

WORLD HEALTH ORGANIZATION  
REGIONAL OFFICE FOR EUROPE

WELTGESUNDHEITSORGANISATION  
REGIONALBÜRO FÜR EUROPA



ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ  
BUREAU RÉGIONAL DE L'EUROPE

ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ  
ЕВРОПЕЙСКОЕ РЕГИОНАЛЬНОЕ БЮРО

DIE GESUNDHEITSGEFÄHRDUNG DURCH MIKROORGANISMEN  
BEI LANDWIRTSCHAFTLICHER VERWERTUNG VON KLÄRSCHLAMM

Bericht über eine WGO-Tagung

Stevenage  
6. - 9. Januar 1981

ICP/RCE 401(5)  
7690L  
ORIGINAL: ENGLISCH

1983

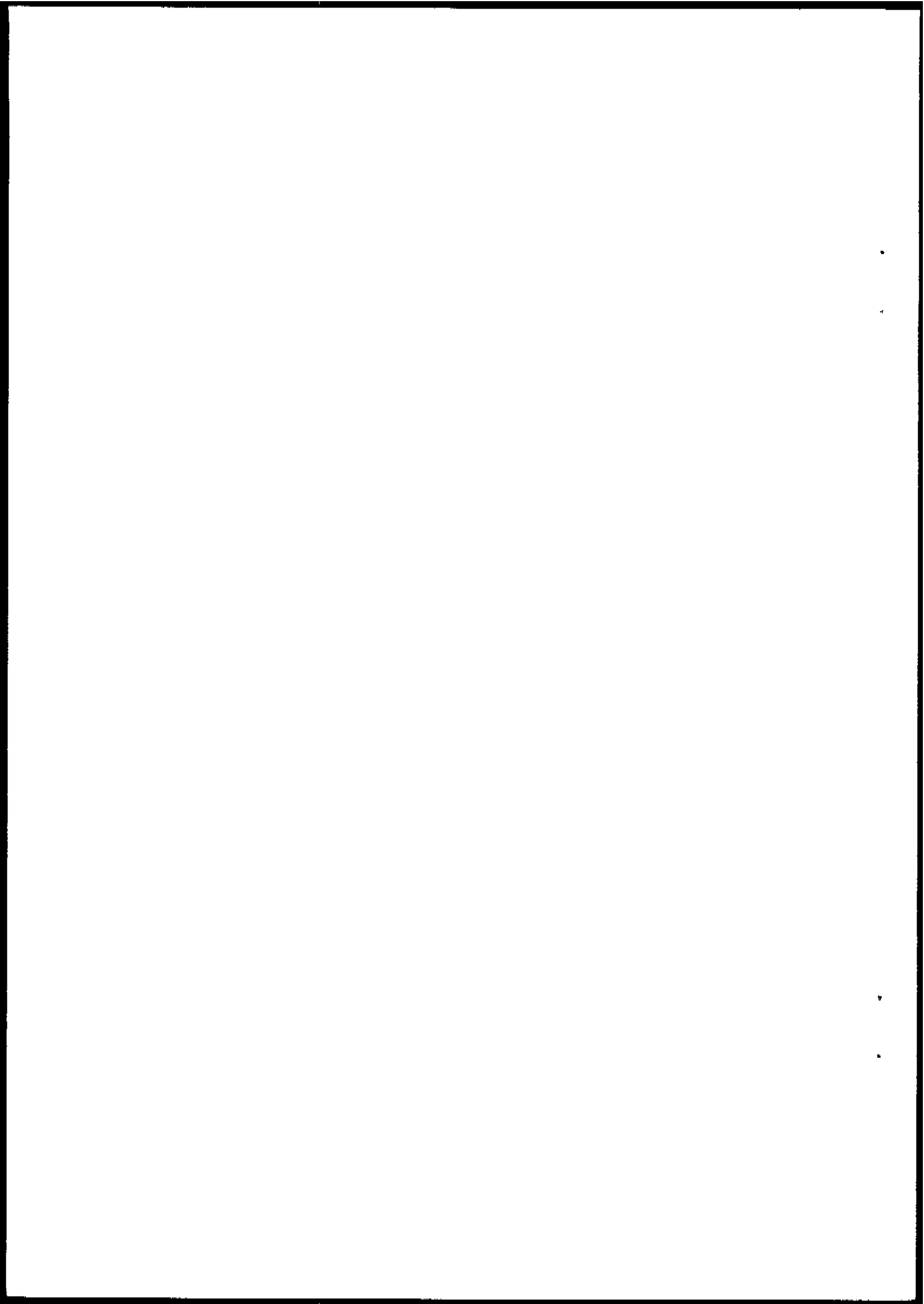
Übersetzung einer englischsprachigen Veröffentlichung des Regionalbüros für Europa, die in der Reihe EURO-Berichte und -Studien als Nummer 54 mit folgendem Titel erschienen ist: "The Risk to Health of Microbes in Sewage Sludge Applied to Land". Das Dokument konnte nicht mit der gleichen Sorgfalt bearbeitet werden wie das Original.

Zur Beachtung

Dieses Dokument erscheint nicht als formelle Veröffentlichung. Es darf nur mit Genehmigung der Weltgesundheitsorganisation besprochen, in Kurzfassung gebracht, zitiert oder übersetzt werden. Beiträge, die mit Namensunterschrift erscheinen, geben ausschliesslich die Meinung des Autors wieder.

## INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
1. Einleitung . . . . .	1
2. Anfall, Behandlung und Beseitigung des Schlammes . . . . .	1
2.1 Verfahrensweise bei der Schlammeseitigung in einzelnen Ländern . . . . .	2
3. Mikrobielle Gefahren und öffentliche Gesundheit . . . . .	5
3.1 Bakterien mit Ausnahme von Salmonellen . . . . .	5
3.2 Salmonellen . . . . .	6
3.2.1 Beobachtungen in der Schweiz . . . . .	6
3.2.2 Beobachtungen in den Niederlanden . . . . .	7
3.2.3 Beobachtungen im Vereinigten Königreich . . . . .	7
3.2.4 Gefahren für die Gesundheit von Mensch und Tier durch Salmonellen bei Anwendung von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Nutzflächen . . . . .	8
3.3 Parasiten . . . . .	9
3.4 Viren . . . . .	11
3.5 Pilze . . . . .	11
3.6 Sonstige pathogene Organismen . . . . .	12
4. Langzeitanwendung von Klärschlamm und Abwasser . . . . .	12
5. Gefahren für die menschliche Gesundheit durch die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm . . . . .	12
6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen . . . . .	13
Literaturverzeichnis . . . . .	15
Anhang: Teilnehmerverzeichnis . . . . .	18



## 1. Einleitung

In Zusammenarbeit mit der Regierung des Vereinigten Königreichs hatte das Regionalbüro für Europa der WGO vom 6. bis 9. Januar 1981 eine Arbeitsgruppe zur Erörterung der gesundheitlichen Bedeutung von Mikroorganismen bei landwirtschaftlicher Verwertung von Klärschlamm nach Stevenage einberufen. Die Tagung wurde von dem Stellvertreter des leitenden Medizinaldirektors im Ministerium für Gesundheit und soziale Sicherheit des Vereinigten Königreichs, Dr. E.L. Harris, eröffnet. Er wies auf das grosse Interesse hin, das dem Thema der Tagung nicht nur in Europa, sondern auch in anderen Teilen der Welt entgegengebracht wird. Dr. J. Cuthbert, Direktor des Forschungslaboratoriums Stevenage, Zentrum für Wasserforschung, bot den Teilnehmern für die Dauer der Tagung die Einrichtungen seines Laboratoriums zur Nutzung an. Dr. R.B. Dean übermittelte Grüsse des WGO-Regionaldirektors für Europa, Dr. Leo A. Kaprio, und seinen Dank für die Unterstützung durch das Ministerium für Gesundheit und soziale Sicherheit.

Als Vorsitzender wurde Dr. E.H. Kampelmacher, als stellvertretender Vorsitzender Prof. E. Lund und als Berichterstatter Dr. E.B. Pike gewählt.

Die Arbeitsgruppe hatte die Aufgabe, sich mit dem gesamten Spektrum der pathogenen Mikroorganismen, deren Vorkommen im Klärschlamm bekannt ist, zu befassen und das Infektionsrisiko für den Menschen zu erörtern. Besondere Berücksichtigung fanden Salmonellen und der Rinderbandwurm des Menschen (*Taenia saginata*), da sich beide in Europa als Gefahr für die menschliche Gesundheit erwiesen haben. Die Wirkungen toxischer Metalle auf die menschliche Gesundheit wurden auf der Tagung nicht behandelt.

Der Tagung waren drei Konferenzen mit verwandter Thematik vorausgegangen: ein Seminar über die landwirtschaftliche Verwendung von Klärschlamm vom 24. bis 26. September 1980 in Basel (in Verbindung mit dem Europäischen Abwasser- und Abfallsymposium), das Zweite Europäische Symposium über die Kennzeichnung, Behandlung und Verwendung von Klärschlamm vom 20. bis 24. Oktober 1980 in Wien (veranstaltet von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften) und eine Konferenz über den gegenwärtigen Stand der Salmonellenproblematik vom 6. bis 10. Oktober 1980 in Bilthoven (veranstaltet vom Weltverein der Lebensmittelhygieniker (WAVFH) und der WGO).

Die Tagung ging von bestimmten Grundfakten aus: Der Bau zahlreicher neuer Abwasserreinigungsanlagen führt zu einer allgemeinen Zunahme des Klärschlammanfalls in Europa. Die Verwendung des Klärschlammes auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ist oft die billigste Methode der Beseitigung, insbesondere im Hinblick auf die in der letzten Zeit stark gestiegenen Energiekosten. Darüber hinaus nutzt man bei dieser Art der Beseitigung den Schlamm als wertvollen Dünger oder als Mittel zur Bodenverbesserung. Seit langem ist bekannt, dass im Klärschlamm diejenigen pathogenen Mikroorganismen enthalten sind, die in der örtlichen Bevölkerung vorkommen, und dass daher die Schlammabseitsung auf Bodenflächen für den Menschen wegen der Verunreinigung von Nahrungsmitteln oder indirekt wegen möglicher Tierkrankheiten, die auf den Menschen übertragbar sind (Zoonosen), eine Gefahr darstellt. Die Arbeitsgruppe sah ihre Hauptaufgabe darin, die Krankheiten zu ermitteln, die eine Gefahr für die menschliche Gesundheit bedeuten, und Massnahmen festzulegen, die dieses Risiko verringern können. Offensichtlich ist dieses Risiko von Ort zu Ort verschieden. Deshalb empfiehlt es sich, die örtlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen, wenn angemessene Kontrollmassnahmen erwo-gen werden.

## 2. Anfall, Behandlung und Beseitigung des Schlammes

Schlamm stellt die konzentrierte Fraktion organischer Teilchen dar, die bei der Abwasserbehandlung anfällt. Je nach der Herkunft, der Stufe der Abwasserreinigung, bei der er anfällt, und der Art seiner Vorbehandlung können seine physikalischen Eigenschaften und seine chemische Zusammensetzung recht unterschiedlich sein. Die erste Hauptstufe der Abwasserbehandlung ist die Sedimentation in grossen Becken, in denen bis zu 70 Prozent der suspendierten Feststoffe entfernt werden. Der Trockensubstanzgehalt dieses Primärschlammes beträgt 40 bis 70 g/l. Das sedimentierte Abwasser wird dann gewöhnlich einer aeroben biologischen Behandlung unterworfen (Tropfkörper- oder Belebtschlammverfahren). Bei jedem dieser Verfahren fällt überschüssige Biomasse, entstanden durch mikrobielles Wachstum, als Sekundärschlamm an. Sekundärschlämme haben im allgemeinen einen geringeren Trockensubstanzgehalt als Primärschlämme, lassen sich schlechter entwässern und werden meist zusammen mit Primärschlämmen weiterbehandelt. Schlamm, der vor der Beseitigung nicht behandelt wird, wird als Rohschlamm bezeichnet. Er ist stark fäulnisfähig und hat einen widerlichen Geruch. Rohe Primär- und Mischschlämme werden im allgemeinen in bestimmter Weise behandelt, um ihren Wassergehalt zu vermindern, sie biologisch zu stabilisieren und damit ihre Beseitigung zu erleichtern. Keine bestimmte Behandlungsart oder Kombination von Behandlungsverfahren kann als typisch bezeichnet werden; in grösseren Anlagen ist jedoch eine 3 bis 5 Wochen dauernde anaerobe mesophile Zersetzung des Schlammes bei etwa 35° C in geschlossenen Behältern die Regel. Der anaerobe Abbau kann auch in 4 bis 6 Monaten in hohen, offenen Becken bei Umgebungstemperatur erfolgen. Durch die

Bildung von Methan und Kohlendioxid während des anaeroben Abbaus werden der Gehalt an organischem Kohlenstoff um etwa 35 Prozent und das Trockengewicht um 40 Prozent vermindert. Schlamm kann auch durch eine mehrere Wochen andauernde Belüftung stabilisiert werden - eine Methode, die in kleineren Anlagen oft angewendet wird, um überschüssigen Belebtschlamm zu behandeln.

Um den Schlamm entwässern zu können, ist eine bestimmte chemische Konditionierung erforderlich, meist durch Zusatz von Kalk, Eisensulfat, Eisenchlorid oder Aluminiumchlorhydrat (allein oder kombiniert) oder mit organischen Polyelektrolyten. Durch Hitzebehandlung bei 180 bis 200° C unter Druck wird der Schlamm koaguliert. Dabei werden auch alle pathogenen Organismen abgetötet. Wegen der hohen Energiekosten und des Anfalls von äusserst schädlichen Abwässern mit widerlichem Geruch hat man dieses Verfahren jetzt aber weitgehend aufgegeben. Konditionierter Schlamm kann auf flachen Trockenbeeten, durch mechanische Druckfiltration oder durch Zentrifugieren entwässert werden. Der anfallende Feststoffrückstand enthält bis zu 60 Prozent Trockensubstanz. Der getrocknete Schlamm kann nun zum Ort der Beseitigung oder Verbrennung transportiert werden. Zum Transport von Flüssigschlamm, der noch einen Grossteil des ursprünglichen Stickstoffs enthält, sind zwar Tankfahrzeuge erforderlich, er lässt sich aber einfach und billig durch Versprengen bzw. Verregnen oder über stationäre Berieselungssysteme ausbringen. Entwässerter Trockenschlamm kann durch Heissluft getrocknet und zur Verwendung als Dünger streufähig gemacht werden. Jedoch ist man von diesem Verfahren ebenso wie von der Verbrennung wegen der sehr hohen Energiekosten weitgehend abgekommen.

### 2.1 Verfahrensweise bei der Schlammbeseitigung in einzelnen Ländern

Der Schlammanfall in den seinerzeit neun Mitgliedstaaten der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft (EG) wurde 1978 auf etwa 6 Millionen Tonnen Trockensubstanz, das entspricht einem Nassgewicht von 230 Millionen Tonnen, geschätzt (1). Aufgrund des Bevölkerungswachstums und des verstärkten Baus von Abwasserbehandlungsanlagen wird diese Menge jährlich um 5 Prozent zunehmen. Der Schlammapfall macht etwa 13 Prozent der Gesamtmenge an festen Abfallstoffen in der EG aus. Der Pro-Kopf-Anfall wird mit schätzungsweise 800 kg Nassschlamm pro Jahr angegeben. Von dem im EG-Bereich anfallenden Schlamm werden etwa 29 Prozent (als Trockensubstanz) landwirtschaftlich verwendet, 45 Prozent werden deponiert, 19 Prozent im Meer beseitigt und 7 Prozent verbrannt.

Von den Mitgliedern der Arbeitsgruppe wurden Übersichten über den Anfall und die Beseitigungsverfahren in ihren Ländern vorgelegt, die im folgenden wiedergegeben werden.

Dänemark: Die Regelung der Schlammbeseitigung erfolgt gegenwärtig durch die örtlichen Gesundheitsbehörden. Es gibt vorläufige nationale Bestimmungen, die in ihrer Endfassung den künftigen EG-Richtlinien für Schlammbeseitigung angepasst werden sollen. In den vorliegenden einstweiligen Bestimmungen vom Juni 1979 wird "Hygienisierung" als die 25 Minuten andauernde Behandlung des Schlammes bei 70° C oder eine gleichwertige Behandlung definiert. Die landwirtschaftliche Verwertung des Schlammes ist erst nach sechsmonatiger Lagerung oder nach einer Hygienisierung zulässig. Er muss so weitgehend stabilisiert sein, dass während seiner Verwendung keine wesentlichen Geruchsbelästigungen auftreten. Eine Verrieselung ist verboten. Innerhalb von 24 Stunden nach der Ausbringung muss der Schlamm in den Boden eingearbeitet werden. Er darf nicht für Obst- oder Gemüsekulturen, die für den menschlichen Verzehr bestimmt sind, verwendet werden. Der Schlamm aus Kopenhagen wird verbrannt. In den anderen skandinavischen Ländern haben ähnlich lautende Regelungen bereits Gesetzeskraft.

Bundesrepublik Deutschland: Für die Behandlung von Abwasser und Schlamm sind die einzelnen Gemeinden verantwortlich. Gegenwärtig werden etwa 85 Prozent des Abwassers behandelt. Die Schlammproduktion übersteigt 1 Million Tonnen Trockensubstanz jährlich. Die Schlammstabilisierung erfolgt durch aeroben oder anaeroben Abbau oder andere Verfahren. Etwa 25 Prozent des Schlammes, vorwiegend aus kleineren Anlagen, werden landwirtschaftlich verwertet. Es wurde vorgeschlagen, Wälder als weitere Flächen zur Schlammbeseitigung zu nutzen. Regelungen liegen bisher erst in Form von Leitlinien vor (2).

Frankreich: Eine Umfrage des Umweltministeriums bei 2000 Abwasserbehandlungsanlagen in 62 der 95 Départements ergab bezüglich der Beseitigung folgendes Bild:

Ausschliesslich landwirtschaftliche Verwertung: 24 Prozent der Anlagen, an die etwa 24 Prozent der Bevölkerung angeschlossen sind;

landwirtschaftliche Verwendung und Deponie: 14 Prozent, etwa 15 Prozent der Bevölkerung sind angeschlossen;

ausschliesslich Deponie: 60 Prozent, etwa 45 Prozent der Bevölkerung sind angeschlossen;

Verbrennung: 2 Prozent, etwa 20 Prozent der Bevölkerung sind angeschlossen.

Es bestehen keine mikrobiologischen Normen für die landwirtschaftliche Verwendung von Klärschlamm.

Das Ministerium für Gesundheit und soziale Sicherheit hat folgende Empfehlungen herausgegeben: Wenn der Schlamm behandelt wird, muss das Behandlungsverfahren auf der Grundlage der Nutzung des Bodens und der Erfordernisse des Gesundheitsschutzes für Mensch und Tier festgelegt werden. Aus diesem Grunde ist der thermophile Abbau bei 50-55° C vorzuziehen. Eine Verrieselung ist unzulässig. Ebenso ist die Ausbringung auf Böden verboten, auf denen Gemüse für den menschlichen Verzehr - roh oder gekocht - angebaut wird.

Italien: Der rege Neubau von Kläranlagen wird voraussichtlich zu erhöhtem Schlammabfall führen. Durch Kompostierung wird Dünger für die Landwirtschaft erzeugt. Die Verbrennung findet kaum Anwendung.

Niederlande: Die Schlammabeseitigung erhöhte sich von 13 500 Tonnen Trockensubstanz im Jahre 1959 auf das 15fache (201 000 Tonnen) im Jahre 1978. Der Schlamm wurde 1978 wie folgt beseitigt: direkte Verwertung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen: 35 Prozent; Erzeugung von "Schwarzerde"-Dünger für öffentliche Grünanlagen: 15 Prozent; Deponie: 30 Prozent; Beseitigung auf See (wird nur für die Stadt Den Haag praktiziert): 13 Prozent; sonstige Methoden: 7 Prozent. Es gibt keine gesetzlichen Bestimmungen über die Schlammabeseitigung. 1980 wurden jedoch Richtlinien der Vereinigung der Wasserämter Unie van Waterschappen veröffentlicht. Diese besagen, dass Rohschlamm landwirtschaftlich nicht verwertet werden darf und dass als Minimalbehandlung eine Stabilisierung erforderlich ist. Nach der Ausbringung von Schlamm auf Weideland ist eine Karenzzeit von sechs Wochen vor der Nutzung dieser Flächen durch Rinder erforderlich.

Polen: Es gibt etwa 400 Abwasserbehandlungsanlagen. Normalerweise wird der in Emscherbrunnen oder beheizten Faulbehältern (etwa 12 Prozent der Gesamtmenge) ausgefaulte Schlamm auf Trockenbetten entwässert, ein geringer Teil wird in Lagunen gespeichert. Etwa 50 Prozent des luftgetrockneten Schlammes werden auf landwirtschaftlichen Nutzflächen oder in Parks und Gärten verwertet, der Rest wird deponiert oder in Lagunen aufbewahrt. Der Schlammanfall beträgt z.Z. 430 000 m<sup>3</sup> pro Jahr (Wassergehalt 55 Prozent). Er wird infolge des Baus neuer Kläranlagen bis zum Jahr 1990 auf 2 Millionen m<sup>3</sup> ansteigen. Es gibt keine besonderen Bestimmungen für die Beseitigung. Es wurde vorgeschlagen, den ausgefaulten Schlamm durch landwirtschaftliche Spezialbetriebe abtragen zu lassen, so wie abwasserverwertende Betriebe in der Vergangenheit in Polen weite Verbreitung gefunden haben. Der kommunale Abwasserschlamm wird als wertvoller landwirtschaftlicher Rohstoff betrachtet. Die landwirtschaftliche Nutzung von Abwasser oder Schlamm hat zu keinerlei Schäden bei Tieren geführt.

Bei Wroclaw hat man einen landwirtschaftlichen Betrieb von 1500 Hektar Grösse in zwei Abschnitte geteilt. Eine Fläche wird regelmässig mit sedimentiertem Abwasser überstaut, die andere durch Berieselung bewässert. Es werden Rinder gehalten. Die Beweidung erfolgt 14 Tage nach Einstellen der Bewässerung. Die erzeugte Milch wird vor dem Verkauf pasteurisiert. Durch die landwirtschaftliche Universität Wroclaw wurde der Gesundheitszustand bei Haustieren, Meerschweinchen und wilden Nagetieren, die sich auf dem behandelten Land ernährten, untersucht; dabei wurden keinerlei nachteilige Folgen festgestellt. So wurden in den Jahren 1961/62 etwa 800 Rinder und 100 Pferde untersucht, die auf diesem Land geweidet hatten bzw. ausschliesslich mit dort gemähtem Gras und Heu gefüttert worden waren; man kam zu dem Schluss, dass diese Form der Abwasserverwertung kein ernsthaftes Risiko in bezug auf Tuberkulose, Brucellose, Salmonellose, Listeriose, Leptospirose und Maul- und Klauenseuche im Vergleich zu Kontrolltieren auf nicht bewässerten Böden darstellt (3). Die im Abwasser befindlichen Eier von *Ascaris suum* überlebten am längsten, wenn die Ausbringung im Sommer erfolgte, bei Ausbringung im Frühjahr entwickelten sie sich hingegen nicht bis zum Larvenstadium (4). Dem Tageslicht ausgesetzt, verloren die Eier ihre Lebensfähigkeit in der Sonne nach 24 Stunden und im Schatten nach 4 Tagen. Im Herbst und zu Beginn des Frühjahrs blieben die Eier im Sonnenlicht bis zu 2 Tagen lebensfähig (5).

Schweiz: Die Gesamtproduktion an Nassschlamm beträgt gegenwärtig 2-3 Millionen Tonnen jährlich. Ungefähr 30 Prozent werden verbrannt (z.B. in Lausanne und Winterthur) oder im Gelände deponiert, und 70 Prozent werden zu gleichen Teilen auf Ackerland und auf Weideland landwirtschaftlich genutzt. Die bestehenden Richtlinien sollen 1981 Gesetzeskraft erlangen, und es ist ein bakteriologischer Grenzwert vorgesehen, sofern der Schlamm auf Böden zur Erzeugung von Futter oder im Gartenbau Verwendung findet (maximal 100 Enterobakterien pro Gramm). Besondere Probleme bestehen in Gebirgsgemeinden während der Wintersportsaison aufgrund der Schwierigkeiten, den zusätzlichen Abwasseranfall zu beseitigen. Die neuen Bestimmungen verbieten die Ausbringung des Schlammes auf schneebedecktem oder gefrorenem Boden, womit die Verunreinigung von Schmelzwasser vermieden

werden soll. Es ist vorgesehen, die Einhaltung des mikrobiologischen Standards dadurch zu gewährleisten, dass der gesamte Schlamm aus Anlagen mit einer Jahresproduktion von mehr als 50 Tonnen Trockensubstanz ganzjährig desinfiziert wird. Diese Vorschrift wird als die einzige praktisch durchführbare Massnahme betrachtet, um Salmonellose-Zyklen zwischen Nutztieren und Mensch auszuschliessen. In Versuchen hat sich die Pasteurisierung des Schlammes vor der anaeroben Faulung als die erfolgreichste Behandlungsmethode erwiesen.

Vereinigtes Königreich: 1975 betrug die Schlammproduktion 1,24 Millionen Tonnen (Trockensubstanz). 74 Prozent wurden landwirtschaftlich verwertet bzw. im Gelände deponiert, 23 Prozent im Meer abgelagert und 3 Prozent verbrannt. Über 95 Prozent der Bevölkerung sind an Abwassersammler angeschlossen, und ausser jenem Anteil, der in Küstengebieten ins Meer abgeleitet wird, wird das gesamte Abwasser vollbiologisch behandelt (6). Die zehn regionalen Wasserbehörden in England und Wales und die neun schottischen Regionalräte kontrollieren die Beseitigungsverfahren für Schlamm in ihren Bereichen mittels örtlicher Festlegungen, die auf 1977 von der Arbeitsgruppe für die Beseitigung von Abwasserschlamm auf landwirtschaftlichen Nutzflächen erlassenen Richtlinien basieren (7). Danach darf Rohschlamm auf Ackerland verwendet werden, wenn er zur Vermeidung von Geruchsbelästigungen sofort eingepflügt wird und nur für Kulturen Anwendung findet, die entweder konserviert oder gekochtem menschlichen Verbrauch zugeführt werden. Ausserdem ist seine Anwendung in der Forstwirtschaft oder zur Geländeauffüllung zulässig. Auf Weideland muss für Rinder und Schweine als Schutzmassnahme gegen Zystizerkose eine Karenzzeit von 6 Monaten eingehalten werden. Behandelte Schlamm darf bei einer Karenzzeit von 3 Wochen auf Weideflächen unter der Voraussetzung genutzt werden, dass die Milch vor dem Verkauf pasteurisiert wird. Andernfalls beträgt die Karenzzeit 5 Wochen. Damit soll das Risiko von Salmonellose herabgesetzt werden. Im Juli 1981 wurden überarbeitete Richtlinien herausgegeben, die vorstehend genannten Bestimmungen blieben jedoch unberührt.

Vereinigte Staaten von Amerika: Regelungen über die Schlammabeseitigung finden sich im "Resource Conservation and Recovery Act" und im "Clean Water Act"; diese vom Kongress bestätigten Gesetze sind für alle Staaten verbindlich. Auf ihrer Grundlage hat die Umweltschutzbehörde (EPA) "vorläufig verbindliche" Bestimmungen für die Schlammabeseitigung auf Böden herausgegeben (8). Bis zur Vorlage der endgültigen Fassung (Mitte 1981) werden die vorläufigen Bestimmungen auf örtlicher Ebene in Kraft gesetzt. Vom Standpunkt des öffentlichen Gesundheitswesens werden drei Arten von Schlamm unterschieden:

- a) "Nichtstabilisiert" (Rohschlamm). Nicht zur Beseitigung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen geeignet. Ist zu verbrennen, zu vergraben oder durch Anwendung von Wärme zu trocknen.
- b) "Verfahren zur signifikanten Reduzierung pathogener Mikroorganismen", z.B. anaerober oder aerober Abbau (Anwendung von Wärme, Kalk oder Chlor), Kompostierung oder Stapelung in Schlammteichen. Die endgültigen Bestimmungen werden voraussichtlich folgende Einschränkungen enthalten: während eines Zeitraums von 12 Monaten nicht öffentlich zugänglich, 6 Monate keine Beweidung, 3 Jahre kein Anbau von Kulturen für den menschlichen Konsum, die mit dem Schlamm in Berührung kommen.
- c) "Verfahren zur weitergehenden Verminderung pathogener Mikroorganismen". Die Verwertung des Schlammes unterliegt keinen Einschränkungen. Hierbei handelt es sich um neuartige Verfahren wie Hochenergiebestrahlung oder thermische Behandlung, z.B. Pasteurisierung, Hitzebehandlung, thermophiler Abbau oder Kompostierung.

Der "Metropolitan Sanitary District of Greater Chicago" (MSDGC) setzt sich stark für die Verwertung von Schlamm als Dünger für landwirtschaftliche Kulturen ein. In dem Hauptverwertungsgebiet liegen Böden (Fulton County, Illinois), welche nach Tagebaunutzung wieder urbar gemacht wurden. Es wird ausgefaulter Schlamm der grössten Behandlungsanlage (West-Southwest) verwendet (9). Der MSDGC besitzt gegenwärtig über 6075 Hektar Land, etwa 320 km südlich seines 2240 km<sup>2</sup> grossen Einzugsgebietes. Der ausgefaulte Flüssigschlamm mit etwa 4 Prozent Trockensubstanz wird flussabwärts auf dem Illinois verschifft und dann 17,3 km weit in Speicherbecken im Verwertungsgebiet gepumpt. Der Schlamm wird hauptsächlich von April bis Oktober ausgebracht und in den Boden eingearbeitet. Bisher betrug die Anwendungsmenge bis zu 67 Tonnen (Trockengewicht) pro Hektar und Jahr auf Feldern mit Mais als Hauptfrucht. Gegenwärtig werden täglich etwa 5400 Tonnen Nassschlamm ins Verwertungsgebiet transportiert. An die Abwasserbehandlungsanlagen sind insgesamt etwa 10 Millionen Einwohner angeschlossen. Von dem gesamten anfallenden Schlamm werden etwa 40 Prozent unmittelbar landwirtschaftlich genutzt und 60 Prozent zur Geländeauffüllung, in Parkanlagen und im Gartenbau verwendet. Das oberste Gebot für die Verwertung auf Böden ist die Vermeidung der Kontamination von Nahrungsketten, deshalb wird Getreide, das von schlammbehandelten Böden stammt, nur als Rinderfutter verwendet.

Wegen des Umfangs der Schlammabreinigung werden seit vielen Jahren mikrobiologische Kontrollen und Untersuchungen durchgeführt (9). Der durchschnittliche Gehalt an Salmonellen im Rohschlamm der Anlage West-Southwest betrug 49 pro 100 ml (20 Messungen). Im gesamten Zeitraum von 1975-1977 konnten in den jährlichen Proben aus vier Versuchsfeldern, die etwa 20 Tonnen (Trockengewicht) pro Hektar und Jahr und kumulativ Gaben von insgesamt 47-174 Tonnen pro Hektar erhalten hatten, keine Salmonellen nachgewiesen werden. Eier von Taenien konnten im Schlamm nicht gefunden werden. Etwa zwei Drittel der nachgewiesenen Parasiteneier gehörten *Toxocara*-Arten an. Untersuchungen in Chicago zufolge werden Enteroviren bei der mesophilen Schlammfäulung inaktiviert (10). So wurden seit 1975 in den drei Wasserläufen, die das Gebiet von Fulton County verlassen, keinerlei Viren nachgewiesen (9).

### 3. Mikrobielle Gefahren und öffentliche Gesundheit

Klärschlamm enthält eine Vielzahl pathogener Organismen, darunter Bakterien, Viren, Pilze und Parasiteneier. Ihre Bedeutung wurde von Alderslade untersucht (11). Sie stammen von der an das Entwässerungssystem angeschlossenen Bevölkerung. Das Vorherrschen eines bestimmten Organismus spiegelt die epidemiologische Situation in der Gemeinde wider. Pathogene Organismen können auch aus Schlachthöfen oder Abwässern landwirtschaftlicher Betriebe, durch Nutztiere, durch Nagetiere, die das Abwassersystem bewohnen, und aus Oberflächengewässern ins Abwassernetz gelangen. Durch die Behandlung des Abwassers, besonders mittels biologischer Reinigung, wird die Belastung des Abwassers mit pathogenen Organismen beträchtlich reduziert. Aufgrund der Konzentration infolge von Sedimentation und Adsorption treten jedoch im Klärschlamm viele Erreger in grösseren Mengen auf als im ursprünglichen Abwasser.

Nach Auffassung der Arbeitsgruppe stellt der Schlamm und seine Verwertung auf Böden eine potentielle Gefahr für die Gesundheit des Menschen und der Nutztiere dar. Ein beträchtliches Infektionsrisiko besteht jedoch nur bei einem Zusammentreffen von verschiedenen Voraussetzungen (z.B. Art des Erregers, Verfahren der Schlammabreinigung, Nutzung des Bodens sowie verschiedene örtliche, geographische, klimatologische und demographische Faktoren). Deshalb hat die Arbeitsgruppe alle Gruppen von potentiellen Krankheitserregern auf der Grundlage der vorliegenden epidemiologischen Informationen kritisch geprüft, um die Risiken für die menschliche Gesundheit beurteilen zu können. Für einige Erreger, insbesondere für Salmonellen, liegen epidemiologische Informationen in mannigfacher Form vor, wie z.B. Angaben über einzeln und gehäuft auftretende Erkrankungen in verschiedenen Ländern oder Untersuchungen über Keimträgerquoten. Bakterien- und Virusinfektionen können ohne jegliche klinische Manifestation bei Mensch und Tier als Keimträger bestehen. In einer Herde können Keimträger der Ausgangspunkt für die Ausbreitung einer Infektion sein.

#### 3.1 Bakterien mit Ausnahme von Salmonellen

Escherichia coli: Bestimmte Serotypen sind für den Menschen, für Tiere oder für beide pathogen und besitzen eine besondere Virulenz für Säuglinge. Problematisch ist die Übertragung der durch Plasmide bewirkten Arzneimittelresistenz auf andere Enterobacteriaceae, besonders Salmonellen im Darm. Da diese Serotypen im Abwasser stets vorhanden sind, könnte Klärschlamm ihre Ausbreitung begünstigen, obwohl es hierfür keinen gültigen Beweis gibt; weitere Untersuchungen sind erforderlich. Die Methoden zur Verhütung von Arzneimittelresistenzen sollten sich in erster Linie gegen den Missbrauch von Antibiotika richten.

Sonstige Enterobacteriaceae und Pseudomonas aeruginosa: Alle diese Organismen sind in der natürlichen Umwelt ubiquitär verbreitet und sollten deshalb nicht gesondert behandelt werden. Das Vorhandensein von *P. aeruginosa* in der natürlichen Umwelt steht in engem Zusammenhang mit der Verschmutzung durch den Menschen; der Keim vermehrt sich nur bei höheren Temperaturen, z.B. unter den mikroklimatischen Bedingungen innerhalb von Gebäuden.

Yersinia enterocolitica: Die Epidemiologie dieses Organismus ist noch nicht restlos geklärt. Er wird mit den Fäkalien ausgeschieden und kann sich bei niedrigen Temperaturen vermehren. Er hat besondere Bedeutung im Zusammenhang mit Nahrungsmittelvergiftungen. Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um festzustellen, ob durch Schlamm Infektionen übertragen werden können, wenn z.B. gekochte Nahrungsmittel in der Küche durch rohe Gemüse oder andere Substanzen, die mit schlammbehandeltem Boden behaftet sind, wieder verunreinigt werden.

Clostridium perfringens: Clostridien kommen vorwiegend im Boden vor. Wegen ihrer langlebigen Sporen kann die Grundbelastung des Bodens durch die Zugabe von Schlamm vergrößert werden und somit theoretisch auch ihr Gehalt in bestimmten Nahrungsmitteln. In der Praxis ist der normale Gehalt des Bodens an Sporen so hoch, dass das Risiko der Kontamination von Nahrungsmitteln durch die Aufbringung von Schlamm kaum vergrößert wird.

Clostridium botulinum: Obwohl *C. botulinum* kein primärer Bodenorganismus ist, kann er mit kontaminierter Braugerste in den landwirtschaftlichen Betrieb gelangen. Durch Dung von Kühen, die mit diesem Material gefüttert wurden, können Weideflächen und dort hergestellte Silage verunreinigt werden (12). In Silage minderer Qualität konnte die Fähigkeit der Bakterien, sich zu vermehren und Toxin zu produzieren, nachgewiesen werden (13). *C. botulinum* erzeugt eines der stärksten bekannten Toxine. Offenbar stellt Schlamm kein spezifisches Risiko für die Gesundheit der Bevölkerung dar, kann aber die Menge der Sporen im Boden vergrößern. Der Schutz der Gesundheit wird durch sorgfältige Vorbereitung und Verarbeitung von Lebensmittelkonserven gewährleistet. Botulismus tritt deshalb beim Menschen ausserordentlich selten auf. Das gleiche gilt für andere Clostridien, die unter gewissen Umständen gelegentlich Pathogenität erwerben können.

Bacillaceae: Im Gegensatz zu *Bacillus anthracis* sind diese aeroben sporenbildenden Bakterien so weit verbreitet, dass Schlamm, in dem sie enthalten sind, für die Ätiologie von Nahrungsmittelvergiftungen als bedeutungslos anzusehen ist. Milzbrand ist hauptsächlich eine Tierkrankheit und tritt sporadisch auf. Hauptursache für Milzbrand beim Menschen ist der Umgang mit Tierkadavern, Häuten, Wolle oder anderen tierischen Produkten, die B.-anthracis-Sporen enthalten. Das Hauptproblem sind Kadaver, die nicht als infiziert erkannt werden, und das Abwasser von Gerbereien und Wollverarbeitungsbetrieben, in denen Material bearbeitet wird, das aus den wenigen Gebieten der Welt stammt, in denen Milzbrand noch endemisch ist. Es gibt keine Beweise dafür, dass Schlamm als Ursache für Milzbranderkrankungen des Menschen in Frage kommt.

Listeria monocytogenes: Dieser Organismus kann als fakultativ pathogen angesehen werden, da er regelmässig im Darminhalt von gesunden Menschen und Tieren anzutreffen ist. Bei Untersuchungen von Kläranlagenabläufern (14) konnte er in 35 von 38 Proben (92 Prozent) nachgewiesen werden. Listeriose tritt beim Menschen nur sporadisch auf, über die Epidemiologie ist wenig bekannt. Es handelt sich um einen psychrophilen Organismus. Ausbringung von Klärschlamm erhöht die Belastung der Umwelt mit diesem Keim, jedoch sind die Auswirkungen unbekannt, und dem Auftreten des Organismus kommt keine grosse Bedeutung zu.

Vibrio species: Die Cholera, durch *Vibrio cholerae* hervorgerufen, wird durch Wasser übertragen. Enterotoxin produzierende Stämme von *V. cholerae* sind im freien Wasser kaum lebensfähig, somit ist behandelte Schlamm an der Ausbreitung der Cholera nicht unmittelbar beteiligt. Es ist bekannt, dass Nutztiere wie Kühe und Schweine als Keimträger fungieren können. *V. parahaemolyticus* kommt im Meer vor; Nahrungsmittel aus dem Meer sind deshalb die wichtigsten Überträger von Infektionen. Landwirtschaftlich verwerteter Schlamm spielt hierbei keine Rolle.

Mycobacterium species: Im Gegensatz zur Epidemiologie der bisher behandelten Organismen ist die der Tuberkulose hinreichend bekannt. Durch Schlamm können Keime auf das Vieh übertragen werden. In vielen Regionen ist die Krankheit jedoch praktisch ausgerottet, so dass dieser Infektionsweg keine Bedeutung mehr hat. Abfälle aus Heilstätten, die einen Sonderfall darstellen, sollten vor der Beseitigung desinfiziert werden. Die thermische Behandlung des Schlammes gilt als der einzig sichere Weg, um diese Bakterien abzutöten.

Leptospira species: In alkalischem Wasser können diese Organismen relativ gut überleben. Es gibt keine Beweise dafür, dass Infektionen durch Schlamm erfolgt sind. Die Zahl der klinisch manifesten Infektionen beim Menschen ist sehr gering. Sie sind als Berufskrankheit bei Bauern, Tierärzten und anderen Berufsgruppen, die mit Tieren engeren Kontakt haben, anzusehen.

Campylobacter species: Die Epidemiologie der Infektion mit diesem Keim ist noch unbekannt, jedoch bestehen in der Art und Weise, wie sie Tiere und Menschen schädigen, Parallelen zu den Salmonellen. Derzeit werden sie als verbreitete Ursache für Gastroenteritiden des Menschen erkannt. Klärschlamm dürfte für ihre Verbreitung in der Umwelt und für ihr Vorkommen bei Tieren keine Rolle spielen.

### 3.2 Salmonellen

#### 3.2.1 Beobachtungen in der Schweiz

In der Schweiz haben die Erkrankungen beim Menschen ständig zugenommen, und zwar von 23 Fällen im Jahre 1955 auf 3629 Fälle im Jahre 1979 (beide Ziffern liegen sicher unter den tatsächlichen Werten). Im gleichen Zeitraum hat der Anteil an Salmonellenträgern bei Schweinen und Rindern ebenso wie die Häufigkeit der Keimisolierungen aus Fleisch, Fleischwaren und aus Fleischverkaufsstellen zugenommen. Wie von Dr. Brear berichtet, haben neuere Untersuchungen des Instituts für Veterinärhygiene der Universität Zürich folgende Isolierungsraten ergeben:

Normal geschlachtete Schweine, 1978: 63/500 (12,3 Prozent)

Gesunde Rinder, geschlachtet in vier Schlachthäusern, 1977: 63/2515 (2,5 Prozent)

Monatliche Hygienekontrollen in Fleischereien, 1979: 56/290 (19,3 Prozent)

Klärschlammproben aus 205 Kläranlagen, 1980: 383/396 (96,6 Prozent)

In quantitativen Untersuchungen wurde der hohe Gehalt des Schlammes an Salmonellen und deren Überlebensfähigkeit im Schlamm, auf Grünland und im Heu für viele Wochen nachgewiesen (15, 16). Die jahreszeitlichen Schwankungen der Isolierungen von Salmonellen aus Rindern in den Jahren 1969 bis 1978 (26 646 Proben) wurden auf den Zeitpunkt der Ausbringung von Schlamm zurückgeführt. Untersuchungen über Keimträgerquoten und Serotypen bei Rindern, die auf schlammgedüngten Wiesen geweidet hatten, ergaben einen positiven Zusammenhang und das Vorhandensein einer Infektkette (Mensch-Schlamm-Tier-Mensch). Durch eine verbesserte Fleischbeschau im Schlachthof konnte dieser Zyklus nicht unterbrochen werden. Die schweizerischen Behörden haben deshalb festgelegt, dass Schlamm vor der landwirtschaftlichen Verwertung zu hygienisieren ist. Am besten hat sich die Pasteurisierung vor der anaeroben Fäulung bewährt (17); im Januar 1981 arbeiteten drei Anlagen nach diesem Prinzip.

### 3.2.2 Beobachtungen in den Niederlanden

Die Salmonellose stellt in den Niederlanden ein beträchtliches Gesundheitsproblem dar. Im Jahre 1976 wurden 12 000 Fälle bei einer Einwohnerzahl von 13,5 Millionen registriert. Zwischen 1951 und 1970 waren *S. typhi murium* (60 Prozent), *S. panama* (10 Prozent) und *S. infantis* (5 Prozent) die drei häufigsten Serotypen bei Erkrankungen des Menschen (12). Seit 1960 haben Edel, Kampelmacher u.a. die Epidemiologie der Salmonellose gründlich untersucht (18-22) und dabei nachgewiesen, dass Nahrungsmittel tierischen Ursprungs, insbesondere Fleisch, für den Menschen die wichtigste Infektionsquelle darstellen, dass eine relativ hohe Anzahl klinisch gesunder Tiere, einschliesslich Geflügel, Keimträger ist und dass infizierte Futtermittel, vor allem importiertes Fischmehl, für das Auftreten neuer Serotypen verantwortlich sind. Bei Experimenten, in denen Schweine thermisch behandeltes, pelletiertes Futter erhielten und so gehalten wurden, dass alle Möglichkeiten der Verunreinigung ausser Umweltkontaminationen ausgeschlossen waren, wurden diese Tiere zu Salmonellenträgern, während Schweine einer Kontrollgruppe ohne jeglichen Kontakt mit Umweltkontaminationen gesund blieben und nicht infiziert wurden. Seit 1971 wurden umfangreiche Untersuchungen über die Übertragungswegen von Salmonellose auf der ehemaligen Insel Walcheren durchgeführt, wo es etwa 200 Schweineaufzuchtbetriebe, 2 Schlachthöfe, 60 Fleischereien und 14 Abwasserbehandlungsanlagen für die Versorgung von 90 000 Menschen gibt. Dabei fand man heraus, dass die Kreisläufe kompliziert sind, und dass Tiere, die über die Umwelt oder Futtermittel infiziert wurden, sowie Fleisch, Patienten, gesunde Keimträger, Abläufe von Kläranlagen, Insekten, Vögel, Nagetiere und Nutztiere daran beteiligt sind. Ein wichtiger Beweis für diesen Zyklus ist die hohe Isolierungsrate eines einzigen Phagentyps, *S. typhi murium* II 505, aus den meisten der geprüften Probengruppen (19, 21). Zwei der wichtigsten Schlussfolgerungen aus diesen Untersuchungen sind, dass es, von seltenen Ausnahmen abgesehen, sehr unwahrscheinlich ist, in der nächsten Zukunft salmonellenfreie Nahrungs- und Futtermittel herstellen zu können, und dass zum unmittelbaren Schutz der Verbraucher eine Aufklärung über Hygiene und deren Verbesserung bei der Nahrungszubereitung wichtig ist. Die Pelletierung von Viehfutter, besonders für Schweine, vermindert die Kontamination im Landwirtschaftsbetrieb. Doch auch eine Verminderung der Umweltverschmutzung kann zur Unterbrechung der Infektkette beitragen.

### 3.2.3 Beobachtungen im Vereinigten Königreich

In England und Wales besteht seit 1941 ein umfassendes Meldesystem für Salmonellose beim Menschen und seit 1958 bei Nutztieren. Isolierungen von erkrankten Menschen werden beim "Communicable Disease Surveillance Centre (Public Health Laboratory Service)" registriert, und Meldungen über Erkrankungen gehen unabhängig davon an das "Office of Population Censuses and Surveys" und an das Ministerium für Gesundheit und soziale Sicherheit. Gemäss der Verordnung über Zoonosen ("Zoonoses Order") sind seit 1975 Salmonellosen bei Schlachtvieh meldepflichtig (23). Dieses Meldesystem ist zur Bestimmung der Trends der Infektionen mit verschiedenen Serotypen und zur Einleitung geeigneter Gegenmassnahmen umfassend genutzt worden (24). 1978 wurden mehr als 11 000 Erkrankungen beim Menschen gemeldet, was einer Morbidität von 16 auf 100 000 Einwohner entspricht (11). Vor 1941 wurden selten andere als die 14 "nativen" Serotypen gefunden. Änderungen der Fütterungsmethoden und der landwirtschaftlichen Praxis sowie Futtermittelimporte haben indessen zum Auftreten früher nicht vorhandener Serotypen geführt. Bemerkenswert ist der Rückgang der Erkrankungen bei Schlachttieren, die von wirtsadaptierten Serotypen wie *S. dublin*, *S. pullorum* und *S. gallinarum* verursacht werden. Demgegenüber sind *S. typhi murium* und eingeschleppte Serotypen wie *S. hadar* und *S. agona* vermehrt aufgetreten (24). Einige dieser eingeschleppten Serotypen sind möglicherweise ursprünglich mit infizierten Futtermitteln eingeführt worden. Seither sind sie zunehmend als Ursache für Lebensmittelvergiftungen beim Menschen identifiziert worden. *S. agona* ist ein

Beispiel hierfür. 1978 wurden in England, Wales und Schottland 1428 Fälle bei Rindern registriert. Dabei traten die Serotypen *S. typhi* murium (48 Prozent) und *S. dublin* (30 Prozent) am häufigsten auf. Der Wert der Überwachung hat sich kürzlich an zwei Beispielen erwiesen: Die heutzutage weite Verbreitung der von *S. typhi* murium Phagentyp 204 (R-Typ CSSuT) abgeleiteten multiresistenten Stämme bei Rindern und beim Menschen konnte auf einen einzigen Betrieb mit ausgedehntem Kälberhandel zurückgeführt werden; die Infektion von Puten mit *S. hadar* ging von wenigen Zuchtbetrieben aus (25).

Die Übertragung von Tier zu Tier, die Auswirkungen der Intensivhaltung (wie z.B. die breite, beträchtliche Streuung von Kälbern durch Händler und Märkte) und der Import von minderwertigem Protein zur Futtermittelherstellung Anfang der 70er Jahre werden in Grossbritannien für die wichtigsten Faktoren gehalten, die das Auftreten von Salmonellen bei Schlachttieren durch *S. typhi* murium und andere nicht an bestimmte Tierarten adaptierte Serotypen beeinflussen. Etliche Salmonellen-Erkrankungen bei Rindern konnten eindeutig auf die Verunreinigung von Weiden mit Rohabwasser oder Abläufen aus Faulbecken zurückgeführt werden. Trotz der bestehenden Meldepflicht gibt es allerdings keinerlei Hinweise auf einen Zusammenhang mit der Verwertung von Schlamm auf Weideland (7, 11, 26). Es wird die Auffassung vertreten, dass die Verwertung des Schlammes, sofern sie in Übereinstimmung mit den im Vereinigten Königreich geltenden Richtlinien erfolgt, der Landwirtschaft Vorteile bietet, die jedes potentielle Krankheitsrisiko für Tiere bei weitem aufwiegen (7).

Infektionen bei Rindern mit dem wirtsadaptierten Serotyp *S. dublin*, der nur selten auf den Menschen übertragen wird, sind in bestimmten eng begrenzten Gebieten, besonders jenen mit Weideland auf unzureichend entwässerten Niederungsflächen, seit vielen Jahren endemisch. Die Übertragung erfolgt von Tier zu Tier.

Fleisch, Milchprodukte und vor allem Geflügel werden in Grossbritannien als wichtigste Reservoir für Salmonellenerkrankungen des Menschen angesehen. Hauptursache für deren Ausbreitung ist eine mangelhafte Nahrungsmittelhygiene im Haushalt und in Verpflegungseinrichtungen.

#### 3.2.4 Gefahren für die Gesundheit von Mensch und Tier durch Salmonellen bei Anwendung von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Nutzflächen

Eine Untersuchung der Gefährdung der Nutztiere durch die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm gehörte zwar ursprünglich nicht zum Themenkreis der Arbeitsgruppe, wurde jedoch recht eingehend behandelt, weil Fleisch und Milchprodukte für den Menschen eine wichtige Quelle von Salmonellen bei Lebensmittelvergiftungen darstellen. Abweichend von den Niederlanden und der Schweiz konnten im Vereinigten Königreich keine Beweise für den Zusammenhang zwischen der Schlammverwertung und Salmonellen bei Schlachttieren erbracht werden. Dieser Widerspruch (26, 27) wurde von der Arbeitsgruppe genau untersucht.

Die Erfahrungen im Vereinigten Königreich beruhen auf Analysen von Berichten über klinisch manifeste Infektionen auf der Grundlage der Verordnung über Zoonosen, während sie in den Niederlanden und der Schweiz aus umfangreichen epidemiologischen Erhebungen zur Ermittlung von Keimträgern stammen (15, 16, 18-22). Eine Auffassung besagte, dass der Nachweis von Keimträgern ein zuverlässigerer Risikoindikator ist, weil durch Keimträger andere Tiere und Menschen über Nahrungsmittel infiziert werden können und zur Erlangung des Ausscheiderstatus geringere Keimengen erforderlich sind als zum Auftreten einer klinischen Infektion. Auch im Vereinigten Königreich hat eine langjährige, umfassende Überwachung auf Landesebene zur Feststellung neu eingeführter Serotypen und zur Erkennung der Trends bei den Infektionsquellen sowie zur Einleitung von Gegenmassnahmen geführt (11, 24). Die Arbeitsgruppe räumte ein, dass sorgfältig geplante und kontrollierte epidemiologische Untersuchungen kostspielig sind. Weil sie zur Bestätigung von Hypothesen durchgeführt werden, die sich möglicherweise aus der Überwachungstätigkeit ergeben, sollten sie im Anschluss daran erfolgen.

Als weiteren wesentlichen Umstand erörterte die Arbeitsgruppe den eventuellen Einfluss örtlicher oder nationaler Unterschiede auf die Übertragung von Salmonellen aus dem Schlamm auf Nutztiere. Derartige Unterschiede betreffen unter anderem die Bevölkerungsdichte, das Auftreten von Salmonellen beim Menschen, den Anteil des vollbiologisch behandelten Abwassers, die Behandlung des Schlammes, die Befolgung der Vorschriften bei der Verwendung des Schlammes auf Böden, die landwirtschaftliche Praxis, die Bestandsdichte von Tieren und das Klima.

Die Arbeitsgruppe war sich über folgendes einig:

a) Klärschlamm enthält Salmonellen, wodurch sich die Umweltverschmutzung erhöht. Er ist jedoch nicht die einzige Quelle von Salmonellen. Der Anteil des Schlammes an der Gesamtbelastung für die Umwelt sollte mit dem Anteil der Salmonellen sonstiger Herkunft verglichen werden.

b) Der Überwachung kommt höchste Priorität zu, um das Ausmass und die wahrscheinlichen Ursachen für Salmonellosen zu ermitteln und geeignete epidemiologische Untersuchungen und Bekämpfungsmassnahmen empfehlen zu können.

c) Die Überwachung verschafft nicht unbedingt Aufschluss über das Ausmass bzw. Gewicht des Keimträgerstatus oder für dessen Bedeutung hinsichtlich der Abschätzung des auf die Umweltverschmutzung zurückzuführenden Infektionsrisikos. Sie kann jedoch die Haupttendenzen bei den Ansteckungsquellen und der Inzidenz der Infektionen mit verschiedenen Serotypen sowie die hierfür massgebenden Faktoren aufdecken.

d) Epidemiologische Forschung ist teuer und die Planung epidemiologischer Experimente meist kompliziert. Entsprechend überwachte Versuche können lediglich der Überprüfung bestimmter Hypothesen dienen und sollten im Anschluss an die Überwachung erfolgen.

e) Veränderungen im Auftreten von Erkrankungen beim Menschen sind nicht direkt abhängig von Änderungen im quantitativen Vorkommen von Salmonellen bei Tieren. Die Zusammenhänge sind kompliziert und unbekannt, ihre determinierenden Faktoren sind noch nicht ermittelt worden.

f) Die theoretisch wünschenswerte Elimination jeglicher Quellen der Umweltkontamination dürfte praktisch undurchführbar sein und in Ermangelung von Massnahmen zur Beseitigung anderer Infektionswege (z.B. Infektion im juvenilen Zustand und verunreinigte Futtermittel) keinen unmittelbaren Einfluss auf die Belastung menschlicher und tierischer Populationen mit Salmonellen haben.

g) Geeignete Bekämpfungsmassnahmen sollten sich nach den örtlichen Gegebenheiten und den zur Verfügung stehenden Mitteln richten.

h) Bei der Lebensmittelvergiftung des Menschen ist die Verunreinigung in der Küche, entweder durch infiziertes Fleisch und infizierte Molkereiprodukte oder durch infektiöse Erde, die dem Gemüse anhaftet (selbst wenn dieses später gekocht wird), ein entscheidender Faktor. Infolgedessen ist es kostenwirksam, die hygienischen Verhältnisse in der Küche zu verbessern.

Die Arbeitsgruppe nahm zur Kenntnis, dass die Teilnehmer an der WAVEH/WGO-Konferenz über Lebensmittelvergiftungen die Meinung vertreten haben, dass Salmonellen allgemein derart verbreitet sind, dass eine verbesserte Nahrungsmittelhygiene die zweckmässigste Gegenmassnahme gegen Salmonellosen beim Menschen darstellt und dass Versuche, die Salmonellen aus der Umwelt zu eliminieren, kaum Aussicht auf Erfolg haben. Dementsprechend werden drei Strategien vorgeschlagen:

1. Aufzucht salmonellenfreier Tiere: Gegenwärtig ist dies nur unter kontrollierten experimentellen Bedingungen möglich.
2. Erhitzung einschliesslich Pasteurisierung: Dieses Verfahren kann bei Milch- und Eiprodukten angewandt werden, nicht jedoch bei Nahrungsmitteln, die roh verzehrt werden.
3. Unterweisung von Lebensmittelhändlern und Küchenpersonal in Lebensmittelhygiene.

### 3.3 Parasiten

Klärschlamm, desgleichen rohes oder teilbehandeltes Abwasser enthält eine Vielzahl von Helmintheneiern und Protozoenzysten. Während der Behandlung des Abwassers kann sich ihre Anzahl durch Sedimentation verringern, was allerdings kaum ins Gewicht fällt. Spezifische Gewichte und Sinkgeschwindigkeiten von Wurmeiern und Protozoenzysten variieren, unterscheiden sich aber wahrscheinlich nicht genügend von der Dichte des Abwassers und der Auftriebskraft (Oberflächenbelastung im Rechteckbecken), um eine wirkungsvolle Sedimentation zu gewährleisten. Dennoch konzentrieren sie sich im Primärschlamm. Jene Parasiten, deren Endwirt der Mensch ist, können nur über Klärschlamm und andere fäkale Verunreinigungen in die Umwelt gelangen.

Taenia saginata: Bei Rindern hat das Larvenstadium (Zystizerkus) wirtschaftliche Verluste zur Folge, weil das Fleisch unbrauchbar bzw. in der Qualität gemindert wird. Der einzig zuverlässige Test zur Bestimmung der Lebensfähigkeit der Eier im Schlamm ist deren Fähigkeit, Rinder nach oraler Aufnahme zu infizieren. Tabelle 1, nach Angaben von Prof. H.J. Bürger, zeigt, dass Weideland 17-18 Wochen nach einer Düngung mit Schlamm, der Eier von *T. saginata* enthielt, für Versuchskälber nicht mehr infektiös ist (28).

Tabelle 1. Anzahl der Zystizerken und Vorkommen von Sarcosporidien bei der Autopsie von parasitenfreien Kälbern nach Haltung auf Grünland, das mit Klärschlamm gedüngt wurde, der Eier von *T. saginata* und Sarcosporidienzysten enthielt.

Behandlung der Fläche	Zeitraum zwischen der Schlammausbringung und der Versuchsbeweidung		
	5-6 Wochen	9-10 Wochen	17-18 Wochen
200 l Schlamm/m <sup>2</sup>	211+ 147+ 65+	15- 13- 5-	0- 0- 0-
200 l Schlamm/m <sup>2</sup> Gras nach 5-6 Wochen gemäht	NT	3+ 2+ 0-	1- 1- 1-
kein Schlamm ausgebracht	3- 2- 0-	NT	NT

+ = Sarcosporidien nachgewiesen

- = Sarcosporidien nicht nachgewiesen

NT = an Kälbern nicht untersucht

Bemerkung: Die Infektiosität des Grases wurde dadurch festgestellt, dass man drei parasitenfreie Versuchskälber jeweils zwei Wochen lang weiden liess, sie danach tötete und die Tierkörper einer eingehenden Untersuchung unterzog.

Ascaris lumbricoides und Toxocara species: Der Mensch kann durch Eier dieser beiden parasitischen Würmer infiziert werden. Endwirt von *A. lumbricoides* ist der Mensch, bei *Toxocara* sind es sowohl Hunde als auch Katzen. Das Ausmass gesundheitlicher Schäden beim Menschen durch Eier dieser beiden Organismen im Klärschlamm ist unbekannt.

Echinococcus species: In Ländern nördlich der Alpen sind sie ohne Bedeutung. In den gut bekannten Entwicklungszyklus von *E. granulosus* sind Hunde, besonders Hirtenhunde von Schafherden (Bandwurmstadium), und Schafe (Larvenstadium) mit einbezogen., Ähnlich verläuft der Entwicklungszyklus bei *E. multilocularis*, an dem Füchse und Wühlmausarten und - in den USA - Katzen und Hausmäuse beteiligt sind. Der Mensch kann als Zwischenwirt (Larvenstadium) fungieren. Von Hunden und Katzen stammende Eier können über Oberflächenwasser in Abwasserleitungen gelangen. Welche Bedeutung dies hat, ist indessen unbekannt.

Toxoplasma gondii: Infektionen durch Klärschlamm sind nur möglich, wenn Sporozysten mit Katzenkot ins Abwassersystem gelangen. Anderen Übertragungswegen, wie der direkten Infektion mit Sporozysten von Katzen und der Infektion mit Schizonten, kommt wahrscheinlich eine grössere Bedeutung zu als der Übertragung durch Schlamm.

Sarcocystis species: Trotz hoher Infektionsraten bei Rindern und Schweinen ist die Epidemiologie wenig erforscht, vor allem was die Rolle des Klärschlammes bei der Ausbreitung der Infektion anbelangt.

Nematoden des Gastrointestinaltraktes: Diese kommen in Abwässern von Schlachthöfen und landwirtschaftlichen Betrieben vor. Die Entwicklung der Eier wird unter anaeroben Bedingungen unterbrochen. Nach der Ausbringung von Klärschlamm auf Weiden können sich die Larven jedoch zur Schlüpfreife entwickeln. Schlamm fungiert als Vehikel für Infektionen bei Tieren.

Nach Ansicht der Arbeitsgruppe hat Schlamm als Vektor für folgende Parasiten eine Bedeutung: *T. saginata*, *Ascaris species*, *Toxocara species* und Sarcosporidien. Zysten von Entamoeba- und Giardia-Arten kommen ebenfalls in behandelten Abwässern vor. Alle diese Parasiten können jedoch auch auf einem anderen Weg als durch Schlamm übertragen werden. Um Infektionen durch Schlamm zu vermeiden, muss dieser entweder vor der Verwertung lange gelagert werden, oder es muss nach der Schlammausbringung eine ausreichende Karenzzeit bis zur Beweidung eingehalten werden. Beim Anbau von Gemüse oder von Kulturen, die für den Rohverzehr bestimmt sind, ist die Verwertung von Klärschlamm nicht zulässig.

Das mit der Verwendung von Schlamm verbundene Risiko parasitärer Infektionen des Menschen bedarf der näheren Bestimmung. Die Frage der Gefährdung der Haustiere durch Parasiten, die bei der Verwertung von Klärschlamm übertragen werden, gehörte nicht zum Themenkreis der Arbeitsgruppe.

### 3.4 Viren

Im Klärschlamm können folgende Gruppen von Viren enthalten sein: Enteroviren, Polioviren, Coxsackie-Viren A und B, Echoviren, Enteroviren Nr. 68-71, möglicherweise auch Hepatitis-A-Virus, Adenoviren, Reoviren einschliesslich Rotavirus, Parvoviren und Coronavirus. Enteroviren sind unter feuchten Bedingungen stabil, aber empfindlich gegen Austrocknung, während Parvoviren diese Überstehen. Es ist bisher nicht gelungen, den Hepatitis-A-Virus, Rotavirus und Coronavirus zu züchten.

Behandeltes Abwasser und Klärschlamm können Viren enthalten. Auf Obst und Gemüse sind sie nachgewiesen worden. In Dänemark verminderte sich der Gehalt an Enteroviren bei einer Ausbringung im Winter um etwa 0,5-1 logarithmische Einheit pro Monat (29). Sie werden in den oberen Bodenschichten (0,1-0,2 m) reversibel adsorbiert, und unter nordeuropäischen Klimabedingungen verbleiben sie vermutlich dort. Es bedarf einer extremen Versickerung von weichem Wasser, um sie zu eliminieren. Viren, die bei der Verwertung von Klärschlamm auf den Boden gelangt sind, erreichen normalerweise das Grundwasser nicht.

Nach Ansicht der Arbeitsgruppe lassen sich epidemiologische Studien nur schwer auswerten, weil entweder die meisten Virusinfektionen des Darms symptomlos verlaufen, das Spektrum der Symptome bei einer spezifischen Virusinfektion sehr breit ist oder das gleiche Symptom durch viele verschiedene Virusarten hervorgerufen werden kann. Am häufigsten werden Hepatitis-A-Virusinfektionen auf die Übertragung durch Wasser zurückgeführt, möglicherweise weil das Verhältnis Infektion/klinische Erkrankung geringer ist als bei Infektionen mit anderen enterotropen Viren (10 anstatt 100-1000).

Am Auftreten der kindlichen Gastroenteritis mit häufig sehr schwerem Verlauf sind normalerweise insbesondere das Rotavirus, wahrscheinlich aber auch Coronaviren und Parvoviren beteiligt. Sie führen in Entwicklungsländern zu schweren Erkrankungen, sind aber nicht auf diese Gebiete beschränkt. Über die Stabilität dieser Viren in der Umwelt ist wenig bekannt. Obwohl dem fäkal-oralen Weg bei der direkten Übertragung von Mensch zu Mensch gegenwärtig zweifellos die Hauptbedeutung zukommt, vertrat die Arbeitsgruppe die Auffassung, dass die Möglichkeit der Übertragung dieser Viren durch die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm untersucht werden sollte. Es gelang nicht, irgendwelche virologischen Probleme mit der landwirtschaftlichen Verwertung von Klärschlamm in Verbindung zu bringen, es sei denn, dass für den Rohgenuss bestimmte Kulturen mit nicht ausreichend vorbehandeltem Schlamm gedüngt wurden. Zwei Teilnehmer, Professor Lund und Dr. Bertoldi, vertraten allerdings die Auffassung, dass die Ausbreitung des Hepatitis-A-Virus durch die Düngung von Gemüse mit Abwasser und Klärschlamm (z.B. in Süditalien) und durch den Abfluss von Feldern, auf denen Schlamm nicht ordnungsgemäss ausgebracht worden war (z.B. in der Tschechoslowakei) Erwähnung finden sollte. Dass sich neuidentifizierte Viren wie das Norwalk-Agens, Rotaviren, Coronaviren und eventuell Parvoviren in der Umwelt ausbreiten und halten können, kann vorläufig nicht bestätigt werden, da es noch keine Möglichkeit zur Züchtung dieser Viren gibt. Im Hinblick auf die Bedeutung dieser Viren als Erreger von Gastroenteritiden (die wichtigste Todesursache bei Säuglingen in Entwicklungsländern) darf bei der Beurteilung der landwirtschaftlichen Verwertung von Klärschlamm diese Möglichkeit nicht unterschätzt werden.

### 3.5 Pilze

Von den Pilzen, die sich aus Klärschlamm isolieren lassen, können folgende Gruppen den Menschen infizieren oder Allergien hervorrufen: a) Hefepilze - *Candida albicans*, *C. krusei*, *C. tropicalis*, *C. guilliermondii*, *Cryptococcus neoformans*, *Trichosporon species*; und b) Fadenpilze - *Aspergillus species*, *A. fumigatus*, *Phialophora richardsii*, *Geotrichum candidum*, *Trichophyton species*, *Epidermophyton species*.

*Trichophyton* und *Epidermophyton* rufen Hautinfektionen (z.B. Scherpilzflechte, Dermatophytose der Füße) hervor. *Cryptococcus* befällt die Schleimhäute, besonders bei Vaginitis. *Trichosporon*-Arten befallen die Haarfollikel. Das Problem bei der Beurteilung der Gefährdung, die von einigen Fadenpilzen ausgeht, besteht darin, dass sie zwar normale Bodenorganismen sind, sich aber während der Lagerung des getrockneten Schlammes oder während der Kompostierung vermehren und Unmengen von Sporen oder toxische Stoffwechselprodukte erzeugen. Sporen von *Aspergillus* und verwandten Arten, besonders von *A. fumigatus*, verursachen beim Menschen nach Inhalieren schwere respiratorische Symptome allergischer Natur (Farmerlunge) und lösen allergische Reaktionen aus. *Phialophora* ist einer von mehreren Pilzen und Aktinomyzeten, die man bei tiefsitzenden Infektionen der Füße (Madurafuss) findet. *G. candidum* ist ein fakultativer Bewohner der Mundhöhle und anderer Schleimhäute. Man findet ihn häufig in Belebtschlamm. Auch in Milch und anderen Nahrungsmitteln ist er nachweisbar. Seine Bedeutung ist unklar. Einige *Aspergillus*-Arten können während des Wachstums Mycotoxine wie z.B. Aflatoxin produzieren. Diese Pilze und Hefen können im Abwasser und in allen Stadien der Schlammbehandlung nachgewiesen werden. Man sollte sie deshalb bei Betrachtung der Einflüsse der landwirtschaftlichen Schlammverwertung auf die menschliche Gesundheit nie ausser acht lassen.

Nach Ansicht der Arbeitsgruppe lässt sich die Bedeutung dieser Organismen für die Gesundheit der Bevölkerung nur schwer einschätzen. Schimmelpilze gehören zu jenen Organismen, die in der Umwelt allgemein verbreitet sind und in Futtermitteln und geerntetem Getreide vorkommen. Durch Schlammpasteurisierung ist deshalb wegen der leichten Rekontaminationsmöglichkeit den Problemen, die sie mit sich bringen, in keiner Weise beizukommen. Die Hauptgefahr für den Menschen bilden Sporen, die durch die Luft verbreitet werden, wobei die grössten Gefahren von Kompostierungs- oder Schlamm-trocknungsanlagen ausgehen. Ein in Beltsville, Maryland, USA, durchgeführtes Experiment, über das Dr. Farrell berichtete, hat jedoch gezeigt, dass die Anwohner durch die Kompostierung in keiner Weise gefährdet werden; die einzige Massnahme zur Gesundheitsvorsorge besteht in der sorgfältigen Anamnese im Hinblick auf Asthma bei neu einzustellenden Mitarbeitern.

### 3.6 Sonstige pathogene Organismen

Die Arbeitsgruppe konnte die Aufzählung der bisher besprochenen Krankheitserreger nicht ergänzen.

### 4. Langzeitanwendung von Klärschlamm und Abwasser

Die Arbeitsgruppe nahm zur Kenntnis, dass Abwasser seit mehr als hundert Jahren landwirtschaftlich genutzt wird, ohne dass etwaige nachteilige Folgen für die menschliche Gesundheit bekannt geworden sind. Abwasser wurde auf Böden gegeben, die der Rinderhaltung, dem Anbau von Getreide, Gemüse, Zitrusfrüchten oder als Parkland dienten. Andererseits besteht Klarheit darüber, dass infizierte Lebensmittel, die roh in die Küche gebracht und dort weiter verarbeitet werden, Hauptursache von Salmonellenerkrankungen des Menschen sind. Jede gegenteilige Auffassung bedarf der Nachprüfung. Die Arbeitsgruppe vertrat die Ansicht, dass der tatsächliche Befall von Rindern mit Zystizerkose in Gebieten, wo Abwasser verwertet und wo das Vieh nach auswärts verkauft wurde, u.U. unterschätzt werden kann, wenn man die Herkunft der Tiere nicht berücksichtigt. Experimentelle Untersuchungen in Victoria, Australien, wo der Rinderbandwurm endemisch ist, zeigten, dass unter T.-saginata-freien Bedingungen gehaltene Rinder mit Zystizerken infiziert wurden, wenn man sie auf Weiden hielt, die mit Abwasser bzw. Abläufen von Tropfkörper- oder Belebtschlammanlagen bewässert worden waren, nicht aber bei Verwendung der Abläufe von Klärteichen, in denen die Taenien-Eier durch Sedimentation entfernt werden (30). Es ist ebenfalls bemerkenswert, dass das Auftreten von Salmonellen beim Menschen mit der Erhöhung des Lebensstandards zugenommen hat, obgleich die landwirtschaftliche Verwertung von Abwasser zurückgegangen ist. Die Abwasserlandbehandlung und Schlammausbringung werden im allgemeinen angemessen überwacht, und es überrascht kaum, dass beide Massnahmen auf den Gesundheitszustand des Menschen nur geringen Einfluss haben. Im Gegensatz hierzu steht das bekannte Problem der Schistosomiose im östlichen Mittelmeergebiet und im Westpazifikraum, wo nach wie vor Fäkalien zur Düngung der Reisfelder verwendet werden, und die Infektion erfolgt, wenn die Bauern mit nackten Beinen in den überfluteten Feldern stehen.

Nach allgemeiner Meinung der Arbeitsgruppe konnte durch zahlreiche medizinische Untersuchungen und Beobachtungen nicht nachgewiesen werden, dass die Abwasserverwertung und Schlammausbringung noch ein ernstes Gesundheitsproblem darstellen, wenn die erforderlichen Vorsichtsmassnahmen eingehalten werden; bei entsprechender Überwachung ist es durchaus möglich, Abwasser landwirtschaftlich zu verwerten. Ohne derartige Vorsichtsmassnahmen ist mit örtlich begrenzten Auswirkungen auf die Gesundheit zu rechnen, zumal die Bevölkerung der Entwicklungsländer ohnehin stark mit parasitären Infektionen durchseucht ist und die Verwendung von Fäkalien als Dünger eine eindeutig feststellbare Gefährdung darstellt. Bezüglich der Qualität der Versuchsplanung und der analytischen Methoden zur quantitativen Virusbestimmung in den angeführten Beispielen äusserten sich einige Teilnehmer zurückhaltend.

### 5. Gefahren für die menschliche Gesundheit durch die landwirtschaftliche Verwendung von Klärschlamm

Die Arbeitsgruppe nahm zur Kenntnis, dass auf einem Seminar über tierische Abfallstoffe im November 1980 in Hannover nur eine zwingende Schlussfolgerung gezogen wurde: dass Parasiteneier eine Gefahr für Tiere darstellen.

Eine direkte Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit infolge der Schlammausbringung kann nicht nachgewiesen werden, obgleich die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm zunimmt, weil neue Abwasserbehandlungsanlagen entstehen und andere Möglichkeiten der Beseitigung zu teuer oder nicht vorhanden sind. Es gibt gewisse Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der Schlammausbringung und der Herausbildung von Salmonellenträgern bei Rindern und Schweinen. Daraus kann bei Kontamination von Fleisch, Milch, Milchprodukten und der Arbeitsflächen in der Küche eine Bedrohung für die menschliche Gesundheit erwachsen. Zweifellos besteht seit vielen Jahren ein Zusammenhang zwischen der Schlammverwertung und der Übertragung der Zystizerkose auf Rinder und

infolgedessen von *Taenia saginata* auf den Menschen. Die Fleischbeschau bietet sehr unvollkommenen Schutz vor dieser Übertragung, weil bei diesem Verfahren nur ein Bruchteil der infizierten Tierkörper erfasst werden kann. Abgesehen von diesen beiden pathogenen Organismen gab es keine Hinweise darauf, dass Klärschlamm ein Vehikel für die Übertragung von Krankheiten auf den Menschen darstellt.

Der Unterschied zwischen Gefährdung und tatsächlichem Risiko bedarf der Definition. Da Klärschlamm stets eine Vielzahl pathogener Keime enthält, stellt er eine potentielle Gesundheitsgefahr dar. Ein tatsächliches Gesundheitsrisiko hängt jedoch von einer Anzahl örtlicher Faktoren und besonderen Umständen ab und muss für jeden besonderen Fall definiert werden. Ein extremes Beispiel: Die Salmonellose bei Milchkühen stellt eine (potentielle) Gefahr für die menschliche Gesundheit dar, aber das Risiko durch den Genuss der Milch kann mittels Pasteurisierung ausgeschlossen werden. Generell enthält Abwasserschlamm pathogene Organismen, die eine (potentielle) Gesundheitsgefahr darstellen, ein tatsächliches Risiko stellen sie aber erst dann dar, wenn die Verhältnisse es zulassen, dass die aufgenommene Anzahl für eine Infektion gross genug ist. Gute Lebensmittelhygiene vermindert das Risiko. Für den öffentlichen Gesundheitsschutz sind zwei Feststellungen von Bedeutung, die auf dem Zweiten Europäischen Symposium über Kennzeichnung, Behandlung und Verwendung von Abwasserschlamm getroffen wurden, und zwar: "Auch wenn technisch möglich, kann ökonomisch und praktisch das Risiko nicht gleich Null werden" und "hinreichende Unbedenklichkeit kann nicht absolut ausgedrückt werden, sondern hängt von einer Reihe ökonomischer, politischer und geographischer Faktoren ab".

Die Arbeitsgruppe bemerkte, dass im Hinblick auf Erkrankungen der Unterschied zwischen sterilisiertem und nicht sterilisiertem Schlamm praktisch unbedeutend ist, da zahlreiche alternative Quellen für die Kontamination der Umwelt vorhanden sind. Wegen der Übertragung von Tier zu Tier und des Vorhandenseins von Keimträgern in den Viehherden würde die Beseitigung der Kontamination durch Schlamm keine unmittelbar nachweisbare Wirkung auf die Gesundheit der Bevölkerung haben, noch nicht einmal in Gebieten, in denen ein ursächlicher Zusammenhang zwischen Krankheiten und der Schlammverwertung auf Böden besteht, und es könnte etliche Jahre dauern, die Infektionsrate bei Tieren nennenswert zu senken. Wenn andere ins Gewicht fallende Verunreinigungsquellen vorhanden sind, würde sich die Beseitigung des Vektors Schlamm höchstens geringfügig auf das Risiko auswirken. Die landwirtschaftliche Verwertung des Schlamms schliesst das Risiko ein, dass Nutztiere zu Trägern von Salmonellen oder mit *Zystizerkus bovis* infiziert werden. Durch entsprechende agrotechnische Methoden kann dieses Risiko allerdings stark vermindert werden. Ein hohes Risiko kann ein Verbot der landwirtschaftlichen Schlammverwertung angeraten erscheinen lassen. Durch thermische Behandlung des Schlamms (z.B. durch eine 30 Minuten lange Pasteurisierung bei 65-70° C oder gleichwertige Behandlung), durch Kalkzusatz (zur Abtötung der Salmonellen) oder durch das Einhalten von Lagerzeiten bzw. Karenzzeiten vor der Beweidung kann die Kontamination der Umwelt eingeschränkt werden.

Die Arbeitsgruppe erwog keine weltweiten Empfehlungen, da je nach den lokalen Gegebenheiten und sonstigen Umständen von Fall zu Fall unterschiedliche Massnahmen notwendig sind, um das Problem hinreichend zu verringern. Die Erarbeitung und Durchführung geeigneter Bekämpfungsmassnahmen muss örtlich entschieden werden.

#### 6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Klärschlamm enthält eine Vielzahl von pathogenen Organismen, darunter Bakterien, Viren, Parasiten und Pilze, und spiegelt damit die Präsenz dieser Organismen in der menschlichen oder tierischen Population wider, aus der das Abwasser stammt. Die Verwendung dieses Schlamms auf landwirtschaftlichen Nutzflächen für Ackerbau und Beweidung ist häufig ein billiges Beseitigungsverfahren, das Pflanzennährstoffe liefert und zur Verbesserung der Bodeneigenschaften beitragen kann, zugleich aber zu einer Verbreitung pathogener Organismen in der Umwelt führt. An dem Gesamtrisiko für die Gesundheit von Mensch und Tier sind jedoch eine Reihe weiterer Quellen und Übertragungsmöglichkeiten beteiligt. Das zusätzliche Risiko, das sich aus der jeweiligen Methode der Schlammverwertung ergibt, muss deshalb stets vor diesem Hintergrund beurteilt werden. Es ist indessen ausserordentlich schwierig und kostenaufwendig, das Risiko mittels mikrobiologischer und epidemiologischer Methoden abzuschätzen. Das auf die Schlammverwertung zurückzuführende Risiko für die Gesundheit der Bevölkerung kann dennoch durch eine geeignete Behandlung und Nutzung des Landes eingeschränkt werden. Es wäre unrealistisch, eine drastische oder rasche Minderung des Auftretens von Erkrankungen zu erwarten, solange andere bedeutsame Quellen der pathogenen Organismen unbeeinflusst bleiben.

Das für eine bestimmte Population annehmbare Risiko hängt von verschiedenen Faktoren ab. Hierzu gehören der Gesundheitszustand der dortigen Bevölkerung, die Bodenart, die Temperatur, die Feuchtigkeit, der Niederschlag, der Grundwasserspiegel, die Methoden des Ackerbaus und der Viehzucht und die Art und Weise, auf die der Schlamm sicher transportiert und auf dem Land ausgebracht

werden kann. Dieses annehmbare Risiko lässt sich nicht in absoluten Werten ausdrücken; das Gesundheitsrisiko für die Allgemeinheit kann jedoch durch die Anwendung von zweckdienlichen, den örtlichen Gegebenheiten angepassten Vorschriften eingeschränkt werden.

Salmonellen, die zu Lebensmittelvergiftungen führen können, stellen eines der Risiken für die menschliche Gesundheit dar, die durch die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm, der diese Organismen enthält, vergrößert werden können. Trotz noch ausstehender epidemiologischer Beweise ist nachgewiesen worden, dass Rinder, die Kontakt mit derartigem Schlamm haben, eher Salmonellen-träger werden als überwachtetes Vieh. *T. saginata* ist ein typischer Parasit des Menschen. Bei Befall werden die Eier mit den Fäkalien ausgeschieden. Sie können durch Abwasserschlamm verbreitet werden und auf diese Weise Rinder infizieren, wobei die nachfolgende Entwicklung von Zystizerken ein Infektionsrisiko für den Menschen darstellt. Salmonellen und Eier von *Taenia saginata* können im Klärschlamm durch verschiedene Arten der thermischen Behandlung, durch ionisierende Strahlen oder Langzeitlagerung beseitigt oder vermindert werden. Im Gegensatz zu Salmonellen sind die Eier von *Taenia saginata* gegen chemische Desinfektionsmittel resistent.

Das Risiko für die Gesundheit der Bevölkerung durch andere pathogene Organismen scheint in den meisten der untersuchten Gebiete geringer zu sein als das durch Salmonellen und Taenien. Indessen ist das potentielle Risiko durch Viren und Parasiten wie *Sarcocystis* bisher noch nicht ausreichend untersucht worden. So kann z.B. das Vorhandensein des Hepatitis-A-Virus im Klärschlamm ein zusätzliches Risiko in Gebieten darstellen, wo diese Infektion häufig auftritt.

Auf der Grundlage ihrer Diskussionen hat die Arbeitsgruppe folgende Empfehlungen ausgesprochen:

1. Bevor Klärschlamm mit Kulturen wie Frischgemüse oder Obst, die in rohem Zustand in die Küche gebracht werden, in Berührung kommt, sollten Massnahmen zur wesentlichen Verminderung seines Gehaltes an pathogenen Keimen ergriffen werden.

2. Klärschlamm, der pathogene Organismen enthält, die Fleisch, Geflügel oder Milchprodukte verunreinigen oder sich in diesen vermehren können, sollte auf Böden, auf denen Nutztiere gehalten werden, nicht ohne angemessene Karenzzeit zwischen der Ausbringung und der Beweidung ausgebracht werden.

3. Um eine relativ uneingeschränkte Verwendung des Klärschlammes zu gewährleisten, sollten folgende Desinfektionsverfahren angewendet werden:

- a) thermische Behandlung, z.B. 30 Minuten bei 70° C, thermophile Kompostierung oder Hitzetrocknung
- b) Behandlung mit ionisierenden Strahlen, mit mindestens 5 kGy
- c) Lagerung für einen Zeitraum, der im umgekehrt proportionalen Verhältnis zu der vorherrschenden Temperatur steht
- d) Behandlung mit Chemikalien, die die Organismen im Schlamm abtöten.

4. Wenn kein direkter Kontakt mit frischen Lebensmitteln, die im rohen Zustand in die Küche gelangen, zu befürchten ist, können anaerober Abbau oder andere Stabilisierungsverfahren in beschränktem Umfang angewendet werden, unter der Voraussetzung, dass dabei eine Rekontamination weitgehend vermieden wird.

5. Einheitliche Vorschriften für grössere Gebiete sollten nicht ohne Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten erlassen werden.

6. Sorgfältig geplante epidemiologische Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen der Schlammverwertung und der Gesundheit der Bevölkerung sollten gefördert werden.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Klein, L. [Die Umweltpolitik der Europäischen Gemeinschaft und die landwirtschaftliche Verwertung von Abfall] (in Französisch). In: L'Hermite, P. & Ott, H., ed. Proceedings of the Second European Symposium on Characterisation, Treatment and Use of Sewage Sludge, Vienna, 20-24 October 1980. Dordrecht, Reidel Publishing Co., 1981.
2. Merkblatt Nr. 7. Die Behandlung und Beseitigung von Klärschlämmen unter besonderer Berücksichtigung ihrer seuchenhygienisch unbedenklichen Verwertung im Landbau. Bundesgesundheitsblatt, 15(15/16): 234-237 (1972).
3. Wachnik, Z. Występowanie chorób zakaźnych u zwierząt gospodarskich na terenach nawadnianych wodami ściekowymi Wrocławia [Infektionskrankheiten bei Vieh auf Flächen, die mit Abwasser der Stadt Wrocław besieelt werden]. Wiadomości Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych, 2: 127-129 (1964).
4. Jankiewicz, L. Przeżywalność jaj *Ascaris* na glebach nawadnianych ściekami sanitarnymi [Überlebensrate von *Ascaris* in Böden, die mit Fäkalienabwasser besieelt wurden]. Zeszyty naukowe Wyższej Szkoły Rolniczej we Wrocławiu, Melioracja, 15(90) (1970).
5. Jankiewicz, L. Próba określenia żywotności jaj glisty *Ascaris suis* na powierzchni gleby [Versuch der Bestimmung der Lebensfähigkeit von Eiern des Spulwurms *Ascaris suis* an der Bodenoberfläche]. Zeszyty naukowe Wyższej Szkoły Rolniczej we Wrocławiu, Melioracja, 12(73) (1967).
6. Sewage sludge disposal data and reviews of disposal to sea: report of the Standing Committee on Disposal of Sewage Sludge [Angaben zur Klärschlammabeseitigung und Berichte über Ableitung ins Meer: Bericht des Ständigen Ausschusses für Klärschlammabeseitigung]. London, Department of the Environment and National Water Council, 1978 (Standing Technical Committee Report No. 8).
7. Report of the Working Party on Disposal of Sewage Sludge to Land [Bericht der Arbeitsgruppe für Klärschlammabeseitigung auf Land]. London, Department of the Environment and National Water Council, 1977 (Standing Technical Committee Report No. 5).
8. Criteria for classification of solid waste disposal facilities and practices [Kriterien zur Klassifizierung von Einrichtungen und Praktiken der Beseitigung fester Abfallstoffe]. United States federal register, 44: 53438-53468 (1979).
9. Lue-Hing, C. et al. Microbial content of sludge, soil and water at a municipal sludge application site [Mikrobengehalt des Schlammes, Bodens und Wassers auf einem kommunalen Schlammverwertungsgelände]. Chicago, Metropolitan Sanitary District of Greater Chicago, Department of Research and Development, 1981 (report No. 80-27).
10. Bertucci, J.J. et al. Inactivation of viruses during anaerobic sludge digestion. [Inaktivierung von Viren während des anaeroben Abbaus des Schlammes]. Journal of the Water Pollution Control Federation, 49: 1642-1651 (1977).
11. Alderslade, R. The problems of assessing possible hazards to the public health associated with the disposal of sewage sludge to land: recent experiences in the United Kingdom [Die Probleme der Beurteilung möglicher Gefahren für die öffentliche Gesundheit im Zusammenhang mit der Klärschlammabeseitigung auf Land: neueste Erfahrungen im Vereinigten Königreich]. In: L'Hermite, P. & Ott, H., ed. Proceedings of the Second European Symposium on Characterisation, Treatment and Use of Sewage Sludge, Vienna, 20-24 October 1980. Dordrecht, Reidel Publishing Co., 1981, S. 372-388.
12. Notermans, S. et al. Toxin production by *Clostridium botulinum* in grass [Toxinproduktion durch *Clostridium botulinum* im Gras]. Applied and environmental microbiology, 38(5): 767-771 (1979).
13. Notermans, S. et al. Persistence of *Clostridium botulinum* Type B on a cattle farm after an outbreak of botulism [Fortbestand von *Clostridium botulinum* Typ B auf einer Rinderfarm nach Ausbruch von Botulismus]. Applied and environmental microbiology, 41: 179-183 (1981).
14. Kampelmacher, E.H. & van Noorle Jansen, L.M. Occurrence of *L. monocytogenes* in effluents [Auf-treten von *L. monocytogenes* in Abwässern]. In: Woodbine, M. Problems of listerioses. Leicester, University of Leicester Press, 1974, S. 66-70.

15. Hess, E. & Breer, C. Salmonellenepidemiologie und Grünlanddüngung mit Klärschlamm. Zentralblatt für Bakteriologie und Hygiene, I. Abt. Originale B, 161: 54-60 (1975).
16. Hess, E. & Breer, C. Sanitary effect of gamma irradiation of sludge [Hygienewirkung der Gammastrahlung von Klärschlamm]. In: Proceedings of a Symposium on Radiation for a Clean Environment, Munich, 17-21 March 1975. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1975, S. 203-208.
17. Breer, C. et al. Soll Klärschlamm vor oder nach Ausfaulen pasteurisiert werden? Gas, Wasser, Abwasser, 59(7): 323-328 (1979).
18. Edel, W. et al. Salmonella and salmonellosis - the present situation [Salmonella und Salmonellose - die gegenwärtige Situation]. In: Proceedings of the International Symposium on Salmonella and Prospects for Control, University of Guelph, 8-11 June 1977. Guelph, University of Guelph, 1977, S. 1-26.
19. Edel, W. et al. Epidemiological studies on Salmonella in a certain area ("Walcheren Project"). I. The presence of Salmonella in man, pigs, insects, seagulls and in foods and effluents [Epidemiologische Studien zu Salmonella in einem bestimmten Gebiet ("Walcheren-Projekt")]. I. Vorhandensein von Salmonella beim Menschen, bei Schweinen, Insekten, Seemöwen sowie in Lebensmitteln und Abwässern]. Zentralblatt für Bakteriologie und Hygiene, I. Abt. Originale A, 325: 474-484 (1976).
20. Edel, W. et al. Salmonella cycles in foods with special reference to the effects of environmental factors, including feeds [Salmonellenzyklen in Lebensmitteln unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses von Umweltfaktoren einschließlich Futtermittel]. Canadian Institute of Food Science and Technology journal, 6: 64-67 (1973).
21. Edel, W. et al. Epidemiological studies on Salmonella in a certain area ("Walcheren Project"). III. The presence of Salmonella in man, insects, seagulls, and in foods, chopping-block scrapings from butcher's shops, effluent of sewage treatment plants and drains of butcher's shops [Epidemiologische Studien zu Salmonella in einem bestimmten Gebiet ("Walcheren-Projekt"). III. Das Vorhandensein von Salmonella beim Menschen, bei Insekten, Seemöwen sowie in Lebensmitteln, Hackstockabfällen aus Fleischereien, Abwässern von Abwasserbehandlungsanlagen und im Spülwasser von Fleischereien]. Zentralblatt für Bakteriologie und Hygiene, I. Abt. Originale A, 242: 468-480 (1978).
22. Kampelmacher, E.H. Spread and significance of salmonellae in surface water in the Netherlands [Verbreitung und Bedeutung der Salmonellen in Oberflächenwasser in den Niederlanden]. In: Hoadley, A.W. & Dutka, B.J., ed. Bacterial indicators/health hazards associated with water. Philadelphia, American Society for Testing and Materials, 1977, S. 148-158.
23. Animals, diseases of animals. The Zoonoses Order 1975 [Tiere, Tierkrankheiten. Die Zoonosen-Verordnung 1975]. London, Her Majesty's Stationery Office, 1975 (Statutory Instrument No. 1030).
24. McCoy, J.H. Trends in salmonella food poisoning in England and Wales 1941-72 [Tendenzen bei Lebensmittelvergiftungen durch Salmonella in England und Wales 1941-72]. Journal of hygiene (London), 74: 271-282 (1975).
25. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Welsh Office Agriculture Department, Department of Agriculture and Fisheries for Scotland. Animal salmonellosis [Salmonellose bei Tieren] (reports under the Zoonoses Order, 1975, 1978 annual summary). Weybridge, Central Veterinary Laboratory, 1978.
26. Pike, E.B. The control of salmonellosis in the use of sewage sludge on agricultural land [Die Salmonellenbekämpfung bei der Verwertung von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Nutzflächen]. In: L'Hermite, P. & Ott, H., ed. Proceedings of the Second European Symposium on Characterisation, Treatment and Use of Sewage Sludge, Vienna, 20-24 October 1980. Dordrecht, Reidel Publishing Co., 1981, S. 315-329.
27. Hess, E. Salmonellen in Klärschlamm. In: L'Hermite, P. & Ott, H. ed. Proceedings of the Second European Symposium on Characterisation, Treatment and Use of Sewage Sludge, Vienna, 20-24 October 1980. Dordrecht, Reidel Publishing Co., 1981, S. 404-407.
28. Wilkens, S. Untersuchungen über die Ansteckungsmöglichkeiten von Rindern mit Taenia saginata und Sarcocystis spp. auf Abwasserverregnungsflächen und über das Absetzverhalten von Helmintheneiern in vitro. Dissertation, Hannover, 1981.

29. Damgaard-Larsen, S. et al. Survival and movement of enterovirus in connection with land disposal of sludges [Überleben und Ortsveränderung von Enterovirus im Zusammenhang mit Klärschlammabeseitigung auf Land]. Water research, 11: 503-508 (1977).
30. Arundel, J.H. & Adolph, A.J. Preliminary observations on the removal of Taenia saginata eggs from sewage using various treatment processes [Vorläufige Beobachtungen zur Beseitigung von Taenia-saginata-Eiern aus Abwasser mittels verschiedener Behandlungsverfahren]. Australian veterinary journal, 56: 492-495 (1980)

Anhang

TEILNEHMERVERZEICHNIS

BERATER AUF ZEIT

- Dr. R. Alderslade, Medizinalbeamter, Ministerium für Gesundheit und soziale Sicherheit, London, Vereinigtes Königreich
- Dr. G.I. Barrow, Direktor, Environmental Hygiene Reference Laboratory, Public Health Laboratory Services, Zentrum für Mikrobiologie und Forschung, Salisbury, Vereinigtes Königreich
- Dr. M. de Bertoldi, Institut für landwirtschaftliche Mikrobiologie, Universität Pisa, Italien
- Dr. C. Breer, Institut für Veterinärhygiene, Universität Zürich, Schweiz
- Prof. Dr. H.J. Bürger, Institut für Parasitologie, Veterinär-medizinische Universität Hannover, Bundesrepublik Deutschland
- Dr. J.S. Cebula, Leiter, Abt. Abwasser und Klärschlamm, Institut für Meteorologie und Wasserwirtschaft, Wrocław, Polen
- Dr. J.B. Farrell, Leiter, Ultimate Disposal Section, Wastewater Research Division, Municipal Environmental Research Laboratory, Umweltschutzbehörde der USA, Cincinnati, USA
- T.R. Graham, Chemie-Inspektor, Water Directorate, Amt für Umweltschutz, London, Vereinigtes Königreich
- Prof. Dr. E.H. Kampelmacher, Direktor, Nationales Institut für öffentliches Gesundheitswesen, Bilthoven, Niederlande (Vorsitzender)
- Dr. C. Lue-Hing, Direktor, Forschung und Entwicklung, The Metropolitan Sanitary District of Greater Chicago, Chicago, Illinois, USA
- Prof. Dr. Ebba Lund, Leiter, Abt. Veterinärvirologie und Immunologie, Königliche Veterinär-medizinische und Landwirtschaftliche Universität, Kopenhagen, Dänemark (stellvertretender Vorsitzender)
- Dr. E.B. Pike, Manager, Abt. Mikrobiologie, Stevenage Laboratory, Wasserforschungszentrum, Stevenage, Vereinigtes Königreich (Berichterstatler)
- Dr. J. Vial, stellv. Direktor, Pasteur-Institut, Lyon, Frankreich

VERTRETER VON ANDEREN ORGANISATIONEN

Kommission der Europäischen Gemeinschaft

M. L. Klein, Environment and Consumer Protection Service, Brüssel, Belgien

WELTGESUNDHEITSORGANISATION

Regionalbüro für Europa

Dr. R.B. Dean, Berater, Erkennung und Bekämpfung von Umweltgefahren (Sekretär)