resistenzdaten auf <http://www.genars.de/data.htm> , 1. Halbjahr 2003.
- GHISALBERTI, D., MASI, M., PAGES, J.M., CHEVALIER, J. (2005): Chloramphenicol and expression of multidrug efflux pump in *Enterobacter aerogenes*. *Biochemical and Biophysical Research Community* 328, 1113-1118.
- HAACK, B.J., ANDREWS, R.E., LOYNACHAN, T.E. (1996): Tn916-mediated genetic exchange in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 28, 765-771.
- HARMS, K. (2006): Untersuchungen zum Nachweis und Vorkommen von Antibiotika und deren Metaboliten in Schweinegülle. Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München. Dissertation.
- LEVY, S.B., FITZGERALD, G.B., MACONE, A.B. (1976): Spread of antibiotic-resistant plasmids from chicken to chicken and from chicken to man. *Nature* 260, 40-42.
- LEVY, S.B. (1986): Ecology of antibiotic resistance determinants. In: Levy, S.B., Novick, R.P. (Herausgeber): *Antibiotic resistance genes: ecology, transfer and expression*. Cold Spring Hbr Press, New York.
- LINTON, A.H. (1977): Animal to man transmission of Enterobacteriaceae. *Royal Society of Health Journal* 97, 115-118.
- MOLITORIS, E., KRICHEVSKY, M.I., FAGERBERG, D.J., QUARLES, C.L. (1986): Effects of dietary chlortetracycline on the antimicrobial resistance of porcine faecal streptococcaeae. *Journal of Applied Bacteriology* 60, 111-120.
- SENGELØV, G., AGERSØ, Y., HALLING-SØRENSEN, B., BALODA, S.B., ANDERSEN, J.S., JENSEN, L.B. (2003): Bacterial antibiotic resistance levels in Danish farmland as a result of treatment with pig manure slurry. *Environment International* 28, 587-595.
- SEVENO, N. A., KALLIFIDAS, D., SMALLA, K., VAN ELSAS, J. D., COLLARD, J.-M., KARAGOUNI, A. D., WELLINGTON, E. M. H. (2002): Occurrence and reservoirs of antibiotic resistance genes in the environment. *Reviews in Medical Microbiology* 13, 15-27.
- SMITH, M.S., YANG, R.K., KNAPP, C.W., NIU, Y., PEAK, N., HANFELT, M.M., GALLAND, J.C., GRAHAM, D.W. (2004): Quantification of tetracycline resistance

genes in feedlot lagoons by real-time PCR. *Applied and Environmental Microbiology* 70, 7372-7377.

VALENTINE, P.J., SHOEMAKER, N.B., SALYERS, A.A. (1988): Mobilization of Bacteroides Plasmids by Bacteroides Conjugal Elements. *Journal of Bacteriology* 170, 1319-1324.

3 Schwermetalle und Spurenelemente in Gülle

Christa Müller, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

3.1 Einleitung und Sachstand

Die Bedeutung des Wirtschaftsdüngerpfades für den Eintrag von Schwermetallen auf landwirtschaftlichen Flächen zeigen Berechnungen von WILCKE UND DÖHLER (1995), nach denen im bundesweiten Mittel > 45 % des Zinks, 70 % des Kupfers und 45 % des Nickels über Wirtschaftsdünger auf landwirtschaftliche Nutzflächen gelangen. Aufgrund ihrer Persistenz können sich Schwermetalle im Boden anreichern. Wie hoch diese Anreicherung ist, hängt primär von der Höhe des Pflanzenentzugs ab.

Nach Beschluss der gemeinsamen Konferenz der Agrar- und Umweltminister (AMK/UMK) 2001 müssen im Sinne eines vorbeugenden Umweltschutzes bedenkliche Stoffeinträge in die Umweltmedien Boden, Wasser und Luft verhindert werden. Wegen der besonderen Bedeutung der landwirtschaftlichen Böden für die Produktion gesunder Nahrungsmittel ist daher aus Vorsorgegründen sicherzustellen, dass es durch Bewirtschaftungsmaßnahmen (insbesondere Aufbringung von Klärschlamm, Gülle u.a. Wirtschaftsdünger, mineralischem Dünger und Kompost) zu keiner Anreicherung von Schadstoffen im Boden kommt (BMU UND BMVEL, 2002).

In der Folge wurden eine Reihe von Konzepten zur einheitlichen Bewertung von Düngemitteln entwickelt und aus den Vorsorgewerten der Bundesbodenschutz-Verordnung Schwermetall-Grenzwerte für verschiedene Düngemittel u.a. auch für Wirtschaftsdünger abgeleitet. Die neuesten Grenzwert-Vorschläge für Schweinegülle wurden erst jüngst von BANNICK et al. (2006) veröffentlicht.

Zu den Schwermetallen gehören toxische Elemente wie Cadmium, Blei und Quecksilber aber auch für die Pflanzen- und/oder Tierernährung essentielle Spurenelemente wie Kupfer oder Zink. Als natürliche Bestandteile der Gesteine, dem Ausgangsmaterial der Bodenbildung, sind sie in allen Böden in unterschiedlicher Menge enthalten.

Je nach Gehalt im Boden, Bodeneigenschaften und Pflanzenart werden sie in unterschiedlichem Maße von Pflanzen aufgenommen und finden sich auch in wirtschaftseigenen Futtermitteln. Spurenelemente (v.a. Kupfer und Zink, aber auch Molybdän, Mangan, Kobalt und Selen) werden aufgrund ihrer Bedeutung für Tiergesundheit und Leistungsfähigkeit dem Futter zugesetzt. Bei einer Supplementierung über den Bedarf hinaus, scheiden die Tiere einen Großteil über die Exkremente wieder aus, die Stoffe reichern sich in Wirtschaftsdüngern an. Verunreinigungen von Futtermitteln, aber auch im Stall eingesetzte Betriebsmittel wie Einstreu oder Desinfektionsmittel sowie die Stalleinrichtung selbst können weitere Quellen für Schwermetalle / Spurenelemente in Wirtschaftsdüngern sein.

Zum Vorkommen von Schwermetallen /Spurenelementen in Wirtschaftsdüngern liegen eine Reihe von Studien vor (z. B. WILCKE UND DÖHLER, 1995; UMWELTBUNDESAMT, 2004; KTBL, 2005a, 2005b; SCHAAF UND JANSEN, 2000; MÜLLER UND EBERT, 2002). Danach unterscheiden sich Rinder- und Schweinegülle hinsichtlich ihrer Schwermetall- und Spurenelement-Gehalte z.T. erheblich, v.a. bei Kupfer und Zink. In Schweinegülle wird durchwegs ein Vielfaches an Kupfer und Zink als in Rindergülle gefunden.

Nach MÜLLER et al. (2005) bewirkte die Verschärfung der Futtermittel-Verordnung (FMVO) Ende der 80er Jahre einen Rückgang der Cu-Gehalte in Schweinegülle um > 60 %, parallel dazu nahmen auch die Zn-Gehalte ab. Seit Ende der 90er Jahre ist jedoch ein erneuter Anstieg der Cu- und Zn-Werte zu beobachten, bei Zink sogar im Mittel über das Niveau von 1986/87. Ein Zusammenhang mit dem Verbot antibiotisch wirksamer Leistungsförderer seit Anfang der 90er Jahre wird gesehen.

3.2 Material und Methoden

Da unter den Nutztieren Antibiotika zu therapeutischen Zwecken und Spurenelemente als Zusatzstoffe im Futter am häufigsten bei Schweinen eingesetzt werden, wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens „Überprüfung und Neubewertung von Wirtschaftsdünger“ ein bayernweites Güllemonitoring mit schweinehaltenden Praxisbetrieben durchgeführt.

Ein Ziel des Güllemonitorings war es, einen landesweiten Überblick über Schwermetalle und Spurenelemente in Schweinegülle zu erhalten. Dabei ging es auch um die Frage, ob und wie sich Betriebstyp (Mast-, Zucht-, gemischter Betrieb) und Betriebsgröße auf die Gehalte auswirken. Die Untersuchungen wurden an denselben Proben durchgeführt wie die auf Antibiotika-Rückstände, antibiotikaresistente Bakterien und Resistenzgene.

3.2.1 Auswahl der Betriebe für Güllemonitoring

Für das Güllemonitoring wurden 900 schweinehaltende Praxisbetriebe per Zufallsgenerator aus der INVEKOS-Datei des Instituts für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik (ILB) der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) ausgewählt und nach folgenden Betriebstypen und Größenklassen geschichtet:

- Ferkelerzeugungs-Betriebe: 10 - 45 Zuchtsauen, > 45 Zuchtsauen
- Schweinemast-Betriebe: 30 - 220 Mastschweine, > 220 Mastschweine
- Kombinierte-Betriebe: 7 - 30 Zuchtsauen, > 30 Zuchtsauen.

Berücksichtigt wurden nur Betriebe mit einem Viehbesatz von mehr als 2/3 Schweinen. Die Ziehung der Stichproben erfolgte separat für jeden Typ * Größe * Regierungsbezirk. Die ausgewählten Betriebe wurden dann innerhalb jedes Regierungsbezirkes nach Landkreisen geordnet.

Die Beprobung erfolgte anonym im Herbst 2002 und Frühjahr 2003 (Nachbeprobung unterrepräsentierter Landkreise) durch die Landwirte beim Ausbringen der Gülle (nach dem Aufrühren !). Nach Aussonderung nicht geeigneter Proben verblieben 380 *Schweinegülle* zur Untersuchung. Die 3 Betriebstypen sind jeweils zu etwa gleichen Teilen vertreten. Bei der Betriebsgröße dominieren die größeren Betriebe, da die kleinen Betriebe öfters Festmist/Jauche und keine Gülle hatten (Aussonderung wegen fehlender Vergleichbarkeit).

3.2.2 Untersuchungsumfang, Analytik

Im Teilprojekt „Schwermetalle / Spurenelemente“ wurden die Gülle untersucht auf:

- Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Nickel (Ni), Quecksilber (Hg), Zink (Zn), Arsen (As), Bor (B), Molybdän (Mo), Mangan (Mn), Kobalt (Co), Antimon (Sb): *Königswasser-Aufschluss, Messung ICP OES; Hg Hydridsystem AAS-FIAS*; Selen (Se): *Mikrowellenaufschluss, Messung AAS-FIAS*
- Hauptnährstoffe N_{org}, P, K, Ca, Mg, S und C_{org} (für Düngeszenarien).

Die Untersuchungen wurden dankenswerterweise von AQU 1, LfL Freising durchgeführt.

3.3 Ausgewählte Ergebnisse und Diskussion

3.3.1 Schwermetallgehalte

Die *Blei*-Gehalte der Schweinegülle sind bis auf wenige Ausnahmen durchwegs sehr niedrig. Bei 80 % der Proben aus Zucht- und gemischten Betrieben und 95 % der Proben aus Mastbetrieben liegen die Werte unter 6 mg/kg TS. Der Mastbetrieb mit dem höchsten Pb-Gehalt ist auch bei anderen Schwermetallen auffällig (Maximalwert auch bei Cd, Ni, Cu und Zn), während der Zuchtbetrieb nur bei Blei den höchsten Wert erreicht (Abb. 8).

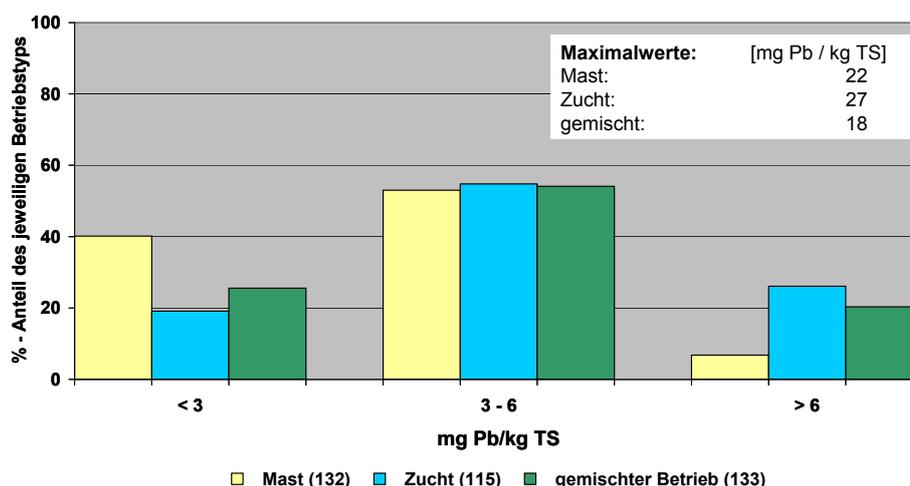


Abb. 8: Bleigehalte in Schweinegülle nach Betriebstyp (Anzahl der Gülle)

Auch die *Cadmium*-Gehalte bewegen sich unabhängig vom Betriebstyp bei 85-90 % der Schweinegülle mit Werten unter 0,6 mg/kg TS auf sehr niedrigem Niveau. Die Gehalte streuen mit Maximalwerten von 1,1 (Zucht) bzw. 1,2 (gemischter Betrieb) nur sehr wenig. Ausreißer ist der bereits bei Blei auffällige Mastbetrieb (5,3 mg Cd/kg).

Die *Quecksilber*-Gehalte liegen durchwegs 1 Zehnerpotenz unter den Cd-Werten mit nur sehr geringer Streuung (85-90 % der Proben < 0,04, Maximum 0,11 mg/kg TS).

Die *Chrom*- und *Nickel*gehalte sind etwa gleich hoch, bei 85-90 % der untersuchten Schweinegülle unter 20 mg/kg TS, wobei die Proben etwas anders verteilt sind (in der Klasse 10-20 mg/kg bei Ni 60 %, bei Cr 50 % der Proben). Einen mit knapp 100 mg/kg TS sehr hohen Nickel-Wert weist der bereits bekannte Mastbetrieb auf.

Für *Blei*, *Cadmium*, *Quecksilber*, *Chrom* und *Nickel* ist keine Abhängigkeit der Gehalte von Betriebstyp und -größe messbar. Die Medianwerte und Schwankungsbereiche liegen in der für Schweinegülle in der Literatur beschriebenen Größenordnung (UMWELTBUNDESAMT 2004, KTBL 2005b). Die in der Literatur z.T. beschriebenen höheren Nickelgehalte bei Ferkelgülle (KTBL 2005a) bestätigten sich nicht. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass es sich bei den Gülle aus Zuchtbetrieben in der vorliegenden Untersuchung um Mischgülle aus Ferkel- und Sauengülle handelt. Die höchsten Gehalte und stärksten Streuungen sowohl innerhalb des Datenkollektivs als auch zwischen den Betriebstypen und -größen treten erwartungsgemäß bei *Kupfer* und *Zink* auf.

85 % der Schweinegülle haben *Kupfer*-Gehalte über 200 mg/kg TS. Werte über 600 mg/kg TS sind v.a. in der Gruppe der Zuchtbetriebe mit knapp 50 % der Proben zu finden gegenüber nur 10 % bei den Mastbetrieben.

Abb. 9 zeigt die Werteverteilung für die verschiedenen Betriebstypen und -größen. Die höchsten mittleren Cu-Gehalte und stärksten Streuungen wurden in der Gruppe „Zucht groß“ gemessen, der Maximalwert mit > 3000 mg/kg TS bei dem schon mehrfach auffälligen Mastbetrieb.

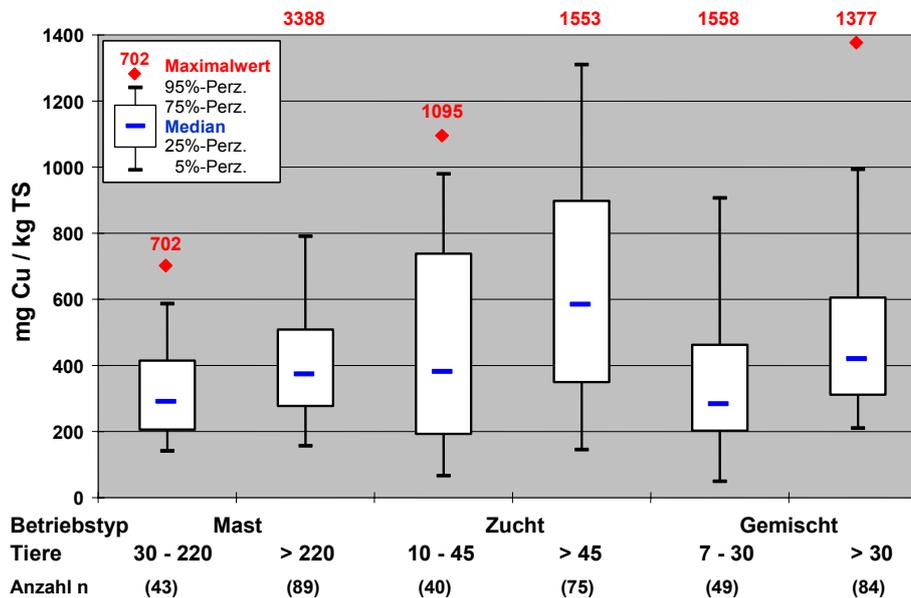


Abb. 9: Einfluss von Betriebstyp und -größe auf Kupfergehalte in Schweinegülle

Die *Zink*-Gehalte liegen nur bei 5-10 % der Schweinegülle unter 500 mg/kg TS. Bei knapp 30 % der Mast- und gemischten Betriebe und > 40 % der Zuchtbetriebe wurden > 1500 mg Zn in der Gülle gefunden. Die Zn-Werte streuen in allen Gruppen sehr stark. Die höchsten mittleren Zn-Gehalte und die meisten hohen Gehalte treten wie bei Kupfer in der Gruppe der Zuchtbetriebe mit > 45 Tieren auf.

3.3.2 Schwermetall- und Spurenelement-Frachten durch Schweinegülle

In Hinblick auf eine mögliche Anreicherung von Schwermetallen/Spurenelementen in landwirtschaftlich genutzten Böden sind die bei Düngung mit Schweinegülle auftretenden Frachten entscheidend (kg/ha).

Tab. 1 zeigt die jährlichen Schwermetall-, Arsen- und Spurenelement-Einträge durch Schweinegülle bei Ansatz von 170 kg N/ha, also dem Maximum nach Düngerverordnung (DüV), nach Abzug der Stall- und Lagerverluste. Zugrundegelegt wurden jeweils der Median und die 5 % bzw. 95 % Perzentile der für die verschiedenen Betriebstypen ermittelten Gehalte sowie der TS- und N-Gehalt der Einzelproben.

Im Labor wurde für Stickstoff nur der N_{org} -Gehalt bestimmt. Da aus zahlreichen Untersuchungen bekannt ist, dass der Anteil von N_{org} an N_{ges} etwa 30 % beträgt, wurde mit Faktor 3,33 auf N_{ges} umgerechnet ($N_{\text{org}} = 30 \%$, $NH_4N = 70 \%$).

Blei, Cadmium, Quecksilber, Chrom, Nickel, Arsen

Im Mittel werden durch Schweinegülle jährlich 7-10 g *Blei*, 0,8-0,9 g *Cadmium* und 0,05-0,06 g *Quecksilber* je Hektar eingetragen. Die mittleren Einträge an *Chrom* und *Nickel* liegen bei 23-27 (Cr) bzw. 26-29 (Ni) g/ha und Jahr. Die Werte streuen nur wenig, ein Einfluss des Betriebstyps und /oder der Betriebsgröße ist nicht nachweisbar.

Für *Arsen* wurden mittlere jährliche Frachten durch Gülle von 2-3 g/ha ermittelt; bei Zuchtbetrieben sind sie geringfügig höher sind als bei Mast- und gemischten Betriebe.

Tab. 1: Schwermetall-, Arsen- und Spurenelement-Einträge durch Schweinegülle (g/ha und Jahr) bei Düngung von 170 kg N/ha (= Maximum nach DüV)

Schwermetalle/ Spuren- elemente	Mast (132)		Zucht (115)		gem. Betrieb (132)	
	Median	90 % der Werte	Median	90 % der Werte	Median	90 % der Werte
Blei (Pb)	7	3 - 15	10	5 - 19	9	4 - 20
Cadmium (Cd)	0,8	0,4 - 1,4	0,9	0,5 - 1,5	0,8	0,4 - 1,3
Quecksilber (Hg)	0,06	0,02 - 0,1	0,06	0,02 - 0,12	0,05	0,02 - 0,1
Chrom (Cr)	23	9 - 53	26	9 - 49	27	12 - 54
Nickel (Ni)	29	14 - 47	26	12 - 47	29	13 - 48
Kupfer (Cu)	753	316 - 1471	1105	317 - 2460	845	323 - 2007
Zink (Zn)	2510	1098 - 4007	2875	1050 - 4972	2542	1176- 4278
Arsen (As)	1,9	0,6 - 5	3,1	0,9 - 9	2,1	0,9 - 5
Bor (B)	224	90 - 464	194	86 - 749	183	77 - 427
Molybdän (Mo)	15,9	2 - 29	12,9	2 - 28	12,9	2 - 26
Mangan (Mn)	1334	562 - 2143	1256	536 - 2033	1343	523 - 2036
Kobalt (Co)	7,4	2 - 18	7,5	2 - 19	7,4	3 - 19
Antimon (Sb)	0,32	0,05 - 0,72	0,44	0,1 - 1,0	0,4	0,1 - 0,95
Selen (Se)	4,1	1 - 12	4,0	n.n. - 14	4,6	1,3 - 12

Kupfer, Zink

Die jährlichen *Kupfer*-Einträge durch Schweinegülle sind im Mittel bei den Zuchtbetrieben (1100 g/ha) um etwa 50 % höher als bei den Mastbetrieben (750 g/ha). Die Schweinegülle aus Zucht- und gemischten Betrieben streuen stark (90 % der Proben etwa 2 kg/ha).

Betriebstyp, -größe	Kupfer-Einträge		Kupfer - Abfuhr	Zink - Abfuhr	Betriebstyp, -größe	Zink-Einträge	
	Median	95 %				Median	95 %
Mast			Körnermais: 20	Körnermais: 290	Mast		
30- 220 Sauen	626	1224	Wi - Weizen: 60	Wi - Weizen: 380	30- 220 Sauen	2228	3441
> 220 Sauen	796	1521	Wi - Gerste: 25	Wi - Gerste: 245	> 220 Sauen	2708	4260
Zucht					Zucht		
10 - 45 Sauen	932	2164			10 - 45 Sauen	2552	4840
> 45 Sauen	1215	2565			> 45 Sauen	3138	5299

Abb. 10: Kupfer – und Zink-Einträge durch Schweinegülle und Abfuhr mit Ernteprodukten (g/ha und Jahr) bei Düngung von 170 kg N/ha

Bei einer für schweinehaltende Betriebe typischen Körnermais-Getreide-Fruchtfolge wird im Mittel bei Mastbetrieben 20 mal mehr Kupfer durch Schweinegülle auf den Boden gebracht als mit den Ernteprodukten abgefahren wird; für Zuchtbetriebe ergeben sich sogar je nach Betriebsgröße Überhänge um Faktor 30-40.

Für *Zink* sind die mittleren jährlichen Einträge durch Schweinegülle aus Zuchtbetrieben mit knapp 3 kg/ha nur geringfügig höher als bei denen aus Mastbetrieben (2,5 kg/ha). Die Schwankungsbreite ist mit 3 kg/ha (Mast-, gemischte Betriebe) bzw. 4 kg/ha (Zuchtbetriebe) durchwegs sehr hoch. Bezüglich des Überhangs stellt sich die Situation für Zink etwas weniger extrem dar als für Kupfer. Die Einträge durch Schweinegülle liegen allerdings auch hier im Mittel um Faktor 7-10 über den Austrägen durch Ernteprodukte (Abb. 10).

Aufgrund des großen Überhangs und der Persistenz der Stoffe ist eine Anreicherung von *Kupfer* und *Zink* im Boden bei schweinehaltenden Betrieben in unterschiedlich hohem Maße gegeben.

Bor, Molybdän, Mangan, Kobalt, Antimon, Selen

Bei Ansatz von 170 kg N/ha liegen die jährlichen *Mangan*-Einträge durch Schweinegülle über alle Betriebstypen hinweg im Mittel bei 1,3 kg/ha. Für *Molybdän* bewegen sich die Einträge im Mittel zwischen 13 und 16, für *Bor* zwischen 183 und 224 g/ha und Jahr.

Demgegenüber beträgt die jährliche Abfuhr über Ernteprodukte für *Mangan* 600, für *Molybdän* 5 und für *Bor* etwa 50 g/ha. Die Zufuhr fällt also um Faktor 2-3fach höher aus als die Abfuhr, was langfristig ebenfalls eine gewisse Anreicherung zur Folge hat.

Für *Kobalt* ergeben sich mittlere Einträge von 7,5, für *Antimon* < 0,5 und für *Selen* von 4 g/ha (jeweils unabhängig vom Betriebstyp).

3.3.3 Quellen für Schwermetalle und Spurenelemente in Schweinegülle (in Anlehnung an UBA 2004, KTBL 2005)

Futtermittel

Hauptquelle für die hohen Cu- und Zn-Gehalte in Schweinegülle sind die Futtermittel, wobei die Mineralfuttermittel die höchsten Gehalte aufweisen (auch die höchsten Gehalte an Cr, Ni, Pb und Cd aus Rohstoffen oder dem Verarbeitungsprozess). Um eine ausreichende Versorgung der Tiere sicherzustellen, werden Cu und Zn im Futter supplementiert.

Die höheren Cu-Gehalte der Schweinegülle aus Zuchtbetrieben gegenüber denen von Mastbetrieben sind im wesentlichen eine Folge der für Ferkelfutter deutlich höheren zulässigen Höchstgehalte in Futtermitteln (Ferkel 170 mg/kg bis 12 Wochen, Schweine 25 mg/kg Alleinfutter 88 % TS nach EU-VO, 2003; Alleinfutter = native Gehalte der Futtermittel und Zusatzstoffe). Insbesondere bei Ferkeln wird Kupfer über die Versorgungsempfehlungen hinaus mit Dosierungen nahe dem zulässigen Höchstgehalt zur Leistungsförderung eingesetzt (WINDISCH UND ROTH, 2002).

Auch Mo, Mn, Co und Se sind essentielle Spurenelemente, die für eine bedarfsgerechte Versorgung der Tiere im Futter supplementiert werden (Höchstgehalte in FMVO). Bei Überversorgung werden sie vom Tier wieder ausgeschieden.

Die Gehalte an Pb, Cd, Hg und As in Futtermitteln sind durch zulässige Höchstgehalte in der FMVO geregelt. Für Ni und Cr gibt es keine futtermittelrechtlichen Regelungen. Auch Futterphosphate können Cd enthalten.

Weitere Quellen für Schwermetalle /Spurenelemente in Schweinegülle

Mineralische Einstreumittel können neben anderen Schwermetallen und Arsen Cu-Gehalte in der Größenordnung von Mineralfuttermitteln enthalten (SCHENKEL UND BREUER, 2002). Diese dürften die wahrscheinlichste Ursache für extrem hohe Kupfergehalte einiger Schweinegülle aus dem Monitoring sein (gepaart mit Maximalwerten für Pb, Cd, Ni).

Ein nicht unerheblicher Zink-Input erfolgt auch durch die Anwendung von Zink-Oxid als *Arzneimittel* in Kombinationspräparaten mit dem Antibiotikum Colistin bzw. Tylosin. Nach WINDISCH, 2005 werden auch pharmakologische Effekte von ZnO bei Darmerkrankungen genutzt (kurzfristig Gaben von ZnO in einer Dosierung von 3000-6000 mg/kg). ZnO kann Verunreinigungen von As, Cd, Hg und Pb enthalten.

Der Zn-Eintrag aus der *Korrosion* und dem *Abrieb von Stalleinrichtungen* wird mit 2-6 % (UBA 2004) bzw. 4-13 % (KOROTKEWITSCH 1981) am Gesamteintrag angegeben.

Vergleichsweise hohe Cr- (13,5-15 mg/kg) und Ni-Werte (12,5-18 mg/kg) enthalten *Betonspaltenelemente und Estrich* aus Schweinehaltungsbetrieben (UBA, 2004). Auch *Güllezusatzstoffe und Kalke* weisen hinsichtlich ihrer Cr- und Ni-Gehalte eine große Streubreite auf (SCHENKEL UND BREUER, 2002).

3.4 Schlussfolgerungen, Bewertung

Die mittleren Einträge an Blei, Cadmium, Quecksilber, Chrom und Nickel sind als gering einzustufen, auch wenn einzelne Schweinegülle nicht unerheblich mit Blei, Cadmium oder Nickel belastet sind.

Aufgrund der nach geltendem Futtermittelrecht zulässigen Supplementierung von Kupfer und Zink liegen die Einträge über Schweinegülle erwartungsgemäß über dem Entzug durch Ernteprodukte. Überhänge können aufgrund des geltenden Futtermittelrechtes entstehen. Die sehr hohen Cu- und Zn-Überhänge stehen allerdings klar im Widerspruch zum Gedanken eines vorsorgenden Bodenschutzes (Begrenzung von Schadstoffeinträgen) und der Forderung, dass die Aufbringung von Dünger zu keiner Anreicherung von Schadstoffen im Boden führen darf.

Wird Schweinegülle zusammen mit Bioabfällen in der Biogasanlage vergoren, muss der Gärrest bei Aufbringen auf landwirtschaftliche Flächen die Schadstoffgrenzwerte der Bioabfall-Verordnung (BioAbfV) einhalten. Bei hohen und z.T. sehr hohen Cu- und Zn-Werten der Schweinegülle werden in Abhängigkeit von Menge und Art der mitvergorenen Cosubstrate die Grenzwerte bzw. zulässigen Grenzfrachten der BioAbfV häufig überschritten. Die Betriebserlaubnis für die bestehende Biogasanlage kann dann entzogen werden.

Wegen der Schwermetallproblematik wird seit Jahren über die Einführung von Grenzwerten für Wirtschaftsdünger diskutiert. Die erst jüngst vom Umweltbundesamt veröffentlichten neuen Grenzwert-Vorschläge für Schweinegülle könnten nach Ergebnissen aus dem Güllemonitoring für Blei, Cadmium, Quecksilber, Chrom und Nickel durchwegs eingehalten werden. Für Kupfer und Zink lägen jedoch mehr als 95 % der Schweinegülle über den vorgeschlagenen Grenzwerten von 80 (Cu) und 480 (Zn) mg/kg TM.

3.5 Literatur

BANNICK, C. G., FRANZIUS V., HAHN, J., KEBLER, H., MARKARD, C, PENNING, J. UND VOGEL, I. (2006): Zum Stand der fachlichen Weiterentwicklung des Konzepts „Gute Qualität und sichere Erträge“. Müll und Abfall, **3**, 134-140.

BIOABFV (BIOABFALL-VERORDNUNG) (1998): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden vom 21.09.1998, BGBl. I 2955, zuletzt geändert durch § 11 Abs. 1 vom 26.11.2003 BGBl. I: 2373.

BMU UND BMVEL (2002): Gute Qualität und sichere Erträge – Wie sichern wir die langfristige Nutzbarkeit unserer landwirtschaftlichen Böden ?.

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2003): Verordnung 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.

FUTTERMITTEL-VERORDNUNG (2003): Futtermittelverordnung vom 23.11.2000, BGBl. I, Nr. 51, S. 1605, zuletzt geändert durch Verordnung vom 10.11.2004, BGBl. I: 2813.

KOROTKEWITSCH, W. A. (1981): Untersuchungen zur Korrosion von Metallen in Anlagen der Tierproduktion und Verfahren des Korrosionsschutzes. Agrartechnik, 31. Jg. H. 6: 266-267.

KTBL (2005a): Schwermetalle und Tierarzneimittel in Wirtschaftsdüngern. KTBL Schrift 435.

KTBL (2005b): Assessment und reduction of heavy metal input into agro-ecosystems. KTBL Schrift 432.

MÜLLER, C. UND EBERT, T. (2002): Schwermetall-Einträge durch Wirtschaftsdünger von 1986 bis heute – Ergebnisse aus dem bayerischen Boden-Dauerbeobachtungsprogramm. Kongressband 114. VDLUFA-Kongress, Leipzig.

MÜLLER, C., WURZINGER, A., LEPSCHY, J. UND EBERT, T. (2005): Anorganische, organische Schadstoffe in: 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, **8/2005**, 27-34.

SCHAAF, H. UND JANSBEN, 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. (2005): Spurenelemente in Mineralfutter. Fachtagung der Bayerischen Arbeitsgemeinschaft Tierernährung e.V. Freising-Weihenstephan (BAT) Aktuelle Fragen der Fütterungsberatung 26./27.09.2005 Freising-Weihenstephan.

SCHENKEL, H. UND 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.

UMWELTBUNDESAMT (UBA) (2004): Erfassung von Schwermetallströmen in landwirtschaftlichen Tierproduktionsbetrieben und Erarbeitung eines Konzeptes zur Verringerung der Schwermetall-Einträge durch Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in Agrarökosysteme, Texte 06/04, 130 S.

WILCKE, W.; DÖHLER, H. (1995): Schwermetalle in der Landwirtschaft. KTBL-Arbeitspapier **217**, KTBL, Darmstadt, 98 S.

WINDISCH, W. UND 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. (2005): Aktuelle Aspekte der Spurenelementversorgung beim Schwein im Hinblick auf die Erhaltung der Leistungsbereitschaft. Schriftenreihe der BoKu Wien, 1-4.

4 Wirkung von antibiotikahaltiger Gülle auf Bodenmikroorganismen

Dr. Robert Beck, Silvia Kneipp und Evica Mucafir, Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

4.1 Einleitung

Bodenmikroorganismen sind unverzichtbar für den Kreislauf der Nährstoffe und stehen am Anfang nahezu aller Stoffumsetzungen im Boden. In der vorliegenden Arbeit wurden daher mögliche Veränderungen bodenmikrobiologischer Prozesse durch Arzneimittelwirkstoffe in Wirtschaftsdüngern im Freiland und unter Laborbedingungen geprüft.

Durch vergleichende Untersuchungen von zwei der wichtigsten bodenmikrobiologischen Eigenschaften in Böden mit wirkstofffreier bzw. mit der vergleichbaren wirkstoffhaltigen Gülle sollen eventuelle Einflüsse der Arzneimittelwirkstoffe Chlortetrazyklin (CTC) und Sulfadiazin/Trimethoprim (Antastmon) im Boden auf die Funktionalität der Bodenmikroorganismen festgestellt werden.

4.2 Material und Methoden

Für die Feld- und Laborversuche wurden Güllen definierter Herkunft mit und ohne Zusatz von antibiotischen Wirkstoffen im Futter erzeugt.

Feldversuche: Probennahme, Aufbereitung und Lagerung

In den Jahren 2003 bis 2005 wurden insgesamt drei Feldversuche auf verschiedenen Schlägen in Pulling (Landkreis Freising) bodenmikrobiologisch untersucht. Der erste Versuch wurde im Jahr 2003 mit dem Wirkstoff Chlortetrazyklin und der Kontrollgülle angelegt und ausgewertet. Im Jahr 2004 folgte der zweite Versuch, in dem zusätzlich das Präparat Antastmon getestet wurde. Der dritte Versuch im Jahr 2005 wurde als eine Wiederholung des ersten Versuches mit Chlortetrazyklin angelegt.

Von jeder Teilfläche der Feldversuche wurden drei Mischproben aus je 50 Einzelproben aus der Oberkrume (0-10 cm) hergestellt. Die homogenisierten Proben wurden luftgetrocknet und auf 2 mm gesiebt. Ein Teil der Proben wurde bis zur Untersuchung tiefgefroren bei $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ gelagert. Rückstellproben für Nachuntersuchungen und weitergehende Analysen wurden ebenfalls bei $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ gelagert. Zur Analyse wurden die Proben im Kühlschrank aufgetaut und auf 50 % der maximalen Wasserkapazität eingestellt.

Laborversuche

Die Laborversuche wurden in 1 Liter-Weckgläser mit lose aufliegendem Deckel mit 600 g Boden durchgeführt. Entsprechend der Wasserkapazität der jeweiligen Böden wurden zwischen 13 ml und 25 ml Gülle bzw. wässriger Lösung den Böden zugegeben. Bei Güllegabe wurde so genau wie möglich darauf geachtet, dass den Böden die identische TS-Menge (C_{org} -Gehalt) zugegeben wurde. Jede Variante wurde in drei Wiederholungen angesetzt und bei $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ bebrütet und nach 1 Tag, 1 Woche, 4 Wochen und 8 Wochen analysiert. Einmal pro Woche erfolgte ein Ausgleich der Wasserverluste über Gewichtsdifferenzwägung.

Untersucht wurden vier Böden, die sich in ihrer Bodenart und dem Humusgehalt sowie in ihrer Belebtheit deutlich unterschieden. Die Böden stammten von drei verschiedenen landwirtschaftlich genutzten Standorten in Bayern (Puch, Baumannshof und Neuhof)

Von allen vier verwendeten Böden ist bekannt, dass sie in der Vergangenheit keine Güllegaben (Wirkstoffeintrag) erhielten.

Tab. 2: Bodenparameter und Nutzung der Testböden für Laborversuche

Standort	Nutzung	Bodentyp	Bodenart	C _{org} (%)	pH	mikrob. Biomasse µgC/gTS
Baumannshof	Acker	Braunerde	humoser Sand	2,6	5,04	225
Neuhof	Acker	Pseudogley	schluffiger Lehm	1,6	6,88	370
Puch	Wiese	Rendzina	lehmiger Sand	2,2	5,63	1120
Puch	Grünbrache	Rendzina	lehmiger Sand	1,0	6,42	328

Analysen

Alle Proben wurden auf die bodenmikrobiologischen Merkmale, der mikrobiellen Biomasse und der Katalaseaktivität, untersucht. Die Untersuchungen wurden nach den international standardisierten Methodenvorschriften (Bodenbiologische Arbeitsmethoden, F. Schinner et al.1993) durchgeführt.

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Programmpaketes SAS, Version 8.2. Varianzanalyse und Mittelwertvergleiche wurden mit dem Modul PROC MIXED durchgeführt, wobei bei der Verrechnung von Versuchsserien die Varianzursachen „Jahre“ und „Orte“ als RANDOM definiert wurden. Die Mittelwerte wurden mit dem Statement LSMEANS berechnet und deren Differenz, soweit von Interesse, mit der Option PDIF auf dem Signifikanzniveau $\alpha = 5\%$ verglichen.

4.3 Ergebnisse und Diskussion

4.3.1 Feldversuche

In der Tab. 3 sind die Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Untersuchungen aller drei Feldversuche dargestellt.

Mit einer Ausnahme (2003, Katalase 75. Tag) lag bei allen auftretenden signifikanten Abweichungen in den mikrobiellen Kennwerten die Wirkstoffvariante über der Kontrollgülle. Die größten Abweichungen konnten dabei unmittelbar nach Gülleausbringung (2004, 1. Tag) festgestellt werden. Hier kam es, bedingt durch den C_{org}-Eintrag der Gülle, zu einem erheblichen Anstieg der mikrobiellen Untersuchungsparameter, die im Verlaufe der Zeit wieder zurückgingen. Bedingt durch die Konsistenz der Gülle war es in der Versuchsdurchführung nahezu unmöglich, identische Güllmengen (Trockensubstanzgehalt) auf die Versuchsflächen zu bringen. Dadurch kam es in den einzelnen Versuchsgliedern zu einem mehr oder weniger stark unterschiedlichen C_{org}-Eintrag, der sich wiederum auf die Bodenmikroorganismen auswirkte. In den Untersuchungsjahren 2003 und 2005 wurde erst ab dem sechsten bzw. siebten Tag nach Gülleausbringung untersucht. Es ist aber davon auszugehen, dass auch hier solche anfänglichen Unterschiede aufgetreten sind (vgl. Laborversuch mit Gülle).

Tab. 3: Einfluss der CTC-Gülle und Antastmon-Gülle (A-Gülle) auf die mikrobiellen Bodenparameter in den Feldversuchen Pulling 2003 - 2005

Feldversuch/ Wirkstoffkonzentration	Tage nach Güllegabe	mikrobielle Biomasse $\mu\text{C/gTS}$			Katalasezahl		
		O-Gülle	CTC-Gülle	A-Gülle	O-Gülle	CTC-Gülle	A-Gülle
2003 Pulling CTC 46,7 mg/kg	0	458	475	-	1,89	1,91	-
	7	507	541	-	2,49	2,44	-
	28	503	555*)	-	1,99	1,97	-
	41	457	475	-	1,78	1,81	-
	75	449	480	-	1,74	1,62*)	-
2004 Pulling CTC 9,1 mg/kg Sulfadiazin 28,3 mg/kg Trimethoprim 0,04 mg/kg	0	501	522	543	1,8	1,85	1,76
	1	606	732*)	639	3,01	3,74*)	3,51*)
	7	586	572	567	2,15	2,48*)	2,33
	14	526	572*)	573	2,24	2,31	2,1
	21	561	565	566	2,31	2,45*)	2,35
	28	547	573	600*)	2,3	2,41	2,29
35	592	594	596	2,24	2,46*)	2,42*)	
2005 Pulling CTC 168 mg/kg	0	380	378	-	1,28	1,21	-
	6	468	513*)	-	2,38	2,51*)	-
	13	524	531	-	2	1,9	-
	20	552	622*)	-	1,76	1,9*)	-
	28	391	452*)	-	1,44	1,73*)	-
	35	371	395	-	1,45	1,5	-
43	372	430*)	-	1,55	1,77*)	-	

*) = Differenz zu Kontrollgülle signifikant ($\alpha < 5\%$)

Diese durch Güllegabe bedingten Unterschiede verringerten sich zumeist im Untersuchungsverlauf, blieben tendenziell aber bis auf wenige Ausnahmen bis zum Untersuchungsende erhalten.

Obwohl die CTC-Gehalte der Güllen aus Fütterungsversuchen in den drei Versuchsjahren deutlich schwankten, lag bei allen signifikanten Aktivitätsunterschieden die CTC-Variante über der Kontrollgülle.

Ein Rückgang in den bodenmikrobiologischen Aktivitätszahlen durch die Wirkstoffe Chlortetrazyklin und Sulfadiazin mit Trimethoprim konnte in den Feldversuchen nicht festgestellt werden.

4.3.2 Laborversuche mit Gülle

Um den Einfluss der Vegetation und anderer Umwelteinflüsse (Temperatur, Wassergehalt) auf die Bodenmikroorganismen auszuschalten, wurden neben den Feldversuchen auch Laborversuche unter konstanten Bedingungen durchgeführt. Gleichzeitig konnten in diesen Laborversuchen auch mehrere unterschiedliche Böden und die direkte Wirkstoffzugabe mit und ohne Gülle getestet werden.

In diesen Laborversuchen wurden neben der Kontrollgülle und der wirkstoffhaltigen Gülle aus Fütterungsversuchen zusätzlich zwei weitere Varianten hergestellt (= gespikete Gülle), indem der wirkstofffreien Kontrollgülle nachträglich die Wirkstoffe zugegeben wurden. In Tab. 4 sind die tatsächlich gefundenen Wirkstoffgehalte in den einzelnen Güllevarianten dargestellt.

Tab. 4: Wirkstoffgehalte der Gülle in den Laborversuchen (mg/kg)

Varianten	Antastmon-Gülle		CTC-Gülle
	Sulfadiazin	Trimethoprim	Chlortetrazyklin
Gülle aus Fütterungsversuchen	160	1,23	120
Kontroll-Gülle + 2 % gespikt	4,7	0,27	1,9
Kontroll-Gülle + 50 % gespikt	107	23,6	95,5

Antastmon (Sulfadiazin mit Trimethoprim)

Die bodenmikrobiologischen Untersuchungen ergaben im Laborversuch mit Antastmon ein uneinheitliches Bild (vgl. Tab. 5).

Tab. 5: Einfluss von Sulfadiazin/Trimethoprim (A=Antastmon) auf die mikrobiellen Bodenparameter im Laborversuch mit Gülle

Ver-suchsboden	Tage nach Güllegabe	mikrobielle Biomasse µgC/gTS				Katalasezahl			
		O-Gülle	A-Gülle	A-2%Spike	A-50%Spike	O-Gülle	A-Gülle	A-2%Spike	A-50%Spike
Bau-mannshof	1	278	269	272	284	1,25	1,24	1,2	1,24
	8	148	193*)	149	186*)	0,83	0,9	0,85	0,93
	28	106	119*)	108	111	0,61	0,58	0,56	0,58
	56	72	68	67	75	0,57	0,61	0,46*)	0,46*)
Puch Grün-brache	1	355	356	343	346	1,32	1,32	1,24*)	1,31
	8	218	251*)	235*)	218	0,99	1	0,93	0,89*)
	28	206	224*)	208	207	0,75	0,77	0,77	0,7
	56	183	198	194	198	0,59	0,6	0,61	0,57
Neuhof	1	287	291	255*)	264*)	1,89	1,88	1,63*)	1,55*)
	8	258	268	221*)	235*)	1,71	1,58*)	1,38*)	1,39*)
	28	232	243	200*)	198*)	1,4	1,46	1,28*)	1,3
	56	223	227	183*)	188*)	1,23	1,23	1,14	1,18
Puch Wiese	1	1518	1520	1527	1525	3,59	3,12*)	2,63*)	2,41*)
	8	1079	1144*)	1121	1089	3,73	3,74	3,45*)	3,41*)
	28	845	923*)	904*)	879	3,94	3,93	3,81	3,82
	56	668	727*)	720*)	709	2,79	2,69	2,32*)	1,99*)

*) = Differenz zu Kontrollgülle signifikant ($\alpha < 5\%$)

So lag die mikrobielle Biomasse in den wirkstoffhaltigen Güllen zumeist über der Kontrollvariante (Ausnahme Testboden „Neuhof“) und die Katalasezahl durchwegs unter der Kontrollgülle.

Insgesamt gesehen konnte trotz erheblicher Unterschiede in den Wirkstoffgehalten (vgl. Tab. 3) kein wirkstoffbezogener Einfluss festgestellt werden. Das vorliegende Zahlenmaterial deutet darauf hin, dass die gelegentlich auftretenden signifikanten Unterschiede durch die Versuchsanlage bedingt sind und nicht auf Stoffeinträge zurückgeführt werden können.

Chlortetrazyklin

Nach statistischer Auswertung konnten im Laborversuch für Chlortetrazyklin bei allen vier Testböden über alle Untersuchungstermine lediglich vier signifikante Unterschiede in den mikrobiologischen Untersuchungsmerkmalen festgestellt werden (vgl. Tab. 6).

Tab. 6: Einfluss von Chlortetrazyklin auf die mikrobiellen Bodenparameter im Laborversuch mit Gülle

Ver- suchs- boden	Tage nach Gülle- gabe	mikrobielle Biomasse $\mu\text{C/gTS}$				Katalasezahl			
		O-Gülle	CTC-Gülle	CTC- 2%Spike	CTC- 50%Spike	O-Gülle	CTC-Gülle	CTC- 2%Spike	CTC- 50%Spike
Bauma nnshof	1	360	341	336	333	1,05	0,96	0,88	0,86
	8	230	219	198	208	0,85	0,79	0,83	0,84
	28	168	156	152	154	0,58	0,55	0,54	0,48
	56	141	128	118	120	0,52	0,46	0,39	0,46
Puch Grün- brache	1	432	381*)	366*)	378*)	1,01	0,84	0,95	0,93
	8	343	334	317	320	0,91	0,83	0,84	0,84
	28	280	275	269	268	0,8	0,73	0,73	0,74
	56	257	278	258	259	0,7	0,65	0,62	0,62
Neuhof	1	436	416	412	395	1,58	1,53	1,52	1,5
	8	395	378	367	348*)	1,34	1,36	1,31	1,37
	28	345	325	323	314	1,26	1,16	1,2	1,17
	56	303	298	290	277	1,11	1,07	1,09	1,03
Puch Wiese	1	1457	1398	1371	1376	3,22	3	3,15	3,03
	8	1234	1226	1180	1192	3,99	4,08	3,91	3,92
	28	1015	985	964	964	3,23	3,14	3,02	3,05
	56	773	757	746	749	2,83	2,75	2,89	2,75

*) = Differenz zu Kontrollgülle signifikant ($\alpha < 5\%$)

Dabei lagen alle drei wirkstoffhaltigen Varianten am ersten Tag beim Testboden Puch Grünbrache in der Biomasse signifikant unter der Kontrollgülle, wobei trotz erheblicher Unterschiede in den Wirkstoffkonzentrationen (vgl. Tab. 3) keine Unterschiede in den CTC-haltigen Güllen untereinander feststellbar waren. Demzufolge müssen diese, nur zu Versuchsbeginn auftretenden Unterschiede, auf Abweichungen in der Versuchsanlage zurückgeführt werden. Somit verbleibt für den gesamten Laborversuch mit Chlortetrazyklin lediglich eine signifikante Abweichung.

Ein negativer Einfluss auf die untersuchten bodenmikrobiologischen Merkmale Biomasse und Katalase durch den Wirkstoff Chlortetrazyklin konnte in diesem Laborversuch in keinem der vier Testböden festgestellt werden, trotz unterschiedlicher Bodenart, C_{org} und Bodenbelebtheit. Zu dem gleichen Ergebnis gelangten auch Winkler et. al. (2004), die bei vergleichbaren Untersuchungen eine Wirkung von CTC auf die mikrobielle Biomasse erst bei einer Konzentration von 1000 mg/kg Boden feststellen konnten. In ihren Untersuchungen weisen Winkler et. al. (2004) auch darauf hin, dass die Zufuhr organischer Matrix (Gülle) zu einer Erhöhung in der Effektschwelle von CTC und damit zu einer Überdeckung der Wirkungseffekte führt. Sie verzichteten daher auf den Einsatz von Gülle. In unserem Projekt sollte aber praxisorientiert auch der Einfluss möglicher Abbauprodukte durch Fütterungsversuche nachgewiesen werden. Dabei zeigte sich, dass neben der erwähnten Effektschwellenerhöhung auch Schwierigkeiten in der Applikation identischer

Gülemengen in den Versuchsvarianten auftreten können. Dieses Problem betraf Feldversuche wie Laborversuche gleichermaßen.

4.3.3 Laborversuche ohne Gülle

Um den mehrfach erwähnten Gülleeffekt auszuschließen, wurde abschließend ein Laborversuch angelegt, bei dem reine Wirkstoffe direkt dem Boden zugegeben wurden. Aus Kapazitätsgründen wurde dieser Versuch ohne Wiederholung und nur an zwei Testböden (Baumannshof und Puch Wiese) durchgeführt. Die zugegebenen Wirkstoffkonzentrationen beziehen sich auf Kilogramm Boden, wobei im Falle von Antastmon in 100 mg Pulver 50 mg Sulfadiazin und 10 mg Trimethoprim enthalten sind.

Antastmon (Sulfadiazin mit Trimethoprim)

In der Tabelle 6 ist der zeitliche Verlauf der mikrobiologischen Untersuchungsparameter für beide Testböden nach Antastmon-Zugabe dargestellt. Der Verlauf von mikrobieller Biomasse und Katalase war in allen Fällen nahezu identisch; deutliche Abweichungen konnten nicht beobachtet werden. Die eingebrachten Wirkstoffkonzentrationen zeigten keinen hemmenden Effekt auf die Bodenmikroorganismen.

Tab. 7: Einfluss der Wirkstoffe CTC und Sulfadiazin/Trimethoprim (Antastmon) auf die mikrobiellen Bodenparameter im Laborversuch ohne Gülle

Versuchsboden	Tage nach Wirkstoffgabe	mikrobielle Biomasse µgC/gTS				Katalasezahl			
		Kontrolle	CTC 0,5 mg/kg	CTC 2 mg/kg	CTC 10 mg/kg	Kontrolle	CTC 0,5 mg/kg	CTC 2 mg/kg	CTC 10 mg/kg
Puch Wiese	1	1075	1024	1086	1028	3,78	3,67	3,61	3,53
	7	940	918	971	897	3,15	3,17	2,95	2,82
	28	821	830	851	813,	3,1	2,87	2,96	2,85
	56	695	690	707	687	2,32	2,41	2,33	2,29
Baumannshof	1	127	124	140	143	0,52	0,5	0,47	0,49
	7	112	113	142	134	0,48	0,46	0,52	0,5
	28	117	123	136	137	0,4	0,39	0,4	0,41
	56	106	99	108	108	0,37	0,37	0,41	0,41
		mikrobielle Biomasse µgC/gTS				Katalasezahl			
		Kontrolle	Antastmon 1,25 mg/kg	Antastmon 6,3 mg/kg	Antastmon 31 mg/kg	Kontrolle	Antastmon 1,25 mg/kg	Antastmon 6,3 mg/kg	Antastmon 31 mg/kg
Puch Wiese	1	1056	1107	1025	1048	3,76	3,71	3,7	3,7
	7	914	952	911	929	3	3,13	2,95	3,04
	28	804	842	815	836	2,7	2,79	2,62	2,72
	56	674	711	683	673	2,34	2,4	2,37	2,4
Baumannshof	1	139	142	148	137	0,48	0,46	0,47	0,48
	7	123	139	131	137	0,51	0,5	0,48	0,49
	28	136	132	141	140	0,39	0,38	0,36	0,36
	56	108	118	111	108	0,4	0,4	0,37	0,37
Keine signifikanten Unterschiede									

Chlortetrazyklin

Nach Chlortetrazyklinzugabe konnten ebenfalls keine negativen Auswirkungen in den Wirkstoffvarianten gegenüber dem Kontrollboden festgestellt werden.

Abweichungen im zeitlichen Verlauf zeigten sich lediglich am 7. Tag beim Testboden Baumannshof sowohl in der Biomasse als auch in der Katalasezahl. Hier lagen die zwei CTC-Varianten mit 2 mg bzw. 10 mg CTC/kg deutlich über der Kontrollvariante. Vermutlich handelt es sich hierbei um einen Probennahmefehler (schlechte Homogenisierung). Die minimale Hemmkonzentration (=MHK) von Chlortetrazyklin im Flüssigmedium liegt bei 0,5 mg/l, wobei im Boden von einer deutlich höheren MHK ausgegangen werden muss (Höper et al. 2002). Nach den vorliegenden Versuchsergebnissen liegt die MHK im Boden mindestens um den Faktor 20 über der von Flüssigmedien.

4.4 Schlussfolgerungen

Sowohl Feldversuche wie Laborversuche zeigen gleichermaßen, dass die eingesetzten, praxisüblichen Konzentrationen von Chlortetrazyklin und Sulfadiazin mit Trimethoprim keine Wirkung auf die mikrobielle Biomasse und die Katalaseaktivität in Böden haben.

Offen bleibt jedoch die Frage, in wie weit sich höhere Wirkstoffkonzentrationen im Boden, bedingt durch mehrmalige Gaben und eine mögliche Anreicherung, auf die Bodenmikroorganismen auswirken.

4.5 Literaturverzeichnis

ANDERSON, JPE., DOMSCH, HK (1978): A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* 10, S. 215-221.

HÖPER, H. (2002): Eintrag und Verbleib von Tierarzneimittelwirkstoffen in Böden, *Bodenschutz* 4, S.141-148.

SCHINNER, F., ÖHLINGER, R., KANDELER, E. UND MARGESIN, R. (1993): *Bodenbiologische Arbeitsmethoden*. 2 Aufl., Springer Verlag Berlin, Heidelberg.

WINKLER, C., ENGELS, H., HUND-RINKE, K., LUCKOW, T., SIMON, M., STEFFENS, G., (2004): Wirkung von Tetrazyklinen und anderen Tierarzneimitteln auf die Bodenfunktion. *Umweltbundesamt Texte 44/04 ISSN 0722-186X – Bodenmikrobielle Aktivität* S. 94-97.

5 Wirkung von antibiotikahaltiger Gülle auf Lumbriciden und Collembolen

Dr. Johannes Bauchhenß, Kathrin Böttger, Alexander Derr und Christl Schäfer,
Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, Bayerische Landes-
anstalt für Landwirtschaft

5.1 Einleitung

Mit der Gülle können Rückstände von Tierarzneimitteln in den Boden gelangen. Antibiotika müssen dabei besonders berücksichtigt werden, da deren Einsatz in der Tierhaltung bezüglich Menge und Wirkung im Vergleich zu anderen Therapeutika dominiert. In Labor- und Feldversuchen sollte deshalb überprüft werden, ob und inwieweit Rückstände von Chlortetrazyklin- (CTC) und Sulfadiazin /Trimethoprim (Antastmon- (AS)) in Gülle negative Auswirkungen auf Vertreter terrestrischer Tierpopulationen haben. Die Untersuchungen wurden weitgehend nach ISO 11267, ISO 11268-1 und/oder ISO 11268-2 durchgeführt.

5.2 Laborversuche

5.2.1 Material und Methoden

Getestete Güllen

Getestet wurden Güllen mit Rückständen von CTC und Sulfadiazin/Trimethoprim (CTC-Gülle, AS-Gülle) aus Fütterungsversuchen. Diese Güllen werden mit den jeweiligen Kontrollgüllen (0_{CTC} -Gülle, 0_{AS} -Gülle), die bei Fütterung ohne Arzneimittelanwendung gewonnen wurden, verglichen.

Versuchstiere

Versuchstiere im Laborversuch waren *Eisenia fetida* (Lumbricidae), der Kompostwurm und *Folsomia candida* (Collembola), eine Collembolenart.

Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden weitgehend nach den ISO-Richtlinien durchgeführt. Da die beiden Versuchstierarten generell auf Gülle empfindlich reagieren, wurde zunächst deren Reaktion auf verschiedene Konzentrationen rückstandsfreier Güllen überprüft. Für Tests mit höheren CTC- bzw. Sulfadiazin- und Trimethoprim- Dosen mussten die Güllen künstlich mit Antibiotika angereichert werden. Um die Ergebnisse auf die Praxis übertragen zu können, wurden die angewandten Güllemengen aus praxisüblichen Einheiten (Kubikmeter/ha) abgeleitet. Untersuchungsparameter bei *Eisenia fetida* und *Folsomia candida* war die LC_{50} .

Die Bestimmung der LC_{50} erfolgte graphisch mit Hilfe der Probitanalyse nach WEBER (1985) UND LITCHFIELD & WILCOXON (1949).

5.2.2 Ergebnisse der Laborversuche mit *Eisenia fetida* und *Folsomia candida*

Vergleich der LC_{50} -Werte rückstandsfreier Kontrollgüllen und entsprechender antibiotikahaltiger Güllen für *Eisenia fetida* (Tab. 8).

Beim Vergleich der 0_{CTC} - und der entsprechenden CTC-Gülle sowie der 0_{AS} -Gülle und der AS-Gülle kann für *Eisenia fetida* kein schädigender Effekt festgestellt werden.

Tab. 8: Einfluss von Kontrollgülle (0_{CTC} - bzw. 0_{AS} -Gülle) sowie von CTC- bzw. AS-Gülle auf *Eisenia fetida*, Laborversuch mit KE = Kunsterde

LC ₅₀	ml Gülle/500g KE	entspricht m ³ Gülle/ha
0_{CTC} -Gülle	72,44	87
0_{AS} -Gülle	75,86	90
CTC-Gülle	114,81	138
AS-Gülle	69,18	83

Vergleich der LC_{50} -Werte rückstandsfreier Kontrollgüllen und entsprechender antibiotikahaltiger Güllen für *Folsomia candida* (Tab. 9)

Beim Vergleich der 0_{CTC} - und der CTC-Gülle sowie der 0_{AS} -Gülle und der entsprechenden AS-Gülle kann für *Folsomia candida* kein signifikant schädigender Effekt festgestellt werden.

Tab. 9: Einfluss von Kontrollgülle (0_{CTC} - bzw. 0_{AS} -Gülle) sowie von CTC- bzw. AS-Gülle auf *Folsomia candida*, Laborversuch mit KE = Kunsterde

LC ₅₀	ml Gülle/30g KE)	entspricht m ³ Gülle/ha
0_{CTC} -Gülle	0,61	12
0_{AS} -Gülle	0,54	11
CTC-Gülle	0,85	17
AS-Gülle	0,49	10

LC 50 bei Eisenia fetida bei künstlich mit CTC angereicherten Güllen (Tab. 10)

Zu 24,9 ml CTC-Gülle (einer Menge, die im Freiland 30 m³/ha entspricht) wurden zusätzlich zu den in der Gülle bereits enthaltenen 3 mg CTC weitere 3 bzw. 24 mg CTC (80 %) zugemischt, sodass mit 3 mg, 5,4 mg (3 mg + 2,4 g) und 22,2 g (3 mg + 19,2 mg) CTC/500 g Kunsterde getestet wurde. Die LC_{50} liegt bei 3 mg CTC/500 g Kunsterde.

Zu 49,8 ml CTC-Gülle (einer Menge, die 60 m³/ha entspricht) wurden zusätzlich 54 bzw. 84 mg CTC (80 %), zugemischt, sodass mit 6, 49,2 mg (43,2 mg + 6 mg) und 73,2 mg (67,2 mg + 6 mg) CTC/500 g Kunsterde getestet wurde. Die LC_{50} liegt bei 346,74 mg CTC/500 g Kunsterde.

LC 50 für Eisenia fetida bei künstlich mit Sulfadiazin/Trimethoprim (AS) angereicherter Gülle (Tab. 10)

Im Versuch wurden einer Menge von 24,9 ml AS-Gülle (einer Menge, die 30 m³/ha entspricht) 197,5 bzw. 297,5 mg Antastmon (50 Sulfadiazin, 10 % Trimethoprim) zugesetzt. Die LC₅₀ für *E. fetida* liegt bei 165,96 g AS-Rückstände (Sulfadiazin + Trimethoprim)/500 g Boden.

Tab. 10: Laborversuche mit künstlich mit CTC bzw. Sulfadiazin/Trimethoprim angereicherter Gülle mit *Eisenia fetida*, Laborversuch mit KE = Kunsterde

LC ₅₀	mg CTC/500 g KE	mg AS-Rückstände (Sulfadiazin + Trimethoprim)/500g KE
künstlich angereicherte Gülle, einfache Menge (30 m ³ /ha)	323,59	165,96
künstlich angereicherte Gülle, doppelte Menge (60 m ³ /ha)	346,74	

5.3 Feldversuche

Ergänzend zu den Laborbestimmungen wurden Feldversuche angelegt, auf denen die Wirkung der Antibiotika-Rückstände auf eine natürliche Regenwurmpopulation getestet werden konnte. Die Versuche wurden 2003 auf einer Ackerfläche bei Pulling (Landkreis Freising), 2004 und 2005 auf Grünlandflächen am Spitalhof (Kempten) durchgeführt.

5.3.1 Material und Methoden

Versuchsglieder

Es waren folgende Versuchspartellen angelegt, in Pulling und Kempten I mit vierfacher Wiederholung, in Kempten II als Blockversuch.

Kontrollgülle (30 m³/ha)

CTC-Gülle (30 m³/ha)

AS-Gülle (30 m³/ha)

Düngung mit Mineraldünger (nährstoffgleich 30 m³ Gülle/ha)

Düngung mit Mineraldünger und zusätzlicher Fungizidanwendung (nährstoffgleich 30 m³ Gülle/ha), Mineraldüngung wie bei 4., zusätzlich Fungizid (überdosiert, als Referenzsubstanz), um die Sensibilität der Regenwurmpopulation zu testen.

Probennahme

Nach ISO 11268-3 ist eine dreimalige Probennahme vorgesehen, 4-6 Wochen, 6 Monate und 12 Monate nach Applikation der Mittel.

Zoologische Parameter

Parameter waren die Gesamt-Individuendichte und Biomasse, die Abundanzwerte und das artspezifische Durchschnittsgewicht. Die Werte sind als Medianwerte (n=10) dargestellt. Insgesamt wurden 22868 Tiere ausgewertet.

Statistische Bewertung

Zur Auswertung der Ergebnisse wird bei Versuchen mit Wiederholungen der H-Test nach KRUSKAL und WALLIS (mit Stichproben-Untergruppen nach LIENERT und SCHULZ), bei Blockversuchen der einfache H-Test und bei beiden, um signifikante Unterschiede zu lokalisieren der NEMENYI-Test angewandt. Geprüft wird bei $p=0,05$.

5.3.2 Ergebnisse der Feldversuche

Versuch Pulling I (2003)

Die Probennahme erfolgte vom 24.06. bis 03.07.2003 durch eine Kombination von Formalinaustreibung, Handauslese und Tiefenaustreibung (Diapause zur Zeit der Probennahme!).

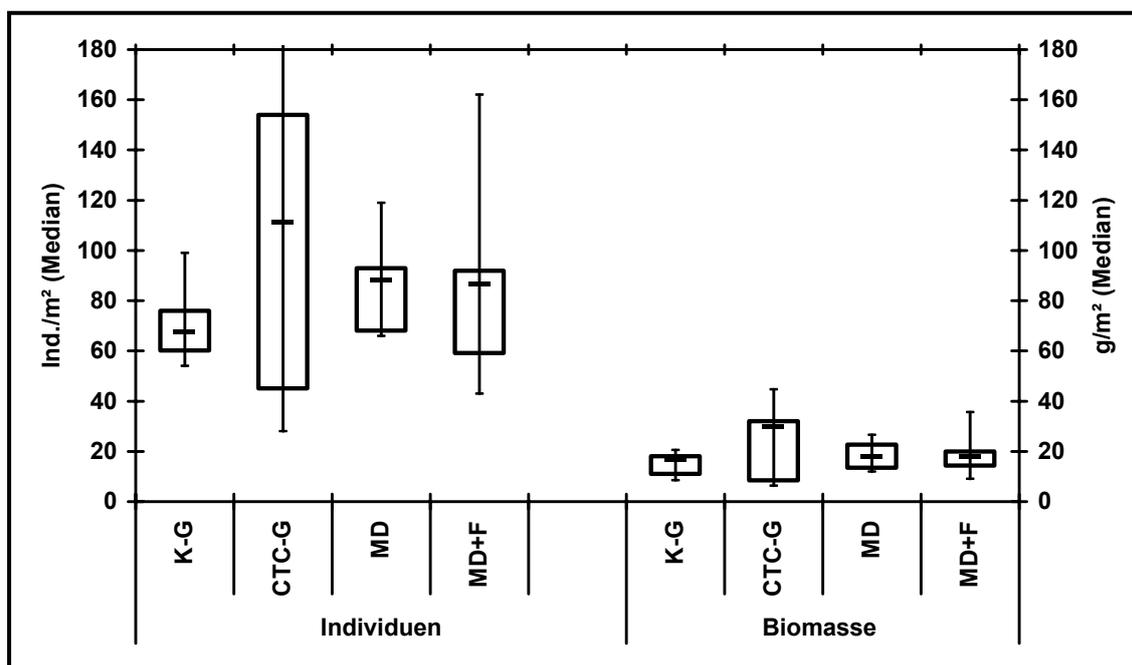


Abb. 11: Auswirkungen von Kontrollgülle (K-G), CTC-Gülle (CTC-G), Mineraldünger (MD) sowie Mineraldünger + Fungizid (MD+F) auf Individuendichte und Biomasse der Regenwürmer in Pulling I (1. Probennahme 2003): Medianwerte, Vertrauensbereich (0,05), Minimal- und Maximalwerte

Abb. 11 zufolge weisen *Individuendichte*- und *Biomassewerte* keine Unterschiede zwischen den Behandlungen auf. Auch *Abundanzwerte* und *artspezifische Biomassewerte* sind bei allen Behandlungen gleich.

Aus der Tatsache, dass das Fungizid keine dezimierende Wirkung zeigte, ist zu schließen, dass die Mittelapplikation während der Diapause der Regenwürmer erfolgt sein muss. Antibiotika hätten unter diesen Bedingungen auch keine Wirkung zeigen können. Der Versuch wurde abgebrochen.

Versuch Kempton I (1. Probennahme 2004)

Die erste Probennahme erfolgte vom 28.06. bis 03.07.2004 durch Formalinaustreibung, Handauslese und Tiefenaustreibung (Diapause zur Zeit der Probennahme!).

Individuendichte und *Biomasse* sind auf den Fungizidparzellen signifikant geringer als auf den anderen Flächen. Eine Wirkung der Antibiotikagüllen ist nicht festzustellen.

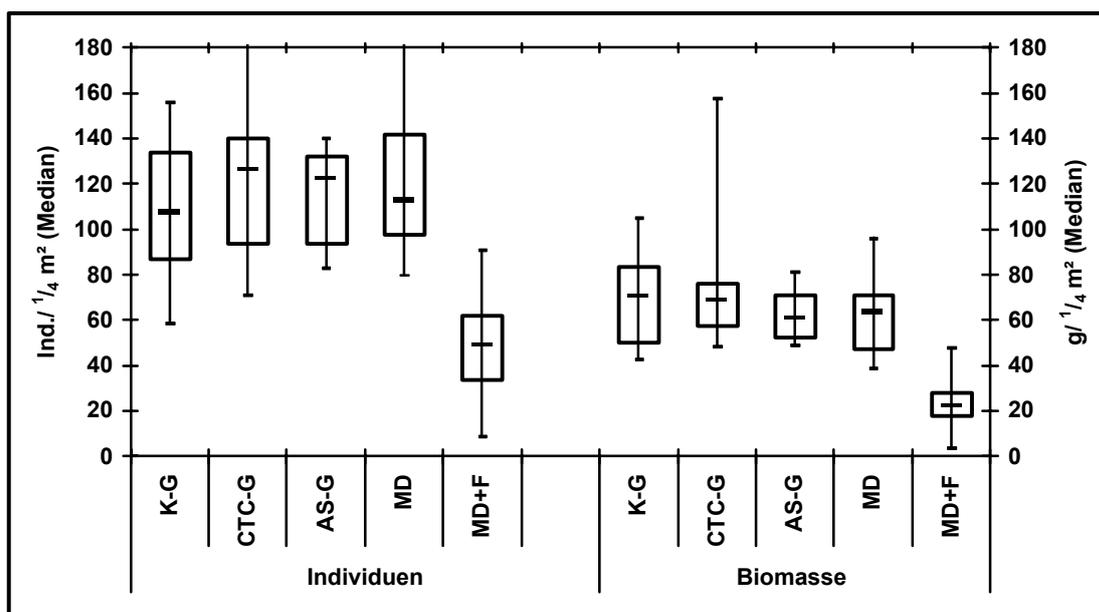


Abb. 12: Auswirkungen von Kontrollgülle (K-G), CTC-Gülle (CTC-G), Mineraldünger (MD) sowie Mineraldünger + Fungizid (MD+F) auf Individuendichte und Biomasse der Regenwürmer Versuch Kempten I (1. Probennahme 2004 – I): Medianwerte, Vertrauensbereich (0,05), Minimal- und Maximalwerte

Veränderte *Abundanz-* und *artspezifische Biomassewerte* sind ausschließlich auf eine Verminderung bei Fungizidbehandlung zurückzuführen. Eine Wirkung der Antibiotika ist nicht festzustellen.

Versuch Kempten I (2. Probennahme 2004)

Die Probennahme erfolgte vom 26.10. bis 28.10.2004 durch Formalinaustreibung.

Die *Individuendichte* auf den Fungizidflächen ist signifikant geringer als auf den anderen Flächen. Bezüglich der *Biomasse* weist die CTC-Parzelle den signifikant geringsten Wert auf.

Die *Abundanzwerte* sind auf den Fungizidflächen signifikant geringer als auf allen anderen Flächen. Die *artspezifische Biomasse* zeigt über sämtliche Behandlungen keine Unterschiede.

Die geringere Biomasse auf der CTC-Fläche ist nicht durch geringere Einzelgewichte zu erklären. Aufklärung kann nur die Untersuchung der nächsten Probenserie geben.

Versuch Kempten II (1. Probennahme 2005)

Die Probennahme erfolgte vom 18.05. bis 19.05.2005. Der Versuch musste als Blockversuch angelegt werden, da nicht genügend Gülle für einen Versuch mit Wiederholungen zur Verfügung stand.

Signifikante Unterschiede der *Individuendichte* und *Biomasse* waren nur zwischen der Fungizidparzelle und den anderen Parzellen festzustellen.

Signifikante Unterschiede der *Abundanzwerte* und des *artspezifischen Gewichts* sind allein auf Unterschiede zwischen der Fungizidparzelle und den anderen Behandlungen zurückzuführen.

5.4 Bewertung

In Labor- und Feldversuchen wurde die Auswirkung von Chlortetrazyklin- und Sulfadiazin- bzw. Trimethoprim-Rückständen in der Gülle auf Regenwürmer und Collembolen getestet.

Testparameter waren im Laborversuch die LC_{50} , im Feldversuch signifikante Veränderungen der Individuendichte, der Biomasse, der Abundanz und des artspezifischen Gewichtes der Regenwurmtaxozönose.

Die LC_{50} -Werte der Antibiotikarückstände lagen für den Regenwurm (*Eisenia fetida*) in der Größenordnung einer Aufwandmenge von über 80 m³ Gülle/ha. Das sind Mengen, die praxisüblich nicht ausgebracht werden. Negative Auswirkungen der Antibiotikarückstände auf die LC_{50} waren in keinem Fall zu erkennen.

Bei den Collembolen lagen die Gülle-Äquivalente für die LC_{50} zwischen 10 und 17 m³/ha und damit durchaus in Bereichen der praxisüblichen Düngung. Die im Vergleich zum Regenwurm-Test geringeren LC_{50} -Werte waren sowohl bei den antibiotikahaltigen Güllen als auch bei den 0-Güllen zu beobachten.

Auch im Freiland war kein signifikanter Einfluss der Chlortetrazyklin- und Sulfadiazin- bzw. Trimethoprim-Rückstände in der Gülle auf die Individuendichte, Biomasse, Abundanz und auf das artspezifische Gewicht der Freiland-Regenwurm-Taxozönosen festzustellen.

5.5 Literaturverzeichnis

ANDRE, F. (1963): Contribution a l'analyse experimental de la reproduction des lombriciens. Bull. Biol. Fr. Belg. 97, 1-101.

ANONYM (1993): ISO: International Standard 11267. Soil quality – Inhibition of reproduction of Collembola by soil pollutants.

ANONYM (1993): ISO: International Standard 11268-1. Soil quality – Effects of pollutants on earthworms- Part 1: Determination of acute toxicity using artificial soil substrate.

ANONYM (1999): ISO: International Standard 11268-3 Soil quality – Effects of pollutants on earthworms- Part 3: Guidance on the determination of effects in field situations.

DOMINGUEZ, J., VELANDO, A. & A. FERREIRO (2004): Are Eisenia fetida and Eisenia andrei different biological species? Pedobiologia 49, 81–87.

SACHS, L. (2002): Angewandte Statistik. – Berlin, Heidelberg, New York 889p.

WEBER, E. (1967): Grundriss der biologischen Statistik, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 6. Auflage.

6 Persistenz und Verlagerung von Antibiotika im Boden

Günter Henkelmann und **Kristina Mosandl**, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

6.1 Einleitung

Zu den wichtigsten antibiotisch wirksamen Stoffen für den Einsatz beim Nutztier gehören die Tetracykline und Sulfonamide. Aus der Literatur ist bekannt, dass therapeutisch eingesetzte Tetracykline zu etwa 80 %, Sulfonamide zu etwa 50 % mit dem Kot und Urin wieder ausgeschieden werden. Der Abbau dieser Stoffgruppen erfolgt bei der Lagerung nur sehr langsam. Über die Gülle werden die Antibiotika in den Boden eingetragen und können dort für eine bestimmte Zeit verbleiben, metabolisiert, abgebaut oder möglicherweise verlagert werden. Aufgrund der hohen biologischen Wirksamkeit dieser Stoffe war es ein Ziel dieses Teilprojekts im Forschungsvorhaben „Fachliche Überprüfung und Neubewertung von Wirtschaftsdüngern“ über den Verbleib der Antibiotika im Boden, die Sorption und die Verlagerung Erkenntnisse zu gewinnen.

6.2 Material und Methoden

6.2.1 Versuchsanlage

In mehreren Projektphasen wurden Untersuchungen mit den Wirkstoffen Chlortetracyclin, Sulfadiazin und Trimethoprim durchgeführt. Der Wirkstoff wurde unter definierten Bedingungen in therapeutischen Mengen bei Schweinen angewendet und die gewonnene Gülle in Labor- und Feldversuchen eingesetzt. Die Versuchsgüllen enthielten Maximalgehalte von 168 mg Chlortetracyclin bzw. 160 mg Sulfadiazin und 24 mg Trimethoprim.

6.2.2 Sorption von Antibiotika im Laborversuch

Radioaktives C¹⁴-Sulfadiazin und C¹⁴-Trimethoprim wurde in wässriger Lösung zu gleichen Einwaagen von Böden, getrockneter Gülle, Humus, Ton, Heu, Eisenoxid, Aluminiumoxid und Kalziumoxid zugegeben. Gleiche Versuche wurden ohne C¹⁴-Markierung mit Chlortetracyclin durchgeführt. In anfangs täglichen, dann wöchentlichen Abständen wurden Proben entnommen und in einem Flüssigszintillationszähler mit 10 ml Aquasafe 500 (Fa. Zinsser) auf C¹⁴ untersucht.

6.2.3 Lysimeteruntersuchungen

In 12 großen Lysimetern mit einer Oberfläche von 0,8 m² und in 12 Kleinlysimetern mit einem Durchmesser von 20 cm wurden Sorptions- und Verlagerungsversuche mit den o.g. Antibiotikawirkstoffen durchgeführt. Diese wurden in praxisüblichen Mengen mit Gülle ausgebracht. Sulfadiazin und Trimethoprim wurden C¹⁴-markiert eingesetzt. Als Versuchsboden diente ein Lösslehm aus Puch mit einem C_{org}-Gehalt von 1 % und einem Tongehalt von 17,6 %. Gegen Ende des Untersuchungszeitraums im Jahre 2005 wurden die Lysimeter bis in eine Tiefe von 50 cm beprobt.

6.2.4 Feldversuche 2003-2005

Insgesamt wurden in den Jahre 2003-2005 drei Feldversuche mit Chlortetrazyklin (CTC) und zwei Feldversuche mit Sulfadiazin / Trimethoprim (Antastmon) in Pulling bei Freising durchgeführt. Die in Fütterungsversuchen erzeugten Schweinegülle wurden auf dem Ackerstandort (Pulling) praxisnah in Mengen bis zu 30 m³/ha zu Mais ausgebracht. In den Jahren 2004 und 2005 wurden gleichzeitig auf einem Grünlandstandort in Kempten Parallelversuche mit gleicher Versuchsanstellung angelegt.

Tab. 11: Standort- und Bodenkenndaten der Versuchsstandorte

Versuchsfläche	pH	Ton (%)	Schluff (%)	Sand (%)	N _t (%)	Corg (%)	CaCO ₃ (%)	Nieder-schlag (mm)
Pulling I	7,2	39	52	9	0,44	3,33	56	739
Pulling II	7,3	28	64	8	0,52	5,59	31	
Pulling III	7,2	25	60	15	0,20	2,0	63	
Kempten I, II	6,8	31	40	29	0,53	4,96	n.n.	1265

Die Bodenproben wurden anfangs wöchentlich, später monatlich (in 10 cm Schichten) bis zu einer Tiefe von 50 cm gezogen.

6.3 Ergebnisse

6.3.1 Sorption von Antibiotika im Boden / Persistenz (Laboruntersuchungen)

6.3.1.1 Sorption und Persistenz von Chlortetrazyklin (ohne radioaktiven Wirkstoff)

Aus der Literatur ist bekannt, dass die Antibiotika aus der Tetrazyklingruppe im Boden schnell sorbiert werden (HAMSCHEER et al., 2000). HÖPER et al. (2002) berichten, dass es zu Anreicherungen von Chlortetrazyklin im Boden kommen kann.

In eigenen Laboruntersuchungen wurde herausgefunden, dass die Sorption der Tetrazykline vorwiegend an die Tonminerale erfolgt. Die Stärke der Sorption hängt von der spezifischen Oberfläche der Bodenpartikel und dem pH-Wert des Bodens ab. Zudem bilden die Tetrazykline Komplexe mit mehrwertigen Kationen im Boden, wobei die Stabilität von dreiwertigen Ionen, z. B. Eisen und Aluminium, größer ist als ein Komplex an Magnesium oder Kalzium.

6.3.1.2 Sorption und Persistenz von Sulfadiazin (mit radioaktiven Wirkstoff)

Auf drei unterschiedlichen Versuchsböden wurden jeweils gleiche Mengen radioaktiv markiertes C14-Sulfadiazin aufgetragen. Wie der folgenden Abb. 13 zu entnehmen ist, verhalten sich die beiden Böden aus Pulling bezüglich der Sorption von C14-Sulfadiazin nahezu identisch. Der Kemptener Grünlandboden wurde den beiden Pullinger Standorten aus den Jahren 2003 und 2004 gegenübergestellt.

Die steilere Kurve beim Kemptener Boden zeigte, dass die Sorption sehr viel schneller erfolgt wie beim Pucher Boden, d.h. nach der gleichen Zeit (z. B. nach 100 Stunden) waren im Laborversuch bei den Pullinger Böden etwa 15 % sorbiert, beim Kemptener Boden etwa 40 %.

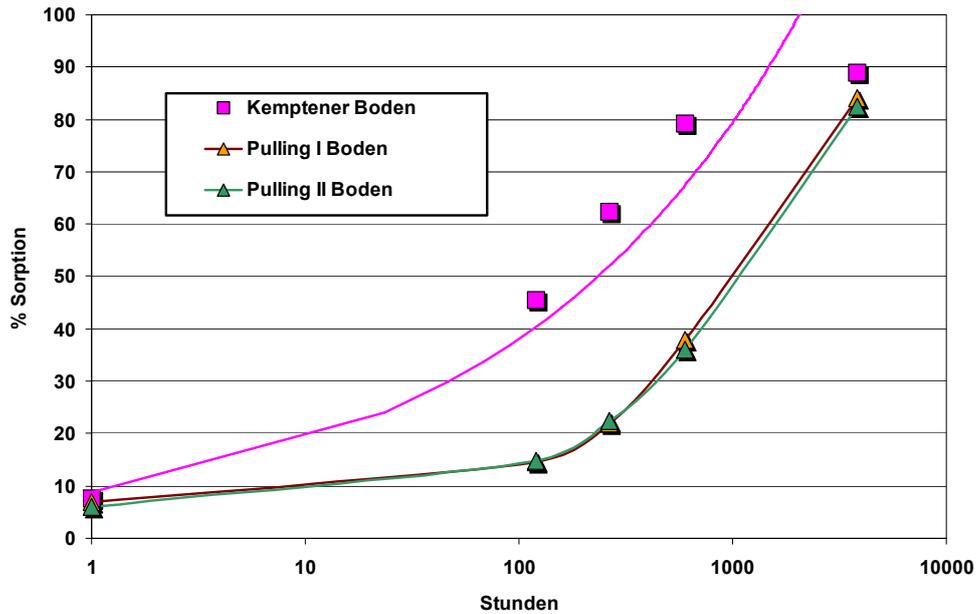


Abb. 13: Sorptionskinetik von C14 Sulfadiazin an die Böden des Freilandversuchs in Pulling I (2003), Pulling II (2004) und Kempten

Die Laboruntersuchungen ergaben einen deutlichen Unterschied zwischen Tetrazyklinen und Sulfonamiden.

Während Tetrazykline sehr stark und sehr schnell im Boden sorbiert werden und lange im Boden verbleiben, persistent sind, wurden die Sulfonamide weniger stark an die Bodenmatrix der Ackerstandorte sorbiert.

Ein hoher Tongehalt fördert die Sorption der Tetrazykline. Dies zeigen auch Untersuchungen von WINCKLER, C., GRAFE, A., 2000. Ein hoher Anteil von Kalziumkarbonat und damit ein höherer pH-Wert bewirkte ebenfalls eine stärkere Fixierung von CTC im Boden.

Es konnte gezeigt werden, dass die Sorption von Sulfadiazin vor allem an organische Bestandteile im Boden, wie z. B. Wurzelanteile und Stroh erfolgte.

6.3.2 Lysimeteruntersuchungen im Freiland

Bei allen untersuchten Sickerwasserproben der Lysimeter war CTC und Sulfadiazin im Anwendungsjahr nur in Spuren nachweisbar. Alle Konzentrationen lagen weit unterhalb der Quantifizierungsgrenze von 3 µg CTC pro l Wasser. Eine längerfristige Sickerwasseruntersuchung über mehrere Jahre konnte aus zeitlichen Gründen leider nicht durchgeführt werden.

Trimethoprim konnte wegen der geringen Ausgangskonzentrationen nicht untersucht werden.

Zwölf Monate nach Aufbringung der CTC-Gülle auf die Lysimeter wurden diese in 10 cm Schichten beprobt und auf Chlortetrazyklin untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass CTC vor allem in den obersten Bodenschichten zu finden war (Abb. 14).

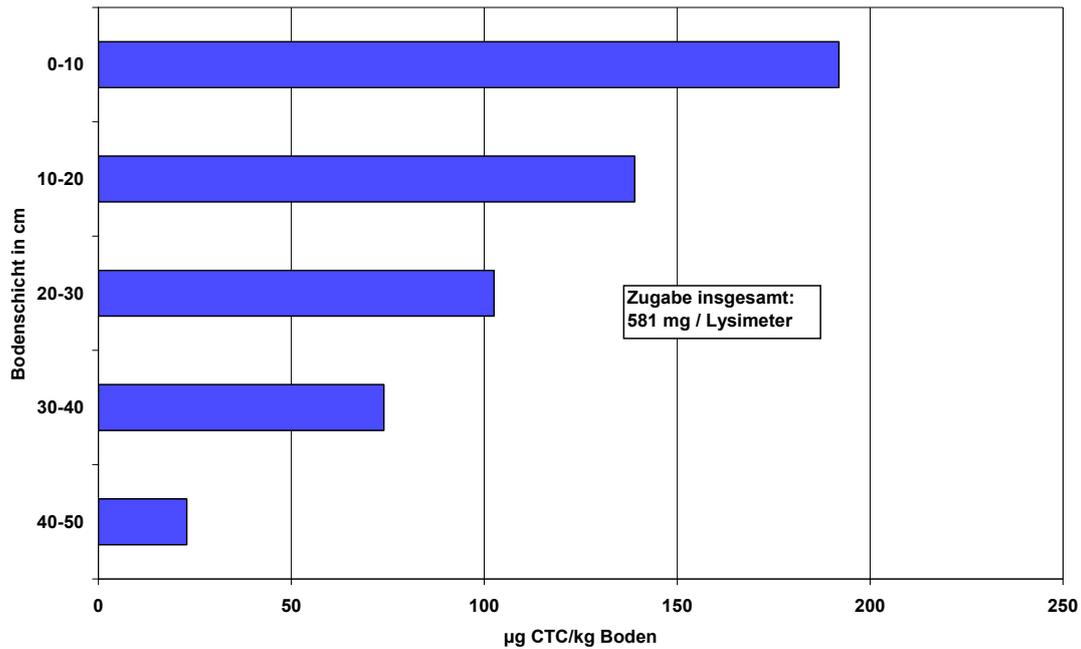


Abb. 14: Tiefenverlagerung von Chlortetrazyklin und Epi-CTC (als Summensignal) am Beispiel eines Lysimeters

Aber auch in tieferen Schichten konnte CTC und Epi-CTC nachgewiesen werden. Der Wirkstoff wurde vermutlich durch Makroporen, Wurzelkanäle etc. im Boden verlagert. Von den insgesamt aufgetragenen 581 mg CTC wurden 4 % in der obersten Bodenschicht (0-10 cm), 2,9 % bei 10-20 cm und 2,1 % zwischen 20 und 30 cm gefunden. Als Gesamtsumme über alle 5 Schichten ergab sich eine Menge von 11 % des eingesetzten Wirkstoffs nach einem Jahr im Freiland.

6.3.3 Feldversuche mit Chlortetrazyklin (CTC)

In den Feldversuchen in Pulling wurden ausschließlich die extrahierbaren Anteile von Chlortetrazyklin untersucht.

Die Ergebnisse eines Untersuchungsjahres (2005) sind in der Abb. 15 dargestellt. In der obersten Bodenschicht (0-10 cm) nahm die extrahierbare Menge an Chlortetrazyklin in den ersten Tagen stark ab. Durch starke Sorption an den Boden war schon nach drei Tagen nur noch etwa 6 % der ursprünglich aufgebrachten Menge nachweisbar. Mit einsetzenden Niederschlägen im April stieg der extrahierbare Anteil an CTC zwar leicht wieder an, blieb aber insgesamt auf einem niedrigen Niveau. Dies deutet auf eine reversible Sorption an den Boden hin.

In der Bodenschicht zwischen 10 und 20 cm konnte anfangs eine starke Erhöhung der Gehalte in dieser Bodenschicht beobachtet werden. Dies kann starken Niederschlägen im Zeitraum bis Mai 2005 zugeordnet werden. Hier erfolgte eine Verlagerung des Wirkstoffs vermutlich durch Makroporentransport in tiefere Bodenschichten. Nach dem 14.05.2005 wurde jedoch in dieser Bodenschicht ein niedriges Niveau unter 100 µg/kg Boden erreicht. In der Bodenschicht zwischen 20 und 30 cm kam es nur unmittelbar nach der Aufbringung der Gülle zu geringfügigem Makroporentransport in diese Bodenschicht. In den tieferen Bodenschichten (30-40 cm und 40-50 cm) war zu keinem Untersuchungszeitpunkt CTC über der Bestimmungsgrenze nachweisbar.

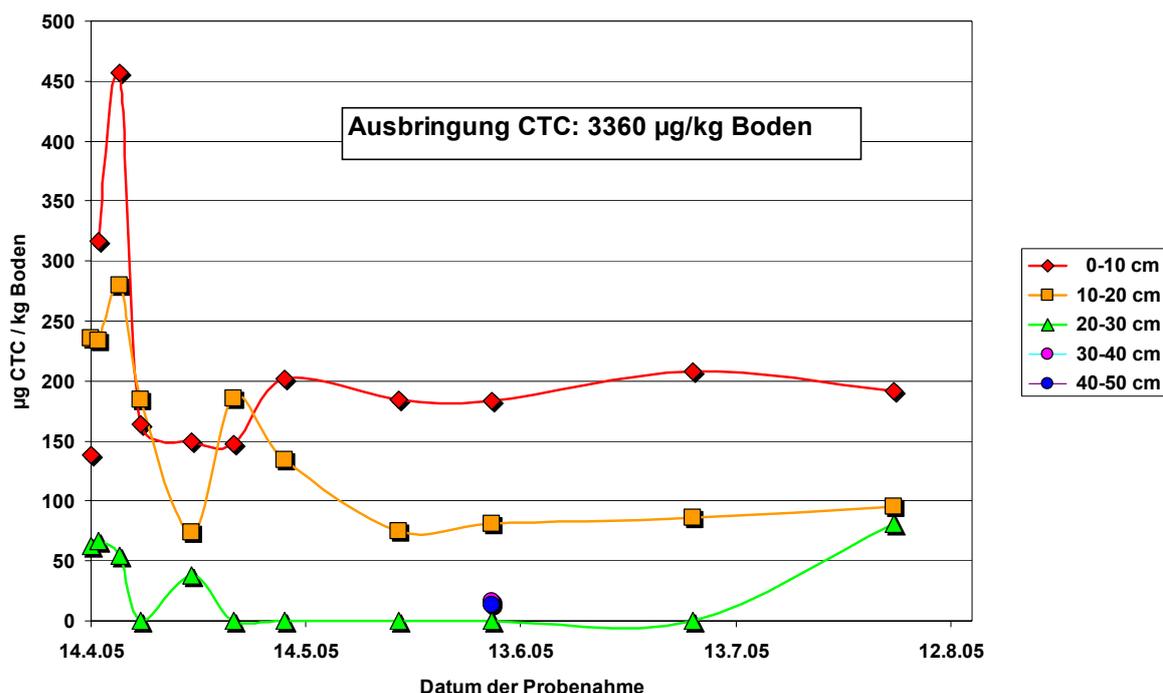


Abb. 15: CTC-Gehalte im Boden zwischen 0 und 50 cm im Pullinger Feldversuch 2005

Aus Parallelversuchen am Standort Kempton ging hervor, dass die Sorption an die Bodenmatrix sich über einen längeren Zeitraum hinzog wie auf dem Standort in Pulling. Die hohen Kalziumcarbonat - Gehalte am Pullinger Standort verstärken die Fixierung von CTC und die schnelle Sorption an den Boden.

6.4 Schlussfolgerungen

In allen Labor- und Feldversuchen zeigte sich Chlortetrazyklin als persistenter Wirkstoff im Boden. Er bindet gut an Tonminerale und an höherwertige Metallionen. Zudem bewirkt ein höherer pH-Wert (CaCO_3) eine bessere Fixierung im Boden. Bei den von uns verwendeten Versuchsgüllen wurden auch bei praxisnaher Ausbringung Konzentrationen gefunden, die über dem sog. Triggerwert von $100 \mu\text{g/kg}$ Boden lagen. Der Triggerwert wurde von der "International Cooperation on Harmonisation of Technical Requirements for Registration of Veterinary Products (VICH, 2000; EMEA, 1998)" im Rahmen der Zulassung von Veterinärmedikamenten als Schwellenwert definiert und sollte langfristig nicht überschritten werden. Dabei ist zu beachten, dass die CTC-Konzentrationen der Versuchsgüllen in den Feldversuchen etwa Faktor 3 über den Maximalgehalten der Praxisgüllen aus dem Güllemonitoring lagen (siehe HARMS UND MEYER „Antibiotikarückstände in Gülle“ im Tagungsband).

Für den Wirkstoff Chlortetrazyklin sind Einträge ins Grundwasser durch die starke Sorption und Persistenz im Oberboden bisher noch nicht nachgewiesen worden und kaum zu erwarten. Lediglich durch Makroporenfluss kann es zu Verlagerungen im Boden und einem Eintrag in oberflächennahes Grundwasser oder Dränagen kommen.

Das ebenfalls eingesetzte Sulfadiazin zeigte sich in Labor-, Lysimeter- und Feldversuchen weniger persistent. Das Wirkstoffverhalten war bestimmt durch die Sorption an organische Verbindungen und an Wurzeln im Boden. Eine Verlagerung in tiefere Bodenschich-

ten und damit auch die Möglichkeit zu Einträgen ins oberflächennahe Grundwasser ist durch die höhere Mobilität des Wirkstoffs auf Ackerstandorten nicht auszuschließen.

6.5 Literaturverzeichnis

EMEA (1998): European Agency for the Evaluation of Medicinal Products; Committee for Veterinary Medicinal Products: Note for guidance: environmental risk assessment of veterinary medical products other than GMO-containing and immunological products. EMEA/CVMP/055/96-FINAL (1998), EMEA London.

HAMSCHER, G., SCZESNY, S., ABU-QARE, A., HÖPER, H., NAU, H. (2000): Stoffe mit pharmakologischer Wirkung einschließlich hormonell aktiver Substanzen in der Umwelt: Nachweis von Tetracyklinen in güllegedüngten Böden. Dtsch. tierärztl. Wschr. 107, (8), 293-348.

HÖPER, H., KUES, J., NAU, H. UND HAMSCHER, G. (2002): Eintrag und Verbleib von Tierarzneimittelwirkstoffen in Böden. Bodenschutz 4, 141-148.

VICH (2000): International cooperation on Harmonisation of Technical Requirements for Registration of Veterinary Medicinal Products. Environmental Impact Assessment (EIAs) for Veterinary Medicinal Products (VMPs)-Phase I. COMISA Brüssel, 9 S. (<http://vich.eudra.org/htm/guidelines.htm>)

WINCKLER, C., GRAFE, A., (2000): Charakterisierung und Verwertung von Abfällen aus der Massentierhaltung unter Berücksichtigung verschiedener Böden. UBA-Text 44/00. Umweltbundesamt, Umweltforschungsplan des BMU, Forsch. Bericht 29733911, 1-145.

7 Übergang von Antibiotika aus der Gülle in Wasser

Dr. Manfred Sengl, Bayerisches Landesamt für Umwelt, München

7.1 Eintragswege

Verschiedene häufig angewandte Veterinärantibiotika und ihre Abbauprodukte können in Gülle in relevanten Konzentrationen (mg/kg-Bereich) detektiert werden. Nach Ausbringen der Gülle als Wirtschaftsdünger können diese Inhaltsstoffe prinzipiell mit dem Sickerwasser oder durch oberflächliche Abschwemmung in das Grundwasser und in oberirdische Gewässer gelangen.

Neben der systematischen Betrachtung der Eintragswege kann durch Expositionsuntersuchungen in potentiell belasteten Gebieten ein Einblick in den Eintrag von Antibiotika in Grundwässer und oberirdische Gewässer gewonnen werden.

7.2 Analytik

Für die meisten Arzneimittelwirkstoffe standen erst in den letzten Jahren mit der zunehmenden Verfügbarkeit und Nachweisstärke der LC-MS-Technik empfindliche Nachweisverfahren (unterer ng/l-Bereich) zur Verfügung.

Die Auswahl der relevanten Wirkstoffe wird allerdings durch die Tatsache erschwert, dass keine genauen Angaben zum mengenmäßigen Verbrauch einzelner Veterinärantibiotika vorliegen.

Standardsubstanzen der Hauptmetaboliten sind nur in Einzelfällen im einschlägigen Fachhandel erhältlich.

7.3 Ausgewählte Untersuchungsergebnisse

7.3.1 Ergebnisse LfW 1999-2001

Die stichprobenhafte Untersuchung oberflächennaher Grundwässer in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten auf Tetracycline, Sulfonamide und Makrolidantibiotika ergab nur zwei positive Befunde (Sulfathiazol 0,02 µg/l und Trimethoprim 0,04 µg/l). Im Dränwasser eines leicht geneigten Hanges, auf dem regelmäßig die Gülle eines Schweinemastbetriebes verregnet wird, sowie im anschließenden Sammelkanal und Bach konnte Sulfadimidin in allen Proben mit maximal 0,11 µg/l und Sulfadiazin einmalig mit 0,05 µg/l nachgewiesen werden.

7.3.2 Bundesweites Arzneimittelmonitoring (Bund/Länderausschuss Chemikaliensicherheit – BLAC)

In den Jahren 2000/01 wurden bundesweit Daten für Arzneimittelwirkstoffe und einige Metaboliten in Abwasser, Oberflächenwasser, Uferfiltrat, Grundwasser und Deponiesickerwasser erhoben. Während in Grundwässern keine Rückstände von Veterinärantibiotika festgestellt wurden, war Sulfadimidin in 18 von insgesamt 136 Einzelproben aus oberirdischen Gewässern nachweisbar, allerdings nur in zwei Fällen in Konzentrationen >0,05 µg/l. Amoxicillin wurde nur in einer von 50 Proben in einer Konzentration von 0,1 µg/l gefunden. Tetracyclin, Chlortetracyclin, Chloramphenicol, Sulfadiazin und Sul-

famerazin waren in keiner Probe zu finden. Das häufig positiv festgestellte Trimethoprim stammt mit hoher Wahrscheinlichkeit aus der Verwendung in Humanarzneimitteln.

7.3.3 Untersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Niedersachsen (Hamscher, Tierärztliche Hochschule Hannover)

Im Untersuchungszeitraum 2000-2004 wurden auf Dauerbeobachtungsflächen Güllen mit bekannten Gehalten an Tetracyclinen (Σ Tetracyclin/Chlortetracyclin 0,08 - 45,3 mg/kg) und Sulfonamiden (Σ Sulfadiazin/Sulfadimidin 0,34 - 2,87 mg/kg) nach guter fachlicher Praxis ausgebracht. Das Sickerwasser wurde in regelmäßigen Abständen in 1,40 m Tiefe mit Hilfe von Saugkerzen gewonnen.

Im Gegensatz zu den Sulfonamiden reichern sich die Tetracycline im Oberboden in Konzentrationen $>100 \mu\text{g/kg}$ an. 2003 wurde erstmals trotz dieser ausgeprägten Sorption am Boden im Sickerwasser Tetracyclin im Bereich von $0,1 \mu\text{g/l}$ nachgewiesen. Sulfadimidin ist dagegen in den meisten Wasserproben in Konzentrationen bis $0,24 \mu\text{g/l}$ zu finden.

7.3.4 Antibiotika in bayerischen Trinkwassergewinnungsanlagen

In den Jahren 2002/2003 wurden im Auftrag des damaligen Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Gesundheit und Verbraucherschutz 51 bzw. 55 für die Trinkwassergewinnung genutzte Brunnen bzw. Quellen auf bis zu 25 Antibiotika untersucht (Bearbeitung: Dr. Mückter, LMU München; Analytik: Dr. Ternes, Bundesanstalt für Gewässerkunde). Mehr als die Hälfte der untersuchten Wirkstoffe waren ausschließlich oder auch Veterinärantibiotika. In der zweiten Untersuchungsrunde wurden sehr niedrige Bestimmungsgrenzen (z. B. Sulfamerazin $0,005 \mu\text{g/l}$) erreicht.

In den Wasserproben konnte nur das fast ausschließlich im Humanbereich eingesetzte Sulfonamid Sulfamethoxazol in 6 bzw. 11 Anlagen in Konzentrationen von bis zu $0,066 \mu\text{g/l}$ nachgewiesen werden. Eine Belastung des Rohwassers mit Veterinärantibiotika ist somit nicht gegeben.

7.3.5 Untersuchungen in bayerischen Oberflächengewässern 2005

Im Rahmen eines Projektes der Bundesanstalt für Gewässerkunde wurden 2005 zwei Kläranlagenabläufe und 15 oberirdische Gewässer einmalig auf eine Vielzahl von Antibiotika untersucht (Sulfonamide/Trimethoprim, Tiamulin, Makrolide, Metronidazol, Ketokonazol, Florfenicol, Acyclovir, Josamycin – Analytik Dr. Ternes, BfG). Die Auswahl der Messstellen erfolgte unter dem Aspekt einer potenziellen Belastung mit Arzneimittelwirkstoffen (z. B. Fluss unterhalb einer Abwassereinleitung mit hohem Anteil von Klinikabwasser, Graben unterhalb eines Putenmastbetriebs etc.).

Bei nochmals verbesserten Bestimmungsgrenzen (Sulfonamide $0,002 \mu\text{g/l}$) konnte kein Veterinärantibiotikum im Wasser nachgewiesen werden. Auch in den parallel untersuchten Sedimentproben war kein positiver Befund feststellbar.

7.4 LfU-Projekt „Auswaschung Wirtschaftsdünger“ (Projektleitung Dr. Weiß)

Im Projekt „Auswaschung Wirtschaftsdünger“ wird das Auswaschungsverhalten von Tierarzneimittelwirkstoffen und ihrer Metaboliten bei simuliertem Starkregen nach Gülleausbringung studiert.

Die Versickerungsversuche wurden auf gedränten, landwirtschaftlich genutzten Flächen (Tiefe des Dränrohres ca. 1 m) und über einem ehemaligen Trinkwassersammler (perforiertes Rohr im Grundwasserstrom in ca. 4 m Tiefe) durchgeführt. Die Größe der Versuchsflächen betrug jeweils 10 x 30 m. In der verwendeten Gülle waren max. 1,7 mg/l Sulfadimidin und 1 mg/l des pharmakologisch inaktiven N⁴-Acetyl-Sulfadimidins enthalten. Die Gülle wurde nach der Schleppschlauchmethode streifenförmig ausgebracht, die Düngemenge betrug nach Empfehlung der Düngeverordnung 25 m³/ha. Unmittelbar nach der Düngung wurde mit einer Beregnungsanlage ein Starkregen von 50 mm in 2,5 Stunden simuliert, der einsetzende Dränfluss quantitativ erfasst sowie das Sickerwasser mit einem automatischen Probennehmer in Form von halbstündigen Mischproben beprobt. 30 -40 % der ausgebrachten Wassermenge wurden innerhalb weniger Stunden über die Dräne abgeleitet.

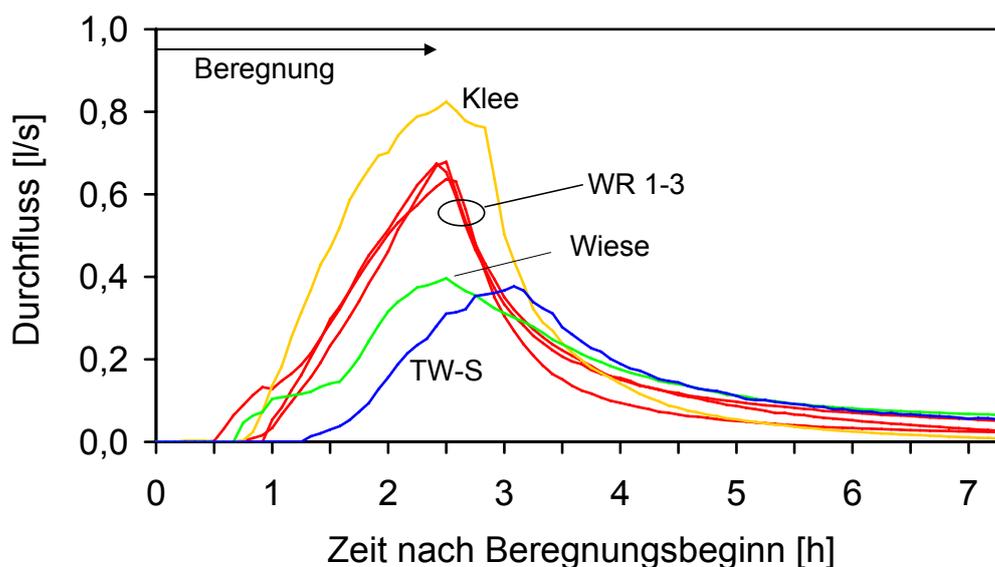


Abb. 16: Abflussganglinien der Dränen und des Trinkwassersammlers
(WR 1-3 = Ackerstandort mit Winterroggen, W = Wiesenstandort mit Torfböden, Klee = Ackerstandort mit Klee gras, TW-S = Trinkwassersammler)

An allen gedüngten Standorten wurde im Dränwasser Sulfadimidin und der Metabolit N⁴-Acetyl-Sulfadimidin gefunden. Die maximalen Konzentrationen lagen dabei bei ca. 13 µg/l zu Beginn des Dränflusses und nahmen danach kontinuierlich ab.

Die in den Untergrund verlagerten Frachten lagen zwischen 0,5 % und 2,7 % des mit der Gülle ausgebrachten Sulfadimidins. Die Frachten des Sulfadimidin-Metaboliten lagen in der gleichen Größenordnung.

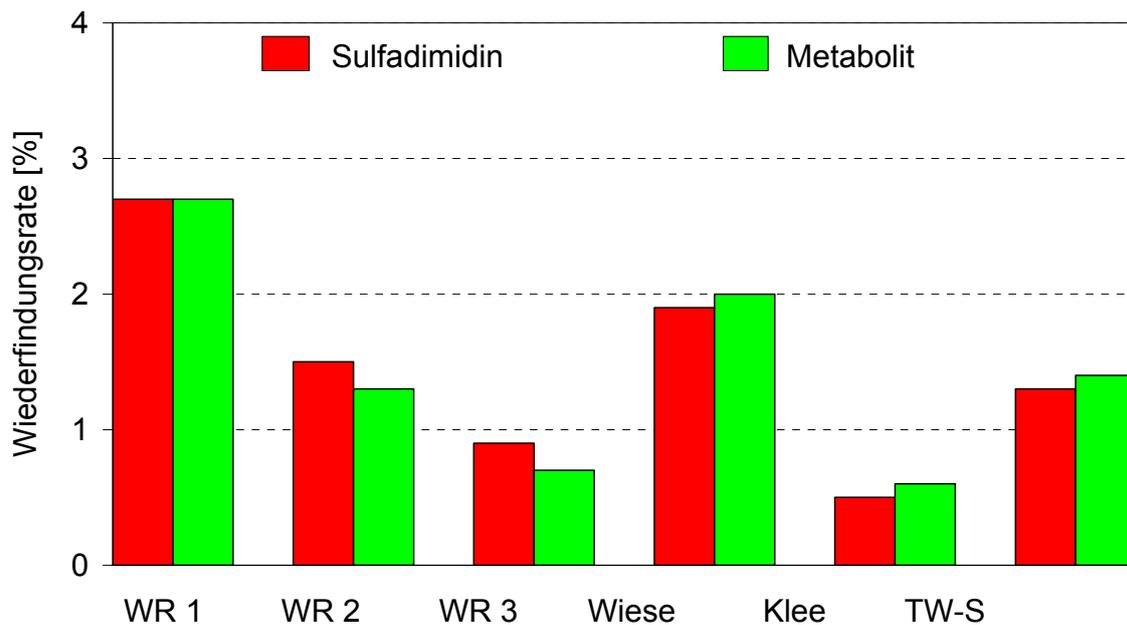


Abb. 17: Wiederfindungsraten von Sulfadimidin und Sulfadimidin-Metabolit in Dränabflüssen und in einem Trinkwassersammler (Zuordnung der Standorte siehe Abb. 16)

Die Wiederfindungsraten im Sickerwasser lassen keine deutliche Abhängigkeit vom Standort, der Art der Bewirtschaftung sowie der Bodenbearbeitung erkennen. Verschiedene Berechnungsflächen (Parzellen auf einem Standort) wiesen eine ähnliche Variabilität in der Auswaschung auf wie unterschiedlich bewirtschaftete Standorte.

Berücksichtigt man zusätzlich die Tatsache, dass über den Drän nicht das gesamte Sickerwasser der berechneten Fläche erfassbar ist, zeigen die Ergebnisse einen erheblichen Eintrag von Antibiotika und Metaboliten aus der Gülle in den Untergrund.

7.5 Bewertung der Ergebnisse

- In Abhängigkeit von den chemisch-physikalischen Eigenschaften ist eine unterschiedlich starke Abschwemmung von Antibiotika in oberirdische Gewässer bzw. eine Auswaschung in den Untergrund zu erwarten. Die am häufigsten in Wässern gefundenen Antibiotika gehören zur Gruppe der Sulfonamide.
- Die vorliegenden Expositionsdaten für oberirdische Gewässer zeigen derzeit eine geringe Belastung mit Tierarzneimittelwirkstoffen (geringe Zahl positiver Befunde bei niedrigen gemessenen Konzentrationen in der Wasserphase). An Sedimenten wurden keine adsorbierten Wirkstoffe festgestellt.
- In zur Trinkwassergewinnung genutzten Brunnen bzw. Quellen wurde bislang keine Belastung mit Antibiotika gefunden, die in der Tiermedizin Anwendung finden.
- Tierarzneimittelwirkstoffe und ihre Metaboliten können aber in nennenswerter Menge in oberflächennahe Bereiche ausgewaschen werden. Die weitere Verlagerung dieser Stoffe in tiefere Schichten ist noch nicht näher untersucht.

- Zum Schutz oberflächennaher Grundwässer in landwirtschaftlich genutzten Gebieten ist im Sinne des Vermeidungsgebots eine Minimierung des Tierarzneimitelesatzes angezeigt.

7.6 Literaturverzeichnis

BUND/LÄNDERAUSSCHUSS FÜR CHEMIKALIENSICHERHEIT (BLAC) (2003): Arzneimittel in der Umwelt – Auswertung der Untersuchungsergebnisse. November 2003 (www.blac.de, Rubrik „Publikationen“).

KOSCHORRECK, JAN ET AL. (2005): Arzneimittel in der Umwelt – Zu Risiken und Nebenwirkungen fragen Sie das Umweltbundesamt. UBA-Texte 29/05, Dezember 2005.

WEIB K., SCHÜSSLER W., PORZELT M. (2006): Quantifizierung von Sulfadimidin im Sickerwasser nach Beregnung gedüngter Flächen. Vom Wasser, im Druck.

WINCKLER, CHRISTOPH & GRAFE, ALEXANDER (2000): Charakterisierung und Verwertung von Abfällen aus der Massentierhaltung unter Berücksichtigung verschiedener Böden. UBA-Texte 44/00, Oktober 2000.

8 Vorkommen von Antibiotika in Lebensmitteln pflanzlichen und tierischen Ursprungs

Prof. Dr. Manfred Grote, Fakultät für Naturwissenschaften Department Chemie, Universität Paderborn

8.1 Einleitung und Zielsetzung

Zu den verordnungstärksten human- und veterinärmedizinischen Therapeutika zählen Antibiotika. In der EU stehen ca. 650 Wirkstoffe zur Anwendung auf Lebensmittel liefernde Tiere zur Verfügung. Von besonderer Bedeutung aus der Tetracyclin-Wirkstoffgruppe ist Chlortetracyclin (CTC), das vor allem bei Schweinen als Fütterungsarzneimittel eingesetzt wird. Sulfonamide werden zusätzlich appliziert, wie z. B. Sulfadiazin (SFD) kombiniert mit Trimethoprim (TMP). Die intensive Anwendung von Antibiotika in der landwirtschaftlichen Tierhaltung ist mit dem steigenden Risiko der Resistenzbildung bei humanpathogenen Mikroorganismen verbunden. Als Konsequenz wurde die subtherapeutische Anwendung von Antibiotika in der EU (VO 1831/2003/EEC) zum Zwecke der Leistungsförderung verboten, so dass ab dem Jahresbeginn 2006 Antibiotika nur noch nach tierärztlicher Verschreibung für therapeutische Zwecke angewendet werden dürfen (VOCKEL, 2005; VOCKEL et al., 2005).

Antibiotika-Einträge in die Nahrungskette über Lebensmittel tierischer Herkunft werden im Rahmen von Rückstandskontrolluntersuchungen (Muskulatur, Milch, Eier) überwacht. Bestimmte Grenzwerte (MRL = Maximum Residue Limit) dürfen nicht überschritten werden. Dabei ist vorgeschrieben (EU-Verordnung EWG Nr. 2377/90), dass Tetracycline als Summengehalte von Wirkstoff und Epimeren zu bestimmen sind. Tetracycline bilden aber, wie z. B. CTC, neben dem Epimer (e-CTC) weitere Umwandlungs- und Abbauprodukte, vereinfachend „Metabolite“ genannt (Abb. 18), die erst in neuerer Zeit auf Grund ihrer möglichen antibiotischen Aktivität, resistenzfördernden Wirkung und Toxizität Beachtung finden. Für diese Komponenten standen bisher keine validierten Bestimmungsmethoden zur Verfügung, und sie werden bei Rückstandskontrollen nicht berücksichtigt. Deshalb wurden Analysenverfahren entwickelt und validiert, um bisher nicht erfassbare Chlortetracyclin-Metabolite identifizieren und quantifizieren zu können. Im Rahmen unserer Medikationsstudien sind diese Verfahren zur Stoffbilanzierung eingesetzt worden.

Zusätzlich sollte geklärt werden, ob über pflanzliche Lebensmittel ein weiterer Eintragspfad für Antibiotika in die Nahrungskette möglich ist. Um Erkenntnisse über den möglichen Antibiotika-Transfer Boden-Pflanze zu gewinnen, wurden im Anschluss an die Medikationsversuche unter praxisnahen landwirtschaftlichen Bedingungen Feldversuche durchgeführt.

8.2 Untersuchungsmethodik

In der Medikationsstudie am Landwirtschaftszentrum Haus Düsse, Bad Sassendorf, wurde eine Gruppe von 40 Schweinen unter landwirtschaftlich üblichen Bedingungen gehalten, definiert mit SFD, TMP und CTC medikamentiert und das Ausscheidungsverhalten in Urin und Faeces untersucht, sowie CTC-Rückstände (CTC + e-CTC) in Schlachtproben analysiert (VOCKEL et al., 2004). Für eine weiterführende Studie wurden an der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig, sechs Ferkel arzneimittelfrei

aufgezogen und dann in Stoffwechselläufigen eingestallt. Während der beiden zehntägigen Medikationsphasen wurden CTC, TMP und SFD mit dem Trockenfutter in einer maximal üblichen therapeutischen Dosis verabreicht, Urin und Kot getrennt gesammelt, beprobt und täglich zur Gülle vereinigt. „Tier 95“ wurde direkt nach Medikationsende geschlachtet, um eine Stoffbilanzierung unter Berücksichtigung weiterer CTC-Metabolite zu erreichen, die anderen Tiere nach Ablauf der vierzehntägigen Wartezeit (VOCKEL et al., 2005; GROTE et al., 2004).

Die aus jeder Medikationsphase resultierende Gesamtgülle wurde in Kübeln gelagert und monatlich beprobt (Versuchsgut Merklingsen, FH Südwestfalen, Abtlg. Soest). Nach 8-monatiger Lagerung wurde die Gülle auf Versuchspartellen zur Düngung ausgebracht, Winterweizen und Feldsalat ausgesät und beerntet. Boden wurde in unterschiedlichen Horizonten und Pflanzen bis zur Beerntung in verschiedenen Wachstumsstadien beprobt. Zusätzlich wurden in Hydrokultur Aufnahmeexperimente in Arzneistoff-dotierten Nährlösungen sowie Tracerstudien mit Tritium-markiertem Tetracyclin und Sulfamethazin durchgeführt.

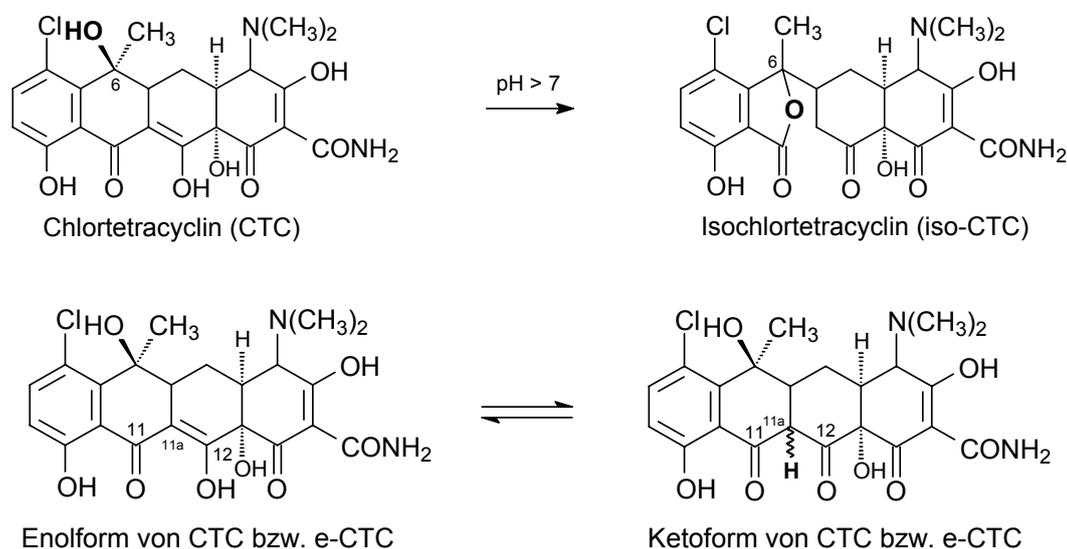


Abb. 18: Umwandlungsprodukte des Chlortetracyclins („Metabolite“, Auswahl)

Die Arzneistoffrückstände in den verschiedenen Probenarten wurden nach Anwendung geeigneter Extraktions- und Anreicherungsschritte mit HPLC-UV-MSⁿ-Methoden analysiert [5]. Die Validierung des Verfahrens zur Bestimmung von CTC-Rückständen in Muskulatur, Urin, Plasma, Faeces, Leber und Niere erfolgte nach den gültigen Normen und Richtlinien der DIN EN ISO/IEC 17025, der FDA sowie der EU-Richtlinie 2002/657/EG (VOCKEL, 2005; VOCKEL et al., 2005).

8.3 Ergebnisse

8.3.1 Medikationsstudien – Stoffbilanzierung

Die während der Medikationsphasen (FAL) in Faeces ermittelten Ausscheidungsmengen der analytisch bestimmbareren CTC-Komponenten sind in Abb. 19 am Beispiel eines Versuchstieres dargestellt. Von der applizierten Wirkstoffmenge wurden vom „Tier 95“ über Faeces 88 % und über Urin 5 % ausgeschieden.

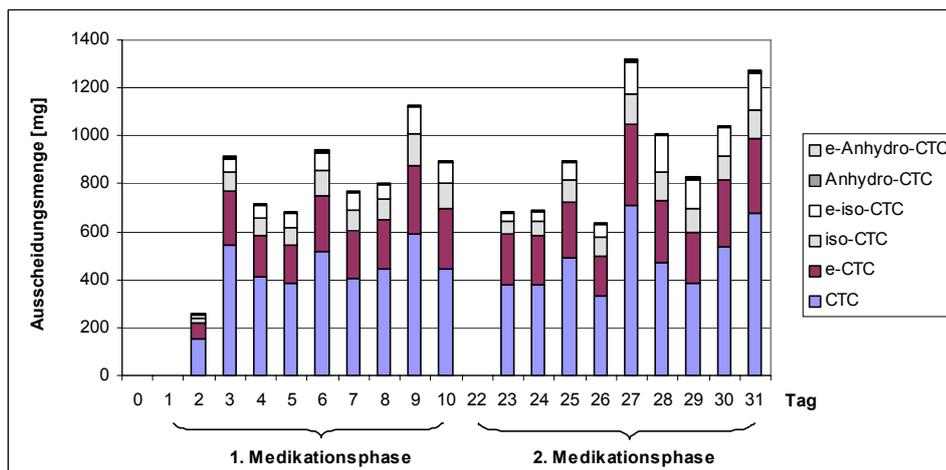


Abb. 19: Ausscheidungsprofil von CTC und Metaboliten in Faeces (Tier 95)

Auch Urin enthielt neben CTC und e-CTC höhere Anteile an antibiotisch nicht-aktivem iso-CTC und dem Epimer, sowie Spuren von Anhydro-CTC. Der prozentuale Anteil der Metabolite am CTC-Gesamtgehalt betrug bis zu 90 %. In Faeces war dieser Anteil mit Maximalwerten von 22 % deutlich geringer. Darüber hinaus konnte in Ausscheidungen und Muskelproben das Keto-Tautomer des e-CTC (Abb. 18) massenspektroskopisch identifiziert werden.

In allen Schlachtproben wurden neben CTC vor allem epi-CTC, iso-CTC und epi-iso-CTC, in Faeces und Knochen auch geringfügige Mengen an Anhydro-CTC und dessen Epimer nachgewiesen (Tab. 12). Zu berücksichtigen ist, dass sich Umwandlungsprodukte des CTC- sowohl *in vivo* als auch *in vitro* während der Probenaufbereitung bilden.

Tab. 12: Vergleich verschiedener CTC-Summengehalte in Schlachtproben ohne Wartezeit (Tier 95, n = 2)

Matrix	Einheit	CTC	epi-CTC	Σ CTC + e-CTC	iso-CTC	e-iso-CTC	Σ_{total} CTC
Muskulatur	µg/kg	98,0	43,1	141,1	39,7	29,6	210,4
Leber	µg/kg	210,4	90,5	301,0	53,9	37,3	392,2
Niere	µg/kg	314,2	294,8	609,0	50,0	n.n.	659,0
*Knochen	mg/kg	43,6	9,2	52,8	1,2	0,2	54,3

*Anhydro-CTC und e-Anhydro-CTC: jeweils 0,03 µg/kg, sonst nicht nachgewiesen (n.n.)

Von den im Tier verbleibenden CTC war der größte Teil (2,7 %) im Knochen eingelagert. Vergleichsweise geringe Anteile wurden in Muskulatur (0,09 %), Leber (0,005 %) und Niere (0,001 %) gefunden. Die CTC-Gehalte, ermittelt als Summe von CTC und e-CTC, liegen in Höhe der MRL-Werte (Tab. 13) bzw. überschreiten diese geringfügig. Eine Berücksichtigung der isomeren Verbindungen (Σ_{total} CTC) führt jedoch zu einer deutlichen Überschreitung der Grenzwerte.

Tab. 13: Vergleich verschiedener CTC-Summengehalte in Schlachtproben nach 14-tägiger Wartezeit (Σ CTC + e-CTC) / Σ total CTC- Metabolite)

Matrix	Einheit	Tier 93	Tier 94	Tier 96	Tier 97	*MRL
Muskulatur	µg/kg	4,2 / 6,8	3,3 / 5,4	3,4 / 5,9	3,8 / 7,8	100
Leber	µg/kg	3,2 / 7,0	7,9 / 10,4	6,1 / 8,7	9,5 / 2,2	300
Niere	µg/kg	19,6 / 20,9	15,3 / 16,7	16,6 / 17,7	23,0 / 24,6	600
Knochen	mg/kg	26,1 / 27,9	24,8 / 26,2	21,3 / 22,2	21,8 / 24,3	--

*Maximum Residue Level gemäß VO (EG) Nr. 2377/90, 26.06.1990

Nach Ablauf der Wartezeit ließen sich in den übrigen vier Tieren durchschnittlich noch 1,4 % der applizierten CTC-Wirkstoffmenge nachweisen (Tab. 13). Zwar verringerten sich die Gesamt-CTC-Gehalte in der Muskulatur erheblich, aber in allen Schlachtproben waren neben CTC und e-CTC weitere Umwandlungs- und Abbauprodukte nachzuweisen. Diese sollten daher bei Rückstandskontrollen, die bisher auf die Summengehalte von CTC und e-CTC beschränkt sind, mit einbezogen werden. Die methodischen Voraussetzungen wurden dafür geschaffen.

8.3.2 Antibiotika-Transfer Boden - Pflanze

In der gelagerten Gülle der FAL-Medikationsstudie waren nach ca. 7 Monaten die anfangs relativ hohen Gehalte an Chlortetracyclinen (30 – 50 mg/kg CTC) um bis zu ~ 60 % reduziert worden. Dabei verschoben sich die Anteile der mikrobiell inaktiven Komponenten (iso-CTC) zu Ungunsten der aktiven. Die anfänglich hohe SFD-Konzentration (~300 mg/kg) reduzierte sich innerhalb von zwei Monaten deutlich, die des Hauptmetaboliten N4-Acetyl-SFD noch mehr. Mit der einmaligen und zweimaligen Güllebeaufschlagung der Versuchsfelder wurden also erhebliche Antibiotika-Frachten ausgetragen (CTC-Komponenten 170 – 280 mg/m², SFD 550 – 900 mg/m²). Nach der Beaufschlagung waren nur im obersten Bodenhorizont (0 – 25 cm) und nicht in tieferen Schichten der Versuchspartellen SFD und Chlortetracycline nachzuweisen (Σ iso-CTC/e-iso-CTC nach NH₃-EDTA-Extraktion). Das Verhältnis der SFD/CTC-Massenanteile im Boden war im Vergleich zu den Gehalten in der Gülle reziprok, also erheblich höher für CTC (max. 240 µg/kg TM) als für SFD (max. 90 µg/kg TM). Unterschiedliche Sorptionsaffinitäten zur Bodenmatrix (SFD: niedrig, CTC: hoch) und intensive Niederschläge während der Gülleausbringung könnten zu einer Abreicherung im Pflugbereich geführt haben.

Bereits die einmalige Düngung des unbelasteten Bodens mit antibiotikahaltiger Gülle bewirkte eine mehrmonatig nachweisbare Kontamination der oberen Bodenschichten. Die 2. Begüllung führte zu einem Aufstockeffekt. Drei Monate später waren die Konzentrationen der extrahierbaren Arzneistoffrückstände bis in den Bereich der Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen gesunken (<10 µg/kg).

Aus den mit der antibiotikahaltigen Gülle gedüngten Versuchspartellen wurden Sulfadiazin und Chlortetracycline über die Wurzel der aufwachsenden Nutzpflanzen aufgenommen. Im Feldsalat waren nach der 1. und 2. Güllebeaufschlagung Chlortetracycline nachzuweisen (maximal 0,06 mg/kg TM), in erntereifen Pflanzen aber nicht mehr.

Tab. 14: CTC-Gehalte in Winterweizen (2-fache Gülle-Beaufschlagung)
(Wurzel, Grünteile: mg/kg TM, Korn: mg/kg FG; Mittelwerte von 4 Proben,
n=3)

Aussaat: 12.10.2001		CTC	iso-CTC	e-iso-CTC	CTC total	SFD
1. Begüllung: 12.03.2002						
1. Probenahme: 15.04.2002	Wurzel	0.313	0.115	0.086	0.874	0.409
2. <i>Begüllung</i>		± 0.035	± 0.003	± 0.007	± 0.062	± 0.076
2. Probenahme: 29.04.2002	Wurzel	0.396	0.196	0.251	1.104	0.487
		± 0.087	± 0.028	± 0.030	± 0.176	± 0.092
	Stängel/ Blätter	0.404	0.126	0.074	0.822	0.044
		± 0.120	± 0.016	± 0.004	± 0.213	± 0.005
3. Probenahme: 08.08.2002	Wurzel	0.043	0.024	0.018	0.111	n.n.
Ernte		± 0.006	± 0.001	± 0.003	± 0.010	
	Stroh	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	Korn	0.043	< <i>NWG</i>	< <i>NWG</i>	0.043	n.n.
		± 0,013			± 0,013	

Beim Winterweizen konnten über die Wachstumszeit Veränderungen der extrahierbaren Gehalte an SFD und CTC-Komponenten in Wurzeln, Grünanteilen und Körnern verfolgt werden (Tab. 14). In den Wurzeln waren die Arzneistoff-Gehalte nach der 2. Gülleausbringung am höchsten (CTC:~1 mg/kg TM, SFD:~0,5 mg/kg TM). Offensichtlich begünstigte auch beim Winterweizen die höhere Antibiotikafracht nach der zweiten organischen Düngung und die resultierenden höheren Antibiotikagehalte im Oberboden den Transfer Boden - Pflanze. In Grünteilen wurden an CTC ~ 0,82 mg /kg TM gefunden. Sogar im Korn, geerntet von diesen Parzellen, wurden Spurenrückstände von CTC (~ 43 µg/kg FG) gefunden, SFD jedoch nicht.

Das Aufnahmepotential der Antibiotika in Nutzpflanzen wurde aus den Ergebnissen der Experimente in *Hydrokultur* besonders deutlich. Feldsalat und Winterweizen (und Möhren) wurden in Nährlösungen angezogen, die mit SFD oder CTC kombiniert mit iso-CTC, dotiert waren. Die Verbindungen wurden konzentrationsabhängig von allen Nutzpflanzen aufgenommen und in der Pflanze transportiert. In älteren Weizen-Blättern fanden sich mehr CTC-Komponenten als in jüngeren Teilen der Pflanze (GROTE et al., im Druck).

Diese Verhältnisse werden durch *Tracerstudien* bestätigt (Abb. 20). Dabei wurden antibiotikahaltige Nährlösungen zusätzlich mit 3,5-³H-Sulfamethazin bzw. 7-³H-Tetracyclin dotiert, die angezogenen Pflanzen nach bestimmten Wachstumszeiten beerntet und die Verteilung der Tritium-Einlagerungsaktivitäten vermessen (Flüssig-Szintillationszählung). In Analogie zu den rückstandsanalytisch untersuchten Feld- und Hydrokulturpflanzen lassen die Aktivitätsdaten erkennen, dass das Tetracyclin in höherem Maße von Winterweizen-Blättern aufgenommen wird als das Sulfonamid (vergl. Tab. 14).

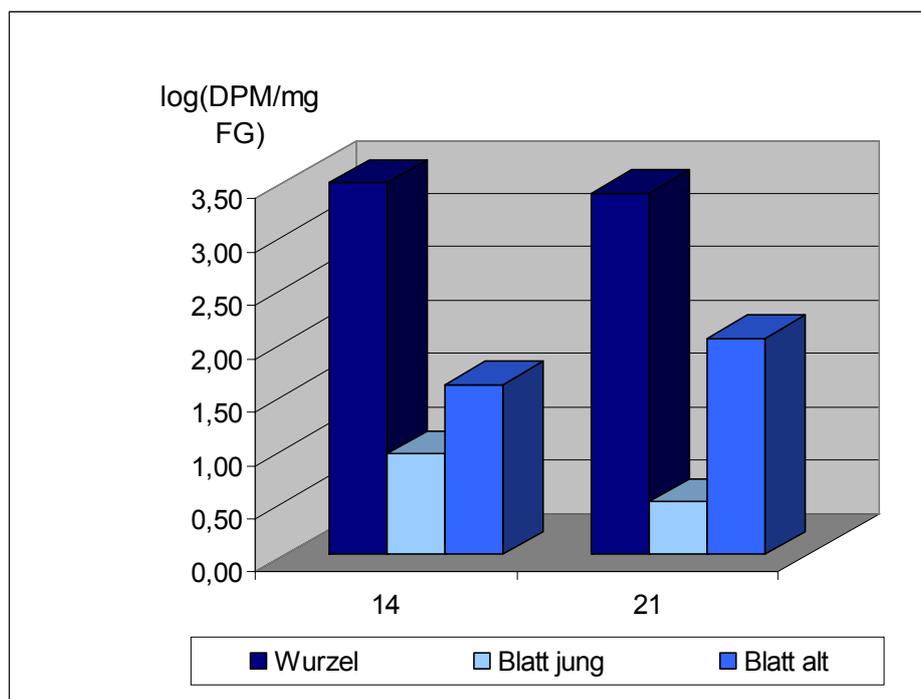


Abb. 20: Verteilung der ^3H -Tetracyclin-Einlagerungsaktivitäten in Weizenpflanzen als Funktion der Zeit (5 μmol CTC/iso-CTC dotiert mit 740 KBq $7\text{-}^3\text{H}$ -Tetracyclin)

Die Ergebnisse unserer Feldstudie in Verbindung mit Hydrokultur-Experimenten sind Indizien für einen Transfer von Veterinärpharmaka-Rückständen aus dem Boden in Nutzpflanzen, die von aktuellen Gewächshausstudien gestützt werden (KUMAR et al., 2005). Ob unter den Bedingungen der konventionellen Landwirtschaft, insbesondere in viehstarken Regionen, Arzneistoffeinträge in pflanzliche Nahrungs- bzw. Futtermittel relevant sein können, wird in einem Folgeprojekt untersucht.

8.4 Literaturverzeichnis

VOCKEL, A. (2005): Bestimmung von Chlortetracyclinrückständen in biologischen Proben aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung mit HPLC-UV-MS/MS– Methodenentwicklung und Anwendung in Medikationsstudien. Dissertation Universität Paderborn.

VOCKEL, A., GROTE, M. & MEHLICH, A. (2005): Bestimmung von Chlortetracyclin in Schlachtproben. LaborPraxis Juli/August 2005, 18 – 21 www.laborpraxis.de

VOCKEL, A., RÖWER, K., VOGEL, K., MEHLICH, A., STOLZ, M., BRAND, B. & GROTE, M. (2004): Sonderprogramm Verbraucherschutz 2000-2002; MUNLV NRW, Düsseldorf (Hrsg.) Abschlußbericht: „Resistenzentwicklung und Rückstände in der landwirtschaftlichen Tierhaltung“.

GROTE, M., VOCKEL, A., SCHWARZE, D., MEHLICH, A. & FREITAG, M (2004).: Fate of antibiotics used in food chain and environment originating from pigfattening (Part 1). Fresenius Environmental Bulletin – FEB 13:1216-1224.

GROTE, M., SCHWAKE-ANDUSCHUS, C., STEVENS, H., MICHEL, R., BETSCHE, T. & FREITAG, M. (im Druck): Antibiotika-Aufnahme von Nutzpflanzen aus Gülle gedüngten Böden. Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 1.

GROTE, M., SCHWAKE-ANDUSCHUS, C.; STEVENS, H.; MICHEL, R., KORSTE, H., HEYSER, W., BETSCHE, T. & FREITAG, M. (im Druck): Antibiotikaeinträge aus

der Tierhaltung in Boden und Nutzpflanzen - Ergebnisse eines Modellversuches. In: VDLUFA: *Kreislaufwirtschaft mit der Landwirtschaft – quo vadis?*, Kongressband 2005 (ISBN 3-922712-92-4),

KUMAR, K., GUPTA, S. C., BAIDOO, S. K. CHANDER, Y. AND ROSEN, C. (2005): Antibiotics uptake by plants from soil fertilized with animal manure, *J. Environ. Qual.* 34, 2082-2085.

Danksagung

Für die finanzielle Unterstützung des Projektes „Antiinfektivaeinträge aus der Tierproduktion in terrestrische und aquatische Kompartimente“ ist zu danken dem Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes NRW.

Für die engagierte Zusammenarbeit ist herzlich zu danken:

Professor Dr. Mechthild Freitag, FH Südwestfalen, FB Agrarwirtschaft, Abtlg. Soest,

Direktor and Professor Dr. Thomas Betsche, Bundesanstalt für Ernährung und Lebensmittel BFEL, Standort Detmold,

Professor Dr. Wolfgang Heyser, Zentrum für Umweltforschung und Umwelttechnologie UFT, Universität Bremen,

Dr. Andrea Vockel, vormalig: Universität Paderborn/SVUA Detmold, z.Zt.: Eurofins Analytik – Dr. Specht Laboratorien (Hamburg); Dr. Armin Mehlich und Dr. Manfred Stolz, Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Ostwestfalen-Lippe (CVUA-OWL),

und:

Dipl.-Chem. Christine Schwake-Anduschus, Dipl.-Chem. Ing. Reinhard Michel, Dipl.-Chem. Henning Stevens und Dipl.-Chem. Ing. Hubertus Korste; Universität Paderborn, Department Chemie.

9 Maßnahmen zur Minderung von Spurenelementen und Schwermetallen in Gülle

Dr. Hermann Lindermayer, Institut für Tierernährung, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

9.1 Sachstand

Zur Diskussion stehen in der Schweinehaltung aktuell die Spurenelemente/Schwermetalle Kupfer (Cu), Zink (Zn), Chrom (Cr), Nickel (Ni), Cadmium (Cd), Blei (Pb) und Quecksilber (Hg).

Die ersten beiden Elemente (Cu, Zn) sind neben Eisen (Fe), Kobalt (Co), Jod (J), Mangan (Mn) und Selen (Se) essentielle (lebensnotwendige) Spurenelemente, die im Tierfutter zum Erhalt der Tiergesundheit und Leistungsfähigkeit bedarfsdeckend enthalten sein müssen. Überversorgungen führen immer zu Anreicherungen in Gülle und Boden bzw. wirken bei Grenzwertüberschreitungen im Tier toxisch.

Kupfer und Zink

Schweinegülle speziell aus der Ferkelaufzucht sind stark mit Kupfer und Zink befrachtet, weil hier wegen pharmakologischer Sonderwirkungen die futtermittelrechtlich zulässigen Cu-/Zn-Höchstgehalte im Futter in der Regel ausgereizt werden. Diese Praxis widerspricht den Zielen des Bodenschutzes („Wir müssen die Böden vor einer Anreicherung mit Schadstoffen schützen“ – BMU und BMVEL, 2002) und führt zu Kupfer- und Zinkkonzentrationen in der Gülle weit jenseits gesetzlicher Obergrenzen der Abfallwirtschaft (AbfKlärV, BioAbfV). Da Wirtschaftsdünger den mit Abstand gewichtigsten Hauptpfad für den Schwermetalleintrag auf landwirtschaftliche Nutzflächen ausmachen, diskutieren die Behörden nun, Obergrenzen für Cu und Zn (auch Cd, Pb, Hg, Cr, Ni) in der Gülle einzuführen. Die exzessiven Cu- und Zn-Dosierungen werden somit nicht mehr möglich sein, die momentan gültigen Cu/Zn-Höchstgehalte im Schweinefutter lassen sich nicht halten. Auch fallen gegenwärtig im Rahmen von Cross-Compliance-Kontrollen einige Ferkelfutter und Vormastrationen mit Cu-, Zn-, Se- Übergehalten auf (Entmischungsprobleme, Mineralfutterüberdosierungen, Sonderwünsche ...), die es unbedingt zu vermeiden gilt.

Chrom und Nickel

Chrom und Nickel sind futtermittelrechtlich weder als Futterzusatzstoff zugelassen noch als unerwünschter Stoff geregelt. Cr in organischer Bindungsform (z. B. Cr – Hefe) soll das Immunsystem stärken, den Magerfleischanteil erhöhen und die Fruchtbarkeitsleistungen erhöhen. Die Ergebnisse sind allerdings widersprüchlich. Ni-Zulagen sind unter praktischen Verhältnissen der Schweinefütterung nicht notwendig. Beide Elemente sind in der Schweinefütterung und bezüglich einer Güllebelastung momentan nicht relevant und sollen nicht weiter betrachtet werden.

Cadmium, Blei und Quecksilber

Die Schwermetalle Cadmium, Blei und Quecksilber sind hochgiftig und reichern sich in der Nahrungskette an. Futtermittelrechtlich handelt es sich hierbei um „unerwünschte Stoffe“ mit Höchstgehaltsangaben für Einzel-, Ergänzungs- und Alleinfutter. Grenzüberschreitungen werden äußerst selten beobachtet, führen aber zum Verfütterungsverbot des

betroffenen Rohstoffs. So wurde kürzlich über das europäische Schnellwarnsystem mit Cd verseuchtes Zinksulfat aus China gefunden. Die auffällige Charge sowie die damit verunreinigten Schweinefutter wurden sofort vom Markt genommen. Es darf also das betroffene Futtermittel nicht durch Verschneiden abgereichert werden.

Vordergründig geht es bei den genannten „unerwünschten Stoffen“ im Futtermittelrecht um den Schutz von Mensch und Tier und nicht um Umwelt- und Bodenschutz. Die Landwirte sollten aber durch Vermeidung/Reduzierung kontaminierter Futtermittel inkl. Wasser, durch geeignete Ernte-, Lagerungs- Reinigungsmaßnahmen, durch Verzicht auf Klärschlammausbringung usw. eine Anreicherung im Betriebskreislauf (Boden-Futter-Tier-Gülle) unbedingt vermeiden.

Der Handlungsspielraum zur Minderung des Eintrages der nicht essentiellen Schwermetalle (Cd, Pb, Hg) ist (ohne Kenntnis der Gehaltswerte in den verwendeten Futtermitteln) allerdings gering. Das Potential zur Verringerung des Eintrags der zugesetzten essentiellen Elemente Kupfer und Zink ist weitaus größer. Es spielt sich im Spannungsfeld „bedarfsgerechte Versorgung – erwartete Sonderwirkungen/Höchstgrenzen“ ab.

9.2 Cu/Zn – Versorgungsempfehlungen/Höchstgehalte/Homöostase

Für Schweine liegen die Versorgungsempfehlungen zwischen 50 und 100 ppm (Zink) bzw. 5 bis 10 ppm (Kupfer) (Tab. 15). Darin sind neben dem tatsächlichen Bedarf des Organismus sowohl Sicherheitszuschläge für Schwankungen im nativen Gehalt der Futtermittel als auch für Unsicherheiten im metabolischen Bedarf sowie für ungünstige Bioverfügbarkeiten enthalten. Höhere Zufuhren sind unnötig und im Hinblick auf den Versorgungsstatus der Tiere wirkungslos. Versorgungen oberhalb des Bedarfs werden ohne ins Körperinnere zu gelangen über Kot wieder ausgeschieden.

Tab. 15: Versorgungsempfehlungen, gültige und diskutierte Höchstgehalte

Alleinfutter (mg/kg)	Ferkel		Schweine	
	Cu	Zn	Cu	Zn
Versorgungsempfehlung	6 – 10	80 – 100	5 – 10	50 – 100
Höchstgrenze – Ist	170 (bis 12 Wo.)	150	25	150
Höchstgrenze – Soll	30	100	20	100

Freies Zink und Kupfer kommen in den Zellen so gut wie nicht vor, sie wirken dort stark toxisch. Für die präzise Kontrolle der Cu- bzw. Zn-Konzentration im Körperinneren sorgt die homöostatische Regulation des Organismus (Abb. 21). Auf diese Weise können Cu- und Zn-Gehalte im Futter toleriert werden, die um ein Vielfaches über dem Bedarf oder den Versorgungsempfehlungen liegen, ohne dass es im Inneren des Körpers zur Überschwemmung mit diesen toxischen Schwermetallen kommt.

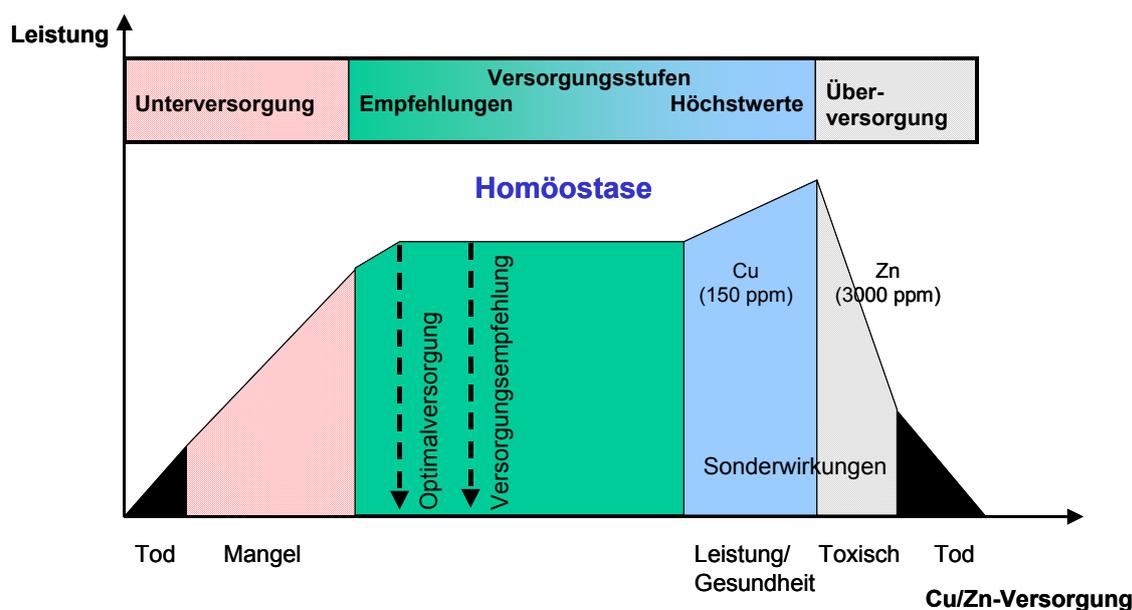


Abb. 21: Spurenelementversorgung und Leistung

9.3 Cu-/Zn - Sonderwirkungen

An der Grenze zur Toxizität entfalten Cu und Zn pharmakologische Sonderwirkungen: Zurückdrängung unerwünschter Bakterien (z. B. e. coli) im Verdauungstrakt, weniger Durchfallprobleme, bessere Futterausnutzung, höhere Leistungen. Das sind auch die Gründe für die üblichen hohen Cu- und Zn-Gehalte im Ferkelfutter im Grenzbereich der futtermittelrechtlich gerade noch erlaubten Konzentration. Diese hohen Dosierungen weit über den Versorgungsempfehlungen sind trotz Kenntnis der Umweltproblematik üblich, weil nach Wegfall der antibiotischen Leistungsförderer die Gesundheitsprobleme in den Beständen zugenommen haben. Hinzukommt, dass weniger verfügbare Cu-/Zn-Verbindungen in der höchstmöglichen Zulagestufe billiger sind als hochverfügbare Cu/Zn-Träger in vernünftigen Einsatzraten.

Im Falle des Kupfers treten die genannten leistungsfördernden Effekte innerhalb eines Dosierfensters von 100-200 ppm auf, also durchaus im Rahmen des futtermittelrechtlich Möglichen (170 ppm bis max. 12 Wochen Alter). Im Falle des Zinks sind pharmakologische Dosierungen erst im Bereich von etwa 3000-6000 ppm aus ZnO wirksam. Erlaubt wären 150 mg/kg Futter. Man bewegt sich also eindeutig im illegalen Bereich, wenn man mit ZnO solche Sondereffekte nutzen will. Derartige Dosierungen haben sowohl bei Cu als auch bei Zn beträchtliche Nebenwirkungen:

Cu-/Zn-Akkumulationen in der Leber, negative Interaktionen mit anderen Spurenelementen (Cu, Zn, Fe), Schädigung der Darmschleimhaut bei längeren Anwendungen und Anreicherung über die Gülle im Boden.

9.4 Cu-/Zn (Cd, Pb, Hg) - Minderungen in der Gülle

Die einfachste Möglichkeit zur Cu/Zn-Senkung in der Gülle ist die drastische Reduzierung der Gehalte im Futter. Die nativen Gehalte der Rationen (Cu 8-12 mg/kg, Zn 40-60 mg/kg) reichen allerdings nicht aus - speziell bei Zn. Ferkel reagieren innerhalb weniger Tage auf Zn-Mangel (Parakeratose, Skelettschäden). Man verzichtet also gänzlich auf die erwähnten Sonderwirkungen (Cu) und ergänzt über das Mineralfutter nur den Cu/Zn-

Fehlbetrag bis hin zu den Versorgungsempfehlungen bzw. maximal bis zu den geforderten Solobergrenzen aus Bodenschutzgründen.

Es ist dabei durchaus sinnvoll, Maßnahmen zur Steigerung der Bioverfügbarkeit (Absorbierbarkeit x Verwertung) zu nutzen, wie etwa der Einsatz höher verfügbarer Cu-/Zn-Quellen (organische Verbindungen, Salze) und die Zulage von Phytase. Schweinefutter enthält nämlich erhebliche Mengen an Komplexbildnern (v.a. Phytat), welche die Absorption von Cu und Zn aus nicht organischen Verbindungen erheblich stören. Phytase löst solche Komplexe und erhöht so die Cu-/Zn-Bioverfügbarkeit signifikant. Phytaseeinsatz und Supplementierung hochverfügbarer Verbindungen ergänzen einander und lassen sogar weitreichendere Reduzierungen der Cu- und Zn-Gehalte im Schweinefutter zu (Tab. 16).

Tab. 16: Maßnahmen zur Minderung von Spurenelementen und Schwermetallen

	Potenzial	Praxisreife
Herabsetzung der Zulagen	+	+
Einsatz verfügbarer Verbindungen (Salze, Chelate)	(+)	+
Phytasezulage	(+)	+
Phasenfütterung (4%/3%/2% Mineralfutter)	(+)	+
Organische Säuren, Fütterungskonzepte	+	+
Vermeidung von Imbalanzen (Ca, P, S,...Fe)	(+)	+
Berücksichtigung nativer Gehalte ?	(-)	-
Einsatz gering verunreinigter Spurenelementverbindungen	(-)	-
Futter-, Wasserhygiene (Erde, Staub bzw. Leitungen)	(-)	+
Fütterungsarzneimittel (Trägerstoff ZnO, „CTZ“)	(-)	(+)

Beispielhaft ist hierzu ein Gruber Ferkelaufzuchtversuch (Abb. 22) mit sehr niedrigen Cu- und Zn-Gehalten in praxisüblichen Rationen aufgeführt. Er zeigt auf hohem Leistungsniveau, dass die diskutierten Höchstgrenzen-Soll (Tab. 15) sogar noch unterschritten werden können und gegenüber der jetzigen Ferkelfütterungspraxis an der Cu/Zn-Obergrenze 80 % (Cu) bzw. 50 % (Zn) weniger Gülleintrag mit diesen Elementen möglich ist. Voraussetzung dazu sind allerdings ausgewogene Rationen mit Phytase sowie gute sonstige Rahmenbedingungen (Genetik, Tiergesundheit).

Durchgängige Fütterungskonzepte, ausreichendes Enzymtraining, genügend Ballaststoffe, pufferarme Futter, N/P-Reduzierung und Säurezulagen können sowohl die Tiergesundheit stabilisieren als auch zur Leistungsförderung beitragen. Organische Säuren erzielen ähnlich gute Leistungseffekte wie hohe Cu-Gaben. Es gilt zusätzlich alle Störfaktoren der Cu-/Zn-Absorption wie Kalzium-, Phosphor-, Schwefel-, Eisenüberhänge zu minimieren.

Die Berücksichtigung nativer Gehalte aus dem Futter gestaltet sich schwierig. Entsprechende Tabellenwerte (DLG 1973) sind veraltet und unvollständig, regionale Futterdaten müssten erst erarbeitet werden.

In der Reduzierung der Cu- und Zn-Supplementierung könnte auch ein bedeutsames Minderungspotential für den Eintrag unerwünschter Schwermetalle liegen. Pb, Cd und Hg sind oft Begleitstoffe in essentiellen Spurenelementträgern.

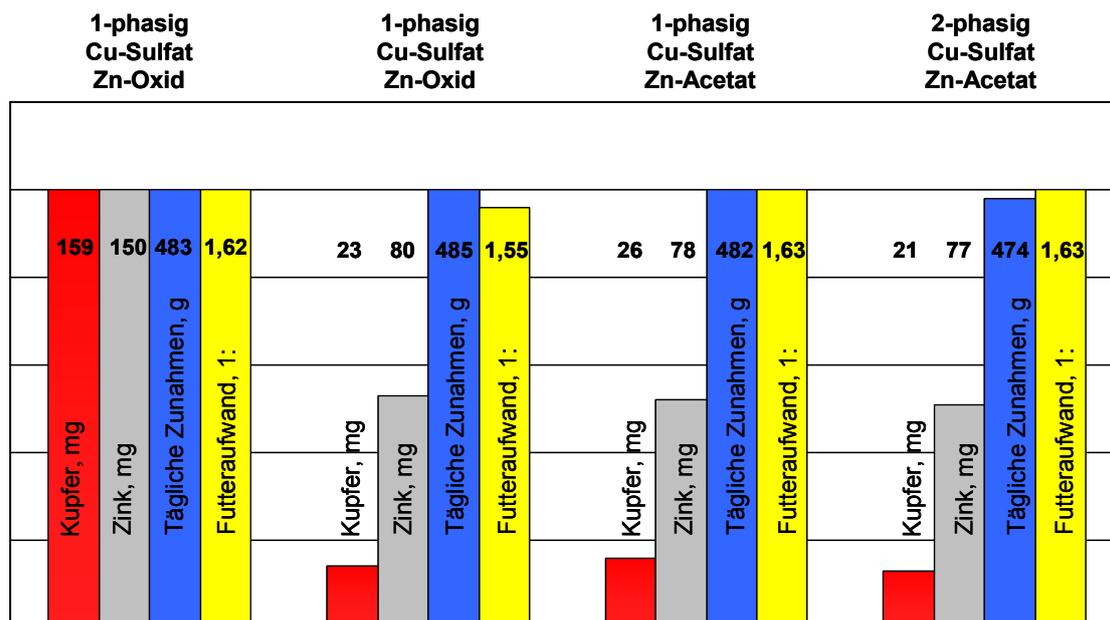


Abb. 22: Kupfer- und Zinkversorgung beim Ferkel (8-30 kg LM),
(13,0 MJ/12,0/11,5g Lysin/Phytase)

Der mögliche Eintrag aus speziell kontaminierten Futterregionen (z. B. Erdinger Moos – As), aus bestimmten Futtermitteln (Fischmehl-Hg, Weizen/Gerste/Kleie-Cd) sollte durch entsprechende Vorkehrungen wie optimale Ernte/Lagerung/Reinigung/Futtermonitoring minimiert werden.

Zu klären wäre auch, welche quantitative und qualitative Bedeutung zusätzliche Element-einträge aus Arzneimittelanwendungen (Trägerstoff ZnO), Desinfektionslösungen, Stall-einrichtungen (Korrosion, Farben), Einstreumitteln (Cu, Zn), Wasserleitungen (Cu, Pb) usw. in bayerischen Schweineställen haben. Erst dann könnte über entsprechende Aufklärungsarbeit und Minimierungsstrategien gezielt reagiert werden.

9.5 Zusammenfassung und Handlungsbedarf

Im Hinblick auf eine Verringerung der Einträge von Spurenelementen bzw. Schwermetallen in Schweinegülle und damit auf landwirtschaftliche Flächen ist die Reduzierung der Cu-/Zn-Zulagen zum Futter als ein machbarer und wirkungsvoller Ansatz zu sehen. Die gültigen Versorgungsempfehlungen reichen auch unter praktischen Fütterungsbedingungen für alle Leistungsanforderungen aus. Allerdings erfordert die punktgenaue Cu-/Zn-Versorgung

- genauere Kenntnisse der nativen Gehalte;
- Verwendung hochverfügbarer Cu/Zn-Quellen;
- Phytasezulage;
- Vermeidung von Imbalancen und Störfaktoren der Absorption.

Bei Herabsetzung der Cu-Zufuhren (nicht Zn!) in der Ferkelaufzucht können wegen des Wegfalls leistungsfördernder Effekte wirtschaftliche Einbußen auftreten. Diese gilt es durch zusätzlichen Fütterungsaufwand (und Mehrkosten) zu kompensieren. Hierzu sind weitere Versuche und entsprechende Aufklärung der Landwirte durch die Beratung notwendig. Parallel zur Cu-/Zn-Reduzierung werden auch die unerwünschten Begleitstoffe (Cd, Pb, Hg) zurückgefahren. Hinsichtlich der über geplanten Grenzwerte an Spurenelementen in Wirtschaftsdüngern (Schweinegülle) ist dringend eine Abstimmung zwischen den Rechtsbereichen notwendig.

9.6 Literaturverzeichnis

DLG (1973): DLG-Futterwerttabellen „Mineralstoffgehalte in Futtermitteln“. Band 62, 199 S.

BIOABFV (BIOABFALL-VERORDNUNG) (1998): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden vom 21.09.1998, BGBl. I 2955, zuletzt geändert durch § 11 Abs. 1 vom 26.11.2003 BGBl. I: 2373.

BMU UND BMVEL (2002): Gute Qualität und sichere Erträge – Wie sichern wir die langfristige Nutzbarkeit unserer landwirtschaftlichen Böden ?.

FUTTERMITTEL-VERORDNUNG (2003): Futtermittelverordnung vom 23.11.2000, BGBl. I, Nr. 51, S. 1605, zuletzt geändert durch Verordnung vom 10.11.2004, BGBl. I: 2813.

UMWELTBUNDESAMT (UBA) (2004): Erfassung von Schwermetallströmen in landwirtschaftlichen Tierproduktionsbetrieben und Erarbeitung eines Konzeptes zur Verringerung der Schwermetall-Einträge durch Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in Agrarökosysteme, Texte 06/04, 130 S.

LINDERMAYER, H. (2005): Fütterungsmaßnahmen zur Stabilisierung der Tiergesundheit. Der fortschrittliche Landwirt, **23**, 52-54.

LINDERMAYER, H. (2004): Ferkelaufzuchtfutter mit abgesenkten Kupfer- und Zinkgehalten. Veredlungsproduktion **3**, 70-71.

WINDISCH, W. (2005): Aktuelle Aspekte der Spurenelementversorgung beim Schwein im Hinblick auf die Erhaltung der Leistungsbereitschaft. Schriftenreihe der BoKu Wien, 1-4.

10 Maßnahmen zur Minderung von Arzneimittelrückständen in Gülle – zum Beitrag von Haltungsbedingungen und Management

Prof. Dr. Christoph Winckler, Simone Laister, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Universität für Bodenkultur, Wien

10.1 Einleitung

In der Schweinehaltung werden erhebliche Mengen an (v.a. Fütterungs-)Arzneimitteln, überwiegend Antibiotika, bei gleichzeitig hohem Verbreitungsgrad von Behandlungen eingesetzt (WINCKLER und GRAFE 2000). Hauptindikationsgebiete sind Atemwegs- und Magen-Darm-Erkrankungen; daneben spielen Endoparasitosen eine wichtige Rolle.

Überlegungen zu einer nachgelagerten Reduktion der Tierarzneimittelfracht in den Wirtschaftsdüngern - z. B. über verlängerte Lagerdauer, physikalische oder biologische Verfahren – stellen klassische End-of-the-pipe-Ansätze dar und werden aus organisatorischer wie ökonomischer Sicht als nicht in die Praxis umsetzbar erachtet. Eine nachhaltige, ursachenorientierte Reduzierung von Tierarzneimittelrückständen ist lediglich über Maßnahmen zu erzielen, die den Gesundheitsstatus in der Nutztierhaltung verbessern und damit die Notwendigkeit des pro- bzw. metaphylaktischen oder therapeutischen Einsatzes von Tierarzneimitteln verringern. Ziel muss es dabei sein, die Arzneimittelverwendung - auch unter Beachtung der Behandlungsverpflichtung im Sinne des Tierschutzes - auf ein möglichst geringes, notwendiges Maß zu reduzieren und die Grundsätze des rationalen Tierarzneimittelsatzes zu berücksichtigen (BTK 1999).

Die meisten Erkrankungskomplexe in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung lassen sich den sogenannten Faktorenkrankheiten zuordnen, die neben dem Vorliegen eines fakultativ pathogenen Erregers der zusätzlichen Einwirkung verschiedener umweltassoziierter Stressoren (Faktoren) bedürfen. In diesem Zusammenhang spielen das Haltungsverfahren und das entsprechende Management im Produktionsablauf eine wichtige Rolle. Im Folgenden soll daher insbesondere auf die Bedeutung der Haltungsverfahren und ausgewählter Faktoren des Managements eingegangen werden.

Die Wirkung der Haltungsbedingungen auf die Tiergesundheit bestehen in folgenden Bereichen (KNIERIM 2006):

- Beeinträchtigung der Abwehrlage (Immunsystem)
- Art und Ausmaß des Einwirkens verschiedener Krankheitserreger
- Risiko für Verletzungen

Ungünstige Haltungsbedingungen und belastende Managementverfahren (,Stress') können die Abwehrbereitschaft des Organismus z. B. durch Veränderungen im weißen Blutbild, verringerte Lymphozytenproliferation oder verringerte Interleukin-Produktion herabsetzen; die genauen Mechanismen sind allerdings noch weitgehend unbekannt (BLECHA 2000). Erhöhte NH₃-Gehalte in der Stallluft schädigen Schleimhäute und beeinträchtigen damit lokale Abwehrbarrieren. Dagegen wirken hohe Beleuchtungsstärken und UV-Licht immunstimulierend (MEHLHORN 1979).

10.2 Anforderungen an tiergerechte Schweinehaltung

Schweine sind bewegungsaktive, aufmerksame und sehr neugierige Tiere. Sie verbringen in natürlicher Haltungsumgebung den Großteil des Lichttages mit Futtersuche, wobei das Erkunden der Umgebung und das Wühlen im Erdreich charakteristische Bestandteile sind. Der Körperbau der Schweine, ihr Nahrungsspektrum und ihre Sozialstruktur bilden die Grundlagen für ein Leben im Wald und parkähnlichen Landschaften. Durch die Berücksichtigung der natürlichen Verhaltensansprüche sowie grundlegender physiologischer Bedürfnisse kann jedoch chronischer Stress für die Tiere vermieden werden.

Die Anforderungen an tiergerechte Haltungssysteme für Schweine können wie folgt (grob vereinfachend) zusammengefasst werden (HÖRNING 2000):

- Strukturierung und Ausgestaltung der Buchten mit verschiedenen Funktionsbereichen (Beschäftigen, Wühlen etc.)
- Möglichkeit zur Trennung von Ausscheidungs-, Liege- und Fressbereich
- ausreichendes Platzangebot (gestreckte Seitenlage)
- wärmegeprägter Liegebereich bei stroharmen Systemen sowie Möglichkeit zum Abkühlen im Sommer (Duschen, Suhlen)
- Vermeidung von Konkurrenzsituationen im Fressbereich
- Scheuermöglichkeiten
- frische Luft, Tageslicht, Außenklimareize (Auslauf, Offenställe)

10.3 Einfluss des Haltungssystems auf die Tiergesundheit von Mast-schweinen

Sowohl konventionelle als auch alternative Haltungssysteme können den Gesundheitsstatus von Schweinen beeinträchtigen. Während in Freiland- und alternativen (Mehrflächen-, eingestreuten) Haltungssystemen eher traumatische Erkrankungen (z. B. Gliedmaßenerkrankungen) und Parasitenbefall den Schwerpunkt bilden, so scheint der Erkrankungsschwerpunkt bei der ganzjährigen, in der Regel einstreulosen Stallhaltung von Schweinen bei den infektiösen Faktorenkrankheiten, bedingt durch einen hohen Erregerdruck und/oder Immunsuppression zu liegen (LAHRMANN et al. 2004, MILLET et al. 2005). In einstreulosen Haltungssystemen treten insbesondere Bursitiden, Verletzungen, Magengeschwüre und pathologische Lungenveränderungen häufiger als in eingestreuten Haltungssystemen und in Freilandhaltung auf, außerdem sind Morbidität und Mortalität erhöht (GUY et al. 2002).

Bei österreichischen Bioschweinen (1497 Tiere, 51 Betriebe), die in eingestreuten Haltungssystemen überwiegend mit Auslauf gehalten wurden, lagen zum Zeitpunkt der Schlachtung nur bei etwa 24 % der Tiere pathologische Lungenveränderungen gegenüber 74 % bei konventionell in Vollspaltenbodenhaltung gemästeten Schweinen vor (BAUMGARTNER et al. 2003). Der Befall mit *Ascaris suum* (anhand von ‚milk spots‘ in der Leber ermittelt) unterschied sich allerdings nicht zwischen den Bewirtschaftungsformen.

In einer Schweizer Untersuchung (KRIETER et al. 2004) hatte das Haltungssystem dagegen - bei insgesamt sehr niedrigen Erkrankungsraten - keinen Einfluss auf die Prävalenz von Atemwegserkrankungen. Viele Untersuchungen weisen jedoch auf die hohe Variation zwischen Betrieben und damit auch auf den maßgeblichen Einfluss der Organisationsstruktur des Betriebes, des unterschiedlichen Managements oder der Motivation des Betriebsleiters hin.

10.4 Bedeutung von Managementfaktoren

Die Einflussmöglichkeiten bezüglich des Managements erstrecken sich auf praktisch alle Bereiche im Produktionsablauf wie Hygienemaßnahmen, Fütterung, Tierbetreuung etc. Hygienemaßnahmen kommt sicherlich eine zentrale Rolle beim vorbeugenden Gesundheitsschutz zu. Eine Verringerung des Keimdrucks bzw. der Keimverschleppung kann zum Beispiel über das System der Rein-Raus-Belegung und Begrenzung des Tierverkehrs erzielt werden.

Niedrigere Verlustraten und höhere Mastleistungen dokumentieren den positiven Effekt des Rein-Raus-Verfahrens (LKV BAYERN 2002). Weiterhin belegen epidemiologische Untersuchungen in geschlossenen Betrieben in Belgien den kombinierten Einfluss von Faktoren des Haltungssystems sowie der Produktionsorganisation (MAES et al. 2001; Tab. 17).

Tab. 17: Risikofaktoren für die Herdenprävalenz von Pneumonie und Pleuritis von Schlachtschweinen in 150 geschlossenen Betrieben (nach MAES et al. 2001)

Merkmal	Risikofaktor	Odd's ratio	p
Pneumonie	Häufigkeit des Jungsauenzukaufs ¹⁾	1,31	0,001
	Schlachtdatum Januar/Februar	1,80	< 0,001
Pleuritis	Anzahl schweinehaltender Betriebe in der Gemeinde ²⁾	1,28	< 0,001
	Schlachtdatum März/April	1,74	0,004
	Luftraum je Tier ³⁾	0,82	0,007

1) kein Zukauf/≤ 60 % Zukauf/> 60 % Zukauf

2) Anstieg um 1 Herde/km²

3) Anstieg um 0,5 m³/Tier

10.5 Ausblick

Tiergerechte Haltungsbedingungen haben zum Ziel, das Anpassungsvermögen der Tiere nicht zu überfordern, indem den ethologischen Bedürfnissen Rechnung getragen wird und auch die übrigen Rahmenbedingungen eine Aufrechterhaltung der Tiergesundheit ermöglichen. Gleichzeitig sind Zielkonflikte zwischen ethologischen Anforderungen an Haltungsbedingungen und hygienischen Kriterien nicht immer auszuschließen und bedürfen weiterer Optimierung. Für die Gesunderhaltung der Bestände sind weiterhin produktionsorganisatorische Aspekte (z. B. Rein-raus-Verfahren, Herkunft und Hygienestatus von Mastferkeln) und Managementmaßnahmen (z. B. Reinigung und Desinfektion) von entscheidender Bedeutung.

Weiterhin werden zukünftig der rechtzeitigen Erkennung von Störungen und der betriebsindividuellen interdisziplinären Bestandsbetreuung und -beratung eine wichtige Rolle zukommen. Konzepte wie die in Großbritannien entwickelten ‚herd health plans‘ könnten dabei auch auf mitteleuropäische Bedingungen übertragen werden.

10.6 Literaturverzeichnis

- BAUMGARTNER, J., LEEB, T., GRUBER, T., TIEFENBACHER, R. (2003): Husbandry and Animal health on organic pig farms in Austria. *Animal Welfare* 12, 631-635.
- BLECHA, F. (2000): Immun system response to stress. In: Moberg, G.P., Mench, J.A. (Hg.): *The biology of animal stress. Basic principles and implications for animal welfare.* CABI Publishing, Wallingford, 111-121.
- BUNDESTIERÄRZTEKAMMER (BTK) (1999): Arbeitsgemeinschaft der Leitenden Veterinärbeamten (ArgeVet): Leitlinien für den sorgfältigen Umgang mit antimikrobiell wirksamen Tierarzneimitteln – mit Erläuterungen. Beilage in: *Deutsches Tierärzteblatt* 48/11.
- GUY, J.H., ROWLINSON, P., CHADWICK, J.P., ELLIS, M. (2002): Health conditions of two genotypes of growing-finishing pigs in three different housing systems: implications for animal welfare. *Livestock Production Science* 75, 233-243.
- HÖRNING, B. (2000): Alternative Haltungssysteme für Rinder und Schweine. *Berichte über Landwirtschaft*, 193-247.
- KNIERIM, U. (2006): Haltung und Tiergesundheit. In: Striezel, A. (Hg.). *Leitfaden der Nutztiergesundheit. Ganzheitliche Prophylaxe und Therapie.* Sonntag Verlag, Stuttgart, 5-7.
- KRIETER, J. SCHNIDER, R., TÖLLE, K.-H. (2004): Health conditions of growing-finishing pigs in fully-slatted pens and multi-surface systems. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift* 111, 453-484.
- LANDESKURATORIUM DER ERZEUGERRINGE FÜR TIERISCHE VEREDELUNG IN BAYERN e.V. (2002): *Fleischleistungsprüfung in Bayern.*
- LAHRMANN, K.H., BREMERMAN, N., KAUFMANN, O., DAHMS, S. (2004): Health, growing performance and meat quality of pigs in indoor and outdoor housing - a controlled field trial. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift* 111, 205-208.
- MAES, D.G., DELUYKER, H., VERDONCK, M., CASTRYK, F., MIRY, C., VRIJENS, B., DUCATELLE, R., DE KRUIF, A. (2001): Non-infectious factors associated with macroscopic and microscopic lung lesions in slaughter pigs from farrow-to-finish herds. *Veterinary Record* 148, 41-46.
- MILLET, S., MOONS, C.P.H., VAN OECKEL, M.J., JANSSENS, G.P.J. (2005): Welfare, performance and meat quality of fattening pigs in alternative housing and management systems: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85, 709-719.
- MEHLHORN, G. (Hg.) (1979): *Lehrbuch der Tierhygiene. Teil 1,* Fischer, Jena, 1999.206.
- WINCKLER, C., GRAFE, A. (2000): Stoffeintrag durch Tierarzneimittel und pharmakologisch wirksame Futterzusatzstoffe unter besonderer Berücksichtigung von Tetrazyklinen. *UBA-Texte* 44/00, Berlin.

Adressenverzeichnis der Referenten

Prof. Dr. Johann Bauer

Lehrstuhl für Tierhygiene, Technische Universität München
Weihenstephaner Berg 3, 85354 Freising
Tel.: 08161/71-3312, E-Mail: johann.bauer@wzw.tum.de

Katrin Harms

Lehrstuhl für Tierhygiene, Technische Universität München
Weihenstephaner Berg 3, 84354 Freising
Tel.: 08161/71-3569, E-Mail: katrin.harms@wzw.tum.de
Tel.: 08161/71-3720 (Dr. Karsten Meyer)

Christina Burghard

Lehrstuhl für Tierhygiene, Technische Universität München
Weihenstephaner Berg 3, 85354 Freising
Tel.: 08161/71-5506, E-Mail: christina.burghard@wzw.tum.de

Christa Müller

Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, Bayerische Landes-
anstalt für Landwirtschaft
Vöttinger Str. 38, 85354 Freising
Tel. 08161/71-4474, E-Mail: christa.mueller@lfl.bayern.de

Dr. Robert Beck

Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen, Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Menzinger Str. 54, 80638 München
Tel.: 089/17800-341, E-Mail: robert.beck@lfl.bayern.de

Dr. Johannes Bauchhenß

ehemals Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, Bayerische
Landesanstalt für Landwirtschaft
Tel.: 089/131140, E-Mail: johannes.bauchhenss@t-online.de

Günter Henkelmann

Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen, Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Lange Point 4, 85354 Freising
Tel.: 08161/71-5844, E-Mail: guenter.henkelmann@lfl.bayern.de

Dr. Hermann Lindermayer

Institut für Tierernährung, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Prof.-Dürrwächter-Platz 3, 85586 Poing
Tel.: 089/99141-420, E-Mail: hermann.lindermayer@lfl.bayern.de

Dr. Manfred Sengl

Bayerisches Landesamt für Umwelt
Referat 75 „Spezielle Analytik für Umweltüberwachung“
Kaulbachstr. 37, 80539 München
Tel.: 089/2180-3309, E-Mail: manfred.sengl@lfu.bayern.de

Prof. Dr. Manfred Grote

Fakultät für Naturwissenschaften, Department Chemie, Universität Paderborn
Warburgerstraße 100, 33098 Paderborn
Tel.: 05251/60-2191, E-Mail: magrote@zitmail.uni-paderborn.de

Univ. Prof. Dr. Christoph Winckler

Universität für Bodenkultur
Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 Wien
Tel: +43/147654-3261, E-Mail: christoph.winckler@boku.ac.at