

Einfluss des Biogasprozesses auf die hygienische Qualität von Gärresten

Helge Lorenz, Peter Fischer, Jürgen Pröter, Jan Liebetrau



2. Fachtagung „Pflanzenbauliche Verwertung von Gärrückständen aus Biogasanlagen“, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Berlin, 10. und 11. März 2015

Einfluss des Biogasprozesses auf die hygienische Qualität von Gärresten

Gliederung

- Substrate (Mengen Bioabfall, Gülle)
- Hygienerisiken (Güllezusammensetzung, Biogasanlagen, Humanpathogene, Infektionskreislauf)
- Phytohygiene
 - Fallbeispiel Unkrautsamen
- Seuchenhygiene
 - Fallbeispiele *Escherichia coli*, Salmonellen
- Zusammenfassung (Hygienisierungsparameter, Fazit)
- Ausblick und Danksagung
- Publikationsverzeichnis

Substrate - Bioabfälle



EU Countries	Amount (t/a)	Year	References
Germany	9,454,000	2010	DESTATIS, 2012
United Kingdom	4,035,246	2008	EUROSTAT, 2012
France	3,364,000	2008	CGDD, 2010
Italy	3,326,060	2008	EUROSTAT, 2012
Netherlands	1,718,126	2008	EUROSTAT, 2012
Belgium	960,330	2008	FOD, 2012
Austria	714,900	2008	EUROSTAT, 2012
Poland	608,500	2010	GUS, 2011
Sweden	490,144	2008	EUROSTAT, 2012
Spain	403,332	2008	EUROSTAT, 2012
Finland	178,600	2008	EUROSTAT, 2012
Czech Republic	131,785	2008	EUROSTAT, 2012
Slovakia	88,442	2008	EUROSTAT, 2012
Ireland	85,259	2010	EPA, 2012
Portugal	80,420	2010	INDE, 2012
Luxembourg	71,298	2008	EUROSTAT, 2012
Hungary	55,357	2008	EUROSTAT, 2012

“Animal and vegetal waste generated by households per year”

Deutschland 1999:
1,2 Mio. t in BGA

Mengen an Gülle (Beispiele)

- Frankreich: 300 Mio. t/a
- Deutschland: 160-280 Mio. t/a
- Großbritannien: 155 Mio. t/a
- Spanien: 140 Mio. t/a
- Schweden: 26 Mio. t/a [1]

Entwicklung in der Tierproduktion 1965-1990 (Schweden)

- Zunahme der Ausscheidung: + 20 kg Fäzes, + 5 kg Urin (Rind pro Tag)
- Abnahme der Einstreu: von 4-6 auf 0-1,5 kg (Rind pro Tag)
- Geringe TS-Gehalte: keine Selbsterhitzung gelagerter Gülle [2]

Bestandteile von Gülle / Mist

- Exkreme (Fäzes, Urin)
- Einstreu (Stroh, Heu), Futterreste, Wasser (Reinigung)
- Sekretionen aus Nasen, Pharynx, Vagina, Milchdrüse
- Blut, Haut, Plazenta, Milch, Sperma [1, 2]

→ Jeder vom Nutztier ausgeschiedene Krankheitserreger im Sammelgut

Verwertung in Biogasanlagen:

- Deutschland: 3 % verwerten ausschließlich Gülle und Mist, 80 % verwerten Gülle mit Kosubstraten (ca. 29 Mio. t Gülle/a) [3]

Gülle

- Intensivierung und Konzentration der Tierproduktion
- Überbetriebliche Gülleverwertung, zunehmende EU-weite Transporte

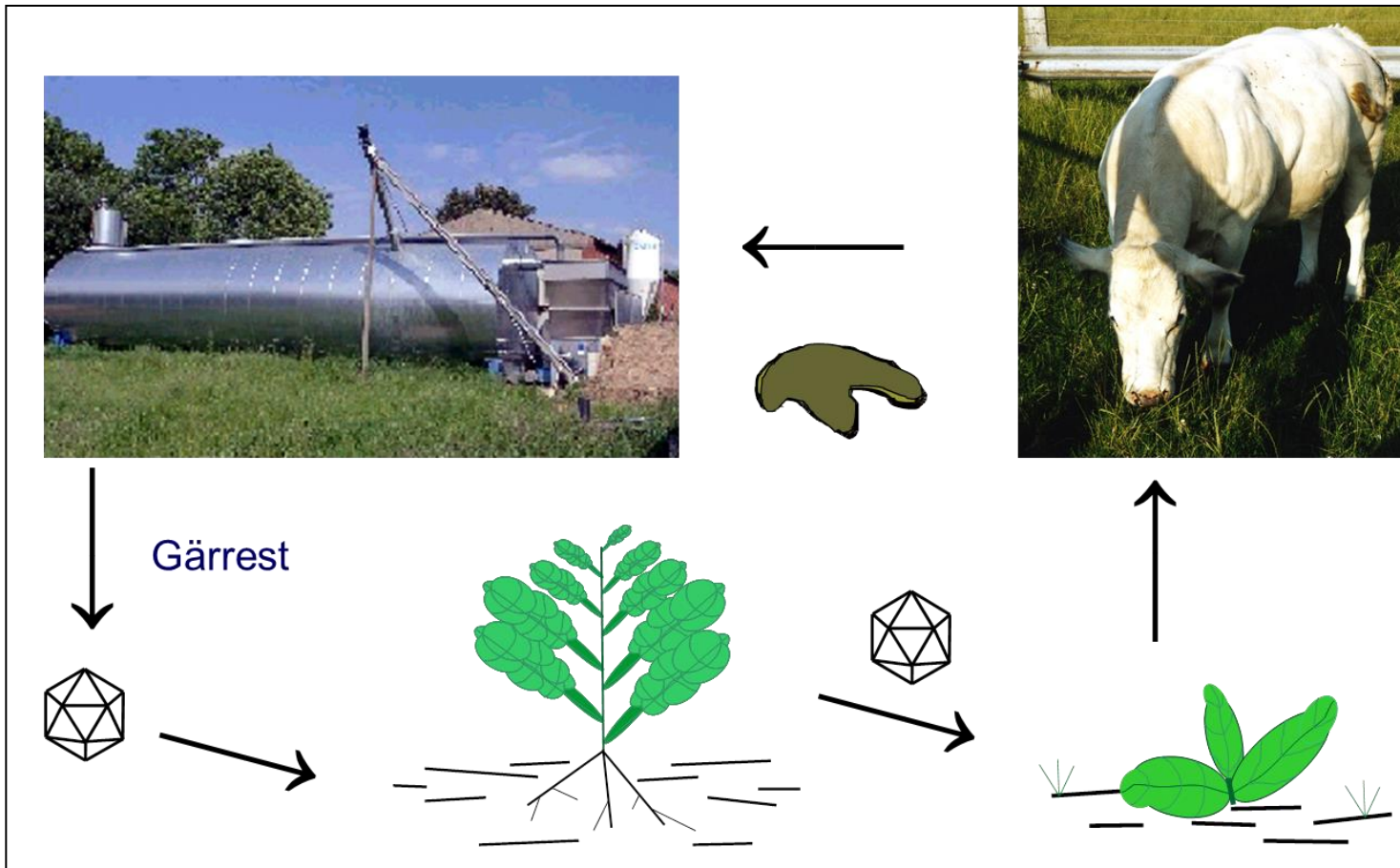
Praxis-Biogasanlagen

- Zunehmende Komplexität der Verfahren sowie der Substratströme (nicht klassifizierbare Substratmischungen, unbekannte Quellen)
- Verschleppung durch Fahrzeuge / Radlader zwischen Eingangs- und Gärrestlager (fehlende Trennung rein-unrein-Bereiche)
- Mindestverweilzeit (MGRT) meist wesentlich kürzer (Minuten, Stunden) als durchschnittliche hydraulische Verweilzeit (Tage)

Humanpathogene

- 1.407 Arten (davon ca. 60 % Zoonosen):
 - 208 Viren / Prionen
 - 538 Bakterien (z.B. pathogene *E. coli*, Salmonellen (Zoonosen))
 - 317 Pilze
 - 57 Protozoen
 - 287 Helminthen [1]
- Zeitraum 1975-1995:
 - Entdeckung 30 neuer Bakterien und Viren, die schwere Infektionskrankheiten hervorrufen können (z.B. Ebola, HIV, EHEC) [2]

Schließung von Infektionskreisläufen



Hintergrund – Handlungsbedarf?

- Besonders widerstandsfähig:
 - Hartschalige, endozoochore Samen
 - Trockene, dormante Samen
- Unkräuter mit Samenbildung > 20 cm Höhe: im Häckselgut nachwachsender Rohstoffe (Mais):
 - *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß) bis zu 150.000 Samen/m²
 - *Echinochloa crus-galli* (Hühnerhirse) bis zu 5.000 Samen/m² [1]
- Nachweis großer Samenmengen z.B. im Bioabfall (Tomaten) und in Gülle / Mist (Ampfer = Problemunkraut der alpenländischen Grünlandwirtschaft)

Fallbeispiel Unkrautsamen



Hygienisierung (1)

- Thermale Tenazität Tomatensamen (feucht):
 - 66-67 ° C, 10 min, 0 % Keimung [1]
- Silierung Tomatensamen:
 - 0 % Keimung [2]
- Lagerung in Rindergülle:
 - 35 ° C, 7-21 d, 0 % Keimung (*C. album*) [3]
 - 50 ° C, ≤ 24 h, 0 % Keimung (*C. album*) [3]

Hygienisierung (2)

- Anaerobe Vergärung im Labormaßstab (Tomatensamen)
 - 33-35 ° C, ≤ 14 d, 0 % Keimung [1]
 - 50-56 ° C, ≤ 11 h, 0 % Keimung [2]
 - 52-57° C, ≤ 24 h, 0 % Keimung [1]

- Anaerobe Vergärung im Praxismaßstab (Tomatensamen)
 - 35 ° C, ≤ 19 d, 0 % Keimung [3]
 - 38-40 ° C, 24 h, 0,2 % Keimung [1]
 - 44-52 ° C, ≤ 24 h, 0 % Keimung [1]

Fallbeispiel *Escherichia coli*



Hintergrund

- Stäbchenförmiges, fakultativ anaerobes Bakterium (*Enterobacteriaceae*)
- Darm-Normalflora Mensch, Tier (Fäzes: 10^4 - 10^9 KBE/g)
- Trinkwasser, Nahrung: Indikator für fäkale Verunreinigung
- Pathogene Stämme:
 - ETEC (enterotoxisch), EPEC (enteropathogen), EHEC (enterohämorrhagisch), EIEC (enteroinvasiv), EAEC (enteroaggregativ), STEC (Shigatoxin produzierend)...
 - Enteritis: meldepflichtige Infektionskrankheit (Infektionsdosis: bei 10^6 - 10^8 : ≤ 25 % und bei 10^{10} : 76-100 % Erkrankungen [1])

Fallbeispiel *Escherichia coli*



EHEC

- Stämme bilden Toxine vergleichbar dem Ruhr-Erreger *Shigella dysenteriae* (Shigatoxine)
- Humanpathogen: Entzündung des Dickdarms, Toxinanreicherung in Nieren (blutige Diarrhö & Nierenversagen = Hämolytisch Urämisches Syndrom (HUS))
- Infektionsdosis: 10-100 [1, 2] bzw. ≥ 100 Keime [3]
- Erstnachweis: 1982 USA
- Krankheitsausbrüche: 1991 USA, 1996 Japan & Schottland (EHEC O157:H7), 2000 Kanada (O157:H4, 18 Todesfälle), 2011 Deutschland (EAEC O104:H4 EHEC/EAggEC, 50 Todesfälle, 226 Mio. € EU-Kompensationszahlungen an betroffene Landwirte)

Fallbeispiel *Escherichia coli*



Handlungsbedarf?

- *E. coli* in potentiellen Gärsubstraten (Beispiele):
 - Bioabfall: 50 % Proben mit 10^5 - 10^7 KBE/g [1]
 - Rindergülle: $2,3 \times 10^5$ (10^4 - 10^9) KBE/g [2]
- *E. coli* in Praxis-Biogasanlagen (Beispiele):
 - 9 BGA: 29 % Proben STEC-positiv, 6 % Proben EPEC-positiv [3]
 - 9 BGA: in 4 BGA $> 5 \times 10^3$ KBE/g [4]
- Richtwert Gärrückstände: < 10 KBE/g (*Enterobacteriaceae*) [5]

Fallbeispiel *Escherichia coli*



Hygienisierung (1)

- Thermale Tenazität *E. coli*:
 - 55 ° C, ≤ 24 h, n.n. (45 min Reduktion um 14 log₁₀) [1]
 - 65 ° C, 10 min, n.n. [1]

- Lagerung in Rindergülle:
 - 10 ° C, 20 Wochen, Reduktion um 6 log₁₀ (EAEC O104:H4) [2]
 - 50 ° C, 18 h, Reduktion um 5 log₁₀ (EAEC O104:H4) [2]
 - 60 ° C, ≤ 4 h, n.n. (EAEC O104:H4) [2]

Fallbeispiel *Escherichia coli*



Hygienisierung (2)

- Anaerobe Vergärung im Labormaßstab
 - 32 ° C, 28 d, Reduktion um 4 log₁₀ [1]
 - 40 ° C, 21 d, Reduktion um 7 log₁₀ [2]
 - 51 ° C, 14 d, Reduktion um 7 log₁₀ (2 h Reduktion um 3 log₁₀) [2]
- Anaerobe Vergärung im Praxismaßstab
 - Mesophil (37-42 ° C): Mehrzahl der Gärreste nicht frei von Fäkalkeimen; aber keine Vermehrung, sondern Reduktion um 2-3 log₁₀ [3]
 - 51 ° C, ≤ 24 h, n.n. [4]

Hintergrund

- Stäbchenförmige, fakultativ anaerobe Bakterien, eng verwandt mit Gattung *Escherichia* (*Enterobacteriaceae*)
- Fäzes klinisch unverdächtiger Tierbestände: bis zu 10^7 KBE/g [1]
- Regional 1/3 der Schlachtschweine, > 50 % des Geflügels infiziert [2]
- Infektionsdosis Kälber: 10^1 - 10^3 [3]
- Pathogenität: > 2.500 Serotypen, obligat humanpathogen
 - Typhus-Paratyphus-Gruppe (in Deutschland selten)
 - Salmonellen-Enteritis: Infektionsdosis: 10^5 - 10^6 [4], 1992: 195.000 Erkrankungen in Deutschland [5]

Handlungsbedarf?

- Salmonellen in potentiellen Gärsubstraten (Beispiele):
 - Bioabfall: 74 % Proben bis zu 10^4 KBE/g, Vermehrung möglich [1]
 - Bioabfall: 31 % Proben mit 10^4 - 10^7 KBE/g [2]
 - Wirtschaftsdünger (Gülle): bis zu 5 % positiv [3]
 - Klärschlamm: 1993: 51 % belastet [4]; Klärschlamm-Düngung von Weiden führte zur Verbreitung in Milchviehbeständen [5]
- Salmonellen in Praxis-Biogasanlagen (Beispiele):
 - 87 BGA: 19,6 % Proben positiv [6]
 - 11 BGA: n.n. [7]
- Richtwert Gärrückstände: n.n. [8]

Hygienisierung (1)

- Thermale Tenazität (*S. enterica* ssp. *enterica*):
 - 55 ° C, ≤ 1 h, n.n. [1]
 - 60 ° C, 10 min, n.n. [1]
- Lagerung in Rindergülle:
 - 10 ° C, 113-140 d, n.n. (*S. typhimurium*) [2]
 - 30 ° C, 30 d, Reduktion um 2,47 log₁₀ (*S. senftenberg*) [3]
 - 35 ° C, > 10 d, n.n. (*S. typhimurium*) [4]
 - Lagerung in Gülle von mindestens 1 Monat = wichtiger Schritt zur Inaktivierung von Salmonellen [2]

Hygienisierung (2)

- Anaerobe Vergärung im Labormaßstab (*S. enterica* ssp. *enterica*)
 - 33 ° C, ≥ 21 d, n.n. [1]
 - 40 ° C, 9-12 d, n.n. [2]
 - 47 ° C, 8-9 d, n.n. [2]

- Anaerobe Vergärung im Praxismaßstab (*S. enterica* ssp. *enterica*)
 - 38-40 ° C, ≤ 24 h, n.n. [3]
 - 45-49 ° C, 24-48 h, n.n. [3]
 - 52-55 ° C, ≤ 24 h, n.n. [3]

Hygienisierungsparameter der anaeroben Vergärung

- Temperatur – Verweilzeit (Mindestverweilzeit)
- Änderung des pH-Wertes – toxische Effekte:
 - Versauerung, hemmende Wirkung organischer Säuren (VFA)
 - Alkalisierung, bei pH-Werten > 8 Ammoniakbildung (viruzide Wirkung)
- Anaerobiose (inaktivierendes Milieu für aerobe Mikroorganismen, Samen, vegetative Pflanzenteile)
- Protektive Effekte: Verklumpungen, Einschlüsse in Pflanzengewebe, Adsorption an Substrat-Bestandteile (Einfluss des TS-Gehaltes)
- Mikrobieller Antagonismus und mikrobieller Abbau
- Nährstoffmangel (Lagerung)

Fazit

- Mesophile Bedingungen (37-42 ° C):
 - Günstige Bedingungen zur Vermehrung von *E. coli*, Salmonellen; dennoch wird Reduzierung erreicht, Großteil phytopathogener Erreger wird innerhalb weniger Tage inaktiviert
- Thermophile Bedingungen (≥ 50 ° C, ≥ 24 h) bzw. Pasteurisierung (≥ 70 ° C, ≥ 1 h):
 - Inaktivierung vegetativer Bakterien, moderat thermoresistenter Viren (z.B. *Picornaviridae*), infektiöser Parasitenstadien (z.B. *Ascaris* Eier)
- Pasteurisierung (90 ° C, ≥ 1 h)
 - Inaktivierung thermoresistenter Viren (z.B. TMV, BPV), Reduktion hitzesensitiver Bakteriensporen (z.B. *Clostridium perfringens*)

Fazit

- Hygienerisiken u.a. abhängig von der Substratart, der Erreger-Ausgangskonzentration im Substrat und den Lagerungsbedingungen
- Kein Einsatz stark belasteter Substratpartien in Biogasanlagen
- Keine Vermehrung von humanpathogenen Keimen in Biogasanlagen, Reduktion auch unter mesophilen Bedingungen möglich
- Tenazität vieler Erreger in Gärsubstraten geringer als in vergleichbaren Wasser / Puffer-Systemen
- Bisher keine epidemiologischen Befunde über eine Verschleppung von Krankheitserregern mit Gärrückständen
- Bei Einhaltung gesetzlicher Vorgaben (BioAbfV 2013, TierNebV 2012, DüMV 2012, EG 1069/2009, EG 142/2011) können hygienisch unbedenkliche Gärrückstände erzeugt werden

Aktuelles Projekt

- Forschungsprojekt des DBFZ und der Universität Hohenheim, Institut für Umwelt- und Tierhygiene (Prof. L. E. Hölzle, Dr. W. Philipp, T. Schilling, N. Hartmann)
 - u.a. Langzeit-Lagerungsversuche zu *Mycobacterium* sp., *Coxiella* sp., *Enterobacteria* (*E. coli*, EHEC, ESBL), *Salmonella typhimurium*, MRSA, Chlamydien, Parvovirus, ECBO (...)

Danksagung

- Wir danken für die finanzielle Förderung dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ade-Kappelmann et al. 2004: Überprüfung der phyto- und seuchenhygienischen Unbedenklichkeit von Vergärungsrückständen aus der anaeroben Behandlung von Bioabfällen. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (FKZ 200 33 331), Institut für Umwelt- und Tierhygiene, Universität Hohenheim

Bornheff 1982: zitiert in Scherer 1992

DBFZ 2015: Daten DBFZ

Engeli et al. 1993: Survival of plant pathogens and weed seeds during anaerobic digestion. In: *Water Science and Technology* 27 (2): 69-76

Fröschle & Lebuhn 2012: Abtötung von Salmonellen im Biogasprozess. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan

Geldreich 1978: zitiert in Schindler 2004

Gerowitz & Westerman 2012: Unkrautsamen in der Biogas-Prozesskette. In: Untersuchungen zum phytosanitären Risiko bei der anaeroben Vergärung von pflanzlichen Biomassen in Biogasanlagen. KTBL-Fachgespräch, 14. November 2011, Berlin: 30-36

Hoppenheidt 2012: Hygieneaspekte bei Sammlung und Behandlung von Bioabfällen. Handlungsoptionen Bioabfall, Tagung ZMS, Schwandorf

Jones 1976: The effect of temperature, solids content and pH on the survival of salmonellas in cattle slurry. In: *British Veterinary Journal* 132: 284-293

Kearney et al. 1993: The effect of slurry storage and anaerobic digestion on survival of pathogenic bacteria. In: *Journal of Applied Bacteriology* 74: 86-93

Knie et al. 2001: Untersuchungen zur Seuchen- und Phytohygiene in Anaerobanlagen (Halb- bzw. großtechnische Anlagen). Teil 2 A: Untersuchungen zur Inaktivierung von Indikatororganismen in anaeroben Kofermentationsanlagen, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben UTOX 98009, Institut für Umwelt- und Tierhygiene, Universität Hohenheim

Kübler 1994: Versuch zur thermophilen Faulung von kommunalem Bioabfall. In: *Müll und Abfall* 26 (8): 478-488

Lorenz 2006: Phytohygiene der biologischen Abfallbehandlung bei Kompostierung und Vergärung. Dissertation, Verlag Mensch und Buch

Lorenz, H. et al. 2013: Current EU-27 technical potential of organic waste streams for biogas and energy production. In: *Waste Management* 33: 2434-2448

Lorenz et al. 2015: aktuelle Forschungsergebnisse aus FNR-Projekt (FKZ 22016512)

Messelhäuser et al. 2014: Detection of Shigatoxin-producing *Escherichia coli* (STEC) and Enteropathogenic *Escherichia coli* (EPEC) in biogas plants in combination with germ carrier experiments. In: 2nd International Conference on Biogas Microbiology ICBM held in Uppsala, June 10-12, 2014 (Mitschrift)

- Much et al. 2004: Hygienestatus von Gärrückständen aus österreichische Biogasanlagen. 10. Alpenländisches Expertenforum, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Irnding
- Mücke & Lemmen 1997: Mikroorganismen und mikrobielle Stoffwechselprodukte zwischen Nutzen und Risiko. In: Hygienefragen in der Abfallwirtschaft. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Wackersdorf: 7-34
- Pell 1997: Manure and microbes: Public and animal health problem? In: Journal of Dairy Science 80: 2673–2681
- Philipp 1996: Die Bedeutung kommunaler Rest- und Abfallstoffe bei der Verbreitung bakterieller Zoonosenerreger. In: Böhm, R. (Hrsg.): 6. Hohenheimer Seminar: Vorbeugemaßnahmen bei der Zoonosenbekämpfung. Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V., Gießen: 68-88
- Philipp 2012: Bedingungen zum Erhalt phyto- und seuchenhygienisch unbedenklicher Gärprodukte in Biogasanlagen. KTBL-Fachgespräch, 14. November 2011, Berlin: 75-76
- Philipp et al. 2003: Aspekte zur Seuchen- und Phytohygiene: Konsequenzen für die novellierte Bioabfallverordnung. In: 8. Münsteraner Abfallwirtschaftstage, Fachhochschule Münster 6: 336-343
- Philipp & Hölzle 2013: Keimminderung in Biogasanlagen. In: Biogas Journal 5: 102-106
- Roth 1994: zitiert in: Hoppenheidt et al. 1997: Hygienekontrollen bei Verfahren und Produkten der biologischen Abfallbehandlung. In: Hygienefragen in der Abfallwirtschaft. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Wackersdorf: 139-155
- Scherer 1992: Hygienische Aspekte bei der getrennten Abfallsammlung. In: K. J. Thomé-Kozmiensky; P. A. Scherer (Hrsg.): Getrennte Wertstofffassung und Biokompostierung. EF - Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin: 135-161
- Schindler 2004: Fäkale Verunreinigungen im Trinkwasser. Beitrag im Rahmen des FLUGS-Seminars „Wasser – Reservoir des Lebens. Aktuelle Fragen zu Wasserversorgung und –hygiene“ (6. Oktober 2003, Nürnberg), Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit
- Strauch 1991: Survival of pathogenic micro-organisms and parasites in excreta, manure and sewage sludge. In: Revue scientifique et technique Office international des Épizooties 10: 813-546
- Weinhappel et al. 2012: Untersuchungen zur Verbreitungsgefahr von samenübertragbaren Krankheiten und Unkrautarten durch Fermentationsendprodukte aus Biogasanlagen in Österreich. In: Untersuchungen zum phytosanitären Risiko bei der anaeroben Vergärung von pflanzlichen Biomassen in Biogasanlagen. KTBL-Fachgespräch, 14. November 2011, Berlin: 37-45
- Willinger & Thiemann 1983: Survival of resident and artificially added bacteria in slurries to be digested anaerobically. In: Hygienic Problems of Animal Manures: Proceedings of a Joint Workshop of Expert Groups Held at Hohenheim-Stuttgart, October 11-13, 1982: 210-216
- WHO 1995: zitiert in Mücke & Lemmen 1997
- Yen-Phi 2009: Hygienic effects and gas production of plastic bio-digester under tropical conditions. In: Journal of Water and Health 07.4: 590- 596

Forschung für die Energie der Zukunft – Wir laden Sie ein!

Ansprechpartner

Dr. rer. nat. Helge Lorenz

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH

Torgauer Straße 116

D-04347 Leipzig

Tel.: +49 (0)341 2434 – 112

E-Mail: info@dbfz.de

www.dbfz.de