

Universität Hohenheim

Institut für Umwelt- und Tierhygiene  
sowie Tiermedizin mit Tierklinik (460 b)

Prof. Dr. Ludwig E. Hölzle



**Abschlussbericht  
zum  
Forschungsvorhaben:**

**Hygieneaspekte organischer Düngemittel  
und ihre Anwendung**

**Förderkennzeichen: 2811HS016**

Auftraggeber:

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Bonn

Projektbearbeitung: Dr. Renate Haumacher  
Dipl.-Agrarbiol. Stefanie Schnauffer  
Dr. Werner Philipp  
unter Mitarbeit von: Dr. Magdalene Pietsch  
Julius-Kühn-Institut, Braunschweig  
Projektleitung: Prof. Dr. Ludwig E. Hölzle

Januar 2012 bis Oktober 2012

## **Vorwort**

Ziel dieser Studie ist den seuchen- und phytohygienischen Status von organischen Düngern, Wirtschaftsdüngern, Kultursubstraten sowie Boden- und Pflanzenhilfsmitteln zu beschreiben. Grundlage für Studie war Tabelle 7 der aktuell gültigen Düngemittelverordnung (ANONYM, 2009 c; ANONYM, 2012 I). In dieser Tabelle sind die Hauptbestandteile von Düngemitteln entsprechend den Ausgangsstoffen bzw. Stoffgruppen gelistet, die als Düngemittel zugelassen sind. Innerhalb der Bearbeitungszeit des Projektes hat sich ergeben, dass eine grundlegende hygienische Bewertung aller Stoffe, aufgrund der kurzen Laufzeit des Projektes und der begrenzten finanziellen Möglichkeiten nicht für alle Stoffe durchgeführt werden konnte. Um jedoch einen generellen Überblick zum mikrobiologischen Belastungspotenzial von organischen Düngemitteln zu bekommen, wurden alle Stoffe der Tabelle 7 in verschiedene Risikoklassen eingeteilt. Für die Stoffe Wirtschaftsdünger (Gülle, Jauche, Festmist), Kompost, Bioabfall, Gärreste und Klärschlämme ist hinreichend wissenschaftliche Literatur vorhanden, so dass die Einteilung auf wissenschaftlich fundierter Basis erfolgte. Für viele Stoffe sind erhebliche Wissenslücken sowie fehlende Informationen zu den Herkünften bzw. Herstellungsprozessen der einzelnen Stoffe vorhanden, daher erfolgte die Einteilung in Risikoklassen aufgrund der fachlichen Einschätzung der Bearbeiter. Die Einteilung der Stoffe in eine bestimmte Risikoklasse stellt jedoch kein endgültiges Ergebnis dar. Es sollte zunächst der Versuch unternommen werden, sich einen Überblick über den möglichen hygienischen Status der vielfältigen und heterogenen zusammengesetzten organischen Dünger zu verschaffen. Basierend auf der Einteilung in die Risikoklassen der organischen Dünger werden Szenarien einer zukünftig, hygienisch unbedenklichen Düngerverwertung für die mengenmäßig am häufigsten anfallenden organischen Dünger, Gülle, Gärreste und Klärschlamm beschrieben. Die phytohygienischen Aspekte wurden durch Frau Dr. Pietsch, Julius Kühn-Institut, bearbeitet.

---

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Rechtliche Grundlagen .....	2
2.1	International .....	2
2.1.1	Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 .....	2
2.1.2	Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 .....	7
2.1.3	Verordnung (EU) Nr. 142/2011 .....	14
2.1.4	RL 2000/29/EG .....	16
2.2	National .....	17
2.2.1	Düngegesetz .....	17
2.2.2	Düngemittelverordnung .....	19
2.2.3	Düngeverordnung .....	22
2.2.4	Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschafts- dünger .....	23
2.2.5	Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz (TierNebG) .....	24
2.2.6	Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung (TierNebV) .....	25
2.2.7	Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) .....	25
2.2.8	Klärschlammverordnung .....	28
2.2.9	Bioabfallverordnung .....	31
2.2.10	Pflanzenschutzgesetz/Pflanzenbeschauverordnung .....	33
2.2.11	Bundes-Bodenschutzgesetz .....	33
2.2.12	Wasserhaushaltsgesetz .....	34
3	Definition organische Düngemittel .....	35
3.1	Düngemittel .....	35
3.2	Bodenverbesserungsmittel .....	35
3.3	Wirtschaftsdünger .....	36
3.4	Festmist .....	36
3.5	Gülle .....	36
3.6	Jauche .....	38
3.7	Hofdünger .....	38
3.8	Klärschlamm .....	38
3.9	Bioabfall .....	40
3.10	Kompost .....	46
3.11	Biogasgülle / Gärreste .....	48
3.12	Bodenhilfsstoffe .....	49
3.13	Pflanzenhilfsmittel .....	49
3.14	Kultursubstrate .....	50

---

4	Mengen an organischen Düngemitteln .....	50
4.1	Wirtschaftsdünger .....	50
4.1.1	Gülle .....	54
4.1.2	Jauche und Festmist.....	55
4.2	Bio- und Grünabfälle sowie Speiseabfälle .....	57
4.3	Klärschlamm .....	60
4.4	Gärreste .....	62
5	Hygienische Beschaffenheit von organischen Düngemitteln und ihrer Ausgangsstoffe .....	62
5.1	Pflanzliche Ausgangsstoffe .....	62
5.1.1	Pflanzliche Ausgangsstoffe aus der Lebens-, Genuss- und Futtermittel- herstellung sowie Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Garten- und Landschafts- bau und verarbeitenden Industrie .....	62
5.1.2	Filtrationsrückstände aus der Herstellung von Lebens-, Genuss- und Futter- mitteln .....	65
5.1.3	Pflanzliche Ausgangsstoffe aus der Herstellung technischer Alkohole .....	65
5.1.4	Pflanzliche Ausgangsstoffe aus der Energiegewinnung .....	65
5.1.5	Pflanzliche Ausgangsstoffe aus der Verarbeitung von Heil- und Gewürzpflanzen .....	65
5.1.6	Küchen- und Kantinenabfälle (einschließlich organischer Abfall pflanzlicher Herkunft aus getrennter Sammlung) .....	66
5.1.7	Reet.....	66
5.1.8	Huminsäuren.....	66
5.1.9	Algen .....	66
5.1.10	Sphagnum .....	66
5.1.11	Pflanzliches Filtermaterial aus der biologischen Abluftreinigung.....	67
5.1.12	Rizinusschrot.....	67
5.1.13	Pflanzliches Abfisch- und Rechengut.....	67
5.1.14	Fermentationsrückstände pflanzlicher Herkunft aus der Enzym-, Vitamin- und Arzneimittelproduktion .....	67
5.1.15	Pflanzliches Eiweißhydrolysat und pflanzliche Aminosäuren .....	68
5.2	Organische und mineralische Bodenmaterialien .....	68
5.2.1	Torf.....	68
5.2.2	Kultursubstrat .....	69
5.2.3	Moorschlamm .....	69
5.2.4	Heilerde.....	69
5.2.5	Pilzkultursubstrate .....	70
5.2.6	Erde aus der Reinigung von landwirtschaftlichen Erzeugnissen .....	70

---

5.2.7	Bodenmaterial, Sand und Ton.....	70
5.2.8	Tierische Nebenprodukte .....	71
5.2.8.1	Gülle, Festmist, Jauche .....	71
5.2.8.1.1	Gülle .....	74
5.2.8.1.2	Festmist .....	76
5.2.8.1.3	Jauche.....	77
5.2.9	Gärreste .....	77
5.2.10	Magen- und Darminhalte .....	78
5.2.11	Klärschlämme .....	79
5.2.12	Organische Abfälle aus der getrennten Sammlung aus privaten Haushaltungen .....	85
5.2.13	Kompost.....	88
5.2.14	Küchen- und Speiseabfälle .....	89
5.2.15	Synthetische Polymere .....	90
6	Charakterisierung von in organischen Düngern vorkommender Mikroorganismen .....	91
6.1	Seuchenhygiene .....	91
6.1.1	Bakterien.....	92
6.1.1.1	Grampositive Kokken .....	92
6.1.1.1.1	Staphylokokken .....	92
6.1.1.1.2	Streptokokken.....	93
6.1.1.1.3	Enterokokken .....	94
6.1.1.2	Endosporen bildende grampositive Stäbchen .....	96
6.1.1.2.1	Clostridien .....	96
6.1.1.2.1.1	<i>Clostridium perfringens</i> .....	97
6.1.1.2.1.2	<i>Clostridium botulinum</i> .....	98
6.1.1.2.1.3	<i>Clostridium tetani</i> .....	99
6.1.1.2.1.4	<i>Clostridium difficile</i> .....	100
6.1.1.2.2	Bazillen .....	101
6.1.1.2.2.1	<i>Bacillus anthracis</i> .....	101
6.1.1.2.2.2	<i>Bacillus cereus</i> .....	103
6.1.1.3	Gleichförmige, nicht Sporen bildende, grampositive Stäbchen .....	104
6.1.1.3.1	Listerien .....	104
6.1.1.3.2	Erysipelothrix .....	106
6.1.1.4	Aktinomyzeten .....	107
6.1.1.4.1	Rhodococcus .....	107
6.1.1.4.2	Mykobakterien.....	107
6.1.1.5	Gramnegative aerobe Stäbchen .....	110

---

6.1.1.5.1	Pseudomonas .....	110
6.1.1.5.2	Legionella .....	111
6.1.1.6	Fakultativ anaerobe gramnegative Stäbchen .....	112
6.1.1.6.1	Enterobacteriaceae .....	112
6.1.1.6.1.1	Salmonellen .....	112
6.1.1.6.1.2	Coliforme, Fäkalcoliforme, <i>Escherichia coli</i> / EHEC .....	115
6.1.1.6.1.3	Shigella .....	117
6.1.1.6.1.4	Yersinia .....	118
6.1.1.6.2	Vibrionaceae .....	119
6.1.1.6.3	Pasteurellaceae .....	120
6.1.1.6.3.1	Pasteurella .....	120
6.1.1.7	Aerobe/mikroaerophile, schraubenförmige/vibroide gramnegative Bakterien .....	121
6.1.1.7.1	Campylobacter .....	121
6.1.1.7.2	Helicobacter .....	122
6.1.1.8	Spirochäten.....	123
6.1.1.8.1	Treponemen.....	123
6.1.1.8.2	Borrelia .....	124
6.1.1.8.3	Brachyspira.....	124
6.1.1.8.4	Leptospira.....	125
6.1.2	Viren .....	126
6.1.2.1	Picornaviren .....	126
6.1.2.2	Caliciviren, Noroviren .....	127
6.1.2.3	Astroviren und Toroviren .....	128
6.1.2.4	Reoviren .....	129
6.1.2.5	Rotaviren .....	129
6.1.2.6	Adenoviren .....	130
6.1.2.7	Flaviviren.....	131
6.1.3	Prionen.....	131
6.1.3.1	Ascariden.....	132
6.1.3.1.1	<i>Ascaris suum</i> .....	132
6.1.3.1.2	<i>Echinococcus multilocularis</i> .....	133
6.1.3.2	<i>Taenia saginata</i> .....	134
6.1.3.3	<i>Toxoplasma gondii</i> .....	134
6.1.3.4	Amöben.....	135
6.1.3.5	Cryptosporidium .....	136
6.1.3.6	Giardia .....	137
6.1.4	Antibiotikaresistente Bakterien .....	138
6.1.5	Gentechnisch veränderte Organismen .....	141

---

6.2	Phytohygiene .....	141
6.2.1	Bakterien .....	142
6.2.2	Pilzähnliche Formen .....	142
6.2.3	Echte Pilze .....	143
6.2.4	Viren .....	144
6.2.5	Nematoden .....	145
6.2.6	Andere tierische Schadorganismen als Nematoden .....	145
6.2.7	Unkräuter .....	146
7	Behandlungsmethoden für organische Dünger und ihre Wirkung auf Schadorganismen .....	147
7.1	Mechanische Verfahren .....	151
7.1.1	Feststoffabtrennung/Feststoffseparierung .....	151
7.2	Physikalische Verfahren .....	152
7.2.1	Pasteurisierung.....	152
7.2.2	Trocknung von Klärschlamm .....	158
7.2.3	Thermische Konditionierung von Klärschlamm .....	160
7.2.4	Oligolyse.....	161
7.2.5	Mikrowellenbehandlung .....	162
7.3	Biologische Verfahren .....	163
7.3.1	Aerobe Behandlung .....	163
7.3.1.1	Kompostierung .....	163
7.3.1.2	Aerobe Rotte von Festmist .....	166
7.3.1.3	Belüftung von Gülle.....	167
7.3.1.4	Schlammstabilisierung von Klärschlamm.....	168
7.3.1.4.1	Oxidationsgraben und Oberflächenbelüfter .....	170
7.3.2	Anaerobe Behandlung .....	170
7.3.2.1	Anaerobe Rotte von Festmist.....	175
7.3.3	Lagerung, Langzeitlagerung .....	175
7.3.4	Klärschlammvererdung – Entwässerung in Schilfbeeten .....	176
7.4	Chemische Verfahren .....	178
7.4.1	Behandlung mit Kalk .....	178
7.4.2	Behandlung mit Säuren .....	179
7.5	Sonstige Behandlungsverfahren / Kombinationsverfahren .....	179
7.5.1	Klärschlammdeintegration .....	179

---

8	Auswirkungen des Eintrags von Mikroorganismen in die Umwelt durch organische Dünger .....	180
8.1	Aerogene Verfrachtung von Mikroorganismen .....	188
8.2	Verbleib und Verhalten von Mikroorganismen im Boden .....	193
8.3	Auswaschung von Mikroorganismen in Oberflächengewässer und tiefere Bodenschichten .....	197
8.4	Auswirkungen auf die Gesundheit von Mensch und Tier .....	200
9	Risikoanalyse .....	205
9.1	Risikoeinschätzung.....	207
9.1.1	Risikoeinschätzungen in der Literatur .....	207
9.1.2	Risikoeinschätzung von organischen Düngemitteln .....	220
9.2	Risikomanagement.....	227
9.2.1	Gesetzliche Regelungen .....	227
10	Beurteilung / Schlussfolgerungen .....	227
11	Abschließende Betrachtungen.....	230
11.1	Seuchenhygiene .....	230
11.2	Phytohygiene .....	235
12	Zusammenfassung.....	242
13	Literaturverzeichnis.....	245

## Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tab. 1:	Wirtschaftsdüngeranfall aus der Rinder- und Schweinehaltung in Deutschland für den Zeitraum 1994-2009 (SCHULTHEISS et al., 2010). .....	53
Tab. 2:	Gülleanfall/GV in Abhängigkeit vom TS-Gehalt nach ANONYM (1991) .....	54
Tab. 3:	Anfall von Gülle in der Rinder- und Schweinehaltung in den Bundesländern im Jahr 2009, Angaben in Mio. t FM/a (SCHULTHEISS et al., 2010).....	55
Tab. 4:	Orientierungswerte für den Anfall an Festmist und Jauche nach ANONYM (1989).....	56
Tab. 5:	Anfall von Festmist in der Rinder- und Schweinehaltung in den Bundesländern im Jahr 2009, bei einer mittleren Einstreumenge von 4,5 kg/GV, Angaben in Mio. t FM/a (SCHULTHEISS et al., 2010).....	56
Tab. 6:	Anfall von Jauche in der Rinder- und Schweinehaltung in den Bundesländern im Jahr 2009, bei einer mittleren Einstreumenge von 4,5 kg/GV, Angaben in Mio. t FM/a (SCHULTHEISS et al., 2010).....	57
Tab. 7:	Risikoeinschätzung für eine Verbreitung von Quarantäneschadorganismen für die verschiedenen Abfallarten aus der Kartoffelverarbeitung bei direkter landwirtschaftlicher Verwertung (STEINMÖLLER, 2003) .....	64
Tab. 8:	Inaktivierung von Schadorganismen von Pflanzen (Pilze und Bakterien) durch thermische Behandlung im Wasserbad (Auszüge aus NOBLE und ROBERTS, 2004 und NOBLE et al., 2009) .....	156
Tab. 9:	Inaktivierung von Schadorganismen von Pflanzen (Viren, Nematoden und Insekten) durch thermische Behandlung im Wasserbad (Auszüge aus NOBLE und ROBERTS, 2004 und NOBLE et al., 2009) .....	157
Tab. 10:	Inaktivierung von Unkräutern durch thermische Behandlung im Wasserbad .	157
Tab. 11:	Überlebenszeiten verschiedener infektiöser Agentien nach Literaturangaben	181
Tab. 12:	Exogene Parasitenstadien in Wirtschaftsdünger (HIEPE und BUCHWALDER, 1991).....	183
Tab. 13:	Erforderliche Menge an Virus für das Haften einer Infektion bei verschiedenen Infektionserregern (SELLERS, 1981; zit. nach STRAUCH, 1996 b).....	202
Tab. 14:	Oral infektiöse Dosen verschiedener Krankheitserreger bei erwachsenen menschlichen Freiwilligen (STRAUCH, 1996 b).....	202
Tab. 15:	Durchschnittliche Bakterienkonzentrationen in Fäces nach GELDREICH (1978) .....	203
Tab. 16:	Erwartete Infektionsrisiken und Pathogengehalte in mesophil anaerob behandeltem Klärschlamm, Boden und Hackfrüchten (GALE, 2005).....	212
Tab. 17:	Wichtige virale, bakterielle und parasitäre Erreger gastrointestinaler Infektionen (GOTTSCHALK, 2006).....	217
Tab. 18:	Einteilung der organischen Düngemittel bzw. deren Ausgangsstoffe in Risikoklassen .....	224

---

Abb. 1:	Langzeitentwicklung des Viehbestands in Deutschland für Rinder und Schweine (ANONYM, 2011 e) .....	51
Abb. 2:	Langzeitentwicklung des Viehbestands in Deutschland für Pferde, Schafe und Ziegen (ANONYM, 2011 e) .....	51
Abb. 3:	Langzeitentwicklung des Viehbestands in Deutschland für Geflügel (ANONYM, 2011 e).....	52
Abb. 4:	Erfasste Bio- und Grüngutmengen in Deutschland in den Jahren 2008 – 2010, je nach Verfügbarkeit der Daten der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (ANONYM, 2012 j) .....	59
Abb. 5:	Vermarktungswege von Kompost (KEHRES, 2010) .....	60
Abb. 6:	Aufkommen kommunaler Klärschlämme in Deutschland von 1986 bis 2008 (SCHMELZ und REIFENSTUHL, 2010) .....	61
Abb. 7:	Verwertungswege für Klärschlamm (2008) (BUDEWIG, 2010) .....	61
Abb. 8:	Verwertungswege für Klärschlamm (2008) (SCHMELZ und REIFENSTUHL, 2010) .....	61
Abb. 9:	Grundzüge der Epidemiologie der Salmonellosen (SELBITZ, 2011 c) .....	113
Abb. 10:	Stufen der Widerstandsfähigkeit von Krankheitserregern im Hinblick auf ihre Inaktivierung bei thermischer Behandlung (BÖHM, 2007) .....	150
Abb. 11:	Tenazität von Mikroorganismen gegenüber Desinfektionsmitteln (ZUCKER et al., 2011) .....	151
Abb. 12:	Vielzahl an Transferwegen für Pathogene in der Umwelt (nach BURTON, 2009; verändert) .....	180
Abb. 13:	Die vier Komponenten der Risikoanalyse (ANONYM, 2010 b) .....	205
Abb. 14:	Konsequenzen einer geringgradigen Exposition mit Krankheitserregern im Trinkwasser (ANONYM, 1979) (zit. nach METZLER, 2000) .....	214
Abb. 15:	Beziehungen zwischen Düngung , Hygiene und Erkrankung hinsichtlich der Mikroorganismenkonzentrationen .....	214

---

## Abkürzungsverzeichnis

CFU	Colony-Forming Unit
EAggEC	enteroaggregative <i>Escherichia coli</i> -Stämme
EHEC	enterohämorrhagische <i>Escherichia coli</i> -Stämme
EIEC	enteroinvasive <i>Escherichia coli</i> -Stämme
EPEC	enteropathogene <i>Escherichia coli</i> -Stämme
ETEC	enterotoxinbildende <i>Escherichia coli</i> -Stämme
FM	Frischmasse
GV	Großvieheinheit (1 GV = 500 kg LG)
IE	infektiöse Einheit
KBE	koloniebildende Einheit
KID <sub>50</sub>	kulturinfektiöse Dosis unter Zugrundelegung des 50 %-Endpunktes
LD <sub>50</sub>	letale Dosis, d. h. die Menge eines Stoffes bei der 50 % einer Population sterben
MKS	Maul- und Klauenseuche
MLD	minimale letale Dosis (kleinste tödliche Dosis)
l	Liter
LG	Lebendgewicht
N	Stickstoff
P	Phosphor
PFU	Plaque Forming Unit
QSO	Quarantäneschadorganismus
TM	Trockenmasse
TMV	<i>Tobacco mosaic virus</i> (Tabakmosaikvirus)
TS	Trockensubstanz
u. U.	unter Umständen

---

## 1 Einleitung

Im Sinne einer nachhaltigen Landwirtschaft ist es ein Bestreben die organische Düngeverwertung, insbesondere die hygienische Situation von Gülle und anderen Substraten in Biogasanlagen zu verbessern. Das Energieeinspeisungsgesetz von 2012 fördert die Verwertung von Energiepflanzen, Wirtschaftsdünger und Bioabfälle in Biogasanlagen. Dies hat zur Folge, dass vermehrt Gülle aus unterschiedlichen Betrieben und seuchenhygienisch bedenkliche Bioabfälle als Substrate in Biogasanlagen eingesetzt werden. Mit der damit verbundenen starken Zunahme der Biogasanlagen (7.521 Anlagen in 2012 geplant) rückt das Thema "Hygiene" in die fachliche und öffentliche Diskussion.

Neuere Studien belegen, dass human- sowie tier- und pflanzenpathogene Krankheitserreger, insbesondere in mesophil betriebenen Biogasanlagen nicht ausreichend inaktiviert werden. Eine Studie vom BfUL (Untersuchungen von Gärrückständen aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Sachsen von der staatlichen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft) kommt sogar zu dem Ergebnis, dass in mesophil betriebenen Anlagen eine Vermehrung von Fäkalkeimen, wie Salmonellen, Enterokokken und *Escherichia coli* stattfindet.

Über die Überlebensfähigkeit von Mikroorganismen, insbesondere von Zoonoseerregern wie Salmonellen, *Escherichia coli* und diversen viralen Erregern und zu deren qualitativen und quantitativen Vorkommen in Gülle, Klärschlamm, Abwasser, Bioabfall und Kompost gibt es zahlreiche Untersuchungen (z. B. WANNER, 1975; ZELLER, 1982; TRAUB et al., 1986; HAIBLE, 1989; STREIB et al., 1989; SOLDIERER, 1991; RÜCKERT, 1991; BUTZ, 1993; ROTH, 1994; RAPP, 1995; STRAUCH, 1996; BREITENFELDT, 2000; HOFERER, 2001; WINTER, 2002; STÖCKLEIN, 2005; LEBHUHN und WILDERER, 2006; DRČA, 2007). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen, dass die Überlebensfähigkeit der Mikroorganismen in diesen Stoffen u. a. durch den Gehalt an organischer Substanz, den Nährstoffgehalt, pH-Wert, Sauerstoff- und Wassergehalt, insbesondere jedoch durch die Temperatur und die angewandte Behandlungsmethode beeinflusst wird.

Neben der seuchenhygienischen muss auch die phytohygienische Unbedenklichkeit von organischen Düngern sichergestellt werden. Während Vorsorgemaßnahmen im Düngemittelbereich in der Vergangenheit im Wesentlichen auf die Seuchenhygiene und Schadstoffreduzierung ausgerichtet waren, wird zunehmend auch die mögliche Gefährdung der Kulturpflanzen, die das Ziel von Düngungsmaßnahmen sind, gesehen. Das Recycling von pflanzlichen Abfällen und die zunehmende Ausbringung von Gärresten aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen haben das Bewusstsein für potentielle Infektionskreisläufe geschärft und die Verletzlichkeit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion sowie der Energiegewinnung in Biogasanlagen durch Phytohygienierisiken erkennen lassen.

Das Ziel dieser Studie ist, anhand von Literaturangaben den seuchen- und phytohygienischen Status der verschiedenen organischen Dünger zu beschreiben.

Außerdem soll in Erfahrung gebracht werden, ob die derzeit geltenden gesetzlichen Vorgaben im Düngemittelrecht (z. B. § 5 der Düngemittelverordnung) ausreichend sind, um eine seuchen- und phytohygienische unbedenkliche Verwertung zu gewährleisten.

## **2 Rechtliche Grundlagen**

### **2.1 International**

#### **2.1.1 Verordnung (EG) Nr. 1774/2002**

Die Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 wurde aufgehoben und durch die Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 (ANONYM, 2009 b) ersetzt. Als Reaktion auf die EU-weite BSE-Krise, aber auch auf Ausbrüche von klassischer Schweinepest (2000) und MKS (2001) erfolgte in der EU im Jahr 2002 eine grundlegende Neuregelung der rechtlichen Bedingungen für die Beseitigung bzw. Verwertung von Tierkörpern, Tierkörperteilen und Erzeugnissen tierischen Ursprungs, die nicht für den menschlichen Verzehr bestimmt sind (ZUCKER et al., 2011). Durch die Verwendung von tierischen Nebenprodukten in Futtermitteln konnten sich BSE und andere Tierseuchen in Europa verbreiten. Tierische Nebenprodukte sind nicht nur eine Gefahr für die Tierhaltung, sie können auch eine Gefahr für die menschliche Gesundheit darstellen, wenn sie nicht ordnungsgemäß entsorgt werden. Deshalb war der Wissenschaftliche Lenkungsausschuss der Europäischen Union zu dem Schluss gelangt, dass Nebenprodukte von Tieren, die aufgrund von Veterinäruntersuchungen genussuntauglich sind, nicht in die Futtermittelkette gelangen sollten. Sie sollten ordnungsgemäß behandelt und im Anschluss an eine geeignete Vorbehandlung einer unschädlichen Beseitigung zugeführt werden, damit die Verbreitung von Krankheitserregern verhindert wird (ANONYM, 2004 a). Das Europäische Parlament und der Rat haben daher am 3. Oktober 2002 die Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 (ANONYM, 2002) mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte erlassen. Diese Verordnung regelt die tierseuchen- und hygienerechtlichen Bedingungen für die Abholung, Sammlung, Beförderung, Lagerung, Behandlung, Verarbeitung und Verwendung oder Beseitigung von tierischen Nebenprodukten. Entsprechend ihrem potentiellen Risiko für die Gefährdung von Menschen, Tieren und Umwelt werden tierische Nebenprodukte in 3 Kategorien eingeteilt und hierfür entsprechende Behandlungsverfahren festgelegt. Zum Material der Kategorie 1 gehören:

- alle Körperteile einschließlich Häute von
  - TSE-verdächtigen oder -bestätigten Tiere
  - Tiere aus Tötungsaktionen im Rahmen von TSE-Tilgungsprogrammen
  - Heim-, Zoo- und Zirkustiere
  - Versuchstiere

- 
- Wildtiere, wenn der Verdacht besteht, dass sie mit einer auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheit infiziert sind
  - Risikomaterial entsprechender Herkunft
  - Erzeugnisse, die von Tieren gewonnen wurden, denen verbotene Stoffe (z. B. Hormone) verabreicht wurden, sowie Erzeugnisse tierischen Ursprungs, die Rückstände von Umweltkontaminanten oder Chemikalien, wie z. B. PCB oder Mykotoxine enthalten
  - alles Tiermaterial, das bei der Behandlung von Abwässern aus Betrieben, die Kategorie 1-Material verarbeiten, gesammelt wird, und von anderen Anlagen, in denen spezifiziertes Risikomaterial entfernt wird, einschließlich Siebreste, Abfall aus Sandfängern, Fett-/Ölgemische, Schlämme und Material aus den Abflussleitungen solcher Anlagen, es sei denn, dieses Material enthält kein spezifiziertes Risikomaterial oder Teile davon
  - Küchen- und Speiseabfälle im grenzüberschreitenden Verkehr (Flugzeuge, Züge, Schiffe)
  - Gemische von Material der Kategorie 1 mit Material der Kategorie 2 oder 3 oder mit Material aus beiden Kategorien

Zum Material der Kategorie 2 gehören:

- Gülle und Magen-Darminhalt
- alles Tiermaterial, das bei der Behandlung von Abwässern aus Schlachthöfen, ausgenommen Schlachthöfe, die Kategorie-1-Material verarbeiten, oder alles Tiermaterial, das bei der Behandlung von Abwässern aus Verarbeitungsbetrieben für Material der Kategorie 2 gesammelt wird, einschließlich Siebreste, Abfall aus Sandfängern, Fett-/Ölgemische, Schlämme und Material aus den Abflussleitungen solcher Anlagen
- Erzeugnisse tierischen Ursprungs mit Rückständen von Tierarzneimitteln und Kontaminanten gemäß der Richtlinie 96/23/EG (z. B. Antibiotika, Kokzidiostatika und Beruhigungsmittel) bei Höchstwertüberschreitung
- Erzeugnisse tierischen Ursprungs (keine Kategorie-1-Materialien), die aus Drittländern eingeführt werden und die den gültigen tierseuchenrechtlichen Vorschriften der Gemeinschaft für die Einfuhr nicht entsprechen
- Tiere und Teile von Tieren, die auf andere Weise als durch Schlachtung für den menschlichen Verzehr sterben
- Tiere aus Tötungsaktionen zur Tilgung einer Tierseuche
- Mischungen von Material der Kategorie 2 mit Material der Kategorie 3, einschließlich Material, das zur Verarbeitung in einem Verarbeitungsbetrieb für Material der Kategorie 2 bestimmt ist

- andere tierische Nebenprodukte als Material der Kategorie 1 oder der Kategorie 3.

Zum Material der Kategorie 3 gehören:

- Teile von geschlachteten Tieren, die genusstauglich sind, die jedoch aus kommerziellen Gründen nicht für den menschlichen Verzehr bestimmt sind
- Teile von geschlachteten Tieren, die als genussuntauglich abgelehnt werden, die jedoch keine Anzeichen einer auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheit zeigen und die von Schlachtkörpern stammen, die genusstauglich sind
- Häute, Hufe und Hörner, Schweineborsten und Federn
- Blut von anderen Tieren als Wiederkäuern, die in einem Schlachthof geschlachtet wurden
- tierische Nebenprodukte, die bei der Gewinnung von für den menschlichen Verzehr bestimmten Erzeugnissen angefallen sind, einschließlich entfetteter Knochen und Grieben
- ehemalige Lebensmittel tierischen Ursprungs oder Erzeugnisse tierischen Ursprungs enthaltende ehemalige Lebensmittel, außer Küchen- und Speiseabfällen, die aus kommerziellen Gründen oder aufgrund von Herstellungsproblemen oder Verpackungsmängeln oder sonstigen Mängeln, die weder für den Menschen noch für Tiere ein Gesundheitsrisiko darstellen, nicht mehr für den menschlichen Verzehr bestimmt sind
- Rohmilch von Tieren, die keine klinischen Anzeichen einer über dieses Erzeugnis auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheit zeigen
- Fische oder andere Meerestiere, ausgenommen Meeressäuger, die auf offener See für die Fischmehlherstellung gefangen wurden
- frische Fischnebenprodukte von Anlagen, die Fischprodukte für den menschlichen Verzehr herstellen
- Schalen, Brütereinebenprodukte und Knickeiernebenprodukte von Tieren, die keine klinischen Anzeichen einer über diese Erzeugnisse auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheit zeigten
- Blut, Häute, Hufe, Federn, Wolle, Hörner, Haare und Pelze von Tieren, die keine klinischen Anzeichen einer über diese Erzeugnisse auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheit zeigten
- andere Küchen- und Speiseabfälle als das Material aus Kategorie 1

Biogas- und Kompostierungsanlagen müssen gemäß dieser Verordnung zugelassen sein.

Hierzu müssen sie folgende Bedingungen erfüllen:

- Erfüllung der Anforderungen des Anhangs VI Kapitel II Abschnitt A
  - Biogasanlagen müssen über eine unumgehbare Pasteurierungs- bzw. Entseuchungsabteilung verfügen, sie müssen mit Geräten zur

- 
- Überwachung der Temperaturentwicklung, mit Geräten zur Aufzeichnung der Messergebnisse ausgestattet sein und sie verfügen über ein angemessenes Sicherheitssystem zur Vermeidung einer unzulänglichen Erhitzung, außerdem müssen geeignete Einrichtungen zur Reinigung und Desinfektion von Fahrzeugen und Behältern beim Verlassen der Biogasanlage vorhanden sein
- für Biogasanlagen, die nur tierische Nebenprodukte verarbeiten, die der Verarbeitungsmethode 1 dieser Verordnung unterzogen wurden, ist eine Pasteurierungs- bzw. Entseuchungsabteilung nicht obligatorisch
  - Kompostierungsanlagen müssen über einen unumgehbar geschlossenen Kompostierreaktor mit Geräten zur Überwachung der Temperaturentwicklung, mit Aufzeichnungsgeräten zur ständigen Aufzeichnung der Messergebnisse und einem angemessenen Sicherheitssystem zur Vermeidung einer unzulänglichen Erhitzung sowie über geeignete Einrichtungen zur Reinigung und Desinfektion von Fahrzeugen und Behältern verfügen
  - jede Biogas- und Kompostieranlage muss über ein betriebseigenes Labor verfügen oder die Dienste eines externen Labors in Anspruch nehmen, das Labor muss für die erforderlichen Analysen ausgerüstet und von der zuständigen Behörde zugelassen sein
  - Erfüllung der Anforderungen des Anhangs VI Kapitel II Abschnitt B und C
    - in Biogas- und Kompostieranlagen dürfen nur folgende tierische Nebenprodukte verarbeitet werden: Material der Kategorie 2 bei Anwendung der Verarbeitungsmethode 1 in einem Verarbeitungsbetrieb für Material der Kategorie 2, Gülle und Magen- und Darminhalt sowie Material der Kategorie 3
    - die tierischen Nebenprodukte müssen nach ihrer Anlieferung so bald wie möglich verarbeitet werden
    - Container, Behälter und Fahrzeuge, in denen unbehandeltes Material befördert wurde, müssen an einem entsprechend ausgewiesenen Ort gesäubert werden, dieser Ort muss so gelegen oder konzipiert sein, dass jedes Risiko der Kontamination behandelter Erzeugnisse vermieden wird
    - es ist systematisch präventiv anhand eines Ungezieferbekämpfungsplans gegen Vögel, Nager, Insekten und anderes Ungeziefer vorzugehen
    - es müssen Reinigungsverfahren für alle Bereich der Anlage festgelegt und dokumentiert sein, geeignete Putzgeräte und Reinigungsmittel sind zur Verfügung zu halten

- regelmäßig müssen Hygienekontrollen durchgeführt und dokumentiert werden
- Installationen und Ausrüstungen müssen in einwandfreiem Zustand gehalten und Messgeräte regelmäßig geeicht werden
- Fermentationsrückstände sind so zu behandeln und zu lagern, dass eine Rekontamination ausgeschlossen ist
- die Anlagen werden regelmäßig durch die zuständigen Behörden kontrolliert
- kritische Kontrollpunkte und Methoden zur Überwachung dieser werden festgelegt und angewandt
- Sicherstellung der mikrobiologischen Qualität für Kompost und Fermentationsrückstände gemäß Anhang VI Kapitel II Abschnitt D über den Nicht-Nachweis von Salmonellen in 25 g und maximal 300 Enterobacteriaceae in 1 g, wobei jeweils 5 Proben untersucht werden müssen und wobei es einen Schwellenwert für Enterobacteriaceae gibt, d. h. in maximal 2 Proben dürfen mehr als 10 KBE/g bis max. 100 KBE/g an Enterobacteriaceae enthalten sein Probe, wobei noch als zulässig gilt, wenn die Keimzahl in den anderen Proben 10 KBE/g oder weniger beträgt

Weiter gelten Vorschriften über das Inverkehrbringen von Gülle, verarbeitete Gülle und verarbeitete Gülleprodukte. Unverarbeitete Gülle, außer Gülle von Geflügel und Equiden, darf nicht gehandelt werden, es sei denn sie stammt aus einem Gebiet, das keinerlei Beschränkungen wegen Ausbruch einer schweren übertragbaren Krankheit unterliegt oder sie ist dazu bestimmt, unter Überwachung der zuständigen Behörden, auf den Flächen eines einzelnen Betriebs ausgebracht zu werden, die diesseits und jenseits der Grenze zwischen zwei Mitgliedstaaten der Europäischen Union liegen. Weiter kann die zuständige Behörde den Handel über eine Veterinärbescheinigung erlauben, wenn die Gülle für die Verarbeitung in einer zugelassenen technischen Anlage oder Biogasanlage oder Kompostieranlage bestimmt ist oder wenn die Gülle zur Ausbringung auf die Flächen eines Betriebes bestimmt ist und keine tierseuchen- und tierschutzrechtlichen Belange entgegenstehen. Unverarbeitete Geflügelgülle darf gehandelt werden, wenn sie aus einem Gebiet stammt, das keinerlei Beschränkungen wegen Ausbruch der Newcastle-Krankheit oder Geflügelpest unterliegt. Unverarbeitete Gülle, die aus Geflügelbeständen stammt, die gegen die Newcastle-Krankheit geimpft worden sind, darf nicht in eine Region versendet werden, der der Status eines „nicht gegen die Newcastle-Krankheit impfenden Gebiets“ zuerkannt wurde, und der Gülle muss eine Veterinärbescheinigung beiliegen. Unverarbeitete Equidengülle darf ohne Einschränkungen aus veterinärhygienischer Sicht gehandelt werden.

Organische Düngemittel und Bodenverbesserungsmittel dürfen nur von zugelassenen Betrieben aus entsprechend behandeltem Material der Kategorie 2 und/oder 3 gewonnen

werden. Des Weiteren sind Fermentationsrückstände aus der Umwandlung in Biogas oder Kompost zulässig.

Die Handhabung und die möglichen Entsorgungswege für Materialien aller drei Kategorien sind in der Verordnung genau definiert. Die Betreiber von Behandlungs- und Verarbeitungsbetrieben müssen Eigenkontrollen nach den Grundsätzen des Systems der Gefahrenanalyse und Überwachung kritischer Kontrollpunkte (HACCP) durchführen. Darunter fallen die Kontrolle der kritischen Kontrollpunkte mit festgelegten Methoden, Probenahmen, Buchführung über die Kontrollen sowie die Rückverfolgbarkeit jeder den Betrieb verlassender Charge.

Im Kapitel 3 des Anhangs werden in Abhängigkeit der Kantenlänge verschiedene Temperatur-Zeit-Angaben gemacht, die zur Hygienisierung der tierischen Nebenprodukte beitragen sollen:

- bei einer Kantenlänge von über 50 mm soll durch gesättigten Dampf mit einem Druck von mindestens 3 bar eine Kerntemperatur von über 133 °C für mindestens 20 min gehalten werden
- bei einer Kantenlänge von über 150 mm sollen die tierischen Nebenprodukte für mindestens 125 min auf über 100 °C Kerntemperatur, für mindestens 120 min auf 110 °C Kerntemperatur oder für mindestens 50 min auf über 120 °C Kerntemperatur erhitzt werden
- bei einer Kantenlänge von über 30 mm sollen die tierischen Nebenprodukte unter Zugaben von Fett für mindestens 16 min auf eine Kerntemperatur von über 100 °C, für mindestens 13 min auf eine Kerntemperatur von über 110 °C, für mindestens 8 min auf eine Kerntemperatur von über 120 °C oder für mindestens 3 min auf eine Kerntemperatur von über 130 °C erhitzt werden
- bei einer Kantenlänge von über 20 mm sollen die tierischen Nebenprodukte bis zum Zerfall erhitzt und anschließend das Fett und Wasser aus dem proteinartigen Material ausgetrieben werden, das verbleibende Material soll für mindestens 120 min auf eine Kerntemperatur von über 80 °C oder für mindestens 60 min auf eine Kerntemperatur von über 100 °C erhitzt werden.

Nach der Behandlung dürfen in 1 g Probematerial keine *Clostridium perfringens*, in 5 Proben à 25 g keine Salmonellen und in 5 Proben à 1 g, von denen bei maximal 2 Proben die Keimzahl zwischen 10 und 300 Erregern liegen darf, keine Enterobacteriaceae mehr nachweisbar sein (ANONYM, 2002).

### **2.1.2 Verordnung (EG) Nr. 1069/2009**

Mit der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 (ANONYM, 2009 b) werden Hygiene- und Tiergesundheitsvorschriften für tierische Nebenprodukte und ihre Folgeprodukte festgelegt, mit deren Hilfe die Risiken, die sich aus diesen Produkten für die Gesundheit

---

von Mensch und Tier ergeben, verhindert beziehungsweise möglichst gering gehalten werden sollen. Insbesondere soll die Sicherheit der Lebensmittel- und Futtermittelkette geschützt werden. Diese Verordnung hebt die Verordnung über tierische Nebenprodukte (EG) Nr. 1774/2002 (ANONYM, 2002) auf. Sie ist eine Artikelverordnung und regelt grundsätzliche Dinge (WIEMER, 2011). Die Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 gilt für tierische Nebenprodukte und ihre Folgeprodukte, die vom Verzehr ausgeschlossen sind, sowie für Produkte, die aufgrund einer Entscheidung eines Unternehmers, die unwiderruflich ist, von der Lebensmittelkette ausgeschlossen sind und für andere Zwecke als zum menschlichem Verzehr bestimmt sind. Nachfolgend ist die Einteilung der Verordnung kurz im Überblick dargestellt:

- allgemeine Bestimmungen
  - gemeinsame Bestimmungen
    - Gegenstand, Anwendungsbereich und Definitionen
    - Pflichten für die Ausgangs- und Endpunkte der Herstellungskette
    - tiergesundheitsliche Beschränkungen
    - Einstufung bzw. Kategorisierung der Materialien
  - Beseitigung und Verwendung tierischer Nebenprodukte und ihrer Folgeprodukte
    - Einschränkungen in Bezug auf die Verwendung
    - Beseitigung und Verwendung
    - Ausnahmen
    - alternative Methoden
- Pflichten der Unternehmer
  - allgemeine Pflichten
    - Sammlung, Transport und Rückverfolgbarkeit
    - Registrierung und Zulassung von Unternehmen, Anlagen oder Betrieben
    - Eigenkontrollen sowie Gefahrenanalyse und kritische Kontrollpunkte
  - Inverkehrbringen
    - tierische Nebenprodukte und Folgeprodukte zur Fütterung von Nutztieren außer von Pelztieren
    - organische Düngemittel und Bodenverbesserungsmittel
    - Folgeprodukte, die in bestimmten anderen Gemeinschaftsvorschriften geregelt sind
    - andere Folgeprodukte
  - Einfuhr, Durchfuhr und Ausfuhr
- amtliche Kontrollen und Schlussbestimmungen
  - amtliche Kontrollen

---

- Schlussbestimmungen

Die Verordnung definiert tierische Nebenprodukte als ganze Tierkörper oder Teile von Tieren oder Erzeugnisse tierischen Ursprungs bzw. andere von Tieren gewonnene Erzeugnisse, die nicht für den menschlichen Verzehr bestimmt sind, einschließlich Eizellen, Embryonen und Samen. Die tierischen Nebenprodukte werden nach dem Grad der von ihnen ausgehenden Gefahr für die Gesundheit von Mensch und Tier in spezifische Kategorien eingestuft, wobei von Materialien der Kategorie 1 die höchsten Gefahren, d. h. nicht abschätzbare Risiken, ausgehen:

- Material der Kategorie 1:
  - ganze Tierkörper und alle Körperteile, einschließlich Häute und Felle, folgender Tiere:
    - TSE-verdächtige Tiere oder Tiere, bei denen das Vorliegen einer TSE amtlich bestätigt wurde
    - Tiere, die im Rahmen von TSE-Tilgungsmaßnahmen getötet wurden
    - Heim-, Zoo- und Zirkustiere
    - für Tierversuche verwendete Tiere
    - Wildtiere, wenn der Verdacht besteht, dass sie mit einer auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheit infiziert sind
  - folgendes Material:
    - spezifiziertes Risikomaterial
    - ganze Tierkörper oder Teile toter Tiere, die zum Zeitpunkt der Beseitigung spezifiziertes Risikomaterial enthalten
  - tierische Nebenprodukte von Tieren, die einer illegalen Behandlung unterzogen wurden
  - tierische Nebenprodukte, die Rückstände anderer Stoffe und Umweltkontaminanten enthalten
  - tierische Nebenprodukte, die bei der in den Vorschriften zur Umsetzung gemäß Artikel 27 Absatz 1 Buchstabe c vorgeschriebenen Behandlung von Abwasser eingesammelt werden
    - von Anlagen oder Betrieben, die Material der Kategorie 1 verarbeiten oder
    - von anderen Anlagen oder Betrieben in denen spezifiziertes Risikomaterial entfernt wird
  - Küchenabfälle von international eingesetzten Verkehrsmitteln
  - Gemische von Material der Kategorie 1 mit Material der Kategorie 2 oder der Kategorie 3 oder mit Material beider Kategorien
- Material der Kategorie 2:
  - Gülle, nicht mineralisierter Guano sowie Magen- und Darminhalt

- 
- tierische Nebenprodukte, die bei der vorgeschriebenen Behandlung von Abwasser anfallen:
    - von Anlagen oder Betrieben, die Material der Kategorie 2 verarbeiten oder
    - von Schlachthöfen
  - tierische Nebenprodukte, die Rückstände von zugelassenen Stoffen oder Kontaminanten, d. h. von Arzneimitteln und/oder deren Metaboliten aufweisen, die über zulässigen Grenzwerten liegen
  - Erzeugnisse tierischen Ursprungs, die aufgrund des Vorliegens von Fremdkörpern für den menschlichen Verzehr nicht geeignet sind
  - andere Erzeugnisse tierischen Ursprungs als Material der Kategorie 1, die
    - aus einem Drittland eingeführt wurden und gemeinschaftliche Veterinärvorschriften über die Einfuhr oder die Verbringung in die Gemeinschaft nicht erfüllen, außer wenn ihre Einfuhr oder Verbringung nach den Gemeinschaftsvorschriften vorbehaltlich spezifischer Einschränkungen oder ihrer Rücksendung in das Drittland zulässig ist oder
    - in einen anderen Mitgliedstaat versandt werden und Anforderungen, die in Gemeinschaftsvorschriften festgelegt oder zugelassen sind, nicht erfüllen, außer wenn sie mit Genehmigung der zuständigen Behörde des Mitgliedstaats zurückgesandt werden
  - andere Tierkörper und Teile von Tieren als die der Kategorie 1 oder der Kategorie 3:
    - die auf anderem Wege zu Tode kamen als durch Schlachtung oder Tötung zum menschlichen Verzehr, einschließlich Tieren, die zum Zweck der Seuchenbekämpfung getötet werden
    - Föten
    - Eizellen, Embryonen und Samen, die nicht für Zuchtzwecke vorgesehen sind
    - tot in der Eischale liegendes Geflügel
  - Gemische von Material der Kategorie 2 mit Material der Kategorie 3
  - andere tierische Nebenprodukte als Material der Kategorie 1 oder der Kategorie 3
  - Material der Kategorie 3:
    - Schlachtkörper und Teile von geschlachteten Tieren oder im Fall von getötetem Wild, ganze Körper oder Teile von toten Tieren, die gemäß den

---

Gemeinschaftsvorschriften genusstauglich, jedoch aus kommerziellen Gründen nicht dafür bestimmt sind

- Schlachtkörper und folgende Teile, die entweder von Tieren stammen, die in einem Schlachthof geschlachtet und nach einer Schlachttieruntersuchung als zum menschlichen Verzehr schlachttauglich eingestuft wurden oder ganze Körper und die folgenden Tierteile, die von Wild stammen, das gemäß den Gemeinschaftsvorschriften zum menschlichen Verzehr getötet wurde:
  - Schlachtkörper oder ganze Körper und Teile von Tieren, die gemäß den Gemeinschaftsvorschriften als genussuntauglich zurückgewiesen wurden, jedoch keine Anzeichen von auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheiten aufwiesen
  - Geflügelköpfe
  - Häute und Felle, einschließlich Zuputzabschnitte und Spalt; Hörner und Füße, einschließlich Zehenknochen sowie Carpus und Metacarpusknochen, Tarsus und Metatarsusknochen von
    - anderen Tieren als Wiederkäuern, die auf TSE getestet werden müssen, sowie
    - Wiederkäuern, die gemäß Artikel 6 Absatz 1 der Verordnung (EG) Nr. 999/2001 mit negativem Ergebnis getestet wurden
  - Schweineborsten
  - Federn
- tierische Nebenprodukte von Geflügel und Hasenartigen, die in einem landwirtschaftlichen Betrieb geschlachtet wurden und die keine Anzeichen von auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheiten aufwiesen
- Blut von Tieren, die keine Anzeichen einer durch Blut auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheit aufwiesen, von den folgenden Tieren, die in einem Schlachthof geschlachtet wurden nachdem sie nach einer Schlachttieruntersuchung gemäß den Gemeinschaftsvorschriften als zum menschlichen Verzehr schlachttauglich eingestuft wurden:
  - anderen Tieren als Wiederkäuern, die auf TSE getestet werden müssen
  - Wiederkäuern, die mit negativem Ergebnis (TSE) getestet wurden
- tierische Nebenprodukte, die bei der Gewinnung von für den menschlichen Verzehr bestimmten Erzeugnissen angefallen sind, einschließlich entfetteter Knochen und Grieben und Zentrifugen- oder Separatorschlamm aus der Milchverarbeitung

- 
- Erzeugnisse tierischen Ursprungs oder Lebensmittel, die Produkte tierischen Ursprungs enthalten, die nicht mehr zum menschlichen Verzehr aus kommerziellen Gründen oder aufgrund von Herstellungs- oder Verpackungsmängeln oder Mängeln, von denen keine Gefahr für die Gesundheit von Mensch oder Tier ausgeht, bestimmt sind
  - Heimtierfutter und Futtermittel tierischen Ursprungs oder Futtermittel, die tierische Nebenprodukte oder Folgeprodukte enthalten, die aus kommerziellen Gründen oder aufgrund von Herstellungs- oder Verpackungsmängeln oder anderen Mängeln, von denen keine Gefahr für die Gesundheit von Mensch oder Tier ausgeht, nicht mehr für die Fütterung bestimmt sind
  - Blut, Plazenta, Wolle, Federn, Haare, Hörner, Abfall vom Hufausschnitt und Rohmilch von lebenden Tieren, die keine Anzeichen von durch dieses Produkt auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheiten aufwiesen
  - Wassertiere und Teile von solchen, außer Meeressäugtiere, die keine Anzeichen einer auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheit aufwiesen
  - tierische Nebenprodukte von Wassertieren aus Betrieben oder Anlagen, die Erzeugnisse zum menschlichen Verzehr herstellen
  - folgendes Material von Tieren, die keine Anzeichen von durch dieses Material auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheiten aufwiesen:
    - Schalen von Weich- und Krebstieren mit weichem Gewebe oder Fleisch
    - folgendes Material von Landtieren:
      - Brütereinebenprodukte
      - Eier
      - Ei-Nebenprodukte, einschließlich Eierschalen
    - aus kommerziellen Gründen getötete Eintagsküken
  - wirbellose Wasser- und Landtiere, ausgenommen für Mensch oder Tier krankheitserregende Arten
  - Tiere und Teile von Tieren der zoologischen Ordnung Rodentia und Hasenartige, außer Material der Kategorie 1 und der Kategorie 2
  - Häute und Felle, Hufe, Federn, Wolle, Hörner, Haare und Pelze von toten Tieren, die keine Anzeichen einer durch dieses Produkt auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheit aufwiesen
  - Fettgewebe von Tieren, die keine Anzeichen einer durch dieses Material auf Mensch oder Tier übertragbaren Krankheit aufwiesen, die in einem Schlachthof geschlachtet wurden und die nach einer Schlachttierunter-

---

suchung gemäß den Gemeinschaftsvorschriften als zum menschlichen Verzehr schlachttauglich eingestuft wurden

- Küchen- und Speiseabfälle, die nicht unter Kategorie 1-Material fallen

Die verschiedenen Materialien aus den 3 Kategorien können als Abfall durch Verbrennung beseitigt oder durch Mitverbrennung verwertet oder beseitigt werden. Die Beseitigung von Materialien der Kategorie 1 kann auch durch Drucksterilisation mit anschließender Deponierung erfolgen. Küchenabfälle aus der Kategorie 1 können durch Vergraben in einer Deponie beseitigt werden. Ferner besteht die Möglichkeit die Materialien aus den drei Kategorien als Brennstoff zu verwenden oder Folgeprodukte nach/mit entsprechender Behandlung daraus herzustellen. Aus Materialien der Kategorie 2 und der Kategorie 3 können organische Düngemittel oder Bodenverbesserungsmittel hergestellt werden. Ferner besteht die Möglichkeit die Materialien der beiden Kategorien zu kompostieren oder in Biogas umzuwandeln. Material der Kategorie 2 muss vor der Kompostierung oder Anaerobvergärung durch Drucksterilisation behandelt werden, mit Ausnahme von Gülle, Magen und Darm und dessen Inhalt, Milch, Erzeugnisse auf Milchbasis, Kolostrum, Eier und Eiprodukte, wenn von diesen Stoffen keine Gefahr für die Verbreitung einer schweren Krankheit besteht. Gülle und Magen- und Darminhalt sowie Milch, Erzeugnisse auf Milchbasis und Kolostrum können ohne Verarbeitung auf Flächen ausgebracht werden, wenn von diesen Stoffen keine Gefahr der Verbreitung einer schweren Krankheit besteht. Aus Materialien der Kategorie 3 können zudem Futtermittel für Nutz-, Pelz- und Heimtiere hergestellt werden. Materialien von Wassertieren sind zu silieren, zu kompostieren oder in Biogas umzuwandeln. Küchen- und Speiseabfälle müssen entweder durch Drucksterilisation oder durch andere Verfahren verarbeitet oder in Biogas umgewandelt werden. Rohmilch, Kolostrum und Produkte auf Milchbasis und auf Basis von Kolostrum als Kategorie 3-Material können ohne Verarbeitung auf Flächen ausgebracht werden, wenn keine Gefahr für die Verbreitung einer übertragbaren Krankheit für Mensch und Tiere besteht.

Organische Düngemittel und Bodenverbesserungsmittel dürfen nur in Verkehr gebracht und verwendet werden, sofern:

- sie aus Material der Kategorie 2 oder 3 gewonnen wurden
- gemäß den Bedingungen für Drucksterilisation oder anderen Bedingungen zur Verhinderung von Gefahren für die Gesundheit von Mensch und Tier hergestellt wurden
- sie aus zugelassenen oder registrierten Anlagen oder Betrieben stammen
- sie — im Falle von aus Material der Kategorie 2 gewonnenem Fleisch- und Knochenmehl und von verarbeiteten tierischen Proteinen, die als organische Düngemittel und Bodenverbesserungsmittel oder in diesen verwendet werden sollen —, mit einem Bestandteil gemischt wurden, der die nachfolgende

---

Verwendung der Mischung zu Fütterungszwecken ausschließt und gegebenenfalls unter Anwendung von Maßnahmen gekennzeichnet wurden.

Zusätzlich dürfen Fermentationsrückstände aus der Umwandlung in Biogas oder Kompost in Verkehr gebracht und als organische Düngemittel und Bodenverbesserungsmittel verwendet werden. Verboten ist die Fütterung von Nutztieren mit Grünfutter, entweder unmittelbar durch Beweidung oder durch Fütterung mit geschnittenem Grünfutter von Flächen, auf die organische Düngemittel oder Bodenverbesserungsmittel, außer Gülle, ausgebracht wurden, es sei denn, der Schnitt oder die Beweidung erfolgt nach einer Wartezeit, die eine ausreichende Kontrolle der Gefahren für die Gesundheit von Mensch und Tier gewährleistet und mindestens 21 Tage beträgt.

Nationale Vorschriften über zusätzliche Bedingungen für die Verwendung oder für Einschränkungen der Verwendung von organischen Düngemitteln und Bodenverbesserungsmitteln können erlassen oder beibehalten werden, sofern solche Vorschriften aus Gründen des Schutzes der Gesundheit von Mensch und Tier gerechtfertigt sind.

Die Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 erlaubt weiterhin die Festlegung von Maßnahmen im Hinblick auf Tiergesundheits- und Hygienebedingungen für die Herstellung und die Verwendung von organischen Düngemitteln und Bodenverbesserungsmitteln sowie bezüglich Bestandteilen oder Stoffen, die mit organischen Düngemitteln oder Bodenverbesserungsmitteln gemischt werden sowie deren Kennzeichnung. Zudem können Methoden festgelegt werden, die zur Kennzeichnung zu verwenden sind und einzuhaltende Mindestmischungsverhältnisse, damit die Verwendung solcher Düngemittel oder Bodenverbesserungsmittel zu Fütterungszwecken ausgeschlossen wird. Ferner können Maßnahmen getroffen werden, die die Bedingungen für die Fütterung von Nutztieren mit Grünfutter von Flächen, auf die organische Düngemittel oder Bodenverbesserungsmittel ausgebracht wurden, insbesondere eine Änderung der Wartezeit getroffen werden.

### **2.1.3 Verordnung (EU) Nr. 142/2011**

In der Verordnung (EU) Nr. 142/2011 (ANONYM, 2011 b) werden detaillierte Vorgaben zur Anwendung der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 gemacht, wie Behandlungsmethoden, Ver- und Bearbeitung, Probenahme und Grenzwerte. Teilweise sind die Behandlungen mit den jeweiligen Zeit-Temperatur-Partikelgröße-Angaben sowie die Grenzwerte für *Clostridium perfringens*, Salmonellen und Enterobacteriaceae bereits in der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 ausgeführt. Darüber hinaus werden z. B. alternative Behandlungsmethoden (Alkalische Hydrolyse, Thermo-Druck-Hydrolyse, Hochdruck-Hydrolyse-Biogas-Verfahren, Biodieselherstellung, Brookes-Vergasung, Verbrennung von

---

Tierfett in einem Wärmeboiler und Thermomechanische Herstellung von Biobrennstoffen) oder ausführliche Sonderbestimmungen vorgegeben.

Die in Kapitel 2 gegebenen Anforderungen an die Hygiene besagen unter anderem, dass:

- Verarbeitungsbetriebe über ein dokumentiertes Schädlingsbekämpfungsprogramm zum Schutz vor Schädlingen wie Insekten, Nagern und Vögeln verfügen müssen (über die allgemeinen Hygieneanforderungen hinaus)
- genau geeichte Mess- und Aufzeichnungsgeräte zu verwenden sind
- Material, das nicht den vorgegebenen Anforderungen einer Hitzebehandlung unterzogen wurde, erneut eingespeist und hitzebehandelt oder gesammelt und erneut verarbeitet oder beseitigt werden muss
- mit Material der Kategorien 1 und 2 nach den Vorgaben der Verordnung zu verfahren ist
- die Intensität der Hitzebehandlung für Material der Kategorie 3 maßgeblichen abhängig ist von den kritischen Kontrollpunkten
  - Partikelgröße des Rohmaterials
  - Höhe der erreichten Temperatur und Einwirkzeit
  - Stärke des einwirkenden Drucks
  - bei chemischen Methoden: pH-Wert.

Als Behandlungsmethoden im Sinne dieser Verordnung gelten dabei:

- Methode 1 Drucksterilisation (Kategorie 2-Material, Kategorie 3-Material)
  - Partikelgröße  $\leq 50$  mm
  - Kerntemperatur  $\geq 133$  °C
  - absoluter Druck  $\geq 3$  bar
  - Einwirkdauer  $\geq 20$  min
- Methode 2 (Kategorie 3-Material)
  - Partikelgröße  $\leq 150$  mm
  - Kerntemperatur  $\geq 100$  °C, Einwirkdauer  $\geq 125$  min und
  - Kerntemperatur  $\geq 110$  °C, Einwirkdauer  $\geq 120$  min und
  - Kerntemperatur  $\geq 120$  °C, Einwirkdauer  $\geq 50$  min
- Methode 3 (Kategorie 3-Material)
  - Partikelgröße  $\leq 30$  mm
  - Kerntemperatur  $\geq 100$  °C, Einwirkdauer  $\geq 95$  min und
  - Kerntemperatur  $\geq 110$  °C, Einwirkdauer  $\geq 55$  min und
  - Kerntemperatur  $\geq 120$  °C, Einwirkdauer  $\geq 13$
- Methode 4 (Kategorie 3-Material) unter Zugabe von Fett
  - Partikelgröße  $\leq 30$  mm
  - Kerntemperatur  $\geq 100$  °C, Einwirkdauer  $\geq 16$  min und
  - Kerntemperatur  $\geq 110$  °C, Einwirkdauer  $\geq 13$  min und

- 
- Kerntemperatur  $\geq 120$  °C, Einwirkdauer  $\geq 8$  und
  - Kerntemperatur  $\geq 130$  °C, Einwirkdauer  $\geq 3$  min
  - Methode 5 (Kategorie 3-Material) mit Austreiben von Fett und Wasser
    - Partikelgröße  $\leq 20$  mm
    - Kerntemperatur  $\geq 100$  °C, Einwirkdauer  $\geq 95$  min und
    - Kerntemperatur  $\geq 110$  °C, Einwirkdauer  $\geq 55$  min und
    - Kerntemperatur  $\geq 120$  °C, Einwirkdauer  $\geq 13$  min
  - Methode 7 (Kategorie 3-Material) von der zuständigen Behörde genehmigte Verarbeitungsmethode, für die Folgendes nachzuweisen ist:
    - Feststellung relevanter Gefährdungen im Ausgangsmaterial hinsichtlich des Ursprungs des Materials und der möglichen Risiken in Bezug auf den Tiergesundheitsstatus
    - Leistungsfähigkeit der Methode, diese Gefährdungen auf ein Niveau zu begrenzen, das keine wesentlichen Risiken für die Gesundheit von Mensch und Tier birgt
    - tägliche Probenahme beim Endprodukt über einen Zeitraum von 30 Herstellungstagen in Übereinstimmung mit den folgenden mikrobiologischen Standards:
      - *Clostridium perfringens*: kein Befund in 1 g des Produkts
      - Salmonellen: nicht nachweisbar in 25 g
      - Enterobacteriaceae: max. 300 in 1 g, Schwellenwert 10 in 1 g
    - Angabe von kritischen Kontrollpunkten und Aufzeichnungen über Partikelgröße, kritische Temperatur, Absolutzeit, Druckprofil, Vorschubgeschwindigkeit des Rohmaterials und Fettrecyclingrate
    - Genehmigung der Methode erfolgte bereits nach Verordnung (EG) 1774/2002

#### **2.1.4 RL 2000/29/EG**

Die RL 2000/29/EG (ANONYM, 2000 e) dient dem Schutz der Europäischen Union vor der Einschleppung und Ausbreitung von Quarantäneschadorganismen der Pflanzen und Pflanzenerzeugnisse. Im Anhang I sind 272 Quarantäneschadorganismen namentlich genannt. 12 davon sind für den Ackerbau von besonderer Bedeutung. Eine direkte Bekämpfung ist aufgrund der Biologie dieser Schadorganismen nicht möglich, so dass im Falle eines Auftretens Anbauverbote oder -beschränkungen ausgesprochen werden. Allgemein besteht die Pflicht zur Ausrottung, Eindämmung oder Bekämpfung, wenn Quarantäneschadorganismen auftreten. Die zu ergreifenden Maßnahmen bedeuten für betroffene Betriebe oftmals starke wirtschaftliche Belastungen und Einschränkungen in der Kultur- oder Sortenwahl. Sollte ein Quarantäneschadorganismus in ein Gebiet

eingeschleppt werden, in dem er bisher nicht vorkam, besteht die Pflicht zur Meldung an die Mitgliedstaaten der EU und die Kommission im Rahmen des Europäischen Frühwarnsystems.

Die RL 2000/29/EG fordert, dass Quarantäneschadorganismen oder potenzielle, bisher nicht bekannte Schadorganismen weder mit Pflanzen, Pflanzenerzeugnissen noch mit Erde, Kultursubstrat oder anderen Befallsgegenständen eingeführt oder innergemeinschaftlich verbracht werden dürfen. Dementsprechend müssen auch organische Düngemittel und andere in der Landwirtschaft eingesetzte Stoffe frei von Quarantäneschadorganismen des Anhangs I der RL 2000/29/EG sind. In zugehörigen Durchführungsbestimmungen der Europäischen Kommission sind detailliertere Vorgaben zur Bekämpfung des Kartoffelkrebses (RL 69/464/EWG zu *Synchytrium endobioticum*), von Kartoffelnematoden (RL 2007/33/EG zu *Globodera pallida* und *G. rostochiensis*) sowie der Schleimkrankheit (RL 98/57/EWG zu *Ralstonia solanacearum*) und der bakteriellen Ringfäule (RL 93/85/EWG zu *Clavibacter michiganensis ssp. sepedonicus*) enthalten, die auch die phytohygienisch unbedenkliche Entsorgung von infizierten Kartoffeln und Erden betreffen. Diese Maßnahmen greifen jedoch nur, wenn bei einer amtlichen Untersuchung ein Befall oder Befallsverdacht festgestellt worden ist. Damit ist sichergestellt, dass offensichtliche Infektionsquellen in Form von kontaminierten Kartoffelabfällen und Resterden nicht für die Erzeugung von organischen Düngemitteln recycelt werden. Diese Maßnahmen sind allerdings nicht wirksam, wenn Infektionen aufgrund von Latenz oder einer anfänglichen Krankheitsentwicklung noch nicht erkennbar sind.

## **2.2 National**

### **2.2.1 Düngegesetz**

Das Düngegesetz (ANONYM, 2009 a) regelt die Anwendung, das Inverkehrbringen, die Haftung, und Überwachung von Düngemitteln. Zweck dieses Gesetzes ist es, die Ernährung von Nutzpflanzen sicherzustellen, die Fruchtbarkeit des Bodens, insbesondere den standort- und nutzungstypischen Humusgehalt, zu erhalten oder nachhaltig zu verbessern. Weiter sollen mit diesem Gesetz Gefahren für die Gesundheit von Menschen und Tieren sowie für den Naturhaushalt vorgebeugt oder abgewendet werden, die durch das Herstellen, Inverkehrbringen oder die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Pflanzenhilfsmitteln sowie Kultursubstraten oder durch andere Maßnahmen des Düngens entstehen können. Mit diesem Gesetz wird eine Rechtsakte der Europäischen Union umgesetzt bzw. durchgeführt. Düngemittel dürfen nur angewendet und in den Verkehr gebracht werden, wenn sie zugelassen und rechtmäßig hergestellt sind. Ausgenommen von dieser Regelung sind Wirtschaftsdünger, die im eigenen Betrieb anfallen sowie Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel, die ausschließlich aus Stoffen bestehen oder hergestellt worden sind, die im eigenen Betrieb des Anwenders anfallen.

---

Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Pflanzenhilfsmittel und Kultursubstrate dürfen nur nach guter fachlicher Praxis angewendet werden. Düngung nach guter fachlicher Praxis dient der Versorgung der Pflanzen mit notwendigen Nährstoffen sowie der Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit, um insbesondere die Versorgung der Bevölkerung mit qualitativ hochwertigen, preiswerten Erzeugnissen zu sichern. Zur guten fachlichen Praxis gehört, dass Art, Menge und Zeitpunkt der Anwendung am Bedarf der Pflanzen und des Bodens ausgerichtet werden. Zum Schutz von Gewässern vor Verunreinigung, insbesondere durch Nitrat, können nach dem Düngegesetz Vorschriften erlassen werden über:

- Zeiträume, in denen das Aufbringen bestimmter Düngemittel auf landwirtschaftlichen Flächen verboten ist
- flächenbezogene Obergrenzen für das Aufbringen von Nährstoffen aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft
- das Aufbringen von Düngemitteln auf stark geneigten landwirtschaftlichen Flächen
- das Aufbringen von Düngemitteln auf wassergesättigten, überschwemmten, gefrorenen oder schneebedeckten Böden
- die Bedingungen für das Aufbringen von Düngemitteln auf landwirtschaftlichen Flächen in der Nähe von Wasserläufen
- die Berücksichtigung von beim Weidegang anfallenden sowie durch andere Maßnahmen als der Düngung zugeführten Nährstoffen
- die Aufzeichnungen der Anwendung von Düngemitteln
- die Technik zum Aufbringen von Düngemitteln sowie
- die Lagerkapazität für Wirtschaftsdünger.

Ferner können für Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Pflanzenhilfsmittel und Kultursubstrate Anwendungsbeschränkungen oder -verbote erlassen werden. Weiter können gemäß dieses Gesetzes Vorschriften über Aufzeichnungs-, Melde-, Mitteilungs- oder Aufbewahrungspflichten bezüglich des Inverkehrbringens, des Herstellens, des Beförderns, der Übernahme oder des Lagerns von Stoffen erlassen werden. Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Pflanzenhilfsmittel und Kultursubstrate, die nicht als EG-Düngemittel bezeichnet sind, dürfen nur in den Verkehr gebracht werden, soweit sie geeignet sind, das Wachstum von Nutzpflanzen wesentlich zu fördern, ihren Ertrag wesentlich zu erhöhen, ihre Qualität wesentlich zu verbessern oder die Fruchtbarkeit des Bodens, insbesondere den standort- und nutzungstypischen Humusgehalt, zu erhalten oder nachhaltig zu verbessern, und die bei sachgerechter Anwendung die Gesundheit von Menschen und Tieren nicht schädigen und den Naturhaushalt nicht gefährden. Mit dem Düngegesetz können Rechtsverordnungen erlassen werden, die das Inverkehrbringen näher regeln, insbesondere hinsichtlich Beschränkungen und Verboten sowie Verpackung oder Behältnissen, in denen die Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Pflanzenhilfsmittel und Kultursubstrate transportiert werden. Es können kraft dieses Gesetzes Vorschriften über zugelassene Aus-

---

gangsstoffe, Art der Herstellung, Zusammensetzung nach Haupt- und Nebenbestandteilen, insbesondere über Nährstoffgehalt, Nährstoffform sowie Art und Gehalt von Nebenbestandteilen, Nährstoffverfügbarkeit, Wirkung von Nebenbestandteilen, äußere Merkmale, insbesondere Korngröße, Mahlfineinheit, Siebdurchgang oder Färbung und andere für die Aufbereitung, Anwendung oder Wirkung des Stoffes wichtige Anforderungen erlassen werden. Zum Schutz der Gesundheit von Menschen und Tieren oder des Naturhaushalts kann in Rechtsverordnungen vorgeschrieben werden, dass der Hersteller eines Stoffes, Aufzeichnungen über die Zusammensetzung des Stoffes oder über die zur Herstellung verwendeten Ausgangsstoffe und deren Herkunft zu erstellen hat. Darüber hinaus kann die Art und Weise der Aufzeichnungen sowie die Dauer ihrer Aufbewahrung und die Übermittlung bzw. Vorlage bei der zuständigen Stelle geregelt werden. Düngemittel dürfen mit der Bezeichnung „EG-Düngemittel“ nur in den Verkehr gebracht werden, wenn sie einem Düngemitteltyp entsprechen, der in den einschlägigen EG- bzw. EU-Verordnungen festgelegt ist. Weiter können nach § 7 dieses Gesetzes in Rechtsverordnungen folgende Angaben vorgeschrieben werden: Verkehrsbezeichnung, zur Herstellung verwendete Ausgangsstoffe, Art der Herstellung, Zusammensetzung nach Haupt- und Nebenbestandteilen, insbesondere über Nährstoffgehalt, Nährstoffform sowie Art und Gehalt von Nebenbestandteilen sowie deren Einteilung in Aufbereitungshilfsmittel, Anwendungshilfsmittel und Fremdbestandteile, Nährstoffverfügbarkeit, Wirkung von Nebenbestandteilen, äußere Merkmale, insbesondere Korngröße, Mahlfineinheit, Siebdurchgang oder Färbung, andere für die Aufbereitung, Anwendung oder Wirkung des Stoffes wichtige Anforderungen, das Gewicht oder das Volumen der Verpackungseinheit, der Name oder die Firma des für das Inverkehrbringen Verantwortlichen, Hinweise zur sachgerechten Anwendung, Lagerung oder Behandlung, die Rechtsvorschrift oder rechtliche Grundlage, auf Grund derer das Düngemittel, der Bodenhilfsstoff, das Pflanzenhilfsmittel oder das Kultursubstrat in den Verkehr gebracht worden ist. In diesem Gesetz werden auch die Überwachung, die Probenahmeverfahren und Analysemethoden sowie die Einrichtung eines wissenschaftlichen Beirats für Düngungsfragen, der Klärschlamm-Entschädigungsfond und behördliche Anordnungen geregelt.

### **2.2.2 Düngemittelverordnung**

Die Düngemittelverordnung (ANONYM, 2008 c; ANONYM, 2012 I) gilt für das Inverkehrbringen von Düngemitteln, die nicht als EG-Düngemittel bezeichnet sind, sowie für das Inverkehrbringen von Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln. Die §§ 4 bis 7 gelten nicht beim Abgeben von Wirtschaftsdüngern sowie Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln unter ausschließlicher Verwendung von Wirtschaftsdüngern zwischen zwei Betrieben, die demselben Landwirt gehören, sowie zwei juristischen Personen, die beide von demselben Landwirt als alleinigem Anteilseigner

---

oder alleinigem Gesellschafter beherrscht werden, und beim Abgeben dieser Stoffe zwischen einem Landwirt und einer juristischen Person, die von diesem Landwirt als alleinigem Anteilseigner oder alleinigem Gesellschafter beherrscht wird. § 4 regelt das Inverkehrbringen von Wirtschaftsdüngern, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln. Diese Stoffe dürfen nur in den Verkehr gebracht werden, wenn:

- sie bei sachgerechter Anwendung die Fruchtbarkeit des Bodens, die Gesundheit von Menschen, Haustieren und Nutzpflanzen nicht schädigen und den Naturhaushalt nicht gefährden
- für die Herstellung als Ausgangsstoffe nur Stoffe verwendet werden, die einen pflanzenbaulichen, produktions- oder anwendungstechnischen Nutzen haben oder dem Bodenschutz oder der Erhaltung und Förderung der Fruchtbarkeit des Bodens dienen, und die bei sachgerechter Anwendung die Fruchtbarkeit des Bodens, die Gesundheit von Menschen, Haustieren und Nutzpflanzen nicht schädigen und den Naturhaushalt nicht gefährden
- für die Herstellung organische Ausgangsstoffe, außer Nebenbestandteile nach Anlage 2 Tabelle 8, nur nach Maßgabe der Anlage 2 Tabelle 7 verwendet werden
- für die Herstellung Aufbereitungshilfsmittel nach Anlage 2 Tabelle 8.1 sowie Anwendungshilfsmittel nach Anlage 2 Tabelle 8.2 nur nach den dort getroffenen Maßgaben verwendet werden
- für die Herstellung Fremdbestandteile nur nach Maßgabe der Anlage 2 Tabelle 8.3 enthalten sind, diese bei der Zugabe nicht überwiegen, es sei denn, in Anlage 2 Tabelle 8.3 wird für einzelne Stoffe ein anderer Anteil zugelassen und diese im Rahmen ihrer Zugabe nicht zu einer Erhöhung der Schadstoffkonzentrationen führen
- für die Herstellung mineralische Produktionsrückstände, außer Nebenbestandteile nach Anlage 2 Tabelle 8, nur nach Maßgabe der Anlage 2 Tabellen 6 und 7 verwendet werden
- für die Herstellung keine anderen Phosphate als die nach Anlage 2 Tabelle 4.1 genannten verwendet werden
- in Wirtschaftsdüngern sowie in Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln und in deren Ausgangsstoffen nach Anlage 2 Tabellen 6 bis 8 die Grenzwerte nach Anlage 2 Tabelle 1.4 Spalte 4 nicht überschritten sind
- als Fremdbestandteil nach Anlage 2 Tabelle 8.3 Steine über 10 mm Siebdurchgang nicht über einen Anteil von 5 %/TM und Altpapier, Karton, Glas, nicht abbaubare Kunststoffe nur nach Maßgabe der Anlage 2 Tabelle 8 Nr. 8.3.9 und nicht über einen Anteil von 0,5 %/TM enthalten sind.

Nach § 5 der Düngemittelverordnung (ANONYM, 2008 c; ANONYM, 2012 I) müssen Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel so beschaffen sein,

dass keine Krankheitserreger, Toxine oder Schaderreger enthalten sind, von denen Gefahren für die Gesundheit von Menschen, Haustieren und Nutzpflanzen ausgehen. Bei sachgerechter Anwendung dürfen sie den Naturhaushalt nicht gefährden und die Fruchtbarkeit des Bodens nicht schädigen. Dieser Grundsatz der Düngemittelverordnung gilt für alle Endprodukte und verwendeten Ausgangsstoffe, die der Verordnung unterliegen. Der Grundsatz ist dann eingehalten, wenn in den o. g. Materialien keine Krankheitskeime, Toxine oder Schaderreger enthalten sind, von denen eine Gefahr für Mensch, Tier und Pflanze ausgeht. Um die notwendige Abgrenzung deutlich zu machen, sind die Fälle beschrieben, in denen die Anforderungen nicht eingehalten werden. Dies ist der Fall, wenn Salmonellen in 50 g Probenmaterial gefunden werden. Dies ist auch der Fall, wenn Ausgangsstoffe pflanzlicher Herkunft, auch in Mischungen, verwendet werden, die von widerstandsfähigen Schadorganismen, insbesondere von einem der in § 1 a Absatz 1 der Pflanzenbeschauverordnung genannten Schadorganismus oder von thermoresistenten Viren, insbesondere solche aus der Tobamovirus-Gruppe oder von pilzlichen Erregern mit widerstandsfähigen Dauerorganen, insbesondere *Synchytrium endobioticum*, *Sclerotinia*-Arten, *Rhizoctonia solani*, *Plasmodiophora brassicae* befallen sind und nicht einer geeigneten hygienisierenden Behandlung unterzogen wurden. Das Auftreten von positiven Salmonellenbefunden führt jedoch nicht zum automatischen Anwendungsverbot der Materialien. Sie dürfen auch bei positivem Befund verwendet bzw. in Verkehr gebracht werden, wenn folgende Vorgaben eingehalten: sie dürfen nur an Personen abgegeben werden, die diese im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit anwenden und es muss auf eine bestehende Belastung mit Salmonellen in der Kennzeichnung hingewiesen werden. Ebenso müssen folgende als Anwendungsvorgaben gekennzeichnete Hinweise gegeben werden:

- auf Ackerland ist die Anwendung ausschließlich auf unbestelltem Ackerland und bei sofortiger Einarbeitung zulässig, es sei denn, die Ausbringung erfolgt zu Wintergetreide und Winterraps bis zum Schosserstadium (EC 30) mit bodennaher Ausbringungstechnik
- die Ausbringung auf unbestellten Ackerflächen mit nachfolgendem Gemüse- oder Kartoffelanbau oder dem nachfolgenden Anbau von Heil-, Duft- und Gewürzkräutern ist nicht zulässig
- auf Grünland und Futterbauflächen ist ein zeitlicher Abstand von 6 Wochen bis zur nächsten Nutzung einzuhalten
- die Ausbringung in Zonen I und II von Wasserschutzgebieten ist nicht zulässig und wenn im Falle der Verwendung von Klärschlamm als Ausgangsstoff deren Abgabe nur zur Aufbringung auf Flächen erfolgt, die im Zuständigkeitsbereich der am Sitz der Kläranlage für den Vollzug der Düngeverordnung zuständigen landwirtschaftlichen Fachbehörde liegen, es sei denn, der Abgeber ist Mitglied eines Trägers einer regelmäßigen Qualitätsüberwachung, welche die ordnungsgemäße Aufbringung sichert.

Diese in der Kennzeichnung zu fixierenden Anwendungsvorschriften sind durch den anwendenden Landwirt in jedem Fall einzuhalten. Die seuchenhygienischen Anforderungen gelten weiterhin als eingehalten für Wirtschaftsdünger, die in einem von mehreren Landwirten genutzten gemeinschaftlichen Güllelager (z. B. Verbund) aufbewahrt werden, wenn sichergestellt ist, dass die Wirtschaftsdünger ausschließlich in den Betrieben der Landwirte angefallen sind, die an der Nutzung des Güllelagers beteiligt sind, und ausschließlich auf den Flächen dieser Landwirte ausgebracht werden. Die seuchenhygienischen Anforderungen gelten abweichend von Absatz 2 als eingehalten, wenn alle verwendeten tierischen Ausgangsprodukte eine geeignete Behandlung zur Hygienisierung entsprechend den Bestimmungen der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 (ANONYM, 2002) erfahren haben. Weiter regelt die Düngemittelverordnung Anforderungen an die Kennzeichnung, bezüglich Inhaltsstoffe, Nährstoffe, Schadstoffe und Gehalte sowie an die Kennzeichnung auf Verpackungen und Transportbehältnissen und Begleitpapieren. Eine Kennzeichnung im eigenen Betrieb erzeugter Wirtschaftsdünger ist nicht erforderlich, wenn bei einer Abgabe an Dritte zum dortigen eigenen Verbrauch die abgegebene Menge 1 t Frischmasse/Kalenderjahr nicht überschreitet. Eine Kennzeichnung ist ferner nicht erforderlich, wenn im eigenen Betrieb angefallener Dünger an einen landwirtschaftlichen Betrieb zur Verwertung als Düngemittel auf dessen Flächen abgegeben wird und vom abgebenden Betrieb eine Abgabemenge von insgesamt 200 Tonnen Frischmasse im Kalenderjahr nicht überschritten wird. Die für den Vollzug der Düngemittelverordnung zuständige Behörde kann Ausnahmen zulassen. Weiter regelt die Düngemittelverordnung in § 7 Toleranzen für Nährstoffgehalte, typbestimmende Nährstoffgehalte, Nährstoffformen etc.

### **2.2.3           Düngeverordnung**

Die Düngeverordnung (ANONYM, 2007 d) regelt die gute fachliche Praxis bei der Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln auf landwirtschaftlich genutzten Flächen sowie das Vermindern von stofflichen Risiken durch die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und auf anderen Flächen, soweit diese Verordnung dies ausdrücklich bestimmt. Die Düngeverordnung gibt Ausbringungsbeschränkungen und Abstandsregelungen zu Gewässern vor. Diese beziehen sich auf die wesentlichen Nährstoffmengen an Stickstoff und Phosphor. Düngemittel mit wesentlichen Gehalten an verfügbarem Stickstoff dürfen in der Zeit vom 1. November bis 31. Januar nicht auf Ackerland bzw. vom 15. November bis 31. Januar nicht auf Grünland ausgebracht werden. Zu Gewässern ist ein Mindestabstand von 3 m einzuhalten, es sei denn, es werden Geräte mit genauer Düngerablage eingesetzt. Ferner dürfen diese Stoffe nicht

auf gefrorenen Böden, nicht auf wassergesättigten Böden oder überschwemmten Böden ausgebracht werden. Für Gülle, Jauche oder sonstigen flüssigen organischen oder organisch-mineralischen Düngemitteln besteht eine Einarbeitungspflicht bei der Ausbringung auf unbestelltes Ackerland. Aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft dürfen unbeschadet der Vorgaben nach § 3 Nährstoffe nur so ausgebracht werden, dass die aufgebrachte Menge an Gesamtstickstoff im Durchschnitt der landwirtschaftlich genutzten Flächen des Betriebes 170 kg Gesamt-N/ha und Jahr nicht überschreitet. Gemäß dieser Verordnung muss ein Nährstoff-Vergleich für die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor einmal im Jahr (zum 31. März) durchgeführt werden. Weiter müssen Aufzeichnungen zu Bodenanalysen, zu Nährstoffgehalten der organischen Dünger geführt und aufbewahrt werden.

#### **2.2.4 Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdünger**

Die Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdünger gilt für das Inverkehrbringen, das Befördern und die Übernahme von Wirtschaftsdüngern (ANONYM, 2010 e) sowie von Stoffen, die als Ausgangsstoff oder Bestandteil Wirtschaftsdünger enthalten im Inland und nach anderen Staaten. Die Aufzeichnungspflicht, Meldepflicht und Mitteilungspflicht gilt nicht, wenn die Handlungen (Befördern) innerhalb eines Umkreises von 50 km um den Betrieb, um den die Stoffe angefallen sind, innerhalb eines Betriebes oder zwischen 2 Betrieben desselben Verfügungsberechtigten, vorgenommen werden. Die Aufzeichnungspflicht, Meldepflicht und Mitteilungspflicht gilt auch nicht, soweit die Stoffe von Betrieben in den Verkehr gebracht, befördert oder übernommen werden, die der Düngeverordnung unterliegen und diese Betriebe nicht zur Erstellung eines Nährstoffvergleiches verpflichtet sind und die Summe aus betrieblichem Nährstoffanteil und aufgenommener Menge 500 kg N/Jahr nicht übersteigt. Die Aufzeichnungspflicht, Meldepflicht und Mitteilungspflicht gilt auch nicht soweit die von einem Betrieb in Verkehr gebrachte, beförderte und aufgenommene Menge von 200 t FM/Kalenderjahr nicht überschreitet. Außerdem gelten die Aufzeichnungspflicht, Melde- und Mitteilungspflicht nicht, wenn die Stoffe in Verpackungen <50 kg an nicht gewerbsmäßige Endverbraucher in den Verkehr gebracht werden. Aufzeichnungspflichtig sind Abgeber, Beförderer und Empfänger. Diese haben spätestens 1 Monat nach Abschluss des Inverkehrbringens, des Beförderns oder der Übernahme Aufzeichnungen zu erstellen, in denen folgendes angegeben werden muss:

- Name und Anschrift des Abgebers
- Datum der Abgabe, des Beförderns oder der Übernahme
- Menge in t FM und Angabe der Wirtschaftsdüngerart bzw. Stoffart
- Menge an N und P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sowie N aus Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in kg

- Name und Anschrift des Beförderers
- Name und Anschrift des Empfängers.

Ergeben sich diese Angaben aus den geschäftlichen Unterlagen müssen keine gesonderten Aufzeichnungen erstellt werden. Die geschäftlichen Unterlagen müssen spätestens 2 Monate nach Übernahme erstellt werden. Die Aufzeichnungen sind 3 Jahre aufzubewahren und auf Verlangen der zuständigen Behörde vorzulegen.

### **2.2.5 Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz (TierNebG)**

Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union haben die Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 (ANONYM, 2002) unter anderem auch zum Schutz der Gesundheit von Mensch und Tier erlassen. Diese Verordnung war unmittelbar anwendbares Gemeinschaftsrecht. Gleichlautendes oder entgegengesetztes nationales Recht musste deshalb aufgehoben werden. In Deutschland waren dies das Tierkörperbeseitigungsgesetz, die Tierkörperbeseitigungsanstalten-Verordnung sowie die Futtermittelherstellungs-Verordnung. Gleichzeitig mussten nationale Regelungen ergänzt werden, da im EG-Recht bestimmte Tatbestände, wie z. B. die Zuständigkeiten oder die zur Verarbeitung und Beseitigung Verpflichteten, nicht geregelt waren. Als Weiteres mussten die Regelungsspielräume, die die Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 den Mitgliedsstaaten zuließ, den nationalen Gegebenheiten entsprechend genutzt werden. Mit dem Erlass des Gesetzes zur Durchführung gemeinschaftsrechtlicher Vorschriften über die Verarbeitung und Beseitigung von nicht für den menschlichen Verzehr bestimmten tierischen Nebenprodukten war dies am 25.01.2004 erfolgt. Artikel 1 dieses Gesetzes ist das Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz (TierNebG) (ANONYM, 2004 b). Artikel 2, 3, 4 und 5 betreffen Änderungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes, des Tierseuchengesetzes, des Fleischhygienegesetzes und des Geflügelfleischhygienegesetzes. Das Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz bildet neben der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 den rechtlichen Rahmen für die Einteilung bzw. Kategorisierung der tierischen Nebenprodukte gemäß ihrem potentiellen Risiko für die Gesundheit von Mensch und Tier. Das TierNebG regelt die Verarbeitung und Beseitigung von nicht für den menschlichen Verzehr bestimmten tierischen Nebenprodukten der Kategorien 1 und 2 im Sinne der Artikel 4 und 5 jeweils Absatz 1 der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002, ausgenommen Milch, Kolostrum, Gülle sowie Magen- und Darminhalt. In § 3 des Gesetzes wird die Verpflichtung zur Verarbeitung und Beseitigung tierischer Nebenprodukte geklärt. Es werden die Beseitigungspflichtigen benannt, sowie deren Möglichkeit, sich bei der Erfüllung dieser Pflicht Dritter zu bedienen. Die Beseitigungspflichtigen haben tierische Nebenprodukte der Kategorien 1 und 2 entsprechend der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 abzuholen, zu sammeln, zu befördern, zu lagern, zu behandeln, zu verarbeiten oder zu beseitigen, sowie die jeweiligen Voraussetzungen dafür zu schaffen.

---

Anlagen, in denen andere Materialien als die der Kategorie 3 verwendet werden, bedürfen grundsätzlich der Zulassung nach Artikel 15 Absatz 1 der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002.

### **2.2.6 Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung (TierNebV)**

Die Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung (ANONYM, 2006 b) regelt die Durchführung des Tierischen Nebenprodukte-Beseitigungsgesetzes (2004 b). Die Vorschriften dieser Verordnung gelten für den Umgang mit tierischen Nebenprodukten im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 (ANONYM, 2002) mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte einschließlich Küchen- und Speiseabfälle tierischer Herkunft. Sie regelt die spezifischen Anforderungen für Küchen- und Speiseabfälle und für Betriebe mit Nutztierhaltung sowie die Transport- und Nachweisverpflichtungen für die Lagerung, Beförderung und Inverkehrbringen von Gülle. Ferner regelt sie die Anforderungen an die Verarbeitung, Behandlung und Entsorgung von tierischen Nebenprodukten hinsichtlich Verarbeitungsmethoden in Anlagen zur Pasteurisierung, in Kompostierungs- und Biogasanlagen sowie die Verpflichtung zur Untersuchung von Endproben auf *Escherichia coli* oder Enterokokken sowie die Dokumentationspflicht bei Messgeräten. Weiter gibt die TierNebV Vorgaben für die Verwertung von Fermentationsrückständen und Komposten und sie nennt Anforderungen an Anlagen (Verbrennungsanlagen und Deponien), in denen tierische Nebenprodukte als Abfall entsorgt werden. Weiter regelt sie die Registrierung und Zulassung von Betrieben für die Sammlung, den Transport und die Verarbeitung von tierischen Nebenprodukten.

### **2.2.7 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)**

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz (ANONYM, 2012 a) ist Bestandteil eines Gesetzes zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts vom 24.02.2012 und ist am 01.06.2012 in Kraft getreten. Zweck des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ist es, die Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen zu fördern und den Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen sicherzustellen. Dieses Gesetz gilt für die Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen sowie für sonstige Maßnahmen der Abfallbewirtschaftung. Es gilt nicht für Stoffe, die nach dem Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch, dem vorläufigen Tabakgesetz, dem Milch- und Margarinegesetz, dem Tierseuchengesetz und dem Pflanzenschutzgesetz sowie deren Verordnungen zu entsorgen sind. Es gilt auch nicht für tierische Nebenprodukte mit Ausnahme derjenigen tierischen Nebenprodukte, die zur Verbrennung, Lagerung auf einer Deponie oder Verwendung in einer Biogas- oder

---

Kompostieranlage bestimmt sind. Ferner gilt es nicht für Körper von Tieren, die nicht durch Schlachtung zu Tode gekommen sind, einschließlich von solchen Tieren, die zur Tilgung von Tierseuchen getötet wurden. Weiter gilt das Kreislaufwirtschaftsgesetz nicht für Fäkalien, es sei denn, sie müssen verbrannt, deponiert, kompostiert oder in einer Biogasanlage vergoren werden. Es gilt nicht für Stroh und andere natürliche nicht gefährliche land- oder forstwirtschaftliche Materialien, die in der Land- oder Forstwirtschaft oder zur Energieerzeugung aus einer solchen Biomasse durch Verfahren oder Methoden verwendet werden, die die Umwelt nicht schädigen oder die menschliche Gesundheit nicht gefährden. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz gilt auch nicht für Kernbrennstoffe, Stoffe nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, für Abfälle aus dem Bergbau, für gasförmige Stoffe, die nicht in Behältern gefasst sind, für Stoffe, sobald sie in Gewässer oder Abwasseranlagen eingeleitet oder eingebracht werden, für Böden am Ursprungsort, für nicht kontaminiertes Bodenmaterial und andere natürlich vorkommende Materialien, für Sedimente, für Schiffsabfälle, für Kampfmittel und CO<sub>2</sub>.

Abfälle im Sinne dieses Gesetzes sind alle Stoffe oder Gegenstände, derer sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss. Abfälle zur Verwertung sind Abfälle, die verwertet werden; Abfälle, die nicht verwertet werden, sind Abfälle zur Beseitigung. Die Erzeuger oder Besitzer von Abfällen sind zur Verwertung ihrer Abfälle verpflichtet. Die Verwertung von Abfällen hat Vorrang vor deren Beseitigung. Die Verwertung von Abfällen hat ordnungsgemäß und schadlos zu erfolgen. Sie erfolgt schadlos, wenn das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird, insbesondere wenn keine Schadstoffanreicherung im Wertstoffkreislauf erfolgt. Müssen Abfälle beseitigt werden, so sind so zu beseitigen, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird. Eine Beeinträchtigung liegt insbesondere dann vor, wenn die Gesundheit der Menschen beeinträchtigt wird, Tiere oder Pflanzen gefährdet werden, Gewässer oder Böden schädlich beeinflusst werden, schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen oder Lärm herbeigeführt werden. Ferner können Beeinträchtigungen entstehen, wenn die Ziele oder Grundsätze und sonstigen Erfordernisse der Raumordnung nicht beachtet oder die Belange des Naturschutzes, der Landschaftspflege sowie des Städtebaus nicht berücksichtigt werden oder die öffentliche Sicherheit oder Ordnung in sonstiger Weise gefährdet oder gestört wird.

Die Bundesregierung kann nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (ANONYM, 2012 a) festlegen, welche Abfälle als Bioabfälle oder Klärschlämme gelten, welche Anforderungen an die getrennte Sammlung von Bioabfällen zu stellen sind, ob und auf welche Weise Bioabfälle und Klärschlämme zu behandeln sind, welche Verfahren hierbei anzuwenden und welche anderen Maßnahmen hierbei zu treffen sind. Zudem kann sie festlegen, welche Anforderungen an die Art und Beschaffenheit der unbehandelten, der zu behandelnden und der behandelten Bioabfälle und Klärschlämme zu stellen sind. Die Bundesregierung kann auch bestimmen, dass bestimmte Arten von Bioabfällen und

Klärschlämmen nach Ausgangsstoff, Art, Beschaffenheit, Herkunft, Menge, Art oder Zeit der Aufbringung auf den Boden, Beschaffenheit des Bodens, Standortverhältnissen und Nutzungsart nicht, nur in bestimmten Mengen, nur in einer bestimmten Beschaffenheit oder nur für bestimmte Zwecke in Verkehr gebracht oder verwertet werden dürfen. Diese Anforderungen können nicht festgelegt werden, wenn die ordnungsgemäße und schadlose Verwertung von Bioabfällen und Klärschlämmen durch Regelungen des Düngerechts gewährleistet ist. Ferner können Untersuchungspflichten hinsichtlich der Wirksamkeit der Behandlung, der Beschaffenheit der unbehandelten und behandelten Bioabfälle und Klärschlämme, der anzuwendenden Verfahren oder der anderen Maßnahmen bestimmt werden. Untersuchungsmethoden zur Wirksamkeit der Behandlung können ebenso festgelegt werden, wie die Untersuchung des Bodens, das Führen von Nachweisen und Registern, das Führen von Betriebstagebüchern, die Kennzeichnung von Behältern, das Befördern in bestimmten Behältnissen, die Entnahme von Proben, die Analyseverfahren sowie den Nachweis der Fach- und Sachkunde bezüglich Stelle und Person und das Führen der Nachweise, Register und Betriebstagebüchern in elektronischer Form.

Bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Bioabfällen und Klärschlämmen kann zur Sicherstellung des Schutzes von Mensch und Umwelt eine regelmäßige Qualitätssicherung durch Träger der Qualitätssicherung und Qualitätszeichennehmer eingerichtet werden. Träger der Qualitätssicherung können Fachverbände, fachkundige Einrichtungen, Institutionen oder Personen sowie ein rechtsfähiger Zusammenschluss von Erzeugern und Bewirtschaftern von Bioabfällen oder Klärschlämmen sein. Qualitätszeichennehmer ist eine natürliche oder juristische Person, die gewerbsmäßig, im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmen oder öffentlicher Einrichtungen Bioabfälle oder Klärschlämme erzeugt, behandelt oder verwertet und in Bezug auf erzeugte, behandelte oder verwertete Bioabfälle oder Klärschlämme, auch in Mischungen mit anderen Abfällen, Stoffen oder Materialien, über ein Qualitätszeichen eines Trägers der Qualitätssicherung verfügt. Das Qualitätszeichen darf nur erteilt werden, wenn der Qualitätszeichennehmer die für die Sicherung der Qualität der Bioabfälle oder Klärschlämme erforderlichen Anforderungen an die Organisation, die personelle, gerätetechnische und sonstige Ausstattung sowie an die Zuverlässigkeit und Fach- und Sachkunde seines Personals erfüllt. Der Qualitätszeichennehmer muss Anforderungen an die Qualitätssicherung, insbesondere zur Minderung von Schadstoffen, zur Gewährleistung der seuchen- und phytohygienischen Unbedenklichkeit erfüllen und sich verpflichten, die Erfüllung der Anforderungen im Rahmen einer fortlaufenden Überwachung gegenüber dem Träger der Qualitätssicherung darzulegen. Das Qualitätszeichen darf der Qualitätszeichennehmer nur führen, soweit und solange es ihm vom Träger der Qualitätssicherung erteilt ist. Die Erteilung des Qualitätszeichens erfolgt auf der Grundlage einer Satzung, eines Überwachungsvertrages oder einer verbindlichen Regelung, die insbesondere die

Anforderungen an die Qualitätszeichennehmer, an die von diesen erzeugten, behandelten oder verwerteten Bioabfälle oder Klärschlämme und an deren Überwachung festlegt. Der Träger der Qualitätssicherung muss sich für die Überprüfung der Qualitätszeichennehmer mit Sachverständigen zu bedienen, die die für die Durchführung der Überwachung erforderliche Zuverlässigkeit, Unabhängigkeit sowie Fach- und Sachkunde besitzen.

Die Bundesregierung kann mit Zustimmung des Bundesrates Anforderungen an die Qualitätssicherung von Bioabfällen und Klärschlämmen vorschreiben. Dies betrifft Anforderungen an die Maßnahmen zur Qualitätssicherung, einschließlich deren Umfang, Anforderungen an die Organisation, die personelle, gerätetechnische und sonstige Ausstattung und die Tätigkeit eines Qualitätszeichennehmers. Es kann ein ausreichender Haftpflichtversicherungsschutz des Qualitätszeichennehmers gefordert werden. Zudem werden Anforderungen an den Qualitätszeichennehmer und an die bei ihm beschäftigten Personen, insbesondere Mindestanforderungen an deren Fach- und Sachkunde und an die Zuverlässigkeit sowie deren Nachweis bestimmt. An die Tätigkeit der Träger der Qualitätssicherung werden Anforderungen an deren Bildung, Auflösung, Organisation und Arbeitsweise, einschließlich der Bestellung, Aufgaben und Befugnisse der Prüforgane sowie Mindestanforderungen an die Mitglieder dieser Prüforgane bestimmt. Außerdem können Mindestanforderungen an die für die Träger der Qualitätssicherung tätigen Sachverständigen sowie deren Bestellung, Tätigkeit und Kontrolle gestellt werden. Die Form und der Inhalt des Qualitätszeichens sowie an seine Erteilung, seine Aufhebung, sein Erlöschen und seinen Entzug können von der Bundesregierung mit Zustimmung des Bundesrates festgelegt werden. Ebenfalls kann die Bundesregierung mit Zustimmung des Bundesrates für die besonderen Voraussetzungen, das Verfahren, die Erteilung und die Aufhebung der Anerkennung des Trägers der Qualitätssicherung durch die zuständige Behörde Regeln erlassen. Für die erforderlichen Erklärungen, Nachweise, Benachrichtigungen oder sonstigen Daten kann die elektronische Führung und die Vorlage von Dokumenten in elektronischer Form angeordnet werden.

### **2.2.8 Klärschlammverordnung**

Die Klärschlammverordnung (AbfKlärV) (ANONYM, 1992) gilt für das Aufbringen von Klärschlamm auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Böden (ANONYM, 1992). Nach § 3 Absatz 1 darf Klärschlamm auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Böden nur so aufgebracht werden, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird und die Aufbringung nach Art, Menge und Zeit auf den Nährstoffbedarf der Pflanzen unter Berücksichtigung der im Boden verfügbaren Nährstoffe und organischen Substanzen sowie der Standort- und Anbaubedingungen ausgerichtet wird. Im Übrigen gelten für das Aufbringen von Klärschlamm die Bestimmungen des Düngemittelrechts entsprechend. Weiter werden in der Klärschlammverordnung die Ausbringung und der

---

erlaubte Schadstoffgehalt des Klärschlammes sowie die Pflicht zur Untersuchung auf Schadstoffe geregelt. Nach § 4 der Klärschlammverordnung gibt es folgende Beschränkungen und Aufbringungsverbote:

- Rohschlamm oder Schlamm aus anderen Abwasserbehandlungsanlagen als zur Behandlung von Haushaltsabwässern, kommunalen Abwässern oder Abwässern mit ähnlich geringer Schadstoffbelastung darf auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden nicht ausgebracht werden
- das Aufbringen von Klärschlamm auf Gemüse- und Obstanbauflächen ist verboten, auf Ackerflächen, die auch zum Anbau von Feldgemüse genutzt werden, ist im Jahr der Aufbringung des Klärschlammes und dem darauf folgenden Jahr der Anbau von Feldgemüse verboten
- auf Ackerflächen, die zum Anbau von Feldfutter oder zum Anbau von Zuckerrüben, soweit das Zuckerrübenblatt verfüttert wird, genutzt werden, ist eine Klärschlammaufbringung nur vor der Aussaat mit anschließender tiefwendender Einarbeitung zulässig, beim Anbau von Silo- und Grünmais ist der Klärschlamm vor der Saat in den Boden einzuarbeiten
- auf Dauergrünland darf Klärschlamm nicht aufgebracht werden
- das Aufbringen von Klärschlamm auf forstwirtschaftlich genutzte Böden ist verboten
- das Aufbringen von Klärschlamm auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden in Naturschutzgebieten, Nationalparks, Nationalen Naturmonumenten, Naturdenkmälern, geschützten Landschaftsbestandteilen und gesetzlich geschützten Biotopen im Sinne des § 30 des Bundesnaturschutzgesetzes ist verboten, es sei denn, es liegt eine Ausnahme nach § 5 vor
- in Wasserschutzgebieten darf Klärschlamm in den Zonen I und II nicht auf Böden ausgebracht werden, auch ist es nicht erlaubt Klärschlamm auf Böden im Bereich der Uferstrandstreifen im Abstand bis zu einer Breite von 10 Metern auszubringen
- das Aufbringen von Klärschlamm auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden ist verboten, wenn sich aus den Bodenuntersuchungen nach § 3 Absatz 2 oder 3 ergibt, dass die Gehalte nachstehend genannter Schwermetalle mindestens einen der folgenden Werte übersteigen: Blei 100 mg/kg TM, Cadmium 1,5 mg/kg TM, Chrom 100 mg/kg TM, Kupfer 60 mg/kg TM, Nickel 50 mg/kg TM, Quecksilber 1 mg/kg TM, Zink 200 mg/kg TM; bei Böden, die im Rahmen der Bodenschätzung als leichte Böden eingestuft sind und deren Tongehalt unter 5 % liegt oder deren Untersuchung gemäß § 3 Absatz 4 einen pH-Wert  $\geq 5$  und  $< 6$  ergeben hat, ist eine Aufbringung von Klärschlamm auch dann verboten, wenn folgende Werte für die Schwermetalle Cadmium 1 mg/kg TM und Zink 150 mg/kg TM überschritten werden

- Klärschlamm darf auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden nicht ausgebracht werden, wenn für diese Böden ein Zielwert von  $\text{pH} \leq 5$  im Rahmen ordnungsgemäßer Bewirtschaftung angestrebt oder ein  $\text{pH}$ -Wert  $\leq 5$  bei der Untersuchung festgestellt wird; Böden, deren  $\text{pH}$ -Zielwert  $> 5$  im Rahmen ordnungsgemäßer Bewirtschaftung liegt, müssen bei Unterschreitung dieses Wertes vor der Klärschlamm-Ausbringung mit Düngekalken aufgekalkt werden; bei der Berechnung der Kalkmenge sind die anschließend aufzubringenden basisch-wirksamen Anteile im Klärschlamm zu berücksichtigen
- Klärschlamm darf auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden nicht ausgebracht werden, wenn entweder der Gehalt für PCB von  $0,2 \text{ mg/kg TM}$  oder für PCDD/PCDF von  $100 \text{ ng Toxizitätsäquivalente/kg TM}$  überschritten wird
- das Aufbringen von Klärschlamm auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden ist verboten, wenn die Summe der halogenorganischen Verbindungen, ausgedrückt als Summenparameter AOX,  $500 \text{ mg/kg TM}$  überschreitet
- Klärschlamm darf auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden nicht ausgebracht werden, wenn die Gehalte im Klärschlamm der folgenden Schwermetalle mindestens einen der folgenden Werte übersteigen: Blei  $900 \text{ mg/kg TM}$ , Cadmium  $10 \text{ mg/kg TM}$ , Chrom  $900 \text{ mg/kg TM}$ , Kupfer  $800 \text{ mg/kg TM}$ , Nickel  $200 \text{ mg/kg TM}$ , Quecksilber  $8 \text{ mg/kg TM}$ , Zink  $2\,500 \text{ mg/kg TM}$ ; bei Böden, die im Rahmen der Bodenschätzung als leichte Böden eingestuft sind und deren Tongehalt unter  $5\%$  liegt oder deren Untersuchung gemäß § 3 Absatz 4 einen  $\text{pH}$ -Wert  $\geq 5$  und  $< 6$  ergeben hat, ist eine Aufbringung von Klärschlamm auch dann verboten, wenn folgende Werte für die Schwermetalle Cadmium  $5 \text{ mg/kg TM}$  und Zink  $2\,000 \text{ mg/kg TM}$  überschritten werden
- bei der Herstellung von Klärschlammkomposten und Klärschlammgemischen beziehen sich die Schadstoffwerte sowohl auf den eingesetzten Klärschlamm und die Zuschlagstoffe vor der Vermischung als auch auf den hergestellten Kompost oder das herstellte Gemisch; bei der Aufbringung eines unter Verwendung von Klärschlamm hergestellten Gemisches darf die sich aus dem Produkt und der zulässigen Aufbringungsmenge ergebende Schadstofffracht nicht überschritten werden
- Klärschlamm darf auf oder in der Nähe der Aufbringungsfläche nur gelagert werden, soweit dies für die Aufbringung erforderlich ist.

Innerhalb von 3 Jahren dürfen nicht mehr als  $5 \text{ t TM}$  an Klärschlamm/ha auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Flächen ausgebracht werden. Klärschlammkomposte dürfen innerhalb von 3 Jahren bis zu  $10 \text{ t TM/ha}$  ausgebracht werden, wenn die Schadstoffgehalte im Klärschlammkompost die Hälfte der zulässigen Gehalte an organischen Schadstoffen nicht überschreiten. Dies gilt auch für

Klärschlamm-Gemische, bei denen der Anteil des Klärschlammes die Grundlage für die Ausbringungsmenge bildet und nicht das Gemisch.

Weiter regelt die Klärschlamm-Verordnung sämtliche Nachweispflichten, denen der Kläranlagen-Betreiber, Beförderer des Klärschlammes und der Abnehmer nachzukommen hat.

Die derzeit gültige Klärschlammverordnung wird novelliert. In einem 2. Arbeitsentwurf des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit vom 20.08.2010 (ANONYM, 2010 c) werden wesentliche Neuerungen die strengeren zulässigen Grenzwerte für Schwermetalle und organische Schadstoffe sowie die Einführung von Grenzwerten für die seuchenhygienisch relevanten Salmonellen sein, die bislang nur in der Düngemittelverordnung zu finden sind. Diese Maßnahmen sollen die Schadstoffanreicherung im Boden begrenzen und die von der Klärschlamm Düngung ausgehenden seuchenhygienischen Risiken minimieren. Demzufolge dürfen nur noch Klärschlämme abgegeben oder ausgebracht werden, die einer hygienisierenden Behandlung unterzogen wurden und bei denen in 50 g Nasssubstanz keine Salmonellen (*Salmonella* spp.) nachweisbar sind. Im Anhang 2 (ANONYM, 2010 d) der novellierten Klärschlammverordnung (ANONYM, 2010 c) werden die Behandlungsverfahren und entsprechende Kriterien vorgegeben, die zur Erzielung der seuchenhygienischen Unbedenklichkeit des Endproduktes führen. Hierzu zählen die Fremderhitzung durch Schlammpasteurisierung, die thermische Konditionierung, die Selbsterhitzung durch aerob-thermophile Schlammstabilisierung, die Schlammkompostierung in Mieten oder Reaktoren, die Zugabe von ungelöschtem Branntkalk sowie die Zugabe von Kalkhydrat, die Langzeitlagerung von Klärschlamm in Pflanzenbeeten sowie die Hochtemperaturtrocknung. Weiter werden im Anhang 2 zur Neufassung der Klärschlammverordnung Vorgaben für die Prozessprüfung zur Reduzierung von Schadorganismen durch die Behandlungsverfahren gemacht.

### **2.2.9 Bioabfallverordnung**

Die Bioabfallverordnung (ANONYM, 1998 a, ANONYM, 2012 b) gilt für unbehandelte und behandelte Bioabfälle und Gemische, die zur Verwertung als Düngemittel auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden aufgebracht oder zum Zweck der Aufbringung abgegeben werden sowie für die Behandlung und Untersuchung solcher Bioabfälle und Gemische. Diese Verordnung gilt für öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger und Dritte, Verbände oder Selbstverwaltungskörperschaften der Wirtschaft, denen die Pflichten zur Verwertung von Bioabfällen übertragen worden sind (Entsorgungsträger). Sie gilt auch für Erzeuger oder Besitzer von Bioabfällen oder Gemischen, soweit sie diese Abfälle nicht einem Entsorgungsträger überlassen. Ferner hat sie Geltung für denjenigen, der Bioabfälle einsammelt und transportiert (Einsammler), für denjenigen, der Bioabfälle behandelt (Bioabfallbehandler) und für den

---

Hersteller von Gemischen bei der Verwendung von Bioabfällen (Gemischhersteller). Weiter gilt sie für denjenigen, der Bioabfälle oder Gemische zur Aufbringung annimmt und diese ohne weitere Veränderung abgibt (Zwischenabnehmer) sowie für den Bewirtschafter von landwirtschaftlich, gärtnerisch oder forstwirtschaftlich genutzten Böden, auf denen unbehandelte oder behandelte Bioabfälle oder Gemische aufgebracht werden sollen oder aufgebracht werden. Die seuchen- und phytohygienische Unbedenklichkeit nach Absatz 1 ist gegeben, wenn keine Beeinträchtigung der Gesundheit von Mensch oder Tier durch Freisetzung oder Übertragung von Krankheitserregern und keine Schäden an Pflanzen, Pflanzenerzeugnissen oder Böden durch die Verbreitung von Schadorganismen zu besorgen sind. Der Bioabfallbehandler hat die hygienisierende Behandlung der Bioabfälle nach den in Anhang 2 festgelegten Vorgaben durchzuführen, um die seuchen- und phytohygienische Unbedenklichkeit der Bioabfälle nach der Behandlung und bei der Abgabe oder der Aufbringung auf selbst bewirtschaftete Betriebsflächen sicherzustellen. Der Bioabfallbehandler muss die Wirksamkeit des Hygienisierungsverfahrens durch eine Prozessprüfung bzw. bei Pasteurisierungsanlagen durch eine technische Abnahme nachweisen. Ebenso muss er die Einhaltung der erforderlichen Temperatur über die notwendige Dauer während der hygienisierenden Behandlung durch Prozessüberwachung und die Einhaltung der höchstzulässigen Grenzwerte für Krankheitserreger, keimfähige Samen und austriebsfähige Pflanzenteile nach der hygienisierenden Behandlung am abgabefertigen Material durch Prüfungen der hygienisierten Bioabfälle nachweisen. Der biologische Behandlungsprozess wird bei der Pasteurisierung über den Temperaturverlauf, bei der thermophilen Kompostierung über den Temperaturverlauf und die Umsetzungszeitpunkte und bei der thermophilen Vergärung über den Temperaturverlauf und die Beschickungs- und Entnahmeintervalle überwacht und dokumentiert. Die seuchenhygienische Prozessprüfung wird über Einlegeproben mit dem Testkeim *Salmonella* Senftenberg W775 (H<sub>2</sub>S-) durchgeführt. Die phytohygienische Prozessprüfung erfolgt mit *Plasmodiophora brassicae*, dem Erreger der Kohlhernie, mit Tomatensamen und zusätzlich bei der thermophilen Kompostierung mit dem Tabakmosaik-Virus. Die Prozessprüfung ist in der Seuchenhygiene erfolgreich abgeschlossen, wenn in den 2 aufeinanderfolgenden Untersuchungsgängen jeweils nach dem für die Hygienisierung relevanten Verfahrensschritt in keiner Probe Salmonellen nachweisbar sind. Die Prozessprüfung ist in der Phytohygiene erfolgreich abgeschlossen, wenn in den 2 aufeinanderfolgenden Untersuchungsgängen jeweils nach dem für die Hygienisierung relevanten Verfahrensschritt in den Proben je Prüfbereich die angegebenen Grenzwerte bei den Parametern *Plasmodiophora brassicae* (Grenzwert im Biotest: Befallsindex  $\leq 0,5$  je Prüfbereich) und Tomatensamen (Grenzwert im Biotest:  $\leq 2$  % keimfähige Samen je Prüfbereich) nicht überschritten sowie bei dem Parameter Tabakmosaikvirus (Grenzwert im Biotest:  $\leq 4$  % Restinfektiosität (Relativwert zur Positivkontrolle) je Prüfbereich) um

nicht mehr als maximal 30 % überschritten werden. Um die hygienisierende Wirkungsweise von anaeroben Behandlungsverfahren beurteilen zu können, ist die Kenntnis der Mindestverweilzeit der Abfallsuspension im Fermenter von Bedeutung. Muss die Mindestverweilzeit ermittelt werden, ist hierfür eine Traceruntersuchung mit *Bacillus globigii* oder Lithium durchzuführen. Seuchenhygienisch unbedenklich sind behandelte Bioabfälle, wenn in 50 g Material keine Salmonellen nachgewiesen werden. Bei der Prüfung der hygienisierten Bioabfälle in der Phytohygiene wird der Gehalt an keimfähigen Samen und austriebsfähigen Pflanzenteilen im hygienisierend behandelten Material mit der Kultivierungsmethode bestimmt. Die Prüfung der hygienisierten Bioabfälle ist in der Phytohygiene erfolgreich abgeschlossen, wenn der Gehalt an keimfähigen Samen und austriebsfähigen Pflanzenteilen maximal 2 pro Liter Prüfsubstrat beträgt.

### **2.2.10 Pflanzenschutzgesetz/Pflanzenbeschauverordnung**

Das Pflanzenschutzgesetz (ANONYM, 2012 I) dient dem Schutz von Pflanzen- und Pflanzenerzeugnissen vor Schadorganismen sowie der Abwehr von Gefahren für die Gesundheit von Mensch und Tier und für den Naturhaushalt bei der Anwendung von Pflanzenschutzmaßnahmen. Das Pflanzenschutzgesetz nennt u. a. Maßnahmen, die von der zuständigen Behörde angeordnet werden dürfen, um Pflanzen und Pflanzenerzeugnisse vor Schadorganismen zu schützen sowie die Ein-, Verschleppung und Ansiedlung der Schadorganismen zu verhindern. Das Pflanzenschutzgesetz schafft damit den Rechtsrahmen zur Umsetzung der EU-Richtlinie 2000/29/EG in der Pflanzenbeschauverordnung (ANONYM, 2000 d).

Die Pflanzenbeschauverordnung setzt die Regelungen der 2000/29/EG zum Schutz vor einer Ein- oder Verschleppung sowie einer Ansiedlung von bekannten oder potenziellen Quarantäneschadorganismen bei der Einfuhr und dem innergemeinschaftlichen Verbringen um. Zusätzlich zu den Vorgaben der RL 2000/29/EG enthält sie auch Regelungen für die Ausfuhr in Drittländer. Die harmonisierten Bekämpfungsrichtlinien der EU-Kommission sind in Deutschland in entsprechenden Verordnungen zur Bekämpfung des Kartoffelkrebses und der Kartoffelzystennematoden (ANONYM, 2010 f) bzw. der bakteriellen Ringfäule und Schleimkrankheit der Kartoffel (ANONYM, 2001) umgesetzt.

### **2.2.11 Bundes-Bodenschutzgesetz**

Zweck des Bundes-Bodenschutzgesetzes (ANONYM, 1998 b) ist es, nachhaltig die Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen. Der Boden erfüllt natürliche Funktionen als Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen. Er ist Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen und er ist Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für

stoffliche Einwirkungen aufgrund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers. Schädliche Bodenveränderungen sind Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen, die geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit herbeizuführen. Diese sind nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz abzuwehren. Der Boden sowie Altlasten und Gewässerverunreinigungen, hervorgerufen durch schädliche Bodenveränderungen, müssen saniert werden. Bei Einwirkungen auf den Boden sollen Beeinträchtigungen seiner natürlichen Funktionen so weit wie möglich vermieden werden. Jeder, der auf den Boden einwirkt, hat sich so zu verhalten, dass schädliche Bodenveränderungen nicht hervorgerufen werden. Dieses Gesetz findet auf schädliche Bodenveränderungen Anwendung, wenn dies die Vorschriften des Düngemittel- und Pflanzenschutzrechts sowie des Kreislaufwirtschaftsrechts zu Einwirkungen auf den Boden nicht regeln. Für die landwirtschaftliche Bodennutzung gilt, dass die nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens als natürliche Ressource gewährleistet wird. Die wird durch die Anwendung der Grundsätze der guten fachlichen Praxis, u. a. durch die an den Standort angepasste Bodenbearbeitung, Fruchtfolgegestaltung, Erosionsvermeidung und ausreichende Zufuhr an organischer Substanz erbracht.

#### **2.2.12 Wasserhaushaltsgesetz**

Im Wasserhaushaltsgesetz (ANONYM, 2009 e) gilt der Grundsatz nach § 5, dass jede Person verpflichtet ist, bei Maßnahmen, mit denen Einwirkungen auf ein Gewässer verbunden sein können, die nach den Umständen erforderliche Sorgfalt anzuwenden, um eine nachteilige Veränderung der Gewässereigenschaften zu vermeiden. Soweit es das Wohl der Allgemeinheit erfordert, ist das schädliche Abfließen von Niederschlagswasser sowie das Abschwemmen und der Eintrag von Bodenbestandteilen, Dünge- oder Pflanzenschutzmitteln in Gewässer zu vermeiden (§ 55 Absatz 3). Wer Stoffe in ein Gewässer einbringt oder einleitet oder wer in anderer Weise auf ein Gewässer einwirkt und dadurch die Wasserbeschaffenheit nachteilig verändert, ist nach § 89 des Wasserhaushaltsgesetzes zum Ersatz des daraus einem anderen entstehenden Schadens verpflichtet.

---

### **3 Definition organische Düngemittel**

#### **3.1 Düngemittel**

Das Düngemittelgesetz (ANONYM, 2009 a) definiert Düngemittel, als Stoffe, die dazu bestimmt sind, Nutzpflanzen Nährstoffe zuzuführen, um ihr Wachstum zu fördern, ihren Ertrag zu erhöhen oder ihre Qualität zu verbessern oder die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten oder zu verbessern; ausgenommen sind Kohlendioxid und Wasser. Düngemittel sind Wirtschaftsdünger, auch solche, die in Mischungen untereinander oder nach aerober und anaerober Behandlung anfallen oder erzeugt werden, sowie Jauche, Bodenhilfsstoffe, Pflanzenhilfsmittel und Kultursubstrate. Bei organischen Düngemitteln handelt es sich nach der Verordnung (EG) 1069/2009 (ANONYM, 2009 b) um Materialien tierischen Ursprungs, die einzeln oder gemeinsam zur Erhaltung bzw. zur Verbesserung der Pflanzenernährung und der physikalisch-chemischen Eigenschaften sowie der biologischen Aktivität des Bodens verwendet werden. Darunter fallen nach dieser Verordnung auch Gülle, nicht mineralisierter Guano, Magen- und Darminhalt, Kompost und Fermentationsrückstände. Nach ANONYM (2011 a) werden Düngemittel als Stoffe definiert, die dazu bestimmt sind, Nutzpflanzen Nährstoffe zuzuführen, um ihr Wachstum zu fördern, ihren Ertrag zu erhöhen oder ihre Qualität zu verbessern oder die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten oder zu verbessern. Ausgenommen davon sind Stoffe, die überwiegend dazu bestimmt sind, Pflanzen vor Schadorganismen und Krankheiten zu schützen oder, ohne zur Ernährung von Pflanzen bestimmt zu sein, die Lebensvorgänge von Pflanzen zu beeinflussen, sowie Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate, Pflanzenhilfsmittel, Kohlendioxid, Torf und Wasser. Organische Dünger sind nach SCHLEISS (2004) Erzeugnisse, die hauptsächlich aus kohlenstoffhaltigem Material pflanzlichen oder tierischen Ursprungs bestehen, und Mischungen solchen Materials.

#### **3.2 Bodenverbesserungsmittel**

Bei Bodenverbesserungsmitteln handelt es sich nach der Verordnung (EG) 1069/2009 (ANONYM, 2009 b) um Materialien tierischen Ursprungs, die einzeln oder gemeinsam zur Erhaltung bzw. zur Verbesserung der Pflanzenernährung und der physikalisch-chemischen Eigenschaften sowie der biologischen Aktivität des Bodens verwendet werden. Darunter fallen Gülle, nicht mineralisierter Guano, Magen- und Darminhalt, Kompost und Fermentationsrückstände. Nach dieser Verordnung sind Bodenverbesserungsmittel genauso definiert wie organische Düngemittel, d. h. ein organisches Düngemittel ist gleich ein Bodenverbesserungsmittel und umgekehrt. Bodenverbesserungsmittel sind nach ANONYM (2006 a) Stoffe, die dem Boden zugeführt werden, um seine physikalischen, chemischen oder biologischen Eigenschaften zu erhalten oder zu verbessern. In der EU ist der Begriff genormt (CEN). In das deutsche Düngemittelrecht hat er allerdings noch keinen Eingang gefunden.

### **3.3 Wirtschaftsdünger**

Wirtschaftsdünger sind laut Düngemittelgesetz (ANONYM, 2009 a) Düngemittel, die als tierische Ausscheidungen bei der Haltung von Tieren zur Erzeugung von Lebensmitteln oder bei der sonstigen Haltung von Tieren in der Landwirtschaft oder als pflanzliche Stoffe im Rahmen der pflanzlichen Erzeugung oder in der Landwirtschaft, auch in Mischungen untereinander oder nach aerober oder anaerober Behandlung anfallen oder erzeugt werden. Nach ANONYM (2006 a) sind Wirtschaftsdünger tierische Ausscheidungen, Gülle, Jauche, Stallmist, Stroh sowie ähnliche Nebenerzeugnisse aus der landwirtschaftlichen Produktion, auch weiterbehandelt, die zur Düngung bestimmt sind. Wirtschaftsdünger können nach BUCK (2009) auch Komposte und Gärreste aus Anlagen sein, die ausschließlich, die im Düngemittelgesetz (ANONYM, 2009 a) genannten Stoffe enthalten. Gärreste, die dagegen aus Gülle, Silomais und beispielsweise Fetten bestehen, sind keine Wirtschaftsdünger.

### **3.4 Festmist**

Festmist ist Wirtschaftsdünger aus tierischen Ausscheidungen, auch mit Einstreu, insbesondere Stroh, Sägemehl, Torf oder anderes pflanzliches Material, das im Rahmen der Tierhaltung zugefügt worden ist, oder mit Futterresten vermischt, dessen Trockensubstanzgehalt 15 % übersteigt (ANONYM, 2009 a). Festmist enthält neben Kot und gebundenem Harn die gesamte Einstreu sowie Futterreste. Die abgesetzte und aufgefangene Flüssigkeit ist Jauche (ANONYM, 2000 a). Die EU-Gesetzgebung unterscheidet nicht zwischen Festmist und Gülle. Hier gibt es nur Gülle (ANONYM, 2009 b). ANONYM (2009 d) definiert Festmist als Stallmist oder Rottemist. Dieser entsteht durch die Vermischung von Kot und Harn mit Einstreu. Der von der Einstreu nicht aufgenommene Harn fließt als Jauche ab. Zur Stallmistbereitung genügen nach ANONYM (2009 d) schon 4 kg Einstreu je Milchkuh und Tag, wenn der größere Teil des Harns unmittelbar abgeleitet wird. In Ställen mit Tiefstreu wird der gesamte Harn von der Einstreu, z. B. bei Milchvieh 8 – 10 kg je Kuh und Tag, gebunden. Reiner Kot fällt vorwiegend in der Geflügelhaltung an. Durch die regelmäßige Zugabe von Einstreu in einer Größenordnung von mehr als 10 % des Frischmistanfalles entsteht Geflügelmist.

### **3.5 Gülle**

Gülle wird heute nach dem Düngegesetz (ANONYM, 2009 a) definiert als Wirtschaftsdünger aus tierischen Ausscheidungen, auch mit geringen Mengen Einstreu oder Futterresten oder Zugabe von Wasser, dessen Trockensubstanzgehalt 15 % nicht übersteigt. Gülle sind nach der Verordnung (EG) 1069/2009 (ANONYM, 2009 b) Exkrememente und/oder Urin von Nutztieren abgesehen von Zuchtfisch, mit oder ohne Einstreu. Gülle ist

---

nach dieser Verordnung auch ein organisches Düngemittel oder ein Bodenverbesserungsmittel. Früher fanden sich die hier unten angeführten Definitionen für den Ausdruck „Gülle“. Gülle wurde nach der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 (ANONYM, 2002) als Exkremate und/oder Urin von Nutztieren, mit oder ohne Einstreu, sowie Guano, entweder unverarbeitet oder verarbeitet in Übereinstimmung mit Anhang VIII, Kapitel III oder auf andere Weise in Biogas- oder Kompostieranlagen umgewandelt, bezeichnet. Anhang VIII, Kapitel III dieser Verordnung nannte Vorschriften für Gülle, für un- und verarbeitete Gülle und verarbeitete Gülleprodukte bezüglich Handel, Einfuhr und Inverkehrbringen dieser Substrate bezüglich Anforderungen an die Hygiene. Die Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung (ANONYM, 2006 b) definiert Gülle einerseits als von Nutztieren stammende Exkremate, einschließlich Festmist und Hühnertrockenkot, mit und ohne Einstreu, die entweder unverarbeitet oder in Übereinstimmung mit Anhang VII Kapitel III der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 verarbeitet oder in einer Biogas- oder Kompostierungsanlage umgewandelt worden sind, oder andererseits als von Nutztieren stammender Urin, einschließlich Festmist und Hühnertrockenkot, mit oder ohne Einstreu, der entweder unverarbeitet oder in Übereinstimmung mit Anhang VIII Kapitel III der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 verarbeitet oder in einer Biogas- oder Kompostierungsanlage umgewandelt worden ist. Guano ist nach der Tierischen Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung (ANONYM, 2006 b) auch Gülle. ANONYM (2000 a) definierte Gülle als ein Gemisch aus Kot- und Harnausscheidungen von Rindern, Schweinen oder Geflügel (Geflügelkot) auch vermischt mit Wasser, sowie deren natürliche Umwandlungsprodukte und mit geringfügigen Anteilen von Einstreu oder Futterresten. Gülle wurde und wird auch heute noch auch als Flüssigmist bezeichnet. Nach ANONYM (2007 a) ist Gülle ein Gemisch aus Kot, Harn und Einstreu mit unterschiedlichem Wassergehalt. Je nach Beigabe von Einstreu und Wasser spricht man von Dick- oder Dünngülle, Schwemmmist oder Flüssigmist. Der Trockensubstanzgehalt von Dickgülle beträgt nach MOTZ (1979) und ZUCKER et al. (2011) >8 % und der von Dünngülle <8 %. ANONYM (1991) definiert Gülle als ein Kot-Harn-Gemisch, das außerdem Wasser, Futterreste, Einstreu und auch Fremdkörper enthält. Das bedeutet, dass Gülle sehr unterschiedlich zusammengesetzt sein kann und sich dem entsprechend beim Fließen und Lagern verhält. Je nach Trockensubstanzgehalt unterscheidet ANONYM (1991) Dünngülle mit einem mittleren TS-Gehalt von 5 % und Dickgülle mit einem durchschnittlichen TS-Gehalt von 10 %. Der frische Flüssigmist vor der Lagerung wird nach TIETJEN und BARDTKE (1977) (zit. nach FAUSER-LEIENSETTER, 2000) als Rohgülle bezeichnet. ZUCKER et al. (2011) bezeichnen Rohgülle als nicht aufbereitete Gülle. Im Gegensatz zum Festmist steht bei Gülle der größte Teil des Stickstoffs den Pflanzen unmittelbar zur Verfügung (ANONYM, 2007 a).

### **3.6 Jauche**

Jauche ist ein Gemisch aus Harn und ausgeschwemmten feinen Bestandteilen des Kotes oder der Einstreu sowie von Wasser. Jauche kann in geringem Umfang Futterreste sowie Reinigungs- und Niederschlagswasser enthalten (ANONYM, 2009 a). Jauche sind Harnausscheidungen von Rindern oder Schweinen, auch vermischt mit Wasser und geringfügigen Anteilen von Einstreu oder Futterresten (ANONYM, 2000 a). Nach ANONYM (2007 a) ist Jauche mit Dung verunreinigter Harn des Viehs mit geringer Nährstoffkonzentration. ZUCKER et al. (2011) definieren Jauche als Sickersaft von Dung, wobei es sich bei Dung um ein stapelfähiges Gemisch aus Kot, Harn und Einstreumaterialien wie Stroh oder Sägespäne handelt. Jauche ist nach ANONYM (2009 d) der von der Einstreu nicht aufgenommene und abfließende Harn, der in der Regel auch den Sickersaft des Stallmiststapels und Wasser verschiedener Herkunft enthält.

### **3.7 Hofdünger**

Hofdünger ist nach BAUER (2006) in der Schweiz der Sammelbegriff für Abgänge aus der Tierhaltung, die in Betrieben bei der Haltung von Wiederkäuern, Schweinen, Equiden oder Geflügel anfallen. Dies sind Gülle (Flüssigmist, Gemisch aus Kot und Harn mit oder ohne Wasserzusatz, teilweise mit Futter- und Einstreuresten), Dung (Festmist; stapelfähiges Gemisch aus Kot, Harn und Einstreu), Jauche (nicht an Einstreu gebundener Harn) sowie Silosickersaft. Nach SCHLEISS (2004) ist Hofdünger definiert als Gülle, Mist, Mistwässer, Güllenseparierungsprodukte, Silosäfte und vergleichbare Abgänge aus Betrieben mit Tierhaltung, in aufbereiteter und nicht aufbereiteter Form.

### **3.8 Klärschlamm**

Klärschlamm im Sinne der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) (ANONYM, 1992) ist der bei der Behandlung von Abwasser in Abwasserbehandlungsanlagen einschließlich zugehöriger Anlagen zur weitergehenden Abwasserreinigung anfallende Schlamm, auch entwässert oder getrocknet oder in sonstiger Form behandelt. Rohschlamm ist Schlamm, der Abwasserbehandlungsanlagen unbehandelt entnommen wird. Die Entwässerung von Rohschlamm gilt nicht als Behandlung von Klärschlamm. In Kleinkläranlagen anfallender Schlamm gilt als Klärschlamm im Sinne dieser Verordnung. Als Klärschlamm im Sinne dieser Verordnung gelten auch Klärschlammkomposte und Klärschlammgemische. Klärschlammgemische sind Mischungen aus Klärschlamm mit anderen geeigneten Stoffen nach Anlage 2 Tabellen 11 und 12 der Düngemittelverordnung in der jeweils geltenden Fassung (Anmerkung: in der aktuell gültigen Düngemittelverordnung gibt es in der Anlage 2 keine Tabellen 11 und 12). Klärschlammkomposte sind kompostierte Klär-

---

schlammgemische. Im 2. Arbeitsentwurf zur Neufassung der Klärschlammverordnung vom 20.08.2010 (ANONYM, 2010 c) wird Klärschlamm definiert als Abfall aus der abgeschlossenen Behandlung von Abwasser, das a) unter den Anwendungsbereich des Anhangs 1 der Abwasserverordnung (AbwV) in der jeweils geltenden Fassung fällt (häusliches und kommunales Abwasser) oder b) in einer betriebseigenen Abwasserbehandlungsanlage behandelt wurde und hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung mit dem Abwasser gemäß Buchstabe a) vergleichbar ist. Klärschlamm besteht aus Wasser, organischen und mineralischen Stoffen (ausgenommen Rechen-, Sieb- und Sandfanggut), auch entwässert oder getrocknet, in Pflanzenbeeten oder in sonstiger Form behandelt. Der Begriff „Klärschlamm“ ist ein Überbegriff, bei dessen Verwendung nicht nach Herkunft und Art des Schlammes unterschieden wird WIECHMANN et al. (2012). Klärschlamm ist nach BISCHOFBERGER et al. (2005) die gewollte Senke der im Abwasser enthaltenen Inhaltsstoffe. Er enthält die in der mechanischen Reinigungsstufe sedimentierten Stoffe, die überschüssige Biomasse aus Belüftungsbecken und den in der dritten Reinigungsstufe anfallenden Schlamm mit ausgefallenen Phosphaten. Rohschlamm ist nach BAUER (2006) nicht stabilisierter Schlamm, der Abwasserbehandlungsanlagen vor Abschluss der Abwasserbehandlung entnommen wird. Als Rohschlämme werden nach BISCHOFBERGER et al. (2005) jegliche Gemische anteils- und wassergehaltsunabhängig aus Primär-, Sekundär- und Tertiärschlämmen vor der Stabilisierung bezeichnet. Primärschlamm wird nach BISCHOFBERGER et al. (2005) definiert als Schlamm, der bei der mechanischen Stufe der Abwasserbehandlung entsteht und somit das Resultat der eingesetzten physikalischen Verfahren zur Abtrennung absetzbarer Stoffe aus dem Abwasser ist. Er enthält leicht erkennbare Bestandteile wie Kot, Gemüse, Obstreste, Papier, Korke, Toilettenpapier etc. und geht nach Entnahme aus dem System ohne weitere Behandlung schnell in stinkende Fäulnis über. Sekundärschlamm entsteht nach BISCHOFBERGER et al. (2005) bei der biologischen Reinigung durch die Umsetzung organischer Stoffe durch Stoffwechselprozesse von Mikroorganismen. Mit Hilfe verschiedener Mikroorganismen werden gelöste organische Substanzen sowie Nährstoffe aus dem Abwasser entfernt. Im Laufe dieser Prozesse entsteht neue Zellsubstanz, die als sogenannter Überschussschlamm dem System entnommen wird. Der entnommene Überschussschlamm geht noch schneller in stinkende Fäulnis über als Primärschlamm. Sekundärschlamm muss sich gut absetzen, um eine Trennung von Biomasse und dem gereinigten Abwasser zu gewährleisten. Nach der Trennung wird ein Großteil des Sekundärschlammes entnommen und als sogenannter Rücklaufschlamm wieder in das Belebtschlammbecken zurückgeführt. Durch den Einsatz von Fällmitteln können unterschiedliche Abwasserinhaltsstoffe durch eine chemische Fällungsreaktion aus kommunalen und industriellen Abwässern entnommen werden. In der kommunalen Abwasserreinigung ist dies vor allem der Tertiärschlamm aus der Phosphatfällung, in der industriellen Abwasserreinigung sind durchaus auch rein physikalisch-chemische Anlagen vorzufinden.

Da Fällungsprozesse oftmals nicht in einer gesonderten, baulich getrennten Behandlungseinheit durchgeführt werden, sondern ggf. gemeinsam mit der Vorklärung oder der biologischen Abwasserreinigung, fallen Tertiärschlämme nicht getrennt, sondern im Gemisch mit Primär- oder Sekundärschlamm an. Sofern Tertiärschlämme getrennt anfallen, sind sie in aller Regel stabil und bewirken keine Geruchsbelästigung. Als stabilisierte Schlämme werden alle Schlämme bezeichnet, die im Zuge einer geordneten Schlammbehandlung, einem Stabilisierungsverfahren, sei es biologisch oder chemisch, unterworfen werden. Schlämme in oder aus einer Anlage zur anaeroben Schlammstabilisierung werden als Faulschlamm bezeichnet (BISCHOFBERGER et al., 2004). Allgemein enthält Klärschlamm zu 94 – 99 % Wasser und besteht vorwiegend aus organischem Material (Speisereste, Kot, Papier, Zellstoff u. a.), das etwa 70 % des Feststoffanteils ausmacht (BAUER, 2006). Klärschlamm enthält neben Pflanzennährstoffen, wie Stickstoff und Phosphor auch organische Schadstoffe, z. B. hormonell wirksame Substanzen, Schwermetalle und pathogene Organismen (WIECHMANN et al., 2012). Prinzipiell gilt nach BISCHOFBERGER et al. (2005) kein Klärschlamm gleicht dem anderen, auch wenn die sonstigen Rahmen- und Randbedingungen der Abwasserreinigung (gewähltes Verfahren, Struktur des Entsorgungsgebietes, Entwässerungsverfahren etc.) identisch scheinen. Klärschlamm entsteht sowohl in kommunalen als auch in Industriekläranlagen. Für eine stoffliche Verwertung im Sinne der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) (ANONYM, 1992) sind in der Regel nur Klärschlämme aus kommunalen Kläranlagen geeignet. Eine gesicherte umweltfreundliche Verwertung und Entsorgung von Klärschlamm kann nach BRANDT (2011) nur erreicht werden, wenn bereits bei der Schlammbehandlung Beschaffenheit und Eigenschaften der Rohschlämme entsprechend verändert werden. Nach HEITZMANN (2008) wird Klärschlamm vor der Verwertung oder Beseitigung in der Regel mechanisch entwässert (Zentrifugen, Pressen) und getrocknet (thermisch, solar).

### **3.9 Bioabfall**

Bioabfälle im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (ANONYM, 2012 a) sind biologisch abbaubare pflanzliche, tierische oder aus Pilzmaterialien bestehende Garten- und Parkabfälle, Landschaftspflegeabfälle, Nahrungs- und Küchenabfälle aus Haushaltungen, aus dem Gaststätten- und Cateringgewerbe, aus dem Einzelhandel und vergleichbare Abfälle aus Nahrungsmittelverarbeitungsbetrieben sowie Abfälle aus sonstigen Herkunftsbereichen, die den vorgenannten nach Art, Beschaffenheit oder stofflichen Eigenschaften vergleichbar sind. Bioabfälle im Sinne der Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) sind Abfälle tierischer oder pflanzlicher Herkunft oder aus Pilzmaterialien zur Verwertung, die durch Mikroorganismen, bodenbürtige Lebewesen oder Enzyme abgebaut werden können, einschließlich Abfälle zur Verwertung mit hohem organischem Anteil tierischer oder pflanzlicher Herkunft oder an Pilzmaterialien. Zu den Bioabfällen

---

gehören insbesondere nach der Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) folgende Abfälle, die in Anhang 1, Nummer 1, in Spalte 1 genannten und in Spalte 2 näher konkretisierten Abfälle:

- Schlämme von Wasch- und Reinigungsvorgängen
  - Fischteichschlamm
  - Fischteichsedimente
  - Filterschlämme aus der Fischproduktion
- Abfälle aus pflanzlichem Gewebe
  - Hanf- und Flachsschäben
  - Kokosfasern
  - pflanzliche Abfälle aus dem Gartenbau
  - pflanzliche Abfälle aus der Gewässerunterhaltung
  - pflanzliche Abfälle aus der Landwirtschaft
  - pflanzliche Abfälle aus der Teichwirtschaft und Fischerei
  - pflanzliche Filtermaterialien aus der biologischen Abluftreinigung
  - Reet
  - Spelze, Spelzen- und Getreidestaub
- Kunststoffabfälle (ohne Verpackungen)
  - biologisch abbaubare Werkstoffe (Kunststoffe) aus überwiegend nachwachsenden Rohstoffen
- tierische Ausscheidungen, Gülle/Jauche und Stallmist (einschließlich verdorbenes Stroh), Abwässer, getrennt gesammelt und extern behandelt
  - Altstroh
  - tierische Ausscheidungen, auch mit Einstreu
- Abfälle aus der Forstwirtschaft
  - pflanzliche Abfälle aus der Forstwirtschaft
- Abfälle a. n. g. (anderweitig nicht genannt)
  - pflanzliche Filtermaterialien aus der biologischen Abluftreinigung
- Abfälle aus der Extraktion mit Lösemitteln
  - pflanzliche Rückstände aus der Extraktion mit Alkohol
- für Verzehr oder Verarbeitung ungeeignete Stoffe
  - Altmehl
  - Fermentationsrückstände
  - aus der Enzym- und Vitaminproduktion
  - Getreideabfälle
  - Hefe und hefeähnliche Rückstände
  - Kokosfasern
  - Melasserückstände
  - Ölsaatenrückstände

- 
- pflanzliche Aminosäuren
  - pflanzliche Speiseöle und -fette
  - Rapsextraktionsschrot, Rapskuchen
  - Rizinusschrot
  - Rückstände aus der Kartoffel-, Mais- oder Reisstärkeherstellung
  - Rückstände aus der Zubereitung und Verarbeitung von Kaffee, Tee und Kakao
  - Rückstände aus der Zubereitung und Verarbeitung von Obst, Gemüse und Getreide
  - Rückstände aus Konservenfabrikation
  - Rückstände von Gewürzpflanzen und pflanzlichen Würzmitteln
  - Rückstände von Kartoffelschälbetrieben
  - Spelze, Spelzen- und Getreidestaub
  - Tabakstaub, -grus und -rippen
  - überlagerte Genussmittel
  - überlagerte Nahrungsmittel
  - Verbrauchte Filter- und Aufsaugmassen (Bleicherden, entölt, Cellite, Kieselgur, Perlite)
  - Vinasse und Vinasserückstände
  - Zigarettenfehlchargen
  - Abfälle a. n. g.
    - pflanzliche Filtermaterialien aus der biologischen Abluftreinigung (aus der Zubereitung und Verarbeitung von Lebens- und Futtermitteln)
  - Abfälle a. n. g.
    - Melasserückstände
    - pflanzliche Filtermaterialien aus der biologischen Abluftreinigung
    - Press-, Nass- und Trockenschnitzel
    - Rübenkleinteile und Rübenkraut
    - Vinasse und Vinasserückstände
    - Zuckerrübenschnitzel und -presskuchen
  - Abfälle a. n. g.
    - pflanzliche Filtermaterialien aus der biologischen Abluftreinigung (Abfälle aus der Milchverarbeitung)
  - für Verzehr oder Verarbeitung ungeeignete Stoffe
    - Altmehl
    - Fermentationsrückstände aus der Enzymproduktion
    - Hefe und hefeähnliche Rückstände
    - Teigabfälle
    - überlagerte Genussmittel

- 
- überlagerte Nahrungsmittel
  - Abfälle a. n. g.
    - pflanzliche Filtermaterialien aus der biologischen Abluftreinigung (Abfälle aus der Herstellung von Back- und Süßwaren)
  - Abfälle aus der Alkoholdestillation
    - Obst-, Getreide- und Kartoffelschlempen
  - für Verzehr oder Verarbeitung ungeeignete Stoffe
    - Biertreber
    - Hefe und hefeähnliche Rückstände
    - Hopfentreber
    - Malztreber, Malzkeime, Malzstaub
    - Melasserückstände
    - Trester
    - überlagerte Genussmittel
    - überlagerte Getränke
    - verbrauchte Filter- und Aufsaugmassen (Cellite, Kieselgur, Perlite)
    - Vinasse und Vinasserückstände
  - Abfälle a. n. g.
    - pflanzliche Filtermaterialien aus der biologischen Abluftreinigung (Abfälle aus der Herstellung von alkoholischen und alkoholfreien Getränken (ohne Kaffee, Tee und Kakao))
  - Rinden- und Korkabfälle
    - Rinden
  - Sägemehl, Späne, Abschnitte, Holz, Spanplatten und Furniere
    - Holzwolle
    - Sägemehl und Sägespäne
  - Rinden- und Holzabfälle
    - Rinden
  - geäschertes Leimleder
    - geäschertes Leimleder
  - Abfälle aus unbehandelten Textilfasern
    - Pflanzenfaserabfälle
    - Wollabfälle
    - Zellulosefaserabfälle
  - Abfälle a. n. g.
    - Fett, Fettrückstände und Öl aus der Herstellung von Biodiesel
    - Schlempen aus der Herstellung technischer Alkohole
  - feste Abfälle
    - Pilzmyzel

- 
- Pilzsubstratrückstände
  - pflanzliche Aminosäuren
  - pflanzliches Eiweißhydrolysat
  - pflanzliche Proteinabfälle
  - Rückstände von Arznei- und Heilpflanzen und Heilkräutern
  - Trester von Arznei- und Heilpflanzen
  - Abfälle, an deren Sammlung und Entsorgung aus infektionspräventiver Sicht keine besonderen Anforderungen gestellt werden (z. B. Wund- und Gipsverbände, Wäsche, Einwegkleidung, Windeln)
    - Moorschlamm und Heilerde
  - Fett- und Ölmischungen aus Ölabscheidern, die ausschließlich Speiseöle und -fette enthalten
    - Inhalt von Fettabscheidern
  - Papier und Pappe
    - Altpapier
  - biologisch abbaubare Küchen- und Kantinenabfälle
    - biologisch abbaubare Küchen- und Kantinenabfälle
    - Inhalt von Fettabscheidern
  - Speiseöle und -fette
    - Speiseöle und -fette
  - Kunststoffe
    - biologisch abbaubare Werkstoffe (Kunststoffe) aus überwiegend nachwachsenden Rohstoffen
  - biologisch abbaubare Abfälle
    - biologisch abbaubare Abfälle von Sportanlagen, -plätzen, -stätten und Kinderspielplätzen (soweit nicht Garten- und Parkabfälle)
    - biologisch abbaubare Friedhofsabfälle
    - biologisch abbaubare Garten- und Parkabfälle
    - Gehölzrodungsrückstände (soweit nicht Garten- und Parkabfälle)
    - Landschaftspflegeabfälle
    - pflanzliche Abfälle aus der Gewässerunterhaltung (soweit nicht Garten- und Parkabfälle)
    - pflanzliche Bestandteile des Treibsels (einschließlich von Küsten- und Uferbereichen)
  - gemischte Siedlungsabfälle
    - getrennt erfasste Bioabfälle
  - Marktabfälle
    - pflanzliche Marktabfälle
  - Schlämme von Wasch- und Reinigungsvorgängen

- 
- sonstige schlammförmige Nahrungsmittelabfälle
  - Abfälle a. n. g.
    - Pilzsubstratrückstände
  - Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
    - Inhalt von Fettabscheidern und Flotate
    - produktionsspezifischer Schlamm aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
    - Schlämme aus der Gelatineherstellung
  - Schlämme aus Wasch-, Reinigungs-, Schäl-, Zentrifugier- und Abtrennprozessen
    - sonstige schlammförmige Nahrungsmittelabfälle
  - für Verzehr oder Verarbeitung ungeeignete Stoffe
    - Schlamm aus der Herstellung pflanzlicher Speisefette
    - Schlamm aus der Herstellung pflanzlicher Speiseöle
    - Stärkeschlamm
    - Tabakschlamm
  - Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung (Abfälle aus der Zubereitung und Verarbeitung von Obst, Gemüse, Getreide, Speiseölen, Kakao, Kaffee, Tee und Tabak, aus der Konservenherstellung, der Herstellung von Hefe und Hefeextrakt sowie der Zubereitung und Fermentierung von Melasse)
    - Inhalt von Fettabscheidern und Flotate
    - produktionsspezifischer Schlamm aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
  - Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung (Abfälle aus der Zuckerherstellung)
    - produktionsspezifischer Schlamm aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
  - Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung (Abfälle aus der Milchverarbeitung)
    - Inhalt von Fettabscheidern und Flotate
    - produktionsspezifischer Schlamm aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
  - Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung (Abfälle aus der Herstellung von Back- und Süßwaren)
    - Inhalt von Fettabscheidern und Flotate
    - produktionsspezifischer Schlamm aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
  - Abfälle aus der Alkoholdestillation
    - Schlamm aus Brennerei
  - für Verzehr oder Verarbeitung ungeeignete Stoffe

- 
- Trub und Schlamm aus Brauereien
  - Trub und Schlamm aus Fruchtsaftherstellung
  - Trub und Schlamm aus Weinherstellung
  - Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung (Abfälle aus der Herstellung von alkoholischen und alkoholfreien Getränken (ohne Kaffee, Tee und Kakao))
    - produktionsspezifischer Schlamm aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
  - Abfälle a. n. g.
    - Glycerin aus der Herstellung von Biodiesel.

Bodenmaterial ohne wesentliche Anteile an Bioabfällen gehört nicht zu den Bioabfällen. Pflanzenreste, die auf forst- oder landwirtschaftlich genutzten Flächen anfallen und auf diesen Flächen verbleiben, sind laut Bioabfallverordnung keine Bioabfälle.

Laut Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) sind behandelte Bioabfälle, Bioabfälle, die einer hygienisierenden und biologisch stabilisierenden Behandlung unterzogen wurden, einschließlich in Anhang 1, Nummer 2 in Spalte 1 genannter, in Spalte 2 weiter konkretisierter und durch die ergänzenden Bestimmungen in Spalte 3 näher gekennzeichnete mitbehandelte Abfälle oder in Spalte 2 genannter und durch die ergänzenden Bestimmungen in Spalte 3 näher gekennzeichnete mitbehandelte biologisch abbaubare Materialien. Unbehandelte Bioabfälle werden nach dieser Verordnung definiert als Bioabfälle, die keiner Behandlung unterzogen wurden.

### **3.10 Kompost**

Kompost wurde in der Bioabfallverordnung vom 21.09.1998 (ANONYM, 1998 a) definiert als aerob behandelte Bioabfälle. In der aktuell gültigen Bioabfallverordnung vom 23.04.2012 (ANONYM, 2012 b) gibt es den Terminus „Kompost“ nicht mehr. Hier wird nur noch von behandelten Bioabfällen gesprochen. In der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 (ANONYM, 2009 b) fällt Kompost unter die Bezeichnung organisches Düngemittel oder Bodenverbesserungsmittel. In der Verordnung (EU) 142/2011 ist Kompost nicht definiert, es wird lediglich von Folgeprodukten aus Kompostierungsanlagen gesprochen, wobei eine Kompostierungsanlage im Sinne dieser Verordnung eine Anlage ist, in der tierische Nebenprodukte oder Folgeprodukte dieser tierischen Nebenprodukte zumindest einen Teil des Materials bilden, das unter aeroben Bedingungen biologisch abgebaut wird.

Kompost ist nach ANONYM (2012 i) definiert als ein natürliches Mischprodukt, das beim mikrobiellen Abbau organischer Substanz, der sogenannten Rotte entsteht. Als Ausgangsmaterialien für die standardisierten biologischen Rotteverfahren dienen überwiegend mittels Biotonne getrennt erfasste Garten- und Küchenabfälle (Biogut)

---

sowie reine Pflanzenabfälle aus Gärten, Parkanlagen und der Landschaftspflege (Grüngut). In seltenen Fällen dienen reine organische Abfälle aus der Lebensmittelverarbeitenden Industrie zusätzlich als Ausgangsstoffe für die Kompostprodukte. Die für die landwirtschaftliche Düngung angebotenen Komposte werden unterschieden in Bioabfallkomposte (Mischung aus Bio- und Grünabfällen) und Grüngutkomposte (reine Pflanzenkomposte). Mittlerweile hat sich nach Angaben von ANONYM (2012 i) durchgesetzt, in der Landwirtschaft möglichst RAL-gütesicherte Komposte einzusetzen, die eine hohe Qualität garantieren. Hohe Qualität bedeutet: einwandfreie Hygienisierung, d. h. frei von Krankheitserregern und Unkrautsamen, optimale Nährstoffgehalte, keine Fremdstoffe und niedrige Schwermetallgehalte unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte. Kompost wird nach ANONYM (2008 b) definiert als ein humusreiches Rotteprodukt, das unter Sauerstoffzufuhr aus pflanzlichen Abfällen, gegebenenfalls tierischen Exkrementen und Bodenmaterialien entsteht. Die Eigenschaften und Wirkungen des Produktes Kompost ergeben sich einerseits aus den Ausgangsstoffen und andererseits durch den Rotteprozess selbst. SCHLEISS (2004) definiert Kompost als fachgerecht unter Luftzutritt verrottetes pflanzliches und tierisches Material, das zu Düngezwecken, als Bodenverbesserer, als Substrat, als Erosionsschutz, in Rekultivierungen oder für künstliche Kulturerden verwendet wird. ANONYM (2006 a) unterscheidet bei Kompost zwischen Frisch- und Fertigkompost. Bei Frischkompost handelt es sich um ein hygienisiertes, in intensiver Rotte befindliches oder zu intensiver Rotte fähiges fraktioniertes Rottegut zur Bodenverbesserung und Düngung mit dem Rottegrad II oder III, ausschließlich aus der getrennten Sammlung geeigneter, sortenreiner und zulässiger organischer Ausgangsstoffe und Qualitäten gemäß RAL GZ-251. Bei Fertigkompost handelt es sich um einen hygienisierten, biologisch stabilisierten und fraktionierten Kompost zur Bodenverbesserung und Düngung mit dem Rottegrad IV oder V, ausschließlich aus der getrennten Sammlung geeigneter, sortenreiner und zulässiger organischer Ausgangsstoffe und Qualitäten gemäß RAL GZ-251. ANONYM (2008 b) unterscheidet außer zwischen Frisch- und Fertigkompost noch zwischen Substrat- und Mulchkompost. Bei Substratkompost handelt es sich um Fertigkompost in feiner Körnung und mit relativ geringen Gehalten an löslichen Nährstoffen und Salzen. Die Dauer der Kompostierung beträgt mehr als 8 Wochen. Er wird bei der Herstellung von Kultursubstraten und Blumenerden verwendet. Mulchkompost ist Kompost mit grober Körnung, der bei der Absiebung von Fertigkomposten entsteht. Er weist relativ geringe Nährstoffgehalte auf und wird in hohen Aufwandsmengen im mehrjährigen Turnus als Schutz vor Erosion und Austrocknung sowie zur Unterdrückung von Begleitflora eingesetzt.

### **3.11 Biogasgülle / Gärreste**

Gärreste wurde in der Bioabfallverordnung vom 21.09.1998 (ANONYM, 1998 a) definiert als anaerob behandelte Bioabfälle. In der aktuell gültigen Bioabfallverordnung vom 23.04.2012 (ANONYM, 2012 b) gibt es den Terminus „Gärreste“ nicht mehr. Hier wird nur noch von behandelten Bioabfällen gesprochen. Nach ANONYM (2009 c) entstehen Gärreste aus den verschiedensten Ausgangssubstanzen, die während des Gärprozesses in Abhängigkeit von der Verweildauer, der Temperatur und dem Mischungsverhältnis unterschiedlichen Abbauraten unterliegen. Sie werden auf landwirtschaftliche Flächen zur Nährstoffversorgung der Kulturen ähnlich des Wirtschaftsdüngers Gülle ausgebracht. Sind die Gärreste aus der Vergärung von pflanzlichen Materialien aus landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betrieben (auch gemischt mit tierischen Ausscheidungen) entstanden, werden sie als Wirtschaftsdünger betrachtet. Werden andere Stoffe (z. B. Bioabfälle) mitvergoren, handelt es sich nach der Düngemittelverordnung um organische Düngemittel. Durch den Gärprozess entstehen jedoch qualitative und quantitative Veränderungen, die eine angepasste fach- und umweltgerechte Ausbringung erfordern. ROTH und RATSACK (2012) weisen daraufhin, dass Gärreste aus Co-Fermentationsanlagen als organische NPK-Dünger deklariert werden und gleichzeitig den Vorschriften der Bioabfallverordnung unterliegen. ANONYM (2008 a) unterscheidet zwischen flüssigen und festen bzw. stapelbaren Gärresten aus Biogasanlagen. Flüssige Gärreste aus der Flüssigfermentation sind die nach der anaeroben Vergärung von Wirtschaftsdüngern (z. B. Gülle, Festmist), nachwachsenden Rohstoffen (NaWaRo) und sonstigen zugelassenen Inputstoffen verbleibenden Reste. Ihre Eigenschaften sind grundsätzlich mit Gülle vergleichbar. Feste bzw. stapelbare Gärreste aus der Trockenfermentation sind die nach der anaeroben Vergärung von stapelbaren Stoffen wie Festmist, NaWaRo und sonstigen zugelassenen Inputstoffen verbleibenden Reste. Ihre Eigenschaften sind grundsätzlich mit Festmist vergleichbar. Gärreste aus einer NaWaRo-Biogasanlage bestehen nach RAUSSEN und LOOTSMA (2008) aus 90 % Wasser. Nach ANONYM (2007 b) sind Gärreste hochwertige Düngemittel, die schwieriger in ihrer Handhabung sind als mineralische Düngemittel. Insbesondere wegen der hohen pH-Werte und der damit verbundenen Gefahr der Ammoniakausgasung. Nach MÖLLER et al. (2009) variieren die Inhaltsstoffe der Gärreste je nach Substrat, Anlage und Aufbereitung sehr stark. Der Nährstoffgehalt der Gärreste ist nach Angaben der Autoren dabei abhängig von den verwendeten Gärsubstraten und deren Nährstoffgehalten, dem Wasser- bzw. Trockenmassegehalt der Gärsubstrate und der Abbaubarkeit der organischen Substanz im Fermenter. Es gibt Gärreste mit hohen, mittleren und niedrigen P- und N-Gehalten. Gärreste mit hohen P- und N-Gehalten entstehen aus: Getreidekörnern, Lieschkolbenschrotsilagen, Geflügelmist/Geflügelgülle, intensiv bewirtschaftetem Grünland, Ackergras. Gärreste mit mittleren P- und N-Gehalten entstehen aus: extensiv bewirtschaftetem Grünland, Getreide-Ganzpflanzensilage,

Schweinegülle. Silomais, Zuckerrüben, Sudangras/Zuckerhirse, Schweine-, Rindergülle oder Rindermist und Kartoffeln ergeben Gärreste mit niedrigen P- und N-Gehalten. Nach ANONYM (2009 d) entstehen Gärreste aus den verschiedensten Ausgangssubstanzen, die während des Gärprozesses in Abhängigkeit von der Verweildauer, der Temperatur und dem Mischungsverhältnis unterschiedlichen Abbauraten unterliegen. Es ist daher nicht möglich, Durchschnittswerte für Nährstoff- oder TS-Gehalte anzugeben. In der Praxis schwanken die TS-Gehalte zwischen 4 und 10 % TS. Tendenziell haben Gärreste einen höheren Anteil pflanzenverfügbaren Stickstoffs als Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft. Auch separierte Gärreste, die einen TS-Gehalt von 20 bis 25 % aufweisen, besitzen einen hohen Gehalt an sofort pflanzenverfügbarem Stickstoff. Gärreste sind nach ANONYM (2012 I) dünnflüssiger als z. B. Rindergülle, dadurch verursachen sie weniger Pflanzenverschmutzungen und dringen schneller in den Boden ein. Im schweizerischen Sprachgebrauch wird Gärrest nach SCHLEISS (2004) als Gärgut bezeichnet und ist definiert als fachgerecht unter Luftabschluss vergärtes, nachbelüftetes pflanzliches und tierisches Material, das zu Dünge Zwecken, als Bodenverbesserer, als Substrat, als Erosionsschutz, in Rekultivierungen oder für künstliche Kulturerden verwendet wird. Erzeugnisse aus der anaeroben Behandlung geeigneter organischer Stoffe (z. B. Bioabfälle, Wirtschaftsdünger, nachwachsende Rohstoffe) zur Bodenverbesserung und Düngung werden nach ANONYM (2006 b) als Gärprodukte bezeichnet, wobei zwischen festen und flüssigen Gärprodukten unterschieden wird. Die Qualität der Gärprodukte richtet sich nach RAL GZ-256-1.

### **3.12 Bodenhilfsstoffe**

Bodenhilfsstoffe sind Stoffe ohne wesentlichen Nährstoffgehalt sowie Mikroorganismen, die dazu bestimmt sind, die biologischen, chemischen oder physikalischen Eigenschaften des Bodens zu beeinflussen, um die Wachstumsbedingungen für Nutzpflanzen zu verbessern oder die symbiotische Bindung von Stickstoff zu fördern (ANONYM, 2009 a).

### **3.13 Pflanzenhilfsmittel**

Pflanzenhilfsmittel sind Stoffe ohne wesentlichen Nährstoffgehalt, die dazu bestimmt sind, auf Pflanzen biologisch oder chemisch einzuwirken, um einen pflanzenbaulichen, produktionstechnischen oder anwendungstechnischen Nutzen zu erzielen, soweit sie nicht Pflanzenstärkungsmittel im Sinne des § 2 Nummer 16 des Pflanzenschutzgesetzes sind (ANONYM, 2009 a).

### **3.14 Kultursubstrate**

Kultursubstrate sind Stoffe, die dazu bestimmt sind, Nutzpflanzen als Wurzelraum zu dienen und die dazu in Böden eingebracht, auf Böden aufgebracht oder in bodenunabhängigen Anwendungen genutzt werden (ANONYM, 2009 a). Nach ANONYM (2010 a) werden Kultursubstrate definiert als aufgekalkte oder aufgedüngte Mischungen aus substratfähigen Ausgangsstoffen. Sie dienen bodenunabhängig kultivierten Pflanzen als Wurzelraum. Die im Düngegesetz von 2009 enthaltene Begriffsbestimmung (s. o.) entspricht nach ANONYM (2010 a) nicht dem seit Jahrzehnten in der fachlichen Praxis üblichen Begriff, der sich immer auf bodenunabhängige Anwendung bezog. Die Ausgangsmaterialien für Kultursubstrate wurden vom Entstehungsort entfernt und aufbereitet oder sie sind wiederaufbereitete organische oder mineralische Reststoffe. Sie können alleine oder mit anderen gemischt verwendet werden. Sie bieten der Pflanze besonders günstige Wachstumsbedingungen und sie können kurzfristig aus geeigneten Ausgangsmaterialien hergestellt werden.

## **4 Mengen an organischen Düngemitteln**

### **4.1 Wirtschaftsdünger**

Die deutsche Landwirtschaft erzielt fast 60 % ihrer Verkaufserlöse über die tierische Produktion (SCHULTHEISS et al., 2010). Seit 1990 haben sich die Viehbestände in der Bundesrepublik Deutschland ständig verändert. Derzeit werden in Deutschland pro Jahr ca. 26 Mio. Schweine, ca. 12,5 Mio. Rinder, ca. 2,3 Mio. Schafe und ca. 220.000 Ziegen sowie ca. 540.000 Pferde und ca. 128 Mio. Geflügeltiere gehalten. Der Schweinebestand ist seit Jahren konstant. In den Jahren von 1990 bis 2005 hat der Rinderbestand kontinuierlich abgenommen und ist seit 2006 nahezu konstant. Der Schafbestand hat seit 1990 bis 2010 deutlich um ca. 869.000 Schafe abgenommen und der Ziegenbestand hat sich in dieser Zeit mehr als verdoppelt. Seit 1990 bis 2009 ist der Bestand an Pferden nahezu konstant geblieben. Bis zum Jahr 2009 hat der Bestand an Masthähnchen, Legehennen, Puten, Enten, Gänsen und sonstigem Geflügel seit 1990 um mehr als 14 Mio. zugenommen. Die Abb. 1 bis Abb. 3 zeigen die Entwicklung der Viehbestände in Deutschland.

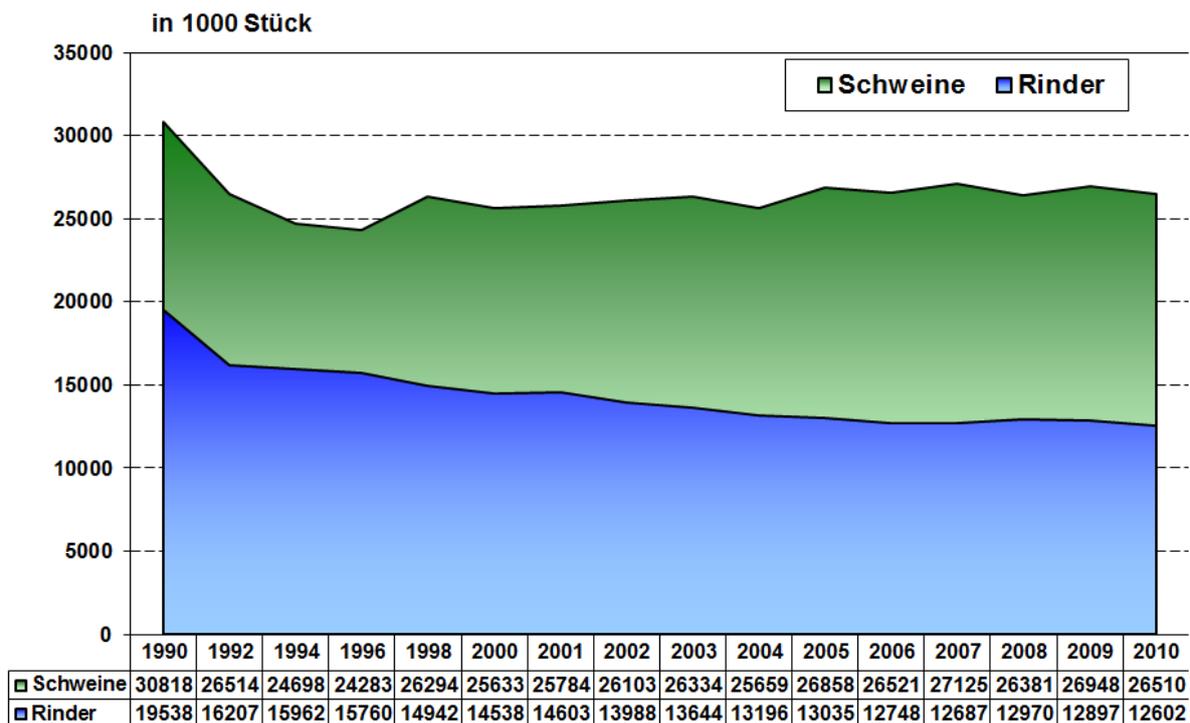


Abb. 1. Langzeitentwicklung des Viehbestands in Deutschland für Rinder und Schweine (ANONYM, 2011 e)

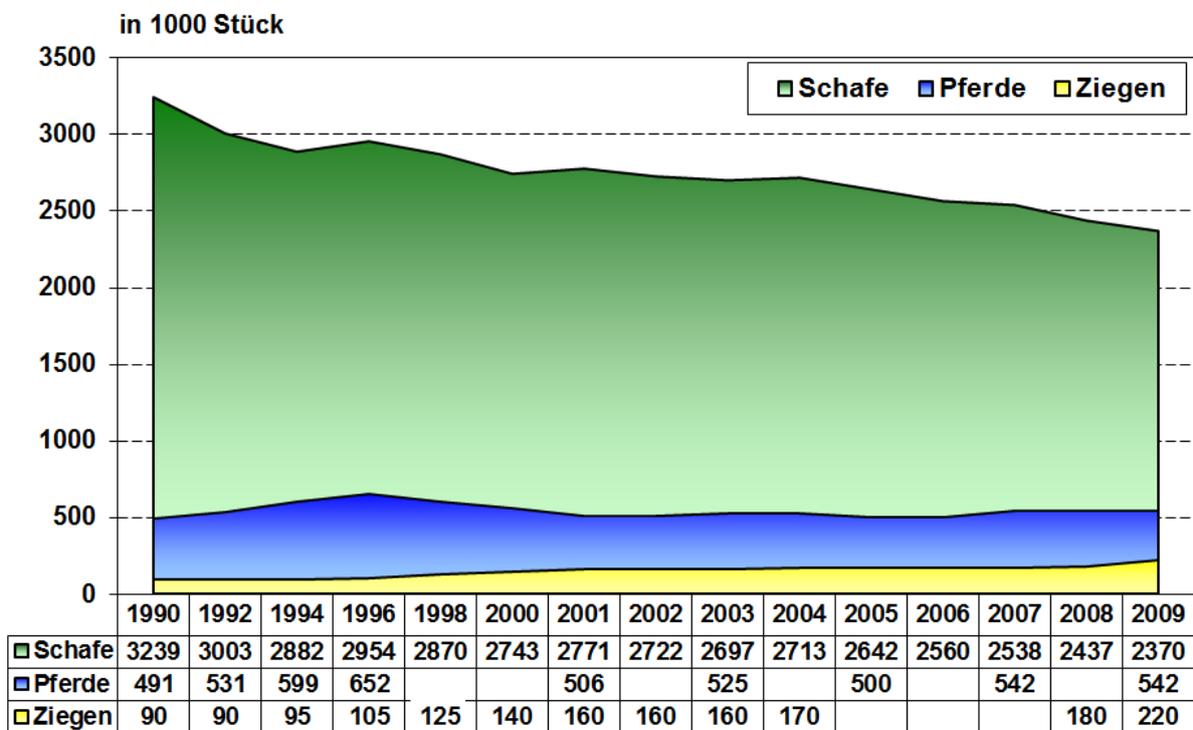


Abb. 2: Langzeitentwicklung des Viehbestands in Deutschland für Pferde, Schafe und Ziegen (ANONYM, 2011 e)

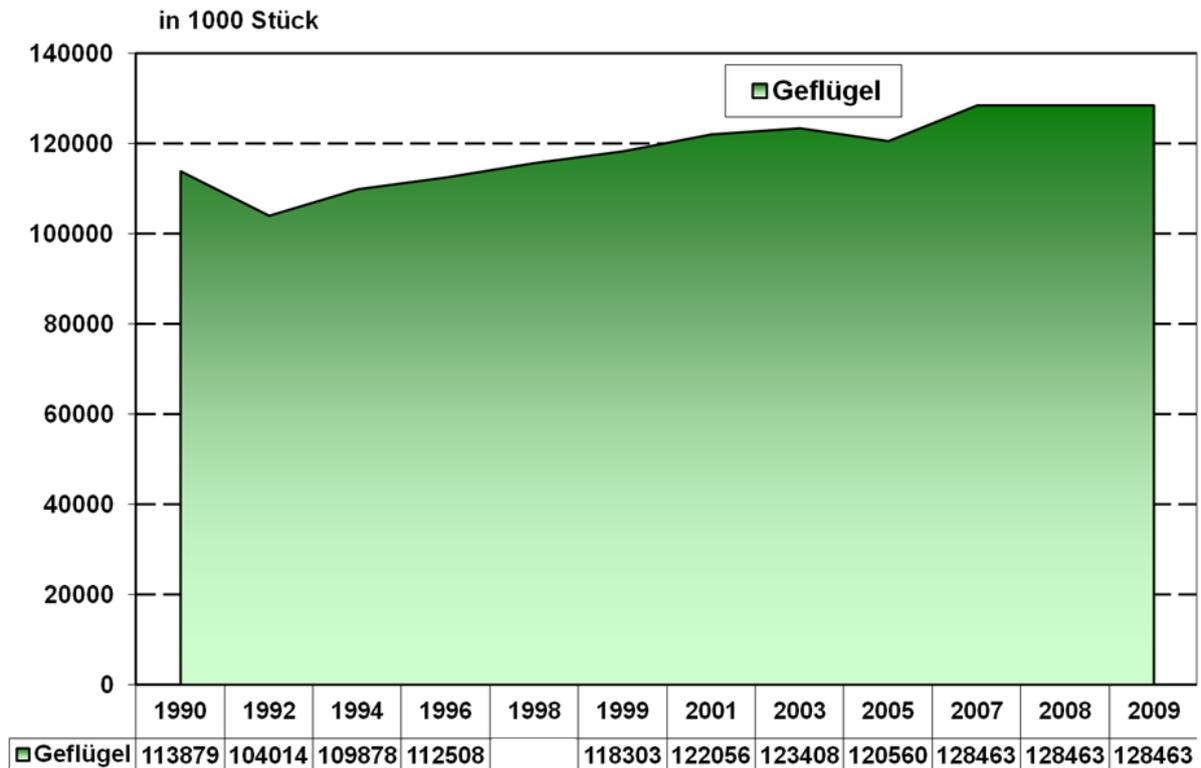


Abb. 3: Langzeitentwicklung des Viehbestands in Deutschland für Geflügel (ANONYM, 2011 e)

Die intensive Nutztierhaltung in Mitteleuropa hinterlässt nach BAUER (2006) riesige Mengen von Abfallstoffen, die beispielsweise für Deutschland mit jährlich 218.000.000 t beziffert werden. Dabei handelt es sich um Gülle (Flüssigmist; Gemisch aus Kot und Harn mit oder ohne Wasserzusatz, teilweise mit Futter- und Einstreuresten), Dung (Festmist; stapelfähiges Gemisch aus Kot, Harn und Einstreu), Jauche (nicht an Einstreu gebundener Harn) sowie Silosickersaft aus Betrieben mit Haltung von Wiederkäuern, Schweinen, Equiden oder Geflügel.

Aus den Viehbeständen von 2009 mit ca. 13 Mio. Rindern und 27 Mio. Schweinen resultierte ein Gesamtanfall an Wirtschaftsdüngern von 152 Mio. t in der Rinder- und Schweinehaltung. Für Gülle ist ein Mengenanfall von 111 Mio. t Frischmasse, für Festmist von 32 Mio. Tonnen Frischmasse und für Jauche von ca. 10 Mio. t Frischmasse zu verzeichnen. Der Wirtschaftsdüngeranfall hat sich in den letzten Jahren insgesamt vermindert, wobei ein Rückgang vor allem in der Rinderhaltung zu verzeichnen ist. Die Tab. 1 zeigt den Wirtschaftsdüngeranfall für den Zeitraum von 1994 bis 2009 nach SCHULTHEISS et al. (2010).

Tab. 1: Wirtschaftsdüngeranfall aus der Rinder- und Schweinehaltung in Deutschland für den Zeitraum 1994-2009 (SCHULTHEISS et al., 2010).

Jahr	Gülle Mio. t FM/a	Festmist Ø Einstreumenge: 4,5 kg/GV Mio. t FM/a	Jauche Ø Einstreumenge: 4,5 kg/GV Mio. t. FM/a	Gesamt Mio. t FM/a
1994	159,3	44,5	13,6	217,4
1995	156,0	44,1	13,4	213,5
1996	156,0	44,3	13,5	213,8
1997	155,6	43,9	13,3	212,8
1998	154,3	43,0	13,2	210,4
1999	151,9	42,1	12,9	206,9
2000	151,9	42,0	12,9	206,8
2001	150,8	41,3	12,7	204,8
2002	148,1	40,5	12,5	201,1
2003	146,9	39,7	12,3	198,9
2004	143,1	38,8	12,0	193,9
2005*	144,4	38,9	12,0	195,4
2005*	113,2	32,9	9,9	156,1
2006	112,3	32,2	9,8	154,2
2007	112,4	32,2	9,8	154,4
2008	113,2	32,6	9,8	155,6
2009	110,8	31,8	9,6	152,2

\*: 2005 erfolgte eine Aktualisierung des GV-Schlüssels, daher sind die Ergebnisse sowohl für den alten als auch für den neuen GV-Schlüssel dargestellt

Nach SCHULTHEISS et al. (2010) werden etwa 70 % der Wirtschaftsdünger, die in Deutschland anfallen, in Bayern (ca. 27 %), Niedersachsen (ca. 19 %), Nordrhein-Westfalen (ca. 15 %) und Baden-Württemberg (ca. 9 %) erzeugt. Mit ca. 30 Mio. t FM/a fallen in Bayern die höchsten Güllemengen an, hier vor allem in der Rinderhaltung. In Niedersachsen sind ca. 26 Mio. t FM/a an Gülle zu verzeichnen. Diese fallen zu gleichen Teilen in der Rinder- und Schweinehaltung an. Im Vergleich dazu kommen in Nordrhein-Westfalen von insgesamt ca. 19 Mio. t FM/a an Gülle ca. 12,8 Mio. t FM/a aus der Schweinehaltung. Insgesamt fallen ca. 2/3 der gesamten Güllemenge in diesen 3 Bundesländern an. Von der gesamten Festmistmenge in Deutschland (ca. 32 Mio. t FM im Jahr 2009) stammt der größte Teil aus der Rinderhaltung bzw. aus Bayern, Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen. Die Festmistmenge in Bayern beträgt ca. 8,5 Mio. t FM/a, in Baden-Württemberg ca. 4,5 Mio. t FM/a und in Nordrhein-Westfalen ca. 3,6 Mio. t FM/a.

#### 4.1.1 Gülle

Die Zusammensetzung und Menge der in Tierhaltungen anfallenden Gülle hängt nach ANONYM (1985) von der Tierart, dem Gewicht der Tiere, der Futterart, dem Tränkeverfahren, eventuellen Wasserzusätzen und baulichen Detaillösungen ab. FAUSER-LEIENSETTER (2000) führt in diesem Zusammenhang die Einleitung von Tränkwasser, Oberflächenwasser, Reinigungswasser der Melkanlage und z. T. häusliche Abwässer in das Güllelager an. Ferner wird der jährliche Anfall von Gülle nach HÜFFMEIER (1986) durch das Geschlecht der Tiere und das Haltungsverfahren beeinflusst. Bei starkem Weidegang von Rindvieh reduziert sich der Gülleanfall um ca. die Hälfte. Beim Rind betragen die täglichen Ausscheidungen an Kot und Harn ca. 8 – 9 % des Körpergewichts und beim Schwein im Mittel der Mastperiode ca. 6 %. Das natürliche Kot-Harn-Gemisch weist einen durchschnittlichen Trockensubstanzgehalt beim Rind von 10 - 11 % und beim Schwein von 9 – 10 % auf. Der tägliche Frischkotanteil beträgt bei Legehennen rund 180 g/Tier mit einem Trockensubstanzanteil von 20 % (ANONYM, 1991). In der Tab. 2 ist nach ANONYM (1991) der Gülleanfall von unterschiedlichen Tierarten in Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt dargestellt. Bei einem mittleren Trockensubstanzgehalt von 7,5 % ergibt dies bei Milchvieh einen jährlichen Gülleanfall von 22 m<sup>3</sup>/GV und bei Mastschweinen rund 18 m<sup>3</sup>/GV. 146 m<sup>3</sup> Gülle pro GV und Jahr werden in der Legehennenhaltung produziert. Die Flüssigmistproduktion beträgt nach RÜPRICH (1980) 40 bis 60 l je GV und Tag, dies entspricht 1,2 bis 1,8 m<sup>3</sup>/GV und Monat. In Praxisbetrieben sollte nach Angaben des Autors mit folgenden Werten gerechnet werden:

- Milchkühe                    1,5 – 1,8 m<sup>3</sup>/Kuh und Monat
- Jung- und Mastvieh    1,4 – 1,5 m<sup>3</sup>/GV und Monat
- Schweine                    1,4 – 1,5 m<sup>3</sup>/GV und Monat
- Legehennen                7,5 Liter/Henne und Monat.

Tab. 2: Gülleanfall/GV in Abhängigkeit vom TS-Gehalt nach ANONYM (1991)

Gülleart	Fließfähigkeit	TS-Gehalt (%)	Gülleanfall/Tag (kg/GV)	Gülle/Jahr (m <sup>3</sup> /GV)
Milchvieh	dickflüssig	10	46	17
	flüssig	7,5	61	22
	dünnflüssig	5	93	34
Mastbullen	dickflüssig	10	33	12
	flüssig	7,5	44	16
	dünnflüssig	5	66	24
Mastschwein	dickflüssig	10	37	13
	flüssig	7,5	49	18
	dünnflüssig	5	71	26
Legehennen (1.000 Stück)		10	400	146

Tab. 3: Anfall von Gülle in der Rinder- und Schweinehaltung in den Bundesländern im Jahr 2009, Angaben in Mio. t FM/a (SCHULTHEISS et al., 2010)

Bundesland	Rind (10 % TM)	Schwein (5 % TM)	Gesamt
Baden-Württemberg	4,6	3,6	8,2
Bayern	24,5	5,6	30,1
Berlin	0	0	0
Brandenburg	2,1	1,2	3,3
Bremen	0	0	0
Hamburg	0	0	0
Hessen	2,3	1,1	3,4
Mecklenburg-Vorpommern	1,9	1,5	3,4
Niedersachsen	13,1	12,9	26,1
Nordrhein-Westfalen	5,8	12,8	18,7
Rheinland-Pfalz	2,0	0,3	2,4
Saarland	0,3	0	0,3
Sachsen	1,7	1,3	2,9
Sachsen-Anhalt	1,3	1,3	2,6
Schleswig-Holstein	4,6	2,9	7,5
Thüringen	0,9	1,0	1,9
Deutschland	65,2	45,6	110,8

#### 4.1.2 Jauche und Festmist

Je nach Tierart und Haltungsverfahren fallen nach ANONYM (1989) unterschiedliche Mengen an Festmist und Jauche an. Bei täglichen Einstreumengen von durchschnittlich 1,5 – 3 kg Stroh pro Großvieheinheit fällt der von der Einstreu nicht gebundene Harn neben Reinigungs- und Niederschlagwasser als Jauche an. Der monatliche Jaucheanfall beträgt nach HÜFFMEIER (1986) bei Rindvieh und Schweinen rund 0,5 m<sup>3</sup>/GV. ANONYM (1989) gibt die in der Tab. 4 angeführten Mengen als Orientierungswerte für Festmist und Jauche an. Danach fallen in der Rinderhaltung ca. 1,2 m<sup>3</sup>/GV und Monat an Festmist und 0,6 m<sup>3</sup>/GV und Monat an Jauche an. Der Festmist- bzw. Jaucheanfall bei Pferden beträgt ca. 1,3 m<sup>3</sup>/GV und Monat bzw. 0,1 m<sup>3</sup>/GV und Monat und in der Schweinehaltung fallen ca. 0,6 m<sup>3</sup>/GV und Monat an Festmist und an Jauche an. In der Geflügelhaltung fallen zwischen 0,4 und 0,7 m<sup>3</sup> Festmist/GV und Monat an. In Deutschland werden nach SCHULTHEISS et al. (2010) pro Jahr ca. 31,8 Mio. t Frischmasse an Festmist und 9,6 Mio. t Frischmasse an Jauche in der Rinder- und Schweinehaltung produziert, wobei der meiste Festmist und die meiste Jauche in Bayern und Baden-Württemberg, in Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt, Niedersachsen und Brandenburg anfällt. In der Tab. 5 und

Tab. 6 ist der Mengenanfall an Festmist bzw. Jauche in den einzelnen Bundesländern aufgeführt.

Tab. 4: Orientierungswerte für den Anfall an Festmist und Jauche nach ANONYM (1989)

Tierart	GV	Festmistanfall (m <sup>3</sup> /GV und Monat)	Jaucheanfall (m <sup>3</sup> /GV und Monat)
Rinder - Kuh	1,0 – 1,2	1,2	0,6
Rinder (1 – 2 Jahre) / Mastbulle	0,7	1,2	0,6
Rinder (bis 1 Jahr)	0,3	1,2	0,6
Pferd	1,0	1,3	0,1
Mastschwein / Zuchtläufer	0,12	0,6	0,6
Sau ohne Ferkel / Eber	0,30	0,6	0,6
Sau mit Ferkeln	0,40	0,6	0,6
Aufzuchtferkel	0,02	0,6	0,6
Legehennen (310 - 330 Tiere)	1,0	0,4	-
Junghennen	1,0	0,7	-
Masthähnchen (420 – 625 Tiere)			

Tab. 5: Anfall von Festmist in der Rinder- und Schweinehaltung in den Bundesländern im Jahr 2009, bei einer mittleren Einstreumenge von 4,5 kg/GV, Angaben in Mio. t FM/a (SCHULTHEISS et al., 2010)

Bundesland	Rind	Schwein	Gesamt
Baden-Württemberg	3,7	0,8	4,5
Bayern	6,7	1,6	8,4
Berlin	0	0	0
Brandenburg	2,0	0,4	2,4
Bremen	0	0	0
Hamburg	0	0	0
Hessen	0,9	0,3	1,2
Mecklenburg-Vorpommern	0,5	0,2	0,7
Niedersachsen	1,3	1,0	2,3
Nordrhein-Westfalen	2,0	1,6	3,6
Rheinland-Pfalz	0,8	0,1	1,0
Saarland	0,2	0	0,2
Sachsen	1,4	0,2	1,6
Sachsen-Anhalt	2,1	0,6	2,7
Schleswig-Holstein	1,5	0,3	1,8
Thüringen	1,1	0,3	1,4
Deutschland	24,2	7,6	31,8

Tab. 6: Anfall von Jauche in der Rinder- und Schweinehaltung in den Bundesländern im Jahr 2009, bei einer mittleren Einstreumenge von 4,5 kg/GV, Angaben in Mio. t FM/a (SCHULTHEISS et al., 2010)

Bundesland	Rind	Schwein	Gesamt
Baden-Württemberg	1,0	0,3	1,3
Bayern	1,8	0,7	2,5
Berlin	0	0	0
Brandenburg	0,5	0,2	0,7
Bremen	0	0	0
Hamburg	0	0	0
Hessen	0,2	0,1	0,4
Mecklenburg-Vorpommern	0,1	0,1	0,2
Niedersachsen	0,3	0,4	0,8
Nordrhein-Westfalen	0,5	0,7	1,2
Rheinland-Pfalz	0,2	0,1	0,3
Saarland	0	0	0,1
Sachsen	0,4	0,1	0,5
Sachsen-Anhalt	0,6	0,2	0,8
Schleswig-Holstein	0,4	0,1	0,5
Thüringen	0,3	0,1	0,4
Deutschland	6,5	3,1	9,6

## 4.2 Bio- und Grünabfälle sowie Speiseabfälle

Bereits jetzt werden jährlich etwa 9 Mio. t Bio- und Grünabfälle getrennt erfasst und kompostiert oder vergoren. Dies entspricht immerhin etwa 20 % des Siedlungsabfallaufkommens. Trotz somit bereits bestehender Erfolge bei der Getrennterfassung und Verwertung von Bioabfällen, gibt es hier noch nicht ausgeschöpfte Erfassungs- und Verwertungspotenziale. Experten schätzen das bislang noch ungenutzte Potenzial an Bioabfällen auf mindestens 2 Mio. t jährlich. Einschließlich der zusätzlich noch für eine Verwertung mobilisierbaren Grünabfälle wird das Potenzial auf 4 Mio. t pro Jahr beziffert (WENDENBURG, 2012). Nach Angaben von BUDEWIG (2010) werden in Deutschland in ca. 950 Kompostierungsanlagen und ca. 650 Biogasanlagen 10,9 Mio. Tonnen Bioabfälle werden verarbeitet.

In Deutschland fallen nach Angaben von KIRSCH (2011) jährlich ca. 20 Mio. t ehemalige Lebensmittel an. Die Menge an Lebensmittelabfällen, die in Deutschland durchschnittlich jährlich erzeugt werden, beträgt nach KRANERT et al. (2012) 10,65 Mio. t, wobei die Bandbreite für die Mengen sehr groß ist. Die Mengen bewegen sich nach Angaben der Autoren zwischen minimal 6,52 Mio. t und maximal 20,77 Mio. t. Ehemalige Lebensmittel

sind u. a. in Speiseresten (ca. 2 Mio. t), in getrennt gesammelten organischen Haushaltsabfällen der Biotonne (ca. 9 Mio. t) und in Marktabfällen aus der Handelskette (z. B. Einzelhandel) enthalten. Während Biotonneninhalte vielfach in Kompostierungsanlagen Verwendung finden, werden Speisereste und Marktabfälle überwiegend in Biogasanlagen eingesetzt. Die erzeugten Endprodukte (Komposte und Gärprodukte) dienen als organische Dünge- und Bodenverbesserungsmittel zur Schließung von Nährstoffkreisläufen und zur Humusversorgung von Böden (KIRSCH, 2011). Der größte Anteil der erzeugten Komposte wird nach KEHRES (2010) mit 48 % in der Landwirtschaft verwertet. Im Landschaftsbau, in Erdenwerken und im Hobbygartenbereich werden insgesamt 38 % der erzeugten Komposte, in nahezu gleichen Anteilen, vermarktet. Darüber hinaus wird Kompost in Sonderkulturen, im Gartenbau, in Kommunen und in sonstigen Bereichen eingesetzt.

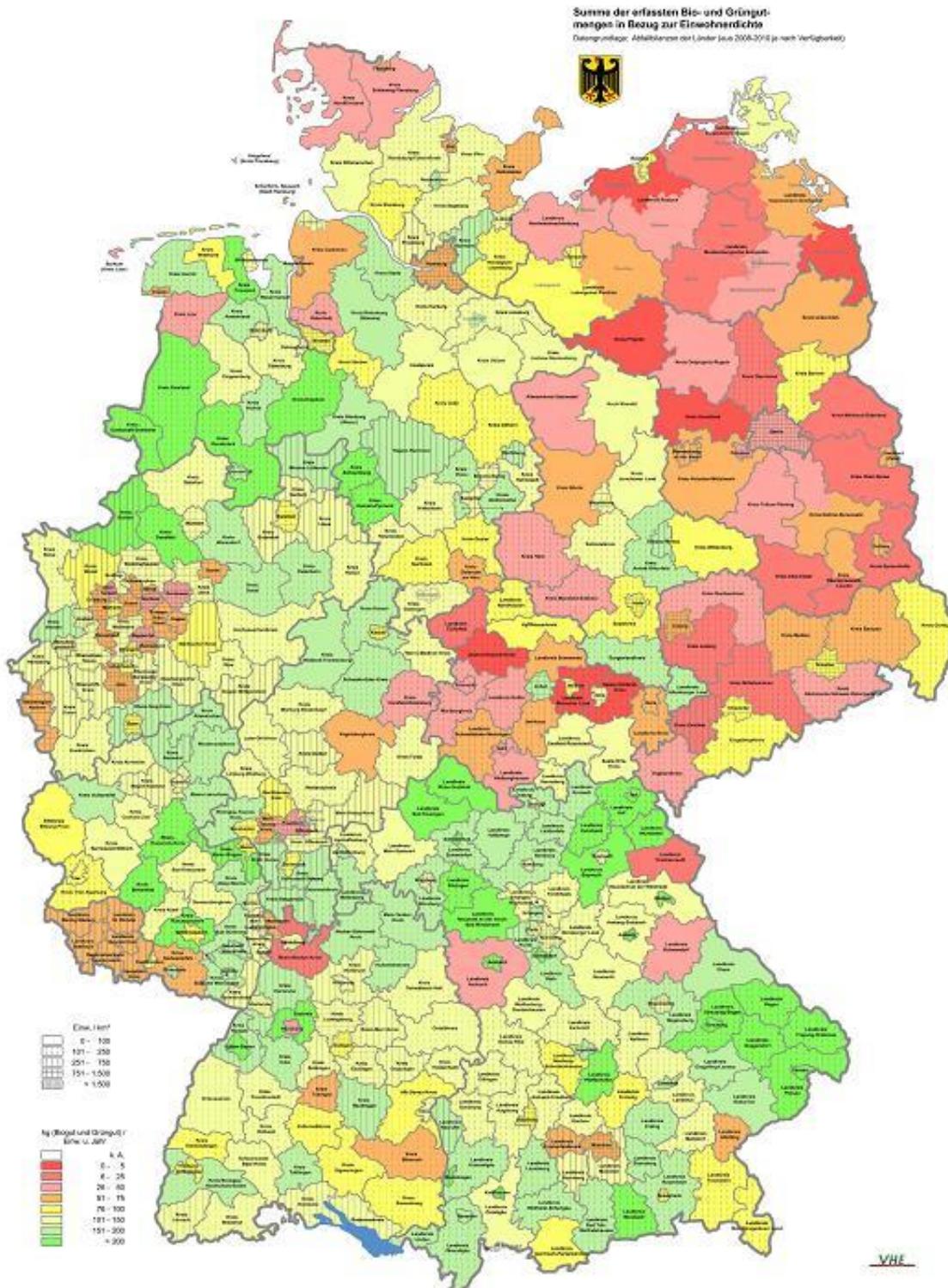


Abb. 4: Erfasste Bio- und Grüngutmengen in Deutschland in den Jahren 2008 – 2010, je nach Verfügbarkeit der Daten der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (ANONYM, 2012 j)

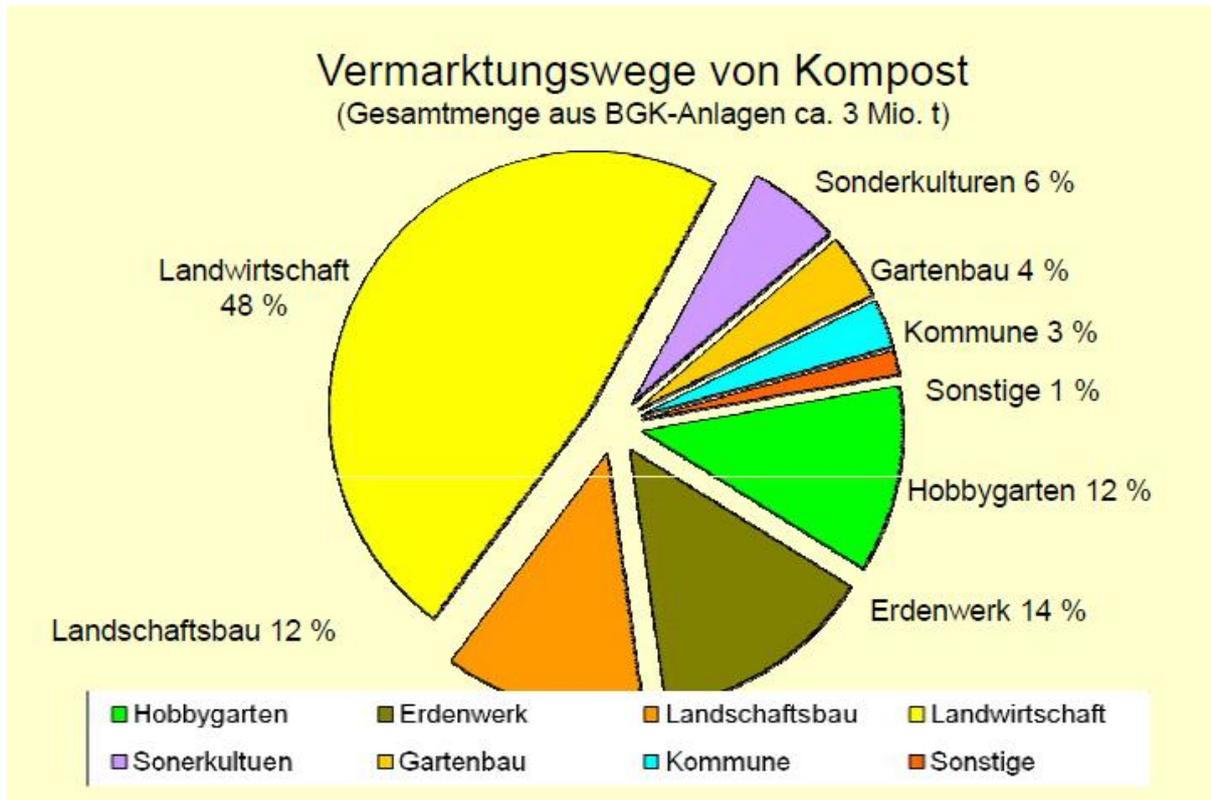


Abb. 5: Vermarktungswege von Kompost (KEHRES, 2010)

### 4.3 Klärschlamm

In Deutschland fallen jährlich etwa 2 Millionen Tonnen Klärschlamm Trockensubstanz aus kommunalen Kläranlagen an (WIECHMANN et al., 2012). Der Anfall an Klärschlamm ist nach SCHMELZ und REIFENSTUHL (2010) in Deutschland stagnierend oder sehr leicht rückläufig, in Europa wird er aufgrund des weiteren Ausbaus der Abwasserreinigung in den neuen EU-Staaten zunehmen. Mehr als die Hälfte der anfallenden Klärschlämme werden nach BUDEWIG (2010) und SCHMELZ und REIFENSTUHL (2010) in Deutschland thermisch behandelt bzw. thermisch verwertet. 29 % der Klärschlämme werden nach Angaben der Autoren in der Landwirtschaft und 16 % bzw. 19 % im Landschaftsbau stofflich verwertet. Der Anteil von thermisch entsorgten Klärschlämmen stieg von 31,5 % im Jahr 2004 auf über 53 % im Jahr 2010 an (WIECHMANN et al., 2012). In der Abb. 6 ist das Aufkommen an kommunalen Klärschlämmen in Deutschland in der Zeit von 1986 bis 2008 nach SCHMELZ und REIFENSTUHL (2010) dargestellt. In der Abb. 7 und Abb. 8 sind die Verwertungswege für Klärschlamm nach BUDEWIG (2010) und SCHMELZ und REIFENSTUHL (2010) dargestellt.

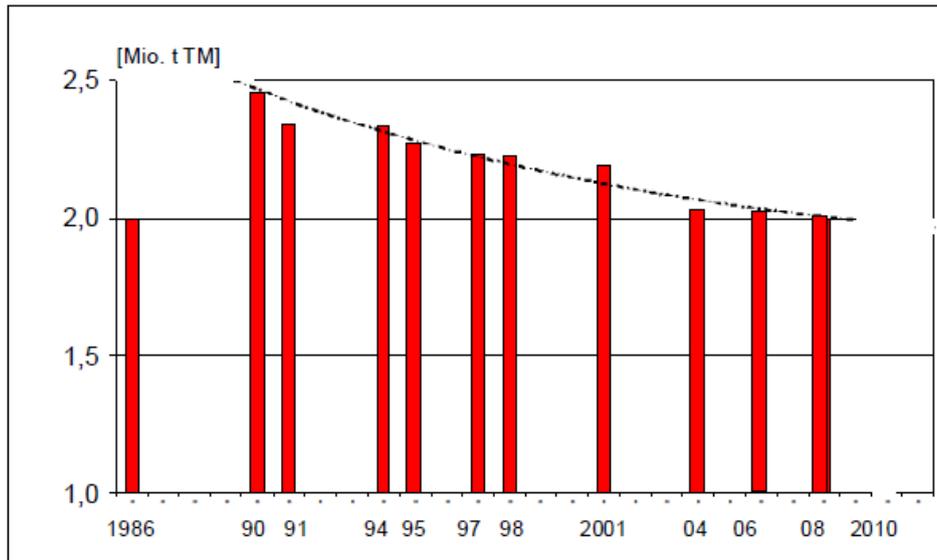


Abb. 6: Aufkommen kommunaler Klärschlämme in Deutschland von 1986 bis 2008 (SCHMELZ und REIFENSTUHL, 2010)

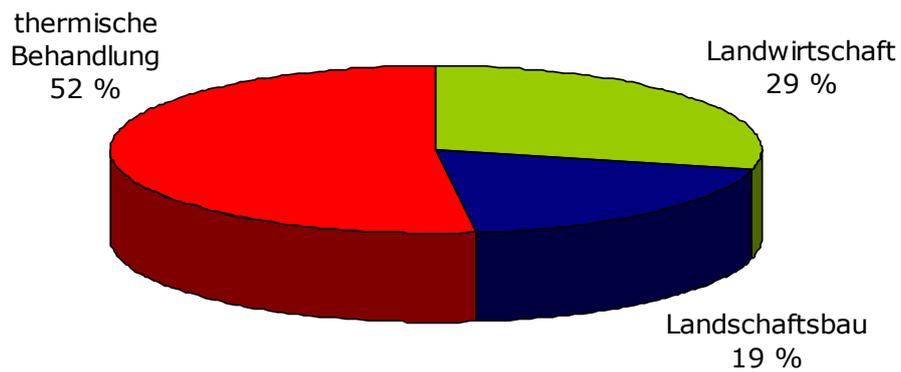


Abb. 7: Verwertungswege für Klärschlamm (2008) (BUDEWIG, 2010)

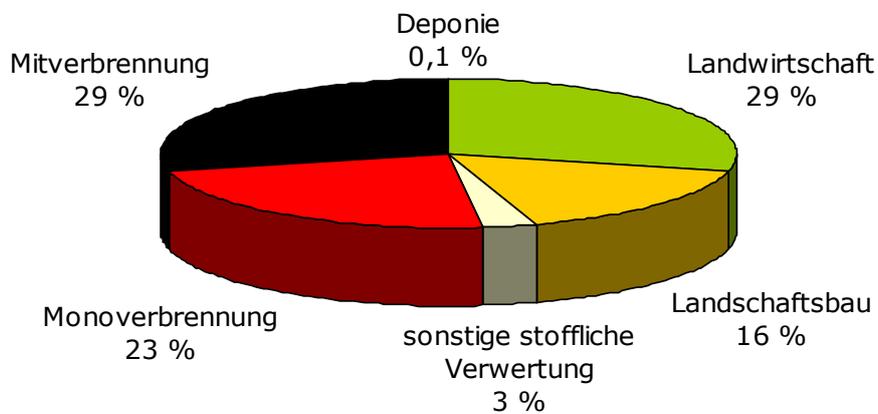


Abb. 8: Verwertungswege für Klärschlamm (2008) (SCHMELZ und REIFENSTUHL, 2010)

#### **4.4 Gärreste**

Im Zuge der anaeroben Vergärung wird der Trockenmassegehalt von Gärrückständen im Vergleich zu den unbehandelten Wirtschaftsdüngern durch den Kohlenstoffabbau um 44 % bis 65 % reduziert (FAULSTICH und PRECHTL, 2005). Die stoffliche Zusammensetzung von Gärprodukten kann in Abhängigkeit von den eingesetzten Substraten, den Prozessbedingungen (Trocken-/Nassfermentation, Verweilzeit, Prozesstemperatur, etc.) sowie den Lagerbedingungen sehr stark schwanken (WRAGGE et al., 2010). Nach ANONYM (2007 b) fallen bei der Vergärung von 1 ha Silomais beachtliche Gärrestmengen mit 35 - 42 m<sup>3</sup> an. Nach REINHOLD (2005) entstehen überschlägig aus 1 t Stallmist 0,9 m<sup>3</sup> Biogasgülle als flüssiger Wirtschaftsdünger mit 15 % TS. Bei Einsatz von Hühnertrockenkot sind es je Tonne rund 0,8 m<sup>3</sup> Biogasgülle mit 25 % TS.

## **5 Hygienische Beschaffenheit von organischen Düngemitteln und ihrer Ausgangsstoffe**

### **5.1 Pflanzliche Ausgangsstoffe**

#### **5.1.1 Pflanzliche Ausgangsstoffe aus der Lebens-, Genuss- und Futtermittelherstellung sowie Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Garten- und Landschaftsbau und verarbeitenden Industrie**

Pflanzliche Ausgangsstoffe aus Landwirtschaft, Gartenbau und industrieller Verarbeitung stellen ein Reservoir für pflanzliche Schadorganismen dar. Bei der Verarbeitung von pflanzlichen Produkten in den oben genannten Bereichen fallen in der Regel größere Abfallmengen einer Pflanzenart an, die mit wirtsspezifischen und wirtsunspezifischen Schadorganismen befallen sein können. Der Anbau der zur Verarbeitung bestimmten Pflanzen kann regional, überregional aber auch sehr weit entfernt z. B. außerhalb Europas erfolgt sein. Durch den zunehmenden überregionalen und internationalen Handel mit nachwachsenden Rohstoffen, Agrarrohstoffen und -produkten wie Getreide, Obst, Gemüse, Kartoffeln und Zierpflanzen sind Einschleppungen neuer Schadorganismen nicht auszuschließen. In einigen Fällen können sich die so eingeschleppten Schadorganismen ausbreiten und hohe wirtschaftliche Schäden verursachen. Als Beispiel sei hier die Schleimkrankheit der Kartoffel (*Ralstonia solanacearum*) genannt, die vermutlich mit Frühkartoffeln aus Ägypten nach Deutschland eingeschleppt wurde.

Am Beispiel der Kartoffelverarbeitung sollen die verschiedenen phytosanitären Aspekte der Reststoff- bzw. Abfallverwertung vorgestellt werden, da sich hieraus auch allgemeingültige Prinzipien für andere Abfallarten ableiten lassen.

### Abfälle aus der Kartoffelverarbeitung

Im Jahr 2010/2011 wurden von ca. 12 Mio. Tonnen geernteter Kartoffeln (STATISTISCHES JAHRBUCH, 2011) ein Viertel zu Veredelungsprodukten wie Chips, Pommes frites und Kloßmehl verarbeitet (LEL, 2011). Aus 3 Mio. t Kartoffeln wurden 2008/09 in Deutschland Stärke und Alkohol produziert (Statistisches Jahrbuch, 2011). Bei diesen verschiedenen Verarbeitungsformen fallen verschiedene Abfälle an, die sich grundsätzlich für eine Verwertung auf landwirtschaftlichen Flächen eignen. Nach Analyse von STEINMÖLLER (2004) besteht das Risiko der Kontamination dieser Abfälle mit Quarantäneschadorganismen der Kartoffel (*Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus*, *Ralstonia solanacearum*, *Synchytrium endobioticum*, *Globodera pallida* und *G. rostochiensis*). Das Risiko einer Verbreitung dieser Organismen mit dem Abfall ist stark abhängig von der Konzentration des Erregers, den angewendeten Verarbeitungsverfahrensschritten (Dampfschäler, Destillation etc.), der Art der Abfälle sowie deren Verwertung (Tab. 7).

Die Analyse der Abfallströme, Behandlungsarten und Verwertungsarten bei der Kartoffel machen deutlich, dass eine generelle Aussage über Phytohygienierisiken von pflanzlichen Stoffen nicht möglich ist, da viele Faktoren einschließlich der Betriebshygiene und der Verarbeitungsstufe zu berücksichtigen sind. Die Schlussfolgerungen von STEINMÖLLER (2003) wonach ein hohes Risiko besteht, wenn der Verarbeitungsprozess keine hygienisierende Wirkung hat und eine Verwendung von nicht behandelten Abfällen auf Ackerflächen erfolgt, sind grundsätzlich auch auf andere pflanzliche Stoffe übertragbar.

### Abfälle aus der Verarbeitung von Zuckerrüben

In 2010/2011 wurden ca. 24 Mio. t Zuckerrüben an die Zuckerfabriken geliefert (STATISTISCHES JAHRBUCH, 2011), aus denen ca. 4 Mio. t Zucker produziert wurde. D.h. es fielen ca. 20 Mio. t Rückstände an. Bei Verarbeitungsrückständen aus der Zuckerrübenverarbeitung sind Nematoden, die virusbedingte Wurzelbärtigkeit (Rizomania) verursacht durch das *Beet necrotic yellow vein virus* und *Rhizoctonia solani* als risikoreiche Schadorganismen einzustufen, da sie zu erheblichen Schäden führen können. Diese Schadorganismen können in Erdresten oder Pflanzenorganen mit Bodenkontakt (Wurzeln, Rübenkörper) vorkommen. Da das *Rizomania*-Virus den bodenbürtigen pilzlichen Vektor *Polymyxa betae* zur Infektion von Rüben benötigt, wird auch die Notwendigkeit gesehen, *Polymyxa betae* bei der Hygienisierung von Rübenabfällen zu inaktivieren. Unter den Nematoden sind der Rübenzystennematode (*Heterodera schachtii*) und das Rübenkopf- oder Stängelälchen (*Ditylenchus dipsaci*) relevant für den Rübenanbau, aber aufgrund des Fruchtwechsels mit anderen Kulturen müssen auch andere Nematoden, wie z. B. Kartoffelzystennematoden in Resterden in Betracht gezogen werden.

### Abfälle aus der Herstellung von Tabak

In Deutschland werden auf ca. 3.000 ha Tabakanbaufläche ca. 8.200 t Tabak geerntet. Insgesamt lag der Verarbeitungsumfang aber deutlich höher. Die Tabakverarbeitung erbrachte eine Produktion von 28.000 t Feinschnitt und Pfeifentabak (STATISTISCHES JAHRBUCH, 2011). Im Zusammenhang mit der Verwertung von Tabakabfällen als organischer Dünger ist insbesondere das Tabakmosaikvirus (*Tobacco mosaic virus*) als hohes Risiko anzusehen. Nach Untersuchungen von WETTER (1975) konnte das Virus in 37 seinerzeit in Westdeutschland vermarkteten Zigarettenarten nachgewiesen werden.

Tab. 7: Risikoeinschätzung für eine Verbreitung von Quarantäneschadorganismen für die verschiedenen Abfallarten aus der Kartoffelverarbeitung bei direkter landwirtschaftlicher Verwertung (STEINMÖLLER, 2003)

Abfallart	Erhitzung während der Produktion	Verwendung	Risikoeinschätzung 1: voraussichtlich kein Risiko 2: geringes Risiko 3: ggf. hohes Risiko 4: hohes Risiko
<b>Steine</b>	Keine	An Ackerflächen	Bei anhaftender Erde: 4
<b>Kraut und Kartoffelabfälle</b>	Keine	Auf Ackerflächen	4
<b>Erden</b>	Keine	Auf Ackerflächen	4
<b>Pülpe</b> nur bei Stärkeproduktion anfallend	Keine	Verfütterung	Abhängig von der Betriebshygiene: 3 *
<b>Schälabfälle</b> nur bei Kartoffelveredelung anfallend	Dampfschäler	Verfütterung	1
		Auf Ackerflächen	1
<b>Kartoffelstücke</b> nur in der Kartoffelveredelung anfallend	Blancheur / Kocher	Verfütterung	1
		Auf Ackerflächen	1
<b>Schlempe</b> nur in Brennereien anfallend	Gärung / Destillation	Verfütterung	1
<b>Fruchtwasser</b> nur bei Stärkeproduktion anfallend	Proteinfällung	Auf Ackerflächen	1
	Keine	Auf Ackerflächen	4 auch ggf. nach Absetzen in Stapelteichen
<b>Prozesswasser</b>	Keine	Auf Ackerflächen	4 auch ggf. nach Absetzen in Stapelteichen
		Dauergrünland	2
	Blancheur / Kocher	Auf Ackerflächen	1
		Dauergrünland	1
<b>Transport- und Waschwasser</b>	Keine	Auf Ackerflächen	4 auch ggf. nach Absetzen in Stapelteichen
		Dauergrünland	2

\* Gelangen Reste aus der Verfütterung auf landwirtschaftliche Flächen, ist eine Verbreitung von QSO möglich

### **5.1.2 Filtrationsrückstände aus der Herstellung von Lebens-, Genuss- und Futtermitteln**

Filtrationsrückstände aus der Herstellung von Lebens-, Genuss- und Futtermitteln sind wie andere pflanzliche Abfälle aus diesen Bereichen zu betrachten (s. 5.1.1).

### **5.1.3 Pflanzliche Ausgangsstoffe aus der Herstellung technischer Alkohole**

2011 wurden 1554 Mio. l Bioethanol erzeugt (ANONYM, 2012 m). Durch Erhitzung der Ausgangsstoffe (Getreide, Mais, Zuckerrübe) bzw. der fermentierten Stoffe kann zumindest von einer teilweisen Reduzierung von Schadorganismen ausgegangen werden. Eine nähere Analyse der derzeit angewendeten Verfahrenstechnik wäre für eine Einschätzung des Risikos erforderlich.

### **5.1.4 Pflanzliche Ausgangsstoffe aus der Energiegewinnung**

In derzeit 7.000 landwirtschaftlichen Biogasanlagen werden nachwachsende Rohstoffe zur Vergärung eingesetzt (STATISTISCHES JAHRBUCH, 2011). In der Regel werden sie zusammen mit tierischen Exkrementen vergoren. Nach Schätzung von WEILAND (2010) fallen dabei jährlich ca. 45 Mio. t Gärreste aus Anlagen zur Vergärung nachwachsender Rohstoffe an.

Als nachwachsende Rohstoffe werden aufgrund der biotechnischen Voraussetzungen und der rechtlichen Vorgaben derzeit nur wenige Pflanzenarten genutzt. Derzeit überwiegt Mais- und Grassilage bei der Vergärung. Weitere Energiepflanzen sind z. B. Getreide, Rüben, Hirse, Sonnenblumen. Unter den als widerstandsfähig angesehenen Schadorganismen dieser Pflanzenarten finden sich einige pflanzenartsspezifische Schadorganismen (z. B. *Claviceps purpurea* und *Tilletia*-Arten an Getreide), aber auch solche, die sowohl an Mais als auch an Getreide und anderen bedeutenden landwirtschaftlichen Kulturpflanzen schädigen können wie z. B. *Fusarium*- und *Verticillium*-Arten sowie *Rhizoctonia solani*.

### **5.1.5 Pflanzliche Ausgangsstoffe aus der Verarbeitung von Heil- und Gewürzpflanzen**

In Deutschland werden verschiedenste Heil- und Gewürzpflanzen angebaut, die von einer großen Anzahl von Schadorganismen befallen werden können (MEYER, et al. 2010). Die Verarbeitungsverfahren sind vielfältig und reichen von einem einfachen Trockenprozess, der in vielen Fällen die Vitalität von Schadorganismen nicht beeinträchtigt bis hin zu komplexen Verfahren mit Hygienisierungswirkung.

---

### **5.1.6 Küchen- und Kantinenabfälle (einschließlich organischer Abfall pflanzlicher Herkunft aus getrennter Sammlung)**

In Bioabfällen aus der getrennten Sammlung (Biotonne) sowie in pflanzlichen Küchen-, Kantinen und Marktabfällen kommt entsprechend der Vielfalt an pflanzlichen Ausgangsstoffen eine große Vielzahl an Schadorganismen sehr unterschiedlicher geographischer Herkunft vor. Es können dieselben Schadorganismen vermutet werden, wie in Ausgangsstoffen aus der Lebens- und Genussmittelverarbeitung einschließlich derer, die im Wege des globalen Handels aus aller Welt eingeführt werden. Das in Deutschland relativ neue allergieauslösende Unkraut *Ambrosia artemisiifolia* kommt z. B. in Vogelfuttermischungen vor, deren Reste auch über die getrennte Sammlung erfasst werden. Weitere Ausführungen zur Phytohygiene werden in Pkt. 5.2.12 dargestellt.

### **5.1.7 Reet**

Das Schilfgras (*Phragmites*-Arten) wird zur Dachbedeckung, als Dämmmaterial und für Sichtschutzwände verarbeitet. Ob und welche Schadorganismen an diesen Pflanzen vorkommen ist wissenschaftlich nicht dokumentiert.

### **5.1.8 Huminsäuren**

Huminsäuren kommen natürlich in Humusböden, Torf und Braunkohle vor. Sie dienen der Bodenverbesserung und werden als arzneilicher Wirkstoff in der Veterinär- und Humanmedizin eingesetzt. In Humusböden können bei landwirtschaftlicher Bewirtschaftung bodenbürtige Schadorganismen von Pflanzen vorkommen (s. Torf). Ob ein Risiko für die Pflanzengesundheit besteht richtet sich nach dem Verarbeitungsverfahren für Huminsäuren.

### **5.1.9 Algen**

Aufgrund der Lebensweise von Algen in aquatischen Systemen ist es unwahrscheinlich, dass sie als Überträger von Schadorganismen von Landpflanzen dienen können.

### **5.1.10 Sphagnum**

Torfmoos (*Sphagnum*-Arten) besitzt ähnliche physikalische und chemische Eigenschaften wie Weißtorf und ist daher als Kultursubstrat für den Gartenbau geeignet. Es wird in Substraten oder für verschiedene Anwendungen zur Wasserspeicherung eingesetzt. Der gezielte Anbau von Torfmoos (*Sphagnum*-Farming) wird derzeit wissenschaftlich untersucht (FNR, 2011). LEHTONEN et al. (2012) berichten, dass bestimmte

Pflanzenpathogene sowohl Moose als auch höhere Gefäßpflanzen befallen. Es liegen bisher nur wenige Publikationen über gemeinsame Pathogene von Moosen und höheren Pflanzen vor, aber die Berichte deuten daraufhin, dass ein Risiko bestehen könnte.

#### **5.1.11 Pflanzliches Filtermaterial aus der biologischen Abluftreinigung**

Die biologische Abluftreinigung dient der Beseitigung geruchsintensiver und organischer Komponenten aus der Abluft technischer Prozesse. Als Filter dient eine biologisch aktive Trägerschicht mit Materialien wie Rindenumus, Grünkompost, Wurzelholz, Torf-Heidekraut-Gemisch, gegebenenfalls auch mit inerten Beimengungen (LUA, 2005). Sofern keine hygienisierend wirkende Behandlung vorgenommen wurde, kann ein seuchen- und phytohygienisches Risiko angenommen werden.

#### **5.1.12 Rizinusschrot**

Für die Herstellung von Rizinusschrot werden die Samen (Bohnen) von *Rizinus communis* verwendet. Mögliche phytohygienische Risiken können aus Verunreinigungen mit Unkrautsamen oder aufgrund von Infektion der Bohnen mit samenbürtigen Pathogenen resultieren. RICHARDSON (1990) listet neun samenbürtige Pathogene, die in Veröffentlichungen aus Polen, USA und Indien beschrieben wurden.

#### **5.1.13 Pflanzliches Abfisch- und Rechengut**

Es erscheint sehr unwahrscheinlich, dass pflanzliches Abfisch- und Rechengut aus der Teichwirtschaft ein phytohygienisches Risiko birgt, da die relevanten Stoffe nach vorläufiger Einschätzung nicht durch Schadorganismen von Kulturpflanzen befallen werden. Allerdings besteht ein gewisses seuchenhygienisches Risiko durch Fischpathogene.

#### **5.1.14 Fermentationsrückstände pflanzlicher Herkunft aus der Enzym-, Vitamin- und Arzneimittelproduktion**

Eine Aussage über die Kontamination mit phytopathogenen Schadorganismen ist nur möglich, wenn die Ausgangsstoffe und die durchgeführten Behandlungsprozesse bekannt sind.

### **5.1.15 Pflanzliches Eiweißhydrolysat und pflanzliche Aminosäuren**

Für eine verlässliche Aussage zum phytosanitären Risiko müssten Verarbeitungsprozesse und die Ausgangsstoffe bekannt sein. Das Vorkommen von Schadorganismen von Pflanzen in extrahierten Stoffen erscheint eher unwahrscheinlich, wenn komplexe physikalisch-chemische Verfahren angewandt werden.

## **5.2 Organische und mineralische Bodenmaterialien**

### **5.2.1 Torf**

Torf wird in Hochmooren abgebaut, deren Bildung in Norddeutschland nach der letzten Eiszeit vor ca. 12000 Jahren begann. Es wird zwischen dem Weißtorf, der aus den oberflächlich liegenden Schichten besteht, und dem in tieferen Schichten liegenden Schwarztorf unterschieden. Torf besteht aus zersetzten Pflanzenteilen, wobei Sphagnum-Arten (Torfmoose) überwiegen neben kleineren Anteilen an Heidekrautgewächsen und Wollgras. Mischungen aus Weiß- und Schwarztorf sind die Basis von Torfprodukten und Kultursubstraten.

Aufgrund seiner Entstehung und des geringen Nährstoffgehaltes ist das Vorkommen von pflanzenpathogenen Schaderregern in Hochmoortorf eher unwahrscheinlich. Nach Angaben von CARLILE und SCHMILEWSKI (2010) ist Torf frei von wirbellosen Quarantäneschadorganismen, kann aber oft saprophytische Nematoden enthalten. Saprophytische Nematoden wie *Ditylenchus myceliophagus* und *Aphelenchoides saprophilus* können an Champignonkulturen Schäden verursachen. Daher wird die Nutzung entsprechender Partien für Kultursubstrate von Speisepilzen nicht empfohlen. Nähere Untersuchungen von GÜNTHER (1975) zum Auftreten von Nematoden in Moor und Torf zeigten, dass in den obersten 40 cm die meisten, mit zunehmender Tiefe aber weniger saprophytische Nematoden gefunden werden. In 80 cm Tiefe waren praktisch keine Nematoden mehr festzustellen. Die isolierten Nematoden waren ohne Mundstachel und wurden deshalb nicht als Schadorganismen an Kulturpflanzen eingestuft.

Dennoch kann Torf unter bestimmten Umständen mit Schadorganismen von Pflanzen kontaminiert sein. MATTUSCH et al., 1988 stellten in 3% von 1007 untersuchten Rohtorfproben *Plasmodiophora brassicae* fest und schlossen auf eine Verseuchung der Torfgewinnungsstätten durch landwirtschaftliche (Vor-)Nutzung, Beweidung und Windverfrachtung oder auch Kontamination während der Gewinnung, Verarbeitung und Verwendung des Torfes.

Torfe werden in der Regel keiner hygienisierenden Behandlung (Dämpfung/Erhitzung) unterzogen, da es nach dem Dämpfen zu einer unerwünschten Besiedelung mit saprophytischen Dämpfpilzen kommen kann und bodenbürtige Schadorganismen sich in sterilem Torf stark vermehren können. Bei der Torfgewinnung und -verarbeitung muss

---

daher der Hygiene und insbesondere der landwirtschaftlichen Vornutzung von Torfabbaustätten besondere Beachtung geschenkt werden.

### **5.2.2 Kultursubstrat**

Nach ANONYM (2000 c) kann zwischen Praxiserden, Standardsubstraten und Spezialsubstraten unterschieden werden. Praxiserden enthalten wenig definierte Ausgangsstoffe wie Komposterde, Lauberde, Rasenerde, Walderde, Lehm, Sand und Moorerde. Üblicherweise gehandelt werden industriell hergestellte Standard- und Spezialsubstrate. Während die Standardsubstrate aus gedüngtem Schwarz- und Weißtorf bestehen, enthalten Spezialsubstrate für bestimmte Kulturen oder Kulturverfahren mineralische oder organische Zuschlagstoffe oder sind gänzlich torffrei (Rindenhumus, Substratkompost, Holzfaser, Perlite, Steinwolle, Blähton, Lava, Kokosfaser, Kunststoffschäum, Reisspelzen, Ton etc.). Hinsichtlich des Hygienestatus muss bei Praxiserden ohne Hygienisierung je nach Herkunft mit mehr oder weniger intensivem Besatz mit bodenbürtigen Schadorganismen und Nematoden gerechnet werden. Für die Bewertung des Torfanteils bei Standard- und Spezialsubstraten siehe die Ausführungen zu Torf. Neue, vorher unbenutzte inerte Stoffe wie Perlite, Steinwolle, Blähton, Lava und Kunststoffschäum sollten kein Risiko darstellen, während die organischen Zuschlagstoffe je nach Herkunft und Vorbehandlung mit Schadorganismen kontaminiert sein können.

### **5.2.3 Moorschlamm**

Moorschlamm dient kosmetisch-medizinischen Zwecken und ist hinsichtlich der Phytohygiene wie Torf einzustufen (s. o.).

### **5.2.4 Heilerde**

Heilerde besteht aus Tonmineralen und Löß (LUVOS, 2012). Sie wird als medizinisches Produkt für die innerliche- und äußerliche Anwendung angeboten. Ein Vorkommen von bodenbürtigen Schaderregern und Nematoden im Ausgangsmaterial muss in Betracht gezogen werden. Für eine nähere Beurteilung des phytohygienischen Risikos müssten Informationen über die Abbaustätten und die Aufbereitung der Produkte bewertet werden.

---

### **5.2.5 Pilzkultursubstrate**

Speisepilze und übliche Kulturpflanzen haben keine gemeinsamen pathogenen Erreger. Lediglich tierische Schadorganismen können sowohl Pilze als auch andere Pflanzen schädigen. Das phytohygienische Risiko von abgetragenen Substraten aus der Speisepilzproduktion wird als gering eingestuft, da die Substrate aus kulturtechnischen Gründen vor der Beimpfung mit Pilzbrut fermentiert und hygienisiert werden müssen (LWK Hannover, 2004) und auch nach der Kultur eine Hygienisierung durch die Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) vorgeschrieben ist.

### **5.2.6 Erde aus der Reinigung von landwirtschaftlichen Erzeugnissen**

Anhaftende Erde am Erntegut stellt ein großes phytosanitäres Risiko dar, da die Wahrscheinlichkeit sehr hoch ist, dass insbesondere bodenbürtige Pathogene und Nematoden darin vorkommen. STEINMÖLLER et al. (2004) berichteten über eine Flächenverseuchung mit Kartoffelkrebs durch Erdreste aus der Kartoffelverarbeitung, die zum Verfüllen einer Bodensenke verwendet worden war. Da Erdreste häufig auch mit pflanzlichen Bestandteilen durchsetzt sind, kann im Grundsatz das gesamte Schaderregerspektrum unterstellt werden, dass auch in pflanzlichen Ausgangsstoffen aus der Lebens-, Genuss- und Futtermittelherstellung sowie Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Garten- und Landschaftsbau und der verarbeitenden Industrie vorkommt.

Ausgehend von der harmonisierten EU-Richtlinie zur Bekämpfung der Kartoffelzysten-nematoden (RL 93/85/EWG) fordert die deutsch Verordnung zur Bekämpfung des Kartoffelkrebses und der Kartoffelzystennematoden (ANONYM, 2010 f) für Resterden aus der Kartoffelverarbeitung die Anwendung von anerkannten Beseitigungs- oder Behandlungsverfahren, um insbesondere die Verbreitung von Kartoffelzystennematoden mit Resterden zu vermeiden.

### **5.2.7 Bodenmaterial, Sand und Ton**

Für Bodenmaterialien, Sand und Ton muss ein Vorkommen von bodenbürtigen Schaderregern und Nematoden im Ausgangsmaterial in Betracht gezogen werden. Für eine nähere Beurteilung des phytohygienischen Risikos müssten Informationen über die Abbaustätten, ihre Vornutzung und die Aufbereitung der Produkte bewertet werden.

## 5.2.8 Tierische Nebenprodukte

### 5.2.8.1 Gülle, Festmist, Jauche

Wenn man das Problem der Übertragung von pathogenen Erregern durch Mist betrachtet, ist es wichtig zu verstehen, dass Mist aus tierischen Ausscheidungen (Kot und Urin), aus Einstreu und Wasser sowie Sekreten aus Nase, Rachen, Blut, Vagina, Milchdrüsen, Haut und Plazenta besteht (PELL, 1997). Viele Infektionen bzw. Infektionskrankheiten bei landwirtschaftlichen Nutztieren verlaufen mit Beteiligung des Verdauungs- und/oder Urogenital- und Respirationstraktes. Die Erreger dieser Krankheiten werden von den erkrankten Tieren entweder direkt ausgeschieden oder gelangen indirekt in die Umwelt. Krankheitserreger werden jedoch nicht nur von erkrankten Tieren verbreitet, sondern auch von gesund erscheinenden, die die Erreger nur vorübergehend ausscheiden, ohne zu erkranken (z. B. bei Befall mit Salmonellen). Bei Stallhaltung enden die pathogenen Agentien in aller Regel auf dem Stallboden, auch wenn sie nicht über den Verdauungs- und Urogenitaltrakt emittiert werden. Dort mischen sie sich mit Stallmist, Jauche und Gülle und gelangen bei deren Entfernung aus dem Stall ebenfalls in die Lagerstätten für Fest- und Flüssigmist. Wenn infizierte Wirtschaftsdünger landwirtschaftlich verwertet werden, besteht somit die Gefahr einer z. T. weiträumigen Verschleppung von Seuchenerregern oder von Erregern von übertragbaren Faktorenkrankheiten. Ganz allgemein kann davon ausgegangen werden, dass die Erreger aller bakteriellen Infektionen in Wirtschaftsdüngern (Exkrementen und Mist) vorhanden sein können. Eine andere Frage ist es, ob sie darin nachzuweisen sind und wie lange sie außerhalb des Tierkörpers in diesem Substrat überlebensfähig sind (STRAUCH, 1996 b). Von besonderem Interesse für die Gesundheit von Mensch und Tier sind nach STRAUCH (1991); STRAUCH (1996 b); CARROLL und JASPER (1978) sowie KRÜGER (2010 a) die folgenden Bakterien, wenn sie in tierischen Exkrementen und Mist vorkommen:

- *Salmonella* spp.
- *Escherichia coli*
- *Brucella* spp.
- *Erysipelothrix rhusiopathiae*
- *Mycobacterium* spp.
- *Bacillus anthracis*
- Yersinien
- Listerien
- Klebsiellen
- Campylobacter
- *Leptospira* spp.
- *Terponema hyodysenteriae*
- *Chlamydia* spp.
- *Rickettsia* spp.
- *Clostridium perfringens*

Der physiologische *Clostridium perfringens*-Keimgehalt pro g Kot liegt bei erwachsenen Rindern bei  $\leq 10^3$ , bei Kälbern können diese Werte höher ( $10^5 - 10^6/g$ ) liegen. Darüber liegende Keimzahlen entsprechen nicht dem physiologischen Wert (KRÜGER, 2010 a). Vancomycin-resistente Enterokokken werden von HARWOOD et al. (2001) nur aus Geflügelkot isoliert. In Schweine- oder Rinderkot sind sie nicht nachzuweisen.

Auch sämtliche Viren, die aus infizierten Tierkörpern in die Umwelt gelangen, können in Wirtschaftsdüngern vorhanden sein. Enterovirus, Reovirus, Rotavirus, BVD-Virus, Coronavirus, Rinderpestvirus, Parvovirus und Adenovirus sowie der Erreger der Transmissiblen Gastroenteritis kommen nach STRAUCH (1996 b) hauptsächlich in Fäzes vor. Der Erreger der Aujeszky'schen Krankheit, der Maul- und Klauenseuche, der Vesikulären Schweinekrankheit, der Schweinepest und der Afrikanischen Schweinepest und das Coxsackievirus kommen in großen Mengen in Fäzes vor, werden aber in maximalen Mengen in Sekreten und Exkreten ausgeschieden. Der Erreger des Vesikulärexanthem des Schweins und des Rift-Valley-Fiebers können nach STRAUCH (1996 b) möglicherweise auch in Fäzes vorkommen.

Über Konzentrationen von Viren in Fäzes gibt es wenige Informationen. Bei Maul- und Klauenseuche betragen die maximalen Virustiter in Fäzes von Rindern 5,5 in  $\log_{10}ID_{50}/g$ , von Schafen 2,7  $\log_{10}ID_{50}/g$  und von Schweinen 2,9  $\log_{10}ID_{50}/g$ .

Alle im Kot von Nutztieren ausgeschiedenen Parasitenstadien kommen nach BAUER (2006) in Hofdünger (vgl. Pkt. 3.7) vor, z. B. Oozysten von *Eimeria* und *Cryptosporidium* sowie Eier von Helminthen (*Fasciola*, *Ascaris*, Trichostrongyliden u. a.). In Gülle und Dung können auch die Parasitenstadien von Haustieren (Hund, Katze) und die vom Menschen vorhanden sein. Nach SONGER et al. (1978) (zit. nach MITSCHERLICH und MARTH, 1984) können aus Gülle auch pathogene Stämme von *Treponema hyodysenteriae* isoliert werden. Wirtschaftsdünger hat nach HIEPE und BUCHWALDER (1991) in Rinderstallungen als Vektor für *Eimeria*-Arten, *Cryptosporidium parvum*, *Sarcocystis*-Spezies, *Taenia saginata* und *Fasciola hepatica* eine Bedeutung und in Schweinestallungen muss Wirtschaftsdünger als Reservoir für Infektionen mit *Toxoplasma gondii*, *Sarcocystis*-Arten und *Ascaris suum* eingeschätzt werden. Die Dissemination der Stadien durch die mit Endoparasiten befallenen Wirte erfolgt vorrangig über die Fäzes. Demzufolge ist davon auszugehen, dass jede Form des bei der Haltung landwirtschaftlichen Nutztiere anfallenden Wirtschaftsdünger, d. h. Kot, Kot-Harn-Gemisch, Mist, Gülle mit exogenen Stadien von Endoparasiten kontaminiert sein kann. Exogene Stadien von Endoparasiten treten hauptsächlich in Form von Reproduktionsprodukten auf, bei Protozoen als Oozysten und Sporozysten, bei Helminthen als Eier in unterschiedlichem Entwicklungszustand und Larven des 1., 2. und 3. Stadiums (La I, II, III). Protozoen können darüber hinaus Dauerstadien in Form von Zysten bilden. Die Herdengröße hat nach Untersuchungen von PELL (1997) einen Einfluss auf das Vorkommen von *Cryptosporidium parvum* bei Kälbern. Bei Herdengrößen mit >100 Kühen sind Kälber häufiger betroffen als in kleineren Milchviehherden.

Tierkot und Mist bieten nach BAUER (2006), besonders bei unsachgemäßer Lagerung und Aufbereitung, günstige Entwicklungsbedingungen für Stallfliegen, vor allem für *Musca domestica* (bevorzugt in Schweine- und Pferdemist) und *Fannia canicularis* (vor allem in

Geflügelkot), die dann als Vektor für die Verbreitung von Pathogenen in der Umwelt fungieren.

Mikroorganismen aus den tierischen Ausscheidungen können sich nach PELL (1997) möglicherweise auf dem Stallboden anreichern und in Mist sehr lange überleben, wie Untersuchungen von PLYM-FORSHELL und EKESBO (1993) zeigen, dadurch können möglicherweise diese Pathogenen andere Tiere oder Menschen infizieren, wenn der Mist nicht adäquat behandelt wird (PELL, 1997). In Rindermist können Salmonellen nach Angaben von PLYM-FORSHELL und EKESBO (1993) bis zu 204 Tage überleben. Förderlich für ein höheres Überleben von Infektionserregern in Mist (Festmist) sind nach PHILIPP et al. (1990) geänderte Fütterungs- und Haltungsbedingungen. Im Einzelnen sind dies Verwendung von weniger Einstreu, größere Kot- und Harnmengen aufgrund von Leistungssteigerungen in der Tierhaltung (z. B. höhere Milchleistung bei Kühen erfordert höhere Grundumsätze) und keine optimalen aeroben Umsetzungsvorgänge im Miststapel durch eine zu geringe Temperaturentwicklung in diesem. Danach werden in unterschiedlichen Tiefen des Miststapels unterschiedlich hohe Mikroorganismenkonzentrationen festgestellt, wie Untersuchungen von CARROLL und JASPER (1978); BERGDORF (1989); SCHWARTZ (1990) und HAUMACHER (1993) zeigen.

Einige widerstandsfähige Schadorganismen von Pflanzen können die Darmpassage von Tieren unbeschadet überstehen und mit den tierischen Ausscheidungen verbreitet werden. GIBBS, 1931 beschreibt, dass Dauersporen von *Plasmodiophora brassicae* (Kohlhernie) nach Zufütterung von befallenen Rüben an Rinder und Schafe, im Kot der Tiere festzustellen waren. MATTUSCH et al. 1988 sahen eine extensive Beweidung als Ursache für die Kontamination von Torfabbaustätten mit *Plasmodiophora brassicae* an.

Mikrosklerotien von *Verticillium dahliae* konnten die Magendarmpassage bei einer Kuh nicht überdauern (FAULKNER, 1965) während *Verticillium albo-atrum* die Passage beim Schaf unbeschadet überstand (HUANG et al. 1986). Die Sklerotienbildner *Sclerotinia sclerotiorum* (BROWN, 1937) und *Sclerotium rolfii* (LEACH und MEAD, 1936) konnten ebenfalls die Darmpassage von Rind und Schaf überleben. Auch Sporen von *Polymyxa betae* und das durch diesen Pilz übertragene *Beet necrotic yellow vein virus* konnten den Verdauungstrakt von Schafen lebensfähig passieren (HEIJBOEK, 1988).

Zu pflanzenpathogenen Nematoden gibt es widersprüchliche Untersuchungen zur Überlebensfähigkeit im Verdauungstrakt verschiedener Tiere. *Globodera rostochiensis* war in Untersuchungen von KEMPER (1958) bzw. INAGAKI und KEGASAWA (1977) nach einer Darmpassage noch vital. Demgegenüber verloren Zysten von *G. rostochiensis* die Infektiosität nach einer Magendarmpassage bei Kühen, Schweinen und Schafen (KUIPER, 1977).

Nach einer Literaturanalyse von ELEMA und SCHEEPENS (1992) konnten 1 bis 20 % der Samen von *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß), *Echinochloa crus-galli* (Hühnerhirse), *Polygonum persicaria* (Ampferblättriger Knöterich), *Setaria viridis* (Grüne

Borstenhirse), und *Amaranthus retroflexus* (Rauhhaariger Amarant) die Passage durch den Verdauungstrakt von Kühen überstehen. Ähnliche Werte wurden für die Passage durch den Verdauungstrakt von Schweinen ermittelt, während in Hühnermist selten vitale Samen gefunden wurden. Informationen über die Überlebensfähigkeit von widerstandsfähigen Schadorganismen nach einer Darmpassage von Tieren sind unter betriebshygienischen Aspekten sehr wichtig, um bei erkanntem Befall ausreichende Vorsorgemaßnahmen ergreifen zu können. Eine Verbreitung der widerstandsfähigen Schadorganismen mit Wirtschaftsdünger muss vermieden werden. Insgesamt wird dem Eintrag von bodenbürtigen phytopathogenen Schadorganismen mit Gülle, Festmist und Jauche nur eine geringe Bedeutung beigemessen, da nur wenige Betriebe frische Pflanzenteile verfüttern.

#### **5.2.8.1.1 Gülle**

In Gülle können nach STRAUCH (1988) je nach Tierart unterschiedliche Krankheitserreger vorkommen. In Rindergülle sind nach Angaben des Autors Salmonellen, Brucellen, Milzbrandbakterien, Leptospiren und Mykobakterien sowie enteropathogene *Escherichia coli* zu finden. In Schweinegülle kommen Salmonellen, Brucellen, Leptospiren, Treponemen, Mykobakterien und Rotlaufbakterien vor. Salmonellen, Pasteurellen, Clostridien, Listerien und Mykobakterien sind nach Angaben des Autors in Hühnergülle zu finden. Die Zahl der in Gülle vorhandenen Krankheitserreger ist nach STRAUCH (1996 b) in der Regel niedrig. In Dänemark betrug die Konzentration von Salmonellen in Gülle von 183 zufällig ausgewählten Milchviehbetrieben weniger als 10/ml Gülle, bei 3 von 8 Herden mit bekannter Salmonelleninfektion lag der Befallsgrad zwischen  $10^2 - 10^4$ /ml Gülle, bei den übrigen zwischen 0,2 - 54 Salmonellen/ml Gülle. In England beträgt nach Angaben des Autors der Durchschnitt bei Herden mit bekannter Salmonellose  $10^2$  Keime/ml. Nach Untersuchungen von PHILIPP et al. (1990) werden in 25 von 827 Gülleproben, die aus mehr als 300 Betrieben stammten, Salmonellen nachgewiesen. Dies entspricht einer Nachweisrate von etwas mehr als 3 %. In Schweinegülle beträgt die Nachweisrate 3,75 %, in Rindergülle 3,31 % und in Mischgülle 2,74 %. Die Autoren geben allerdings nicht an, in welchen Konzentrationen die Salmonellen in Gülle vorkommen. Enterobacteriaceae, Fäkalstreptokokken und coliforme Keime werden in Gülle in Konzentrationen von ca.  $10^5$  KBE/g nachgewiesen. Ein Unterschied zwischen den Tierarten ist dabei nicht festzustellen. Eine gelegentliche Vermehrung von Salmonellen bei der Güllelagerung wurde nach STRAUCH (1996 b) beobachtet. Dies gehört jedoch zu den Ausnahmen. Im Allgemeinen tritt eine Reduzierung der Krankheitserreger während der Lagerung ein. Dies ist dadurch zu erklären, dass Krankheitserreger an das Wachstum im Gewebe des befallenen Wirtsorganismus adaptiert sind, während das Güllemilieu mit

der vergleichsweise niedrigen Temperatur und der Anwesenheit antagonistisch wirkender Mikroorganismen ihrer Vermehrung nicht förderlich ist. Da in Gülle keine nennenswerte Selbsterwärmung durch mikrobielle Prozesse stattfindet, können Mikroorganismen und Parasiten nach ZUCKER et al. (2011) zum Teil lange überleben. Gülle enthält im Vergleich zu Festmist kaum Einstreumaterialien. Dieser Unterschied hat wichtige Folgen für die Behandlungsstrategien, da Gülle schwieriger zu kompostieren ist als Festmist (PELL, 1997). Mit einer Abtötung von Taenien-Eiern in Gülle ist nach ENIGK et al. (1975) bei Temperaturen von 35 – 40 °C, bei denen es zu einer kräftigen Ammoniakentwicklung kommt, erst nach etwa 25 d zu rechnen. Bei Temperaturen über 45 °C sind für die Abtötung von Taenien-Eiern 5 d notwendig. Oozysten von *Eimeria* und Eier von *Fasciola hepatica* werden bei diesen Temperaturen bereits nach 3 d inaktiviert. Eine 100 %ige irreparable Entwicklungshemmung von *Eimeria*-Oozysten in Gülle wird nach Untersuchungen von LÜTTIG (1972) (zit. nach HIEPE und BUCHWALDER, 1991) nur mittels thermischer Desinfektion bei 50 °C und 30 min bzw. bei 60 °C nach 2 min und bei 90 °C nach 1 s erreicht. Für die Verbreitung der Fasziose kann nach HIEPE und BUCHWALDER (1991) die Sinkschicht von Gülle eine Bedeutung haben, v. a. wenn sie auf Flächen in sogenannten Leberegelbiotopen ausgebracht wird. *Fasciola hepatica*-Eier werden in Gülle nach Untersuchungen von LÜTTIG (1972) (zit. nach HIEPE und BUCHWALDER (1991) bei 50 °C nach 4 min bzw. nach 1 s bei 90 °C abgetötet. Parasitäre Dauerstadien können in Gülle, die in Behältern außerhalb von Stallungen gelagert wird, bei Temperaturen im Winter von 3 bis 8 °C etwa 2 – 4 Monate und bei sommerlichen Temperaturen bis zu 19 °C etwa 0,5 – 2,5 Monate überleben (BAUER, 2006). Nach Untersuchungen von PLACHÁ et al. (1997) überlebt *Salmonella* Thyphimurium in der festen Phase von Gülle in einer landwirtschaftlichen Kläranlage bis zu 117 Tage bei 20 - 23 °C. Die infektiöse Halbwertszeit von PRRS-Virus beträgt in Schweinegülle nach Angaben von LINHARES et al. (2012) bei 4 °C 112,6 h, bei 20 °C 14,6 h und bei 80 °C 0,36 min.

Gülle kann bis zu  $10^{10}$  Mikroorganismen/ml enthalten, ob in welchem Maße Krankheitserreger oder Tierseuchenerreger enthalten sind, hängt primär vom Gesundheitszustand der Tiere ab. Befinden sich seuchenkranke oder seuchenverdächtige Tiere in einem Bestand, so gelten nach STRAUCH (1996 b) die Beschränkungen des Tierseuchengesetzes bzw. der einschlägigen Verordnungen auch für die Gülle, deren Ausbringung im unbehandelten Zustand dann nicht gestattet ist. Aufgrund dessen schlägt STRAUCH (1996 b) vor, Gülle ist als Wirtschaftsdünger seuchenhygienisch unbedenklich, wenn sie aus einem Bestand stammt, der keinen tierseuchenrechtlichen Sperrmaßnahmen unterliegt oder wenn sie vor der Ausbringung einem Behandlungsverfahren zur Abtötung oder Reduzierung der Zahl pathogener Erreger unterzogen oder wenn sie mindestens 6 Monate ohne Zufluss gelagert wurde. Gülle wird in diesem Zusammenhang von STRAUCH (1996 b) als Gemisch aus Kot- und

Harnausscheidungen von Rindern, Schweinen oder Geflügel definiert. Als „behandelte“ Gülle gilt, eine solche, die nach einer Behandlung mit einem geeigneten Verfahren nicht mehr als  $10^3$  Enterobacteriaceen pro Milliliter bzw. Gramm und keine Salmonellen in einem Gramm aufweist (STÖCKLEIN, 2005). Nach STRAUCH (1996 b) ist Gülle aus klinisch gesunden Tierbeständen sicherlich seuchenhygienisch unbedenklicher als Klärschlamm oder Bioabfall oder gewerbliche Speiseabfälle.

#### **5.2.8.1.2 Festmist**

Nach Untersuchungen von PHILIPP et al. (1990) werden Salmonellen in Festmist nicht nachgewiesen. Enterobacteriaceae, Fäkalstreptokokken und coliforme Keime werden in Festmist in Konzentrationen von  $>10^6$  KBE/g nachgewiesen. Tierartliche Unterschiede sind vernachlässigbar gering, so die Autoren. Die im Vergleich zu Flüssigmist höheren Keimgehalte führen die Autoren auf die Haltungs- und Fütterungsmethoden und hier v. a. auf die Entmistungstechnik und die daraus resultierende Miststapelung sowie auf die Problematik der Entnahme einer repräsentativen Probe aus einer Düngestätte zurück.

Pferdemist kann nach PRESCOTT (1987) den für Mensch und Tier pathogenen Vertreter der Aktinomyeten *Rhodococcus equi* enthalten. Auf Pferdebetrieben mit jahrelanger Pferdezucht und Fohlenhaltung kann sich nach Angaben des Autors der Erreger gut halten und vermehren. Der Autor empfiehlt das Abtragen von Pferdemist aus der Umwelt von Fohlen. Dies bedeutet auch das Abtragen von Pferdekot von Weiden, um Infektionen vorzubeugen.

Stallmist erhitzt sich selbst, sofern er genügend Einstreu enthält und auf der Düngerstätte richtig gelagert wird. Hierbei entstehen Temperaturen im Bereich von etwa 50 – 70 °C, durch die praktisch alle Krankheitserreger, wie Bakterien, Viren und Parasiten abgetötet werden. Die heute nur noch selten vorkommenden sporenbildenden Milzbranderreger werden dabei nur in ihrer vegetativen Form, aber nicht als Sporen abgetötet. Da es sich bei Milzbrand um eine anzeigepflichtige Tierseuche handelt, werden für die Düngedesinfektion andere Vorschriften angewandt (Tierseuchengesetz). Die Desinfektion erfolgt hier über die sogenannte Düngerpackung. Dabei wird davon ausgegangen, dass eine 3-wöchige Packung des Stallmistes zu einer Desinfektion führt (STRAUCH, 1981).

Eine Sonderform des Stallmistes ist die Tiefstreu in Laufställen. Auch hier wird nach STRAUCH (1981) davon ausgegangen, dass bereits im Stall eine Selbsterhitzung eintritt, die zu einer Desinfektion des Mistes führen kann. Bei der Bang'schen Krankheit wurden allerdings Fälle von Übertragungen auch in Tiefstreulaufställen festgestellt, so dass offenbar der desinfizierende Effekt nicht ganz zuverlässig ist. Deshalb sollte bei Bekanntwerden von Infektionen in Tiefstreuanlagen auch diese Dünger für wenigstens 3 Wochen gepackt werden. Tiefstreu in Geflügelställen hat eine keimmindernde Wirkung.

Besonders auf Salmonellen wird diese Wirkung beobachtet, verursacht durch den niedrigen Feuchtigkeitsgehalt und einen relativ hohen pH-Wert. Eine besondere Art der Desinfektion von Tiefstreu in Geflügelstallungen mit Boden- und Luftheizung besteht darin, dass diese Heizungseinrichtungen zur Desinfektion benutzt werden können. Wird die Einstreu und die Stallluft für 24 h auf 65 – 70 °C aufgeheizt, können Salmonellen und das Newcastle-Disease-Virus zerstört werden und der Stall wird desinfiziert, ohne die Einstreu entfernen zu müssen. Frischkot ohne Einstreu kann ohne Zuschlagstoffe nicht kompostiert werden. Eine Selbsterhitzung kann nur entstehen, wenn Stroh, Torf, Laub, Sägespäne u. a. hinzu gegeben wird (STRAUCH, 1981). Da bei Stallmistgewinnung im Allgemeinen eine Speicherung über mehr als 3 Wochen üblich ist, kann nach STRAUCH (1981) davon ausgegangen werden, dass diese Art von Dung keine besonderen seuchenhygienischen Probleme verursacht. Antibiotika resistente Enterobacteriaceae (Fluoroquinolone, Ciprofloxacin) werden nach Untersuchungen von MORARU et al. (2012) in Mieten gelagertem Hühnermist innerhalb von 63 d vollständig abgetötet. Nach Angaben der Autoren ist die Lagerung von Hühnermist in Mieten eine effektive Methode, um eine Verbreitung von antibiotika-resistenten *Escherichia coli* in der Umwelt zu verhindern.

#### **5.2.8.1.3 Jauche**

Nach Untersuchungen von PHILIPP et al. (1990) werden Salmonellen in Jauche von Rindern und Schweinen in einer von 186 untersuchten Proben nachgewiesen. Dies entspricht einer Nachweisrate von 0,53 %. Enterobacteriaceae, Fäkalstreptokokken und coliforme Keime werden in Jauche in Konzentrationen zwischen  $10^4$  und  $10^5$  KBE/g nachgewiesen. Unterschiede in den Konzentrationen bezüglich der Tierart sind nach Angaben der Autoren nicht festzustellen. Salmonellen überleben in Jauche nicht länger als 5 Tage (PLYM-FORSHELL und EKESBO, 1996).

#### **5.2.9 Gärreste**

In mesophil betriebenen Biogasanlagen muss in den anfallenden Gärrückständen immer noch von einem teilweise erheblichen Hygienierisiko ausgegangen werden. Dies bestätigen Untersuchungen von WEILAND (2002) (zit. nach SCHIRM, 2005) und KNIE et al. (1999 und 2001); HOFERER (2001); MOSS (2001); WINTER (2002); ADE-KAPPELMANN (2008); STÖCKLEIN (2005). Bei mesophil betriebenen Anlagen erfolgt innerhalb der üblichen Reaktorverweilzeiten keine ausreichende Minderung der seuchenhygienisch relevanten Keime, so dass der Hygieniezustand der Gülle kaum verbessert wird. Eine ausreichende Inaktivierung von seuchenhygienisch relevanten Keimen wird allerdings erst bei thermophiler Betriebsweise mit Temperaturen um 55°C

erreicht, sofern eine reale Aufenthaltszeit von mindestens 24 h vorliegt (WEILAND, 2002) (zit. nach SCHIRM, 2005). Bei einer Untersuchung von PHILIPP und BÖHM (2002) in 17 Biogasanlagen, welche überwiegend eine mesophile einstufige Nassvergärung mit Fermentertemperatur zwischen 27 °C und max. 48 °C betreiben, stellte sich heraus, dass über 50 % der überprüften Anlagen in ihren Gärresten die geforderten und diskutierten „Richtwerte“ an *Escherichia coli* und Fäkalstreptokokken ( $<5 \times 10^3$  KBE/g) überschritten hatten und bei einigen Proben noch Salmonellen nachzuweisen waren. Die Autoren stellen in diesem Zusammenhang eine generelle Erhitzung der eingebrachten Substrate, auch der Wirtschaftsdünger, oder eine Nachbehandlung der abfallenden Gärrückstände, bevor sie einer landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt werden, zur Diskussion. Auch in thermophilen Fermentern findet nach HENKELMANN (2011) eine Hygienisierung von Biogasgülle nur begrenzt statt und in den ausgebrachten Gärresten werden hohe Keimbelastungen nachgewiesen. Bei den Untersuchungen von HENKELMANN (2011) zeigte sich, dass hohe Belastungen von Inhaltsstoffen aus der Gülle kurz nach der Aufbringung von Gülle in tieferen Bodenschichten nachzuweisen waren, d. h. es findet eine schnelle Verlagerung statt (es kommt zu einem schnellen vertikalen Transfer). Je nach Herkunft, Zusammensetzung der Ausgangssubstrate und technischen Gegebenheiten einer Biogasanlage bei der Behandlung organischer Substrate sind Gärreste nicht frei von Krankheitserregern (PHILIPP und HÖLZLE, 2012). Die Behandlung von biogenen Abfällen in Anaerobanlagen muss seuchen- und phytopathogene Erreger durch die Prozesseinflüsse eliminieren. Genügend hohe Temperaturen und eine entsprechende Zeitdauer können nach PHILIPP et al. (2003) relevante Erreger inaktivieren. Heutzutage scheinen Erkrankungskomplexe in der Rinderhaltung, die durch Clostridien ausgelöst werden (Botulinumtoxikosen, chronischer Botulismus), nach KRÜGER (2010 a) durch den Einsatz von clostridienhaltigen Düngern, wie Gülle und Gärreste an Bedeutung zu gewinnen.

#### **5.2.10 Magen- und Darminhalte**

Besonders hohe Risiken gehen von Reststoffen tierischer Herkunft aus. Dies gilt speziell für den Magen- und Darminhalt von Schlachttieren, weil sie regelmäßig und unkontrolliert in hoher Zahl Krankheitserreger unterschiedlicher Herkunft enthalten können (BÖHM, 2002 a). In Untersuchungen von Panseninhaltsproben aus dem Schlachthof stellt BÖHM (1999) fest, dass in allen untersuchten Proben Salmonellen nachzuweisen sind, wobei maximal  $2,3 \times 10^6$  KBE/g an Salmonellen festgestellt werden. Die Konzentrationen an *Escherichia coli* und Fäkalstreptokokken liegen im Bereich von  $10^4$  bis  $10^7$  KBE/g. Auch JOCHEMCZYK (1986) berichtet von häufigen Salmonellenbefunden in Panseninhalten von gesund geschlachteten Rindern.

### 5.2.11 Klärschlämme

Klärschlamm kann grundsätzlich jeden Erreger enthalten, der mit dem Kot und Urin ausgeschieden wird, human- und tierpathogene Erreger, Zoonoseerreger sowie multiresistente Bakterien. Die Erreger werden mit dem Abwasser in die Kläranlage eingeleitet und gelangen durch die verschiedenen Reinigungsstufen in den Klärschlamm, soweit sie nach Angaben von BULLING (1988) nicht bereits im Abwasser oder bei der Klärschlammgewinnung absterben.

Nach CARRINGTON (1977) kommen Salmonellen, *Shigella*, *Escherichia coli*, Clostridien und *Mycobacterium tuberculosis* am häufigsten in Klärschlamm vor. Von besonderer epidemiologischer Bedeutung sind nach BÖHM (2006) und BÖHM (2007) Salmonellen, Enteroviren, Caliciviren, Cryptosporidien und parasitäre Dauerstadien wie Spulwurmeier. Ihr Vorkommen hängt vor allem von den epidemiologischen Bedingungen in einer Region ab (STRAUCH, 1991). Zoonotische Erreger finden sich vermehrt im Klärschlamm, wenn Schlachthofabwässer eingeleitet werden (BÖHM, 2006). Nach CHALE-MATSAU (2005) können im Klärschlamm, aber auch Erreger enthalten sein, die normalerweise pflanzenpathogen sind, die jedoch beim Menschen auch Erkrankungen hervorrufen können. Folgende obligat pathogene und fakultativ pathogene Bakterien können im Klärschlamm vorkommen. Die Liste wurde von STRAUCH (1991) erstellt und an dieser Stelle nach Literaturangaben ergänzt (ANONYM, 2006 c; PRAŽMO et al., 2003; CHALE-MATSAU, 2005):

- obligat pathogen:
  - *Salmonella* spp.
  - *Shigella* spp.
  - *Escherichia coli*
  - *Pseudomonas aeruginosa*
  - *Yersinia enterocolitica*
  - *Clostridium perfringens*
  - *Clostridium botulinum*
  - *Bacillus anthracis*
  - *Listeria monocytogenes*
  - *Vibrio cholerae*
  - *Mycobacterium* spp.
  - *Leptospira* spp.
  - *Campylobacter* spp.
  - *Staphylococcus* spp.
  - *Streptococcus* spp.
  - Legionellen
- fakultativ pathogen:
  - *Escherichia coli*
  - *Klebsiella*
  - *Enterobacter*
  - *Serratia*
  - *Citrobacter*
  - *Proteus*
  - *Providencia*
  - multiresistente Bakterien
  - *Helicobacter pylori*
  - *Plesiomonas shigelloides*
  - *Aeromonas* spp.
  - *Chromobacterium violaceum*
  - *Leclercia adecarboxylata*
  - *Rhodococcus australis*
  - *Acinetobacter calcoaceticus*
  - *Oligella urethralis*

Klärschlamm bzw. Abwasser ist regelmäßig mit Salmonellen kontaminiert, wie Untersuchungen von HAIBLE (1989); KARUNIAWATI (2001); HAUMACHER et al. (2005); GUZMÁN et al. (2007) und GMELIN (2009) zeigen. In allen untersuchten Klärschlammproben werden nach HAUMACHER et al. (2005) qualitativ Salmonellen festgestellt. Die ermittelten Konzentrationen sind jedoch gering und bewegen sich zwischen nicht nachweisbar und  $3,0 \times 10^1$  KBE/ml. Nach Untersuchungen von GMELIN (2009) sind in 79,6 % aller Klärschlammproben Salmonellen zu finden. Die ermittelten Konzentrationen sind nach Angaben der Autorin gering mit bis zu max. 40 MPN/ml. Nach HAIBLE (1989) werden in Klärschlamm bis zu  $4,3 \times 10^2$  KBE/g TS an Salmonellen nachgewiesen. Einen etwas höheren Wert gibt LANG (1988 a) mit  $2,5 \times 10^3$  KBE/ml an. Nach PHILIPP und LANG (1988) wird in Klärschlamm eine Vielzahl unterschiedlicher Salmonellen-Serovare nachgewiesen. Die Autoren finden in Klärschlamm bis zu 27 verschiedene Serovare, darunter auch *Salmonella* Typhimurium. Aus Kläranlagenzulaufproben isoliert KARUNIAWATI (2001) mehr als 35 verschiedene Salmonellen-Serovare, die hier nach der Häufigkeit ihres Nachweises aufgeführt sind: *Salmonella* Enteritidis > *Salmonella* Hadar > *Salmonella* Senftenberg > *Salmonella* Typhimurium > *Salmonella* Derby, *Salmonella* Tennessee > *Salmonella* Infantis > *Salmonella* Mbandaka, *Salmonella* Subspezies I > *Salmonella* Livingstone > *Salmonella* Anatum, *Salmonella* Thompson > *Salmonella* Cubana, *Salmonella* der Gruppe C1, *Salmonella* London, *Salmonella* Manhattan, *Salmonella* Oranienburg, *Salmonella* Panama, *Salmonella* Zanzibar > *Salmonella* Agona, *Salmonella* Bovismorbificans, *Salmonella* Braenderup, *Salmonella* Bredeney, *Salmonella* Cerro, *Salmonella* Fresno, *Salmonella* Kentucky, *Salmonella* Montevideo, *Salmonella* München, *Salmonella* Nehanga, *Salmonella* Ohio, *Salmonella* Paratyphi B, *Salmonella* Poona, *Salmonella* Potsdam, *Salmonella* Saintpaul, *Salmonella* Stanleyville, *Salmonella* Stantey, *Salmonella* Subspezies II, *Salmonella* Virchow. Die Konzentrationen an Enterobacteriaceae in Klärschlamm liegen nach HAIBLE (1989) und LANG (1988 a) im Bereich zwischen  $>10^5$  KBE/ml und  $>10^9$  KBE/g TS. Die Gehalte an Fäkalstreptokokken betragen nach HAIBLE (1989)  $>10^7$  KBE/g TS und nach HAUMACHER et al. (2005) durchschnittlich  $10^4$  KBE/ml. Fäkalcoliforme werden in Klärschlamm nach Untersuchungen von HAUMACHER et al. (2005) in Konzentrationen zwischen  $10^3$  und  $10^5$  KBE/ml festgestellt. Dagegen weist CHALEMATSOU (2005)  $8,9 \times 10^7$  KBE/g an Fäkalcoliformen nach. Die Zahl der Coliformen beträgt nach LANG (1988 a) in Klärschlamm bis zu  $10^7$  KBE/ml. Die Gehalte an thermophilen Actinomyceten in Klärschlamm liegen nach HAUMACHER et al. (2005) in einem Bereich zwischen  $10^1$  und  $10^4$  KBE/ml. *Campylobacter jejuni* und *Campylobacter coli* werden nach Untersuchungen von STAMPI et al. (1999) durchschnittlich in Klärschlamm in Konzentrationen von 278 MPN/g TS bzw. 1.403 MPN/g TS nachgewiesen. Im Gegensatz zu weniger entwickelten Regionen ist in Mitteleuropa wegen der geringen Prävalenz von Endoparasitosen in der Bevölkerung zwar mit einer entsprechend

niedrigeren Belastung des Abwassers mit Dauerstadien humanpathogener Parasiten (z. B. *Ascaris*, *Trichuris*, *Enterobius*) zu rechnen. Zu berücksichtigen sind aber auch Dauerstadien von Tierparasiten, die aus landwirtschaftlichen Betrieben, Zoos und anderen Tierhaltungen, von Schlachthöfen oder aus Haushaltungen in das Rohwasser gelangen können und zum Teil auch für Menschen infektiös sind. Außerdem führen Mischkanalsysteme der Abwasserreinigungsanlage bei Regenfällen auch Schmutzwasser von Straßen zu, das Kot von Hunden und somit auch Parasitenstadien dieser Tierart enthält (z. B. *Toxocara*-Eier). In Rohschlamm von Kläranlagen kommt es zu einer Anreicherung von Parasitenstadien (BAUER, 2006). Da Parasitenstadien häufig schon in kleinen Dosen infektiös sein können und oft eine hohe Widerstandsfähigkeit besitzen, müssen sie bei der Hygienisierung berücksichtigt werden. STRAUCH (1991) hat eine Auswahl an Parasiten genannt, die in Form von Dauerstadien im Klärschlamm vorkommen können. Dies sind u. a. folgende Protozoen, Zestoden und Nematoden:

- Protozoen:
  - *Cryptosporidium parvum*
  - *Entamoeba histolytica*
  - *Giardia lamblia*
  - *Toxoplasma gondii*
  - *Sarcocystis* spp.
- Zestoden:
  - *Taenia saginata*
  - *Taenia solium*
  - *Diphyllobothrium latum*
  - *Echinococcus granulosus*
- Nematoden:
  - *Ascaris lumbricoides*
  - *Ancylostoma duodenale*
  - *Toxocara canis*
  - *Toxocara cati*
  - *Trichuris trichiura*.

Außerdem können in Klärschlamm nach (ANONYM, 2006 c) und HOPPENHEIDT et al. (2008) noch *Cyclospora cayetanensis* und *Ancylostoma duodenale* / *Necator americanus* und *Balantidium coli*, *Ascaris suum* und *Hymenolepis nana*, *Schistosoma* spp. nachgewiesen werden.

In Klärschlamm werden nach Untersuchungen von CHALE-MATSAU (2005) 2 *Ascaris*-Eier/g nachgewiesen. In allen untersuchten Rohschlammproben werden nach GUZMÁN et al. (2007) *Cryptosporidien* in Konzentrationen bis zu  $6,4 \times 10^2/10$  g TS nachgewiesen und in kompostiertem Klärschlamm sind es nach Angaben der Autoren noch maximal  $4,3 \times 10^0/10$  g TS.

In Abwasser und Klärschlamm kann auch eine Vielzahl von Viren enthalten sein, die von Menschen ausgeschieden werden und die die unterschiedlichsten Krankheiten hervorrufen können. 1991 waren mehr als 100 Viren bekannt, die von Menschen mit dem Kot ausgeschieden werden können und jeden Tag kommen neue hinzu (STRAUCH, 1991). BÖHM (2002 a) führt folgende Viren an, die in Klärschlamm enthalten sein können: Enterovirus, Poliovirus, Coxsackievirus A und B, Echovirus und andere Enteroviren sowie Adenovirus, Reovirus, Hepatitis-A-Virus, Rotavirus, Astrovirus, Norwalk-Virus, Coronavirus, Adeno-associated-Virus und Parvovirus, die alle in unterschiedlichen Typen vorkommen können. Nach ANONYM (2006 c) können im Klärschlamm noch weitere Viren enthalten sein: Hepatitis-E-Virus und Calicivirus. Nach Untersuchungen von TELTSCH et al. (1980) und CARDUCCI et al. (2000) sind Viren in 71 % bzw. 55 % aller Abwasserproben enthalten. Viren werden nach Angaben von MAYR (2002) in Konzentrationen von bis zu  $10^{10}$  KID<sub>50</sub>/g Stuhl von kranken oder infizierten Personen mit inapparenten Krankheitsverläufen ausgeschieden und können so ins Abwasser und in den Klärschlamm gelangen. Nach PUIG et al. (1994) und CARDUCCI et al. (1995) sind Enteroviren in 75 % bzw. 58 % der Abwasserproben enthalten. Die Konzentrationen an humanen Enteroviren liegen nach Angaben von MAYR (2002) in einem Bereich von  $6,0 \times 10^0$  und  $8,2 \times 10^4$  PFU/l. SMITH und GERBA (1982) ermittelten in Abwasser Enteroviruskonzentrationen bis zu 2.962 PFU/20 l-Probe. Nach Untersuchungen von LODDER et al. (1999) werden in Abwasser Norwalk-Virus-Konzentrationen von bis zu  $10^7$  RNA-haltige Partikel/l festgestellt. FONG et al. (2010) wiesen in allen untersuchten Abwasserproben menschliche Adenoviren nach. Die Konzentration im Abwasser wird von den Autoren mit  $1,15 \times 10^6$  Viren/l angegeben, wobei durch den Abwasserreinigungsprozess in der Kläranlage weniger als  $2 \log_{10}$  (<99 %) zurückgehalten werden. Viren sind nach HE et al. (2011) in 35,4 % der Abwasserproben enthalten. Rotaviren sind nach Angaben der Autoren die am häufigsten nachgewiesenen Viren in Abwasser mit 32,3 %, gefolgt von Astroviren mit 6,3 % und Noroviren mit 3,1 %. Nach Angaben von PHILIPP (2010) werden Coxsackieviren und Polioviren am häufigsten unter den Enteroviren in Klärschlamm nachgewiesen. In behandeltem Klärschlamm bilden nach WULLENWEBER und AGBALIKA (1984) Polioviren mit 41 % die größte Gruppe, gefolgt von Coxsackieviren der Gruppe B mit 25 % und ECHO-Viren mit 7 %, die restlichen 27 % der Virusisolate konnte nicht identifiziert werden. Nach Untersuchungen von MILES et al. (2011) wird die Konzentration an Prionen in Klärschlamm bei einer Temperatur von 37 °C nach 15 d um 2,43 Zehnerpotenzen reduziert.

Neben diesen vielen verschiedenen menschen- und tierpathogenen Erregern sind nach KLAGES et al. (2009) auch pflanzenpathogene Erreger, die sich häufig über viele Jahre hinweg im Boden halten können, in Klärschlamm zu finden.

In Zusammenhang mit der Ausbringung von Klärschlämmen wird nach WIECHMANN et al. (2012) auch die Problematik der Verbreitung von resistenten Krankheitserregern

diskutiert. Es gibt Hinweise darauf, dass es in Kläranlagen, begünstigt durch die hohen Bakterienkonzentrationen, zum Austausch von Antibiotikaresistenzen zwischen verschiedenen Bakterien kommen kann, die mit dem Abwasser beispielsweise aus Krankenhäusern eingetragen werden. Dadurch ist es möglich, dass neue Kombinationen von Antibiotikaresistenzen entstehen oder dass Antibiotikaresistenzen auf Bakterien übertragen werden, die bisher keine Resistenz(en) aufwiesen. Dabei spielen die multiresistenten Bakterien der Enterokokken, Staphylokokken und *Escherichia coli* zunehmend eine wichtige Rolle. Ihr Vorhandensein ist besonders häufig in Kläranlagen nachzuweisen, in die Abwässer von Schlachthöfen und Krankenhäuser eingeleitet werden. Nach GÖZALAN (2004) werden in Schlachthofabwässern häufiger resistente *Enterococcus faecalis* und *Escherichia coli* im Vergleich zu kommunalen Abwässern und in kommunalen Abwässern häufiger resistente Staphylokokken im Vergleich zu Schlachthofabwässern nachgewiesen. REINTHALER et al. (2003) untersuchten 767 *Escherichia coli*-Isolate aus Kläranlagen mit dem Ergebnis, dass die höchsten Resistenzraten in einer Kläranlage gefunden wurden, die nicht nur kommunales Abwasser, sondern auch Abwasser aus einem Krankenhaus reinigt. Im Abwasser wurden *Escherichia coli*-Stämme nachgewiesen, die Resistenzen gegenüber 16 von 24 untersuchten Antibiotika aufwiesen. 57 % aller *Escherichia coli*-Isolate waren resistent gegenüber Tetracyclin, bis zu 35 % gegenüber Cefalothin und bis zu 18 % der *Escherichia coli*-Isolate wiesen Resistenzen gegenüber Ampicillin und bis zu 12 % gegenüber Piperacillin auf. Die Untersuchungen von REINTHALER et al. (2003) zeigen auch, dass Klärschlamm, der keiner chemischen bzw. desinfizierenden Behandlung unterzogen wird, zur Verbreitung von resistenten *Escherichia coli*-Stämmen in der Umwelt beiträgt, wenn er in der Landwirtschaft verwertet wird. Nach Untersuchungen von BÖHM et al. (2004) sind 21 %, der aus Schlachthofabwässern isolierten *Escherichia coli* und 61 % der isolierten *Enterococcus faecalis* resistent gegenüber Antibiotika. In kommunalen Abwässern konnten die Autoren dagegen nur bei 41 % der Isolate resistente *Enterococcus faecalis*-Stämme nachweisen. Nach Untersuchungen von GALLERT et al. (2005) sind die meisten aus Abwasser isolierten Fäkalcoliformen, Enterokokken und Pseudomonaden resistent gegenüber Penicillin G, Ampicillin, Vancomycin, Erythromycin, Sulfonamide und Trimethoprim. Die Autoren stellten auch fest, dass Pseudomonaden multiresistenter waren als Enterokokken und Fäkalcoliforme. Bei multiresistenten Salmonellen bereitet vor allem das breite Wirtsspektrum Probleme, da die Übertragung durch belebte Vektoren auf Tier und Mensch direkt oder indirekt erfolgen kann (BÖHM, 2007). Wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass Klärschlamm Krankheitserreger enthält, hängt von der Art und der Herkunft des Klärschlammes ab (BÖHM, 2006). Neben Abwässern, die menschliche und tierische Ausscheidungen enthalten, kann vor allem bei Abwässern aus Krankenhäusern, Schlacht- und Viehhöfen, Tierkörperbeseitigungsanstalten und sonstigen Betrieben, die tierische Produkte

verarbeiten, ein höherer Anteil an pathogenen Erregern angenommen werden. In den direkt in den Kläranlagen anfallenden, unbehandelten Klärschlämmen konnten Gesamtbakterienkonzentrationen von bis zu  $10^{11}$  KBE/g nachgewiesen werden. Die Bakterien gelangen bereits in großer Menge in die Abwasserreinigungsanlagen, reichern sich bei der Sedimentation an und können sich durch die als Nahrung dienenden Abwasserinhaltsstoffe noch weiter vermehren (STOTTMEISTER, 1989). Das Hygienerisiko kann nach LESCHBER und NIEMITZ (1996) durch Behandlungsmaßnahmen wie Kompostierung oder Pasteurisierung bei 70 °C oder durch Heißtrocknung bei Temperaturen von >100 °C vermindert werden. Das Risiko der Erregerverbreitung wird durch validierte Behandlungsmethoden reduziert, je nach Behandlung aber nicht vollständig eliminiert. Eine anschließende Lagerung kann, in Abhängigkeit von der Lagerzeit, die Erregerzahl weiter absenken. Untersuchungen haben gezeigt, dass Lagerzeiten von mehr als 12 Monaten die meisten Pathogene signifikant reduzieren konnten (BÖHM, 2006). Seuchenhygienisch unbedenkliche Beschaffenheit von Klärschlamm wird nach LANG (1987) erreicht, wenn er

1.  $\leq 10^3$  Enterobacteriaceen/g
2. keine Salmonellen und
3. keine ansteckungsfähigen Wurmeier

enthält.

Zusammenfassend kann die Risikobewertung der Klärschlamm-Anwendung in Anlehnung an BULLING (1988) wie folgt vorgenommen werden:

- das Salmonellen-Risiko ist belegt und quantifiziert
- das Parasiten-Risiko ist belegt (Bandwürmer)
- ein weitergehendes Zoonosen-Risiko durch Bakterien, Viren und Parasiten ist teilweise belegt
- für die Risikoabwehr stehen wirksame und wirtschaftlich vertretbare Verfahren zur Verfügung.

Phytopathogene Erreger, Nematoden und Unkräuter können über das Abwasser aus Haushalten und der Lebensmittelindustrie oder aus Wasch- und Abpackbetrieben in kommunale Kläranlagen gelangen. Dabei sind diverse, oben genannte pflanzliche Stoffe und Erdreste relevant. Insbesondere die Überdauerung von Quarantäneschadorganismen in Abwasser und Klärschlamm wurde untersucht. SPAULL und MCCORMACK, 1989 fanden in Schottland während eines Jahres unabhängig von der Jahreszeit und von Verarbeitungsbetrieben eine geringe Grundbelastung mit Kartoffelnematoden in Schlammproben aus 9 Kläranlagen. Eine noch unveröffentlichte Risikoanalyse von STEINMÖLLER, 2008 nennt stabile Viren, *Polymyxa betae* und die Quarantäneschadorganismen *Beet necrotic yellow vein virus*, *Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus*, *Synchytrium endobioticum*, *Globodera rostochiensis*, *G. pallida* sowie

*Ralstonia solanacearum*, die mit dem Abwasser in den Klärschlamm eingetragen werden können.

### **5.2.12 Organische Abfälle aus der getrennten Sammlung aus privaten Haushaltungen**

Wesentlich im Zusammenhang mit den hygienischen Risiken von Abfall bzw. Bioabfall stehen die Menge der fäkal kontaminierten Abfallanteile (Tierhaltung, Wegwerfwindeln), die Träger von Krankheitserregern sein können sowie der pflanzliche Anteil, der für phytopathogene Erreger bedeutsam ist. Die Gesamtmenge von Fleischabfällen und Knochen, die aus Haushalten über den Abfall entsorgt werden, liegt in einer Größenordnung von etwa 3 % der organischen Fraktion des gesamten Abfalls eines Haushaltes, haben aber wegen der spezifischen Bedingungen, die eine Vermehrung bakterieller Krankheitserreger zulassen, eine wichtige Bedeutung aus der Sicht der Hygiene als mögliche Träger von Krankheitserregern. Hinsichtlich der Verbreitung phytopathogener Keime kommt den pflanzlichen Abfällen aus dem Küchen- und Gartenbereich eine besondere Bedeutung zu. Diese Fraktion macht zwischen 25 und 30 % des gesamten Hausmülls aus und hat dementsprechend einen hohen Anteil am Bioabfall (PICHLER-SEMMELOCK et al., 1996). Das Artenspektrum der Mikroflora ist zunächst vom eingetragenen Sammelgut abhängig. Das Einbringen spezifischer pathogener Bakterien, z. B. mit Küchenabfällen oder etwa mit Material der persönlichen Hygiene oder mit Fäkalien von Haustieren, hängt darüber hinaus von der epidemiologischen Situation ab (STALDER, 1993). Die folgenden Komponenten im Bioabfall können nach Literaturangaben (BÖHM, 1993 b; STRAUCH, 1995 (zit. nach HAUMACHER, 2003); GÖTTSCHING, 1972; BOCKEMÜHL und WOHLERS, 1984; METZ, 1990) Träger von Krankheitserregern für Mensch und/oder Tier sein:

- Lebensmittel tierischer Herkunft
  - Fleischreste (roh oder unzureichend erhitzt), v. a. von Geflügeln
  - Fleischabschnitte, Sehnen, Schwarten
  - Knochen, Knorpel
  - Brät
  - Rohwürste
  - Eier, Eierschalen
  - verschiedene Fleisch- und Milchprodukte
  - Rohmilchprodukte
  - Abfälle von Fischen und Meeresfrüchten
- pflanzliche Lebensmittel
  - Kräuter und Gewürze
  - Tee

- 
- Trockengemüse, -pilze
  - Spargel
  - sonstige (Tier und Mensch)
    - verschmutztes Verpackungsmaterial für Fleisch und tierische Produkte
    - Einstreu und Abfälle von Heimtieren
    - benutzte Einmaltaschentücher und Hygieneartikel
    - Windeln
    - Speiseeis, Pudding, Tiramisu
  - Gartenabfälle
    - Laub und Rasenschnitt (fäkale Verschmutzung).

Die folgenden Komponenten des Bioabfalls können nach (BÖHM, 1993 b) Träger von Krankheitserregern für Pflanzen sein:

- Haushaltsabfälle von
  - Kartoffeln
  - Möhren
  - Zwiebeln
  - Tomaten
  - Gurken
  - Salat
  - Kohl
  - Bohnen
  - Schnittblumen
  - Balkon- und Zimmerpflanzen
- sonstige (Tier und Mensch)
  - Einstreu und Abfälle von Heimtieren
- Gartenabfälle
  - Äste und Stauden
  - Früchte
  - Laub und Rasenschnitt.

Die Hauptquelle für Infektionserreger im Bioabfall wird nach STRAUCH (1996 a) in den Küchenabfällen gesehen. Es werden die verschiedensten Bakterien, Viren, Pilze und Parasiten genannt. Nach Untersuchungen von ALTHAUS et al. (1983); MÖSE und REINTHALER (1985); RÜDEN et al. (1986); GAUBE et al. (1987); BOUTIN et al. (1987); STREIB et al. (1989); ASSMANN (1992); HAERTEL (1992); SCHERER (1992); ROTH (1994); BREITENFELDT (2000) und HAUMACHER (2003) sind in Bioabfällen und in Haushaltsabfällen die folgenden Bakterien und Pilze in unterschiedlich hohen Konzentrationen enthalten: Salmonellen mit einer Vielzahl an unterschiedlichen Serovaren, Coliforme, Fäkalcoliforme (*Escherichia coli*), Fäkalstreptokokken, Staphylokokken, Streptokokken, Clostridien, (*Clostridium perfringens*), Pseudomonas (*Pseudomonas aeruginosa*), Acine-

tobacter, Aeromonas, Enterobacter, Citrobacter, Hafnia, Klebsiella, Proteus (*Proteus mirabilis*, *Proteus rettgeri*, *Proteus vulgaris*), Serratia, Hefen (*Candida tropicalis*) und Schimmelpilze (*Aspergillen spec.*, *Aspergillus fumigatus*, *Geotrichum candidum*, Mucor). Nach Untersuchungen von ROTH (1994) und HAUMACHER (2003) werden in Bioabfall Gesamtbakterienzahlen von  $10^4$  bis  $10^{10}$  KBE/g TS festgestellt. Die Anzahl der Fäkalstreptokokken liegt im Bereich von  $10^0$  bis  $10^9$  KBE/g TS. Die Gehalte an Enterobacteriaceae bewegen sich zwischen  $10^1$  und  $10^{10}$  KBE/g TS und die Gehalte an Gesamtcoliformen zwischen nicht nachweisbar und  $10^9$  KBE/g TS. Die Anzahl der Fäkalcoliformen liegt in einem Bereich von nicht nachweisbar bis  $10^9$  KBE/g TS. In 74,1 % (ROTH, 1994) bzw. in 8,49 % (HAUMACHER, 2003) der Bioabfallproben werden Salmonellen nachgewiesen, wobei sich die Anzahl in einem Bereich von gerade noch nachweisbar in 50 g Untersuchungsmaterial (ROTH, 1994) bzw. in 25 g (HAUMACHER, 2003) und  $4,6 \times 10^4$  KBE/g FS bewegt. Im Bioabfall wurden Gesamtpilzzahlen von  $1,06 \times 10^5$  und  $2,58 \times 10^9$  KBE/g TS ermittelt. *Aspergillus fumigatus* konnte von HAUMACHER (2003) in 72,32 % der untersuchten Bioabfallproben nachgewiesen werden, dabei bewegte sich der Gehalt an *Aspergillus fumigatus* zwischen nicht nachweisbar und  $1,29 \times 10^8$  KBE/g TS. In den Untersuchungen von ROTH (1994) wurden allerdings geringere Schwankungsbreiten in den Mikroorganismenkonzentrationen festgestellt. Dies lässt sich zum einen dadurch erklären, dass die Bioabfallproben von ROTH (1994) nach der Bioabfallsammlung bei der Anlieferung in einer Kompostierungsanlage gezogen wurden, während die Proben von HAUMACHER (2003) direkt aus Biotonnen entnommen wurden. Neben den bakteriellen spielen auch virale Krankheitserreger eine Rolle, die über Lebensmittel, tierische oder menschliche Ausscheidungen in den Bioabfall gelangen können. Von den spezifisch menschenpathogenen sind nach STRAUCH (1996 a) in Milch, Butter, Käse, Fleisch, Bratwurst, Fisch, Austern und Muscheln bevorzugt nachgewiesen worden: Poliomyelitis-Virus, Hepatitis-A-Virus, Coxsackie- und ECHO-Virus, Reovirus und Adenovirus. Viren können auch durch klinisch erkrankte oder inapparent infizierte Familienmitglieder, Besucher und Haus-/Heimtiere, die Träger und Ausscheider von Viren sind, in den Haushalt und damit in den Bioabfall gelangen. Daher muss fast ständig mit Enteroviren, Reo-, Rota-, Adeno- oder Influenzaviren gerechnet werden. Weiter können häufig auch Rhino-, Orthomyxo- und Paramyxoviren sowie Herpesviren im Bioabfall enthalten sein. Weniger von Bedeutung sind nach STRAUCH (1996 a) Calici- und Retroviren. Weiter führt der Autor an, dass möglicherweise auch Parvoviren, Flavi- und Pestiviren sowie Coronaviren in Bioabfall zu finden sind. Nach Untersuchungen von ROTH (1994) werden in Bioabfallproben keine Enteroviren nachgewiesen. SOBSEY et al. (1975) gehen davon aus, dass Viren durch toxische, chemische Komponenten im Abfall inaktiviert werden. Allerdings ist nach BÖHM (1993 b) bekannt, dass das Aujeszky-Virus durch Speiseabfälle übertragen wird. Von den parasitären Dauerstadien werden nach STRAUCH (1996 a) Taenien-Eier und Ascariden-Eier im Bioabfall nachgewiesen.

Die Sammlung und Handhabung von Bioabfall stellt nach BÖHM (1993 a) eine Folge von Schritten dar, von denen jeder eine bestimmte, hygienische Relevanz hat. Vereinfacht dargestellt, folgt auf einen Schritt, bei dem das Sammelgut mit der Umwelt in Kontakt kommt, immer eine Phase, in der sich biologische oder physikalische Prozesse abspielen, die das Sammelgut aus der Sicht der Hygiene positiv oder negativ verändern. Diese Schritte finden bei der Sammlung, Abholung, in der Kompostierungsanlage und beim Anwender statt. Im Hinblick auf pathogene vermehrungsfähige Keime z. B. Salmonellen kann davon ausgegangen werden, dass es bei geeigneten Temperaturen zu einer Vermehrung kommt, da das biologische Material als Nährboden für Mikroorganismen anzusehen ist. Dies konnte bei den Untersuchungen von HAUMACHER (2003) gezeigt werden, da sich die Außentemperaturen direkt auf die Temperaturen in den Biotonnen auswirkten und somit im Winter deutlich niedrigere Mikroorganismenkonzentrationen ermittelt wurden. Aufgrund dieser Tatsachen und der Vielzahl und der zum Teil hohen Belastung von Bioabfall mit obligat und fakultativ pathogenen Mikroorganismen ist es nach ROTH (1994) unbedingt notwendig Bioabfall zu entseuchen, v. a. wenn Bioabfall zu Kompost verarbeitet und als Bodenverbesserungsmittel angewendet werden soll. Weitere Ausführungen zur Phytohygiene sind unter Pkt. 5.1.6 beschrieben.

### **5.2.13 Kompost**

Notwendige Grundlagen für eine langfristig gesicherte Vermarktung von Komposten aus der getrennten Sammlung sind eine strenge Qualitätssicherung und die sachgerechte Anwendung von Komposten. Die Erzeugung und Verwertung von Kompost in der Land- und Forstwirtschaft sowie auf gartenbaulich genutzten Böden ist in der Bioabfallverordnung bzw. Düngemittelverordnung (ANONYM, 1998 a; ANONYM 2012 b; ANONYM, 2008 c; 2012 I) geregelt. Gemäß der Bioabfallverordnung dürfen in einem ausreichend hygienisierten Kompost keine Salmonellen enthalten sein. Nach Untersuchungen von BREITENFELDT (2000) werden in 5 von 213 untersuchten Kompostproben Salmonellen nachgewiesen. Dies entspricht einer Nachweisrate von 2 %. Durchschnittlich sind nach Angaben der Autorin  $1,2 \times 10^3$  Salmonellen/g Kompost enthalten, wobei die maximale Salmonellen-Konzentrationen in Kompost mit  $9,3 \times 10^4$  KBE/g angegeben wird. In einzelnen Kompostierungsanlagen konnte BREITENFELDT (2000) in Kompost in bis zu 50 % der Proben Salmonellen nachweisen. Als Ursache hierfür kommen vor allem nicht ausreichend hohe Temperaturen während des Kompostierungsprozesses in Frage. Bei der offenen Mietenkompostierung sind nach Angaben der Autorin vor allem die Randbereiche als kritisch anzusehen. Umso wichtiger ist es nach BREITENFELDT (2000) das zu kompostierende Material in regelmäßigen Abständen umzusetzen. Niedrige Randtemperaturen und die Problematik der unzureichenden Abtötung von pathogenen Mikroorganismen wird auch von STRAUCH et

al. (1980 a) und ROTH (1994) beschrieben und bezieht sich immer auf die offene Mietenkompostierung. Nach BREITENFELDT (2000) tritt das Problem der unzureichenden Erhitzung jedoch auch in eingehausten Anlagen in den belüfteten Basis- bzw. Randbereichen auf.

#### **5.2.14 Küchen- und Speiseabfälle**

Die organischen Abfälle aus Haushalten, Großküchen und der lebensmittelverarbeitenden Industrie enthalten human- bzw. veterinär- und phytohygienisch bedeutsame Bakterien, Pilze, Viren und Parasiten unterschiedlicher Art und in wechselnder Menge, die grundsätzlich geeignet sind, die Gesundheit von Mensch, Tier und Pflanzen zu schädigen oder menschliche, tierische und pflanzliche Strukturen zu besiedeln bzw. die Umwelt zu belasten (BÖHM et al., 1998). Unter den festgestellten Bakterienarten, die in biologischen Rest- und Abfallstoffen in Europa vorkommen können, befinden sich auch viele Zoonosenerreger, die sich unter den gegebenen Bedingungen sogar noch vermehren können. Ein besonderes Hygienierisiko geht von in Biogasanlagen verarbeiteten Speiseresten und Gülle aus. Denn mit der Verarbeitung von Speiseabfällen sind entsprechende Risiken durch Bakterien, Pilze und Toxine, aber auch besonders durch Viren, wie dem Virus der Europäischen Schweinepest, dem Maul- und Klauenseuchenvirus, dem Herpesvirus suis und auch dem Virus der Afrikanischen Schweinepest gegeben. Diese Viren können im Fleisch und in Fleischerzeugnissen relativ lange überleben. In Schinken kann z. B. das Afrikanische Schweinepest-Virus ca. 6 Monate überleben und das Europäische Schweinepest-Virus überdauert ca. 150 d in Gefrierfleisch (BÖHM, 1999). Wie gefährlich gerade Speiseabfälle für die Volkswirtschaft werden können, hat der Schweinepest-Seuchenzug in Deutschland 1993/1994 gezeigt. Ein nicht unerheblicher Teil der Seuchenausbrüche ist nach (STRAUCH, 1997) (zit. nach DRČA, 2007) durch die illegale Verfütterung von Speiseabfällen an Schweine entstanden, weil die Vorschrift über die Erhitzung der Abfälle vor der Verfütterung von Tierbesitzern nicht eingehalten wurde. Tierseuchenerreger können nach MOSS (2001) insbesondere dann in Speise- und Küchenabfälle gelangen, wenn Tiere noch während der Inkubationszeit, d. h. ohne klinische oder pathologisch-anatomische Auffälligkeiten zu zeigen, geschlachtet werden. Küchenabfälle enthalten unter anderem Gewebe und Knochen, die vor dem Kochen abgetrennt werden und ohne Erhitzung in den Abfall gelangen. Die Gefahr der Einschleppung von Tierseuchen in Viehbestände ist nach Angaben des Autors insbesondere dann gegeben, wenn diese Abfälle verfüttert werden. Eine indirekte Einschleppung über Personal, kontaminierte Kleidung und Geräte ist ohne weiteres möglich. Auch können kontaminierte bzw. unzureichend behandelte Speiseabfälle von wildlebenden Tieren, insbesondere Wildschweinen aufgenommen werden. Nach RÖHRER und OLECHNOWITZ (1980) (zit. nach MOSS, 2001) sind auch

pflanzliche Erzeugnisse (Gemüse), die aus verseuchten Gebieten stammen, nicht gefahrlos. Die Verfütterung von Küchen- und Speiseabfälle an Nutztiere ist gemäß der Verordnung (EG) 1069/2009 (ANONYM, 2009 b) verboten. Diese Verordnung teilt Küchen- und Speiseabfälle in verschiedene Kategorien ein. In die Kategorie 1 werden Küchenabfälle eingeteilt, die von international eingesetzten Verkehrsmitteln stammen. In die Kategorie 3 werden andere Küchen- und Speiseabfälle eingeteilt, als die die von international eingesetzten Verkehrsmitteln stammen. Die Küchen- und Speiseabfälle aus der Kategorie 3 sind in Biogas umzuwandeln oder mittels Drucksterilisation oder einer vergleichbaren Hygienisierungsmethode zu behandeln. Küchen- und Speiseabfälle der Kategorie 1 müssen verbrannt oder deponiert werden, wobei vor der Deponierung eine Drucksterilisation zu erfolgen hat. Speiseabfälle aus Großküchen sind nach BÖHM (1999) hinsichtlich eines Übertragungsrisikos für virale Tierseuchenerreger höher einzuschätzen als Bioabfälle, da hohe Konzentrationen an Viren in den Speiseabfällen vorhanden sind und ein spezifisches Risiko besteht. BLAHA (1988) (zit. nach MOSS, 2001) verweist auf die Gefahr der Einschleppung der Aujeszkyschen Krankheit in Tierbestände, die von unerhitzten Abfällen ausgeht.

#### **5.2.15 Synthetische Polymere**

Synthetische Polymere werden hauptsächlich in der Wasser-, Abwasser- und Papierindustrie verwendet. In der Abwasser- und Papierindustrie werden sie dabei als Flockungs- und Konditionierungsmittel eingesetzt. Außerdem finden sie Verwendung in Biogasanlagen, bei der Güllebehandlung und bei der Bioabfallvergärung zur Konditionierung von Gärresten. Weitere Einsatzgebiete sind die Herstellung von Bioethanol (Unterstützung der 3-Phasen-Trennung: Glycerin-Fettsäure-Wasser), Aufbereitung von Trink- und Meerwasser (Entfernung von Suspensa), Bergbau (Wasserklärung und Schlammwässerung), Zuckerherstellung (Waschung von Zuckerrüben, Saftreinigung, Belagsverhinderer), Metallindustrie (Flockungsmittel, Belagsverhinderer), Ölindustrie (Verdrängung von Erdöl aus porösen Bodenschichten), Tunnelbau (Kieswäsche, Spülwasserbehandlung), Seesanieung (Entwässerung von Sedimenten), Erosionsschutz (Aufbringung von Saatgut), Boden in ariden Gebieten Arabiens (Wasserbindung). Synthetische Polymere werden als Festprodukte (Pulver, Granulat, Perlen), Dispersionen und Emulsionen (inkl. paraffinierten Trägerölen, Emulgatoren und Aktivatoren) angeboten bzw. geliefert. Es gibt den Ester- und den Amidtyp. Synthetische Polymere sind kationisch, anionisch oder nicht ionisch geladen und besitzen unterschiedliche Molekulargewichte von  $10^4$  bis  $10^8$  g/Mol. Der Estertyp unterliegt einer schnellen Hydrolyse, d. h. er ist leicht biologisch abbaubar, 50 % des Ausgangsproduktes werden durch chemische und biologische Aktivität bereits im Klärschlamm und anschließend im Boden abgebaut. Bei einer hohen Molmasse des

Grundgerüsts des Polymers erfolgt der Abbau wesentlich langsamer. Im Boden wird der Abbau durch UV-Licht/Oxidation und mechanische Beanspruchung gefördert. Der Abbau der verbleibenden Polymereinheiten erfolgt bakteriell über extrazelluläre Enzymsysteme und ligninabbauende Weißfäulepilze. Die Abbaurrate beträgt ca. 10 % pro Jahr und die Halbwertszeit liegt bei ca. 7 Jahren. Eine Entwässerung von Klärschlamm nach dem heutigen Stand der Technik wird ohne synthetische Polymere nicht möglich sein.

## **6 Charakterisierung von in organischen Düngern vorkommender Mikroorganismen**

### **6.1 Seuchenhygiene**

Die Welt des Lebendigen wird in die 3 Domänen Bacteria, Archaea und Eucarya eingeteilt. Jede dieser Domänen lässt sich in mehrere Reiche unterteilen. Pathogene Organismen finden sich in den Domänen Bacteria und Eucarya. Die Domäne Bacteria enthält das Reich der chemosynthetischen Eubakterien, zu denen die humanpathogenen Bakterien gerechnet werden. In anderen Reichen, wie z. B. dem der photosynthetischen Zyanobakterien, finden sich keine Krankheitserreger. Es wird geschätzt, dass Hunderttausende von Bakterienarten auf der Erde existieren. Von diesen sind aber erst ungefähr 5.000 näher beschrieben. Die Domäne der Eucarya umfasst alle Lebewesen, die einen echten Kern (Nukleus) aufweisen. Zu den Eucarya zählen auch die Tiere und der Pflanzen. Eukaryontische, pathogene Mikroorganismen findet man unter den Pilzen und den Protozoen. Weiterhin können Tiere, vor allem Helminthen (parasitische Würmer) und Arthropoden (Gliederfüßer) Infektionen verursachen. Einige unter ihnen sind aufgrund ihrer Größe nicht als Mikroorganismen einzuordnen. Infektionskrankheiten entstehen durch Wechselwirkungen zwischen dem Infektionserreger und dem Makroorganismus mit seinen spezifischen und unspezifischen Abwehrmechanismen. Sie entstehen, wenn pathogene Erreger in den menschlichen Organismus eindringen, sich dort vermehren und dann als Folge Krankheitssymptome auftreten (KAYSER und BÖTTGER, 2010 a). Eine Infektionskrankheit, die gehäuft auftritt und die Tendenz zur Ausbreitung hat, wird als Seuche bezeichnet (VALENTIN-WEIGAND, 2011 d). Die Erreger zeichnen sich durch eine erhöhte Virulenz, hohe Kontagiosität und oft große Widerstandsfähigkeit gegenüber Umwelteinflüssen aus (MÜLLER, 1991). Im Folgenden werden Bakterien, Viren und Parasiten beschrieben, die Infektionskrankheiten bei Mensch und Tier verursachen können und die eine epidemiologische Bedeutung haben.

## **6.1.1 Bakterien**

### **6.1.1.1 Grampositive Kokken**

#### **6.1.1.1.1 Staphylokokken**

Staphylokokken sind kugelförmige, etwa 1 µm große Bakterien, die sich teilweise charakteristisch in Haufen anordnen. Sie sind katalasepositiv und empfindlich gegenüber Lysostaphin. Sie sind relativ anspruchslos im Wachstum. Staphylokokken wachsen besser bei aeroben Verhältnissen, können sich aber auch anaerob vermehren. Sie tolerieren relativ hohe Salzgehalte und Trockenheit (VALENTIN-WEIGAND, 2011 a). Nach FORSYTHE (2010) wachsen Staphylokokken in einem Temperaturbereich von 7 bis 48 °C, bei pH-Werten zwischen 4 und 10 und bei einer Wasseraktivität von 0,83 bis 0,99. Staphylokokken kommen in der Luft, in Staub, Schlamm, Wasser, Milch und Nahrungsmitteln oder auf Nahrungsmittelgegenständen und Umweloberflächen vor. Menschen und Tiere sind die Primärreservoir (FORSYTHE, 2010). Sie besiedeln Haut- und Schleimhautoberflächen (VALENTIN-WEIGAND, 2011 a). Staphylokokken sind als Verursacher lokaler und systemischer eitriger Entzündungen wichtige Infektionserreger bei Tier und Mensch (VALENTIN-WEIGAND, 2011 a). *Staphylococcus aureus* verursacht 70 – 80 % aller Wundinfektionen, 50 – 60 % aller Osteomyelitiden, bis zu 30 % aller Fälle von Sepsis und Endokarditis und 10 % aller Pneumonien. *Staphylococcus epidermidis* ist der zweithäufigste Erreger von Sepsis (>30 % aller Fälle) (GATERMANN, 2012 a). Von besonderer Bedeutung für ihre Bekämpfung ist die zunehmende Resistenz gegen antimikrobielle Wirkstoffe. So sind Staphylokokken zwar prinzipiell gegen β-Lactamantibiotika, Erythromycin, Lincomycin, Gentamicin, Florfenicol und Fluorchinolone empfindlich. Viele Stämme bilden allerdings β-Lactamasen und haben Resistenzen auch gegen andere Wirkstoffe entwickelt. Für die Pathogenität und Resistenz von Staphylokokken spielt die Fähigkeit zur Bildung von Biofilmen eine große Rolle. Hervorzuheben ist die zunehmende Problematik des Auftretens multiresistenter Staphylokokken, wie Methicillin-resistenter *Staphylococcus aureus* (MRSA), v. a. in der Humanmedizin (VALENTIN-WEIGAND, 2011 a). Staphylokokken produzieren eine Vielzahl an Pathogenitäts- und Virulenzfaktoren: Staphylokinase, Hyaluronidase, Phosphatasen, Koagulasen und Hämolysine sowie Enterotoxine (FORSYTHE, 2010). Nach HOF und DÖRRIES (2009) sind durch Staphylokokkentoxine verursachte Enteropathien bei uns die häufigste Folge von Lebensmittelvergiftungen. Staphylokokken sind meist extrazellulär, viele ihrer Virulenzfaktoren spielen daher vor allem eine Rolle beim Schutz vor der Phagozytose und bei der Umgehung von antikörpervermittelten Abwehrmechanismen (VALENTIN-WEIGAND, 2011 a). Darüber hinaus bilden einige *Staphylococcus aureus*-Stämme spezifische Toxine, die jeweils für Brechdurchfall, das „toxic shock syndrome“ (TSS) bzw. „staphylococcal-scalded skin syndrome“ (SSSS) (Schälbläschensyndrom) verantwortlich sind. In den vergangenen Jahren werden vermehrt Pneumonien und Haut-Weichteil-Infektionen mit *Staphylococcus aureus*-Stämmen beobachtet, die das Panton-

Valentine-Leukozidin exprimieren (GATERMANN, 2012 a). Staphylokokken sind gegenüber Umwelteinflüssen recht unempfindlich. Sie sind recht widerstandsfähig gegenüber Austrocknung, Sonnenlicht (UV-Resistenz), Hitze und pH-Wertveränderungen (HOF und DÖRRIES, 2009). *Staphylococcus aureus* gehört zu den widerstandsfähigsten humanpathogenen Bakterien überhaupt. Er übersteht Hitzeeinwirkung von 60 °C über 30 min. Erst bei höheren Temperaturen bzw. längerer Expositionsdauer wird er abgetötet. *Staphylococcus aureus* passiert den Magen und Darm und erscheint lebend im Stuhl. Aus getrockneten klinischen Materialien und Staub lassen sich die Erreger noch nach Monaten isolieren. („Trockenkeime“) (GATERMANN, 2012 a). Da Staphylokokken-Toxine sehr hitzestabil sind, können sie nicht durch Standard-Kochmethoden inaktiviert werden (FORSYTHE, 2010). Das Erhitzen auf 100 °C für 30 min reicht nach GATERMANN (2012 a) nicht aus, um Staphylokokken-Enterotoxine sicher zu inaktivieren. Die Infektionsdosis für *Staphylococcus aureus* beträgt nach FORSYTHE (2010)  $10^5$  bis  $>10^6$  KBE/g. Die Übertragung erfolgt bei *Staphylococcus aureus* typischerweise über Schmierinfektionen (GATERMANN, 2012 a). Sie kann nach HOF und DÖRRIES (2009) auch über Händekontakt oder direkt über Tröpfchenemission oder indirekt über Staub erfolgen. *Staphylococcus aureus* wird nach PFIRRMANN und BÖHM (2000) nicht selten als Zoonoseerreger angesehen und darf im Zusammenhang mit Faktorenkrankheiten nicht außer Acht gelassen werden. Nach ZANGERL (2007 a) zählt *Staphylococcus aureus* zu den häufigsten Erregern von klinischen und subklinischen Mastitiden bei Kühen, Schafen und Ziegen. Bei einer Infektion erfolgt die Ausscheidung in die Milch in stark schwankenden Zahlen ( $0 - 10^8$  KBE/ml). Üblicherweise liegt die Ausscheidungsrate bei etwa  $10^4$  KBE/ml. Koagulasenegative Staphylokokken sind vor allem Indikatorkeime für mikrobiell verändertes Futter. Ihr Vorkommen lässt einen Rückschluss auf mangelnde Lagerhygiene zu (BAUER und HÖRMANSDORFER, 2000).

#### **6.1.1.1.2 Streptokokken**

Zur Gattung *Streptococcus* gehören kugelförmige oder ovoide grampositive Bakterien mit einem Durchmesser von etwa 1 µm. Sie sind paarweise (Diplokokken) oder in Ketten gelagert, weil sich die Bakterien nur in einer Ebene teilen. Kettenformen werden besonders in Flüssigkeiten ausgebildet, ihre Länge ist sehr unterschiedlich. Streptokokken sind fakultative Anaerobier. Die optimale Wachstumstemperatur liegt bei 37 °C. Mit einer Spanne von 25 – 45 °C ist der Temperaturbereich relativ eng und deutet auf eine bevorzugt parasitäre Lebensweise hin (VALENTIN-WEIGAND, 2011 a). Nach GATERMANN (2012 c) sind sie typische Schleimhautparasiten. Sie sind weltweit verbreitet (QUINN et al., 2011). Eine Reihe von Spezies ist pathogen für Tiere und/oder für Menschen. Sie sind als Verursacher lokaler und systemischer eitriger Prozesse wichtige Infektionserreger bei Tier und Mensch (VALENTIN-WEIGAND, 2011 a).

Medizinisch wichtig sind A-Streptokokken, B-Streptokokken und Pneumokokken. Andere Streptokokken sind opportunistisch pathogen (HOF und DÖRRIES, 2009). Der Mensch ist der einzige natürliche Wirt für A-Streptokokken. Sie sind gegen äußere Einflüsse im Vergleich zu Staphylokokken weniger resistent. Sie halten sich einige Tage im Staub vermehrungsfähig. A-Streptokokken gehören zu den häufigsten bakteriellen Erregern von Infektionen der Haut und des Respirationstraktes (GATERMANN, 2012 c). Die Ausbreitung von A-Streptokokken erfolgt über Tröpfchen- und Schmierinfektionen (HOF und DÖRRIES, 2009). B-Streptokokken kommen vorwiegend bei Tieren vor. Beim Menschen besiedeln sie die Schleimhäute des Urogenital- und Intestinaltraktes. B-Streptokokken zeigen eine gewisse Resistenz gegenüber Umwelteinflüssen (GATERMANN, 2012 c). B-Streptokokken-Infektionen spielen besonders in der Geburtshilfe eine Rolle. Sie können beim Menschen Sepsis, Wund- und Harnwegsinfekte erzeugen (HOF und DÖRRIES, 2009). Pneumokokken kommen beim Menschen sowie bei Affen, Ratten und Meerschweinchen vor. Sie sind sehr empfindlich gegen Kälte, saure und alkalische pH-Werte sowie Austrocknung. Bei Erwachsenen stehen Pneumokokken als Erreger der eitrigen Meningitis an erster Stelle. Weitere Erkrankungen sind Lungenabszess, Pleuraempyem, Perikarditis, Endokarditis, Sepsis und Gonarthrit (GATERMANN, 2012 c). Ungefähr 40 – 70 % aller Menschen sind symptomlose Träger von Pneumokokken. Der natürliche Standort dieser Bakterien ist der Oropharynx. Krankheitsausbrüche sind fast immer endogener Natur (HOF und DÖRRIES, 2009). Selten erfolgt die Übertragung von Mensch zu Mensch (GATERMANN, 2012 c). Streptokokken kommen nach BAUER und HÖRMANSDORFER (2000) nur selten und in geringem Ausmaß in Futtermitteln vor.

#### **6.1.1.1.3 Enterokokken**

Enterokokken sind grampositive, meist paarweise angeordnete Kokken, die sich auch noch bei pH 9,6 in einem Medium mit 6,5 % Kochsalz vermehren (HOF und DÖRRIES, 2009). Sie sind fakultativ anaerob (GATERMANN, 2012 b) und wachsen in einem Temperaturbereich von 10 °C bis 45 °C (VALENTIN-WEIGAND, 2011 a). Dieser Gruppe wurde innerhalb der Gattung *Streptococcus* lange eine gewisse Sonderstellung eingeräumt, bis sie als eigene Gattung abgetrennt wurde (VALENTIN-WEIGAND, 2011 a). Heute werden sie der Familie der Enterococcaceae zugeordnet (GATERMANN, 2012 b). Die meisten Enterokokken besitzen das Gruppenantigen D, einige sind beweglich (VALENTIN-WEIGAND, 2011 a). Enterokokken wurden früher als Fäkalstreptokokken bezeichnet (FORSYTHE, 2010). PFIRRMANN und BÖHM (2000) bezeichnen sie auch als D-Streptokokken. Enterokokken bilden einen Teil der physiologischen Dickdarmflora des Menschen und zahlreicher Säugetiere sowie von Vögeln. Sie kommen weltweit vor. Im Darm überleben sie aufgrund ihrer Resistenz gegen Galle (GATERMANN, 2012 b). Häufig

---

sind sie in Nahrungs- und Futtermitteln, auf Pflanzen, in tierischen oder vom Menschen stammenden Fäzes und im Abwasser zu finden (DEDIÉ et al., 1993). Nach PANGALLO et al. (2008) kommen Enterokokken hauptsächlich in Abwasser und Oberflächenwasser vor. Die wichtigsten Vertreter der Enterokokken sind: *Enterococcus faecalis* und *Enterococcus faecium* (HOF und DÖRRIES, 2009). *Enterococcus faecalis* ist nach FORSYTHE (2010) hauptsächlich mit dem menschlichen Darmtrakt verbunden, während *Enterococcus faecium* sowohl bei Menschen und Tieren nachgewiesen wird. Bestimmte Stämme von *Enterococcus faecium* werden nach BAUER und HÖRMANSDORFER (2000) auch als Probiotika in Futtermitteln eingesetzt. Enterokokken sind recht resistent gegenüber Umwelteinflüssen (GATERMANN, 2012 b). Sie haben eine Hitzeresistenz, welche diejenige der meisten nicht-sporenbildenden pathogenen Bakterien bei weitem überschreitet. Dies gilt auch für die ähnlich definierte chemische Resistenz, die Widerstandsfähigkeit gegenüber Austrocknung und das Gefrieren (MOSSEL et al., 1978). Neben vielen Lokalinfectionen sind Enterokokken vor allem bei Harnwegsinfektionen ursächlich beteiligt. Mehr als 50 % aller chronischen Harnwegsinfektionen werden durch Enterokokken verursacht. 10 % bis 20 % der akuten Harnwegsinfektionen sind Enterokokken bedingt, hauptsächlich solche, die nosokomialer Natur sind (HOF und DÖRRIES, 2009). Enterokokken können aber auch Cholezystitis, Wundinfektionen, Endokarditis und bei Neugeborenen Meningitis hervorrufen (LÜTTICKEN, 1992). Nach VALENTIN-WEIGAND (2011 a) werden Enterokokken als Erreger von Mastitiden, Pneumonien, Urogenitalinfektionen, Endokarditiden und Septikämien beschrieben. Es handelt sich dabei um sporadische, Faktoren beeinflusste Erkrankungen. Nach ROLLE und MAYR (1993) haben sie als Verderbererreger und Ursache unspezifischer Nahrungsmittelvergiftungen eine Bedeutung in der Lebensmittelhygiene. Das Krankheitsbild äußert sich in Erbrechen, Abdominalschmerzen und Durchfall (FEHLHABER, 1992). Enterokokkeninfektionen entstehen endogen. Quelle ist der Darm, von dem aus die Bakterien nach Perforationen oder durch Schmierinfektionen zu Infektionen führen können (GATERMANN, 2012 b). Eine aerogene Übertragung und Infektion ist nach HAHN (1980) aber auch möglich. Die hohe Tenazität in der Umwelt begünstigt den aerogenen Infektionsweg, da die Keime fast ausschließlich sekundär nach Aufwirbelung kontaminierten Staubes und Fäzes in den luftgetragenen Zustand gelangen (DINTER, 1985). Fäkalstreptokokken werden nach FILIP (1988) und ALTHAUS et al. (1982) als Indikator für eine fäkale Verunreinigung und die damit verbundene seuchenhygienische Bedenklichkeit von Wasser geschätzt. In der Trinkwasserverordnung (ANONYM, 2011 c) gelten Grenzwerte für Enterokokken von 0/100 ml Trinkwasser bzw. 0/250 ml Trinkwasser, das zur Abgabe in verschlossenen Behältern bestimmt ist. Der Vorteil des Nachweises von Enterokokken als Indikatororganismus für eine fäkale Verunreinigung ist nach FORSYTHE (2010), dass sie sehr viel langsamer absterben als *Escherichia coli* und somit das Risiko von falsch-negativen Ergebnissen reduzieren. Als

Verursacher unspezifischer Lebensmittelvergiftungen kommt ihnen nach TISLER (1987) auch eine lebensmittelhygienische Bedeutung zu.

### **6.1.1.2 Endosporen bildende grampositive Stäbchen**

#### **6.1.1.2.1 Clostridien**

Clostridien sind ubiquitär verbreitet (BAUER und HÖRMANSDORFER, 2000). Sie kommen in allen Böden der Welt vor und besiedeln regelmäßig den Magen-Darm-Trakt von Mensch und Tier. Besonders bei Herbivoren und Omnivoren sind sie immer im Kot nachweisbar (PFIRRMANN und BÖHM, 2000). Proteolytische und nichtproteolytische Clostridien gehören nach KÖHLER (2011) zu den Anaerobiern und sind Bestandteile des natürlichen Kreislaufs in der Natur bei der Zersetzung organischer Substanzen. Hauptsächlich findet man sie in den oberen Bodenschichten, beispielsweise im Humus, in Gartenerde und im Kompost. Substrate mit einem hohen Anteil organischer Substanzen zeigen besonders hohe Clostridien-Konzentrationen. Pro Gramm Substrat ist mit Konzentrationen im Bereich von  $10^2$  bis  $>10^6$  Sporen/vegetativen Keimen zu rechnen. Die Häufigkeit des Vorkommens pathogener Clostridienarten im Boden nimmt – von *Clostridium chauvoei* abgesehen – etwa in folgender Reihenfolge ab: *Clostridium perfringens*, *Clostridium sordellii*, *Clostridium sporogenes*, *Clostridium botulinum*, *Clostridium tetani*, *Clostridium septicum*, *Clostridium novyi*, *Clostridium histolyticum* u. a. Auch in Klärschlamm und tierischen und pflanzlichen Produkten (BAUER und HÖRMANSDORFER, 2000) sowie in Binnengewässern und Meeressedimenten (QUINN et al., 2011) sind sie zu finden. Nach ZANGERL (2007 b) kommen sie auch in Schmutz, Abwasser, in der Luft und im Futter (Silage) sowie in Rohmilch („Silomilch“) vor. Clostridien können nach AVERY (2006) auch in Gewürzen, rohem Fleisch und Staub enthalten sein. Nach KRÜGER (2010 a) gehören Clostridien zu den Bodenseuchenerregern. Sie bilden taxonomisch eine eigene Klasse, umfassen aber eine sehr heterogene Erregergruppe. Zurzeit geht man von ca. 200 verschiedenen Arten im Genus *Clostridium* aus. Clostridien leben ausschließlich unter anaeroben Verhältnissen. Sie sind Sporenbildner. Der größte Teil von ihnen ist nützlich. Nur wenige Arten (35) sind pathogen und sind an den drei Erkrankungskomplexen Gasödem, Enterotoxämie und Toxikation beteiligt (KRÜGER, 2010 a). Weitere Krankheiten sind u. a. Nahrungsmittelvergiftungen, Tetanus, Gasbrand, Wund- und Weichteilinfektionen, Abszesse sowie pseudomembranöse Kolitis (BAUER und HÖRMANSDORFER, 2000). Von veterinärmedizinischer Bedeutung sind nach QUINN et al. (2011) die folgenden pathogenen Clostridien-Arten: *Clostridium tetani*, *Clostridium botulinum* (Typen A-G), *Clostridium chauvoei*, *Clostridium septicum*, *Clostridium novyi* (Typen A-B), *Clostridium perfringens* (Typen A-E), *Clostridium sordellii*, *Clostridium haemolyticum*, *Clostridium difficile*, *Clostridium colinum*, *Clostridium spiroforme*, *Clostridium piliforme*. Einige Clostri-

dienarten sind als äußerst starke Toxinbildner bekannt. Mit *Clostridium botulinum* infizierte Futtermittel führen zu schweren Intoxikationskrankheiten bei Tieren (BAUER und HÖRMANSDORFER, 2000). In der ökologischen Schweinehaltung sind Clostridien die häufigste Ursache für Saugferkeldurchfall (ANONYM, 2012 d). Eine klinische Relevanz haben Clostridien nach Untersuchungen von KRÜGER (2010 a) beginnend ab einer Sporenzahlen von  $>10^3/g$ , da ab dieser Sporenzahl ein messbares Toxinsignal festgestellt wird. Clostridien haben die Eigenschaft, während ihres Wachstums Endosporen zu bilden. Geht die Zelle unter, so bleibt die Spore als Dauerform (Überlebensform) bestehen (RODLOFF, 2012). Die Sporenbildung erfolgt unter ungünstigen Umweltbedingungen (z. B. Nahrungsmangel) (MÜLLER, 1991). Die Sporen zeichnen sich durch eine große Widerstandsfähigkeit gegen Umwelteinflüsse aus (SAHL, 2001). Sie sind sehr resistent gegen Hitze und Austrocknung sowie gegen Desinfektionsmittel. Die Sporenbildung erlaubt den Clostridien, außerhalb eines anaeroben Milieus zu überleben (RODLOFF, 2012).

#### **6.1.1.2.1.1 *Clostridium perfringens***

*Clostridium perfringens* ist ein kurzes, plumpes, meist einzeln gelagertes Stäbchen, das im Unterschied zu den meisten anderen Clostridien unbeweglich ist (SELBITZ, 2011 a). Dieses Bakterium ist wie alle Clostridien ein strikt anaerobes, es kann nach GIBBS (2002) aber auch für kurze Zeit aerotolerant sein. *Clostridium perfringens* wachsen bei einer Temperatur von 15 °C bis 50 °C und bei einem pH-Wert von 5,5 – 8,0 (AVERY, 2006). Der optimale Temperaturbereich für das Wachstum liegt nach Angaben von GIBBS (2002) bei 43 – 45 °C. Unter optimalen Wachstumsbedingungen können *Clostridium perfringens* nach Angaben des Autors ihre Anzahl alle 8 – 10 min verdoppeln. *Clostridium perfringens* werden im Boden, Kot und im Intestinaltrakt von Tieren und Menschen nachgewiesen (QUINN et al., 2011). Bei 90 % der Menschen ist *Clostridium perfringens* Bestandteil der Dickdarmflora und im Erdboden sind hohe Sporenzahlen von *Clostridium perfringens* zu finden (SCHÜTT-GEROWITT, 2012 a). Im Kot von erkrankten Schweinen werden nach EL SUKHON (1974) (zit. nach STÖCKLEIN, 2005) *Clostridium perfringens* in Mengen bis zu  $10^9$  Keime/g Kot ermittelt. Die Sporen von *Clostridium perfringens* können im Boden mehrere Monate überleben (QUINN et al., 2011). Durch *Clostridium perfringens* werden Enterotoxämien und nekrotisierende Enteritiden sowie Gasödeminfektionen verursacht (SELBITZ, 2011 a). Eine Enterotoxämie mit *Clostridium perfringens* wird durch Toxine ausgelöst, die bei der Sporenbildung im Darm freigesetzt werden. Zur Auslösung von Krankheitserscheinungen ist die Aufnahme lebender Erreger in einer hohen Konzentration von über  $10^6/g$  notwendig (ZANGERL, 2007 a). Die für die Erkrankung notwendige große Zahl von Erregern setzt deren Vermehrung im Lebensmittel voraus. Infektionsquellen sind vor allem ungenügend gekochtes Fleisch und

Reisgerichte, in denen die Sporen von *Clostridium perfringens* die Zubereitung überdauert haben. In die Lebensmittel gelangen Sporen von *Clostridium perfringens* aus der Umwelt (SCHÜTT-GEROWITT, 2012 a). *Clostridium perfringens* kommen ebenso wie *Clostridium novyi*, *Clostridium septicum* und *Clostridium histolyticum* als Erreger des Gasbrandes vor. Gasbrand ist eine im Vergleich zu anderen Infektionskrankheiten des Menschen seltene, aber durch die immer noch hohe Letalität bedeutsame Erkrankung (SELBITZ, 2011 a). In Deutschland treten jährlich ca. 100 Fälle der Gasbranderkrankung auf (SCHÜTT-GEROWITT, 2012 a). In der ökologischen Landwirtschaft haben Erkrankungen durch *Clostridium perfringens* eine wichtige Bedeutung. So werden nach ANONYM (2012 d) rund 40 % der Saugferkeldurchfälle durch *Clostridium perfringens* verursacht.

#### **6.1.1.2.1.2 *Clostridium botulinum***

*Clostridium botulinum* ist in der Natur ubiquitär verbreitet (FORSYTHE, 2010). Es kommt in Böden, Wasser und Meeressedimenten vor (GIBBS, 2002). Nicht toxinbildende Stämme von *Clostridium botulinum* werden auch im Darm gesunder Menschen und Tiere nachgewiesen. Für die Vermehrung von *Clostridium botulinum* haben anaerobe Milieubedingungen, der pH-Wert, organische Substanzen und bakterielle Antagonisten eine Bedeutung, wichtig ist ferner eine Temperatur über 20 °C (SELBITZ, 2011 a). Die Grenzen für das Wachstum liegen bei einem pH-Wert von 4,6 und 9,0. Außerdem hängen die Bedingungen für die Vermehrung und die Toxinproduktion nach AVERY (2006) sehr von den einzelnen *Clostridium botulinum*-Stämmen ab. Einige Stämme wachsen bei 3 °C und andere bei 48 °C. Eine Vermehrung von *Clostridium botulinum* kann bei einem Salzgehalt von 10 % nach Angaben der Autorin nicht erfolgen und in Nahrungsmitteln wirken Nitrit und konkurrierende Mikroorganismen wachstumshemmend. Auch erregerhaltige Tierkadaver spielen eine wesentliche Rolle für die Vermehrung von *Clostridium botulinum*, durch die es zur Kontamination pflanzlicher Futtermittel kommen kann. Die Bildung und Anreicherung von Toxinen finden auch im Schlamm von Gewässern statt, in Arthropoden wurde *Clostridium botulinum* ebenfalls nachgewiesen. Fliegenmaden können u. U. hohe Toxindosen enthalten (SELBITZ, 2011 a). Da die Sporen von *Clostridium botulinum* ubiquitär verbreitet sind, erfolgt die Kontamination von Lebensmitteln bzw. Wunden aus der Umwelt (SCHÜTT-GEROWITT, 2012 b). Diese kann nach FORSYTHE (2010) unter anderem auch durch luftgetragene Sporen erfolgen. Lebensmittel werden nach Angaben von ZANGERL (2007 a) vor allem über Erdverschmutzungen und Staub kontaminiert. Fische, Schalentiere, Fleisch, Gemüse, Bohnen, Pilze und Konserven sind nach AVERY (2006) die häufigsten Quellen für Botulismus. Klassischer Botulismus ist keine Infektionskrankheit, sondern eine reine Intoxikation, bei der außerhalb des Körpers gebildete Neurotoxine mit der Nahrung

aufgenommen werden (SELBITZ, 2011 a). Es gibt 8 verschiedene Typen, wobei die Typen A, B, E und F für den Menschen pathogen sind (SCHÜTT-GEROWITT, 2012 b). Die stärkste Giftwirkung hat das A-Toxin (SELBITZ, 2011 a). Die letale Dosis für den Menschen beträgt bei oraler Aufnahme 1 µg, bei aerogener Aufnahme noch weniger (SCHÜTT-GEROWITT, 2012 b). Nach Angaben von RODLOFF (2012) wirkt bereits 1 ng/kg des Botulinumtoxins A oder B für den Menschen tödlich. Botulinum-Toxine werden in kontaminierten Gemüse- und Fleischkonserven sowie Würsten und ähnlichen Produkten unter anaeroben Bedingungen gebildet. Auch Fische sind an der Intoxikation des Menschen beteiligt (SELBITZ, 2011 a). Die Bildung der Neurotoxine erfolgt bei einer Keimzahl von über  $10^6$ /g (ZANGERL, 2007 a). Die Aufnahme der Toxine erfolgt oral oder aerogen, sie können aber auch im Körper des Menschen im Sinne einer Toxiinfektion gebildet (Wundbotulismus, Säuglingsbotulismus) gebildet werden (SCHÜTT-GEROWITT, 2012 b). Die Toxine zeigen in der Umwelt eine hohe Stabilität (SELBITZ, 2011 a). Allerdings sind sie nach ZANGERL (2007 a) hitzeempfindlich und werden durch kurzes Aufkochen vollständig inaktiviert. Hierfür ist nach RODLOFF (2012) eine Kochdauer von 10 min erforderlich. Botulismus kommt heute nur noch selten vor, wird aber bei älteren Patienten leicht mit anderen neurologischen Erkrankungen verwechselt (RODLOFF, 2012). Der Botulismus des Menschen unterliegt der Meldepflicht. In Deutschland wurden 2007 9 Fälle und 2008 10 Fälle erfasst. In der Humanmedizin wird Botulismustoxin bei verschiedenen Indikationen therapeutisch eingesetzt, außerdem dient es kosmetischen Zwecken bei der Glättung von Falten (SELBITZ, 2011 a). Zu den Risikogruppen für eine Erkrankung mit *Clostridium botulinum* gehören Drogenabhängige und Menschen, die eigene Konserven (Hülsenfrüchte, Fleisch) im Haushalt herstellen und verzehren.

#### **6.1.1.2.1.3 *Clostridium tetani***

*Clostridium tetani* ist ein schlankes Stäbchenbakterium, dessen terminal gelagerte runde Sporen der Zelle ihre typische Trommelschlägelform verleihen (SELBITZ, 2011 a). *Clostridium tetani* ist der Erreger des Wundstarrkrampfes, der in der Natur weit verbreitet ist (RODLOFF, 2012). *Clostridium tetani* ist ein Bodenbakterium, das aber auch im Darm gesunder Menschen und Tiere vorkommt (SELBITZ, 2011 a). In Staub kann *Clostridium tetani* nach SCHÜTT-GEROWITT (2012 c) auch enthalten sein. Zwischen der Häufigkeit von *Clostridium tetani* im Boden und der Gabe von Stalldung besteht nach SELBITZ (2011 a) ein Zusammenhang, den der Autor nicht weiter ausführt. Die Sporen von *Clostridium tetani* haben eine hohe Umweltresistenz. Sie dringen über Wunden – auch Bagatellverletzungen – in den Körper ein. Durch Tierbisse kann die vegetative Form von *Clostridium tetani* übertragen werden (SCHÜTT-GEROWITT, 2012 c). Entscheidend für die Virulenz ist das Tetanus-Neurotoxin. Es sind alle Säugetiere empfänglich, am stärksten Einhufer, gefolgt von kleinen Wiederkäuern, Rindern und Schweinen, Hunde

und Katzen sind weniger empfindlich, Vögel weitgehend resistent (SELBITZ, 2011 a). Weltweit wird die Zahl der Tetanustoten auf 1 Million pro Jahr geschätzt. In Ländern mit einer hohen Durchimpfungsrate ist Tetanus selten geworden (RODLOFF, 2012). Allerdings ist Tetanus trotz der Intensivmedizin beim Menschen eine lebensbedrohende Erkrankung geblieben. Bei den in Deutschland zwischen 1991 und 1995 registrierten Tetanusfällen trat eine Letalität von 25 % in Erscheinung (SELBITZ, 2011 a). Zu den Risikogruppen gehören nach SCHÜTT-GEROWITT (2012 c) alle nicht oder unvollständig geimpften bzw. nicht adäquat „aufgefrischten“ Menschen.

#### **6.1.1.2.1.4 *Clostridium difficile***

*Clostridium difficile* sind grampositive, bis zu 17 µm lange Stäbchen, die subterminale Sporen ausbilden (SCHÜTT-GEROWITT, 2012 d). Die Sporen haben eine ovale Form (HOF und DÖRRIES, 2009). *Clostridium difficile* kann sich nur unter anaeroben Bedingungen vermehren (SCHÜTT-GEROWITT, 2012 d). *Clostridium difficile* kommt in der Fäkalflora von 1 - 4 % der gesunden Erwachsenen und von 30 - 50 % der Kleinkinder im 1. Lebensjahr vor (KAYSER und BÖTTGER, 2010 c). Weltweit kommen Sporen von *Clostridium difficile* im Boden und in Gewässern vor. Diese sind sehr resistent gegenüber Umwelteinflüssen und Desinfektionsmitteln (SCHÜTT-GEROWITT, 2012 d). Zur Desinfektion sollten sauerstoffabspaltende Mittel (Peroxide) verwendet werden (HOF und DÖRRIES, 2009). *Clostridium difficile* ist ein Erreger der antibiotikaassoziierten Diarrhö, ursächlich für die pseudomembranöse Kolitis und kann in seltenen Fällen zum toxischen Megakolon führen. Voraussetzung für das Infektionsgeschehen ist in der Regel eine vorangegangene antibiotische Therapie, die die Vermehrung von *Clostridium difficile* begünstigt hat. Der Erreger kann fäkal-oral übertragen werden und zu Ausbruchssituationen in Krankenhäusern und Altenpflegeheimen führen. Die Krankheitserscheinungen werden durch die beiden gebildeten Toxine A (Enterotoxin) und B (Zytotoxin) bedingt (RODLOFF, 2012). In manchen Krankenhäusern trat die pseudomembranöse Kolitis in den letzten Jahren epidemisch auf (HOF und DÖRRIES, 2009). *Clostridium difficile* ist heute als einer der wichtigsten Verursacher nosokomial erworbener Diarrhöen anzusehen (SCHÜTT-GEROWITT, 2012 d). Inzwischen sind aber auch außerhalb von Krankenhäusern erworbene Infektionen bekannt und in der Veterinärmedizin konnte *Clostridium difficile* als Verursacher von Durchfallerkrankungen bei Schweinen, Kälbern, Hunden, Katzen, Kaninchen und Hamstern sowie bei der Kolitis von Pferden (SELBITZ, 2011 a) nachgewiesen werden. Zu den Risikogruppen zählen vor allem ältere Patienten und Kinder, die eine antibiotische oder antineoplastische Therapie bekommen, sowie seltener Patienten, bei denen es postoperativ oder aus anderen Gründen zu einer Stagnation des Darminhaltes gekommen ist (SCHÜTT-GEROWITT, 2012 d). Eine endgültige Bewertung der Bedeutung als Krankheitserreger für Tiere sowie

eines eventuellen zoonotischen Potenzials sind nach SELBITZ (2011 a) noch nicht möglich.

#### **6.1.1.2.2 Bazillen**

Unter Bazillen versteht man grobe, plumpe, aerobe Stäbchenbakterien, die in der Lage sind pro Zelle eine Endospore zu bilden. Die Gattung *Bacillus* umfasst mehr als 200 Arten (QUINN et al., 2011). Nur eine davon, *Bacillus anthracis*, ist für den Menschen obligat pathogen. Die meisten anderen sind als ubiquitär verbreitete Boden- und Wasserbakterien fakultativ pathogen oder absolut apathogen. Sie werden in der industriellen Mikrobiologie eingesetzt (HOF und DÖRRIES, 2009). Bazillen wachsen aerob oder fakultativ anaerob und sind an verschiedene Umweltbedingungen angepasst, so dass psychrophile, thermophile, alkaliphile und acidophile Arten unterschieden werden können (BAUER und HÖRMANSDORFER, 2000). Sie sind sehr umweltresistent und kommen häufig als Kontaminanten vor. Einige Arten können durch Toxinbildung zu ernsthaften Erkrankungen führen (HAHN, 2012).

##### **6.1.1.2.2.1 *Bacillus anthracis***

Milzbrand oder auch Anthrax ist eine ansteckende und oft tödlich verlaufende Tierkrankheit und zählt zu den anzeigepflichtigen Tierseuchen und Zoonosen. Die Bezeichnung Milzbrand ergibt sich aus der Beobachtung, dass bei kranken Tieren die Milz häufig wie „verbrannt“ aussieht (ANONYM, 2012 e). Am Anfang der Ansteckungskette stehen normalerweise pflanzenfressende Säugetiere. Abhängig vom Ansteckungsweg können die Haut (Hautmilzbrand), die Lunge (Lungenmilzbrand) oder der Darm (Darmmilzbrand) betroffen sein. Zusätzlich wurde in der jüngeren Vergangenheit beim Menschen das Krankheitsbild des Injektionsmilzbrandes bei Drogenabhängigen beschrieben. Unbehandelt verläuft Anthrax für den Menschen häufig tödlich (ANONYM, 2012 f). Milzbrand wird durch das sporen- und toxinbildende Bakterium *Bacillus anthracis* verursacht (ANONYM, 2012 e). Es handelt sich um grampositive, eckige, sehr große Stäbchen (3 - 10 µm lang, 1 - 1,5 µm breit), die teilweise in Ketten liegen. *Bacillus anthracis* wächst aerob und vermehrt sich unter optimalen Bedingungen sehr schnell. Wenn die Lebensbedingungen schlecht werden (Nährstoffmangel, Austrocknung), setzt bei Vorhandensein von Sauerstoff die Sporenbildung ein (SCHÜTT-GEROWITT, 2012 e). Auf diese Weise kann *Bacillus anthracis* über sehr lange Zeiträume schwierige Lebensbedingungen überstehen (VALENTIN-WEIGAND, 2011 c). Milzbrand kommt weltweit vor, bevorzugt in wärmeren Klimazonen (Südosteuropa, Südamerika, Afrika, Südostasien). An Milzbrand können insbesondere pflanzenfressende Nutz- und Zuchttiere erkranken. Besonders häufig sind Huftiere, wie Schweine, Ziegen und Pferde betroffen.

Raubtiere können sich durch Fressen von infizierten Kadavern anstecken. Haus- und Wildwiederkäuer sind hochempfindlich für Milzbrand. Schweine, Fleischfresser und auch Menschen sind eher mäßig empfänglich und Vögel (Ausnahme Strauß) gelten als nahezu unempfindlich für Milzbrand. Die Ansteckung erfolgt meist nicht direkt von Tier zu Tier, sondern über erregerhaltiges Futter, das mit aus dem Erdreich stammenden Milzbrandsporen verunreinigt ist. Der Mensch infiziert sich über Kontakt mit erkrankten oder verendeten Tieren bzw. deren Ausscheidungen, Sekrete, Blut und Gewebe (ANONYM, 2012 e). Nach GREUEL (1991) kann sich der Mensch auch über die Inhalation von sporenhaltigen Staubs anstecken. Anthrax-Fälle werden nach QUINN et al. (2011) auch durch den Einsatz von Düngemitteln, tierischen Ursprungs hervorgerufen. Ferner kann über die Handhabung von an Milzbrand gefallenem bzw. von notgeschlachteten erkrankten Tieren oder durch kontaminierte Materialien wie Felle und Wolle, etc. eine Erkrankung verursacht werden. Auch der Verzehr von sporenhaltigem nicht erhitztem Fleisch bzw. entsprechender Produkte kann zu einem Milzbrandausbruch führen. Der infizierte (kranke) Mensch ist äußerst selten Infektionsquelle. Nur im fortgeschrittenen Krankheitsstadium ist über Nasen- bzw. Rachensekret, Sputum, Erbrochenes, Lungenauswurf, Stuhl und Gewebe z. B. Schorf eine Infektion möglich. Der Mensch infiziert sich durch direkten oder indirekten Kontakt (Schmutz- und Schmierinfektion) mit infizierten Tieren oder tierischen Produkten. Häufig treten Milzbrandfälle in der Nähe zu Wasenplätzen und ehemaligen Gerbereistandorten auf. In industrialisierten Ländern kommt Milzbrand sehr selten vor. In Deutschland tritt Milzbrand nur noch sporadisch und bevorzugt in bestimmten Gegenden, sogenannten Milzbranddistrikten, auf. Hierbei handelt es sich um Flussniederungen, die häufigen Überschwemmungen ausgesetzt sind, wobei den Abwässern von an diesen Flüssen liegenden Gerbereien eine besondere Bedeutung zukommt. Die Krankheit ist in den letzten Jahrzehnten in Deutschland zahlenmäßig beträchtlich zurückgegangen, weil die an Milzbrand erkrankten Tiere in den Tierkörperbeseitigungsanstalten unschädlich beseitigt werden, die Einfuhr von Tierhäuten und Knochen überwacht wird und die Einfuhr von Knochen-, Fleisch- und Tierkörpermehlen verboten ist. Im Zeitraum von 1981 – 2010 wurden insgesamt 42 Milzbrandausbrüche bei Tieren erfasst (ANONYM, 2012 e). Allerdings gab es nach ANONYM (2012 g) erst kürzlich in Sachsen-Anhalt einen Ausbruch an Milzbrand bei dem 9 Tiere einer Rinderherde verendeten und bei dem vorsorglich 50 Menschen mit Antibiotika behandelt wurden. Im Jahr 2011 wurde keine Milzbranderkrankung beim Menschen übermittelt. Nachdem im Dezember 2009 ein Fall von Milzbrand bei einem Heroinkonsumenten aus Nordrhein-Westfalen bekannt geworden war, wurde aus diesem Bundesland im April 2010 ein weiterer Fall bei einem Heroinkonsumenten übermittelt. Diese Fälle standen im Zusammenhang mit Fällen, die seit Dezember 2009 unter Heroinkonsumenten in Großbritannien aufgetreten waren. Vor 2009 war der letzte Fall von Milzbrand in Deutschland im Jahr 1994 bekannt geworden (ANONYM, 2012 f). In die

Umwelt gelangt das vegetative Bakterium mit den Ausscheidungen der Tiere, wo es versport und so Jahrzehnte oder länger in der Umwelt überdauern und zu neuen Infektionen führen kann (SCHÜTT-GEROWITT, 2012 e). Im Boden können Anthrax-Sporen mehr als 50 Jahre überleben (QUINN et al., 2011). Sie werden weder durch Fäulnis, noch durch Eintrocknen oder beim Gerben von Häuten vernichtet (ANONYM, 2012 e). In einigen Regionen können Milzbrandsporen im Boden in konzentrierter Form auftreten. Die Böden in solchen Gebieten sind nach QUINN et al. (2011) alkalisch, reich an Calcium und Stickstoff und haben einen hohen Wassergehalt. Als Risikogruppen für Anthrax kommen nach SCHÜTT-GEROWITT (2012 e) Schafscherer, Gerber, Tierärzte, Arbeiter in Pinselfabriken und in der Wollverarbeitung sowie Menschen in den armen Ländern, die Fleisch verendeter Tiere schlecht gegart essen, in Betracht.

#### **6.1.1.2.2.2 *Bacillus cereus***

*Bacillus cereus* ist ein großes, freibewegliches, gram-positives, fakultativ aerobes Stäbchen. *Bacillus cereus* wächst in einem Temperaturbereich von 4 °C bis 52 °C (FORSYTHE, 2010) und bei einem pH-Wert von 4,3 – 9,3 (GIBBS, 2002), wobei das Optimum für die Temperatur bei 30 - 37 °C und für den pH-Wert bei 6,5 – 7,5 (ZANGERL, 2007 a) liegt. *Bacillus cereus* ist ubiquitär in der Natur verbreitet. Die Bakterien können aus Böden, Pflanzen, Frischwasser, Fleisch, Milch, Reis und Fisch sowie aus tierischen Haaren isoliert werden (FORSYTHE, 2010). Ferner werden sie in Staub, Stroh, Heu, Luft, Kot und in Gewürzen (ZANGERL, 2007 a) nachgewiesen. In Lebensmitteln sind sie normalerweise in geringen Konzentrationen ( $<10^2$  KBE/g) zu finden (FORSYTHE, 2010). *Bacillus cereus* produziert neben einer Vielzahl von Toxinen, 3 Toxine, die mit Lebensmittelvergiftungen assoziiert sind: ein emetisches Toxin und zwei Enterotoxine (HAHN, 2012). Diese rufen zwei Formen einer Enteritis – eine emetische bzw. eine diarrhöische – hervor (STEIN, 2006). Die Infektionsdosis für das emetische Syndrom und das Diarrhösyndrome durch *Bacillus cereus* beträgt nach GIBBS (2002)  $10^5 - 10^8$  Keime/g Nahrungsmittel bzw.  $10^5 - 10^7$  konsumierte Zellen. *Bacillus-cereus*-Enteritiden sind weltweit verbreitet, mit einer hohen Inzidenz in den Niederlanden, Finnland, Ungarn und Kanada. Sie treten sporadisch und endemisch auf. Seit 1994 dominiert *Bacillus cereus* als Problemkeim bei Lebensmittelvergiftungen in Gemeinschaftsverpflegungen. So hat er von 1998 bis 2001 62 % der Einzelfälle und 67 % der Ausbrüche verursacht (STEIN, 2006). *Bacillus cereus* wachsen sehr gut in gekochten Lebensmitteln aufgrund einer fehlenden und konkurrierenden Mikroflora und die Sporen können viele Kochprozesse überleben (FORSYTHE, 2010). Die vegetativen Keime sind sehr säureempfindlich (im Gegensatz zu den Sporen) und sterben rasch bei pH-Werten von 4 und darunter ab (ZANGERL, 2007 a). In der Tiermedizin ist die Rindermastitis die wichtigste durch diesen Erreger bedingte Infektion der Tiere.

Vereinzelt wurde über Aborte bei Schafen und Pferden sowie über Dermatitis bei Pferden und Diarrhöen und Erbrechen bei Hunden berichtet (SELBITZ, 2011 a).

### **6.1.1.3 Gleichförmige, nicht Sporen bildende, grampositive Stäbchen**

#### **6.1.1.3.1 Listerien**

Listerien sind fakultativ anaerobe, kurze, grampositive, stäbchenförmige oder zum Teil kokkoide Bakterien (0,4 – 0,5 µm x 0,5 – 2,0 µm). Alle Vertreter dieser Gattung sind bei 20 °C bis 25 °C beweglich (BAUER und HÖRMANSDORFER, 2000). Die Bakterien wachsen in einem weiten Temperaturbereich von 4 °C bis 45 °C und können pH-Werte zwischen 5,5 und 9,6 tolerieren (QUINN et al., 2011). Nach ZANGERL (2007 a) können Listerien auch noch bei einer Temperatur von 1 °C bzw. einem pH-Wert von 4,3 wachsen. FORSYTHE (2010) gibt als untere Wachstumstemperatur einen Wert von -0,4 °C an. Innerhalb der Gattung *Listeria* spielt *Listeria monocytogenes* als tier- und menschenpathogene Spezies die Hauptrolle, auch *Listeria ivanovii* ist pathogen, die übrigen Arten sind als apathogen einzustufen (SELBITZ, 2011 b). Für die Epidemiologie der Listeriosen sind v. a. das breite Wirtsspektrum der pathogenen Vertreter und ihr weites Vorkommen in der Umwelt bestimmend. Listerien wurden bei allen Haustieren sowie vielen Arten von Wildsäugetieren und Vögeln, aber auch Fischen, Amphibien und Reptilien nachgewiesen. Isolierungen bei einigen Arthropodenarten deuten auf eine mögliche Überträgerrolle dieser Tiergruppe hin (SELBITZ, 2011 b). Bei 1 – 10 % der Menschen können *Listeria monocytogenes* nach FORSYTHE (2010) im Darm nachgewiesen werden. Auch im Darm klinisch gesunder Tiere kommen die Bakterien vor und gelangen mit den Ausscheidungen in die Umwelt (SELBITZ, 2011 b). In der Umwelt sind Listerien weit verbreitet. Sie wurden aus Erde, Pflanzen, Abwasser, Lebens- und Futtermitteln isoliert (BAUER und HÖRMANSDORFER, 2000). Auch in Abfällen (MIELKE, 2012), Kompost (ANONYM, 2012 h) und Oberflächenwasser (SELBITZ, 2011 b) sind sie zu finden. Listerien zeichnen sich durch ihre Resistenz gegenüber ungünstigen Umweltbedingungen aus (ZANGERL, 2007 a). Sie überleben diese länger als viele andere nicht-sporenbildende Pathogene (FORSYTHE, 2010). Ihre Resistenz wird besonders von der hohen Temperatur- und pH-Wert-Toleranz geprägt (SELBITZ, 2011 b). Listerien sind sowohl bei tiefen pH-Werten und hohen Salzkonzentrationen überlebensfähig als auch widerstandsfähig gegenüber Trockenheit (ZANGERL, 2007 a). In Kulturmedien überleben sie bei 4 °C für 3 – 4 Jahre. In Heu, Erde, Stroh, Silofutter und Milch halten sie sich über mehrere Wochen und Monate (MIELKE, 2012). In Wasser können Listerien lange überleben und in Wasseransammlungen (feuchte Stellen, Kondenswasser) können sie sich vermehren (ZANGERL, 2007 a). Auch gegenüber Hitze sind die Erreger relativ resistent. Die Fähigkeit zum Wachstum bei niedrigen Temperaturen (z. B. 4 °C) hat darüber hinaus zur Folge, dass sich *Listeria monocytogenes* in kontaminierten Speisen

auch im Kühlschrank vermehren (MIELKE, 2012). Eine besondere Rolle spielt Silage, in der sich die Bakterien dann gut vermehren können, wenn der pH-Wert aufgrund unzureichender Säuerung nicht unter 5 absinkt. Eine Infektion mit Listerien setzt daher keinen Kontakt mit infizierten Tieren voraus (SELBITZ; 2011 b), sondern kann über Futter, das mit Listerien kontaminiert ist und über fäkale Verunreinigungen (ZANGERL, 2007 a) erfolgen. Listerien werden wegen der Ansteckungsmöglichkeit über Umweltmaterial als Geo- oder Sapronosen eingestuft. Direkte Übertragungen sind zwar möglich, treten aber seltener auf (SELBITZ; 2011 b). Die Übertragung der Listerien auf den Menschen erfolgt vor allem durch Aufnahme kontaminierter Tierprodukte (Milch, Käse, Wurst, Meeresfrüchte) und durch Umgang mit infizierten Tieren. Darüber hinaus ist auch eine Übertragung durch Staub, kontaminierte Erde und pflanzliche Nahrungsmittel (Salate, Pilze) möglich. Bis zu 80 % der genannten Lebensmittel sind kontaminiert, meist jedoch nur im geringen Maße, sodass es bei immunologisch Gesunden nicht zu einer Erkrankung kommt (WELZEL et al, 2012). Über die minimale Infektionsdosis können keine genauen Aussagen getroffen werden, es wird jedoch davon ausgegangen, dass für eine Infektion bei gefährdeten Personen  $>10^2$  *Listeria monocytogenes*/g Lebensmittel vorhanden sein müssen (ZANGERL, 2007 a). In der Lebensmittelindustrie vieler europäischer Länder gelten 100 CFU von *Listeria monocytogenes* pro Gramm Lebensmittel als Grenzwert; ab  $>1.000$  CFU muss mit dem Auftreten einer Listeriose gerechnet werden (WELZEL et al., 2012). Die Listeriose ist eine Meldepflichtige Krankheit (ANONYM, 2011 f; ANONYM, 2012 f). Sie ist eine Erkrankung mit langer Inkubationszeit (eine bis einige Wochen und länger), die mit Brechdurchfall oder grippeähnlichen Symptomen bis hin zum Krankheitsbild der Gehirnhautentzündung einhergeht. Außerdem kann die Infektion zu Blutvergiftung und zu Entzündungen verschiedener Organe wie Auge, Harnröhre, Herz, Lunge oder Leber führen. Eine Infektion von Schwangeren führt häufig zu Fehl- oder Totgeburten. Erkrankungen treten zwar selten auf (3 – 10 Erkrankungen pro 1 Million Einwohner pro Jahr), haben aber einen schweren Krankheitsverlauf, etwa 20 – 30 % der Erkrankten sterben (ZANGERL, 2007 a). Besonders gefährdet sind aufgrund von Störungen in der zellulären Immunität, Krebskranke, Transplantierte sowie Patienten mit Leberzirrhose und Patienten unter Kortisontherapie oder Therapie mit anderen immunsuppressiven Medikamenten. Auch Föten und Neugeborene gehören zu den Risikogruppen, da ihr Immunsystem noch nicht ausgereift ist. Bei älteren Patienten (über 50 Jahren) ist *Listeria monocytogenes* nach *Streptococcus pneumoniae* die häufigste Meningitisursache. Als Risikofaktor gilt ferner das Vorliegen einer anaziden Gastritis, bei der die Erreger nicht durch die Magensäure abgetötet werden. Zu den Risikogruppen gehören auch alle Berufsgruppen, die mit Tieren zu tun haben, z. B. Tierärzte, Landwirte und Metzger (WELZEL et al., 2012).

### 6.1.1.3.2 Erysipelothrix

*Erysipelothrix rhusiopathiae* ist ein grampositives, unbewegliches nichtsporenbildendes, aerob und anaerob wachsendes Stäbchen (MIELKE, 2012) mit Ketten- und Fadenbildung (SONNTAG, 2012). *Erysipelothrix rhusiopathiae* ist resistent gegenüber hohen Salzkonzentrationen und wächst in einem Temperaturbereich von 5 °C bis 42 °C und in einem pH-Wert-Bereich von 6,7 bis 9,2 (QUINN et al., 2011). Das Temperaturoptimum liegt zwischen 30 °C und 37 °C (BAUER und HÖRMANSDORFER, 2000). Der Erreger verursacht den Schweinerotlauf, eine Zoonose (MIELKE, 2012). *Erysipelothrix rhusiopathiae* ruft insbesondere Erkrankungen beim Schwein, seltener beim Pferd, Rind, Geflügel und Fisch hervor. Es handelt sich dabei meistens um lokale Hauterkrankungen und nur selten um systemische Erkrankungen wie Arthritis, Endokarditis oder Sepsis. Beim Menschen kann *Erysipelothrix rhusiopathiae* auch zu lokalen Infektionen (Erysipeloid) und seltener zu systemischen Infektionen (Endokarditis) führen. Über kleine Verletzungen, meist an den Händen führt der Kontakt mit infizierten Tieren, bzw. deren Fleisch zur Infektion, dem Erysipeloid, einer juckenden, schmerzenden Schwellung mit blau-rötlicher Verfärbung, die als kutane Manifestation in der Regel nach ca. 2 – 3 Wochen unter Schuppung abheilt. Die besondere Bedeutung von *Erysipelothrix rhusiopathiae* bei Menschen ist in der hohen Letalität der Endokarditis begründet (SONNTAG, 2012). Infiziert werden vorzugsweise Metzger und Köche, die mit dem Fleisch infizierter Schweine arbeiten. Allerdings kommen auch Fisch oder Geflügel als Infektionsquelle in Betracht (MIELKE, 2012). Der Erreger wurde auch aus Hunden, Katzen und Wildsäugetieren und Wildvögeln isoliert (QUINN et al., 2011). *Erysipelothrix rhusiopathiae* kommt nach BUNCIC (2006) im Boden vor. Auch Oberflächenwasser kann mit dem Rotlaufferreger kontaminiert sein (QUINN et al., 2011). Zur Kontamination der Umwelt kommt es nach BAUER und HÖRMANSDORFER (2000) über die tierischen Ausscheidungen (Kot und Urin), insbesondere betroffen sind nach Angaben der Autoren Boden, Wasser und Futterpflanzen. *Erysipelothrix rhusiopathiae* besitzen eine hohe Tenazität, die ihnen das Überleben in Erdboden, Gewässern und Abwässern unter günstigen Bedingungen (alkalisches Milieu, hohe Feuchtigkeit, niedrige Temperaturen) über mehrere Monate ermöglicht. Ebenso ist die Überlebensfähigkeit in faulem tierischen Material in getrocknetem Zustand und auch gepökelten, gesalzenen und geräucherten Fleischerzeugnissen hoch. Im Boden findet höchstwahrscheinlich keine Vermehrung statt. Es handelt sich dort nur um das Überleben des infektionstüchtigen Erregers. Wichtigster Wirt ist das Schwein, erkrankte Tiere scheiden die Bakterien massenhaft mit Harn, Kot und Sekreten aus (SELBITZ, 2011 b). Der wichtigste Übertragungsweg für Schweine ist die orale Infektion durch kontaminierte Futtermittel bzw. Wasser (BAUER und HÖRMANSDORFER; 2000). Zu den Risikogruppen gehören Tierärzte sowie Arbeiter in der Fleisch und Fisch verarbeitenden Industrie. Infektionen

können allerdings auch im häuslichen Milieu beim Umgang mit tierischen Produkten auftreten (SONNTAG, 2012).

#### **6.1.1.4 Aktinomyzeten**

##### **6.1.1.4.1 Rhodococcus**

Rhodococcus ist ein unbewegliches, aerob wachsendes kokkoides Bakterium, das fakultativ intrazellulär ist. Es bildet zuerst kokkoide Formen oder Kurzstäbchen, die sich dann zu Filamenten und schließlich zu Gebilden mit ausgeprägten Verzweigungen entwickeln. Diese zerfallen schließlich wieder in kokkoide Zellen oder Kurzstäbchen und beginnen damit den morphologischen Zyklus neu. In vielen ihrer Eigenschaften sind sie den Mykobakterien sehr ähnlich. Rhodokokken sind in der Umwelt weit verbreitet und kommen v. a. im Boden vor. Der wichtigste Vertreter ist *Rhodococcus equi*. *Rhodococcus equi* kommt im Kot von Pflanzenfressern und Schweinen vor und kann nach Ausscheidung im Boden längere Zeit überleben. Der Erreger ist außerordentlich resistent gegenüber sauren pH-Werten und oxidativem Stress. Von der kontaminierten Umwelt aus erfolgen Ansteckungen auf oralem und aerogenem Weg. Eine wichtige Rolle spielt daher die Staubentwicklung (z. B. durch Wärme und Trockenheit) und damit einhergehende Inhalation des Erregers. Pferde sind die mit Abstand am häufigsten betroffenen Tiere. Er ist auch für Menschen pathogen. Er wird zunehmend bei HIV-Patienten nachgewiesen und ist dort der wichtigste Erreger der AIDS-assoziierten Pneumonien (VALENTIN-WEIGAND, 2011 b).

##### **6.1.1.4.2 Mykobakterien**

Das Genus *Mycobacterium* bildet die einzige Gattung aus der Familie der Mycobacteriaceae (BANGE et al., 2012). Sie umfasst weit in der Natur verbreitete saprophytäre Arten, aber auch Spezies die bedeutende Infektionen bei Tieren und Menschen (Tuberkulose, Lepra, Paratuberkulose) auslösen (KAYSER und BÖTTGER, 2010 c; VALENTIN-WEIGAND, 2011 b). Es sind über 150 verschiedene Arten beschrieben. Mykobakterien sind aerobe, gerade bis leicht gekrümmte, unbewegliche Stäbchen von  $0,2 - 0,6 \times 1,0 - 10 \mu\text{m}$  Größe. Nichttuberculöse Mykobakterien kommen weit verbreitet im Wasser (sowohl Oberflächenwasser wie auch Leitungswasser) und Böden vor. Unter den nichttuberculösen Mykobakterien führt der *Mycobacterium-avium*-Komplex beim Menschen am häufigsten zu Erkrankungen. Der *Mycobacterium-avium*-Komplex wird vorwiegend in Gewässern gefunden, aber auch im Trinkwasser und im Boden. *Mycobacterium kansasii*, *Mycobacterium fortuitum* und *Mycobacterium abscessus* hingegen werden eher aus Leitungswasser isoliert, *Mycobacterium xenopi* aus Heißwasserreservoirs, *Mycobacterium marinum* aus Aquarien. Die Fähigkeit zum

Überleben in Biofilmen und die Unempfindlichkeit gegenüber Chlor- oder Ozonbehandlung sind wichtige Faktoren für das Überleben von Mykobakterien in wässrigen Systemen. Es ist wahrscheinlich, dass durch die Wasseraufbereitung eine Selektion in Richtung der Mykobakterien erfolgt. Beispielsweise sind *Mycobacterium avium* and *Mycobacterium intracellulare* um ein Vielfaches resistenter gegenüber Chlor und Ozon als andere wasserlebende Mikroorganismen. In Abwesenheit von Konkurrenten können sich daher sogar langsam wachsende Mykobakterien im Trinkwassernetz vermehren. (RÜSCH-GERDES und HILLEMANN, 2012 a). Von den meisten anderen Bakterien unterscheiden sich Mykobakterien durch ihre hohe Festigkeit gegen Säuren und Basen und ihre erhebliche Resistenz gegenüber Desinfektionsmitteln (BANGE et al., 2012). Der Wirtsbereich der nichttuberculösen Mykobakterien kann für einzelne Stämme durchaus unterschiedlich sein, allerdings sind Tiere als Reservoir für menschliche Infektionen weniger relevant (RÜSCH-GERDES und HILLEMANN, 2012 a). Die Übertragung von nichttuberculösen Mykobakterien erfolgt immer aus der Umwelt (BANGE et al., 2012). Nach RÜSCH-GERDES und HILLEMANN (2012 a) erfolgt die Infektion über Wasserreservoir, Leitungswasser und Böden. Im Gegensatz dazu wird die Tuberkulose in der Regel aerogen von Mensch zu Mensch übertragen (ANONYM, 2012 f). *Mycobacterium avium* ist der Verursacher der Geflügeltuberkulose, er ist aber auch für Schweine, Rinder und Wildtiere pathogen. *Mycobacterium fortuitum* und *Mycobacterium genavense* verursachen Krankheiten bei Vögeln. *Mycobacterium marinum* und *Mycobacterium chelonae*-Isolate wurden bei Fischen und Fröschen beschrieben (RÜSCH-GERDES und HILLEMANN, 2012 a). Obwohl Deutschland als Niedriginzidenzland für Tuberkulose gilt, bleibt die Tuberkulose auch in Deutschland eine Infektionskrankheit von großer Relevanz für die öffentliche Gesundheit (ANONYM, 2012 f). Sie wird durch *Mycobacterium tuberculosis*, *Mycobacterium africanum* und *Mycobacterium bovis* hervorgerufen. Weltweit zählt sie heute zu den 3 wichtigsten Infektionskrankheiten, neben AIDS und Malaria. Etwa 1/3 der Weltbevölkerung sind mit Tuberkuloseerregern infiziert. Jährlich sterben etwa 2 Millionen Menschen an Tuberkulose, v. a. in Entwicklungsländern. Mindestens 90 % der Infektionen sind auf *Mycobacterium tuberculosis* oder *Mycobacterium africanum* zurückzuführen, maximal 10 % auf *Mycobacterium bovis*. Besonders problematisch ist die Zunahme von sogenannten Multi-Drug-resistant (MDR) und Extensive-resistant (XDR) *Mycobacterium tuberculosis*-Stämme sowie die Relevanz als Erreger bei immunsupprimierten Personen (VALENTIN-WEIGAND, 2011 b). Prinzipiell kann die Tuberkulose alle Personengruppen weltweit betreffen (RÜSCH-GERDES und HILLEMANN, 2012 b). Die veterinärmedizinisch wichtigste mykobakterielle Erkrankung ist die Tuberkulose des Rindes, eine anzeigepflichtige Tierseuche, die durch *Mycobacterium bovis* verursacht wird. Für *Mycobacterium bovis* sind neben dem Menschen auch viele Säugetierarten empfänglich, v. a. Wiederkäuer und Schweine. Wildtiere können als Erregerreservoir und Ansteckungsquelle bedeutsam sein.

Die Infektion erfolgt auf aerogenem Weg oder oral. Die Ausscheidung der Erreger erfolgt vor allem über Bronchialschleim, Milch, Vaginalsekret oder Sperma (VALENTIN-WEIGAND, 2011 b). Eine Infektion über Aerosole kann nach Angaben von QUINN et al. (2011) bei Rindern durch weniger als 10 Organismen ausgelöst werden, während auf oralem Weg ca.  $10^7$  Organismen notwendig sind, um eine Infektion zu etablieren. *Mycobacterium avium* spp. *paratuberculosis*, der Erreger der Paratuberkulose, auch Johne'sche Krankheit genannt, ist eine weltweit verbreitete, unheilbare Infektionskrankheit, die vor allem Rinder, Schafe und Ziegen befällt. In Deutschland ist sie meldepflichtig (ANONYM, 2007 c). Darüberhinaus kann der Erreger in einer Vielzahl recht unterschiedlicher Säugetier- und Vogelarten (FÜLLGRABE, 2009) sowie Wildtieren (CAPELLMANN, 2011) nachgewiesen werden. *Mycobacterium avium* spp. *paratuberculosis* steht in engem Zusammenhang mit Morbus Crohn, einer chronisch-entzündlichen Darmerkrankung beim Menschen. Ferner wird vermutet, dass er auch an Diabetes Typ 1 beteiligt ist (GILL et al., 2011). Rinder, die mit *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* infiziert sind, scheiden bis zu  $10^8$  KBE/g Kot aus (CHIODINI und HERMON-TAYLOR, 1993). Erkrankte Rinder können nach ANONYM (2007 c) bis zu 5 Billionen Mykobakterien pro Tag mit dem Kot ausscheiden. Außerdem scheiden infizierte Tiere den Erreger über die Milch aus (GILL et al., 2011) und wenn die Erregerkonzentration im Kot hoch ist, ist auch die Prävalenz in der Milch höher (FÜLLGRABE, 2009). Die Ausscheidungsrate liegt bei subklinisch infizierten Tieren bei  $10^1$  bis  $10^2$  Erreger/g Kot. Als infektiöse Dosis für ein Kalb werden 10.000 Erreger genannt (BÜTTNER et al., 2005). Die Infektion erfolgt vor allem im ersten Lebensjahr. Die häufigsten Ansteckungsquellen sind nach ANONYM (2007 c) kotverschmutzte Zitzen, erregerhaltige Milch bzw. Biestmilch, kotverschmutzte Grundfuttermittel und Weiden, verunreinigtes Wasser, verschmutzte Oberflächen und Einstreu sowie erregerhaltige Arbeitskleidung. Auch eine intrauterine Ansteckung ist möglich. *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* besitzt nach BÜTTNER et al. (2005) eine hohe Tenazität in der Umwelt und ist äußerst thermostabil. Die Widerstandsfähigkeit wird durch Einhüllen der Erreger in Bronchialschleim, Milch oder ähnliche Medien noch gesteigert (VALENTIN-WEIGAND, 2011 b). In Gülle, Wasser, Erde oder auf der Weide kann der Erreger lange Zeit, d. h. bis zu einem Jahr, außerhalb von Tieren überleben (ANONYM, 2007 c). Nach einer Lagerung bei Temperaturen von  $-14$  °C kann der Erreger nach BÜTTNER et al. (2005) nach 12 Monaten noch kulturell nachgewiesen werden. Auch in pasteurisierter Milch kann er vorkommen. Im Boden beträgt die Überlebensdauer bis zu 11 Monate und in stehenden Gewässern ist *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* noch nach 270 d nachweisbar. Hasen bzw. Kaninchen (Wildtiere) werden nach QUINN et al. (2011) als Schlüsselement bei der Erregerpersistenz in der Umwelt betrachtet. Auf der Grundlage von Umweltproben wird nach ESPEJO SOLOVERA (2012) geschätzt, dass in den USA fast 68 % der Milchviehbetriebe von der Paratuberkulose betroffen sind, wobei

die Herdengröße einen Einfluss auf die Verbreitung hat. Herden mit >500 Milchkühen sind nahezu zu 95 % mit *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* infiziert. Im Vergleich dazu wurde im Jahr 1993 von CHIODINI und HERMON-TAYLOR angegeben, dass in den USA 2,6 % der Milchviehbetriebe von der Paratuberkulose betroffen sind, wobei gebietsweise bis zu 17 % der Milchviehbetriebe betroffen sein können. In Deutschland kommt die Paratuberkulose nach Angaben von ANONYM (2007 c) in ca. 10 % bis 15 % der Milchkuhbetriebe vor, wobei schätzungsweise 15 % bis 30 % der Tiere in diesen Betrieben infiziert sind. Ferner gibt es weitere Erkrankungen, die durch Mykobakterien hervorgerufen werden. Hierzu zählen u. a. nach VALENTIN-WEIGAND (2011 b) die Mastitis der Rinder, die Hautnocardiose der Rinder und das sogenannte Schwimmbad-Granulom beim Menschen.

### **6.1.1.5 Gramnegative aerobe Stäbchen**

#### **6.1.1.5.1 Pseudomonas**

Bakterien der Familie Pseudomonadaceae sind gerade oder gebogene, gramnegative, polar begeißelte und bewegliche stäbchenförmige Mikroorganismen. Sie sind chemoorganotroph und besitzen ausschließlich oxidativen Stoffwechsel (BAUER und HÖRMANSDORFER, 2000). Vertreter der Gattung *Pseudomonas* sind bis auf einige Ausnahmen (z. B. *Pseudomonas aeruginosa*) strikt aerob. Es sind fast 200 Arten beschrieben (BAUERFEIND, 2011 b). Ihre Größe beträgt 0,5 – 1,0 x 1,5 – 5,0 µm. Das Wachstumsoptimum liegt bei 25 – 30 °C., wobei von einigen Spezies Temperaturen bis 43 °C toleriert werden. Psychrophile Spezies wie *Pseudomonas fluorescens* und *Pseudomonas putida* vermehren sich noch bei Temperaturen um 0 °C (BAUER und HÖRMANSDORFER, 2000). Alle Pseudomonaden kommen in der Natur weit verbreitet vor. Sie werden regelmäßig im Erdboden, in Wasser (Süß- und Salzwasser) auf Pflanzen und vereinzelt auch im Darm von Mensch und Tier nachgewiesen (KAYSER und BÖTTGER, 2010 c). In Kot und auf der Haut sind sie nach QUINN et al. (2011) auch zu finden. Sie sind anspruchslos und können sich in einem feuchten Milieu, das nur Spuren von Nährstoffen enthält, vermehren (KAYSER und BÖTTGER, 2010 c). Viele Arten leben nach BAUER und HÖRMANSDORFER (2000) ausschließlich saprophytär, bzw. sind als Erreger von Pflanzenkrankheiten bekannt. Als Krankheitserreger bedeutsam ist vor allem *Pseudomonas aeruginosa*, sporadisch fallen auch *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas stutzeri* und *Pseudomonas anguilliseptica* als Krankheitsursache auf (BAUERFEIND, 2011 b). Das Wirtsspektrum von *Pseudomonas aeruginosa* umfasst alle Haustierarten, viele Wild- und Zootiere und den Menschen. Neben seiner weiten Verbreitung und Anspruchslosigkeit machen multiple Resistenzen gegen ein breites Spektrum an antibakteriellen Wirkstoffen und die große Widerstandsfähigkeit gegen Desinfektionsmittel *Pseudomonas aeruginosa* zu einer häufig

und gefährlichen Ursache von Hospitalinfektionen (BAUERFEIND, 2011 b). Als Infektionsquelle kommen hier nach KAYSER und BÖTTGER (2010 c) Waschbecken, Toiletten, Kosmetika, Luftbefeuchter, Inhalatoren, Beatmungsgeräte, Narkosegeräte und Dialysegeräte etc. in Frage. Die häufigsten Infektionen sind: Pneumonien, Infektionen von Verbrennungswunden, postoperative Wundinfektionen, Endokarditiden bei Drogenabhängigen, Sepsen und die maligne Otitis externa. Zur Familie Pseudomonadaceae zählende Bakterien werden zur Leitflora für Frische bzw. Unverdorbenheit von Getreide bzw. Getreideprodukten und getreidereichen Mischfuttermitteln gezählt (GEDEK, 1995) (zit. nach BAUER und HÖRMANSDORFER, 2000).

#### **6.1.1.5.2 Legionella**

Legionellen sind gramnegative Stäbchenbakterien, die mit wenigen Ausnahmen begeißelt sind. Sie besitzen eine Größe von 0,3 – 0,9 x 2 – 20 µm. Legionellen wachsen unter aeroben Bedingungen und sind biochemisch wenig aktiv. Es sind heute mehr als 50 *Legionella*-Arten bekannt, die über 70 Serogruppen repräsentieren. Die medizinisch wichtigste Art ist *Legionella pneumophila*. Die meisten anderen Arten gelten als potenziell humanpathogen. Legionellen sind Umweltkeime. Sie leben in Süßwasser und feuchtem Erdboden, wo sie sich intrazellulär in Protozoen vermehren können. Menschen infizieren sich in der Regel aerogen über die Aufnahme von erregerhaltigen Tröpfchenaerosolen oder durch die Aspiration keimhaltigen Wassers. Epidemiologisch wichtige Reservoirs und Ansteckungsquellen sind kontaminierte Klima- und Wasserversorgungsanlagen (BAUERFEIND, 2011 b). Legionellen-Konzentrationen >100 KBE/100 ml im häuslichen Trinkwassersystem sind nicht selten (LÜCK und JACOBS, 2012). In der Trinkwasserverordnung (ANONYM, 2011 c) wird ein technischer Maßnahmenwert für Legionellen für Anlagen der Trinkwasser-Installation von 100/100 ml Wasser angegeben. Legionellen vermehren sich bei Temperaturen zwischen 20 °C und 50 °C, mit einem Optimum bei ca. 37 °C. Erst bei Temperaturen über 60 °C sterben sie innerhalb weniger Minuten ab (BAUERFEIND, 2011 b). Nach KAYSER und BÖTTGER (2010 c) sterben Legionellen erst bei kurzfristiger Erhitzung von Wasser auf 70 °C ab. Mangelnder Wasserfluss und Wassertemperaturen von 25 °C bis 45 °C begünstigen die Erregeranreicherung in Trinkwassersystemen und sind deshalb wichtige hygienische Risikofaktoren. Übertragungen von Mensch zu Mensch sind nicht bekannt (BAUERFEIND, 2011 b). Trockenphasen und schädliche Umwelteinflüsse, u. a. Desinfektionsmittel können die intrazellulären Legionellen nach LÜCK und JACOBS (2012) sehr gut überleben. Legionellosen kommen in allen Altersgruppen des Menschen vor, besonders häufig jedoch bei den über 50-Jährigen. Die Legionärskrankheit oder *Legionella*-Pneumonie ist eine schwere, fieberhaft verlaufende Pneumonie, die unbehandelt in bis tz

15 % der Fälle tödlich endet. Eine wesentlich mildere, grippeähnliche Manifestationsform ohne Pneumonie wird als Pontiac-Fieber bezeichnet. *Legionella pneumophila* ließ sich auch in den Lungen kranker Kälber nachweisen. Darüber hinaus wurden Antikörper gegen den Erreger bei Haus- und Wildwiederkäuern sowie Pferden gefunden (BAUERFEIND, 2011 b).

### **6.1.1.6 Fakultativ anaerobe gramnegative Stäbchen**

#### **6.1.1.6.1 Enterobacteriaceae**

##### **6.1.1.6.1.1 Salmonellen**

Salmonellen sind 0,7 - 1,5 x 2,0 - 5,0 µm große, gramnegative fakultativ anaerobe Stäbchenbakterien (SELBITZ, 2011 c). Durch Bestimmung der O- und H-Antigene nach dem Kauffmann-White-Schema lassen sich Salmonellen in verschiedene Serovare unterscheiden (BOCKEMÜHL, 1992 a). Das Kauffmann-White-Schema, inzwischen White-Kauffmann-Le-Minor-Schema bildet die international verbindliche Grundlage für die Ordnung der Salmonellen. Bis heute sind mehr als 2.500 Serovare mit unterschiedlicher Virulenz und Wirtsanpassung bekannt (SELBITZ, 2011 c). Jeder Serotyp muss nach SINELL (1989) als pathogen angesehen werden. Die Salmonellatypen lassen sich aus klinischen und pathogenetischen Gesichtspunkten in zwei grundlegend verschiedene Gruppen unterteilen:

- Typhus-Paratyphus-Gruppe: Salmonellen dieser Gruppe rufen beim Menschen eine systemische Erkrankung hervor
- Gastroenteritisgruppe: Salmonellen dieser Gruppe kommen bei Mensch und Tier vor und verursachen für gewöhnlich eine Gastroenteritis (PULVERER, 1993).

Nach ROLLE und MAYR (1993) sind Salmonellen außerhalb des tierischen und menschlichen Organismus lange lebensfähig. Gegen Kälte sind sie resistent. In Nahrungsmitteln überstehen sie Einfrieren und Tiefkühlen. Durch Hitzeeinwirkung sterben sie bei 55 °C nach 1 Stunde, bei 60 °C nach einer halben Stunde ab, in Bouillonkultur bei 80 °C nach 10 Minuten. Die Widerstandsfähigkeit gegen trockene Wärme ist größer als gegen feuchte Wärme. Salmonellenwachstum tritt nicht mehr auf bei pH <4,5, bei pH >9,0 werden Salmonellen geschädigt, sterben aber temperaturabhängig und je nach Serovar erst nach 6 – 12 h ab. Die minimale Wachstumstemperatur liegt bei 6 °C und die Obergrenze der Wachstumsfähigkeit liegt bei 43 - 47 °C (SINELL, 1989; DEDIÉ et al., 1993). Das Optimum liegt bei 35 °C bis 37 °C (SINELL und KLEER, 1995). Die Überlebensdauer in Abwasser beträgt je nach Temperatur mehrere Wochen bis Monate, in Schlamm und Erdboden mehrere Monate bis Jahre. Im trockenen Milieu, z. B. in Staub oder in Lebensmitteln können Salmonellen über Monate bis Jahre überleben (SUERBAUM et al., 2012). Eine Gefährdung des Menschen besteht fast ausschließlich in der Kontamination von Nahrungsmitteln, die entweder von infizierten Tieren stammen oder

bei mangelnder Küchenhygiene sekundär durch den Menschen selbst auf Nahrungsmittel übertragen werden (ROLLE und MAYR, 1993). Aber auch die Übertragung durch Gerätschaften, Einrichtungsgegenstände, Staub, Aerosole ist von Bedeutung (SINELL und KLEER, 1995). Die überwiegende Mehrzahl menschlicher Erkrankungen entsteht durch Verzehr kontaminierter Lebensmittel, seltener durch Wasser, Schmierinfektionen (fäkal-oral) treten unter primitiven hygienischen Verhältnissen und bei Kindern auf (SZIEGOLEIT, 1995). Das epidemiologische Geschehen bei der Salmonellose ist von beachtlicher Breite. Es bestehen vielfältige Wechselbeziehungen zwischen dem Auftreten von Salmonellen bei Menschen, beim landwirtschaftlichen Nutztier, beim Haus- bzw. Heimtier und beim Wildtier (BÖHM, 1993 c). Die Abb. 9 zeigt die Grundzüge der Epidemiologie der Salmonellosen.

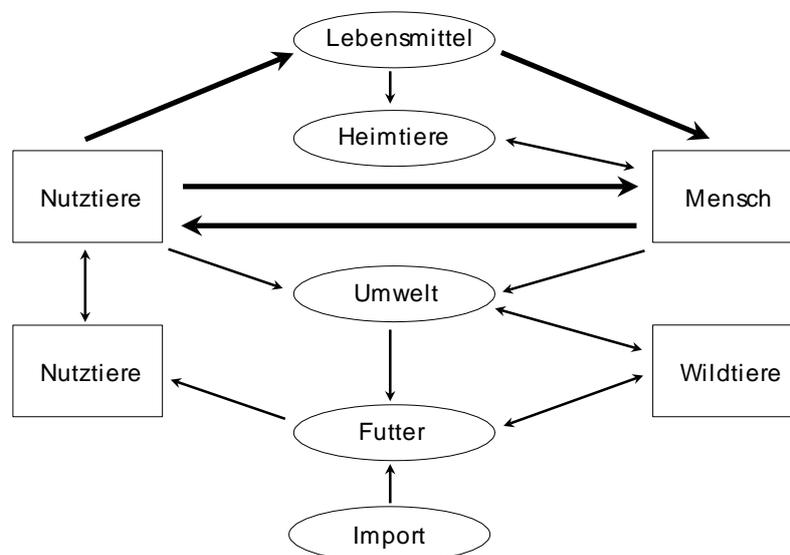


Abb. 9: Grundzüge der Epidemiologie der Salmonellosen (SELBITZ, 2011 c)

Für die typhösen Salmonellen ist der Mensch das einzige Reservoir. Für die enterischen Salmonellen dienen Wild- und Haustiere, so z. B. Hühner, Schweine, Kühe, Vögel, Nagetiere, Hunde und Katzen als Wirte (COVERT, 1999; zit. nach AUCKENTHALER, 2003). Nach Untersuchungen von GROSSE AUSTING (2005) werden Salmonellen in infizierten Schweinemastbetrieben in Staubproben, in Schadnagern, in Wasser und in Futter sowie in Abluftschachtproben, Insekten, Fliegen und Vogelkot nachgewiesen. Als Ursache für die lebensmittelbedingten Infektionen des Menschen werden die regelmäßige Teilnahme großer Bevölkerungsgruppen an Gemeinschaftsverpflegungen (Kantinen, Restaurants, Imbißstuben), die Massentierhaltung und industrielle Produktion von Lebensmitteln tierischer Herkunft sowie der zunehmende Verzehr von Geflügelfleisch genannt (BOCKEMÜHL, 1992 b). Rohes bzw. nicht ausreichend erhitztes Fleisch und daraus hergestellte Produkte sowie Eier und eihaltige Speisen sind die häufigsten Ursachen für Lebensmittelinfektionen mit Salmonellen (SELBITZ, 2011 c). Weltweit ist die Salmonellose eines der größten Gesundheitsprobleme. Pro Jahr erkranken rund 16

Millionen Menschen an *Salmonella* Typhi, dem Erreger von Typhus, wobei die Krankheit in 600.000 Fällen tödlich verläuft (FORD, 1999; zit. nach AUCKENTHALER, 2003). Nach einem stetigen Anstieg an Salmonellose-Fälle wurde 1992 mit über 195.000 Fällen ein Höhepunkt des Salmonellosegeschehens erreicht. Seit 1993 ist ein Rückgang der amtlich erfassten Fälle zu verzeichnen (SELBITZ, 2011 c). Insgesamt wurden 2008 42.909 Salmonellose-Fälle (SELBITZ, 2011 c) und 2011 24.512 Fälle beim Menschen (ANONYM, 2012 f) registriert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die offizielle Meldestatistik nur die Spitze des Eisberges beleuchtet, da mit einer ausgesprochen hohen Dunkelziffer von 90 - 99 % gerechnet werden muss (KLEER et al., 2001). Dies ist nach ANONYM (2012 f) vor allem vor dem Hintergrund zu sehen, dass die Datenqualität insgesamt unter einem schleichenden Verlust an Serovar-Übermittlungen leidet. Im Jahr 2011 wurden nach Angaben von ANONYM (2012 f) in 45 % der Fälle *Salmonella* Enteritidis und in 43 % *Salmonella* Typhimurium als Ursache nachgewiesen. In weitem Abstand folgten *Salmonella* Infantis (1,7 %), *Salmonella* Derby (1,1 %), *Salmonella* Newport (1,0 %) und *Salmonella* Virchow (0,5 %). Bei der Salmonellose handelt es sich um eine Zoonose. Sie ist meldepflichtig bei Mensch, Schwein, Schaf, Pferd, Hund und Katze, bei Puten, Tauben, Wassergeflügel, sowie Zoo- und Wildtieren. Anzeigepflicht besteht bei Rindern. Das Habitat der Salmonellen ist der Darm von Tieren und Menschen. Eine hohe Tenazität ermöglicht ihnen das wochen- bzw. monatelange Überleben in der kontaminierten Umwelt. Das ganze Ausmaß der Umweltkontamination ist wahrscheinlich unbekannt, da viele Salmonellen nur mit Spezialmethoden aus Umweltproben angezüchtet werden können, ansonsten aber in nicht kultivierbarem Zustand überleben. Inwieweit Salmonellen Pflanzen nicht nur kontaminieren, sondern sich eventuell endophytisch oder sogar intrazellulär in ihnen vermehren, bedarf einer weiteren Klärung. Weil die weitaus überwiegende Zahl der Serovare keine Wirtsspezifität besitzt, können sich nur schwer überschaubare Infektketten unter Einschluss verschiedener Tierarten, des Menschen und der Umwelt entwickeln. Die Infektion erfolgt in den meisten Fällen oral über Futtermittel, die direkt durch Ausscheidungen infizierter Tiere oder über Gülle, Jauche, Dung bzw. Siedlungsabwässer mit Salmonellen kontaminiert werden. Kontaktinfektionen von Tier zu Tier bzw. von Tier zu Mensch sind im Vergleich dazu wesentlich seltener. Neben dem dominierenden oralen Infektionsweg gelangen Salmonellen auch auf aerogenem oder konjunktivalem Weg, über den Nasen-Rachen-Raum und bei Vögeln auf germinativem Weg in den Organismus. Salmonellen-Träger finden sich besonders unter den adulten Tieren, wohingegen es bei Jungtieren am ehesten zu Manifestationen kommt. Virulenz, Infektionsdosis und infektionsbegünstigende Faktoren sind für die Manifestation bestimmend (SELBITZ, 2011 c). Die minimale Infektionsdosis an Salmonellen, die für eine Auslösung einer manifesten Infektion eines Erwachsenen notwendig ist, beträgt nach HOF und DÖRRIES (2009)  $>10^8$  Keime. Während bei den typhösen Salmonellen die Infektionsdosis  $10^2$  bis  $10^3$  Bakterien beträgt, übersteigt sie bei den enterischen

Salmonellen in der Regel  $10^5$  bis  $10^6$  Bakterien. Die Bakterien können sich in Nahrungsmitteln vermehren, so dass ausgehend von einer geringen Anzahl Bakterien, die Infektionsdosis leicht erreicht werden kann (AUCKENTHALER, 2003). Verminderte Magensaftsekretion und Verweildauer im Magen, voluminöse Speisen, Resistenzminderung, sehr junges und hohes Alter ermöglichen jedoch auch das Angehen kleiner Erregerzahlen ( $10^2$  -  $10^3$  Keime/g) und können zu schweren Verläufen mit generalisierter Infektion führen (BOCKEMÜHL, 1992 a).

Die seuchenhygienische Unbedenklichkeit von Produkten bzw. von Hygienisierungsprozessen wird in den geltenden düng- und abfallrechtlichen Bestimmungen (Düngemittelverordnung, Bioabfallverordnung, Verordnung (EG) 1069/2009, Verordnung (EU) 142/2011) u. a. über den Nachweis von Salmonellen geprüft (z. B. kein Nachweis an Salmonellen in 50 g Material). Im Zuge der Novellierung der Klärschlammverordnung sollen für Indikatorkeime ebenfalls Grenzwerte festgesetzt werden (KLAGES et al., 2009; ANONYM, 2010 c).

#### **6.1.1.6.1.2 Coliforme, Fäkalcoliforme, *Escherichia coli* / EHEC**

Nach BORNEFF (1987) ist der Begriff „Coliforme“ kein taxonomisch ausgewiesener Name, sondern eine Hilfskonstruktion der angewandten Bakteriologie. Gemäß Trinkwasserverordnung sind coliforme Keime definiert als gramnegative, oxidasenegative Stäbchenbakterien, die bei 37 °C oder 36 °C Lactose spalten und daraus Gas bilden. Stäbchenform, negatives Gramverhalten und negative Oxidasereaktion sind obligate Eigenschaften der Familie der Enterobacteriaceae (WIEDENMANN et al., 1988). Charakteristisches Merkmal der Coliformen ist die Fähigkeit Lactose zu spalten (BECKER und TERPLAN, 1987). Neben den klassischen Gattungen *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* und *Citrobacter* gehören nach BECKER und TERPLAN (1987) noch die lactosepositive Gattung *Kluyvera* sowie die als nicht lactosespaltend geltenden Spezies *Hafnia alvei* und *Serratia liquefaciens* dazu. Die meisten Vertreter der Coliformen sind keine spezifischen Fäkalindikatoren. Untersuchungen von EIJKMAN aus dem Jahre 1940 zeigten, dass der Anteil von *Escherichia coli* unter den Coliformen durch Bebrütung bei Temperaturen über 40 °C erhöht werden kann. Er führte für diesen Anteil der coliformen Flora den Begriff Fäkalcoliforme ein (DUFOUR, 1977). Dieser wird auch heute noch angewendet und den Totalcoliformen gegenübergestellt (APHA, 1985; ISO, 1988; zit. nach SOLDIERER, 1991). Nach CHATZINOTAS und HARMS (2003) werden Fäkalcoliforme heute als thermotolerante coliforme Bakterien bezeichnet.

Innerhalb der Gattung *Escherichia* ist nur die Spezies *Escherichia coli* von nennenswerter Bedeutung (SELBITZ, 2002). Der natürliche Bewohner des Dickdarms von Mensch und warmblütigen Tieren wird nur unter besonderen Bedingungen pathogen. *Escherichia coli* ist ein mittelgroßes, plumpes Stäbchen mit abgerundeten Enden, das meist beweglich,

gelegentlich unbeweglich auftritt (SEIFERT, 1992). Der quantitative Anteil von *Escherichia coli* an der Darmflora beläuft sich auf nicht viel mehr als 1 % (SELBITZ, 2002), wobei sich die Intestinalflora aus insgesamt etwa  $10^{14}$  Keimen zusammensetzt (MAYR, 2002). Nach SELBITZ (1992) besitzt der Erreger in feuchtem Milieu eine hohe Tenazität, in angetrocknetem Kot bleibt er über Monate vermehrungsfähig. Bereits durch Erhitzung auf 60 °C lässt sich der überwiegende Teil der Stämme abtöten. Der Nachweis der von *Escherichia coli* in Trinkwasser, Lebensmitteln, Bedarfsgegenständen des täglichen Lebens oder auf Gegenständen im Umfeld des Menschen zeugt immer von einer Verunreinigung mit menschlichen oder tierischen Exkrementen und signalisiert die prinzipielle Möglichkeit des Vorkommens anderer Erreger (Viren, Bakterien, Protozoen, Würmer) (HOF, 2000). Die Fäkalcoliformen sind nach KOLBECK et al. (1992) der wichtigste Parameter bei der Überwachung der hygienischen Badewasserqualität. Die Übertragung von *Escherichia coli* erfolgt hauptsächlich fäkal-oral durch kontaminierte Lebensmittel oder Wasser (ULLMANN, 1994 b). Nach MÜLLER et al. (1988) muss die aerogene Übertragung von *Escherichia coli* als ein möglicher Infektionsweg in Betracht gezogen werden, insbesondere dann, wenn hohe Luftfeuchtigkeiten die Lebensfähigkeit der Keime begünstigen. Bei Geflügel ist nach SELBITZ (2002) eine aerogene Infektion mit *Escherichia coli* bekannt. Die Infektion erfolgt vorwiegend durch fäkalkontaminierten Staub bzw. Eierschalen.

Invasive und toxinbildende Stämme führen zu Durchfallerkrankungen bei Säuglingen und Erwachsenen. Neben Wundinfektionen und Erkrankungen des Respirationstraktes sind Infektionen der Gallenblase und der abführenden Harnwege häufig. Letztere werden oft durch serologisch definierte Stämme verursacht, ebenso wie invasive Infektionen mit Ausbreitung auf dem Blutweg (Sepsis, Meningitis, Otitis media) (BOCKEMÜHL, 1992 a). Neue Krankheitserreger sind verotoxinbildende *Escherichia coli* (VTEC), die auch als *enterohämorrhagische Escherichia coli* (EHEC) bezeichnet werden. Diese bilden vergleichbare Toxine wie der Ruhrerreger *Shigella dysenteriae*. Die Aufnahme von lediglich 10 - 100 Keimen kann bereits zu Erkrankungen führen. Beim Menschen dominieren wässrige Durchfälle mit Erbrechen, wobei auch Blutbeimengungen im Stuhl und Bauchkrämpfe vorhanden sein können. In bis zu 10 % der Fälle kann es zum durch Anämie und akutem Nierenversagen gekennzeichneten hämolytisch-urämischen Syndrom (HUS) kommen, das in 5 - 10 % der Fälle tödlich verläuft. Weitere bei diesen Bakterien vorhandene Pathogenitätsfaktoren wie Intimin (eaeA) und Enterohämolysin (hly) können die Wirkung verstärken. Die erstmals 1982 in den USA isolierten EHEC sind inzwischen weltweit verbreitet. Mittlerweile spielt nicht nur der hochvirulente Serotyp O157 beim Menschen eine Rolle. Bei Erkrankungen wird bereits eine Vielzahl von unterschiedlichen Serotypen nachgewiesen, die nach Gentransfer derartige Toxine bilden können. Die Übertragung findet durch Lebensmittel wie z. B. Rinderhackfleisch, Salami, Mettwurst, Rohmilch und ähnliche statt. Auch Trink- und Badewasser sind Infektionsquellen. Neben

Mensch-zu-Mensch-Infektketten sind auch direkte Tier-Mensch-Kontakte als Übertragungswege möglich. Wiederkäuer, vor allem Rinder, aber auch Schafe und Ziegen, werden als ein Hauptreservoir für VTEC/EHEC angesehen. Von Pferden, Schweinen, Hunden, Katzen, Rehen und Gamsen konnten EHEC, wenn auch seltener, ebenfalls isoliert werden (SCHINDLER, 2004).

Die Übertragung all dieser Erreger erfolgt exogen über Nahrungsmittel, die mit menschlichen oder tierischen Fäzes kontaminiert sind, wie beispielsweise ungenügend gekochte Nahrungsmittel, Salate, Eis, Wasser u. a. (ULLMANN, 2012).

#### **6.1.1.6.1.3 Shigella**

Shigellen gehören zur Familie der Enterobacteriaceae. Sie sind die Erreger der bakteriellen Ruhr. Die Gattung besteht aus den 4 Spezies *Shigella dysenteriae*, *Shigella flexneri*, *Shigella boydii* und *Shigella sonnei*. Shigellen sind unbeweglich. Aufgrund der Feinstruktur ihrer O-Antigene werden Shigellen in Serovaren eingeteilt. Shigellen besitzen invasive Eigenschaften. Sie können in die Schleimhaut des Kolons eindringen und lokale, mit Nekrosen einhergehende Infektionen verursachen. Nach einer Inkubationszeit von 2 – 5 d beginnt die Krankheit mit wässrigen Durchfällen. Hierbei ist u. a. das Shiga-Toxin beteiligt. Nach Befall des Kolons können dem Stuhl Schleim, Eiter und Blut beigemischt sein. Im weiteren Verlauf werden Darmkrämpfe, Fieber und schmerzhafte Stuhlentleerungen sowie massive Darmblutungen beobachtet. Infektionsquelle ist immer der Mensch, da Shigellen wirtsspezifisch an den Menschen gebunden sind und Erkrankte bis zu 6 Wochen nach der Krankheit die Erreger noch ausscheiden. Die Erreger werden direkt von Erkrankten oder häufiger, indirekt über Lebensmittel, Trinkwasser, Oberflächenwasser und Fliegen übertragen. Die bakterielle Ruhr kommt weltweit vor. In den entwickelten Ländern tritt sie meist nur sporadisch auf. In den unterentwickelten Ländern kommt sie endemisch und auch epidemisch vor (KAYSER und BÖTTGER, 2010 c). Shigellen zeigen eine kurzzeitige, ausgeprägte Säureresistenz. Diese ermöglicht ihnen eine weitgehend ungehinderte Magenpassage und bedingt eine geringe minimale Infektionsdosis von 10 – 200 Bakterien. In der Außenwelt können Shigellen unter optimalen, d. h. kühlen, dunklen und feuchten Bedingungen wochenlang überleben (SUERBAUM et al., 2012). Nach Angaben von MÜLLER (1991) beträgt die minimale letale Dosis für das Neurotoxin von *Shigella dysenteriae* für Kaninchen  $2,3 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{Tier}$  und die  $\text{LD}_{50}$   $2,4 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{Tier}$ .

#### 6.1.1.6.1.4 *Yersinia*

Bei Yersinien handelt es sich um kokkoide bis pleomorphe Stäbchen mit temperaturabhängiger Begeißelung (*Yersinia pestis* immer amotil) in einer Größe von 1,0 x 2,0 – 3,0 µm (WIELER und EWERS, 2011 a). Yersinien wachsen nach QUINN et al. (2010) in einem Temperaturbereich von 5 °C bis 42 °C. Als besonderes Kennzeichen der Yersinien nennen SUERBAUM et al. (2012) die Fähigkeit, sich auch bei niedrigen Temperaturen (4 °C) zu vermehren. Die Gattung *Yersinia* umfasst heute 15 Spezies, von denen *Yersinia pestis*, *Yersinia enterocolitica* und *Yersinia pseudotuberculosis* humanmedizinisch bedeutsam sind (WIELER und EWERS, 2011 a). Yersinien sind Zoonoseerreger (SUERBAUM et al., 2012) und sie stellen neben Salmonellen und *Escherichia coli* die Hauptpathogenen der Familie der Enterobacteriaceae dar (QUINN et al., 2011). *Yersinia pestis* ist der Erreger der Pest. Sie trat im Mittelalter epidemisch auf, kommt jedoch nur noch sporadisch bei Personen vor, die direkten Kontakt mit erkrankten, wildlebenden Nagetieren hatten. *Yersinia enterocolitica* und *Yersinia pseudotuberculosis* verursachen bei Haus-, Nutz- und Wildtieren, vor allem bei Nagern, generalisierte Infektionen (KAYSER und BÖTTGER, 2010 c). In Mitteleuropa geht knapp 1 % aller Durchfallerkrankungen beim Menschen auf *Yersinia enterocolitica* zurück (SUERBAUM et al., 2012). *Yersinia pseudotuberculosis* hat nur geringe medizinische Bedeutung (KAYSER und BÖTTGER, 2010 c). *Yersinia enterocolitica* wird im Verlauf einer Infektion eines landwirtschaftlichen Nutztiers in hohen Konzentrationen mit dem Kot ausgeschieden. Wie beim Mensch gibt es auch beim Tier Dauerausscheider (PFIRRMANN und BÖHM, 2000). Als Infektionsquellen für den Menschen kommen fäkal-kontaminierte Nahrungsmittel tierischer Herkunft, fäkal-kontaminiertes Wasser, Tierkontakt sowie infizierte Personen infrage (SUERBAUM et al., 2012). Infektionen bei Tieren kommen sowohl über kontaminiertes Futter und Wasser als auch durch direkten Kontakt zustande (WIELER und EWERS, 2011 a). *Yersinia enterocolitica* und *Yersinia pseudotuberculosis* finden sich v. a. im Darm von Säugetieren, seltener bei Insekten und Amphibien. Ihre geografische Verbreitung beschränkt sich weitgehend auf die gemäßigten und subtropischen Klimazonen (SUERBAUM et al., 2012). Für die Epidemiologie sind kranke und latent infizierte Warmblüter wichtigste Reservoirs. Von ihnen kommt es zur Kontamination der Vegetation, des Bodens und von Oberflächenwasser (KAYSER und BÖTTGER, 2010 c). Weltweit eine besondere Bedeutung hat nach PFIRRMANN und BÖHM (2000) der Eintrag über tierische Fäkalien in das Oberflächenwasser und die Infektion der Nutztiere über kontaminiertes Oberflächenwasser. Unter feucht-kühlen Bedingungen überleben Yersinien sehr lange (QUINN et al., 2011). Im Erdreich können sie bis zu 6 Monate vermehrungsfähig bleiben (SUERBAUM et al., 2012). In Wasser, organischen Materialien und Lebensmitteln überlebt *Yersinia pseudotuberculosis* wochenlang (WIELER und EWERS, 2011 a).

### 6.1.1.6.2 Vibrionaceae

Die Familie Vibrionaceae beinhaltet sehr diverse Bakteriengattungen und -spezies, weshalb stetig Reklassifizierungen vorgenommen werden. Allein die Gattung *Vibrio* umfasst 88 Spezies (WIELER und EWERS, 2011 b), von denen ein Großteil erst in den letzten Jahren beschrieben wurde (FENGLER, 2012). Vibrionen sind bewegliche, gerade oder gekrümmte Stäbchen, die überwiegend polar monotrich begeißelt sind (PFIRRMANN und BÖHM, 2000). Sie sind 0,5 – 0,8 µm breit und 1,4 – 2,6 µm lang (FENGLER, 2012). Alle Vibrionen sind fakultativ anaerob. Sie wachsen in einem Temperaturbereich von 5 °C bis 43 °C und bei pH-Werten zwischen 4,8 und 11, wobei der optimale pH-Wert zwischen 7,8 und 8,6 liegt (AVERY, 2006). Bei Vibrionen handelt es sich um Saprophyten in Oberflächengewässern, die nur fakultativ pathogen sind (PFIRRMANN und BÖHM, 2000). Vibrionen verursachen üblicherweise Diarrhöen oder extraintestinale Infektionen. *Vibrio cholerae* und *Vibrio parahaemolyticus* sind bekannte Erreger von Durchfallerkrankungen. *Vibrio fluvialis*, *Grimontia hollisae* und *Vibrio mimicus* verursachen ebenfalls Diarrhöen, werden in diesem Zusammenhang jedoch seltener nachgewiesen. Die ätiologische Rolle von *Vibrio furnissii*, *Vibrio metschnikovii* und *Vibrio vulnificus* bei Diarrhöen ist zur Zeit noch nicht vollständig geklärt (FENGLER, 2012). Auch Wundinfektionen, Sepsis und Harnwegsinfektionen können durch Vibrionen hervorgerufen werden (HORNEF, 2012). Halophile Vibrionenarten gehören zur autochthonen Mikrobiota im Ökosystem Meer, wo sie als Kommensale oder Symbionten von z. B. Plankton leben. Änderungen im ökologischen Gleichgewicht der Meere beeinflussen das Vorkommen von Vibrionen direkt, insbesondere in Küstengewässern, hier sind die Wassertemperatur, die Salzkonzentration und der Grad der Eutrophierung ausschlaggebend (WIELER und EWERS, 2011 b). Nicht-halophile *Vibrio*-Spezies wie z. B. *Vibrio cholerae*, *Vibrio mimicus* haben einen weit größeren Lebensraum, da diese auch in Flüssen, Seen und sogar in Frischwasser vorkommen und überleben können. Menschen, aber auch Tiere können als transiente Wirte betrachtet werden, die diese Bakterien weltweit verbreiten können. Bei *Vibrio cholerae* ist die hauptsächliche Infektionsquelle der infizierte Mensch. Träger von *Vibrio cholerae* non-O1 sind auch Wasservögel. Bei halophilen Vibrionen bilden Meer- und Brackwasser sowie die küstennahen Meeresbewohner das größte Erregerreservoir. *Vibrio cholerae* wird hauptsächlich durch fäkal kontaminiertes Trinkwasser von Mensch zu Mensch übertragen. Die Infektion über kontaminierte Lebensmittel spielt eine untergeordnete Rolle (FENGLER, 2012). Auslöser für den Ausbruch von Cholera ist das Cholera-Toxin, dessen Wirkung dem hitzelabilen Enterotoxin von *Escherichia coli* entspricht. Von den über 200 bekannten *Vibrio cholerae*-Serovaren, rufen nur die Stämme O1 und O139 Pandemien hervor. Entsprechend muss zwischen nicht-toxinogenen Umweltisolaten und toxigenen Stämmen unterschieden werden (WIELER und EWERS, 2011 b). Bei Cholera handelt es sich um eine meldepflichtige Krankheit gemäß Infektionsschutzgesetz (ANONYM, 2012 f), die im 19. Jahrhundert in Europa

mehrmals pandemisch auftrat (KAYSER und BÖTTGER, 2010 c). Heute kommen sporadisch Cholera-Erkrankungen zum einen durch kontaminierte, importierte Nahrungsmittel zustande und zum anderen werden sie aus Cholera-Endemiegebieten eingeschleppt (FENGLER, 2012). Cholera breitet sich epidemisch an Orten aus, die schlechte Hygienezustände aufweisen (KAYSER und BÖTTGER, 2010 c). Andere intestinale Vibrionen-Infektionen können durch den Verzehr unzureichend gegarter Meerestiere hervorgerufen werden (FENGLER, 2012). Die Infektionsdosis beträgt für *Vibrio cholerae* ca.  $10^6$  KBE, für *Vibrio parahaemolyticus* ca.  $10^4$  KBE und für anfällige/empfindliche Individuen für *Vibrio vulnificus*  $<10^2$  KBE (AVERY, 2006). Im Gegensatz dazu geben KAYSER und BÖTTGER (2010 c) einen Zahlenwert von  $\geq 10^8$  an. Die Infektionsdosis sinkt bei Menschen mit verminderter Magensäurebildung (HORNEF, 2012). Vor allem Erkrankte scheiden die Erreger in Massen aus. Aber auch Rekonvaleszenten und symptomlose Infizierte können Ausscheider sein (KAYSER und BÖTTGER, 2010 c). In Umweltgewässern können Vibrionen über längere Zeit in infektiöser Form persistieren, obwohl sie relativ empfindlich gegenüber Austrocknung sind (HORNEF, 2012). Vibrionen sind gegenüber Hitze (AVERY, 2006) und Säure (HORNEF, 2012) empfindlich. Sie werden bei Temperaturen um 65 °C abgetötet (AVERY, 2006). Zu den Risikogruppen für eine Infektion mit Vibrionen zählen nach FENGLER (2012) Personen mit einem erhöhtem pH-Wert im Magen, chronisch Leberkranke nach dem Verzehr von mit *Vibrio vulnificus* kontaminierten, rohen Austern und Patienten mit Immunsuppression oder mit immunsupprimierenden Erkrankungen (z. B. Diabetes) sowie Personen mit erhöhtem Serum-Eisenspiegel.

### **6.1.1.6.3 Pasteurellaceae**

#### **6.1.1.6.3.1 Pasteurella**

Pasteurellen sind gramnegative, fakultativ anaerobe, unbewegliche Stäbchen. Der wichtigste Vertreter dieser Gattung, *Pasteurella multocida*, besiedelt vorwiegend die Schleimhäute der oberen Luftwege und wird über das Nasensekret (Husten, Niesen) verbreitet, wodurch eine Kontamination der tierischen Exkremente erfolgt. Auf diesem Weg gelangt der Erreger dann in die Gülle oder Festmist. Eine Ausscheidung des Erregers kann auch über den Darmtrakt, während der septikämischen Phase, erfolgen. In Kot kann *Pasteurella multocida* mehrere Monate überleben (PFIRRMANN und BÖHM, 2000).

### **6.1.1.7 Aerobe/mikroaerophile, schraubenförmige/vibroide gramnegative Bakterien**

#### **6.1.1.7.1 Campylobacter**

Die Gattungen *Campylobacter* und *Arcobacter* bilden die Familie Campylobacteraceae. Die Bakterien der Gattung *Campylobacter* sind gramnegative, nicht sporenbildende, kommaförmig gekrümmt bis spiralig gewunden und meist beweglich. Sie besitzen eine Größe von 0,2 – 0,9 x 0,5 – 8,0 µm. Das Temperaturoptimum für das Wachstum liegt im Bereich von 30 °C – 37 °C, die Kultivierung erfolgt mikroaerophil bei 3 – 15 % Sauerstoff (BAUERFEIND, 2011 a). Am besten wachsen *Campylobacter* bei einem pH-Wert zwischen 6,5 und 7,5 (AVERY, 2006). *Campylobacter* sind gegenüber Umwelteinflüssen empfindlich und können in ungünstigem Milieu (niedriger pH-Wert, erhöhte Temperaturen, Trockenheit) einen Zustand einnehmen, in dem sie noch vermehrungsfähig, in vitro aber nicht mehr anzüchtbar sind (VBNC-Stadium, viable but not culturable) (BAUERFEIND, 2011 a). *Campylobacter jejuni* besitzen jedoch auch andere Mechanismen, um unterschiedliche Umweltstressfaktoren wie Hitzeschock, oxidativen oder osmotischen Stress, Nährstoffmangel oder Säurestress zu überleben. Wichtig scheint hier die Ausbildung von Biofilmen zu sein. Außerdem kommt es zur Umwandlung der Zellmorphologie, d. h. von der gewundenen, stäbchenförmigen zur kokkoiden Zellform (JOSEPH et al., 2012). Unter Feldbedingungen bleibt *Campylobacter fetus* im Erdboden bis zu 20 Tage infektionstüchtig (BAUERFEIND, 2011 a). In Nahrungsmitteln überleben sie bei Temperaturen von 4 °C (AVERY, 2006). *Campylobacter* spp. sind obligat wirtständig und bewohnen als Kommensalen oder Parasiten die Schleimhäute von Mund und Rachen, des Genitaltraktes oder des Darmes von zahlreichen Säuger- und Vogelarten (Wild-, Nutz- und Heimtiere). Reservoir für die thermophilen *Campylobacter*-Spezies sind insbesondere wildlebende Vögel und das Nutzgeflügel (BAUERFEIND, 2011 a). Eine Vielzahl an *Campylobacter*-Arten werden mit dem Kot von Schweinen ausgeschieden (QUINN et al., 2011). In Tierställen führt eine massive Fliegenbelastung nach MARBURGER (2006) zu einem erhöhten Auftreten von *Campylobacter* in der Tierumgebung. Gelegentlich werden *Campylobacter* auch bei Reptilien und in Muscheln gefunden. Mindestens 6 Spezies (*Campylobacter coli*, *Campylobacter fetus*, *Campylobacter jejuni* subsp. *jejuni*, *Campylobacter sputorum*, *Campylobacter concisus*, *Campylobacter curvus*) sind tier- und/oder humanpathogen, wobei man die beiden letztgenannten nur Spezies nur beim Menschen fand. Die Vertreter von 8 weiteren Arten bzw. Unterarten sind häufig in Verbindung mit verschiedenen entzündlichen Läsionen, Durchfall oder Bakteriämie nachweisbar, weshalb diese Spezies bzw. Subspezies ebenfalls unter Verdacht stehen, Krankheitserreger zu sein. Der von *Campylobacter fetus* subsp. *venerealis* verursachte enzootische *Campylobacter*-Abort des Rindes ist eine anzeigepflichtige Tierseuche. Infektionen mit thermophilen *Campylobacter*-Spezies sind bei Wiederkäuern, Hunden, Katzen und Geflügel meldepflichtig. Heute weisen viele

Stämme der pathogenen *Campylobacter*-Arten erworbene Resistenzen gegen veterinärmedizinisch und medizinisch eingesetzte Antibiotika auf. Häufig betroffen sind Tetrazykline, Sulfonamide, Erythromycin und Fluorchinolone. Vielfachresistente Stämme sind verbreitet. *Campylobacter* gehören weltweit zu den häufigsten Ursachen für Magen-Darm-Erkrankungen des Menschen. Mit ca. 62.000 registrierten Fällen pro Jahr überstieg die Zahl der *Campylobacter*-Enteritiden in Deutschland im Jahre 2005 erstmals die der Salmonellen (BAUERFEIND, 2011 a). Im Jahr 2011 wurden insgesamt 71.307 *Campylobacter*-Enteritiden an das Robert Koch-Institut gemeldet. Die *Campylobacter*iose war nach den Norovirus-Infektionen die am zweithäufigsten übermittelte Durchfallerkrankung in Deutschland. 69 % der Infektionen werden von *Campylobacter jejuni* verursacht, ca. 6 % von *Campylobacter coli* und 24 % von *Campylobacter coli* bzw. *Campylobacter jejuni*, wobei nicht differenziert wurde (ANONYM, 2012 f). Die übrigen Fälle verteilen sich auf andere Arten (BAUERFEIND, 2011 a). Das Reservoir für die meisten humanpathogenen *Campylobacter*-Bakterien bilden warmblütige Nutz-, Heim- und Wildtiere, ohne dass diese Symptome einer Erkrankung zeigen. Die *Campylobacter*-Infektionen des Menschen sind meistens lebensmittelassoziiert. Ansteckungsquellen sind vor allem kontaminiertes Geflügelfleisch und Geflügelfleischprodukte, seltener auch Rohmilch und rohes Hackfleisch. Im Gegensatz zu den Salmonellen reichern sich *Campylobacter* in Lebensmitteln in der Regel nicht an. Dafür ist die Mindestinfektionsdosis für den Menschen mit ungefähr 500 Keimen erheblich geringer. Infektionen können ebenso durch die Aufnahme von Oberflächenwasser und beim Kontakt zu infizierten Heimtieren und Personen zustande kommen (BAUERFEIND, 2011 a).

#### **6.1.1.7.2 Helicobacter**

*Helicobacter* sind nicht sporenbildende, gramnegative Bakterien, mit einer Größe von 0,2 – 1,2 x 1,5 – 10 µm. Sie sind gerade oder gekrümmt bis spiralig gewunden. Sie wachsen mikroaerophil und sind beweglich. *Helicobacter* leben obligat wirtständig im Magen und/oder Darmtrakt warmblütiger Wirbeltiere. Sie kommen weltweit bei einer großen Anzahl von Säuger- und Vogelarten vor. Die Prävalenz ist mitunter sehr hoch, beispielsweise bei Katzen und Hunden bis zu 86 % bzw. 100 % (BAUERFEIND, 2011 a). Humanmedizinisch wichtigster Vertreter ist *Helicobacter pylori*, weitere humanpathogene Spezies sind „*Helicobacter heilmannii*“, *Helicobacter cinaedi* und *Helicobacter fennelliae*, andere *Helicobacter*-Arten sind in erster Linie tierpathogen (SUERBAUM, 2012). Die größte Bedeutung von *Helicobacter*-Arten bei Tieren ist, dass sie nach QUINN et al. (2011) als Infektionsquelle für den Menschen fungieren. *Helicobacter pylori* ist die Ursache von Gastritis und gastroduodenalen Ulkuskrankheiten sowie ein Risikofaktor für Magenkarzinom und MALT-Lymphom beim Menschen. Einige Arten sind mit entzündlichen

Gastrointestinal- und Lebererkrankungen bei Tieren assoziiert (BAUERFEIND, 2011 a). *Helicobacter pylori* kommt nur beim Menschen vor (KAYSER und BÖTTGER, 2010 c). Ein Umweltreservoir ist nicht bekannt (SUERBAUM, 2012). *Helicobacter pylori* wird fäkal-oral oder oral über kontaminierte Lebensmittel übertragen (KAYSER und BÖTTGER, 2010 c). Auch eine oral-orale Übertragung wird nach SUERBAUM (2012) angenommen. Außerdem gibt es nach MOTARJEMI (2002) Hinweise auf eine Übertragung von *Helicobacter pylori* durch Wasser. In Regionen mit niedrigem Hygienestandard besitzt *Helicobacter pylori* eine höhere Prävalenz (BAUERFEIND, 2011 a). Sie kann dort bei Erwachsenen bis zu 100 % erreichen (KAYSER und BÖTTGER, 2010 c). Nach Angaben von SUERBAUM (2012) ist mehr als die Hälfte der Menschheit mit *Helicobacter pylori* infiziert. Die Prävalenz beträgt in westlichen Industrieländern 30 % bis 40 %. Die optimale Vermehrungstemperatur für *Helicobacter* liegt nach BAUERFEIND (2011 a) bei 37 °C, bei 25 °C wachsen sie nicht. *Helicobacter pylori* ist empfindlich gegen Kälte, Austrocknung und Sauerstoffeinwirkung (SUERBAUM, 2012).

#### **6.1.1.8 Spirochäten**

Spirochäten sind spiralig gekrümmte, im Vergleich zu ihrem Durchmesser (0,1 – 3 µm) unproportional lange (bis 250 µm) gramnegative Bakterien. Sie sind in der Regel beweglich (HOF und DÖRRIES, 2009). Die Fortbewegung erfolgt durch Fibrillen. Sie kommen in stagnierenden Gewässern und im Intestinaltrakt von Mensch und Tier vor (PFIRRMANN und BÖHM, 2000). Es gibt 4 Gattungen: *Brachyspira*, *Leptospira*, *Treponema* und *Borrelia* (STRAUBINGER, 2011). Von humanmedizinischem Interesse sind die Gattungen *Treponema* und *Borrelia*. Daneben gibt es zahlreiche im Darm von Tieren, im Boden und Oberflächenwasser lebende Spirochäten, denen keine medizinische Bedeutung zukommt (HOF und DÖRRIES, 2009).

##### **6.1.1.8.1 Treponemen**

Die Treponemen sind spiralförmige, mikroaerophile Stäbchenbakterien (PFIRRMANN und BÖHM, 2000), mit einem Durchmesser von 0,1 – 0,4 µm und einer Länge von 5 – 20 µm (STRAUBINGER, 2011). Die wichtigste humanpathogene Art ist *Treponema pallidum* der Erreger der Syphilis (BERGER et al., 2012 a). Die Übertragung erfolgt immer direkt durch Kontakt mit dem Erkrankten, weil die Erreger außerhalb des Körpers extrem empfindlich gegenüber physikalischen und chemischen Einflüssen sind (HOF und DÖRRIES, 2009). Die an den Menschen angepassten Treponemen sind für Tiere apathogen, eine Ausnahme sind Affen. Die Kaninchensyphilis wird durch *Treponema paraluiscuniculi* hervorgerufen und äußert sich als chronische Erkrankung mit ödematösen Schwellungen und Knotenbildungen an den Schleimhäuten der äußeren Geschlechtsorgane. Empfänglich

sind nur Kaninchen und Hasen. Der Erreger wird durch den Deckakt sowie andere Kontakte, aber auch Einstreu und Futter übertragen. (STRAUBINGER, 2011). Treponemen sind äußerst empfindlich gegenüber Austrocknung, Temperatur- und pH-Schwankungen sowie gegenüber Sauerstoff (BERGER et al., 2012 a).

#### **6.1.1.8.2 Borrelia**

Borrelien sind zarte (0,2 – 0,5 µm dicke), relativ lange Spirochäten (bis 20 µm), die 3 – 10 ungleichmäßige Windungen aufweisen und sich durch Rotation lebhaft bewegen (HOF und DÖRRIES, 2009). Die meisten Vertreter der Borrelien sind microaerophil. Sie sind in der freien Umwelt nicht überlebensfähig. Sie sind auf Wirtsorganismen angewiesen und werden durch Arthropoden, meist Zecken, aber auch Läuse (HOF und DÖRRIES, 2009) als Vektoren auf Wirbeltiere übertragen. Entsprechend treten assoziierte Erkrankungen nur dort auf, wo ihre Vektoren ein natürliches Habitat und geeignete Zwischenwirte finden. Durch Borrelien-Spezies verursachte Erkrankungen sind weltweit bekannt (STRAUBINGER, 2011). Es werden zwei verschiedene Krankheitsbilder hervorgerufen und zwar durch *Borrelia burgdorferi*, *Borrelia afzelii* und *Borrelia garinii* die Lyme-Erkrankung und durch *Borrelia recurrentis*, *Borrelia duttoni* und einige andere Arten die Rückfallfieber, die je nach Überträger Läuse- oder Zeckenrückfallfieber genannt werden (SCHÜTT-GEROWITT, 2001). Nach KAYSER und BÖTTGER (2010 c) sind Nager das natürliche Reservoir für die Erreger des Zeckenrückfallfiebers und Wildtiere, vom Nager bis zum Rotwild, für die Lyme-Borreliose. Die Lyme-Borreliose kommt weltweit in den gemäßigten Breiten der nördlichen Hemisphäre vor und ist dort die häufigste durch Arthropoden übertragene Zoonose. In Deutschland kommt es jährlich zu ca. 40.000 – 60.000 Neuerkrankungen, Waldarbeiter und Förster sind besonders gefährdet. Borrelien sind ausgesprochen empfindliche Mikroorganismen mit geringer Umweltpersistenz und sterben außerhalb ihrer spezifischen Wirte bzw. Vektoren rasch ab. Beliebte Aufenthaltsorte der Zecken sind buschige Wald- und Wegränder, lichte Wälder mit Unterwuchs, Parkanlagen und Gärten mit Büschen und Sträuchern (HUNFELD und BRADE, 2012).

#### **6.1.1.8.3 Brachyspira**

Von besonderer Bedeutung in der Veterinärmedizin ist der Erreger der Schweinedysenterie. Die Ansteckung erfolgt in erster Linie durch die Aufnahme der Erreger mit Kotpartikeln (PFIRRMANN und BÖHM, 2000). Der Erreger *Brachyspira hyodysenteriae* ist ein strikter Anaerobier von 0,2 – 0,4 x 6,0 – 9,0 µm Größe. Es werden 9 Serogruppen unterschieden. Habitat dieser an das Schwein adaptierten Bakterienart ist der Dickdarm. Wichtigste Infektionsquelle sind infizierte Schweine, die die Erreger in

bisher freie Bestände einschleppen. Als weitere Überträger der Krankheit können möglicherweise Ratten und Mäuse fungieren. Die Schweinedysenterie gehört weltweit zu den wichtigsten Darminfektionen der Mastschweine. Sie äußert sich in zementfarbenen bis blutig-fibrinösen Durchfällen (STRAUBINGER, 2011). Träger von *Brachyspira hyodysenteriae* können den Erreger bis zu 3 Monate ausscheiden und bilden die grundlegende Infektionsquelle für gesunde Schweine (QUINN et al., 2011).

#### **6.1.1.8.4 Leptospira**

Leptospiren sind feine Spirochäten von 10 - 20 µm Länge und 0,1 - 0,2 µm Dicke. Die pathogene Spezies *Leptospira interrogans* wird aufgrund von Oberflächenantigenen in mehr als 100 Serovare eingeteilt, die in 19 Serogruppen zusammengefasst werden. Leptospiren sind weltweit verbreitet und verursachen die zoonotische Erkrankung Leptospirose (KAYSER und BÖTTGER, 2010 c). Sie gilt weltweit als am weitesten verbreitete Anthroozoonose. Jährlich werden der WHO ca. 500.000 Erkrankungen gemeldet, wobei es eine hohe Dunkelziffer gibt (BERGER et al., 2012 b). Alleinige Infektionsquellen für *Leptospira interrogans* sind erkrankte Nagetiere und Haustiere (Schweine), die die Erreger mit dem Urin ausscheiden. (KAYSER und BÖTTGER, 2010 c). In Ratten persistieren die Erreger oft lebenslang asymptomatisch. Diese scheiden die Erreger in einer Konzentration von  $10^7$ /ml Rattenurin aus. Weitere Reservoirs für die unterschiedlichen Serovare sind Hunde und Rinder (BERGER et al., 2012 b). Da Leptospiren wenig trockenresistent sind, können Infektionen nur bei Kontakt mit urinkontaminiertem, feuchtem Milieu zustande kommen. Gefährdet sind vor allem in der Landwirtschaft tätige Personen, Metzger, Abwasserarbeiter oder Zoomitarbeiter. Die Erreger dringen über kleine Verletzungen der Haut und Schleimhäute oder durch die Konjunktivalschleimhaut in den Körper ein, ohne Entzündungsreaktionen am Eindringort zu verursachen. Die weitere Verbreitung erfolgt mit dem Blutkreislauf (KAYSER und BÖTTGER, 2010 c). Infektionen können nach BERGER et al. (2012 b) auch durch die Inhalation von Aerosolen und durch Tierbisse verursacht werden. Bei den Krankheitsbildern wird unterschieden in die anikterische Leptospirose mit mildem Verlauf und in die schwer verlaufende ikterische Leptospirose, auch Morbus Weil genannt. Bei beiden Verläufen treten zunächst Fieber mit Schüttelfrost, Kopf- und Muskelschmerzen auf. Bei der mildereren Krankheitsausprägung kommt es zu einer aseptischen, leichten Meningitis. Morbus Weil zeigt sich durch Funktionsstörungen der Leber und der Nieren mit Blutungen, kardiovaskulären Beschwerden und Bewusstseinsstörungen. Das Überstehen der Krankheit hinterlässt eine fundierte Immunität, die sich aber nur gegen das entsprechende Serovar richtet (KAYSER und BÖTTGER, 2010 c). Weiter sind noch die pathogenen *Leptospira icterohaemorrhagiae* (Hauptwirt Wanderratte) und *Leptospira pomona*, der Erreger der Schweinehüterkrankheit (Reservoir Brandmaus) von

Bedeutung. Leptospiren können sehr gut in warmem, feuchtem Umweltmilieu überleben (PFIRRMANN und BÖHM, 2000). In Gewässern bleiben sie bei einem pH-Wert >7 wochenlang vermehrungsfähig (BERGER et al., 2012 b).

## **6.1.2 Viren**

### **6.1.2.1 Picornaviren**

Picornaviren sind kleine, unbehüllte Viren, mit einem Einzelstrang-RNA-Genom und mit positiver Polarität (HAAS, 2011). Das Virion hat einen Durchmesser von 30 nm (QUINN et al., 2011). Picornaviren sind weltweit in einer Vielzahl von Arten verbreitet, die einzelnen Picornavirus-Typen sind dabei weitgehend spezifisch für eine Wirtsart (HEIM, 2012). Die Familie der Picornaviridae umfasste ursprünglich 8 Gattungen: Enterovirus, Cardiovirus, Aphtovirus, Hepatovirus, Parechovirus, Erbovirus, Kobuvirus und Teschovirus. Vor kurzem wurden 4 neue Gattungen hinzugefügt: Tremovirus, Sapelovirus, Senecavirus und Avihepatovirus (QUINN et al., 2011). Enteroviren stellen zahlenmäßig die bisher wichtigste und auch bekannteste Gruppe der enterischen Viren dar (METZLER, 2000). Nach HAAS (2011) sind Picornaviren bedeutende Krankheitserreger bei Mensch, Rind, kleinen Wiederkäuern, Schwein und Geflügel. Zu den über 200 humanpathogenen Picornaviren gehören die Polioviren als Erreger der Kinderlähmung, eine Vielzahl von Rhinovirus-Typen, vor allem Erreger von Erkältungskrankheiten und ebenfalls zahlreiche Enterovirus-Typen (inkl. Coxsackievirus und ECHO-Virus), die eine Vielzahl von Krankheitsbildern wie z. B. aseptische Meningitis, Sommergrippe, Enzephalitis, Herz- und Skelettmuskelerkrankungen und Exantheme verursachen (HEIM, 2012). Aus veterinärmedizinischer Sicht haben Picornaviren nach QUINN et al. (2011) und HAAS (2011) vor allem als Erreger der Maul- und Klauenseuche, der Vesikulären Schweinekrankheit, der Ansteckenden Schweinelähmung (Teschener Krankheit), der Aviären Enzephalomyelitis und der Theiler-Krankheit sowie als Erreger der Bovinen und Equinen Rhinitis eine wichtige Bedeutung, da es sich bei einigen von diesen Infektionskrankheiten um anzeigepflichtige Tierseuchen handelt. Das MKS-Virus kann eine Vielzahl von Tierarten infizieren. Im Mittelpunkt eines klinischen Geschehens steht das Rind, wobei Ausnahmen möglich sind, daneben Schwein, Schaf und Ziege. Neben dem Hausrind sind auch Wildwiederkäuer empfänglich. In der Inkubationszeit wird das Virus bereits in hohen Konzentrationen ausgeschieden. Schweine spielen im Seuchengeschehen eine kritische Rolle, da sie über die Atemluft etwa 1.000 – 3.000-mal so viel Virus (infektiöse Aerosole) ausscheiden wie Rinder. Hohe MKS-Viruskonzentrationen befinden sich in Kot, Harn, Milch und Aphteninhalte sowie in allen anderen Sekreten (HAAS, 2011). Die Maul- und Klauenseuche ist weltweit verbreitet (ANONYM, 2011 f). Die Vesikuläre Schweinekrankheit zeigt ein ähnliches Erscheinungsbild wie die MKS. Der einzige natürliche Wirt ist das Schwein und es stellt

auch das Virusreservoir für das VKS-Virus dar. Nach einer oralen Infektion (auch über kontaminierte Lebensmittel) oder über die äußere Haut werden große Mengen Virus produziert und über Kot und Nasensekret ausgeschieden. Picornaviren sind gegenüber Umwelteinflüssen relativ resistent (HALLER, 2010). Generell zeichnen sie sich durch eine hohe Tenazität aus. Allerdings sind Aphto- und Rhinoviren im Gegensatz zu Entero- und Hepatoviren säurelabil. Sie alle zeigen jedoch gegenüber chemischen Desinfektionsmitteln eine hohe Widerstandsfähigkeit, während sie auf der anderen Seite gegenüber Temperaturen  $>60\text{ °C}$  empfindlich sind (HAAS, 2011). Nach HEIM (2012) sind Enteroviren empfindlich gegen Austrocknen und mäßiges Erhitzen ( $50\text{ °C}$ ), sie sind jedoch etherresistent und sehr säurestabil. In Abwässern lassen sie sich lange Zeit nachweisen. Rhinoviren sind im Gegensatz dazu nur bei pH 6,0 – 7,5 stabil und sehr temperaturempfindlich. Nach Angaben von HAAS (2011) zeigt das VKS-Virus eine extreme Resistenz gegenüber schädlichen Umwelteinflüssen. Es zeichnet sich durch eine hohe pH-Stabilität im Bereich von pH 2 – 12 aus. In Exkrementen kann das Virus über 3 Monate infektiös bleiben. Salzen, Räuchern, Tiefgefrieren und Pökeln inaktivieren es nicht. Bei einer Temperatur oberhalb von  $60\text{ °C}$  verliert es jedoch seine Infektiosität sehr schnell.

#### **6.1.2.2 Caliciviren, Noroviren**

Die Noroviren, zunächst nach dem Ausbruch in der Stadt Norwalk als Norwalk-Viren benannt, repräsentieren heute gemäß einer Festsetzung des „International Committee on Taxonomy of Viruses (ICTV)“ als „Norwalk-like viruses (NLVs)“ neben den „Sapporo-like viruses (SLVs)“ die humanpathogenen Vertreter der Familie der Caliciviridae und sind dort Vertreter einer Gruppe von „small round structured viruses (SRSVs)“. Noroviren sind weltweit verbreitet. Menschen sind das einzige bekannte Reservoir. Noroviren lassen sich zwar bei vielen Tieren wie Schweinen, Katzen oder Kaninchen nachweisen, jedoch ließ sich bisher kein Zusammenhang zwischen diesen Infektionen und Erkrankungen beim Menschen nachweisen. Der überwiegende Anteil aller nicht bakteriell bedingten Gastroenteritiden sowohl bei älteren Kindern (ca. 30%) als auch bei Erwachsenen (bis zu 50%) wird vermutlich durch Noroviren ausgelöst. Auch bei Säuglingen und Kleinkindern sind Noro- und Sapporo-Viren nach den Rotavirusinfektionen die zweithäufigste Ursache akuter Gastroenteritiden. Zwar können Infektionen mit Norwalk-Viren das ganze Jahr über auftreten, es zeigt sich jedoch in den westlichen Ländern eine typische saisonale Häufung in den Wintermonaten („winter vomiting disease“). Vorwiegend werden Noroviren fäkal-oral direkt von Mensch zu Mensch übertragen. Zusätzlich können Infektionen oder Ausbrüche auch von kontaminierten Speisen wie Salaten oder Meerestieren, aber auch von verunreinigtem Wasser ausgehen. Möglich sind auch Übertragungen durch kontaminierte Gegenstände. Aufgrund epidemiologischer

Beobachtungen mit einer schnellen Ausbreitung in Gemeinschaftsunterkünften wird auch eine aerogene Übertragung durch Bildung virushaltiger Aerosole während des Erbrechens diskutiert. Die hohe Viruskonzentration im Stuhl und Erbrochenem akut Kranker ( $>10^6$  Viruspartikel/ml), eine niedrige Infektionsdosis (10–100 Viruspartikel) und hohe Umweltresistenz sowie das Fehlen einer längerfristigen Immunität sind für die sehr rasche Ausbreitung in Gemeinschaftseinrichtungen verantwortlich. Norwalk-Viren besitzen eine große Umweltstabilität. Sie überleben in Eis und die Chlorierung von Wasser mit bis zu 10 ppm Chlor sowie das Erhitzen bei Temperaturen bis zu 60 °C. (BRODT und CASPARY, 2006).

### **6.1.2.3 Astroviren und Toroviren**

Als Astroviren bezeichnet man wegen der sternförmigen Oberflächenbeschaffenheit eine seit 1975 bekannte Virusgruppe, die Erkrankungen des Verdauungstraktes hervorrufen (METZLER, 2000). Astroviren wurden weltweit beim Menschen, aber auch bei vielen Tierspezies wie Wild, Schweinen, Hunden, Mäusen und Enten gefunden. Es hat sich gezeigt, dass diese Viren sich sehr speziesspezifisch verhalten und mit Ausnahme der Enten (Hepatitis) bei den betreffenden Tieren wie beim Menschen Durchfallerkrankungen auslösen können. Menschliche Astrovirusinfektionen finden sich vorwiegend bei Kleinkindern und älteren Erwachsenen. Astroviren wurden auch gelegentlich als Erreger von Diarrhöen nach Lebensmittelintoxikationen identifiziert. Die Astrovirusinfektionen treten in der westlichen Welt gehäuft in den Wintermonaten auf. Die Übertragung wird vorwiegend auf eine fäkal-orale Infektion zurückgeführt, wenn auch diese über infizierte Lebensmittel oder direkt von Mensch zu Mensch möglich ist. Die vielfältigen möglichen Übertragungswege von Astroviren können dennoch bei den üblichen hygienischen Vorsichtsmaßnahmen nicht immer Infektionen verhindern, auch weil die Viren gegenüber üblichen Desinfektionsmitteln auf der Basis von Alkohol und Äther zumeist unempfindlich sind und auch das normale Händewaschen nicht immer zu einer Elimination der Erreger führt (BRODT, 2006 b).

Toroviren rufen enterale Infektionen bei Tieren hervor. Sie können jedoch auch Diarrhö bei Kindern bewirken. Bei viralen Diarrhöen bei Kindern fanden sich bis zu 3 % Toroviren, die damit häufiger vertreten waren als Calici- oder Astroviren. Das Torovirus vermag sowohl akute wie auch chronische Diarrhöen (Dauer  $>14$  Tage) zu bewirken (BRODT, 2006 b).

#### **6.1.2.4 Reoviren**

Das Genus Orthoreovirus in der Familie Reoviridae umfasst die humanpathogenen Reoviren Serotyp 1, 2 und 3. Reoviren sind bezüglich ihres Wirtsspektrums und ihrer geografischen Verbreitung ubiquitär. Reovirus wurde in vielen Tierspezies, z. B. bei Insekten, Curstaceen, Vögeln, Hunden, Mäusen, Rindern, verschiedenen Affenarten und beim Menschen nachgewiesen. Ebenso gelang der Nachweis von Reovirus in See-, Fluss- und Trinkwasser. Bisher ist allerdings ungeklärt, ob Tiere eine Rolle als Virusreservoir für den Menschen spielen. Eine mögliche Transmission vom Tier auf den Menschen durch Verunreinigung von Milch mit reovirushaltigen Tierfäkalien kann nicht ausgeschlossen werden. Da Reoviren auch im Trinkwasser nachgewiesen wurden, was auf eine Kontamination mit menschlichen und tierischen Fäkalien zurückzuführen ist, stellt Trinkwasser eine weitere mögliche Infektionsquelle dar. Die Übertragung von infektiösen Reoviren erfolgt fäkal-oral oder durch Tröpfcheninfektion. Im Allgemeinen verlaufen Infektionen mit Reovirus asymptomatisch (SCHNITZLER, 2012).

#### **6.1.2.5 Rotaviren**

Rotaviren wurden erstmals 1973 elektronenmikroskopisch in Stuhlproben von Säuglingen mit Durchfall festgestellt. Diese Viren gelten heute weltweit als die wichtigste Ursache für Durchfallerkrankungen bei Kleinkindern und Jungtieren, insbesondere bei Kälbern und Ferkeln (METZLER, 2000). Für 50 % der Fälle aller krankenhausbedürftigen kindlichen Diarrhöen sind Rotaviren (vorwiegend Virustyp A, Typ B in China) weltweit als Erreger verantwortlich. Jährlich rechnet man mit ca. 500 Mio. Erkrankungen in Afrika, Asien und Lateinamerika mit einer Letalität von 1–2 % durch Rotavirusinfektionen. Der Altersgipfel liegt bei 6 Monaten bis zu 2 Jahren. In dieser Altersgruppe treten weltweit 800.000 Todesfälle/Jahr auf. Im Erwachsenenalter sind Rotaviruserkrankungen selten und verlaufen meist milder als bei Kindern oder z. B. durch Norwalkviren ausgelöste Infektionen (BRODT, 2006 c). In der ökologischen Schweinehaltung sind Rotaviren nach ANONYM (2012 d) die am zweithäufigsten nachgewiesenen Erreger für die Ursache von Saugferkeldurchfall. Auch wenn Rotaviren bei Haus- und Nutztieren gefunden werden, so hat dies für die Infektion beim Menschen epidemiologisch keine Bedeutung. Das Haupterregerreservoir ist der Mensch, und die Rotaviren werden vorwiegend fäkal-oral besonders durch Schmierinfektion, aber auch durch kontaminiertes Wasser und Lebensmittel übertragen (BRODT, 2006 c). Allerdings konnten Rotaviren nach Angaben von AVERY (2006) noch nicht aus Lebensmitteln isoliert werden. In der akuten Krankheitsphase, in der Rotaviren sich im Gastrointestinaltrakt vermehren, können beim Erbrechen auch Aerosole entstehen, so dass auch eine aerogene Übertragung der Viren möglich ist. Dies gewinnt auch deshalb an Bedeutung, da bereits 10 Viruspartikel ausreichen, um eine Infektion beim Kleinkind auszulösen. Akut infizierte Patienten

scheiden zwischen 100 und 1.000 Viruspartikel pro Gramm Stuhl aus. Auch subklinisch Erkrankte können als Überträger von Rotaviren auftreten. Wie bei Norwalkvirusinfektionen ist die Erkrankungshäufigkeit in dem milden Klima der westlichen Industrienationen in den Wintermonaten am größten. Vermutlich ist dies Folge des engeren Kontaktes in geschlossenen Räumen. Das Ausmaß der Virusausscheidung korreliert eng mit der kurzzeitigen Entwicklung von Krankheitssymptomen: Rotaviren können in der Regel sofort mit Beginn der Erkrankung oder auch bereits kurz zuvor im Stuhl nachgewiesen werden. Ein bis vier Stunden nach den ersten Symptomen finden sich Rotaviren in 94 % der Stuhlproben, nach 4–8 Tagen noch in 76 % der Proben, und nur noch gelegentlich, meist nach einem besonders schweren Verlauf, lassen sich Rotaviren auch noch 2–4 Wochen nach der Erkrankung. Rotaviren sind sehr resistent gegenüber Säure und Hitze und damit gegenüber vielen Desinfektionsmitteln. Nosokomiale Infektionen können nur durch strikte Einhaltung der Hygienevorschriften vermindert werden (BRODT, 2006 c).

#### **6.1.2.6 Adenoviren**

Adenoviren werden in 2 Gattungen unterteilt, die Mastadenoviren, die Säugetiere infizieren können, und die Aviadenoviren, die in verschiedenen Vogelarten endemisch sind. Adenoviren sind weltweit verbreitet, und Infektionen treten jahreszeitlich unabhängig sowohl sporadisch als auch epidemisch auf. Nosokomiale Infektionen sind nicht selten, wie auch Ausbrüche in anderen Gemeinschaftseinrichtungen. Die Übertragung von Viruspartikeln erfolgt sowohl über Aerosole und fäkal-oral als auch über kontaminierte Gegenstände. Neben diesen üblichen Übertragungswegen sind auch Infektionen über Vaginalsekret bei der Geburt beschrieben. Adenovirusinfektionen können in persistierende Infektionen übergehen, bei denen es nach der akuten Infektion zu einer monate- und jahrelangen Ausscheidung der Viren über den Stuhl kommen kann. Adenoviren können lange auf Oberflächen überleben und sind aufgrund ihrer fehlenden Hülle resistent gegenüber vielen flüssigen Desinfektionsmitteln, sie werden jedoch durch Hitze, Formaldehyd oder Chlor inaktiviert. Die vielfältigen Übertragungswege ebenso wie die Möglichkeit einer länger andauernden Virusausscheidung können dennoch auch bei den üblichen hygienischen Vorsichtsmaßnahmen nicht immer Infektionen verhindern, auch weil die Viren gegenüber üblichen Desinfektionsmitteln auf der Basis von Alkohol und Äther unempfindlich sind und auch das normale Händewaschen nicht immer zu einer Elimination der Erreger führt (BRODT, 2006 a).

### 6.1.2.7 Flaviviren

Flaviviren sind behüllte Plusstrang-RNA-Viren von erheblicher veterinär- und humanmedizinischer Bedeutung. Flaviviren haben ein Genom von etwa 9.600 – 12.300 Nucleotiden Länge, das als Einzelstrang-RNA mit positiver Polarität vorliegt (THIEL und KÖNIG, 2011). Flaviviren haben eine Größe von 40 nm bis 60 nm im Durchmesser mit einem ikosaedrischen Kapsid und einer fest anhaftenden Hülle. Flaviviren bestehen aus den 3 Gattungen *Flavivirus*, *Pestivirus* und *Hepacivirus* (QUINN et al., 2011). Erreger aus dem Genus *Flavivirus* sind im Allgemeinen Arboviren, d. h. Erreger die durch Arthropoden (Stechmücken oder Zecken) übertragen werden und sich in diesen vermehren. Die veterinärmedizinisch relevanten Krankheitserreger aus dem Genus *Flavivirus* sind auf den Menschen übertragbar. Hingegen sind Vertreter aus dem Genus *Pestivirus* auf Wiederkäuer und Schweine beschränkt. Bei diesen Wirten sind diaplazentare Infektionen von Bedeutung (THIEL und KÖNIG, 2011). Die folgenden Krankheiten werden nach THIEL und KÖNIG (2011), QUINN et al. (2011) und FALKE (2012) durch Flaviviren hervorgerufen: Gelbfieber, Dengue-Fieber, West-Nil-Fieber, Infektion mit Usutu-Virus, Japanische Enzephalitis, Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME), Wesselsbron-Krankheit, Meningoenzephalitis der Puten, St. Louis-Enzephalitis, Chikungunya-Virus, Louping Ill, Border Disease, Klassische Schweinepest, Mucosal Disease, Bovine Virus Diarrhö, Hepatitis C. Das Usutu-Virus wurde in Europa erstmals Anfang dieses Jahrtausends diagnostiziert (Österreich 2001, Ungarn 2005, Schweiz 2006, Italien 2009). In Deutschland traten Usutu-bedingte Todesfälle bei Vögeln erstmals im Jahre 2011 auf. Betroffen waren v. a. Amseln, aber auch Bartkäuze und Eisvögel. In diesem Jahr wurde bisher bei 2 verendeten Amseln das Usutu-Virus nachgewiesen. Das Usutu-Virus hat seinen Ursprung in Afrika und wird von Stechmücken übertragen. Hauptwirte für das Virus sind Wildvögel, die in der Regel nicht erkranken. Es sind daneben aber auch sehr empfängliche Vogelspezies bekannt, z. B. Schwarzvögel, die sich sehr leicht infizieren. Klinisch zeigen diese Vögel häufig Apathien und Störungen des zentralen Nervensystems wie Taumeln oder Kopfverdrehen. Es kann zum Massenvogelsterben führen. Prinzipiell wird dem Usutu-Virus ein zoonotisches Potenzial zugeschrieben. Humane Infektionen traten aber bisher sehr selten auf (ANONYM, 2012 i).

### 6.1.3 Prionen

Prionen verursachen transmissible spongiforme Enzephalopathien bei Mensch und Tier. Es handelt sich dabei um übertragbare, chronisch-degenerative Erkrankungen des zentralen Nervensystems. Die bekannteste Erkrankung ist BSE beim Rind. Andere transmissible spongiforme Enzephalopathien sind beim Tier: Traberkrankheit/Scrapie (Schaf, Ziege), transmissible Minkenzephalopathie (TME) des Nerzes, feline spongiforme Enzephalopathie (Katze), Chronic Wasting Disease (CWD) von Hirschartigen in Nord-

Amerika und beim Menschen: Kuru, Creutzfeldt-Jakob-Krankheit (CJD), Variante der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit (vCJD), Gerstmann-Sträussler-Scheinker Syndrom (GSS) und Familiäre Fatale Insomnie (FFI). Bei Prionen (PrP<sup>Sc</sup>) handelt es sich um Proteinase-resistente Isomere des normalen Prionoproteins PrP<sup>C</sup>). Prionen zeichnen sich durch sehr hohe Resistenz gegen Hitze, UV- und ionisierende Strahlung und Desinfektionsmittel aus. Sie sind empfindlich auf stark alkalische Substanzen (Javelle-Wasser, Eau de Barraque). Autoklavieren bei 133°C während mindestens 20 min bei 3 bar reduziert die Infektiosität des Erregers. Die Inkubationszeit beträgt durchschnittlich 4 bis 6 Jahre. Symptome sind Störungen des Verhaltens (Ängstlichkeit, Nervosität, Schreckhaftigkeit), der Bewegung (steifer Gang, plötzliches Umfallen) und der Sensibilität (Überempfindlichkeit gegenüber Lärm und Licht).

### **6.1.3.1 Ascariden**

#### **6.1.3.1.1 *Ascaris suum***

Der Schweinespulwurm, *Ascaris suum*, gehört zur Klasse der Nematoden. Er kommt im Dünndarm von Schweinen vor. Die Männchen haben eine Größe von 15 -25 cm Länge und sind 3 – 4 mm dick mit leicht eingerolltem Hinterende und 2 stäbchenförmigen, etwa 2 mm langen Spikula. Die Weibchen sind 20 – 30 cm lang und 5 6 mm dick, mit stumpf zugespitztem Hinterende. Die Genitalöffnung befindet sich etwa am Ende des ersten Körperviertels. Die Weibchen legen täglich 0,2 – 2 Mio. Eier ab, die mit dem Kot in die Außenwelt gelangen. Die Eier sind elliptisch bis rundoval und haben eine Größe von 56 – 87 x 46 – 57 µm. Sie sind bräunlich, mit dicker, grobhöckriger Eischale, innen mit Zygote (JOACHIM, 2006). Unter optimalen Laborbedingungen sind die Eier frühestens nach 24 d infektiös, im Freien hingegen erst nach 30 bis 40 d. Der neue Wirt infiziert sich oral. Wenige Stunden nach der oralen Aufnahme schlüpfen die Larven im Magen und bohren sich durch die Darmwand in die Mesenterialvenen ein und gelangen so nach ca. 6 h in die Leber. Über eine Zeitdauer von 4 bis 6 d findet eine Wanderung der Larve im Leberparenchym statt. Hierbei entstehen Narben, die sich durch Verkalkung bei der Schlachtung als die so genannten „milk spots“ darstellen. Nach dieser Wanderung gelangen die Larven durch die Lebervene, Hohlvene und das rechte Herz in die Lunge. Im Bereich der Lungenkapillaren bohren sie sich nach ihrer Entwicklung zur Larve IV in die Alveolen ein. Von hier gelangen sie passiv über Bronchien und Trachea zum Pharynx, werden abgeschluckt, siedeln sich im Dünndarm an und häuten sich hier zum adulten Wurm (BOCH und SUPPERER, 1992) (zit. nach ADE-KAPPELMANN, 2008). Adulte Würmer verursachen Enteritiden und Anämien. Ihre dreischichtige Schale macht die Askarideneier in der Außenwelt sehr widerstandsfähig gegenüber vielen Umwelteinflüssen. Ihre hohe Chemoresistenz verleiht den Eiern die innere Schicht (75 % Lipid und 25 % Protein). Auch 10 %-iges Formalin können sie dadurch überleben. In Gülle bleiben Askarideneier

bei 8 – 18 °C ca. 65 – 85 d lebensfähig. Gegen Austrocknung sind sie sehr empfindlich. Bei 55 – 56 °C gehen sie innerhalb von 10 min zugrunde. In feuchtem Erdreich bleiben *Ascaris*-Eier 5 bis 6 Jahre lebensfähig und infektiös, auch können sie monatelang ohne Sauerstoffzufuhr überdauern (JOACHIM, 2006). Eine pH-Wert-Erhöhung auf >12 reicht kurzfristig alleine nicht aus um Spulwurmeier zu inaktivieren (STRAUCH und BERG, 1980). Es wird zusätzlich eine Temperaturerhöhung benötigt. In Rindergülle konnten Tenazitäten von 88 d (ENIGK et al., 1975) (zit. nach ADE-KAPPELMANN, 2008) nachgewiesen werden.

#### **6.1.3.1.2 *Echinococcus multilocularis***

*Echinococcus multilocularis* ist mit 1 – 3 mm Länge und 3 – 5 Proglottiden ein sehr kleiner Bandwurm. Sein Vorkommen ist auf die nördliche Hemisphäre beschränkt (HOF und DÖRRIES, 2009). In vielen Gebieten Deutschlands und anderen Regionen Mitteleuropas kontaminieren Füchse die Umwelt mit Eiern von *Echinococcus multilocularis*, dem gefährlichen Fuchsbandwurm. Nach Infektion mit Eiern können Lavenstadien dieses Parasiten beim Menschen schwere Erkrankungen, die alveoläre Echinokokkose, verursachen, die unbehandelt meist tödlich verläuft. Auch Tiere können sich anstecken, z. B. Schweine, Hunde und Affen. Für die Infektion sowohl des Menschen als auch der Tiere dürfte die Kontamination von Pflanzen mit Fuchskot, der Eier von *Echinococcus multilocularis* enthält, eine wesentliche Rolle spielen BARTH (2000). Hauptquelle der menschlichen Ansteckung sind nach SCHIEFERSTEIN und JUST-NÜBLING (2006) mit Fuchslosung verunreinigte Waldbeeren. Infektionen mit *Echinococcus multilocularis* kommen nach IGNATIUS und BURCHARD (2012) durch direkten Kontakt mit Füchsen (Jäger) bzw. Kot vom Fuchs, aber auch von Hund und Katze zustande. Echinokokkosen sind Zoonosen. Trotz z. T. hoher Infektionsraten der Endwirte ist der Mensch, auch in Hochendemiegebieten, relativ selten betroffen. Die weltweite jährliche Inzidenz schwankt zwischen 0,2 und 220 Fällen pro 100.000 Einwohner. Durch das verstärkte Einwandern von Füchsen in die Städte könnte die Inzidenz von Infektionen nach Angaben von IGNATIUS und BURCHARD (2012) jedoch zunehmen. Nagetiere fungieren als Zwischenwirte. Es gilt die orale Aufnahme der Eier zu verhindern. Beeren oder heruntergefallenes Obst, die mit Fuchskot kontaminiert sein könnten, sollten nicht gegessen werden. Im feuchten Milieu sind die Eier sehr widerstandsfähig, durch Austrocknung sowie Erhitzung über 75°C werden sie inaktiviert (SCHIEFERSTEIN und JUST-NÜBLING, 2006). Die Eier widerstehen im feuchten Milieu allen Desinfektionsmitteln und auch tiefen Temperaturen im Winter (IGNATIUS und BURCHARD, 2012).

### **6.1.3.2 *Taenia saginata***

Eine besondere Rolle bei der Übertragung der Bandwurmeier spielen die unkontrollierte Verbreitung menschlicher Fäkalien, wie an Fernstraßen, Bahndämmen und in den Erholungsgebieten großer Ballungszentren, sowie ungeklärte und ungenügend geklärte häusliche Abwässer und mit solchen Abwässern stark belastete Fluss- bzw. Bachwässer. Sie bilden eine große Gefahr, wenn sie durch Überschwemmung auf Wiesen und Weiden gelangen und dort verrieselt bzw. verregnet werden. Taenieneier bleiben auf Wiesen und Weiden bis zu 160 d lebensfähig. Bei Temperaturen unter  $-5^{\circ}\text{C}$  beträgt ihre Lebensdauer rund 20 d. Durch die übliche Heugewinnung verlieren sie ihre Infektionsfähigkeit nicht. In Gülle und Jauche können Taenieneier bis 30 d überleben. Ihre Vernichtung im gestapelten Mist oder bei der Kompostierung ist von der erreichten Temperatur abhängig. Die Abtötung setzt mindestens eine Woche lang eine Temperatur von mehr als  $65^{\circ}\text{C}$  voraus. Bei  $70^{\circ}\text{C}$  werden die Wurmeier in wenigen Minuten abgetötet. Sie sterben im unbeheizten Faulraum von Kläranlagen in etwa drei Monaten und im beheizten in etwa zwei Monaten (ANONYM, 2000 b).

### **6.1.3.3 *Toxoplasma gondii***

Bei *Toxoplasma gondii* handelt es sich um intrazelluläre Protozoen, die in ihrer Entwicklung als Sporozoit, Tachyzoit (Trophozoiten), Bradyzoit und Oozyste auftreten. *Toxoplasma gondii* ist weltweit verbreitet. Etwa 1/3 der Menschheit ist infiziert (HEIMESAAT, 2012). Die Durchseuchung beim Menschen nimmt mit jedem Lebensjahrzehnt um ca. 10 % zu und erreicht in der Altersgruppe der 60- bis 65-Jährigen in Deutschland bis zu 70 % (IGNATIUS und EHRHARDT, 2012). Seine geringe Wirtsspezifität befähigt den Erreger zur Infektion eines breiten Artenspektrums warmblütiger Vertebraten (u. a. Mensch, Schaf, Schwein, Rind, Pferd, Hund, Katze, wildlebende Säugetiere, Vögel) (DEPLAZES und ECKERT, 2010). Die Übertragung auf den Menschen geschieht v. a. durch den Verzehr rohen oder ungenügend erhitzten Fleisches (Schwein, Lamm, Wildbret) oder durch orale Aufnahme sporulierter Oozysten aus mit Katzenkot kontaminierter Umgebung (Katzenstreu, Spielsand, Gartenarbeit, Landwirtschaft). Warmblütige Tiere können sich durch Fressen gewebezystenhaltigen Fleisches (z. B. Futterfleisch, Nagetiere) oder durch Aufnahme von Toxoplasma-Oozysten aus Katzenkot oder auf pränatalem Wege infizieren (IGNATIUS und EHRHARDT, 2012). Als Infektionsquellen für landwirtschaftliche Nutztiere sind mit Katzenkot verunreinigtes Heu, Stroh oder Kraftfutter ermittelt worden (TENTER, 2006). Die Infektionen sind teilweise beträchtlich. Die Infektion verläuft meistens symptomlos (Toxoplasma-Infektion), seltener mit Krankheitserscheinungen (Toxoplasmose). (IGNATIUS und EHRHARDT, 2012). Eine erstmalige Infektion in der Schwangerschaft kann zu schweren Schädigungen (z. B. der Augen oder des Gehirns) beim Ungeborenen führen, die zum Teil

erst nach Jahren in Erscheinung treten (ANONYM, 2012 f). Die Trophozoiten sterben bei Austrocknung sehr schnell ab, während die Zysten im gekühlten Fleisch mehrere Wochen lang lebensfähig sind, aber bei Tiefgefrieren absterben (IGNATIUS und EHRHARDT, 2012). Die infektiösen Oozysten von *Toxoplasma gondii* sind sehr widerstandsfähig und können lange in der Umwelt persistieren (TENTER und DEPLAZES, 2006). Im feuchten Erdboden können die Oozysten mehrere Jahre überleben und dabei Frostperioden überstehen (IGNATIUS und EHRHARDT, 2012). Toxoplasma-Oozysten werden durch Hitze (>70 °C) rasch abgetötet. Die üblichen Desinfektionsmittel sind unwirksam (DEPLAZES und ECKERT, 2010). Auch eine Passage der Kläranlagen überstehen sie unbeschadet. Durch Wind, Regen oder Oberflächenwasser werden sie auf landwirtschaftlichen Nutzflächen verbreitet. Außerdem ist eine Verbreitung durch Regenwürmer, koprophage Invertebraten oder Wirtschaftsdünger möglich. Die große Bedeutung von Oozysten als Infektionsquelle für Zwischenwirte, insbesondere für Pflanzenfresser, zeigt sich darin, dass weltweit bei bis zu 92 % der landwirtschaftlichen Nutztiere mit Weidegang (Rind, Schaf, Ziege) Antikörper gegen *Toxoplasma gondii* gefunden werden (TENTER und DEPLAZES, 2006). Da Konsumenten in zunehmenden Maß Lebensmittel fordern, die frei von pathogenen Erregern sind, kommt der Bekämpfung der Toxoplasmose eine hohe Bedeutung zu (BARTH, 2000). Die Toxoplasmose gehört zu den häufigsten parasitären Zoonosen (TENTER, 2006). Sie ist meldepflichtig (ANONYM, 2011 e; ANONYM, 2012 f). Zu den Risikogruppen für die konnatale Infektion gehören nicht-immune Schwangere, für die Reaktivierung AIDS- und Transplantationspatienten mit latenter Infektion. Pränatale Infektionen treten in Mitteleuropa in 1–5 Fällen pro 1.000–10.000 Lebendgeburten auf (HEIMESAAT, 2012).

#### **6.1.3.4 Amöben**

Amöben sind Protozoen, die sich im beweglichen Stadium (Trophozoiten) mit sogenannten Scheinfüßchen fortbewegen. Die rundlichen Zysten stellen Dauerstadien dar. Verschiedene Amöbenarten finden sich weltweit im Darm des Menschen. Als apathogene Arten sind häufig *Entamoeba coli*, *Entamoeba dispar*, *Entamoeba hartmanni* und *Endolimax nana* nachweisbar. Von diesen abzugrenzen ist die pathogene Art *Entamoeba histolytica*, die akute Erkrankungen des Dickdarms sowie extraintestinale Abszesse verursacht, meist in der Leber. Morphologisch sind *Entamoeba histolytica* und *Entamoeba dispar* nicht zu unterscheiden. Frei lebende Amöben (*Naegleria*, *Acanthamoeba* und *Balamuthia*) kommen in Süßwasser und Boden vor und verursachen Meningitiden bzw. Enzephalitiden. Infektionen mit *Acanthamoeba* können asymptomatisch verlaufen (IGNATIUS und EHRHARDT, 2012). *Entamoeba histolytica*, der Erreger der Amöbenruhr kommt weltweit vor, ist aber vor allem in Gegenden mit niedrigem Hygienestandard endemisch. Die Ausbreitung hängt von der Zahl der

Zystenausscheider und den hygienischen Bedingungen ab. Unter den hygienischen Verhältnissen, wie sie in Westeuropa Standard sind, ist eine Ausbreitung nicht gegeben. Die natürliche Infektion mit *Entamoeba histolytica* beschränkt sich auf den Menschen und einige Affenarten (TANNICH, 2012). Hunde und Katzen können nach DEPLAZES und ECKERT (2010) auch als Erregerreservoir fungieren. Die Übertragung von *Entamoeba histolytica* erfolgt in der Regel fäkal-oral durch Ingestion infektiöser Zysten (TANNICH, 2012) über kontaminierte Nahrungsmittel (Obst, Gemüse), Trinkwasser oder fäkalienkontaminierte Hände (DEPLAZES und ECKERT, 2010). Fliegen und Schaben können Zysten von den Fäzes eines Ausscheiders auf Lebensmittel verschleppen (DEPLAZES und ECKERT, 2010). Dagegen gibt TANNICH (2012) an, dass es keinen Beleg für Vektoren als Überträger gibt. Durch Zysten wird die Infektion von Mensch zu Mensch übertragen. Die Zysten besitzen im Gegensatz zu den Vegetativformen in feuchter Umgebung eine beachtliche Tenazität (bei 28 – 34 °C etwa 8 Tage, bei 10 °C bis einen Monat) (DEPLAZES und ECKERT, 2010). Nach IGNATIUS und EHRHARDT (2012) sind die Zysten in feuchter und kühler Umgebung über mehrere Monate infektiös. Bei Austrocknung und Temperaturen über 55 °C gehen sie in kurzer Zeit zugrunde. Der übliche Chlorzusatz zum Trinkwasser reicht zur Abtötung der Zysten nicht aus (DEPLAZES und ECKERT, 2010). Mit dem Fäzes ausgeschiedene Zysten sind anfangs 1-, später 2-kernig und im infektiösen Stadium 4-kernig. Nach oraler Aufnahme reifer Zysten wird die Zystenwand eröffnet und aus der Zyste gehen 4 bzw. nach Teilung 8 einkernige Trophozoiten hervor. Diese sind zur Invasion der Darmmukosa befähigt. Im Darmlumen lebende Trophozoiten vermehren sich und differenzieren sich zu Zysten, die mit dem Fäzes ausgeschieden werden (IGNATIUS und EHRHARDT, 2012). Eine infizierte Person kann bis zu 500 Millionen Zysten pro Tag ausscheiden (TANNICH, 2012). Die WHO schätzt die Zahl der Neuerkrankungen pro Jahr auf bis zu 50 Mio. mit 40.000 – 80.000 Todesfällen (IGNATIUS und EHRHARDT, 2012). In Europa sind bis 4 % der Bewohner Träger von *Entamoeba histolytica* (DEPLAZES und ECKERT, 2010). Hauptrisikogruppen sind Personen, die unter schlechten hygienischen Bedingungen in den entsprechenden Endemiegebieten des Erregers leben (vor allem Tropen und Subtropen), darüber hinaus Reisende in solche Länder sowie männliche Homosexuelle, Kanalarbeiter und Bewohner von Behindertenheimen (TANNICH, 2012). Die wichtigste Präventivmaßnahme stellt die Vermeidung der fäkalen Kontamination von Lebensmitteln und Trinkwasser dar (IGNATIUS und EHRHARDT, 2012).

#### **6.1.3.5 Cryptosporidium**

Cryptosporidien gehören zu den Protozoen. Sie sind weltweit verbreitet und ihre Wirtsspezifität ist gering. Sie sind bisher im Kot von über 150 Säugetierarten (ROBINSON und CHALMERS, 2010) nachgewiesen worden. Einige Arten infizieren Säugetiere, Rinder,

Schafe, Nagetiere, Katzen und Hunde, aber auch Vögel, Fische und Reptilien. Kryptosporidien können Durchfälle beim Menschen verursachen, insbesondere langwierige Durchfälle bei immunsupprimierten Personen. Der Erreger kann direkt fäkal-oral von Mensch zu Mensch bzw. von Tier zu Mensch oder indirekt über die Umwelt, über Wasser und Nahrungsmittel übertragen werden. Die Übertragung kann aber auch von Mensch zu Tier erfolgen (EXNER und GORNIK, 1997). Über Ausbrüche in Einrichtungen des Gesundheitswesens, in Kindertagesstätten, im Haushalt, bei Badegästen und Wassersportlern in Schwimmbädern und Seen, in Gemeinden durch Kontaminationen bei der öffentlichen Wasserversorgung oder bei Personen bei der privaten Wasserversorgung wird berichtet. Infektionen beim Menschen werden hauptsächlich durch *Cryptosporidium hominis* und *Cryptosporidium parvum* verursacht, obwohl weitere Arten für den Menschen pathogen sind. Vereinzelt treten nach KARANIS (2000) auch Infektionen mit *Cryptosporidium baileyi* auf. Die Übertragung ist weitgehend zoonotisch, wie die Untersuchungen von BUDU-AMOAKO et al. (2012 b) zeigen. *Cryptosporidium parvum* kommt häufig in Stuhlproben (72 %) vor und gleiche Subtypen des Erregers werden in Humanisolaten und in Rinderkotproben nachgewiesen. Als signifikantes Erreger-Reservoir fungieren nach HILL et al. (2011) vor allem junge Wiederkäuerarten. Die infektiösen Stadien, Zysten oder Oozysten, werden mit dem Kot ausgeschieden. Oozysten sind die Dauerstadien des Parasiten und besitzen eine Größe von ca. 5 µm. Sie können in der Umwelt bis zu 2 Jahre überleben (KARANIS et al., 1996), in feucht-kalter Umgebung, z. B. in Wasser bis zu 12 Monate (SMITH und NICHOLS, 2007). Schon geringe Kryptosporidien-Oozysten-Konzentrationen können nach WAGNER-WIENING und KIMMIG (1995) Infektionen bei Säugern auslösen. Oozysten können in sehr großen Mengen (bis zu  $10^{10}$ /g) während der akuten Phase der Infektion ausgeschieden werden. Die Infektionsdosis hängt vom Oozysten-Isolat ab und beträgt, angegeben als ID<sub>50</sub> 9 – 1.042 Oozysten (SMITH und NICHOLS, 2007). *Cryptosporidium* gilt heute als ein herausragendes Beispiel für einen sogenannten „emerging pathogen“. Nach heutigem Kenntnisstand handelt es sich bei *Cryptosporidium* um einen hochinfektiösen Krankheitserreger, der lange Zeit hinsichtlich seiner epidemiologischen Bedeutung erheblich unterschätzt wurde (EXNER und GORNIK, 1997). Wasserverteilsysteme und Schwimmbäder sind besonders durch Kontaminationen mit Kryptosporidien gefährdet und stellen eine beträchtliche Bedrohung für die öffentliche Gesundheit dar.

#### **6.1.3.6 Giardia**

Zysten sind die Dauerstadien von *Giardia lamblia*. Die Zyste hat eine Größe von 10 µm Länge und 7 µm Breite. Zysten können zwischen 3 und 6 Monaten in der Umwelt, außerhalb des Wirts, überleben. *Giardia* wird von Tieren und Menschen über kontaminiertes Trink- bzw. Tränkwasser, über kontaminierte Futter- und Nahrungsmittel

oder über direkten Kontakt aufgenommen. Die Zysten werden mit dem Kot ausgeschieden (KARANIS et al., 1996)

#### **6.1.4 Antibiotikaresistente Bakterien**

Die weltweit steigende Zahl resistenter, gegen Antibiotika unempfindlicher Krankheitserreger macht die Bekämpfung von Infektionskrankheiten immer schwieriger (PFIRRMANN und BÖHM, 2000). Rund 40 % der in Deutschland verschriebenen Antibiotika in der Humanmedizin werden zu Unrecht eingesetzt (ANONYM, 2009 g). Durch die intensive Tierhaltung und den massenhaften Einsatz antimikrobieller Substanzen gelangen antibiotikaresistente Bakterien über Kot und Urin in die Gülle. Es gibt z. B. kaum noch Tiere, die in ihrem Darm voll empfindliche (kein Resistenzgen tragende) *Escherichia coli* besitzen. Der Antibiotikaeinsatz kann sich dabei auf zweierlei Art auf das Resistenzgeschehen auswirken: einmal wird eine Reihe von Antiinfektiva mit Kot und Harn ausgeschieden und verbleibt über längere Zeit im Fest- und Flüssigmist. Der zweite Effekt ist die Selektion von antibiotikaresistenten Bakterien durch die Medikation selbst im Darm der behandelten Tiere, die dann über die Fäkalien in die Umwelt gelangen. Beide Effekte wirken synergistisch. Die Überlebenschancen der meisten resistenzgentragenden Bakterien, die direkt durch das Nutztier in die Umwelt gelangen, sind im Allgemeinen sehr gering. Sie sind im neuen Habitat „fremd“ und deshalb den dortigen Milieubedingungen schlecht angepasst. Auch sind sie dem Konkurrenzkampf mit einheimischen Mikroben und Parasiten nicht gewachsen. Trotzdem ist es manchen Bakterien durchaus möglich, sich der neuen Umgebung anzupassen. Auch wenn „fremde“ Bakterien nur für einen vorübergehenden, sehr kurzen Zeitraum im Habitat zu bestehen vermögen, kann diese Zeit für einen Resistenz-Gentransfer ausreichen. Wird das neue Resistenzgen dann noch stabil im einheimischen Rezipienten verankert, kann es zu einer enormen Ausbreitung und Vervielfältigung der das Resistenzgen tragenden Bakterien im Habitat kommen (PFIRRMANN und BÖHM, 2000). Heute ist bekannt, dass Medikamente nahezu in allen von Kläranlagen beeinflussten Gewässern und in landwirtschaftlich genutzten Böden nachweisbar sind (TROGE, 2005). Arzneimittel werden sowohl im Human- als auch im Tierbereich eingesetzt, aber die Eintragspfade von Human- und Tierarzneimitteln sind grundsätzlich verschieden. Humanarzneimittel gelangen über die Kläranlage in das Gewässer, Tierarzneimittel über die Ausbringung von Gülle/Mist/Dung auf landwirtschaftliche Nutzflächen und durch Regenereignisse mit möglichem anschließenden Austrag von diesen Flächen ins Gewässer oder bei Weidehaltung durch direkten Eintrag (KLEIN-GOEDICKE, 2005). HALLING-SØRENSEN et al. (1998) beschreiben das Auftreten und die Wirkungen von einigen pharmazeutischen Substanzen, geben aber zu Bedenken, dass weitere Untersuchungen nötig sind, um die Umweltrisiken, die von einem Medikamenteneintrag ausgehen, zu

untersuchen. Es ist bislang nicht bekannt, ob und welchen Effekt solche Substanzen haben können, selbst wenn sie nur in sehr geringen Konzentrationen in der Natur zu finden sind. Die Komplexität der Ökosysteme erschwert Untersuchungen auf diesem Gebiet. Es ist fast unmöglich alle Einflussfaktoren in Laborversuchen nachzustellen. Derzeit sind alle noch nicht ausreichend bekannt (ALEXY, 2005).

Aus der GERMAP-Studie (2011) geht hervor, dass bei den *Escherichia coli*-Isolaten aus dem stationären Bereich von Krankenhäusern sich der Trend zur Zunahme der Resistenzhäufigkeit gegen zahlreiche, häufig verwendete Antibiotikagruppen (Breit-spektrum-Penicilline, Cephalosporine, Fluorchinolone, Cotrimoxazol) weiter fortgesetzt hat. Dabei nahm der Anteil der Stämme, die eine Extended-Spectrum- $\beta$ -Lactamase (ESBL) bilden, besonders stark zu und erreichte im bundesweiten Durchschnitt fast 10 %. Die Fluorchinolone werden aufgrund des erreichten Resistenzniveaus (ca. 30 %) nur noch selten von Infektionen bei Verdacht einer Beteiligung von *Escherichia coli* eingesetzt.

Das Resistenzniveau bei *Staphylococcus aureus* und den Koagulase-negativen Staphylokokken im humanmedizinischen Bereich hat sich seit 2001 nicht wesentlich verändert. Die MRSA-Rate lag im Mittel bei ca. 20 %.

Die Therapie von Infektionen durch *Klebsiella* spp. mit Cephalosporinen der Gruppen 3 (z. B. Ceftriaxon, Ceftazidim) und 4 (Cefepim) wird ebenfalls zunehmend durch das Auftreten ESBL-bildender Stämme eingeschränkt. Bei *Enterobacter* spp. finden sich sehr häufig Isolate mit einer Resistenz gegen Cephalosporine der Gruppe 3 und Piperacillin/Tazobactam. Das Resistenzniveau bei den Fluorchinolonen nahm in den letzten Jahren bei beiden Bakterienarten zu, liegt aber nach wie vor deutlich unter dem von *Escherichia coli*.

Bei *Pseudomonas aeruginosa* zeigten sich nach wie vor große Unterschiede im Resistenzniveau zwischen den Isolaten von Patienten aus dem Intensivpflegebereich und solchen von Patienten von Allgemeinstationen. Während die Resistenzhäufigkeit gegen Pseudomonas-wirksame  $\beta$ -Lactame und Fluorchinolone in den letzten Jahren annähernd gleich geblieben ist, ist bei den Aminoglykosiden ein rückläufiger Trend zu beobachten. Die höchsten Resistenzraten fanden sich erwartungsgemäß bei den Isolaten von Patienten mit Mukoviszidose, die sehr häufig antibiotisch behandelt werden. Die Resistenzsituation bei den Isolaten der *Acinetobacter-baumannii*-Gruppe stellt sich im internationalen Vergleich trotz der in den Studien für einige Antibiotika berichteten Zunahme der Resistenzhäufigkeit immer noch vergleichsweise günstig dar.

In der Veterinärmedizin zeigten Stämme von *Staphylococcus aureus* von Geflügel und Heimtieren ähnlich hohe Resistenzraten gegenüber Penicillin G, Tetracyclin und Erythromycin wie in den Studienjahren zuvor. Der Anteil von Methicillin (Oxacillin)-resistenten *Staphylococcus aureus* (MRSA) an *Staphylococcus aureus* zeigte einen leichten Anstieg, lag aber weiterhin unter 10 %. Auch der Anteil von Methicillin

(Oxacillin)-resistenten *Staphylococcus pseudintermedius* (MRSP) an *Staphylococcus pseudintermedius* lag mit unter 5 % noch im unteren Bereich. Erhebliche Resistenzraten zeigten porcine *Streptococcus suis*-Stämme aus Infektionen des Respirationstraktes gegenüber den häufig eingesetzten Wirkstoffen wie Tetracyclin und den Makroliden. Mit Ausnahme eines Resistenzanstieges gegenüber der Kombination Trimethoprim/Sulfamethoxazol (Cotrimoxazol) zeigte sich die Resistenzlage ähnlich derjenigen der vorherigen Studien. *Bordetella bronchiseptica*-Stämme aus respiratorischen Erkrankungen von Schweinen zeigten Unempfindlichkeiten gegenüber den meisten  $\beta$ -Lactamantibiotika (Ausnahme: Amoxicillin/Clavulansäure). Im Vergleich zu den Stämmen, die von Hund und Katze isoliert wurden, lagen die Resistenzen beim Schwein etwas höher. Ausnahme war Trimethoprim/Sulfamethoxazol; hier lagen die Resistenzraten bei den Isolaten von Hund und Katze deutlich höher als bei den porcinen Isolaten. Vor der Auswahl eines geeigneten Antibiotikums zur Therapie, insbesondere vor Anwendung von Trimethoprim/Sulfamethoxazol, ist eine Testung der In-vitro-Empfindlichkeit der in Frage kommenden antimikrobiellen Wirkstoffe unverzichtbar. *Pseudomonas aeruginosa*-Stämme vom Geflügel zeigten gleich bleibend hohe Resistenzen für die meisten der getesteten Wirkstoffe. Daher können nur wenige Wirkstoffe aufgrund der In-vitro-Ergebnisse als therapeutisch wirksam angesehen werden. Die *Escherichia coli*-Stämme von Hund und Katze lagen mit ihren Resistenzraten deutlich unter denen der Lebensmittel liefernden Tiere, sowohl bei der Indikation „Enteritis“ als auch bei „Erkrankungen des Urogenitaltraktes“. Stämme von Rindern, Schweinen und Geflügel wiesen hohe Resistenzraten gegen Tetracyclin, Ampicillin und Doxycyclin auf, die jeweilige Höhe war abhängig von der untersuchten Indikation. Einen Anstieg resistenter Isolate gegenüber der Kombination Amoxicillin/Clavulansäure wurde sowohl beim Rind (Indikation: „Enteritis“) als auch beim Geflügel (Indikation: „Sepsis“) verzeichnet. Die häufigsten Resistenzen bei *Salmonella enterica* subsp. *enterica* betrafen die Wirkstoffe Ampicillin und Tetracyclin, bei Rind und Schwein war zusätzlich Doxycyclin betroffen.

Nach Untersuchungen von HO et al. (2012) werden bei 39,3 % der Schlachtschweine Methicillin-resistente *Staphylococcus aureus* nachgewiesen.

Nach Untersuchungen von DE VERDIER et al. (2012) sind 61 % der aus Kälberkot isolierten *Escherichia coli*-Isolate gegenüber einem Antibiotikum oder gegenüber mehreren Substanzen resistent. 28 % der Isolate weisen Multiresistenzen auf.

Über den Wirtschaftsdünger wie Gülle (Gemisch aus tierischen Ausscheidungen, Einstreu, Futtermittelresten und Wasser), Jauche (Flüssigfraktion der Gülle mit überwiegendem Anteil an tierischem Harn) oder Festmist gelangen die Antibiotika bzw. deren Abbauprodukte in die Umwelt (SATTELBERGER et al., 2005).

Darüber hinaus beschreibt EIBISCH (2006) (zit. nach WIECHMANN et al., 2012), dass der kontinuierliche Eintrag von Antibiotika in Böden über längere Zeit zu erhöhten

Konzentrationen führen kann, wodurch antibiotikaresistente Bakterien Wachstumsvorteile erhalten, sodass die Möglichkeit des Gentransfers ihrer Resistenzgene gegeben ist. Im Gutachten des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU) zum Thema Arzneimitteln in der Umwelt wird darüber hinaus die Vermutung geäußert, dass für die Resistenzausbreitung in der Umwelt der Eintrag von resistenten Bakterien von größerer Bedeutung ist als der Eintrag der Antibiotika selbst.

Nach HARMS und HÖLZEL (2011) gibt es mit Ausnahme häufig vorkommender Doxycyclinresistenz keine auffälligen Resistenzentwicklungen gegenüber humantherapeutischen Antibiotika. Es erscheint deshalb nach Ansicht der Autoren nicht gerechtfertigt, die Ursachen der Entstehung und Erhaltung bakterieller Resistenzen einseitig im Bereich der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung zu suchen. Dennoch muss durch verbesserte Haltungs- und Hygienebedingungen der Einsatz von Antibiotika in der Nutztierhaltung minimiert und auf bestimmte Wirkstoffgruppen verzichtet werden.

### **6.1.5 Gentechnisch veränderte Organismen**

Gentechnisch veränderte Organismen (GVO) können in der Nutztierhaltung als Lebendimpfstoff zum Einsatz kommen. Es liegen derzeit jedoch keine Angaben über das Vorkommen von GVO in tierischen Fäkalien vor. Es ist jedoch davon auszugehen, dass oral verabreichte GVO auch über einen begrenzten Zeitraum mit dem Kot der Tiere ausgeschieden werden. Bezüglich der Tenazität in der Umwelt ist zu erwarten, dass diese bei den GVO nicht höher ist als beim Empfängerorganismus. Generell gilt, dass die „Fitness“ der GVO geringer ist als die der autochthonen Bodenflora und dementsprechend ihre Überlebenschancen auch geringer sind. Wenn auch der horizontale Gentransfer im Boden selbst umstritten ist, so gibt es doch Hinweise dafür, dass im Darm von Kleinstlebewesen der Bodenfauna, z. B. bei Springschwänzen ein solcher stattfinden kann (PFIRRMANN und BÖHM, 2000).

## **6.2 Phytohygiene**

Viele organische Düngemittel enthalten Ausgangsstoffe pflanzlicher Herkunft oder andere pflanzengesundheitlich relevante Bestandteile. Ein potentielles Hygienrisiko liegt vor, wenn ein Befall oder eine äußerliche Kontamination mit Schadorganismen vorliegt und wenn diese Schadorganismen in den Ausgangsstoffen überdauern, eine Behandlung überstehen und darüber hinaus nach der Ausbringung des Düngemittels erneut Wirtspflanzen infizieren können. Hierzu sind in der Regel bodenbürtige und samenbürtige Schadorganismen fähig, bzw. solche, die eine Zeit in Boden oder Wasser überdauern können. Die folgende Auflistung nennt wichtige Stellvertreter mit entsprechenden

Eigenschaften, zu denen Ergebnisse zum Einfluss hygienisierender Behandlungsverfahren vorliegen.

### 6.2.1 Bakterien

***Clavibacter michiganensis ssp. sepedonicus*** (bakterielle Ringfäule der Kartoffel) – (Quarantäneschadorganismus) (QSO): Erst nach einer längeren Latenzzeit zeigt eine befallene Pflanze Welkesymptome. Im Inneren der Kartoffelknolle verfärbt sich der Leitbündelring und es entwickelt sich eine Knollenfäule. Der Erreger überdauert in den Knollen im Boden und an kontaminierten Maschinen und Geräten. Schon bei Befallsverdacht dürfen Knollen nicht als Pflanzgut genutzt werden. Auf Flächen, auf denen befallene Pflanzen festgestellt worden sind, sind aufgrund des Quarantänestatus (ANONYM, 2001) besondere Maßnahmen zur Tilgung des Befalls zu ergreifen.

***Clavibacter michiganensis ssp. michiganensis*** (QSO) verursacht an Tomaten eine Welkekrankheit. Deutliche Welkesymptome bilden sich häufig erst nach einer Latenzphase. Da das Bakterium über die Besiedelung der wasserleitenden Gefäße auch die Frucht erreicht, kann es zu einer Infektion des Samens und somit zur Samenübertragbarkeit kommen. Im Boden und auf Kulturflächen kann der Erreger bis zu 2 bis 3 Jahre überdauern. Der Erreger unterliegt ebenfalls den Quarantäneregelungen der Europäischen Union nach Richtlinie 2000/29/EG (ANONYM, 2000 e).

***Ralstonia solanacearum*** (QSO) ruft bei Kartoffeln die Schleimkrankheit und bei Kartoffeln und Tomaten eine bakterielle Welke hervor. Der Erreger überdauert in Kartoffeln, Tomatenpflanzen und bestimmten Unkräutern aus der Familie der *Solanaceae* (Nachtschattengewächse). Die Verbreitung kann sowohl durch Pflanzen als auch durch kontaminiertes Oberflächenwasser erfolgen. Eine Ansteckungsgefahr besteht ferner durch kontaminierte Maschinen und Geräte. Aufgrund des Quarantänestatus müssen bei einem Befall besondere Eingrenzungs- und Bekämpfungsmaßnahmen ergriffen werden (ANONYM, 2001).

### 6.2.2 Pilzähnliche Formen

***Plasmodiophora brassicae*** (Kohlhernie): An Raps, Kohllarten und anderen Kreuzblütlern verursacht der Erreger Welkesymptome, die mit gallenartigen Verdickungen der Wurzeln einhergehen. Die Entwicklung der Pflanzen wird dadurch gestört und sie sterben ab. Dauersporen des Erregers werden aus befallenem Gewebe freigesetzt und können mehrere Jahre im Boden überdauern. Aus den Dauersporen werden Zoosporen freigesetzt, die von anfälligen Wirtspflanzen angelockt werden und erneut infizieren (BOERNER, 2009).

***Polymyxa betae***: der pilzähnliche Organismus befällt die Wurzeln von Zuckerrüben. Der Hauptschaden entsteht jedoch durch die Übertragung des Rizomania-Virus (*Beet necrotic yellow vein virus*) (QSO). Dauersporen und Zoosporen werden wie bei *Plasmodiophora brassicae* gebildet (BOERNER, 2009).

### 6.2.3 Echte Pilze

***Fusarium avenaceum*, *F. culmorum* und *F. graminearum*** verursachen Fuß- und Ährenkrankheiten an Getreide, Mais und Gräsern. Hauptsymptome sind eine Verbräunung des Halmgrundes und eine partielle Taubährigkeit nach Blüteninfektionen. Alle Arten besiedeln Stroh- und Stoppelreste mit Dauermyzel. *F. culmorum* bildet langlebige Chlamydosporen im Boden. Durch Mykotoxinproduktion im Wirtsgewebe kann es zu erheblicher Belastung des Erntegutes kommen (BOERNER, 2009).

***Claviceps purpurea*** (Mutterkorn) tritt an Roggen und Gräsern, seltener an Weizen auf. Durch Infektion der Blüte werden statt Getreidekörnern hornartige, schwarz-violette Sklerotien des Pilzes, sog. Mutterkörner ausgebildet. Das Sklerotium enthält mehrere, für Warmblüter giftige Alkaloide. Die Sklerotien überdauern im Boden und setzen im Frühjahr Sporen frei, die durch Regentropfen, Insekten oder Wind erneut Wirtspflanzen infizieren (BOERNER, 2009).

***Rhizoctonia solani*** verursacht Wurzelfäulen an sehr vielen Kulturen u. a. Zuckerrüben und Kartoffeln. Der Pilz verbreitet sich durch Ernterückstände und Sklerotien am Pflanzenmaterial. Die Infektion der Wurzeln und unterirdischer Pflanzenteile erfolgt durch saprophytisch im Boden lebendes Myzel oder durch Sklerotien. Der Pilz ist allgemein verbreitet und besitzt einen großen Wirtspflanzenkreis (mehr als 200 Arten) (BOERNER, 2009).

***Sclerotinia sclerotiorum*** besitzt ebenfalls einen weiten Wirtspflanzenkreis (u. a. Raps, Tomate, Gurke, Sonnenblume). Der Pilz besiedelt Stängel, Blätter und Hülsen seiner Wirte. Im Inneren der Pflanzenorgane entwickeln sich Myzel und Sklerotien. Die Sklerotien gelangen mit Ernteresten in den Boden und können dort über mehrere Jahre überdauern (BOERNER, 2009). Unter günstigen Bedingungen bildet der Pilz Fruchtkörper, aus denen Ascosporen für eine erneute Infektion freigesetzt werden (BOERNER, 2009).

***Synchytrium endobioticum*** der Kartoffelkrebs (QSO), ist in Deutschland derzeit nur sehr begrenzt verbreitet. Ältere Befallsherde werden durch ein strenges Anbauverbot bzw. Nutzung resistenter Sorten unter Kontrolle gehalten. In letzter Zeit sind einige neue Kartoffelkrebsherde festgestellt worden.

Der Quarantänerreger verursacht Gewebewucherungen an Stängeln, Blättern und Kartoffeln. Bei Feststellung eines Befalls wird der Anbau von Kartoffeln auf der Fläche behördlich untersagt, bis Dauersori des Erregers auf der betreffenden Fläche nicht mehr nachweisbar sind. Aufgrund der hohen Widerstandsfähigkeit der Dauersori bleiben nachgewiesene Befallsflächen daher für Jahrzehnte gesperrt. In der Sicherheitszone um einen Befallsherd dürfen nur resistente Sorten angebaut werden, was jedoch die Sortenwahl erheblich einschränkt. Eine andere Bekämpfungsmöglichkeit steht nicht zur Verfügung. Amtliche Maßnahmen sind gemäß der Richtlinie 69/464/EWG durchzuführen.

#### ***Tilletia caries*** (Weizensteinbrand)

Bei Befall des Weizens werden statt der Körner schwarzbraune „Brandbutten“, in denen Brandsporen enthalten sind, gebildet. Die Brandsporen werden beim Drusch freigesetzt und haften fest an den Weizenkörnern (Saagutübertragung). Nach der Aussaat werden unmittelbar die Keimlinge infiziert. Die Überwinterung kann außer am Saatgut auch in Form von Myzel in infizierten Pflanzen erfolgen (BOERNER, 2009).

### **6.2.4 Viren**

**Thermostabile Viren aus der Tobamo-Virus-Gruppe:** Der bekannteste Vertreter dieser Gruppe ist das Tabakmosaikvirus (*Tobacco mosaic virus*) (TMV). Hierzu gehören ferner das Tomatenmosaikvirus (*Tomato mosaic virus*), das *Cucumber green mottle mosaic virus*, das *Pepper mild mottle virus* und das *Paprika mild mottle virus* gehören. Diese stabilen Viren können ihre Wirtspflanzen ohne einen Vektor über die Wurzeln infizieren und wirtschaftlich bedeutende Schäden verursachen können. Die betreffenden Viren schädigen Tomaten-, Gurken-, Paprika- und Tabak und viele Zierpflanzenkulturen. Über das *Cucumber green mottle mosaic virus* wurde berichtet, dass auch das Sickerwasser von befallenen Gurkenabfällen infektiös war (VAN DORST, 1998). *Tobamo*-Viren sind in der Umwelt relativ stabil und wurden auch aus Oberflächengewässern isoliert (LESEMANN und KÖNIG, 1988).

***Beet necrotic yellow vein virus***, das Rizomania-Virus kann in seinem Vektor *Polymyxa betae*, der dickwandige Dauerorgane bildet, geschützt überdauern. Das Virus zählt zu den Quarantäneschadorganismen. Es kann mit Abwasser, Boden, Gülle und Stallmist, organischen Reststoffen und Saatgut verbreitet werden kann. In Westeuropa hat sich das Virus in den 80iger und 90iger Jahren des 20. Jahrhunderts stark ausgebreitet. Im Boden kann das Virus sehr lange überdauern. Einige Gebiete der Europäischen Union sind als Schutzgebiete für Rizomania ausgewiesen. Gemäß der EU-Richtlinie (ANONYM, 2000 e) dürfen befallene Stoffe oder Pflanzen nicht in diese Schutzgebiete verbracht werden.

### 6.2.5 Nematoden

***Globodera rostochiensis*** (Gelber Kartoffelzystennematode) (QSO) und ***Globodera pallida*** (Weißer Kartoffelzystennematode) (QSO), schädigen insbesondere Kartoffeln aber auch Tomaten und andere *Solanaceae* (Nachtschattengewächse). Es treten nesterweise Wachstumshemmungen auf. Die Überdauerung erfolgt im Eistadium in den Zysten. Der Zysteninhalt ist ca. 8 bis 10 Jahre lebensfähig. Die Larven schlüpfen während der Vegetationsperiode und dringen in neue Wurzeln ein. Aus den Weibchen entwickeln sich wieder Zysten, die das Wurzelgewebe aufbrechen und nach außen herausragen, mit dem Mundteil aber im Wurzelgewebe verankert bleiben (BOERNER, 2009).

***Heterodera schachtii*** (Rübenzystennematode) tritt an Zucker- und Futterrübe, Raps, Kohlarten und anderen Kreuzblütlern sowie *Chenopodiaceae* (Gänsefußgewächse), Gemüse, Gelblupine und Zierpflanzen auf. Schaden und Biologie wie Kartoffelzystennematoden (BOERNER, 2009).

***Ditylenchus dipsaci*** (Stängel oder Stockälchen, Rübenkopfälchen) treten an Roggen, Hafer, Mais, Klee, Tabak, Beta-Rüben und vielen anderen Wirtspflanzen auf. Bei Befall von Zwiebel- und Knollenpflanzen: Quarantäneschadorganismus (QSO) (ANONYM, 2000 e). Die Nematoden überwintern in Pflanzenrückständen oder im Boden und befallen von dort aus den Spross. An der Triebbasis von Gräsern, Getreide und Mais bilden sich zwiebelartige Schwellungen mit intensiver Bildung von Bestockungstrieben. Das Weibchen legt Eier in das Pflanzengewebe. Ältere Larven wechseln auf neue Wirte. Im Boden sind die Nematoden sehr lange überdauerungsfähig (BOERNER, 2009).

***Meloidogyne hapla*** (Nördliches Wurzelgallenälchen) und andere ***Meloidogyne*-Arten** treten an insgesamt 350 Wirtspflanzen auf, darunter Möhre, Gurke, Salat, Tomate, Erbse, Kartoffel, Zuckerrübe, Luzerne und vielen Unkräutern. Symptome sind Wachstumshemmungen und Gallenbildung an den Wurzeln. Der Schadorganismus überwintert im Freiland im Eistadium, im Gewächshaus auch als Larve. Die Laven dringen in Wurzeln ein und induzieren Nährzellen, die zur Bildung des Gallengewebes führen. Eier werden nach außen abgelegt (BOERNER, 2009).

### 6.2.6 Andere tierische Schadorganismen als Nematoden

Unzählige tierische Schadorganismen können in bestimmten Entwicklungsphasen in Pflanzen- oder Bodenmaterial vorkommen. Da sie im Vergleich zu den o. g. Mikroorganismen deutlich empfindlicher sind und z. B. die üblichen Behandlungsverfahren nach Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) nicht überstehen, soll auf sie nicht näher eingegangen werden.

### 6.2.7 Unkräuter

**Samen von *Lycopersicon esculentum* (Tomate)** dienen im Rahmen der Prozessprüfung nach Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) als Indikatororganismen, da sie eine hohe Keimfähigkeit haben und innerhalb weniger Tage keimen (LORENZ, 2004). Sie sind weder hartschalig noch weisen sie eine Keimruhe auf und gelten als vergleichsweise wärmeresistent. Tomatensamen dienen daher in vielen Untersuchungen als Stellvertreter für Unkräuter.

In Deutschland gibt es eine große Anzahl Unkrautarten, die mit Bioabfall oder nachwachsenden Rohstoffen in Ausgangsstoffe von Sekundärrohstoffdünger gelangen können aber hier nicht im Einzelnen vorgestellt werden können. Speziell bei der Vergärung nachwachsender Rohstoffe müssen Unkräuter berücksichtigt werden. Nach WESTERMAN und GEROWITT, 2012 haben *Chenopodium album* und *Echinochloa crus-galli* die höchste Wahrscheinlichkeit mit Maisschnitt in die landwirtschaftliche Vergärung eingetragen zu werden:

***Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß)** ist ein einjähriges Unkraut bis 150 cm Höhe. Pro Pflanze entwickeln sich bis zu 20.000 Samen. Die Lebensdauer der Samen im Boden kann mehr als 30 Jahre betragen. Es ist Leitunkraut in Hackfrüchten und Mais. Im Rübenanbau häufigste Unkrautart. Durch das hohe Vermehrungspotential besitzt das Unkraut große wirtschaftliche Bedeutung. Die Schädwirkung resultiert aus Nährstoffentzug und Beschattungseffekt (LFL, 2012).

***Echinochloa crus-galli* (Hühnerhirse)** ist ein einjähriges Unkraut. Die Pflanzen sind 30 - 80 hoch, freistehend 100 - 150 cm. 200 - 1.000 Samen je Pflanze; Samen können im Boden bis zu 5 Jahren keimfähig bleiben. Die Art ist weltweit in der gemäßigten, subtropischen und tropischen Zone verbreitet. In Deutschland kommen sie in offenen Sommerkulturen vor. Es handelt sich um das häufigste Ungras im Maisanbau (LFL, 2012).

***Ambrosia artemisiifolia* (Beifuß-Ambrosie)** soll hier als Beispiel für neu in Deutschland eingeschleppte Pflanzen (Neophyten) vorgestellt werden. Als problematisches, neu eingeschlepptes Unkraut hat es nicht nur eine Schädwirkung auf Kulturpflanzen, sondern birgt aufgrund seiner stark allergieauslösenden Pollen auch Risiken für die menschliche Gesundheit. Die Pflanze ist einjährig und trat früher selten bis unbeständig auf, wird neuerdings aber häufiger gefunden. In Hackfrüchten, vor allem Kartoffeln und Rüben tritt sie als Unkraut auf. Pro Pflanze werden bis zu einer Milliarde Pollen gebildet. Eine große Pflanze kann bis zu 60.000 Samen bilden, die mehrere Jahrzehnte keimfähig bleiben. Die Samenreife wird in Deutschland in Abhängigkeit von der Witterung nicht in jedem Jahr erreicht. In privaten Gärten findet man sie vor allem unter Vogelfutterplätzen, denn Vogelfutter kann mit Ambrosia-Samen verunreinigt sein (STARFINGER und SCHRADER, 2008).

**Hartschalige Samen:** WESTERMANN et al., 2012 b sehen die höchste Wahrscheinlichkeit für das Überleben im mesophilen Biogasprozesses für hartschalige Samen. Die Samenschale hartschaliger Samen ist wasserundurchlässig. Daher sind diese Samen widerstandsfähiger gegenüber ungünstigen Umweltbedingungen als nicht hartschalige Samen. Beispiele für Arten mit Hartschaligkeit sind *Abutilon theophrasti* (Samtpappel), *Malva neglecta* (Wegmalve), *Vicia tetrasperma* (Viersamige Wicke) und *Trifolium pratense* (Rotklee). Die Hartschaligkeit ist aber keine feste Eigenschaft innerhalb einer Art sondern sie wird in mehr oder weniger großen Anteilen innerhalb einer Population ausgeprägt.

## **7                    Behandlungsmethoden für organische Dünger und ihre Wirkung auf Schadorganismen**

Die Einführung der ressourcenschonenden Kreislaufwirtschaft hat neue hygienische Herausforderungen geschaffen. Während an natürlichen Standorten überwiegend nicht krankmachende Mikroorganismen vorgefunden werden, treten bei der Verarbeitung von Abfällen und tierischen Exkrementen häufig krankheitserregende Mikroorganismen in hoher Zahl auf, die Menschen, Tiere und/oder Pflanzen befallen können (EDER, 2012). Behandlungsmethoden haben daher folgende Ziele:

- Beseitigung von Krankheitserregern
- Zahl der Pathogenen so zu reduzieren, dass sie keine Gesundheitsgefährdung für Menschen, Tiere und/oder Pflanzen darstellen
- Schutz vor der mikrobiellen Kontamination des Bodens
- Schutz vor der mikrobiellen Kontamination von Oberflächengewässern und von Grund- und Trinkwasser
- Unterbrechung von Infektionsketten und -kreisläufen
- Vorbeugung vor der Schließung von Infektionsketten und Vorbeugung vor dem Entstehen neuer Infektionsketten und -kreisläufen
- Reduktion der antibiotikaresistenten Bakterienflora
- möglicher Abbau von Antibiotika und -metaboliten
- Verminderung der aerogenen Verfrachtung von Krankheitserregern und anderen Mikroorganismen bei der Ausbringung.

Behandlungsmethoden dienen u. a. auch zur Verwertung und zur Einflussnahme auf Eigenschaften, wie starke Geruchs- und Schichtenbildung und zur Nährstoffumwandlung. Die Wirksamkeit der Inaktivierung von Pathogenen hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- Art des Mikroorganismus (Bakterien, Viren, Pilze, Parasiten, Sporen etc.)
- Ausgangskonzentration im Substrat
- Substrat (z. B. Gülle, Bioabfall, Klärschlamm)

- Partikelgröße des Substrats
- Art der Inaktivierung (Behandlungsmethode)
- Zeit (Einwirkungsdauer)
- Temperatur (z. B. mesophil, thermophil)
- sonstige Parameter (pH-Wert, TS-Gehalt, NH<sub>3</sub>-Gehalt, O<sub>2</sub>-Gehalt etc.).

In der Praxis werden verschiedene biologische, chemische und physikalische Verfahren angewendet, um die Konzentration von unerwünschten Mikroorganismen und Parasitenstadien (Erreger von Infektionskrankheiten) auf ein hygienisch akzeptables Maß zu reduzieren. Je nach Grad der Konzentrationsreduktion kann nach ZUCKER et al. (2011) dabei grundsätzlich zwischen Sterilisation, Desinfektion und Inaktivierung unterschieden werden. Sterilisation ist die Abtötung bzw. Entfernung aller Mikroorganismen. Desinfektion bedeutet die Reduktion der Zahl der Mikroorganismen bzw. die Abtötung von pathogenen Mikroorganismen und die Inaktivierung ist die Zerstörung der biologischen Aktivitäten von Mikroorganismen und biologischen Agenzien. Grundsätzlich gibt es zur Inaktivierung von Mikroorganismen nach VALENTIN-WEIGAND (2011 d) und MARTENS und BÖHM (2009) mechanische, physikalische, chemische und biotechnologische Verfahren. Ein mechanisches Verfahren zur Eliminierung von Mikroorganismen ist die Filtration. Nach KAYSER und BÖTTGER (2010 b) können Flüssigkeiten und Gase durch Filtration entkeimt werden. Die meisten Filter halten lediglich Bakterien und Pilze zurück. Mit Ultrafiltern können aber auch Viren und sogar große Moleküle weggefiltert werden. Bei den Flächenfiltern kommt die Rückhaltung durch Siebwirkung zustande. Die für die Sterilfiltration eingesetzten Filter besitzen nach VALENTIN-WEIGAND (2011 d) mikroskopische Poren mit einem Durchmesser von 0,45 µm bis 0,22 µm. Das Verfahren der Filtration wird hauptsächlich zur Desinfektion von Luft eingesetzt, z. B. in Sicherheitswerkbänken und Reinräumen, aber auch bei der biologischen Abluftreinigung mit Biofiltern. Das häufigste physikalische Verfahren zur Inaktivierung von Mikroorganismen ist die Anwendung von Hitze. Hitze ist nach BÖHM (2002 b) bei weitem das zuverlässigste Mittel, um Mikroorganismen zu inaktivieren. Feuchte Hitze ist dabei wirksamer als trockene. Die Infektiosität von Viren geht bei feuchter Hitze, bei Temperaturen zwischen 55 °C und 70 °C bereits innerhalb von Minuten verloren, wenn sie nicht durch Material um sie herum geschützt werden. Bakterien, selbst hitzeresistente, wie Staphylokokken oder Mykobakterien, werden mit Ausnahme der Sporen gewöhnlich durch Temperaturen von 75 °C bis 80 °C rasch abgetötet. Bei Vorhandensein von schützenden organischen Materialien verlängern sich die Einwirkzeiten beträchtlich. Die Sporen vieler pathogener und apathogener Bazillen und Clostridien widerstehen Temperaturen von 100 °C in der Regel mehrere Stunden. Um bei der Anwendung von Temperaturen bis zu 100 °C dennoch eine Abtötung von Sporenbildnern zu erreichen, kann nach ZUCKER et al. (2011) die Methode der Tyndallisation angewandt werden. Diese besteht in einem mehrmaligen Erhitzen (2- bis

---

4-mal) bis maximal 100 °C in Abständen von 18 bis 24 h mit dem Ziel, nicht abgetötete Bakteriensporen in der zwischenzeitlichen Lagerung bei Zimmertemperatur zum Auskeimen zu bringen und sie beim anschließenden Erhitzungsvorgang als vegetative Keime abzutöten. In der Abb. 10 sind die verschiedenen Resistenzstufen von Krankheitserregern im Hinblick auf ihre Inaktivierung bei thermischer Behandlung nach BÖHM (2007) dargestellt. Eine weitere Möglichkeit der physikalischen Inaktivierung ist die Behandlung mit Strahlung. Es kann nicht ionisierende und ionisierende Strahlung verwendet werden (VALENTIN-WEIGAND, 2011 d). Ultraviolettlicht ist als kurzwellige, elektromagnetische Strahlung im Bereich von 210 – 310 nm mikrobizid wirksam. Die Keimvernichtung durch Sonnenlicht beruht auf diesem Spektralanteil. Sowohl bei Viren als auch bei Bakterien bestehen spezies- und stammspezifische Unterschiede der Empfindlichkeit gegen UV-Strahlen. Nachteilig wirkt sich für Desinfektionszwecke die sehr geringe Eindringtiefe der Strahlen aus, die nur oberflächlich liegende Mikroorganismen durch direkte Treffer schädigen können. Schon geringe Schmutz- oder Staubteilchen oder eine zu große Schichtdicke schützen Mikroorganismen vor der letalen Wirkung. Das trifft auch dann zu, wenn sie in Ausscheidungen von Menschen und Tieren in organischem Material enthalten und dadurch geschützt sind. Die UV-Bestrahlung wird zur Desinfektion in Laboratorien, Operationsräumen und bei der Trinkwasseraufbereitung eingesetzt. Zu den ionisierenden Strahlen gehören die Gammastrahlen (elektromagnetische Wellen), die beim Kernzerfall entstehen und die Korpuskulärstrahlen, die aus Elektronen der Kernhülle bestehen, die in Generatoren erzeugt und durch Beschleunigung energiereich gemacht werden (KAYSER und BÖTTGER, 2010 b). Gammastrahlen kommen nach BÖHM (2002 b) vorwiegend zur Sterilisation von Instrumenten, chirurgischem Nahtmaterial, Einwegmaterialien für den medizinischen Bedarf, Verbandstoffen und Medikamenten zur Anwendung. Begrenzte Anwendung finden sie außerdem zur Konservierung von Lebensmitteln im Ausland sowie gelegentlich in einigen Ländern zur Dekontamination von Klärschlamm (Abtötung von Salmonellen und Wurmeiern). Das Wirkungsspektrum ist breit, es können Viren, Bakterien, Bakteriensporen, Hefen und Pilze irreversibel geschädigt werden. Ein weiteres physikalisches Desinfektionsverfahren ist nach BÖHM (2002 b) die Anwendung von Ultraschall. Hochfrequenzschallwellen rufen in Flüssigkeiten mechanische Zerstörungen von Mikroorganismen hervor. Der Effekt ist abhängig von der Energie (Amplitude) und der Frequenz der Schallwellen sowie von der Beschallungsdauer. Die Wirkung kommt durch die raschen Folgen von plötzlichen Druckwellen und Druckabfall zustande, die Zellwände werden mechanisch zerstört. Bakterien-, Hefe- und Pilzzellen lassen sich mit Ultraschall gut zerstören. Es bestehen jedoch deutliche Empfindlichkeitsunterschiede. Staphylokokken, Streptokokken und Pilzsporen sowie Sporen von Bazillen und Clostridien sind mehr oder weniger unempfindlich. Auch pathogene und apathogene Mykobakterien sind sehr widerstandsfähig. Die vegetativen Formen anderer stäbchenförmiger Bakterien sowie der Hefen und Pilze werden relativ

schnell und leicht desintegriert. Viren sind aufgrund ihrer nichtzellulären Struktur am unempfindlichsten. Das Anwendungsgebiet der Ultraschallbehandlung ist begrenzt. Die Keimvernichtung oder Keimverminderung wird weniger für Desinfektionszwecke als für die Gewinnung von Zellbestandteilen, Extraktion von Zellinhaltsstoffen, Enzymen und Endotoxinen benützt. Bei der chemischen Desinfektion erfolgt eine Abtötung oder irreversible Schädigung der Mikroorganismen, die je nach Art der eingesetzten Wirkstoffgruppen unterschiedlich sein kann (FIEDLER und WILHELM, 2011). Zu den wichtigsten Desinfektionsmitteln zählen nach VALENTIN-WEIGAND (2011 d): Säuren (z. B. Peressigsäure), Laugen (z. B. Kalk, Kalkmilch, Natronlauge), Aldehyde (z. B. Formalin), Halogene (z. B. Chlor, Jod, Jodophore), Alkohole (z. B. Ethanol), Phenol (z. B. Kresol, Phenol) und Guanide (z. B. Chlorhexidin). BÖHM (2002 b) führt noch Sauerstoffabspalter und oberflächenaktive Substanzen, die kationisch, amphoter und anionisch wirken, als weitere wichtige Desinfektionsmittelgruppen an. Die Inaktivierung von Mikroorganismen und Viren durch Chemikalien wird nach BÖHM (2002 b) durch die Art, Resistenz und Zahl der beteiligten Keime, von der Art und den Eigenschaften des Desinfektionsmittels sowie von den äußeren Bedingungen während der Einwirkung der Chemikalien bestimmt. Zu den äußeren Bedingungen zählen nach VALENTIN-WEIGAND (2011 d) und ZUCKER et al. (2011) die Temperatur, der pH-Wert, die Wasserhärte, die relative Luftfeuchtigkeit und Luftgeschwindigkeit sowie der Anteil an Kot, Blut und anderen Schmutzpartikeln. Die Widerstandsfähigkeit der Mikroorganismen gegenüber Desinfektionsmitteln ist vor allem vom Aufbau der Zellwände oder Hüllen abhängig (ZUCKER et al., 2011). Abb. 11 zeigt nach ZUCKER et al. (2011) die Widerstandsfähigkeit von Mikroorganismen gegenüber Desinfektionsmitteln.

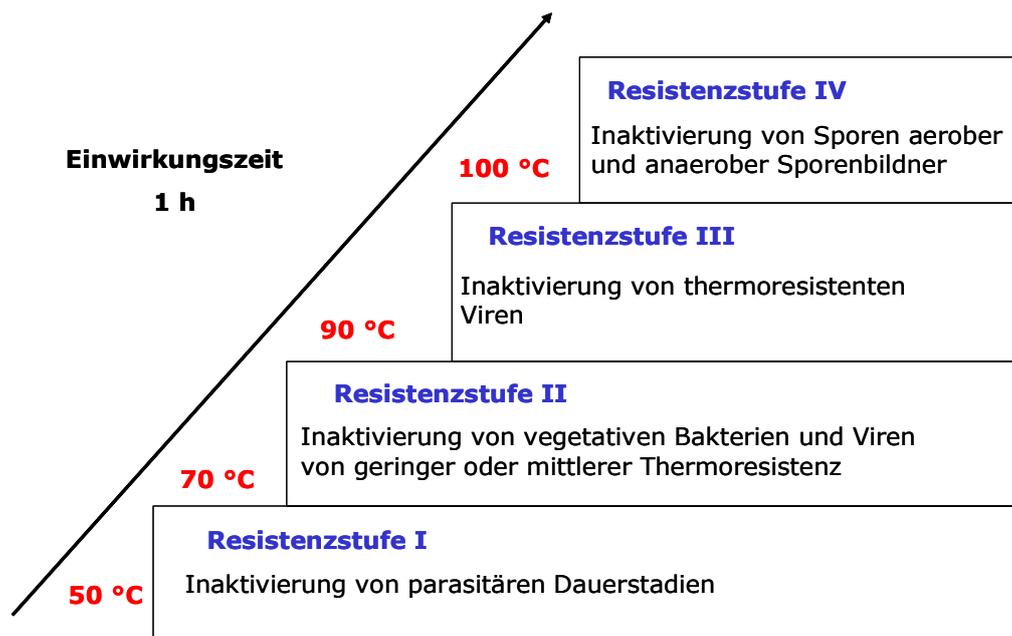


Abb. 10: Stufen der Widerstandsfähigkeit von Krankheitserregern im Hinblick auf ihre Inaktivierung bei thermischer Behandlung (BÖHM, 2007)

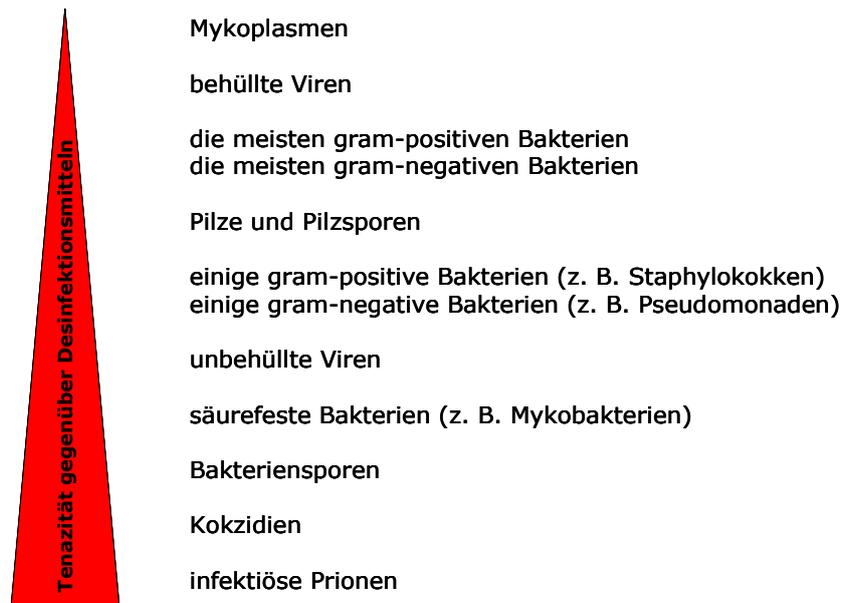


Abb. 11: Tenazität von Mikroorganismen gegenüber Desinfektionsmitteln (ZUCKER et al., 2011)

Zu den biotechnologischen Behandlungsmethoden gehören nach MARTENS und BÖHM (2009) aerobe und anaerobe Prozesse, die im mesophilen und thermophilen Temperaturbereich stattfinden.

Zur Behandlung von Gülle werden derzeit nach ZUCKER et al. (2011) biologische (Kompostierung, Biogaserzeugung), thermische (Trocknung), mechanische (Zentrifugation, Filtration, Homogenisierung), chemische (Zugabe von organischen Säuren oder Mineralien) und elektrochemische (Elektro-M-Verfahren, Oligolyse®) Verfahren angewendet. Für die Behandlung von Klärschlamm zur Herstellung von hygienisiertem Klärschlamm stehen nach BAUER (2006) folgende Verfahren zur Verfügung: Pasteurisierung, aerob-thermophile Fermentation, aerob-thermophile Fermentation mit anschließender Digestion, Kompostierung, Alkalisierung und Kalkung. Die Behandlung von Bioabfall erfolgt biotechnologisch über Kompostierung und Vergärung. Eine thermische Behandlung (Verbrennung) ist auch möglich.

## 7.1 Mechanische Verfahren

### 7.1.1 Feststoffabtrennung/Feststoffseparierung

Bei diesem Verfahren erfolgt eine Auftrennung des Substrates in eine feste und in eine flüssige Phase. Es stehen unterschiedliche Verfahren zur Feststoffseparierung zur Verfügung, die nach dem Prinzip des Filtrierens und Pressens oder der Fliehkraftsedimentation arbeiten (VETTER und STEFFENS, 1986). Siebbandpressen, Dekantierzentrifugen und Siebtrommelpressen werden hierbei nach RAPP (1995) verwendet. Die Feststoffseparierung wird sowohl bei der Klärschlammbehandlung als

auch bei der Behandlung von Gülle eingesetzt (RAPP, 1995). Weiter findet sie Anwendung bei der Aufbereitung von Gärresten. Die mechanische Abtrennung der Flüssigkeit von der festen Phase ist nach LOOTSMA und RAUSSEN (2008) in der Regel die erste Stufe der Behandlung von Gärresten. Durch eine Abtrennung der Feststoffe wird nach MÖLLER et al. (2009) eine gezieltere Düngung von Einzelflächen möglich. Separierte Feststoffe sind nach Angaben der Autoren gute Phosphor- und Humusdünger und sollten deshalb bevorzugt zur Düngung von Ackerland genutzt werden. Die flüssige Phase, auch Fugat genannt, ist ein optimaler Stickstoff- und Kalium-Dünger für Getreide, Mais und Grünland. Aus der Feststoffkomponente lässt sich durch Kompostierung, bei einem entsprechend niedrigen Wassergehalt oder durch Zugabe von saugenden Zusatzstoffen (RAPP, 1995) oder durch Trocknung ein guter, leicht handhabbarer organischer Dünger (VETTER und STEFFENS, 1986) herstellen. Durch sorgfältige Steuerung der Kompostierung mit regelmäßigem Umsetzen der Miete wird eine vollständige Abtötung von Krankheitserregern erreicht (RAPP, 1995). Die flüssige Phase muss nach ZUCKER et al. (2011) wegen des hohen BSB<sub>5</sub> weiter aufbereitet werden. Durch die Separierung wird die flüssige Phase mikrobiell und chemisch entlastet, so dass evtl. notwendig werdende Desinfektionen mit einem stark reduzierten Einsatz von Desinfektionsmitteln schnell und kostengünstig durchgeführt werden können (RAPP, 1995). Das Separieren von Gülle erweist sich nach KRAUSE und AHLERS (1987) aus hygienischer Sicht als vorteilhaft, da Salmonellen im Effluent schneller absterben.

## **7.2 Physikalische Verfahren**

### **7.2.1 Pasteurisierung**

Pasteurisierung wird in der Tierischen Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung (ANONYM, 2006 b) als Erhitzung von Material auf eine Temperatur von mindestens 70 °C mit einer Teilchengröße von  $\leq 12$  mm und einer Einwirkzeit von  $\geq 60$  min bei einem hinreichenden Wärmeübergang zwischen und innerhalb der Teilchen definiert. Nach ZUCKER et al. (2011) werden bei der Pasteurisierung kurzzeitig Temperaturen von 60 °C bis 90 °C verwendet. Dabei werden vor allem die empfindlichen Keime der Resistenzstufe 1, d. h. alle vegetativen Bakterien, Pilze, Viren und Parasiten eliminiert, nicht jedoch Sporenbildner. Nach FIEDLER und WILHELM (2011) wird bei der Pasteurisierung zwischen Nieder- und Hochpasteurisierung unterschieden. Die Niederpasteurisierung findet nach Angaben der Autoren Anwendung zur Reduktion von *Mycobacterium tuberculosis*, Brucellen, Listerien und Polioviren bei einer Temperatur von 61,5 °C und einer Einwirkungsdauer von 30 min. Die Hochpasteurisierung wird nach Angaben von FIEDLER und WILHELM (2011) bei 72 °C für 15 s zur Inaktivierung von *Mycobacterium tuberculosis*, Rickettsien und Polioviren und bei 60 °C über 10 h zur Inaktivierung von Hepatitisviren, Epstein-Barr-Viren und AIDS-Viren angewandt. Bei der Pasteurisierung

---

von Klärschlamm wird dieser nach BAUER (2006) in speziellen Behältern mithilfe von Wärmetauschern oder durch Dampfinjektion erhitzt. Dies führt bei vielen Mikroorganismen zur Blockade von Enzymsystemen und zur Schädigung von Proteinen und Zellmembranen. Die Pasteurisierung soll bei 65 °C für mindestens 30 min, bei 70 – 75 °C für mindestens 20 – 25 min und bei 80 °C mindestens 10 min durchgeführt werden. Die Pasteurisierung kann zur Desinfektion von Klärschlamm eingesetzt werden, bevor dieser einer anaeroben Gärung zur Stabilisierung unterzogen wird (Vorpasteurisierung). Es ist eine sehr wirksame Methode zur Abtötung von Wurmeiern. Als Grenzwerte für eine wirksame Vorpasteurisierung wurden nach Angaben des Autors unter Verwendung von *Ascaris suum*-Eiern als Indikatororganismen in verschiedenen Studien eine Betriebstemperatur von 55 – 56 °C und eine Einwirkzeit von 10 min bzw. 65 – 66 °C und 15 min ermittelt. Die Pasteurisierung von Klärschlamm erfordert nach KLAGES et al. (2009) eine Schlammerhitzung auf Temperaturen von  $\geq 65$  °C bis  $< 100$  °C, mit einer Einwirkzeit von 30 min bzw. ab 80 °C  $\geq 10$  min. Als verfahrenstechnische Vorgaben nennen die Autoren die Zerkleinerung größerer Bestandteile im Rohschlamm, um eine Rekontaminierung durch nicht entseuchte Partikel-Kompartimente zu verhindern (Partikelgröße  $\leq 5$  mm), Verhinderung von Kurzschlussströmungen im Reaktor und die Erhitzung des Rohschlammes vor der Schlammstabilisierung (Vorpasteurisierung), um ein erneutes Wachstum pathogener Keime nach der Faulung aufgrund fehlender Antagonisten zu verhindern. Nach Untersuchungen von SAIER (1987) werden Polivirus Typ 1 und Rotavirus SA-11 schon während der Aufheizphase vor Erreichen der Pasteurisierungstemperatur von 70 °C in Klärschlamm inaktiviert. Nach Angaben der Autorin kann davon ausgegangen werden, dass auch andere im Klärschlamm vorkommende Viren mit vergleichbarer Thermostabilität, wie ECHO-, Reo-, Coxsackie- und Adenoviren durch eine sachgemäße Pasteurisierung von Klärschlamm inaktiviert werden. Allerdings fügt die Autorin auch an, dass bovine Parvoviren durch Pasteurisierung nicht vollständig inaktiviert werden. Im Hinblick auf die Eliminierung von Viren ist nach SAIER (1987) der Vorpasteurisierung der Vorzug zu geben, da sie am Anfang eines komplexen Klärschlammbehandlungsverfahrens steht, das im Gesamten zu einer weiteren Virustiterreduktion führt. Untersuchungen von PHILIPP (1981) zeigen, dass die Pasteurisierung von Rohschlamm bei einer Temperatur von 70 °C und einer Einwirkzeit von 30 min zu einer Abtötung von Salmonellen führt, und im anschließenden Faulprozess keine Wiedervermehrung von Salmonellen im Klärschlamm erfolgt. Um eine sichere und stabile Entseuchung von Klärschlamm zu erreichen, sollte nach PHILIPP (1988) eine Vorpasteurisierung (Pasteurisierung von Rohschlamm vor der Faulung) durchgeführt werden. Bei der Vergärung von einem Gemisch aus 75 % Gülle und 25 % Speiseabfälle werden Salmonellen, *Campylobacter*, *Escherichia coli* und Fäkalstreptokokken ausgehend von einer Konzentration von  $10^5$  bzw.  $10^8$  KBE/g bei der Pasteurisierung nach Untersuchungen von STÖCKLEIN (2005) nach

einer Exposition über 20 min bei 70 °C nicht mehr nachgewiesen. Die Ausgangskonzentration an *Escherichia coli* wird nach Angaben der Autorin von  $10^8$  KBE/g nach 20 min in der Pasteurisierungseinheit um 0 bzw. 2 Zehnerpotenzen reduziert und weist nach 40 min einen Wert von  $10^2$  bzw.  $10^1$  KBE/g auf. Nach 60 min werden keine *Escherichia coli* mehr festgestellt. Die Konzentration an Fäkalstreptokokken beträgt nach 20 min  $10^7$  KBE/g, nach 40 min  $10^5$  KBE/g bzw.  $10^4$  KBE/g und nach 60 min liegt die Konzentration der Fäkalstreptokokken unterhalb der Nachweisgrenze. *Clostridium perfringens* werden, ausgehend von einem Gehalt von  $10^5$  KBE/g nach 20 min um eine Zehnerpotenz reduziert, danach wird keine Reduktion mehr festgestellt, so dass sich nach der Pasteurisierung noch  $10^4$  KBE/g an *Clostridium perfringens* im Gülle-Speisereste-Gemisch befinden. Nach Untersuchungen von DRČA (2007) werden *Listeria monocytogenes* und *Yersinia enterocolitica* sowie *Campylobacter jejuni* bei der Vergärung von Speiseresten in einer Biogasanlage schon während der Aufheizphase im Hygienisierungsbehälter deutlich reduziert, so dass sie bei Erreichen der eigentlichen Hygienisierungstemperatur von 70 °C nicht mehr nachzuweisen waren. Nach Untersuchungen von ADE-KAPPELMANN (2008) in einem Pasteurisierungsbehältnis (70 – 90 °C) zeigt sich, dass *Mycobacterium avium* ssp. *paratuberculosis* und *Ascaris suum* innerhalb von 30 min bei 70 °C eliminiert werden. *Enterococcus faecalis*, Coliphage „Wildstamm“ und Salmonellen sind bei 70 °C nach 1 h nicht mehr nachweisbar. Coliphage T1 ist bei 70 °C erst nach 90 min vollständig inaktiviert. In der novellierten Klärschlammverordnung ist die Pasteurisierung von Klärschlamm nach WIECHMANN et al. (2012) als Behandlungsverfahren zur Hygienisierung vorgesehen. Der Schlamm wird dabei während einer Einwirkzeit von 60 min und unter Zufuhr von Wärme auf über 70 °C erhitzt. Nach ANONYM (2010 d) sind aber auch andere Temperatur/Zeit-Kombinationen möglich, wenn durch entsprechende Prozessprüfungen eine der Pasteurisierung vergleichbare Reduktion der Schadorganismen erreicht wird. Die kontinuierliche, homogene Durchmischung im Reaktor muss gewährleistet sein. Gemäß der Verordnung (EU) Nr. 142/2011 (ANONYM, 2011 b) müssen Biogasanlagen über eine Pasteurisierungseinheit verfügen, sofern sie tierische Nebenprodukte verarbeiten, es sei denn die tierischen Nebenprodukte wurden vorher einer Behandlung, gemäß dieser Verordnung (Verarbeitungsmethoden 1-5 und Verarbeitungsmethode 7, alkalische Hydrolyse) unterzogen oder es handelt sich um Kategorie 2-Material, wie Gülle, Magen und Darm sowie dessen Inhalt, Milch und Milchprodukte sowie Kolostrum, von dem keine Gefahr einer Verbreitung einer schweren Krankheit ausgeht, oder es handelt sich um Lebens- oder Futter- oder Heimtierfuttermittel tierischen Ursprungs, die aus kommerziellen Gründen nicht mehr zum Verzehr bzw. zur Fütterung bestimmt sind, oder wenn die Fermentationsrückstände kompostiert oder verarbeitet oder beseitigt werden. Das zu pasteurisierende Material muss dabei folgende Mindestanforderungen erfüllen:

---

das Material darf maximal eine Partikelgröße von 12 mm haben und es muss einer Temperatur von 70 °C für 60 min ausgesetzt sein.

Die Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) fordert für die Pasteurisierung von pflanzlichen Abfällen eine Teilchengröße mit einer Kantenlänge von maximal 12 mm und eine Einwirkung von mindestens 70°C über eine Stunde. Das Material muss einen Wassergehalt aufweisen, der einen hinreichenden Wärmeübergang zwischen und innerhalb der Teilchen gewährleistet. Untersuchungen unter kontrollierten Bedingungen, z.B. im Wasserbad, lassen Rückschlüsse auf die Wirkung einer Pasteurisierung zu, erlauben aber auch im Hinblick auf die Kompostierung und Vergärung die Abschätzung der Temperaturwirkung dieser weitaus komplexeren Behandlungssysteme. *Plasmodiophora brassicae*-Gallen zeigten in Versuchen von LORENZ (2004), dass schon 1 h bei 60°C ausreichte, um den Erreger zu inaktivieren. IDELMANN (2005) fand relativ heterogene Reaktionen, die zwischen einem Absterben des Erregers bei 46 °C über 2,5 h bis zu 50°C über 6,5 h schwankte und schloss daraus, dass die von ihm verwendeten *Plasmodiophora brassicae*-Stämme insgesamt weniger wärmeverträglich waren, als von anderen Autoren beschrieben.

Eine Auflistung von Temperatur-Zeit-Kombinationen (Tab. 8 bis Tab. 10) die zur Abtötung von Pflanzenpathogenen erforderlich waren, macht deutlich, dass eine Behandlung im Wasserbad in der Regel zu einer relativ schnellen Inaktivierung führt. Dies gilt auch für Ergebnisse von STEINMÖLLER et al., 2012 zu *Globodera rostochiensis*. Der Kartoffelnematode war nach 30 Minuten bei 70 °C abgetötet. Zu beachten ist jedoch, dass diverse Faktoren, wie z.B. die Art der Erregerstruktur (Myzel, Sporen, Dauerorgane, Zysten), das Medium, in welches die Erregerstrukturen eingebettet sind (reine Suspension, Agar, Pflanzengewebe, Boden) und der Feuchtigkeitsgehalt des Mediums die Wärmeverträglichkeit der Schadorganismen beeinflussen. Ferner ist anzunehmen, dass auch innerhalb einer Art eine natürliche Variation in der Wärmeverträglichkeit verschiedener Individuen oder Stämme auftritt. Insbesondere bei Unkräutern ist der Samenfeuchtigkeitsgehalt ein sehr wichtiges Kriterium. Trockene Samen sind deutlich widerstandsfähiger gegenüber einer Hitzebehandlung als feuchte (IDELMANN, 2005).

Tab. 8: Inaktivierung von Schadorganismen von Pflanzen (Pilze und Bakterien) durch thermische Behandlung im Wasserbad (Auszüge aus NOBLE und ROBERTS, 2004 und NOBLE et al., 2009)

Schadorganismus	Erregerstruktur	Medium	Temp.°C	Zeit Min.
<b>Pilze</b>				
<i>Botrytis cinerea</i>	Sporen	Wasser	47	4
	Sporen	Wasser	50	6
	Konidien	Wasser	65	10
<i>Macrophomina phaseolina</i>	Tomatenstängel	Wasser	55	20
	Sklerotien	Wasser	50	102
<i>Rhizoctonia solani</i>	Myzel	Wasser	50	7
	Myzel	Agar	50	12
<i>Synchytrium endobioticum</i>	Sporangien	Wasser	60	480
<i>Thielaviopsis basicola</i>	Myzel	Agar	45	600
	Myzel	Agar	50	80
<i>Verticillium albo-atrum</i>	Myzel	Wasser	53	4
	Myzel	Pflanzenstängel	47	5
	Mikrosclerotien	Wasser	55	4
	Mikrosclerotien	Pflanzenstängel	47	40
<i>Verticillium dahliae</i>	Myzel	Agar	45	480
	Myzel	Agar	47	130
<i>Phytophthora cactorum</i>	Oosporen	Boden oder Zweige	45	30
<i>P. cinnamomi</i>	Chlamydosporen	Boden oder Zweige	45	18
<i>P. kernoviae</i>	Sporangien	Blätter	45	18
<i>P. megasperma</i>	Oosporen	Boden oder Zweige	42	18
<i>P. nicotianae</i>	Myzel	?	50	180
	Chlamydosporen	Feuchter Boden	47	180
<i>P. ramorum</i>	Sporangien	Blätter	45	18
<i>Plasmodiophora brassicae</i>	Gefilterter Extrakt	Wasser	75	10
<i>Pythium ultimum</i>	Myzel	Wasser	46	45
	Myzel	Agar	45	450
	Myzel	Agar	50	33
<b>Bakterien</b>				
<i>Erwinia amylovora</i>	Suspension	Suspension	50	30
	Apfelreis	Apfelreis	45	3
<i>E. carotovora ssp. atroseptica</i>	Suspension	Suspension	50	15
<i>E. carotovora ssp. carotovora</i>	Suspension	Suspension	50	30
<i>E. chrysanthemi</i>	Suspension	Suspension	50	40
<i>Clavibacter michiganensis ssp. michiganensis</i>	Tomatensamen	Wasser	52	24
	Tomatensamen	Wasser	56	30
<i>C. michiganensis ssp. sepedonicus</i>	Suspension	Wasser	82	5
<i>Pseudomonas savastanoi pv. phaseolicola</i>	Filtrierte Blätter	Filtrierte Blätter	65	10
<i>Ralstonia solanacearum</i>	?	Wasser	45	120
	?	Wasser	55	6

Tab. 9: Inaktivierung von Schadorganismen von Pflanzen (Viren, Nematoden und Insekten) durch thermische Behandlung im Wasserbad (Auszüge aus NOBLE und ROBERTS, 2004 und NOBLE et al., 2009)

Schadorganismus	Erregerstruktur	Medium	Temp.°C	Zeit Min.
<b>Viren</b>				
<i>Tobacco mosaic virus (TMV)</i>	Pflanzensaft	Pflanzensaft	94	10
	Pflanzensaft	Pflanzensaft	75	40
<i>Tobacco necrosis Virus</i>	Filtriertes Blattmaterial	Filtriertes Blattmaterial	75	10
<i>Tobacco rattle virus</i>	?	?	75-80	10
<b>Nematoden</b>				
<i>Aphelenchoides ritzemabosi</i>	Infizierte Knollen	Infizierte Knollen	45	180
<i>A. subtenuis</i>	Narzissenzwiebel	Wasser	47	6
<i>Ditylenchus dipsaci</i>	Narzissenzwiebel	Wasser	47	24
	Suspension	Wasser	50	15
	Narzissenzwiebel	Wasser	48	90
	Knoblauch-zwiebeln	Wasser	49	60
<i>Meloidogyne hapla</i>	Erdbeerwurzeln	Erdbeerwurzeln	49	7
	Rosenwurzeln	Rosenwurzeln	45,5	60
<i>M. incognita</i>	Rebunterlage	Wasser	50	20
<i>M. javanica</i>	Kartoffelknollen	Kartoffelknollen	46	120
	Kartoffelknollen	Kartoffelknollen	49	60
	Rebunterlage	Wasser	50	20
<i>Pratylenchus penetrans</i>	Erdbeerwurzeln	Erdbeerwurzeln	46	45
	Erdbeerwurzeln	Erdbeerwurzeln	49	7,5
<b>Insekten</b>				
<i>Merodon equestris</i>	Larve	Wasser	44	60
<i>Eumerus strigatus</i>	Larve	Wasser	44	60
<i>Rhizoglyphus echinops</i>	Narzissenzwiebel	Wasser	49	180

Tab. 10: Inaktivierung von Unkräutern durch thermische Behandlung im Wasserbad

Unkräuter	Temperatur °C	Zeit min	Autor
<i>Amaranthus albus</i>	70	40	LORENZ (2004)
<i>Anagallis arvensis</i>	60	10	LORENZ (2004)
<i>Echinochloa crus-galli</i>	70	10	DAHLQUIST et al. (2007)
<i>Lycopersicon esculentum</i>	66	10	LORENZ (2004)
<i>Portulaca oleracea</i>	70	40	DAHLQUIST et al. (2007)
<i>Rumex obtusifolius</i>	70	10	DAHLQUIST et al. (2007)
<i>Sisymbrium irio</i>	70	10	DAHLQUIST et al. (2007)
<i>Solanum nigrum</i>	70	40	DAHLQUIST et al. (2007)
<i>Sonchus oleraceus</i>	70	10	DAHLQUIST et al. (2007)

Tomatensamen (*Lycopersicon esculentum*) sind wärmeresistenter als die meisten Unkrautarten (IDELMANN, 2005). Eine Auswertung der Ergebnisse verschiedener Autoren durch CEUSTERMANS et al. (2011) kommt zu dem Schluss, dass 1 h 70°C zur Abtötung von Tomatensamen ausreicht. Auch die Samen von genetisch veränderten Nutzpflanzen waren nach 1 h bei 70°C abgetötet (STRAUSS et al., 2012) und ebenso die von LORENZ (2004) und DAHLQUIST (2007) getesteten Unkräuter.

IDELMANN (2005) gibt zu bedenken, dass bei hartschaligen Samen die Wasseraufnahme verzögert oder verhindert ist und dadurch die Wärmeverträglichkeit sehr hoch sein kann, wie er an *Trifolium pratense* (Rotklee) beobachtet hatte. Systematische Untersuchungen zur Wirkung der Pasteurisierung auf Unkrautarten mit hartschaligen Samen sind jedoch nicht bekannt.

Temperatur-Zeit-Reihen, die eine eindeutige Aussage über die Wirkung einer Pasteurisierung bei 70 °C über 1 h ermöglichen würden, liegen für die meisten Phytopathogene und Unkräuter nicht vor. Da sich die Überlebensdauer bei linear zunehmender Temperatur exponentiell verringert (PRECHT et al., 1955), erlauben die Daten lediglich eine Einschätzung der Wirkung, wonach 1 h bei 70°C in den meisten Fällen ausreichend für die Inaktivierung bzw. Abtötung der Organismen ist, sofern eine optimale Wärmeübertragung gewährleistet ist. Von dieser Einschätzung müssen aber das Tabakmosaikvirus (TMV), der Kartoffelkrebs (*Synchytrium endobioticum*) und die Ringfäule der Kartoffel (*Clavibacter michiganensis ssp. sepedonicus*) ausgenommen werden, da sie nachgewiesenermaßen durch eine Pasteurisierung nicht inaktiviert werden. Sowohl RYCKEBOER (2001), als auch LORENZ (2004) und MARZINICZYN (2004) konnten dies für TMV als Vertreter der thermostabilen Viren nachweisen. Nach LORENZ (2004) sind mindestens 2 h bei 80°C für die Inaktivierung von TMV erforderlich.

Wintersporangien von *Synchytrium endobioticum* waren in Untersuchungen von STEINMÖLLER et al. (2012) nach Pasteurisierung über 90 min bei 70 °C in Kartoffelpülpe bzw. 8 h bei 80 °C in Sporensuspension noch vital. *Clavibacter michiganensis ssp. sepedonicus* konnte nach einer Pasteurisierung über 2 h bei 70 °C aus symptomlosen Testpflanzen isoliert und kultiviert werden und erwies sich im Pathogenitätstest als vital (STEINMÖLLER et al., 2007).

### **7.2.2 Trocknung von Klärschlamm**

Die Klärschlamm-trocknung nimmt nach SCHMITT et al. (2007) derzeit einen immer größeren Stellenwert bei der Verwertung von Klärschlamm ein. Mit diesem Behandlungsverfahren werden nach KLAGES et al. (2009) unterschiedliche Ziele verfolgt. Zum einen soll im Hinblick auf Lager- und Transportkosten eine weitgehende Gewichts- und Volumenreduktion des Klärschlammes erfolgen, zum anderen sollen die Vermarktungs- bzw. Entsorgungsmöglichkeiten verbessert werden. Die Klärschlamm-trocknung dient

auch als Vorbehandlung zur Heizwerterhöhung bei der Klärschlammverbrennung, diese wird heute zunehmend in den Verbrennungsprozess integriert (z. B. bei Etagen- und Wirbelschichtöfen). Ferner werden durch die Trocknung Klärschlämme erzeugt, die annähernd homogen sind und gute Lagerungs- und Transporteigenschaften besitzen. Dies ermöglicht eine bessere Einhaltung der düngerechtlichen Vorgaben. Getrocknete granulatformige Klärschlammprodukte weisen günstige Ausbringeigenschaften auf.

Bei der Klärschlamm-trocknung wird Klärschlamm (je nach Verfahren) in einer Bandbreite von etwa 3 % bis 40 % TS-Gehalt eingesetzt und auf einen TS-Gehalt von 70 % bis maximal 95 % getrocknet. Während der Trocknung durchläuft der Klärschlamm die sogenannte Leimphase (Bereich von ca. 40 – 50 % TS). Die rheologischen Eigenschaften des Klärschlammes verändern sich, aus einem pumpfähigen Nassschlamm wird ein zähpastöser, klebriger Schlamm mit kritischen Fördereigenschaften. Um diese Phase zu umgehen, wird bei einigen Verfahren der Inputfeststoffgehalt durch die Rückmischung von Trockengut auf etwa 60 % TS eingestellt. Nach Überschreiten der Leimphase liegt häufig eine krümelige/klumpige Struktur vor. Trockenschlamm (TS >95 %) ist rieselfähig bis staubförmig (SCHMITT et al., 2007). Die Verfahren der Klärschlamm-trocknung können nach KLAGES et al. (2009) folgendermaßen eingeteilt werden:

- Hochtroperturtrocknung: hierbei wird das Medium (Luft, Wasser etc.) durch Zuführung von Energie auf Temperaturen über 100 °C (bis >450 °C, abhängig von Trocknungsverfahren) erhitzt, diese Verfahren sind von den Umgebungsbedingungen (z. B. Lufttemperatur und -feuchtigkeit) unabhängig
- Kaltluft-/Niedertroperturtrocknung: das Trocknungsmedium wird auf Temperaturen bis max. 40 °C („Kaltluft“) bzw. <80 °C („Niedertroperturt“) erwärmt, bei ausreichend niedriger relativer Luftfeuchtigkeit erfolgt bei der Kaltlufttrocknung der Austrieb und Abtransport der Schlammfeuchtigkeit i. W. durch den sehr hohen Luftaustausch, mittlerweile jedoch wird bei diesem Trocknungsverfahren die Trocknung bevorzugt im Umluftbetrieb bei etwas höheren Temperaturen (ca. 60 °C bis <80 °C) durchgeführt
- Solare Trocknung: das Trocknungsmedium bzw. der Schlamm wird lediglich durch solare Einstrahlung erwärmt, gleichzeitig wird ein hoher Luftaustausch gewährleistet, dieses Verfahren ist in hohem Maße von den Umgebungsbedingungen (Sonneneinstrahlung, Luftfeuchtigkeit und -temperatur) abhängig und ist somit schwer kontrollierbar und kann in der Regel keine Trockensubstanzgehalte von über 90 % TM gewährleisten.

Durch die Klärschlamm-trocknung werden i. d. R. aufgrund der Temperatureinwirkung pathogene Mikroorganismen abgetötet. Bei Volltrocknung (90 – 95 % TM) kann ein hygienisiertes Produkt erzeugt werden, bei dem die verbleibenden geringen Wassergehalte eine Wiederverkeimung nahezu ausschließen. Bei einer solaren Klärschlamm-trocknung und anderen Trocknungsverfahren, bei denen keine ausreichend

hohen Temperaturen auf den Klärschlamm einwirken oder keine Volltrocknung erfolgt, kann nicht von einem hygienisierten Produkt ausgegangen werden. Durch die sogenannte Hochtemperaturpelletierung wird angestrebt, im Anschluss an die solare Klärschlamm-trocknung die Hygienisierung zu verbessern. Nach PHILIPP et al. (2006) werden bei diesem Verfahren Fäkalkoliforme, Salmonellen, Enterobacteriaceae sowie Eier des Spulwurms *Ascaris suum* zuverlässig reduziert bzw. eliminiert. Lediglich die Konzentration an *Enterococcus faecalis* konnte nur um 4 Zehnerpotenzen vermindert werden. Eier von *Ascaris suum* reagieren sehr empfindlich auf Austrocknung. Nach Untersuchungen von HERTWIG (2004) muss bei der Klärschlamm-trocknung ein Trockensubstanzgehalt von 94 % erreicht werden, um *Ascaris suum*-Eier wirksam zu inaktivieren. Bei Trockensubstanzgehalten von 75 % muss eine Nachlagerung von 6 Wochen erfolgen, um denselben Effekt zu erzielen. Nach Untersuchungen von JEBRI et al. (2012) sind 7,7 % der getrockneten Klärschlämme mit Enteroviren kontaminiert. Die Autoren führen jedoch auch an, dass die Klärschlamm-Trocknung ein geeignetes Verfahren zur Elimination von Mikroorganismen, fäkalen Ursprungs, ist, da die Autoren keine Bakteriophagen in getrocknetem Klärschlamm nachweisen konnten. Die Entwässerung von Klärschlamm mit anschließender Trocknung bietet nach WIECHMANN et al. (2012) den Vorteil der mikrobiologischen Stabilisierung und der hygienischen Unbedenklichkeit. Nach BÖHM (2006) führt die Klärschlamm-trocknung allerdings häufig nicht zu einer ausreichenden Inaktivierung von Krankheitserregern. In der novellierten Klärschlammverordnung ANONYM (2010 d) ist die Hochtemperaturtrocknung als Behandlungsverfahren zur Hygienisierung vorgesehen. Durch Zuführung von Energie wird das Medium auf Temperaturen über 100 °C erhitzt. Damit von einem seuchenhygienisch unbedenklichen Material ausgegangen werden kann, muss nachgewiesen werden, dass ein Trockenmassegehalt von mindestens 90 % erreicht wird.

### **7.2.3 Thermische Konditionierung von Klärschlamm**

Bei der thermischen Schlammkonditionierung, die über eine Fremderhitzung und z. T. mittels Druck erfolgt, wird nach LANG (1988 a) zwischen nieder- und hochthermischen Verfahren differenziert:

- hochthermische Konditionierung:  
Druck im Schlammreaktionsbehälter 15-20 bar, Temperatur 180 – 210 °C,  
Einwirkzeit ca. 45 – 60 min
- niederthermische Konditionierung:  
Druck im Schlammreaktionsbehälter 15-20 bar, Temperatur 80 – 90 °C,  
Einwirkzeit ca. 45 – 60 min

Die thermische Konditionierung von Klärschlamm ist nach MÖLLER (1988) ein erprobtes und bewährtes Verfahren zur Entseuchung von Klärschlamm. Nach KLAGES et al. (2009)

ist bei der thermischen Konditionierung, die auch mit dem Ziel der Desintegration von Klärschlamm eingesetzt wird, davon auszugehen, dass bei ordnungsgemäßem Betrieb ein seuchenhygienisch unbedenklicher Schlamm produziert werden kann. Untersuchungen von LANG (1988 a) zeigen allerdings, dass bei unzuverlässiger Bedienung oder technisch bedingten Defekten Störungen im Behandlungsprozess auftreten können (z. B. Kurzschlussströmungen) und dadurch ungenügend entseuchter Schlamm anfällt. In der Neufassung der Klärschlamm-Verordnung ist die thermische Konditionierung in der Anlage 2 (ANONYM, 2010 d) aus seuchenhygienischer Sicht als Behandlungsverfahren für Klärschlamm vorgesehen. Die thermische Konditionierung muss bei einem Druck im Schlammreaktionsbehälter von  $\geq 15$  bar und einer Temperatur von  $\geq 80$  °C und bei einer Einwirkzeit von  $\geq 45$  min erfolgen.

#### **7.2.4 Oligolyse**

Das Verfahren der Oligolyse besteht im Prinzip aus dem geeigneten elektrischen Zudosieren von Kupferionen zu Flüssigmist, die nach Behandlungsende wieder aus dem Substrat entfernt werden können (MÜLLER, 1986). Bei der Oligolyse wird über Kupferelektroden ein konstanter Strom durch die Gülle geleitet. Bei geschlossenem Stromkreis wandern die Kupferionen durch den Güllebehälter von der Anode zur Katode. Dieser Strom wird in definierten Zeitabständen umgepolt, um ein einseitiges Abbrennen der Elektroden zu verhindern. Durch die Behandlung der Gülle mit dem Oligolyse-Verfahren sollen die Güllehomogenität, die Geruchsemission und die Pflanzenverträglichkeit positiv beeinflusst sowie die in der Gülle möglicherweise vorhandenen Krankheitserreger reduziert werden. Eine Reduzierung der in der Gülle vorhandenen Krankheitserreger beruht auf dem oligodynamischen Effekt. Dieser Begriff wurde von dem Schweizer Botaniker VON NÄGELEI (1893) geprägt, der in verschiedenen stark konzentrierten Metallionen-Lösungen ein unterschiedliches Absterbeverhalten bei Algen feststellte (RAPP, 1995). Die Oligolyse ist nach ZUCKER et al. (2011) ein Güllebehandlungsverfahren, das schon während der Lagerung eine Homogenisierung und Geruchsminderung der Gülle mit geringem Energieaufwand bewirkt.

Nach Untersuchungen von RAPP (1995) und WAGNER-WIENING (1999) werden bei der oligolytischen Behandlung von Gülle tendenziell höhere Reduktionen an Mikroorganismen und Parasiten erreicht, im Vergleich zu ausschließlich gelagerter Gülle. RAPP (1995) führte seine Untersuchungen mit Enterobacteriaceae, *Escherichia coli* und *Salmonella* Schleißheim sowie Fäkalstreptokokken durch und WAGNER-WIENING (1999) verwendete in ihren Untersuchungen als Testorganismus *Cryptosporidium parvum*. MÜLLER et al. (1990) stellten bei der Behandlung von verschiedenen Güllen mit dem Oligolyse-Verfahren in einigen Betrieben eine signifikante Abnahme an Fäkalstreptokokken und *Salmonella* Senftenberg in den Güllen fest.

### 7.2.5 Mikrowellenbehandlung

Mikrowellen sind elektromagnetische Wellen mit einer Frequenz von 3 bis 300 GHz und einer Wellenlänge zwischen 10 cm und 1 mm. Die Erzeugung von Mikrowellen erfolgt durch Magnetrons. Dabei werden in einem elektrischen Feld die aus der Kathode austretenden Elektronen beschleunigt, gebündelt und wieder abgebremst, wobei ein Großteil der kinetischen Energie in elektromagnetische Schwingungsenergie umgewandelt wird. Die Wirkung der Mikrowellenstrahlung wird in den meisten Fällen durch thermische Effekte erklärt. Vereinzelt werden die untersuchten Veränderungen auch auf nichtthermische Effekte zurückgeführt. Die Wirkung von Mikrowellen auf Mikroorganismen in Lebensmitteln wird von dem Medium selbst (pH-Wert, Feuchtigkeitsgehalt, Oxidations-Reduktions-Potential, Nährstoffgehalt, antimikrobiell wirkende Bestandteile, biologische Struktur) und den äußeren Faktoren, wie Temperatur, Feuchtigkeit der Umgebung, Frequenz und Intensität der Strahlung, Dauer der Behandlung u. a. beeinflusst (SCHORPP und BÖHM, 1990). Durch die Behandlung mit Mikrowellen können nach Untersuchungen von BÖHM et al. (1984), NIEDERWÖHRMEIER et al. (1988) und SCHORPP und BÖHM (1990) sowie BUTZ (1993) bakterielle und virale Krankheitserreger zuverlässig inaktiviert werden. BUTZ (1993) führte Tenazitätsuntersuchungen bei Klärschlamm in drei unterschiedlichen Mikrowellenanlagen durch. In einer 6 kW-Bodenentseuchungsanlage wurden *Ascaris suum*-Eier in Wasser und Klärschlamm zwischen 60 °C und 65 °C inaktiviert, Enterokokken und Enterobacteriaceen waren bei über 70 °C nicht mehr nachweisbar. Die Behandlung in einer 1 kW-Durchflussanlage ermöglichte eine vollständige Inaktivierung von *Ascaris suum*-Eiern in Klärschlamm bei 65 °C. *Cooperia*-Eier wurden bereits bei 55 °C abgetötet. Enterokokken und Enterobacteriaceen wurden bei 85 °C nicht mehr nachgewiesen. In einer 12 kW-Pilotanlage wurden Spulwurmeier bei 62 °C abgetötet, während die bakteriellen Testorganismen (Enterokokken und Enterobacteriaceen) bei über 80 °C nicht mehr nachzuweisen waren. Für die Inaktivierung von Fäkalstreptokokken, Enterobacteriaceae und *Salmonella* Senftenberg müssen im Klärschlamm nach NIEDERWÖHRMEIER et al. (1988) Temperaturen von 70 °C bis 100 °C erreicht werden. Bei der Behandlung von Klärschlamm mit Mikrowellen mit einer Frequenz von 2.450 MHz werden Fäkalcoliforme nach Untersuchungen von HONG et al. (2006) in Roh- und Faulschlamm bei einer Temperatur von 65 °C und in Überschussschlamm bei einer Temperatur von 85 °C nicht mehr nachgewiesen. Die Behandlung von Klärschlamm in Kombination von Mikrowellen und 2-stufiger Vergärung führt bei einer Schlammverweilzeit von 5 Tagen nach Untersuchungen von COELHO et al. (2011) zu einer Reduktion von Pathogenen (Fäkalcoliformen) unter die Nachweisgrenze. Dagegen zeigt die Mikrowellenbehandlung zur Inaktivierung von Cryptosporidien und *Gardia* nach GRACZYK et al. (2008) keine Wirkung. ECBO-Viren werden in Rindergülle mit einer Ausgangskonzentration von  $10^{5,25}$  KID<sub>50</sub>/ml nach Untersuchungen von SCHORPP und BÖHM (1990) durch die

Behandlung mit Mikrowellen bei Temperaturen zwischen 64 °C und 75 °C bis unter die Nachweisgrenze reduziert. Die entseuchende Wirkung der Mikrowellenbehandlung wird nach Angaben von BÖHM et al. (1984) durch die Temperaturerhöhung im Substrat erreicht. Eine spezifische Wirkung der Mikrowellen auf die Erreger kann nach SOLDIERER (1991) nicht festgestellt werden.

## **7.3 Biologische Verfahren**

### **7.3.1 Aerobe Behandlung**

#### **7.3.1.1 Kompostierung**

Ein biologisches Verfahren zur Keimreduktion ist die Kompostierung. Dabei handelt es sich vor allem um einen aerob-thermophilen Prozess (50 °C bis 55 °C) (ZUCKER et al., 2011). Bei diesem mikrobiellen Prozess wird die abbaubare organische Substanz in ein stabiles Endprodukt umgewandelt (BAUER, 2006). Daneben wirken die mit dem mikrobiellen Prozess verbundenen Faktoren, wie Verschiebung des pH-Wertes, Antibiose und Nährstoffabbau (ZUCKER et al., 2011). Durch die erzeugte Wärme kommt es zu einer Entseuchung des Mischgutes; darüber hinaus kommt der Bildung von antibiotisch wirkenden Stoffwechselprodukten eine Bedeutung zu (KLAGES et al., 2009). Voraussetzungen für die Kompostierung sind u. a. ein Feuchtigkeitsgehalt von 50 – 60 %, ausreichende Sauerstoffzufuhr und ein neutraler pH-Wert (BAUER, 2006). Nach PELL (1997) sollten Materialien, die kompostiert werden, mindestens 30 % TS enthalten, damit eine Temperatur von 60 °C innerhalb von 3 d im Substrat zu erreichen ist. Wird bei Rottebeginn der Bereich zwischen 35 °C und 45 °C nicht zu schnell durchlaufen, kommt es auch zur Abtötung von Sporen, wie z. B. Milzbrand. Diese keimen aus und werden als vegetative Formen vernichtet. Eine Entseuchung findet bei einer Rottetemperatur von ca. 55 °C innerhalb von 14 Tagen statt. Die meisten Erreger sind nach 3 Tagen abgetötet (ZUCKER et al., 2011). Ein Hygienisierungseffekt wird nach BAUER (2006) von bakteriologischer Seite aus als ausreichend erachtet, wenn im Stapelkompost für eine Woche 55 °C erreicht werden oder im Bioreaktor die Kompostmischung für 10 Tage einer Mindesttemperatur von 55 °C ausgesetzt ist. Dies reicht auch zur Abtötung von Parasitenstadien aus. Professionelles Kompostieren nach dem Stand der Technik mit den entsprechenden Maßnahmen der Rohmaterialauswahl und Rottesteuerung führt nach STÖPPLER-ZIMMER et al. (1993) zu hygienisch einwandfreien Komposten. Bei der professionellen Kompostierung müssen nach Angaben von ANONYM (2012 i) Temperaturen von 55 – 65 °C im gesamten Rottegut für mindestens eine Woche gehalten werden, weil nur so eine optimale Hygienisierung gewährleistet und ein zügiger Ab- und Umbau der organischen Substanz erreicht werden kann. Gemäß der Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) muss die Kompostierung so vorgenommen werden, dass über mehrere Wochen ein thermophiler Temperaturbereich und eine hohe

biologische Aktivität bei günstigen Feuchte- und Nährstoffverhältnissen sowie eine optimale Struktur und Luftführung gewährleistet sind. Der Wassergehalt soll mindestens 40 % betragen und der pH-Wert um 7 liegen. Im Verlauf der aeroben hygienisierenden Behandlung muss eine Temperatur von mindestens 55 °C über einen möglichst zusammenhängenden Zeitraum von 2 Wochen, von 60 °C über 6 Tage oder von 65 °C über 3 Tage auf das gesamte Rottematerial einwirken. Die Kompostierung von Klärschlamm soll gemäß der Anlage 2 zur Neufassung der Klärschlammverordnung (ANONYM, 2010 d) unter Zusatz von Strukturmaterial (z.B. Siedlungsabfälle, Stroh, Sägespäne) bei einem Anfangswassergehalt von 40 – 60 % durchgeführt werden, wobei gewährleistet sein muss, dass die wirksamen Temperaturen jeden Teil des Mischgutes für die erforderliche Dauer von 2 Wochen bei 55 °C oder von 3 Tagen bei 60 °C (in geschlossenen Anlagen) oder von 3 Tagen bei 65 °C erreichen. Die Kompostierung hat nach der Verordnung (EU) 142/2011 (ANONYM, 2011 b) so zu erfolgen, dass das Material, das in den Kompostierreaktor eingefüllt/eingelagert wird, eine Partikelgröße von höchstens 12 mm aufweist, die Mindesttemperatur im Reaktor 70 °C und die Mindestverweildauer des Materials ohne Unterbrechung 60 min beträgt. Die Verordnung (EU) 142/2011 lässt auch alternative Kompostierungsverfahren zu, wenn nachgewiesen wird, dass die Umwandlungsparameter eine ausreichende Reduzierung biologischer Risiken gewährleisten. Dieser Nachweis muss durch die Reduktion von 5 log<sub>10</sub> von *Enterococcus faecalis* oder *Salmonella* Senftenberg (775W, H<sub>2</sub>S negativ) und/oder durch Verminderung des Infektiositätstiters von thermoresistenten Viren, wie etwa Parvovirus, um mindestens 3 log<sub>10</sub> erfolgen und zwar immer dann, wenn thermoresistente Viren als relevante Gefahr ermittelt werden. Tierische Nebenprodukte dürfen nach der Tierischen Nebenproduktebeseitigungsverordnung (TierNebV) (ANONYM, 2006 b) in einer Kompostierungsanlage nur eingesetzt werden, wenn die Kompostierungsanlage so betrieben wird, dass im Verlauf der Kompostierung eine Temperatur von mindestens 70 °C über einen zusammenhängenden Zeitraum von mindestens 60 min im gesamten Material einwirkt und ausreichende Maßnahmen zur Bekämpfung von Ungeziefer getroffen werden.

Die Kompostierung von Klärschlamm kann nach KLAGES et al. (2009) unter Zugabe von Strukturmaterial (z. B. Bioabfälle, insbesondere Holzhäcksels, Stroh, Sägespäne) in Mieten durchgeführt werden. In allen Bereichen des Mischgutes muss eine Reaktionstemperatur von mindestens 55 °C über eine Einwirkzeit von drei Wochen erreicht werden. Eine Mietenkompostierung ist vor allem für kleinere bis mittlere Kläranlagengrößen einsetzbar. Der Anfangswassergehalt des Mischgutes sollte zwischen 40 % und 60 % liegen. Eine ausreichende Belüftung des Mischgutes kann durch Umsetzen der Mieten und/oder Zwangsbelüftung erfolgen und der Untergrund sollte abgedichtet sein, um Einträge mit dem Sickerwasser in den Boden zu verhindern. Derzeit erfolgt die Klärschlammkompostierung hauptsächlich in externen Abfallbehandlungsanlagen, die

nicht Bestandteil einer Kläranlage sind. Der Klärschlammkompost wird vor allem im Landschaftsbau eingesetzt (Rekultivierung von Abraumhalden und Deponien, Lärmschutzwälle, etc.). Bei der Kompostierung von Klärschlamm in Reaktoren soll das gesamte Mischgut bei einer Reaktorpassagedauer von mindestens 10 Tagen einer Mindesttemperatur von 55 °C unterliegen. Der Reaktorpassage muss sich eine mindestens zweiwöchige Nachrotte in Mieten mit mindestens einmaligem Umsetzen bzw. eine Nachrotte in einem zweiten Reaktor anschließen. Entstehende Brüden können der Abwasserreinigung zugeführt oder müssen anderweitig entsorgt werden. Ein störungsfreier Betriebsablauf und richtige Bemessung der Luftzufuhr (zwangsbelüftet) sowie die ausreichende Temperatureinwirkung während der erforderlichen Einwirkzeit in allen Reaktorbereichen und ein Anfangswassergehalt von weniger als 70 % sind verfahrenstechnische Voraussetzungen für eine ordnungsgemäße Hygienisierung von Klärschlamm. In Bioreaktoren kann nach STRAUCH et al. (1980 a) ein hygienisch einwandfreies Produkt erzielt werden, während nach STRAUCH et al. (1980 b) bei der Mietenkompostierung bei winterlichen Temperaturen die Wirkung auf Salmonellen und Enteroviren unzuverlässig ist. Bei der Kompostierung von separierter Schweinegülle mit einem Flockungsmitteln und weiteren Zusatzstoffen, wie Sägemehl, Holzhackschnitzeln und geshredderten Grünabfällen aus Blättern und Zweigen sind Salmonellen, *Escherichia coli* und Enterokokken nach Untersuchungen von MC CARTHY et al. (2011) nach 7 d nicht mehr nachweisbar. Auch im Endprodukt sind diese Mikroorganismen nicht mehr zu finden. Coliforme werden innerhalb von 7 d deutlich reduziert, anschließend findet jedoch wieder eine Vermehrung statt, so dass sie am Ende der Kompostierung nach 56 d einen Gehalt von 4,43 log<sub>10</sub>CFU/g aufweisen. Nach Untersuchungen von BRIANCESCO et al. (2008) werden in Endprodukten bei der Kompostierung von Grünabfällen mit Klärschlamm bzw. von Grünabfällen mit Haushaltsabfällen in allen Proben Salmonellen in geringen Konzentrationen nachgewiesen. Die Autoren führen dies auf Fehler bei der Kompostierung zurück. Allerdings ist dabei anzumerken, dass die Proben aus 20 verschiedenen Kompostwerken stammten und andere Mikroorganismen, wie z. B. *Escherichia coli*, Enterokokken und Giardia bzw. Cryptosporidien in einigen Kompostwerken z. T. deutlich reduziert wurden, was gegen die These der Autoren spricht. Nach Untersuchungen von PALUSZAK et al. (2012) überlebt das porcine Herpesvirus SuHV-1 der Erreger der Aujeszky'schen Krankheit bei der Kompostierung von Klärschlamm in Mieten maximal 34 bis 44,5 h. Nach Untersuchungen von BREITENFELDT (2000) übersteht *Salmonella* Senftenberg eine Temperaturerhöhung bei einer Substratfeuchte von 30 % besser als bei 50 %. Umgekehrt verhielt es nach Angaben der Autorin mit *Enterococcus faecium*. Dieses Bakterium konnte in feuchtem Substrat länger überdauern als in trockenerem.

Nach ROTH (1994) ist für einen entseuchten Kompost ausschlaggebend, dass er frei von Salmonellen ist. Der Begriff „seuchenhygienischer unbedenklicher Kompost“ sollte nach

ROTH (1994) an den Rottegrad gekoppelt sein, da ein ausgerotteter Kompost sehr geringe *Escherichia coli*- und Fäkalstreptokokken-Gehalte enthält. Ein fertig gerotteter Kompost ist biologisch stabilisiert, eine Temperaturerhöhung findet nicht mehr statt. Die organische Substanz ist soweit abgebaut, dass eine Wiedervermehrung von möglicherweise noch in geringen Konzentrationen vorhandenen pathogenen Mikroorganismen verhindert wird. Die biologische Stabilisierung ist ein wichtiger Parameter für die Beurteilung der Hygienisierung.

Während in früheren Untersuchungen immer wieder Schadorganismen festgestellt wurden, die den Kompostierungsprozess überstehen, konnten spätere Untersuchungen eine Inaktivierung der ursprünglich als widerstandsfähig eingestuften Schadorganismen nachweisen (UNGER und PIETSCH, 2002). Eine direkte Vergleichbarkeit der verschiedenen Untersuchungen zur Kompostierung ist in der Regel nicht gegeben, da die Versuchsbedingungen hinsichtlich Kompostierungstechnik und Ausgangsmaterialien sehr unterschiedlich sind (PFEILSTETTER, 1999). Die Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) fordert das Einwirken von 55 °C über 2 Wochen, oder 60 °C über 6 Tage oder 65 °C über 3 Tage auf das gesamte Rottegut über einen möglichst zusammenhängenden Zeitraum. Bei einem Vergleich dieser Vorgaben mit den Daten in den Tabellen 8, 9 und 10 kann festgestellt bzw. abgeschätzt werden, dass bei den geforderten Temperaturregimes in der Regel eine ausreichende Reduzierung bis zur Nachweisgrenze erreicht wird. Für den Kartoffelzystennematoden *Globodera rostochiensis* konnten STEINMÖLLER et al. (2012) die ausreichende Hygienisierungswirkung der Kompostierung nachweisen. *Synchytrium endobioticum* (Kartoffelkrebs) und *Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus* (Ringfäule der Kartoffel) erweisen sich jedoch auch hier als Ausnahme von der Regel. Beide Erreger ließen sich durch eine Kompostierung, die die Anforderungen der Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) erfüllte, nicht inaktivieren (STEINMÖLLER et al., 2012).

Neben dem sehr wichtigen Temperatureffekt haben Faktoren wie die Feuchtigkeit im Rottegut, die Art und Zusammensetzung der Ausgangsstoffe, toxische Bestandteile, flüchtige Stoffe und mikrobieller Antagonismus Einfluss auf die hygienisierende Wirkung der Kompostierung (NOBLE et al., 2009). Für TMV konnten IDELMANN et al. (1998) belegen, dass dieses Virus durch die Mikroorganismenaktivität während der Rotte und nicht durch die Temperaturwirkung inaktiviert wird.

### **7.3.1.2 Aerobe Rotte von Festmist**

Die Rotte von Festmist, ein durch Mikroorganismen bewirkter exothermer Prozess, kann je nach Strohgehalt und Sauerstoffzufuhr aerob oder anaerob verlaufen. Bei der aeroben Rotte werden Temperaturen bis etwa 74 °C erreicht. Diese Temperatur reicht nach BAUER (2006) zur Abtötung von Parasitendauerstadien innerhalb kurzer Zeit aus. Für die Praxis wird jedoch mit Rottezeiten zwischen 3 Wochen und 2 Monaten, je nach Art der

Mistzusammensetzung und Lagerung, gerechnet. Nach Untersuchungen von PLYM-FORSHELL und EKESBO (1993) werden Salmonellen in warmen Rindermist bei einer Temperatur von 55 °C bis 60 °C innerhalb von 7 Tagen inaktiviert. In Schweinemist sterben *Salmonella* Senftenberg und *Salmonella* Typhimurium bei einer Temperatur von 54 – 64 °C in den ersten 7 Tagen ab, während *Salmonella* Derby 14 Tage überlebt.

### **7.3.1.3 Belüftung von Gülle**

Mit der aeroben Güllebehandlung wird nach RÜPRICH et al. (1988) (zit. nach RÜCKERT, 1991) der Abbau von Geruchsstoffen, die Verbesserung der Pflanzenverträglichkeit, der Stickstoffabbau und die Verbesserung der physikalischen Stoffeigenschaften von Gülle erreicht. Bei der aeroben Behandlung von Gülle wird Luft in feinsten Verteilung in die Gülle eingebracht. Der Luftsauerstoff wird in der Gülle gelöst und ist dann für aerobe Bakterien verfügbar. Diese vermehren sich stark und bauen organische Substanz zu nicht riechenden Verbindungen (überwiegend Wasser und CO<sub>2</sub>) ab. Die Tätigkeit der anaeroben, ohne Luftsauerstoff lebenden und stinkende Abbauprodukte produzierenden Bakterien wird gleichzeitig gehemmt. Bei diesem Prozess wird Wärme frei, die die Gülle erwärmt und die Bakterientätigkeit zusätzlich anregt. Die Gülle muss im Behälter ständig intensiv gerührt werden und der Lufteintrag muss ausreichend und feinblasig genug sein, damit in ausreichender Menge gelöster Sauerstoff zur Verfügung steht (MANNEBECK, 1986). Das Verfahren der Güllebelüftung ist nach BAUER (2006) zur Stabilisierung von Flüssigmist mit Feststoffgehalten unter 12 % geeignet. Die Belüftung von Gülle diente zunächst vorwiegend zur Verminderung der Geruchsbelastung, die Temperaturerhöhung in hygienisch wirksame Bereiche trat nach RÜPRICH und STRAUCH (1984) anfangs nur als Nebeneffekt auf. Durch eine kontinuierliche Belüftung von Gülle mit Tauchbelüftern kann nach Untersuchungen von RÜCKERT (1991) eine Entseuchung von Rinder- und Schweinegülle erreicht werden. Die Autorin erreichte bei ihren Untersuchungen in Praxisanlagen Temperaturen in Rindergülle bis 58,2 °C und in Schweinegülle bis zu 56,4 °C. Salmonellen waren in Praxisbetrieben teilweise bei Temperaturen unter 40 °C nicht mehr nachweisbar, maximal wurden 44,5 °C benötigt. Fäkalstreptokokken konnten in Schweinegülle bei maximal 53,5 °C nicht mehr nachgewiesen werden. Die für die Inaktivierung von Bakterien notwendigen Temperaturen und pH-Werte sind nach RÜCKERT (1991) desto niedriger, je länger der Behandlungsvorgang ist. In Betrieben mit Salmonelleninfektionen kann die Güllebelüftung nach STRAUCH (1981) zur Desinfektion angewendet werden, wenn die Gülle für 18 h bei einem pH-Wert von 8,5 bei 40 °C oder für 8 h bei einem pH-Wert von 8,5 bei 45 °C belüftet wird. WEKERLE und ALBRECHT (1983) untersuchten die Überlebensfähigkeit von Vaccinia-Viren und bovinen Enteroviren bei der Belüftung von Gülle mit besonderem Blick auf den Einfluss von Temperatur, pH-Wert und freiem Ammoniak auf die Virusinaktivierung. Bei einer Temperatur von 47 °C

und 73 mg freies Ammoniak/100 ml Gülle erfolgt nach Angaben der Autoren die Inaktivierung der beiden Viren in belüfteter Gülle. Aufgrund der Veränderungen der Gülle durch die Behandlung werden Vaccinia-Viren bei einem pH-Wert von 8,7 und Enteroviren bei einem pH-Wert von 8,8 inaktiviert. Bei einer Temperatur von 20 °C wird die Konzentration von porcinen Enteroviren nach Untersuchungen von LUND und NISSEN (1983) in belüfteter Gülle innerhalb von 2 – 4 d um eine Zehnerpotenz vermindert. Bei der aerob-thermophilen Umwälzbelüftung („Heißbelüftung“, „Flüssigkompostierung“) wird Schweinegülle nach BAUER (2006) bei einer Belüftungsdauer von 3 d und Temperaturen von 50 °C von parasitären Dauerstadien, vegetativen Formen von Bakterien und von gewissen Viren entseucht. In Rindergülle lassen sich nach dem gleichen Prinzip unabhängig von der Jahreszeit Temperaturen zwischen 32 °C und 56 °C erzeugen. Bei Temperaturen von 35 °C – 45 °C sind Eier und infektiöse Larven von Strongyliden nach 4 – 10 d, *Fasciola*-Eier und *Eimeria*-Oozysten nach 14 d sowie Eier von *Ascaris*, *Trichuris* und *Taenia* nach etwa 25 d abgetötet. Bei höheren Temperaturen (>45 °C) sind die weniger resistenten Stadien schon nach 3 d und die widerstandsfähigen Formen nach 5 d abgestorben. Eine seuchenhygienisch einwandfreie Schweinegülle wird nach WASSEN und STRAUCH (1976; zit. nach RÜCKERT, 1991) bei der Belüftung über 2 d bei einer Temperatur von 40 °C und einem pH-Wert von 8,5 erreicht.

#### **7.3.1.4 Schlammstabilisierung von Klärschlamm**

Die aerob-thermophile Schlammstabilisierung ist in der novellierten Klärschlammverordnung ANONYM (2010 d) als Behandlungsverfahren für Klärschlamm vorgesehen. Bei diesem Verfahren treten durch aktive Luft/Sauerstoff-Zufuhr infolge exothermer mikrobieller Abbau- und Stoffwechselfvorgänge eine Erwärmung und eine pH-Wert-Erhöhung auf Werte um pH 8 im Klärschlamm auf. Eine gute Wärmedämmung des Reaktionsbehälters, die richtige Bemessung der Luftzufuhr und eine ausreichende Konzentration organischer Trockenmasse vorausgesetzt, können im ATS-Prozess Temperaturen erreicht werden, die neben der Stabilisierung auch eine Reduktion der Schadorganismen im Klärschlamm sicherstellen. ATS-Anlagen sind im semikontinuierlichen Betrieb wenigstens zweistufig (d. h. mit zwei Reaktionsbehältern in Reihenschaltung) zu betreiben. Bei einer Mindesttemperatur von 55 °C und einer mindestens 22-stündigen Behandlung im 2. Behälter kann durch die Kombination von Mindestverweildauer und Temperatur eine ausreichende Reduzierung der Schadorganismen im Klärschlamm sichergestellt werden. Neben der vorgegebenen Temperatur-/Zeitkombination können auch andere angewandt werden, wenn durch eine Prozessprüfung der Nachweis einer ausreichenden Reduzierung der Schadorganismen im Klärschlamm erbracht wurde. Zur Überwachung der Prozessbedingungen sind fortlaufend und prüffähig die Temperaturen und deren Einwirkzeiten in den Behältern, der pH-Wert des Rohschlammes und des Klärschlammes im Ablauf des

ATS-Prozesses sowie der tägliche Schlammvolumenstrom, über den bei gegebenen Behältergrößen die Aufenthaltszeiten ermittelt werden, aufzuzeichnen.

Die aerob-thermophile Fermentation von Klärschlamm führt nach BAUER (2006) aufgrund von Stoffwechselaktivitäten mesophiler und thermophiler Bakterien zu O<sub>2</sub>-verbrauchenden Abbauprozessen organischer Substanzen mit Energiefreisetzung und zu Temperaturen von 40 – 80 °C. Hauptbestandteil des Verfahrens ist ein thermisch isolierter Reaktionsbehälter, in dem der Klärschlamm intensiv belüftet wird. Dieses bei 45 – 50 °C zur Stabilisierung von Klärschlamm durchgeführte Verfahren eignet sich auch zur Hygienisierung, wenn Temperaturen von mindestens 50 °C für einen Tag, von 55 °C für 10 h oder von 60 °C für 4 h einwirken. Diese Behandlung sollte in zwei hintereinander geschalteten Reaktoren durchgeführt werden. Bei einer Temperatur von 52 °C gehen *Ascaris suum*-Eier in 50 min, bei 60 °C in weniger als 10 min zugrunde. Die aerobe Behandlung von Klärschlamm führt nach Untersuchungen von MOROZZI et al. (1988) zu einer Reduktion von Fäkalcoliformen von 97 %.

Die aerob-thermophile Behandlung (z. B. 55 °C für 30 min bis 2 Tage) kann nach BAUER (2006) mit einer anschließenden anaeroben Fermentation kombiniert werden. Bei Letzterer bleibt der aerob-thermophil vorbehandelte Klärschlamm bei etwa 42 – 44 °C 2 Wochen lang zu anaeroben Digestion im Faulraum. Unter diesen Bedingungen werden *Ascaris*-Eier abgetötet. Eier von *Taenia saginata* starben im Verlauf der aeroben Fermentation bei 55 °C während 3 h und anschließender anaerober Digestion bei 35 °C für 10 d zu 100 % ab.

Für phytopathogene Organismen liegen nur einzelne Untersuchungen zur Wirkung von Stabilisierungsverfahren vor (STEINMÖLLER, 2008). STELTER (1981) untersuchte die Überlebensfähigkeit von Rüben- und Kartoffelzystennematoden in Stapelteichen einer Zuckerfabrik. Er stellte ein Absterben der Larven um 90 bis 95 % innerhalb von vier Wochen fest und schloss daraus, dass keine vollständige Reduzierung anzunehmen ist. Die Verregnung des derart kontaminierten Wassers sei auf bereits verseuchten Flächen vertretbar, jedoch besteht die Gefahr der Verschleppung in bisher nicht befallene Gebiete. HEINICKE (1989) beobachtete eine 90 %ige Abnahme der Vitalität von Kartoffelnematodenzysten erst nach vier Monaten. Noch nach 6 Monaten erfolgte eine Zystenreubildung bei 1 % des Materials.

Bei Untersuchungen in Großbritannien überstanden Zysten des Kartoffelnematoden eine aerobe Stabilisierung. Eine abtötende Wirkung hatte dagegen die anaerobe sowie thermophile aerobe Behandlung (SPAULL und MCCORMACK, 1989) (zit. nach STEINMÖLLER, 2008). Untersuchungen von EFREMENKO und JAKOVLEVA (1981) (zit. nach LANGERFELD, 1984) zur Lebensdauer von *Synchytrium endobioticum* (Kartoffelkrebs) in Klärwannen von Kartoffelverarbeitungsbetrieben, zeigten eine starke aber keine vollständige Reduzierung der Anzahl Dauersori innerhalb von 90 Tagen.

#### **7.3.1.4.1 Oxidationsgraben und Oberflächenbelüfter**

In den 1970er Jahren wurden in der Landwirtschaft vermehrt Ställe gebaut und weiterentwickelt, die keine oder nur geringe Einstreumengen erforderten. Da tierische Exkrememente die stärkste Emissionsquelle bei der Nutztierhaltung darstellen, mussten Maßnahmen zur Verminderung von Emissionen entwickelt werden. Eine bauliche Maßnahme war der Bau von Tierställen mit Oxidationsgräben. Bei diesem System wird nach ISENSEE et al. (1981) Sauerstoff im Stall unter dem Spaltenboden mit Propeller- und/oder Wendelbelüfter in die Gülle eingebracht und in Bewegung gehalten. Nach Untersuchungen von ISENSEE et al. (1981) werden Salmonellen in Schweinegülle aus Oxidationsgräben noch nach einer Aufenthaltszeit von 47 d (Maststall) bzw. 76 d (Vormaststall) nachgewiesen. Die Belüftung in Oxidationsgräben führt nach STRAUCH (1981) nicht zu einer Desinfektion von Gülle. Krankheitserreger überleben die Aufenthaltsdauer im Oxidationsgraben und gelangen lebend in den Speicherbehälter. Überhaupt sind alle Oberflächenbelüftungsverfahren nach Angaben des Autors nicht in der Lage eine Entseuchung von Gülle herbeizuführen.

#### **7.3.2 Anaerobe Behandlung**

In Biogasanlagen werden organische Substanzen unter anaeroben Bedingungen mikrobiell unter Freisetzung von Gas (v. a. Methan) abgebaut. Dadurch können Energie gewonnen und die Umweltbelastung mit CO<sub>2</sub> reduziert werden. Biogasanlagen werden als landwirtschaftliche Klein- oder industrielle Großanlagen betrieben. Die Tendenz zum Bau von Biogasanlagen ist in vielen Ländern Europas steigend. In diesen Anlagen, die nach verschiedenen Prinzipien konstruiert sind, können organische Abfälle aus der Landwirtschaft (Gülle, Mist, Pflanzenabfälle), aus Kommunen (Klärschlamm, Grünabfälle) und aus der Nahrungsmittelbranche (Brauerei- und Schlachthofabfälle, Essensreste aus Großküchen) gemeinsam in der sogenannten Co-Fermentation eingesetzt werden. Die anaerobe Fermentation erfolgt im mesophilen (30 – 40 °C) bis thermophilen (40 – 55 °C) Temperaturbereich, ist aber bei höheren Temperaturen instabiler. Die Mehrzahl landwirtschaftlicher Vergärungsanlagen, in denen Gülle und nachwachsende Rohstoffe vergoren werden, arbeiten im mesophilen Temperaturbereich. Für nachwachsende Rohstoffe existieren keine vergleichbaren Behandlungsvorschriften wie für Bioabfall. Dennoch sind die Hygieneanforderungen des Düngemittelrechts zu erfüllen. Die Retentionszeiten, während denen das organische Material diesen Temperaturen ausgesetzt ist, liegen im mesophilen Bereich bei 30 – 70 d und im thermophilen bei 15 – 30 d. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass durch ständigen Zufluss ein Teil des Fermentationsgutes kürzeren Einwirkungszeiten ausgesetzt sein kann. Ein ausreichender Hygienisierungseffekt gegen widerstandsfähige Stadien der Parasiten (z. B. *Ascaris*-Eier) ist nur bei Temperaturen über 45 °C und ausreichend langen Einwirkzeiten zu erwarten,

doch gehen weniger resistente Formen (z. B. Eier von Strongyliden) bereits bei 35 °C innerhalb einer Woche zugrunde. Diese Temperaturen reichen aber zur Inaktivierung bestimmter Viren und Bakterien nicht aus. Daher muss Material, das Pathogene enthalten kann, vor Einbringen in den Biofermenter durch Erhitzen auf mindestens 70 °C (1 h bei mesophiler, 30 min bei thermophiler Betriebstemperatur im Fermenter) hygienisiert werden oder es ist während des Fermentationsvorgangs eine Mindesttemperatur von 55 °C bei einer Einwirkungszeit von mindestens 24 h einzuhalten. Unter diesen Bedingungen werden *Ascaris*-Eier in Biogasanlagen nachweislich abgetötet (BAUER, 2006). Nach Untersuchungen von JOHNSON et al. (1998) überleben >98 % der embryonierten *Ascaris suum*-Eier bis zu 5 Wochen in einem mesophilen Klärschlamm-Faulbehälter und können sich danach zu frei beweglichen Larven entwickeln. Die anaerobe Behandlung von Klärschlamm führt nach Untersuchungen von MOROZZI et al. (1988) zu einer Reduktion von Fäkalcoliformen von 90 %. Untersuchungen im Labor- und Pilotmaßstab haben gezeigt, dass die anaerobe Behandlung die Mehrzahl pathogener Keime wesentlich reduzieren kann. Bei mesophiler Vergärung mit einer Aufenthaltszeit von mehr als 15 d werden rund 95 % aller pathogenen Bakterien zerstört. Viren werden noch schneller reduziert. Deutlich resistenter sind dagegen Eier von parasitären Helminthen. Auch Hefearten werden kaum vermindert, ebenso wenig wie z. B. *Entamoeba histolytica* (HOFERER, 2001). Die anaerobe Behandlung von Gülle führt nach Untersuchungen von RÜCKERT (1991) zu einer Reduktion bzw. Elimination von Salmonellen und Enterobacteriaceen. Eine vollständige Abtötung der Bakterien wird mit der thermophilen Faulung bei 55 °C erreicht, während die anaerobe, mesophile Faulung (35 °C) mit Schweinegülle eine Reduktion der Salmonellen und Enterobacteriaceen um ca. 3 Zehnerpotenzen bewirkt. In Rindergülle ist ein geringerer entseuchender Effekt zu beobachten. Salmonellen und Enterobacteriaceen werden bei der mesophilen Faulung um ca. 1 Zehnerpotenz vermindert. Die thermophile Behandlung von Rindergülle führt nach Angaben der Autorin nahezu zur vollständigen Elimination dieser Mikroorganismen. Eine weitgehende Reduktion der Anzahl an Fäkalcoliformen, Coliformen und nativen intestinalen Enterokokken wird nach Untersuchungen von EFFENBERGER et al. (2005) bei der anaerob-thermophilen Behandlung von Milchviehgülle bei einer Temperatur von 54 °C bis 55 °C erreicht. Nach Untersuchungen von ADE-KAPPELMANN (2008) werden *Salmonella* Senftenberg W775, *Ascaris suum* und *Campylobacter jejuni* in thermophil betriebenen Anaerobanlagen innerhalb von 1 h inaktiviert, während *Enterococcus faecalis* den Behandlungsprozess bis zu 3 h überlebt. Die alleinige thermophile Faulung von Bioabfällen und Gülle bei 52 °C bis 55 °C reicht nach Angaben der Autorin jedoch nicht aus, um *Coliphage T1* innerhalb von 24 h zu inaktivieren. Eine Aufenthaltszeit von 24 h bei 35 °C im Biogasreaktor führte bei keinem der untersuchten Mikroorganismen zu einer Inaktivierung. Eine vollständige Abtötung von Mikroorganismen ist bei der Anaerobbehandlung nach ADE-KAPPELMANN (2008) ohne zusätzliche Hygienisierung

nicht zu erreichen, obwohl im thermophilen Bereich (55 °C) eine Inaktivierung von Mikroorganismen eher gewährleistet ist als bei der mesophilen Vergärung bei 35 °C. Nach Untersuchungen von BØTNER (1991) zur anaeroben Behandlung von Gülle im Labormaßstab wird das Aujeszky-Virus bei 35 °C innerhalb von 5 h inaktiviert. Im thermophilen Temperaturbereich (55 °C) kann das Virus nach 10 min nicht mehr nachgewiesen werden. Nach Angaben von BØTNER (1991) wird das Aujeszky-Virus im Vergleich zu Schweinegülle in Rindergülle schneller inaktiviert. Das Überleben von Viren in Gülle unter anaeroben Bedingungen ist nach BØTNER und BELSHAM (2012) kurz, wenn das Substrat auf 55 °C erhitzt wird (im Allgemeinen  $\leq 1$  h). Bei Temperaturen um 5 °C können die untersuchten Viren (MKS-Virus, klassische Schweinepest-Virus, Schweine-Influenzavirus, porcines Parvovirus und BVD-Virus) mehrere Wochen infektiös bleiben. Das porcine Parvovirus überlebte am längsten ( $\geq 43$  Wochen). Die Konzentration an porcinen Enteroviren wird nach Untersuchungen von LUND und NISSEN (1983) unter anaeroben Bedingungen bei einer Temperatur von 5 °C innerhalb von 300 d nur um eine Zehnerpotenz reduziert. Die anaerobe Kofermentation von Rinder- bzw. Schweinegülle mit Speiseabfällen im mesophilen Temperaturbereich kann nach HOFERER (2001) keine ausreichend sichere Inaktivierung potentieller Tierseuchenerreger im Biogassubstrat gewährleisten. Im mesophilen Bereich lagen die D-Werte (Zeit, die notwendig ist, um die Anzahl der Mikroorganismen um eine Zehnerpotenz zu reduzieren) in einem Bereich zwischen 11 h (ECBO-Virus, 35 °C, Rindergülle) und 13 d (bovines Parvovirus, 30 °C, abgelagerte Schweinegülle). Ein schnellerer Inaktivierungsverlauf zeigte sich bei allen untersuchten Erregern (*Salmonella* Senftenberg, EHEC (*Escherichia coli* O:157), *Enterococcus faecium*, ECBO-Virus, Poliovirus, Equines Rhinovirus, bovines Parvovirus) im thermophilen Temperaturbereich. Die D-Werte lagen bei 50 °C zwischen 7,2 min (ECBO-Virus, Schweinegülle) und ca. 30 h (bovines Parvovirus, Rinder- und Schweinegülle). Bei 55 °C wurden D-Werte von 1,2 min (*E. coli* O:157, Schweinegülle) bis zu 8 h (bovines Parvovirus, Rindergülle) ermittelt. Mit Ausnahme von *Enterococcus faecium* und bovinem Parvovirus wurden bei 50 °C bzw. 55 °C alle untersuchten Bakterien und Viren innerhalb eines Zeitraumes von 6 h um  $\geq 4$  Zehnerpotenzen reduziert. Eine Hygienisierung von Biogasgülle findet nach HENKELMANN (2011) in thermophilen Fermentern nur begrenzt statt und in den ausgebrachten Gärresten werden hohe Keimbelastungen nachgewiesen.

Die Mehrzahl der verfügbaren Informationen zur Überdauerungsfähigkeit von Schadorganismen von Pflanzen und Unkräutern im mesophilen Fermentationsprozess wurden in Laborversuchen gewonnen. Ein Vergleich von Laborversuchen und Versuchen in Praxisbiogasanlagen zeigte eine tendenziell langsamere Inaktivierung in den Praxisanlagen aber insgesamt eine Bestätigung der Laborversuche (WEINHAPPEL et al., 2011; RODEMANN et al., 2011). Für Kartoffelzystennematoden (QSO) wurde die Abtötung im mesophilen Biogasprozess nach einer Expositionszeit von 4 bis 6 Tagen

erreicht (TURNER et al., 1983; FRIEDRICH et al., 2009, AUGUSTIN u. PREISS, 2012). Das *Beet necrotic yellow vein virus* war nach vier Tagen inaktiviert (FRIEDRICH et al., 2009) Für den Kartoffelkrebs (*Synchytrium endobioticum*) kommen verschiedene Autoren zu dem Schluss, dass keine Inaktivierung erfolgt (BANDTE et al., 2011; AUGUSTIN, 2012). Auch die sehr hohe Widerstandsfähigkeit des TMV, das nach LORENZ (2004) noch nach 70 Tagen infektiös war, wurde von anderen Autoren bestätigt (CEUSTERMANS et al., 2011).

Im Gegensatz dazu können einige Schadorganismen, darunter auch solche mit widerstandsfähigen Dauerorganen, überraschenderweise innerhalb von nur einem Tag durch den mesophilen Prozess inaktiviert werden. Für die folgenden Schadorganismen wurde die Inaktivierbarkeit innerhalb von 24 h durch zwei Arbeitsgruppen ermittelt: *Fusarium culmorum* (FRAUTZ, 2007; RODEMANN et al., 2011), *Rhizoctonia solani* (FRIEDRICH, 2009; RODEMANN et al., 2011), *Sclerotinia sclerotiorum* (FRIEDRICH, 2009; Weinhappel, 2011), *Ustilago maydis* (FRIEDRICH, 2009; WEINHAPPEL, 2011). Einzelergebnisse zur Inaktivierbarkeit innerhalb eines Tages liegen vor zu: *Fusarium graminearum* und *Microdochium nivale* (FRIEDRICH, 2009); *Fusarium avenaceum*, *F. verticillioides* und *Claviceps purpurea* (RODEMANN et al., 2011) und *Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus* (QSO) (LIEBE et al., 2012). *Tilletia caries* war nach Beobachtungen von RODEMANN et al. (2011) und WEINHAPPEL (2011) nach 1 bis 3 Tagen nicht mehr vital.

Zum Kohlhernieerreger *Plasmodiophora brassicae* liegen sehr unterschiedliche Ergebnisse vor, während LORENZ (2004) sowie MARCINISZYN et al. (2004) nach einem Tag eine Inaktivierung erreichten, konnte AUGUSTIN (2012) noch nach 2 Wochen die Vitalität des Erregers feststellen. Möglicherweise ist dies auf die variable Wärmetoleranz des Erregers zurückzuführen, die bereits im Zusammenhang mit der Pasteurisierung diskutiert wurde. Bei verschiedenen Unkrautsamen (SCHRADER et al., 2003; WEINHAPPEL et al., 2011) war nach 3 Tagen keine Keimfähigkeit mehr festzustellen. Ausnahmen bildeten jeweils *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß) (>1 Woche) und Arten mit hartschaligen Samen (*Trifolium pratense*, *Medicago sativa*, *Medicago lupulina*, *Vicia* sp. *Trifolium repens*), die nach einer Woche und in einigen Fällen sogar noch nach 26 Tagen lebensfähig waren (WEINHAPPEL, 2011).

Abgesehen von TMV und *Synchytrium endobioticum* (Kartoffelkrebs) kann geschlossen werden, dass eine Hygienisierung im mesophilen Biogasprozess erfolgen kann, dass aber unterschiedliche Organismen unterschiedlich lange Verweilzeiten erfordern. Die umfassendste Wirkung wird erzielt, wenn die Verweilzeit auf den langsamsten zu inaktivierenden Schadorganismus ausgerichtet wird. Für hartschalige Samen war eine Verweilzeit von mehr als 26 Tagen bis zur Inaktivierung erforderlich (WEINHAPPEL, 2011). Nach CEUSTERMANS et al. (2011) stellt die garantierte minimale Verweilzeit neben der Temperatur den wichtigsten Parameter für die Hygienisierung bei der

anaeroben Fermentation dar. Bei einem großen Anteil landwirtschaftlicher Biogasanlagen werden die Inputstoffe kontinuierlich zugeführt und vergorenes Substrat verlässt ebenso kontinuierlich den Fermenter (Kurzschlussströmung). Somit bleibt bei einer guten Durchmischung ein Teil der Partikel weitgehend unbehandelt. Je nach Anlagentechnik kann sich daraus eine geringere Hygienisierungsleistung ergeben, als in vielen Experimenten ermittelt. MARCINISYN et al. (2004) stellten in Tracerversuchen fest, dass Erregermaterialien aufgrund von Kurzschlussströmungen nur 1 bis 3 Tage dem Fermentationsprozess ausgesetzt waren.

Von Interesse ist in diesem Zusammenhang auch die Frage der Überlebensfähigkeit von Schadorganismen im Nachgärer bzw. bei der Gärrestlagerung. RODEMANN et al. (2011) und SCHLEUSNER et al. (2012) berichten über eine weitere Reduzierung von Pathogenen während der Gärrestlagerung. STRAUSS et al. (2012) stellten fest, dass die Keimfähigkeit von gentechnisch veränderten Samen im Nachgärer unter den anaeroben Bedingungen mit geringer mikrobieller Aktivität deutlich länger erhalten blieb als im Fermenter. Die keimreduzierende Wirkung der Gärrestlagerung lässt sich derzeit nicht quantifizieren, da entsprechende Daten fehlen.

Bei der mesophilen Vergärung nachwachsender Rohstoffe muss neben der Fermentation auch die z.B. bei Mais- und Getreidepflanzen übliche Silierung mit betrachtet werden. Untersuchungen von BANDTE et al. (2011); RODEMANN et al. (2011) und WEINHAPPEL et al. (2011) zeigten, dass die Silierung in der Regel eine deutliche hygienisierende Wirkung zeigte. Es ist allerdings zu beachten, dass Ausgangsstoffe wie Getreidekorn und Rüben ohne Silierung vergoren werden.

Nach der Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) gilt nur eine Vergärung im thermophilen Bereich bei ca. 50 – 55 °C als hygienisierende Behandlung. Zur Wirkung der thermophilen Vergärung auf Schadorganismen von Pflanzen gibt es vergleichsweise wenige wissenschaftliche Untersuchungen. RYCKEBOER et al. (2002) konnten für *Heterodera schachtii* (Rübenzystennematode), *Meloidogyne incognita* (Wurzelgallenälchen), den Kohlhernieerreger *Plasmodiophora brassicae* und *Ralstonia solanacearum* (Schleimkrankheit der Kartoffel) in einem Fermentationsprozess bei 52 °C eine Inaktivierungszeit von weniger als einem Tag ermitteln. Auch für Unkrautarten, einschließlich *Chenopodium album*, konnte WEINHAPPEL et al. (2011) im thermophilen Bereich nach einem Tag keine Keimfähigkeit mehr nachweisen. Aufgrund der höheren Temperatur kann bei der thermophilen Vergärung grundsätzlich von einer schnelleren Hygienisierungswirkung ausgegangen werden als bei der mesophilen Vergärung.

Allerdings belegen Untersuchungen von LORENZ (2004) sowie MARCINISZYN et al. (2004), dass das Tabakmosaikvirus (TMV) auch die thermophile Behandlung übersteht. Selbst eine Kombination von Pasteurisierung und thermophiler Vergärung führt nicht zu einer ausreichenden Inaktivierung von TMV.

### **7.3.2.1 Anaerobe Rotte von Festmist**

Bei der anaeroben Rotte werden nach BAUER (2006) Temperaturen im Rottestapel bis 60 °C erreicht. Diese Temperatur reicht aus, um Dauerstadien von Parasiten innerhalb kurzer Zeit abzutöten. In der Praxis wird mit Rottezeiten von 3 Wochen bis 2 Monaten gerechnet. Nach ZUCKER et al. (2011) bedeuten anaerobe Verhältnisse im Kern eines Festmiststapels ein längeres Überleben von Krankheitserregern.

### **7.3.3 Lagerung, Langzeitlagerung**

Im Jahr 1990 standen DEUTRICH und PIOCH vor der Frage, ob Rindergülle, die im Jahre 1971 in eine Kiesgrube verbracht und seither dort ohne weitere Behandlung gelagert wurde, ohne Risiko für die Gesundheit von Mensch und Tier als organischer Düngestoff genutzt werden kann. Die Frage nach dem gesundheitlichen Risiko stellte sich, da die Gülle aus einem Bestand stammte, der chronisch mit Brucellose verseucht war und in dem kurz zuvor ein frischer Tuberkulose-Ausbruch festgestellt wurde. Bei beiden Krankheiten handelt es sich um Zoonosen. DEUTRICH und PIOCH (1990) konnten in der Gülle nach 20jähriger Lagerung keine Brucellen und Mykobakterien mehr nachweisen. Heute ist die Lagerung bzw. Langzeitlagerung von Gülle und Klärschlamm im Hinblick auf eine Hygienisierung von Bedeutung. Insbesondere bei kleineren Kläranlagen findet häufig eine längere Zwischenspeicherung von Nassschlamm in Schlammteichen/-silos aber auch von entwässertem Schlamm in Schlamm lagern statt, um die Ausbringungsbeschränkungen bei der landwirtschaftlichen Verwertung zu überbrücken bzw. bei externen Dienstleistern genügend große Mengen für eine wirtschaftliche Entwässerung bereit zu stellen. Hier werden i. d. R. mehrere Monate Lagerzeit erreicht (KLAGES et al., 2009). Auch in der Landwirtschaft ist es erforderlich Gülle im Winter über mehrere Monate aufgrund von Ausbringungsbeschränkungen durch die Düngeverordnung (ANONYM, 2007 d) zu lagern. Während der Lagerung nimmt die Lebensfähigkeit und die Infektiosität der meisten Krankheitserreger ab (RAPP, 1995). Nach BÖHM (2002 a) führen nur Lagerzeiten von mindestens 12 Monaten zu einer signifikanten Keimreduktion, kürzere Zeiten zeigen dagegen kaum Wirkung. Durch eine Lagerung von Rindergülle in Flüssigmistbehältern bei 8 °C bis 15 °C werden nach 300 Tagen Karenzzeit nach Untersuchungen von BEST et al. (1971) keine Salmonellen mehr nachgewiesen. In Kälbergülle werden Salmonellen nach Angaben der Autoren nach 41 Tagen inaktiviert. In reiner Rinderjauche ist die Überlebenszeit der Salmonellen weitaus geringer, was sich nach STRAUCH (1981) mit dem Einfluss des pH-Wertes erklären lässt. Je höher der pH-Wert ist, desto geringer ist die Überlebenszeit von Salmonellen. Nach Untersuchungen von RAPP (1995) werden seuchenhygienisch relevante Keime bei der längerfristigen Lagerung von Flüssigmist in gemeinschaftlichen Großbehältern über eine Lagerdauer von 185 d deutlich reduziert. Aufgrund der Ergebnisse des Autors scheint das Verfahren der

Langzeitlagerung bezüglich der Reduktion ausgewählter Mikroorganismen als sinnvolle Alternative zur chemischen Desinfektion. Allerdings führt der Autor auch an, dass sich nicht generell eine einheitliche Grenze ziehen lässt, ab der die gelagerte Gülle als hygienisch unbedenklich anzusehen ist. Dies zeigen auch die Untersuchungen von WAGNER-WIENING (1999). Die Autorin konnte in zwei unabhängig von einander durchgeführten Versuchsdurchgängen unterschiedliche Absterberaten an *Cryptosporidium parvum* bei der Lagerung von Gülle feststellen. Während im einen Versuchsdurchgang nach 163 d keine vitalen Kryptosporidien mehr nachzuweisen waren (Absterberate von 100 %), betrug die Absterberate im anderen Versuchsdurchgang nach 185 d nur 49 %. Eine deutliche Reduktion an Salmonellen, Gesamt- und Fäkalcoliformen sowie Enterokokken kann nach Untersuchungen von HAUMACHER (1993) bei der Lagerung von separierten Güllefeststoffen über 5,5 Monate erreicht werden. Bei der Langzeitlagerung von Klärschlamm werden nach HAIBLE (1989) Salmonellen nach längstens 5 Monaten vollständig inaktiviert. Nach einem Jahr Lagerung waren alle Klärschlämme frei von Enteroviren. Nach 11-monatiger Lagerung von *Ascaris suum*-Eiern in Klärschlamm waren noch 14 % entwicklungsfähig. Nach Untersuchungen von JOHNSON et al. (1998) in einer Klärschlamm-Lagoone können mehr als 90 % der embryonierten *Ascaris suum*-Eier bis zu 29 Wochen überleben und sind anschließend noch entwicklungsfähig. Trotz häufig starker Keimreduktionen ist in einigen Untersuchungen (SIDHU et al., 2001; AVERY et al., 2005) belegt, dass auch die Langzeitlagerung nicht zu einer vollständigen Abtötung von pathogenen Erregern führt. Selbst bei behandeltem Klärschlamm kann es zur Vermehrung von Bakterien nach einer Rekontamination kommen. Daher empfehlen SIDHU et al. (2001) eine maximale Lagerdauer von ca. 30 Wochen nach einer Klärschlammkompostierung. Klärschlamm, der außer einer Lagerung über einen gewissen Zeitraum keinem anderen Behandlungsverfahren unterzogen wurde, sollte nicht als seuchenhygienisch unbedenklich angesehen werden (STEINMÖLLER, 2008). Nach Untersuchungen von DANG et al. (2011) führt die Lagerung von Schweinefestmist mit Reisstroh und Harnstoff, bedeckt mit einer Schicht aus Boden, zu einer Reduktion von *Escherichia coli* um 4 Zehnerpotenzen innerhalb von 2 Wochen. Enterokokken werden nach Angaben der Autoren nicht reduziert.

#### **7.3.4 Klärschlammvererdung – Entwässerung in Schilfbeeten**

Zur pflanzenbiologischen Abwasser- und Klärschlammbehandlung sind nach LANG (1988 b) verschiedene Systeme im Einsatz (Schilf-Binsen-Anlage, Wurzelraumt-sorgung, bewachsene Bodenfilter, Hydroponik-Hydrokultur, Wasserhyazintheenteiche), die häufig auch als „Klärschlammvererdungsverfahren“ beschrieben werden. Generell sollen die im Abwasser und Klärschlamm enthaltenen Substanzen durch das Zusammenwirken physikalischer, chemischer, biotischer und abiotischer Vorgänge im Wurzelbereich in

unterschiedlichem Umfang abgebaut sowie teilweise im Boden festgelegt oder von den Pflanzen aufgenommen werden. Am häufigsten werden Schilf und Flechtbinsen zur Klärschlammbehandlung mit Makrophyten eingesetzt. In der Praxis werden nach KLAGES et al. (2009) Beschickungszeiten bis 15 Jahre erreicht. Mehrjährige vergleichende bakteriologische und parasitologische Untersuchungen an Klärschlammmentwässerungsbeeten wiesen nach LANG (1988 b) hinsichtlich der Eliminierung von pathogenen Mikroorganismen keinen eindeutigen Vorzug der schilfbepflanzten Filterbeete gegenüber den unbepflanzten Kontrollbeeten auf. 16 Monate nach Abschluss der Schlammbeschickung wurden im Klärschlamm-Erde-Wurzelgemisch, unabhängig von der Schlammart (Überschussschlamm, Faulschlamm oder aerob stabilisierter Schlamm) bzw. mit oder ohne Bepflanzung, Enterobacteriaceen-Gehalte zwischen  $10^5$  und  $10^8$  KBE/g und Gehalte an Coliformen zwischen  $10^4$  und  $10^7$  KBE/g ermittelt. Nachdem das Klärschlamm-Erde-Wurzelgemisch aus den Filterbeeten entleert worden war, wurde es 6 Monate gelagert. Innerhalb dieser Zeit wurden die Bakterienkonzentrationen deutlich reduziert. Maximal wurden im Schlamm-Erde-Wurzelgemisch noch  $2,4 \times 10^2$  KBE/g an Enterobacteriaceae und  $1,0 \times 10^2$  KBE/g an Coliformen bzw.  $4,0 \times 10^3$  an Fäkalstreptokokken nachgewiesen. Salmonellen waren nach dieser Zeit nicht mehr nachweisbar. *Ascaris suum*-Eier verloren ihre Infektiosität bereits während der Beschickungsphase. Innerhalb eines Jahres konnte die vollständige Inaktivierung der in die Beete eingelegten Eier von *Ascaris suum* festgestellt werden. Gut vererdetes Material, d. h. Material aus einem Beet mit flächendeckendem Schilfbestand, kann nach Angaben von KLAGES et al. (2009) nach einem halben Jahr beschickungsfreier Zeit bereits verwertet werden. Allerdings sollte, um die seuchenhygienische Unbedenklichkeit des Klärschlammes einzuhalten, insbesondere bei Vorhandensein von Bestandslücken im Schilfbewuchs, ein beschickungsfreies Jahr vor der Räumung eingehalten werden oder eine 6-monatige Nachlagerung, z. B. in Mieten erfolgen. Nach Angaben von REHFUS (2012) kann mit der EKO-PLANT-Klärschlammvererdung die seuchenhygienische Unbedenklichkeit von Klärschlamm mit einer ausreichend bemessenen Trocken- und Nachlagerungsphase erzielt werden. In der novellierten Klärschlammverordnung ANONYM (2010 c) ist die Klärschlammbehandlung in Pflanzenbeeten als Behandlungsverfahren zur Hygienisierung vorgesehen. Allerdings müssen einige Anforderungen erfüllt werden. Es ist zu gewährleisten, dass die Pflanzenbeete einen durchgängig gleichmäßigen Pflanzenbewuchs aufweisen, dass vor der Räumung das entsprechende Pflanzenbeet mindestens 12 Monate lang nicht mehr mit Klärschlamm oder Abwasser beschickt werden darf und dass das entsprechende Pflanzenbeet zu entwässern und das feste Substrat mindestens 6 Monate zusätzlich zum beschickungsfreien Zeitraum zu lagern ist. Für die Überprüfung der Wirksamkeit des Verfahrens ist eine Baumusterprüfung oder eine Prozessprüfung erforderlich.

Phytopathogene Organismen mit widerstandsfähigen Überdauerungsorganen wie z. B. Dauersori von *Synchytrium endobioticum* oder *Polymyxa betae* und Zysten von

Kartoffelzystennematoden können mehr als 10 Jahre im Boden überdauern. Daher besteht nach STEINMÖLLER, 2008 die Einschätzung, dass dieses Verfahren für die Phytohygiene nicht ausreichend hygienisierend wirkt. Es liegen aber bisher keine Untersuchungen vor.

## **7.4 Chemische Verfahren**

### **7.4.1 Behandlung mit Kalk**

Bei Zusatz von Branntkalk (CaO) zu Klärschlamm entstehen bei der Reaktion mit Wasser einerseits  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  und Wärme (BAUER, 2006) und andererseits kommt es zu einem starken Anstieg des pH-Wertes (FRIES et al., 1979) (zit. nach SAIER, 1987). Beide Faktoren sowohl Temperaturerhöhung als auch pH-Verschiebungen tragen zum Entseuchungseffekt bei. Die Wärmeentwicklung (bis 75 °C) kann nach BAUER (2006) zur Desinfektion genutzt werden und tötet auch Spulwurmeier ab. Allerdings müssen zum Erreichen des Hygienisierungseffekts bestimmte Bedingungen erfüllt sein: partielle Entwässerung des zu kalkenden Klärschlammes (ca. 28 % TS), eine gute Qualität des Branntkalkes (hohes „Löschvermögen“) sowie die schnelle Vermischung von Schlamm und Kalk, z. B. durch Verwendung eines Pflugscharmischers. Die Stärke der Temperaturerhöhung ist abhängig von der Hydrationsgeschwindigkeit der verwendeten Kalksorte (FRIES et al., 1979) (zit. nach SAIER, 1987). Nach Zugabe von 20 kg Kalkstickstoff auf 1 m<sup>3</sup> Klärschlamm stellten STRAUCH et al. (1978) bei einem pH-Wert zwischen 11 und 13, auch bei niedrigen Temperaturen, innerhalb von 24 – 48 h eine sichere Abtötung von Salmonellen fest. Nach KOCH und STRAUCH (1981) eignet sich Branntkalk zur Desinfektion von in Klärschlamm enthaltenen Viren. Ein pH-Anstieg auf über 12 verbunden mit einer  $\text{NH}_3$ -Freisetzung führt zur Inaktivierung von Polio- und bovinem Parvovirus.

Die Behandlung von Rohschlamm mit Kalkmilch ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) führt zu einer starken Alkalisierung (pH-Werte  $\geq 12$ ). Bei diesen pH-Werten gehen Salmonellen wie auch Viren nach BAUER (2006) rasch zugrunde. Dagegen können *Ascaris*- und *Taenia*-Eier mehrere Wochen überleben. Daher ist dieses Verfahren zur Desinfektion gegen Dauerstadien von Parasiten nicht zu empfehlen.

SCHIRM (2005) entwickelte eine Methode zur Hygienisierung von Klärschlamm mit Branntkalk. Mit dieser Methode konnte die Entwicklungsfähigkeit von Askarideneiern mit einer Kalkmenge von 0,45 kg pro kg Trockensubstanz und einer Lagerung des Substratgemisches von 2 Monaten in Klärschlamm ausreichend reduziert werden.

### **7.4.2 Behandlung mit Säuren**

In saurem Milieu (pH-Wert <6) wird das Wachstum von NH<sub>3</sub>-produzierenden Bakterien gehemmt. Sinkt der pH-Wert unter 5, können sich Salmonellen kaum noch entwickeln. Das Ansäuern von Hühnermist schützt nach Angaben von IVANOV (2001) die Tiere vor schädlichen Einwirkungen durch Ammoniak, durch die Inhibition von NH<sub>3</sub>-produzierenden Bakterien und die Neutralisation des entstehenden Schadgase NH<sub>3</sub>. Die Behandlung von Hühnermist mit organischen Säuren vermindert die Kontamination der Umwelt, des Futters sowie der Geflügelfleischproduktion mit Salmonellen, *Campylobacter* und *Escherichia coli*, wie die Untersuchungen von IVANOV (2001) zeigen. Nach Angaben des Autors führt die Säurebehandlung von Hühnermist, bestehend aus Hühnerkot, Pinienspänen und Stroh mit 5 %-iger Zitronensäure, 4 %-iger Weinsäure und 1,5 %-iger Salizylsäure zu einer deutlichen Reduktion der Konzentration an *Proteus* spp., *Pseudomonas* spp. und *Escherichia coli* (von 10<sup>8</sup> zu 10<sup>3</sup> KBE/ml), außerdem werden nach 24 h keine Salmonellen mehr nachgewiesen.

## **7.5 Sonstige Behandlungsverfahren / Kombinationsverfahren**

### **7.5.1 Klärschlammdeintegration**

Die eingesetzten Verfahren zur Klärschlammdeintegration werden als zusätzlicher Behandlungsschritt mit dem Ziel des weitergehenden Abbaues organischer Substanz durchgeführt. Bei diesen Verfahren wird die Zellwand der Mikroorganismen zerstört, um die Zellflüssigkeiten einem biologischen Abbau zugänglich zu machen. Außerdem werden eine Verringerung der zu entsorgenden Klärschlammmenge, eine Verbesserung der Entwässerbarkeit, eine Verbesserung des C/N-Verhältnisses zur Denitrifikation sowie eine höhere Gasausbeute im Faulturm erreicht. Diesen Optimierungsmöglichkeiten steht die Erhöhung der Stickstofffracht im Schlammwasser, ein Mehrverbrauch an Konditionierungsmitteln und die für die Desintegration benötigte Energie sowie Kosten für den zusätzlichen Verfahrensschritt gegenüber. Im Hinblick auf eine mögliche Hygienisierungswirkung liegen für diese Verfahren noch keine belastbaren Erfahrungswerte vor (KLAGES et al., 2009).

## 8 Auswirkungen des Eintrags von Mikroorganismen in die Umwelt durch organische Dünger

Mit den Exkrementen werden Bakterien, Viren, Pilze und Parasiten sowie Arzneimittel und Hormone ausgeschieden und gelangen mit dem Abwasser in das Wasser und mit dem Ausbringen von Gülle und Dung, aber auch mit Klärschlamm in den Boden und in das Wasser. Besonders gefährdet sind die limitierten Wasserressourcen. Mit dem Ausbringen von Gülle und Dung können Mikroorganismen der Tiere darunter auch Zoonoseerreger in den Boden, in das Oberflächen- und Grundwasser gelangen. In der Abb. 12 ist die Vielzahl der Transferrouen für Pathogene in der Umwelt nach BURTON (2009; verändert) dargestellt.

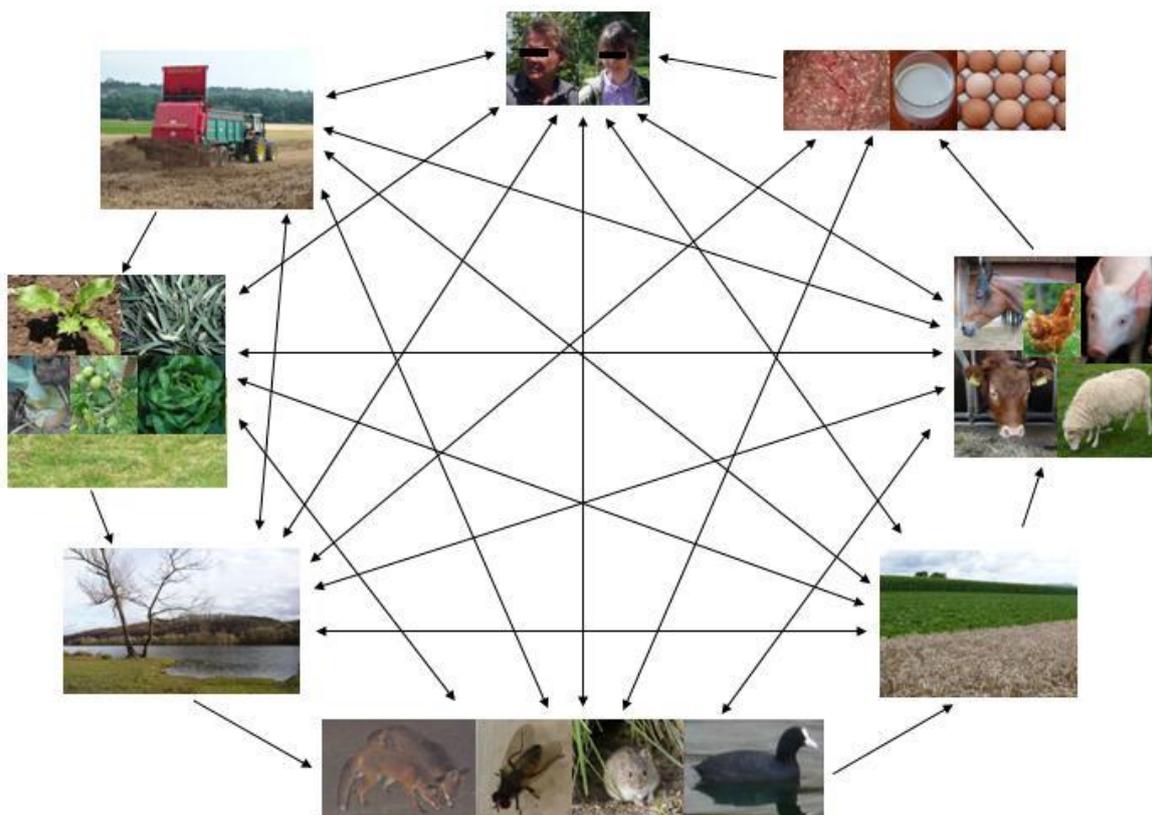


Abb. 12: Vielzahl an Transferrouen für Pathogene in der Umwelt (nach BURTON, 2009; verändert)

Salmonellen überleben in der Gülle bis zu 200 d und im Boden bis zu 400 d. *Escherichia coli*-Keime sind bei Sperlingen und Ratten in der Nähe von Rinderfarmen nachgewiesen worden, die identisch sind mit Isolaten von Rindern dieser Betriebe. Das Überleben sowie das Eindringen von Bakterien in den Boden und in das Grundwasser sind von verschiedenen Faktoren abhängig. Zu den Faktoren zählen Regen, die UV-Strahlung, Temperatur und Feuchtigkeit, pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Adhäsionsvorgänge, das

Vorhandensein von Antibiotika und toxischen Substanzen, der Schutz durch Biofilme sowie die Aufnahme in Amöben sowie Protozoen (ZUCKER et al., 2011). Bei der Ausbringung von organischen Düngern wird das Überleben der Pathogenen von verschiedenen Faktoren beeinflusst, wie Sonneneinstrahlung, Temperatur, Austrocknung und Kontakt zum Boden (AVERY et al, 2005). In Tab. 11 sind die Überlebenszeiten verschiedener Erreger nach Literaturangaben dargestellt.

Tab. 11: Überlebenszeiten verschiedener infektiöser Agentien nach Literaturangaben

<b>Infektiöses Agens</b>	<b>Medium</b>	<b>Überlebenszeit in der Umwelt</b>	<b>Quelle</b>
<i>Brucella abortus</i>	-	8 Monate	QUINN et al. (2011)
<i>Brucellen</i>	Gülle	25 – 40 Tage (22 – 7 °C)	ZUCKER et al. (2011)
<i>Brucellen</i>	Güllefeststoffe	8 – 21 Tage (55 – 40 °C)	ZUCKER et al. (2011)
<i>Brucellen</i>	Stalldung	77 Tage	ZUCKER et al. (2011)
<i>Brucella abortus</i>	Boden	>100 Tage	STRAUCH (1996 b)
<i>Brucella abortus</i>	Wasser	>90 Tage	STRAUCH (1996 b)
<i>Campylobacter fetus subsp. intestinales</i>	Schafmist	20 Tage	MITSCHERLICH und MARTH (1984)
<i>Campylobacter</i>	Boden	>30 Tage	STRAUCH (1996 b)
<i>Chlamydia psittaci</i>	Einstreu	60 – 240 Tage	MITSCHERLICH und MARTH (1984)
<i>Chlamydien</i>	Kot (trocken)	1 Monat	PANTCHEV (2010)
<i>Chlamydien</i>	Einstreu, Staub, Federn	6 Monate	PANTCHEV (2010)
<i>Coxiella burnetii</i>	Insekten	134 Tage	MITSCHERLICH und MARTH (1984)
<i>Escherichia coli</i>	Gülle	>77 Tage	MITSCHERLICH und MARTH (1984)
<i>Escherichia coli</i>	Kot	161 Tage	MITSCHERLICH und MARTH (1984)
<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	Boden	unbegrenzt	STRAUCH (1996 b)
<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	Wasser	>150 Tage	STRAUCH (1996 b)
Mykobakterien	Stalldung	60 – 150 Tage (18 – 15 °C)	ZUCKER et al. (2011)
<i>Mycobacterium avium subsp. paratuberculosis</i>	Boden (trocken, im Schatten)	bis zu 55 Wochen	WHITTINGTON et al. (2004)
<i>Mycobacterium bovis</i>	Gülle	112 Tage	MITSCHERLICH und MARTH (1984)
<i>Mycobacterium bovis</i>	-	6 Monate	QUINN et al. (2011)
<i>Mycoplasma spp.</i>	-	3 Tage	QUINN et al. (2011)

Fortsetzung der

Tab. 11: Überlebenszeiten verschiedener infektiöser Agentien nach Literaturangaben

<b>Infektiöses Agens</b>	<b>Medium</b>	<b>Überlebenszeit in der Umwelt</b>	<b>Quelle</b>
Leberegelier	Gülle/ Jauche	35 Tage	ZUCKER et al. (2011)
<i>Leptospira interrogans</i>	-	10 Tage	QUINN et al. (2011)
<i>Listeria monocytogenes</i>	Rinderkot	bis zu 6 Jahren	MITSCHERLICH und MARTH (1984)
<i>Listeria monocytogenes</i>	Einstreu	15 Tage	MITSCHERLICH und MARTH (1984)
<i>Listeria monocytogenes</i>	Wasser	2 Jahre	STRAUCH (1996 b)
<i>Listeria monocytogenes</i>	Boden	unbegrenzt	STRAUCH (1996 b)
<i>Pasteurella multocida</i>	Flüssigmist	1 – 3 Wochen	MITSCHERLICH und MARTH (1984)
<i>Pasteurella multocida</i>	Boden	1 – 3 Wochen	MITSCHERLICH und MARTH (1984)
Salmonellen	Umwelt	wochen- bzw. monatelang	SELBITZ (2011)
Salmonellen	Festmist	1 Woche (45 – 55 °C)	ZUCKER et al. (2011)
Salmonellen	Rindergülle	50 Wochen (8 – 12 °C)	ZUCKER et al. (2011)
Salmonellen	Rinder- jauche	58 – 84 Tage	ZUCKER et al. (2011)
Salmonellen	trockener Rinderkot	bis zu 6 Jahre	PLYM-FORSHELL und EKESBO (1996)
Salmonellen	Schweine- gülle	10 Wochen (8 – 12 °C)	ZUCKER et al. (2011)
Salmonellen	Güllefest- stoff	6 – 12 Tage (55 – 40 °C)	ZUCKER et al. (2011)
Salmonellen	Geflügel- gülle	8 – 57 Tage	ZUCKER et al. (2011)
Salmonellen	Kälbergülle	12 – 33 Tage	ZUCKER et al. (2011)
<i>Shigella dysenteriae</i>	Boden	73 Tage	MITSCHERLICH und MARTH (1984)
Sporen von <i>Bacillus anthracis</i>	-	>50 Jahre	QUINN et al. (2011)
<i>Bacillus anthracis</i>	Boden	>70 Jahre	STRAUCH (1996 b)
<i>Bacillus anthracis</i>	Wasser	unbegrenzt	STRAUCH (1996 b)
Spulwurmeier	Rindergülle	>76 Tage	ZUCKER et al. (2011)
Spulwurmeier	Stalldung	25 Tage (40 °C)	ZUCKER et al. (2011)
Spulwurmeier	Stalldung	4 Tage (50 °C)	ZUCKER et al. (2011)
aviäre Influenza-Viren (H5N1)	Entenkot	75 Tage (D <sub>90</sub> bei 0 °C)	NAZIR et al. (2011)
aviäre Influenza-Viren (H5N1)	Sediment	118 Tage (D <sub>90</sub> bei 0 °C)	NAZIR et al. (2011)
aviäre Influenza-Viren (H6N8)	Oberflächen- wasser	≥112 (0 °C) ≥16 (30 °C)	NAZIR (2011)

Fortsetzung der

Tab. 11: Überlebenszeiten verschiedener infektiöser Agentien nach Literaturangaben

Infektiöses Agens	Medium	Überlebenszeit in der Umwelt	Quelle
aviäre Influenza-Viren (H6N8)	Sediment	394 Tage (D <sub>90</sub> bei 0 °C)	NAZIR et al. (2011)
Felines Parvovirus	-	1 Jahr	QUINN et al. (2011)
MKS-Virus	-	mehrere Monate	QUINN et al. (2011)
Newcastle Disease-Virus	Sediment	≥168 Tage (0 °C) ≥20 Tage (20 °C)	NAZIR (2011)
PRRS-Viren	Schweinegülle	1 – 8 Tage	ZUCKER et al. (2011)
Orf-Virus	-	8 Monate	QUINN et al. (2011)
Schimmelpilzsporen	-	10 Monate	QUINN et al. (2011)
Prionen	Boden	>3 Jahre	QUINN et al. (2011)

In Tab. 12 sind die bedeutsamsten Parasiten und deren Tenazität nach HIEPE und BUCHWALDER (1991) dargestellt, für die Wirtschaftsdünger als Vektor aus der Rinder- und Schweinehaltung in Betracht kommt.

Tab. 12: Exogene Parasitenstadien in Wirtschaftsdünger (HIEPE und BUCHWALDER, 1991)

Tierart	Mikroorganismus	Spezies	Stadium	Tenazität
Rind	Protozoen	<i>Eimeria</i> -Arten	Oozysten	hoch
		<i>Cryptosporidium parvum</i>	Oozysten	hoch
		<i>Toxoplasma gondii</i>	Oozysten	hoch
		<i>Sarcocystis</i> -Arten	Sporozysten	hoch
	Helminthen	<i>Fasciola hepatica</i>	Eier	mittel
		<i>Taenia saginata</i>	Eier	hoch
		Magen-Darm-Strongylata	Eier	gering
		Magen-Darm-Strongylata	La I, La II	gering
	Magen-Darm-Strongylata	La III	mittel	
	<i>Dictyocaulus viviparus</i>	La I	gering	
	<i>Dictyocaulus viviparus</i>	La II, La III	mittel	
Schwein	Protozoen	siehe Rinder		hoch
	Helminthen	<i>Taenia saginata</i>	Eier	hoch
		<i>Ascaris suum</i>	Eier	sehr hoch
	Arthropoden	<i>Musca domestica</i>	Eier	hoch
		<i>Fannia canicularis</i> <i>Ophyra aenescens</i>	Larven Puppen	hoch hoch

Beim Ausbringen nicht ausreichend lange gelagerter Gülle auf Wiesen und Weiden können nach BAUER (2006) entwicklungsfähige oder infektiöse Parasitenstadien verbreitet werden und Futterpflanzen kontaminieren. Dies gilt auch für andere Pathogene. Daher hat nach Angaben von BAUER (2006) die EU-Kommission bereits vor Jahren empfohlen, Gülle erst nach einer Lagerung von mindestens 30 Tagen (Sommer) bzw. 60 Tagen (Winter) auf Weiden und Grünfutterflächen auszubringen und eine Weidenutzung frühestens 30 Tage danach zu beginnen. Manche Dauerstadien von Parasiten (z. B. *Taenia*-Eier) sind aber auch nach diesen Zeiten noch lebensfähig.

Protozoen, insbesondere *Giardia* und *Cryptosporidium* sind in Oberflächenwasser weit verbreitet. Das Vorkommen der beiden Protozoen in Flüssen und Talsperren hängt von ihrem Eintrag in die Gewässer ab. Infizierte Menschen sowie Wild, Nutz- und Haustiere scheiden Parasiten aus und sind somit potentielle Kontaminationsquellen. Die Verbreitung dieser Parasiten in der Umwelt ist durch ihr breites Wirtsspektrum, durch die große Anzahl der ausgeschiedenen Parasiten und durch deren Widerstandsfähigkeit und Langlebigkeit vor allem bei niedrigen Temperaturen. Ein wesentlicher Unterschied in der Verbreitung und Epidemiologie von Giardien und Kryptosporidien scheint nach KARANIS (2000) zu sein, dass Giardien in der Natur regelmäßig zirkulieren, die Kryptosporidien dagegen eher sporadisch-massiv auftreten. Dieser Unterschied gibt auch eine mögliche Erklärung für die unterschiedliche Gewässerbelastung durch *Giardia* und *Cryptosporidium*. Flüsse sind nach Angaben des Autors regelmäßig und oft mit *Giardia*-Zysten kontaminiert, wenn sie durch kommunale Abwässer belastet werden. Möglicherweise ist die Kontamination der Gewässer mit *Giardia*-Zysten auf viele Quellen zurückzuführen, während die Tierhaltung, insbesondere von Kälbern und Lämmern einen wesentlichen Einfluss auf die Gewässerbelastung mit Kryptosporidien hat. Giardien und Kryptosporidien werden in Flüssen häufiger und in höheren Konzentrationen als in stehenden Gewässern nachgewiesen (KARANIS, 2000).

Futtermittel, wie z. B. Weidegras, Grünfutter, nicht ausreichend lange gelagerte Silage können nach BAUER (2006) mit infektiösen Stadien von Protozoen und Helminthen kontaminiert sein und so eine Ansteckungsquelle für Tiere darstellen. So ist z. B. Gras von beweideten Grünflächen in der Regel mit Larven III von (Tricho-)Strongyliden kontaminiert. Solches Gras kann durch Silieren dekontaminiert werden. Bereits nach 3 Wochen sind in siliertem Gras infektiöse Larven von Magen-Darm-Strongyliden (Trichostrongyliden, große und kleine Pferdestrongyliden) und *Dictyocaulus*-Arten (*Dictyocaulus viviparus*, *Dictyocaulus filaria*) sowie Metazerkarien von *Fasciola hepatica* abgestorben. Eier von *Ascaris suum* bleiben in Silage bei einer Temperatur von 20 °C mehr als 2 Monate lebensfähig, bei 40 °C gehen sie in dieser Zeit zugrunde. Eier von *Taenia*-Arten sterben in Silage bei 10 °C größtenteils nach 60 – 80 d, bei 20 °C nach 30 – 40 d ab, doch können bei letztgenannter Temperatur einige bis zu 70 °C überleben. Heu stellt nach künstlicher Trocknung kein Ansteckungsrisiko dar. Gleiches gilt für Heu

nach guter natürlicher Trocknung und mehrmonatiger Lagerung, doch können gelegentlich, besonders bei hoher Luftfeuchte und kühler Lagerung, Oozysten von *Eimeria alabamensis*, Metazerkarien von *Fasciola hepatica* sowie Larven III von Pferdestrongyloiden einige Wochen bis Monate im Heu überleben.

Die Erhaltung der Infektiosität von Viren in der Umwelt wird durch verschiedene Parameter beeinflusst. Die spontan zu beobachtende Virusinaktivierung wird primär durch die Virusart selbst und sekundär durch die vorherrschende Temperatur sowie in Oberflächengewässern zusätzlich durch die Sonneneinstrahlung (UV-Anteil) bestimmt. In Klärschlamm und Hofdüngern wird mikrobiellen Stoffwechselprodukten eine nicht unbedeutende Auswirkung auf das Ausmaß der Virusinaktivierung zugesprochen. Während die Inaktivierungsrate mit zunehmend hoher Temperatur zunimmt, werden Viren nach Adsorption an partikuläre Oberflächen gegen ungünstige Einflüsse geschützt. Hieraus folgt, dass in Wasser bei erhöhter Trübung vermehrt mit dem Auftreten gebundener Infektiosität zu rechnen ist. Dabei können an kleine Partikel gebundene Viren durchaus infektiös sein. Verbunden mit der erhöhten Trübung reduziert sich in Oberflächengewässern die viruzide Wirkung des einfallenden Sonnenlichts. In Böden werden Viren in Abhängigkeit von der elektrochemischen Beschaffenheit der eigenen Oberfläche, von der Bodenzusammensetzung sowie vom Wasser- und Elektrolytgehalt mehr oder weniger effizient fixiert und ggf. auch wieder freigesetzt (METZLER, 2000).

Die Tenazität von Viren wird nach MAHNEL (1984; zit. nach FAUSER-LEIENSETTER, 2000) von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Wärme: gegenüber Wärme verhalten sich Viren im Allgemeinen labiler als Bakterien
- Licht: Viren sind gegenüber Licht wenig widerstandsfähig, Tageslicht beschleunigt die Inaktivierung
- UV-Licht/ionisierende Strahlung: führt bei Viren und Bakterien zu einer relativ raschen Inaktivierung
- UV-Strahlen: besonders die UV-Strahlen der Wellenlänge um 254 nm zerstören sehr rasch die Infektiosität von Viren
- pH-Wert: extreme pH-Werte sowohl im sauren als auch im alkalischen Bereich reduzieren die Überlebenszeiten der meisten Viren drastisch.

Das Überleben und der Transport von Pathogenen aus Mist in die Umwelt hängen von einer Vielzahl an komplexen Phänomenen ab. Eine wichtige Frage ist wie die Eigenschaften einer solch komplexen Umwelt, wie das Boden-Mist-Medium die Persistenz von Bakterien in der Zone über dem Grundwasserspiegel beeinflussen. Der Bodentyp ist nach MAWDSLEY et al. (1996; zit. nach PELL, 1997) wichtig bei der Bestimmung des mikrobiellen Transports durch den Boden. Deshalb soll Mist nach PELL (1997) nicht auf gefrorenen Boden ausgebracht werden. Ferner soll das Risiko des Oberflächenabflusses beim Ausbringen von Mist und damit eine Kontamination von Gewässern minimiert

werden. Dies kann nach Angaben der Autorin durch Filterstreifen erreicht werden. Solche Filterstreifen gibt es heute als Randstreifen an Feldwegen, Strassen und Gewässern und als Wasserschutzgebiete.

Krankheitserreger können auch in die Umwelt gelangen, wenn wie z. B. in Malaysia Hühnermist an Wiederkäuer verfüttert wird (ABDULLAH et al., 2005), insbesondere dann, wenn dieser vorher nicht behandelt wird. Auf diese Weise können neue Infektionskreisläufe entstehen.

Hervorgehoben werden muss die Gefahr der Verbreitung von antibiotikaresistenten Keimen in der Umwelt. Resistente Bakterien werden nicht nur im Boden und Oberflächenwasser, sondern auch im Grund- und Trinkwasser nachgewiesen. Nutztiere sind ein Reservoir für Resistenzgene. So konnten in der Nähe von Schweineanlagen tetrazyklinresistente Bakterien im Grundwasser nachgewiesen werden. In der Umwelt kann eine Vermehrung resistenter Keime, aber auch ein Transfer der Resistenzgene erfolgen. Durch den von Jahren erlaubten Einsatz von Avoparcin als Futterzusatzstoff sind vancomycinresistente *Enterococcus faecium*-Stämme induziert worden. Eine Transmission von vancomycinresistenten *Enterococcus*-Stämmen auf den Menschen ist anzunehmen. Vancomycin ist ein Notfallantibiotikum in der Humanmedizin. Fluorchinolon-resistente *Escherichia coli* bei Menschen stammen häufig von Hühnern und Schweinen bzw. Rindern, da Fluorchinolone bei diesen ebenso wie in der Humanmedizin eingesetzt werden. Über die Kläranlage werden viele antibiotikaresistente Bakterien in Oberflächengewässer eingetragen. Mit dem Klärschlamm gelangen sie auch auf landwirtschaftliche Nutzflächen. Zur Vermeidung von Resistenz- und Kreuzresistenzentwicklung sowie genotoxischer und karzinogener Wirkung wurde in der EU seit 1997 einer Reihe von pharmakologisch wirksamen Futterzusatzstoffen die Zulassung entzogen. Seit dem 1. Januar 2006 sind nach der Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 das Inverkehrbringen und die Verwendung von antibiotisch wirksamer Leistungsförderer europaweit nicht mehr zulässig. 30 % bis 90 % der verabreichten Menge an Arzneimitteln werden von Menschen und Tieren wieder ausgeschieden. Nach der Anwendung beim Menschen gelangen Arzneimittel und deren Metaboliten mit den kommunalen Abwässern, auch mit Abwasser aus Krankenhäusern belastet sein können, in die Klärwerke und dann in Oberflächengewässer. Dagegen gelangen Medikamente nach ihrer Anwendung bei Nutztieren mit dem Ausbringen von Gülle und Dung direkt, also ohne Klärung, in den Boden bzw. das Wasser. Eine weitere Quelle der Belastung des Oberflächenwassers sind Aquakulturen. Medikamente, die in Deutschland in Klärwerken und Oberflächengewässern nachgewiesen wurden, sind Lipid-regulierende Stoffe, Analgetika, Antiphlogistika,  $\beta$ -Blocker, Sympathomimetika, Antiepileptika, Bronchospasmolytika, Zytostatika und Ethinylöstradiol. In Klärwerken erfolgt kein vollständiger Abbau der Medikamente. Außerdem wird ein hoher Prozentsatz adsorbiert und befindet sich im Klärschlamm. Im Wasser, das die Klärwerke verlässt, können

Medikamente im  $\mu\text{g/l}$ -Bereich nachgewiesen werden. Diese Konzentrationen liegen unterhalb der pharmakologisch wirksamen Dosis. In den Vorflutern liegen die Konzentrationen durch die Verdünnung (etwa 60-fach) im unteren  $\mu\text{g/l}$ - bzw. im  $\text{ng/l}$ -Bereich. Die Belastung von Boden und Grundwasser mit Arzneimitteln, vor allem Antibiotika und Antiparasitika, erfolgt durch das Ausbringen von Dung und Gülle, aber auch durch den Einsatz von Klärschlamm als Wirtschaftsdünger. Durch Uferfiltration von Flusswasser können Arzneimittel ebenso in das Grundwasser gelangen. In Bodenproben landwirtschaftlich genutzter Flächen mit regelmäßiger Begüllung konnten Tetracyclin- und Chlortetracyclinrückstände im Bereich von  $32 \mu\text{g/kg}$  Boden und  $26 \mu\text{g/kg}$  Boden nachgewiesen werden, Tetracycline auch mit bis zu  $300 \mu\text{g/kg}$  Boden, was ein Hinweis auf eine Akkumulation ist. In den USA zeigten Untersuchungen, dass Tetracycline, Sulfonamide,  $\beta$ -Lactame, Macrolide und Fluorchinolone in tierischen Exkrementen und ebenso im Oberflächenwasser und im Grundwasser in der Nähe von großen Schweine- und Geflügelanlagen nachgewiesen werden können. Zahlreiche Medikamente sind polar bzw. hydrophil und binden sich kaum im Boden, so dass diese leicht in das Grundwasser gelangen können. Im Boden liegen die Konzentrationen im  $\mu\text{g/kg}$ -Bereich, im Grundwasser und im Trinkwasser in  $\text{ng/l}$ -Bereich. Das ist etwa ein Millionstel der Konzentration der therapeutischen Wirkung. Die Elimination von Arzneimitteln in der Umwelt erfolgt hauptsächlich durch mikrobiellen Abbau (Biodegradation), aber auch durch Hydrolyse, Photolyse (UV-Strahlung) und Adsorption. Ob der Abbau eines Arzneimittels schnell oder langsam erfolgt, hängt von vielen Faktoren ab, vor allem von der chemischen Struktur der Substanz und von den Eigenschaften des Mediums (Matrix), in dem sie sich befinden. Die meisten Arzneimittel sind schlecht abbaubar, so auch Antibiotika, woraus sich eine potenzielle Bioakkumulation und Persistenz in der Umwelt ableitet. In den Klärwerken liegt die Eliminationsrate von Arzneimitteln zwischen 7 % und 99 % (durchschnittlich 60 %), so dass Arzneimittel in die Flüsse gelangen, die das geklärte Abwasser aufnehmen. In den Flüssen erfolgt ein langsamerer Abbau als im Klärwerk infolge der geringen Konzentration an Mikroorganismen, was mit der Gefahr einer weiten Verbreitung verbunden ist. In den Oberflächengewässern betragen die Halbwertszeiten für den Abbau von verschiedenen Antibiotika 10 bis 104 d. Tetracycline weisen in Schweinegülle Halbwertszeiten von 50 d auf (hohe Persistenz). Der Abbau von Tetracyclinen im Dungstapel ist effektiver als in Gülle. Im Boden sind die meisten Arzneimittel schwer abbaubar. Sarafloxacin (Fluorchinolon) wird im Boden innerhalb von 80 d kaum mineralisiert. Virginiamycin weist im Boden Halbwertszeiten von 87 d bis 173 d auf. Über den Abbau von Bioziden bei der Lagerung von Jauche und Gülle ist wenig bekannt. Die meisten Wirkstoffe in den Desinfektionsmitteln sind biologisch leicht abbaubar. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Biodegradation bei Arzneimitteln und Bioziden der wichtigste Abbaupfad ist, so dass daraus geschlossen werden kann, dass

in einem keimarmen Milieu wie im Grund- und Trinkwasser kaum ein Abbau stattfindet (ZUCKER et al., 2011).

Veterinärantibiotika können durch Versickerung und Abschwemmung in das Grundwasser und in Oberflächengewässer gelangen, wenn landwirtschaftliche Nutzflächen mit Wirtschaftsdüngern behandelt werden. Humanantibiotika werden bei der Abwasserreinigung nicht vollständig entfernt und können auf diesem Weg in Fließgewässer bzw. das Grundwasser gelangen (CLARA et al., 2010). Humanpharmaka gelangen hauptsächlich über kommunale Kläranlagen in Gewässer und können nur über den Umweg der Klärschlammausbringung Böden kontaminieren (SATTELBERGER, 1999).

### **8.1 Aerogene Verfrachtung von Mikroorganismen**

Die in der freien Natur vorkommenden aerogen verfrachteten Mikroorganismen reflektieren einen großen Teil von Keimen, die im Boden, im Wasser und in oder auf Lebewesen vorkommen (FACK, 1998). Luftgetragene Partikel mit wesentlichen Anteilen von Stoffen menschlicher, tierischer, pflanzlicher und mikrobieller Herkunft werden als Bioaerosole bezeichnet (BÖHM, 1998). Sie enthalten Bakterien, Pilze, Algen, Viren, Zellbestandteile und/oder mikrobielle Produkte wie Endotoxine, Mykotoxine und Glukane. Nach SCHAPPLER-SCHEELE und MISSEL (1999) stellen Bioaerosole eine in der Luft befindliche Mischung feinst verteilter, fester oder flüssiger Partikel dar. Der Begriff Bioaerosole wird nach DOUWES et al. (2003) häufig synonym mit organischem Staub gebraucht. Bioaerosole sind nach OWEN et al. (1992) Partikel, die sehr klein sind und lange in der Luft verbleiben bzw., die sehr groß sind und nur für eine sehr kurze Zeit luftgetragen sind. Bedingt durch ihr geringes Eigengewicht bzw. ihre Bestandteile sind sie oftmals noch in weiter Entfernung von ihrem Freisetzungsort nachweisbar (EIKMANN und HOFMANN, 1999). Generell ist die Luft aufgrund des geringen Nährstoffangebotes sowie der geringen Feuchte nicht als Lebensraum für Mikroorganismen geeignet. Spezielle Keime können jedoch durch die Ausbildung von resistenteren Lebensformen (Sporen) längere Zeit in der Luft überdauern. Ihnen dient die Luft als Medium des Transportes von Nährboden zu Nährboden (KÜHNER et al., 2001). Grundsätzlich können Mikroorganismen in der Luft auch als Einzelkeime vorliegen. Meist sind sie aber an Staubpartikel gebunden oder sie bilden Keimaggregate. Bakterien tendieren in ihrer natürlichen Umgebung wie in Wasser, Boden oder auf lebenden und toten Geweben dazu, in Kolonien zu wachsen. Dementsprechend erscheinen sie auch im Aerosol meist als Aggregate oder Mikrokolonien, die an andere Materialien gebunden sind. Im Aerosolzustand können sie als vegetative Zellen und als Sporen vorliegen. Dabei ist bei den verschiedenen Keimarten von unterschiedlichen Größenverteilungen auszugehen, unabhängig von der Größe der sie tragenden Partikel:

- Bakterien und Bakteriensporen umfassen einen weiten Größenbereich und sind zwischen 0,5 und 10 µm groß
- Pilzsporen sind 1 - 30 µm groß
- Viren haben eine durchschnittliche Größe von etwa 0,02 - 0,26 µm (BÖHM et al., 1998).

Die Überlebensfähigkeit von Bioaerosolen wird durch eine Vielzahl an Faktoren beeinflusst. Die Hauptkomponenten für die biologische Absterberate luftgetragener Mikroorganismen sind nach ALBER (1995) die Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur, UV-Strahlung und die Luftzusammensetzung (toxische Stoffe, etc.) sowie der OAF (OPEN AIR FAKTOR). EHRLICH et al. (1970) und JARNYCH (1976) halten die relative Luftfeuchte und die Temperatur für die wichtigsten Einflussgrößen auf die Überlebensfähigkeit. Beide Faktoren stehen in ihrer Einwirkung auf biologische Aerosole in engem Verhältnis. Dagegen sehen KARRA und KATSIVELA (2007) die intensive Sonneneinstrahlung zusammen mit hohen Temperaturen als die wichtigsten Faktoren für niedrige Bioaerosolgehalte in der Luft. Weitere Einflussfaktoren auf die Überlebensfähigkeit von Mikroorganismen in der Luft sind atmosphärischer Staub (RÜDEN und THOFERN, 1976) (zit. nach MAUS et al., 1997), der Wassergehalt von Bakterien (HARTUNG, 1995) und das Alter des Aerosols sowie der Partikelgehalt (WÜST et al., 2000). Nach MARTHI et al. (1990) nimmt die Überlebensrate von Bioaerosolen mit der Abnahme des Tröpfchendurchmessers ab. Während der Tageslichtstunden wird die Überlebensfähigkeit von luftgetragenen Mikroorganismen nach SHAFFER und LIGHTHART (1997) signifikant von der relativen Luftfeuchtigkeit, der Sonneneinstrahlung, von Luftturbulenzen und weniger von der Temperatur, und in ländlichen Gebieten zusätzlich noch von der Windgeschwindigkeit und Windrichtung beeinflusst. Einen ausgeprägten Effekt auf das Überleben von Luftkeimen hat nach TONG und LIGHTHART (1997) die Sonneneinstrahlung. Nach ihren Untersuchungen haben Mikroorganismen, die während der Nacht gesammelt werden, die geringste Überlebensrate bei zunehmender Sonneneinstrahlung im Vergleich zu Mikroorganismen, die an klaren Tagen gesammelt werden. Je energiereicher eine Strahlung (UV-, Röntgen- oder Gammastrahlung) ist, desto mehr Reaktionen freier Radikale werden induziert. Dies kann in Organismen schwere Schäden an Nukleinsäuren, Proteinen, Membranen, DNA-Strängen usw. führen, wodurch die Überlebensfähigkeit der Mikroorganismen sinkt. Vegetative Keime sind hiervon besonders betroffen, während Sporen durch ihre Hülle und z. T. eingelagerte Pigmente besser geschützt sind. Austrocknung und Anwesenheit von Sauerstoff verstärken dabei die Effekte der einwirkenden Strahlung (COX, 1995). Viren werden nach MÜLLER (1991) durch UV-Strahlung relativ schnell inaktiviert. Sie sind am stabilsten in der Luft, wenn die Luftfeuchtigkeit bei 50 % liegt und niedrige Temperaturen gemessen werden, wie Untersuchungen von IJAZ et al. (1994) und SATTAR et al. (1984) zeigen. Nach Untersuchungen von FANNIN et al. (1985) werden luftgetragene Viren im Bereich

von Kläranlagen nur in der Nacht nachgewiesen. Die Überlebensfähigkeit von gram-negativen Bakterien, zu denen Salmonellen, *Escherichia coli* bzw. Enterobacteriaceen gehören, wird hauptsächlich durch die relative Luftfeuchtigkeit bestimmt, wie Untersuchungen von MÜLLER et al. (1988), WATHES et al. (1986) und HAUMACHER et al. (2005) zeigen. Relative Luftfeuchtigkeiten zwischen 70 – 80 % haben einen schützenden Effekt auf luftgetragene Bakterien. Der schützende Effekt ist kombiniert mit niedrigen Temperaturen. Die höchsten Überlebensraten werden bei 80 % relativer Feuchte und 12 °C erreicht (MARTHI et al., 1990). Nach KAADEN (1985) lässt sich allgemein der Grundsatz aufstellen, dass relative Luftfeuchtigkeiten zwischen 60 – 80 % und Temperaturen zwischen 20 - 25 °C die Stabilität von Aerosolen erhöhen. Das Risiko der aerogenen Verbreitung von Salmonellen, Fäkalcoliformen, Coliphagen und Enterobacteriaceen sowie Enterokokken ist nach Untersuchungen von PILLAI et al. (1996), HAUMACHER (2003), HAUMACHER et al. (2005) sowie KARRA und KATSIVELA (2007) und HAAS et al. (2010) als eher gering anzusehen, auch wenn nach einer neuen Untersuchung von FALLSCHISSEL (2011) Salmonellen in der Luft in einem Masthähnchenstall nachzuweisen sind. PILLAI et al. (1996) konnten keine Salmonellen, keine Enterokokken und keine Fäkalcoliforme in der Luft bei der Verladung von Klärschlamm nachweisen, obwohl die Autoren im Klärschlamm Konzentrationen an Salmonellen bis zu  $2,3 \times 10^4$  KBE/g, an Fäkalcoliformen bis zu  $1,1 \times 10^8$  KBE/g und an Enterokokken bis zu  $3,5 \times 10^6$  KBE/g fanden. Nach Angaben von KARRA und KATSIVELA (2007) sind die Bakterienkonzentrationen im Abwasser einer Kläranlage um das bis zu  $10^8$ -fache höher als in der Luft. Auch HAUMACHER (2003) konnte keine Salmonellen in der Umgebungsluft von Biotonnen nachweisen, obwohl im Bioabfall der untersuchten Biotonnen Salmonellen in Konzentrationen bis zu  $10^4$  KBE/g TS festgestellt wurden. Bei Untersuchungen zur Bioaerosolemission in Kläranlagen ermittelten HAUMACHER et al. (2005) Enterobacteriaceae-Gehalte im Belebtschlamm von  $2,3 \times 10^4$  bis  $2,3 \times 10^6$  KBE/g und in der Luft direkt am Belebtschlammbecken konnten sie dagegen nur einmal Enterobacteriaceae in einer Konzentration von  $1,7 \times 10^2$  KBE/m<sup>3</sup> nachweisen. Coliforme Bakterien, insbesondere *Escherichia coli* werden in Aerosolen auf Kläranlagen nur selten nachgewiesen wie Untersuchungen von KARRA und KATSIVELA (2007) und HAAS et al. (2010) zeigen, obwohl sie charakteristisch für eine fäkale Verunreinigung sind. Geringe Nachweisraten an *Escherichia coli* in der Luft werden auch in Kompostierungsanlagen und in Müllumladestationen ermittelt (LACEY et al, 1990; SCHMIDT, 1994; FACK, 1998), obwohl im Bioabfall und im Müll nach Untersuchungen von ALTHAUS et al. (1983); STREIB et al. (1989); HAERTEL (1992); ROTH (1994), KERN und PHILIPP (1994); BÖHM et al. (1998); BREITENFELDT (2000) *Escherichia coli*-Konzentrationen zwischen  $10^1$  und  $10^9$  KBE/g enthalten sind, wobei die durchschnittlichen Gehalte im Bereich von  $10^5$  bis  $10^6$  KBE/g liegen. Auch in der Luft von Tierställen werden nur geringe Nachweisraten an gram-negativen Bakterien ermittelt, obwohl sie im Mist in Konzentrationen von ca.  $10^5$

KBE/g vorkommen können, wie Untersuchungen von PHILIPP et al. (1990) zeigen. PLATZ (1979) fand in Geflügelställen Anteile von *Escherichia coli* bis zu 2 % am Gesamtkeimspektrum. ZUCKER et al. (2000) ermittelten einen Anteil an gram-negativen Bakterien zwischen 0,02 % und 5,2 %. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen ELLIOTT et al. (1976), CORMIER et al. (1990), DONHAM (1991), WIEGAND et al. (1993), VENTER et al. (2004), ZUCKER et al. (2006). In der Luft von Geflügelställen werden nach Untersuchungen von GÄRTTNER (1976) Antibiotika-resistente Staphylokokken nachgewiesen. Das höchste Vorkommen an resistenten Bakterien in der Luft wird dabei nach 1 Woche nach der Verabreichung des Antibiotikums mit 80,9 % ermittelt. 10 Wochen nach der Behandlung werden noch in 31,8 % der Proben resistente Bakterien nachgewiesen. Die umwelthygienische Bedeutung von grampositiven Kokken (Staphylokokken, Streptokokken und Enterokokken) ist nach PFIRRMANN und BÖHM (2000) in der aerogenen Verfrachtung sowie in deren hohen Tenazität in den Umweltkompartimenten zu sehen. Campylobacter werden nach HAAS et al. (2010) in der Luft nicht nachgewiesen werden. Werden Bioaerosole bzw. Teile ihrer Bestandteile nicht nachgewiesen, so bedeutet dies nicht, dass z. B. Bakterien, Viren oder deren Stoffwechselprodukte, wie Endotoxine nicht aus Substraten freigesetzt werden (können) und sich somit nicht im luftgetragenen Zustand befinden können. In der Literatur wird eine Vielzahl von Faktoren genannt, die die Nachweisraten von Bioaerosolen beeinflussen können. Hierzu zählen neben den meteorologischen Bedingungen und dem natürlichen Absterbeverhalten der Mikroorganismen auch das angewandte Sammelverfahren (Impaktion, Filtration, Impingement, Sedimentation, Elektro- und Thermopräzipitation) bzw. die eingesetzten Luftkeimsammler, die Sammeldauer sowie Sammelstress und die angewandten Nachweis- und Kultivierungsmethoden (LACEY et al., 1990; COX, 1995; BÖHM et al., 1998; FACK, 1998; KÖHLER, 2000; zit. nach HAUMACHER, 2003; FLECK, 2002). Gram-positive Bakterien und Schimmelpilze sind aufgrund ihrer Zellwandstrukturen deutlich resistenter als gram-negative Bakterien und Hefen (HOFMANN et al., 1999) und gram-positive Bakterien sind oftmals pigmentiert, was einen zusätzlichen Schutz vor der schädigenden UV-Strahlung des Sonnenlichts bietet (FALLSCHISSEL, 2011). Jedes Luftkeimsammelgerät besitzt ein Sammeloptimum für bestimmte Partikelgrößen und für den Nachweis von kultivierbaren Mikroorganismen bzw. der Gesamtzellzahl, wie Untersuchungen von FLECK (2002) zeigen. Mit manchen Geräten lassen sich bestimmte Partikelgrößen gar nicht erfassen, weil sie zu groß oder zu klein sind (FLECK, 2002; FACK, 1998) und manche Geräte eignen sich aufgrund ihres geringen Luftdurchsatzes nicht für den Einsatz in Bereichen, in denen mit niedrigen Bioaerosolkonzentrationen zu rechnen ist, da nach Angaben von FLECK (2002) die Nachweisgrenze verfehlt wird. Der aerogene Transport von Fremdstoffen in der Atmosphäre hängt weniger davon ab, aus welchen Materialien die Teilchen bestehen, als vielmehr von ihrem aerodynamischen Äquivalentdurchmesser. Dies bedeutet, dass bei

gleicher Teilchengröße für die Verfrachtung von Infektionserregern mit der Luft dieselben physikalischen bzw. meteorologischen Gesetzmäßigkeiten gelten wie für unbelebte Aerosole. Zusätzlich zu berücksichtigen ist lediglich die biologische Absterbekonstante (LUTZ et al., 1984). Nach MÜLLER et al. (1978) hängt die Ausbreitung von Bioaerosolen entscheidend von der Emissionshöhe ab. So werden die höchsten Bioaerosolkonzentrationen bei einer Emissionshöhe von 3 m bei 12 m Entfernung von der Emissionsquelle gemessen, während bei einer Emissionshöhe von 10 m die höchsten Werte in einer Entfernung von 200 m ermittelt werden. Nach Berechnungen von LUTZ et al. (1984) zur aerogenen Ausbreitung von Newcastle Disease Virus wird bei einer Quellstärke von  $2,8 \times 10^5$  EID<sub>50</sub>/s in 100 m Entfernung zur Emissionsquelle eine Viruskonzentration von  $5,91 \times 10^2$  EID<sub>50</sub>/m<sup>3</sup> und in 1.000 m Entfernung eine Viruskonzentration von  $1,9 \times 10^1$  EID<sub>50</sub>/m<sup>3</sup> ermittelt. *Escherichia coli* können nach Untersuchungen von HUTCHISON et al. (2008) bis zu einer Entfernung von 125 m von der Emissionsquelle nachgewiesen werden. Ab einer Distanz von 250 m von der Emissionsquelle ist kein Nachweis mehr möglich. Nach Untersuchungen von GERBL-RIEGER et al. (1999) werden in einer Entfernung von 200 m von einer Emissionsquelle Immissionswerte für Bakterien und Aktinomyzeten gemessen, die noch bis zu einer Zehnerpotenz über den Hintergrundwerten liegen. Nach Untersuchungen von TANNER et al. (2005) werden bei der Ausbringung von Klärschlamm in Windrichtung in der Luft Konzentrationen an Coliformen von  $1,5 \times 10^0$  KBE/m<sup>3</sup> und an Coliphagen von  $5,1 \times 10^0$  PFU/m<sup>3</sup> ermittelt, wobei im Klärschlamm Gehalte an Coliformen bzw. Coliphagen von  $2,0 \times 10^5$  KBE/ml bzw.  $1,4 \times 10^4$  PFU/ml enthalten sind. Nach Angaben von ISENSEE et al. (1981) besitzen 15 % bzw. 30 % der Partikeln bei der Verregnung von Flüssigmist in einer Entfernung von 50 m bzw. 40 m vom Verregner eine Größe von  $>5 \mu\text{m}$  bzw. ca. 80 % bis 87 % der Partikeln eine Größe von  $>2 \mu\text{m}$ . In größeren Distanzen, so die Autoren, würden kleinere Partikeln erwartet, da diese mit zunehmender Verweildauer in der Luft austrocknen würden. Bei der Verregnung von Flüssigmist werden nach Angaben der Autoren wesentlich höhere Bioaerosolemissionen im Vergleich zur Ausbringung von Flüssigmist mit dem Tankwagen festgestellt. Die erhöhten Keimemissionen bei der Verregnung bzw. Ausbringung von Flüssigmist bestätigen, dass Krankheitserreger über die Luft über organische Dünger verbreitet werden können. Nach LUTZ et al. (1984) müssen für die aerogene Ausbreitung von Bioaerosolen eine genügend starke Emissionsquelle, günstige meteorologische Bedingungen, eine hohe Umweltstabilität des Erregers im Aerosol und eine empfängliche Wirtspopulation in erreichbarer Nähe vorhanden sein. Infektiöse Flüssigkeitsaerosole mit dem Maul- und Klauenseuche-Virus können nach HAAS (2011) bei entsprechenden klimatischen und meteorologischen Bedingungen viele Kilometer zurücklegen, was z. B. auf den britischen Kanalinseln nach Seuchenausbrüchen in der Normandie beobachtet wurde. Nach WANNER (1975) sind die zahlreichen physikalischen Faktoren, die die Ausbreitung von Bioaerosolen und das

Überleben von Mikroorganismen beeinflussen sehr komplex und es ist deshalb äußerst schwierig den Einfluss einzelner Faktoren zuverlässig zu erfassen und vorauszuberechnen. Tatsache ist jedoch, dass Mikroorganismen bei bestimmten Wetterlagen und unter speziellen topographischen Bedingungen (z. B. Freiflächen oder Tallagen) über weite Strecken transportiert werden können, wie Untersuchungen von EIKMANN et al. (1999) zeigen. Allerdings können Bioaerosole durch die Aufnahme in Regentropfen aus der Luft ausgewaschen werden (LINSEL, 2001), wodurch sich das Risiko einer aerogenen Verbreitung vermindert.

Aerogene Infektionen durch Parasiten haben nach BAUER (2006) eine untergeordnete Bedeutung. *Cryptosporidium*-Oozysten können beim Geflügel aerogen von einem Tier auf das andere übertragen werden. Verschiedene Dauerstadien von Parasiten können an Staubteilchen anhaften, aufgewirbelt und durch Luftströmungen verbreitet werden. Staub wirkt nach SEEDORF und HARTUNG (2002) als „Carrier“ oder „Vehikel“ bei der Verbreitung von Krankheitserregern. Infektiöse Bioaerosole von *Mycobacterium avium* subspecies *paratuberculosis* sollen nach EISENBERG et al. (2012) bei der Übertragung der Rinderparatuberkulose eine Rolle spielen. Einen Hinweis darauf geben die Untersuchungen von EISENBERG et al. (2011), wonach in Staubproben nach der Reinigung und dem Leerstehen eines Stalles noch Mykobakterien nachgewiesen werden. Viren werden nach MÜLLER (1991) fast ausschließlich an Staub- oder sonstige Trägerpartikel gebunden übertragen. Überall wo durch Arbeitsaktivitäten Staub aufgewirbelt wird, werden erhöhte Bioaerosolkonzentrationen festgestellt. Dies belegen Untersuchungen von HILLIGER (1976), ROLLE und MAYR (1993) sowie PHILIPP et al. (1994) und FACK (1998).

Bestandteile gesundheitsgefährdender Aerosole sind nach STALDER (1993) pathogene Bakterien (z. B. Salmonellen), Schimmelpilze (z. B. *Aspergillus fumigatus*) und Aktinomyzeten (z. B. *Saccharopolyspora rectivirgula*). Veränderungen des Bioaerosols in der luftgetragenen Phase bestimmen die Gefahr, die von ihm ausgehen kann. Kondensationsprozesse oder Austrocknung können die physikalischen und biologischen Eigenschaften wie Korngrößenverteilung und Virulenz beeinflussen. Relative Luftfeuchte, Temperatur, Gaszusammensetzung ( $O_2$ ,  $O_3$ ,  $N_2$ ,  $NO_2$ ;  $SO_2$ ) und UV-Strahlung bestimmen wesentlich die anhaltende Infektiösität eines Bioaerosols (LINSEL, 2001).

## **8.2 Verbleib und Verhalten von Mikroorganismen im Boden**

Böden sind die lebenswichtigsten Organe der Erde. Sie übernehmen in unserer Gesellschaft sehr verschiedene Funktionen. Sie sind Produktionsstandorte für Nahrungsmittel und pflanzliche Rohstoffe. Sie sind der Ort für die (Re-)Mineralisierung, für die Selbstreinigung, Hygienisierung und sie sind belebte Filter- und Pufferkörper für potenzielle Schadstoffe. Sie dienen als Körper der Speicherung und Neubildung von

Grundwasser (Trinkwasser) und sie sind Elemente der Natur- und Erholungslandschaft (OTTOW, 2011).

Nach Untersuchungen von HENKELMANN (2011) werden hohe Belastungen von Inhaltsstoffen aus der Gülle kurz nach der Aufbringung in tieferen Bodenschichten nachgewiesen, d. h. es kommt zu einem schnellen vertikalen Transfer, zu einer schnellen Verlagerung im Boden. In sandigen Böden kann nach Untersuchungen von WANG et al. (2011) der Transport, die Retention und die Überlebensfähigkeit von *Escherichia coli* O157:H7 signifikant durch das Vorhandensein eines Biofilms beeinflusst werden. Die zunehmende Retention von *Escherichia coli* ist mit der Kolonisierung des Biofilm mit *Escherichia coli* O157:H7 verbunden. *Escherichia coli* O157:H7, so die Autoren, wird in den Biofilm verstrickt. Veränderungen der geochemischen Bedingungen (Substrat, Nährstoffe, Sauerstoffgehalt) können zur Ablösung des Biofilms und zur Mobilisierung der im Biofilm gebundenen *Escherichia coli* führen und somit zu einer potentiell, ernsthaften Belastung des Grundwassers führen.

Das Überleben von Mikroorganismen im Boden hängt nicht nur vom Boden ab, sondern auch von der Art des Düngers. Nach Untersuchungen von WILLIAMS et al. (2007 a) überleben pathogene *Escherichia coli* in Böden länger, die mit Magen-Darm-Abfällen gedüngt wurden im Vergleich zur Düngung mit „cattle slurry“ (Rindergülle oder Rinderjauche; näheres wird nicht genannt). Nach Angaben der Autoren hat die Mais-Wurzelzone keinen Einfluss auf die Persistenz der Pathogenen. In lehmhaltigen Bodenarten können mit Rindergülle ausgebrachte Taenieneier auf bewachsenen Boden nach MEICHSNER (1986) (zit. nach HIEPE und BUCHWALDER, 1991) bis zu 6 Monate überleben und Futtermittel kontaminieren. Faktoren, die das Überleben von Mikroorganismen im Boden beeinflussen können, sind nach STRAUCH (1996 b): Ausgangskeimzahl, Menge der aufgebrachten Gülle, Temperatur, Frost, Wassergehalt, Luftfeuchte, Sonneneinstrahlung, Sauerstoffspannung, pH-Wert, anorganische Salze, Bodenpermeabilität, Korngröße, Vorhandensein verwertbarer organischer Substanz sowie die antagonistische Wirkung der Bodenmikroflora. Bei dieser großen Zahl von Einflüssen ist es nicht überraschend, wenn es große Diskrepanzen bei den festgestellten Eliminationszeiten in der Literatur gibt. Die Angaben von STRAUCH (1996 b) schwanken die Werte in der Literatur zwischen 4 d und 300 d. Bei künstlichen Bodensäulen lagen die Inaktivierungsraten nach Angaben des Autors zwischen 12 d und 108 d.

FORSLUND et al. (2011) ermittelten eine Überlebensfähigkeit von *Cryptosporidium parvum*-Oozysten bei einer Temperatur von 4 °C nach 156 d noch 72 % lebende Oozysten in Schlufflehm-Böden.

Das Einarbeiten von Gülle wird nach FORSLUND et al. (2011) durchgeführt, um Ammoniak- und Geruchsemissionen zu reduzieren, und um die direkte Kontamination von Pflanzen und der Umwelt mit Mikroorganismen aus Fäkalien zu begrenzen. Das Einarbeiten von Gülle ist nach Angaben der Autoren allerdings mit dem Risikos des

Durchflusses und des Überlebens von Mikroorganismen im Boden verbunden, während bei der oberflächlichen Ausbringung die pathogenen Mikroorganismen der Sonneneinstrahlung (UV-Licht), hohen Temperaturen und dem Austrocknen ausgesetzt sind. Die Autoren kommen aufgrund ihrer Untersuchungen zu dem Schluss, dass das Einarbeiten von Gülle zu einem höheren Risiko einer Kontamination des Grundwassers führt. Insbesondere Viren und Protozoen stellen so eine Gefährdung für das Grundwasser dar. Der Transport von Mikroorganismen durch einen intakten Boden hängt zum einen von der Größe der Mikroorganismen und zum anderen vom Anhaften der Mikroorganismen an Güllepartikeln ab.

Generell aktivieren dem Ernährungsbedarf der Pflanzen angepasste Güllegaben die biologische Bodenaktivität und damit auch die Vermehrung der gegen pathogene Keime antagonistisch wirkenden Mikroflora. Je höher der Humusgehalt des Bodens ist, desto schneller scheint die Inaktivierung von Salmonellen zu erfolgen. Da die größte biologische Aktivität in den oberen Bodenschichten vorhanden ist, kommt ihr auch die größte Bedeutung bei der Eliminierung pathogener Erreger zu, die mit Abwasser, Klärschlamm oder Gülle auf den Boden aufgebracht werden. Die gesetzlich vorgeschriebene direkte Einarbeitung unbehandelten Klärschlammes in den Boden wird zwar einerseits einer Verschleppung potenziell enthaltener pathogener Erreger durch Wild- und Nutztiere vorgebeugt, andererseits sind die Erreger aber vor der Inaktivierung durch Sonneneinstrahlung und oberirdischen Bodenkomponenten geschützt und befinden sich in den Tiefenhorizonten, in denen später auch die Pflanzen auskeimen. Manche Erreger wie z. B. Salmonellen können lange Zeit im Boden überleben. Verschiedene Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass die in den Bodenproben nachgewiesenen Konzentrationen zu gering sind, um ein Infektionsrisiko darzustellen (BÖHM, 2007; WAGNER, 1993; NICHOLSON et al., 2005). Allerdings belegen jüngere Untersuchungen (SOLOMON et al., 2002; TOBI und BÖHM, 2009), dass eine Aufnahme von Bakterien, v. a. *Escherichia coli* und Salmonellen, über das Wurzelsystem in die Pflanze möglich ist. Die Konzentrationen, die in den Pflanzen gemessen werden, sind in der Regel sehr gering und nur bei Pflanzen, die auf stark kontaminierten Böden gewachsen sind nachweisbar (SOLOMON et al., 2002). In den Untersuchungen von TOBI und BÖHM (2009) wurde Boden mit Salmonellen in Konzentrationen von  $10^4$  und  $10^7$  KBE/g kontaminiert und anschließend einkeimblättriger Mais (Monokotyledone) und zweikeimblättrige Kresse (Dikotyle) ausgesät. Die Probenahmen erfolgten vor und nach dem Auskeimen. Vor dem Auskeimen ließen sich vor allem in Kresse Salmonellenkonzentrationen von bis zu  $10^7$  KBE/g nachweisen. Für die Praxis sind aber die Werte nach dem Auskeimen relevanter. Bei diesem Untersuchungsschritt konnten sowohl bei Mais als auch bei Kresse, die in dem stärker kontaminierten Boden gewachsen sind, nur noch Konzentrationen von maximal  $10^2$  KBE/g nachgewiesen werden. Oberirdische Pflanzenteile können nach (BÜLTE, 2004) durch aufgewirbeltes, erregerhaltiges Erdreich kontaminiert werden. Neuere Untersuchungen aus

---

Frankreich zeigen, dass Salmonellen den Abwehrmechanismus von Pflanzen auf ähnliche Weise hemmen wie beim Menschen. Dabei haftet sich der Erreger an der Pflanzenoberfläche an und wandert über eine Pore in das Innere der Pflanze, wo er, genau wie beim Menschen, einen Proteincocktail ausschüttet, der das Immunsystem schwächen und die Erregervermehrung fördern soll (SCHIKORA et al., 2011). Aber nicht nur Mikroorganismen werden von Pflanzen aufgenommen, sondern auch Antibiotika können von Nutzpflanzen über die Wurzel aufgenommen werden, wenn diese mit organischen Düngern auf die Böden aufgebracht wurden, wie Untersuchungen von GROTE et al. (2006) zeigen. Dabei haben die Autoren festgestellt, dass auch Antibiotikarückstände im Korn nachgewiesen werden können. Werden landwirtschaftliche Nutzflächen mit Wirtschaftsdüngern behandelt, die Antibiotikarückstände enthalten, erreichen diese Wirkstoffe bzw. deren Metaboliten zuerst die oberste Bodenschicht, wo sie sich, je nach Abbauverhalten und Persistenz, anreichern können. Über Versickerung und Abschwemmung besteht die Möglichkeit, dass sie weiter ins Grundwasser bzw. in Oberflächengewässer gelangen. Die akute und subakute Toxizität von Veterinärantibiotika auf die Makro- und Mesofauna (Regenwürmer, Enchytraea, Springschwänze usw.) ist nach den vorliegenden Befunden aufgrund der gefundenen Umwelt-Konzentrationen offensichtlich als niedrig einzustufen. Dies trifft naturgemäß nicht auf die Mikroorganismengemeinschaft des Bodens zu, da die Antibiotika hier ihre Hauptwirkung entfalten. Trotzdem sind Aussagen darüber derzeit nicht möglich, da entsprechende international akzeptierte Richtlinien (OECD-Richtlinien) für diese spezielle Art von Untersuchungen noch nicht existieren bzw. erst in Entwicklung sind. Da der Boden Störungen durch Xenobiotika kompensieren kann und beobachtbare Störungen bzw. Effekte daher oft nur von temporärer Dauer sind, ist davon auszugehen, dass mögliche subletale Effekte, negative Beeinflussungen der Mikroorganismengemeinschaft und/oder des Artengefüges des Bodens durch die derzeitigen Untersuchungsmethoden nicht oder nur ungenügend erfasst werden. Eine Beeinflussung der Mikroorganismengemeinschaft durch Antibiotika könnte auch negative Wirkungen auf Bodenmakroorganismen haben, da Bakterien, Mikroalgen usw. diesen als Nahrungsgrundlage dienen (SATTELBERGER et al., 2005). Nach Untersuchungen von MORARU et al. (2012) kann die Lagerung von Hühnermist in Mieten nicht verhindern, dass Antibiotika in der Umwelt verbreitet werden, obwohl die Lagerung eine effektive Methode, ist, um antibiotika-resistente *Escherichia coli* in der Umwelt zu verhindern.

### **8.3 Auswaschung von Mikroorganismen in Oberflächengewässer und tiefere Bodenschichten**

Die Ausbreitung von Krankheitserregern - Bakterien, Viren und Parasiten - mit dem Wasser stellt immer noch einen der wesentlichen gesundheitlichen Risikofaktoren dar. Offensichtliches Zeichen dieser Gefährdung sind nicht nur die Ausbrüche von Cholera oder Hepatitis in Entwicklungs- bzw. Schwellenländern, sondern insbesondere die in den letzten Jahren beobachteten Epidemien durch Cryptosporidien und Giardien in einigen Industrieländern (SCHOENEN et al., 1997). Vor allem in den Sommermonaten wird die Bodenstruktur und damit die Filterwirkung des Bodens durch Austrocknung mit Rissebildung gestört, so dass dann Bakterien aus Fäkalien bei Regenfällen erleichtert eingeschwemmt werden können (SCHINDLER, 2004).

Im Frühjahr und Herbst, wenn die Zeit des Ausbringens von Wirtschaftsdüngern ist werden nach Untersuchungen von WILKES et al. (2011), vermehrt *Campylobacter* in Gewässern nachgewiesen. Die Autoren stellten ebenfalls ein erhöhtes Vorkommen an *Listeria monocytogenes* im Frühjahr in Gewässern fest. Die Autoren führen dies auf folgende Faktoren zurück: Haltung von Nutztieren im Winter im Stall, Silagefütterung im Winter und die Ausbringung von im Winter angefallenen Mist bzw. Gülle im Frühjahr. Die Dichte von *Cryptosporidium* und *Giardia* Oocysten bzw. Zysten in Gewässern war überall positiv verbunden mit dem Abfluss von Oberflächenwasser. Hohe *Cryptosporidium* Oocysten-Konzentrationen waren aber auch bei geringem Oberflächenwasserabfluss festzustellen. In Großbritannien kam es nach HOEK et al. (2008) zu einem Ausbruch mit Cryptosporidiose nach einem heftigen Regenguss. Als wahrscheinlichste Ursachen kommen der Abfluss von mit Fäkalien von Kälbern und Lämmern kontaminiertem Oberflächenwasser und der Konsum von Trinkwasser aus einem Brunnen, der als Trinkwasserreservoirs genutzt wird, in Frage.

Oberflächlicher Regenwasserabfluss aus der Landwirtschaft könnte nach WALTERS et al. (2007) ein sehr großer Verteiler von Salmonellen in Flüssen sein. Die Autoren untersuchten die Herkunft der Salmonellen mit spezifischen Markern für Mensch, Wiederkäuer und Schweine und stellten dabei fest, dass 35 % der Salmonellen von Wiederkäuern stammten, während nur 2,6 % menschlichen Ursprungs waren.

Nach Untersuchungen von BECH et al. (2011) können Salmonellen in Drainagewässern von Schlufflehmböden noch bis zu 4 Monate nach der Güllegabe nachgewiesen werden. Die Autoren führten ihre Untersuchungen entsprechend der normalen dänischen Güllegabe von 25 t/ha durch. Beim ersten Wasserdurchfluss durch das Bodenprofil stellten die Autoren Salmonellen-Konzentrationen bis zu  $6,0 \times 10^4$  KBE/ml fest. Dies entsprach einer Rückgewinnungsrate von 8,84 %. Bei den Untersuchungen mit eingearbeiteter Gülle waren die Salmonellen-Konzentrationen im Drainagewasser deutlich höher, im Vergleich zur oberflächlich ausgebrachten Güllegabe. Durchschnittlich stellten die Autoren im Drainagewasser bei oberflächlich ausgebrachter Gülle  $9,91 \times 10^2$  KBE/ml

an Salmonellen fest, während sie im Drainagewasser von eingearbeiteter Gülle eine mittlere Salmonellen-Konzentration von  $3,08 \times 10^4$  KBE/ml ermittelten.

In Karst- und Kluftwässern der Alpenregion und in Trinkwasser aus Einzelwasserversorgungen werden nach SCHINDLER (2004) häufig EHEC nachgewiesen. Unter den zahlreichen isolierten Serotypen befanden sich auch die bei HUS isolierbaren Varianten O26:H11, O91:H21, O103:H2 und O113:H4 und O157:H-. Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher EHEC-Varianten in den Wasserversorgungsanlagen muss nach Angaben des Autors angenommen werden, dass jeder *Escherichia coli*-Stamm durch Gentransfer in einen potentiellen Shigatoxin-Bildner überführbar ist und somit eine Gefahr für die menschliche Gesundheit darstellt. Als Hauptursache parasitärer Belastungen in Karst- und Kluftgrundwasser sind nach ROHMANN und FISCHER (2001) insbesondere Abwassereinflüsse, Wirtschaftsdünger (Gülle, Jauche, Festmist) sowie der natürliche Wildbestand in Wäldern anzusehen.

Nachdem Oberflächengewässer und Grundwasservorkommen zunehmend für die Trinkwasserversorgung genutzt werden, kann es unter Umständen notwendig sein, ausreichend wirksame Hygienisierungsmaßnahmen sicherzustellen. Bei einer mehrstufigen Wasseraufbereitung kann man davon ausgehen, dass bestehende Kontaminationen wirksam und ausreichend, d. h. zu 99,99 % (Faktor  $10^4$ ) reduziert werden. Bei der seuchenhygienischen Beurteilung von mitteleuropäischen Trinkwasserressourcen sollte man berücksichtigen, dass ein Teil des geförderten Grund- und Quellwassers ohne Aufbereitung und ein weiterer Teil nach (nur) einstufiger Behandlung in das Verteilernetz gespeist werden. Sofern jene Trinkwassererfassungen im Einzugsbereich von virusbelasteten Vorflutern oder Karstgebieten liegen, sind Kontaminationen mit Viren, wie für Entero- und Rotaviren gezeigt, nicht auszuschließen (METZLER, 2000).

Wasser hat bei der Verbreitung von Parasiten der Tiere nach BAUER (2006) eine gewisse Bedeutung. So kann es nach Kontamination von Pfützen auf der Weide (z. B. mit *Eimeria*-Oozysten oder *Trichuris*-Eiern) sowie durch Zufluss von Überlaufwasser aus Kläranlagen in Tränkegräben (z. B. Kontamination mit Eiern von *Taenia saginata*) für empfängliche Tierarten zur Ansteckungsquelle werden. Grabenwasser in Habitaten von *Lymnaea truncatula* kann Schwimmzysten von *Fasciola hepatica* enthalten. Aus der Humanmedizin sind zahlreiche über Wasser verursachte Ausbrüche von Giardiose und Cryptosporidiose und anderen Protozoeninfektionen wie der Toxoplasmose bekannt (MAC KENZIE et al., 1994; BOWIE et al., 1997; SCHOENEN et al., 1997; ISAAK-RENTON et al., 1998; HOEK et al., 2008; ROBINSON und CHALMERS, 2010; BALDURSSON und KARANIS, 2011). In den USA und in Großbritannien enthalten nach BAUER (2006) über 50 % bzw. über 80 % der Oberflächengewässer und 37 % bzw. 26 % der Trinkwassersysteme *Cryptosporidium*-Oozysten. Die Oozysten-Zahlen schwanken dabei zwischen 0,001 – 484 pro Liter in Oberflächenwasser und 0,005 – 0,017 pro Liter in Trinkwasser.

In Grund- und Oberflächenwasser werden nach BUDU-AMOAKO et al. (2012 a) Cryptosporidien-Oozysten-Gehalte von 0,1/l bis 7,2/l bzw. von 0,05/l bis 14,6/l ermittelt. Berichte über das Vorkommen von *Cryptosporidium*-Oozysten in Oberflächengewässern (Flüsse, Seen, Talsperren), Grundwasser oder Trinkwasserreservoirs liegen auch aus Deutschland, Österreich und der Schweiz vor (KARANIS et al., 1996; KARANIS, 2000; HASSL et al., 2001; ROHMANN und FISCHEDER, 2001; WARD et al., 2002). Die Untersuchungen von WARD et al. (2002) bestätigen, dass *Cryptosporidium*-Oozysten ubiquitär in Oberflächenwasser vorkommen und dass fast die Hälfte der *Cryptosporidien*-Isolate, der insgesamt untersuchten Wasserproben aus Oberflächenwasser und Abwasser, humanpathogen ist. Von veterinärmedizinischer Bedeutung ist nach BAUER (2006), dass in vielen Fällen die Wasserkontamination mit *Cryptosporidium*-Oozysten auf die Ausscheidungen der Stadien durch Rinder zurückzuführen ist. Nach BUDU-AMOAKO et al. (2011) spielen Rinder auch eine signifikante Rolle bei der Kontamination von Nahrungsmitteln, die letztendlich zu Ausbrüchen von Cryptosporidiose beim Menschen führen. Die Autoren weisen daraufhin, dass die landwirtschaftliche Nutztierhaltung riesige Mengen an Fäkalien produziert, die die Umwelt mit Oozysten kontaminieren können und dass eine Zunahme der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung eine Gefährdung der öffentlichen Gesundheit darstellt. In Kanada fanden BUDU-AMOAKO et al. (2012 a) in 80 % der untersuchten Rinderfarmen *Cryptosporidien*, wobei sie unterschiedliche Befallszahlen innerhalb einer Rinderherde ermittelten. *Cryptosporidium*-positiv waren minimal 2,5 % bis maximal 82,4 % der Rinder. Weiter wiesen die Autoren in 93 % der untersuchten Oberflächenwasserproben *Cryptosporidien*-Oozysten nach, die sie aus Oberflächengewässern zogen, die weniger als 500 m entfernt von den Ställen waren. Ferner fanden die Autoren in 15 % der Grundwasserproben *Cryptosporidien*-Oozysten. Auch in den USA werden nach SISCHO et al. (2000) in 91 % der Milchviehbetriebe *Cryptosporidien* nachgewiesen. Nach Untersuchungen von WALLIS et al. (1996) enthalten 21 % der Rohwasserproben aus Oberflächengewässern *Giardia*-Zysten. Die Autoren sind der Ansicht, dass potentiell human-pathogene *Giardia*-Zysten üblicherweise in Oberflächengewässern vorkommen. Nach Untersuchungen von BUDU-AMOAKO et al. (2012 a) sind 14 % der Oberflächengewässer mit *Giardia*-Zysten kontaminiert.

Auf dem Weg ins Grundwasser bzw. im Grundwasser selbst sind Antibiotika Prozessen ausgesetzt, die im Allgemeinen dazu führen, dass sie im Grundwasser nicht mehr bzw. nur in sehr geringen Konzentrationen nachgewiesen werden können (CLARA et al., 2010).

## **8.4 Auswirkungen auf die Gesundheit von Mensch und Tier**

Infektionen können sporadisch, endemisch, epidemisch und pandemisch auftreten. Häufigkeit, Schwere und Dauer von Infektionserkrankungen hängen von den Eigenschaften der Erreger, den Infektionsdosen und der Empfänglichkeit bzw. Disposition der Makroorganismen (Resistenz, Immunität) sowie von hygienischen Maßnahmen gegen die Infektionsquellen und die Übertragung der Erreger ab. Die vorhandenen Bedingungen in einem Gebiet, d. h. Klima, Entwicklung des Gesundheitswesens, hygienische Verhältnisse und das Vorhandensein von biologischen Vektoren sind hierbei von entscheidender Bedeutung (FIEDLER und WILHELM, 2011). Zu den relevanten Eigenschaften eines Erregers gehören nach VALENTIN-WEIGAND (2011 d) die Widerstandsfähigkeit in der Umwelt (Tenazität), die Übertragbarkeit, die Ansteckungskraft, die Haftfähigkeit, das Eindringungsvermögen, die Inkubationszeit und die Virulenz. Diese Eigenschaften entscheiden über die Infektiosität eines Erregers, d. h. ob er einen Wirt überhaupt infizieren kann, ob dies häufig (einfach) oder eher selten (schwierig) geschieht, ob er ein krankmachendes Potenzial hat und welches Ausmaß das krankmachende Potenzial annimmt. Auch die Wege des Eindringens der infektiösen Agenzien in den Makroorganismus spielen bei der Entstehung von Erkrankungen eine wichtige Rolle. Werden die Erreger oral, aerogen, über die Haut, Schleimhaut, über Wunden, Stiche oder Bisse oder diaplazentar aufgenommen. Eine weitere, relevante Eigenschaft eines Erregers ist nach AMMON (2012) das Erregerreservoir. Das ist der Bereich, in dem sich der Erreger normalerweise aufhält und vermehrt. Nach KAYSER und BÖTTGER (2010 b) wird dieser Bereich auch als primäre Infektionsquelle bezeichnet. Sekundäre Infektionsquellen sind leblose Gegenstände und Materialien oder auch Drittpersonen, die bei der Übertragung von der primären Quelle auf Anfällige eine Rolle spielen. Der Ausbruch einer Infektion hängt auch von der Infektionsdosis ab, d. h. von der Zahl an Erregern, die notwendig ist, um zu einer Infektion zu führen. Ist ein Wirtsorganismus noch nie mit einem Erreger in Berührung gekommen, ist er in der Regel empfänglich für eine Infektion. Ein Schutz vor der krankmachenden Wirkung eines Erregers (Immunität) kann entweder natürlich oder durch frühere durchgemachte Infektionen mit demselben Erreger (spezifische Immunität) oder aktiv durch Impfung oder passiv durch spezifische Immunglobuline erreicht werden. Ob ein Kontakt mit einem Erreger zu einer Infektion führt, wird auch durch die Anfälligkeit (Disposition) des Wirtsorganismus beeinflusst. Sie wird bestimmt von unspezifischen und spezifischen Abwehrmechanismen sowie weiteren individuellen Eigenschaften. Dispositionen können Haut- oder Schleimhautdefekte, Immundefekte oder ein bestimmtes Alter (<2 Jahre oder ≥60 Jahre) sein (AMMON, 2012). Die Erregerübertragung beginnt nach VALENTIN-WEIGAND (2011 d) mit der Ausscheidung eines Erregers durch Infizierte. Sie kann direkt oder indirekt erfolgen. Die direkte Ausscheidung erfolgt nach STRAUCH (1996 b) bei infizierten Tieren über Nasen- und Rachensekret, Kot, Urin, Augensekret, Milch, Scheidensekret, Nachgeburt- und Lochialsekret, Ejakulat, Haut- und

Schleimhautteile und -sekrete und die indirekte Ausscheidung über Blut, Kadaver, Schlachthofprodukte und -abfälle, Eier und Eiprodukte, Milch und Milchprodukte, Mist und Gülle. Bei der direkten Erregerübertragung können die Krankheitserreger direkt von einem infektiösen Makroorganismus oder Erregerreservoir auf den Menschen übertragen werden. Indirekt kann ein Krankheitserreger auch durch die Zwischenschaltung von verschiedenen Faktoren zu einer Infektion führen, wobei Umweltfaktoren in einem unterschiedlichen Maß an der Ausbreitung von Infektionskrankheiten beteiligt sind (FIEDLER und WILHELM, 2011). Nach KAYSER und BÖTTGER (2010 b) erfolgt die direkte Übertragung:

- fäkal-oral (Schmierinfektion)
- aerogen (Tröpfchen)
- genital (Geschlechtsverkehr)
- über die Haut (selten)
- pränatal (während der Gravidität)
- perinatal (während der Geburt)

und die indirekte Übertragung durch:

- Lebensmittel und Trinkwasser
- Erde und Staub
- leblose, kontaminierte Objekte
- Vektoren (Arthropoden)
- Menschen.

Der gesamte Weg, den ein Erreger vom Ausgangspunkt einer Krankheit/Seuche (Infektionsquelle) von Individuum zu Individuum nimmt, wird Infektions- oder Infektkette genannt. Infektionsketten sind nach VALENTIN-WEIGAND (2011 d) abhängig vom Wirtsspektrum des Erregers, von der Exposition und Anfälligkeit der Wirtspopulation und den Umweltfaktoren, die eine Übertragung begünstigen oder hemmen können. Die Anfangs- und Zwischenglieder einer Infektkette sind in der Regel die ständigen Träger des Erregers. Sie halten die Infektion aufrecht, erkranken selbst aber oft nicht.

Der Infektionsweg und die erforderliche Infektionsdosis variieren mit den beteiligten pathogenen Erregern. Ein Tier kann nach STRAUCH (1996 b) eine Infektion mit Virus von Wirtschaftsdünger auf verschiedenen Wegen erwerben. Zum einen durch orale Aufnahme, zum anderen durch Aufnahme von Virus, das bei der Gülleausbringung aerosoliert wird bzw. durch Aufspritzen von Fäkalien auf Oberflächen und außerdem kann das Virus über das Epithel eindringen. Bei Viren und auch Bakterien gibt es beispielsweise unterschiedliche Infektionswege mit unterschiedlichen Infektionsdosen. Das Maul- und Klauenseuche-Virus kann oral, respiratorisch und über die Haut aufgenommen werden. Für den oralen Infektionsweg wird nach STRAUCH (1996 b) 3.000 mal mehr Virus benötigt als für die beiden anderen Wege. Die erforderliche Menge an Virus für das Haften einer Infektion bei Tieren auf verschiedenen Infektionswegen ist in Tab. 13

dargestellt. Dabei zeigt sich, dass es erhebliche Unterschiede bei den Infektionsmengen gibt, die je nach Infektionsweg und Tierart, zu einer Infektion führen. Über die oral infektiösen Dosen einiger Krankheitserreger beim Menschen gibt Tab. 14 Auskunft. Auch hier gibt es erhebliche Unterschiede in den Erregermengen, die beim Menschen eine Infektion auslösen können. So erkranken beispielsweise bei einer Erregermenge von  $10 - 100$  *Shigella dysenteriae* 0 - 25 % der Menschen, während es das 100- bis 1000-fache an Erregern braucht bis alle Menschen eine Infektion mit *Shigella dysenteriae* bekommen.

Tab. 13: Erforderliche Menge an Virus für das Haften einer Infektion bei verschiedenen Infektionserregern (SELLERS, 1981; zit. nach STRAUCH, 1996 b)

Virus bzw. Krankheit	Tierart	Infektionsweg		
		oral	respiratorisch	Haut
Maul- und Klauenseuche	Rind	$10^{6,5}$	$10^{1,0} - 10^{3,0}$	$10^0 - 10^{3,0}$
	Schaf	keine Angabe	$10^{4,0}$	$10^0 - 10^{4,0}$
	Schwein	$10^{5,0}$	$10^{2,6} - 10^{5,0}$	$10^0 - 10^{4,0}$
Vesikuläre Schweinekrankheit	Schwein	$10^{5,5} - 10^{8,5}$	$10^{3,5}$	$10^{3,3}$
Vesikuläres Exanthem	Schwein	$10^{4,0} - 10^{5,0}$	keine Angabe	$10^{3,0}$
Afrikanische Schweinepest	Schwein	$10^{7,0}$	$10^{3,0} - 10^{4,0}$	$10^{1,0}$
Rinderpest	Rind	keine Angabe	$10^{3,0}$	keine Angabe
Porcines Enterovirus	Schwein	$10^{2,15}$	keine Angabe	keine Angabe

Tab. 14: Oral infektiöse Dosen verschiedener Krankheitserreger bei erwachsenen menschlichen Freiwilligen (STRAUCH, 1996 b)

Erreger	Erkrankte Personen			
	0 - 25 %	26 - 50 %	51 - 75 %	76 - 100 %
<i>Shigella dysenteriae</i>	$10^1 - 10^2$	$10^2 - 10^4$	$10^3$	$10^4$
<i>Shigella flexneri</i>	$10^2 - 10^4$	keine Angabe	$10^3 - 10^9$	$10^6 - 10^8$
<i>Vibrio cholerae</i>	$10^3$	$10^8 - 10^{11}$	$10^4 - 10^6$	keine Angabe
Salmonellen (Serovare)	$10^5 - 10^8$	$10^5 - 10^7$	$10^4 - 10^8$	$10^8 - 10^{10}$
<i>Enterococcus faecalis</i>	$10^9$	$10^{10}$	keine Angabe	keine Angabe
<i>Clostridium perfringens</i>	keine Angabe	$10^8$	$10^9$	$10^9$

Nach Untersuchungen von LOCKING et al. (2011) werden Infektionen durch *Escherichia coli* O157:H7 beim Menschen entweder über direkte oder indirekte Kontakt mit tierischen Abfällen hervorgerufen. Auch der Nachweis von *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* in Oberflächengewässern, Sedimenten und im Ablauf einer Kläranlage zeigt nach PICKUP et al. (2006), dass dieser Erreger das Potenzial besitzt, in der menschlichen Population zirkulieren zu können. In den Jahren zwischen 2004 und 2010 wurden nach BALDURSSON und KARANIS (2011) weltweit über 199 Ausbrüche von Protozoeninfektionen berichtet, die durch Wasser auf den Menschen übertragen wurden.

In den 100 Jahren zuvor waren es insgesamt nur 325 Ausbrüche. In 60,3 % der Fälle waren Cryptosporidien die ursächlichen Krankheitserreger. 35,1 % der Fälle wurden durch *Giardia lamblia* und 4,5 % durch andere Protozoen, wie *Toxoplasma gondii*, *Cyclospora cayetanensis* und *Acanthamoeba* hervorgerufen. Die meisten Ausbrüche wurden mit 46,7 % in Australien und Neuseeland festgestellt, gefolgt von den USA, Brasilien, Kanada, Peru und Französisch-Guyana mit insgesamt 33,1 %, wobei die meisten Fälle mit 30,1 % in den USA registriert wurden. In Europa wurden 16,5 % der weltweiten Protozoeninfektionen erfasst. Betroffen waren die Länder Irland, Großbritannien, Norwegen, Schweden, Finnland, Dänemark und Deutschland. Aus Asien wurde über 7 Ausbrüche (3,5 %) aus der Türkei, Japan, China, Indien und Malaysia berichtet. Die Übertragung der Protozoen erfolgte auf unterschiedliche Weise u. a. durch unbehandelte Wasservorräte, Kontamination der Wasserquellen, fehlerhafte Behandlungsprozesse, Kontamination der Wasserreservoirs und Kontaminationen nach der Wasseraufbereitung. Eine Gesundheitsgefährdung und Infektionen mit resistenten Pathogenen kann nach SCHREIBER (2011) bei der vielfältigen Nutzung von Gewässern nicht ausgeschlossen werden. Insgesamt gesehen hat der Verstädterungsgrad einen Einfluss auf den Resistenzlevel und die Situation der Multiresistenzen im Gewässer, zumindest was Pathogene und rein humanmedizinisch genutzte Antibiotika betrifft. Eine hygienisch und gesundheitliche Bewertung von Bioaerosolemissionen ist nach Angaben von CONRAD et al. (1997) aus folgendem Grund problematisch: der direkte Zusammenhang zwischen Expositionsdauer, Keimzahl, Keimart und einer Erkrankungsmöglichkeit einerseits für Gesunde und andererseits für vorgeschädigte Personen und Immungeschwächte ist unzureichend abgesichert.

Tab. 15: Durchschnittliche Bakterienkonzentrationen in Fäces nach GELDREICH (1978)

Tierart	Fäkalcoliforme	Enterokokken	<i>Clostridium perfringens</i>	Bacteroides
Mensch	$1,3 \times 10^7$	$3,0 \times 10^6$	$1,58 \times 10^3$	$5,0 \times 10^9$
Rind	$2,3 \times 10^5$	$1,3 \times 10^6$	$2,0 \times 10^2$	$<10^0$
Schwein	$3,3 \times 10^6$	$8,4 \times 10^7$	$3,98 \times 10^3$	$5,0 \times 10^5$
Pferd	$1,26 \times 10^4$	$6,3 \times 10^6$	$<10^0$	$<10^0$
Ente	$3,3 \times 10^7$	$5,4 \times 10^7$	-	-
Huhn	$1,3 \times 10^6$	$3,4 \times 10^6$	$2,5 \times 10^2$	$<10^0$
Pute	$2,9 \times 10^5$	$2,8 \times 10^6$	-	-
Katze	$7,9 \times 10^6$	$2,7 \times 10^7$	$2,51 \times 10^7$	$7,95 \times 10^8$
Hund	$2,3 \times 10^7$	$9,8 \times 10^8$	$2,51 \times 10^8$	$5,0 \times 10^8$
Mäuse	$3,3 \times 10^5$	$7,7 \times 10^6$	$<10^0$	$7,95 \times 10^8$

---

Die aktuelle Problematik um die Tiergesundheit und die Konsequenzen für den Menschen zeigen nach KEMPER (2008) deutlich, dass bisher unbekanntes oder nicht weiter beachtetes Zoonosen-Erregern jetzt und in Zukunft eine große Rolle zukommen wird. Zu diesen sogenannten „new emerging pathogens“ zählen nicht nur virale Erreger, wie das Aviäre Influenza-Virus, sondern auch bakterielle Erreger wie z. B. *Campylobacter*-Arten oder bestimmte *Escherichia-coli*-Stämme, die sich durch besondere Pathogenitätsmerkmale und/oder sehr geringe Infektionsdosen (100 Keime) auszeichnen. Dies ist von besonderer Wichtigkeit, da nach MILINOVICH und KLIEVE (2011) in einer Literaturstudie 1.415 Spezies als infektiöse Pathogene identifiziert wurden, die Krankheiten beim Menschen hervorrufen. 61 % (868 Spezies) dieser Pathogenen wurden als bekannte Zoonosenerreger identifiziert. Diese 868 bestimmten Spezies leiten sich von 313 verschiedenen Gattungen ab und schlossen Viren und Prionen, Bakterien oder Rickettsien, Pilze und Protozoen sowie Helminthen ein. Bei näherer Betrachtung zeigte sich, dass 75 % der neu auftretenden Pathogenen Zoonoseerreger waren. Als Hauptquelle für neu auftretende Infektionskrankheiten wurden 2 Gruppen identifiziert: Viren und Prionen und Bakterien und Rickettsien. Die Mehrheit der neu auftretenden Infektionskrankheiten stammte von Wildtieren und weniger von Haus- und Nutztieren. Hier stellt sich nun die Frage, wie werden diese Krankheitserreger auf den Menschen bzw. auf die Tiere (Nutz- und Wildtiere) übertragen und inwieweit sind diese Erreger in den Wildtieren und in der Umwelt verbreitet. Weitere Fragen, die sich hieraus ableiten lassen, sind, welche Persistenz haben diese Erreger in der Umwelt, wie hoch sind die Infektionsdosen, die zu einem Krankheitsausbruch bei Mensch und Tier führen, wie und in welchen Konzentrationen erfolgt die Ausscheidung bei Mensch und Tier und welches Wirtsspektrum wird befallen. Für diese neu auftretenden Erreger müssen neue Nachweismethoden entwickelt und bereits vorhandene Methoden adaptiert bzw. verbessert werden.

## 9 Risikoanalyse

Die Bewertung von Gesundheitsrisiken erfolgt heute durch die so genannte Risikoanalyse. Risiko wird üblicherweise definiert als die Möglichkeit des Zusammentreffens irgendeiner Form des Leids, des Verlustes oder Schadens. In Bezug auf „Risikoanalyse“ variiert die Terminologie über Disziplinen und Länder (ANONYM, 2010 b). Oft werden die Begriffe Gefahr und Risiko verwechselt oder synonym gebraucht. Risiko wird nach der FAO/WHO Codes Alimentarius Kommission definiert als die Wahrscheinlichkeit einer gesundheitlichen Schädigung und daraus resultierender Konsequenzen, die sich aus einer Gefahr ergibt. Gefahr definiert die FAO/WHO Codes Alimentarius Kommission als ein Agens oder ein Faktor von biologischer, chemischer oder physikalischer Natur mit der Eigenschaft, eine Gesundheitsschädigung hervorrufen zu können (ZANGERL, 2007 c).

Die Risikoanalyse besteht nach FORSYTHE (2002) aus drei Komponenten:

- Risikoeinschätzung: identifiziert das Risiko und Faktoren, die es beeinflussen
- Risikomanagement: zeigt, wie das Risiko kontrolliert oder verhindert werden kann
- Risikokommunikation: informiert andere über das Risiko.

Neben diesen drei Komponenten nennt ANONYM (2010 b) eine vierte, die an erster Stelle steht: Gefahrenerkennung. In Abb. 13 sind die vier Komponenten der Risikoanalyse nach ANONYM (2010 b) dargestellt.

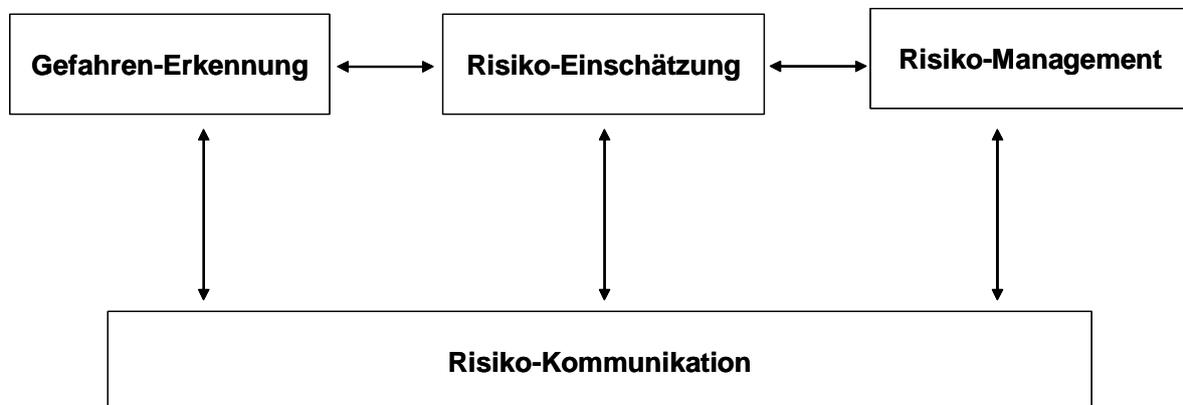


Abb. 13: Die vier Komponenten der Risikoanalyse (ANONYM, 2010 b)

Die Risikoanalyse beruht nach ZANGERL (2007 c) auf folgenden drei Ebenen mit ihren Inhalten:

- Risiko-Abschätzung (Risiko-Bestimmung, Risiko-Beurteilung)
  - Gefahren-Erkennung
  - Gefahren-Charakterisierung
  - Expositionsabschätzung
  - Risiko-Charakterisierung
- Risiko-Handhabung (Risiko-Management)

- Risiko-Vermittlung (Risiko-Kommunikation).

Die Risiko-Abschätzung ist ein wissenschaftliches Verfahren, das von unabhängigen Institutionen durchgeführt werden muss. Ziel der modernen Risikoforschung ist die Erstellung „begründbarer“ Risikoprognosen, da es ein „Null-Risiko“ nicht geben kann. Die Risiko-Abschätzung beinhaltet die Gefahren-Erkennung. Es wird festgestellt, ob eine Gefahr vorliegt (qualitative Schätzung). Zur Erkennung mikrobiologischer Gefahren werden vor allem epidemiologische Daten sowie Daten der phänotypischen und genotypischen Merkmale der Mikroorganismen verwendet. Bei der Gefahren-Charakterisierung soll das Ausmaß der gesundheitlichen Schäden erfasst werden (quantitative Schätzung). Bei mikrobiologischen Risiken spielt die Abschätzung der minimalen Infektionsdosis eine zentrale Rolle (Dosis-Wirkungsbeziehung). Diese ist wiederum abhängig von der Pathogenität und Virulenz des Erregers sowie der Abwehrkraft des Menschen (Disposition). Als Grundlage dienen Daten aus Überwachungsprogrammen (z. B. aus Lebensmittelvergiftungen), Bevölkerungscharakteristika und Tierversuchen. Die Expositionsabschätzung beinhaltet eine qualitative und quantitative Auswertung der möglichen Aufnahme des Erregers. Aufgrund der Ergebnisse von Gefahren-Identifizierung, Gefahren-Charakterisierung und Expositionsabschätzung (Eigenschaften des Erregers, Disposition des Menschen, Exposition des Menschen) wird ein quantitativer Schätzwert ermittelt, der die Erkrankungshäufigkeit pro 100.000 Einwohner beschreibt. Neben der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Erkrankung in der Bevölkerung soll auch die Schwere der daraus resultierenden gesundheitlichen Beeinträchtigungen beschrieben werden. Wesentlich ist die Abschätzung des Risikos für bestimmte Bevölkerungsgruppen (z. B. immungeschwächte Personen) inklusive der Angabe über gegebene Unsicherheiten der Schätzung. Die Ergebnisse der Risiko-Abschätzung stellen Entscheidungshilfen bei der Auswahl von geeigneten Maßnahmen zur Minimierung eines Risikos dar. Das Risiko-Management liegt in erster Linie bei der Regierung bzw. Verwaltung. Im Rahmen der Risiko-Handhabung sollen Sicherheitsziele definiert werden, um ein angemessenes Gesundheitsschutzniveau festzulegen. Sicherheitsziele sind definiert als „die maximale Häufigkeit und/oder Konzentration einer mikrobiologischen Gefährdung, die das für den Gesundheitsschutz angemessene Niveau gewährleistet“. Die produktionsbezogene Risiko-Handhabung liegt in der Verantwortung der Betriebe. Die Risiko-Kommunikation ist ein interaktiver Prozess zwischen Verwaltung, Wirtschaft und Verbrauchern. Im Rahmen der Risiko-Vermittlung soll es zu einem Austausch von Informationen über bestehende Risiken kommen und zwar zwischen Personen, die die Risiken einschätzen und denen, die sie handhaben sowie interessierte Gruppen (ZANGERL, 2007 c).

## **9.1 Risikoeinschätzung**

### **9.1.1 Risikoeinschätzungen in der Literatur**

Die weite Verbreitung neuer Krankheitserreger wie EHEC in der Umwelt stellt ein Gefahrenpotenzial dar, das im Zusammenhang mit Trinkwasser als ernsthaftes Problem zu betrachten ist. Auch thermophile *Campylobacter*-Stämme, die als zweithäufigster bakterieller Durchfallerreger nach Salmonellen beim Menschen zu Erkrankungen führen, findet man in bis zu 20 % der Rinderkotproben. Damit sind sie dort fast so häufig wie EHEC nachweisbar, die mittlerweile aus jeder dritten Rinderkotprobe isoliert werden können. Trinkwasser kann mit akzeptabler hygienischer Qualität in mikrobiologischer Hinsicht nur dann gewonnen werden, wenn es aufgrund seiner Untergrundpassage von eventuell eingebrachten Krankheitserregern wieder frei ist, und wenn es darüber hinaus aufgrund einer angemessenen Filtrationsschicht von oben oder von seitwärts nicht verunreinigt werden kann. In dieser Hinsicht sind Wasserversorgungen in Karstgebieten sowie mit Kluftwasserleitern oder Porenwasserleitern mit geringer Bodenüberdeckung als gefährdet einzustufen. Erst bei einer Bodenüberdeckung mit guter Filterwirkung (z. B. Sand im Gegensatz zu Kies oder Gestein) kann man davon ausgehen, dass Grundwasser bei ungestörtem Profil aus mehr als 6 m Tiefe bakteriologisch einwandfrei ist. Zudem muss ein angemessenes Schutzgebiet vorhanden sein. Neben einem durch Einzäunung gesicherten Fassungsbereich ist hier in Hinblick auf Krankheitserreger insbesondere die engere Schutzzone oder Zone II wichtig. So wird die Fläche bezeichnet, in der das Grundwasser von der äußeren Begrenzung eine Mindestfließzeit von 50 Tagen bis zur Wasserfassung hat. Nach dem DVGW-Arbeitsblatt W 101 stellen die Anwendung von Wirtschaftsdünger (Gülle, Jauche, Festmist) und Silagesickersaft, die Beweidung und die Errichtung und Erweiterung von Jauche- und Güllebehältern, von Dungstätten oder Gärfuttersilos in der Zone II Gefährdungen dar und sind in der Regel nicht tragbar. Wenn überhaupt, dürfte organischer Wirtschaftsdünger in der engeren Schutzzone nur noch nach einem Hygienisierungsschritt mit akzeptabler Eliminierung von Krankheitserregern und anderen Fäkalkeimen und der Gewähr, nicht wieder zu verkeimen, ausgebracht werden (SCHINDLER, 2004).

Krankheitserreger, die Mensch und/oder Tiere befallen können, gelangen durch tierische und menschliche Ausscheidungen (Kot, Urin, Sekrete, Erbrochenes, etc.) sowie Nahrungsreste in Gülle, Mist, Abwasser, Klärschlamm, Bioabfall, teilweise auch in den Kompost und in die Umwelt. Je nach Substrat können die Erreger darin unterschiedlich lange überleben bzw. vermehren. In organischen Abfällen (Bioabfall) können sich Pathogene vermehren, wie Untersuchungen von AVERY et al. (2005); HAUMACHER (2003) und ROTH (1994); zeigen. Von Haustieren stammende Viren können in kommunale Abwässer oder direkt in Böden und Wasserleiter gelangen, soweit sie außerhalb von Behausungen ausgeschieden werden. Bei nur partieller Abscheidung mit

dem Klärschlamm können diese Viren über die Vorfluter weitere Verbreitung finden. Schließlich dürften infektiöse Ausscheidungen von Haus- und Heimtieren auch in Kompost- und Biogasanlagen gelangen (METZLER, 2000).

KÖHLER (2011) führt zum Hygienierisiko bei der Verwertung von organischen Düngern an, dass eine Verbreitung von Neurotoxin bildenden *Clostridium botulinum*-Stämmen durch Gärrückstände aus Biogasanlagen aus veterinärhygienischer Sicht nicht toleriert werden kann. Aufgrund der aktuellen Botulismussituation ist es nach Ansicht des Autors zwingend erforderlich, den Status der Biogasanlagen hinsichtlich des Vorkommens Neurotoxin bildender Clostridienstämme in den Gärrückständen im Rahmen eines Screening-Programmes zu überprüfen. Die Untersuchungen sollten umgehend begonnen und jährlich 1mal wiederholt werden.

Nach PIRRON (2001) lässt sich kein direkter Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein von Salmonellen in Gülle oder Umweltproben (Futter, Staub, Fliegen) und der Höhe der Salmonellenausscheidung im jeweiligen Betrieb herstellen.

Die Befürchtung, dass TSE-Erreger über die Abwässer verbreitet werden können wird von METZNER (2001) (zit. nach SCHIRM, 2005) nicht geteilt. Der Autor geht davon aus, dass nach den vorliegenden Erkenntnissen BSE-Prionen in der Umwelt überwiegend an Feststoffe gebunden sind und dass Tiere mit auffälliger BSE-Problematik nicht in Schlachthöfen geschlachtet werden. Dennoch kann eine Freisetzung von Prionen über den Pfad Abwasser/Klärschlamm auch nach Auffassung des zuständigen Fachreferates beim StMAS (Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, Familie, Frauen und Gesundheit) nicht von vornherein ausgeschlossen werden. Das Risiko einer Gewässergefährdung mit BSE-Prionen durch Schlachthofabwasser wird, sowohl bei betriebseigener als auch bei kommunalen Kläranlagen, in die Schlachthofabwasser eingeleitet wird, jedoch nach Aussage des StMAS (Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, Familie, Frauen und Gesundheit) als sehr gering eingeschätzt sofern die vorgeschriebene Sorgfalt eingehalten wird.

Nach Untersuchungen von GREEN et al. (2010) sind die Futtermittel Biertreber, Baumwollsamenschalen und Maiskleber Risikofaktoren, die mit einer (erhöhten) Ausscheidung von Salmonellen im Kot von Rindern verbunden sind. Hieraus ergeben sich verschiedene Fragen beispielsweise wie kommen die Salmonellen in die Futtermittel, oder haben diese Futtermittel einen Einfluss über den Stoffwechsel der Tiere auf deren Immunstatus durch ihre Zusammensetzung? Oder wo und wodurch erfolgte die Kontamination der Futtermittel? Biertreber und Maiskleber sind Eiweißfuttermittel. Biertreber verlassen bei normalem Produktionsablauf die Brauerei fast keimfrei, da das

Getreide (Malz) während des Maischens auf über 70 °C erhitzt wird und bei diesen Temperaturen Salmonellen nicht lange überleben können.

Nach BAUER und HÖRMANSDORFER (2000) werden in Silagen häufig *Clostridium tyrobutyricum* und *Clostridium butyricum* nachgewiesen. Diese bilden u. a. Essigsäure und Buttersäure. Vor allem Buttersäure trägt zum Verderb von Silage bei. Nach Angaben der Autoren fehlen weitestgehend Angaben zur Verbreitung von Clostridien, insbesondere der Toxin bildenden Arten, da sie bei der konventionellen mikrobiologischen Futtermitteluntersuchung nicht nachgewiesen werden, da sich hier der Nachweis nur auf mesophil, aerobe Mikroorganismen beschränkt.

Nach Angaben von MCLAUGHLIN und BROOKS (2009) ergeben Salmonellen-Konzentrationen von 1,9 bis 2,8 log<sub>10</sub> MPN/100 ml in Schweinegülle kein Risiko einer Kontamination von Bermudagrass mit Pathogenen unter Feldbedingungen. Die Autoren führen an, dass Salmonellen auf den Blättern des Bermudagrasses insbesondere im Sommer schärferen Bedingungen ausgesetzt sind als jenen, die sie in ihren Laboruntersuchungen verwendeten. Hierzu zählen die Autoren höhere Temperaturen, niedrigere Luftfeuchtigkeiten und zunehmende UV-Strahlung in der Außenwelt. Diese Faktoren bedingen eine kürzere Überlebensdauer von Salmonellen in der Umwelt.

Nach Untersuchungen von SCHIKORA et al. (2011) sind Salmonellen, die von infizierten Pflanzen stammen, genauso virulent für Mäuse und menschliche Zellen. Die Autoren unterstreichen die Fähigkeit von Salmonellen von Tier- auf Pflanzenarten überzugehen. Sie sind ferner der Meinung, dass dies weitere Forschungsarbeiten erfordert.

Nach PHILIPP et al. (1990) beinhalten Wirtschaftsdünger von Rind und Schwein, im besonderen Gülle, ein geringes potentiell Infektionsrisiko, da Salmonellen nur in wenigen Gülleproben nachgewiesen werden. Hierzu muss allerdings angeführt werden, dass die Proben aus landwirtschaftlichen Betrieben aus Baden-Württemberg stammten, in denen vergleichsweise weniger Tiere pro Betrieb gehalten werden, im Vergleich zu Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen oder den neuen Bundesländern. Durch den Strukturwandel in der Landwirtschaft werden heute durchschnittlich mehr Tiere pro Betrieb gehalten, als noch vor über 20 Jahren. Deshalb müssten heute Untersuchungen zum Vorkommen von Salmonellen in Wirtschaftsdünger Gülle in verschiedenen Bundesländern mit unterschiedlichen Tierzahlen pro Betrieb durchgeführt werden, da es Hinweise darauf gibt, dass mit zunehmender Herdengröße auch das Vorkommen von Krankheitserregern in den Tieren (KOSINC, 2011; ESPEJO SOLOVERA, 2012) bzw. Betrieben zunimmt und somit auch eine Zunahme des Vorkommens von diesen Krankheitserregern in den tierischen Ausscheidungen bzw. in den Wirtschaftsdüngern (Gülle, Mist, Jauche) zu erwarten ist. Ein Anstieg der Ausscheidung von Salmonellen im Kot wird nach Angaben von GREEN et al. (2010) durch Veränderungen in den sozialen

Gruppen in einer Herde bzw. durch die Vermischung von infizierten mit nicht infizierten Tieren ausgelöst.

Nach Untersuchungen von KOSINC (2011) werden *Campylobacter* in 50,8 % der Schweine haltenden Betriebe in Baden-Württemberg nachgewiesen. Mit zunehmender Bestandsgröße steigt nach Angaben der Autorin die Häufigkeit des Vorkommens von *Campylobacter* in Schweinen. Ab einer Betriebsgröße von >1.000 Mastplätzen sind bis zu 91,7 % der Betriebe *Campylobacter*-positiv. Durch den Strukturwandel in der Landwirtschaft werden die Bestandsgrößen der einzelnen Betriebe in Zukunft weiter zunehmen, dies wiederum wird, bei Zugrundelegung der Daten von KOSINC (2011) zu einer Zunahme des Vorkommens von *Campylobacter* in Schweinen führen und dies wiederum zu einer Zunahme des Vorkommens von *Campylobacter* in Gülle und Mist. Dies wiederum kann zu einer Verbreitung von *Campylobacter* in der Umwelt führen, wenn unbehandelter Wirtschaftsdünger ausgebracht wird. Auf diesem Wege können dann möglicherweise neue Infektionsketten bzw. Infektionskreisläufe entstehen. FARZAN et al. (2008) sehen in der Kontamination der Umwelt mit *Campylobacter* sogar eine Bedrohung für die Ökosysteme. Nach ihren Untersuchungen werden *Campylobacter* häufiger in gelagerter Gülle nachgewiesen werden. *Campylobacter* werden nach Untersuchungen von OGDEN et al. (2009) auch in Rindern, Schweinen, Schafen und Geflügel nachgewiesen. Die höchste Nachweisrate ermittelten die Autoren bei Geflügel mit 41 %. Die durchschnittlichen Nachweisraten für die anderen Tierarten bewegten sich zwischen 22 % und 28 %. Die durchschnittlichen Konzentrationen an *Campylobacter*, die die Tiere ausscheiden, bewegten sich unabhängig von der Tierart zwischen  $10^2$  und  $10^5$  KBE/g. Die menschliche *Campylobacteriosis* wird nach ALTEKRUSE et al. (1999) hauptsächlich durch Falschbehandlung von rohem Geflügel und durch den Konsum von nicht durchgebratenem Geflügel hervorgerufen.

Nach Untersuchungen von FOSSLER et al. (2005) und RUZANTE et al. (2010) werden Salmonellen in Kühen vermehrt in Betrieben nachgewiesen, die mehr als 100 Kühe haben.

Erkrankungskomplexe in der Rinderhaltung, die durch Clostridien ausgelöst werden (Botulinumtoxikosen, chronischer Botulismus), scheinen nach KRÜGER (2010 a) heutzutage durch den Einsatz von clostridienhaltigen Düngern, wie Gülle und Gärreste an Bedeutung zu gewinnen.

Nach Untersuchungen von PHILIPP et al. (1990) gibt es verschiedene Möglichkeiten einer Einschleppung von Salmonellen in landwirtschaftliche Betriebe. Im Vordergrund stehen dabei der Zukauf klinisch gesund erscheinenden, jedoch im Einzelfall, latent infizierter Tiere und der Zukauf von Importfuttermitteln im Vordergrund. Aus der Kenntnis des vielfältigen Salmonellenkreislaufes u. a. über Tiere – Boden – Pflanze – Futtermittel – Tier – Mensch besteht nach Ansicht der Autoren auch eine mögliche Infektkette über betriebseigene Futtermittel (Grünfutter), die durch Ausbringung infizierter Gülle oder

eines nicht desinfizierten Klärschlammes mit Salmonellen kontaminiert werden. Einen weiteren möglichen Infektionsweg stellen Wildvögel wie Tauben und Möven, aber auch Insekten dar. Weiter führen die Autoren das Spülen von Güllekanälen mit Wasser aus Kläranlagenabläufen, das einige Landwirte praktizierten, als eine mögliche Ursache für die Kontamination bzw. das Vorhandensein von Salmonellen in Rindergülle an, da Kläranlagenabläufe häufig hochgradig mit Bakterien, Viren und Parasiten kontaminiert sind.

Schadnager sind potenzielle Überträger von Zoonosen. Nach Untersuchungen von GÓMEZ VILLAFANE et al. (2004) sind sie ein Risikofaktor für die Übertragung von *Salmonella* Enteritidis.

Pathogene Mikroorganismen sollten nicht in der Umwelt verbreitet werden, da zum Einen nach ROBINSON und CHALMERS (2010) über das Risiko für die menschliche Gesundheit durch Wildtiere bisher nur sehr wenig bekannt ist und es zum anderen nur wenige Kenntnisse über die Übertragungswege zwischen Wildtieren, Menschen, Nutztieren und Vektoren sowie anderen Umweltfaktoren gibt. Ein Beispiel dafür ist, der Nachweis von *Chlamydia psittaci* und *Chlamydia suis* in Rindern bzw. *Chlamydia psittaci* in einer Ziege, der nach Angaben von PANTCHEV et al. (2010) so nicht erwartet wurde. Bei *Chlamydia psittaci* handelt es sich um den Erreger einer Zoonose und der anzeigepflichtigen Tierseuche (Psittakose) (ANONYM, 2011 f), die normalerweise bei Papageien und Sittichen vorkommt. Außerdem haben viele Erkrankungen, u. a. auch bedeutende Infektionskrankheiten für den Menschen ihren Ursprung im Tierreich (z. B. Vogelgrippe - Geflügel, AIDS - Rhesusaffen, neue Variante der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit – Rinder). Ferner können sich Infektionskrankheiten heute durch den internationalen Flugverkehr (Tourismus) und weltweiten Handel sehr viel schneller ausbreiten und auch wieder in Gebiete eingetragen werden, in denen sie bereits getilgt waren. So konnten ROY et al. (2004) einen signifikanten Einfluss des internationalen Reisens auf das Vorkommen von Cryptosporidiose beim Menschen ermittelten.

Alle Tiere besitzen das Risiko mit einer Zoonose infiziert zu werden (SMALL, 2006).

Ausbrüche von Zoonosen, wie Salmonellose und Tuberkulose, demonstrieren nach ANONYM (2011 d) das potentielle Risiko, das Zoonosen für die menschliche Gesundheit haben. Von besonderem Interesse sind hier auch die neu entstehenden Krankheiten wie Aviäre Influenza und Q-Fieber.

Zoonose-Erreger, die bisher überwiegend in Asien vorkamen, scheinen sich auch in Europa immer weiter auszubreiten. Dazu gehören z. B. das Hepatitis-E-Virus und das Japanische-Encephalitis-Virus. Beide Erreger wurden daher von der OIE in den Rang der gefährlichen Erkrankungen (Emerging Diseases) erhoben. Vor allem beim Hepatitis-E-Virus kann in Europa und auch in Deutschland ein deutlicher Anstieg der Erkrankungsrate beim Menschen beobachtet werden. Auch in Schweinen kommen Hepatitis-E-Viren häufiger vor als bisher vermutet, insbesondere bei Mastschweinen. In Ungarn waren

39 % aller getesteten Mastbetriebe positiv. Und bei 9 % der beprobten Schweine konnte eine aktive Erregerausscheidung nachgewiesen werden (ANONYM, 2012 k).

Die Etablierung von human-infektiösen *Giardia* spp. in der Umwelt, insbesondere in Wildtierreservoiren, führt nach WALLIS et al. (1996) durch Wildtierwanderungen zu einer Verbreitung des Parasiten und vergrößert eine geringgradige Kontamination der Umwelt zu einer potenziell gefährlichen.

Nach Berechnungen von GALE (2005) ist das Risiko einer Infektion für den Menschen durch Pathogene durch die Verwendung von mesophil anaerob behandeltem Klärschlamm als organischen Dünger sehr gering. In der Tab. 16 sind die erwarteten Risiken einer Infektion und die Konzentrationen in Klärschlamm, Boden und auf Hackfrüchten nach GALE (2005) dargestellt. Demnach besteht das größte Risiko einer Infektion für den Menschen bei *Giardia* mit  $4,3 \times 10^{-5}$  Infektionen pro Person pro Jahr. Dies bedeutet nach Angaben des Autors 50 Infektionen pro Jahr in Großbritannien. Das Infektionsrisiko für eine Salmonellose in Großbritannien, hervorgerufen durch Klärschlamm Düngung, beträgt pro Person und Jahr  $7,9 \times 10^{-9}$ . Hieraus errechnet der Autor für ganz Großbritannien 0,009 Infektionen pro Jahr, hervorgerufen durch kontaminierten Klärschlamm.

Tab. 16: Erwartete Infektionsrisiken und Pathogengehalte in mesophil anaerob behandeltem Klärschlamm, Boden und Hackfrüchten (GALE, 2005)

Pathogene	Klärschlamm (KBE/kg)	Boden (KBE/kg)	Hackfrucht (KBE/kg)	Aufnahme (pathogene Partikel pro Person pro Tag)	Infektionsrisiko (pro Person pro Jahr)
Salmonellen	$5,8 \times 10^2$	$3,0 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^{-5}$	$2,1 \times 10^{-7}$	$7,9 \times 10^{-9}$
<i>Listeria monocytogenes</i>	$8,7 \times 10^5$	$9,6 \times 10^{-2}$	$1,9 \times 10^{-3}$	$6,6 \times 10^{-6}$	$1,15 \times 10^{-8}$
<i>Cryptosporidium</i>	$2,2 \times 10^3$	$4,0 \times 10^{-3}$	$7,8 \times 10^{-5}$	$2,7 \times 10^{-7}$	$4,2 \times 10^{-7}$
<i>Giardia</i>	$2,9 \times 10^4$	$8,5 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^{-6}$	$4,3 \times 10^{-5}$
<i>Escherichia coli</i> O157	$5,0 \times 10^0$	$2,8 \times 10^{-7}$	$5,5 \times 10^{-9}$	$1,9 \times 10^{-11}$	$7,5 \times 10^{-11}$
<i>Campylobacter</i>	$1,3 \times 10^6$	$1,1 \times 10^{-3}$	$2,2 \times 10^{-5}$	$7,9 \times 10^{-8}$	$5,5 \times 10^{-7}$
Enteroviren	$0,7 \times 10^0$	$1,1 \times 10^{-7}$	$2,4 \times 10^{-9}$	$8,3 \times 10^{-12}$	$1,8 \times 10^{-9}$

Das Risiko einer luftgetragenen Gefährdung ist nach EISENBERG et al. (2008) eine Funktion der Entfernung von der Infektionsquelle in Windrichtung und der Windgeschwindigkeit und das ist niedriger als das des direkten Aufnahmepfades. Das Risiko bewegt sich bei der Ausbringung von Klärschlamm zwischen  $7 \times 10^{-5}$ , wenn die Infektionsquelle 30 m von der Aufnahmestelle entfernt ist und  $6 \times 10^{-6}$ , wenn sich die

Quelle in einer Entfernung von 250 m befindet und die Windgeschwindigkeit 2 m/s beträgt. Nach Angaben von VIAU et al. (2011) beträgt das Risiko einer Infektion durch Enteroviren bei der Ausbringung von Klärschlamm  $10^{-4}$ . Aufgrund der Tatsache, dass Aerosole als wichtigste Route der Exposition des Menschen gegenüber Infektionserregern identifiziert wurden und des Auftretens von neuen Infektionserregern, wie z. B. Noroviren, nimmt das jährliche Infektionsrisiko um über 2 Größenordnungen zu, so die Autoren. Deshalb unterschätzt die traditionelle Überwachung der mikrobiologischen Qualität von Klärschlamm mit Salmonellen und Enteroviren nach Angaben der Autoren das infektiöse Risiko für die Öffentlichkeit. Eine strikte Klärschlammbehandlung ist demnach die effektivste Methode zur Reduzierung der mikrobiellen Belastung und des Infektionsrisikos.

Nach Untersuchungen von TAYLOR und BURROWS (1971) (zit. nach DORN et al., 1985) erkrankten Kälber, nachdem sie auf einer Weide gegrast haben, auf der am Tag zuvor Gülle mit einer Güllegabe von  $13,6 \text{ m}^3/\text{ha}$  ausgebracht wurde, die Salmonellen in einer Konzentration von  $10^6$  *Salmonella* Dublin/ml enthielt. Bei einer Salmonellen-Konzentration von  $10^5$  *Salmonella* Dublin/ml und einer Güllegabe von  $11,2 \text{ m}^3/\text{ha}$  konnten sich Kälber nicht infizieren, nachdem sie 7 Tage nach der Güllegabe auf der Weide grasten, wie Untersuchungen von TAYLOR (1973) (zit. nach DORN et al., 1985) zeigen.

Das Risiko für den Menschen an Cryptosporidiose zu erkranken, nachdem dieser auf einer Weide gecamppt hat, die vor kurzem mit *Cryptosporidium parvum* infizierten Kälbern beweidet wurde, beträgt nach HILL et al. (2011), bei einem Worst-Case-Szenario, ein Ausbruch bei 6211 Personen-Besuche auf dieser Weide, umgerechnet würde dies bedeuten, dass bei Camping-Veranstaltungen mit bis zu 100 Personen das Risiko auf Null zurückgehen würde. Ein ähnliches Ergebnis errechneten die Autoren für mit Cryptosporidien kontaminierte Rinderjauche bei der Ausbringung von Dünger, trotz unterschiedlicher Übertragungswege.

Bei der Beurteilung des von viruskontaminiertem Wasser ausgehenden Infektionsrisikos gilt eine zentrale Frage der für eine Infektion erforderlichen minimalen infektiösen Dosis. Hier gibt es noch keine schlüssigen Befunde. Während gewisse Szenarien davon ausgehen, dass schon geringste Virusmengen für eine Infektion und nachfolgende Erkrankung ausreichen, wird in anderen Szenarien eine relativ große Infektionsdosis als notwendig erachtet. Anhand eines weitergehend analysierten Modells wurde errechnet, dass bei Vorliegen von einer infektiösen Einheit je 1.000 l Trinkwasser das lebenslängliche Erkrankungsrisiko bei den Konsumenten etwa  $10^{-1}$  und das Sterberisiko bis zu  $10^{-3}$  betragen kann (METZLER, 2000).

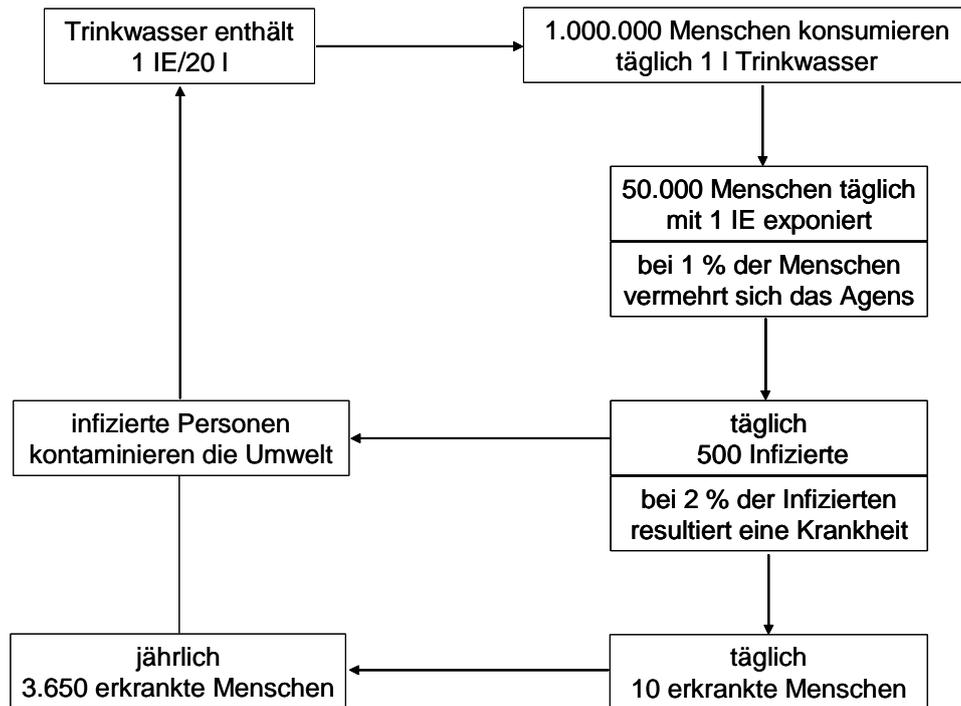


Abb. 14: Konsequenzen einer geringgradigen Exposition mit Krankheitserregern im Trinkwasser (ANONYM, 1979) (zit. nach METZLER, 2000)

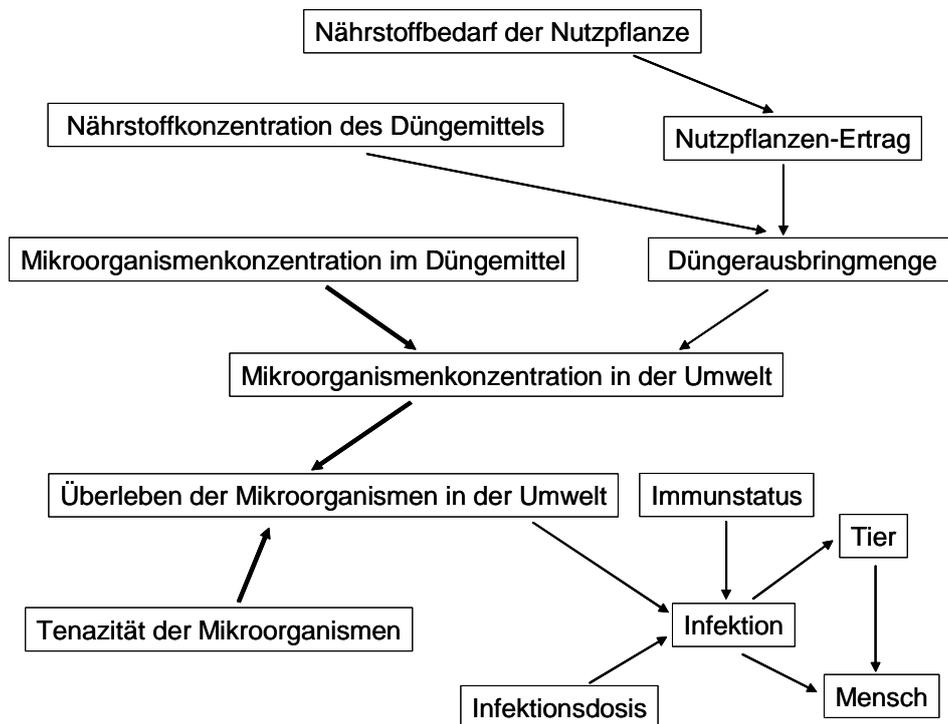


Abb. 15: Beziehungen zwischen Düngung , Hygiene und Erkrankung hinsichtlich der Mikroorganismenkonzentrationen

Nach Untersuchungen von HARTMANN et al. (2012) werden in 13 Rinderkotproben von 271 untersuchten Proben ESBL-produzierende *Escherichia coli* nachgewiesen. Dies

---

entspricht einer Nachweisrate von 4,8 %. In 5 Kotproben fanden die Autoren multiresistente *Escherichia coli*.

Gesamt- und thermotolerante Coliforme sind nach BROOKS et al. (2009) als Indikatoren für eine fäkale Kontamination nicht geeignet. Bessere Indikatororganismen für den Nachweis des mikrobiellen Abflusses nach der Ausbringung von organischen Düngern (Geflügeleinstreu) sind nach Angaben der Autoren *Clostridium perfringens*, Staphylokokken und Enterokokken.

Nach Untersuchungen von FEBRIANI et al. (2009) besteht möglicherweise zwischen dem Auftreten von bakteriell bedingten Gastroenteritiden und der intensiven Tierhaltung ein Zusammenhang. Die Autoren beobachteten eine signifikante Verbindung zwischen Mistüberschuss und akuter Gastroenteritis sowie potenziell akuter zoonotischer Gastroenteritis bei kleinen Kindern. Allerdings können die Autoren nicht feststellen, ob dies mit der Mistausbringung und der Nähe zum Wohnort der Erkrankten zu tun hat, da sie nur Gruppen und keine Einzelfälle untersuchten. Allerdings führen die Autoren an, dass es sein kann, dass Erkrankte, die im Abstand von 100 m zur Mistausbringung wohnen, höheren Konzentrationen an Mistpathogenen ausgesetzt sind, als solche, die in einem Abstand von 1 km leben.

Die Möglichkeit Erkrankungen verhindern zu können, die über Wasser, Nahrungsmittel und tierische Vektoren übertragen werden, hängen nach DENNO et al. (2007) von zwei kritischen Voraussetzungen ab. Zum einen muss der Krankheitserreger bekannt sein, und zum anderen müssen die Risikofaktoren, die zu einer Erkrankung mit diesem Erreger führen, bekannt sein. Nach Angaben der Autoren sind z. B. die Risikofaktoren, die zu einer Shigellen-Infektion führen, nicht bekannt, während folgende Risikofaktoren zu einer *Campylobacter*-Infektion führen können: Konsum von nicht pasteurisierter Milch und Kontakt mit Geflügel, Rindern, Schweinen, Hunden und Katzen. Der Kontakt mit Tieren und deren Ausscheidungen (Exkrememente) gilt nach Angaben der Autoren als Risikofaktor für eine Infektion mit *Escherichia coli* O157:H7.

Tränkwasser für die Nutztierhaltung kann nach KAMPHUES et al. (2007), wenn es aus Oberflächenwasser (Flüsse, Bäche, Vorfluter, Teiche und Seen) gewonnen wird, Keime bzw. Exkrememente enthalten. Diese Kontaminationen hängen von der Art und der Herkunft der eingeleiteten Abwässer (Kläranlagen) bzw. von Verunreinigungen hervorgerufen durch Wild ab. Aus Sicht der Hygiene verdient eine mögliche Belastung des Tränkwassers mit Organismen, wie Parasiten, Pilze, Bakterien und Viren eine besondere Aufmerksamkeit, da unter diesen Bedingungen Risiken für die Gesundheit der Tiere (z. B. Infektionen) sowie für die Qualität der von Tieren gewonnenen Lebensmittel entstehen

können. Somit kommt dem Tränkwasser, das in der Nutztierhaltung zum Einsatz kommt, eine wichtige epidemiologische Bedeutung zu, da prinzipiell Tiere und Menschen direkt oder indirekt gefährdet sind, wenn es sich bei den Kontaminationen um Zoonose-Erreger, wie z. B. Salmonellen, bestimmte *Escherichia coli*, Campylobacter, Shigellen, bestimmte Rota-Viren sowie Kryptosporidien handelt, die sowohl bei Tieren als auch bei Menschen Erkrankungen auslösen können.

HUTCHISON et al. (2008) halten das Risiko für eine Erkrankung durch die aerogene Verbreitung von Bakterien durch die Verregnung von flüssigen, tierischen Abfällen für die öffentliche Gesundheit für gering.

Nach Untersuchungen von HARTMANN et al. (2012) werden Antibiotika-resistente *Escherichia coli* (CTX-M produzierende) in Böden nachgewiesen, obwohl die letzte Düngung mit hofeigener Gülle ein Jahr zurückliegt. Dies deutet daraufhin, dass organische Dünger aus der Tierhaltung sowie öffentlichen Hinterlassenschaften und Böden als Umweltreservoir für Antibiotika-resistente Bakterien und Krankheitserreger fungieren.

Berücksichtigt man, dass tierische Ausscheidungen Millionen von Mikroorganismen pro Gramm enthalten, so ist es nach STALEY und HAINES (2009) notwendig, pathogene Mikroorganismen in Mist bzw. Gülle zu reduzieren bevor die organischen Dünger ausgebracht werden, um den Eintrag von Mikroorganismen in Wassereinzugsgebiete effektiv zu vermindern.

WILLIAMS et al. (2007 b) halten den Eintrag von *Escherichia coli* O157:H7 in Küstennähe (Sandstrand, Meerwasser) hervorgerufen durch den Abfluss von Regenwasser von landwirtschaftlichen Flächen, die mit Gülle oder Jauche gedüngt wurden, für einen signifikanten Übertragungsweg für Humaninfektionen.

HOEK et al. (2008) halten Abflüsse von mit Fäkalien kontaminiertem Land für ein Risiko für die öffentliche Gesundheit, da ein breites Spektrum an Pathogenen in Oberflächengewässer und Brunnen eingewaschen werden kann, insbesondere nach Starkregenfällen. Die Kontamination der Umwelt ist nach Ansicht der Autoren ein häufig unterschätztes Risiko.

In Deutschland besteht seit Jahren eine beständige Enteritisepidemie, die v. a. durch Salmonellen, Campylobacter, aber auch durch Viren und andere Keime bedingt ist. Allein im Jahr 2005 wurden knapp 200.000 Fälle von Enteritis infectiosa gemeldet, wobei die Dunkelziffer auf einen um den Faktor 10 höheren Wert geschätzt wird (GOTTSCHALK, 2006).

In Deutschland sind es nach GOTTSCHALK (2006) vornehmlich 4 Wege, die zur Übertragung und Ausbreitung von Infektionskrankheiten führen:

- Import von Infektionskrankheiten durch den zunehmenden Tourismus und Reiseverkehr
- Import durch Einschleppung von Krankheitserregern durch ausländische Touristen, Geschäftsreisende, Asylbewerber etc.
- Unzureichende hygienische Kontrollen bei Trink-, Bade- und Abwasser und bei den Kontrollen der Fleisch- und Lebensmittelindustrie
- Unkontrollierter Einsatz von Antibiotika als Aufwuchszusatz und Leistungsförderer in der Massentierhaltung

Tab. 17: Wichtige virale, bakterielle und parasitäre Erreger gastrointestinaler Infektionen (GOTTSCHALK, 2006)

<b>Viren</b>	<b>Bakterien</b>	<b>Parasiten</b>
Adenoviren	<i>Campylobacter</i> sp.	<i>Cryptosporidium parvum</i>
Astroviren	<i>Escherichia coli</i> , darmpathogen	<i>Entamoeba histolytica</i>
Caliciviren	Non-cholera-Vibrionen	<i>Giardia lamblia</i>
Coronaviren	<i>Salmonella</i> sp.	
Caliciviren (Noroviren)	<i>Shigella</i> sp.	
Rotaviren	<i>Vibrio cholerae</i>	
Sapporo-Viren	<i>Yersinia</i> sp.	
„Small round viruses“	Toxinvermittelte GE	
Toroviren		

Ungefähr 75 % der neuen Krankheiten, die in den letzten 10 Jahren Menschen befallen haben, wurden durch Pathogene verursacht, die ursprünglich von einem Tier oder einem tierischen Produkt stammten. Viele dieser Krankheiten haben das Potenzial durch verschiedene Mittel über große Distanzen verbreitet und zu einem globalen Problem zu werden (ANONYM, 2012 c).

Von den Seuchenerregern, die in den letzten 20 Jahren neu aufgetreten sind, kommen etwa 2/3 aus dem Tierreich, stellen also Zoonosen dar. Gerade Wildtierreservoirs sind aber noch wenig erforscht, und das Risiko der Übertragung von Erregern aus diesem Bereich auf den Menschen ist schwer abzuschätzen (CONRATHS et al., 2011).

---

Die Prozesse von Anlagen zum Recycling von organischen Materialien, insbesondere von Anlagen, die tierische Nebenprodukte der Kategorie 3 verarbeiten, sollten nach BÖHM (2004) mit hoch resistenten Viren (Bovines Parvovirus) validiert werden.

Der globale und lokale Klimawandel verschärft nach BEASLEY (2005) das Krankheitsrisiko. Wirte, Vektoren und Mikroben sowie Parasiten wandern in Lebensräume ein, in denen sie bisher gar nicht zu finden waren und verändern die Ökosysteme.

Klimatische Veränderungen können sich insbesondere auf Infektionskrankheiten, die durch lebende Vektoren, wie z. B. Zecken, Stechmücken übertragen werden, auswirken. Sowohl die Populationsstärke als auch die geographische Verbreitung von Vektoren kann durch klimatische Veränderungen erheblich beeinflusst werden. Als Folge der Klimaerwärmung kann es einerseits zur Einschleppung und Verbreitung sogenannter exotischer Vektoren und Krankheitserreger sowie zu einer zunehmenden Vermehrung von heimischen und neu eingeschleppten Vektoren durch verkürzte Generationszeiten, erhöhte Überlebensraten durch mildere Winter und verlängerte jährliche Aktivitätsraten kommen. Andererseits kann regional auch eine Reduktion der Vektorpopulation erfolgen, z. B. durch Austrocknung von Brutbiotopen infolge verringerter Niederschläge. Weiterhin ist zu beachten, dass nicht nur eingeschleppte Vektoren zu gefährlichen Krankheitsüberträgern werden können. So ist die in 2007 aufgetretene starke Verbreitung der Blauzungenkrankheit in Mittel- und Nordeuropa mit darauf zurückzuführen, dass das Virus dieser Krankheit entgegen früheren Annahmen auch durch heimische Gnitzenarten übertragen wird. Klimaveränderungen können auch zu einem veränderten Nahrungs- und Wasserangebot für frei lebende Tiere führen. Hierdurch ist ein indirekter Einfluss auf die Dynamik von Infektionskrankheiten möglich. Insbesondere Wildtiere spielen eine wichtige Rolle bei der Übertragung von verschiedenen Tierseuchen, wie der aviären Influenza, der Tollwut und der klassischen Schweinepest. Durch regionalen Wasser- und Futtermangel, kommt es zu größeren Ansammlungen von Tieren in angrenzenden Lebensräumen, wodurch eine anhaltende Erregerzirkulation begünstigt wird. Beispielsweise wird davon ausgegangen, dass die Einschleppung der hoch pathogenen aviären Influenza des Subtyps H5N1 nach Mitteleuropa auf Veränderungen der Zugvogelstrecken frei lebender Wasservögel zurückgeführt werden kann. Sehr kaltes Wetter, das in einigen Gebieten Futterknappheit und das ungewöhnliche Zufrieren offener Gewässer bewirkte, zwang frei lebende Wasservögel, ihre Flugrouten zu ändern. Ebenfalls ist zu berücksichtigen, dass Klimaveränderungen auch das Überleben von Infektionserregern in der Umwelt beeinflussen können (ZUCKER et al., 2011).

Veränderungen im Niederschlagsmuster mit längeren und/oder häufigeren Dürreperioden oder Überschwemmungen haben ebenfalls Einfluss auf die Verbreitung von Krankheitserregern. So wird nach ZUCKER et al. (2011) durch die Klimaveränderungen

eine Ausbreitung von verschiedenen Pflanzenschädlingen in geografische Regionen erwartet, die bisher als schädlingfrei galten. So sind gegenwärtig Land- und Forstwirtschaft in höheren Breiten noch einer geringeren Belastung durch Insektenschädlinge und von diesen übertragbaren Krankheiten ausgesetzt, da dort weniger günstige klimatische Bedingungen für deren Vermehrung und Überleben herrschen.

Die Ausbringung von Klärschlamm verursacht nach STAMPI et al. (1999) möglicherweise ein hohes Risiko für eine Infektion, da *Arcobacter butzleri* in anaerob behandeltem Klärschlamm in einer durchschnittlichen Konzentration von 7.649 MPN/g TS vorkommen.

Nach ANONYM (2003) ist die Beweisführung für eine Verbindung zwischen Umwelt und Gesundheit begrenzt. Die vorhandenen Beweise zeigen aber, dass die Luftverschmutzung positiv mit 40.000 – 150.000 Toten pro Jahr verbunden ist und dass die Hauptumweltrisikofaktoren, die auf die Gesundheit der Menschen einwirken, die Luftverschmutzung, die Wasserverschmutzung durch Mikroorganismen, Pestizide und Nitrat sowie die Kontamination von Nahrungsmitteln sind.

Nach dem Dosis-Infektionsmodell, d. h. die minimale (Infektions-)Erregerkonzentration, die vorhanden sein darf, um das Infektionsrisiko von 1 zu 10.000 nicht zu überschreiten, beträgt nach KARANIS (2000) für *Cryptosporidium* rein rechnerisch <1 Oozyste in 30.580 l Wasser. Nach Angaben des Autors darf nach Berechnungen in den USA durch Trinkwasser nicht mehr als eine Infektion pro 10.000 Verbrauchern pro Jahr auftreten. Diese Risikoeinschätzung erlaubt rein rechnerisch bei einer täglichen Aufnahme von 2 l Wasser nicht mehr als 0,7 *Giardia*-Zysten bzw. 3 *Cryptosporidium*-Oozysten in 100.000 l Trinkwasser.

Da Klärschlamm in der Regel Pathogene enthält, muss er zum Einsatz als Dünger in der Landwirtschaft nach BAUER (2006) hygienisiert werden, sofern er nicht sicher deponiert oder durch Verbrennung unschädlich beseitigt wird.

Der Hygienisierungseffekt eines Behandlungsverfahrens wird nach BAUER (2006) nach festgelegten Kriterien beurteilt, z. B. aufgrund der Reduktion der Zahl von *Escherichia coli*, die als Indikatorkeime für die epidemiologisch wichtigen Salmonellen und andere Enterobacteriaceen gelten oder aufgrund von *Clostridium perfringens* (Sporen). Diese mikrobiologischen Parameter sind beispielsweise in der Trinkwasserverordnung (ANONYM, 2011 c) als Untersuchungsparameter festgelegt. Jedoch schließt ein fehlender Nachweis dieser Bakterien nicht die Anwesenheit von Parasitenstadien wie *Giardia*-Zysten oder *Cryptosporidium*-Oozysten aus. Daher können coliforme Keime oder Clostridien nicht als Indikatoren für den antiparasitären Effekt verwendet werden. Die hygienisierende Wirkung eines Verfahrens gegen parasitäre Dauerstadien ist vielmehr

durch gezielte Untersuchungen auf Parasitenstadien oder durch Zusatz von Testorganismen (Eier von *Ascaris suum*) zu verifizieren.

Die Infektiosität von Wirtschafts- und Abfalldüngern bekannter Herkunft oder Zusammensetzung kann durch effiziente Behandlungsmethoden in Kombination mit entsprechenden Verwendungseinschränkungen (z. B. Aufbringungsverbote, Mengenbegrenzungen), dauerhaft reduziert werden. Andernfalls bestehen das Risiko von Rekontaminationen mit Nachvermehrung und das Risiko des Schließens von Infektionsketten.

Die Konzentration, der Virulenzgrad der Pathogenen sowie der Typ, der Level/die Stufe und die Dauer der Exposition können als Risikofaktoren betrachtet werden (HAAS et al., 2010).

### **9.1.2 Risikoeinschätzung von organischen Düngemitteln**

Der vorliegende Abschlussbericht zu Hygieneaspekten organischer Düngemittel und ihrer Anwendung kann nur die Grundlage für eine Risikobewertung darstellen. Die Abschätzung eines Risikos umfasst mittels wissenschaftlicher Methoden nach ANONYM (2010 g):

- das Erkennen der möglichen Gefahrenquelle („hazard identification“), d. h. das biologische, chemische oder physikalische Agens, das möglicherweise zu gesundheitsschädlichen Auswirkungen führt, muss identifiziert werden
- die Charakterisierung des Gefährdungspotenzials („hazard characterisation“), d. h. die qualitative und/oder quantitative Beurteilung der gesundheitsschädlichen Wirkung, die von der Gefahrenquelle ausgehen könnte, ggf. unter Berücksichtigung einer Dosis-Wirkungs-Beziehung
- je nach Fragestellung ggf. die Abschätzung der Exposition des Menschen („exposure assessment“), d. h. die qualitative und/oder quantitative Beurteilung der Aufnahme des Agens unter Berücksichtigung der relevanten Expositionspfade im Einzelfall (Aufnahme über Nahrung, Haut oder Atemwege)
- die Charakterisierung des konkreten Risikos („risk characterisation“), d. h. die qualitative und/oder quantitative Einschätzung der Häufigkeit und Schwere der schädlichen Auswirkung auf die Gesundheit in einer bestimmten Bevölkerungsgruppe unter Berücksichtigung der mit der Bewertung verbundenen Unsicherheiten.

Im Rahmen der vorliegenden Studie mussten die hier angeführten Punkte bearbeitet werden. Für die Vielzahl der organischen Stoffe, die als Düngemittel Anwendung finden, mussten zunächst die Gefahrenquellen und das Gefährdungspotenzial ermittelt und beschrieben werden, die zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen bzw. Krankheiten bei Menschen, Tieren und Pflanzen führen können. Als biologische Gefahrenquellen sind nach MILINOVICH und KLIEVE (2011) bisher 1.415 Spezies als infektiöse Pathogene

identifiziert, die Krankheiten beim Menschen hervorrufen. Dies bedeutet im Einzelnen, es mussten Antworten auf folgende Fragen gefunden werden:

- Welche Krankheitserreger (Bakterien, Viren, Pilze und Parasiten) kommen in welchem Substrat (Düngemittel) vor?
- Um welche Art von Erreger handelt es sich (Bakterien, vegetative Zellen, Sporen, Viren, Pilze, Parasiten, Dauerstadien)?
- In welcher Konzentration sind die Erreger vorhanden?
- Welche Tenazität/Überlebensfähigkeit besitzen die Erreger in der Umwelt bzw. im Substrat?
- Kommen die Erreger in der Umwelt, im Tierbestand und/oder in Lebensmitteln vor?
- Welche Krankheiten können die Erreger verursachen?
- Wie häufig kommen diese Krankheiten vor?
- Wie werden die Erreger übertragen (fäkal-oral, aerogen etc.)?
- Wie hoch ist die Infektionsdosis?
- Welche Personengruppen sind (besonders) gefährdet?
- Gibt es Möglichkeiten zur Reduktion der Konzentration bzw. zur Elimination der Erreger? → Welche Behandlungsmethoden gibt es? Welche Auswirkungen haben diese auf die Erreger?

Über das Datenbank-Infosystem (DBIS) des Kommunikations-, Informations- und Medienzentrums der Universität Hohenheim wurde nach Veröffentlichungen zum Forschungsthema in verschiedenen Datenbanken, z. B. PubMed, Medline, Agris und NAL Catalog (AGRICOLA) mit entsprechenden Stichwörtern recherchiert. Auch in Google und Google-Scholar wurde nach wissenschaftlichen Artikeln gesucht. Die Sichtung und Auswertung der Literatur erforderte sehr viel Zeit. Beispielsweise werden in der Datenbank PubMed zum Stichwort „Salmonella“ mehr als 70.000 und zum Stichwort „manure“ mehr als 5.000 Literaturstellen angezeigt. Die Kombination dieser beiden Stichwörter führt immerhin noch zur Anzeige von mehr als 250 Publikationen. Dies ist allerdings nur ein kleiner Ausschnitt aus der Bandbreite der Gefahrenquellen für Menschen, Tiere und Pflanzen bzw. der Hygieneaspekte organischer Düngemittel. Die eingegrenzten Suchergebnisse aus den Datenbanken mussten dann entsprechend der Fragestellung insbesondere im Hinblick auf mögliche Hygienerisiken ausgewertet und analysiert werden. Für die Charakterisierung der Gefahrenquellen (pathogene Mikroorganismen etc.) wurden hauptsächlich die Standardwerke aus der human- und veterinärmedizinischen Literatur herangezogen (DARAI et al., 2012; SUERBAUM et al., 2012; QUINN et al., 2011; SELBITZ et al., 2011; FORSYTHE, 2010; KAYSER et al., 2010; HOF und DÖRRIES, 2009; CASPARY et al., 2006; SCHNIEDER, 2006; ROLLE und MAYR, 1993; MITSCHERLICH und MARTH, 1984). Nicht unerwähnt werden muss hier, dass jedes einzelne Werk mehrere Hundert Seiten (bis zu 700 bzw. 979 Seiten) umfasst und um die für die Studie notwendigen Informationen entnehmen zu können, war sehr viel Zeit für

das Lesen und anschließend für das Schreiben des Berichtes notwendig. Fehlende Informationen zu den Herkünften bzw. den Herstellungsprozessen der in der Tabelle 7 aufgeführten Ausgangsstoffe bzw. Stoffgruppen finden sich vor allem bei Torf, Moorschlamm, Heilerde, bei pflanzlichen Abfällen aus der Lebens-, Genuss- und Futtermittelherstellung, bei pflanzlichen Abfällen aus der Herstellung technischer Alkohole, bei pflanzlichen Abfällen aus der Energiegewinnung sowie aus der Verarbeitung von Heil- und Gewürzpflanzen, bei Reet, Huminsäuren, Algen, Filtrationsrückstände aus der Herstellung von Lebens-, Genuss- und Futtermitteln, bei Rizinusschrot, Pilzkultursubstraten, Fermentationsrückständen pflanzlicher Herkunft aus der Enzym-, Vitamin- und Arzneimittelproduktion, bei pflanzlichem Eiweißhydrolysat und pflanzlichen Aminosäuren, bei Kohlen sowie bei Fermentationsrückständen der Enzymproduktion aus tierischen Stoffen, teilweise bei Guano, Abwässern aus der Verarbeitung von tierischen Stoffen, bei Abwasser aus der Herstellung von synthetischem Methionin, bei Schlämmen, Flotaten und Fugaten aus der Nahrungsmittelindustrie sowie bei lebenden Mikroorganismen, abgetöteten Mikroorganismen, synthetischen Polymeren, Heilerden und Styropor. Die für das Forschungsvorhaben vorgesehene Projektdauer war zu kurz bemessen, um die Vielzahl der Gefahrenquellen und Gefährdungspotenziale für Menschen, Tiere und Pflanzen durch organische Düngemittel hinreichend wissenschaftlich fundiert erarbeiten und bewerten zu können. Die fehlenden Angaben bzw. Daten zu den Herkünften und Herstellungsprozessen könnten bzw. sollten umgehend auf der Grundlage des Abschlussberichtes erfolgen, um ein umfassendes Bild über die Hygienrisiken von organischen Düngemitteln zu bekommen und um den weiteren Forschungsbedarf ermitteln zu können. Die bisher zusammengestellten Daten bilden eine ideale Grundlage für weitergehende Analysen. Insbesondere könnten quantitative Risikobewertungen anhand statistischer Modelle, wie sie im Handbook on Import Risk Analysis for Animals and Animal Products - Quantitative Risk Analysis, Volume 2 der World Organization for Animal Health (OIE), Paris, France, 2004 beschrieben sind, durchgeführt werden. Dies ist vor allem hinsichtlich aufwendiger Behandlungsmethoden und somit erhöhten Kosten für die Behandlung eines organischen Düngemittels von Interesse.

Die Einteilung der Stoffe aus Tabelle 7 der Düngemittelverordnung in Risikoklassen erfolgte anhand der recherchierten Daten aus der Literatur zum Vorkommen von Krankheits- und/oder Seuchenerregern in diesen Stoffen. Es gibt klassische enteritische Zoonoseerreger, zu denen gehören *Salmonella enterica*, *Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica* und *Campylobacter*-Arten. Weiter gibt es klassische Tierseuchenerreger, wie z. B. die Erreger der Maul- und Klauenseuche, der Afrikanischen und Europäischen Schweinepest oder der Brucellose. *Erysipelothrix rhusiopathiae*, *Leptospira interrogans*, *Listeria*, *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Enterococcus spec.* (VRE), ESBL-Extended-Spectrum Beta-Laktamase (z. B. *Escherichia coli*; *Klebsiella pneumoniae*) sowie

*Mycoplasma* spp., *Coxiella* spp., *Chlamydia* spp., *Mycobacterium paratuberculosis* haben in der Veterinärmedizin als Bestandserreger eine wichtige Bedeutung.

Das Risiko einer Infektion wird hauptsächlich bestimmt durch:

- Art des Erregers (vegetative Zellen, Sporen, Viren)
- Erregerkonzentration
  - gering 10 -100 Zellen/g
  - hoch  $10^6 - 10^7$  Zellen/g
- Übertragungsweg
  - fäkal-oral (Schmierinfektion)
  - aerogen (Tröpfcheninfektion)
- Immunstatus

Das Überleben, die Verbreitung und die Übertragung von pathogenen Mikroorganismen durch organische Düngemittel wird bestimmt durch:

- Konzentration der Pathogenen im Düngemittel
- Überlebensfähigkeit (Tenazität) der Erreger in der Umwelt, diese ist abhängig von:
  - Substrat (Düngemittel, Nährstoffgehalten, Schadgasen)
  - Jahreszeit (Temperatur, Sonneneinstrahlung, Niederschlag etc.)
  - pH-Wert
  - Art des Erregers (vegetative Zellen, Sporen, Viren, Bakterien, Parasiten)
  - Salzgehalt
  - Begleitflora

Es wurden folgende 3 Risikoklassen bestimmt:

Risikoklasse 1: (geringes Risiko)

Unbedenkliche Verwertung der unbehandelten organischen Dünger

- regelmäßige Überprüfung und Dokumentation der Behandlungsprozesse
- regelmäßige Produktkontrollen (*Salmonellen*; *Escherichia coli*) (Überprüfung des Behandlungsprozesses)
- Dokumentation der Abgabe und Ausbringung (Teilnahme an einer Gütesicherung)

Risikoklasse 2 (mittleres Risiko)

Verwertung der organischen Dünger mit Auflagen

- regelmäßige Produktkontrollen (BioAbfV, TierNebV, Verordnung (EG) 1069/2009 bzw. Verordnung (EU) 142/2011): bei positiven Funden:
  - quantitative Untersuchung auf *Salmonellen* (< 100/g) und *Escherichia coli* (<1 000/g) Stichwort: „qualitätsgesicherte Salmonelle“
  - definierte Lagerungs- und Karenzzeiten

- Behandlungspflicht, wenn mikrobiologische Parameter nicht eingehalten werden
- Teilnahme an einer Gütesicherung

### Risikoklasse 3: (hohes Risiko)

Verwertung der organischen Dünger nur nach Behandlung

- generelle Behandlungspflicht
- regelmäßige Produktkontrollen (BioAbfV, TierNebV, VO 1069/2009 bzw. VO 142/2011)
- Behandlungspflicht kann entfallen, wenn mikrobiologische Parameter eingehalten werden! (siehe Risikoklasse 2)
- regelmäßige Endproduktkontrollen (Salmonellen; *Escherichia coli*) (Überprüfung des Behandlungsprozesses)
- Teilnahme an einer Gütesicherung.

Tab. 18: Einteilung der organischen Düngemittel bzw. deren Ausgangsstoffe in Risikoklassen

Organische Düngemittel	Schulnote	Risikoklasse	Einschätzung aufgrund von
Torf	2-3	II	Bearbeiter
Moorschlamm	2-3	II	Bearbeiter
Heilerde	1	I	Bearbeiter
Pflanzliche Abfälle aus der Lebens-, Genuss- und Futtermittelherstellung	2-3	II	Literatur / Bearbeiter
Pflanzliche Abfälle aus der Herstellung technischer Alkohole	2-3	II	Bearbeiter
Pflanzliche Abfälle aus der Energiegewinnung	2-3	II	Bearbeiter
Pflanzliche Abfälle aus der Verarbeitung von Heil- und Gewürzpflanzen	2-3	II	Bearbeiter
Küchen- und Kantinenabfälle	6	III	Literatur
Reet	2	I	Bearbeiter
Huminsäuren	3	II	Bearbeiter
Algen	3	II	Bearbeiter
Sphagnum	2-3	II	Bearbeiter / Literatur
Filtrationsrückstände aus der Herstellung von Lebens-, Genuss- und Futtermitteln	4	II	Bearbeiter
Pflanzliches Filtermaterial aus der biologischen Abluftreinigung	6	III	Literatur
Rizinusschrot	2	I	Bearbeiter

Fortsetzung der

Tab. 18: Einteilung der organischen Düngemittel bzw. deren Ausgangsstoffe in Risikoklassen

Organische Düngemittel	Schulnote	Risikoklasse	Einschätzung aufgrund von
Pflanzliches Abfisch- und Rechengut aus Gewässerbewirtschaftung	5	III	Literatur / Bearbeiter
Pilzkultursubstrate, Abtötung der Pilzkulturen durch Dämpfung	3	II	Bearbeiter
Fermentationsrückstände aus der Enzymproduktion	1	I	Bearbeiter
Fermentationsrückstände aus der Vitaminproduktion	1	I	Bearbeiter
Fermentationsrückstände aus der Arzneimittelproduktion	1	I	Bearbeiter
Pflanzliches Eiweißhydrolysat und pflanzliche Aminosäuren	1	I	Bearbeiter
Kohlen	1	I	Bearbeiter
Gülle von Rindern, Schweinen, Hühnern	5	III	Literatur
Festmist	5	III	Literatur
Jauche	5	III	Literatur
Pferdemist	5	III	Literatur
Hofdünger	5	III	Literatur
Magen- und Darminhalte	5	III	Literatur
Stoffe aus der Behandlung von Abwässern	6	III	Literatur / Bearbeiter
Klärschlamm, hygienisiert	2	I	Literatur
Stoffe von Tieren und Tierteilen	5	III	Literatur
Hemmstoffhaltige Milch	5	III	Literatur
Tierische Exkremente nicht von Nutztieren	6	III	Literatur / Bearbeiter
Fermentationsrückstände der Enzymproduktion aus tierischen Stoffen	5	III	Bearbeiter
Guano	5	III	Literatur / Bearbeiter
Abwässer aus der Verarbeitung von tierischen Stoffen	6	III	Literatur
Abwasser aus der Herstellung von synthetischem Methionin	2	I	Bearbeiter
Schlämme, Flotate und Fugate aus der Nahrungsmittelindustrie	4	II	Bearbeiter / Literatur
Klärschlämme, unbehandelt	6	III	Literatur
Klärschlamm, hygienisiert	2	I	Literatur

Fortsetzung der

Tab. 18: Einteilung der organischen Düngemittel bzw. deren Ausgangsstoffe in Risikoklassen

Organische Düngemittel	Schulnote	Risikoklasse	Einschätzung aufgrund von
Organische Abfälle aus der getrennten Sammlung aus privaten Haushaltungen	6	III	Literatur
Küchen- und Speiseabfälle	6	III	Literatur
Bioabfall, unbehandelt	6	III	Literatur
Bioabfall, behandelt	2	I	Literatur
Bioabfall, behandelt (Pasteurisierung)	2	I	Literatur
Bioabfall, behandelt (thermophile Kompostierung, vgl. BioAbfV)	2	I	Literatur
Bioabfall, behandelt (thermophile Vergärung, vgl. BioAbfV)	2	I	Literatur
Kompost	2	I	Literatur
Kultursubstrate	3	II	Literatur
Gärreste, NaWaRo-Vergärung, mesophil	3	II	Literatur
Gärreste, NaWaRo-Vergärung, thermophil	2	I	Literatur
Gärreste, Güllevergärung mit oder ohne NaWaRo, mesophil	4-5	III	Literatur
Gärreste, Güllevergärung mit oder ohne NaWaRo, thermophil	3	II	Literatur
Lebende Mikroorganismen	6	III	Literatur / Bearbeiter
Abgetötete Mikroorganismen	2	I	Literatur / Bearbeiter
Synthetische Polymere	6	III	Literatur / Bearbeiter
Heilerden	1	I	Bearbeiter
Styropor	1	I	Bearbeiter

---

## **9.2 Risikomanagement**

### **9.2.1 Gesetzliche Regelungen**

Die Definitionen der Düngemittel sollten vereinheitlicht werden. So wird in der englischen Version der Verordnung (EG) 1069/2009 Gülle mit „manure“ übersetzt und das ist eigentlich Mist (Oberbegriff). Gülle ist eine spezielle Form von Mist, genauso wie „slurry“ eine spezielle Form von Mist ist. Slurry ist flüssig und wird meistens mit Jauche übersetzt, es kann aber auch Gülle sein. Gülle oder Flüssigmist ist im Englischen liquid manure.

Das Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz und die Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung müssen an die derzeit gültige EU-Verordnung (EU) 1069/2009 angepasst werden.

Nach ELSÄSSER et al. (2011) unterliegt die Ausbringung von Gülle seit Jahren engen gesetzlichen Bestimmungen. Einerseits müssen die gesetzlichen Rahmenbedingungen in der Lage sein, die Umwelt ausreichend zu schützen, andererseits müssen sie noch eine für die Betriebe attraktive landwirtschaftliche Verwertung ermöglichen.

Die Bioabfallverordnung definiert keinen Kompost, obwohl die Kompostierung ein anerkanntes Hygienisierungsverfahren darstellt. Die Bioabfallverordnung spricht von behandelten Bioabfällen. Dies sollte wieder geändert werden.

Gülle ist laut EU-Gesetzgebung (ANONYM, 2009 b) nur Exkreme mit Urin oder nur Urin von Nutztieren, mit oder ohne Einstreu. Was ist mit diesem Stoff, wenn Tränkwasser, Reinigungs- und Spülwasser noch enthalten ist bzw. Silosickersaft, Sickersaft von der Festmistplatte?

## **10 Beurteilung / Schlussfolgerungen**

Die stoffliche Verwertung von geeigneten Rest- und Abfallstoffen in der Landwirtschaft ist gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz vorrangig zu besorgen, um Wertstoffe mehrfach zu nutzen und endliche Ressourcen zu schonen. Zur Verwertung über den Boden eignen sich nach Bioabfälle wie Komposte, Grünschnitthäcksel, Trester, Schlempe, Frucht- und Gemüseabfälle und Kalkschlämme sowie bestimmte mineralische Abfallstoffe. Voraussetzungen für die landwirtschaftliche Verwertung sind ein nachweisbarer Nutzeffekt und die Kenntnis möglichst aller potentiell schädlichen Inhaltsstoffe und ausreichend niedrige Schadstoffgehalte der Rest- und Abfallstoffe. Nur dann sind die Stoffe als Dünger brauchbar. Die wertbestimmenden Inhaltsstoffe müssen bekannt sein, um sie entsprechend in die Düngeplanung einbeziehen zu können. Die als Düngemittel oder Pflanzen- bzw. Bodenhilfsstoffe anzuwendenden Stoffe müssen zum Schutz von Böden, Pflanzen, Tieren und Menschen nach Düngemittelverordnung zulässig sein. Um den Nachhaltigkeitsanforderungen zu genügen, müssen neben den Nutzwirkungen vor allem die ökologischen Schutzanforderungen von Boden, Pflanze, Gewässer und die

Qualitätsansprüche der produzierten Nahrungs- bzw. Futtermittel langfristig gewährleistet sein.

Mit der Rückführung organischer Rest- und Abfallstoffe ist immer ein epidemiologisches Risiko verbunden, dieses muss stets in Abhängigkeit von der Herkunft, Behandlung und Verwendung für jedes Ausgangsmaterial im Einzelfall beurteilt werden (Biosafety). Anders als bei organischen und anorganischen Schadstoffen kann das Risiko nicht durch einfache quantitative Betrachtungen beschrieben und durch Grenzwertbildungen minimiert werden, weil sich verschiedene Krankheitserreger in der Umwelt oder in belebten Vektoren wie Nagetiere und Vögel vermehren können. Nur die Behandlung in einem validierten Prozess kann das Risiko minimieren, denn ohne Validierung ist eine Festlegung der kritischen Kontrollpunkte sowie der dort zu erfassenden Parameter nicht möglich. Je nach Art und Eigenschaften der zur Validierung verwendeten Prüforganismen verbleibt in einigen Fällen ein unterschiedlich hohes Restrisiko, das durch weitere Maßnahmen minimiert werden kann. Aus Sicht der Hygiene können Klärschlämme behandelt werden, wie alle anderen biogenen Rest- und Abfallstoffe, eine Ausnahme von einem Entseuchungsgebot hat wissenschaftlich keine Berechtigung, weil auch bei Anwendung von Ausbringungsrestriktionen ein umwelthygienisches Risiko bestehen bleibt. Der Gesetzgeber kann zwar Hygieneregelungen treffen, die auf Ausbringungsrestriktionen beruhen und dieses Risiko in Kauf nehmen, aber auf Dauer wird er dem sinnvollen Ansatz des Phosphorrecyclings keinen Gefallen tun, denn die Landwirtschaft hat durch europäische Vorgaben die Verantwortung dafür, jeden Eintragsweg von Zoonosenerregern in die Nahrungskette zu unterbinden und wird nicht akzeptieren, dass tonnenweise Material mit solchen Erregern in unmittelbarer Nähe der Tierhaltungen ausgebracht wird. Die Verantwortung der Gesellschaft für den Schutz der Umwelt beinhaltet auch den Schutz der Biozönose vor dem Eintrag von Krankheitserregern und antibiotikaresistenten Bakterien, dem sollte der Gesetzgeber Rechnung tragen (BÖHM, 2007).

Die Verwertung von Bioabfällen und insbesondere von Klärschlämmen in der Landwirtschaft ist mit einem seuchenhygienisch, epidemiologischen Risiko verbunden, sofern die Substrate vor der Verwertung keiner desinfizierenden Behandlung unterzogen wurden. Es gibt biologische, chemische und physikalische Verfahren, die relevante Infektionserreger inaktivieren können, so dass bei der landwirtschaftlichen Verwertung der behandelten Stoffe das Risiko der mikrobiellen Belastung von Boden, Gewässer, Pflanzen und Futtermittel sehr gering gehalten werden kann. Die Produktion hochwertiger und sicherer Futtermittel kann durch eine Hygienisierung (Desinfektion) der Abfälle und Klärschlämme und der weiteren Senkung organischer und anorganischer Schadstoffe unterstützt werden. Dies ist ein wichtiger Aspekt, um den Pfad der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung auch in Zukunft noch offen zu halten (PHILIPP, 2010).

---

Mit der Zunahme der Bedeutung der Produkthaftung steigt die Verantwortung des Produzenten für sein Produkt. Der Landwirt steht am Anfang der Lebensmittelkette und ist verpflichtet, unbedenkliche Lebensmittel zu produzieren und in den Verkehr zu bringen und der Verbraucher fordert hygienisch unbedenkliche Lebensmittel, die frei von Krankheitserregern und Rückständen sind (LANKOW und HARTUNG, 2011).

Bei Bioabfällen bzw. bei Abfällen, die gemäß der Bioabfallverordnung als Bioabfälle deklariert werden, kann dies durch Pasteurisierung, thermophile Kompostierung (aerobe hygienisierende Behandlung), thermophile Vergärung (anaerobe hygienisierende Behandlung) oder durch eine anderweitige Hygienisierungsbehandlung, die die gleichwertige Wirksamkeit der Hygienisierung hat, wie die anderen genannten Behandlungsmethoden, erfolgen. Die Eignung eines Behandlungsverfahrens muss dabei durch eine Prozessprüfung nachgewiesen werden.

Die Vergärung von Gülle in einer gemeinschaftlich betriebenen Biogasanlage oder in Biogasanlagen, die von einzelnen Unternehmen betrieben werden und die Gülle aus verschiedenen Betrieben beziehen und ihre Anlage im mesophilen Bereich betreiben ist aus hygienischer Sicht nicht ohne Risiko, da auch in der Gülle von klinisch unverdächtigen Tierbeständen unter Umständen bakterielle, virale und parasitäre Krankheitserreger enthalten sein können. Es besteht somit potentiell die Möglichkeit, dass bei der Ausbringung von Biogasgülle eine Verbreitung seuchenhygienisch relevanter Mikroorganismen auf den Flächen aller der Gemeinschaft angehörenden Betriebe bzw. auf den Flächen der Güllielieferanten oder auch auf fremden Flächen erfolgt, wenn die Biogasgülle an weitere Betriebe abgegeben wird, die das Endprodukt Biogasgülle als organischen Dünger auf ihren Feldern nutzen möchten. Dadurch können weitere Infektionskreisläufe entstehen, die es bisher noch nicht gab. Ziel aus hygienischer Sicht muss sein, Infektionskreisläufe zu unterbrechen und keine weiteren entstehen zu lassen. Deshalb sollten grundsätzlich die aus mesophil betriebenen Biogasanlagen hergestellten Gärreste einer hygienisierenden Behandlung unterzogen werden. Alternativ dazu könnten die Ausgangsprodukte hygienisiert werden.

Die organische Düngung ist eine unabdingbare Voraussetzung für die Gesunderhaltung des Bodens. Eine kontinuierliche, auf Humuserhalt ausgerichtete Bewirtschaftung ist die effizienteste Form der Ertragssicherung. Um einen Humusverlust von 1 % wieder auszugleichen, bedarf es deutlich mehr als 10 Jahre (ANONYM, 2008 b).

HUTCHISON et al. (2005) halten es für klug, dass das potentielle mikrobiologische Risiko bei der Ausbringung von tierischen Abfällen als Dünger in Richtlinien Berücksichtigung findet.

## **11 Abschließende Betrachtungen**

### **11.1 Seuchenhygiene**

Die vorliegende Literaturarbeit unterstreicht die Tatsache, dass die Verwertung bestimmter organischer Dünger auf Flächen mit eine Rolle in der Verbreitung von Infektionserregern in der Umwelt spielen kann. Unter Berücksichtigung der „EHEC-Krise“ im Jahre 2011, wobei dieses Ereignisses allerdings sehr schnell aus den politischen und fachlichen Diskussionen verschwunden ist, muss davon ausgegangen werden, dass die Möglichkeit der Verbreitung von Infektionserregern für Mensch und Tier, insbesondere bei der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung und der bodenbezogenen Verwertung anderer organischer Materialien wie Gülle und Gärreste, permanent besteht.

Es werden daher nachfolgend Szenarien zur Gestaltung einer zukünftigen organischen Düngerverwertung dargestellt, die insbesondere den Schutz der Umwelt vor der vermeidbaren Kontamination mit Erregern bei der Düngieranwendung zum Ziel haben. Es sollte angestrebt werden, die organische Düngerverwertung aus hygienischer Sicht einheitlich bzw. gleichgeschaltet zu gestalten, unabhängig von den Zuständigkeiten und den unterschiedlichen Rechtsbereichen, denen die verschiedenen organischen Dünger im Einzelnen unterliegen. In der Konsequenz ist es unerheblich, ob pathogene Erreger über Gülle oder Klärschlämme in die Umwelt verfrachtet werden.

Die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlämmen und die überbetriebliche Gülleverwertung (in Verkehrbringen) sollte nur dann erfolgen, wenn zuvor eine ausreichende Reduzierung der Schadorganismen in Klärschlamm und Gülle stattgefunden hat. Diese Forderung hat nach Auswertung der gesichteten und im Bericht dargestellten Literatur und vor dem Hintergrund eigener Versuche unter Laborbedingungen zum möglichen Eindringen von Salmonellen über die Wurzelhärchen in die Pflanze seine Berechtigung, indem auf und in Maispflanzen bzw. in Kresse Salmonellen nachgewiesen werden konnten. Es kann angenommen werden, dass auch andere human- und tierpathogene Erreger bei entsprechenden Voraussetzungen über die Wurzeln aus den organischen Düngern bzw. dem Boden aufgenommen werden und somit die Pflanzen bzw. die Pflanzenzellen „endogen“ kontaminiert werden. Welche Faktoren diese Vorgänge grundlegend beeinflussen, muss in formulierten Forschungsvorhaben erarbeitet werden.

Im Düngemittelrecht spielen hygienische Aspekte eine zentrale Rolle. So sind in § 5 der Düngemittelverordnung Anforderungen an die Seuchen- und Phytohygiene definiert und setzen voraus, dass in Düngemitteln keine Krankheitserreger, Toxine oder Schaderreger enthalten sind, von denen Gefahren für die Gesundheit von Menschen, Tieren und Nutzpflanzen ausgehen. Die Düngemittelverordnung schreibt vor, dass bei positiven Salmonellenbefunden Stoffe abgegeben werden dürfen, wenn die Abgabe nur an Personen erfolgt, die diese im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit anwenden (Profi!) und in der Kennzeichnung auf die bestehende Belastung hingewiesen wird. Außerdem gelten u. a. zusätzlich folgende Anwendungsbeschränkungen dergestalt, dass:

- auf Ackerland die Anwendung ausschließlich auf unbestelltem Ackerland und bei sofortiger Einarbeitung in den Boden zulässig ist, es sei denn, die Ausbringung erfolgt in Wintergetreide und Winterraps bis zum Schosserstadium (EC 30) mit bodennaher Ausbringungstechnik,
- die Ausbringung auf unbestellte Ackerflächen mit nachfolgendem Gemüse- oder Kartoffelanbau oder dem nachfolgenden Anbau von Heil-, Duft- und Gewürzkräutern ist nicht zulässig,
- auf Grünland und Futterbauflächen ein zeitlicher Abstand von 6 Wochen bis zur nächsten Nutzung einzuhalten ist und
- die Ausbringung in Zonen I und II von Wasserschutzgebieten nicht zulässig ist

und im Falle der Verwendung von Klärschlamm als Ausgangsstoff deren Abgabe nur zur Aufbringung auf Flächen erfolgt, die im Zuständigkeitsbereich der am Sitz der Kläranlage für den Vollzug der Düngeverordnung zuständigen landwirtschaftlichen Fachbehörde liegen, es sei denn, der Abgeber ist Mitglied eines Trägers einer regelmäßigen Qualitätsüberwachung, welche die ordnungsgemäße Aufbringung sichert.

Nach § 5 der Klärschlammverordnung (Arbeitspapier: Stand: 20.08.2010) darf Klärschlamm nur abgegeben werden, wenn er in einem in Anhang 2 gelisteten Verfahren behandelt wurde und wenn im Klärschlamm in 50 Gramm keine Salmonellen nachweisbar sind. In der Begründung zu § 5 wird dazu ausgeführt, dass künftig unter Vorsorgeaspekten eine grundsätzliche Behandlungspflicht für Klärschlämme gilt. Ausnahmen von der Hygienisierungspflicht gelten dann lediglich im Fall der Verwertung von Klärschlämmen, die gemäß den Anforderungen und unter der Aufsicht einer zugelassenen regelmäßigen Qualitätssicherung verwertet werden.

§ 17 gewährleistet unter bestimmten Voraussetzungen Erleichterungen bei qualitätsgesicherten Materialien, wobei unter Pkt. 4 die Anforderungen gemäß § 5 Absatz 2 als eingehalten gelten, sofern eine Bewertung hygienischer Risiken durch den Träger der Qualitätssicherung vorgenommen wurde. Die Qualitätssicherung hat dem Qualitätszeichennehmer schriftlich zu bestätigen, dass eine hygienisierende Behandlung des Klärschlammes auf der Grundlage der Risikobewertung entbehrlich ist. Damit wird die Verantwortung im Rahmen der Vorsorge auf die Qualitätssicherung übertragen, wobei diese eine qualifizierte und dokumentierte Risikoabschätzung durchführen soll.

Eine Risikobewertung könnte sich zunächst auf den quantitativen Gehalt ausgewählter Infektionserreger, wie z.B. Salmonellen und *Escherichia coli* begrenzen, bis weitere Erkenntnisse aus Forschungsprojekten zur möglichen Aufnahme von Infektionserregern für Mensch und Tier über die Wurzeln in die Pflanzen vorliegen. Vor dem Hintergrund dieser noch zu erarbeitenden Ergebnisse werden folgende Szenarien beschrieben, die eine seuchenhygienisch unbedenkliche organische Düngerverwertung möglich machen können.

Unabhängig der Zuständigkeiten und den verschiedenen Rechtsbereichen, denen die organischen Dünger unterliegen (Gülle und Gärreste (DüMV) bzw. Klärschlämme (AbfklärV)), berücksichtigen die folgenden Szenarien nur die seuchen- und umwelthygienischen Aspekte.

Insbesondere vor dem Hintergrund des regional weiter steigenden „Entsorgungsdruckes“ von Gülle und Gärresten auf landwirtschaftlichen Nutzflächen und damit einem zwangsläufig höheren Risiko der Verbreitung von Infektionserregern, sollen die Szenarien dieser Problematik Rechnung tragen.

Die Einteilung der organischen Dünger in Risikoklassen, wie sie in diesem Bericht vorgenommen wurde, beinhaltet eine mikrobiologische Untersuchungspflicht zumindest für die Risikoklasse II und III sowie eine generelle Behandlungspflicht für Gülle in Biogasanlagen und deren Gärreste, die in Verkehr gehen. Mit der Berücksichtigung der Inanspruchnahme von Qualitätssicherungssystemen, die eine Eigen- und Fremdüberwachung sicherstellen und insbesondere die Vorschriften und Auflagen aus dem Abfall- und Düngerecht umsetzen, kann die sachgerechte Anwendung von Gülle und Klärschlämmen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen einen wichtigen Beitrag zur Unterbrechung von Infektionskreisläufen liefern.

Den mengenmäßigen Hauptanteil der organischen Dünger in Risikoklasse III stellen Gülle, Gärreste aus der mesophilen Vergärung und Klärschlämme dar.

## **Szenarien**

### Gülle in Biogasanlagen: (Behandlungspflicht) – „Hygienisierungsbonus“

Die EU-Düngemittelverordnung wurde auf Wunsch der EU-Kommission im Jahre 2012 revidiert und auf organische und organisch-mineralische Dünge- und Bodenverbesserungsmittel ausgeweitet. In vier verschiedenen Experten-Arbeitsgruppen soll bis 2013 ein Gesetzesentwurf ausgearbeitet werden. Dabei sind auch Hygienefragen und die Festlegung von mikrobiologischen Grenzwerten für organische Dünger in der Diskussion, die es bei der Verwertung von organischen und organisch-mineralischen Düngern in Europa einzuhalten gilt.

Auch die Bedingungen von „Cross compliance“, wobei EU-Agrarzahlungen an die landwirtschaftlichen Betriebe von Verpflichtungen im Umweltschutz, bei der Lebensmittel- und Futtermittelsicherheit, bei Tiergesundheit und im Tierschutz abhängig gemacht werden, beinhalten stringente Vorgaben zu einer umweltverträglichen Gülle- und Gärresteverwertung. Nicht abschätzbar ist die Problematik der „ständigen Seuchengefahr“ und die Verbreitung von Erregern von Bestandserkrankungen, insbesondere von multiresistenten Bakterien (sog. ESBL-Bakterien) bei der großräumigen Verteilung von unbehandelter Gülle und Gärresten aus mesophil betriebenen Biogasanlagen.

Mit dem Inkrafttreten des neuen Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) am 1. Juni 2012 fällt Gülle, die in Biogasanlagen eingesetzt wird, in den Geltungsbereich des Abfallrechts bei Verwendung der Gülle in Biogasanlagen. Die Abfalleigenschaft von „Gülle“ endet jedoch in jedem Fall, wenn die Vergärung der Gülle abgeschlossen ist. Es liegt dann ein Stoff vor, der nicht mehr „zur Verwendung in einer Biogasanlage bestimmt“ ist und somit vom Geltungsbereich des KrWG auch nicht mehr erfasst wird. Daher wird die Verwertung vergorener Gülle nicht mehr von der Bioabfallverordnung (BioAbfV) erfasst und damit besteht auch keine Pflicht zur Behandlung der Gülle bzw. der Gärreste zum Zwecke der Hygienisierung.

Da das Energieeinspeisungsgesetz (EEG) einen Güllebonus von 25 Cent bei Verwertung von 80 % Gülle als Substratanteil im Fermenter bei weiteren Auflagen (u. a. Aufenthaltszeit) fördert, ist die Wirtschaftlichkeit von Behandlungsmaßnahmen zum Zwecke der Hygienisierung von Gülle und Gärresten nicht in Frage gestellt.

Für Gülle, die anaerob in Biogasanlagen mit 80 %-igem Gülleanteil gefahren werden und deren Gärreste in Verkehr gehen, ist ein sog. „Hygienisierungsbonus“ denkbar unter der Voraussetzung, dass die Biogasanlage entweder eine Vollstromhygienisierung (Pasteurisierung aller Substrate incl. Gülle) oder thermophile Fahrweise entsprechend den Vorgaben der BioAbfV betreibt („Behandlungspflicht“). Die Teilnahme an einer Gütesicherung ist empfehlenswert. In wieweit hierbei Inhalte des § 9 der TierNebV Anwendung finden können, die für den Transport bzw. die Abgabe von tierischen Nebenprodukten ein sog. Handelspapierverfahren zur lückenlosen Rückverfolgbarkeit der

Materialien sicherstellen und damit weitere Sicherheit oder nur zusätzlichen Aufwand bieten, sollte diskutiert werden. Die Durchführung des speziellen Lieferscheinverfahrens mit dem sog. Handelspapierverfahren nach § 9 der TierNebV ist allerdings nicht für Gülle, Stallmist und Jauche von Nutztieren vorgesehen, sondern bisher für Biogas- und Kompostierungsanlagen vorgeschrieben, die tierische Nebenprodukte als Substrate einsetzen.

Einen Anreiz zur „Behandlungspflicht“ mit der Integration des Lieferscheinverfahrens nach § 9 der TierNebV könnte durch die nächste Novellierung des EEG erfolgen, wobei einerseits eine Erhöhung des Güllebonus denkbar wäre und andererseits allerdings auch eine Senkung des prozentualen Gülleanteils zu diskutieren ist, um dem jetzigen, regional verstärkten „Gülletourismus“ Einhalt zu gewähren. Die Reduktion des Gülleanteils von 80 % z. B. auf 60 % könnte durch Zugabe von TNP und Bioabfällen kompensiert werden. Diese Substrate unterliegen dem EU-Recht bzw. dem Abfallrecht (Verordnung (EU) Nr. 142/2011; BioAbfV) und müssen grundsätzlich einer hygienisierenden Behandlung unterzogen werden.

#### Gülle, die in Verkehr geht und Klärschlämme zur landwirtschaftlichen Verwertung: (Untersuchungspflicht) – „Erleichterungsbonus“

Für das Inverkehrbringen von Gülle und die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlämmen (Stoffe der Risikoklasse III) kann die Behandlungspflicht entfallen, sofern eine regelmäßige Qualitätsüberwachung durch die Teilnahme an einer Gütesicherung mit ergänzenden mikrobiologischen Untersuchungen erfolgt („Untersuchungspflicht - Erleichterungsbonus“). Eine Behandlung zum Zwecke der Hygienisierung ist nicht grundsätzlich Pflicht.

Bei den ergänzenden mikrobiologischen Untersuchungen steht u. a. die quantitative Bestimmung von Salmonellen und *Escherichia coli* zur Diskussion, die in Fachkreisen momentan bei der landwirtschaftlichen Verwertung von Klärschlämmen diskutiert wird und im Folgenden dargestellt ist.

Ausgehend von der Anforderung des Düngerechts, dass bei sachgerechter Anwendung von Düngern die Gesundheit von Menschen, Tieren und Nutzpflanzen nicht gefährdet wird, ist im Rahmen einer weitergehenden Qualitätssicherung die landwirtschaftliche Verwertung von unbehandeltem Klärschlamm auf Ackerflächen sowie auf Flächen des Landschaftsbaus die seuchenhygienischen Anforderungen erfüllt, auch wenn abweichend von § 5, Abs. 2, Nr. 1 und unter Einhaltung der Vorgaben nach § 5, Abs. 3 Nr. 1 a), 1 b) und 1 d) der Düngemittelverordnung (DüMV) in 50 g Klärschlamm Salmonellen nachgewiesen werden. Dabei darf bei einem positiven Salmonellennachweis in der ergänzenden quantitativen Untersuchung des abgabefertigen Klärschlammes (Feuchtgewicht) in vier von fünf Proben die Anzahl von 100 Salmonellen in 1 g ( $1 \times 10^2$  KBE/g) Klärschlamm nicht überschritten werden. Der Höchstwert in einer Probe darf 500 betragen ( $5 \times 10^2$

KBE/g). Werden Salmonellengehalte in den untersuchten Klärschlammchargen von  $<5 \times 10^2$  KBE/g überschritten, empfiehlt sich entweder eine hygienisierende Behandlung des Schlammes oder eine kontaminationsfreie Lagerung von bis zu 6 Monaten. Vor der landwirtschaftlichen Verwertung des gelagerten Schlammes muss eine quantitative Untersuchung auf Salmonellen deren Nichtnachweis bestätigen bzw. der maximale Gehalt darf 100 KBE Salmonellen pro g Schlamm nicht übersteigen. Auf Grünland und Futterbauflächen darf aus seuchenhygienischer Sicht nur behandelter Klärschlamm angewendet werden. Die Anzahl an *Escherichia coli* soll maximal 1.000 KBE/g ( $1 \times 10^3$  KBE/g) Klärschlamm betragen.

Für Gülle, die in Verkehr geht, wäre ein vergleichbares Szenario denkbar, insbesondere unter Berücksichtigung und Einbeziehung von noch zu definierenden Lagerzeiten für Gülle vor ihrer landwirtschaftlichen Verwertung. Werden trotz längeren Lagerzeiten die mikrobiologischen Werte („Richtwerte“) nicht eingehalten, empfiehlt sich eine Behandlung der Gülle in validierten Anlagen. Auch eine längerfristige Lagerung von Gülle und Klärschlämmen über mindestens 4 - 6 Monate (tatsächliche Lagerzeit) kann die Anzahl an Salmonellen und *Escherichia coli* in aller Regel unter die o. g. Werte reduzieren.

Begrüßenswert ist in diesem Zusammenhang die Entscheidung Schleswig-Holsteins, das inzwischen alle tierhaltende Betriebe fördert, die ihre Lagerkapazitäten durch den Bau eines Güllebehälters über das gesetzlich vorgeschriebene Maß (6 Monate) hinaus erhöhen möchten. Hintergrund ist eine bessere Nährstoffausnutzung bzw. ein besserer Schutz von Grundwasser und Gewässern vor erhöhtem Nitratintrag und mikrobiologischen Belastungen.

Rechtliche Einflussmöglichkeiten könnten neben einer Änderungsverordnung zur DüMV auch in einer Änderungsverordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdünger (WDüngV) gesehen werden. In der geltenden Fassung der WDüngV sind keinerlei Vorgaben zur Güllebehandlung zu Hygienisierungszwecken definiert.

In einer Änderungsverordnung zur Düngemittelverordnung müssten bei etwaigen Ergänzungen in § 5 Absatz (3) der DüMV eine verstärkte Einbindung der unteren Verwaltungsbehörden (Landwirtschaftliche Fachbehörde, Veterinäramt) berücksichtigt werden.

## **11.2 Phytohygiene**

Das Düngerecht soll sicherstellen, dass bei der Anwendung von Düngemitteln, Wirtschaftsdüngern, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln die Gesundheit von u. a. Pflanzen nicht geschädigt wird (§ 3 Abs. 1 Nr. 1 und § 4 Abs. 1 Nr. 1 der Düngemittelverordnung (ANONYM, 2012 I)). In § 5 Abs. 1 wird präzisiert, dass keine Krankheitserreger, Toxine oder Schaderreger enthalten sein dürfen, von denen Gefahren

für die Gesundheit von Nutzpflanzen ausgehen. Diese Anforderungen gelten hinsichtlich der phytohygienischen Eigenschaften als nicht eingehalten, wenn Ausgangsstoffe pflanzlicher Herkunft, auch in Mischungen, verwendet werden, die von Schadorganismen, insbesondere

- a) von einem der in § 1a Abs. 1 der Pflanzenbeschauverordnung (ANONYM, 2000 b) genannten Schadorganismus (Quarantäneschadorganismen),
- b) thermoresistenten Viren, insbesondere solche aus der *Tobamo*-Virus-Gruppe oder
- c) pilzlichen Erregern mit widerstandsfähigen Dauerorganen, insbesondere *Synchytrium endobioticum*, *Sclerotinia*-Arten, *Rhizoctonia solani*, *Plasmodiophora brassicae*,

befallen sind und nicht einer geeigneten hygienisierenden Behandlung unterzogen wurden (§ 5 Abs. 2 Nr. 2 Düngemittelverordnung (ANONYM, 2012 I)).

Viele Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel bestehen aus oder enthalten Anteile von pflanzlichen Ausgangsstoffen, die mit Schadorganismen infiziert oder kontaminiert sein können. Unter den Schadorganismen müssen insbesondere widerstandsfähige boden- und samenbürtige Bakterien und Viren sowie Nematoden und Unkräuter bedacht werden. Es sollte daher im Rahmen dieser Studie geprüft werden, ob die existierenden Rechtsvorschriften ausreichen oder ob phytohygienische Risiken bestehen, die weiteren Handlungsbedarf erfordern. Dazu wurden risikorelevante Aspekte der Ausgangsstoffe organischer Düngemittel recherchiert und wissenschaftliche Publikationen bzgl. der Phytohygiene zu einer Reihe von Behandlungsverfahren für Bioabfall, nachwachsende Rohstoffe zur Energiegewinnung in Biogasanlagen und für Klärschlamm bewertet.

#### Pflanzliche Ausgangsstoffe

Von pflanzlichen Ausgangsstoffen aus der Lebens-, Genuss- und Futtermittelherstellung, der Land- und Forstwirtschaft sowie dem Garten- und Landschaftsbau und der verarbeitenden Industrie ebenso wie Küchen- und Kantinenabfälle und organischer Abfall pflanzlicher Herkunft aus getrennter Sammlung ist anzunehmen, dass sie ein hohes pflanzengesundheitliches Risiko bergen, wenn sie ohne eine hygienisierende Behandlung auf landwirtschaftlichen Flächen verwertet werden. Als pflanzliche Stoffe fallen sie unter die Definition für Bioabfall und unterliegen damit den Behandlungsvorschriften nach § 3 u. Anhang 2 der Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b).

Die Auswertung von Untersuchungen zur Wirkung der von der Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) vorgegebenen Pasteurisierung über 1 h bei 70°C lässt vermuten, dass die Mehrzahl der Schadorganismen und Unkräuter bei dieser Temperatur abgetötet wird. TMV und die Quarantäneschadorganismen *Synchytrium endobioticum* (Kartoffelkrebs)

und *Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus* überstehen allerdings die Pasteurisierung. Da die Behandlungsbedingungen sehr gut steuerbar sind, scheint die Pasteurisierung ein zuverlässiges Verfahren für Nicht-Quarantäneschadorganismen mit Ausnahme von *Tobamo*-Viren (z.B. TMV) zu sein.

Im Falle einer Kompostierung nach Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) werden Temperaturen über einen Zeitraum erreicht, die die Mehrzahl der phytopathogenen Nicht-Quarantäneschadorganismen inaktivieren können. Auch das Tabakmosaikvirus wird abgebaut, vermutlich aufgrund der mikrobiellen Aktivität bei der Kompostierung (Idelmann, 2005). Bei der Kompostierung ist allerdings eine sorgfältige Einhaltung der komplexen Bedingungen für den Hygienisierungserfolg sehr wichtig. Für *Synchytrium endobioticum* (Kartoffelkrebs) und *Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus* (bakterielle Ringfäule der Kartoffel) kann eine Inaktivierung im Rahmen einer Kompostierung nach Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) wiederum nicht erreicht werden. Die Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) trägt der Widerstandsfähigkeit des TMV gegenüber Pasteurisierung und thermophiler Vergärung durch ein Anwendungsgebot in § 6 Absatz 2 a Rechnung, wonach nur aerob hygienisierte Bioabfälle oder Gemische in Wirtskulturen des TMV verwendet werden dürfen.

Für Nicht-Quarantäneschadorganismen besteht die Einschätzung, dass die Behandlungsvorgaben nach Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) in der Regel eine angemessene Hygienisierung sicherstellen, da ein geringer Restbefall akzeptiert werden kann, sofern hierdurch kein größerer Infektionsdruck erzeugt wird, als natürlicherweise auf den Anbauflächen vorhanden ist.

Zur thermophilen Vergärung liegen vergleichsweise wenige Untersuchungen mit Phytopathogenen vor, die für wenige Nematoden, Mikroorganismen und Samen eine relativ schnelle Inaktivierungswirkung erkennen lassen. TMV ist jedoch durch thermophile Vergärung im Rahmen der Vorgaben der Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) nicht inaktivierbar.

Auch die mesophile Vergärung, die in der Mehrzahl der landwirtschaftlichen Biogasanlagen zur Vergärung nachwachsender Rohstoffe eingesetzt wird, zeigt bei vielen Nicht-Quarantäneschadorganismen und den Kartoffelzystennematoden (QSO) eine vergleichsweise gute Wirkung. Viele widerstandsfähige Pilze waren nach einer Verweilzeit von 3 bis 5 Tagen inaktiviert. Die zur Konservierung nachwachsender Rohstoffe eingesetzte Silierung hat zusätzlich einen deutlichen Erreger- und Unkraut-reduzierenden Einfluss wobei aber zu bedenken ist, dass nicht alle nachwachsenden Rohstoffe vor der

Vergärung siliert werden (z.B. Getreidekörner, Zuckerrüben, Kartoffeln). Für nicht silierte Ausgangsstoffe wird daher ein höheres Risiko gesehen als für silierte.

Problematisch beim mesophilen Prozess sind zum Teil längere Verweilzeiten zur Abtötung von hartschaligen Samen (WEINHAPPEL et al., 2011; WESTERMANN et al., 2011). Nachteilig sind ferner Kurzschlussströmungen, die die Hygienisierung beeinträchtigen. In Fällen kontinuierlicher Beschickung bei einstufigen Anlagen (überwiegender Anlagentyp landwirtschaftlicher Vergärungsanlagen) ist es technisch nicht möglich, eine durchgehende Expositionszeit von z.B. 5 Tagen im Hauptfermenter zu garantieren, da der Fermenter kontinuierlich beschickt wird und ebenso kontinuierlich Substrat in den Nächgärer abgegeben wird. Auf diese Weise können Anteile unbehandelten Substrates in den Nachgärer gelangen. Im Nachgärer findet zwar eine weitere, aber offenbar geringere und nicht näher quantifizierbare Reduzierung statt (RODEMANN et al., 2011, STRAUSS et al., 2012). Für Nicht-Quarantäneschadorganismen ist sicher ein gewisser Restbefall tolerierbar. Derzeit gibt es aber aufgrund fehlender Daten und Verfahren nicht die Möglichkeit das Restrisiko zu bestimmen, ein tolerierbares Restrisiko zu definieren und zu kontrollieren. Die mesophile landwirtschaftliche Vergärung von nachwachsenden Rohstoffen wird daher kritisch gesehen.

Problematisch ist ein Restbefall mit neuen Schadorganismen zu bewerten (einschließlich Unkräutern), wenn diese Schadorganismen in bestimmten Gebieten oder auf Flächen noch nicht vorkommen, und an einem neuen Standort u. U. erhebliche Bekämpfungskosten oder anderweitige Schäden verursachen. Quarantäneschadorganismen (QSO) und teilweise auch neue Schadorganismen mit potentiell Quarantänestatus bedürfen aufgrund der bestehenden gesetzlichen Regelungen und ihrer in oben genannten Fällen erhöhten Widerstandsfähigkeit einer besonderen Betrachtung. Sie sind in Deutschland nicht oder nur sehr begrenzt verbreitet, eine Kontamination von Stoffen oder ein Befall von Pflanzen darf in keinem Fall toleriert werden (0-Toleranz) und es hat erhebliche rechtliche und anbautechnische Konsequenzen, wenn sie in bisher befallsfreie Gebiete oder Flächen eingeschleppt werden (ANONYM, 2000 c) und (ANONYM, 2000 b).

Die Pflanzenquarantänevorschriften sehen bei einem amtlich festgestellten Befall vor, dass die zuständige Behörde des Bundeslandes die sichere Entsorgung oder Verwertung des befallenen Pflanzenmaterials überwacht. Die von der Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) vorgegebenen Behandlungen werden für QSO zur Behandlung von befallenem Material als nicht ausreichend oder geeignet befunden. Die Beispiele *Synchytrium endobioticum* und *Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus* belegen zum einen die hohe Widerstandsfähigkeit, zum anderen besteht die Gefahr, dass aufgrund von suboptimalen Bedingungen bei der Kompostierung oder Vergärung (z. B. Kurzschlussströmungen) keine vollständige Abtötung erreicht wird. Im Einzelfall sollte die zuständige Landesbehörde in Abhängigkeit vom Erreger, der Art und Menge des

befallenen Pflanzenmaterials und der verfügbaren Behandlungstechnik über die Eignung des Verfahrens bei vorliegendem Befall mit Quarantäneschadorganismen entscheiden. Einige QSO treten allerdings schon in manchen Regionen Deutschlands, wenn auch meist in geringem Ausmaß auf, und können daher in pflanzlichen Stoffen (z. B. Kartoffelabfällen) unerkannt vorkommen und verschleppt werden. Mit welcher Frequenz unerkannter Befall mit QSO (z. B. dem Kartoffelkrebs) auftritt, ist nicht bekannt und aufgrund methodischer Begrenzungen auch kaum zu ermitteln. Sofern es sich um Bioabfälle handelt ist zu erwarten, dass die nach Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) durchzuführenden Behandlungen zumindest eine risikomindernde Wirkung haben. Es stellt sich aber die Frage, ob die Reduzierung ausreicht um spätere Infektionen und eine weitere Verschleppung zu verhindern. In der wissenschaftlichen Literatur finden sich keine ausreichenden Angaben über das Ausmaß der Reduzierung durch die o. g. Behandlungen und zu der für eine Infektion erforderlichen minimalen Infektionsdosis (NOBLE et al., 2009). Um das Restrisiko durch unerkannten Befall mit Schadorganismen, insbesondere Quarantäneschadorganismen abschätzen zu können, müssten diese Fragestellungen näher erforscht werden.

Speziell für den Kartoffelkrebs konnte keine geeignete Hygienisierungsbehandlung für pflanzliche Stoffe identifiziert werden. Da sich dieser Schadorganismus in letzter Zeit eher noch weiter ausgebreitet hat, besteht dringender Forschungsbedarf nach einer wirksamen hygienisierenden Behandlung, um Maßnahmen zur Abfallbehandlung bzw. Entseuchung von pflanzlichen Komponenten von Düngemitteln zur Verfügung zu haben.

### Resterden

Für Resterden aus der Reinigung landwirtschaftlicher Erzeugnisse wird ein hohes Risiko der Verbreitung von Schadorganismen gesehen. Es scheint jedoch, dass keine ausreichenden Maßnahmen zur Risikominderung zu Verfügung stehen. Anlage 2 Tab. 7 Nr. 7.3.17 der Düngemittelverordnung (ANONYM, 2012 I) verweist zwar auf die Phytohygieneanforderungen nach § 5 Abs. 2 Nr. 2 derselben Verordnung aber dort werden nur Ausgangsstoffe pflanzlicher Herkunft angesprochen und eine Behandlung bei Befall gefordert. Es ist methodisch schwierig oder auch für einige Schadorganismen unmöglich, im Boden geringe Erregerdichten nachzuweisen um eine hygienisierende Behandlung zu rechtfertigen. Erschwerend kommt hinzu, dass es bisher kein zuverlässiges hygienisierendes Behandlungsverfahren gibt, obwohl dies auch durch europäisches und deutsches Recht für Resterden aus der Kartoffelverarbeitung zur Bekämpfung der Kartoffelzystennematoden (ANONYM, 2010 f) für Resterden aus der Kartoffelverarbeitung gefordert ist. Es besteht dringender Forschungsbedarf nach hygienisierenden Behandlungsverfahren für Resterden aus der Kartoffelverarbeitung im Hinblick auf die relevanten Schadorganismen von Kartoffeln und Rüben, da diese

---

Resterden aus Vorsorgegründen grundsätzlich einer Hygienisierung unterzogen werden sollten.

### Abwasser und Klärschlamm

Mit dem Abwasser aus Haushalten, der industriellen Verarbeitung und vergleichbaren Einleitern können Schadorganismen von Pflanzen und Samen auch in den Klärschlamm eingetragen werden. Die aktuelle Klärschlammverordnung enthält keine Behandlungsvorgaben zur Hygienisierung. Bei den in Deutschland üblichen Stabilisierungsverfahren für Klärschlamm zur landwirtschaftlichen Verwertung überwiegen nach KLAGES et al., 2009 die simultane aerobe Stabilisierung und die nachgeschaltete einstufige, anaerobe und mesophile Stabilisierung. Deren hygienisierende Wirkung muss geringer eingeschätzt werden, als die nach der Bioabfallverordnung (ANONYM, 2012 b) vorgeschriebenen Behandlungen, die ebenfalls bei Klärschlamm angewendet werden könnten. Nach STEINMÖLLER, 2008 sind die in Deutschland angewendeten Verfahren nur bedingt zu Abtötung relevanter Schadorganismen geeignet. Eine Klärschlammhygienisierung wird nach Klages et al., 2009 in Deutschland aus Kostengründen praktisch nicht umgesetzt. Weitergehende Klärschlammbehandlungsverfahren mit hoher Temperatureinwirkung könnten eine effektivere Hygienisierung bewirken. Es besteht jedoch erheblicher Forschungsbedarf nach einer Überprüfung potentieller weitergehender Klärschlammbehandlungsverfahren für phytopathogene Erreger und Samen.

### Torf, Kultursubstrate und abgetragene Pilzkultursubstrate

Natürliche Torfabbaustätten bergen in der Regel ein geringes pflanzengesundheitliches Risiko, aber durch Einschleppung von Schadorganismen, z. B. durch landwirtschaftliche Vornutzung oder Windverfrachtung können Kontaminationen auftreten, denen durch Hygienemaßnahmen zu begegnen ist. Da eine Erhitzung des Torfes unerwünscht ist, sollte nur Torf von Flächen ohne landwirtschaftliche Vornutzung gewonnen werden. Ähnlich wie Torf sind Kultursubstrate zu bewerten, da sie einen hohen Anteil an Torf besitzen. Bei organischen Zuschlagstoffen von Kultursubstraten muss generell je nach Herkunft und Vorbehandlung ein phytosanitäres Risiko in Betracht gezogen werden. In organischen und mineralischen Bodenmaterialien können Nematoden und bodenbürtige Schadorganismen vorkommen. Auch für diese Materialien sollte eine risikoabhängige Hygienisierung erfolgen, um insbesondere den Eintrag von Quarantäneschadorganismen zu verhindern. Demgegenüber werden abgetragene Pilzkultursubstrate als risikoarm angesehen, da sie vor und nach der Pilzkultur einer Hygienisierung durch hohe Temperaturen ausgesetzt werden.

## 12 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studie wurde Literatur zu den verschiedenen organischen Düngemitteln, die sich aus Anlage 2, Tabelle 7 der Düngemittelverordnung ableiten lassen, hinsichtlich seuchen- und phytohygienischer Relevanz gesichtet und hinsichtlich ihres hygienischen Status beurteilt. Zu diesen organischen Düngemitteln zählen folgende drei Stoffgruppen:

1. pflanzliche Stoffe
2. tierische Nebenprodukte
3. andere Stoffe und Organismen, auch Gemische

Zur Stoffgruppe 1 gehören folgende Stoffe: pflanzliche Stoffe, Torf, Moorschlamm, Heilerde, pflanzliche Stoffe aus der Lebens-, Genuss- und Futtermittelherstellung, pflanzliche Stoffe aus der Herstellung technischer Alkohole, pflanzliche Stoffe aus der Energiegewinnung, pflanzliche Stoffe aus der Verarbeitung von Heil- und Gewürzpflanzen, Küchen- und Kantinenabfälle, Reet, Huminsäuren, Algen, Sphagnum, Filtrationsrückstände aus der Herstellung von Lebens-, Genuss- und Futtermitteln, pflanzliches Filtermaterial aus der biologischen Abluftreinigung, Rizinusschrot, pflanzliches Abfisch- und Rechengut, Fermentationsrückstände aus der Enzymproduktion, Fermentationsrückstände aus der Vitaminproduktion, Fermentationsrückstände aus der Arzneimittelproduktion, pflanzliches Eiweißhydrolysat und pflanzliche Aminosäuren, Kohlen.

In die Stoffgruppe 2 werden folgende Stoffe eingeteilt: Gülle, Festmist, Jauche, Magen- und Darminhalte, Stoffe aus der Behandlung von Abwässern, Stoffe von Tieren und Tierteilen, hemmstoffhaltige Milch, tierische Exkremeente nicht von Nutztieren, Fermentationsrückstände der Enzymproduktion aus tierischen Stoffen, Guano, Abwässer aus der Verarbeitung von tierischen Stoffen.

Zur Stoffgruppe 3 werden folgende Stoffe gezählt: Abwasser aus der Herstellung von synthetischem Methionin, Schlämme, Flotate und Fugate aus der Nahrungsmittelindustrie, Klärschlämme, organische Abfälle aus der getrennten Sammlung aus privaten Haushaltungen, Küchen- und Speiseabfälle, lebende Mikroorganismen, abgetötete Mikroorganismen, synthetische Polymere, Heilerden, (Styropor).

Die Sichtung der Literatur erfolgte über das Datenbank-Infosystem (DBIS) des Kommunikations-, Informations- und Medienzentrums der Universität Hohenheim bzw. zu Themen der Phytohygiene über die Datenbank „Web of Science“. Das DBIS beinhaltet verschiedene Datenbanken, die frei zugänglich oder lizenziert sind, wie z. B. PubMed, Medline, Agris und NAL Catalog (AGRICOLA) und die für dieses Forschungsvorhaben von Bedeutung sind. In diesen Datenbanken wurden wissenschaftliche Artikel mit entsprechenden Stichwörtern (u. a. bakterielle, virale und parasitäre Krankheitserreger) recherchiert. Außerdem wurden Veröffentlichungen zum Forschungsthema mit Google-

Scholar gesucht. Die Ergebnisse aus den in der Literatur beschriebenen Untersuchungen zu den oben genannten Stoffen wurden im Hinblick auf mögliche Hygienrisiken analysiert. Als Kriterien dienten das Vorkommen von Seuchen- bzw. Infektionserregern im Substrat, die Höhe der Erregerkonzentration im Substrat, die Tenazität der Erreger, Art des Erregers (Parasit, Virus, Bakterium, Spore), Übertragungswege für die Erreger, Vorhandensein von Vektoren (Schadnager, Wildtiere, Insekten) sowie die Infektionsdosis. Insbesondere wurden der Hygienestatus des Substrates und die Hygienrisiken bei der Anwendung von organischen Düngemitteln betrachtet und bewertet. Die organischen Düngemittel wurden aus seuchenhygienischer Sicht in 3 verschiedene Risikoklassen eingeteilt. Risikoklasse I beinhaltet alle Stoffe der Tabelle 7, für die ein geringes Risiko besteht. In diese Klasse wurden folgende Stoffe eingeteilt: Heilerde, Reet, Rizinusschrot, Fermentationsrückstände aus der Enzymproduktion, Fermentationsrückstände aus der Vitaminproduktion, Fermentationsrückstände aus der Arzneimittelproduktion, pflanzliches Eiweißhydrolysat und pflanzliche Aminosäuren, Kohlen, Klärschlamm, hygienisiert, Abwasser aus der Herstellung von synthetischem Methionin, Klärschlamm, hygienisiert, Bioabfall, behandelt, Bioabfall, behandelt (Pasteurisierung), behandelter Bioabfall (thermophile Kompostierung), behandelter Bioabfall (thermophile Vergärung, vgl. BioAbfV), Kompost, Gärreste aus der thermophilen NaWaRo-Vergärung, Gärreste aus der thermophilen Güllevergärung mit oder ohne NaWaRo, abgetötete Mikroorganismen. In die Risikoklasse II wurden die Stoffe eingeteilt, für die ein mittleres Hygienrisiko besteht. Folgende Stoffe wurden in diese Risikoklasse eingeteilt: Torf, Moorschlamm, pflanzliche Abfälle aus der Lebens-, Genuss- und Futtermittelherstellung, pflanzliche Abfälle aus der Herstellung technischer Alkohole, pflanzliche Abfälle aus der Energiegewinnung, pflanzliche Abfälle aus der Verarbeitung von Heil- und Gewürzpflanzen, Huminsäuren, Algen, Sphagnum, Filtrationsrückstände aus der Herstellung von Lebens-, Genuss- und Futtermitteln, Pilzkultursubstrate (Abtötung der Pilzkulturen durch Dämpfung), Schlämme, Flotate und Fugate aus der Nahrungsmittelindustrie, Kultursubstrate, Gärreste aus der mesophilen NaWaRo-Vergärung, Gärreste aus der mesophilen Güllevergärung mit oder ohne NaWaRo. Die Risikoklasse III beinhaltet Stoffe mit einem hohen hygienischen Risiko. In diese Klasse wurden Küchen- und Kantinenabfälle, pflanzliches Filtermaterial aus der biologischen Abluftreinigung, pflanzliches Abfisch- und Rechengut aus der Gewässerbewirtschaftung, Gülle von Rindern, Schweinen, Hühnern, Festmist, Jauche, Pferdemist, Hofdünger, Magen- und Darminhalte, Stoffe aus der Behandlung von Abwässern, Stoffe von Tieren und Tierteilen, hemmstoffhaltige Milch, tierische Exkreme nicht von Nutztieren, Fermentationsrückstände der Enzymproduktion aus tierischen Stoffen, Guano, Abwässer aus der Verarbeitung von tierischen Stoffen, unbehandelte Klärschlämme, organische Abfälle aus der getrennten Sammlung aus privaten Haushaltungen, Küchen- und Speiseabfälle, unbehandelter Bioabfall, lebende Mikroorganismen, synthetische Polymere

eingeteilt. Die Einteilung erlaubt einen Überblick zur hygienischen Situation der organischen Dünger und kann für notwendige Änderungen bestehender düngemittelrechtlicher Regelungen herangezogen werden. Eine Risikoabschätzung zur Verwertung bestimmter organischer Dünger hat ergeben, dass aus seuchen- und phytohygienischer Sicht bestehende Hygieneregulungen im Düngerecht angepasst bzw. geändert werden sollten. Zu möglichen Änderungsvorschlägen sind im Detail noch Wissenslücken vorhanden, die durch unbedingt durchzuführende Forschungsvorhaben geschlossen werden sollten.

Es werden Szenarien zur Gestaltung einer zukünftigen organischen Düngerverwertung dargestellt, die bei entsprechender Umsetzung eine vermeidbare Kontamination der Umwelt mit Erregern bei der Düngermanwendung ermöglichen. Ziel dabei ist es, die organische Düngerverwertung aus hygienischer Sicht einheitlich bzw. gleichgeschaltet zu praktizieren, unabhängig von den Zuständigkeiten und den unterschiedlichen Rechtsbereichen, denen die verschiedenen organischen Dünger im Einzelnen unterliegen. Die Szenarien der zukünftigen umweltverträglichen und seuchen- sowie phytohygienisch unbedenklichen organischen Düngerverwertung beschränken sich auf Stoffe in Risikoklasse III und damit auf Gülle, Gärreste und Klärschlämme.

Für Gülle, die anaerob in Biogasanlagen mit 80 %-igem Gülleanteil gefahren werden und deren Gärreste in Verkehr gehen, ist ein sog. „Hygienisierungsbonus“ denkbar unter der Voraussetzung, dass die Biogasanlage entweder eine Vollstromhygienisierung (Pasteurisierung aller Substrate incl. Gülle) oder thermophile Fahrweise entsprechend den Vorgaben der BioAbfV betreibt („Behandlungspflicht“). Die Teilnahme an einer Gütesicherung ist empfehlenswert. Auch eine weitere Erhöhung des Güllebonus wäre denkbar; andererseits allerdings auch eine Senkung des prozentualen Gülleanteils, um dem jetzigen, regional verstärkten „Gülletourismus“ Einhalt zu gewähren. Die Reduktion des Gülleanteils von 80 % z. B. auf 60 % könnte durch Zugabe von TNP und Bioabfällen kompensiert werden. Für Gülle, die in Verkehr geht und Klärschlämme (Stoffe der Risikoklasse III) zur landwirtschaftlichen Verwertung: steht eine sog. Untersuchungspflicht („Erleichterungsbonus“) zur Diskussion.

Dabei könnte für das Inverkehrbringen von Gülle und die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlämmen die Behandlungspflicht entfallen, sofern eine regelmäßige Qualitätsüberwachung durch die Teilnahme an einer Gütesicherung mit ergänzenden mikrobiologischen Untersuchungen erfolgt. Eine Behandlung zum Zwecke der Hygienisierung wäre dann nicht grundsätzlich Pflicht.

Die Inhalte dieses Berichtes zu phytohygienischen Aspekte wurden durch Frau Dr. Pietsch vom Julius-Kühn-Institut bearbeitet.

### 13 Literaturverzeichnis

**ABDULLAH, A. M.; M. N. HASSAN; W. N. A. SULAIMAN (2005):** Chicken Manure Production and Treatment in Malaysia. In: KÖRNER, I.; R. STEGMANN; M. N. HASSAN; A. M. ABDULLAH; J. HUIJSMANS; N. OGINK (Eds.): CHIMATRA – Chicken Manure Treatment and Application, Proceedings of the International Workshop, Hamburg, January 2005, Hamburger Berichte 28, Verlag Abfall *aktuell*, Stuttgart, 23-40

**ADE-KAPPELMANN, K. (2008):** Untersuchungen zur seuchenhygienischen Unbedenklichkeit von Gärresten aus Bioabfällen nach der Behandlung in Anaerobanlagen. Vet.-med. Diss., Freie Universität Berlin

**ALBER, G. (1995):** Charakterisierung von Keimaerosolen im Hinblick auf die zu erwartenden Emissionen durch starke Quellen. Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim, DEUGRO Verlag, Esslingen

**ALEXY, R. (2005):** Verbrauch und Eintrag von Antibiotika in die aquatische Umwelt. In: Arzneimittel in der Umwelt - Zu Risiken und Nebenwirkungen fragen Sie das Umweltbundesamt, Umweltbundesamt, Dessau, 71-78

**ALTEKRUSE, S. F.; N. J. STERN; P. I. FIELDS; D. L. SWERDLOW (1999):** *Campylobacter jejuni* – An Emerging Foodborne Pathogen. Emerging Infectious Diseases **5**, No. 1, 28-35

**ALTHAUS, H.; W. DOTT; G. HAVEMEISTER; H. E. MÜLLER; C. SACRÉ (1982):** Fäkal-Streptokokken als Indikatorkeime des Trinkwassers. Zentralblatt für Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene, I. Abt. Orig. A **252**, 154-165

**ALTHAUS, H.; M. SAUERWALD; E. SCHRAMMECK (1983):** Hygienische Aspekte bei der Abfallbeseitigung. Zentralblatt für Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene, I. Abt. Orig. B **178**, 1-29

**AMMON, A. (2012):** Epidemiologie der Infektionskrankheiten. In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 151-156

**ANONYM (1985):** Landwirtschaft und Umwelt. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten, Baden-Württemberg, Stuttgart

**ANONYM (1989):** Merkblatt - Silage, Festmist, Jauche und Gewässerschutz. Ministerium für Umwelt und Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Baden-Württemberg, Stuttgart

**ANONYM (1991):** Gülle – ein wertvoller Wirtschaftsdünger. Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AID) e. V., Bonn, AID-Heft 1149

---

**ANONYM (1992):** Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vom 15. April 1992. Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 21, 912-934

**ANONYM (1998 a):** Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung – BioAbfV) vom 21. September 1998. Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 65, 2955-2982

**ANONYM (1998 b):** Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17. März 1998. Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 16, 502-510; zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 30 des Gesetzes vom 24. Februar 2012, Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 10, 212-264

**ANONYM (2000 a):** Broschüre zur Betrachtung landwirtschaftlicher Betriebe im Märkischen Kreis aus wasserwirtschaftlicher Sicht. Märkischer Kreis, Amt für Umweltschutz, Untere Wasserbehörde, Lüdenscheid, 2. Auflage

**ANONYM (2000 b):** Erkennung, Behandlung, Verhütung und Bekämpfung der Rinder-Bandwurm-Infektion beim Menschen. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz **70**, Nr. 8, 650-652

**ANONYM (2000 c):** Gärtnerische Kultursubstrate. Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AID) e. V., Bonn, aid-Heft 1085/2000

**ANONYM (2000 d):** Pflanzenbeschauverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. April 2000. Bundesgesetzblatt Teil I S. 337, zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 20. Dezember 2011, Bundesgesetzblatt Teil I S. 2927

**ANONYM (2000 e):** Richtlinie 2000/29/EG des Rates vom 8. Mai 2000 über Maßnahmen zum Schutz der Gemeinschaft gegen die Einschleppung und Ausbreitung von Schadorganismen der Pflanzen und Pflanzenerzeugnisse. ABl. L 169 vom 10.7.2000, S. 1 zuletzt geändert durch Richtlinie 2010/1/EU der Kommission vom 8. Januar 2010, ABl. L 7 vom 12.1.2010, S.17

**ANONYM (2001):** Verordnung zur Bekämpfung der Bakteriellen Ringfäule und der Schleimkrankheit vom 5. Juni 2001. Bundesgesetzblatt Teil I S. 1006, 1008), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 22. Oktober 2007, Bundesgesetzblatt Teil I S. 2494

**ANONYM (2002):** Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 3. Oktober 2002 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 273 vom 10.10.2002, 1-95

**ANONYM (2003):** The health status of the European Union. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

---

**ANONYM (2004 a):** Leitlinien zur Anwendung der neuen Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 über tierische Nebenprodukte. Europäische Kommission, Generaldirektion Gesundheit und Verbraucherschutz, Referat Biologische Risiken, Brüssel, Belgien

**ANONYM (2004 b):** Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz (TierNebG). Artikel 1 des Gesetzes zur Durchführung gemeinschaftlicher Vorschriften über die Verarbeitung und Beseitigung von nicht für den menschlichen Verzehr bestimmten tierischen Nebenprodukten vom 25. Januar 2004, Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 4, 82-87

**ANONYM (2006 a):** Organische Düngung - Grundlagen der guten fachlichen Praxis - aus der Reihe „Kompost für die Landwirtschaft“. Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V., Köln, 3. Auflage

**ANONYM (2006 b):** Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung (TierNebV) vom 27. Juli 2006. Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 37, 1735-1752, zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung zur Änderung der Bioabfallverordnung, der Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung und Düngemittelverordnung vom 23. April 2012, Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 17, 611-660

**ANONYM (2006 c):** Who guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, excreta and greywater use in agriculture. World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland, Vol. 4

**ANONYM (2007 a):** Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in den landwirtschaftlichen Betrieben des Freistaates Sachsen. Statistische Berichte, Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen, Kamenz

**ANONYM (2007 b):** Gärreste aus Biogasanlagen – Nähr- und Schadstoffe, Einsatzmöglichkeiten im Ackerbau. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Außenstelle Forchheim, Rheinstetten

**ANONYM (2007 c):** Paratuberkulose beim Rind. aid Infodienst Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz e. V., Bonn, aid-Heft 1531/2007, 2. überarbeitete Auflage

**ANONYM (2007 d):** Düngeverordnung vom 27. Februar 2007. Bundesgesetzblatt Teil I, S. 221, zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 36 des Gesetzes vom 24. Februar 2012, Bundesgesetzblatt Teil I, S. 212

**ANONYM (2008 a):** Merkblatt – Gülle-Festmist-Jauche-Silagesickersaft-Gärreste – Gewässerschutz (JGS-Anlagen). Umweltministerium und Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum in Baden-Württemberg, Stuttgart

**ANONYM (2008 b):** Kompost in der Landwirtschaft. aid Infodienst Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz e. V., Bonn, aid-Heft 1476/2008, 1. überarbeitete Auflage

**ANONYM (2008 c):** Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung - DüMV). Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 60, 2524-2581

**ANONYM (2009 a):** Düngegesetz vom 09.01.2009. Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 4, 54-60, mit Berichtigung des Düngegesetzes vom 28.01.2009, Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 5, 136

**ANONYM (2009 b):** Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 21. Oktober 2009 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 (Verordnung über tierische Nebenprodukte). Amtsblatt der Europäischen Union L 300 vom 14.11.2009, 1-33

**ANONYM (2009 c):** Biogasgärreste – Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising-Weihenstephan, 2. Auflage

**ANONYM (2009 d):** Wirtschaftsdünger und Gewässerschutz - Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern in der Landwirtschaft. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising-Weihenstephan, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, 1. Auflage

**ANONYM (2009 e):** Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG). Artikel 1 des Gesetzes zur Neuregelung des Wasserrechts, Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 51, 2585-2615

**ANONYM (2010 a):** Kultursubstrate im Gartenbau. aid Infodienst Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz e. V., Bonn, aid-Heft 1085/2010, 2. Auflage

**ANONYM (2010 b):** Handbook on Import Risk Analysis for Animals and Animal Products – Introduction and qualitative risk analysis. World Organization for Animal Health (OIE), Paris, France, Vol. 1, 2<sup>nd</sup> edition

**ANONYM (2010 c):** Neufassung der Klärschlammverordnung (AbfKlärV). 2. Arbeitsentwurf - (noch nicht innerhalb der Bundesregierung abgestimmt), Stand: 20.08.2010, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn

**ANONYM (2010 d):** Verfahren für eine weitergehende Klärschlammbehandlung zum Zwecke der Reduzierung von Schadorganismen. Anlage 2 zur Neufassung der Klärschlammverordnung (AbfKlärV), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn

**ANONYM (2010 e):** Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdünger vom 21.07.2010. Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 40, 1062-1063

---

**ANONYM (2010 f):** Verordnung zur Bekämpfung des Kartoffelkrebses und der Kartoffelzystennematoden vom 6. Oktober 2010. Bundesgesetzblatt Teil I, S. 1383

**ANONYM (2010 g):** Leitfaden für gesundheitliche Bewertungen, Ausgabe 2010, BfR Bundesinstitut für Risikobewertung, Fachgruppe Clearing, EFSA-Kontaktstelle, Kommissionen, Abteilung Risikokommunikation, Berlin

**ANONYM (2011 a):** Beratungsgrundlagen für die Düngung im Ackerbau und auf Grünland in Baden-Württemberg. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Karlsruhe, 1. Auflage

**ANONYM (2011 b):** Verordnung (EU) Nr. 142/2011 der Kommission vom 25. Februar 2011 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte sowie zur Durchführung der Richtlinie 97/78/EG des Rates hinsichtlich bestimmter gemäß der genannten Richtlinie von Veterinärkontrollen an der Grenze befreiter Proben und Waren. Amtsblatt der Europäischen Union vom 26.02.2011, L 54, 1-254

**ANONYM (2011 c):** Bekanntmachung der Neufassung der Trinkwasserverordnung, vom 28. November 2011. Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 61, 2370-2396

**ANONYM (2011 d):** World Veterinary Year 2011 - Zoonoses. EU Kommission, Generaldirektion Gesundheit und Verbraucher, Brüssel, Belgien, [http://www.ec.europa.eu/dgs/health\\_consumer/information\\_sources/docs/ahw/zoonoses\\_en.pdf](http://www.ec.europa.eu/dgs/health_consumer/information_sources/docs/ahw/zoonoses_en.pdf)

**ANONYM (2011 e):** Tiergesundheitsbericht 2010. Friedrich-Loeffler-Institut (FLI), Greifswald-Insel Riems, 11. Jahrgang

**ANONYM (2011 f):** Anzeigepflichtige Tierseuchen. aid Infodienst Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz e. V., Bonn, aid-Heft 1046/2011, 11. Auflage

**ANONYM (2011 g):** Ergebnisbericht - Untersuchung von Gärrückständen. Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL), Freistaat Sachsen, Leipzig

**ANONYM (2012 a):** Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG). Artikel 1 des Gesetzes zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts, vom 24. Februar 2012, Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 10, 212-246

**ANONYM (2012 b):** Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung - BioAbfV), vom 21. September 1998, Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 65, 2955-2982. Zuletzt geändert mit der Verordnung zur Änderung der Bioabfallverordnung, der Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung und der Düngemittelverordnung vom 23. April 2012, Artikel 1 und Artikel 4, Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 17, 611-660

---

**ANONYM (2012 c):** Veterinary public health (VPH). World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland, <http://www.who.int/zoonoses/vph/en/>

**ANONYM (2012 d):** Ferkeldurchfall durch mangelnde Hygiene. DLG-Mitteilungen **127**, Nr. 8, 9

**ANONYM (2012 e):** Informationen zu Milzbrand. Friedrich-Loeffler-Institut (FLI), Greifswald-Insel Riems, Stand Juli 2012

**ANONYM (2012 f):** Infektionsepidemiologisches Jahrbuch meldepflichtiger Krankheiten für 2011. Robert Koch-Institut, Berlin

**ANONYM (2012 g):** Milzbrand – 50 Menschen behandelt. Ludwigsburger Kreiszeitung **195**, Nr. 161, 19

**ANONYM (2012 h):** Schutz vor lebensmittelbedingten Infektionen mit Listerien. Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Berlin

**ANONYM (2012 i):** Definition Kompost. VHE – Verband der Humus- und Erdenwirtschaft e. V., Aachen, <http://www.vhe.de/kompostanwendung/kompost-in-der-landwirtschaft/komposteigenschaften/definition>

**ANONYM (2012 j):** VHE Bioabfallkarten 2012 – Bio- und Grünguterfassung in Deutschland. VHE – Verband der Humus- und Erdenwirtschaft e. V., Aachen, <http://www.vhe.de/aktuelles>

**ANONYM (2012 k):** Zoonose-Erreger breiten sich aus. top agrar **41**, Nr. 9, S25

**ANONYM (2012 l):** Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz - PflSchG) vom 6. Februar 2012. Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 148, 1281

**ANONYM (2012 m):** Erneuerbare Energien in Zahlen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Juli 2012, 136 Seiten

**ASSMANN, E. (1992):** Mikrobiologische Untersuchungen von Luft und Substrat im Bereich der Bioabfallkompostierung. Diplomarbeit, Institut für Umwelt- und Tierhygiene sowie Tiermedizin mit Tierklinik, Universität Hohenheim

**AUCKENTHALER, A. (2003):** Pathogene Mikroorganismen im Trinkwasser. In: AUCKENTHALER, A.; P. HUGGENBERGER (Hrsg.): Pathogene Mikroorganismen im Grund- und Trinkwasser, Birkhäuser Verlag, Basel, Boston, Berlin, 5-37

**AUGUSTIN, B.; U. PREISS (2012):** Wirkung der Biogasfermentation auf bodenbürtige Phytopathogene. Julius-Kühn-Archiv **438**, 339

**AVERY, L. M.; P. BOOTH; C. CAMPBELL; D. TOMPKINS; R. L. HOUGH (2012):** Prevalence and survival of potential pathogens in source-segregated green waste compost. Science of the Total Environment **431**, 128-138

- 
- AVERY, L. M.; K. KILLHAM; D. L. JONES (2005):** Survival of *E. coli* O157:H7 in organic wastes destined for land application. *Journal of Applied Microbiology* **98**, 2; 814-822
- AVERY, S. (2006):** Microbial Food-borne Pathogens. In: BUNCIC, S.: *Integrated Food Safety and Veterinary Public Health*, CABI, Oxfordshire, United Kingdom, Cambridge, USA, 5-26
- BAGGE, E. (2009):** Hygienic Aspects of the Biogas Process with Emphasis on Spore-Forming Bacteria. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala
- BALDURSSON, S.; P. KARANIS (2011):** Waterborne transmission of protozoan parasites: Review of worldwide outbreaks – An update 2004-2010. *Water Research* **45**, No. 20, 6603-6614
- BANDTE, M.; Y. SCHLEUSNER; C. BÜTTNER (2011):** Bedeutung von phytopathogenen Krankheitserregern. In: *Untersuchungen zum phytosanitären Risiko bei der anaeroben Vergärung von pflanzlichen Biomassen in Bioanlagen*, KTBL-Fachgespräch 14. November 2011, Berlin, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (Hrsg.), Darmstadt
- BANGE, F.-C.; H. HAHN; S. H. E. KAUFMANN; T. ULRICHS (2012):** Mykobakterien. In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): *Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 341-355
- BARTH, D. (2000):** Beurteilung von Parasiten in Futtermitteln sowie tierischen Fäkalien. In: *Potenzielle Schadorganismen und Stoffe in Futtermitteln sowie in tierischen Fäkalien*, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn, Mitteilung 4, WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 218-237
- BAUER, C. (2006):** Parasitenstadien als umwelthygienisches Problem. In: SCHNIEDER, T. (Hrsg.): *Veterinärmedizinische Parasitologie*, Parey in MVS Medizinverlage Stuttgart GmbH & Co. KG, Stuttgart, 6. Auflage, 105-118
- BAUER, J.; S. HÖRMANSDORFER (2000):** Bakterien in Futtermitteln. In: *Potenzielle Schadorganismen und Stoffe in Futtermitteln sowie in tierischen Fäkalien*, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn, Mitteilung 4, WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 56-101
- BAUERFEIND, R. (2011 a):** *Campylobacter, Arcobacter, Helicobacter* und *Spirillum*. In: SELBITZ, H.-J.; U. TRUYEN; P. VALENTIN-WEIGAND (Hrsg.): *Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre*, Enke Verlag, Stuttgart, 9. Auflage, 145-155

**BAUERFEIND, R. (2011 b):** Gramnegative aerobe/mikroaerophile Stäbchen und Kokken. In: SELBITZ, H.-J.; U. TRUYEN; P. VALENTIN-WEIGAND (Hrsg.): Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre, Enke Verlag, Stuttgart, 9. Auflage, 156-184

**BEASLEY, V. (2005):** Ecosystem Health Concepts and Practice from the Veterinary Hygiene Point of View. In: XII<sup>th</sup> International Congress on Animal Hygiene, Warsaw, Poland, 4 – 8 September 2005, 81-88

**BECH, T.; A. DALSGAARD; O. S. JACOBSEN; C. S. JACOBSEN (2011):** Leaching of *Salmonella enterica* in Clay Columns Comparing Two Manure Application Methods. Ground Water **49**, No. 1, 32-42

**BENDIXEN, H. J. (1999):** Hygienic Safety – Results of Scientific Investigations in Denmark (Sanitation Requirements in Danish Biogas Plants. In: Hygienic and Environmental Aspects of Anaerobic Digestion: Legislation and Experiences in Europe, IEA Bioenergy Workshop, 29 to 31 March 1999, Stuttgart-Hohenheim, Volume II, Verlag der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e. V., Gießen, 27-47

**BERGDORF, V. (1989):** Virologische Untersuchungen über die Eignung der Düngerverpackung gemäß Paragraph 14 Nr. 1 der Anlage A-BAVG zur Desinfektion von Festmist. Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim

**BERGER, A.; V. FINGERLE; A. SING (2012 a):** Treponemen. In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 359-371

**BERGER, A.; V. FINGERLE; A. SING (2012 b):** Leptospiren. In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 379-382

**BEST, E.; W. MÜLLER; D. STRAUCH (1971):** Untersuchungen über die Tenazität von Krankheitserregern in tierischen Fäkalien. 4. Mitteilung: Tenazitätsversuche mit Salmonellen in natürlich gelagerten Flüssigmisten von Rindern und Kälbern. Berliner und Münchner Tierärztliche Wochenschrift **84**, 184-188

**BINH, C. T. T.; H. HEUER; M. KAUPENJOHANN; K. SMALLA (2008):** Piggery manure used for soil fertilization is a reservoir for transferable antibiotic resistance plasmids. FEMS Microbiology Ecology **66**, 25-37

**BISCHOFBERGER, W.; N. DICHTL; K.-H. ROSENWINKEL; C. F. SEYFRIED; B. BÖHNKE (2005):** Anaerobtechnik. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2., vollständig überarbeitete Auflage

---

**BOCKEMÜHL, J. (1992 a):** Enterobacteriaceae. In: BURKHARDT, F. (Hrsg.): Mikrobiologische Diagnostik, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 119-153

**BOCKEMÜHL, J. (1992 b):** Bakterielle Zoonosen. In: BÖHM, R. (Hrsg.): Bericht des 4. Hohenheimer Seminars „Aktuelle Zoonosen“, DVG Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft, Gießen, 24-28

**BOCKEMÜHL, J.; B. WOHLERS (1984):** Zur Problematik der Kontamination unbehandelte Trockenprodukte der Lebensmittelindustrie mit Salmonellen. Zentralblatt für Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene, I. Abt. Orig. B **178**, 535-541

**BÖHM, R. (1993 a):** Fragen der Hygiene bei der Sammlung und Kompostierung von Bioabfällen. In: Vereinigung österreichischer Entsorgungsbetriebe (VÖEB): Bioabfall-Kompostierung in Österreich, Premier Public Relations Ges.m.b.H., Salzburg, 45-68

**BÖHM, R. (1993 b):** Hygieneaspekte bei der getrennten Sammlung sowie der Handhabung von Bioabfällen. In: RHINO-Fachkongreß Bioabfall-Management '93, RHINO Rheinisches Institut für Ökologie, Köln, 98-110

**BÖHM, R. (1993 c):** Verhalten ausgewählter Salmonellen in der Umwelt. Deutsche tierärztliche Wochenschrift **100**, Nr. 7, 275-278

**BÖHM, R. (1998):** Grundsätzliche Probleme, die mit der Erfassung von Bioaerosolen und der Interpretation der Messergebnisse verbunden sind. In: BÖHM, R.; J. UNSHELM (Hrsg.): Bericht der Tagung der Fachgruppe „Umwelt- und Tierhygiene“, 25. - 26. März, München, Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V., Gießen, 203-209

**BÖHM, R. (1999):** Begründung der Hygieneregelung und vergleichbare Regelungen in anderen Ländern. In: 7. Hohenheimer Seminar: Biologische Abfallbehandlung - Erste Erfahrungen mit der Bioabfallverordnung in Deutschland, 29.-31. März 1999, Stuttgart-Hohenheim, Verlag der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e. V., Giessen, Band I, 31-47

**BÖHM, R. (2002 a):** Aspekte der Seuchenhygiene und Anforderung an die Verwertung von Klärschlamm, Kompost und Gülle. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) (Hrsg.): Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm, Gülle und anderen Düngern unter Berücksichtigung des Umwelt- und Verbraucherschutzes, KTBL-Schrift 404, KTBL, Darmstadt, 61-84

**BÖHM, R. (2002 b):** Grundlagen der Reinigung und Desinfektion. In: STRAUCH, D.; R. BÖHM (Hrsg.): Reinigung und Desinfektion in der Nutztierhaltung und Veredelungswirtschaft, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 2. Auflage, 19-63

**BÖHM, R. (2004):** Investigations on microbial indicators and/or test-organisms in supervision of hygienic safety in co-digestion of animal slurry, biowastes and/or animal byproducts. In: MADEC, F.; G. CLEMENT (Eds.): Animal production in Europe: The way

---

forward in a changing world, In between Congress of the International Society for Animal Hygiene, St. Malo, France, 11<sup>th</sup> – 13<sup>th</sup> October 2004, Vol. 1, 283-284

**BÖHM, R. (2006):** Seuchenhygienische Anforderungen an organische Düngemittel – Schwerpunkt kommunale Klärschlämme. Vortrag auf der BMU-Fachtagung „Perspektiven der Klärschlammverwertung - Ziele und Inhalte einer Novelle der Klärschlammverordnung“, 06. und 07. Dezember 2006, Bonn

**BÖHM, R. (2007):** Seuchenhygienische Anforderungen an organische Düngemittel - Schwerpunkt kommunale Klärschlämme. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.): Perspektiven der Klärschlammverwertung, KTBL-Schrift 453, KTBL, Darmstadt, 41-55

**BÖHM, R.; F. GÖZALAN; W. PHILIPP (2004):** Comparative study on antibiotic resistance in selected bacterial species isolated from wastewater originating from slaughterhouses and of municipal sources. In: MADEC, F.; G. CLEMENT (Eds.): Animal production in Europe: The way forward in a changing world, In between Congress of the International Society for Animal Hygiene, St. Malo, France, 11<sup>th</sup> – 13<sup>th</sup> October 2004, Vol. 1, 277

**BÖHM, R.; R. H. KUHLMANN; D. STRAUCH (1984):** The effect of Microwave Treatment on Viruses in Liquid Manure. *Agricultural Wastes* **9**, No. 2, 147-154

**BÖHM, R.; W. MARTENS; P. M. BITTIGHOFER (1998):** Aktuelle Bewertung der Luftkeimbelastung in Abfallbehandlungsanlagen. M.I.C. Baeza Verlag, Witzenhausen, 1. Auflage

**BOERNER, H. (2009):** Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg

**BÖTNER, A. (1991):** Survival of Aujeszky's disease viruses in slurry at various temperatures. *Veterinary Microbiology* **29**, 3-4, 225-235

**BÖTNER, A; G. J. BELSHAM (2012):** Virus survival in slurry: Analysis of the stability of foot-and-mouth disease, classical swine fever, bovine viral diarrhoea and swine influenza viruses. *Veterinary Microbiology* **157**, 1-2, 41-49

**BOUTIN, P.; M. TORRE; J. MOLINE (1987):** Bacterial and fungal atmospheric contamination at refuse composting plants: a preliminary study. In: DE BERTOLDI, M.; M. P. FERRANTI; P. L'HERMITE; F. ZUCCONI (Eds.): Compost: production, quality and use. Elsevier Applied Science, London and New York, 266-275

**BOWIE, W. R.; A. S. KING; D. H. WERKER; J. L. ISAAC-RENTON; A. BELL; S. B. ENG; S. A. MARION (1997):** Outbreak of Toxoplasmosis Associated with Municipal Drinking Water. *The Lancet* **350**, No. 9072, 173-177

**BRANDT, S. (2011):** Nutzung von Klärschlamm als Rohstoffquelle – Akuteller Stand in Deutschland und in der Europäischen Union sowie Perspektiven für die Zukunft. Masterarbeit, ZQS Studiengang Umweltschutz, Universität Rostock, [http://www.andrakar.com/brandt/Rohstoffquelle\\_Klaerschlamm\\_Perspektiven\\_Br0211.pdf](http://www.andrakar.com/brandt/Rohstoffquelle_Klaerschlamm_Perspektiven_Br0211.pdf)

**BREITENFELDT, P. (2000):** Untersuchungen zur Human- und Veterinärhygiene der Bioabfallkompostierung. Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim

**BRIANCESCO, R.; A. M. COCCIA; G. CHIARETTI; S. DELLA LIBERA; M. SEMPRONI; L. BONADONNA (2008):** Assessment of microbiological and parasitological quality of composted wastes: health implications and hygienic measures. *Waste Management & Research* **26**, 196–202

**BRODT, H. R. (2006 a):** Adenoviren. In: CASPARY, W. F.; M. KIST; J. STEIN (Hrsg.): *Infektiologie des Gastrointestinaltraktes*, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 399-402

**BRODT, H. R. (2006 b):** Astroviren und Toroviren. In: CASPARY, W. F.; M. KIST; J. STEIN (Hrsg.): *Infektiologie des Gastrointestinaltraktes*, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 403-405

**BRODT, H. R. (2006 c):** Rotaviren. In: CASPARY, W. F.; M. KIST; J. STEIN (Hrsg.): *Infektiologie des Gastrointestinaltraktes*, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 387-391

**BRODT, H. R.; W. F. CASPARY (2006):** Noroviren (Norwalk- und Norwalk-like-Infektionen). In: CASPARY, W. F.; M. KIST; J. STEIN (Hrsg.): *Infektiologie des Gastrointestinaltraktes*, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 393-398

**BROOKS, J. P.; A. ADELI; J. J. READ; M. R. MCLAUGHLIN (2009):** Rainfall Simulation in Greenhouse Microcosms to Assess Bacterial-Associated Runoff from Land-Applied Poultry Litter. *Journal of Environmental Quality* **38**, No. 1, 218-229

**BROWN, J. G. (1937):** Relation of Livestock to the control of Sclerotinosis of lettuce. *Phytopathology* **27**, 1045-1050

**BUCK, M. (2009):** Die neue Düngemittelverordnung: Was muss bei der Abgabe von Wirtschaftsdüngern beachtet werden? Regierungspräsidium Stuttgart, Ruppmannstr. 1, Stuttgart

**BUDEWIG, S. (2010):** Künftige rechtliche Rahmenbedingungen für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung In: Vortrag auf dem DWA-Seminar: Landwirtschaftliche und landschaftsbauliche Verwertung von Klärschlämmen und Bioabfällen, 19. – 20. Mai, Marburg

**BUDU-AMOAKO, E.; S. J. GREENWOOD; B. R. DIXON; H. W. BARKEMA; J. T. MCCLURE (2011):** Foodborne Illness Associated with *Cryptosporidium* and *Giardia* from Livestock. *Journal of Food Protection* **74**, No. 11, 1944-1955

- BUDU-AMOAKO, E.; S. J. GREENWOOD; B. R. DIXON; H. W. BARKEMA, J. T. MCCLURE (2012 a):** Occurrence of *Cryptosporidium* and *Giardia* on beef farms and water sources within the vicinity of the farms on Prince Edward Island, Canada. *Veterinary Parasitology* **184**, No. 1, 1-9
- BUDU-AMOAKO, E.; S. J. GREENWOOD; B. R. DIXON; L. SWEET; L. ANG; H. W. BARKEMA, J. T. MCCLURE (2012 b):** Molecular Epidemiology of *Cryptosporidium* and *Giardia* in Humans on Prince Edward Island, Canada: Evidence of Zoonotic Transmission From Cattle. *Zoonoses & Public Health* **59**, No. 6, 424-433
- BULLING, E. (1988):** Die Rolle von Klärschlamm in der Epidemiologie von Zoonosen. In: Bericht des 2. Hohenheimer Seminars: „Entseuchung von Klärschlamm“ – Erfahrungsberichte aus der Praxis, 23. - 24. Februar 1988, Hohenheim, Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V. (DVG) (Hrsg.), Gießen, 5-24
- BÜTTNER, M.; H. GERBERMANN; L. NAUMANN; E. NEUENDORF; H. RINDER; M. WILDNER; A. ZAPF (2005):** Paratuberkulose beim Rind – Morbus Crohn beim Menschen: ein ursächlicher Zusammenhang? Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (Hrsg.), Erlangen
- BUNCIC, S. (2006):** Integrated Food Safety and Veterinary Public Health, CABI, Oxfordshire, United Kingdom, Cambridge, USA
- BURTON, C. H. (2009):** New challenges to protect health and food quality when managing manures from intensive animal production: In: ALAND, A.; F. MADEC (Eds.): Sustainable animal production, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands, 69-83
- BUTZ, U. C. (1993):** Untersuchungen über die Möglichkeit der Abtötung von Krankheitserregern in Klärschlamm durch Mikrowellen unter besonderer Berücksichtigung parasitologischer Aspekte: Vet.-med. Diss., Justus-Liebig-Universität Gießen
- CANTON, R. (2009):** Antibiotic resistance genes from the environment: a perspective through newly identified antibiotic resistance mechanisms in the clinical setting. *Clinical Microbiology and Infection* **15**, 20-25
- CAPELLMANN, C. (2011):** Epidemiologische Studie zum Nachweis ausgewählter Mykobakterien-Spezies bei Wildschweinen in Deutschland. Vet.-med. Diss., Justus-Liebig-Universität Gießen, VVB Laufersweiler Verlag, Gießen
- CARDUCCI, A.; S. ARRIGHI; A. RUSCHI (1995):** Detection of coliphages and enteroviruses in sewage and aerosol from activated sludge wastewater treatment plant. *Letters in Applied Microbiology* **21**, No. 3, 207-209

---

**CARDUCCI, A.; E. TOZZI; E. RUBULOTTA; B. CASINI; L. CANTIANI; E. ROVINI; M. MUSCILLO; R. PACINI (2000):** Assessing airborne biological hazard from urban wastewater treatment. *Water Research* **34**, No. 4, 1173-1178

**CARLILE, B.; G. SCHMILEWSKI (2010):** Life in growing media: the good, the bad and the ugly? Peat in Horticulture. Life in Growing media. Proceedings of the International Peat Symposium, G. Schmilewski (ed.), Amsterdam, The Netherlands, 11 October 2010, 7-14

**CARRINGTON, E. G. (1977):** The contribution of sewage sludges to the dissemination of pathogenic microorganisms in the environment. Water Research Centre, Stevenage Laboratory, Hertfordshire, England

**CARROLL, E. J.; D. E. JASPER (1978):** Distribution of Enterobacteriaceae in Recycled Manure Bedding on California Dairies. *Journal of Dairy Science* **61**, No. 10, 1498-1508

**CASPARY, W. F.; M. KIST; J. STEIN (Hrsg.) (2006):** Infektiologie des Gastrointestinaltraktes, Springer Medizin Verlag, Heidelberg

**CEUSTERMANS, A.; J. RYCKEBOER; A. H. GEERAERD; D. SPRINGAEL (2011):** Overview and prediction of hygienisation during anaerobic digestion and pasteurization process. In: Untersuchungen zum phytosanitären Risiko bei der anaeroben Vergärung von pflanzlichen Biomassen in Bioanlagen, KTBL-Fachgespräch 14. November 2011, Berlin, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (Hrsg.), Darmstadt

**CHALE-MATSAU, J. R. B. (2005):** Persistence of Human Pathogenes in a Crop Grown from a Sewage Sludge Treated Soil. Ph.D. Thesis, University of Pretoria

**CLARA, M.; O. GANS; F. HUMER; S. WEISS; I. ZIERITZ (2010):** Antibiotika im Grundwasser. Umweltbundesamt GmbH, Wien, Österreich, Report REP-0258

**COELHO, N. M. G.; R. L. DROSTE; K. J. KENNEDY (2011):** Evaluation of continuous mesophilic, thermophilic and temperature phased anaerobic digestion of microwaved activated sludge. *Water Research* **45**, No. 9, 2822-2834

**CONRATHS, F. J.; M. H. GROSCHUP; T. C. METTENLEITER (2011):** Gibt es noch „exotische“ Tierseuchen? In: Landwirtschaft im Zeichen des Klimawandels, Senat der Bundesforschungsinstitute im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.), Forschungsreport 2/2011, Heft 44, 24-27

**CORMIER, Y.; G. TREMBLAY; A. MERIAUX; G. BROCHU; J. LAVOIE (1990):** Airborne Microbial Contents in Two Types of Swine Confinement Buildings in Quebec. *American Industrial Hygiene Association Journal* **51**, No. 6, 304-309

---

**COX, C. S. (1995):** Stability of airborne microbes and allergens. In: COX, C. S.; C. M. WATHES (Eds.): Bioaerosols handbook, Lewis Publishers, Boca Raton, London, Tokyo, 77-99

**DAHLQUIST, R. M.; T. S. PRATHER; J. J. STAPLETON (2007):** Time and temperature requirements for weed seed thermal death. *Weed Science* **55**, 619-625

**DANG, S. T. T.; D. V. TRUONG; H. MADSEN; A. DALSGAARD (2011):** Survival of faecal indicator bacteria in treated pig manure stored in clay-covered heaps in Vietnam. *Veterinary Microbiology* **152**, 3-4, 374-378

**DARAI, G.; M. HANDERMANN; H.-G. SONNTAG; L. ZÖLLER (Hrsg.) (2012):** Lexikon der Infektionskrankheiten des Menschen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 4. Auflage

**DEDIÉ, K.; J. BOCKEMÜHL; H. KÜHN; K.-J. VOLKMER; T. WEINKE (1993):** Bakterielle Zoonosen bei Tier und Mensch. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart

**DENNO, D. M.; E. J. KLEIN; V. B. YOUNG; J. G. FOX; D. WANG; P. I. TARR (2007):** Explaining unexplained diarrhea and associating risks and infections. *Animal Health Research Reviews* **8**, No. 1, 69-80

**DEPLAZES, P.; J. ECKERT (2010):** Protozoen. In: KAYSER, F. H.; E. C. BÖTTGER; R. M. ZINKERNAGEL; O. HALLER; J. ECKERT; P. DEPLAZES: Medizinische Mikrobiologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 12. Auflage, 556-611

**DEUTRICH, V.; G. PIOCH (1990):** Langzeitlagerung von Rindergülle – Untersuchung und Beurteilung aus veterinär-hygienischer Sicht. In: Bericht des 3. Hohenheimer Seminars: „Aktuelle Probleme der Desinfektion von Nutztierställen sowie von Fest- und Flüssigmist“, Stuttgart-Hohenheim, 18. – 19. September 1990, Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V., Gießen, 106-126

**DE VERDIER, K.; A. NYMAN, C. GREKO; B. BENGTSSON (2012):** Antimicrobial resistance and virulence factors in *Escherichia coli* from Swedish dairy calves. *Acta Veterinaria Scandinavica* **54**, No. 2, 1-10

**DINTER, P.-S. (1985):** Tenazitätsprüfung ausgewählter Bakterienspezies in einer rotierenden Aerosolkammer. Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim

**DONHAM, K. J. (1991):** Association of environmental air contaminants with disease and productivity in swine. *American Journal of Veterinary Research* **52**, No. 10, 1723-1730

**DORN, C. R.; C. S. REDDY; D. N. LAMPHERE; J. V. GAEUMAN; R. LANESE (1985):** Municipal Sewage Sludge Application on Ohio Farms Health Effects. *Environmental Research* **38**, No. 2, 332-359

**DOUWES, J.; P. THORNE; N. PEARCE; D. HEEDERIK (2003):** Bioaerosol Health Effects and Exposure Assessment: Progress and Prospects. *The Annals of Occupational Hygiene* **47**, No. 3, 187-200

**DRESSLER, D. (2010):** Chronischer humaner Botulismus in einem landwirtschaftlichen Betrieb mit chronischem Rinderbotulismus. In: Chronischer Botulismus, Agrar- und Veterinär-Akademie (AVA), Horstmar-Leer, Summary der Tagung vom 30.09.2010 bis 01.10.2010, 79-80

**DRČA, M. (2007):** Seuchenhygienisch-mikrobiologische Untersuchungen an einer mesophil betriebenen Biogasanlage zur Verwertung von Speiseresten in Verbindung mit methodischen Untersuchungen zum Nachweis von Salmonellen und *Escherichia coli* aus biologischem Material. Vet.-med. Diss., Universität Leipzig

**D ´ COSTA, V. M.; K. M. McGRANN; D. W. HUGHES; G. D. WRIGHT (2006):** Sampling the antibiotic resistome. *Science* **311**, 374-377

**EDER, B. (2012):** Biogas-Praxis. ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 5. Auflage

**EFFENBERGER, M.; M. LEBHUHN; A. GRONAUER (2005):** Leistungsfähigkeit der Teilhygienisierung von Milchviehgülle durch mehrstufige anaerobe Behandlung. *Landtechnik* **60**, Nr. 6, 348-349

**EFREMENKO, T. S.; V. A. YAKOVLEVA (1981):** Destruction of *Synchytrium endobioticum* (Schulb.) Perc. in waste products of potato processing industries. *Russ. Mikologija I Fitopaologija* **15**, 501-504

**EHRlich, R.; S. MILLER; R. L. WALKER (1970):** Relationship between atmospheric temperature and survival of airborne bacteria. *Applied Microbiology* **19**, 245-249

**EIKMANN, T.; R. HOFMANN (1999):** Vorwort. In: EIKMANN, T.; R. HOFMANN (Hrsg.): Stand von Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und -verwertung, Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Bd. 30

**EIKMANN, T.; P. KÄMPFER; R.-H. BÖDEKER (1999):** Umweltmedizinische Relevanz von Emissionen aus Kompostierungsanlagen für die Anwohner. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit (Hrsg.), Wiesbaden

**EISENBERG, J. N. S.; K. MOORE; J. A. SOLLER; D. EISENBERG; J. M. COLFORD JR. (2008):** Microbial Risk Assessment Framework for Exposure to Amended Sludge Projects. *Environmental Health Perspectives* **116**, No. 6, 727-733

**EISENBERG, S.; M. NIELEN; J. HOEBOER; M. BOUMAN; D. HEEDERIK; A. KOETS (2011):** *Mycobacterium avium* subspecies *paratuberculosis* in bioaerosols after depopulation and cleaning of two cattle barns. *Veterinary Record* **168**, No. 22, 587

---

**EISENBERG, S. W. F.; M. NIELEN; A. P. KOETS (2012):** Within-farm transmission of bovine paratuberculosis: recent developments. *Veterinary Quarterly* **32**, No. 1, 31-35

**ELEMA, A. G; P. C. SCHEEPENS (1992):** Verspreiding van onkruiden en plantenziekten met dierlijke mest. Veröffentlichung Nr. 62; Hrsg. Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollgrond, Lelystad

**ELLIOTT, L. F.; T. M. McCALLA; J. A. DESHAZER (1976):** Bacteria in the Air of Housed Swine Units. *Applied and Environmental Microbiology* **32**, No. 2, 270-273

**ELSÄSSER, M.; M. DIEPOLDER; O. HUGUENIN-ELIE; H. NUSSBAUM; E. PÖTSCH (2011):** Vorwort. In: Gülle 11, Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland, internationale Tagung, Kloster Reute, 17. – 18.10.2011, Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei (LAZBW), Aulendorf, 13

**ENIGK, K.; R. THAER; A. DEY-HAZRA; R. AHLERS (1975):** Die Lebensfähigkeit parasitärer Dauerformen bei der Fermentation von Rinderflüssigmist unter erhöhten Temperaturen. *Zentralblatt für Veterinärmedizin B* **22**, No. 8, 687-702

**ESPEJO SOLOVERA, L. A. (2012):** Epidemiology of *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* – Fecal Shedding in Johne's Disease Infected Dairy Herds. Diss. of Philosophy, University of Minnesota

**EXNER, M.; V. GORNIK (1997):** Cryptosporidiosis. *Bundesgesundheitsblatt* **40**, Nr. 12, 475-484

**FACK, T. (1998):** Hygienischer Status in Kompostierungsanlagen im Hinblick auf die Luftkeimsituation. *Agrarwiss. Diss.*, Universität Hohenheim

**FALLSCHISSEL, K. (2011):** Untersuchung an Bioaerosolen in Tierställen unter Etablierung einer REAL-TIME PCR-basierten Methode zur Erfassung luftgetragener *Salmonella* und *Thermoactinomyces* Zellen. *Naturwiss. Diss.*, Justus-Liebig-Universität Gießen

**FANNIN, K. F.; S. C. VANA; W. JAKUBOWSKI (1985):** Effect on activated sludge wastewater treatment plant on ambient air densities of aerosols containing bacteria and viruses. *Applied Environmental Microbiology* **49**, No. 5, 1191-1196

**FARZAN, A.; R. M. FRIENDSHIP; A. COOK; F. POLLARI (2008):** Occurrence of *Salmonella*, *Campylobacter*, *Yersinia enterocolitica*, *Escherichia coli* O157 and *Listeria monocytogenes* in Swine. *Zoonoses and Public Health* **57**, No. 6, 388-396

**FAULKNER, L. R.; C. B. SKOTLAND; W. W. HEINEMANN (1965):** Survival of *Meloidogyne hapla* and *Verticillium dahliae* in plant tissues used for animal feed. *Phytopathology* **55**, 257-258

**FAULSTICH, M.; S. PRECHTL (2005):** Studie zur nachhaltigen Verwertung von Gärresten (E115). Abschlussbericht, ATZ Entwicklungszentrum, Sulzbach-Rosenberg, im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, München

**FAUSER-LEIENSETTER, C. (2000):** Verhalten und Desinfektion der Erreger der Europäischen und Afrikanischen Schweinepest sowie der Maul- und Klauenseuche in Flüssigmist. Vet.-med. Diss., Justus-Liebig-Universität Gießen

**FEBRIANI, Y.; P. LEVALLOIS; G. LEBEL; S. GINGRAS (2009):** Association between indicators of livestock farming intensity and hospitalization rate for acute gastroenteritis. *Epidemiology and Infection* **137**, No. 8, 1073–1085

**FEHLHABER, K. (1992):** Mikroorganismen. In: FEHLHABER, K.; P. JANETSCHKE (Hrsg.): Veterinärmedizinische Lebensmittelhygiene, Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart, 24-83

**FENGLER, I. (2012):** Vibrio. In: DARAI, G.; M. HANDERMANN; H.-G. SONNTAG; L. ZÖLLER (Hrsg.): Lexikon der Infektionskrankheiten des Menschen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 4. Auflage, 926-930

**FIEDLER, K.; M. WILHELM (2011):** Hygiene/Präventivmedizin/Umweltmedizin systematisch. UNI-MED Verlag AG, Bremen, London, Boston, 2. Auflage

**FILIP, Z. (1988):** Fäkalstreptokokken - ihr Vorkommen, Bedeutung und Nachweis in Wasserproben. *Forum Städte-Hygiene* **39**, Nr. 3, 90-93

**FLECK, S. (2002):** Biologische Effektivität und Reproduktionsfähigkeit von Mikroorganismen bei großvolumigen Luftkeimsammelgeräten mit unterschiedlichen Einwaschsystemen. Vet.-med. Diss., Justus-Liebig-Universität Gießen, VVB Laufersweiler Verlag, Wettenberg

**FNR (2011):** Torfmoose: Alternative zum Weißtorf und Chance für ehemalige Hochmoore und Klimaschutz. Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe; [http://www.nachwachsenrohstoffe.de/presseservice/pressemitteilungen/aktuelle-mitteilungen/aktuelle-nachricht/?tx\\_ttnews%5Byear%5D=2011&tx\\_ttnews%5Bmonth%5D=01&tx\\_ttnews%5Bday%5D=19&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=3115&cHash=7de6472d6c7cbe76e30e2a1f82c426f3](http://www.nachwachsenrohstoffe.de/presseservice/pressemitteilungen/aktuelle-mitteilungen/aktuelle-nachricht/?tx_ttnews%5Byear%5D=2011&tx_ttnews%5Bmonth%5D=01&tx_ttnews%5Bday%5D=19&tx_ttnews%5Btt_news%5D=3115&cHash=7de6472d6c7cbe76e30e2a1f82c426f3), Webseite aufgerufen am 26.09.2012

**FÖRSTER, M.; V. LAABS; M. LAMSHÖFT; J. GROENEWEG; S. ZÜHLKE; M. SPITELLER; M. KRAUSS; M. KAUPENJOHANN; W. AMELUNG (2009):** Sequestration of manure-applied sulfadiazine residues in soils. *Environmental Science and Technology* **43**, 1824-1830

**FONG, T.-T.; M. S. PHANIKUMAR; I. XAGORARAKI; J. B. ROSE (2010):** Quantitative Detection of Human Adenoviruses in Wastewater and Combined Sewer

Overflows Influencing a Michigan River. Applied and Environmental Microbiology **76**, No.3, 715–723

**FORSLUND, A.; B. MARKUSSEN; L. TOENNER-KLANK; T. B. BECH; O. S. JACOBSEN; A. DALSGAARD (2011):** Leaching of *Cryptosporidium parvum* Oocysts, *Escherichia coli*, and a *Salmonella enterica* Serovar Typhimurium Bacteriophage through Intact Soil Cores following Surface Application and Injection of Slurry. Applied and Environmental Microbiology **77**, No. 22, 8129–8138

**FORSYTHE, S. J. (2010):** The Microbiology of Safe Food. Wiley-Blackwell, Chichester u. a., United Kingdom, 2<sup>nd</sup> Edition

**FOSSLER, C. P.; S. J. WELLS; J. B. KANEENE; P. L. RUEGG; L. D. WARNICK; L. E. EBERLY; S. M. GODDEN; L. W. HALBERT; A. M. CAMPBELL; C. A. BOLIN; A. M. GEIGER ZWALD (2005):** Cattle and environmental sample-level factors associated with the presence of *Salmonella* in a multi-state study of conventional and organic dairy farms. Preventive Veterinary Medicine **67**, 39-53

**FRAUTZ, B. (2007):** Untersuchungen zur Inaktivierung von Fusariensporen und zur Reduzierung von Deoxynivalenol in Weizen bei dessen Vergärung in landwirtschaftlichen Flüssig- und Trockenfermentierungsanlagen. Abschlussbericht, Förderkennzeichen-22015903-, Universität Hohenheim

**FRIEDRICH, R.; D. KÄMMERER; P. BÜTTNER; L. SEIGNER (2009):** Evaluierung des Hygienisierungspotentials des Biogasprozesses im Hinblick auf phytopathogene Schaderreger. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt, Internationale Wissenschaftstagung, Biogas Science 2009, Band 2

**FRIEDRICH, R.; D. KÄMMERER; L. SEIGNER (2010):** Investigation on the persistence of beet necrotic yellow vein virus in rootlets of sugar beet during biogas fermentation. J. Plant Dis. Protect. **117**, 4, 150-155

**FÜLLGRABE, R. A. R. (2009):** Untersuchungen zum kulturellen und molekularbiologischen Nachweis von *Mycobacterium avium* ssp. *paratuberculosis* (MAP) aus humanen Darmbiopaten. Vet.-med. Diss., Justus-Liebig-Universität Gießen, VVB Laufersweiler Verlag, Gießen

**GÄRTTNER; E. (1976):** Zur Bestimmung des Keimgehaltes der Luft in Geflügelställen. Archiv für Geflügelkunde **40**, Nr. 3, 73-79

**GALE, P. (2005):** Land application of treated sewage sludge: quantifying pathogen risks from consumption of crops. Journal of Applied Microbiology **98**, No. 2, 380-396

**GALLERT, C.; K. FUND; J. WINTER (2005):** Antibiotic resistance of bacteria in raw and biologically treated sewage und in groundwater below leaking sewers. Applied Microbiology and Biotechnology **69**, No. 1, 106-112

**GATERMANN, S. (2012 a):** Staphylokokken. In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 187-197

**GATERMANN, S. (2012 b):** Enterokokken und weitere katalasenegative grampositive Kokken. In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 215-218

**GATERMANN, S. (2012 c):** Streptokokken. In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 198-214

**GAUBE, J.; E. JAGER; J. JAGER; H. RÜDEN (1987):** Mikrobiologische und olfaktometrische Untersuchungen von Abfällen bei der getrennten Sammlung von Haushalts- und Nassabfällen. Forum Städte-Hygiene **38**, 273-276

**GELDREICH, E. E. (1978):** Bacterial Populations and Indicator Concepts in Feces, Sewage, Stormwater and Solid Wastes. In: BERG, G. (Ed.): Indicators of Viruses in Water and Food, Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, Michigan, 51-97

**GERBL-RIEGER, S.; D. FANTA; G. DANNEBERG; R. THELEN; R. SIMON (1999):** Keimemissionen aus biologischen Abfallbehandlungsanlagen. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU), München

**GERMAP (2011):** Antibiotika-Resistenz und -verbrauch. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Berlin, Paul-Ehrlich-Gesellschaft für Chemotherapie e.V., Rheinbach, Infektiologie Freiburg, Medizinische Universitätsklinik, Zentrum Infektiologie und Reisemedizin, Freiburg (Hrsg.), Verlag Antiinfectives Intelligence Gesellschaft für klinisch-mikrobiologische Forschung und Kommunikation mbH, Rheinbach, 1. Auflage

**GEROWITT, B.; P. R. WESTERMANN (2011):** Inkrautsamen in der Biogaskette. In: Untersuchungen zum phytosanitären Risiko bei der anaeroben Vergärung von pflanzlichen Biomassen in Biogasanlagen. KTBL-Fachgespräch 14. November 2011, Berlin, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (Hrsg.), Darmstadt

**GIBBS, J. G. (1931):** Dissemination of clubroot in the dung of farm stock. New Zealand J. Agr. **57**, 193-198

**GIBBS, P. (2002):** Characteristics of spore-forming bacteria. In: BLACKBURN, C. de W.; P. J. MCCLURE (Eds.): Foodborne pathogens, CRC Press, Boca Raton, Boston, New York, Washington, DC, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 417-435

**GILL, C. O.; L. SAUCIER; W. J. MEADUS (2011):** *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* in dairy products, meat, and drinking water. *Journal of Food Protection* **74**, No. 3, 480-499

**GMELIN, S. (2009):** Untersuchungen zur Häufigkeit des Vorkommens von *Salmonella enterica* in kommunalen Klärschlämmen aus verschiedenen Kläranlagen der Bundesrepublik Deutschland mit verschiedenen Nachweismethoden. Diplomarbeit, Institut für Umwelt- und Tierhygiene sowie Tiermedizin mit Tierklinik, Universität Hohenheim

**GÖTTSCHING, H. (1972):** Wie können pathogene Keime in den Hausmüll gelangen?. *Städtehygiene* **23**, Nr. 8, 183-188

**GÖZALAN, F. (2004):** Untersuchungen zum Vorkommen antibiotikaresistenter Isolate von *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis* und *Staphylococcus aureus* aus Kommunal- und Schlachthofabwasser. Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim

**GOLET, E. M.; I. XIFRA; H. SIEGRIST; A. C. ALDER; W. GIGER (2003):** Environmental exposure assessment of fluoroquinolone antibacterial agents from sewage to soil. *Environmental Science and Technology* **37**, 3243-3249

**GÓMEZ VILLAFañE, I. E.; F. MIÑARRO; M. RIBICICH; C. A. ROSSETTI; D. ROSSOTTI; M. BUSCH (2004):** Assessment of The Risks of Rats (*Rattus Norvegicus*) and Opossums (*Didelphis Albiventris*) in Different Poultry-Rearing Areas in Argentina. *Brazilian Journal of Microbiology* **35**, 359-363

**GOTTSCHALK, R. (2006):** Seuchenhygienische Aspekte. In: CASPARY, W. F.; M. KIST; J. STEIN (Hrsg.): *Infektiologie des Gastrointestinaltraktes*, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 465-475

**GRACZYK, T. K.; M. KACPRZAK; E. NECZAJ; L. TAMANG; H. GRACZYK; F. E. LUCY; A. S. GIROUARD (2008):** Occurrence of *Cryptosporidium* and *Giardia* in sewage sludge and solid waste landfill leachate and quantitative comparative analysis of sanitization treatments on pathogen inactivation. *Environmental Research* **106**, No. 1, 27-33

**GREEN, A. L.; D. A. DARGATZ; B. A. WAGNER; P. J. FEDORKA-CRAY; S. R. LADELY; C. A. KOPRAL (2010):** Analysis of Risk Factors Associated with *Salmonella* spp. Isolated from U.S. Feedlot Cattle. *Foodborne Pathogens and Disease* **7**, No. 7, 825-833

**GREUEL, E. (1991):** Veterinärhygiene. In: SOMMER, H.; E. GREUEL; W. MÜLLER: *Hygiene der Rinder- und Schweineproduktion*, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, UTB Bd. 514, 2. Auflage, 393-535

**GROSSE AUSTING, M. C. (2005):** Untersuchungen zum Auftreten von Salmonelleninfektionen in Schweinebeständen. Vet.-med. Diss., Tierärztliche Hochschule Hannover

- 
- GROTE, M.; C. SCHWAKE-ANDUSCHUS; H. STEVENS; R. MICHEL; T. BETSCHE; M. FREITAG (2006):** Antibiotika-Aufnahme von Nutzpflanzen aus Gülle-gedüngten Böden – Ergebnisse eines Modellversuchs. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* **1**, Nr. 1, 38-50
- GÜNTHER, J. (1975):** Zum Auftreten von Nematoden in Moor und Torf. *Moor und Torf in Wissenschaft und Wirtschaft, Torfforschung GmbH*, 113 – 118
- GUZMÁN, C.; J. JOFRE; M. MONTEMAYOR; F. LUCENA (2007):** Occurrence and levels of indicators and selected pathogens in different sludges and biosolids. *Journal of Applied Microbiology* **103**, No. 6, 2420-2429
- HAAS, D.; M. UNTEREGGER; J. HABIB; H. GALLER; E. MARTH; F. F. REINTHALER (2010):** Exposure to Bioaerosol from Sewage Systems. *Water, Air & Soil Pollution* **207**, No. 1-4, 49-56
- HAAS, L. (2011):** Familie Picornaviridae. In: SELBITZ, H.-J.; U. TRUYEN; P. VALENTIN-WEIGAND (Hrsg.): *Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre*, Enke Verlag, Stuttgart, 9. Auflage, 640-651
- HAERTEL, W. (1992):** Hygienisch-mikrobiologische Untersuchungen bei der überdachten Mietenkompostierung. Diplomarbeit, Institut für Umwelt- und Tierhygiene sowie Tiermedizin mit Tierklinik, Universität Hohenheim
- HAHN, H. (2012):** Bacillus. In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): *Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 320-323
- HAHN, W. (1980):** Streptokokken. In: BLOBEL, H.; T. SCHLIESSER (Hrsg.): *Handbuch der bakteriellen Infektionen bei Tieren*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Bd. 2, 161-278
- HAIBLE, C. (1989):** Hygienisch-Mikrobiologische Untersuchungen über die Langzeitlagerung von Klärschlamm. *Vet.-med. Diss., Justus-Liebig-Universität Gießen*
- HALLING-SØRENSEN, B.; N. NIESSEN; P. F. LANZKY; F. INGERSLEV; H.-C. HOLTEN-LUTZHØFT; S. E. JØRGENSEN (1998):** Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment – a review. *Chemosphere* **36**, No. 2, 357-393
- HARMS, K.; C. HÖLZEL (2011):** Risikoabschätzung von antibakteriellen Rückständen in Gülle. In: *Gülle 11, Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland, internationale Tagung, Kloster Reute, 17. – 18.10.2011, Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei (LAZBW), Aulendorf*, 351-352

---

**HARTMANN, A.; A. LOCATELLI; L. AMOUREUX; G. DEPRET; C. JOLIVET; E. GUENEAU; C. NEUWIRTH (2012):** Occurrence of CTX-M producing *Escherichia coli* in soils, cattle, and farm environment in France (Burgundy region). *Frontiers in Microbiology* **3**, Article 83, 1-7

**HARTUNG, J. (1995):** Gas- und partikelförmige Emissionen aus Ställen der Tierproduktion. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift* **102**, Heft 7, 283-288

**HARWOOD, V.; J. M. BROWNELL; W. PERUSEK; J. E. WHITLOCK (2001):** Vancomycin-Resistant *Enterococcus* spp. Isolated from Wastewater and Chicken Feces in the United States. *Applied and Environmental Microbiology* **67**, No.10, 4930-4933

**HASSL, A.; G. BENYR; R. SOMMER (2001):** Occurrence of *Cryptosporidium* sp. oocysts in fecal and water samples in Austria. *Acta Tropica* **80**, No. 2, 145-149

**HAUMACHER, R. (1993):** Hygienisch-mikrobiologische Untersuchungen bei der Kompostierung von Feststoffen aus Gülle in belüfteten Behältern und bei der Lagerung im Freien. Diplomarbeit, Institut für Umwelt- und Tierhygiene sowie Tiermedizin mit Tierklinik, Universität Hohenheim

**HAUMACHER, R. (2003):** Aerobiologische Untersuchungen zur Keimemission aus Biotonnen in Abhängigkeit von deren Bauart, der Abholfrequenz und der Jahreszeit. Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim, Verlag Grauer, Beuren, Stuttgart

**HAUMACHER, R.; W. PHILIPP; R. MARSCHANG, R. BÖHM (2005):** Untersuchungsprogramm zur Feststellung von Keimkonzentrationen und Viren an unterschiedlichen Arbeitsbereichen im Klärwerk Gut Großlappen. Bericht zum Forschungsvorhaben, Auftraggeber: Landeshauptstadt München, Institut für Umwelt- und Tierhygiene sowie Tiermedizin mit Tierklinik, Universität Hohenheim

**HE, X. G.; L. CHENG; D. Y. ZHANG; X. M. XIE; D. H. WANG; Z. WANG (2011):** One-year monthly survey of rotavirus, astrovirus and norovirus in three sewage treatment plants (STPs) in Beijing, China and associated health risk assessment. *Water Science & Technology* **64**, No. 6, 1202-1210

**HEIJBROEK, W. (1988):** Dissemination of Rhizomania by soil, beet seeds and stable manure. *Neth. J. Pl. Path.* **94**, 9-15

**HEIM, A. (2012):** Picornaviren. In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): *Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 454-462

**HEIMESAAT, M. M. (2012):** *Toxoplasma gondii*. In: DARAI, G.; M. HANDERMANN; H.-G. SONNTAG; L. ZÖLLER (Hrsg.): *Lexikon der Infektionskrankheiten des Menschen*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 4. Auflage, 852-855

- 
- HEINICKE, D. (1989):** Verbreitung von Nematoden mit Klärschlamm und Abwasser. Der Kartoffelbau **40**, 6, 221-224
- HEITZMANN, D. (2008):** Entstehung, Behandlung und Entsorgung von Klärschlamm 2007. Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg **56**, Nr. 11, 44-47
- HEKTOEN, H.; J. A. BERGE; V. HORMAZABAL; M. YNDESTAD (1995):** Persistence of antibacterial agents in marine sediments. Aquaculture **133**, 175-184
- HENKELMANN, G. (2011):** Biogastechnologie zur umweltverträglichen Flüssigmistverwertung und Energiegewinnung in Wasserschutzgebieten. In: Gülle 11, Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland, internationale Tagung, Kloster Reute, 17. – 18.10.2011, Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei (LAZBW), Aulendorf, 350
- HERTWIG, K.-P. (2004):** Seuchenhygienische Untersuchungen bei der Trocknung und Pelletierung von Klärschlamm. Diplomarbeit, Institut für Umwelt- und Tierhygiene sowie Tiermedizin mit Tierklinik, Universität Hohenheim
- HEUER H.; C. KOPMANN; C. T. T. BINH; E. M.TOP; K. SMALLA (2009):** Spreading antibiotic resistance through spread manure: characteristicaics of a novel plasmid type with low %G+C content. Environmental Microbiology **11**, 937-949
- HIEPE, T.; R. BUCHWALDER (1991):** Wirtschaftsdünger als Vektor für Parasiten – Ein Erfahrungsbericht. Deutsche tierärztliche Wochenschrift **98**, No. 7, 268-272
- HILL, A.; P. NALLY; R. M. CHALMERS; G. C. PRITCHARD; M. GILES (2011):** Quantitative Risk Assessment for Zoonotic Transmission of *Cryptosporidium parvum* Infection Attributable to Recreational Use of Farmland. Zoonoses and Public Health **58**, No. 5, 323-333
- HILLIGER, H. G. (1976):** Mikroorganismen als hygienischer Faktor der Stallluft. Forum Umwelt Hygiene **27**, Heft 4, 149-151
- HO, J.; M. O'DONOGHUE; L. GUARDABASSI; A. MOODLEY; M. BOOST (2012):** Characterization of Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* Isolates from Pig Carcasses in Hong Kong. Zoonoses & Public Health **59**, No. 6, 416-423
- HOEK, M. R.; I. OLIVER; M. BARLOW; L. HEARD; R. CHALMERS; S. PAYNTER (2008):** Outbreak of *Cryptosporidium parvum* among children after a school excursion to an adventure farm, South West England. Journal of Water and Health **6**, No. 3, 333-338
- HOF, H.; R. DÖRRIES (2009):** Medizinische Mikrobiologie. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, 4. Auflage
- HOFERER, M. (2001):** Seuchenhygienische Untersuchungen zur Inaktivierung ausgewählter Bakterien und Viren bei der mesophilen und thermophilen anaeroben alkalischen

Faulung von Bio- und Küchenabfällen sowie anderen Rest- und Abfallstoffen tierischer Herkunft. Vet.-med. Diss., Freie Universität Berlin

**HOFMANN, R.; E.-M. BECK; G. DANNEBERG; S. GERBL-RIEGER; E. GÖTTLICH; A. KOCH; M. KÜHNER; V. KUMMER; K. LIEBL; W. MARTENS; T. MISSEL; A. NEEF; U. PALMGREN; R. RABE; B. SCHILLING; F. SCHNEIDER; F. TILKES; P. WIESER (1999):** Erfassung von luftgetragenen kultivierbaren Mikroorganismen aus Kompostierungsanlagen – Emission und Immission. In: EIKMANN, T.; R. HOFMANN (Hrsg.): Stand von Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und -verwertung, Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Luft-hygiene, Bd. 30, 245-320

**HONG, S. M.; J. K. PARK; N. TEERADEJ; Y. O. LEE; Y. K. CHO; C. H. PARK (2006):** Pretreatment of Sludge with Microwaves for Pathogen Destruction and Improved Anaerobic Digestion Performance. *Water Environment Research* **78**, No.1, 76-83

**HOPPENHEIDT, K.; H. KRIST; D. TRONECKE (2008):** Ökotoxikologische und hygienische Aspekte der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung. In: Internationales Klärschlamm-Symposium, Wege zu einer verantwortungsvollen Klärschlammentsorgung, 30. Juni – 2. Juli 2008, Fürstfeld, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, 95-106

**HORNEF, M. (2012):** Vibrionen, Aeromonas. In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 259-264

**HUANG, H. C.; R. HIRONAKA; R. J. HOWARD (1986):** Survival of *Verticillium albo-atrum* in alfalfa tissue buried in manure or fed to sheep. *Plant Disease* **70**, 218-221

**HÜFFMEIER, H. (1986):** Gülle – Eigenschaften, Anfall, Lagerdauer, Lagerraumbedarf. In: Gülle – Erzeugung, Lagerung, Technik, Verwertung, BauBriefe Landwirtschaft, Heft 29, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 5-8

**HUNFELD, K.-P.; V. BRADE (2012):** Borrelien. In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 372-378

**HUNG, C.-H.; K.-S. LEE; L.-H. CHENG; Y.-H. HUANG; P.-J. LIN; J.-S. CHANG (2007):** Quantitative analysis of a high-rate hydrogen-producing microbial community in anaerobic agitated granular sludge bed bioreactors using glucose as substrate. *Applied Microbiology and Biotechnology* **75**, No. 3, 693-701

**HUTCHISON, M. L.; L. D. WALTERS; T. MOORE; D. J. I. THOMAS; S. M. AVERY (2005):** Fate of Pathogens Present in Livestock Wastes Spread onto Fescue Plots. *Applied and Environmental Microbiology* **71**, No. 2, 691-696

- HUTCHISON, M. L.; S. M. AVERY; J. M. MONAGHAN (2008):** The air-borne distribution of zoonotic agents from livestock waste spreading and microbiological risk to fresh produce from contaminated irrigation sources. *Journal of Applied Microbiology* **105**, No. 3, 848-857
- IDELMANN, M. (2005):** Hygienisierung von Kompost. Möglichkeiten zum Nachweis einer erfolgreichen Abtötung von Pathogenen und Unkrautsamen. Dissertation, Universität Kassel
- IDELMANN, M.; E. MARCINISCYN; F. WALDOW; C. SCHÜLER; C. BRUNS; R. GOTTSCHALL; G. A. WOLF (1998):** Phytohygiene der Bioabfallkompostierung. In: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Hrsg.): Förderschwerpunkt Bioabfallverwertung, Hygiene der Bioabfallkompostierung, Initiativen zum Umweltschutz Bd. 9, Zeller Verlag, Osnabrück, 1-59
- IGNATIUS, R.; G. BURCHARD (2012):** Zestoden. In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 668-674
- IGNATIUS, R.; S. EHRHARDT (2012):** Protozoen. In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 639-692
- IJAZ, M. K.; S. A. SATTAR; T. ALKARMI; F. K. DAR; A. R. BHATTI; K. M. ELHAG (1994):** Studies of the survival of aerosolized bovine rotavirus (UK) and a murine rotavirus. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases* **17**, No. 2, 91-98
- INAGAKI, H.; K. KEGASAWA (1977):** Viability of encysted larvae of eggs of potato cyst nematode *Heterodera rostochiensis* Woll. after being fed by hen or swine, and at their body temperatures. *Potato Abstracts* **2**, 81
- ISAAC-RENTON, J.; W. R. BOWIE; A. KING; G. S. IRWIN; C. S. ONG; C. P. FUNG; M. O. SHOKEIR; J. P. DUBEY (1998):** Detection of *Toxoplasma gondii* Oocysts in Drinking Water. *Applied and Environmental Microbiology* **64**, No. 6, 2278-2280
- ISENSEE, E.; D. STRAUCH; G. BLANKEN (1981):** Technik und Hygiene der Flüssigmistbehandlung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt-Kranichstein, KTBL-Schrift 265
- IVANOV, I. E. (2001):** Treatment of broiler litter with organic acids. *Research in Veterinary Science* **70**, No. 2, 169-173
- JARNYCH, V. S. (1976):** Aerosole in der Veterinärmedizin. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin

- JEBRI, S.; J. JOFRE; I. BARKALLAH; M. SAIDI; F. HMAIED (2012):** Presence and fate of coliphages and enteric viruses in three wastewater treatment plants effluents and activated sludge from Tunisia. *Environmental Science and Pollution Research International* **19**, No. 6, 2195-2201
- JOACHIM, A. (2006):** Helminthosen des Schweines. In: SCHNIEDER, T. (Hrsg.): *Veterinärmedizinische Parasitologie*, Parey in MVS Medizinverlage Stuttgart GmbH & Co. KG, Stuttgart, 6. Auflage, 369-398
- JOCHEMCZYK, M. (1986):** Hygienisch-mikrobiologische Untersuchung bei der mesophilen anaeroben Stabilisierung von Panseninhalt, zugleich ein Beitrag zur chemischen Desinfektion des Faulraumablaufes. *Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim*
- JOHNSON, P. W.; R. DIXON; A. D. ROSS (1998):** An in-vitro test for assessing the viability of *Ascaris suum* eggs exposed to various sewage treatment processes. *International Journal for Parasitology* **28**, No. 4, 627-633
- JOSEPHANS, C.; S. SUERBAUM, D. HOFREUTER (2012):** *Campylobacter*. In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): *Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 275-280
- KAADEN, O.-R. (1985):** Luft als Vektor viraler Krankheitserreger. *Tierärztliche Umschau* **40**, Heft 1, 4-8
- KAMPHUES, J.; R. BÖHM; G. FLACHOWSKY; M. LAHRSEN-WIEDERHOLT; U. MEYER; H. SCHENKEL (2007):** Empfehlungen zur Beurteilung der hygienischen Qualität von Tränkwasser für Lebensmittel liefernde Tiere unter Berücksichtigung der gegebenen rechtlichen Rahmenbedingungen. *Landbauforschung Völkenrode* **57**, Nr. 3, 255-272
- KARANIS, P. (2000):** Parasitäre Zoonoseerreger im Trink-/Tränkwasser. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift* **107**, Nr. 8, 311-315
- KARANISI, P.; D. SCHOENEN; H. M. SEITZ (1996):** *Giardia* and *Cryptosporidium* in Backwash Water from Rapid Sand Filters Used for Drinking Water Production. *Zentralblatt für Bakteriologie* **284**, Nr. 1, 107-114
- KARRA, S.; E. KATSIVELA (2007):** Microorganisms in bioaerosol emissions from wastewater treatment plants during summer at a Mediterranean site. *Water Research* **41**, 1355-1365
- KARUNIAWATI, A. (2001):** Untersuchungen von Umweltproben auf „viable but not culturable“ Salmonellen und enterohämorrhagische *Escherichia coli* (EHEC). *Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim, Verlag Grauer, Beuren, Stuttgart*

**KAYSER, F. H.; E. C. BÖTTGER (2010 a):** Allgemeine Aspekte der medizinischen Mikrobiologie. In: KAYSER, F. H.; E. C. BÖTTGER; R. M. ZINKERNAGEL; O. HALLER; J. ECKERT; P. DEPLAZES: Medizinische Mikrobiologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 12. Auflage, 2-43

**KAYSER, F. H.; E. C. BÖTTGER (2010 b):** Epidemiologie und Hygiene. In: KAYSER, F. H.; E. C. BÖTTGER; R. M. ZINKERNAGEL; O. HALLER; J. ECKERT; P. DEPLAZES: Medizinische Mikrobiologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 12. Auflage, 45-74

**KAYSER, F. H.; E. C. BÖTTGER (2010 c):** Bakterien als Krankheitserreger. In: KAYSER, F. H.; E. C. BÖTTGER; R. M. ZINKERNAGEL; O. HALLER; J. ECKERT; P. DEPLAZES: Medizinische Mikrobiologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 12. Auflage, 245-357

**KAYSER, F. H.; E. C. BÖTTGER; R. M. ZINKERNAGEL; O. HALLER; J. ECKERT; P. DEPLAZES (2010):** Medizinische Mikrobiologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 12. Auflage

**KEHRES, B. (2010):** Monetäre Bewertung von Komposten und von Gärprodukten. In: Vortrag auf dem DWA-Seminar: Landwirtschaftliche und landschaftsbauliche Verwertung von Klärschlämmen und Bioabfällen, 19. – 20. Mai, Marburg

**KEMPER, A. (1958):** Kann eine weitere Ausbreitung des Kartoffelnematoden verhindert werden? Anzeiger für Schädlingskunde **31**, 165-170

**KEMPER, U. (2008):** Shigatoxinogene *Escherichia coli*: Bedeutung als Zoonose-Erreger. Züchtungskunde 80, Nr. 2, 146-156

**KERN, P.; W. PHILIPP (1994):** Ergebnisse komposthygienischer Untersuchungen. In: BÖHM, R. (Hrsg.): Bericht des 5. Hohenheimer Seminars: Nachweis und Bewertung von Keimemissionen bei der Entsorgung von kommunalen Abfällen sowie spezielle Hygieneprobleme der Bioabfallkompostierung. Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft, Gießen, 256-266

**KIRSCH, A. (2011):** Verwertung von Küchen-, Lebensmittel- und Speiseabfällen – Getrennthaltungspflicht, Hygienisierung, Gärproduktverwertung. 23. Kasseler Abfall- und Bioenergieforum, 12. – 14. April 2011, Kassel, <http://www.ask-eu.de/default.asp?Menue=20&ArtikelPPV=20502>

**KLAGES, S.; U. SCHULTHEISS; T. FREI; C. BECKER; H. DÖHLER; U. SCHNEIDER; B. HABERKERN (2009):** Anforderungen an die Novellierung der Klärschlammverordnung unter besonderer Berücksichtigung der Hygieneparameter. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Forschungsbericht 206 33 202, UBA-FB 001245

**KLEER, J.; A. BARTHOLOMÄ; R. LEVETZOW; T. REICHE; H.-J. SINELL; P. TEUFEL (2001):** Bakterielle Lebensmittel-Infektionen und -Intoxikationen in Einrichtungen zur

---

Gemeinschaftsverpflegung 1985 bis 2000. Archiv für Lebensmittelhygiene **52**, Nr. 4/5, 76-79

**KLEIN-GOEDICKE, J. (2005):** Arzneimitteleinsatz in der intensiven Tierhaltung. In: Arzneimittel in der Umwelt - Zu Risiken und Nebenwirkungen fragen Sie das Umweltbundesamt, Umweltbundesamt, Dessau, 65-69

**KNIE, A.; R. BÖHM; W. MARTENS; W. PHILIPP (2001):** Untersuchung zur Inaktivierung von Indikatororganismen in anaeroben Kofermentationsanlagen. Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben UTOX 98009, Untersuchungen zur Seuchen- und Phytohygiene in Anaerobanlagen (Halb- bzw. großtechnische Anlagen), Teil 2A, Institut für Umwelt- und Tierhygiene sowie Tiermedizin mit Tierklinik, Universität Hohenheim

**KNIE, A.; R. HAUMACHER; W. MARTENS; W. PHILIPP; R. BÖHM (1999):** Untersuchungen zur Emission von Keimen aus Biogasanlagen. Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben O. Nr. UVM 1005/54687 (98), Institut für Umwelt- und Tierhygiene sowie Tiermedizin mit Tierklinik, Universität Hohenheim, unveröffentlicht

**KÖHLER, B. (2010):** Bemerkungen zu aktuellen Problemen des Botulismus bei Tieren und Wechselwirkungen mit der Umwelt. In: Chronischer Botulismus, Agrar- und Veterinär-Akademie (AVA), Horstmar-Leer, Summary der Tagung vom 30.09.2010 bis 01.10.2010, 63-72

**KÖHLER, B. (2011):** Vorkommen und Bedeutung pathogener Clostridien im Kreislauf der Natur unter besonderer Berücksichtigung von *Clostridium botulinum* in Biogasanlagen. In: Hygienische Unbedenklichkeit von Biogasanlagen, C.A.R.M.E.N.-Statusseminar, Rottersdorf bei Landau/Isar, 27.10.2011, C.A.R.M.E.N. e. V., Straubing, 1. Auflage, 39-52

**KOPP, J. B. (2010):** Bedeutung des Einsatzes von Polymeren für die Verwertung von Klärschlämmen, Bioabfällen und Gärresten. In: Vortrag auf dem DWA-Seminar: Landwirtschaftliche und landschaftsbauliche Verwertung von Klärschlämmen und Bioabfällen, 19. – 20. Mai, Marburg

**KOSINC, A. (2011):** Vorkommen von *Salmonella spp.* und *Campylobacter spp.* in Schweinemastbeständen in Baden-Württemberg. Vet.-med. Diss., Justus-Liebig-Universität, Gießen, VVB Laufersweiler Verlag, Gießen, 1. Auflage

**KRAUSE, R.; R. AHLERS (1987):** Verfahrenstechnik des Separierens von Flüssigmist. Grundlagen der Landtechnik **37**, Nr. 3, 98-107

**KRÜGER, M. (2010 a):** Aktuelle Erkrankungen im Milchviehbetrieb: Diagnostik und Bedeutung von Clostridienerkrankungen bei Rindern. Vortrag bei der 9. Agrar- und Veterinär-Akademie (AVA)-Haupttagung, Göttingen, 17. – 21. März 2010

---

**KRÜGER, M. (2010 b):** *Clostridium botulinum* in Tierbeständen aus mikrobiologischer Sicht. In: Chronischer Botulismus, Agrar- und Veterinär-Akademie (AVA), Horstmar-Leer, Summary der Tagung vom 30.09.2010 bis 01.10.2010, 24-27

**KÜHNER, M.; J. MEZGER; H. HANDL; K. FISCHER; W. MARTENS; R. HAUMACHER (2001):** Entwicklung eines neuartigen Messkonzeptes zur Erfassung und Bewertung der Gesamtemissionssituation für Anlagen der Bioabfallbehandlung. Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben AZ 08990, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft, Universität Stuttgart, Institut für Umwelt- und Tierhygiene sowie Tiermedizin mit Tierklinik, Universität Hohenheim

**KUIPER, K. (1977):** Introductie en vestiging van planteparasitaire aaltjes in nieuwe polders, in het bijzonder *Trichodorus teres*. Mededelingen Landbouwhoogeschool Wageningen **77**, No. 4, 140pp

**LACEY, J.; P. A. M. WILLIAMSON; P. KING; R. P. BARDOS (1990):** Airborne microorganisms associated with domestic waste composting. A. F. R. C. Institute of Arable Crops Research, Harpenden, Hertfordshire, LR 808 (MR)

**LANG, A. (1987):** Mikrobiologische Untersuchungen über die Eignung verschiedener Indikatororganismen zur seuchenhygienischen Beurteilung von Klärschlamm. Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim

**LANG, A. (1988 a):** Physikalische Entseuchungs- und sonstige Verfahren – Hygiene – Thermische Konditionierung. In: Bericht des 2. Hohenheimer Seminars: „Entseuchung von Klärschlamm“ – Erfahrungsberichte aus der Praxis, 23. - 24. Februar 1988, Hohenheim, Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V. (DVG) (Hrsg.), Gießen, 220-230

**LANG, A. (1988 b):** Physikalische Entseuchungs- und sonstige Verfahren – Hygiene – Schlammentwässerung in Schilfbeeten. In: Bericht des 2. Hohenheimer Seminars: „Entseuchung von Klärschlamm“ – Erfahrungsberichte aus der Praxis, 23. - 24. Februar 1988, Hohenheim, Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V. (DVG) (Hrsg.), Gießen, 261-274

**LANGERFELD, E. (1984):** *Synchytrium endobioticum* (Schilb.) Perc. – Zusammenfassende Darstellung des Erregers des Kartoffelkrebses anhand von Literaturberichten. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, 219

**LANKOW, C.; J. HARTUNG (2011):** Anforderungen zur seuchenhygienischen Abschirmung von Tierhaltungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Schweine- und Geflügelhaltung. Vortrag bei der KTBL-Vortragsveranstaltung: Aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen für die Tierhaltung, 9.6.2011, Ulm

**LEACH, L.D.; S.W. MEAD (1936):** Viability of sclerotia of *Sclerotium rolfsii* after passage through the digestive tract of cattle and sheep. *Journal of Agricultural Research* **53**, 519-526

**LEBHUHN, M.; P. WILDERER (2006):** Mikrobiologische, parasitologische und virologische Untersuchungen. In: *Biogastechnologie zur umweltverträglichen Flüssigmistverwertung und Energiegewinnung in Wasserschutzgebieten*, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.), Freising-Weihenstephan, Teil B, 149-240

**LEHTONEN, M. T; E. M. MARTTINEN; M. AKITA; J. P. T. VALKONEN (2012):** Fungi infecting cultivated moss can also cause diseases in crop plants. *Annals of applied biology* **160**, 3, 298–307

**LEL (2011):** Agrarmärkte 2010 – Kartoffeln. LEL, Schwäbisch Gmünd, [https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1318314\\_l1/LEL\\_Agrarmärkte%202010%20-%202004%20Kartoffeln%20\(Text\)%20\(y\).pdf](https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1318314_l1/LEL_Agrarmärkte%202010%20-%202004%20Kartoffeln%20(Text)%20(y).pdf); Webseite aufgerufen am 26.09.2012

**LFL (2012):** Unkraut-Steckbriefe. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, <http://www.lfl.bayern.de/ips/landwirtschaft/unkrautsteckbrief/08548/>, Webseite aufgerufen am 26.09.2012

**LESCHBER, R.; W. NIEMITZ (1996):** Klärschlamm-Mengen und -Beschaffenheit. In: *Abwassertechnische Vereinigung e. V. (Hrsg.): ATV-Handbuch Klärschlamm*, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin, 4. Auflage, 79-109

**LESEMANN, D.-E.; R. KÖNIG (1988):** Pflanzenpathogene Viren in Oberflächengewässern. In: *Viren und Plasmide in der Umwelt*, Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene **78**, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York

**LIEBE, S.; P. MÜLLER, M. BANDTE; M. HEIERMANN; C. BÜTTNER (2012):** Überlebensfähigkeit von *Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus* in der anaeroben Vergärung. *Julius-Kühn-Archiv* **438**, 62

**LINHARES, D. C. L., M. TORREMORELL; H. SOO JOO; R. B. MORRISON (2012):** Infectivity of PRRS virus in pig manure at different temperatures. *Veterinary Microbiology*, article in press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetmic2012.05.009>

**LINSEL, G. (2001):** Bioaerosole – Entstehung und biologische Wirkungen. Beitrag für den Workshop „Sicherer Umgang mit biologischen Arbeitsstoffen und Zytostatika“, Braunschweig, 12.03. – 13.03.2001, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund

**LOCKING, M. E.; S. J. O'BRIEN; W. J. REILLY; E. M. WRIGHT; D. M. CAMPBELL; J. E. COIA; L. M. BROWNING; C. N. RAMSAY (2001):** Risk factors for sporadic cases

---

of *Escherichia coli* O157 infection: the importance of contact with animal excreta. *Epidemiology and Infection* **127**, No. 2, 215-220

**LODDER, W. J.; J. VINJÉ; R. VAN DE HEIDE; A. M. DE RODA HUSMAN; E. J. T. M. LEENEN; M. P. G. KOOPMANS (1999):** Molecular Detection of Norwalk-Like Caliciviruses in Sewage. *Applied and Environmental Microbiology* **65**, No. 12, 5624–5627

**LOOTSMA, A.; T. RAUSSEN (2008):** Aktuelle Verfahren zur Aufbereitung und Verwertung von Gärresten. In: WIEMER, K.; M. KERN (Hrsg.): Bio- und Sekundärrohstoffverwertung III, Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, Witzenhausen, 559-576

**LORENZ, H., (2004):** Überprüfung der phyto- und seuchenhygienischen Unbedenklichkeit von Vergärungsrückständen aus der anaeroben Behandlung von Bioabfällen. Abschlussbericht eines Forschungsprojektes im Rahmen des Umweltforschungsplans des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Förderkennzeichen: 200 33 331, Institut für Phytomedizin, Universität Hohenheim

**LUA (2005):** Biologische Abluftreinigungsanlagen; Erfahrungsbericht zu den Anwendungsmöglichkeiten im Land Brandenburg. Fachbeiträge des Landesumweltamtes Heft Nr. 95; <http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/2320/luabd95.pdf>, Webseite aufgerufen am 26.09.2012

**LÜCK, C.; E. JACOBS (2012):** Legionellen. In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 298-301

**LÜTTICKEN, R. (1992):** Streptococcaceae. In: BURKHARDT, F. (Hrsg.): Mikrobiologische Diagnostik, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 51-67

**LUND, E.; B. NISSEN (1983):** The Survival of Enteroviruses in Aerated und Unaerated Cattle and Pig Slurry. *Agricultural Wastes* **7**, No. 4, 221-233

**LUTZ, B.; W. MÜLLER; K. M. A. KOCH; D. STRAUCH (1984):** Das Verhalten von Newcastle Disease Virus im luftgetragenen Zustand. 2. Mitteilung: Abschätzung der aerogenen Ausbreitung. *Zentralblatt für Veterinärmedizin B* **31**, Nr. 5, 329-337

**LUVOS (2012):** Woraus besteht Luvos-Heilerde? [HTTP://WWW.LUVOS.DE/CONTENT.ASP?LID=1&SDID=0&DID0=2&DID1=9&WPTID=2&WPID=11&MGID=0&PTID=&PID=0&SID=0](http://www.luvos.de/content.asp?lid=1&sdid=0&did0=2&did1=9&wptid=2&wpid=11&mgid=0&ptid=&pid=0&sid=0), Webseite aufgerufen am 27.09.2012

**LWK HANNOVER (2004):** Umweltgerechte Verwertung in der Landwirtschaft, Pilzkultursubstrate. Merkblätter für Beratung, Praxis und Vollzug, Nr. 2, März 2004, Landwirtschaftskammer Hannover

**MAC KENZIE, W. R.; N. J. HOXIE; M. E. PROCTOR; M. S. GRADUS; K. A. BLAIR; D. E. PETERSON; J. J. KAZMIERCZAK; D. G. ADDISS; K. R. FOX; J. B. ROSE; J. P. DAVIS (1994):** A Massive Outbreak in Milwaukee of Cryptosporidium Infection Transmitted Through the Public Water Supply. *The New England Journal of Medicine* **331**, No. 3, 161-167

**MANNEBECK, H. (1986):** Güllebehandlung – Belüftung, Separieren, Kompostieren, Flüssigmistzusätze. In: Gülle – Erzeugung, Lagerung, Technik, Verwertung, BauBriefe Landwirtschaft, Heft 29, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 32-36

**MARAÑÓN, E.; L. CASTRILLÓN; J. J. FERNÁNDEZ; Y. FERNÁNDEZ; A. I. PELÁEZ; J. SÁNCHEZ (2006):** Anaerobic Mesophilic Treatment of Cattle Manure in an Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor with Prior Pasteurization. *Journal of the Air & Waste Management Association* **56**, No. 2, 137-143

**MARCINISZYN, E.; M. U. PEITZMEIER; J. HECKMANN (2004):** Überprüfung der phyto- und seuchenhygienischen Unbedenklichkeit von Vergärungsrückständen aus der anaeroben Behandlung von Bioabfällen. Abschlussbericht eines Forschungsprojektes im Rahmen des Umweltforschungsplans des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Förderkennzeichen: 200 33 331

**MARTENS, W.; R. BÖHM (2009):** Overview of the ability of different treatment methods for liquid and solid manure to inactivate pathogens. *Bioresource Technology* **100**, 5374–5378

**MARTHI, B.; V. P. FIELAND; M. WALTER; R. J. SEIDLER (1990):** Survival of bacteria during aerosolization. *Applied Environmental Microbiology* **56**, No. 11, 3463-3467

**MATTUSCH, P; T. BOTZ; W. HILGENBERG (1988):** Untersuchungen zur Kontamination von Rohtorfen und gärtnerischen Anzuchterden mit dem Erreger der Kohlhernie, *Plasmodiophora brassicae*. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* 240

**MAUS, R; A. GOPPELSRÖDER; H. UMHAUER (1997):** Abscheidung und Überlebensrate von luftgetragenen Mikroorganismen in technischen Tiefenfiltern. Forschungsbericht FZKA-PEF 152 zum PEF-Projekt „Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung“, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik, Universität Karlsruhe (TH)

**MAYR, C. F. (2002):** Nachweis von luftgetragenen Viren an Standorten der Abfall- und Abwasserentsorgung. *Agrarwiss. Diss.*, Universität Hohenheim

**MC CARTHY, G.; P. G. LAWLOR; L. COFFEY; T. NOLAN; M. GUTIERREZ; G. E. GARDINER (2011):** An assessment of pathogen removal during composting of the separated solid fraction of pig manure. *Bioresource Technology* **102**, 9059–9067

---

**MCLAUGHLIN; M. R.; J. P. BROOKS (2009):** Recovery of *Salmonella* from Bermuda-grass Exposed to Simulated Wastewater. *Journal of Environmental Quality* **38**, No. 1, 337–342

**METZ, H. (1990):** Vorkommen und Bedeutung von Salmonellen in Südbayern. *Bundesgesundheitsblatt* **33**, 492-493

**METZLER, A. (2000):** Viren und unkonventionelle Krankheitserreger. In: Potenzielle Schadorganismen und Stoffe in Futtermitteln sowie in tierischen Fäkalien, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn, Mitteilung 4, WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 5-55

**MEYER, U; H. BLUM; U. GÄRBER; M. HOMMES; R. PUDE; J. GABLER (2010):** Praxisleitfaden Krankheiten und Schädlinge im Arznei- und Gewürzpflanzenanbau. DPG Spectrum Phytomedizin, DPG Selbstverlag, Braunschweig

**MIELKE, M. (2012):** Anthropozoonoseerreger ohne Familienzugehörigkeit: Listerien, Brucellen, Francisellen und Erysipelothrix. In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): *Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 302-312

**MILES, S.; K. TAKIZAWA; C. GERBA; I. PEPPER (2011):** Survival of infectious prions in Class B biosolids. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* **46**, No. 4, 364-370

**MILINOVICH, G. J.; A. V. KLIEVE (2011):** Manure as a Source of Zoonotic Pathogens. In: KRAUSE, D. O.; S. HENDRICK (Eds.): *Zoonotic Pathogens in the Food Chain*, CAB International, Wallingford, Oxfordshire, GB, Cambridge, MA, USA

**MITSCHERLICH, E.; E. H. MARTH (1984):** *Microbial Survival in the Environment*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo

**MÖLLER, K.; R. SCHULZ; T. MÜLLER (2009):** Mit Gärresten richtig Düngen – Aktuelle Informationen für Berater. Institut für Pflanzenernährung, Universität Hohenheim, in Zusammenarbeit mit E.ON Bioerdgas GmbH und E.ON Ruhrgas AG

**MÖLLER, U. (1988):** Entseuchung von Klärschlamm – Eine Standortbestimmung 1987. *Korrespondenz Abwasser* **35**, Nr. 1, 24-30

**MÖSE, J. R.; F. REINTHALER (1985):** Mikrobiologische Untersuchungen zur Kontamination von Krankenhausabfällen und Haushaltsmüll. *Zentralblatt für Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene, I. Abt. Orig. B* **181**, 98-110

**MORARU, R.; A.-M. POURCHER; A. JADAS-HECART; I. KEMPF; C. ZIEBAL; M. KERVARREC; P.-Y. COMUNAL; M. MARES; P. DABERT (2012):** Changes in Concentrations of Fluoroquinolones and of Ciprofloxacin-resistant Enterobacteriaceae in

Chicken Feces and Manure Stored in a Heap. *Journal of Environmental Quality* **41**, No. 3, 754-763

**MOROZZI, G.; R. SPORTOLARI; G. CALDINI; G. CENCI; A. MOROSI (1988):** The effect of anaerobic and aerobic wastewater treatment on faecal coliforms and antibiotic-resistant faecal coliforms. *Zentralblatt für Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene B* **185**, Nr. 4-5, 340-349

**MOSS, A. (2001):** Tenazität viraler Tierseuchenerreger in biogenen Abfällen in Biogasanlagen bei der Kofermentation mit Gülle. *Vet.-med. Diss., Justus-Liebig-Universität, Gießen*

**MOSSEL, D. A. A.; P. G. H. BIJKER; I. EELDERINK (1978):** Streptokokken der Lancefield-Gruppe D in Lebensmitteln und Trinkwasser - Ihre Bedeutung, Erfassung und Bekämpfung. *Archiv für Lebensmittelhygiene* **29**, Nr. 4, 121-127

**MOTARJEMI, Y. (2002):** Chronic sequelae of foodborne infections. In: BLACKBURN, C. de W.; P. J. MCCLURE (Eds.): *Foodborne pathogens*, CRC Press, Boca Raton, Boston, New York, Washington, DC, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 501-513

**MOTZ, R. (1979):** Hygiene der Gewinnung und Verwertung von Abbauprodukten aus Tierproduktionsanlagen. In: MEHLHORN, G. (Hrsg.): *Lehrbuch der Tierhygiene*, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, Teil I, 353-384

**MÜLLER, W. (1986):** Gülle unter Strom. *Landtechnik* **41**, Nr. 3, 122-124

**MÜLLER, W. (1991):** Allgemeine Hygiene. In: SOMMER, H.; E. GREUEL; W. MÜLLER: *Hygiene der Rinder- und Schweineproduktion*, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, UTB Bd. 514, 2. Auflage, 13-127

**MÜLLER, W.; E.-M. SPINDLER; G. SAUER (1990):** Möglichkeiten und Grenzen der Reduktion pathogener Keime in gelagerter Gülle durch das Oligolyse-Verfahren. In: Bericht des 3. Hohenheimer Seminars: „Aktuelle Probleme der Desinfektion von Nutztierställen sowie von Fest- und Flüssigmist“, Stuttgart-Hohenheim, 18. – 19. September 1990, Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V., Gießen, 219-224

**MÜLLER, W.; A. von DOSSOW; P.-S. DINTER (1988):** Die Tenazität von Bakterien im luftgetragenen Zustand - V. Mitteilung: Vergleich zwischen ferkel- und kälberpathogenen *E. coli*-Stämmen. *Tierärztliche Umschau* **43**, Heft 4, 258-262

**MÜLLER, W.; P. WIESER; H. KÜHME (1978):** Zur Frage der Ausbreitung von Luftkeimen aus Tierställen. *Zentralblatt für Veterinärmedizin Reihe B* **25**, 216-224

**NAZIR, J. (2011):** Persistence of H4N6, H5N1, and H6N8 avian influenza viruses, H1N1 human influenza virus, and two model viruses (NDV and ECBO) in various types of water,

---

lake sediment, duck feces, and meat. Vet.-med. Diss., Justus-Liebig-Universität Gießen, VVB Laufersweiler Verlag, Gießen

**NAZIR, J.; R. HAUMACHER; A. C. IKE; R. E. MARSCHANG (2011):** Persistence of Avian Influenza Viruses in Lake Sediment, Duck Feces, and Duck Meat. *Applied and Environmental Microbiology* **77**, No. 14, 4981-4985

**NICHOLSON, F. A.; S. J. GROVES; B. J. CHAMBERS (2005):** Pathogen survival during livestock manure storage and following land application. *Bioresource Technology* **96**, No. 2, 135-143

**NIEDERWÖHRMEIER, B.; U. BUTZ; R. BÖHM (1988):** Physikalische Entseuchungs- und sonstige Verfahren – Hygiene – Mikrowellenanwendung. In: Bericht des 2. Hohenheimer Seminars: „Entseuchung von Klärschlamm“ – Erfahrungsberichte aus der Praxis, 23. - 24. Februar 1988, Hohenheim, Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V. (DVG) (Hrsg.), Gießen, 231-248

**NOBLE, R.; J. G. ELPHINSTONE; C. E. SANSFORD; G. E. BUDGE; C. M. HENRY (2009):** Management of plant health risks associated with processing of plant-based wastes: A review. *Bioresource Technology* **100**, 3431-3446

**NOBLE, R.; S. J. ROBERTS (2004):** Eradication of plant pathogens and nematodes during composting: A review. *Plant Pathology* **53**, 548-568

**OGDEN, I. D.; J. F. DALLAS; M. MACRAE; O. ROTARIU; K. W. REAY; M. LEITCH; A. P. THOMSON; S. K. SHEPPARD; M. MAIDEN; K. J. FORBES; N. J. C. STRACHAN (2009):** Campylobacter Excreted into the Environment by Animal Sources: Prevalence, Concentration Shed, and Host Association. *Foodborne Pathogens and Disease* **6**, No. 10, 1161-1170

**OTTOW, J. C. G. (2011):** Mikrobiologie von Böden. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg

**OWEN, M. K., D. S. ENSOR; L. E. SPARKS (1992):** Airborne particle sizes and sources found in indoor air. *Atmospheric Environment* **26 A**, No. 12, 2149-2162

**PALUSZAK, Z.; A. LIPOWSKI; A. LIGOCKA (2012):** Survival rate of Suid herpesvirus (SuHV-1, Aujeszky's disease virus, ADV) in composted sewage sludge. *Polish Journal of Veterinary Sciences* **15**, No. 1, 51-54

**PANGALLO, D.; H. DRAHOVSKÁ; J. HARICHOVÁ; E. KARELOVÁ; K. CHOVANOVÁ; P. FERIANC; J. TURŇA; J. TIMKO (2008):** Assessment of environmental enterococci: bacterial antagonism, pathogenic capacity and antibiotic resistance. *Antonie van Leeuwenhoek* **94**, No. 4, 555-562

---

**PANTCHEV, A. (2010):** Spezies-spezifischer Nachweis von Chlamydien bei Haustieren mittels Real-Time PCR. Vet.-med. Diss., Justus-Liebig-Universität Gießen, VVB Laufersweiler Verlag, Wettenberg

**PANTCHEV, A.; R. STING; R. BAUERFEIND; J. TYCZKA; K. SACHSE (2010):** Detection of all *Chlamydomphila* and *Chlamydia* spp. of veterinary interest using species-specific real-time PCR assays. Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases **33**, No. 6, 473-484

**PELL, A. N. (1997):** Manure and Microbes: Public and Animal Health Problem? Journal of Dairy Science **80**, No. 10, 2673-2681

**PFEILSTETTER, E. (1999):** Der Einfluss von Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschädlingen auf die phytohygienische Unbedenklichkeit von Komposten. In: Stand von Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallsorgung und -verwertung. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Luft-hygiene

**PFIRRMANN, A.; R. BÖHM (2000):** Bakterien und deren Stoffwechselprodukte in tierischen Fäkalien. In: Potenzielle Schadorganismen und Stoffe in Futtermitteln sowie in tierischen Fäkalien, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn, Mitteilung 4, WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 102-164

**PHILIPP, W. (1981):** Vergleichende hygienische Untersuchungen über die Wirkung der Klärschlammpasteurisierung vor und nach der mesophilen, anaeroben, alkalischen Schlammfäulung. Vet.-med. Diss. Justus-Liebig-Universität Gießen

**PHILIPP, W. (1988):** Schlammpasteurisierung – Hygiene. In: Bericht des 2. Hohenheimer Seminars: „Entseuchung von Klärschlamm“ – Erfahrungsberichte aus der Praxis, 23. - 24. Februar 1988, Hohenheim, Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V. (DVG) (Hrsg.), Gießen, 60-87

**PHILIPP, W. (2010):** Notwendigkeit und Wege der Hygienisierung von Bioabfällen und Klärschlämmen. Vortrag auf dem DWA-Seminar: Landwirtschaftliche und landschaftsbauliche Verwertung von Klärschlämmen und Bioabfällen, 19. – 20. Mai, Marburg

**PHILIPP, W.; K. ADE; M. DRČA; H. LORENZ; R. BÖHM (2003):** Anaerobbehandlung von Gülle und Kofermenten - Seuchen- phytohygienische Aspekte im Rahmen der Novellierung der Bioabfallverordnung (BioAbfV). In: 6. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2003, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) (Hrsg.), Darmstadt, 25. – 27. März, Vechta, 354-360

**PHILIPP, W. und BÖHM, R. (2002):** Bewertung der bakteriologischen Untersuchungsergebnisse von Inputstoffen und Substratproben vor und nach der anaeroben Behandlung in 20 verschiedenen Biogasanlagen mit unterschiedlichen technischen Einrichtungen

und Verfahrensprozessen, Ergebnisse aus dem F&E- Vorhaben „Optimierung der Anaerobtechnik zur Behandlung von Bioabfällen aus Sicht der Hygiene sowie Erarbeitung eines Hygiene-Prüfsystems für Anaerob-Anlagen“, interner Bericht, Institut für Umwelt- und Tierhygiene sowie Tiermedizin mit Tierklinik, Universität Hohenheim, unveröffentlicht

**PHILIPP, W.; M. BUX; R. BAUMANN; K. HERTWIG; R. BÖHM (2006):** Solare Trocknung und Hochtemperaturpelletierung zur Hygienisierung von Klärschlamm. Müll-Handbuch, Kennziffer 5026, Lieferung 4/06, Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG, Berlin

**PHILIPP, W.; R. GRESSER; E. MICHELS; D. STRAUCH (1990):** Vorkommen von Salmonellen in Gülle, Jauche und Stallmist landwirtschaftlicher Betriebe in einem Wasserschutzgebiet. Forum Städte-Hygiene **41**, 209-212

**PHILIPP, W.; L. E. HÖLZLE (2012):** Krankheitskeime in Gärresten aus Biogasanlagen? Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft **72**, Nr. 5, 216-220

**PHILIPP, W.; A. LANG (1988):** Vergleichende Untersuchungen zur Anreicherung von Salmonellen aus Klärschlämmen und organischen Düngern. Tierärztliche Umschau **43**, Nr. 11, 721-727

**PHILIPP, W.; A. PFIRRMANN; B. SCHMIDT; D. STRAUCH (1994):** Keime und Viren bei Abfallbehandlungsanlagen -Konsequenzen für den Arbeitsschutz-. In: WIEMER, K.; M. KERN (Hrsg.): Verwertung biologischer Abfälle, M.I.C. Baeza Verlag, Witzenhausen, 1. Auflage, 309-349

**PICHLER-SEMELROCK, F. P.; E. MARTH; M. KÖCK (1996):** Hygienische Aspekte beim Umgang mit biogenen Abfällen. In: Schriftenreihe „Abfallwirtschaft“, Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Sektion III, Stubenbastei 5, 1010 Wien (Hrsg.), Band 33, 8-20

**PICKUP, R. W.; G. RHODES; T. J. BULL; S. ARNOTT; K. SIDI-BOUMEDINE; M. HURLEY; J. HERMON-TAYLOR (2006):** *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* in Lake Catchments, in River Water Abstracted for Domestic Use, and in Effluent from Domestic Sewage Treatment Works: Diverse Opportunities for Environmental Cycling and Human Exposure. Applied and Environmental Microbiology **72**, No. 6, 4067-4077

**PILLAI, S. D.; K. W. WIDMER; S. E. DOWD; S. C. RICKE (1996):** Occurrence of Airborne Bacteria and Pathogen Indicators during Land Application of Sewage Sludge. Applied and Environmental Microbiology **62**, No. 1, 296-299

**PIRRON, N. (2001):** Empirische Untersuchungen zum Vorkommen von Salmonellen in Schweinemastbeständen. Vet.-med. Diss., Tierärztliche Hochschule Hannover

**PIETSCH, M. (2010):** Phytosanitäre Aspekte der anaeroben Behandlung und Verwertung von Bioabfällen und pflanzlichen Biomassen. In: Gewässerschutz – Wasser –

Abwasser, 43. Essener Tagung für Wasser und Abfallwirtschaft, 17.-19. März 2010; J. Pinnekamp (Hrsg.), Aachen, 220

**PLACHÁ, I.; J. VENGLOVSKÝ; V. LASANDA; P. PLACHÝ (1997):** Survival of *Salmonella* Thyphimurium in the solid fraction from a farm waste water treatment plant. *Veterinary Medicine (Praha)* **42**, No. 5, 133-137

**PLYM-FORSHELL, L.; I. EKESBO (1993):** Survival of Salmonellas in Composted and Not Composted Solid Animal Manures. *Journal of Veterinary Medicine B* **40**, 654-658

**PLYM-FORSHELL, L.; I. EKESBO (1996):** Survival of Salmonellas in urine and dry faeces from cattle – an experimental study. *Acta Veterinaria Scandinavica* **37**, No.2, 127-131

**PRAŽMO, Z.; E. KRYSIŃSKA-TRACZYK; C. SKÓRSKA; J. SITKOWSKA; G. CHOLEWA; J. DUTKIEWICZ (2003):** Exposure to Bioaerosols in a Municipal Sewage Treatment Plant. *Annals of Agricultural Environmental Medicine* **10**, 241-248

**PRECHT, H.; J. CHRISTOPHERSON; H. HENSEL (1955):** *Temperatur und Leben*. Springer Verlag, Berlin

**PRESCOTT, J. F. (1987):** Epidemiology of *Rhodococcus equi* Infection in Horses. *Veterinary Microbiology* **14**, 3, 211-214

**PUIG, M.; J. JOFRE; F. LUCENA; A. ALLARD; G. WADELL; R. GIRONES (1994):** Detection of adenoviruses and enteroviruses in polluted waters by nested PCR amplification. *Applied and Environmental Microbiology* **60**, No. 8, 2963-2970

**PULVERER, G. (1993):** *Medizinische Mikrobiologie und Parasitologie für Krankenpflegeberufe*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 3. Auflage

**QUINN, P. J.; B. K. MARKEY; F. C. LEONARD; E. S. FITZPATRICK; S. FANNING; P. J. HARTIGAN (2011):** *Veterinary Microbiology and Microbial Disease*. Wiley-Blackwell, Chichester u. a., United Kingdom, 2<sup>nd</sup> Edition

**RAPP, A. (1995):** Hygienisch-mikrobiologische Untersuchungen zum Verhalten von ausgewählten Bakterien und Viren während der längerfristigen Speicherung von Flüssigmist in Güllegemeinschaftsanlagen. Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim

**RAUSSEN, T.; A. LOOTSMA (2008):** Am Ende anfangen – die Aufbereitung von Gärresten stellt für größere Vergärungsanlagen einen maßgeblichen Verfahrensschritt dar. *Müllmagazin* **21**, Nr. 2, 14-20

**REHFUS, S. (2012):** Klimaschutz beginnt bei einfachen Entscheidungen – zum Beispiel bei der Klärschlammwässerung. *EKOPRESS Sonderausgabe 2012*, EKO-PLANT GmbH, Neu-Eichenberg, 3-5

- 
- REINHOLD, G. (2005):** Masse- und Trockensubstanzbilanz in landwirtschaftlichen Biogasanlagen - Genau bilanzieren. Neue Landwirtschaft, Nr. 12, 68-72
- REINTHALER, F. F.; J. POSCH; G. FEIERL; G. WÜST; D. HAAS; G. RUCKENBAUER; F. MASCHER; E. MARTH (2003):** Antibiotic resistance of *E. coli* in sewage and sludge. Water Research **37**, No. 8, 1685-1690
- RICHARDSON, M. J. (1990):** An annotated list of seed-borne diseases. International Seed Testing Association
- ROBINSON, G.; R. M. CHALMERS (2010):** The European Rabbit (*Oryctolagus cuniculus*), a Source of Zoonotic Cryptosporidiosis. Zoonoses and Public Health **57**, No. 7-8, e1-e13
- RODEMANN, B.; U. POTTBERG; M. PIETSCH (2011):** Untersuchungen zur Inaktivierung von Getreide- und Maispathogenen in Biogasanlagen. In: Untersuchungen zum phytosanitären Risiko bei der anaeroben Vergärung von pflanzlichen Biomassen in Biogasanlagen, KTBL-Fachgespräch 14. November 2011, Berlin, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (Hrsg.), Darmstadt
- RODLOFF, A. C. (2012):** Obligat anaerobe, sporenbildende Stäbchen (Clostridien). In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 324-332
- ROHMANN, U.; R. FISCHEDER (2001):** Untersuchung der Buchbrunnenquelle auf Cryptosporidien und Giardien. In: Fallstudien zur mikrobiologischen Belastung von Quellwässern - Ergebnisse für Quellen aus wenig geschützten Festgesteinsgrundwasserleitern in Baden-Württemberg, Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe, Bd. 14, gekürzter Ausschnitt, 68-73
- ROLLE, M.; A. MAYR (1993):** Medizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 6. Auflage
- ROTH, P.; C. RATSAK (2012):** Auflagen für gehandelte Gärreste. top agrar **41**, Nr. 7, 7
- ROTH, S. (1994):** Mikrobiologisch-hygienische Untersuchungen zur Bioabfallkompostierung in Mieten und in Kleinkompostern. Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim
- ROY, S. L.; S. M. DELONG; S. A. STENZEL; B. SHIFERAW; J. M. ROBERTS; A. KHALAKDINA; R. MARCUS; S. D. SEGLER; D. D. SHAH; S. THOMAS; D. J. VUGIA; S. M. ZANSKY; V. DIETZ; M. J. BEACH AND EMERGING INFECTIONS PROGRAM FOODNET WORKING GROUP (2004):** Risk Factors for Sporadic Cryptosporidiosis among Immunocompetent Persons in the United States from 1999 to 2001. Journal of Clinical Microbiology **42**, No. 7, 2944-2951

**RÜCKERT, V. (1991):** Mikrobiologische Untersuchungen zur aeroben und anaeroben Flüssigmistbehandlung. Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim

**RÜDEN; H.; J. GAUBE; E. JAGER; J. JAGER (1986):** Untersuchungen bei unterschiedlichen Abfuhrsystemen. In: CRONAUGE, U.; H. RÜDEN; K. SCHEFFOLD; W. SCHENKEL; W. SEIDEL: Beiträge zum Workshop Abfallwirtschaft '86 Kempen, Städtereinigung Schönackers GmbH, Am Selder 9, Kempen, 109-116

**RÜPRICH, W. (1980):** Geruchsfreie Gülle. DLG-Verlag, Frankfurt/Main, BLV Verlagsgesellschaft, München, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, Österreichischer Agrarverlag, Wien, Verlag Wirz, Aarau

**RÜPRICH, W.; D. STRAUCH (1984):** Technologische und hygienische Aspekte der aerob-thermophilen Schlammstabilisierung – System Fuchs. Korrespondenz Abwasser **31**, Nr. 11, 946-952

**RÜSCH-GERDES, S; D. HILLEMANN (2012 a):** Mykobakterien, nichttuberkulöse (NTM). In: DARAI, G.; M. HANDERMANN; H.-G. SONNTAG; L. ZÖLLER (Hrsg.): Lexikon der Infektionskrankheiten des Menschen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 4. Auflage, 575-580

**RÜSCH-GERDES, S; D. HILLEMANN (2012 b):** Tuberkulosebakterien. In: DARAI, G.; M. HANDERMANN; H.-G. SONNTAG; L. ZÖLLER (Hrsg.): Lexikon der Infektionskrankheiten des Menschen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 4. Auflage, 905-910

**RUZANTE, J. M.; J. E. LOMBARD; B. WAGNER; C. P. FOSSLER; J. S. KARNS; J. A. S. VAN KESSEL; I. A. GARDNER (2010):** Factors associated with *Salmonella* Presence in Environmental Samples and Bulk Tank Milk from US Dairies. Zoonoses and Public Health **57**, No. 7-8, e217-e225

**SAHL, H.-G. (2001):** Aufbau und Morphologie der Bakterienzelle. In: KÖHLER, W.; H. J. EGGERS; B. FLEISCHER; R. MARRE; H. PFISTER; G. PULVERER (Hrsg.): Medizinische Mikrobiologie, Urban & Fischer Verlag, München, Jena, 8. Auflage, 153-171

**SAIER, M. (1987):** Untersuchungen zum Verhalten human- und tierpathogener thermostabiler Viren bei der Pasteurisierung von Klärschlamm. Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim

**SATTAR, S. A.; M. K. IJAZ; C. M. JOHNSON-LUSSENBURG; V. S. SPRINGTHORPE (1984):** Effect of relative humidity on the airborne survival of rotavirus SA11. Applied Environmental Microbiology **47**, No. 4, 879-881

**SATTELBERGER, R. (1999):** Arzneimittelrückstände in der Umwelt. Umweltbundesamt GmbH, Wien, Österreich, Reports R-162

**SCHAPPLER-SCHEELE, B.; T. MISSEL (1999):** Gefährdungsanalyse von Keimemissionen in Kompostierungsanlagen und arbeitsmedizinische Relevanz für die Praxis - Ergebnisse einer Untersuchung von 42 Kompostierungsanlagen. In: WIEMER, K.; M. KERN (Hrsg.): Bio- und Restabfallbehandlung III, biologisch - mechanisch - thermisch, M.I.C. Baeza-Verlag, Witzenhausen, 223-252

**SCHERER, P. A. (1992):** Hygienische Aspekte bei der getrennten Abfallsammlung. In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J.; P. A. SCHERER (Hrsg.): Getrennte Wertstoffeffassung und Biokompostierung 2, EF-Verlag für Energie und Umwelttechnik GmbH, Berlin, 135-161

**SCHIEFERSTEIN, C.; G. JUST-NÜBLING (2006):** Bandwurminfektionen (Zestoden). In: CASPARY, W. F.; M. KIST; J. STEIN (Hrsg.): Infektiologie des Gastrointestinaltraktes, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 351-361

**SCHIKORA, A.; I. VIRLOGEUX-PAYANT; E. BUESO; A. V. GARCIA; T. NILAU; A. CHARRIER; S. PELLETIER; P. MENANTEAU; M. BACCARINI; P. VELGE; H. HIRT (2011):** Conservation of *Salmonella* Infection Mechanisms in Plants and Animals. PLoS ONE 6, No. 9, e24112

**SCHINDLER, P. (2004):** Fäkale Verunreinigungen im Trinkwasser. In: Wasser – Reservoir des Lebens: Aktuelle Fragen zu Wasserversorgung und -hygiene, FLUGS-Seminar, 6. Oktober 2003, Nürnberg, FLUGS Fachinformationsdienst Lebenswissenschaften, Umwelt und Gesundheit, Helmholtz Zentrum München, Neuherberg, 17-26

**SCHMIDT, B. (1994):** Bakteriologische Untersuchungen zur Keimemission an Arbeitsplätzen in der Müllentsorgung und -verwertung. Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim

**SCHMITT, T. G.; A. WELKER; C. STEINBRÜCK; M. DIERSCHKE (2007):** Perspektiven einer zukunftsfähigen Klärschlammbehandlung in Rheinland-Pfalz. Schlussbericht, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Fachbereich Bauingenieurwesen, Technische Universität Kaiserslautern

**SCHNEICHEL, H.-W. (2010):** Vollzug der Düngemittelverordnung im Rahmen der Verwertung von Klärschlämmen und Bioabfällen. Vortrag auf dem DWA-Seminar: Landwirtschaftliche und landschaftsbauliche Verwertung von Klärschlämmen und Bioabfällen, 19. – 20. Mai, Marburg

**SCHNIEDER, T. (2006):** Veterinärmedizinische Parasitologie, Parey in MVS Medizinverlage Stuttgart GmbH & Co. KG, Stuttgart, 6. Auflage

**SCHNITZLER, P. (2012):** Reoviren. In: DARAI, G.; M. HANDERMANN; H.-G. SONNTAG; L. ZÖLLER (Hrsg.): Lexikon der Infektionskrankheiten des Menschen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 4. Auflage, 752-755

**SCHOENEN, D.; K. BOTZENHART; M. EXNER; I. FEUERPFEIL; O. HOYER; C. SACRÉ; R. SZEWZYK (1997):** Vermeidung einer Übertragung von Cryptosporidien und Giardien mit dem Wasser. Bundesgesundheitsblatt **40**, Nr. 12, 466-475

**SCHORPP, B.; R. BÖHM (1990):** Mikrowellenbehandlung zur Desinfektion von Flüssigmist. In: Bericht des 3. Hohenheimer Seminars: „Aktuelle Probleme der Desinfektion von Nutztierställen sowie von Fest- und Flüssigmist“, Stuttgart-Hohenheim, 18. – 19. September 1990, Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V., Gießen, 199-218

**SCHRADE, S.; H. OECHSNER; C. U. PEKRUN; W. CLAUPIN (2003):** Einfluss des Biogasprozesses auf die Keimfähigkeit von Samen. Landtechnik **58**, Nr. 2, 90-91

**SCHÜTT-GEROWITT, H. (2001):** Die Familie der Spirochaetaceae - Spirochätosen. In: KÖHLER, W.; H. J. EGGERS; B. FLEISCHER; R. MARRE; H. PFISTER; G. PULVERER (Hrsg.): Medizinische Mikrobiologie, Urban & Fischer Verlag, München, Jena, 8. Auflage, 452-464

**SCHÜTT-GEROWITT, H. (2012 a):** Clostridien der Gasbrand-Gruppe. In: DARAI, G.; M. HANDERMANN; H.-G. SONNTAG; L. ZÖLLER (Hrsg.): Lexikon der Infektionskrankheiten des Menschen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 4. Auflage, 180-183

**SCHÜTT-GEROWITT, H. (2012 b):** *Clostridium botulinum*. In: DARAI, G.; M. HANDERMANN; H.-G. SONNTAG; L. ZÖLLER (Hrsg.): Lexikon der Infektionskrankheiten des Menschen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 4. Auflage, 183-185

**SCHÜTT-GEROWITT, H. (2012 c):** *Clostridium tetani*. In: DARAI, G.; M. HANDERMANN; H.-G. SONNTAG; L. ZÖLLER (Hrsg.): Lexikon der Infektionskrankheiten des Menschen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 4. Auflage, 187-188

**SCHÜTT-GEROWITT, H. (2012 d):** *Clostridium difficile*. In: DARAI, G.; M. HANDERMANN; H.-G. SONNTAG; L. ZÖLLER (Hrsg.): Lexikon der Infektionskrankheiten des Menschen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 4. Auflage, 185-187

**SCHÜTT-GEROWITT, H. (2012 e):** *Bacillus anthracis*. In: DARAI, G.; M. HANDERMANN; H.-G. SONNTAG; L. ZÖLLER (Hrsg.): Lexikon der Infektionskrankheiten des Menschen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 4. Auflage, 58-61

**SCHULTHEISS, U.; H. DÖHLER; M. SCHWAB (2010):** Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft – jährliche Anfallmengen in der Bundesrepublik Deutschland. Landtechnik **65**, Nr. 5, 354-356

**SCHWARTZ, A. (1990):** Bakteriologische Untersuchungen zur Überprüfung der Düngerverpackung gemäß § 14 Nr. 1 der Anlage A-BAVG unter heutigen Haltungs- und Fütterungsbedingungen, Vet.-med. Diss., Justus-Liebig-Universität Gießen

---

**SEEDORF, J.; J. HARTUNG (2002):** Stäube und Mikroorganismen in der Tierhaltung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt, KTBL-Schrift 393

**SELBITZ, H.-J. (2011 a):** Grampositive sporenbildende Stäbchenbakterien. In: SELBITZ, H.-J.; U. TRUYEN; P. VALENTIN-WEIGAND (Hrsg.): Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre, Enke Verlag, Stuttgart, 9. Auflage, 271-288

**SELBITZ, H.-J. (2011 b):** Grampositive, regelmäßige sporenlose Stäbchenbakterien. In: SELBITZ, H.-J.; U. TRUYEN; P. VALENTIN-WEIGAND (Hrsg.): Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre, Enke Verlag, Stuttgart, 9. Auflage, 289-296

**SELBITZ, H.-J. (2011 c):** Gattung Salmonella. In: SELBITZ, H.-J.; U. TRUYEN; P. VALENTIN-WEIGAND (Hrsg.): Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre, Enke Verlag, Stuttgart, 9. Auflage, 199-214

**SELBITZ, H.-J.; U. TRUYEN; P. VALENTINWEIGAND (2011):** Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre, Enke Verlag, Stuttgart, 9. Auflage

**SHAFFER, B. T.; B. LIGHTHART (1997):** Survey of culturable airborne bacteria at four diverse locations in Oregon: urban, rural, forest, and coastal. *Microbial Ecology* **34**, No. 3, 167-177

**SIDHU, J.; R. A. GIBBS; G. E. HO; I. UNKOVICH (2001):** The role of indigenous microorganisms in suppression of *Salmonella* regrowth in composted biosolids. *Water Research* **35**, No. 4, 913-920

**SINELL, H.-J. (1989):** Das Salmonellenproblem aus nationaler und internationaler Sicht. In: HEESCHEN, W. (Hrsg.): Pathogene Mikroorganismen und deren Toxine in Lebensmitteln tierischer Herkunft. B. Behr's Verlag, Hamburg, 41-62

**SINELL, H.-J.; J. KLEER (1995):** Lebensmittel als Infektionsquelle. In: SELBITZ, H.-J.; H.-J. SINELL; A. SZIEGOLEIT (Hrsg.): Das Salmonellen-Problem, Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart, 133-169

**SISCHO, W. M.; E. R. ATWILL; L. E. LANYON, J. GEORGE (2000):** Cryptosporidia on dairy farms and the role these farms may have in contaminating surface water supplies in the northeastern United States. *Preventive Veterinary Medicine* **43**, No. 4, 253-267

**SMALL, A. (2006):** Companion Animals and Public Health. In: BUNCIC, S.: Integrated Food Safety and Veterinary Public Health, CABI, Oxfordshire, United Kingdom, Cambridge, USA, 353-358

**SMALLA K. (2010):** FOR 566 Veterinary Medicines in Soil: Basic Research for Risk Analysis. Report to Project B3, unveröffentlicher Bericht

- 
- SMITH, E. M.; C. P. GERBA (1982):** Development of a Method for Detection of Human Rotavirus in Water and Sewage. *Applied and Environmental Microbiology* **43**, No. 6, 1440-1450
- SMITH, H. V.; R. A. B. NICHOLS (2007):** *Cryptosporidium*. In: SIMJEE, S. (Ed.): *Foodborne Diseases*, Humana Press, Totowa, New Jersey, USA, 233-276
- SOBSEY, M. D.; C. WALLIS; J. L. MELNICK (1975):** Studies on the Survival and Fate of Enteroviruses in an Experimental Model of a Municipal Solid Waste Landfill and Leachate. *Applied Microbiology* **30**, No. 4, 565-574
- SOLDIERER, W. (1991):** Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss einer thermischen Desinfektion von Flüssigmist auf die Vermehrungsfähigkeit ausgewählter Mikroorganismen. Vet.-med. Diss., Justus-Liebig-Universität, Gießen
- SONNTAG, H.-G. (2012):** Erysipelothrix. In: DARAI, G.; M. HANDERMANN; H.-G. SONNTAG; L. ZÖLLER (Hrsg.): *Lexikon der Infektionskrankheiten des Menschen*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 4. Auflage, 292-293
- SPAULL, A. M.; D. M. McCORMACK (1989):** The incidence and survival of potato cyst nematodes (*Globodera* spp.) in various sewage sludge treatment processes. *Nematologia* **34**, 452-461
- STAMPI, S.; G. DE LUCA; O. VAROLI; F. ZANETTI (1999):** Occurrence, Removal and Seasonal Variation of Thermophilic Campylobacters and Arcobacter in Sewage Sludge. *Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin* **202**, Nr. 1, 61-75
- STALDER, K. (1993):** Konsequenzen für biologisch-mechanische Aufbereitungssysteme im Rahmen der TA Siedlungsabfall. In: WIEMER, K.; M. KERN (Hrsg.): *Biologische Abfallbehandlung, Kompostierung - Anaerobtechnik - Kalte Vorbehandlung*, M.I.C. Baeza Verlag, Witzenhausen, 277-287
- STALEY, L.; J. HAINES (2009):** Environmental Pollution and Concentrated Animal Feeding Operations. In: BOWMAN, D. D. (Ed.): *Manure Pathogens: Manure Management, Regulations, and Water Quality Protection*, WEF Press, Water Environment Federation, Alexandria, Virginia, USA, 17-60
- STARFINGER, U.; G. Schrader (2008):** Die Beifußblättrige Ambrosie - eine invasive Pflanze mit besonderer Gesundheitsgefahr. <http://pflanzengesundheit.jki.bund.de/index.php?menuid=60&repid=16>, Webseite aufgerufen am 26.09.2012
- STATISTISCHES JAHRBUCH (2011):** Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Landwirtschaftsverlag Münster Hilstrup

---

**STEIN, J. (2006):** Nahrungsmittelintoxikationen. In: CASPARY, W. F.; M. KIST; J. STEIN (Hrsg.): Infektiologie des Gastrointestinaltraktes, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 57-61

**STEINMÖLLER, S. (2003):** Bewertung des Risikos der Verschleppung von Quarantäneschadorganismen mit Abfällen aus den kartoffelverarbeitenden Betrieben - Status-Quo-Analyse der Verarbeitungsverfahrensschritte, der anfallenden Abfälle und deren Verwertung. Abschlussbericht für das Forschungsvorhaben 02 HS 028, bisher unveröffentlicht

**STEINMÖLLER, S. (2008):** Literaturbasierte Risikoanalyse zur Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft bezogen auf die Verbreitung von Quarantäneschadorganismen. Projektbericht der Humboldt-Innovation GmbH, Ziegelstr. 13 c, Berlin

**STEINMÖLLER, S.; M. BANDTE; C. BÜTTNER; P. MÜLLER (2012):** Effects of sanitation process on survival of *Synchytrium endobhioticum* and *Globodera rostochiensis*. Eur. J. Plant. Path **133**, 753-763

**STEINMÖLLER, S.; C. BÜTTNER; P. MÜLLER; F. BECKERS (2004):** Bewertung des Risikos der Verschleppung von Quarantäneschadorganismen mit Abfällen aus kartoffelverarbeitenden Betrieben und praktische Bedeutung. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtsch. **396**, 343

**STEINMÖLLER, S.; P. MÜLLER; C. BÜTTNER (2007):** Effect of composting and pasteurisation on two important quarantine pests of potato. Comm. Appl. Biol. Sci. Ghent University, 72/2, 341-351

**STELTER, H. (1981):** Die Verschleppung von *Heterodera*- und *Globodera*-Arten mit dem Abwasser aus einer Zuckerfabrik. Nachrichtenblatt für den Pflanzenschutzdienst in der DDR **25**, Nr. 2, 36-38

**STÖCKLEIN, B. A. (2005):** Untersuchungen zur Tenazität von ausgewählten Mikroorganismen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen unter besonderer Berücksichtigung von *Campylobacter jejuni* und *Clostridium perfringens*. Vet.-med. Diss., Freie Universität Berlin

**STÖPPLER-ZIMMER, H.; R. GOTTSCHALL; B. GALLENKEMPER (1993):** Anforderungen an Qualität und Anwendung von Bio- und Grünkomposten. Studie im BMBF-Verbundvorhaben „Neue Techniken der Kompostierung“, Förderkennzeichen 146 06 38 F, Schriftenreihe des Arbeitskreises für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen (ANS) e. V., Heft 25

**STOTTMEISTER, R.-D. (1989):** Untersuchungen von Belebtschlämmen zur Erfassung von Biomasse, Energieladungszustand und Populationszusammensetzung mit neuen gas- und flüssigchromatographischen Methoden. Naturwiss. Diss., Technische Universität Braunschweig

**STRAUBINGER, R. (2011):** Spirochäten. In: SELBITZ, H.-J.; U. TRUYEN; P. VALENTIN-WEIGAND (Hrsg.): Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre, Enke Verlag, Stuttgart, 9. Auflage, 132-144

**STRAUCH, D. (1981):** Hygienische Gesichtspunkte der Lagerung und Ausbringung von Stallmist und Gülle. Der Tierzüchter **33**, Nr. 4, 149-150

**STRAUCH, D. (1991):** Survival of pathogenic micro-organisms and parasites in excreta, manure and sewage sludge. Revue scientifique et technique Office international des Épizooties **10**, No. 3, 813-846

**STRAUCH, D. (1996 a):** Hygieneproblematik bei der biologischen Abfallbehandlung. Forum Städte-Hygiene **47**, Nr. 3, 126-141

**STRAUCH, D. (1996 b):** Hygieneaspekte bei der Cofermentation. In: Internationale Erfahrungen mit der Verwertung biogener Abfälle zur Biogasproduktion, Vorträge und Podiumsdiskussion im Rahmen der Fachtagung am 16.6.1995 im Interuniversitären Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie, Tulln, Umweltbundesamt, Wien, Österreich, 53-92

**STRAUCH, D.; T. BERG (1980):** Mikrobiologische Untersuchungen zur Hygienisierung von Klärschlamm. 6. Mitteilung: Mikrobiologische Untersuchungen an einem Verfahren zur Schlammverfestigung mit Branntkalk. gwf-Wasser/Abwasser **121**, Nr. 10, 493-495

**STRAUCH, D.; T. BERG; W. FLEISCHLE (1980 a):** Mikrobiologische Untersuchungen zur Hygienisierung von Klärschlamm. 3. Mitteilung: Versuche bei der Mietenkompostierung von Stroh mit Faulschlamm. gwf-Wasser/Abwasser **121**, Nr. 6, 298-301

**STRAUCH, D.; T. BERG; W. FLEISCHLE: (1980 b):** Mikrobiologische Untersuchungen zur Hygienisierung von Klärschlamm. 4. Mitteilung: Untersuchungen an Bioreaktoren. gwf-Wasser/Abwasser **121**, Nr. 7, 331-334

**STRAUSS, G.; T. KAPLAN; T. JACOBI (2012):** Keimfähigkeit von Samen verschiedener gentechnisch veränderter Nutzpflanzen in Abhängigkeit von Prozessparametern und Verweildauer in einer Biogasanlage. J. Verbr. Lebensm. **7**, 19-25

**STREIB, R.; K. HERBOLD; K. BOTZENHART (1989):** Keimzahlen ausgewählter Mikroorganismen in ungetrenntem Hausmüll, Biomüll und Naßmüll bei unterschiedlichen Standzeiten und Außentemperaturen. Forum Städte-Hygiene **40**, 290-292

**SUERBAUM, S. (2012):** Helicobacter. In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 281-286

**SUERBAUM, S.; J. BOCKEMÜHL; H. KARCH (2012):** Enterobakterien. In: SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (Hrsg.): Medizinische

---

Mikrobiologie und Infektiologie, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage, 229-258

**SUERBAUM, S.; H. HAHN; G.-D. BURCHARD; S. H. E. KAUFMANN; T. F. SCHULZ (2012):** Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 7. Auflage

**SZIEGOLEIT, A. (1995):** Salmonellen-Enteritis des Menschen. In: SELBITZ, H.-J.; H.-J. SINELL; A. SZIEGOLEIT (Hrsg.): Das Salmonellen-Problem, Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart, 171-183

**TANNER, B. D.; J. P. BROOKS; C. N. HAAS; C. P. GERBA; I. L. PEPPER (2005):** Bioaerosol Emission Rate and Plume Characteristics during Land Application of Liquid Class B Biosolids. *Environmental Science & Technology* **39**, No. 6, 1584-1590

**TANNICH, E. (2012):** *Entamoeba histolytica*. In: DARAI, G.; M. HANDERMANN; H.-G. SONNTAG; L. ZÖLLER (Hrsg.): Lexikon der Infektionskrankheiten des Menschen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 4. Auflage, 270-274

**TELTSCH, B.; S. KEDMI; L. BONNET; Y. BORENZSTAJN-ROTEM; E. KATZENELSON (1980):** Isolation and Identification of Pathogenic Microorganisms at Wastewater-Irrigated Fields: Ratios in Air and Wastewater. *Applied and Environmental Microbiology* **39**, No. 6, 1183-1190

**TENTER, A. M. (2006):** Protozoeninfektionen der Wiederkäuer. In: SCHNIEDER, T. (Hrsg.): Veterinärmedizinische Parasitologie, Parey in MVS Medizinverlage Stuttgart GmbH & Co. KG, Stuttgart, 6. Auflage, 119-165

**TENTER, A. M.; P. DEPLAZES (2006):** Protozoeninfektionen von Hund und Katze. In: SCHNIEDER, T. (Hrsg.): Veterinärmedizinische Parasitologie, Parey in MVS Medizinverlage Stuttgart GmbH & Co. KG, Stuttgart, 6. Auflage, 409-443

**TISLER, P. (1987):** Zur Problematik mikrobiologischer Hygienetests in Lebensmittelbetrieben. *Forum-Städte-Hygiene* **38**, 42-43

**TOBI, D.; R. BÖHM (2009):** Uptake of *Salmonella enterica* in Monocotyledonous and Dicotyledonous model plants. In: Proceedings of the XIV ISAH Congress 2009, Sustainable Animal Husbandry: "Prevention is better than cure", 19<sup>th</sup> to 23<sup>rd</sup> July, Vechta, 681-683

**TONG, Y.; B. LIGHTHART (1997):** Solar radiation has lethal effect on natural populations of culturable outdoor atmospheric bacteria. *Atmospheric Environment* **31**, No. 6, 897-900

**TRAUB, F.; S. K. SPILLMANN; R. WYLER (1986):** Method for Determining Virus Inactivation during Sludge Treatment Processes. *Applied and Environmental Microbiology* **52**, No. 3, 498-503

- TROGE, A. (2005):** Vorwort. In: Arzneimittel in der Umwelt - Zu Risiken und Nebenwirkungen fragen Sie das Umweltbundesamt, Umweltbundesamt, Dessau
- TURNER, J.; D. A. STAFFORD; D. E. HUGHES; J. CLARKSON (1983):** The reduction of three plant pathogens (*Fusarium*, *Corynebacterium* and *Globodera*) in Anaerobic digesters. *Agricultural Wastes* **6**, 1-1
- UNGER, J. G.; M. Pietsch (2002):** Pflanzengesundheitliche Risiken von Klärschlamm, Kompost und anderen organischen Düngern. In: Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm, Gülle und anderen Düngern unter Berücksichtigung des Umwelt- und Verbraucherschutzes, KTBL-Schrift 404, 323-333
- VALENTIN-WEIGAND, P. (2011 a):** Grampositive Kokken. In: SELBITZ, H.-J.; U. TRUYEN; P. VALENTIN-WEIGAND (Hrsg.): Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre, Enke Verlag, Stuttgart, 9. Auflage, 257-270
- VALENTIN-WEIGAND, P. (2011 b):** Aktinomyzeten. In: SELBITZ, H.-J.; U. TRUYEN; P. VALENTIN-WEIGAND (Hrsg.): Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre, Enke Verlag, Stuttgart, 9. Auflage, 297-318
- VALENTIN-WEIGAND, P. (2011 c):** Grundlagen. In: SELBITZ, H.-J.; U. TRUYEN; P. VALENTIN-WEIGAND (Hrsg.): Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre, Enke Verlag, Stuttgart, 9. Auflage, 84-112
- VALENTIN-WEIGAND, P. (2011 d):** Allgemeine Infektions- und Seuchenlehre. In: SELBITZ, H.-J.; U. TRUYEN; P. VALENTIN-WEIGAND (Hrsg.): Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre, Enke Verlag, Stuttgart, 9. Auflage, 3-13
- VAN DORST, H. J. M. (1988):** Surface water as source in the spread of cucumber green mottle mosaic virus. *Netherlands Journal of Agricultural Science* **36**, 291-299
- VENTER, P.; J. F. R. LUES; H. THERON (2004):** Quantification of Bioaerosols in Automated Chicken Egg Production Plants. *Poultry Science* **83**, No. 7, 1226-1231
- VETTER, H.; G. STEFFENS (1986):** Wirtschaftseigene Düngung. Verlagsunion Agrar, DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main
- VIAU, E.; K. BIBBY; T. PAEZ-RUBIO; J. PECCIA (2011):** Toward a Consensus View on the Infectious Risks Associated with Land Application of Sewage Sludge. *Environmental Science & Technology* **45**, 5459-5469
- WAGNER, J.-A. (1993):** Untersuchungen zur Tenazität und zum Infiltrationsverhalten von Salmonellen und Güllekeimen in Standardböden und in verschiedenen Böden des Wasserschutzgebietes Donauried. Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim
- WAGNER-WIENING, C. (1999):** Epidemiologische und methodische Untersuchungen zu Kryptosporidien und Giardien. Naturwiss. Diss., Universität Hohenheim

- WAGNER-WIENING, C.; P. KIMMIG (1995):** Detection of Viable *Cryptosporidium parvum* Oocysts by PCR. Applied and Environmental Microbiology **61**, No. 12, 4514–4516
- WAGNER, R. (2011):** Begrüßung. In: Hygienische Unbedenklichkeit von Biogasanlagen, C.A.R.M.E.N.-Statusseminar, Rottersdorf bei Landau/Isar, 27.10.2011, C.A.R.M.E.N. e. V., Straubing, 1. Auflage, 3-5
- WALLIS, P. M.; S. L. ERLANDSEN; J. L. ISAAC-RENTON; M. E. OLSON; W. J. ROBERTSON; H. VAN KEULEN (1996):** Prevalence of *Giardia* Cysts and *Cryptosporidium* Oocysts and Characterization of *Giardia* spp. Isolated from Drinking Water in Canada. Applied and Environmental Microbiology **62**, No. 8, 2789-2797
- WALTERS, S. P.; V. P. J. GANNON; K. G. FIELD (2007):** Detection of Bacteroidales Fecal Indicators and the Zoonotic Pathogens *E. coli* O157:H7, *Salmonella*, and *Campylobacter* in River Water. Environmental Science & Technology **41**, No. 6, 1856-1862
- WANG, A.; B. LIN; B. E. SLEEP; S. N. LISS (2011):** The Impact of Biofilm Growth on Transport of *Escherichia coli* O157:H7 in Sand. Ground Water **49**, No.1, 20-31
- WANNER, H. U. (1975):** Mikrobielle Verunreinigung der Luft durch Belebtschlammbecken. Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten und Hygiene, I. Abt. Orig. B **161**, 46-53
- WARD, P. I.; P. DEPLAZES; W. REGLI; H. RINDER; A. MATHIS (2002):** Detection of eight *Cryptosporidium* genotypes in surface and waste waters in Europe. Parasitology **124**, No. 4, 359-368
- WATCHARASUKARN, M.; P. KAPARAJU; J.-P. STEVER; K. A. KROGFELT; I. ANGELIDAKI (2009):** Screening *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, and *Clostridium perfringens* as Indicator Organisms in Evaluating Pathogen-Reducing Capacity in Biogas Plants. Microbial Ecology **58**, No. 2, 221-230
- WATHES, C. M.; K. HOWARD; A. J. F. WEBSTER (1986):** The survival of *Escherichia coli* in an aerosol at air temperatures of 15 and 30 °C and a range of humidities. Journal of Hygiene, Cambridge **97**, 489-496
- WEILAND, P. (2010):** Flaschenhals Gärrestverwertung. [http://literatur.vti.bund.de/digbib\\_extern/dn047034.pdf](http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/dn047034.pdf), Webseite aufgerufen am 26.09.2012
- WEINHAPPEL, M.; C. LEONHARDT; M. GANSBERGER; A. BRANDSTETTER; P. LIEBHARD (2011):** Untersuchungen zur Verbreitungsgefahr von samenübertragbaren Krankheiten und Unkrautarten durch Fermentationsprodukte aus Biogasanlagen in Österreich. In: Untersuchungen zum phytosanitären Risiko bei der anaeroben Vergärung von pflanzlichen Biomassen in Bioanlagen, KTBL-Fachgespräch, 14. November 2011,

---

Berlin, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (Hrsg.), Darmstadt

**WEKERLE, J.; H. ALBRECHT (1983):** Inactivation of Vaccinia Virus and a Bovine Enterovirus in Aerated Pig Slurry with Special Regard to pH, Temperature and Free Ammonia Modification During Aeration. *Agricultural Wastes* **7**, No. 1, 39-50

**WELZEL, T. M.; K. RAAB; H. HOF (2012):** *Listeria monocytogenes*. In: DARAI, G.; M. HANDERMANN; H.-G. SONNTAG; L. ZÖLLER (Hrsg.): Lexikon der Infektionskrankheiten des Menschen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 4. Auflage, 496-500

**WENDENBURG, H. (2012):** Von der Abfallwirtschaft zur Ressourcenwirtschaft – Stand und Perspektiven aus Sicht des BMU. Tagungsbeitrag beim 24. Kassler Abfall- und Bioenergieforum 2012, Bio- und Sekundärrohstoffverwertung, Kassel, 27. bis 29. März 2012, [http://www.witzenhausen-institut.de/downloads/abfallforum\\_2012\\_wendenburg.pdf](http://www.witzenhausen-institut.de/downloads/abfallforum_2012_wendenburg.pdf)

**WENDLAND, M.; F. LICHTI (2011):** Gülle und Gärreste – Dünger oder Problemstoff?. In: Gülle 11, Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland, internationale Tagung, Kloster Reute, 17. – 18.10.2011, Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei (LAZBW), Aulendorf, 15-19

**WESTERMANN, P. R.; B. GEROWITT (2012 a):** The probability of maize biomass contamination with seeds. *Journal of Plant Diseases and Protection* **119**, No. 1, 68-73

**WESTERMANN, P. R.; F. HILDEBRANDT; B. GEROWITT (2012 b):** Weed seed survival following ensiling and mesophilic anaerobic digestion in batch reactors. *Weed Research* **52**, 286-295

**WETTER, C. (1975):** Tabakmosaikvirus und Para-Tabakmosaikvirus in Zigaretten. *Naturwissenschaften* **62**, Nr. 11, 533

**WIECHMANN, B.; C. DIENEMANN; C. KABBE; S. BRANDT; I. VOGEL; A. ROSKOSCH (2012):** Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

**WIEGAND, B.; J. HARTUNG; T. HINZ; H.-D. WIEMANN (1993):** Luftqualität in Louisiana-Ställen – Teil 2: Keim- und Endotoxingehalt im luftgetragenen Stallstaub. *Landbauforschung Völkenrode* **43**, Nr. 4, 236-241

**WIELER, L. H.; C. EWERS (2011 a):** Gattung *Yersinia*. In: SELBITZ, H.-J.; U. TRUYEN; P. VALENTIN-WEIGAND (Hrsg.): Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre, Enke Verlag, Stuttgart, 9. Auflage, 215-217

**WIELER, L. H.; C. EWERS (2011 b):** Vibrionaceae. In: SELBITZ, H.-J.; U. TRUYEN; P. VALENTIN-WEIGAND (Hrsg.): Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre, Enke Verlag, Stuttgart, 9. Auflage, 219-220

**WIEMER, U. (2011):** Europäische und nationale Anforderungen an die Verarbeitung von tierischen Nebenprodukten. In: Hygienische Unbedenklichkeit von Biogasanlagen, Tagungsband zum Statutsseminar, 27.10.2011, Vilstaler Hof, Rottersdorf bei Landau an der Isar, C.A.R.M.E.N. e. V. (Hrsg.), Straubing, 7-38

**WILKES, G.; T. A. EDGE; V. P. J. GANNON; C. JOKINEN; E. LYAUTEY; N. F. NEUMANN; N. RUECKER; A. SCOTT; M. SUNOHARA; E. TOPP; D. R. LAPEN (2011):** Associations among pathogenic bacteria, parasites, and environmental and land use factors in multiple mixed-use watersheds. *Water Research* **45**, No. 18, 5807-5825

**WILLIAMS, A. P.; L. M. AVERY; K. KILLHAM; D. L. JONES (2007 a):** Survival of *Escherichia coli* O157:H7 in the rhizosphere of maize grown in waste-amended soil. *Journal of Applied Microbiology* **102**, No. 2, 319-326

**WILLIAMS, A. P.; L. M. AVERY; K. KILLHAM; D. L. JONES (2007 b):** Persistence, dissipation, and activity of *Escherichia coli* O157:H7 within sand and seawater environments. *FEMS Microbiology Ecology* **60**, No. 1, 24-32

**WINTER, D. (2002):** Virologische Untersuchungen zur Überprüfung von Gülle-Aufbereitungsverfahren und der erzeugten Gülle-Aufbereitungsprodukte unter den Aspekten der Veterinär- und Seuchenhygiene. Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim, Verlag Ulrich E. Grauer, Beuren, Stuttgart

**WHITTINGTON, R. J.; D. J. MARSHALL; P. J. NICHOLSS; I. B. MARSH; L. A. REDDACLIFF (2004):** Survival and Dormancy of *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* in the Environment. *Applied and Environmental Microbiology* **70**, No. 5, 2989-3004

**WRAGGE, V.; F. ELLMER; G. BERMEJO; K. SENSEL; K. NIELSEN (2010):** Gärprodukte aus Biogasanlagen in der pflanzenbaulichen Verwertung – Potenziale und Perspektiven. 5. Fachtagung Biogas, 20. Oktober 2010, Potsdam

**WÜST, G.; D. HAAS; F. F. REINTHALER; E. MARTH (2000):** Problematik der Festlegung von Richt- und Grenzwerten koloniebildender Einheiten luftgetragener Keime im Bereich von Kompostieranlagen. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* **60**, Nr. 4, 135-138

**WULLENWEBER, M.; F. AGBALIKA (1984):** Enterovirus types in samples of activated sewage sludge. *Zentralblatt für Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene B* **178**, Nr. 5-6, 522-526

---

**ZANGERL, P. (2007 a):** Gesundheitsgefährdungen durch Mikroorganismen. In: KRÖMKER, V. (Hrsg.): Kurzes Lehrbuch der Milchkunde und Milchhygiene, Parey in MVS Medizinverlage Stuttgart GmbH & Co. KG, Stuttgart, 139-155

**ZANGERL, P. (2007 b):** Milchwirtschaftliche Mikrobiologie. In: KRÖMKER, V. (Hrsg.): Kurzes Lehrbuch der Milchkunde und Milchhygiene, Parey in MVS Medizinverlage Stuttgart GmbH & Co. KG, Stuttgart, 110-138

**ZANGERL, P. (2007 c):** Maßnahmen zur Kontrolle mikrobiologischer Gefahren. In: KRÖMKER, V. (Hrsg.): Kurzes Lehrbuch der Milchkunde und Milchhygiene, Parey in MVS Medizinverlage Stuttgart GmbH & Co. KG, Stuttgart, 180-188

**ZELLER, E. (1982):** Hygienische Untersuchungen zur Entstehung und Ausbreitung von Bakterien aerosolen bei der Verregnung von Gülle. Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim

**ZUCKER, B.-A.; W. MÜLLER; G. SCHLENKER (2011):** Kompendium der Tierhygiene. Lehmanns Media, Berlin

**ZUCKER, B.-A.; P. SCHARF; C. KERSTEN (2006):** Determination of the Inflammatory Potential of Bioaerosols from a Duck-fattening Unit by Using a Limulus Amebocyte Lysate Assay and Human Whole Blood Cytokine Response. Journal of Veterinary Medicine B **53**, No. 4, 176-180

**ZUCKER, B.-A.; S. TROJAN; W. MÜLLER (2000):** Airborne Gram-Negative Bacterial Flora in Animal Houses. Journal of Veterinary Medicine B **47**, No. 1, 37-46

## Anhang

Die hier im Folgenden aufgeführten Forschungsthemen besitzen eine hohe Priorität zu Hygieneaspekten von organischen Düngemitteln und deren Anwendung.

### Forschungsthemen

#### **1. Untersuchungen zur Infiltration von human- und tierpathogenen Erregern über den Boden in Nutzpflanzen**

Die Verwertung der organischen Dünger ist aktuell insbesondere im Zusammenhang mit dem „EHEC-Geschehen“ in den Focus der öffentlichen Diskussion geraten und wird auch in Zukunft nicht davor verschont bleiben, als Mitverursacher in der Verbreitung von Erregern in der Umwelt zu fungieren. Um die Futtermittel- und Lebensmittelsicherheit zu gewährleisten, muss der mögliche Eintrag in die Futtermittel pflanzlicher Herkunft verhindert werden. Insbesondere die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlämmen und die überbetriebliche Gülleverwertung (in Verkehrbringen) sollten nur dann erfolgen, wenn zuvor eine ausreichende Reduzierung der Schadorganismen in diesen Substraten stattgefunden hat. Diese Forderung hat vor allem vor dem Hintergrund eigener Vorversuche unter Laborbedingungen zum möglichen Eindringen von Salmonellen über die Wurzelhärchen in die Pflanze seine Berechtigung, indem auf und in Maispflanzen bzw. in Kresse Salmonellen nachgewiesen werden konnten. Der Boden (Torfkultursubstrat) war in den Versuchsansätzen vor und nach der Einsaat mit Mais und Kresse sowie vor und nach dem „Auflaufstadium“ mit Salmonellen kontaminiert worden. Es zeigte sich, dass nicht nur äußerlich Salmonellen an den Pflanzen nachgewiesen werden konnten, sondern auch im Inneren der Pflanzen (Pflanzenzellen). Der quantitative Nachweis der Salmonellen auf und in den Pflanzen war in diesen ersten orientierenden Versuchen im Labor allerdings abhängig vom Grad der Kontamination des Bodens mit Salmonellen (TOBI und BÖHM, 2009). Das Düngemittelrecht schreibt vor, dass bei positiven Salmonellenbefunden Stoffe abgegeben werden dürfen, wenn die Abgabe nur an Personen erfolgt, die diese im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit anwenden (Profi!) und in der Kennzeichnung auf die bestehende Belastung hingewiesen wird. Außerdem gelten u. a. zusätzlich folgende Anwendungsbeschränkungen dergestalt, dass:

- auf Ackerland die Anwendung nur auf unbestellten Flächen und bei sofortiger Einarbeitung in den Boden zulässig ist, mit der Ausnahme: Ausbringung in Wintergetreide und Winterraps bis zum Schosserstadium mit bodennaher Ausbringungstechnik
- auf Grünland und Futterbauflächen eine Wartezeit von min. 6 Wochen bis zur nächsten Nutzung einzuhalten ist.

Mit der sofortigen Einarbeitung der unbehandelten organischen Dünger werden Pathogene, sofern vorhanden, in die Tiefenhorizonte verfrachtet, in denen die anschließend eingesäten Pflanzensamen von Mais und Raps keimen und ihr

Wurzelgeflecht entwickeln. Da Salmonellen unterschiedliche Überlebenszeiten im Boden besitzen, ca. 2 Monate (WAGNER, 1993) bzw. bis zu 968 Tage (JONES, 1986) (zit. nach NICHOLSON et al., 2005), sind gute Voraussetzungen für Salmonellen dergestalt vorhanden, als dass sie über die Wurzelhärchen mit dem Bodenwasser aufgenommen werden und über die Leitbahnen der Pflanzen in der wachsenden Nutzpflanze bis in die Blätter gelangen können. Das Einarbeiten der unbehandelten organischen Dünger hat zwar den Vorteil, dass dadurch die möglicherweise vorhandenen Pathogenen von der Bodenoberfläche in tiefere Bodenhorizonte gelangen und damit einer oberflächlichen Verschleppung durch Nutztiere und wildlebenden Tieren vorgebeugt wird. Andererseits werden durch das sofortige Einarbeiten der ausgebrachten Dünger die eventuell in den Substraten vorhandenen Infektionserreger den inaktivierenden Einflüssen einer UV-Strahlung sowie den in den oberen Bodenschichten aktiven Interaktionen bodenbürtiger Mikroorganismen entzogen und damit ist die Möglichkeit einer längeren Überlebenszeit und möglicherweise einer Vermehrung gegeben. Diese Faktoren bilden somit gute Voraussetzungen zur kontinuierlichen Aufnahme von Salmonellen und *Escherichia coli* über die Wurzeln in die Pflanzen. Diese Problematik scheint vorrangig eine Frage der Quantität von pathogenen Erregern in den Düngern zu sein. Allerdings liegt dieser Problematik ein multifaktorielles Geschehen zugrunde, die pflanzenabhängig und ackerbautechnisch zu beeinflussen sein könnten. Dazu sind dringend sowohl Labor- als auch Praxisuntersuchungen notwendig.

Die Untersuchung dieser Fragestellung erfährt auch vor dem Hintergrund der vorgesehenen Klärschlammverwertung aus seuchen- und phytohygienischer Sicht große Bedeutung. Nach § 17 der Klärschlammverordnung (Stand: 20.08.2010) werden unter bestimmten Voraussetzungen, bei qualitätsgesicherten Materialien, Erleichterungen gewährleistet, wobei unter Pkt. 4 die Anforderungen gemäß § 5 Absatz 2 als eingehalten gelten, sofern eine Bewertung hygienischer Risiken durch den Träger der Qualitätssicherung vorgenommen wurde. Die Qualitätssicherung hat dem Qualitätszeichennehmer schriftlich zu bestätigen, dass eine hygienisierende Behandlung des Klärschlammes auf der Grundlage der Risikobewertung entbehrlich sei. Hierbei ist insbesondere die Frage zu bearbeiten, ob und wenn ja, unter welchen Voraussetzungen davon ausgegangen werden kann, dass die Anwendung von unbehandelten, gütegesicherten Klärschlamm auf Ackerflächen sowie auf Flächen des Landschaftsbaus aus seuchenhygienischer Sicht vergleichbar unbedenklich ist wie die Anwendung von behandeltem Klärschlamm (Behandlung im Sinne der Anlage 2 des 2. Entwurfes zur Neufassung der Klärschlammverordnung vom 20.08.2010).

Da die Frage der Infiltration von Pathogenen in Pflanzen aller Voraussicht nach neben boden- und pflanzenphysiologischen Bedingungen insbesondere konzentrationsabhängig ist, was es noch abzuklären gilt, kann die „Gleichwertigkeit“ gütegesicherter Klärschlämme mit behandelten Klärschlämmen nur dann hergestellt werden, wenn die

geplanten Untersuchungen die „Quantität“ z. B. von Salmonellen und auch Viren im Klärschlamm oder in der Gülle sich als entscheidender Faktor des Eindringens der Erreger über die Wurzelhärchen in die Pflanzen herauskristallisiert. Allerdings müsste dann in der Folge bzw. Konsequenz eine quantitative Untersuchung auf Salmonellen und *Escherichia coli* für alle organischen Dünger obligatorisch sein. Spätestens dann sollte generell über eine Empfehlung für ein Qualitätssicherungssystem für alle organische Dünger, die in den Verkehr gehen, nachgedacht werden.

## **2. Untersuchungen zur Reduktion bzw. Inaktivierung von Clostridien-Sporen bzw. deren Toxine in Silagen und Biogasanlagen**

Ungeachtet der momentanen konträren Diskussion in Wissenschaftskreisen und Behörden zur Ursache, Beschreibung sowie der tier- und humanmedizinischen Bedeutung des „visceralen Botulismus“ sollten Untersuchungen zum Vorkommen von Clostridien-Sporen in Futtermitteln, Silagen, Klärschlämmen und organischen Düngern durchgeführt und vor allem Möglichkeiten der Reduktion der Sporen bzw. der Inaktivierung von Botulismus-Toxinen durch biotechnologische Behandlungsmaßnahmen (Kompostierung, Biogas) erarbeitet werden. Besonders in feuchten Habitaten können sich Clostridien-Sporen lange halten und mit dem Staub weiter verfrachtet werden (KRÜGER, 2010 b). Insbesondere Kraftfutter- und Getreidelager (Hochsilos im Freien) sind prädestiniert dafür, dass sich feuchte Zonen bilden können, und damit gute Bedingungen für die Vermehrung pathogener Pilze und Bakterien, z. B. Salmonellen und Clostridien-Sporen, herrschen. Welche Feuchtegehalte, Umgebungstemperaturen, der Eiweiß- bzw. Proteingehalt der Futter- bzw. Kraftfuttermittel die besten Voraussetzungen zur Vermehrung toxigener Clostridien-Sporen liefern, ist bisher wenig bekannt und soll daher in reproduzierbaren Laborversuchen untersucht werden. Neben der Problematik des Eintrages von Clostridien sporen über Futtermittel und auch Einstreumaterialien in Tierbestände, ist die Silage ein weiterer wichtiger Eintragungspfad für Clostridien in Rinderbestände. Hierbei haben Faktoren wie die Witterung zum Silierungszeitpunkt, die Technik des Grasschnittes, das Anwelken, das Schwaden sowie die eigentliche Bergung großen Einfluss auf den Verschmutzungsgrad des Siliergutes und dessen Kontamination mit Schmutzpartikeln (Erdboden) und Tierkadavern. Bei Arbeitsbreiten der Mähwerke und der Schwadreden von mehr als 12 m und hohen Fahrgeschwindigkeiten in Verbindung mit großen Unebenheiten des Bodens, ist ein höherer Verschmutzungsgrad unvermeidbar. Um eindeutige Erkenntnisse zur Sporenentwicklung sowie zur Toxinbildung in Gärgut bzw. während des Silierprozesses zu erhalten, sind Versuche mit unterschiedlichem Siliergut (Gras- und Maissilage) unter reproduzierbaren Bedingungen unverzichtbar. In solchermaßen angelegten Versuchen kann ein gewünschter TS-Gehalt im Siliergut für einen optimalen Silierungsprozess und somit auch eine gute Gärqualität eingestellt werden. Andererseits können die Faktoren so verändert werden, dass keine

optimale Silierung stattfindet. Außerdem können in Laborversuchen Tierkadaver bzw. Sporen bestimmter Clostridienarten und deren Toxine („gespikete Proben“) zugesetzt werden. Durch das Vorhandensein eines S-3-Labors an der Universität Hohenheim sind gute Voraussetzungen zum Arbeiten mit Krankheitserregern gegeben. Seit wenigen Jahren werden Gärreste als Hauptverursacher für die Verbreitung von *Clostridium botulinum*-Sporen diskutiert. Es ist hinlänglich bekannt, dass thermophile Faulraumtemperaturen nicht ausreichend sind, um Clostridiensporen zu inaktivieren (BAGGE, 2009; MARAÑÓN et al., 2006; WATCHARASUKARN et al., 2009; HUNG et al., 2007). Eigene Untersuchungen konnten dies bestätigen, wobei die umfangreichen Untersuchungen auch gezeigt haben, dass keine Vermehrung von *Clostridium perfringens*-Sporen in den Anaerobreaktoren stattgefunden hat (ADE-KAPPELMANN, 2008; DRCA, 2009). Aus praktischen Anaerobanlagen liegen bisher wenige Untersuchungen zum Vorkommen von *Clostridium botulinum*-Toxin bildenden Stämmen vor. Aktuelle Untersuchungen laufen momentan aufgrund der Initiative des Fachverbandes Biogas. KÖHLER (2010) hat aus einer Biogasanlage, die Geflügeleinstreu mit verarbeitet, in zwei Rohstoffproben *Clostridium botulinum*-Toxin bildende Stämme nachgewiesen. Nach dem Anaerobprozess konnten allerdings keine Toxin bildende Stämme mehr nachgewiesen werden. Zu diesem Sachverhalt werden verschiedene Umstände diskutiert, u. a. die schnellere Generationszeit von *Clostridium perfringens* (8 - 10 min) im Vergleich zu *Clostridium botulinum* (20 - 30 min) und auch die nicht optimalen Temperaturbedingungen von >35 °C. In Laborbiogasreaktoren unter Einsatz von Rindergülle und Mais- bzw. Grassilage und weiteren Kofermentaten, Material der Kategorie 2 und Kategorie 3 (siehe Verordnung (EG) Nr. 1069/2009) sind daher grundlegende Versuche zum Verhalten von *Clostridium perfringens* und toxischen *Clostridium botulinum*-Sporen in verschiedenen Verfahrenskombinationen der Biogastechnik angedacht. Zum einen wird dabei der Inhalt der Laborbiogasreaktoren mit einer definierten Sporenmenge von *Clostridium perfringens* und *Clostridium botulinum* sowie mit freiem Toxin versetzt und bei Gärtemperaturen zwischen 20 - 30 °C gefahren. Dies sind nach (KÖHLER, 2010) die optimalen Vermehrungstemperaturen für *Clostridium botulinum*. Das weitere Vergären in einem zweiten Fermenter bei 45 - 55 °C könnte ein Auskeimen der Clostridien-Sporen bewerkstelligen, wobei dann in einer 3. Stufe die Nacherhitzung (Pasteurisierung) des zu vergärenden Substrates bei Temperaturen zwischen 70 - 80 °C erfolgt. Hierbei wird erwartet, dass die möglicherweise ausgekeimten Sporen und freies Toxin inaktiviert werden. Nach KÖHLER (2010) verlieren *Clostridium botulinum*-neurotoxinbildende Stämme bei der Vergärung in Biogasanlagen ihr Toxinbildungsvermögen infolge der Instabilität der Toxinbildung und des Verlustes der Toxinphagen bzw. der mobilen DNA-Fragmente. Möglicherweise kann die Pasteurisierungsstufe entfallen und der Schwerpunkt weiterer Untersuchungen auf die Verfahrenskette (1. Fermenter 25 °C; 2. Fermenter 48 - 55 °C) gelegt werden, zumal in

der Praxis diese Kombinationen eher realisierbar und auch vorhanden sind. Die Ergebnisse aus den Laborbiogasanlagen werden in Praxisanlagen verifiziert.

Botulismus kann beim Menschen exogen durch Nahrungsmittel, Aerosole und Stäube oder endogen durch eine in situ-Produktion von Botulismus-Toxin verursacht werden. Nachdem nun angeblich erstmalig das Krankheitsbild des chronischen Botulismus auch bei erwachsenen Menschen in einem landwirtschaftlichen Betrieb mit chronischem Rinderbotulismus beschrieben und bestätigt wurde (DRESSLER, 2010), sollte die mögliche Verbreitung von *Clostridium botulinum*-Sporen über die Luft aus „infizierten“ Rinderbeständen in die Umgebung untersucht werden. Solche Untersuchungen haben besondere Relevanz in Rinderbeständen, in denen nachweislich die ursächliche Quelle des Auftretens der Botulismusfälle bekannt sind (in einem Fall der Eintrag von *Clostridium botulinum*-Sporen durch verpacktes Strohmehl als Einstreumaterial).

### **3. Untersuchungen zur Tenazität von Fäkalkeimen und relevanten Erregern für Bestandserkrankungen in mesophilen Biogasanlagen**

In Nawaro-Anlagen bei mesophiler Betriebsweise konnten bei Temperaturen bis 45 °C ein Wachstum bzw. eine Vermehrung von Salmonellen und *Escherichia coli* festgestellt werden (ANONYM, 2011 g). Diese Ergebnisse wurden bisher in Kofermentationsanlagen mit höherem Gülleanteil in keinem Fall beobachtet. Möglicherweise hat der Substrateinfluss mit den hohen pflanzlichen Anteilen eine protektive Wirkung auf die Fäkalkeimflora ausgeübt und ihnen darüber hinaus gute Vermehrungsmöglichkeiten geboten. Neben der Abklärung dieses Umstandes ist es aufgrund der großräumigen Verbreitung von Gärresten aus Rinder- und Schweinegülle sowie NaWaRo aus seuchenhygienischen Gründen enorm wichtig, festzustellen, ob durch den Biogasprozess weitere seuchenrelevante und bisher nicht untersuchte bestandsrelevante Erreger wie z. B. *Coxiella burnetii* oder auch Chlamydien, Mycobakterien und Mycoplasmen abgetötet werden. Die Unteren Verwaltungsbehörden, insbesondere die Veterinärbehörden sind vielerorts sehr restriktiv aus der Unsicherheit heraus, hinsichtlich einer möglichen Verbreitung des Q-Fieber-Erregers über Gärreste bei überbetrieblicher Verwertung. Weiterhin muss die „biologische Stabilität“, d. h. die Frage der Rekontamination der Gärreste nach Fermentierung, Lagerung und Transport evaluiert werden.

Maßnahmen zur Verminderung einer potentiellen Gefährdung für Mensch und Tier durch Pathogene müssen entlang der gesamten Produktionskette ergriffen werden. Jedoch erschwert das vielfältige Spektrum von organisatorischen oder technischen Alternativen für die unterschiedlichen Schritte des Verwertungsprozesses die Auswahl einer effizienten Lösungsmöglichkeit, die sowohl unter wirtschaftlichen als auch seuchenhygienischen Aspekten geeignet ist.

Die Untersuchungen werden bei unterschiedlichen Substratkombinationen, verschiedenen Temperaturen und Aufenthaltszeiten zunächst in Laborbiogasanlagen erarbeitet und anschließend in Praxisanlagen verifiziert.

#### **4. Erfassung und Bewertung der Verbreitung von Bioaerosolen bei der Ausbringung von organischen Düngern in der Landwirtschaft**

Nach einem Zwischenbericht zur Charta für Landwirtschaft und Verbraucher - Thema Umwelt - vom 22. Juli 2011 sind die wichtigsten von der Landwirtschaft verursachten Emissionen Nitrat, Ammoniak und Phosphat, Geruch und Staub sowie Bioaerosole. Als grundsätzliche Feststellung für alle genannten Emissionen gelten:

- Emissionen treten in regional sehr unterschiedlicher Intensität auf, dementsprechend sollten Maßnahmen zu ihrer Minderung regional differenziert eingesetzt werden können
- die von Emissionen verursachten Beeinträchtigungen sind besonders hoch in Regionen mit hoher Viehdichte
- die Wirkungen von Emissionen können in Bezug auf die von ihnen verursachten Schäden nur im Rahmen einer umfassenden Betrachtung der Ströme von Stoffen durch die gesamten Prozess- und Verfahrensketten zutreffend beurteilt werden
- einige Emissionen aus der Landwirtschaft tragen mehr oder weniger signifikant zur klimaschädlichen Bildung von Treibhausgasen bei.

Die vordringlichsten Probleme werden hauptsächlich bei Phosphat durch die Eutrophierung von Oberflächengewässern gesehen. Dabei sind Abschwemmungen von phosphathaltigen Bodenpartikeln durch Erosion die wichtigste Ursache der Verlagerung von Phosphat. Empfindliche Schädigungen durch Versauerung und Eutrophierung der natürlichen Ökosysteme werden aber vor allem durch hohe Ammoniakimmissionen verursacht. Hohe Ammoniakkonzentrationen im Stall können aber auch Menschen und Tiere belasten. Gasförmige Emissionen von Ammoniak treten besonders in viehdichten Regionen auf. Daher haben Ammoniakemissionen im Wesentlichen regionale Ursachen. Emissionen von Geruch und Staub werden als ein eher lokales Problem für Beschäftigte und Anwohner in unmittelbarer Nähe von Tierhaltungsanlagen angesehen. Außerdem sind die Probleme bei Geruch und Staub durch die bestehenden rechtlichen Anforderungen, insbesondere durch das Immissionsschutzgesetz, hinreichend kontrolliert. Keimbelastungen durch Bioaerosole in Tierhaltungsanlagen werden zunehmend als problematisch empfunden. Bürgerinnen und Bürger führen Bioaerosole als Argumente gegen die Genehmigung von Stallbauten an. Dabei ist der Kenntnisstand über die Wirkung von Bioaerosolen auf die Gesundheit der Menschen unzureichend. Auch hinsichtlich der Emission und Ausbreitung von bakteriellen und viralen pathogenen Erregern aus Stallungen und der Emission und Ausbreitung dieser Krankheitserreger bei der Ausbringung von unbehandelten Wirtschaftsdüngern und Klärschlämmen liegen

bisher nur wenige Daten vor. Außerdem gibt es keine Grenzwerte, die der Entscheidungsebene als Richtschnur dienen könnten. Diesem Umstand sollte besonders im Hinblick auf die Emissionen und Immissionen bei der Genehmigung von neuen Tierhaltungs- und Biogasanlagen im ländlichen Raum hinsichtlich der Abstandshaltung und Tierseuchenprophylaxe hohe Beachtung geschenkt werden. Konflikte verschärfen sich insbesondere in Ballungsräumen mit dichter Wohnbebauung und intensiver Landnutzung durch Tierhalter und/oder auch Biogasbetreiber. Maßnahmen zur Verringerung problematischer Emissionen müssen vor allem in der Tierhaltung ansetzen. Dies kann zum einen durch Verbesserungen von Technik, Verfahren und Managementmaßnahmen (präventive Minderungsmaßnahmen) in der gesamten Prozesskette (Stall–Feld) erreicht werden. Zum anderen kann die Auswahl von Standorten für Stall- und Biogasanlagen sowie die Ausführung der Bauweise durch die Genehmigungsbehörden im Rahmen gesetzlicher Auflagen beeinflusst werden. Dies könnte beispielsweise in längeren Lagerzeiten (mindestens 6 bis 10 Monate) für Flüssigmist bzw. Gärreste oder in Abluftreinigungsanlagen als Option für zwangsbelüftete Ställe und den damit verbundenen Keimzahlreduktionen gesehen werden. Die Abdeckung von Flüssigmist- bzw. Gärrestlagerbehältern und der Einsatz emissionsarmer Ausbringungstechniken sowie die unmittelbare Einarbeitung von Wirtschaftsdünger auf Grünland und Acker werden ebenfalls als notwendig und bedeutungsvoll hinsichtlich der Reduktion von Bioaerosolemissionen und –immissionen angesehen. Allerdings ist bisher zur Frage der Emissionen von Bioaerosolen bei der Ausbringung von Gülle und Gärresten mit den schlagkräftigen, hochtechnisierten Großgeräten wenig bekannt. Für eine Umweltbewertung bzw. –entlastung durch die Verbreitung von Bakterien und viralen Erregern während des Ausbringens von Wirtschaftsdünger, Klärschlämmen bzw. anderen organischen Düngern gibt es keine aktuellen Ergebnisse. Daher sollen die modernen Ausbringungstechniken unter folgenden Gesichtspunkten untersucht werden:

- Abschätzung und Erfassung des Potentials an Bioaerosolen bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern, Klärschlämmen und anderen organischen Düngern
- Abschätzung des Belästigungspotentials durch Gerüche bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern, Klärschlämmen und anderen organischen Düngern
- Auswahl und Verbesserung der vorhandenen Technik.

##### **5. Untersuchung des Verhaltens von Antibiotika und des horizontalen Transfers von in der Gülle enthaltenen Resistenzgenen nach Lagerung bzw. anaerober Behandlung**

Zum Einsatz von Antibiotika in Europa gibt es Angaben aus dem Jahre 1999, wonach 3.902 t (29 %) als Tierarzneimittel und 8.528 t (65 %) als Humanarzneimittel angewandt wurden. In Deutschland betrug die Menge im Jahre 2003 insgesamt 668 t, von denen 72 % in der Schweinehaltung eingesetzt wurden. Knapp 2/3 davon waren Tetracycline,

---

die damit den bedeutendsten Anteil der Antibiotika in der Tierhaltung ausmachen. Im Jahr 2005 betrug die Menge an verabreichten Antibiotika in Deutschland ca. 784 t, 350 t waren Tetracycline. Neben den Tetrazyklinen sind vor allem Sulfonamide und Fluorquinolone bedeutend, da sie als relativ persistent gelten und sich deshalb potenziell in der Umwelt akkumulieren könnten (HEKTOEN et al., 1996; GOLET et al., 2003; FÖRSTER et al., 2009). Die in der Tierhaltung eingesetzten Antibiotika gelangen in dieser Form oder als Metabolite über die ausgeschiedenen Exkremente (z. B. Gülle) in die Umwelt. Eine mögliche Gefährdung des Menschen durch den Antibiotikaeinsatz in der Tierhaltung ist durch mehrere Faktoren gegeben. Der Eintrag von Antibiotika in Böden führt zu einem erhöhten horizontalen Transfer von in der Gülle enthaltenen Resistenzgenen (z. B. BINH et al., 2008; HEUER et al., 2009, SMALLA, 2010), wobei wiederholte Applikationen von Gülle in Laborversuchen die Ausbreitung der Resistenzgenen verstärken (SMALLA, 2010). Darüber hinaus wird befürchtet, dass subletale Konzentrationen von Antibiotika in der Umwelt zu einer Mobilisierung oder Entstehung von Resistenzen in Böden, Sedimenten der Gewässern führen, die unter Umständen auf für den Menschen oder Tiere pathogenen Keime „überspringen“ (D´COSTA et al., 2006; CANTON, 2009).