Ursachen und mögliche Auswirkungen des Vorkommens pathogener Agentien in kommunalem Klärschlamm

Autor(en): **Strauch, D.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Archiv für Tierheilkunde SAT : die Fachzeitschrift für Tierärztinnen und Tierärzte = Archives Suisses de Médecine Vétérinaire ASMV : la revue professionnelle des vétérinaires**

Band (Jahr): **125 (1983)**

PDF erstellt am: **30.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-593358

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Schweiz. Arch. Tierheilk. *125,* 621–659, 1983

Ursachen und mögliche Auswirkungen des Vorkommens pathogener Agentien in kommunalem Klärschlamm

D. Strauch

1. Einleitung

Es ist eine mittlerweile auch von den hartnäckigsten Zweiflern anerkannte Tatsache, dass Abwasser und Klärschlamm aus kommunalen Reinigungsanlagen Krankheitserreger enthalten. Diese Erreger stammen von an das Kanalisationsnetz angeschlossenen akut erkrankten Menschen, von latent infizierten Bewohnern, von bekannten und oftmals auch unbekannten Dauerausscheidern in der Bevölkerung. Aber auch aus anderen an das Abwassernetz angeschlossenen Quellen wie Schlacht- und Viehhöfen und verwandten Betrieben (z.B. Metzgereien, Fleischwarenfabriken, Darmsaitenfabriken sowie u.U. auch Molkereien und Käsereien) wird die Quantität von Krankheitserregern vermehrt und das Erregerspektrum erweitert.

Man weiss, dass ein gewisser Prozentsatz der Bevölkerung, der Heimtierpopulation und der landwirtschaftlichen Nutztiere stets mit Infektionen behaftet ist. Angesichts der Tatsache, dass man in jedem Rohabwasser heutzutage Infektionserreger ohne grosse Mühe nachweisen kann, erscheint es auch fast müssig, darüber zu spekulieren, wie hoch der Prozentsatz infizierter Individuen ist. Da hierbei eine Fülle von nicht genau fassbaren Faktoren eine Rolle spielt, schwanken die Schätzungen auch erheblich um den Faktor 10 (0,5–5%) der angeschlossenen Bevölkerung.

Von diesen infizierten Individuen werden je nach Art der Infektion die Erreger über Kot, Urin, Nasen- und Rachensekret, Scheidensekret oder Haut- und Schleimhautteile bzw. -sekrete ausgeschieden und gelangen von den sanitären Einrichtungen der Wohnungen über die Kanalisation mit dem Abwasser in die Klärwerke. Man kann deshalb auch verstehen, wenn von manchen Autoren bei epidemiologischen Erhebungen die mikrobiologischen Ergebnisse der Untersuchung von Abwasserproben als Spiegelbild der Seuchenlage einer Bevölkerung in bestimmten Einzugsgebieten angesehen werden.

Die Verwertung von Abwasser in der Landwirtschaft hat in Mitteleuropa nie das Ausmass erreicht wie in anderen Regionen der Erde. Hingegen hat die Verwertung der bei der Abwasserreinigung anfallenden Schlämme über landwirtschaftlich genutzte Flächen in regional unterschiedlichem Umfang auch in Europa eine gewisse Tradition, die über Jahrzehnte hinweg relativ unproblematisch verlief. Mit zunehmender Bevölkerungszahl, wachsendem Industrialisierungsgrad, gesteigertem Ausbau von Abwasserreinigungsanlagen mit ständig verfeinerter Technologie und steigender Zahl von Reinigungsschritten (1.–3. Reinigungsstufe u.a.m.) nahm auch die Menge an Klärschlamm zu. Dies führte für die Kläranlagen zu Absatzproblemen, die eine weitere Zuspitzung erfuhren, als durch die Schwermetallproblematik und die da-

durch ausgelöste öffentliche Diskussion die Abnahmebereitschaft der Landwirte für Klärschlamm eine rückläufige Tendenz bekam.

Die deutsche Bundesregierung hat in ihrem «Abfallwirtschaftsprogramm 75» die Erwartung geäussert, dass im Endausbau der Abwasserreinigung (damals auf 1985 projektiert) etwa 50 Mio. m^3 Nassschlamm mit einem Wassergehalt von ca. 95% aus kommunalen und etwa 30 Mio. m^3 aus industriellen Kläranlagen pro Jahr behandelt, verwertet bzw. beseitigt werden müssen. In einer vom Umweltbundesamt in Berlin erarbeiteten «Bilanz 80» über fünf Jahre Abfallwirtschaftsprogramm wird festgestellt, dass 1978 in ca. 7800 Kläranlagen 34 Mio. m^3 Schlamm mit 5% Feststoff anfielen. Die Behandlung dieser Klärschlämme erfolgt zu 80% durch Faulung. In kleineren Kläranlagen wird der Schlamm auch aerob oder aerob-thermophil stabilisiert. Zur Verbesserung der Schlammeigenschaften und zur Volumenreduktion wird ein grosser Teil der Schlämme entwässert. Die früheren Trockenbeete sind dabei weitgehend durch mechanische Entwässerungseinrichtungen wie Zentrifugen, Band-, Vakuum- oder Kammerfilterpressen ersetzt worden. Teilweise wird zur weiteren Volumenverminderung der Schlamm verbrannt (24 Anlagen) oder künstlich getrocknet (20 Anlagen). Als biologische Behandlungsmethode wird in den letzten Jahren die Kompostierung von Klärschlamm verstärkt eingesetzt. Die Zahl solcher Anlagen bewegt sich auf fünfzig zu.

Insgesamt ergibt sich bei dieser Bilanz etwa folgende Klärschlammbeseitigung:

Landwirtschaftliche Verwertung	32%
Landwirtschaftliche Verwertung oder wahlweise Deponie	13%
Deponie	43%
Verbrennung	8%
Verklappung auf See	2%
Sonstiges	2%

Heute rechnet man grob, dass etwa 40% des Schlammes landwirtschaftlich verwertet werden. Soweit mir bekannt ist, liegt dieser Wert in der Schweiz bei etwa 70%, wobei bei uns in der Bundesrepublik die Meinung besteht, dass die Schweizer Landwirte schon immer «klärschlammfreundlicher» waren als die deutschen Bauern.

Die zunehmende Zurückhaltung unserer Landwirte gegenüber der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung beruht neben der Schwermetallproblematik auch auf der wachsenden Erkenntnis, dass insbesondere in der Weidewirtschaft und im Grünfutterbau die Bedrohung der Tierbestände durch Infektionserreger aus dem Schlamm zunimmt. Angesichts der Tatsache, dass in der Intensivtierhaltung bei Geflügel, Mastschweinen und Kälbern die latente Verseuchung der Bestände durch Salmonellen und die Erreger von Faktorenkrankheiten im Zunehmen begriffen ist, will der Landwirt sich gegen jede weitere Infektionsgefahr abschotten, zumal dann, wenn bei ihm der Eindruck entsteht, dass sein Boden langsam aber sicher zum Abfallkübel der Nation umfunktioniert werden soll. Es ist Aufgabe der Politiker, der zuständigen Behörden und der Klärschlammproduzenten, dem Landwirt zu beweisen, dass seine Befürchtungen entweder nicht gerechtfertigt sind oder ihn ehrlich darauf hinzuwei-

sen, wo Gefahren bestehen und durch welche Massnahmen diese minimiert werden können, wenn man sie nicht völlig ausschalten kann.

Ich möchte nachfolgend untersuchen, ob bzw. inwieweit die Befürchtungen der Landwirte bezüglich der vom Klärschlamm ausgehenden Infektionsgefährdung zutreffen und durch welche Massnahmen evtl. bestehende Gefahren beseitigt oder auf ein Minimum reduziert werden können.

2. Vorkommen von Krankheitserregern im Abwasser

2.1. *Bakterien*

Wie einleitend bereits ausgeführt, gelangen die meisten bekannten Infektionserreger über das Kanalisationssystem in das Abwasser. Das Spektrum dieser Erreger ist weitgehend abhängig von den epidemiologischen Verhältnissen der Region, für welche es aufgestellt wird.

In *Tabelle 1* sind die bakteriellen Erreger zusammengestellt, die für unsere mitteleuropäischen Verhältnisse in Frage kommen können, und die auch bereits aus Abwasser isoliert worden sind. Wie man erkennen kann, enthält die Tabelle alle gängigen Bakterienarten von grösserer und minderer Bedeutung für die Epidemiologie bakterieller Infektionskrankheiten. Wenn man den einen oder anderen Keim ver-

Tabelle 1: Im Klärschlamm zu erwartende bakterielle Krankheitserreger (*Carrington,* 1978; *WHO,* 1981; *Lehmann und Wallis,* 1982)

Primär pathogen	Sekundär pathogen
Salmonella spp.	Escherichia
Shigella spp.	Klebsiella
Escherichia coli	Enterobacter
Pseudomonas aeruginosa	Serratia
Yersinia enterocolitica	Citrobacter
Clostridium perfringens	Proteus
Clostridium botulinum	Providencia
Bacillus anthracis	
Listeria monocytogenes	
Vibrio cholerae	
Mycobacterium spp.	
Leptospira spp.	
Campylobacter spp.	
Staphylococcus	
Streptococcus	

misst, bedeutet das nicht, dass sein Vorkommen im Abwasser ausgeschlossen ist. Er kann regional sehr wohl zu den ständigen Besiedlern des Abwassers gehören.

2.2. *Viren*

Auch für die Viren gilt, dass eine Aufstellung ihres Spektrums regional unterschiedlich ausfallen muss. Von über 100 verschiedenen Viren ist bekannt, dass sie auf fäkalem Weg von Menschen ausgeschieden werden. Fast täglich kommen neue hinzu und verschiedene harren noch immer der vollständigen Charakterisierung. Sie infizieren in typischer Weise den Verdauungstrakt und werden von infizierten Personen in sehr grossen Mengen ausgeschieden. Die von ihnen ausgelösten Krankheitserscheinungen erstrecken sich von trivial über schwerwiegend bis hin zu tödlichem Ausgang.

Eine Kombination von erhöhtem Umweltbewusstsein, Verbesserungen in der Laboratoriumstechnik und die Entdeckung wichtiger neuer menschenpathogener Viren,

Tabelle 2: Vom Menschen ausgeschiedene Viren mit deren Vorkommen in Abwasser und Klärschlamm zu rechnen ist (*Feacham et al.,* 1981; *Metcalf,* 1976, ergänzt)

Virusgruppe	Anzahl der bisher bekannten Typen	Krankheiten oder Symptome
Enterovirus		
Poliovirus	3	Poliomyelitis, Meningitis, Fieber
Coxsackievirus A	24	Herpangina, respir. Krankheiten, Meningitis, Fieber
Coxsackievirus B	6	Myocarditis, kongenitale Herzanomalien, Meningitis, respir. Krankheiten, Pleurodynie, Hautausschläge, Fieber
Echovirus	34	Meningitis, respir. Krankheiten, Hautausschlag, Diarrhoe, Fieber
Hepatitis A-Virus	1	Infektiöse Hepatitis
Neue Enteroviren	4	Meningitis, Enzephalitis, respir. Krankheiten, akute hämorrh. Konjunktivitis, Fieber
Adenovirus	> 30	respir. Krankheiten, Augeninfektionen
Reovirus	3	nicht klar erwiesen
Rotavirus	?	Erbrechen, Diarrhoe
Astrovirus	?	?
Calicivirus	?	Erbrechen, Durchfall
Coronavirus	?	allg. Erkältung
Norwalk-Agens und andere kleine Rundviren	?	Erbrechen, Durchfall
Adeno-assoziiertes Virus (AAV)	4	nicht klar erwiesen, aber in Verbindung mit respir. Krankheiten bei Kindern.

wie besonders Rota-Virus, haben eine bedeutende Steigerung wissenschaftlicher Aktivität ausgelöst, die sich jährlich in mehreren Hundert wissenschaftlichen Publikationen über ausgeschiedene Viren niederschlägt. *Tabelle 2* enthält eine Aufstellung und Klassifizierung verschiedener von infizierten Menschen ausgeschiedener Viren. Diese Aufstellung wird zweifelsohne in den kommenden Jahren noch vielen Änderungen unterliegen, dadurch dass neue virale Agentien charakterisiert werden und die Taxonomie noch weiter differenziert werden wird. Alle diese Viren können, regional unterschiedlich, im Abwasser auftauchen.

In *Tabelle 3* sind die Viren zusammengestellt, die aus den Fäces von Haustieren isoliert wurden. Insbesondere die bei Vögeln, Hund und Katze gefundenen Viren können in das Abwasser gelangen. Es kann aber auch nicht ausgeschlossen werden, dass Viren von landwirtschaftlichen Nutztieren auf verschiedenen denkbaren Wegen dem Abwasser zugeführt werden können.

Es ist auch erwiesen, dass von Menschen stammende Viren bei Haustieren gefunden werden. *Tabelle 4* enthält eine entsprechende Übersicht. Es ist verständlich, dass die meisten menschlichen Viren bei Hund und Katze gefunden werden, da sie am häufigsten in enger häuslicher Gemeinschaft mit den Menschen leben. Aber auch bei landwirtschaftlichen Nutztieren wie Pferd, Rind, Ziege und Schwein werden von Menschen stammende Viren gefunden. Dabei muss die Frage leider offen bleiben, ob bzw. in welchem Umfang die landwirtschaftliche Verwertung kommunaler fester oder flüssiger Abfallstoffe zu diesem Übergang vom Menschen stammender Viren auf Haustiere beiträgt.

Aus den Tabellen 2–4 ergibt sich, dass das Spektrum der im Abwasser vorkommenden Viren weitaus grösser ist als dasjenige von bakteriellen oder parasitären Krankheitserregern. Dadurch wird die entsprechende Diagnostik schwieriger und umfangreicher als dies bisher der Fall war.

2.3. *Parasiten*

Neben den Bakterien und Viren spielen parasitäre Erkrankungen bei Menschen und Tieren eine gewisse Rolle. Unter mitteleuropäischen Verhältnissen ist die Zahl dieser Parasitosen eher begrenzt, während sie im subtropischen und tropischen Gürtel der Erde u. U. in Häufigkeit und Bedeutung an erster Stelle stehen können [1].

Das Parasitenspektrum in Mitteleuropa ist sicherlich durch Zuzug von Gastarbeitern und Flüchtlingen aus den verschiedensten Regionen der Erde erweitert worden. Es liegen jedoch bisher keine Anzeichen dafür vor, dass ein Übergang von Parasitosen der beiden genannten Gruppen auf die einheimische Bevölkerung in nennenswertem Umfang stattgefunden hätte. Deshalb enthält die *Tabelle 5* auch keine dieser «exotischen» Parasiten, sondern beschränkt sich auf solche, die in Mitteleuropa zum üblichen Spektrum gehören.

Infolge der biologischen Besonderheiten im Entwicklungszyklus der meisten Parasiten spielen Menschen und Tiere als Zwischen- oder Endwirte eine gleichermassen bedeutende Rolle. Die Entwicklungs- bzw. Dauerformen dieser Parasiten gelangen auf fäkalem Wege in das Abwasser.

Tabelle 3: In den Fäces von Haustieren gefundene Viren aus dem Verdauungstrakt (*Metcalf*, 1976)

Virus	Vögel	Hund	Katze	Rind	Geflügel	Ziege	Pferd	Schaf	Schwein
Adenovirus				+	+				
ICH-Infectious Canine Hepatitis		+							
BVD-Bovine Virus Diarrhea				+					
EIA-Equine Infectious Anemia							+		
EEE-Eastern Equine Encephalitis	+				+				
WEE-Western Equine Encephalitis					+				
Schweinepest									+
Picornavirus									
Enterovirus			+	+	+		+		+
EMD-Encephalomyocarditis									+
Maul- und Klauenseuche				+		+		+	+
Parrovirus									
Bovin				+					
FP-Feline Panleukopenia			+						
Porcin									+
Reovirus	+			+					
Schweineinfluenza									+

Tabelle 4: Bei Haustieren auftretende Viren menschlicher Herkunft (*Metcalf*, 1976)

Virus	Isoliert aus						Infektion klinisch oder serologisch nachgewiesen bei
	Rind	Katze	Hund	Ziege	Pferd	Schwein	
Enterische Viren							
Poliovirus 1	+		+	+	+		Rind
Coxsackievirus A 5						+	
A 6			+				
A 9			+				
A 10						+	
A 20			+			+	Schwein
B 3			+				Hund
B 5			+				Hund
Echovirus 2			+				
6		+	+				Hund
8						+	
10	+						
19		+	+				Katze
Reovirus 1, 2, 3	+	+	+				Rind, Hund, Katze
Respiratorische Viren							
Influenzavirus A 2		+			+	+	Katze, Schwein
Mumpsvirus			+				Hund

Tabelle 5: Im Klärschlamm zu erwartende Parasiten (*Hannan,* 1981)

Protozoen	Entamoeba histolytica
	Giardia lamblia
	Toxoplasma gondii
	Sarcocystis spp.
Cestoden	Taenia saginata
	Taenia solium
	Diphyllobothrium latum
	Echinococcus granulosus
Nematoden	Ascaris lumbricoides
	Ancylostoma duodenale
	Toxocara canis
	Toxocara cati
	Trichuris trichiura

2.4. *Hefen und Pilze*

Eine Gruppe von wahrscheinlich minderer Bedeutung für das abzuhandelnde Thema stellen die pathogenen Hefen und Pilze dar. *Tabelle 6* gibt eine Aufstellung der im Abwasser zu erwartenden Mikroorganismen dieser beiden Gruppen. Sie können Menschen und Tiere infizieren, allergische Erscheinungen verursachen oder Mykotoxine produzieren. Es gibt jedoch auch Stimmen, die darauf hinweisen, dass man diese Erregergruppe in ihrer Bedeutung für die öffentliche Gesundheit nicht unterschätzen soll, insbesondere wenn an die landwirtschaftliche Verwertung von Abwasser und Klärwasser gedacht wird. Insgesamt gesehen ist es jedoch gegenwärtig nicht leicht, den Stellenwert dieser Mikroorganismengruppe für das öffentliche Gesundheitswesen richtig einzuschätzen.

3. Einfluss der Abwasserreinigung auf Krankheitserreger

In unseren Breiten wird der wohl überwiegende Teil der Abwässer in Kläranlagen mehr oder weniger intensiv gereinigt. Vom Prinzip her unterscheidet man drei Reinigungsstufen: die 1. oder mechanische Stufe, die 2. oder biologische Stufe und eine 3. Stufe, die oft auch als chemische Reinigungsstufe bezeichnet wird.

Lange Zeit waren besonders die Abwassertechniker der Meinung, dass entweder einzelne Reinigungsschritte oder die Gesamtheit der Prozesse in der Lage seien, die pathogenen Agentien aus dem Abwasser zu entfernen. Aus der einschlägigen Literatur vieler Jahre ergibt sich aber, dass dies offenbar ein Trugschluss war. *Tabelle 7* ent-

Tabelle 6: Im Klärschlamm zu erwartende pathogene Hefen und Fadenpilze (*de Bertoldi,* 1981; *WHO,* 1981)

Hefen	Candida albicans
	Candida krusei
	Candida tropicalis
	Candida guillermondii
	Cryptococcus neoformans
	Trichosporon
Fadenpilze	Aspergillus spp.
	Aspergillus fumigatus
	Phialophora richardsii
	Geotrichum candidum
	Trichophyton spp.
	Epidermophyton spp.

Tabelle 7: Wirkung von Abwasserreinigungsverfahren in bakteriologischer Hinsicht (*Knoll,* 1964)

bei Verfahren	Prozentuale Abnahme bezogen auf Ausgangsmaterial		
	von Bakterien (gesamt) %	von Salmonellen %	von Tuberkelbakterien %
Grobrechen	0	0	0
Feine Siebe	0 - 5	0	0
Mechanische Klärung	10 - 20	10 - 90	10 - 90
Absetzbecken	25 - 75	6 - 10	9
Fällungsbecken (chemisch)	40 - 80	20 - 80	10 - 70
Rohabwasser-Chlorung	85 - 90	50 - 70	10 - 20
Tropfkörper, hochbelastet (Spültropfkörper)	70 - 90	39 - 67	68
Tropfkörper, schwach belastet	90 - 95	50 - 77	0 - 10
Belebungsverfahren	90 - 98	55 - 98	45
Chlorung von biologisch gereinigtem Abwasser	98 - 99	80 - 95	75 - 95
Klärschlamm von			
unbeheiztem Faulturm (mesophil)	-	50 - 70	45
beheiztem Faulturm	-	85 - 95	100
Faulschlamm, getrocknet			
14 Tage	-	60 - 80	21
30 Tage	-	60 - 90	51

hält eine bereits etwas ältere Auflistung der gängigsten Abwasserreinigungsverfahren, jedoch ohne die damals noch nicht übliche dritte Stufe. Sie zeigt, dass keine vollständige Entfernung der Pathogenen eintritt. Auch darf man sich bei angegebenen Reinigungseffekten von z.B. 99% nicht darüber hinwegtäuschen lassen, dass bei diesem Reinigungsgrad bei einer Belastung des Abwassers mit einem beliebigen Keim von 10^7 je ml nach der Reinigung noch immer 10^5 Keime je ml übrig bleiben. Dies kann je nach Keimart noch immer innerhalb der infektiösen Dosis für Mensch und Tier liegen.

3.1. *Bakterien*

Tabelle 8 lässt erkennen, dass auch nach biologischer Reinigung noch verschiedenartige pathogene Agentien im Kläranlagenablauf vorhanden sind. Bei schwedischen Untersuchungen lag bei 279 Proben von Kläranlagenabläufen die Verseuchung mit Salmonellen zwischen 30 und 60%, wobei jede der untersuchten Kläranlagen diese Keime in ihrem Vorfluter emittierte. Bei den Parasiten lagen folgende Verhältnisse in den Abläufen vor: *Diphyllobothrium latum* 100%, Taenien 45%, Ascaris 27%, Toxascaris 27%.

Sehr intensive neuere Untersuchungen in Schweden bezüglich Salmonellen im Verlauf der Reinigungsprozesse haben ebenfalls ergeben *(Tabelle 9),* dass in Abhängigkeit von der angeschlossenen Einwohnerzahl nach der biologischen Reinigung noch in bis zu 36% der Proben diese Erreger im Kläranlagenablauf nachweisbar waren. Die Tabelle 9 zeigt ausserdem, dass durch die Sedimentations- und Fällungsvorgänge ein grosser Teil der Salmonellen in den primären Rohschlamm und Über-

Tabelle 8: Beispiele für die Wirkung verschiedener Abwasserreinigungsverfahren auf pathogene Mikroorganismen (*Lund,* 1975)

Organismen	Menge je 100 ml			
	Rohabwasser in Kläranlage		Ablauf nach Reinigung	
	mechanisch	biologisch	mechanisch	biologisch
E. coli	10^6-10^7	920 000-22 Mio	0,3-0,6x10^6-10^7	5400-170 000
Salmonellen	125 (Sommer) 0,5 (Winter)	240 (Sommer) 0,2 (Winter)	56 4	
Cl. perfringens	73 000	73 000	46 000	27 000
Mycobakterien	20-100 100-10 000	150 000	20-100 20-1000	 1000
Protozoen	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben
Parasiteneier	0,4-3,0	0,5-3,0	0,5-1,0	0,1
Entero-Viren	keine Angaben	10 000 (Herbst) 0,1 (Winter)	keine Angaben	100 0,1

Tabelle 9: Isolierung von Salmonellen in 3 schwedischen Kläranlagen mit biologischer Reinigung und Vorfällung mit Aluminiumsulfat im Zulauf nach dem Sandfang (nach *Danielsson,* 1977)

Proben-entnahme	Kläranlage A 90.000 EG		Kläranlage B 28.000 EG		Kläranlage C 210.000 EG		Ø A, B, C	
	Proben-zahl	Salmo-nellen +	Proben-zahl	Salmo-nellen +	Proben-zahl	Salmo-nellen +	Proben-zahl	Salmo-nellen +
Zulauf nach Sandfang	75	60%	61	72%	77	58%	213	63%
nach Vorklär-becken	75	56%	59	66%	77	50%	211	57%
nach Nachklär-becken	75	41%	61	36%	77	32%	213	37%
im Ablauf	73	31%	61	33%	77	36%	211	34%
Rohschlamm	59	58%	54	87%	77	80%	190	74%
Oberschußschlamm	59	59%	60	97%	77	57%	196	70%
Faulschlamm	59	40%	49	6%	77	14%	185	20%

schussschlamm der biologischen Stufe gelangt, so dass dort bis zu 87 bzw. 97% der Proben positiv sind. Hingegen wird, wie *Tabelle 10* zeigt, durch die 3. (chemische) Reinigungsstufe mit Fällung durch Aluminiumsulfat der Ablauf von Kläranlagen, ebenfalls wieder in Abhängigkeit von der angeschlossenen Einwohnerzahl, von Salmonellen entlastet, die letzten Endes dann im abgesetzten Schlamm dieser Reinigungsstufe wieder erscheinen [15].

Beispielhaft für die Tatsache, dass die Salmonellen in der Regel in den Schlämmen der verschiedenen Behandlungsstufen angereichert werden, zeigt die *Tabelle 11* die Ergebnisse der Untersuchungen von 25 Kläranlagen in der Schweiz. Hierbei lag der Verseuchungsgrad von Rohschlamm bei 93%, von aerob stabilisiertem Schlamm bei 85% und von Faulschlamm bei 89%.

3.2. *Viren*

Auch Viren gelangen in z.T. grossen Mengen in das Abwasser. Es ist berichtet worden, dass enterische Viren von erkrankten Menschen in Konzentrationen von 10^6 je Gramm Fäces ausgeschieden werden. Deswegen ist es auch nicht verwunderlich, wenn man über 10^5 je Liter Rohabwasser festgestellt hat. Die meisten fäkal emittierten Viren sind natürlicherweise in Darminhalt eingebettet, wenn sie in die Umwelt oder das Kanalisationssystem abgegeben werden. Zahlreiche Berichte beweisen, dass die Viren partikelgebunden bleiben, selbst wenn die Abwasserfeststoffe auf die eine oder andere Weise aufgebrochen werden. Deshalb sollen nach Meinung von einschlägig tätigen Virologen quantitative Methoden zum Virusnachweis in Abwasser auch für die Erfassung partikelgebundener Viren geeignet sein. Ernsthafte Versuche in dieser Richtung haben erst in den letzten Jahren begonnen. Deshalb herrscht bei den

Tabelle 10: Isolierung von Salmonellen in 5 schwedischen Kläranlagen mit 3. Reinigungsstufe; Fällung mit Aluminiumsulfat (nach *Danielsson,* 1977)

Proben-entnahme	Ø von 2 "grossen" Kläranlagen 50.000 bzw. 200.000 EG Proben-zahl	Salmonellen +	Ø von 3 "kleinen" Kläranlagen 800, 1.100, 5.500 EG Proben-zahl	Salmonellen +
Zulauf nach Sandfang	43	19%	54	5%
nach Biologie	41	2%	54	1%
im Ablauf	42	7%	54	0
Schlamm der 3. Reinigungs-stufe	42	60%	54	11%

Tabelle 11: Salmonellenfunde in Kläranlagen der Schweiz (*Hess und Lott,* 1971)

	Art des Klärschlamms					
	Frischschlamm		aerob stabilisiert		Faulschlamm	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Untersuchte Kläranlagen	25	-	5	-	29	-
Untersuchte Proben	41	100	40	100	125	100
Salmonellenpositive Proben	38	92,7	34	85,0	111	88,8
Proben mit Salmonellentiter-bestimmung	34	100	26	100	99	100
Salmonellenzahl pro Liter						
$> 5 \cdot 10^1$	1	2,9	1	3,8	12	12,1
$> 10^2$	3	8,8	4	15,4	21	21,2
$> 10^3$	2	5,9	11	42,4	30	30,3
$> 10^4$	7	20,6	6	23,1	21	21,2
$> 10^5$	6	17,7	2	7,7	14	14,1
$> 10^6$	14	41,2	1	3,8	1	1,0
$> 10^7$	1	2,9	1	3,8	0	0

Abwasservirologen Übereinstimmung darüber, dass viele, wenn nicht die meisten, infektiösen Viren im Abwasser dem Nachweis entgehen.

Diese methodischen Schwierigkeiten sind mit ein Grund für die Divergenzen bei den Ergebnissen weltweiter Untersuchungen zur Feststellung der Wirkung verschiedener Abwasserreinigungsverfahren auf Viren. *Tabelle 12* enthält eine zusammengefasste Darstellung von Ergebnissen aus einer grossen Zahl von Literaturangaben, nicht nur für Viren, sondern auch für pathogene Bakterien und Parasiten. Sie zeigt, dass für Viren die Streuung zwischen 0% und 90% liegt. Infolge der Partikelgebundenheit der Viren ist, ähnlich wie bei pathogenen Bakterien und Parasiten, mit ihrer Anreicherung in den Schlämmen der einzelnen Abwasserbehandlungsstufen zu rechnen. Dies trifft besonders für alle Behandlungsverfahren zu, die mit Koagulations- oder Fällungsvorgängen arbeiten.

3.3. *Parasiten*

Auch die meisten parasitären Dauerformen werden durch die normalen Abwasserreinigungsprozesse nicht wirkungsvoll dezimiert. Es werden zwar die Kläranlagenabläufe etwas davon entlastet, wobei allerdings die meisten Eier, ebenso wie viele Bakterien und Viren, in den Schlämmen landen. Der Grad der Sedimentation ist abhängig vom spezifischen Gewicht der Wurmeier. Unter den bedeutungsvolleren Parasiten haben die Eier von *Taenia saginata* offenbar das geringste spezifische Gewicht.

Tabelle 12: Prozentuale Reduzierung von Krankheitserregern durch verschiedene Abwasserbehandlungsverfahren auf Grund einer Literaturauswertung (*SCS Engineers,* 1979, zusammengefasst)

Erreger	Mechanische Reinigung	Biologische Reinigung		belüftete Lagunen	Abwasser-teiche
		Belebtschlamm	Tropfkörper		
Salm. typhi	> 50				
Salm. spp.	0 - 15	70 - 96 - 99	88 - 99,9	mässig - sehr gut	mässig - sehr gut
Strept. faecalis	< 50	84 - 94			
Mycobacterium	48 - 57	gering - 88	66 - 99		
Clostr. perfringens		90 - 99			
Ps. aeruginosa		99			
Shigella		90 - 99			
Coliforme		90 - 99		gut	gut - sehr gut
Enteroviren	keine Reduktion	0 - 90			
Polioviren	keine Reduktion	0 - 90 76 - 99	0 - 84	mässig-gut	0 - 96 Temp.abhäng.
Coxsackieviren	< 50	0 - 50			
Echoviren		keine Reduktion			
Entamoeba histolytica	0 - 50	keine Reduktion	11 - 99,9		
Ascariseier	0 - 100	keine Reduktion	62 - 76		
Trichuris trichiura	>50				
Taenia saginata	0 - 50				

Sie sedimentieren nur mit einer Geschwindigkeit von 0,1–0,2 Meter pro Stunde. Bei einer Normalaufenthaltszeit des Abwassers im primären Sedimentationsbecken von höchstens 2 Stunden gelangen sie also nur in den Schlamm, wenn sie an schwerere Partikel gebunden sind. Frei schwimmende Eier von *T. saginata* gelangen mit dem abfliessenden Abwasser in die weiteren Reinigungsprozesse, die sie in der Regel auch überstehen. Mit dem Kläranlagenablauf werden die Eier in die Vorfluter eingeschwemmt. Dies erklärt die Beobachtung, dass in manchen Regionen nach dem Auftreten von Überschwemmungen bei Weidetieren nach der Schlachtung vermehrt Befunde von *Cysticercus bovis* festgestellt werden [1, 13, 16].

3.4. *Hefen und Pilze*

Über das Verhalten von Hefen oder Pilzen im Abwasserreinigungsprozess gibt es fast keine Angaben. In *Tabelle 13* ist die Wirkung einiger Verfahren auf verschiedene Arten von pathogenen Hefen und Pilzen zusammengestellt. Daraus ergibt sich, dass diese Erregerarten im Abwasserschlamm vorkommen können. Bei der Schlammfaulung werden Hefen nicht merkbar reduziert, während bei der Faulung innerhalb von 30 Tagen eine Reduzierung der Pilze von 10^7 auf 10^2 bis 10^3 auftreten kann. Die Pilze sind möglicherweise wegen ihres typisch aeroben Stoffwechsels gegenüber der anaeroben Faulung etwas empfindlicher als Hefen. Aspergillusarten verursachen vorzugsweise Erkrankungen auf dem Weg über Inhalation. Bestimmte Untersuchungsergebnisse bei Schlachtrindern deuten aber darauf hin, dass der Intestinaltrakt eine bedeu-

Tabelle 13: Wirkung einiger Schlammbehandlungsverfahren auf pathogene Hefen und Pilze (*de Bertoldi,* 1981)

Erreger	Schlammbehandlungsverfahren			
	Anaerobe Faulung	Aerobe Stabilisierung	Pasteurisierung	Kompostierung
Candida	-	-	+	+
Cryptococcus	-	-	+	+
Trichosporon	-	-	+	+
Aspergillus	-	-	+	-
Phialophora	-	-	+	+
Geotrichum	-	-	+	+
Trichophyton	-	-	+	+
Epidermophyton	-	-	+	+

+ = Erregerabtötung
- = keine Abtötung

tende Eintrittspforte für Systeminfektionen bei Rindern sein kann. Auch beim Menschen ist dieser Pilz gelegentlich aus dem Magen-Darm-Trakt isoliert und dieser als wichtige Eintrittsstelle für disseminierte Infektionen bezeichnet worden [11].

Die tertiären Abwasserreinigungsverfahren sind, weil relativ neu, in ihrer Wirkung auf Krankheitserreger am wenigsten untersucht. *Tabelle 14* gibt einen allgemeinen Überblick.

Wenn man die bisherigen Kenntnisse über die Wirkung von Abwasserreinigungsverfahren auf pathogene Agentien zusammenfasst, kann man feststellen, dass die Mehrzahl von Erregern in zahlenmässig reduzierter Form die Abwasserreinigung übersteht und von den Kläranlagen in die Vorfluter gelangt. Ein Teil der Erreger ist an Fäkalpartikel angelagert oder in sie eingeschlossen und gelangt durch die verschiedenen Sedimentationsprozesse in die dabei entstehenden Schlämme. Schlämme aus den verschiedenen Abwasserreinigungsstufen können daher zu Recht als ein Konzentrat von Krankheitserregern bezeichnet werden. Die kontinuierlich betriebene mesophile, anaerobe, alkalische Schlammfaulung reduziert zwar die Zahl von Erregern, kann aber wegen der ständigen Durchmischung des Faulrauminhalts durch die tägliche Zugabe von infiziertem Rohschlamm nicht verhindern, dass der dabei abgezogene Schlamm aus dem Faulraum noch Krankheitserreger enthält, die nicht länger als 24 Stunden dem Faulprozess ausgesetzt waren und deshalb nicht abgetötet wurden. Auch aerob stabilisierte Schlämme enthalten noch Krankheitserreger. Eine Ausnahme bildet die zweistufige aerob-thermophile Stabilisierung, die mit hoher Sicherheit einen hygienisch einwandfreien Schlamm erzeugt.

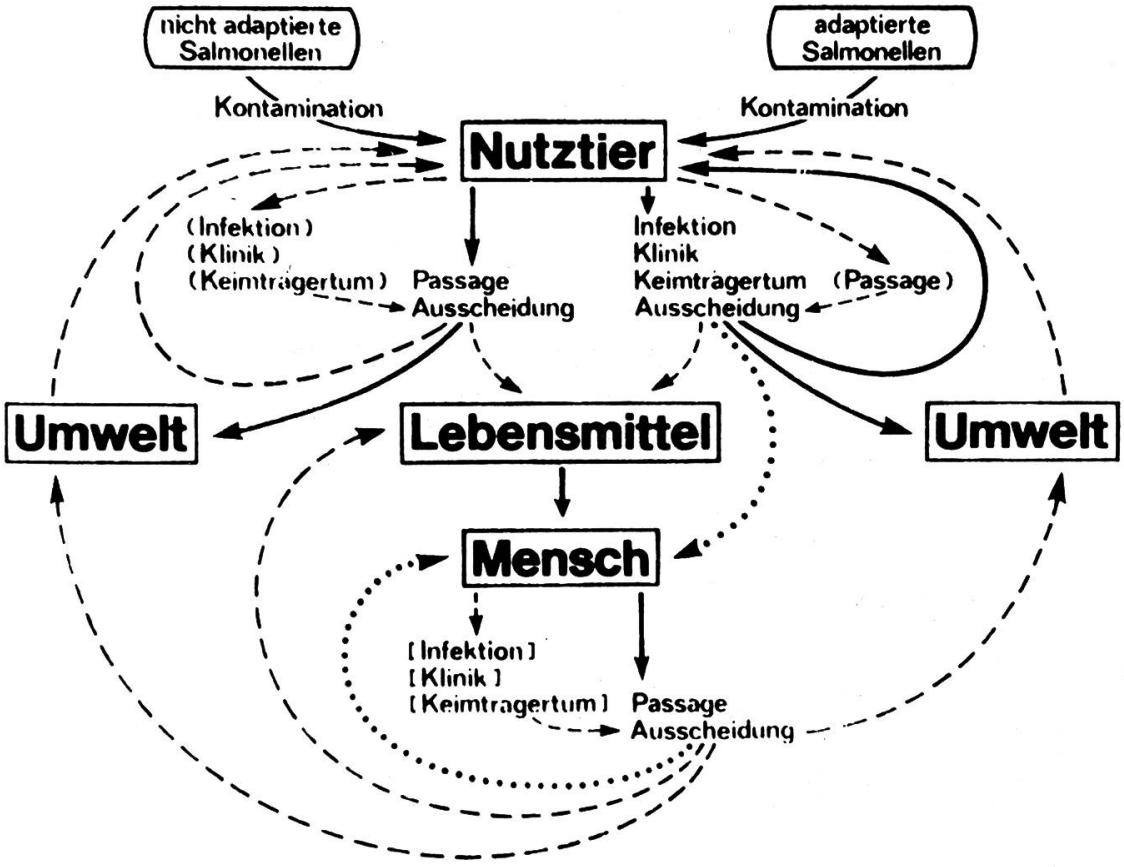
Man kann also davon ausgehen, dass mit Ausnahme des letztgenannten Verfahrens, alle übrigen Schlämme von Kläranlagen mit den üblichen Abwasserbehandlungsverfahren als seuchenhygienisch bedenklich einzustufen sind.

Tabelle 14: Wirkung tertiärer Abwasserbehandlungsverfahren auf Krankheitserreger (nach *SCS Engineers,* 1979; *Carrington,* 1980; *Feacham et al.,* 1981)

	Chemische Fällung	Filtration Mikrosiebung
Bakterien	gut - sehr gut	gut
Viren	mässig - gut	mässig - gut
Parasiteneier	gut - sehr gut	gut - sehr gut

4. Epidemiologische Bedeutung des Vorkommens von Krankheitserregern im Klärschlamm

Über dieses Thema ist viel geschrieben und noch mehr spekuliert worden. Das Ergebnis ist jeweils davon abhängig, aus welcher wissenschaftlichen Richtung oder von welchem Interessentenkreis der jeweilige Autor kommt. Ich möchte deshalb hier einmal feststellen, dass, mit Ausnahme der Schweiz, in den meisten anderen Ländern die medizinischen und veterinärmedizinischen Mikrobiologen bzw. Hygieniker sich die Initiativen auf den Gebieten der Epidemiologie landwirtschaftlich verwerteter Abfallprodukte kommunaler Herkunft von anderen Berufsgruppen haben aus der Hand nehmen lassen. Dieses Gebiet wird heute vielfach von Mikrobiologen bearbeitet, die keine medizinische Ausbildung erfahren und bestenfalls zusätzlich einen Kurs in «Public Health» oder «Sanitary Engineering» absolviert haben. Dies ist eine sehr bedauerliche Entwicklung, durch die allgemein-medizinische Aspekte der Epidemiologie von Infektionskrankheiten heutzutage häufig auf der Strecke bleiben.



Erläuterung
——▶ : Regelfall
- - - - ▶ : gelegentlich vorkommender Fall
····· ▶ : Ausnahmefall

Abb. 1 Schema zu den Erreger-Wirts-Beziehungen der Salmonellen (*Schöll,* 1982)

4.1. *Bakterien*

Hier seien beispielhaft die Salmonellen genannt, die wohl die im vorliegenden Zusammenhang am besten untersuchte Gruppe bakterieller Infektionserreger darstellen. Dies hängt einmal mit ihrer immer noch zunehmenden weltweiten Verbreitung zusammen und ausserdem damit, dass sie infolge der zur Verfügung stehenden Methoden mit am besten aus fäkal verunreinigtem Material zu isolieren sind.

Die Veröffentlichungen über die Lebensfähigkeit und -dauer dieser Keime in der Umwelt sind unübersehbar. *Abbildung 1* gibt einen schematischen Überblick über die Erreger-Wirts-Beziehungen der Salmonellen, in denen die Umwelt eine nicht unbeträchtliche Rolle spielt. Eine graphisch dargestellte Literaturauswertung über die Tenazität von Salmonellen in der Umwelt in oder auf den verschiedensten Substraten in *Abbildung 2* zeigt Überlebenszeiten bis zu 3 Jahren. Auf alle Fälle überschreitet ihre Lebensdauer die übliche Speicherzeit von Schlamm in Klärwerken, die von Gülle im Landwirtschaftsbetrieb und die Nutzungsperioden von Grünland oder Feldfutteranbauflächen. *Tabelle 15* zeigt das Ergebnis einer deutschen Untersuchung, die im Schlammaufbringungsgebiet eines der grössten deutschen Abwasserverbände von einem staatlichen Veterinäruntersuchungsamt durchgeführt wurde, wonach in der Erdkrume und in Schlammkrusten Überlebenszeiten festgestellt wurden, die weit über die Dauer der üblicherweise empfohlenen Schutzfristen hinausgehen.

Die umfangreichste und überzeugendste epidemiologische Studie wurde ja bekanntermassen hier in der Schweiz durch die Schule von Professor *Hess* in Zürich

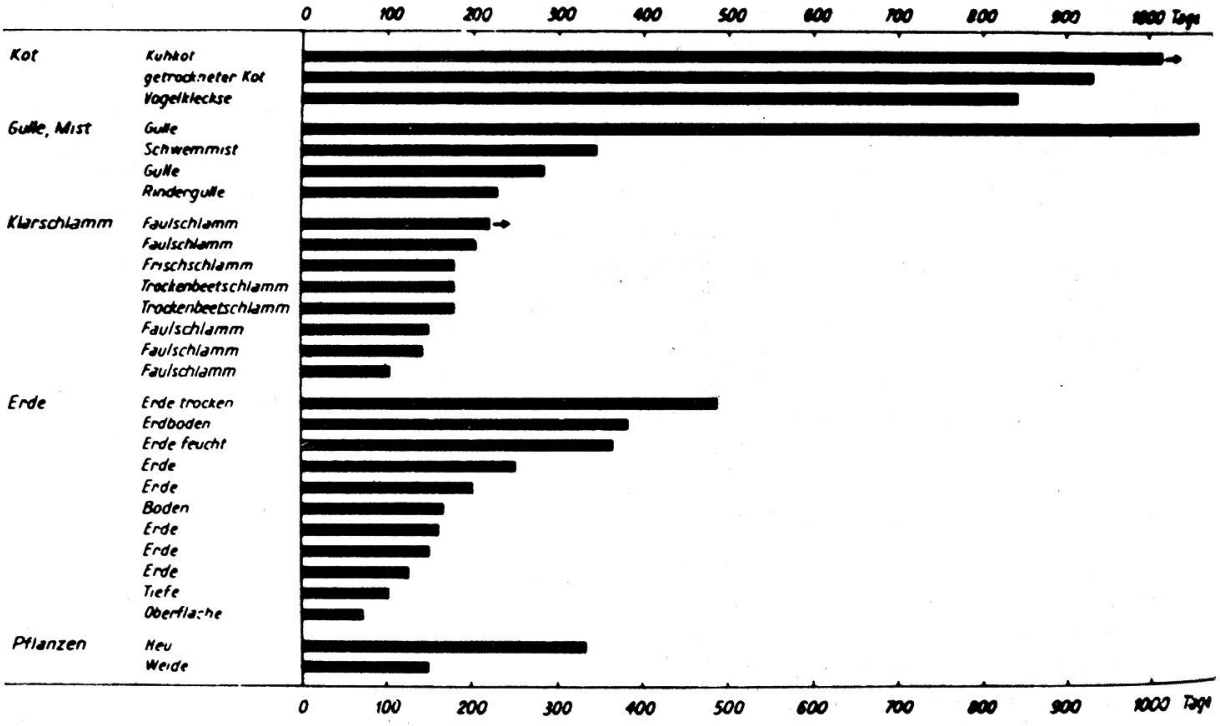


Abb. 2 Tenazität von Salmonellen auf Grund von Literaturangaben (*Hess, Lott und Breer,* 1974)

Tabelle 15: Tenazität von Salmonellen nach Klärschlammanwendung auf Pflanzen, in der Erdkrume und in Schlammkrusten (*Köser,* 1967)

Schlamm-behandlung vor	Pflanzen Gesamtzahl der Proben	Pflanzen Salmonellen	Erdkrume Gesamtzahl der Proben	Erdkrume Salmonellen	Schlammkruste Gesamtzahl der Proben	Schlammkruste Salmonellen
2 Tagen	2	2	1	1	-	-
4 - 6 Tagen	5	3	5	4	3	3
1 - 2 Wochen	21	8	21	16	3	2
2 - 3 Wochen	27	5	25	18	3	3
3 - 4 Wochen	17	2	12	7	2	2
4 - 5 Wochen	8	1	11	9	-	-
5 - 6 Wochen	8	-	7	2	2	2
6 - 7 Wochen	6	-	5	2	1	-
7 - 8 Wochen	12	-	11	3	5	5
8 - 9 Wochen	8	-	5	3	2	2
9 - 10 Wochen	9	-	8	1	1	1
10 - 11 Wochen	4	-	4	-	1	1
11 - 12 Wochen	7	-	5	-	3	2
12 - 13 Wochen	1	-	1	-	1	1
13 - 14 Wochen	2	-	2	-	1	1
14 - 15 Wochen	3	-	3	-	-	-
15 - 16 Wochen	3	-	3	-	3	1
Summe	143	21	129	66	31	26

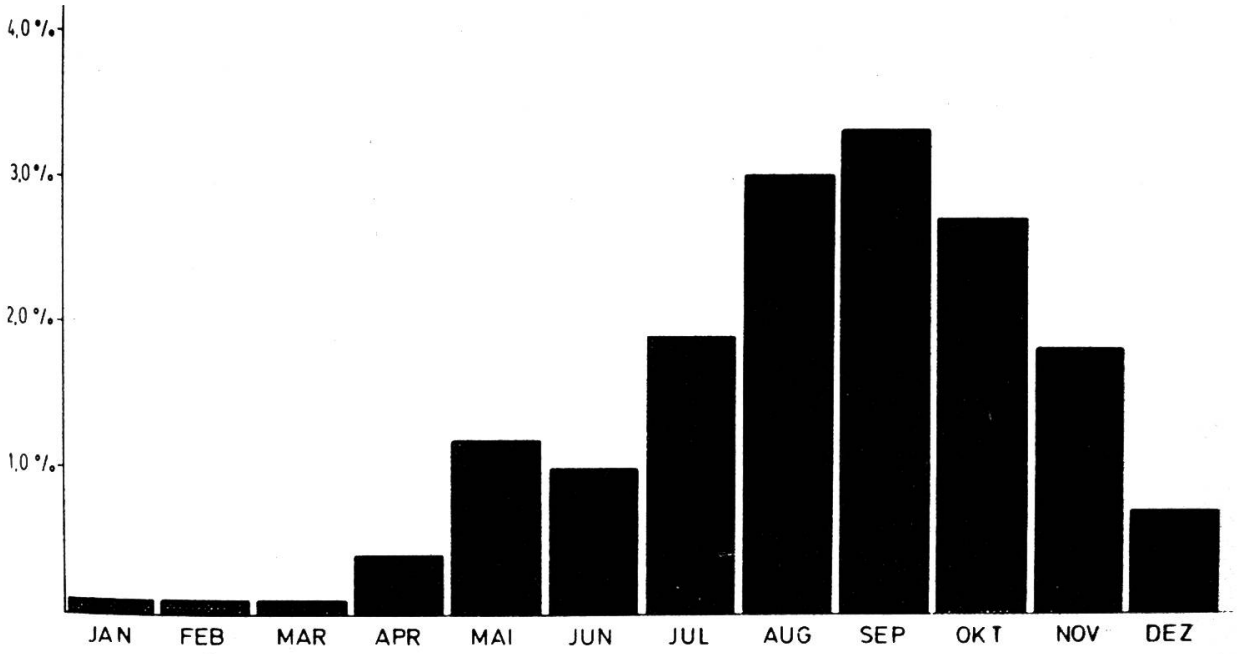
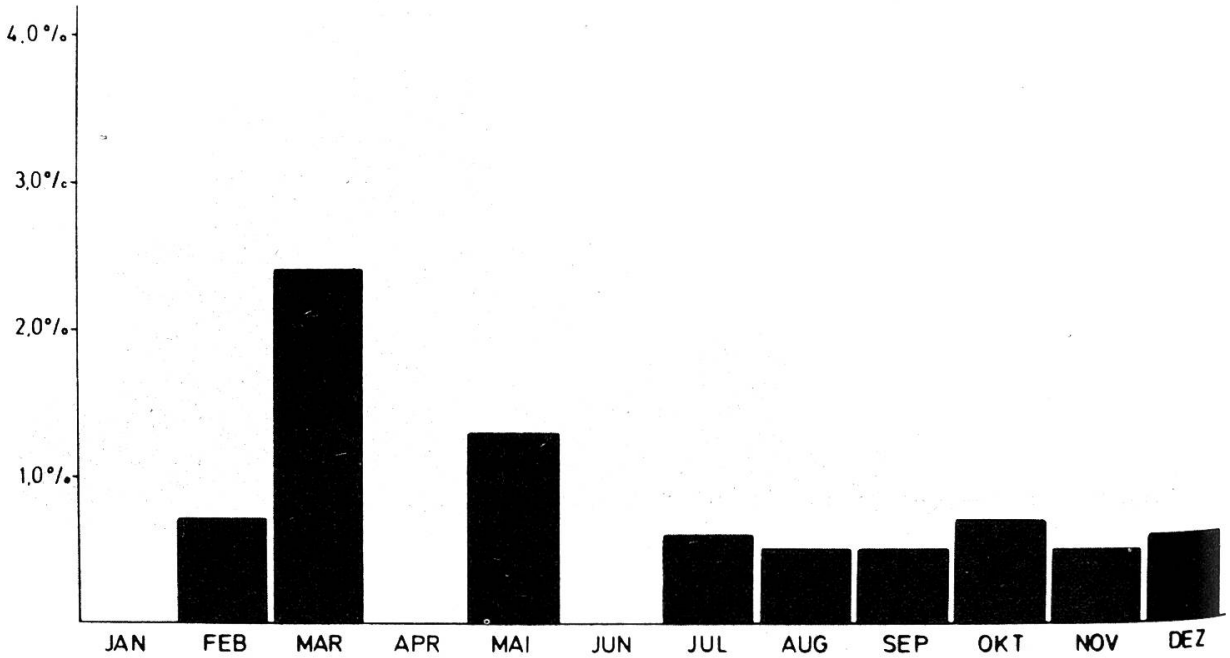


Abb. 3 Jahreszeitliche Verteilung der Salmonellenisolierung beim erwachsenen Rind 1969–1978 = 26 646 Proben (*Breer,* 1981)

durchgeführt. In *Abbildung 3* sei noch einmal das Ergebnis dieser Studie über 9 Jahre mit fast 27 000 Einzelproben vorgezeigt. In seiner bisher letzten Veröffentlichung zu diesem Thema beschreibt *Breer* neben diesen Ergebnissen auch noch mehrere Einzelfälle direkter Infektionen von Rindern durch Klärschlamm. Die deutliche Kumulation der Salmonellenisolierungen während der Grünfutterperiode bei Rindern ist nach Ansicht der Zürcher Schule eine Folge des massiven Schlammaustrages nach der Heuernte und wird gefördert durch das kurze Intervall zwischen Düngung und zweitem Schnitt bzw. Weidegang im Zeitpunkt der intensivsten Wachstumsphase. Beim Schwein lässt gemäss *Abbildung 4* die Zürcher Institutsstatistik einer analogen Untersuchung im gleichen Zeitraum keine saisonale Abhängigkeit der Salmonellenfunde erkennen. Daraus wird gefolgert, dass zumindest in der Schweiz ein Salmonellen-Infektionszyklus Mensch–Klärschlamm–Futterpflanze–Weidetier–Schlachtkörper–Mensch besteht [2].

Von vielen anderen Autoren werden solche Zyklen in Abrede gestellt oder verharmlost mit dem Hinweis, dass experimentelle Untersuchungen so hohe orale Infektionsdosen ergeben hätten, wie sie unter natürlichen Bedingungen nie vorkämen. Dabei wird häufig übersehen, dass durch physiologische Einwirkungen, Parasitenbefall, klimatische und viele andere Einflüsse beim Einzeltier die Hemmschwelle für orale Infektionen um mehrere Zehnerpotenzen vermindert sein kann. Auch neuere Experimente mit grossen Tierzahlen sprechen ganz eindeutig gegen diese verharmlosende Auffassung. Erst vor zwei Jahren wurde in den USA eine Studie mit 120 Rindern in einem Feedlot durchgeführt. 15 dieser Tiere wurden oral mit *S. typhimurium* infiziert. Innerhalb 3 Tagen waren 13 der nicht infizierten Tiere angesteckt, nach

Abb. 4 Jahreszeitliche Verteilung der Salmonellenisolierungen beim Schlachtschwein 1969–1978 = 2027 Proben (*Breer,* 1981)



5 Tagen waren weitere 39 Rinder infiziert. Insgesamt wurden 70 gesunde Tiere durch den Kontakt mit den peroral infizierten Rindern während der 71tägigen Beobachtungszeit mit *S. typhimurium* angesteckt. 24 Tiere schieden am Ende der Versuchsdauer den Erreger immer noch aus [26].

Wenn man eine Seuche bekämpfen will, so muss man versuchen, alle bekannten Infektionsquellen zu verstopfen. Nur die konsequente Einhaltung dieser Politik kann zum Erfolg führen. Deshalb hat man in der Bundesrepublik Deutschland eine Studie mit einer status quo-Wirkungsanalyse durchgeführt sowie Kosten und denkbaren Nutzen gegenübergestellt. Für 1977 ergab sich auf der Grundlage der Anzahl erfasster menschlicher Erkrankungsfälle an Salmonellose (59,6 Infektionen auf 100 000 E) zuzüglich einer 12fachen Dunkelziffer insgesamt ein volkswirtschaftlicher Schaden

Tabelle 16: Ökonomische Bewertung von Massnahmen und Empfehlungen zur Salmonellose-Bekämpfung (*Pietzsch,* 1983, geändert)

Massnahme bzw. Empfehlung	Kosten	erwarteter Erfolg
1. Aufklärung von Verbrauchern	+	++
Schulung von Personal	+++	+++
2. Regionale Frühwarnsysteme	+	+
3. Verbesserung d. Herstell. u. Verarb.-Hygiene in Lebensmittelbetrieben		
a) Feststellung und Ausschaltung von Übertragungswegen	++	++
b) Qualitätssicherungssysteme	+++	+++
c) Personalkontrolle	++	+
4. Verbesserung der Hygiene und Überwachung von Anlagen der Gemeinschaftsverpflegung	+	++
5. Sanierung von Nutztierbeständen und Heimtieren		
a) Beratung der Betreiber	++	+
b) Erforschung von Infektketten und ihrer Ausschaltung	++	++
c) Sanierungsmassnahmen, staatl. gefördert	?	+
d) Vorsichtsmassnahmen bei Abwasser und Schlammverwertung	+	++
e) Hygienisch einwandfreie Futtermittel	?[1]	+
6. Futtermittelhygiene		
a) mikrobiologische Qualitätsstandards, Schulung der Hersteller und Landwirte	+	+
b) Überwachung der Betriebshygiene Gütezeichen für Dekontaminationsverf.	+++	+
7. Abwasser und Abfälle		
a) Dekont. bes. belasteter Betriebe	+++	+
b) Verbot bzw. Wartefristen bei Klärschlammanwendung	+	++
8. Forschung	+++	?

Zeichenerklärung: +++ = hohe Kosten / hohe Erfolgserwartung
++ = mässige Kosten / mässige Erfolgserwartung
+ = niedrige Kosten / niedrige Erfolgserwartung
? = unbekannt / fraglich
1 = Voraussetzung Realisierung von 6.

von ca. 180 000 DM je 100 000 E. *Tabelle 16* vergleicht die nach dieser Studie geschätzten Kosten mit dem erwarteten Erfolg. Daraus geht hervor, dass unter 5d und 6b bei niedrigen Kosten eine mässige Erfolgserwartung besteht. Nach meiner Auffassung müssen die darin vorgegebenen Massnahmen bezüglich Abwasser und Klärschlamm unbedingt in ein Gesamtkonzept der Salmonellosebekämpfung übernommen werden [21].

Die von manchen Wissenschaftlern und Abwasserproduzenten immer wieder vorgebrachten Argumente, die angeblich gegen eine gesundheitliche Gefährdung von Mensch und Tier durch die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung sprechen, übersehen nach meiner Auffassung, dass es hier weder um das Einzeltier noch um einen einzelnen Tierbestand geht. Vielmehr ist der gesamte Sektor der Lebensmittelhygiene dadurch bedroht. Wenn Abwasserfachleute glauben, dass sie durch den Hinweis auf eine Verschärfung von Massnahmen bei der Fleischuntersuchung die durch die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung entstehende Bedrohung der öffentlichen Gesundheit kompensieren lassen könnten, dann irren sie sich wegen fehlender medizinisch-epidemiologischer Kenntnisse [2].

Tabelle 17: Oral infektiöse Dosen verschiedener Krankheitserreger bei erwachsenen menschlichen Freiwilligen (*SCS Engineers,* 1979; vereinfachend geändert)

	Prozentsatz der erkrankten Versuchspersonen			
Erreger*	0 - 25	26 - 50	51 - 75	76 - 100
Shigella dysenteriae	10^1 - 10^2	10^2 - 10^4	10^3	10^4
Shigella flexneri	10^2 - 10^4		10^3 - 10^9	10^6 - 10^8
Vibrio cholerae	(10^3)- 10^3	10^8 - 10^{11}	10^4 - 10^6	
Salmonella typhi	10^5 - 10^8	10^5 - 10^7	10^4	10^8 - 10^9
newport	10^5	10^6		
bareilly	10^5	10^6		
anatum	10^5 - 10^8	10^6		
meleagridis	10^6	10^7	10^7 - 10^8	
derby		10^7		
pullorum		10^9		10^9 - 10^{10}
Escherichia coli	(10^4 - 10^{10}) 10^6 - 10^8	10^8	10^6 - 10^{10}	10^{10}
Strept. faecalis var. liquefaciens	10^9	10^{10}		
Clostr. perfringens		10^8	10^9	10^9
Entamoeba coli	(10^0)	(10^1 - 10^2)		(10^4)
Giardia lamblia		(10^2)		(10^1 - 10^6)
Norwalk agent	0 - 75 % mit Stuhl-Filtrat			
Hepatitis A	26 - 75 % mit Stuhl-Filtrat			

* Von den meisten bakteriellen Erregern wurden zwischen 2 und 7 verschiedene Varianten bzw. Phagentypen getestet. Aus Platzgründen wurden die Ergebnisse zusammengefasst.

(10^x) = Symptomlose Infektionen

Wie *Breer* in seiner vorhin bereits zitierten Veröffentlichung ausführt, übersehen sie nämlich dabei, «dass die bei weitem überwiegende Zahl der stummen Salmonellenträger weder durch die Lebendbeschau noch durch die Kontrolle der Schlachtkörper und Organe erfasst werden kann. Da eine bakteriologische Untersuchung aller Schlachttiere ebenfalls unmöglich ist, muss der Salmonellenkreislauf anderweitig unterbrochen werden. Hierfür stellt die Hygienisierung des Schlammes, der als Dünger von Grünflächen vorgesehen ist, die einzige praktikable Lösung dar». Ich stimme hierin mit *Breer* völlig überein [2].

Auch das Jonglieren mit oral infektiösen Dosen bakterieller Krankheitserreger führt nach meiner Ansicht nicht weiter, da man nie im voraus die örtlichen Verhältnisse oder den Gesundheitszustand einer durch die Verwertung von infiziertem Schlamm gefährdeten Population von Menschen oder Tieren abschätzen kann. Wie gross die Streuung dabei ist, lässt sich in einem gewissen Umfang aus den Angaben in *Tabelle 17* ersehen.

4.2. *Viren*

Auch die Viren überstehen in zum Teil beträchtlichem Umfang die normalen Abwasserreinigungsprozesse, und sie sind auch noch in Schlamm aus Faulanlagen vorhanden, mit dem sie dann auf landwirtschaftlich genutzte Flächen und die darauf angebauten Produkte gelangen können. In *Abbildung 5* sind die möglichen Virusausbreitungswege durch die landwirtschaftliche Verwertung von infektiösem Abwasser und Klärschlamm dargestellt [24].

Untersuchungen mit Schlamm, der Poliovirus I enthielt, haben gezeigt, dass das Virus auf Salat oder Rettich, der auf durch Schlammverregnung behandelten Flächen wuchs, bis zu 36 Tagen überlebte. Da Salat und Rettich gewöhnlich 3–4 Wochen nach dem Anpflanzen geerntet und roh gegessen werden, kann eine Gefährdung der Verbraucher nicht ausgeschlossen werden. Selbst wenn schlammgedüngte Gemüse vor dem Verzehr gekocht werden, kann wegen der Gefahr von Kreuzinfektionen im Küchenbereich eine Gefährdung der Verbraucher nicht ausgeschlossen werden [23].

Die Überlebenszeiten von Enteroviren auf Gemüsen und Früchten differieren bei einzelnen Untersuchungen sehr stark. Art des Virus und des Erntegutes sind wichtig, aber die beherrschenden Faktoren sind Temperatur, Sonneneinstrahlung und Luftfeuchtigkeit, die den Grad der Erwärmung, Strahlung und Austrocknung bestimmen. Überlebenszeiten bis zu zwei Monaten sind möglich, hingegen kann bei Tagestemperaturen über 25 °C, besonders in trockenen Klimaten, mit einer Überlebensdauer von höchstens zwei Wochen gerechnet werden.

Bezüglich der Verwendung von Impfstämmen des Poliovirus als Modell für andere Viren im Zusammenhang mit Studien über das Verhalten von Viren im Boden wird festgestellt, dass dies die schlechteste Wahl gewesen sei, die man hätte treffen können, wegen der natürlichen Neigung dieses Virus zu adsorbieren. Leider ist die Virusadsorption an Bodenpartikel, die sogenannte «Beseitigung», nicht identisch mit Virusinaktivierung oder dauernder Immobilisierung. Dies konnte in Labor- und Feldversuchen gezeigt werden. Vielmehr ist die Virusadsorption an Bodenteilchen ein

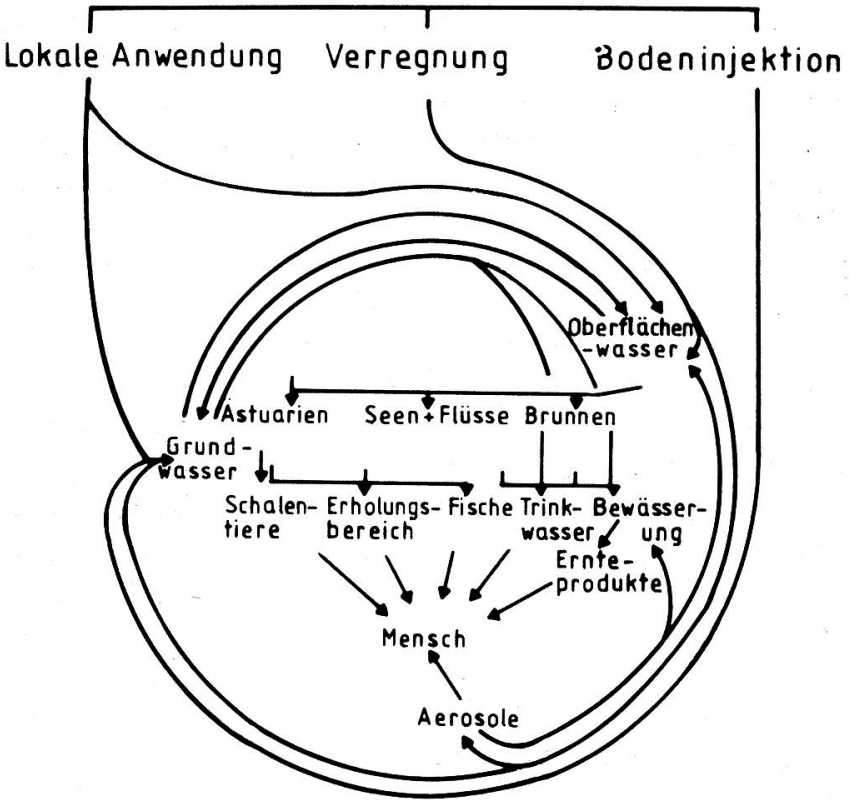
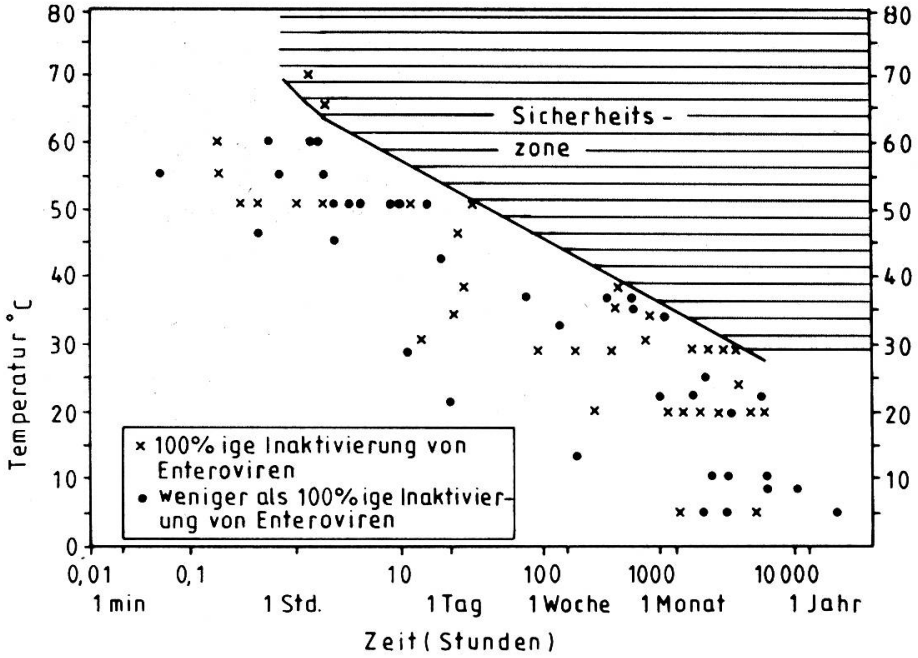


Abb. 5 Mögliche Virusausbreitungswege durch die landwirtschaftliche Verwertung von Abwasser und Klärschlamm (*Metcalf,* 1976)

dynamischer Prozess, der von zahllosen Variablen abhängt, die mit dem Boden und dem Virus im Zusammenhang stehen. Sie läuft auf eine effektive Konzentration des Virus innerhalb der Bodenmatrix hinaus. Das Überleben der Viren hängt unter diesen Umständen von vielen veränderlichen Grössen wie z. B. Wasser/Boden-Verhältnis, Temperatur und vom Zustand des Virus, wie frei vorkommend oder in eine feste Partikel eingeschlossen, ab. Ihre Desorption, die in einem explosionsartigen Freiwerden mit nachfolgender Verlagerung in grössere Tiefen mit besseren Überlebenschancen bestehen kann, hängt vom Ionenaustauschgleichgewicht ab, das leicht durch natürliche Ereignisse wie z. B. schwere Regenfälle geändert werden kann. Die Unmöglichkeit einer Vorhersage von Adsorption, Bewegung und Überlebensdauer eines Virus im Boden erfordert daher eine sorgfältige Auswahl von Flächen zur Beseitigung virushaltiger Abwässer oder Schlämme, wenn Grundwasser vor einer Viruskontamination geschützt werden muss [25].

Es konnte im Zusammenhang mit der Ausbringung virushaltigen Klärschlammes auch gezeigt werden, dass Weidetiere beim Fressen grosse Mengen Erde und Schlamm aufnehmen. Obgleich Infektionen von Tieren durch native Viren aus Böden nicht eindeutig nachgewiesen sind, ist von einer Vielfalt warmblütiger Tiere bekannt, dass sie die Replikation verschiedener enterischer Viren des Menschen unterstützen. Weiterhin ist bewiesen, dass wenigstens fünf Spezies von im Boden lebenden Mikro-



Einfluß von Zeit und Temperaturen auf Enteroviren. (Man beachte, daß die angezeigten Punkte das Ergebnis von Versuchen sind, die in ihren Bedingungen weit voneinander abweichen. Die durchgezogene Linie ist eine vorsichtig angesetzte obere Grenze für die Abtötung. Diese Darstellung trifft möglicherweise auch für Adeno-und Reoviren zu, FEACHAM et.al. 1981)

Abb. 6 Einfluss von Temperatureinwirkung und Zeitdauer auf Enteroviren (*Feacham et al.*, 1981)

Invertebraten Träger von menschlichen enterischen Viren werden können, die sie mit ihrer Nahrung aufnehmen. Es wurde deswegen darüber spekuliert, dass in der Natur solche Spezies Viren menschlicher Herkunft aus dem Boden nicht nur aufnehmen und verbreiten, sondern auch als Virusquelle für die Tiere dienen können, denen sie als Nahrung dienen. In diesem Zusammenhang wird auch die Frage nach der Rolle der Wildtiere für die Verbreitung von Viruskrankheiten diskutiert, die Zugang zu schlammbehandelten Arealen haben. Andererseits glauben manche Autoren, die hohe Wirtsspezifität von Viren schliesse die Möglichkeiten von Spezies-Kreuzinfektionen durch Viren menschlicher oder tierischer Herkunft aus. Eine Auffassung, die sicher nicht von allen Virologen geteilt und von den Befunden in Tabelle 4 schon in gewissem Umfang widerlegt wird [41].

Da wichtige Verfahren zur Entseuchung von Schlamm mit Temperaturerhöhungen verbunden sind, ist für die Beurteilung ihrer Effizienz gegenüber Viren die Darstellung in *Abbildung 6* hilfreich. Sie weist im Temperaturbereich zwischen 30° und 80 °C eine Sicherheitszone in Abhängigkeit von der Einwirkungszeit aus. Aus dieser Graphik wird abgeleitet, dass alle Entero-, Reo- und Adenoviren bei folgenden Temperatur/Zeit-Kombinationen inaktiviert werden: 30 °C–3 Monate, 40 °C–2 Wochen, 50 °C–1 Tag, 60 °C–2 Stunden [28].

Tabelle 18: Anzahl von *Cysticercus bovis*-Finnen und Nachweis von Sarkosporidien bei der Haltung parasitenfrei aufgezogener Kälber auf mit Abwasser beregneten Weiden (*Wilkens,* 1981)

Schlammgabe	Zeitintervall zwischen Beschlammung und Beweidung der Versuchsflächen					
	5-6 Wo	Sark.	9-10 Wo	Sark.	17-18 Wo	Sark.
200 Liter/m^2	211	+	15	-	0	-
	147	+	13	-	0	-
	65	+	5	-	0	-
200 Liter/m^2 Gras nach 5-6 Wochen gemäht	n.u.		3	+	1	-
			2	+	1	-
			0	-	1	-
Kontrollen ohne Schlamm	3	-	n.u.		n.u.	
	2	-				
	0	-				

Beweidung jeweils 2 Wochen lang

4.3. *Parasiten*

Die parasitären Dauerformen sind von den Erregern, die die Abwasserreinigungsschritte überstehen, wohl diejenigen mit den längsten Überlebenszeiten in der Umwelt. In den Fällen, in denen Parasiten den Menschen als spezifische Träger haben, stellen Schlamm und andere fäkale Kontaminationen den einzigen Weg dar, wie sie in die Umwelt gelangen können.

Wie eingangs dargestellt, gibt es eine Reihe von Parasiten, die theoretisch durch Klärschlamm übertragen werden können, obwohl es nicht bekannt ist, in welchem Umfang eine solche Übertragung überhaupt stattfindet. Immer wieder wird dabei die Rolle von *Taenia saginata* diskutiert. Von 1977–1979 wurden in Grossbritannien fünf Ausbrüche von Zystizerkose bei Rindern mit der landwirtschaftlichen Schlammverwertung in Verbindung gebracht. Verfolgsuntersuchungen bis März 1981 ergaben dann, dass in 14 von 218 Rinderherden mit *Cysticercus bovis*-Befall Klärschlamm angewendet wird, davon einmal Faulschlamm und 13 mal Rohschlamm. Eine geographische Betrachtungsweise der betroffenen 218 Betriebe ergab, dass viele davon an Hauptstrassen liegen. Die Autoren ziehen den vorläufigen Schluss, dass eine relativ niedrige Korrelation zwischen landwirtschaftlicher Schlammverwertung und Zystizerkose bestünde. Versuche an der Tierärztlichen Hochschule Hannover erbrachten das in *Tabelle 18* zusammengefasste Ergebnis. Hieraus ergibt sich, dass selbst bei ausgefaultem Schlamm ohne reichlich bemessene Schutzfristen keine ausreichende Sicherheit für die Weidetiere zu erreichen ist [1, 13, 16, 42].

Bei der Taeniasis/Zystizerkose liegen die Verhältnisse ähnlich wie bei der Salmonellose. Die landwirtschaftliche Schlamm- bzw. Abwasserverwertung ist nur ein Glied in der epidemiologischen Kette, wie aus *Abbildung 7* zu erkennen ist. Dies entbindet uns aber nicht von der Verpflichtung, alles zu tun, was möglich ist, um ein solches Glied aus der Kette herauszubrechen und die Arbeit an weiteren Gliedern aufzunehmen, wobei nur an die Sanierung von Campingplätzen, Erholungsgebieten, Autobahnrastplätzen etc. erinnert sei. Auf dem 19. Welttierärztekongress hat der tierärztliche Berufsstand faktisch der Taeniasis/Zystizerkose den Krieg erklärt. Er kann jedoch nur durch die Förderung der Forschung, der Zusammenarbeit zwischen Veterinär- und Humanmedizin in Laboratoriums- und Feldarbeit sowie durch die Annahme von und das Verständnis für Kontrollmassnahmen der Behörden seitens der Betroffenen gewonnen werden. Ein Teil dieser Strategie muss die Verhinderung der Infektionsübertragung durch Klärschlamm sein [13].

4.4. *Hefen und Pilze*

Eine Bewertung der epidemiologischen Bedeutung ihres Vorkommens im Klärschlamm und bei seiner landwirtschaftlichen Verwertung ist bei dem gegenwärtigen Wissensstand nicht möglich. Es ist nachgewiesen, dass Aspergillus bei der Kompostierung von Klärschlamm allein oder in Gemeinschaft mit anderen Abfällen wie z. B. Hausmüll einen nachteiligen Effekt auf das Personal in solchen Anlagen haben kann, z. B. in Form von auftretenden Allergien. Hingegen soll keine Gefährdung der Anwohner von solchen Anlagen bestehen. Neue Bedienstete sollen vor der Einstellung

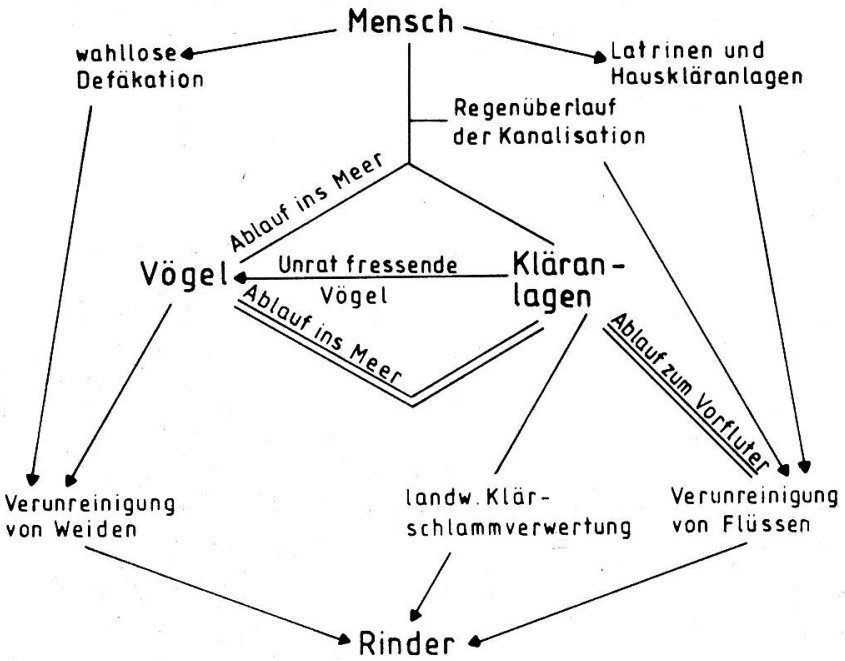


Abb. 7 Mögliche Verbreitungswege für Eier von *Taenia saginata* auf die Rinderpopulation unter mitteleuropäischen Verhältnissen *(Crewe und Owen)*

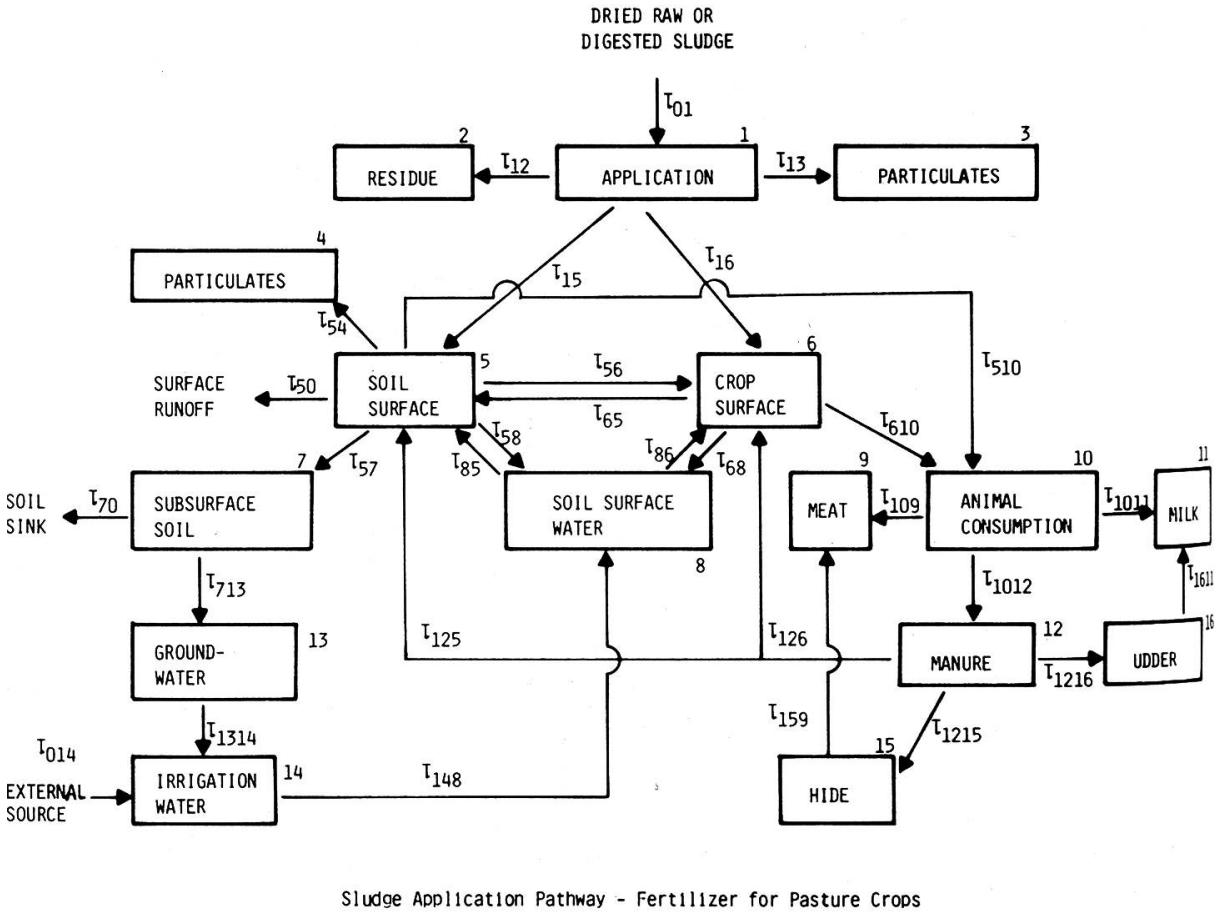
in Kompostbetrieben sorgfältig auf eine asthmatische Veranlagung überprüft werden [11].

5. Diskussion von Strategien der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung am Beispiel verschiedener Länder

Es ist in vielen Ländern viel Zeit und Geist darauf verwendet worden, Wege zur Lösung der seuchenhygienischen Problematik der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung zu finden.

So hat man z. B. in den USA ein ausserordentlich ausgefeiltes aber dadurch auch kompliziertes Computersimulationsmodell entwickelt, das den Transport von Krankheitserregern während der Schlammverwertung beschreiben und vorhersagen soll. Das Modell versucht die Zahl von Salmonellen, Askariden und Polioviren vorauszusagen, mit deren Vorkommen an verschiedenen Stellen in der Umwelt im Rahmen von 13 verschiedenen Verwertungsschritten zu rechnen ist. Diese Verwertungsschritte beschreiben die Anwendung von getrocknetem oder flüssigem rohem oder anaerob gefaultem Schlamm als Dünger für Ackerland, getrocknetem rohem Schlamm als

Abb. 8 Computermodell zur Verteilung von Krankheitserregern bei der Anwendung von getrocknetem, rohem oder ausgefaultem Schlamm auf Weide und Grünfutterflächen (*Dawson et al.*, 1981)



Futtermittelzusatz für landwirtschaftliche Nutztiere sowie von kompostiertem Schlamm als Bodenverbesserungsmittel in Hausgärten. Fünf weitere Expositionsrisikokalkulationen liefern Risikoabschätzungsfeststellungen in Verbindung mit luftgetragenen Partikeln, Rückständen und Boden, pflanzlichen Ernteprodukten, Fleisch und Milch. *Abbildung 8* zeigt beispielhaft die Beschreibung des Verwertungsschrittes «Dünger für Grünland», wobei eine mit Luzerne oder Schwingelgras eingesäte Fläche gemeint ist, die von Rindern nach der Schlammausbringung abgeweidet wird. Zu dieser Darstellung gehört eine 23seitige Beschreibung mit Differentialgleichungen und computergerechter Beschreibung jedes umrandeten Feldes auf dem gezeigten Fliessschema. Und dies für 13 verschiedene Anwendungsschritte. Das ganze Programm hat einen Umfang von knapp 500 Seiten [5]. Da die im Schlamm vorhandenen Krankheitserreger auch durch die Eingabe in den Computer in der rauhen Alltagspraxis trotzdem nicht verschwinden, läuft die Anwendung auch solcher Modelle auf etwas hinaus, was insbesondere im angloamerikanischen Schrifttum in Mode gekommen ist, nämlich das sog. «acceptable risk».

Über diesen Terminus ist viel diskutiert und zahlreiche Definitionen sind ins Spiel gebracht worden. Wer sich im Detail dafür interessiert, sei auf das Buch von *Lowrance* (1976) mit dem Titel «Of Acceptable Risk» hingewiesen [4].

Natürlich ist nichts im Leben ohne Risiko. Trotzdem meine ich, es sollte nicht erlaubt sein, dass man unter diesem Vorwand mögliche Massnahmen aus oft sehr durchsichtigen ökonomischen Gründen unterlässt, durch die ein solches Risiko, zumindest theoretisch, auf Null zurückgedreht werden kann. Technische und menschliche Unzulänglichkeiten sind natürlich mit einzukalkulieren.

Ein anderer Begriff, der neben dem «acceptable risk» noch zusätzlich ins Spiel gebracht und insbesondere in Grossbritannien verbreitet angewendet wird, ist die sogenannte «good agricultural practice», was immer das sein mag. Diese «good agricultural practice» hat immerhin dazu geführt, dass in Grossbritannien beim Auftreten von *Cysticercus bovis* festgestellt wurde, dass in 13 Betrieben roher Klärschlamm auf Weiden ausgebracht wurde. Und wenn dem Landwirt gesagt wird, dass er nach dem Aufbringen bestimmter Schlämme auf die Dauer von sechs Monaten keine Tiere auf seine Weide bringen darf, dann möchte ich Zweifel anmelden, ob dies ein Milchviehbetrieb mit ausschliesslicher Grünlandwirtschaft durchhält [29, 30].

Im Vereinigten Königreich haben die sogenannten «Water Authorities» eine ausserordentlich starke Stellung von der Regierung eingeräumt bekommen, die es ihnen ermöglicht, Abwasserreinigung und Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft zugleich zu betreiben. Es ist daher verständlich, dass sie die Kosten für eine Entseuchung von Klärschlämmen einsparen wollen und ihre starke Stellung dazu benutzen, der Landwirtschaft Verwertungswege für Klärschlamm zu empfehlen, die aus unserer seuchenhygienischen Sicht teilweise nicht akzeptabel sind. Diese Politik kommt alleine schon in der Zusammensetzung der Arbeitsgruppen zum Ausdruck, welche die Empfehlungen für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung ausgearbeitet haben. Nach meiner Kenntnis ist zum Beispiel kein einziger Vertreter der freien medizinischen oder veterinärmedizinischen Hochschulforschung auf den Gebieten der Mikrobiologie, Hygiene oder Epidemiologie Mitglied einer der drei Arbeitsgruppen

gewesen, die lediglich aus Angehörigen der Water Authorities und Vertretern von Umwelt-, Landwirtschafts- und Gesundheitsministerium zusammengesetzt sind [29].

Wie grosszügig man bei einzelnen Water Authorities mit hygienisch bedenklichen Schlämmen umgeht, mögen am Beispiel der Anglian Water Authority die *Tabellen 19* und *20* belegen. Diese Empfehlungen sind ausserdem derart kompliziert, dass ernste Zweifel an ihrer Durchführbarkeit erlaubt sind. Seit 1981 gibt es in Grossbritannien auch zentrale Empfehlungen, die sich aber von den bisherigen der Water Authorities nur unwesentlich unterscheiden. Sie sind in *Tabelle 21* zusammengestellt. Hervorzuheben ist in jedem Fall der sehr saloppe Umgang mit Rohschlamm. Ebenso möchte ich auf die Tatsache verweisen, dass in keiner der englischen Tabellen von einer auch

Tabelle 19: Erlaubter Gebrauch verschiedener Schlammarten auf Weideland im Bereich der Anglian Water Authority (1979)

Schlammart	Milchviehweiden Milch zum Rohverzehr	Andere Weiden	Grünfutterflächen
1. Roh, flüssig, frisch	-	-	-
2. Roh, flüssig, 2 Wo - 6 Mon Lagerung	E	E	D
3. Roh, Lagunen 1-2 Jahre	D	D	+
4. Roh, Lagunen über 2 Jahre	C	B	+
5. Roh, entwässert ohne Kalk, Filterkuchen	E	E	D
6. Wie 5, 6 Mon-1 Jahr gelagert	D	D	+
7. Wie 5, über 1 Jahr gelagert	C	B	+
8. Roh, getrocknet 1 Mon + 1 Jahr gelagert	D	D	+
9. Wie 8, über 1 Jahr gelagert	C	B	+
10. Roh, flüssig kalkstabilisiert	C	B	+
11. Roh, entwässert mit Kalk, Filterkuchen	C	B	+
12. Kalt anaerob gefault, über 6 Monate, flüssig	D	D	+
13. Mesophil anaerob gefault, flüssig oder Filterkuchen	C	B	+
14. Biol. Oberschuss-Schlamm u. aerob stabil. Schlamm	C	B	+
15. Andere biologische Schlämme	D	D	+

A Aussaat erst in der nächsten Vegetationszeit nach der Schlammaufbringung; wo möglich sollte dies ein volles Jahr bedeuten zwischen Beschlammung und Aussaat

B Kein Weidegang während 3 Wochen nach Schlammaufbringung

C Keine Obsternte, Grassodengewinnung, Beweidung oder sonstige Ernte während 5 Wochen nach Schlammaufbringung

D wie C, aber 3 Monate Karenzzeit

E wie C, aber 6 Monate Karenzzeit

- nicht erlaubt

+ annehmbar ohne besondere Auflagen

Tabelle 20: Erlaubter Gebrauch verschiedener Schlammarten auf Ackerland im Bereich der Anglian Water Authority (1979)

Schlammart	Gemüse zum Rohverzehr z.B. Salat	Anderes Ackerland	Obstbaum-anlagen / Weichfrüchte	Forst	Grassoden-herstellung
1. Roh, flüssig, frisch	-	+	-	-	-
2. Roh, flüssig, 2 Wo - 6 Mon Lagerung	-	+	D	+	D
3. Roh, Lagunen 1-2 Jahre	-	+	+	+	+
4. Roh, Lagunen über 2 Jahre	A	+	+	+	+
5. Roh, entwässert ohne Kalk, Filterkuchen	-	+	D	+	D
6. Wie 5, 6 Mon-1 Jahr gelagert	-	+	+	+	+
7. Wie 5, über 1 Jahr gelagert	A	+	+	+	+
8. Roh, getrocknet 1 Mon+1 Jahr gelagert	-	+	D	+	+
9. Wie 8, über 1 Jahr gelagert	A	+	+	+	+
10. Roh, flüssig kalkstabilisiert	A	+	+	+	+
11. Roh, entwässert mit Kalk, Filterkuchen	A	+	+	+	+
12. Kalt anaerob gefault, über 6 Monate, flüssig	-	+	D	+	D
13. Mesophil anaerob gefault, flüssig oder Filterkuchen	A	+	+	+	+
14. Biol. Oberschuss-Schlamm u.aerob stabil. Schlamm	A	+	+	+	+
15. Andere biologische Schlämme	-	+	C	+	C

A Aussaat erst in der nächsten Vegetationszeit nach der Schlammaufbringung; wo möglich sollte dies ein volles Jahr bedeuten zwischen Beschlammung und Aussaat

B Kein Weidegang während 3 Wochen nach Schlammaufbringung

C Keine Obsternte, Grassodengewinnung, Beweidung oder sonstige Ernte während 5 Wochen nach Schlammaufbringung

D wie C, aber 3 Monate Karenzzeit

E wie C, aber 6 Monate Karenzzeit

- nicht erlaubt

+ annehmbar ohne besondere Auflagen

nur irgendwie gearteten Entseuchung die Rede oder ein Hinweis zu finden ist. Die Väter dieser Empfehlungen gehen offenbar auf Grund der starken Stellung der Water Authorities davon aus, dass die Landwirtschaft die Schlämme in der Form zu akzeptieren hat, wie sie in den Kläranlagen anfallen. Sie nehmen, aus welchen Gründen auch immer, nicht zur Kenntnis, dass es für bestimmte Anwendungsbereiche unverzichtbar ist, einen entseuchten Schlamm zu verwenden und die dafür notwendigen technischen Verfahren auf dem europäischen Markt vorhanden sind [29, 30].

Diese nach meiner persönlichen Auffassung in hygienischer Sicht nicht ganz unbedenkliche englische Betrachtungsweise schwappt nun auch auf Kontinentaleuropa herüber und findet sich wieder in einzelnen Punkten eines Richtlinienentwurfes der Kommission der Europäischen Gemeinschaften.

Tabelle 21: In Grossbritannien empfohlene Schlammverwertung aus seuchenhygienischer Sicht (*Department of the Environment,* DOE, 1981)

Schlammart	Prod.f.gekocht.Verz. Prod.f.Konservierung Forst Landgewinnung	Weide und Grünfutter	Obstanlagen Grassoden-produktion	Park-blumen-beete	Menschl. Rohver-zehr	Saatkart. Baumschulen f. Export	Gärten
Mesophil anaerob gefault Hitze behandelt	+	+[a,b]	+	+	+[e]	+	(+)
Lagune 2 Jahre Kalt anaerob gefault Filterkuchen - 1 Jahr alt	+	+[a, b]	+	+	+[e]	-	-
Aerob stabilisiert Kalk stabil. oder kondit. Sekundär, biologisch Oxidationsgraben o.ä. (Langzeitbelüftung)	+	+[c]	+[d]	+	+[e]	-	-
Flüssig, 2 Wochen gespeichert Filterkuchen ohne Kalk Teilbiologische Reinigung von kurzzeitbel. Abwasser	+	+[c]	+[d]	-	-	-	-
Roh	+	+[c]	-	-	-	-	-

a keine Beweidung für 3 Wochen bzw. 5 Wochen bei Milchproduktion ohne Pasteurisierung

b keine Beweidung bis 6 Monate wenn Abbau von weniger als 40 % org. Subst. durch Faulung oder wenn entwässerter Schlamm bzw. Lagunenschlamm nicht das erforderliche Alter hat

c keine Beweidung durch Rinder oder Schweine bis 6 Monate; andere Tiere wie a

d keine Gewinnung von Früchten oder Grassoden für 3 Monate

e Produkte zum menschlichen Rohverzehr dürfen für 12 Monate nicht angebaut werden; andere Produkte sind zulässig

+ zulässig; (+) vorübergehend zugelassen

- verboten

Die Weltgesundheitsorganisation hat einen aus virologischer Sicht ausgearbeiteten Vorschlag für Behandlungsmassnahmen von Klärschlämmen für verschiedene Anwendungszwecke vorgelegt, den *Tabelle 22* zeigt. Ich bin jedoch der Meinung, dass es für die Anwendungspraxis undurchführbar ist, für jede in Frage kommende Gruppe von Krankheitserregern, also für Bakterien, Viren, Parasiten und Pilze gesonderte Behandlungsvorschläge für die Verwertung von Schlämmen zu machen. Man muss sich meines Erachtens an der für die öffentliche Gesundheit bedeutendsten Erregergruppe orientieren bzw. für die Entseuchungsverfahren die Parameter wählen, die geeignet sind, die resistentesten relevanten Erreger zu inaktivieren, so dass die minder resistenten bzw. bedeutenden dabei mit erfasst werden.

Die Schweiz hat als wohl erstes Land schon 1954 über das erste Milchlieferungsregulativ vom seuchenhygienischen Standpunkt aus in die Klärschlammverwertung eingegriffen und das Ausbringen von ausgefaultem Schlamm auf Grünland auf die Winterzeit beschränkt. 1967 erscheint dann der Zusatz, dass hygienisierter Schlamm auch im Sommer auf Futterflächen ausgebracht werden dürfe. Seit 1. Mai 1981 ist die Klärschlammverordnung in Kraft, die nach meinen Informationen unter wesentlicher Mitwirkung tierärztlicher Sachverständiger aufgestellt wurde [6].

Tabelle 22: Vorschlag zur Klärschlammbehandlung für unterschiedliche Verwendungszwecke vom virologischen Standpunkt (*WHO*, 1981)

Behandlungs-verfahren	Verbren-nung	Deponie	Boden-injektion	Forst-wirtschaft	Ausbringung auf Ackerland Ernteprodukte nicht zum menschl. Verzehr	zum menschl. Verzehr gekocht	zum menschl. Verzehr roh	Intensiv-fischzucht	Grün-land	Parks und Spiel-plätze
Rohschlamm primär und/ oder sekundär	x		x	(x)						
Anaerobe Faulung		x		x	x	x			x	
Trocken-beete		x		x	x	x			x	
Kalkstabi-lisierung		x		x	x	x	(x)		x	
Kompostierung		x			x	x	x		x	x
Pasteurisie-rung oder andere Hitze-behandlung							x			x
Bestrahlung							x			x

x = für den Anwendungszweck wirkungsvolle Behandlung
(x) = vielleicht wirksam, muss noch näher untersucht werden.

Nach dieser Verordnung gilt Schlamm als hygienisiert, wenn er bei der Abgabe nicht mehr als 100 Enterobacteriaceen je Gramm und keine ansteckungsfähigen Wurmeier enthält. Auf Futter- und Gemüseflächen sowie in Güllegruben darf nur hygienisierter Schlamm gebracht werden. Auf Ackerfutterflächen ist die Ausbringung von nicht hygienisiertem Schlamm nur bei Einarbeitung in den Boden vor der Saat erlaubt. Das Ausbringen jeglichen Klärschlammes im Wald oder am Waldrand ist verboten. Für die Erstellung von Hygienisierungsanlagen ist eine Anpassungsfrist bis längstens zum 31. Dezember 1990 vorgesehen, die aber von den kantonalen Behörden bei Dringlichkeit wohl auch verkürzt werden kann [12].

In der Bundesrepublik Deutschland existiert seit 1972 das sogenannte Merkblatt M 7 über «Die Behandlung und Beseitigung von Klärschlämmen unter besonderer Berücksichtigung ihrer seuchenhygienisch unbedenklichen Verwertung im Landbau», das im Auftrag von Bund und Ländern von der «Länderarbeitsgemeinschaft Wasser» sowie der «Zentralstelle für Abfallbeseitigung» des Bundesgesundheitsamtes unter Hinzuziehung unabhängiger tierärztlicher und ärztlicher Sachverständiger aufgestellt wurde. Dieses Merkblatt ist auch von anderen Ländern als Vorlage für ihre Bestimmungen benutzt worden. Als die Notwendigkeit einer weitergehenden Regelung wegen der Schwermetallproblematik zum Erlass der am 1. April 1983 in Kraft tretenden Klärschlammverordnung vom 25. Juni 1982 führte, wurden dabei auch einige notwendig gewordene Verbesserungen bezüglich der seuchenhygienischen Aspekte mit eingebracht:

1. Das Aufbringen von Rohschlamm auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden ist verboten.

2. Das Aufbringen von Klärschlamm auf Gemüse- und Obstanbauflächen sowie forstwirtschaftlich genutzte Böden ist verboten. Für die Forstwirtschaft können behördlicherseits Ausnahmen zugelassen werden, wenn eine Gefährdung von Mensch, Tier oder Pflanze nicht zu befürchten ist. Es kann dabei die Auflage erteilt werden, den Schlamm in den forstwirtschaftlich genutzten Boden einzuarbeiten.

3. Seuchenhygienisch bedenklicher Klärschlamm darf auf Grünland und Feldfutteranbauflächen derzeit vom 1. Januar bis zum Abschluss der Nutzung oder Ernte nicht ausgebracht werden. Ab 1. Januar 1987 ist die Ausbringung von seuchenhygienisch bedenklichem Schlamm auf Grünland und Feldfutteranbauflächen völlig verboten.

4. Seuchenhygienisch unbedenklich ist ein Klärschlamm, der durch chemische oder thermische Konditionierung, thermische Trocknung, Erhitzung, Kompostierung, chemische Stabilisierung oder ein anderes Verfahren so behandelt worden ist, dass Krankheitserreger abgetötet werden, oder der auf Grund seiner Herkunft nachweislich keiner solchen Behandlung bedarf [7].

In *Tabelle 23* sind die geänderten Bestimmungen in das Schema des bisherigen Merkblattes M 7 eingepasst worden [39].

Der deutsche Bundesrat hat ferner folgende Entschliessung gefasst:

«1. Der Bundesrat weist darauf hin, dass dem Aspekt

- der Seuchenhygiene, insbesondere bei der Aufbringung von Klärschlamm auf Grünland und Feldfutteranbauflächen und
- der polyzyklischen Kohlenwasserstoffe, insbesondere der polychlorierten Biphenyle

künftig besondere Beachtung zu schenken ist. Der Bundesrat hält es daher für erforderlich, spätestens im Rahmen der ohnehin beabsichtigten Überprüfung der Verordnung Aussagen darüber zu machen, ob Sonderregelungen vorzusehen sind, die das seuchenhygienische Risiko und die Belastung durch toxische organische Schadstoffe weiter vermindern und den gesundheitlichen Schutz von Mensch und Tier sicherstellen.

2. Der Bundesrat weist zu § 2 Abs. 2 der Verordnung im einzelnen darauf hin, dass die Definition des seuchenhygienisch unbedenklichen – bzw. des seuchenhygienisch bedenklichen – Klärschlamms zu ungenau ist, um das angestrebte Schutzziel zu erreichen. Hierfür wäre es erforderlich, entweder bestimmte Verfahren zu nennen, die zu einer ausreichenden Hygienisierung des Klärschlamms führen oder Keimzahlen als Massstab festzulegen. Die bisherige Definition enthält weder eine Aufzählung sämtlicher gebräuchlicher Hygienisierungsverfahren (z.B. fehlt die Bestrahlung), noch kann davon ausgegangen werden, dass alle aufgeführten Verfahren auch zu einer ausreichenden Hygienisierung führen (dies gilt insbesondere für die chemische Stabilisierung). Diese Unklarheit wird auch nicht dadurch beseitigt, dass der Verordnungstext auf eine Behandlung abzielt, durch die ‹Krankheitserreger abgetötet werden›. Eine vollständige Abtötung aller Krankheitserreger ist nicht möglich. Daneben bleibt offen, ob Erreger übertragbarer Krankheiten für Menschen oder Tiere gemeint sind.

Tabelle 23: Einordnung der seuchenhygienischen Vorschriften der Klärschlammverordnung der Bundesrepublik ab 1. April 1983 in das Schema des bisher gültigen Merkblattes M 7 (*Möller,* 1983)

		I	II		III		IV	V	VI	VII
		Ausweichflächen	Ackerland		Grünland und Feldfutteranbauflächen		Rebland	Obstanbauflächen	Forstwirtschaftlich genutzte Flächen	Gartenland und Gemüseanbauflächen
		a)	VR[b)]	V	VR	V	VR			
1.1 Rohschlamm [4)]	sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2 Schlamm aus Kleinkläranlagen und Erdbecken [5)]	sb	+	+	- c)	-	-	-	-	+[3)]	-
2.1 flüssig (anaerob oder aerob stabilis. Schlamm)	sb									
2.2 entwässert (anaerob oder aerob stabilis. Schlamm)	sb	+	+	- c)	-[1)] +[2)]	-	+	-	+[3)]	-
2.3 natürlich getrocknet (anaerob oder aerob stabilis. Schlamm)	sb									
3.1.1 chemisch konditionierter Schlamm (Konditionierung jedoch ohne ausreichende entseuchende Wirkung)	sb									
3.1.2 chemisch konditionierter Schlamm (Konditionierung mit ausreichender entseuchender Wirkung)										
3.2 thermisch konditionierter Schlamm										
4. thermisch getrockneter Schlamm		+	+		+		+	-	+[3)]	-
5. erhitzter Naßschlamm (roh, stabilisiert)										
6. kompostierter Schlamm										
7. chemisch stabilisierter Schlamm										

sb = seuchenhygienisch bedenklich
VR = Vegetationsruhe (s. auch Fußnote b)
V = Vegetationszeit
\+ = Anwendung zulässig
\- = Anwendung unzulässig

a): wie bisher im Merkblatt M 7
b): wie bisher im Merkblatt M 7
c): wie bisher im Merkblatt M 7

1) nach dem 31.12.1986;

2) nur bis zum 31.12.1986 (als Obergangsregelung), bis zu diesem Termin jedoch nur in der Zeit vom Abschluß der Nutzung oder der Ernte bis zum Jahresende;

3) nur mit besonderer Genehmigung;

4) das Aufbringen von Klärschlamm fällt nicht unter die "Klärschlamm-Verordnung", sondern unter die Regelungen zur Abfallbeseitigung;

5) zu den Schlämmen dieser Gruppe gehören solche, die in Mehrkammer-Gruben oder in Anlagen mit ähnlicher Wirkung Prozessen mit stabilisierendem Effekt unterworfen waren.

Der Bundesrat hält es daher für erforderlich, die genannte Vorschrift spätestens im Rahmen der ohnehin beabsichtigten Überprüfung der Verordnung weiter zu präzisieren.»

Diese zusätzliche Entschliessung des Bundesrates bedeutet nun für uns Hygieniker die Herausforderung, in den ersten fünf Jahren der Laufzeit dieser Verordnung so viele Feld- und Laboratoriumsuntersuchungen durchzuführen, dass die Fragen des Bundesrates beantwortet, Behauptungen (wie z.B. «eine vollständige Abtötung aller Krankheitserreger ist nicht möglich») eventuell korrigiert sowie Zweifel («daneben bleibt offen, ob Erreger übertragbarer Krankheiten für Menschen oder Tiere gemeint sind») ausgeräumt werden können. Hierzu hoffen wir insbesondere auf die grossen Erfahrungen unserer Schweizer Kollegen zurückgreifen zu können.

Abschliessend möchte ich noch ein Prüfschema für die Ermittlung geeigneter Verfahrensschritte zur Klärschlammverwertung vorführen *(Abbildung 9)* sowie dessen

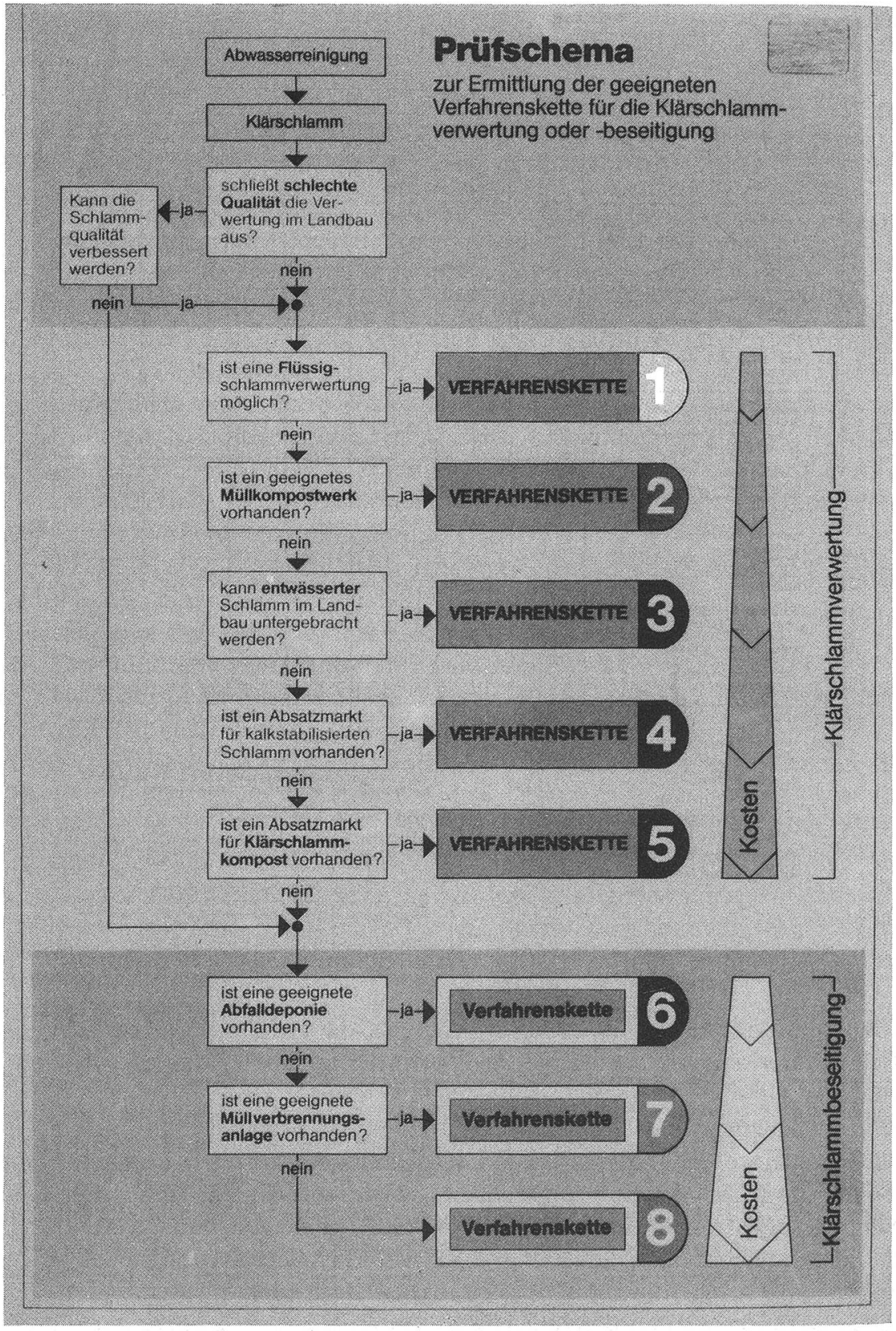


Abb. 9 Prüfschema zur Ermittlung der geeigneten Verfahrenskette für die Klärschlammverwertung oder -beseitigung (*MELUF Baden-Württemberg* 1980)

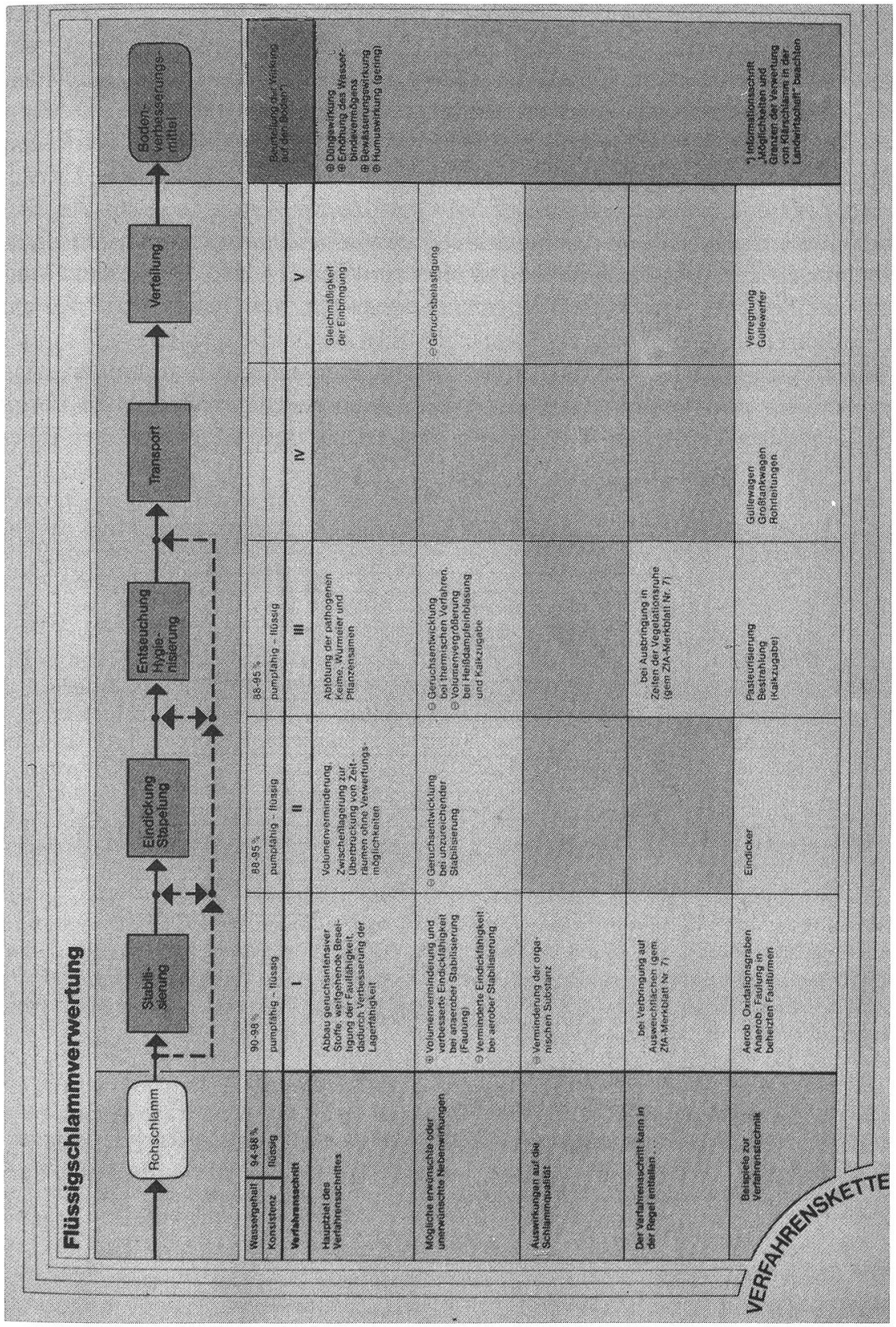


Abb. 10 Beispiel von Entscheidungs- und Verfahrensschritten bei der Auswahl der Flüssigschlammverwertung auf der Basis des Prüfschemas in Abb. 9 (*MELUF Baden-Württemberg* 1981)

Anwendung auf die Flüssigschlammverwertung *(Abbildung 10)* zeigen. Dieses Schema wurde vom Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten des Landes Baden-Württemberg für die nachgeordneten Behörden und zur Information der Klärschlammerzeuger und -anwender erstellt [40].

Da viele der in der Kläranlagenpraxis üblichen Entseuchungsverfahren für Schlämme auf einer Temperatur/Zeit-Kombination beruhen, ist eine Darstellung hilfreich, die im Auftrag der Weltbank auf Grund einer Auswertung der Weltliteratur entwickelt wurde *(Abbildung 11)*. Sie erlaubt es, wie bereits für Enteroviren allein vorgeführt, für die wichtigsten Krankheitserreger im Klärschlamm die idealen Kombinationen von Temperatur und Zeit herauszufinden oder bestehende bzw. neu entwikkelte Verfahren in ihrer seuchenhygienischen Effizienz zu beurteilen [9].

Wir müssen gerüstet sein, um in den kommenden Jahren zu verhindern, dass die in der Schweiz und der Bundesrepublik erreichten seuchenhygienischen Positionen bei der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung durch Bestrebungen innerhalb

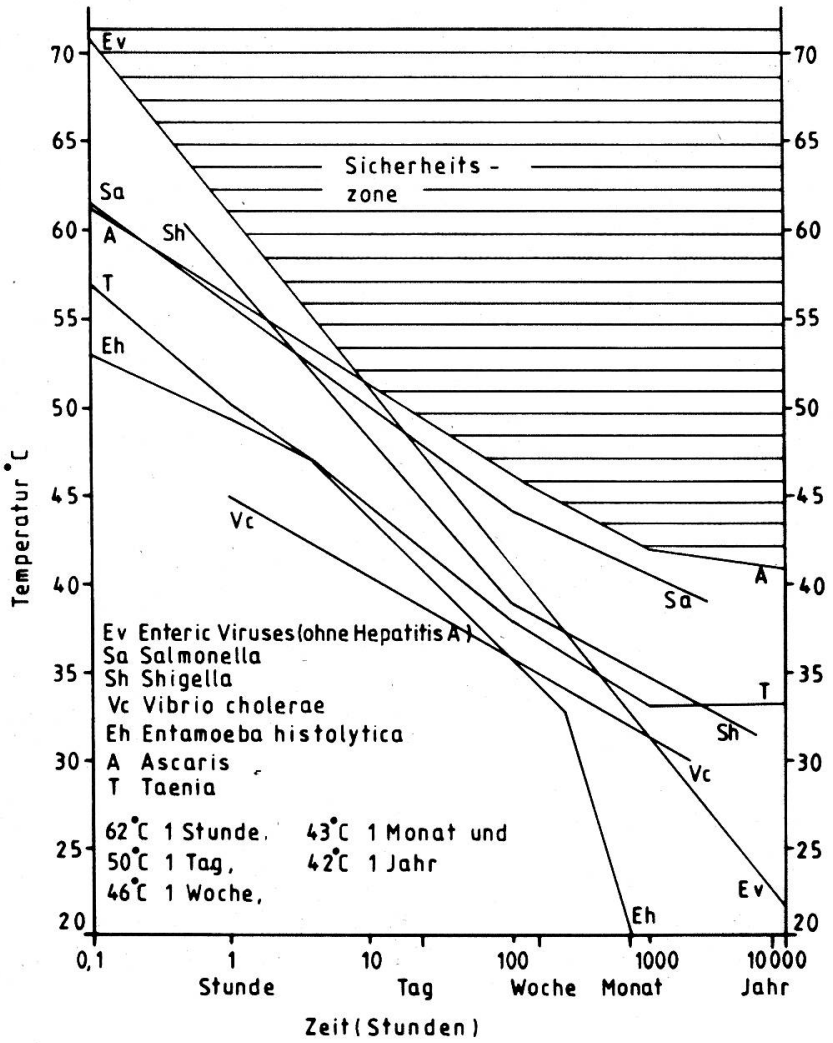


Abb. 11 Einfluss von Temperatureinwirkung und Zeitdauer auf einige enteral ausgeschiedene Krankheitserreger (*Feacham et al.,* 1978)

der EWG aus den verschiedensten Beweggründen zum Nachteil der Gesundheit unserer Bevölkerung und unserer Tierbestände aufgeweicht oder gar abgebaut werden. Dies soll nicht bedeuten, dass man wider besseres Wissen an solchen Positionen festhalten soll. Es muss meines Erachtens aber verhindert werden, dass durch zu sehr naturwissenschaftlich-mathematisch-statistisch geprägtes Denken ohne medizinisch geschulten epidemiologischen Sachverstand von altbewährten medizinisch-hygienischen Grundsätzen abgewichen wird und wichtige hygienische Positionen unter dem Druck ökonomisch-kommerzieller Argumente geopfert werden. Für mich gilt auch hier der Grundsatz: in dubio pro reo, wobei reo in diesem Fall die menschliche und tierische Gesundheit ist, oder man könnte auch mit Descartes sagen: dubium sapientiae initium (Zweifel ist der Weisheit Anfang).

Zusammenfassung

Krankheitserreger aller Art gelangen in das Abwasser und damit in die Kläranlagen. Viele von ihnen überstehen dort die Abwasserreinigungsprozesse und werden entweder im Klärschlamm angereichert oder an die Vorfluter abgegeben. Durch die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung entsteht eine seuchenhygienische Gefährdung der Kette Boden–Pflanze–Tier–Mensch. Die Strategien der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung sind in den einzelnen Ländern verschieden. Sie sind weitgehend davon abhängig wie hoch der epidemiologische Stellenwert des Klärschlammes jeweils angesetzt wird. Am Beispiel der USA, Grossbritanniens, der Schweiz und der Bundesrepublik Deutschland wird versucht, diese Problematik etwas eingehender herauszuarbeiten. Die Klärschlammverordnungen der Schweiz und der Bundesrepublik können als beispielhaft gelten. Es müssen deshalb Tendenzen innerhalb der Europäischen Gemeinschaft zurückgewiesen werden, die darauf hinauslaufen, im Rahmen einer EG-einheitlichen Richtlinie für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung verharmlosende Argumentationen einzuführen, die die bisherigen Erfolge einer seuchenhygienisch weitgehend optimalen Klärschlammverwertung in der Schweiz und der Bundesrepublik wieder zunichte machen könnten.

Résumé

Des agents pathogènes de toutes catégories se retrouvent dans les eaux usées et par conséquent dans les stations d'épuration. Beaucoup survivent aux processus d'épuration des eaux et peuvent se retrouver concentrés dans les boues. L'utilisation agricole des boues d'épuration représente un risque sanitaire par la relation sol–plante–animal–homme. Les stratégies de mise en valeur des boues d'épuration diffèrent selon les pays. Elles dépendent en grande partie de l'importance épidémiologique accordée aux boues d'épuration. Cette question est développée en prenant comme exemples les USA, la Grande-Bretagne, la Suisse et la République fédérale d'Allemagne. Les ordonnances de la Suisse et de la République fédérale d'Allemagne concernant les boues d'épuration peuvent être considérées comme des modèles du genre. Il faut donc refuser certaines tendances au sein du marché-commun qui demandent une réglementation unifiée pour la mise en valeur agricole des boues d'épuration qui, par une argumentation insuffisante, pourrait anuler les efforts de mise en valeur presque optimale sur le plan hygiénique des boues d'épuration en Suisse et en République fédérale d'Allemagne.

Literatur

[1] *Crewe W. and Owen R. R.:* The occurrence of sewage-born pathogens in Britain. Manuscript. Dept. of Parasitology, Liverpool School of Tropical Medicine. – [2] *Breer C.:* Freilandbiologie und Infektzyklen der Salmonellen. Schweiz. Arch. Tierheilk. *123,* 89–96 (1981). – [3] *Sagik B. P., Duboise S. M. and Sorber C. A.:* Health risks associated with microbial agents in municipal sludge. In: *Bitton, Damron, Edds-Davidson,* Sludge – Health risks of land application, Ann Arbor Science

Publishers, Inc., Ann Arbor, Michigan, 1980. – [4] *Lowrance W. W.:* Of Acceptable Risk. William Kaufmann, Inc., Los Altos, CA, 1976, USA. – [5] *Dawson J. F., Hain K. E., McClure B., Sheridan R. E. and Yeager I. G.:* Sewage Sludge Pathogen Transport Model Project. EPA 600/1-81-049a, June 1981. PB 82-10-900-0, National Technical Information Service NTIS, Springfield, Va 22161, USA. – [6] *Verordnung:* Klärschlammverordnung (Schweiz) vom 8. April 1981, SR 814.225.23. – [7] *Verordnung:* Klärschlammverordnung – AbfKlärV vom 25. Juni 1982, BGB1 I 734–736. – [8] *Feachem R. G., Bradley D. J., Garelick H. and Mara D. D.:* Appropriate Technology for Water Supply and Sanitation, Vol. 3., The World Bank, 188 H Street, N.W., Washington, D.C. 20433, 1981. – [9] *Feachem R. G., Bradley D. J., Garelick H. and Mara D. D.:* Health aspects of excreta and wastewater management, Part 1. The World Bank, 1818 H Street, N.W., Washington, D.C. 20433, 1978. – [10] *WHO:* Health Aspects of treated sewage re-use. EURO Reports and Studies No. 42, WHO-Reg. Office, Copenhagen 1981. – [11] *WHO:* The risk to health of mikrobes in sewage sludge applied to land. EURO Reports and Studies No. 54, WHO-Reg. Office, Copenhagen 1981. – [12] *Bonjour R. A., Candinas T. und Furrer O. J.:* Schweizerische Klärschlammverordnung – unter Berücksichtigung möglicher Konsequenzen für die Müllkompostanwendung; Vortrag bei einer Veranstaltung der Fachgruppe «Bodenuntersuchung», Arbeitskreis «Siedlungsabfälle» des VdLUFA, Hohenheim 23. März 1983. – [13] *Pawlowski Z. and Schultz M. G.:* Taeniasis and Cysticercosis (Taenia saginata). Advances in Parasitology *10,* 269–343 (1972). – [14] *SCS Engineers:* Health effects associated with wastewater treatment and disposal systems – state-of-the-art review. US-EPA, Office of Research and Development, Research Triangle Park, N.C. 27711/USA, 1979. EPA-600/1-79-016a. – [15] *Danielsson M.-L.:* Salmonella in sewage and sludge. Acta Vet. Scand., Supplement 65, AVSPAC 65, 1–126 (1977). – [16] *Hannan J.:* Parasitological problems associated with land application of sewage sludge. In: *L'Hermite-Ott,* Characterization, Treatment and Use of Sewage Sludge, S. 330–349; D. Reidel, Publish. Comp., Dordrecht/Holland, 1981. – [17] *Lehmann D. L. and Wallis P. M.:* Literature Review – Occurrence and Survival of Pathogenic Bacteria in Sludge and on Soil. In: *Wallis-Lehmann,* Biological hazards associated with the terrestrial disposal of sewage sludge in cold climates. Kananaskis Centre for Environmental Research, Biosciences Rm 42, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada TOL 1 XO, October 31, 1982. – [18] *Wallis P. M. and Lehmann D. L.:* Biological hazards associated with the terrestrial disposal of sewage sludge in cold climates. Kananaskis Centre for Environmental Research, Biosciences Rm 42, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada TOL 1 XO, October 31, 1982. – [19] *Carrington E. G.:* The fate of pathogenic microorganisms during wastewater treatment and disposal. Water Research Centre, Technical Report TR 128, Stevenage/England, 1980. – [20] *Carrington E. G.:* The contribution of sewage sludges to the dissemination of pathogenic microorganisms in the environment. Water Research Centre, Technical Report TR 71, Stevenage/England, 1978. – [21] *Pietzsch O.:* Wirtschaftliche Gesichtspunkte der Salmonellosen. Bundesgesundheitsblatt *26* (1), 9–11 (1983). – [22] *Merkblatt:* Die Behandlung und Beseitigung von Klärschlämmen unter besonderer Berücksichtigung ihrer seuchenhygienisch unbedenklichen Verwertung im Landbau, Merkblatt M 7. Bundesgesundheitsblatt *15,* (15/16), 234–237 (1972). – [23] *Larkin E. P., Tierney J. T. and Sullivan R.:* Persistence of Polio Virus I in soil and on vegetables irrigated with sewage wastes – potential problems. In: *Baldwin, Davidson, Gerber,* Virus Aspects of Applying Municipal Wastes to Land. Center for Environmental Programs, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida/USA, Gainesville, Fla 32611, 1976. – [24] *Metcalf T. G.:* Prospects for Virus infection in man and animals from domestic waste land disposal practices. In: *Baldwin, Davidson, Gerber,* Virus Aspects of Applying Municipal Wastes to Land. Center for Environmental Programs, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida/USA, Gainesville, FLA 32611, 1976. – [25] *Wellings F. M.:* Virus survival in wastewater treated soils. In: *Goddard, Butler,* Viruses and Wastewater Treatment, S. 117–131, Pergamon Press, Oxford 1981. – [26] *Reasoner D. J.:* Microbiology: detection of bacterial pathogens and their occurrence. J. Water Poll. Control, Fed. *54* (6), 946–980 (1982). – [27] *Kowal N. E. and Pahren H. R.:* Health effects associated with wastewater treatment and disposal. J. Water Poll. Control Fed. *54* (6), 677–687 (1982). – [28] *Feachem R., Garelick H. and Slade J.:* Enteroviruses in the environment. Tropical Disease Bulletin *78* (3), 185–230 (1981). – [29] *Department of the environment (DOE):* Report of the Sub-Committee on the Disposal of Sewage Sludge to

Land, Standing Technical Committee reports No. 20; June 1981, National Water Council, 1 Queens Anne's Gate, London SW 1 H 9 BT. – [30] *Anglian Water Authority:* Manual of good practice for utilisation of sewage sludge as a fertiliser. March 1979. Huntingdon, Cambs., PE 18 6 NZ, United Kingdom. – [31] *Knoll K. H.:* Hygienische Mikrobiologie. In: *Kumpf, Maas, Straub,* Hdb. d. Müll- und Abfallbeseitigung, Kz 5112, Verlag Erich Schmidt, Berlin 1964. – [32] *Lund E.:* Public health aspects of wastewater treatment. In: Radiation for a clean environment, pp. 45–60, Atomic Energy Agency, Vienna 1975. – [33] *Hess E. und Lott G.:* Klärschlamm aus der Sicht des Veterinärhygienikers. Verband d. Schweiz. Abwasserfachleute, Verb. Bericht Nr. 105, S. 1–8, S. 16–17, 1970/71. – [34] *Bertoldi de M.:* Pathogenic fungi associated with land application of sludge. Vortr. WHO-working group on sewage sludge to land, 6–9 January, Stevenage/England, s. auch [11]. – [35] *Scholl W.:* Zum Stand und zur Bekämpfung von Salmonellainfektionen bei Schweinen in der DDR. Mh. Vet. Med. *37,* 521–526 (1982). – [36] *Hess E., Lott G. und Breer C.:* Klärschlamm und Freilandbiologie von Salmonellen, Zbl. Bakt. Hyg. I. Orig. B *161,* 54–60 (1975). – [37] *Köser A.:* Die tierhygienische Seite der landwirtschaftlichen Abwasser- und Abwasserschlammverwertung. Schriftenr. d. Kurat. f. Kulturbauwesen, H. 16, S. 25–42, Verl. Wasser und Boden, Hamburg 1967. – [38] *Wilkens S.:* Untersuchungen über die Ansteckungsmöglichkeiten von Rindern mit Taenia saginata und Sarcocystis spp. auf Abwasserverregnungsflächen und über das Absetzverhalten von Helmintheneiern in vitro. Diss. Tierärztliche Hochschule Hannover, 1981. – [39] *Möller V.:* Kommentar zur Klärschlammverordnung. 16. Essener Tagung «Klärschlamm – Rohstoff oder Schadstoff?», 9.3–11.3.1983, Vortrag Nr. 12, Haus der Technik, Essen. – [40] *MELUF:* Ministerium f. Ern., Landw., Umwelt und Forsten Bad.-Württ., Grundsätze der Behandlung, Verwertung und Beseitigung von Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen, Marienstrasse 41, D-7000 Stuttgart 1, Stand November 1980. – [41] *Sattar S. A.:* Viruses and land disposal of sewage sludge – a literature review. loc. cit. Nr. 17, pp. 140–161, 1982. – [42] *Reilly W. J., Collier P. W. and Forbes G. I.:* Cysticercus bovis surveillance – an interim report. Commun. Disease Sect. (CDS) *15,* No. 22, Vii-Viii, Scotland, 1981.