

**Wurmkompostierung
bei der Behandlung
medizinischer Abfälle**

als Studienarbeit

im Bachelorstudiengang Infrastruktur und Umwelt

Bauhaus-Universität Weimar

Professur Abfallwirtschaft

Bearbeiter: Dipl.-Forsting.(FH) Daniel Meyer

Betreuer: Dr.-Ing. Jürgen Martens

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	3
Abkürzungsverzeichnis.....	4
1. Einleitung und Zielstellung.....	5
2. Definitionen.....	6
3. Medizinische Abfälle.....	9
3.1. Rechtliche Regelungen.....	9
3.1.1. Struktureller Aufbau.....	9
3.1.2. Internationale Vereinbarungen.....	10
3.2. Erzeugung.....	11
3.3. Vermeidung.....	11
3.4. Trennung.....	11
3.5. Behandlung.....	13
3.5.1. Verbrennung.....	13
3.5.2. Chemische Desinfektion.....	15
3.5.3. Nass- und trockenthermische Verfahren.....	16
3.5.4. Mikrowellenstrahlung.....	18
3.5.5. Inertisierung.....	19
3.5.6. Einkapselung.....	20
3.5.7. Vergleich der Behandlungsmethoden.....	21
3.6. Verwertung.....	22
3.7. Deponierung.....	22
4. Wurmkompostierung.....	26
4.1. Bisherige Anwendungen.....	26
4.2. Würmer für die Wurmkompostierung.....	27
4.3. Beziehungen zwischen Erdwürmern und Mikroorganismen.....	30
4.4. Pathogene.....	31
4.5. Schwermetalle.....	32
5. Wurmkompostierung für Medizinische Abfälle.....	34
5.1. Bisherige Erfahrungen.....	34
5.2. Potentiale.....	35
6. Zusammenfassung.....	38
Quellenangaben.....	39

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1: Der Einfluss von Zeit und Temperatur auf ausgewählte Pathogene (FAECHEM et al. 1983).....	7
Abb. 2: Hausmülllager eines indischen Hospitales (WWF 2004).....	12
Abb. 3: Vereinfachtes Fließschema einer Verbrennungsanlage (nach WHO 1999) .	13
Abb. 4: Verbrennungstonne (nach Dunsmore 1986, aus WHO 1999).....	15
Abb. 5: Schema eines Autoklaven (HCWH 2002).....	17
Abb. 6: Schema der „Screw-feed“ Technik (WHO 1999).....	18
Abb. 7: Schema einer Mikrowelleneinheit (SANITEC 2007).....	19
Abb. 8: Schematische Darstellung einer Einkapselung (SAVAGE & DIAZ 2005).....	20
Abb. 9: Multibarrierenkonzept nach TASI in Deutschland (KRAFT 2002).....	23
Abb. 10: Aleibadeiya Müllkippe, Jerusalem (INCO 2005).....	23
Abb. 11: Schema einer Grube für gefährliche medizinische Abfälle (WHO 1999).....	24
Abb. 12: Schema einer Abfallgrube auf Hospitalgelände (SAVAGE & DIAZ)	25
Abb. 13: Eisenia fetida (public domain, Mihai Duguleana).....	28
Tab. 1: Ebenen rechtlicher Regelungen zu medizinischen Abfällen am Beispiel Deutschlands.....	9
Tab. 2: Abfallarten aus dem Gesundheitswesen (Datenquelle: WHO 1999).....	12
Tab. 3: Empfohlene Farbcodierung für medizinische Abfälle (WHO 1999).....	12
Tab. 4: Probleme durch Verbrennungsanlagen im Gesundheitswesen (nach CONNET 1997).....	14
Tab. 5: Vergleich von Behandlungsmethoden für medizinische Abfälle.....	21
Tab. 6: Einteilung von Erdwürmern (BLAKEMORE 2000).....	27
Tab. 7: Einige als Kompostwürmer verwendete Arten (Datenquelle: BLAKEMORE 2000).....	28
Tab. 8: Optimale Bedingungen für die Vermehrung von Eisenia fetida und Eisenia andrei in organischen Abfällen (DOMÍNGUEZ & EDWARDS 2004).....	29
Tab. 9: Einige Daten zu Eisenia fetida und Eisenia veneta (Datenquelle: DOMÍNGUEZ & EDWARDS 2004).....	29

Abkürzungsverzeichnis

C:N:P	Kohlenstoff : Stickstoff : Phosphor
GAIA	Global Anti-Incinerator Alliance
HCWH	Healthcare Without Harm
MPN	Most Probable Number (eine Variante des Titerverfahren)
PCDF	Polychlorierte Dibenzofurane
POP	Persistent organic pollutant
PVC	Polyvinylchlorid
TASi	Technische Anleitung Siedlungsabfall
USEPA	US Environmental Protection Agency
WHO	World Health Organization

1. Einleitung und Zielstellung

Über die gesundheitlichen Auswirkungen durch die Belastung mit medizinischen Abfällen liegt besonders im Fall von Entwicklungsländern sehr wenig Material vor. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Belastungen durch infektiöse, toxische und radioaktive Bestandteile bei nicht sachgerechtem Umgang erheblich sind. (WHO 1999) Die Problematik der sachgerechten Entsorgung ist in vielen Ländern nicht gelöst.

Diese Arbeit untersucht über eine Literaturlauswertung die Frage, inwieweit der biologisch abbaubare, als gefährlich eingestufte, Anteil der Abfälle aus dem Gesundheitswesen mittels Wurmkompostierung behandelbar ist und welche Hygienisierungsleistung erreicht werden kann. Dabei wird besonders auf den Vergleich zwischen der Leistungsfähigkeit bereits angewandter Verfahren und der potentiellen Leistungsfähigkeit der Wurmkompostierung eingegangen. Es soll recherchiert werden, ob diese spezielle Art der Kompostierung eine weitere, möglichst kostengünstige Behandlungsoption für gefährlichen medizinischen Abfall darstellt.

2. Definitionen

In dieser Arbeit werden viele Begriffe verwendet, die je nach Betrachtung verschieden definiert werden können. Um Missverständnissen entgegenzuwirken, werden im Folgenden einige Definitionen aus der Literatur aufgeführt, welche für diese Arbeit gelten sollen. Des Weiteren werden durch den Autor einige Begriffe im Rahmen dieser Arbeit genauer in ihrer Bedeutung festgelegt.

Medizinische Abfälle umfassen laut WHO (1999) alle Abfälle aus jeglichen Einrichtungen des Gesundheitswesens, wozu auch Forschungseinrichtungen und Labore gezählt werden. 75-90% dieser Abfälle sind mit häuslichem Abfall vergleichbar und können getrennt auch auf diesen Weg entsorgt werden. Der Rest wird als gefährlicher Abfall eingestuft.

Sterilisation bedeutet das Abtöten (STEUER et al. 1998) oder Entfernen aller Organismen in allen Formen (JANTZEN & STRAUCH 1987, HAUG 1993). Da keine absolute Sicherheit bei der Entfernung gegeben ist, soll laut Definition eine Verringerung aller Organismen um einen Faktor 10^6 sichergestellt werden. Auf chemischem Wege kann dies durch Gassterilisation mit Ethylenoxid oder anderen Gasen bzw. durch das Eintauchen in Desinfektionslösungen mit sterilisierenden Eigenschaften, wie z.B. Glutaraldehyd erreicht werden. Auf physikalischem Weg ist eine Sterilisation durch Gammastrahlung, durch die Wirkung von Hitze oder durch eine mechanische Trennung mittels Filtration zu erreichen. (WHO 1999)

Desinfektion bedeutet nach JANTZEN & STRAUCH (1987) und STEUER et al. (1998), unbelebtes oder lebendes Material in einen Zustand zu versetzen, in dem es nicht mehr infektiös ist. Laut WHO (1999) ist der Terminus Desinfektion nicht eindeutig definierbar, da die Aktivität eines desinfizierenden Prozesses stark schwanken kann. Bei den jeweils eingesetzten Mitteln muss, besonders bei dem Einsatz am Menschen, ein Kompromiss zwischen antimikrobieller Wirkung und Toxizität gefunden werden.

Hygienisierung bedeutet in der Kompostierung das Abtöten von Mikroorganismen (inklusive Pathogene) und Pflanzensamen. Dies kann durch direkte mikrobielle Aktivitäten und durch die Einwirkung von Hitze, welche ebenfalls durch die Mikroorganismen entsteht, hervorgerufen werden. Beide Einflüsse sind in ihrer Wirksamkeit auch von der Wirkungsdauer abhängig.

Die **Kompostierung** wird nach HAUG (1993) gekennzeichnet durch eine biologische Zersetzung und Stabilisierung organischer Substrate, unter Voraussetzungen die die Entwicklung von Temperaturen in einem Bereich von über 45°C erlauben. Diese Temperaturen sind dabei das Resultat exothermer biologischer Prozesse. Die thermale Inaktivierung von Pathogenen (Hygienisierung) ist dabei von Temperatur und Zeit abhängig. Hohe Temperaturen über eine kurze Zeit können dabei ähnlich effektiv sein wie niedrigere Temperaturen über einen längeren Zeitraum (siehe Abb. 1, in welcher die Linien obere Grenzen für das Absterben der Pathogene in der jeweiligen Zeit - Temperatur Kombination darstellen). Während bei HAUG (1993) das Ziel der

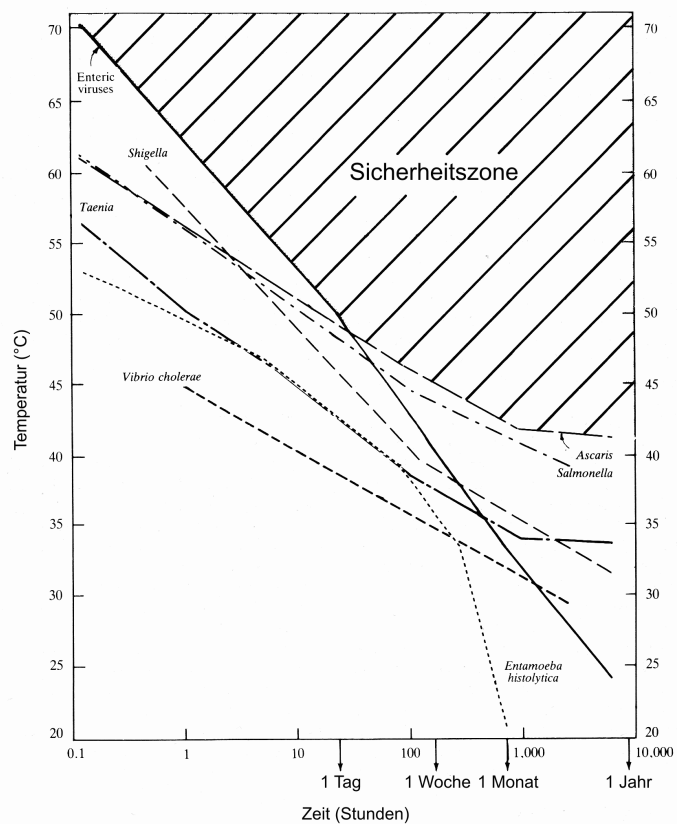


Abb. 1: Der Einfluss von Zeit und Temperatur auf ausgewählte Pathogene (FAECHEM et al. 1983)

Kompostierung ein stabiles und von Pathogenen freies Produkt in Form von Kompost ist, eignet sich laut HOGAN (1998) die Kompostierung auch als biologische Behandlungstechnologie für große Mengen von kontaminiertem Material. Dabei steht die Verringerung der Gefährlichkeit von Abfall im Vordergrund.

Die **Wurmkompostierung** ist ein Zersetzungsprozess, getragen durch das gemeinsame Wirken von Mikroorganismen und Erdwürmern. Die Mikroorganismen sind verantwortlich für die Abbauprozesse. Die Erdwürmer fragmentieren und konditionieren das jeweilige Substrat, was zu einer erheblichen Veränderung der biologischen Aktivität führt. Durch die Vermischung und Zerkleinerung, die physikalische und chemische Veränderung, die graduelle Verringerung des C:N Verhältnisses und die Vergrößerung der Oberfläche wird das Substrat viel attraktiver für die Mikroorganismen und die Abbauprozesse werden gefördert. Der optimale Temperaturbereich für Kompostwürmer liegt zwischen 15 und 25°C. (DOMÍNGUEZ &

EDWARDS 2004) Deshalb ist hier die Hygienisierung, im Gegensatz zur Kompostierung nicht durch thermische Inaktivierung, sondern durch die direkten mikrobiellen Aktivitäten getragen. Der Einfluss der Zeit ist ebenso relevant.

Der Begriff **Erdwurm**, abgeleitet vom englischen Earthworm, wird hier meist als Oberbegriff für Arten verwendet, welche aus der Ordnung der Wenigborster (*Oligochaeta*) stammen, zu der auch die Familie der Regenwürmer (*Lumbricidae*) gehört. Als Kompostwürmer werden solche Arten bezeichnet, welche für die Wurmkompostierung eingesetzt werden.

3. Medizinische Abfälle

Das Gesundheitswesen hat das Ziel, Gesundheitsprobleme zu reduzieren und potentielle Gesundheitsrisiken zu eliminieren. Bei der Verfolgung dieses Zieles werden aber Abfälle erzeugt, welche selber gesundheitsgefährlich sind. Die Abfälle des Gesundheitswesens tragen ein höheres Potential für Infektionen und Verletzungen in sich als alle anderen Abfallarten. Gibt es keine sicheren und zuverlässigen Methoden zur Handhabung dieser Abfälle, können ernste Beeinträchtigungen der öffentlichen Gesundheit, sowie erhebliche negative Umwelteinflüsse die Folge sein. (WHO 1999)

Besonders, weil sich diese Arbeit mit einer speziellen Behandlungsmethode für gefährlichen medizinischen Abfall beschäftigt, ist es hilfreich, einen groben Überblick der gesamten Problematik zu skizzieren. Die Betrachtung beginnt mit einem kurzen Blick auf den rechtlichen Rahmen und folgt dann möglichen Wegen des Abfalls von der Erzeugung bis zur Entsorgung.

3.1. Rechtliche Regelungen

3.1.1. Struktureller Aufbau

Relevante rechtliche Regelungen für medizinische Abfälle finden sich auf verschiedenen Ordnungsebenen. Auf jeder Ebene können verschiedene Regelungen jeweils auf bestimmte Teilbereiche Einfluss nehmen. So gibt es zum Beispiel auf der nationalen Ebene in Deutschland sieben relevante Gesetze und diverse Verordnungen und Richtlinien (STOLZE 2004). Regelungen auf unteren Ebenen sind generell spezifischer ausgelegt, wobei sie aber nicht den höherrangigen Ebenen widersprechen dürfen.

Tab. 1: Ebenen rechtlicher Regelungen zu medizinischen Abfällen am Beispiel Deutschlands

Ebene	Beispiele
International	Baseler Konvention, Stockholmer Konvention
Supranational	EG - Abfallrahmenrichtlinie Nr. 75/442/EWG
National	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW-/AbfG
Landesebenen	Thüringer Abfallwirtschaftsgesetz - ThürAbfG
Einrichtungen des Gesundheitswesens	Umweltmanagement nach ISO 14 001, EG-ÖKO-Audit-Verordnung, hausinterne Regelungen

Diverse Länderbeispiele über die Regelungen zu medizinischen Abfällen sind auf der Internetseite der WHO zu finden (<http://www.healthcarewaste.org/en> > Regulatory > National level > Quick links > Country infos). Für tiefer gehende Informationen empfiehlt sich der „International Digest of Health Legislation“ in seiner sehr aktuellen Online-Version (<http://www.who.int/idhl/>), ebenfalls von der WHO. Dort finden sich Beschreibungen und Verweise zu Gesetzestexten mit Bezug zum Gesundheitswesen. Die Datenbank lässt sich nach Ländern, Themen und Stichworten durchsuchen.

3.1.2. Internationale Vereinbarungen

Im internationalen Bereich gibt es zwei Vereinbarungen, die auch Auswirkungen auf die Handhabung von Abfällen aus dem Gesundheitswesen haben. Die Vereinbarungen sollen auch in die nationalen Gesetzgebungen einfließen. Zusätzlich sollen Leitfäden sowie Handlungsanweisungen für den Umgang mit solchen Abfällen erstellt werden. (WHO 1999)

Die erste Vereinbarung ist die 1992 in Kraft getretene [Baseler Konvention](#), welche von ca. 160 Staaten unterzeichnet wurde. Hauptziele dieser Konvention sind:

- Die Minimierung der Entstehung von gefährlichen Abfällen sowohl in Menge, als auch Gefährlichkeit,
- Die Beseitigung der Abfälle so nah wie möglich am Entstehungsort und
- Die Reduzierung von Transporten mit gefährlichen Abfällen.

Die zweite relevante Vereinbarung ist die 2004 in Kraft getretene [Stockholmer Konvention](#), welche von ca. 150 Staaten unterzeichnet wurde. Ziel ist die Einschränkung von Produktion sowie der Verwendung und Freisetzung von persistenten organischen Schadstoffen (POPs). Diese haben toxische bzw. ökotoxische Eigenschaften, bauen sich nur langsam in der Umwelt ab, reichern sich in Körpern von Menschen, Tieren und Pflanzen an und können potenziell weiträumig transportiert werden. Zu POPs gehören auch Dioxine und Furane, welche bei der Verbrennung von Abfällen aus dem Gesundheitswesen entstehen können. (WHO 2007)

3.2. Erzeugung

Medizinischer Abfall wird in allen Einrichtungen des Gesundheitswesens erzeugt. Diese umfassen Krankenhäuser, kleinere medizinische Praxen, Forschungseinrichtungen und Labore. (WHO 1999)

SAVAGE & DIAZ (2005) haben das Abfallaufkommen ausgewählter Hospitäler in Entwicklungsländern verglichen und sind auf Gesamtabfallmengen von 0,54-1,39 kg pro Bett und Tag gekommen. Dies sei zwei- bis siebenmal weniger als in Hospitälern industrialisierter Länder. Bei der Menge an infektiösen, gefährlichen Abfällen gab es eine geringere Schwankung von 0,30-0,34 kg pro Bett und Tag. Der Anteil von infektiösem Abfall zum Gesamtabfall lag in Entwicklungsländern bei 63% und in Industrieländern bei 51%.

3.3. Vermeidung

Die Vermeidung von Abfällen sollte an erster Stelle stehen, denn Maßnahmen am Anfang des Abfallstroms haben gegenüber Lösungsansätzen am Ende des Weges einen vergleichsweise hohen Wirkungsgrad.

Abfallträchtige Einweg-Medizinprodukte sollten gegen Mehrweg-Alternativen ausgetauscht werden, wobei die medizinische Versorgung, die Sicherheit und die hygienischen Belange nicht beeinträchtigt werden dürfen. (REICHARD & OCHTERBECK 1994)

Doch auch viele Einweg-Medizinprodukte können nach Aufbereitung wieder verwendet werden. Internationale Erfahrungen bestätigen den ökologischen und ökonomischen Nutzen dieses Vorgehens. Durch die Anwendung verbesserter Verfahren können die in älterer Literatur beschriebenen negativen Erfahrungen bei der Aufbereitung von Einwegmaterialien vermieden werden. (DASCHNER & BAUER 2000, IHLY 2001)

3.4. Trennung

Der erzeugte Abfall ist nach WHO (1999) zu einem Massenanteil von 75-90% vergleichbar mit herkömmlichem Hausmüll und könnte deshalb auch als solcher entsorgt werden. Eine möglichst genaue Trennung dieses Abfallstroms am Entstehungsort trägt zur Minimierung des als von der WHO als gefährlich eingestuft Abfalls bei. So konnte z.B. ein Militärkrankenhaus in Bangalore, Indien



seine Massenanteile an gefährlichen Abfällen binnen weniger Monate von ca. 20% auf 10% des gesamten Abfalls halbieren. Dies wurde durch die Implementierung eines neuen Programms zum Umgang mit Hospitalabfällen erreicht. (VERMA & SRIVASTA 2000)

Tab. 2: Abfallarten aus dem Gesundheitswesen (Datenquelle: WHO 1999)

Abfälle aus dem Gesundheitswesen	
Gefährliche Abfälle 10-25%	Hausmüll 75-90%
1. Infektiöser Abfall	
2. Pathologischer und anatomischer Abfall	
3. Gefährlicher pharmazeutischer Abfall	
4. Gefährlicher chemischer Abfall	
5. Abfall mit hohem Gehalt an Schwermetallen	
6. Druckbehälter	
7. Nadeln und scharfe Schneidwerkzeuge	
8. Hoch infektiöser Abfall	
9. Gen- und Zellschädigender Abfall	
10. Radioaktiver Abfall	
Abb. 2: Hausmülllager eines indischen Hospitales (WWF 2004)	

Eine Trennung soll so nah wie möglich am Ort der Entstehung geschehen. Für die verschiedenen Abfallarten wurde eine eindeutige Farbcodierung für die jeweiligen Behälter vorgeschlagen. (WHO 1999)

Tab. 3: Empfohlene Farbcodierung für medizinische Abfälle (WHO 1999)

Art des Abfalls	Behälterfarbe und Markierungen	Art des Behälters
Hoch infektiöser Abfall	gelb, mit Aufschrift „Hoch infektiös“ 	starker, auslaufsicherer Plastiksack oder ein autoklavgeeigneter Container
Anderer infektiöser Abfall, pathologischer und anatomischer Abfall	gelb	auslaufsicherer Plastiksack oder Container
Scharfe und spitze Gegenstände	gelb, mit entsprechender Aufschrift	durchstichsichere Container
Chemischer und pharmazeutischer Abfall	braun	Plastiksack oder Container
Radioaktiver Abfall	Symbol für Radioaktivität 	Bleibehälter
Allgemeiner Abfall	schwarz	Plastiksack

3.5. Behandlung

Das Ziel der Behandlung ist die Beseitigung oder Verminderung der Gefahren, welche von den gefährlichen medizinischen Abfällen ausgehen. Wird durch fehlende oder ineffiziente Trennung (siehe auch 3.4 Trennung) der Hausmüllanteil mit infektiösem Abfall vermischt, so muss dieser ebenfalls als gefährlicher medizinischer Abfall behandelt werden.

Die Verbrennung war gewöhnlich das Mittel der Wahl und ist immer noch sehr weit verbreitet. In jüngster Zeit setzen sich jedoch auch vermehrt alternative Behandlungsmethoden durch. (WHO 1999, WWF 2004)

3.5.1. Verbrennung

Die Verbrennung stellt eine trockene Oxidation bei hohen Temperaturen dar. Dabei werden organische und brennbare Bestandteile in anorganische, nicht brennbare Stoffe umgewandelt, was mit einer erheblichen Gewichts- und Volumenreduktion einhergeht. (WHO 1999)

Die drei grundsätzlichen Arten von Verbrennungsanlagen, welche für die Behandlung von medizinischen Abfällen eingesetzt werden, sind (WHO 1999):

- Doppelkammer-Pyrolyseanlagen
- Einkammer-Verbrennungsanlagen
- Drehrohröfen

Die drei Systeme haben unterschiedliche Vor- und Nachteile, was Kosten,

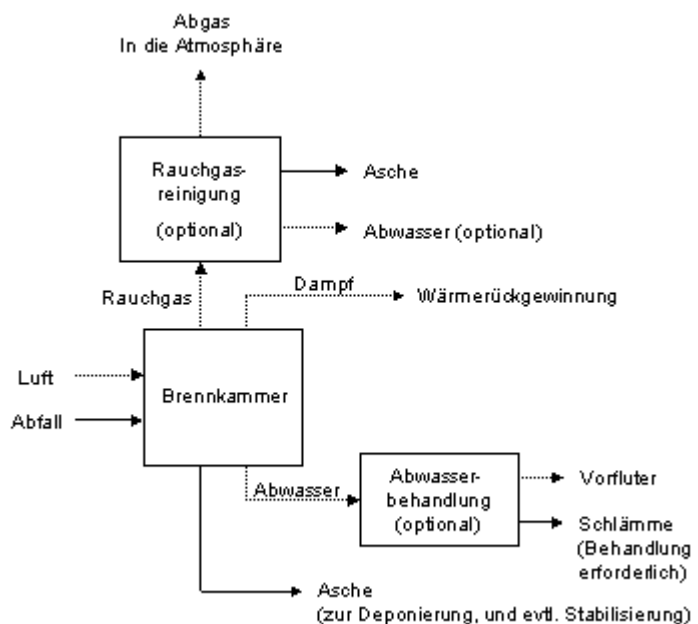


Abb. 3: Vereinfachtes Fließschema einer Verbrennungsanlage (nach WHO 1999)

Leistungsfähigkeit und Emissionen betrifft. Für tiefer gehende Informationen empfehlen sich zum Beispiel die Publikationen der WHO (1999).

Grundsätzlich hat die Verbrennung den Vorteil, organische Schadstoffe und Pathogene sehr effektiv zu zerstören und mineralische Schadstoffe wie Schwermetalle auf eine kleine Masse in der Asche zu konzentrieren.

Andererseits ergeben sich neue Probleme. Bei der Verbrennung werden toxische Schwermetalle im Rauchgas freigesetzt und es entstehen Furane (PCDF) und Dioxine aus chlorhaltigen Abfallbestandteilen wie zum Beispiel PVC. Neben der Verwendung von Abgasreinigungssystemen kann gegen die Entstehung von Dioxinen und Furanen die Nichtverwendung von PVC-Materialien helfen. So wird in österreichischen Kliniken mit installierter Verbrennungsanlage kein PVC verwendet (CONNET 1997). In Indien gibt es seit 1998 ein Verbot gegen das Verbrennen von PVC und China ist auf dem Weg, PVC-haltige Medizinprodukte zu verbieten (HCWH 2005).

CONNET (1997) hat zusammenfassend aufgeführt, welche Probleme Verbrennungsanlagen im Gesundheitswesen mit sich bringen:

Tab. 4: Probleme durch Verbrennungsanlagen im Gesundheitswesen (nach CONNET 1997)

Problem	Beschreibung
Technik allein reicht nicht	Besonders für das Abgasreinigungssystem werden speziell qualifizierte Mitarbeiter gebraucht, welche in Gesundheitseinrichtungen oft nicht vorhanden sind.
Abgasreinigung ist teuer	Abgasreinigungsanlagen verbrauchen bis zu 50% der Gesamtinvestition einer Verbrennungsanlage. Daher sind nur große Anlagen rentabel. Für einzelne Hospitäler ungeeignet.
Wenig Akzeptanz	Die Öffentlichkeit stellt sich oft gegen die Errichtung von Müllverbrennungsanlagen, selbst wenn mit moderner Technik die gesetzlichen Grenzwerte eingehalten werden.
Keine kontinuierliche Schadstoffmessung	Es ist bisher technisch nicht möglich, die Emission von Schwermetallen und Dioxinen kontinuierlich zu messen. Messungen sind teuer und an kleinen Anlagen nur sporadisch
Dioxinanstieg bei Unterbrechungen	Dioxinmissionen erhöhen sich stark beim An- und Herunterfahren der Anlagen. Gerade bei kleineren Anlagen wie im Gesundheitsbereich geschieht dies öfters.
Entsorgung der Rückstände	Filterstaub und Aschen sind hoch angereichert mit toxischen Metallen. Eine sichere Entsorgung auf Sonderabfalldeponien ist teuer.
Langzeitinvestition	Eine moderne Verbrennungsanlage bindet viel Kapital und legt auf einen langen Zeitraum die Abfallbehandlung auf eine Methode fest. Günstigere Alternativen werden behindert.

Aus den oben genannten Gründen sprechen sich Organisationen wie HCWH (<http://www.hcwh.org/>) oder GAIA (<http://www.no-burn.org/>) eindeutig gegen die Verwendung von Verbrennungsanlagen für medizinischen Abfall aus. Auf ihren Internetseiten finden sich weitere, ausführliche Informationen und Veröffentlichungen rund um das Thema der Müllverbrennung und ihrer Alternativen.

Dennoch kann in manchen Fällen eine Verbrennung sinnvoll erscheinen. In den am wenigsten entwickelten Ländern kann es Einrichtungen des Gesundheitswesens geben, welche auf Grund mangelnder Informationen und finanzieller Mittel kaum Auswahlmöglichkeiten bei der Abfallbehandlung haben. Zumindest als Übergangslösung kann dort die kurzfristige Beseitigung der Infektionsgefahr bedeutender erscheinen als die mittel- bis langfristigen Auswirkungen durch die bei der Verbrennung entstehenden Emissionen.

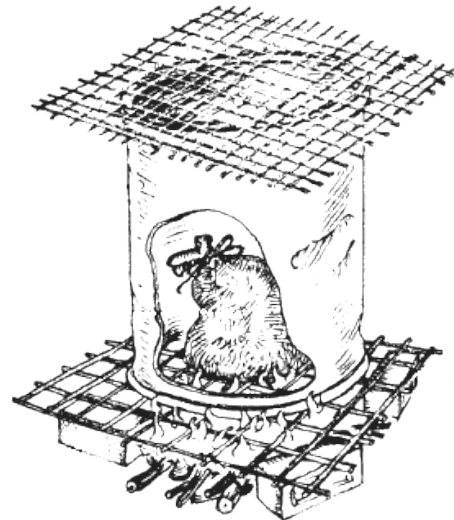


Abb. 4: Verbrennungstonne (nach Dunsmore 1986, aus WHO 1999)

3.5.2. Chemische Desinfektion

Die chemische Desinfektion wird herkömmlich bei medizinischen Geräten und für Wände und Flure in Gesundheitseinrichtungen angewendet. Aber auch die Behandlung von medizinischen Abfällen ist möglich, wobei durch die Desinfektion eine Verminderung oder Inaktivierung von Pathogenen im Abfall erreicht wird. Am besten geeignet für diese Methode sind flüssige Abfälle wie Blut, Urin, oder Abwässer, doch sogar Bakterienkulturen und Spritzen können unter Umständen behandelt werden. Dabei ist allerdings zu beachten, das: (WHO 1999)

- Schreddern oder Zermahlen grundsätzlich vor der Behandlung notwendig ist und die dafür notwendigen Geräte oft mechanische Pannen erleiden, wobei sich aber zusammen mit nachfolgender Verdichtung der Vorteil einer Volumenreduktion von 60-90% ergeben kann,
- sehr starke Desinfektionsmittel benötigt werden, welche selbst von gefährlicher Natur sind und deshalb nur von gut geschultem Personal gehandhabt werden sollten,

- die Effektivität der Desinfektion von der Qualität der betrieblichen Durchführung abhängt und
- von größeren Festkörpern im Abfall nur die Oberfläche desinfiziert wird.

Bei der Untersuchung von Resistenzen mikrobieller Organismen gegen Desinfektionsmittel konnten Gruppen von Mikroorganismen aufgelistet werden, die unterschiedlich resistent sind. Im Folgenden sind diese Gruppen nach abnehmender Resistenz aufgelistet (WHO 1999):

- Bakterielle Sporen,
- Mykobakterien,
- hydrophile Viren,
- lipophile Viren,
- vegetative Pilze und Pilzsporen und
- vegetative Bakterien.

Ist ein Desinfektionsmittel gegen eine Gruppe effektiv, so wirkt es auch gegen weniger resistente Gruppen. Die Effektivität wird standardmäßig in Tests mit Indikatororganismen bestimmt. (WHO 1999)

In Industrieländern ist die chemische Desinfektion von medizinischen Abfällen weniger verbreitet. In Entwicklungsländern stellt sie eine attraktive Methode dar, insbesondere für hoch infektiöse physiologische Flüssigkeiten wie die Ausscheidungen von Patienten bei Choleraausbrüchen. (WHO 1999)

Als Chemikalien werden Aldehyde, Chlorverbindungen, Ammoniumsalze und Phenolverbindungen eingesetzt. Die Verwendung von Ozon wird untersucht. Der Einsatz von Ethylenoxiden wird auf Grund der signifikanten Gefahren bei der Anwendung nicht empfohlen. Auf dem Markt sind auch teil- bis vollautomatische, geschlossene Behandlungssysteme erhältlich, in denen eine Schreddereinheit integriert ist. Einige Systeme sind zusätzlich mit einer thermischen Behandlungseinheit ausgestattet. (WHO 1999)

3.5.3.Nass- und trockenthermische Verfahren

Thermische Verfahren wirken durch die Inaktivierung bzw. Zerstörung von Mikroorganismen durch Hitze. Eiweiße denaturieren ab bestimmten Temperaturen, das führt zum Zelltod. Die Übertragung der Hitze auf den Abfall kann durch Dampf oder durch Wärmeleitung mittels Festkörpern geschehen.

Bei nassthermischen Verfahren kann man zwischen Autoklaven und größeren Heißdampfanlagen unterscheiden. Beide arbeiten nach demselben Prinzip. Der geschredderte Abfall wird überhitztem Dampf bei über 121°C und 1-5 bar ausgesetzt. Die notwendige Einwirkdauer hängt dabei von Temperatur und Druck ab und kann von einigen Minuten bis zu wenigen Stunden bei niedrigeren Temperatur- und Druckwerten betragen. Zur Verbesserung der Dampfeinwirkung wird vor dem Prozess ein Vakuum in der Behandlungskammer erzeugt. Die Wirksamkeit der Behandlung muss regelmäßig mit standardisierten bakteriellen Tests überprüft werden. (WHO 1999)

Autoklaven sind eigentlich für die Sterilisation von wieder verwendbaren medizinischen Material gedacht. Deshalb werden sie meist auch nur zur Behandlung von geringen Mengen hoch infektiösen Abfalls verwendet. (WHO 1999) In 2003 gab es einen internationalen Wettbewerb über innovative Technologien für die Behandlung von medizinischen Abfällen in ländlichen Gebieten. Dabei wurde unter anderem auch ein Autoklav mit eingebautem

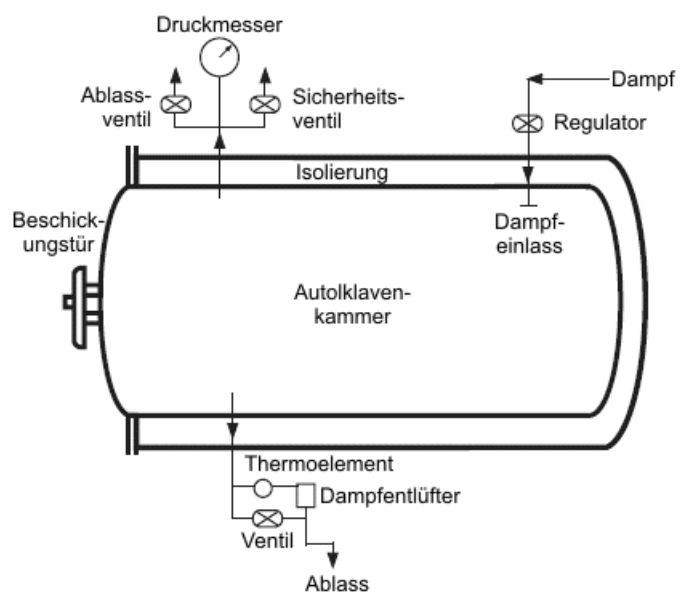


Abb. 5: Schema eines Autoklaven (HCWH 2002)

Schredder und ein transportabler, solarbetriebener Autoklav vorgestellt. (HCWH 2003)

Das nassthermische Verfahren ist zu relativ niedrigen Investitions- und Betriebskosten zu haben und verursacht nur geringe schädliche Einflüsse auf die Umwelt. Nachteilig ist das durch mechanische Einwirkungen leichte Versagen des Schredders. Nur gut geschultes Personal sollte für den Betrieb der Anlage zuständig sein. Anatomische Abfälle und Tierkadaver sollten nicht mit diesem Verfahren behandelt werden. (WHO 1999)

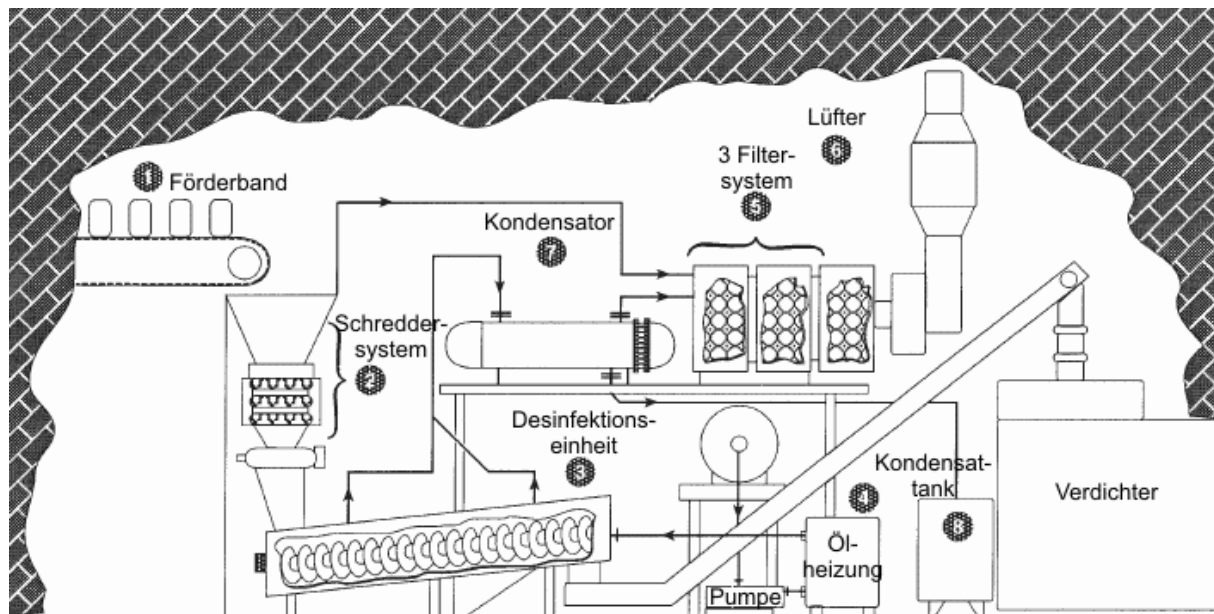


Abb. 6: Schema der „Screw-feed“ Technik (WHO 1999)

Ein Beispiel für ein trockenthermisches Verfahren ist die „Screw-feed“ Technik. Dabei wird der Abfall zuerst auf eine Größe von etwa 2,5 cm geschreddert und dann in eine Förderschnecke geleitet. Die Schnecke wird mit durch die Achse zirkulierendem Öl auf 110-140°C aufgeheizt. Der Abfall passiert in etwa 20 Minuten die Schnecke und wird anschließend verdichtet. Es wird eine Volumenreduktion von 80% und eine Massenreduktion von 20-35% erreicht. Die Abluft muss gefiltert und mögliches Kondenswasser muss gereinigt werden. Pathologische, zytotoxische, oder radioaktive Abfälle sollten nicht damit behandelt werden. (WHO 1999)

3.5.4. Mikrowellenstrahlung

Die meisten Mikroorganismen werden durch Mikrowellen mit einer Frequenz von 2450 MHz und einer Wellenlänge von 12,24 cm zerstört. Zusätzlich erhitzt die Strahlung enthaltene Flüssigkeit, was zu thermischer Zerstörung durch Wärmeleitung führt. (WHO 1999)

In einer geschlossenen Behandlungseinheit wird zuerst der Abfall geschreddert, gegebenenfalls befeuchtet und anschließend einer etwa 20 minütigen Mikrowellenbestrahlung unterzogen. Wie bei der thermischen Behandlung sollte regelmäßig eine Überprüfung der Effektivität mit standardmäßigen bakteriologischen und virologischen Tests erfolgen. (WHO 1999)

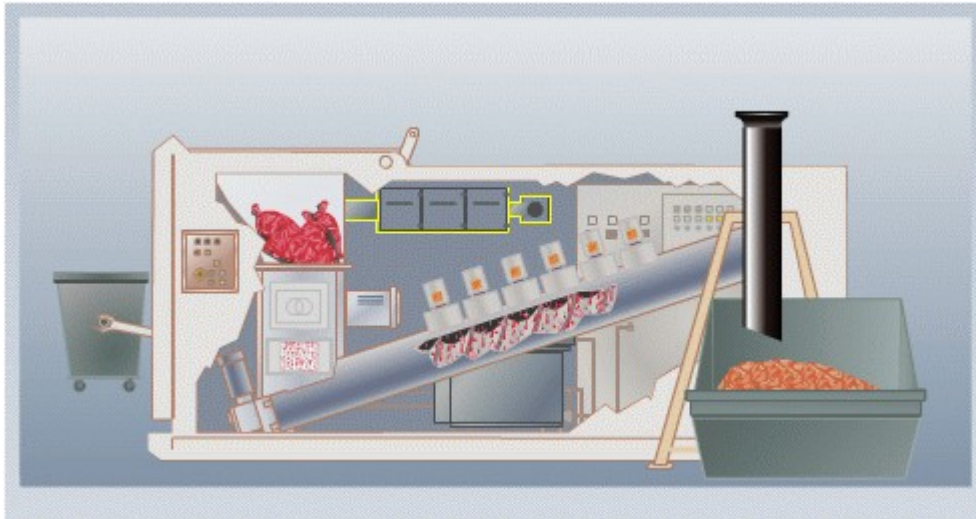


Abb. 7: Schema einer Mikrowelleneinheit (SANITEC 2007)

Die Mikrowellenmethode ist in vielen Ländern verbreitet. Allerdings sind mit dieser Technik hohe Kosten verbunden. Zusammen mit eventuellen Betriebs- und Wartungsproblemen wird sie deshalb noch nicht für Entwicklungsländer empfohlen. Ähnliche Techniken mit anderen Wellenlängen oder Elektronenstrahlen werden entwickelt. Weiterhin gibt es inzwischen kompaktere Systeme zur Abfallbehandlung näher am Entstehungsort. Diese haben eine wesentlich kleinere Kapazität, sind aber auch erheblich kostengünstiger. (WHO 1999)

3.5.5. Inertisierung

Hinsichtlich Altarzneimitteln, einschließlich Zytostatika, ist es weitgehend unbekannt, wie sich diese auf Mülldeponien verhalten und welche ökotoxikologischen Wirkungen sie haben (REICHARD & OCHTERBECK 1994). Durch eine Mischung mit Zement oder anderen Substanzen kann eine Migration der potentiell schädlichen Substanzen in Oberflächen- und Grundwasser minimiert werden. Auch für Verbrennungaschen mit zum Teil hohen Schwermetallgehalten ist dies eine geeignete und sehr kostengünstige Vorbehandlung vor der endgültigen Deponierung. Benötigt werden lediglich eine Mühle, um evtl. Pharmazeutika zu zerkleinern, ein Betonmischer sowie Zement, Kalk und Wasser. (WHO 1999)

Es gibt auch Vorschläge, bei dem der gefährliche Abfall mit Branntkalk und Wasser in einer kleinen Metalltonne gemischt und durch die frei werdende Hitze (bis 95°C) desinfiziert wird. Anschließend wird mit einer zementartigen Masse aus Branntkalk und Flugasche die Tonne in einer großen Tonne eingeschlossen. (HCWH 2003)

3.5.6. Einkapselung

Eine ähnliche Methode zur Inertisierung ist die Einkapselung, wobei hier hauptsächlich scharfe und spitze Abfälle wie zum Beispiel Spritzen vorbehandelt werden sollen. In robusten Plaste- oder Metallbehältern wird zu zwei Dritteln der Abfall eingefüllt und anschließend mit Mitteln wie Bauschaum, bituminösen Sand, Zementmörtel oder Lehm aufgefüllt. Nachdem das Material getrocknet ist, werden die Behälter verschlossen und auf einer Deponie abgelagert. Diese kostengünstige Methode empfiehlt sich für Einrichtungen, die sonst keine Möglichkeiten zur Behandlung von Spritzen, Nadeln, Pharmazeutika und Chemikalien haben. Das Risiko von Scavengern (Müllsammlern), mit diesen gefährlichen Abfällen in Kontakt zu kommen, reduziert sich dadurch enorm. (WHO 1999)

Im folgenden Bild ist eine etwas größere Version einer Einkapselung zu sehen, die eine Kombination mit der Deponierung in Gruben darstellt (siehe auch 3.7 Deponierung). Zu erwähnen ist noch die Tatsache, dass SAVAGE & DIAZ (2005) keine Untersuchungsdaten über das Überleben von Mikroorganismen in Einkapselung gefunden haben.

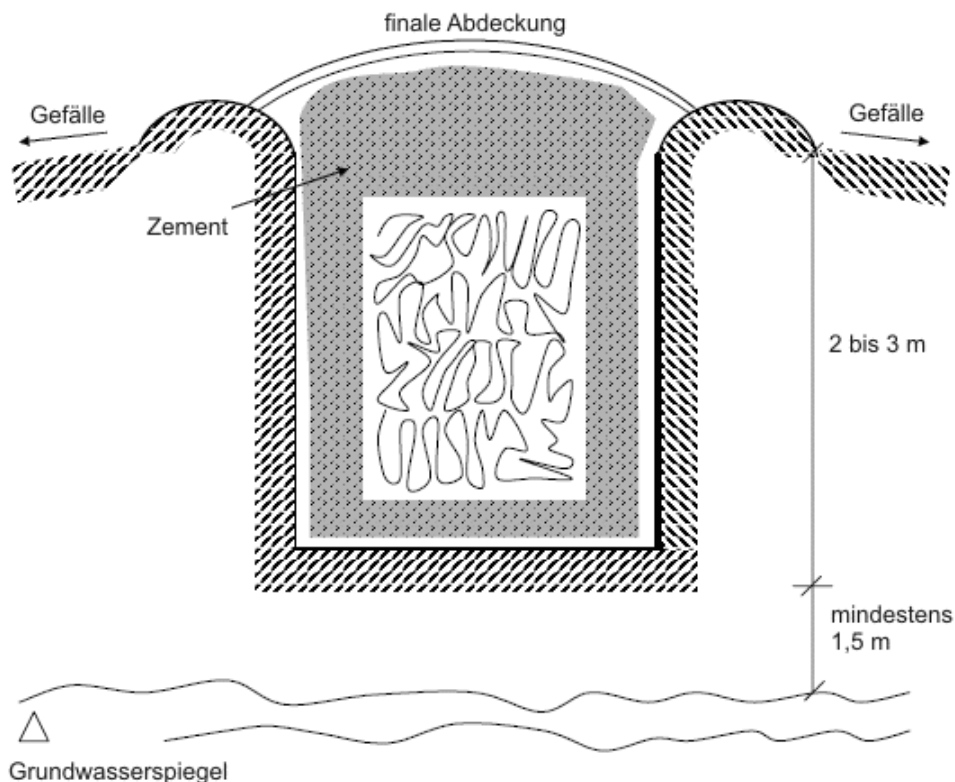


Abb. 8: Schematische Darstellung einer Einkapselung (SAVAGE & DIAZ 2005)

3.5.7. Vergleich der Behandlungsmethoden

In folgender Tabelle sind einige Stärken und Schwächen der vorgestellten Behandlungsmethoden zusammengefasst.

Tab. 5: Vergleich von Behandlungsmethoden für medizinische Abfälle

Methoden	Stärken	Schwächen
Verbrennung	sehr gute Eliminierung von Pathogenen und biologischen Schadstoffen, hohe Leistung, drastische Reduktion von Volumen und Masse	kapitalintensiv, problematische Emissionen, bei niederen Temperaturen keine Zerstörung aller Chemikalien, Akzeptanzprobleme
Chemische Desinfektion	gute Desinfektion, es gibt relativ billige Chemikalien, drastische Volumenreduktion	benötigt hoch qualifiziertes Personal, Einsatz von gefährlichen Substanzen, nicht für pharmazeutische, chemische und einige infektiöse Abfälle
Nass- und Trocken-thermische Verfahren	recht umweltverträglich, drastische Volumenreduktion, relativ geringe Investitions- und Betriebskosten	benötigt hoch qualifiziertes Personal, nicht für chemischen, anatomischen und pharmazeutischen Abfall
Mikrowellen-Strahlung	gute Desinfektion, drastische Volumenreduktion, recht umwelt-verträglich	Hohe Investitions- und Betriebskosten, mögliche Probleme bei Betrieb und Unterhaltung
Inertisierung	relativ kostengünstig	nicht für infektiösen Abfall
Einkapselung	relativ kostengünstig und sicher	hauptsächlich nur für scharfe und spitze Abfälle empfohlen

Die Entscheidung für das jeweils günstigste Behandlungsverfahren hängt von diversen Faktoren ab, von denen viele auf lokaler Ebene zu suchen sind. Einige Beispiele sind (WHO 1999):

- Anforderungen an die Infrastruktur (Abwasser, Elektrizität, u.a.),
- lokal verfügbare Behandlungsoptionen und Technologien,
- Möglichkeiten der endgültigen Deponierung,
- Trainingsanforderungen an das Bedienungspersonal,
- verfügbarer Platz,
- Investitions-, Betriebs- und Instandhaltungskosten und
- öffentliche Akzeptanz und rechtliche Regelungen.

Diese Faktoren können sich aber auch mit der Zeit ändern. Besonders bei der Erwägung von langfristigen Investitionen ist darauf zu achten.

3.6. Verwertung

Die Verwertung unterscheidet sich in ihrer Zielstellung von der reinen Behandlung, welche die Beseitigung oder Verringerung von Gefahren durch den Abfall anstrebt. Hier soll ein Nutzen aus den Abfällen gezogen werden. Dieser kann stofflich oder energetisch erfolgen. Für Ersteres ist jedoch meist eine Vorbehandlung notwendig, da die wertvollen Materialien oft biologisch kontaminiert sind. Eine thermische Verwertung kommt nur für heizwertreiche Fraktionen in Frage. Diese können aber auch sinnvoll bei der Behandlung durch Verbrennung eingesetzt werden, wo weniger Zusatzbrennstoffe für die Erreichung der notwendigen Verbrennungstemperatur gebraucht würden.

Ein Beispiel für eine stoffliche Verwertung gibt es in Indien, wo laut WHO (2005) Gespräche mit der Industrie über die Einschmelzung von desinfizierten Spritzen zur Wiederverwendung des Altmetalls geführt wurden. Diese erklärte sich dazu bereit, jedoch nur unter der Voraussetzung, dass beim Transport kein Infektionsrisiko besteht und eine Mindestmenge zur Verfügung steht, da ansonsten der Transport anteilig zu hohe Kosten verursachen würde. Ebenso würden auch die Kunststoffverwerter den Kunststoffanteil nach Desinfizierung gerne annehmen, wobei es vorteilhaft wäre, wenn der Abfall nur aus einer Kunststoffart bestünde.

3.7. Deponierung

Die Deponierung soll sicherstellen, dass von dem abgelagerten Abfall keine Gefahr für Mensch und Umwelt ausgeht. Bei nicht vorher behandelten Abfällen ist die Erreichung dieses Zieles mit höherem Aufwand verbunden.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Klassifizierung für Deponien (JOHANNESSEN & BOYER 1999), wobei sich die Einteilungen nach mehreren Parametern richten können:

- Natürliche Barrieren gegen Schadstoffemissionen,
- ingenieurtechnische Einrichtungen,
- Betriebsorganisation und
- Abfallarten- und Mengen.

Die qualitative Bandbreite reicht von unkontrollierten, ungeplanten Müllkippen bis hin zu Deponien, deren Anlage und Betrieb gesetzlich sehr streng geregelt sind.

Aufgrund von geringeren Umweltstandards bzw. deren mangelnder Durchsetzung und geringerer wirtschaftlicher Leistungsfähigkeit finden sich in Entwicklungsländern mehr Deponien von geringerer Qualität, wogegen sich in Industrieländern meist höhere Standards beim Bau und Betrieb von Mülldeponien durchgesetzt haben.

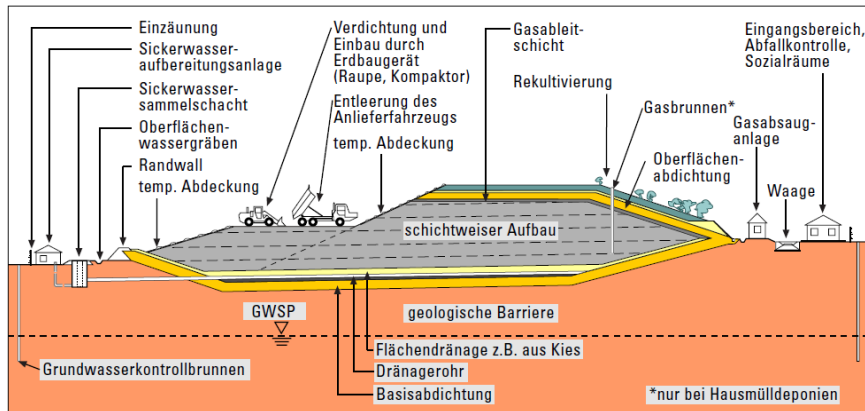


Abb. 9: Multibarrierenkonzept nach TASI in Deutschland (KRAFT 2002)

Abb. 10: Aleibadeiya Müllkippe, Jerusalem (INCO 2005)

Die obigen zwei Abbildungen verdeutlichen die Bandbreite bei der möglichen Ablagerung von Abfällen.

Die WHO (1999) unterscheidet in die zwei grundsätzlichen Deponiearten „Open dump“ (offene Müllkippe) und „Sanitary landfill“ (moderne Deponie). Gefährliche medizinische Abfälle sollten nicht auf offenen Müllkippen abgelagert werden. Aufgrund des offenen Zugangs können sich Tiere und Scavenger leicht mit Krankheiten infizieren, zudem besteht die Gefahr von Verletzungen und Vergiftungen. Des Weiteren gibt es Probleme mit akuter Umweltverschmutzung und Bränden.

Moderne Deponien haben mindestens vier Vorteile gegenüber offenen Müllkippen (WHO 1999):

- Eine geologische Barriere,
- angemessene ingenieurtechnische Vorbereitungen vor der Eröffnung,
- Betriebspersonal, das die Ablagerung des Mülls kontrolliert und
- organisierte Ablagerung und tägliche Abdeckung des Abfalls.

Besonders in humideren Regionen sollte auch auf Einrichtungen für die Sammlung und Behandlung von Sickerwasser geachtet werden. Oberflächenabdichtungen gegen das Eindringen von Regenwasser unterstützen diese Maßnahmen.

In Fällen, wo keine modernen Deponien zur Verfügung stehen, empfiehlt die WHO (1999), den gefährlichen Abfall in eine flache Mulde alten Abfalls abzulagern und anschließend eine ca. zwei Meter dicke Schicht von frischem häuslichem Abfall darüber zu schichten. Alternativ kann eine ein bis zwei Meter tiefe Grube in altem Abfall ausgehoben werden und nach Ablagerung des gefährlichen Abfalls mit dem ausgehobenen Material zugeschüttet werden. Beide Methoden haben das Ziel, Scavenger von dem gefährlichen Abfall fernzuhalten.

Es ist auch möglich, eine spezielle Grube für gefährliche Abfälle auszuheben. Sie sollte etwa zwei Meter tief sein und jede Abfallladung sollte mit einer 10-15 cm dicken Schicht Erde bedeckt werden. Bei gefährlichen Infektionen ist die Zugabe von Kalk empfohlen. Solch eine Grube kann leichter abgesperrt und vom Betriebspersonal der Deponie besser kontrolliert werden. (WHO 1999)

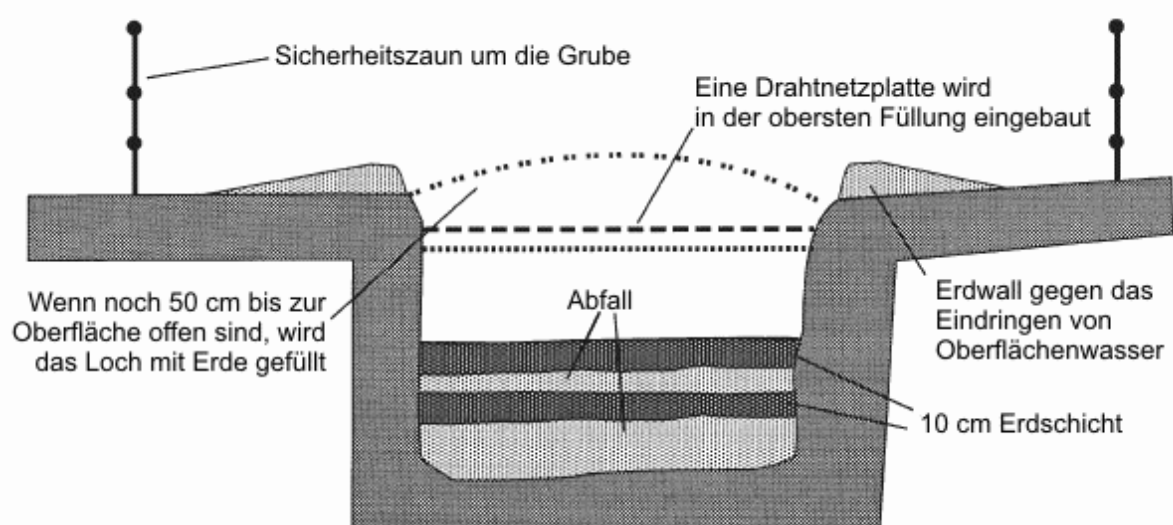


Abb. 11: Schema einer Grube für gefährliche medizinische Abfälle (WHO 1999)

Laut WHO (1999) ist für eine kurze Zeitperiode von ein bis zwei Jahren und für Gesamtmengen von fünf oder zehn Tonnen auch eine Lagerung von gefährlichen medizinischen Abfällen auf dem Hospitalgelände möglich. Dabei sind jedoch bestimmte Grundregeln einzuhalten:

- Der Zugang zur Ablagerungsstelle ist auf autorisiertes Personal zu beschränken,

- die Ablagerungsstelle sollte mit Material geringer Permeabilität abgedichtet sein,
- nur gefährlicher medizinischer Abfall darf abgelagert werden, da ansonsten der verfügbare Platz zu schnell aufgebraucht wird,
- größere Mengen (> 1 kg) an Chemikalien sollten nur nach und nach über einen längeren Zeitraum abgelagert werden, da es sonst auf Grund der hohen Konzentration zu akuten Umweltverschmutzungen kommen kann und
- jede Abfallschicht sollte mit Erde abgedeckt werden. Zum einen gegen Geruchsbelästigungen und zum anderen gegen die Verbreitung der Gefahrenstoffe und Pathogene durch Insekten und Nagetiere.

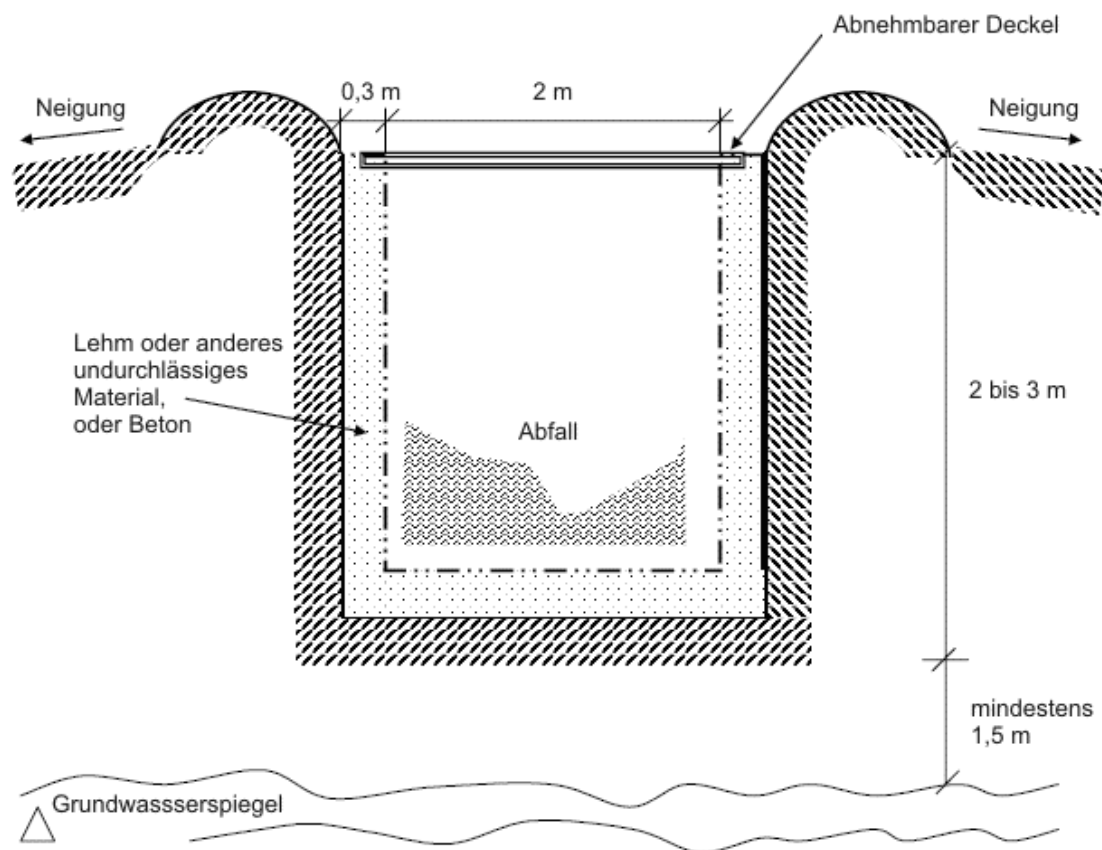


Abb. 12: Schema einer Abfallgrube auf Hospitalgelände (SAVAGE & DIAZ) 2005)

Bei ausreichender Finanzierung sollte eine Grube aus Beton gebaut werden, ansonsten sind Lehme und Tone oder ähnlich undurchlässige Materialien zu verwenden. Nach Erreichen der Kapazität sollte die Grube mit Zement oder Erde verschlossen und die Lage eindeutig markiert werden. (SAVAGE & DIAZ 2005)

4. Wurmkompostierung

4.1. Bisherige Anwendungen

Die Wurmkompostierung hat sich bisher bei der Behandlung von biologischen Abfällen und zur Erzeugung von hochwertigem Dünger bewährt. SHERMAN (1997) hat weltweit einige Beispiele für in großem Maßstab, erfolgreich wirtschaftende Anlagen zusammengetragen.

Während der 80er Jahre begannen verstärkte Aktivitäten zur Wurmkompostierung in Lateinamerika (BAROIS & ARANDA 2000). In 2003 wurden in Kuba 1,3 Tg Wurmkompost produziert (und 8 Tg herkömmlicher Kompost), als eine Reaktion auf den Wegfall der Kunstdüngerimporte nach dem Zusammenbruch der Sowjetunion (BERG et al. 2004). In Indien hat die Morarka Foundation während der letzten zehn Jahre etwa 2 500 Unternehmungen unterstützt, die eine Produktionskapazität von insgesamt 2 Tg Wurmkompost im Jahr aufweisen, nach Angaben der Foundation das weltweit größte Einzelprogramm dieser Art (MORARKA FOUNDATION 2006).

Weiterhin gibt es auch Verfahren zur Behandlung von Klärschlämmen sowie für Abfälle aus der Lebensmittel- und der Papierindustrie. (ELVIRA et al. 1997, DOMÍNGUEZ & EDWARDS 2004)

Erdwürmer werden neben der Kompostierung auch als Eiweißquelle genutzt. So können sie als Angelköder oder als Futter für Hausgeflügel dienen. (KNIERIEMEN 1984)

Erwähnenswert ist auch die, seit 2 300 Jahren in Südostasien betriebene Nutzung bestimmter Erdwürmer als Medizin (TITOV et al. 2006). In Japan wurde 1986 ein Erdwurmenzym extrahiert, welches experimentell Thrombosen auflöste und seitdem von der pharmazeutischen Industrie in Japan, Korea und China als Medikament zur Vorbeugung von kardiovaskulären Krankheiten vermarktet wird. (WENLING & ZHENJUN 2000)

In letalen Toxizitätstests werden Erdwürmer seit über zwanzig Jahren eingesetzt. In jüngster Zeit werden auch viele nichtletale Tests durchgeführt, die eine sensitivere Analyse über Lebenszyklusbetrachtungen erlauben. Allerdings sind diese umstritten, weil dabei meist die Art *Eisenia fetida* eingesetzt wird. Die Vorteile dieser Art sind der kurze Lebenszyklus und die kommerzielle Verfügbarkeit. Allerdings ist sie viel

unempfindlicher gegenüber Bodenverunreinigungen als andere Wurmarten. Zudem hat sie ihr Habitat nicht in Mineralböden, um deren Untersuchung es im Öfteren geht. (LOWE & BUTT 2006)

In Zukunft könnte sich auch der gezielte Einsatz von Erdwürmern bei der Bodensanierung durchsetzen. In Laborversuchen konnte die positive Wirkung von Erdwürmern bei der Phytoremediation von mit Maschinenöl verschmutztem Boden nachgewiesen werden (SILIO 2000).

4.2. Würmer für die Wurmkompostierung

Auf der Erde gibt es fast 4 000 Erdwurmarten, wobei nur weniger als 20 in detaillierten ökologischen Studien untersucht wurden. Etwa 12-15 Arten werden für die Wurmkompostierung weltweit eingesetzt (TITOV et al. 2006). Verschiedene Autoren haben Erdwurmarten nach Morphologie, Verhalten, Demographie und Habitaten eingeteilt. Die zwei bedeutendsten und zugleich auch ähnlichen Einteilungen wurden unabhängig voneinander von K.E. LEE und M.B. BOUCHÉ erstellt. (BLAKEMORE 2000)

Tab. 6: Einteilung von Erdwürmern (BLAKEMORE 2000)

nach LEE	nach BOUCHÉ
Litter Spezies: leben auf der Bodenoberfläche und ernähren sich in der Mulchschicht	Epigeés: leben und ernähren sich in den oberen Mulchschichten
Topsoil Spezies: graben im A-Horizont des Bodens, ernähren sich an der Oberfläche und hinterlassen dort auch die Rückstände	Anéciques: graben im Boden (A- bis C-Horizonte), ernähren sich aber an der Oberfläche
Subsoil Spezies: leben vollständig im B- und/oder C-Horizont des Bodens und ernähren sich in den niederen Wurzelzonen	Endogeés: leben in den Mineralhorizonten des Bodens und ernähren sich von organischen Material

Die Grenzen zwischen solchen ökologischen Einteilungen sind nicht immer eindeutig, einige Arten passen nicht vollständig in eine Kategorie oder überlappen in mehreren. (BLAKEMORE 2000, DOMÍNGUEZ & EDWARDS 2004)

Für die Wurmkompostierung werden lediglich Arten verwendet, welche zu den Epigeés bzw. Litter Spezies oder manchmal auch zu den Topsoil Spezies gezählt

werden können. Folgende Tabelle erfasst einige der als Kompostwürmer verwendeten Arten.

Tab. 7: Einige als Kompostwürmer verwendete Arten (Datenquelle: BLAKEMORE 2000)

Art	Herkunft / Verbreitung	Temp.: tolerabel / optimal
<i>Eisenia fetida</i> Savigny, 1826	Europa / weltweit in gemäßigten Klimaten	0-35°C / 20-25°C
<i>Eisenia andrei</i> Bouché, 1972	Europa / weltweit in gemäßigten Klimaten	morphologisch ähnlich zu <i>Eisenia fetida</i>
<i>Eisenia (Dendrobena) veneta</i> Rosa, 1886	Europa / weltweit	3-33°C / 15-25°C
<i>Eisenia hortensis</i> Michaelson, 1890	Europa / weltweit	morphologisch nicht von <i>Eisenia veneta</i> zu unterscheiden
<i>Perionyx excavatus</i> Perrier, 1872	Himalaja / von tropischen Flachländern Myanmars bis in 3 000 m ü.NN im Himalaja	9-30°C / 15-30°C
<i>Eudrilus eugeniae</i> Kinberg, 1867	Westafrika / in vielen Ländern Süd- und Nordamerikas, Indien	9-30°C / 20-28°C
<i>Amyntas corticis</i> Kinberg, 1867	Ost- und Südost-Asien / weltweit in gemäßigten bis tropischen Klimaten	Hinweise auf Minimal-Temperatur von 15°C
<i>Amyntas gracilis</i> Kinberg, 1867	wahrscheinlich China / weltweit in tropischen und warmen Gebieten	ohne Angaben
<i>Lampito mauritii</i> Kinberg, 1867	Indien, Asien	ohne Angaben
<i>Pheretima elongata</i> Perrier, 1872	in tropischen Gebieten, Indien	ohne Angaben
<i>Octochaetona spp.</i>	Indien	ohne Angaben

Bei vergleichenden Studien von *Eisenia fetida*, *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus*, *Eisenia veneta* und *Amyntas corticis* hat sich *Eisenia fetida* als geeignetste Art für die Wurmkompostierung herausgestellt. Gründe sind die weite Temperaturtoleranz, eine hohe Reproduktionsrate und eine hohe Effizienz bei der Umwandlung organischer Abfälle. *Eudrilus*



Abb. 13: *Eisenia fetida* (public domain, Mihai Duguleana)

eugeniae und *Perionyx excavatus* sind auch effektiv, eignen sich aber aufgrund schmalere Temperaturtoleranzen eher für tropische Gebiete. (BLAKEMORE 2000)

Tab. 8: Optimale Bedingungen für die Vermehrung von *Eisenia fetida* und *Eisenia andrei* in organischen Abfällen (DOMÍNGUEZ & EDWARDS 2004)

Faktor	Anforderungen
Temperatur	15-20°C (tolerabel 4-30°C) (+/-5°C zu BLAKEMORE 2000)
Feuchtigkeit	80-90% (tolerabel 60-90%)
Sauerstoffgehalt	aerobe Zustände
Ammoniakgehalt des Abfalls	niedrig: < 1 mg/g
Salzgehalt	niedrig: < 0,5%
pH-Wert	5-9

Tab. 9: Einige Daten zu *Eisenia fetida* und *Eisenia veneta* (Datenquelle: DOMÍNGUEZ & EDWARDS 2004)

	<i>Eisenia fetida</i>	<i>Eisenia veneta</i>
Größe eines adulten Wurms in mm	4-8 x 50-100	5-7 x 50-80
Durchschnittsgewicht eine adulten Wurms	0,55 g	0,92 g
Dauer bis zu Geschlechtsreife	28-30 d	65 d
Lebenszyklus	45-51 d	100-150 d
Selbstbefruchtung	ja	unklar
Anzahl Kokons pro Tag	0,35-0,5	0,28
Inkubationszeit	18-26 d	42 d
Schlupfwahrscheinlichkeit	73-80%	20%
Anzahl Würmer pro Kokon	2,5-3,8	1,1

Die Frage, ob eine Mischung verschiedener Erdwurmarten effektivere Ergebnisse bei der Stoffumsetzung liefern würde als bei der Kultur einer einzelnen Art, ist ungeklärt. Nach BLAKEMORE (2000) sollte theoretisch durch die Aufteilung von Ressourcen und Umwelttoleranzen ein besseres Ergebnis zustande kommen. Er führt gleichzeitig aber auch frühere Versuche auf, bei denen keine Vorteile zu erkennen waren und wo bei Mischungen mit *Eisenia fetida* diese Art oft dominant war. Laut DOMÍNGUES et al. (2005) sollte *Eisenia fetida* auch nicht mit *Eisenia andrei* zusammen gehalten werden, weil sonst die Populationsdynamik gestört und die individuelle Fitness der Würmer verringert wird. In Anbetracht, dass nur sehr wenige Arten als

Kompostwürmer verwendet werden, kann jedoch nicht endgültig ausgeschlossen werden, dass es Arten gibt, die in Mischung mit anderen Arten bessere Leistungen erzielen als in Einzelkultur.

4.3. Beziehungen zwischen Erdwürmern und Mikroorganismen

Bei der Wurmkompostierung wird der biochemische Abbau organischen Materials durch Mikroorganismen von den Würmern stark vorangetrieben. Sie vermischen das Material, ändern den chemischen und physikalischen Zustand, vergrößern die Oberfläche und machen es damit für die Mikroorganismen viel attraktiver. Bei der Passage durch den Wurmdarm wird das Material zusammen mit den Bakterien stark homogenisiert. (DOMÍNGUEZ & EDWARDS 2004)

Laut BLOUIN et al. (2006) wurde bisher in über 300 Experimenten die positive Wirkung von Erdwürmern auf das Pflanzenwachstum nachgewiesen, ohne dass mögliche Erklärungen für diesen Effekt ordentlich getestet wurden. BLOUIN et al. (2006) haben darauf hin *Millsonia anomala*, eine Erdwurmart der Feuchtsavanne von der Elfenbeinküste untersucht. Diese Art kann zu den Endogeés (siehe Tab. 6) gezählt werden, sie eignet sich deshalb nicht als Kompostwurm. Die Ergebnisse der Versuche könnten allerdings auch die Leistungen von Kompostwürmern besser erklären. Es wurde herausgefunden, dass *Millsonia anomala* nicht die Mineralisierung der Bodenorganik fördert und dass sein Einfluss auf den physikalischen Zustand des Bodens für die Pflanzen kaum ausschlaggebend ist. Auch eine Populationskontrolle von Pflanzenparasiten durch die Würmer konnte nicht festgestellt werden. Dennoch gab es Änderungen der Pflanzenphysiologie, die darauf schließen lassen, dass die Erdwürmer symbiotische Bodenbakterien aktivieren, welche wiederum Phytohormone freisetzen, die die Änderung des Wurzelwachstums und Resistenzerscheinungen gegenüber Parasiten erklären würden.

Nach MONROY et al. (2006) konnte in Experimenten mit *Eisenia fetida* eine direkte und eine indirekte Wirkung der Erdwürmer auf die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft festgestellt werden. Bei Anwesenheit der Würmer wird die Vielfalt der Mikroorganismen erhöht, ebenso steigen Aktivität und Biomasse an. Die indirekte Wirkung wird durch die alleinige Zugabe von Wurmkompost zu einem Kompostsubstrat deutlich, wo daraufhin ähnliche Auswirkungen wie bei der Anwesenheit von Erdwürmern zu beobachten sind. Diese Beobachtungen stützen die Ergebnisse von BLOUIN et al. (2006).

Zudem konnten MONROY et al. (2006) nachweisen, dass Nematoden nach der Passage durch den Wurmdarm nicht mehr zu finden sind. Damit gibt es auch einen Populationseinfluss auf einige höhere Lebewesen als Bakterien. HUHTA & RÄTY (2006) haben in Feldversuchen mit *Lumbricus terrestris* und *Aporrectodea caliginosa* nachgewiesen, dass Erdwürmer die Population von Nematoden, Enchytraeiden und Gliederfüßern verkleinern können.

BYZOV et al. (2006) haben an *Aporrectodea caliginosa* nachgewiesen, dass verschiedene Arten von Bakterien im Wurmdarm abgetötet, andere hingegen gefördert werden, was eine selektive Änderung der Gemeinschaft von Mikroorganismen zur Folge hat. Die taxonomische Stellung der einzelnen Arten hatte dabei keinen Einfluss auf die Selektion.

4.4. Pathogene

Wurmkompost kann Pflanzenpathogene unterdrücken und verringert die Populationen von Pflanzenparasiten signifikant (EDWARDS et al. 2004). In den vergangenen Jahren wurde dieser Effekt bei diversen Untersuchungen festgestellt. Momentan wird verstärkt daran geforscht, die verantwortlichen Mechanismen zu verstehen (siehe „The 8th International Symposium on Earthworm Ecology, 2006“, <http://www.eko.uj.edu.pl/ISEE8/sciprogram.html>). Bei der Wurmkompostierung werden aber nicht nur pflanzliche, sondern auch menschliche Pathogene angegriffen.

Laut EDWARDS et al. (2000) wurden konsistente experimentelle Beweise gefunden, dass die Wurmkompostierung eine effiziente Methode darstellt, um menschliche Krankheitserreger in organischen Abfällen beseitigen. Abhängig von den jeweils eingesetzten Wurmkompostierungssystemen und dem pathogenen Anteil im Abfall wurden Eliminationszeiten von 3-70 Tagen beobachtet.

So wurden zum Beispiel bei einem Experiment zur Abwägung einer alternativen Behandlung von Abwasserrückständen mittels Wurmkompostierung die Rückstände aus einer Kläranlage mit den vier Kontrollpathogenen der US-amerikanischen Umweltbehörde (USEPA) massiv geimpft. Im Massenverhältnis 1:1,5 wurden Würmer der Art *Eisenia fetida* zu den Rückständen hinzu gegeben. Nach sechs Tagen wurde gegenüber den Kontrollreihen eine größere Reduzierung der Testpathogene für die mit Würmern versetzten Rückstände festgestellt. Fäkale Coliforme wurden viermal stärker reduziert, *Salmonella* spp. wurde 1,75-mal stärker

reduziert, Typhusvirus wurde 2,5-mal stärker reduziert und Wurmeier (Parasiten) wurden fünfmal stärker reduziert. (EASTMAN et al. 2000)

Laborversuche von DOMÍNGUEZ & EDWARDS (2004) unterstützen die vorherigen Aussagen. Demnach konnte nachgewiesen werden, dass nicht nur die thermophile Phase bei der Kompostierung Pathogene eliminiert. Nach 60 Tagen Wurmkompostierung fiel die Menge an fäkalen Kolibakterien von 39 000 MPN/g auf 0 MPN/g, die Menge an *Salmonelle sp.* viel von <3 MPN/g auf <1 MPN/g.

Erdwürmer können jedoch auch selber Überträger von Krankheiten sein. So wurden sie zum Beispiel als ein Überträger der Maul- und Klauenseuche festgestellt. Weiterhin gab es Fälle, wo die Infektion mit Nematoden (Fadenwürmer) in menschlichen Lungen und Nieren von Erdwürmern herrührten. (BLAKEMORE 2000) Für einige Haustierarten sind sie Zwischenwirt von Cestoden (Bandwürmer) und Nematoden. Deshalb dürfen mit Haustierkot gefütterte Erdwürmer nicht an dieselbe Art rückverfüttert werden. (KNIERIEMEN 1984) Es gab andererseits auch Experimente, bei denen Nematoden im Schweinedung nach der Passage durch den Darm von *Eisenia fetida* nicht mehr feststellbar waren (MONROY et al. 2006).

4.5. Schwermetalle

Schwermetalle sind für Erdwürmer erst ab hohen Konzentrationen toxisch, es erfolgt jedoch eine Anreicherung im Wurmkörper (KNIERIEMEN 1984). In jüngster Zeit wurden diverse Labor- und Feldversuche zum Einfluss von Schwermetallen auf Erdwürmer durchgeführt, welche die obige Aussage grundsätzlich bestätigen. Nachzulesen in den Publikationen der „[8th International Symposium on Earthworm Ecology, 2006](#)“.

Bei einer vergleichenden Untersuchung der mikrobiellen Gesellschaft in Wurmkomposten aus Klärschlamm und aus Rindermist wurden zwei- bis sechsfach verringerte Konzentrationen von Schwermetallen (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) gegenüber den Ausgangssubstraten festgestellt. Jedoch wurde in vorangegangenen Versuchen eine erhebliche Anreicherung von Schwermetallen in den Würmern verzeichnet. Ein Zusammenhang zwischen diesen Resultaten wird angenommen. (VERKHOVTSEVA et al. 2002)

Bei der Untersuchung eines kontinuierlichen Wurmkompostsystems für Schweinedung und land- bzw. forstwirtschaftliche Nebenprodukte wurden von

DOMÍNGUEZ & EDWARDS (2004) auch die Veränderungen der totalen bzw. der pflanzenverfügbaren Schwermetallkonzentrationen gemessen. Gegenüber dem Ausgangssubstrat hat sich die totale Konzentration aufgrund der Kohlenstoffmineralisierung (Massenverlust) um 25 – 30% erhöht. Die pflanzenverfügbare Konzentration sank jedoch um 35 – 55%. Nach DOMÍNGUEZ & EDWARDS (2004) haben andere Versuche über Kompostierung und Wurmkompostierung ähnliche Resultate erzielt. Es wird davon ausgegangen, dass die Schwermetalle komplexe Bindungen mit Huminsäuren und polymeren organischen Fraktionen eingehen. So lange diese Bindungen bestehen, sind die Schwermetalle nicht pflanzenverfügbar und gelangen deshalb nicht in Nahrungsketten.

Der Einfluss von Schwermetallen auf die Erdwürmer selbst kann sich durch Resistenzbildungen verändern. So wurde in vierwöchigen Versuchen *Eisenia fetida* verschiedenen, nicht letalen Dosen von Schwermetallen ausgesetzt. Gegenüber Cadmium zeigten sich Resistenzerscheinungen, bei Blei und Zink dagegen nicht. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass die Aufnahme eines zweiten Schwermetalls durch die voran gegangene vierwöchige Einwirkzeit des ersten Metalls beeinflusst wird. (REINECKE & REINECKE 2000) In späteren Versuchen wurde wiederholt beobachtet, dass die Einflüsse auf den Lebenszyklus von *Eisenia fetida* von Metall zu Metall unterschiedlich sind (REINECKE & REINECKE 2006).

5. Wurmkompostierung für Medizinische Abfälle

Zu Beginn dieses Kapitels muss noch einmal der Begriff der medizinischen Abfälle präzisiert werden (siehe hierzu auch 3.4 Trennung). Zum größten Teil bestehen medizinische Abfälle aus hausmüllähnlichen Bestandteilen, die bei sachgerechter Trennung auch wie Hausmüll entsorgt werden können. Zu den möglichen Entsorgungsverfahren zählt unter Umständen auch die Wurmkompostierung der organischen Bestandteile. Beispiele für eine Implementierung solcher Systeme in Krankenhäuser findet man bei MUSC (2004) und VERMA & SRIVASTA (2000). Die Behandlung von gefährlichen medizinischen Abfällen mit Wurmkompostierung ist dagegen nahezu unerforscht.

Es stellt sich auch die Frage, ob neben den bereits vorhandenen Behandlungsmethoden (siehe 3.5 Behandlung) noch ein weiteres Verfahren gebraucht wird. Grundsätzlich ist diese Frage zu bejahen, besonders aus der Tatsache heraus, dass viele Behandlungsmethoden einen hohen Technikgrad aufweisen und damit einen hohen Organisations- und Kapitalaufwand bedingen. Betrachtet man die Situation in vielen Entwicklungs- und Schwellenländern, so ist der Bedarf einer weiteren kostengünstigen Behandlungsmöglichkeit für gefährliche medizinische Abfälle gegeben. Nicht überall sind die Voraussetzungen für den Einsatz jeder Low-Cost-Methode vorhanden. Es gibt nicht überall genügend Sonneneinstrahlung für solare Techniken (siehe 3.5.3 Nass- und trockenthermische Verfahren) oder hohe Grundwasserstände und Überflutungen verbieten die Durchführung einer kontrollierten Ablagerung (siehe 3.5.6 Einkapselung und 3.7 Deponierung).

5.1. Bisherige Erfahrungen

Die Zeitung India Together (INDIATOGETHER) berichtete 2004 unter anderem von einem Allgemeinmediziner, der etwa 20 km außerhalb der indischen Stadt Pune seine Praxis betreibt. In eine 1,8 mal 1,8 m große Betongrube füllte er eine Schicht „Biokultur“. Es ist anzunehmen, dass es sich um eine an Mikro- und Makroorganismen reiche Substratmischung, Erdwürmer eingeschlossen, handelte. Als zweite Schicht wurden extra getrennte Abfälle wie Plazentas, Sanitärtücher und alle Arten von mit Blut und anderen Flüssigkeiten getränkte Verbände auf die erste Schicht gegeben. Nach Zersetzung der Abfallschicht, wurde das Material als

Bodenzugabe in benachbarten Gärten verwendet. Der Mediziner bezeichnete die Methode als schnell, sicher und wesentlich günstiger als eine Verbrennungsanlage.

Aus den Beschreibungen des Artikels ist nicht genau zu entnehmen, ob ein thermischer Kompostierungsprozess stattgefunden hat, erwähnt wurde keiner. Bei der genannten Anlagengröße ist es gut möglich, dass ein thermischer Effekt, wenn überhaupt, nur minimal ausgeprägt war und eine Hygienisierung nur von den anwesenden Mikro- und Makroorganismen getragen wurde.

Durch dieses Beispiel wird die Notwendigkeit verdeutlicht, mehr über die Wurmkompostierung in Zusammenhang mit gefährlichen medizinischen Abfällen zu erfahren. Denn das Verfahren wurde schon angewendet, ob mit mehr oder weniger Würmern, sei hier einmal an den Rand gestellt. Die berichteten Resultate stimmen hoffnungsvoll, doch ohne weitere Untersuchungen kann kaum eine Beurteilung hinsichtlich der Effizienz und möglicher Gefahren erfolgen.

Von MATHUR et al. (2006) wurde der bisher wahrscheinlich erste größere Versuch über die Leistungsfähigkeit der Wurmkompostierung hinsichtlich infektiösen medizinischen Abfällen durchgeführt. Der Versuch wurde unter kontrollierten Bedingungen mit *Eisenia fetida* und *Eudrilus eugeniae* durchgeführt und dauerte zwölf Wochen bis zur vollständigen Umwandlung des Abfalls. Als Ausgangssubstrat wurden unter anderem mit Blut verschmutzte Baumwoll- und Gazeteile, Eiter und Körperflüssigkeiten verwendet. Am Ende des Zeitraumes hatte das Substrat nur noch ein Viertel der Ausgangsmasse und die Gesamtmasse der Erdwürmer hatte sich etwa um den Faktor 1,7 erhöht. Pathogene Mikroorganismen, welche zu Beginn noch vorhanden waren, konnten nicht mehr nachgewiesen werden, dagegen hatte sich eine ähnliche Bakterienzusammensetzung gebildet, wie sie oft in Böden vorkommen. Das geht mit den Erkenntnissen einher die im Kapitel 4.3 vorgestellt wurden (Beziehungen zwischen Erdwürmern und Mikroorganismen).

5.2. Potentiale

In diesem Kapitel sollen die wichtigsten Aspekte behandelt werden, welche die potentielle Nutzung der Wurmkompostierung in der Behandlung medizinischer Abfälle beeinflussen. Die Gliederung der Aspekte in Schwerpunkte erfolgt durch die jeweilige Voranstellung einer Frage.

Können die biologisch abbaubaren Bestandteile des gefährlichen medizinischen Abfalls mithilfe von Wurmkompostierung behandelt werden?

Ja, die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass eine Hygienisierung mittels Wurmkompostierung möglich ist. Im Abfall enthaltene Schwermetalle werden nicht abgebaut, aber teilweise in organischen Verbindungen festgelegt.

Welche Vorteile gäbe es gegenüber den bisherigen Behandlungsmethoden?

Das Verfahren wäre sowohl bei der Investition als auch im Betrieb kostengünstig und verlangt nur minimalste Ansprüche an die Infrastruktur. Es wird lediglich ein Anfangsbesatz von geeigneten Kompostwürmern gebraucht. Die Anlagen für die Wurmkompostierung könnten sehr wahrscheinlich bei entsprechendem Wissenstransfer mit lokal verfügbarem Material von ansässigen Handwerkern errichtet werden. Die Aufrechterhaltung der notwendigen Systemtemperaturen ist meist ohne technische Hilfsmittel möglich. Die konstante Versorgung mit Biomasse kann beim Ausbleiben von medizinischem Abfall durch andere biologische Abfälle sichergestellt werden.

Auch sehr kleine Anlagen für kleine Hospitäler oder einzelne Arztpraxen sind möglich. Im Vergleich zur herkömmlichen Kompostierung muss keine Mindestgröße für die Hygienisierung (thermischer Effekt) eingehalten werden, auch ist durch die Wurmkaktivität sichergestellt, dass die vollständige Menge behandelt wird.

Der behandelte Abfall kann bei geringen Schwermetallgehalten sogar als Bodenzusatz verwendet werden.

Welche Nachteile gäbe es gegenüber den bisherigen Behandlungsmethoden?

Die Funktionsweise der biologischen (nichtthermischen) Hygienisierung ist größtenteils noch ungeklärt.

Die Sicherstellung des Hygienisierungserfolges ist aufwendig. Bei den herkömmlichen Verfahren liegen viele Erfahrungen und Regelungen vor, über welchen Zeitraum eine physikalische oder chemische Größe (Temperatur, Druck, Mikrowellen, Chemikalienkonzentration) mit welchem Wert einzuhalten ist um eine erfolgreiche Behandlung sicherzustellen. Mit bakteriellen und virologischen Standardtests lässt sich zwar das Ergebnis der biologischen Behandlung feststellen, jedoch ist dies aufwendiger, als wenn man sagen könnte, welche Menge Abfall unter welchen Bedingungen wie viel Zeit braucht, um vollständig hygienisiert zu sein.

Die biologische Behandlung mit Kompostwürmern könnte auch klein geschredderte Abfallbestandteile einschließen, die nicht biologisch abbaubar sind. Eine Hygienisierung der Oberflächen müsste durch den Kontakt mit der Mikroorganismengemeinschaft erreicht werden. Allerdings müsste evtl. darüber nachgedacht werden, die Wurmkompostierung nur als eine Behandlungskomponente in ein System einzubauen. Dies könnte zwar die mengenmäßige Belastung der anderen Systemkomponenten verringern, es gebe aber eben keine Anlage die alles macht, der Organisationsaufwand könnte dadurch steigen.

Welche Fragen müssen geklärt werden?

Die Funktionsweise der nicht thermischen Hygienisierung ist aufgrund der beteiligten Mikroorganismengesellschaft sehr komplex. Ein Verständnis der genauen Vorgänge würde zur möglichen Optimierung der Wurmkompostierung beitragen.

Die Leistungsfähigkeit der Wurmkompostierung gegenüber biologisch abbaubarem Abfall wurde oft nachgewiesen. Inwieweit eine Mitbehandlung von nicht biologisch abbaubarem medizinischem Abfall möglich ist, entscheidet mit über das mögliche Einsatzspektrum dieser neuen Methode.

Wegen der Gefährlichkeit der medizinischen Abfälle muss geklärt werden, wie eine Wurmkompostanlage eingerichtet werden muss, um mögliche Infektionen und Verletzungen zu vermeiden. Dies schließt auch die Anbindung an ein Abfallwirtschaftskonzept ein, um Verfahren und organisatorische Abläufe zu optimieren.

Abgesehen vom eigentlichen Verfahren muss bei einer möglichen Umsetzung auch auf die rechtlichen Möglichkeiten und Beschränkungen eingegangen werden.

6. Zusammenfassung

Diese Arbeit untersucht die potentiellen Möglichkeiten, die die Wurmkompostierung bei der Behandlung von gefährlichen medizinischen Abfällen bieten kann. Bereits vorhandene Behandlungsverfahren werden mit ihren Vor- und Nachteilen vorgestellt. Die Wurmkompostierung wird mit Hinblick auf die Behandlung von biologisch abbaubaren Bestandteilen von medizinischen Abfällen betrachtet.

Nach der Auswertung der betrachteten Literatur wird davon ausgegangen, dass die Wurmkompostierung eine kostengünstige und effektive Alternative bzw. Ergänzung zu den bisherigen Behandlungsmethoden darstellen könnte.

Bevor diese neue Methode in die Praxis umgesetzt werden kann, müssen jedoch noch einige offene Fragen beantwortet werden. Das Verständnis des Hygienisierungsprozesses ist noch gering. Der sichere Umgang mit gefährlichen medizinischen Abfällen in Wurmkompostanlagen muss geklärt. Außerdem stellt sich die Frage nach der Einrichtung dieser Anlagen und welche rechtlichen Forderungen beachtet werden müssen.

Quellenangaben

- BAROIS & ARANDA 2000, I. Barois, E. Aranda, Vermicomposting in Central and South America, the case study of the coffee pulp as a vermicomposting substrate. In: Vermillennium Abstracts. (Zusammenfassungen zur "Vermillennium" Konferenz in Kalamazoo, Michigan, USA, 16.-22. September 2000), Flowerfield Enterprises
- BERG et al. 2004, J.L. Berc, O. Muñiz, B. Calero, Vermiculture Offers A New Agricultural Paradigm (Cuba). In: BioCycle June 2004, Vol. 45, No. 6, p. 56
- BLAKEMORE 2000, R.J. Blakemore, Vermicology I – Ecological considerations of the earthworms used in vermiculture – a review of the species. In: A selection of manuscripts presented at the "Vermillennium" conference held in Kalamazoo, Michigan, September 16-22, 2000, <http://bio-eco.eis.ynu.ac.jp/eng/database/earthworm/>
- BLOUIN et al. 2006, M. Blouin, D. Laffray, A.T. Pham-Thi, Y. Zuily-Fodil, G. Reversat, P. Lavelle, Why do earthworms increase plant growth? In: Abstracts book, The 8th International Symposium on Earthworm Ecology 4th – 9th September 2006 Kraków, Poland, <http://www.eko.uj.edu.pl/ISEE8/sciprog.html>
- BYZOV et al. 2006, B.A. Byzov, N.V. Khomyakov, T.J. Nechitaylo, P.N. Golyshin, The sensitiveness of soil bacteria at the digestive fluid in the gut of the earthworm *Aporrectodea caliginosa*. In: Abstracts book, The 8th International Symposium on Earthworm Ecology 4th – 9th September 2006 Kraków, Poland, <http://www.eko.uj.edu.pl/ISEE8/sciprog.html>
- CONNET 1997, P. Connet, Medical Waste Incineration: A Mismatch Between Problem and Solution. In: The Ecologist Asia, v. 5, Nr. 2, März-April 1997, <http://www.no-burn.org/resources/library/mismatch.pdf>
- DASCHNER & BAUER 2000, F. Daschner, M. Bauer, Wiederaufbereitung und Resterilisation von Einweg-Medizinprodukten: Hygiene, Ökonomie, Ökologie, Recht, Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene, Universitätsklinikum Freiburg, ISBN 3-00-006086-3
- DOMÍNGUES et al. 2005, J. Domínguez, A. Velando, A. Ferreira, Are *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) and *Eisenia andrei* Bouche´ (1972) (Oligochaeta, Lumbricidae) different biological species?. In: Pedobiologia (2005), Nr. 49, S. 81-87
- DOMÍNGUEZ & EDWARDS 2004, J. Domínguez, C.A. Edwards, 17. Vermicomposting organic wastes: A review. In: S.H.S. Hanna (Bearb.), W.Z.A. Mikhail (Bearb.): Soil Zoology for Sustainable Development in the 21st Century. Kairo, 2004, S. 369-395

- EASTMAN et al. 2000, B.R. Eastman, P.N. Kane, C.A. Edwards, L. Trytek, B. Gunadi, Vermiculture's effectiveness as an alternative to standard USEPA stabilization methodologies. In: Vermillennium Abstracts. (Zusammenfassungen zur "Vermillennium" Konferenz in Kalamazoo, Michigan, USA, 16.-22. September 2000), Flowerfield Enterprises
- EDWARDS et al. 2000, C.A. Edwards, B. Eastman, B. Gunandi, The fate of human pathogens during vermicomposting. In: Vermillennium Abstracts. (Zusammenfassungen zur "Vermillennium" Konferenz in Kalamazoo, Michigan, USA, 16.-22. September 2000), Flowerfield Enterprises
- EDWARDS et al. 2004, C.A. Edwards, J. Domínguez, N.Q. Arancon, 18. The influence of vermicomposts on plant growth and pest incidence. In: S.H.S. Hanna (Bearb.), W.Z.A. Mikhail (Bearb.): Soil Zoology for Sustainable Development in the 21st Century. Kairo, 2004. S. 397-420
- ELVIRA et al. 1997, C. Elvira, L. Sampedro, J. Domínguez, S. Mato, Vermicomposting of wastewater sludge from paper-pulp industry with nitrogen rich materials. In: Soil Biol. Biochem. Vol.29, No. 3/4, pp. 759-762, Elsevier Science
- FAECHEM et al. 1983, R.G. Faechem, D.J. Bradley, H. Garelick, D.D. Mara, Sanitation and Disease - Health Aspects of Excreta and Wastewater Management. World Bank
- HAUG 1993, R.T. Haug, The practical handbook of compost engineering, Lewis Publishers, ISBN 0-87371-373-7
- HCWH 2002, Healthcare Without Harm, Environmentally Responsible Management of Health Care Waste With a Focus on Immunization Waste.
- HCWH 2003, Healthcare Without Harm, Results of the international competition for innovative technologies for the treatment of medical waste in rural areas.
- HCWH 2005, Healthcare Without Harm, website, PVC & DEHP - The Issue. <http://www.noharm.org/globalsoutheng/pvcDehp/issue>
- HOGAN 1998, J.A. Hogan, Composting. In: In: G.A. Lewandowski, L.J. DeFilippi, Biological Treatment of Hazardous Wastes. John Wiley & Sons, ISBN 0-471-04861-5
- HUHTA & RÄTY 2006, V. Huhta, M. Rätty, Earthworms modify the soil faunal community structure. In: Abstracts book, The 8th International Symposium on Earthworm Ecology 4th – 9th September 2006 Kraków, Poland, <http://www.eko.uj.edu.pl/ISEE8/sciprog.html>
- IHLY 2001, L. Ihly, Hygienische, praktische und rechtliche Aspekte bei der Wiederaufbereitung von Einweg-Medizinprodukte in Europa, Inaugural-Dissertation, Medizinische Fakultät, Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene, Universität Freiburg

- INCO 2005, Developing Sustainable Water Management in the Jordan Valley. Projekt der Specific International Scientific Cooperation Activities (INCO), <http://systemforschung.arcs.ac.at/jowapubl/>
- INDIATOGETHER 2004, Treating garbage right. (Zeitungsbericht) In: India Together <http://www.indiatogether.org/2004/mar/env-garbage.htm>
- JANTZEN & STRAUCH 1987, W. Jantzen, S. Geiler, Materielle Ver- und Entsorgung in Klinikkomplexen / Einrichtungen der Sterilisation und Desinfektion. Dresden: Zentralinstitut für Hochschulbildung, Abt. Hoch- und Fachschulbau
- JOHANNESSEN & BOYER 1999, L.M. Johannessen, G. Boyer, Observations of Solid Waste Landfills in Developing Countries: Africa, Asia, and Latin America; World Bank, <http://web.mit.edu/urbanupgrading/urbanenvironment/resources/references/key-sectors.html>
- KNIERIEMEN 1984, D. Knieriemen, Biomassegewinnung durch Vermehrung wärmeliebender Regenwurmarten – Ein Beitrag zur Verwertung organischer Abfälle, Dissertation, Fachbereich Angewandte Biologie und Umweltsicherung, Justus-Liebig-Universität Gießen
- KRAFT 2002, E. Kraft, Grundlagen der Abfallwirtschaft - Deponierung von Abfällen. (Lernscript), Lehrstuhl Abfallwirtschaft, Prof. Dr.-Ing. habil. W. Bidlingmaier, Bauhaus-Universität Weimar
- LOWE & BUTT 2006, C.N. Lowe, K.R. Butt, The use of earthworms as a test organism in ecotoxicology: a critical review. In: Abstracts book, The 8th International Symposium on Earthworm Ecology 4th – 9th September 2006 Kraków, Poland, <http://www.eko.uj.edu.pl/ISEE8/sciprog.html>
- MATHUR et al. 2006, U.B. Mathur, L.K. Verma, J.N. Srivastava, Effects of vermicomposting on microbiological flora of infected biomedical waste. In: ISHWM Journal 5 (1) 2006
- MONROY et al. 2006, F. Monroy, M. Aira, J. Domínguez, Earthworms increase diversity of decomposers and modify compartmentalization of the fungal and bacterial energy channels of soil food webs during decomposition of organic matter. In: Abstracts book, The 8th International Symposium on Earthworm Ecology 4th – 9th September 2006 Kraków, Poland, <http://www.eko.uj.edu.pl/ISEE8/sciprog.html>
- MORARKA FOUNDATION 2006, M. R. Morarka GDC Rural Research Foundation, Rajasthan India, <http://www.morarkango.com/>
- MUSC 2004, Medical University of South Carolina, Office of Recycling and Solid Waste Management, Vermicompost, <http://www.musc.edu/recycle/vermicompost.htm>

- REICHARD & OCHTERBECK 1994, D. Reichard, W. Ochterbeck, Abfälle aus chemischen Laboratorien und medizinischen Einrichtungen, ecomed, ISBN 3-609-65790-1
- REINECKE & REINECKE 2000, S.A. Reinecke, A.J. Reinecke, Resistance and cross resistance to toxic metals in earthworms. In: Vermillennium Abstracts. (Zusammenfassungen zur "Vermillennium" Konferenz in Kalamazoo, Michigan, USA, 16.-22. September 2000), Flowerfield Enterprises
- REINECKE & REINECKE 2006, S.A. Reinecke, A.J. Reinecke, Correlating effects of long-term heavy metals exposure on life-cycle parameters and neutral red biomarker responses in *Eisenia fetida*. In: Abstracts book, The 8th International Symposium on Earthworm Ecology 4th – 9th September 2006 Kraków, Poland, <http://www.eko.uj.edu.pl/ISEE8/sciprog.html>
- SANITEC 2007, Sanitec Industries, Washington, USA, <http://www.sanitecindustries.com/index.php>
- SAVAGE & DIAZ 2005, G.M. Savage, L.F. Diaz, Risks associated with the disposal of healthcare wastes on land. In: R. Cossu (Editor), R. Stegmann (Editor): Proceedings (CD-ROM) of Sardinia 2005 - Tenth International Waste Management and Landfill Symposium.
- SHERMAN 1997, R. Sherman, Snapshots of Selected Large-Scale Vermicomposting Operations. North Carolina State University, Department of Biological and Agricultural Engineering, <http://www.bae.ncsu.edu/topic/vermicomposting/vermiculture/>
- SILIO 2000, L. Silio, Can *Eisenia fetida* positively affect the phytoremediation process? In: Vermillennium Abstracts. (Zusammenfassungen zur "Vermillennium" Konferenz in Kalamazoo, Michigan, USA, 16.-22. September 2000), Flowerfield Enterprises
- STEUER et al. 1998, W. Steuer, U. Lutz-Dettinger, F. Schubert, Leitfaden der Desinfektion, Sterilisation und Entwesung: mit Grundlagen der Mikrobiologie, Infektionslehre, Epidemiologie und der tierischen Schädlinge. G. Fischer Verlag, ISBN 3-437-25560-9
- STOLZE 2004, R. Stolze, Verfahren zur Behandlung mikrobiologisch bedenklicher Abfälle in Entwicklungsländern. Studienarbeit, Professur Abfallwirtschaft, Fakultät Bauingenieurwesen, Bauhaus-Universität Weimar
- TITOV et al. 2006, I.N. Titov, E.A. Ilyin, N.P. Larionov, Vermiculture: New pharmaceuticals - Review. In: Abstracts book, The 8th International Symposium on Earthworm Ecology 4th – 9th September 2006 Kraków, Poland, <http://www.eko.uj.edu.pl/ISEE8/sciprog.html>

- VERKHOVTSEVA et al. 2002, N.V. Verkhovtseva, G.A. Osipov, T.N. Bolysheva, V.A. Kasatkov, N.V. Kuzmina, E.J. Antsiferova, A.S. Alexeeva, Comparative Investigation of Vermicompost Microbial Communities In: H. Insam, N. Riddech, S. Klammer, Microbiology of Composting, Springer Verlag, ISBN 3-540-67568-X
- VERMA & SRIVASTA 2000, L.K. Verma, J.N. Srivastava, System application using 'multi option' for hospital waste management in a hospital in india. New Delhi, India
- WENLING & ZHENJUN 2000, C. Wenling, S. Zhenjun, Pharmaceutical value and use of earthworms. In: Vermillennium Abstracts. (Zusammenfassungen zur "Vermillennium" Konferenz in Kalamazoo, Michigan, USA, 16.-22. September 2000), Flowerfield Enterprises
- WHO 1999, editiert von A. Prüss, E. Giroult, P. Rushbrook, Safe management of wastes from health-care activities. World Health Organization, Genf, ISBN 92-4-154525-9
- WHO 2005, World Health Organization - Regional Office for New Delhi, Safe Management of Bio-medical Sharps Waste in India - A Report on Alternative Treatment and Non-Burn Disposal Practices.
- WHO 2007, World Health Organization, website: Healthcare waste management: <http://www.healthcarewaste.org/en>
- WWF 2004, World Wildlife Fund Pakistan, Healthcare waste management. Manual for healthcare professionals & administrators.