



VERGÄRUNGS- & KOMPOSTIERUNGSANLAGEN ALS HYGIENE BARRIEREN



Studie im Auftrag von:
AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie & Luft Kt ZH
BLW Bundesamt für Landwirtschaft

6.7.2010

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
IBT Institut für Biotechnologie
Fachgruppe Umweltbiotechnologie
CH – 8820 Wädenswil

Urs Baier
Rolf Warthmann

UMWEKO
Umwelt- & Kompostberatung
CH – 2540 Grenchen

Konrad Schleiss

Auftraggeber	Ansprechpartner
<p>AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie & Luft Abt. Abfallwirtschaft & Betriebe Walcheplatz 2 / Postfach CH-8090 Zürich</p> <p>Rolf Wagner Tel.: 043 259 32 98 Fax: 043 259 42 84 e-mail: rolf.wagner@bd.zh.ch</p> <p>www.abfallwirtschaft.zh.ch</p>	<p>ZHAW IBT Institut für Biotechnologie Fachgruppe Umweltbiotechnologie Einsiedlerstrasse 29 CH-8820 Wädenswil</p> <p>Urs Baier / Rolf Warthmann Tel.: 058 934 5714 / 58 74 Fax: 058 934 59 95 e-mail: burs@zhaw.ch / wart@zhaw.ch</p> <p>www.umweltbiotech.zhaw.ch</p>
<p>BLW, Bundesamt für Landwirtschaft Fachbereich Dünger Mattenhofstrasse 5 3003 Bern</p> <p>Markus Hardegger Tel.: 031 324 98 51 Fax: 031 322 26 34 e-mail: markus.hardegger@blw.admin.ch</p> <p>www.blw.admin.ch</p>	<p>UMWEKO GmbH Umwelt- & Kompostberatung Weinbergstrasse 46 CH-2540 Grenchen</p> <p>Konrad Schleiss Tel.: 032 653 29 20 Fax: 032 653 29 22 k.schleiss@bluewin.ch</p> <p>www.kschleiss.ch</p>

Inhalt

1	RAHMEN DER STUDIE	4
2	EINFÜHRUNG	5
2.1	DER HYGIENEBEGRIFF IN DER SCHWEIZERISCHEN GRÜNABFALLWIRTSCHAFT	5
2.2	BESTEHENDE REGELUNGEN UND LÖSUNGSANSÄTZE	6
2.3	HANDLUNGSBEDARF UND LÖSUNGSANSÄTZE	10
3	THEORETISCHER HINTERGRUND	11
3.1	HYGIENERELEVANTE ORGANISMEN	11
3.1.1	<i>Vorkommen der Organismen in Grüngut sowie in Gärgut & Kompost</i>	11
3.1.2	<i>Möglichkeiten der Klassifizierung von Schadorganismen</i>	12
3.1.3	<i>Tenazitätsklassen mit Beispielen von Organismen und deren Auswirkungen</i>	12
3.2	BETRACHTETE STOFFFLUSSKETTEN	15
3.2.1	<i>Feldrandkompostierung</i>	17
3.2.2	<i>Platzkompostierung</i>	18
3.2.3	<i>Boxenkompostierung</i>	19
3.2.4	<i>Landwirtschaftliche Co-Vergärung mesophil</i>	20
3.2.5	<i>Landwirtschaftliche Co-Vergärung mesophil mit Vorhygienisierung</i>	21
3.2.6	<i>Thermophile Feststoffvergärung ohne Kompostierung</i>	22
3.2.7	<i>Thermophile Feststoffvergärung mit Kompostierung</i>	23
4	BEISPIELE VON RISIKOFÄLLEN	24
4.1	NEOPHYTEN (KLASSE 2) IN DER FELDRANDKOMPOSTIERUNG	24
4.1.1	<i>Ausgangsmaterialien und Reduktionsschritte</i>	24
4.1.2	<i>Mögliche Materialkurzschlüsse</i>	25
4.1.3	<i>Bewertung des Endprodukts</i>	25
4.1.4	<i>Empfehlung Neophyten</i>	25
4.1.5	<i>Gültigkeit für andere Organismen</i>	25
4.2	KOHLHERNIE (KLASSE 2) IN DER MESOPHILEN CO-VERGÄRUNG	26
4.2.1	<i>Ausgangsmaterialien und Reduktionsschritte</i>	26
4.2.2	<i>Mögliche Materialkurzschlüsse</i>	26
4.2.3	<i>Bewertung der Endprodukte</i>	27
4.2.4	<i>Empfehlung Kohlhernie</i>	27
4.3	SALMONELLEN (KLASSE 2) IN MESOPHILER CO-VERGÄRUNG	28
4.3.1	<i>Ausgangsmaterialien und Reduktionsschritte</i>	28
4.3.2	<i>Mögliche Materialkurzschlüsse</i>	28
4.3.3	<i>Bewertung der Endprodukte</i>	29
4.3.4	<i>Empfehlung Salmonellen</i>	29
4.3.5	<i>Gültigkeit für andere Organismen</i>	29
4.4	TABAKMOSEKOVIRUS (TMV, KLASSE 3) IN DER THERMOPHILEN VERGÄRUNG	31
4.4.1	<i>Ausgangsmaterialien und Reduktionsschritte</i>	31
4.4.2	<i>Mögliche Materialkurzschlüsse</i>	31
4.4.3	<i>Bewertung der Endprodukte</i>	32
4.4.4	<i>Empfehlung TMV</i>	32
4.4.5	<i>Gültigkeit für andere Organismen</i>	33
5	SCHLUSSFOLGERUNGEN	34
5.1	ANLAGEKONFIGURATION	34
5.2	KLASSIERUNG DER AUSGANGSMATERIALIEN	35
5.3	PROZESSFÜHRUNG	36
5.4	ANWENDUNG DER PRODUKTE	37
6	AUSBLICK / HANDLUNGSBEDARF	38
7	LITERATUR	40

1 Rahmen der Studie

In der Schweiz sind über 100 Vergärungsanlagen und über 200 Kompostierungsanlagen zur Behandlung von landwirtschaftlichen Abgängen und biogenen Abfällen in Betrieb. Diese Anlagen erfüllen primär Aufgaben im Rahmen der Abfallwirtschaft. Sie nehmen vermehrt aber auch eine Funktion bei der Produktion von Energieträgern wahr. Zusätzlich tragen diese Anlagen zur Unterbrechung von Hygienekreisläufen human-, tier- und pflanzenpathogener Keime bei. Sowohl in anaeroben als auch in aeroben Prozessen werden bei mesophilen, speziell aber bei thermophilen Prozessbedingungen eine Vielzahl von Keimen und Organismen inaktiviert, welche potentiell pathogen für Mensch, Tier oder Pflanze sind. Im Einzelfall sind bei der Beurteilung der Hygienisierungswirkung bei einigen Verfahren (z.B. mesophile anaerobe Co-Vergärung / Feldrandkompostierung) noch Fragen offen.

Die Landschaft dieser Abfallbehandlungsanlagen ist seit einiger Zeit im Umbruch. Zum Einen erscheinen aufgrund der gesteigerten Nachfrage nach Biogas als Energieträger laufend neue Substrate und Co-Substrate für Vergärungsanlagen auf dem Markt. Auch findet zunehmend eine Verschiebung traditionell thermophil kompostierter Abfälle hin zu (mesophilen oder thermophilen) Vergärungsanlagen statt. Zum Anderen nimmt die Komplexität der Verfahren stetig zu. Viele Anlagen beinhalten unterschiedlich verknüpfte Stoffströme sowohl mit Zusammenführungen als auch mit Trennschritten, was zu undefinierten Mischungen führen kann.

Vor diesem Hintergrund erscheint es notwendig, das Hygienisierungspotenzial der verschiedenen realisierten Verfahrenskombinationen zur Behandlung von biogenen Abfällen neu zu überdenken und darzulegen. Die vorliegende Studie beurteilt aus neutraler Sicht den Stand der Technik zur Unterbrechung von Hygieneketten bei der Behandlung von biogenen Abfällen und Hofdüngern in der Schweiz. Sie basiert auf Literaturdaten nach dem Stand des Wissens und bezieht dabei Vorkommen und Inaktivierungsdaten typischer Leitorganismen für pflanzliche, tierische und menschliche Pathogenität mit ein. In Bezug auf Literaturdaten zur Inaktivierung werden ausschliesslich thermische Effekte berücksichtigt, d.h. die Inaktivierung von Organismen bei erhöhten Temperaturen. Andere bekannte, aber nicht quantifizierte oder nicht dokumentierte chemische und enzymatische Effekte sind nicht Gegenstand dieser Studie.

Die Studie stellt das theoretische Hygienisierungspotenzial bestehender auf dem Schweizer Markt angebotener Verfahren und Verfahrensketten zur Behandlung realer biogener Abfälle und Hofdünger anhand gut kommunizierbarer Schaubilder dar. Sie zeigt potenzielle Schwachstellen in Bezug auf Abfallkategorien, Pathogenkategorien und Verfahrenskategorien auf und gibt Hinweise auf Optimierungsmöglichkeiten bei der Bewirtschaftung und beim Betrieb.

2 Einführung

2.1 Der Hygienebegriff in der Schweizerischen Grünabfallwirtschaft

Der Wille, die hygienischen Verhältnisse zu verbessern, kann durchwegs als Triebfeder für Entwicklungen in der schweizerischen Abfallwirtschaft gesehen werden (Kettler 2000; IWB 2005). Aus der Periode der Kehrichtkompostierung ist allgemein akzeptiert, dass mit den Produkten aus Verwertungsverfahren keine Seuchenerreger und Pflanzenkrankheiten verbreitet werden dürfen. In frühen Kompostverfahren standen Eier von Band- und Spulwürmern im Mittelpunkt der Hygienebetrachtungen. In späteren langen Versuchsreihen wurde nachgewiesen, dass Tomatensamen unter verschiedenen Bedingungen länger überlebten als diese Parasiteneier (Knoll und Strauch, 1981). Auf dieser Erfahrung beruht die Tatsache, dass der Same der Tomate als wichtiger Testorganismus in der Hygienebeurteilung von Komposten verwendet werden kann. Daraus wurde abgeleitet, dass für die garantierte Abtötung der Tomatensamen in den verschiedenen Kompostierverfahren eine Expositionszeit von 3 Wochen über 55°C mit mehrfachem Umsetzen nötig ist.

Mit der Entwicklung weg von der Kehrichtkompostierung hin zur Kehrichtverbrennung haben sich die Schwerpunkte von der Hygienethematik von Kompost entfernt.

Nach Ende der Kehrichtkompostierung begann 1986 die getrennte Sammlung von Abfällen aus der Grünpflege ohne Küchenabfälle. Wenige Jahre später (1992) nahm die erste Vergärungsanlage für Grüngut aus Gemeinden in Rümlang ihren Betrieb auf. Die Vergärung profitierte dabei am meisten vom Biogasertrag aus Küchenabfällen, weshalb von dieser Seite auch die Sammlung von Küchenabfällen gefordert wurde. Damit bestand erneut die Möglichkeit, dass die ganze Palette von Pathogenen im Grüngut vertreten sein konnte. Vor allem in Deutschland wurde auf diese Entwicklung reagiert und bereits 1996 ein Hygiene Baumusterprüfsystem entwickelt. Alle Hersteller von grösseren Anlagen mussten für die Zulassung diese Prüfung bestehen, unter anderem hat sich auch Kompogas dieser strengen Prüfung unterzogen und bisher immer bestanden.

In der Schweiz forderte der Branchenverband ANS (Arbeitskreis für die Nutzbarmachung der Siedlungsabfälle Schweiz) ab 1990 die Definition von Qualitätskriterien für Komposte. Als Mindestanforderung wurde die Grundqualität mit den Aspekten Schwermetalle, Hygiene und Fremdstoffe formuliert. Diese Grundqualität wurde inhaltlich weitgehend in die Mindestqualität im FAC-Ordner 1995 übernommen (FAC 1995).

Die Feldrandkompostierung bekam ab 1994 Aufwind. Um bezüglich der Hygiene keine zu grossen Risiken einzugehen, wurden von verschiedenen Kantonen (u.a. AG, BL, SO, ZH) Richtlinien zur Feldrandkompostierung erarbeitet und in Kraft gesetzt. Bezüglich Hygiene wurde die

Materialwahl wie folgt eingeschränkt: „Küchenabfälle sind nur in Kleinmengen und ohne Speisereste zulässig“. Im Vollzug hat sich eine Mengenbegrenzung von weniger als 5 Gew.% durchgesetzt. Mit dieser Regelung kann den Aspekten der Human- und Tierpathogenen Rechnung getragen werden. Offen bleibt der Aspekt der Pflanzensamen und Pflanzenkrankheiten. Das Verfahren der mesophilen Co-Vergärung genügt bezüglich Hygieneleistung auch nicht als den Ansprüchen der Baumusterprüfung. Daher gab es hier auch die Einschränkung zur Materialwahl wie bei der Feldrandkompostierung oder eine Vorbehandlung (70°C / 1h), wie es die EU-Richtlinie 1774 vorschreibt (EU 2002). Weil die Schweiz in diesen Bereichen meistens EU-Recht sehr direkt nachvollzieht, wurde davon ausgegangen, dass diese Regelungen hier auch gelten. Durch die Revision der VTNP (VTNP 2004) im Bereich der Behandlung von Küchenabfällen aus Privathaushalten wurde aber diese Geltung in Frage gestellt. Nach unserer Beurteilung ist dieser Aspekt aber nicht EU 1774 konform, weil die entsprechenden Kontrollen damit nicht vorgeschrieben werden, wie sie in (Kirchmayr et al. 2007) gefordert sind.

Die EU - Richtlinie 1774 vor, dass Speisereste aus der Separatsammlung nur aus der Betrachtung ausgeklammert werden können, wenn für sie eine separate Hygienisierung besteht. Die Behandlung von Küchenabfällen aus der Separatsammlung hält sich hierzulande nicht an die entsprechende EU Richtlinie 1774.

In der Verordnung (EG) 1774/2002 wird von Biogasanlagenbetreibern, die tierische Nebenprodukte als Substrate verwenden, ein Konzept zur Eigenüberwachung nach dem System der Gefahrenanalyse und Überwachung der kritischen Kontrollpunkte verlangt (HACCP-Konzept; Hazard Analysis and Critical Control Points). Für Biogasanlagen ist ein solches an das HACCP-Konzept angelehntes (praktikables) Kontroll- und Überwachungskonzept zu entwickeln.

Jeder Betreiber einer Biogasanlage muss die kritischen Kontrollpunkte seiner Anlage festlegen und beschreiben. Beim Betrieb der Anlage ist zu überprüfen und zu dokumentieren, ob die Parameter in den jeweiligen kritischen Kontrollpunkten eingehalten wurden.

2.2 Bestehende Regelungen und Lösungsansätze

Die grundsätzliche Forderung nach hygienisch einwandfreien Produkten aus Vergärungs- und Kompostierungsanlagen erfolgt in der Schweiz weitgehend über die generell gültige Düngerbuchverordnung, welche im Anhang 1, Teil 6 formuliert:

Die Herstellung oder die Verwendung von Kompost und Gärgut muss gewährleisten, dass keine unerwünschten Organismen, wie Pathogene oder Samen von Neophyten, verbreitet werden.

Die Beurteilung der hygienischen Qualität biogener Abfälle aufgrund ihres Gehaltes an pflanzenpathogenen Organismen und unerwünschten Pflanzenteilen rückt in bestehenden Regelungen in den Hintergrund. Das Schwergewicht liegt auf human- und tierpathogenen, also auf

so genannt „gefährlichen“ Keimen. Im Fokus stehen dabei meist Speisereste einerseits aus Grossküchen, andererseits als Anteil des separat gesammelten Grüngutes.

Die Schweizerische Tierseuchenverordnung (TSV 1995) hatte in ihrer ursprünglichen Formulierung in Art 41 folgenden Grundsatz festgelegt:

Art. 41: Entsorgung von Küchen- und Speiseabfällen

¹ Küchen- und Speiseabfälle müssen so verwertet oder beseitigt werden, dass sich keine Seuchenerreger verbreiten können.

Der Artikel 41 der TSV wurde jedoch durch die Revision der Verordnung über die Entsorgung tierischer Nebenprodukte VTNP 2008 aufgehoben.

1995 definierte die FAC Liebefeld die Kompost-Mindestqualität, in der die drei Aspekte Schwermetalle unter den Grenzwerten, Hygiene erfüllt und Fremdstoffe unter einer Limite geregelt werden. Damit war gesichert, dass unter dem Begriff Kompost mindestens eine gewisse biologische Stabilisierung ohne zu hohe Schwermetallfrachten und hygienisch unbedenkliche Produkte zu verstehen waren (FAC 1995).

Gemäss Mindestqualität (FAC 1995) und der VKS-Richtlinie 2001 (VKS 2001) sind die Hygieneforderungen wie folgt zusammengefasst:

Gemäss Hygieneziel für Kompost und Gärgut muss der Gehalt an Krankheitserregern für Menschen, Tiere und Pflanzen unbedenklich sein.

Tabelle 1: Hygieneanforderungen an Komposte (FAC 1995)

Anforderungen an Kompost	Bemerkungen
Mindestens 3 Wochen Verweilzeit im aeroben Milieu über 55°C. (Temperaturprotokoll mit min. 3 Messwerten)	Gilt für das gesamte Material, auch für Randbereiche, speziell bei Feldrandmieten. Während der 3 Wochen darf kein neues Eingangsmaterial zur Kompostcharge hinzu gegeben werden.
Oder mindestens 1 Woche Verweilzeit im aeroben Milieu über 65°C. (Temperaturprotokoll mit min. 3 Messwerten)	Gilt vor allem für geschlossene Systeme ohne starke thermische Randeffekte. Während der Mindestverweilzeit darf kein neues Eingangsmaterial zur Kompostcharge hinzu gegeben werden.
Oder ein anderes geeignetes Verfahren zur Erreichung der hygienischen Unbedenklichkeit. (Temperaturprotokoll mit min. 3 Messwerten)	z.B. Pasteurisierung, Dämpfung etc.

Tabelle 2: Hygieneanforderungen an Gärgut aus der Grüngutbewirtschaftung (in Übereinstimmung mit VKS 2009)

Anforderungen an Gärgut	Bemerkungen
Mindestens 24 Std. hydraulische Verweilzeit im	Kurzschlussströme nachweislich ausgeschlossen

anaeroben Milieu bei 53°C oder höher (= thermophil). Ein Temperaturprotokoll muss den Temperaturverlauf belegen	sen. Aufgrund der hohen hydrolytischen Aktivität, der homogenen Temperaturverteilung und des hohen Gehaltes an Ammonium findet im anaeroben Milieu in kürzerer Zeit eine Inaktivierung von Pathogenen statt (Metzler, 1993).
Mindestens 14 Tage hydraulische Verweilzeit bei weniger als 53°C plus zusätzliche Nacherwärmung während 10 Std. bei mindestens 55°C oder während 5.5 Std. bei mindestens 60°	Bei Nachrotte soll die Temperatur im gesamten Material, also auch am Rand erreicht werden
Falls der Vergärungsprozess nicht den oben genannte Ansprüche für ein thermophiles Verfahren entspricht, kann entweder der hygienisch bedenkliche Teil vor oder das ganze Produkt (flüssiger und fester Anteil) nach der Vergärung durch ein geeignetes Verfahren hygienisiert werden.	z.B für Speisereste mindestens 70°C für 1 Stunde (gemäss VTNP, Anhang 4).
Oder ein anderes geeignetes Verfahren zur Erreichung der hygienischen Unbedenklichkeit.	z.B. Pasteurisierung, Dämpfung etc.

Die Deutsche Gütesicherung regelt die hygienische Unbedenklichkeit von Gärprodukten wie folgt und deckt damit die geltenden Rechtsbestimmungen ab (www.kompost.de):

Die verwendeten Inputstoffe der Biogasanlage sind so aufzubereiten und zu behandeln, dass die daraus hergestellten Gärprodukte bei sachgerechter Anwendung im Hinblick auf die Übertragung von Krankheiten auf Menschen, Tiere oder Pflanzen unbedenklich sind.

Entsprechende Anforderungen betreffen sowohl die "Behandlung zur Hygienisierung" als auch die Untersuchungen der erzeugten Gärprodukte. Im Einzelnen sind dies:

1. *Prüfung der hygienischen Wirksamkeit des eingesetzten Behandlungsverfahrens (Prozessprüfung)*
2. *Nachweis der Einhaltung der erforderlichen Mindesttemperatur über einen bestimmten Zeitraum (Prozessüberwachung)*
3. *Regelmäßige Untersuchungen der erzeugten Gärprodukte auf Salmonellen, keimfähige Samen und austriebfähige Pflanzenteile.*

Die Anforderungen in der überarbeiteten Qualitätsrichtlinie 2009 verlangen für Handelsprodukte auch die Freiheit von Unkrautsamen und Krankheitserregern (VKS 2009).

In einer Auftragsarbeit für das Bundesamt für Landwirtschaft (Schleiss and Baier 2003) wurde ein Vorgehen zur Hygieneklassierung im Rahmen eines Vorschlags zu einer Positivliste wie folgt erarbeitet:

Eine Positivliste muss je nach Betriebsart bezüglich Hygienennachweis differenziert aufgebaut werden. Folglich ist eine Klassierung der Abfälle nach der

hygienischen Beschaffenheit bezüglich Human- und Tierpathogenen notwendig. Die Human- und Tierpathogenen bestimmen die wichtigen Aspekte für die Lebensmittelsicherheit. Mit dieser Klassierung kann bestimmt werden, welche Abfälle auf welchem Betriebstyp zugelassen sind. Dieser Aspekt wird bei der Erarbeitung der Positivliste einbezogen.

Folgende drei Substratklassen sind bezüglich Human- und Tierpathogenen aus hygienischer Sicht vorgesehen:

- a unbedenklich, für alle Anlagentypen geeignet*
- b leicht belastet, nur für Anlagen mit Hygienenachweis geeignet*
- c kritisch, nur nach Bewilligung*

Die Regelungen der Verordnung zur Entsorgung von tierischen Nebenprodukten VTNP (VTNP 2004) mit Stand 1. Juli 2008 definieren hierzu die Rahmenbedingungen zur Gültigkeit der Verordnung und die Begrifflichkeiten wie folgt:

Art. 2: Gegenstand

2bis) Für Speisereste gilt sie nur, wenn diese:

- a) Aus Beförderungsmitteln stammen, die im grenzübergreifenden Verkehr eingesetzt werden;*
- b) für die Tierernährung bestimmt sind; oder*
- c) für die Verwendung in einer Biogas- oder Kompostierungsanlage bestimmt sind, ausser sie stammen aus privaten Haushalten und werden der öffentlichen Grüngutsammlung übergeben.*

Art. 3: Begriffe

1) Als tierische Nebenprodukte gelten Tierkörper, nicht zur Verwendung als Lebensmittel bestimmte Schlachttierkörper und Erzeugnisse tierischen Ursprungs sowie Speisereste; ganz oder in Teilen, roh oder verarbeitet.

2) Als Tierkörper gelten umgestandene, totgeborene oder nicht zur Fleischgewinnung getötete Tiere.

2^{bis}) Als Speisereste gelten Küchen- und Speiseabfälle, die aus Einrichtungen stammen, in denen Lebensmittel für den unmittelbaren Verzehr hergestellt werden, wie Restaurants, Catering-Einrichtungen und Küchen, einschliesslich Gross- und Haushaltsküchen. Speisereste gelten als roh, bis sie nach einer in Anhang 4 aufgeführten Methode verarbeitet wurden.

3) als Stoffwechselprodukte gelten Harn sowie Pansen-, Magen- und Darminhalt, die in Schlachthanlagen anfallen.

2.3 Handlungsbedarf und Lösungsansätze

Handlungsbedarf besteht in folgenden Bereichen:

- Speisereste:** Verwertung von Grünabfall aus der Separatsammlung mit Anteil Küchenabfällen = Speisereste. Hier besteht eine Divergenz der EU 1774/2002 zur VTNP und zur Positivliste.
- Invasive Neophyten:** die Datenlage zum Gehalt in Grüngut und zur Inaktivierung sowohl in anaerob mesophilen als auch in anaerob oder aerob thermophilen Prozessen ist mangelhaft. Es wird vorgeschlagen, sich allgemein auf die Thematik Unkraut inkl. Überleben von Samen und Pflanzenteilen zu beziehen. Neophyten sind nicht anders überlebensfähig oder resistent, als einheimische Pflanzenarten.
- Es besteht momentan eine Divergenz zwischen verschiedenen **Positivlisten**. Es ist unbedingt darauf zu achten, dass verschiedene Positivlisten mit unterschiedlichen Zielgruppen oder Zweckbestimmungen einheitliche Hygieneklassierungen beinhalten. Anzustreben ist eine gemeinsame Positivliste, welche von allen beteiligten Parteien akzeptiert ist und verwendet wird. Allenfalls können Teilbereiche angewandt werden, wenn einzelne Informationen für unterschiedliche Zweckbestimmungen irrelevant sind.
- Risikobereich Humanpathogene und Tierpathogene, **Seuchenverbreitung**. Dieser Risikobereich ist in der hier gestellten Frage nicht zentral, da nicht von menschlichen Ausscheidungen und Klärschlamm ausgegangen wird und da landwirtschaftliche Kreisläufe als intern geschlossen betrachtet werden. Der Risikobereich hat jedoch Auswirkungen im Bereich Speisereste, da v.a. Tierpathogene mit tierischen Erzeugnissen über die Kette Produkt – Verzehr – Gastroabfall (– Grüngut) verbreitet werden können.
- Es ist bekannt, aber kaum dokumentiert, dass **nicht-thermische Effekte** die Inaktivierung von pathogenen Organismen und unerwünschten Keimen beeinflussen. So kann ein tiefer Wassergehalt die Stabilität von Samen und Dauerformen erhöhen und ihre Inaktivierung in Hygienestufen hinauszögern. Andererseits findet in wässrigem und biologisch aktivem Milieu ein direkter enzymatischer und / oder biologischer Abbau von organischem Material, u.a. auch von unerwünschten Keimen statt. Dieser Abbau ist kaum quantifiziert und die entsprechenden Kennwerte sind über weite Strecken unbekannt.

3 Theoretischer Hintergrund

3.1 Hygienerelevante Organismen

Grundsätzlich betrifft die Hygiene in Bioabfallprodukten die Bereiche Seuchenhygiene von Mensch und Tier, die Phytohygiene (Pflanzen) und die Verbreitung von unerwünschten Pflanzen (Neophyten). Während die Methodik der Hygieneüberwachung bei der aeroben Kompostierung etabliert ist, wurden bei der Beurteilung von anaeroben Vergärungsanlagen noch auf Neuland betreten. Insbesondere bei zur Hygienisierung in mesophilen anaeroben Behandlung gibt es noch Datenlücken.

3.1.1 Vorkommen der Organismen in Grüngut sowie in Gärgut & Kompost

Generell beziehen sich die meisten Hygienebetrachtungen nicht auf Ausgangsmaterialien und Abfälle (ausser allenfalls im Bereich Klärschlamm), sondern auf Produkte und Anwendungsfelder. Die Datenlage zur Belastung von Ausgangsmaterialien wie Grüngut mit oder ohne Speisereste, Gastronomieabfälle, Gemüse- und Getreidechargen ist als sehr dürftig zu bezeichnen. Wo Daten vorhanden sind, beziehen sie sich meist auf erkannte kritische Hygienefälle und sind somit nicht als allgemeingültiger Hintergrund zu verwenden.

Die Zahlen von Schadorganismen in Grüngut sind sehr stark abhängig von der Art des Grünguts (z.B. Speiseabfälle, Gemüsechargen, Getreidechargen), von der Temperatur und von der Zeitdauer im Lager bis zur Weiterverarbeitung. Es können somit keine genauen Zahlen angegeben werden, und hängen sehr vom Einzelfall ab. Für häufig verwendete Standardsubstrate in welchen sich seuchenrelevante Bakterien befinden, wie Gülle, sind Daten zu den entsprechenden Hygiene – Leitorganismen beschrieben.

Für Gärprodukte bestehen Hygiene – Richtwerte für seuchenrelevante Organismen nach der RAL-Gütesicherung für Gärprodukte (RAL-GZ 256/1) und Prozessprüfungen nach der deutschen BioAbfV (BioAbfV 1998):

- Gesamtbakterienzahl bei 37 °C (Richtwert < 5×10^8 KBE/g)
- Anzahl fäkalkoliformer Bakterien – E. coli (Richtwert < 5×10^3 KBE/g)
- Enterokokken (Richtwert < 5×10^3 KBE/g).

Diese Richtwerte beschreiben jedoch nur einen sehr kleinen Bereich der möglichen Schadorganismen/Leitorganismen, die in Bioabfällen vorkommen können. Einzelfallbetrachtungen in Bezug auf die jeweiligen Anlagen und Einträge von bestimmten Organismen sind deshalb unumgänglich (siehe Kapitel 4).

3.1.2 Möglichkeiten der Klassifizierung von Schadorganismen

Für eine übersichtliche Darstellung des Verhaltens der zahlreichen Schadorganismen in Abfallverwertungsanlagen empfiehlt sich eine Eingruppierung der Organismen in verschiedene Klassen. Die Organismen können auf verschiedene Art und Weise klassifiziert werden:

- 1) **Wirkungsorientiert.** Beschreibt die Wirkung von Schadorganismen auf den Mensch, Tiere, Pflanzen und Umwelt. Mögliche Klassifizierung ist die Einteilung in humanpathogene-, phytopathogene-, tierpathogene- und umweltschädliche Organismen.
- 2) Einteilung nach der **biologischen Systematik** (Phylogenie); in Bakterien, Viren, Pilze, Parasiten und Pflanzen. Eine Unter-Gruppierung in vegetative Teile und Dauerstadien (Samen, Sporen, Dauerzysten etc.) ist aufgrund der unterschiedlichen Resistenz sinnvoll.
- 3) Einteilung in **Temperatur-Resistenzklassen**: Gibt an bei welcher Temperatur und Einwirkdauer die Organismen inaktiviert werden, z.B. Organismen überleben mesophil 37 °C, 12 Stunden; thermophil 55 °C 24 h.
- 4) Einteilung in **Resistenzklassen** (Tenazität = Zähigkeit): Eingruppierung der Organismen nach ihrer tatsächlichen Resistenz/Tenazität in den Bioabfallbehandlungsanlagen. Hier spielen neben den physikochemischen Parametern wie Temperatur, pH, Salz-, Wassergehalt und Sauerstoff auch das Vorhandensein biochemischer Faktoren wie Antibiotika, hydrolytische Enzyme und Toxine eine Rolle. Diese realitätsnahe Einstufung in Tenazitätsklassen ist für eine Beurteilung der Hygiene in den Behandlungsanlagen am sinnvollsten und wurde in der vorliegenden Studie angewandt. Für die Bewertung der Tenazität in verschiedenen Typen von Abfallbehandlungsanlagen müssen auf den jeweiligen Anlagentyp zutreffenden Inaktivierungsdaten verwendet werden.

3.1.3 Tenazitätsklassen mit Beispielen von Organismen und deren Auswirkungen

Aufgrund der Erkenntnisse und der Definitionen von (Böhm 1998; Knie et al. 2001; Lebuhn et al. 2004; Philipp et al. 2005; Lebuhn 2006; Ade-Kappelmann 2008; DBU 2008; Martens and Böhm 2009) drängt sich folgende Klassierung von potentiell pathogenen Organismen aufgrund ihrer unterschiedlichen Tenazität auf:

Klasse 1 (Niedrige Tenazität): Abschwächung der Vitalität der Organismen im mesophilen Bereich nach relativ kurzer Zeit ausserhalb ihres natürlichen Milieus. Beispiele für diese Klasse sind:

- Parasiten, lebende Organismen (z.B. Spulwürmer, *Ascaris suum*)
- Vegetative Pflanzenteile (Invasive Neophyten)

- RNA-Viren (Schweinepest-Virus, MKS-Virus, HIV, Herpes-Virus)
- Influenza- und Schweinegrippe-Viren

Klasse 2 (Mittlere Tenazität): Organismen überdauern relativ lange (bis 2-3 Wochen) in mesophilen Bereich in Bioabfallbehandlungsanlagen, sind aber bei 55 °C relativ schnell inaktiv (< 1d). Sie werden durch Pasteurisierung abgetötet: Beispiele sind:

- Salmonella (Typhus-Erreger)
- Fäkalstreptokokken
- *Plasmodiophora brassicae* (Kohlhernie-Erreger)
- *Yersinia*, *Shigella* (Bakterienruhr)
- Mycobakterien (Erreger der Paratuberkulose bei Rindern)
- Picornaviren (Polio-Erreger)
- Ascaris Eier (Parasiten)
- *Chalara elegans* (Schwarzfäule-Erreger von Rüben, Kartoffeln)
- Pflanzensamen (Tomate, Unkräuter, Invasive Neophyten, z.B. Ambrosia, Riesenbärenklau)

Klasse 3 (Hohe Tenazität). Organismen überstehen teilweise Pasteurisierung (1h 70 °C). Tolerieren 55°C über einen längeren Zeitraum, Verbreitung über Aerosole ist möglich. Beispiele sind:

- Tabakmosaikvirus (TMV, infiziert unter anderem Nachtschattengewächse)
- Thermoresistente Viren (Parvovirus, Erreger der Katzenseuche)
- Hepatitis A Viren
- Thermophile Ascomyceten (Pilze)

Klasse 4: (Extrem hohe Tenazität). Nur durch Autoklavieren bei 121 bis 133 °C zu Inaktivieren. Bilden Aerosole. Beispiele sind:

- *Clostridium perfringens* (Erreger von Vergiftungen, Nekrosen, Meningitis)

Sporen von folgenden Organismen:

- *Bacillus anthracis* (Milzbrand)
- Echter und Falscher Mehltau (Pilze)
- Aspergillus (z.B. *A. flavus*, sehr toxisch für Mensch und Tier)

- Fusarien (Pilze, sehr toxisch, z.B. auf Mais als Tierfutter)

Zum Nachweis von Hygienisierungsmaßnahmen werden zur Vereinfachung meist nur wenige, ausgewählte Testorganismen, bzw. so genannte Hygieneleitorganismen verwendet. In der Baumusterprüfung von Abfallbehandlungsanlagen (Deutschland, ähnlich auch in Österreich), welche die Seuchen- und phytohygienische Sicherheit von Anlagen bescheinigen soll, befinden sich nur vier Organismen. Einer der Organismen (*Salmonella senftenberg*) repräsentiert die humane Seuchenhygiene, drei andere Organismen, *Plasmodiaphora brassicae*, Tabakmosaikvirus und Tomatensamen die Phytohygiene (BioAbfV 1998), Anhang 2. In der Revision der Verordnung wurde der Tabakmosaikvirus wegen zweifelhafter Aussagekraft und technischen Problemen wieder gestrichen (Bundesministerium_für_Umwelt 2007). Somit verbleiben in der Prozessprüfung von Bioabfallbehandlungsanlagen nur noch drei Organismen, die alle in derselben Tenazitätsklasse (2) liegen. In der vorliegenden Studie werden im Gegensatz zur deutschen Prozessprüfung auch Organismen der höheren Tenazitätsklassen (3 und 4) betrachtet, welche in Einzelfällen zu Hygieneproblemen führen könnten.

3.2 Betrachtete Stoffflusketten







Die folgenden Schemata nach (Baier et al. 2009) stellen folgende in der Schweiz üblichen Verfahrensketten zur Behandlung biogener Abfälle dar:

- Feldrandkompostierung
- Offene Platzkompostierung
- Überdachte Boxenkompostierung
- Mesophile landwirtschaftliche Co-Vergärung
- Mesophile landwirtschaftliche Co-Vergärung mit vorgeschalteter Hygienisierung
- Thermophile Feststoffvergärung
- Thermophile Feststoffvergärung mit nachgeschalteter Kompostierung

Die Schemata beinhalten keine quantitativen Angaben. Die Flüsse von Organismen gemäss den in 3.1.2 erwähnten Tenazitätsklassen 1 – 4 sind farblich getrennt und qualitativ dargestellt. Die massgeblichen Verfahrensschritte, welche zur Reduktion von potentiell pathogenen Keimen führen, sind farblich markiert. Ebenso sind hydraulisch dichte Bereiche (Untergrund, Behälter) entsprechend unten stehender Legende markiert.

Für die in 3.2.1 bis 3.2.7 sowie in 4.1 bis 4.4. dargestellten Hygieneschemata werden folgende Darstellungsformen resp. Definitionen verwendet:

Graphische Elemente

	Tenazitätsklasse 1; wenig resistent
	Tenazitätsklasse 2; mittelresistent
	Tenazitätsklasse 3; hoch resistent
	Tenazitätsklasse 4; sehr hoch resistent
	hydraulisch dichter Bereich
	massgeblicher Hygienisierungsschritt

Begriffsdefinitionen

Feststoffvergärung:	Vergärung im längs durchströmten, liegenden Pfropfstromreaktor, üblicherweise mit einer durchschnittlichen hydraulischen Verweilzeit von 14 – 20 Tagen und Teilrückführung von Gärgut zur Rückimpfung, üblicherweise thermophil und längs durchmischt betrieben.
Covergärung:	Vergärung im vollständig durchmischten Rührkessel Reaktor, üblicherweise mit einer durchschnittlichen hydraulischen Verweilzeit von 20 – 40 Tagen ohne Rückimpfung, üblicherweise mesophil betrieben.
Nachgärung:	Der Hauptvergärung nachgeschaltetes anaerobes (Stapel-) Volumen, üblicherweise ohne Temperaturkontrolle und ohne andauernde und vollständige Durchmischung. Das Volumen der Nachgärung kann zeitweise gegen Null sinken, es wird daher nicht als hygiene-relevantes Volumen betrachtet.
Nachkompostierung:	Nachgeschaltete Kompostierung von vollständigem oder von teil-entwässertem Gärgut mit oder ohne Zugabe von zusätzlichem Strukturmaterial.
Hygienisierung:	Thermischer Inaktivierungsschritt entsprechend den Anforderungen an das zu hygienisierende Rohmaterial, üblicherweise mit einer Verweilzeit von 1 h bei 70 °C.
Hydraulische Verweilzeit:	mittlere Verweilzeit des zugeführten Materials im jeweiligen Prozessschritt, unabhängig von der aktuellen Verweilzeitverteilung und Kurzschlussströmungen. Die hydraulische Verweilzeit berechnet sich aus dem Quotienten von aktivem Volumen dividiert durch die zugeführte Substratmenge. Die minimale hydraulische Verweilzeit beschreibt die kürzeste Zeit, welche zwischen Eintrag in das aktive Volumen und Austrag aus demselben besteht. Sie ist im Normalfall nur experimentell bestimmbar.
Mesophil:	Temperaturbereich von 32 – 42 °C
Thermophil:	Temperaturbereich von 53 – 58 °C
Speisereste:	Gemäss VTNP organische Abfälle der Kategorie 3 aus der Gastronomie, wie z.B. aus Grossküchen und Kantinen inkl. organische Abfälle aus Haushaltsküchen (Küchenabfälle).
Küchenabfälle:	Organische Abfälle aus Privat- und Haushaltsküchen, üblicherweise anteilig in separat gesammeltem Grüngut enthalten.
Grüngut:	Organische Abfälle aus der separaten kommunalen Sammlung, üblicherweise hauptsächlich aus pflanzlichem Material wie Rasen- und Strauchschnitt bestehend, inkl. maximal 5 % (ohne kombinierte Sammlung) resp. bis zu 50 % (bei kombinierter Sammlung) Küchenabfälle aus Haushaltsküchen.

3.2.1 Feldrandkompostierung

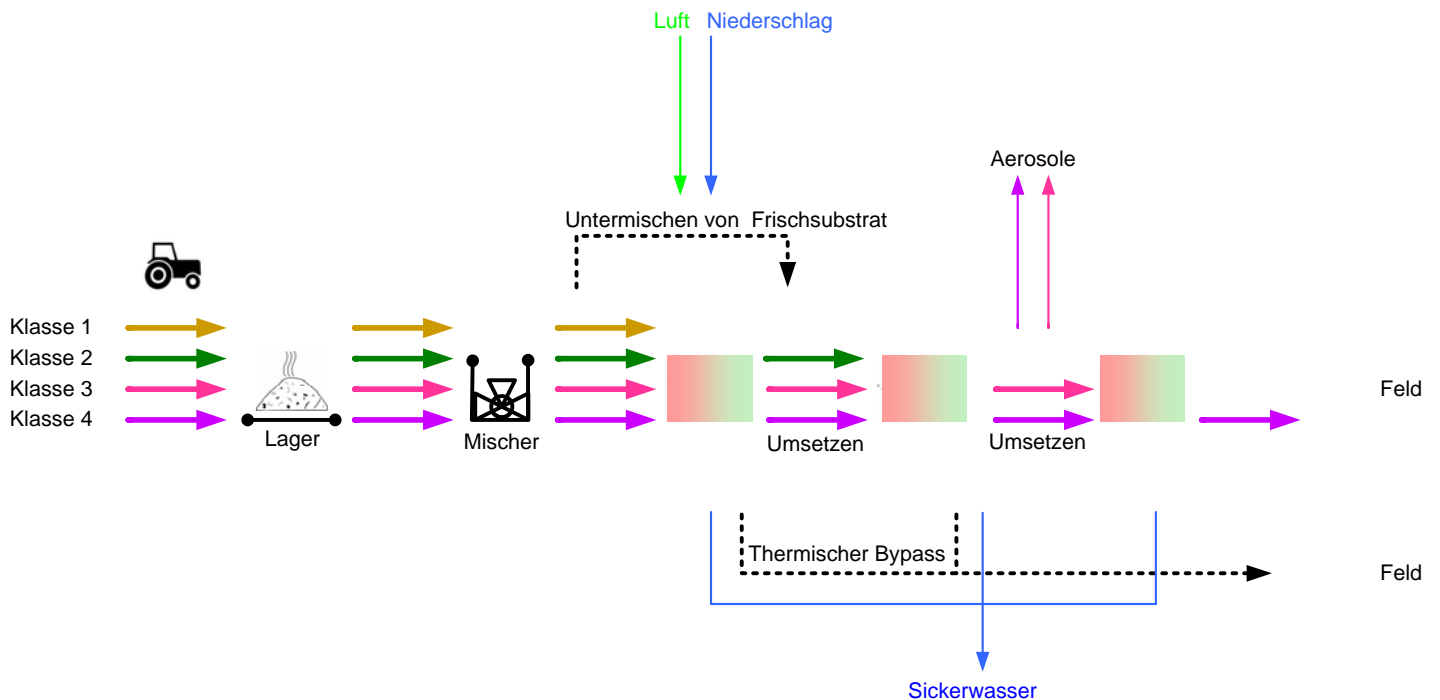


Abbildung 1: Hygienekette FELDRANDKOMPOSTIERUNG

Beschrieb: Die Lagerung, Zerkleinerung und Mischung der Substrate befindet sich üblicherweise im Bereich der Hofes, Sickerwasser ist gefasst. Das Umsetzen der Mieten erfolgt in regelmäßigen Abständen. Die Feldrandkompostierung beinhaltet per Definition einen nachweisbaren Hygieneschritt durch Erwärmung des Materials auf mindestens 55 °C über einen Zeitraum von 3 Wochen. Nach der Behandlung sind nur noch Organismen der Klasse 4 (extrem resistent) vorhanden.

Varianten: Teilweise erfolgt eine zeitlich gestaffelte Zugabe von Rohmaterial zur Miete.

Hygienekritische Bereiche: Mögliche Umgehung der Hygienebarrieren stellen thermische Bypässe (Nebenschluss) dar, d.h. Material in Randbereichen (speziell entlang der Bodenkontaktfläche), welches nicht ausreichend hygienisiert wurde. Dazu zählt auch Sickerwasser welches in den Untergrund gelangt. Die gängige Praxis des Untermischens von Frischsubstrat zu einer fortgeschrittenen Zeit zu Kompost in annähernd reifem Stadium, ist eine zusätzliche Umgehung der Hygienebarriere, da dieses Material nicht ausreichend lang hygienisiert wird.

Beim Umsetzen ist die Freisetzung von Aerosolen von Organismen der Klasse 4 (vor allem Sporen) möglich. Dies kann zu Rekontamination von ortsnahem Material, zu gesundheitlicher Belastung des Personals und zu Austrag von Sporen in die nahe Umgebung führen.

Hygiene – Risiko im Produkt:

Klasse 1: negativ	Klasse 2: negativ	Klasse 3: negativ	Klasse 4: positiv
-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

3.2.2 Platzkompostierung

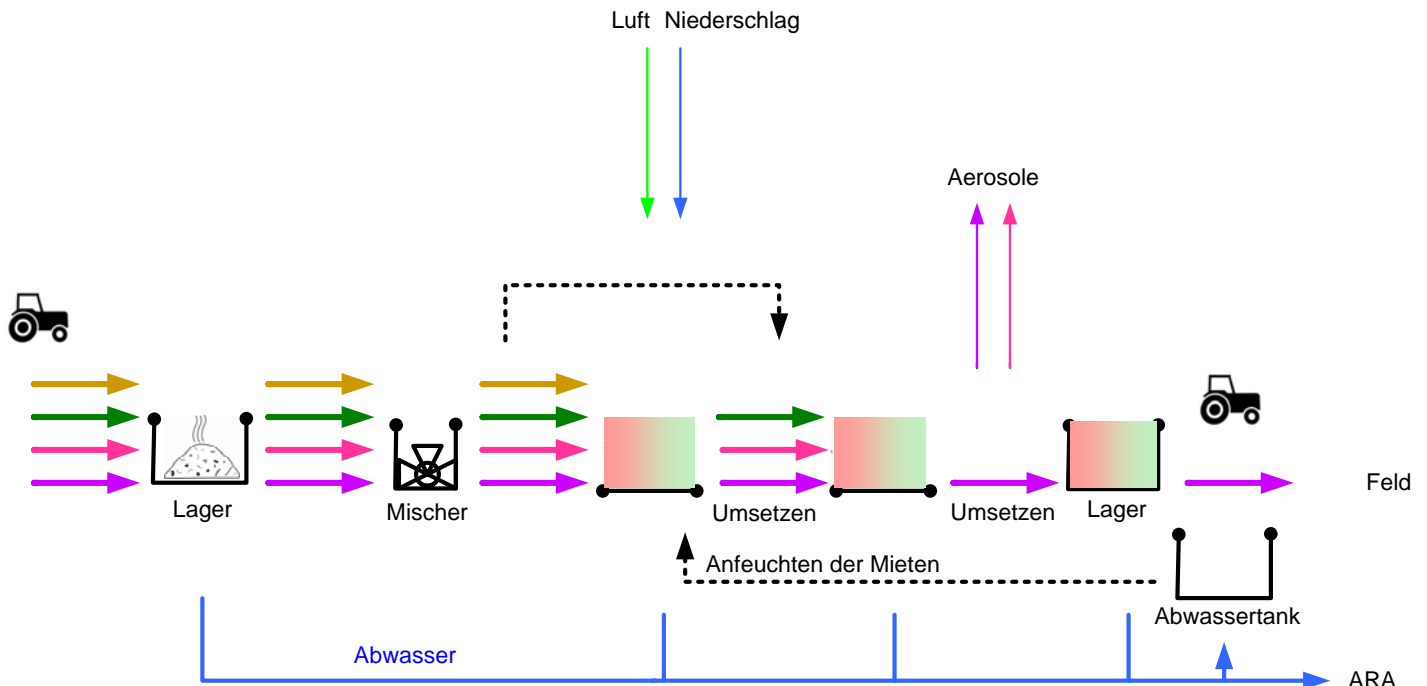


Abbildung 2: Hygienekette PLATZKOMPOSTIERUNG

Beschrieb: Die Lagerung, Zerkleinerung und Mischung der Substrate erfolgt meist in unmittelbarer Nähe zu den Mieten. Sickerwasser ist gefasst, wird gesammelt und in die ARA geleitet. Das Umsetzen der Mieten erfolgt in regelmässigen Abständen mittels Frontlader oder Kompostwender. Die Platzkompostierung von Grüngut hat prinzipiell dieselben thermischen Parameter wie die Feldrandkompostierung (55 °C, 21d, bzw. 65 °C, 1 Woche), jedoch sind die Systemgrenzen besser definiert und kontrolliert. Alle unerwünschten Organismen bis auf die Klasse 4 werden abgetötet.

Varianten: Teilweise wird Platzwasser gesammelt und zur Befeuchtung trockener Mieten verwendet. Eine nachträgliche Zugabe von Rohmaterial zu reifen Mieten ist sehr selten.

Hygienekritische Bereiche: Beim Umsetzen ist die Freisetzung von Aerosolen der Klasse 4 (vor allem Sporen) möglich. Als mögliche Umgehung der Hygienebarrieren ist eine Verschleppung von kontaminiertem Material durch Radlader vom Eingangslager zum Produktlager denkbar. Gesammeltes Abwasser kann ebenfalls Problemorganismen enthalten, welche beim Befeuchten der Mieten auf bereits hygienisiertes Material verteilt werden. Bei fehlerhafter Neigung des Kompostierplatzes kann Platzwasser aus dem nicht überdachten Annahmebereich in den Bereich (auch überdachter) Fertigprodukte fließen.

Hygiene – Risiko im Produkt:

Klasse 1: negativ	Klasse 2: negativ	Klasse 3: negativ	Klasse 4: positiv
-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

3.2.3 Boxenkompostierung

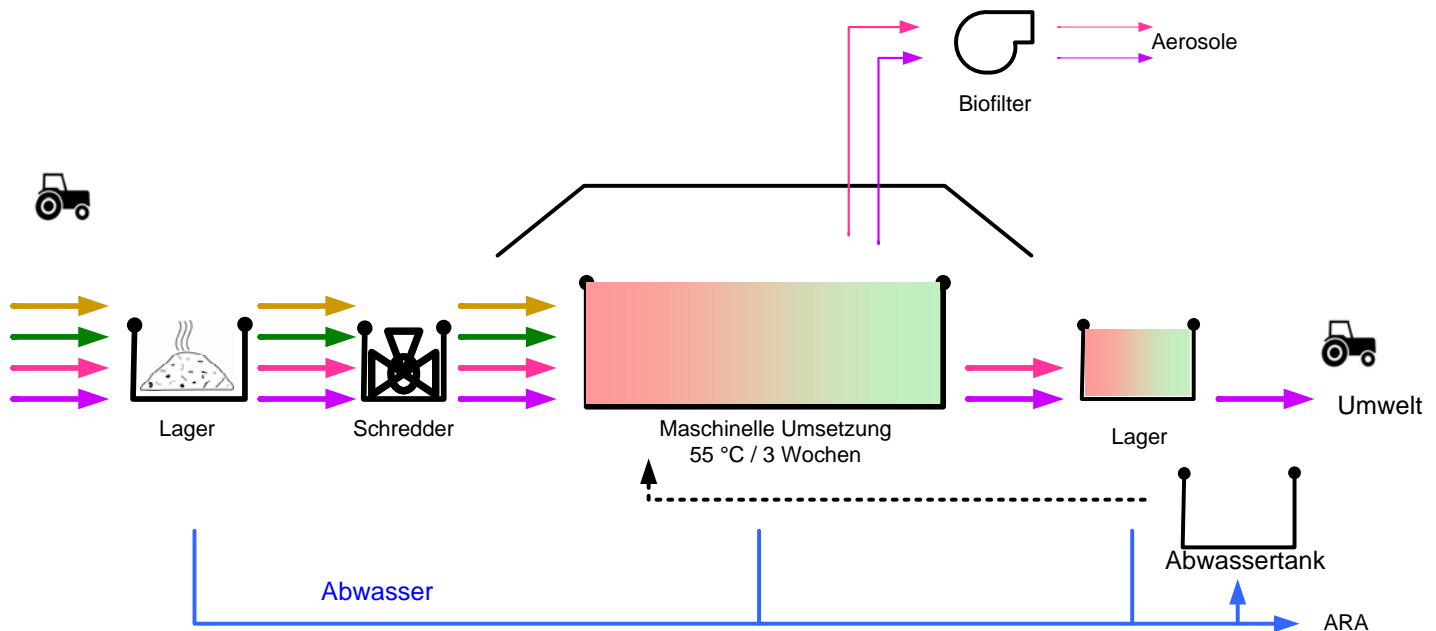


Abbildung 3: Hygienekette HALLEN- / BOXENKOMPOSTIERUNG

Beschrieb: Die Lagerung, Zerkleinerung und Mischung der Substrate erfolgt meist in unmittelbarer Nähe zu den Boxen oder Mieten. Sickerwasser ist gefasst, wird gesammelt und in die ARA geleitet. Das Durchmischen der Boxen oder das Umsetzen der Mieten erfolgt in regelmäßigen Abständen meist durch spezielle mechanische Aggregate. Mieten oder Boxen sind eingehaust oder überdacht, Abluftfilter minimieren die Aerosol- und Geruchsfreisetzung. Bei den Betriebsbedingungen von 55 °C während 21d, bzw. 65 °C während 1 Woche werden alle Organismen bis Klasse 3 zuverlässig abgetötet.

Varianten: Teilweise wird Platzwasser gesammelt und zur Befeuchtung trockener Mieten verwendet. Eine nachträgliche Zugabe von Rohmaterial zu reifen Mieten ist nicht bekannt.

Hygienekritische Bereiche: Bei sachgemässer Betriebsführung ist das Hygienierisiko gering. Wie oben beschrieben ist eine hygienische Trennung von Eingangs- und Ausgangslager zu beachten, um Ausgangsstoffe nicht in die Produkte zu verschleppen. Eine Verschleppung durch die mechanischen Umwälzaggregate ist denkbar, aber sehr unwahrscheinlich. Gesammeltes Abwasser kann beim Befeuchten der Boxen auf bereits hygienisiertes Material verteilt werden.

Hygiene – Risiko im Produkt:



3.2.4 Landwirtschaftliche Co-Vergärung mesophil

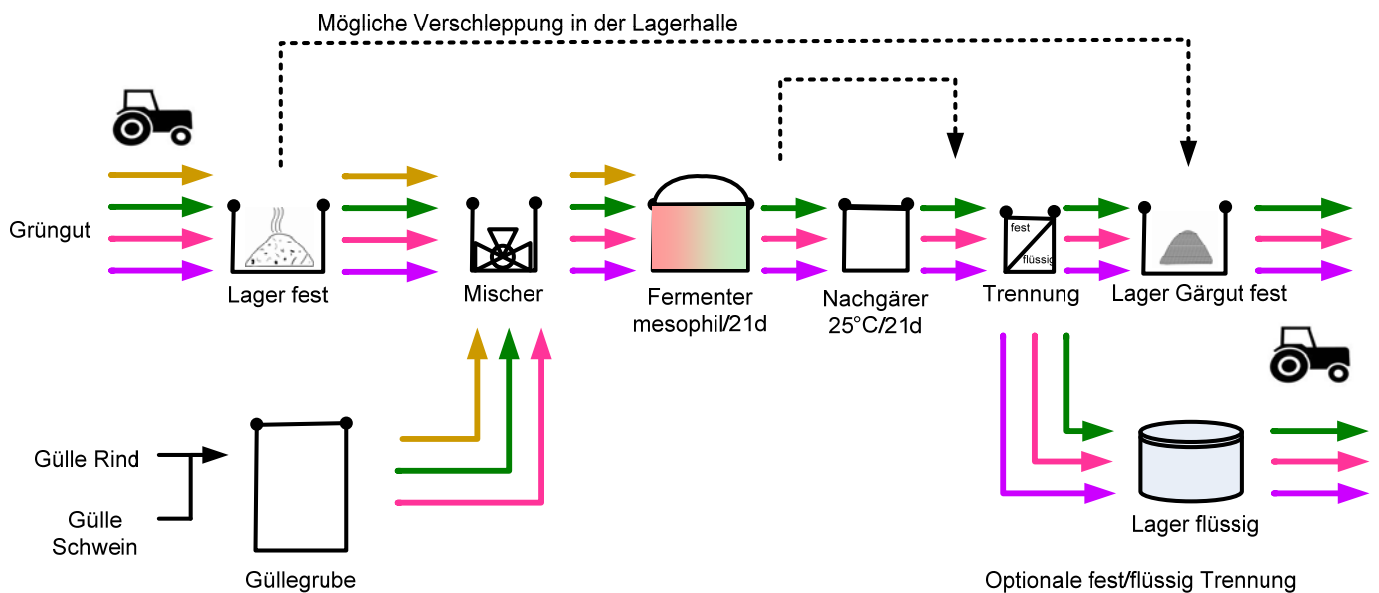


Abbildung 4: Hygienekette CO-VERGÄRUNG

Beschrieb: Die Lagerung, Zerkleinerung und Mischung der Hof- und der Cosubstrate erfolgt meist in unmittelbarer Nähe des Fermenters in offenen oder häufiger in geschlossenen Gruben. Nicht landwirtschaftliche Cosubstrate (z.B. Grüngut, Abfälle der Lebensmittelindustrie) werden zusammen mit Rinder- bzw. Schweinegülle mesophil (37 °C, 21 d) vergoren. Gärgut wird häufig bis zur Verwertung auf dem Feld nachgelagert, teilweise nachvergärt, was einen positiven Effekt auf die Inaktivierung von Organismen haben kann.

Varianten: Teilweise wird festes und flüssiges Material getrennt in den Fermenter gegeben. Dies bleibt, abgesehen von Kurzschlüssen (s.u.) ohne Auswirkungen auf die Hygienisierungswirkung. Häufig sind Co-Vergärungen mit fest/flüssig Trennung nach der Vergärung anzutreffen. Im Falle einer nachgeschalteten Kompostierung, meist in Form einer externen Feldrandkompostierung, durchläuft lediglich der feste Teil des Gärgutes einen weiteren Hygienisierungsschritt, welcher alle Risiko-Organismen bis Klasse 3 eliminiert.

Hygienekritische Bereiche: Die Mindestaufenthaltszeit des Substrates ist oft wesentlich kürzer als die durchschnittliche hydraulische Aufenthaltszeit. Bei separater Beschickung flüssiger und fester Substrate kann sich die Problematik durch Schwimmdeckenbildung verschärfen. Organismen der Klassen 2-4 können in die Produkte Gärgut fest und flüssig gelangen. Die Verschleppung durch Fahrzeuge vom Eingang zum Produkt ist ein zusätzliches Hygienierisiko.

Hygiene – Risiko im Produkt:



3.2.5 Landwirtschaftliche Co-Vergärung mesophil mit Vorhygienisierung

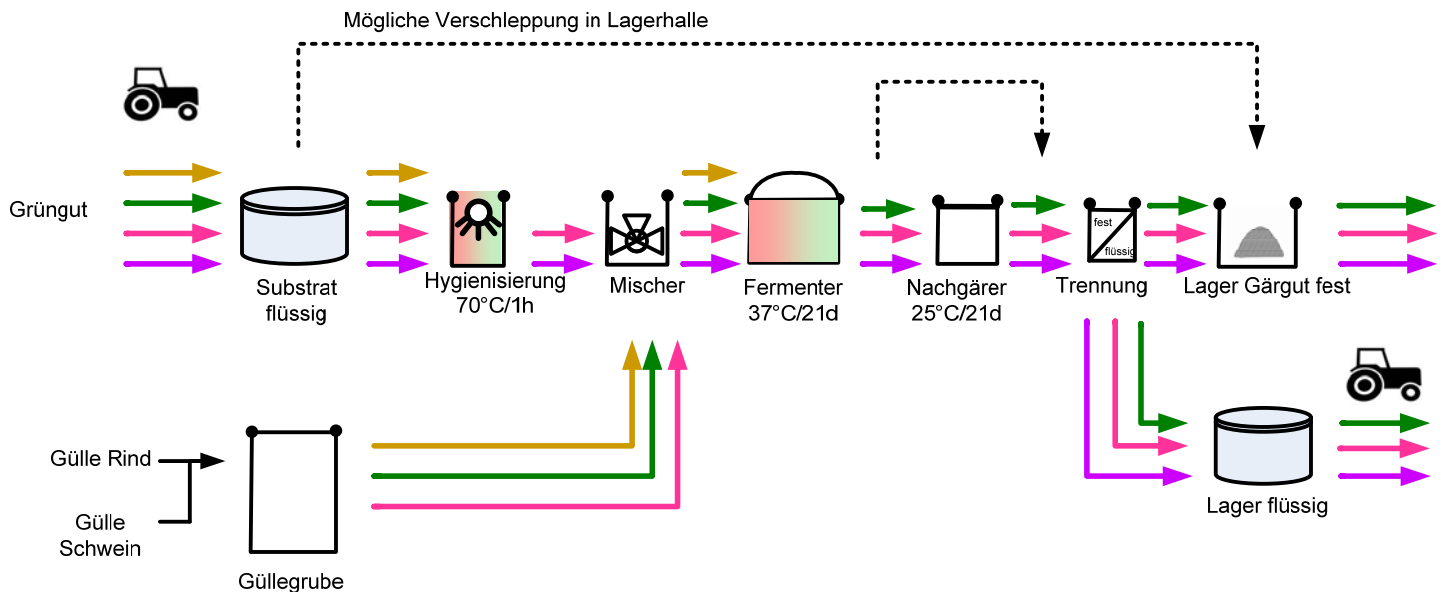


Abbildung 5: Hygienekette CO-VERGÄRUNG + VORHYGIENISIERUNG

Beschrieb: Entspricht der mesophilen landwirtschaftlichen Covergärung mit zusätzlicher Vorhygienisierung eines Teilstromes. Co-Substrate werden bei 70 °C während 1h pasteurisiert). Es gibt jedoch Organismen der Klasse 3, die durch Pasteurisierung nur dezimiert werden und somit ins Produkt Gärgut fest/flüssig gelangen können. Die typischen human- und tierpathogenen Organismen der Klassen 1 und 2 sind jedoch weitgehend inaktiviert. Durch Vermischen mit Gülle werden wieder Organismen der Klassen 1 + 2 eingebracht, welche jedoch wenig riskant sind. Gärgut wird häufig bis zur Verwertung auf dem Feld nachgelagert, teilweise nachvergärt, was einen positiven Effekt auf die Inaktivierung von Organismen haben kann.

Varianten: Es sind sämtlich bei der Co-Vergärung beschriebenen Varianten (separater Eintrag, fest/flüssig Trennung) anzutreffen. Der Einbezug der Hofdünger in die Pasteurisierung wird aufgrund des hohen hydraulischen Anteils nicht praktiziert.

Hygienekritische Bereiche: Mögliche Umgehung der Hygienebarrieren besteht durch die Verschleppung durch Radlader vom Eingangslager zum Produktlager. Hygienisch kritische Co-Substrate dürfen nicht direkt in die Güllegrube gegeben werden.

Hygiene – Risiko im Produkt:



Klasse 2: positiv, jedoch ohne typische human- und tierpathogene Erreger

3.2.6 Thermophile Feststoffvergärung ohne Kompostierung

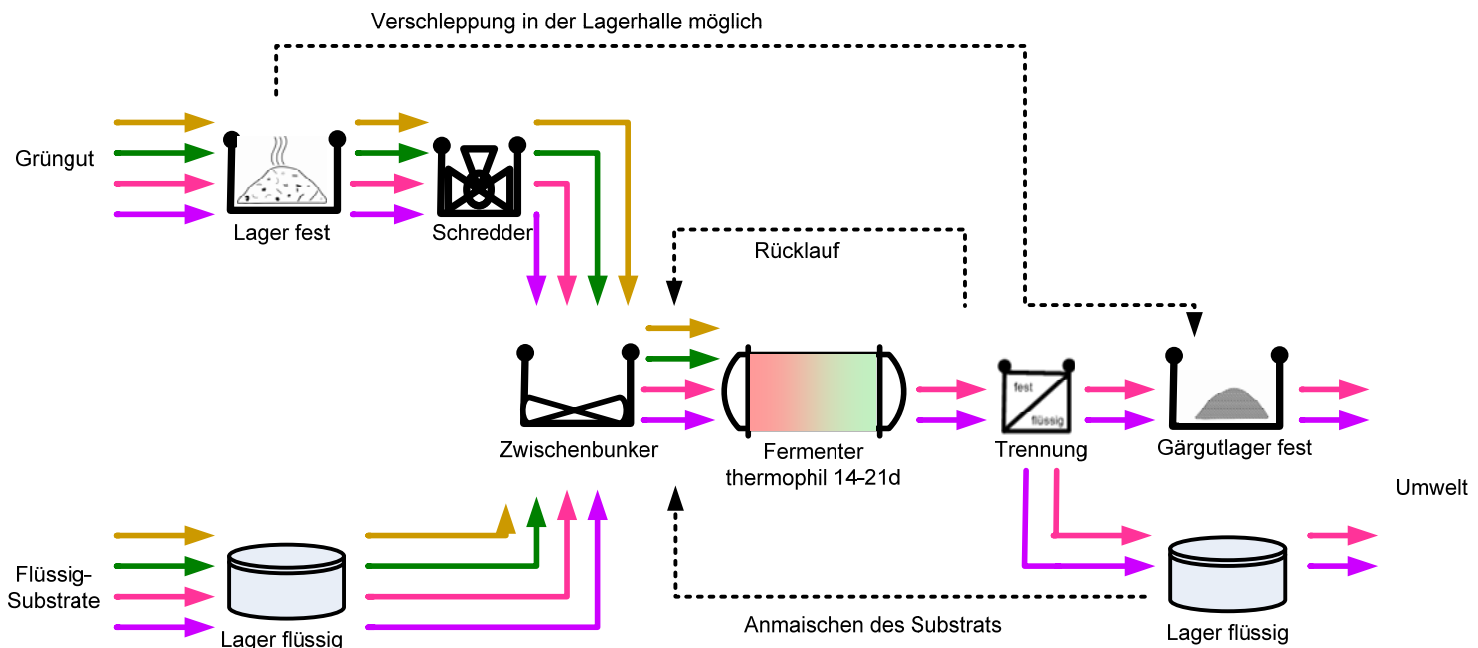


Abbildung 6: Hygienekette VERGÄRUNG THERMOPHIL

Beschrieb: Die Lagerung, Zerkleinerung und Mischung verschiedener Substrate erfolgt meist in unmittelbarer Nähe des Fermenters in geschlossenen Tanks. Grünut wird gemischt mit flüssigen Substraten im horizontal durchströmten, liegenden Reaktor meist thermophil vergoren. Der Fermenterinhalt wird durch langsam laufende axiale Rührwerke durchmischt. Organismen der Klasse 3 und 4 werden bei einer Temperatur von 55 °C während 14 Tagen nicht vollständig abgetötet. Gärgut wird meist in einem nachgeschalteten mechanischen Trennschritt in eine flüssige und in eine feste Fraktion aufgetrennt.

Varianten: Teilweise werden keine flüssigen Substrate verwertet resp. werden feste und flüssige Substrate gemeinsam angenommen, durchmischt und gelagert. Dies bleibt ohne Auswirkungen auf die Hygienisierungswirkung. Ebenso hat die oft praktizierte Rückmischung von Fermenterauslauf oder von flüssigem Gärgut zum Zulauf keine negativen Auswirkungen auf die Hygienisierung. Teilweise bestehen Nachlager für festes Gärgut, welche als Kompostierung geführt werden (siehe 3.2.7).

Hygienekritische Bereiche: Eine Umgehung der Hygienebarriere durch Kurzschlüsse im Fermenter ist möglich, aber äusserst unwahrscheinlich. Durch Verschleppung von kontaminiertem Substrat z.B. durch Radlader vom Eingangslager zum Produktlager sind Hygiene – Kurzschlüsse möglich.

Hygiene – Risiko im Produkt:

Klasse 1: negativ	Klasse 2: negativ	Klasse 3: positiv	Klasse 4: positiv
-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

3.2.7 Thermophile Feststoffvergärung mit Kompostierung

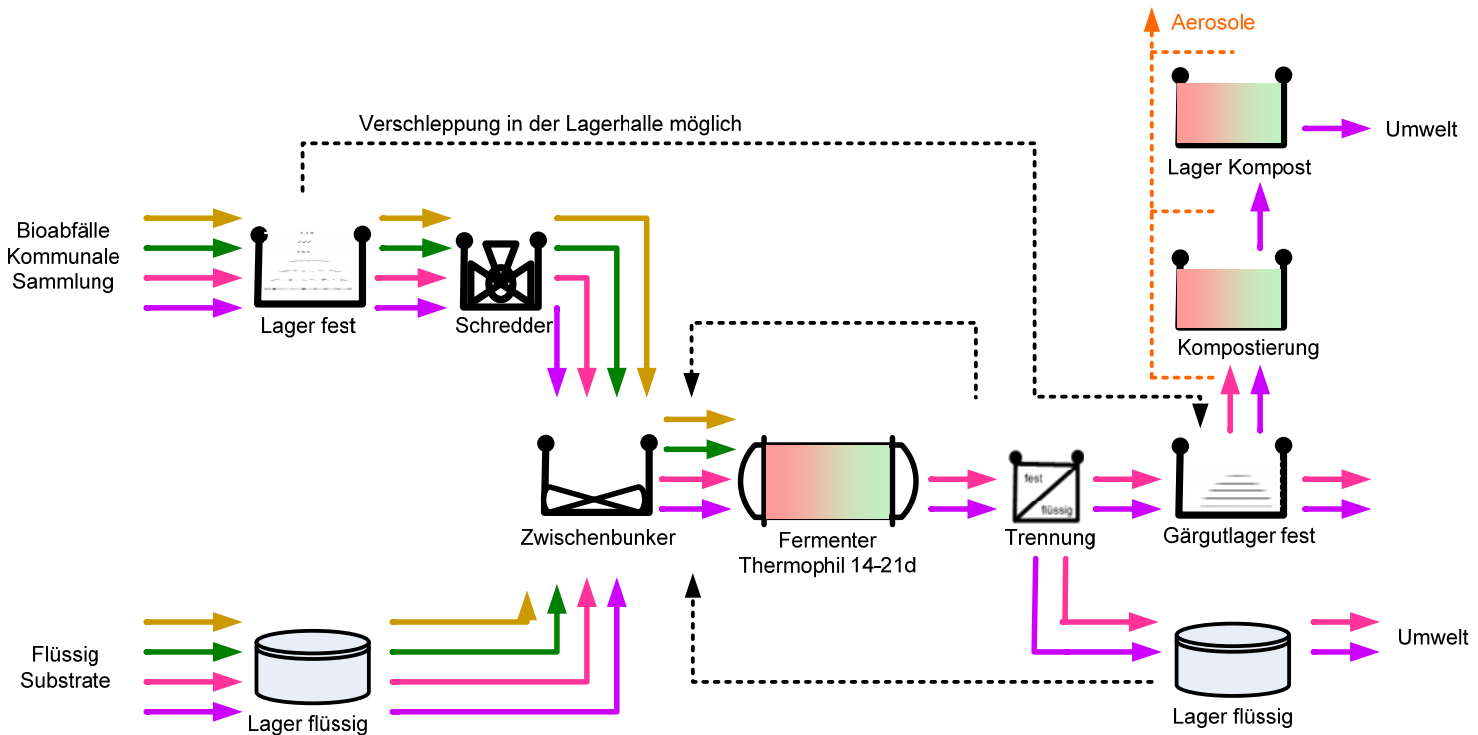


Abbildung 7: Hygienekette VERGÄRUNG THERMOPHIL + KOMPOSTIERUNG

Beschrieb: Die Verfahrensführung entspricht der thermophilen Feststoffvergärung bei 55 °C während 14 Tagen (3.2.6.). Die Festfraktion des separierten Gärgutes wird einer Kompostierung unterworfen, welche meist als überdachte Mieten- oder als Boxenkompostierung ausgeführt ist. Organismen der Klasse 3 und 4 werden in der thermophilen Vergärung nicht vollständig abgetötet und finden sich im Gärgutlager wieder. Das nachkompostierte Gärgut enthält nur noch Organismen der Klasse 4.

Varianten: Die Bemerkungen aus 3.2.6. zur Substratannahme und zur Rückmischung behalten ihre Gültigkeit. Teilweise erfolgt die Nachkompostierung örtlich getrennt auf separaten Kompostierplätzen. Hier kann es zu einer Vermischung mit weiteren Kompostsubstraten kommen.

Hygienekritische Bereiche: Eine Umgehung der Hygienebarriere durch Kurzschlüsse im Fermenter ist möglich, aber äusserst unwahrscheinlich. Durch Verschleppung von kontaminiertem Substrat z.B. durch Radlader vom Eingangslager zum Produktlager sind Hygiene – Kurzschlüsse möglich.

Hygiene – Risiko im Produkt:

Klasse 1: negativ	Klasse 2: negativ	Klasse 3: positiv	Klasse 4: positiv
-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

4 Beispiele von Risikofällen

Während im Normalfall, d.h. bei sachgemässer Prozessführung, technisch korrekter Anlage und korrekter Verwendung der Ausgangsstoffe das Hygienierisiko minimal ist, kann es bei Fehlfunktionen der Anlage oder bei stark kontaminierten Ausgangsstoffen zu Hygieneproblemen im Produkt führen. Im Folgenden sind beispielhaft 4 Fälle aufgeführt, in denen die Abfallbehandlungsanlagen die Funktion der Hygienisierung nicht vollständig erfüllen können. Es werden verschiedene, tatsächliche existierende Anlagenkonfigurationen mit deren Hygienebarrieren, Reduktionsschritte und mögliche Umgehungen der Barrieren (Bypässe) aufgezeigt. Kontaminierte Ausgangsprodukte (und mögliche Havariefälle) werden beschrieben und die Konzentrationen von hygienerelevanten Organismen abgeschätzt. Das Endprodukt wird bewertet und dessen Anwendung diskutiert. Empfehlungen für die Anwendung der Produkte und mögliche Verbesserungen der Methode werden aufgezeigt.

4.1 Neophyten (Klasse 2) in der Feldrandkompostierung

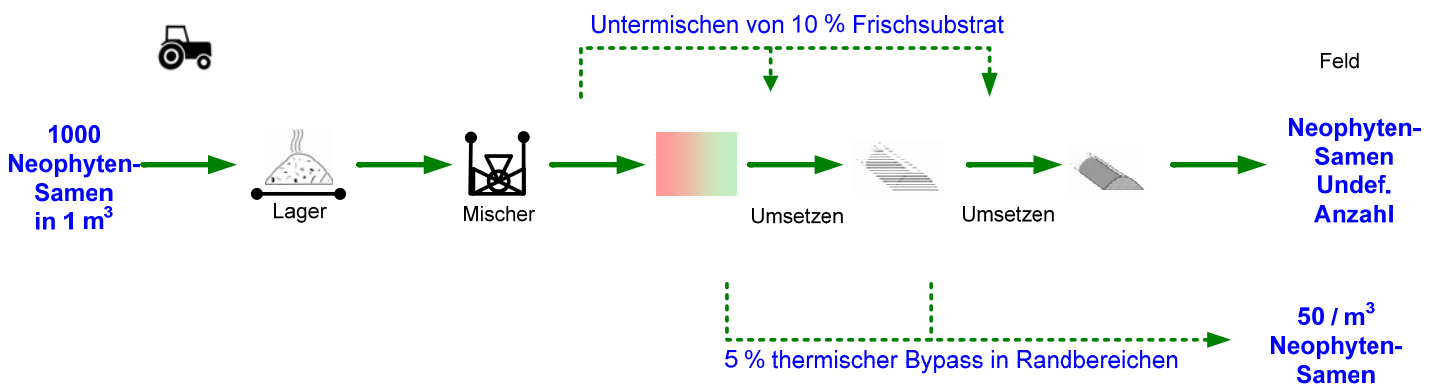


Abbildung 8: Fallbeispiel NEOPHYTEN

4.1.1 Ausgangsmaterialien und Reduktionsschritte

Samen und Pflanzenteile von invasiven Neophyten können in Mähgut der Landschaftspflege, von Brachflächen und von Strassenrändern gehäuft vorkommen. Sie sind oft nicht von anderem Material zu unterscheiden. Dieses Material kann in die Feldrandkompostierung gelangen. Bei ordnungsgemässer Kompostierung (55 °C, 3 Wochen) werden alle Teile der Pflanzen und deren Samen vollständig inaktiviert. Bei der Feldrandkompostierung bestehen jedoch problematische Bypässe thermischer und zeitlicher Art.

4.1.2 Mögliche Materialkurzschlüsse

- An Randbereichen, besonders an der Kontaktfläche zum Boden, wird die zur Hygienisierung geforderte Temperatur (mindestens 3 Wochen über 55 °C) nicht eingehalten.
- Beim nachträglichen untermischen von Frischsubstrat wird die Hygienisierungsdauer nicht eingehalten.
- Durch Sickerwasser können Samen direkt ins darunter liegende Erdreich gelangen.

4.1.3 Bewertung des Endprodukts

Das Endprodukt Kompost kann Pflanzensamen enthalten, welche nicht thermisch inaktiviert sind. Der Anteil wird auf ca. 5 % des Gesamtmaterials geschätzt. Bei einem Eintrag von 1000 Neophytensamen pro Volumeneinheit (m³), finden sich noch bis zu 50 keimfähigen Samen in einem Kubikmeter Kompostprodukt. Die relative Anzahl Keime pro Volumeneinheit kann sogar noch höher sein, da das Kompostvolumen während des Verfahrens um bis zu 30 % schrumpft.

Der Grenzwert nach der neuen RAL Gütesicherung und des EU Umweltzeichens erlauben maximal 2 keimfähige Samen pro Liter Produkt (EU_Kommission 2006; Bundesgütegemeinschaft_Kompost_e.V. 2009).

4.1.4 Empfehlung Neophyten

- Eine einmalige direkte Prozessprüfung der Anlage mit dem Leitorganismus Tomatensamen wird empfohlen.
- Keine Ausbringung auf Rekultivierungs- und auf Brachflächen, welche besonders anfällig für die Ausbreitung von invasiven Neophyten sind.

4.1.5 Gültigkeit für andere Organismen

Die hier gemachten Aussagen gelten für alle invasiven Neophyten und deren Samen (z.B. Ambrosia, Beifuss, Japanisches Geissblatt, Kanadische Goldrute, Knöterich, Riesenbärenklau, Drüsiges Springkraut, Wasserpest) und Unkräuter wie Blacken (*Rumex obtusifolius*) oder Amaranth.

4.2 Kohlhernie (Klasse 2) in der mesophilen Co-Vergärung

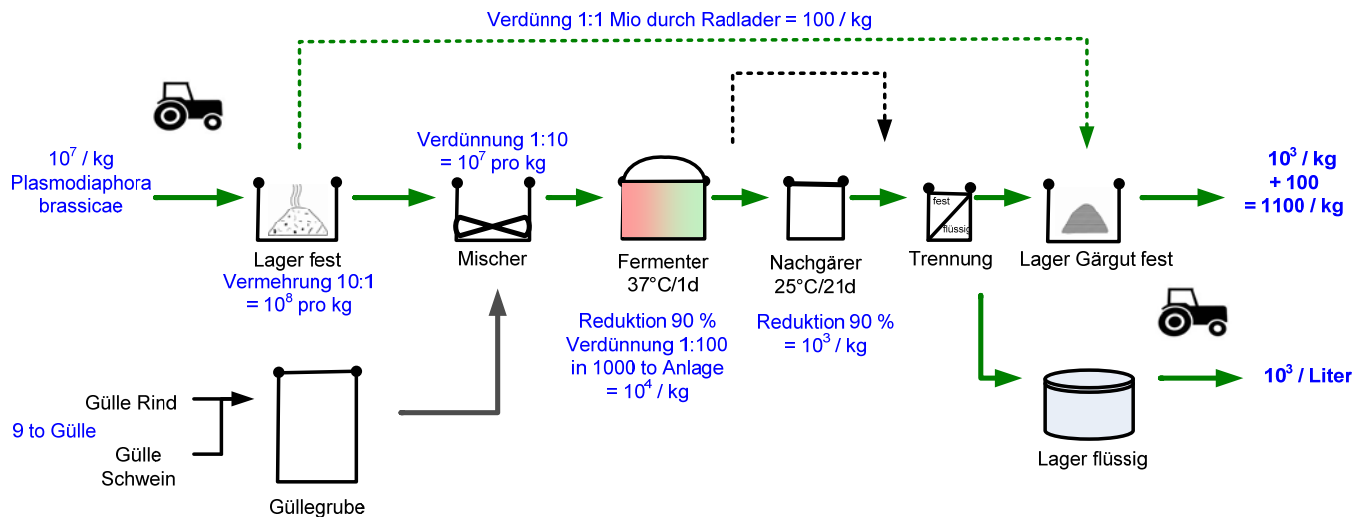


Abbildung 9: Fallbeispiel KOHLHERNIE

4.2.1 Ausgangsmaterialien und Reduktionsschritte

1 Tonne mit Kohlhernie befallenen Abfälle aus einem Gemüseanbaubetrieb gelangen in die Co-Vergärung einer landwirtschaftlichen mesophilen Biogasanlage. Die Konzentration von *Plasmodiophora brassicae* Zoosporen ist in den befallenen Wurzelteilen sehr hoch. Zusammen mit unkontaminiertem Material wird eine Ausgangskonzentration von 10^7 Keimen pro kg erreicht. Im Lager vermehren sich die Kohlhernie - Erreger nochmals um den Faktor 10 in zwei Tagen Lagerdauer auf 10^8 Erreger/kg. Durch Verdünnung mit Gülle wird die Konzentration der Erreger auf 10^7 verdünnt und im Mischer gleichmässig verteilt. Statistisch verlässt 1 % des Materials nach 1 Tag bereits wieder die mesophile Vergärung. In dieser Zeit sind 90 % der Erreger abgestorben. Kombiniert mit dem Verdünnungseffekt im Fermenter ergibt sich eine Konzentration von 10^4 /kg, die im „Nachgärer“ bei 21 C nochmals um 90 % reduziert wird. Die Endprodukte flüssig und fest enthalten etwa 10^3 Erreger/kg (1000/kg). Der wirkungsorientierte Richtwert für Kohlhernie liegt bei einem Befallsindex (siehe 4.2.4) von ≤ 0.5 je Prüfbereich, nach (BioAbfV 1998). Der Richtwert wird im beschriebenen Fall sehr wahrscheinlich überschritten.

4.2.2 Mögliche Materialkurzschlüsse

- Die durchschnittliche Aufenthaltsdauer des Materials im Biogasfermenter beträgt ca. 21 Tage was für eine Hygienisierung von *Plasmodiophora brassicae* ausreichend wäre. Die

tatsächliche Mindestaufenthaltsdauer in einem gleichmässig durchmischten Fermenter ist jedoch wesentlich kürzer und liegt im Zeitraum von Stunden bis 1 Tag. Im Falle der Absenkung des Fermenterniveaus (= Chargenabzug) vor Beschickung kann eine minimale Verweilzeit von 6 Stunden garantiert werden.

- Durch Pflanzenmaterial, welches an den Rädern des Radladers anhaftet, kann Ausgangsmaterial direkt ins Material vom Produktlager gelangen. Die Mengen sind gering, jedoch reicht aufgrund der hohen Keimzahlen 1 Gramm kontaminiertes Material aus, um eine Tonne hygienisiertes Produkt mit 100 Keimen zu rekontaminieren.

4.2.3 Bewertung der Endprodukte

Die Endprodukte Gärgut flüssig und fest beinhalten in diesem Fall noch lebenden Zoosporen von *Plasmodiophora brassicae*. Durch Ausbringung des Gärguts zur Düngung von Gemüsegeldern können somit wieder neue Pflanzen mit der Kohlhernie - Krankheit befallen und der Infektions-Kreislauf geschlossen werden. Auch im Boden sind die Erreger über einen Zeitraum von mehreren Jahren überlebensfähig und bergen somit potentiell die Gefahr einer späteren Infektion. Die tatsächliche infektiöse Wirkung der überlebenden Keime ist vermutlich gering, kann jedoch nur experimentell bestimmt werden, vergl. Baumusterprüfung (Bundesgütegemeinschaft_Kompost_e.V. 2003).

4.2.4 Empfehlung Kohlhernie

- Eine strikte unrein – rein Trennung mit entsprechenden baulichen und organisatorischen Massnahmen ist aufgrund des Hygienierisikos, welches von Kohlhernie ausgeht, nicht notwendig.
- Rohmaterial mit vermuteter oder nachgewiesener hoher Belastung mit Kohlhernie - Erregern soll direkt und ohne Zwischenlagerung in den Vorlagetank oder in die Mischgrube gegeben werden.
- Die Mindestaufenthaltsdauer im Fermenter ist auf 6 Stunden zu verlängern. Dies wird durch einen chargenweisen Betrieb mit Entnahme von Gärgut aus dem Fermenter (Volumenabsenkung) vor Neubefüllung problemlos erreicht.
- Gärgut, welches nachweislich durch Rohmaterial mit hohem Kohlhernie – Befall belastet wurde, soll nicht in Gemüsekulturen ausgebracht werden.
- Mindestens einmalig sollte der Fall auf einer mesophilen Biogasanlage mit infektiösen Wurzelknollen durchgespielt und der Befallsindex ermittelt werden (Direkte Prozessprüfung). Der Befallsindex zeigt an, wie hoch das Infektionsrisiko tatsächlich ist. Er berechnet sich aus Anzahl befallener Pflanzen (x 3) / Gesamtzahl Pflanzen. Dieser Index sollte unter 0.5 liegen.

4.3 Salmonellen (Klasse 2) in mesophiler Co-Vergärung

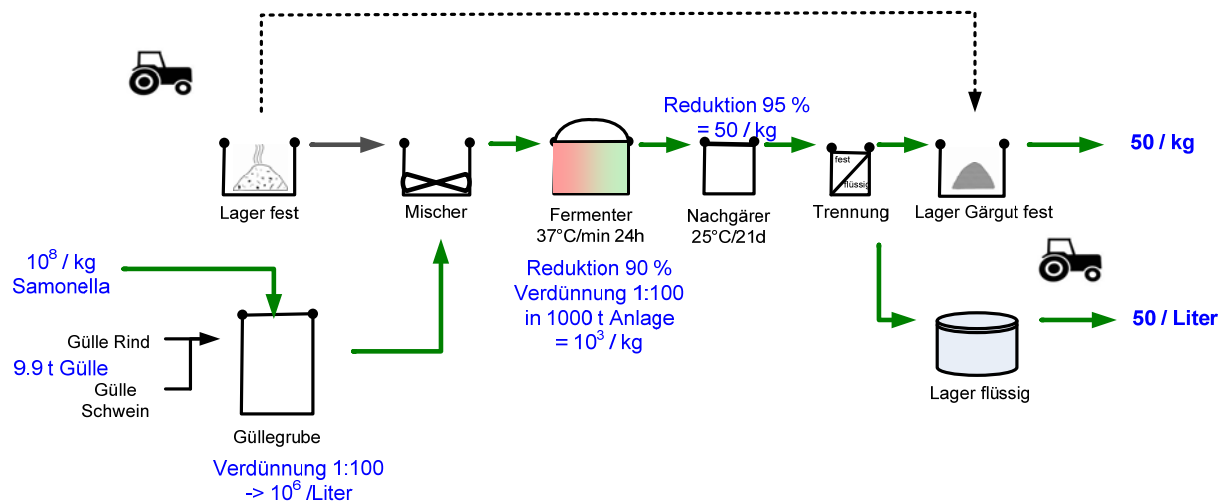


Abbildung 10: Fallbeispiel SALMONELLEN

4.3.1 Ausgangsmaterialien und Reduktionsschritte

100 Liter flüssige Produktionsabfälle aus einem Eiverarbeitendem Betrieb sind mit Salmonellen verseucht und gelangen als Co-Substrat in eine landwirtschaftliche mesophilen Biogasanlage. Die Konzentration an *Salmonella* liegt bei 10^8 pro kg. Durch Verdünnung mit Gülle (1:100) wird die Konzentration der Erreger auf 10^6 verdünnt und im Mischer gleichmässig verteilt. Statistisch verlässt 1 % des Materials nach 1 Tag bereits wieder die mesophile Vergärung. In dieser Zeit sind 90 % der Erreger abgestorben. Kombiniert mit dem Verdünnungseffekt im Fermenter ergibt sich eine Konzentration von 10^3 /kg, die im Nachgärer bei 25 °C nochmals um 95 % reduziert wird. Die Endprodukte Gärgut flüssig und Gärgut fest enthalten etwa 50 Erreger/kg (1000/kg). Der Richtwert für Salmonellen ist nach (BioAbfV 1998) „keine positive Probe in 50 ml“. Nach der Güterichtlinie RAL-GZ 245 dürfen keine Salmonellen nachweisbar sein (RAL; Bundesgütegemeinschaft_Kompost_e.V. 2009). Statistisch gesehen befinden sich jedoch 2.5 Salmonellen in 50 ml Gärgut, womit der Richtwert überschritten ist.

4.3.2 Mögliche Materialkurzschlüsse

- Die durchschnittliche Aufenthaltsdauer des Materials im Biogasfermenter beträgt ca. 21 Tage was für eine Hygienisierung von *Salmonella* sp. ausreichend wäre. Die tatsächliche Mindestaufenthaltsdauer in einem gleichmässig durchmischten Fermenter ist jedoch wesentlich kürzer und liegt im Zeitraum von Stunden bis 1 Tag.

- Durch Material, welches an den Rädern des Radladers anhaftet, kann Ausgangsmaterial direkt ins Material vom Produktlager gelangen. Die Mengen sind gering, jedoch reicht aufgrund der hohen Keimzahlen können sie dazu beitragen, bereits hygienisiertes Produkt zu rekontaminieren.

4.3.3 Bewertung der Endprodukte

Die Endprodukte Gärgut flüssig und fest beinhalten in diesem Fall noch lebende Salmonellen. Durch Ausbringung des Gärguts zur Düngung von Gemüsefeldern besteht die Gefahr, dass sich Verbraucher oder Tiere mit Salmonellen infizieren. Die tatsächliche infektiöse Wirkung der überlebenden Keime ist vermutlich wegen der geringen Anzahl im Produkt relative gering, kann jedoch nur experimentell bestimmt werden, vergl. Baumusterprüfung (Bundesgütegemeinschaft_Kompost_e.V. 2003).

4.3.4 Empfehlung Salmonellen

- Eine strikte unrein – rein Trennung mit entsprechenden baulichen und organisatorischen Massnahmen ist aufgrund des Hygienerisikos, welches von Salmonellen ausgeht, nicht notwendig.
Diese Aussage gilt generell für tierpathogene Keime, welche durch Speisereste in mesophile Co-Vergärungsanlagen gelangen können.
- Mindestens einmalig sollte der Fall auf einer thermophilen Biogasanlage mit infektiösem Material durchgespielt und die Belastung der Produkte mit Salmonellen bestimmt werden (Direkte Prozessprüfung).
- Bestehende experimentelle Bestimmungen der tatsächlichen Mindest-Aufenthaltsdauer in längs durchströmten, thermophilen Feststofffermentern sollten wiederholt werden.
- Bei Verdacht einer starken Kontaminierung des Rohmaterials mit Salmonellen ist eine Produktprüfung für alle Produkte (fest / flüssig) zu empfehlen
- Die Ausbringung sowohl von flüssigem als auch von festem Gärgut auf Gemüsekulturen ist bei nachweislich stark mit Salmonellen belastetem Rohmaterial einzuschränken bzw. mit einer Frist bis zur Ernte zu versehen.
- Die Anwendung des Gärgutes orientiert sich analog zu Hofdünger, in welchem ebenfalls Salmonellen vorkommen können.

4.3.5 Gültigkeit für andere Organismen

Die hier gemachten Aussagen gelten ebenfalls für andere pathogene Bakterien wie Fäkalstreptokokken, enterohämorrhagische *Escherichia coli* (EHEC), *Yersinia* und *Shigella*.

Ebenfalls mit eingeschlossen werden tierpathogene Keime, zB Dauerformen des Spulwurmes (*Ascaris suum*) oder tierpathogene RNA-Viren (Schweinepest – Virus, MKS – Virus), welche durch Speisereste in mesophile Co-Vergärungsanlagen gelangen können.

Laut (Bundesgütegemeinschaft_Kompost_e.V. 2003) und (EU_Kommission 2006) bestehen für andere pathogenen Bakterien folgende Richtwerte (KBE = koloniebildende Einheiten = vermehrungsfähige Keime, FS = Frischsubstanz):

- *Gesamtbakterienzahl bei 37 °C: Richtwert < 5x10⁸ KBE/g FS*
- *Anzahl fäkalkoliformer Bakterien – E. coli: Richtwert < 5 x10³ KBE/g FS*
- *Enterokokken: Richtwert < 5 x10³ KBE/g FS*
- *E. coli ≤ 10³ KBE/g FS (EU_Kommission 2006)*
- *Salmonella: Richtwert 0 (nicht bestimmbar) in 25 g FS*

4.4 Tabakmosaikvirus (TMV, Klasse 3) in der thermophilen Vergärung

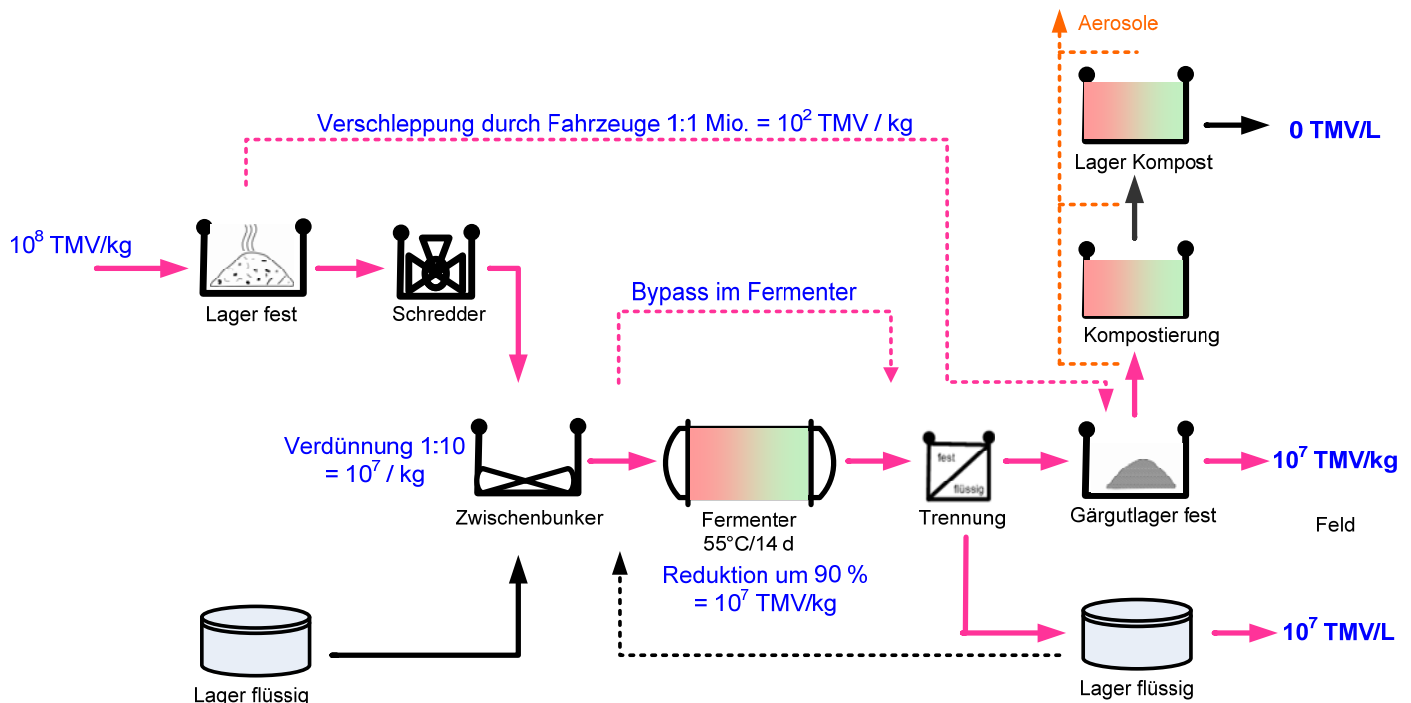


Abbildung 11: Fallbeispiel TABAKMOSEKIVIRUS

4.4.1 Ausgangsmaterialien und Reduktionsschritte

1 Tonne mit TMV befallenes Grüngut aus einem Rüstbetrieb gelangt in die Co-Vergärung einer landwirtschaftlichen Biogasanlage. Die Konzentration von TM-Viren in Pflanzenblättern beträgt 10^8 /kg. Durch Verdünnung mit anderen Substraten wird die Konzentration der Erreger auf 10^7 verdünnt und im Mischer gleichmässig verteilt. Die Vergärung bei 55°C kann in 14 Tagen die thermoresistenten TM-Viren nur zu ca. 90% abtöten. Die Produkte Gärgut flüssig und fest enthalten etwa 10^6 Erreger/kg (1 Mio./kg). Der anwendungsorientierte Richtwert für TMV beträgt ≤ 8 Läsionen pro Pflanze nach (BioAbfV 1998). Durch Nachkompostieren des entwässerten Gärguts (65°C , 1 Woche) werden die TM-Viren praktisch vollständig inaktiviert.

4.4.2 Mögliche Materialkurzschlüsse

- Die durchschnittliche Aufenthaltsdauer in einem Pfropfstromreaktor beträgt 15 Tage. Die tatsächliche Mindestaufenthaltsdauer ist jedoch kürzer und liegt im Zeitraum von 10 Tagen. In diesem Zeitraum, wie auch während 15 Tagen, werden TMV nicht vollständig inaktiviert. Insbesondere wenn das Gärgut zu „dünn“ angesetzt wird (zu wenig Trockensubstanz) kann es zu Materialkurzschüssen im Fermenter kommen. In einem verkürzten Hygienisie-

rungs-Zeitraum im werden TMV und andere Klasse 3 Organismen nicht vollständig inaktiviert.

- Durch Pflanzenmaterial, welches an den Rädern des Radladers anhaftet, kann Ausgangsmaterial direkt ins Material vom Produktlager gelangen. Die Mengen sind in diesem Beispiel relativ gering, im Vergleich zu der Erregerzahl, welche die Fermentation übersteht.
- Besteht eine Leitungsverbindung vom Presswasser zum Anmischbehälter/Mischbehälter, so ist dafür Sorge zu tragen dass die Flüssigkeit nur in Richtung Mischer fließen kann und nicht umgekehrt, zur Verhinderung der Kontamination des Presswasser-Lagerbehälters.
- Bei der Umsetzung der Kompostmieten können anfangs Aerosole entstehen, die noch lebende Viren enthalten.

4.4.3 Bewertung der Endprodukte

Die Endprodukte Gärgut flüssig und fest beinhalten in diesem Fall noch eine grosse Anzahl von infektiösen Viruspartikeln (etwa 1 Mio / l). Dieser Wert liegt sehr wahrscheinlich weit über den Richtwerten. Die tatsächliche infektiöse Wirkung der überlebenden Viren kann nur experimentell auf der jeweiligen Anlage bestimmt werden, vergl. Baumusterprüfung (BioAbfV 1998; Bundesgütegemeinschaft_Kompost_e.V. 2003) und (BioAbfV 1998). Das Produkt Kompost ist praktisch virenfrei und kann ohne Einschränkungen verwendet werden.

4.4.4 Empfehlung TMV

- Eine strikte unrein – rein Trennung mit entsprechenden baulichen und organisatorischen Massnahmen ist aufgrund des Hygienierisikos, welches von TMV ausgeht, nicht notwendig.
- Mindestens einmalig sollte der Fall auf einer thermophilen Biogasanlage mit infektiösem Material durchgespielt und der Index der Blattläsionen bestimmt werden (Direkte Prozessprüfung). Der Index der Blattläsionen zeigt an, wie hoch das Infektionsrisiko tatsächlich ist. Der Richtwert beträgt 8 Läsionen / Pflanze, nach (BioAbfV 1998).
- Mindestens einmalig sollte in einem längs durchströmten, thermophilen Feststofffermenter die tatsächliche Mindest-Aufenthaltsdauer experimentell bestimmt werden.
- Die Ausbringung sowohl von flüssigem als auch von festem Gärgut auf für TMV anfällige Kulturen ist bei nachweislich stark mit TMV belastetem Rohmaterial einzuschränken.
- Das Nachkompostieren des Gärguts ist bei potentiell mit TMV belastetem Ausgangsmaterial sehr empfehlenswert. Flüssiges Gärgut, welches ebenfalls mit einer kritischen Restkonzentration an TMV belastet sein kann, durchläuft diesen nachfolgenden Hygienisierungsschritt nicht. Für dieses Produkt ist eine Anwendungseinschränkung sinnvoll.
- Zur weitestgehenden Inaktivierung von TMV ist eine Hygienisierungsstufe von ≥ 90 °C notwendig (anstatt der üblichen 70 °C). Es ist jedoch aufgrund der realen TMV - Situation nicht angebracht, diese verschärfte Hygieneanforderung umzusetzen.

- Bei Verdacht einer starken Kontaminierung des Rohmaterials mit TMV ist eine Produktprüfung für alle Produkte (fest / flüssig) zu empfehlen.

4.4.5 Gültigkeit für andere Organismen

Die hier gemachten Aussagen sind auch für andere Mosaikviren und pathogene Viren und Organismen der Klasse 3, wie *Tomato Mosaic Virus*, thermoresistente Parvoviren und thermophile Ascomyceten gültig. Für echten und falschen Mehltau sind die Aussagen nur mit Einschränkungen aussagekräftig. Hier drängt sich eine gesonderte Betrachtung auf.

5 Schlussfolgerungen

5.1 Anlagekonfiguration

Eine strikte unrein – rein Trennung mit entsprechenden baulichen (z.B. Zonen ohne direkte Verbindung) und organisatorischen (z.B. Gerätedesinfektion, Personenschutz) Massnahmen ist technisch in Grüngutverwertungsanlagen nicht umzusetzen. Aufgrund des Hygienierisikos, welches von den hier betrachteten potentiell human, tier- oder pflanzenpathogenen Keimen ausgeht, sind solche Massnahmen für die am Markt üblichen Vergärungs- und Kompostierungsverfahren keinesfalls notwendig.

Bei sauberer und kontrollierter Betriebsführung sind die heute gängigen Massnahmen ausreichend, um massive Verschleppungen unerwünschter Keime vom Rohmaterial in die Produkte und Rückkontaminationen zu unterbinden.

Das bestehende Mittel der regelmässigen jährlichen Anlage- und Betriebskontrolle durch das Brancheninspektorat der Kompostier- und Vergärbranche ist geeignet, die Einhaltung dieser Massnahmen zu überprüfen.

Für die in dieser Studie definierten Verfahrensketten und für die identifizierten hygiene relevanten Organismen resp. Tenazitätsklassen ist es zielführend, mindestens einmalig eine direkte Prozessprüfung (analog zur Deutschen Baumusterprüfung) durchzuführen.

Erfüllt ein Verfahren die Anforderungen nicht, so kann analog zur deutschen Bioabfallverordnung (BioAbfV, 2007, Anhang 2) die Hygienisierungswirkung und die hygienische Unbedenklichkeit der Produkte nachgewiesen werden. Der Nachweis besteht aus Verfahrensprüfung (Bestimmung der minimalen und der durchschnittlichen Aufenthaltszeit) und der Produktprüfung (auf die Leit- oder Indikatororganismen Salmonellen, Kohlhernie und Tomatensamen sowie bei der Kompostierung auf TMV). Sofern die Produktprüfung definierte Grenzwerte unterschreitet, kann das Verfahren bezüglich Hygienewirkung als den Anforderungen entsprechend beurteilt werden.

Aufgrund des erhöhten Aufwandes und der teilweise teuren Fremdkontrollen soll vorerst die Eigenkontrolle der Hygienisierung und die damit verbundene Sensibilisierung des Anlagenpersonals im Vordergrund stehen. Im Zweifelsfall soll das Mittel der externen Prüfung beigezogen werden können.

5.2 Klassierung der Ausgangsmaterialien

Die Bewertung von Küchen- und Speiseabfällen bedarf einer differenzierten Betrachtungsweise. Das übliche Hygienierisiko dieser Materialien geht mehrheitlich von Organismen der Tena-zitätsklassen 1 (Virale Erreger von z.B. Schweinepest, Maul- & Klauenseuche, Schweinegrippe) und 2 (Parasiten wie *Ascaris*, Salmonellen und weitere bakterielle Erreger) aus. Diese Erreger werden durch die klassischen Hygienisierungsschritte bei der thermophilen Vergärung oder der Kompostierung in den Produkten auf unbedenkliche Restkonzentrationen reduziert.

Separat gesammeltes Grüngut ohne Küchenabfall, also aus Sammelgebieten, in welchen die kombinierte Entsorgung nicht propagiert wird, kann dennoch geringe Mengen dieser hygiene-relevanten Organismen enthalten. Es ist aus organisatorischen Gründen nicht möglich resp. nicht realistisch, separat gesammeltes Grüngut aus Haushalten zu fordern, welches absolut frei von Speiseresten ist. Ein Anteil von 5% Speisereste kann und soll toleriert werden. Aufgrund der hohen Schweizerischen Standards bei der Lebensmittelqualität und der absoluten Abwesenheit menschlicher Fäkalien in diesen Materialien, ist diese Belastung von Grüngut mit human- und tierpathogenen Keimen bis auf Ausnahmen nicht dem Rohmaterial zuzuschreiben sondern der Sekundärkontamination bei Verzehr und Lagerung der Abfälle. Die Vermischung mit Grünabfällen oder mit landwirtschaftlichen Abgängen bringt eine weitere Reduktion der Gehalte potentiell pathogener Keime in den Ausgangsmaterialien mit sich. Aus diesen Gründen wird die Behandlung von Grüngut aus der Separatsammlung mit einem üblichen Anteil an Küchenabfall (<5 vol%) sowohl in mesophilen oder in thermophilen Vergärungsanlagen als auch in gewerblichen Kompostierungsanlagen aus hygienischer Sicht nicht als kritisch betrachtet.

Separat gesammeltes Grüngut mit Küchenabfällen, also aus Sammelgebieten, in welchen die kombinierte Entsorgung inklusive Speisereste klar propagiert wird, enthält 20 – 50 % (20 – 50 kg FS / EW * a) an Speiseabfällen aus Privatküchen. In diesem Material ist das Potential für eine sekundäre Verkeimung und damit für eine stärkere Belastung mit human- und tierpathogenen Keimen erhöht. Aus Sicht der Seuchenprävention sind für die (Mit-) Behandlung dieser Abfälle ausschliesslich Abfallbehandlungsanlagen geeignet, welche über eine Hygienisierungsstufe mit hohem Reduktionspotential verfügen. Dies ist in thermophilen Prozessschritten (Vergärung, Kompostierung) der Fall.

Speisereste in ihrer reinen und konzentrierten Form, wie sie aus Grossküchen und Gastronomiebetrieben anfallen, können stärker mit human- und tierpathogenen Keimen belastet sein. Für diese Abfallfraktion drängt sich entsprechend zwingend eine Hygienisierung auf, wie sie in der VTNP geregelt ist.

5.3 Prozessführung

Temperatur: Der massgebliche Parameter zur Inaktivierung oder zur Reduktion potentiell pathogener Keime und von Pflanzenteilen in Vergärungs- und Kompostierungsanlagen ist die Temperatur. Aufgrund der grundsätzlich unterschiedlichen Prozessführung verschiedener Anlagentypen und des unterschiedlichen chemischen Milieus aerober und anaerober Verfahren müssen jedoch zur Beurteilung der Hygienisierungswirkung weitere Faktoren berücksichtigt werden.

Reduzierendes Milieu: In Vergärungsanlagen herrscht ein sauerstoffreiches, anaerobes, reduzierendes Milieu. Viele pflanzliche Samen und die meisten vegetativen Pflanzenteile sind in diesem Milieu unabhängig von der Temperatur nicht überlebensfähig. Die stark hydrolysierende Wirkung der vorhandenen anaeroben Flora unterstützt die Reduktion von Pflanzensamen zusätzlich.

Aufenthaltszeit: Bei Vergärungsanlagen mit voll durchmischten Rührkesselreaktoren ist der Faktor der minimalen Aufenthaltszeit im Fermenter die für die Hygienisierungsleitung kritische technische Grösse. Im Gegensatz zur Kompostierung ist dieser Wert sehr anlagenspezifisch, oft kürzer als die durchschnittliche Aufenthaltsdauer und nur durch Tests eindeutig zu überprüfen.

Die Co-Vergärung in kontinuierlich betriebenen, voll durchmischten Fermentern ist heute in der Landwirtschaft üblich. Dieser Fermentertyp wird aber auch in gewerblichen Anlagen eingesetzt. Er zeigt bei kontinuierlicher Beschickung und im Überlaufbetrieb zwangsläufig einen (geringen) Anteil an Kurzschlüssen zwischen Beschickung und Austrag. Um hygienisch kritische Substrate in voll durchmischten Fermentern mit zu behandeln, ist es empfehlenswert, unabhängig von der Fermentertemperatur die Beschickung und den Austrag zeitlich zu staffeln. Durch eine chargenweise Beschickung bei vorherigem Gärgutaustrag (mit Niveauabsenkung) wird eine Mindestaufenthaltsdauer von z.B. 4 bis 12 Stunden garantiert.

In Vergärungsanlagen mit liegenden, längs durchströmten Fermentern (horizontale Feststoffreaktoren) ist aufgrund der üblicherweise hohen Feststoffgehalte von $> 150 \text{ kg/m}^3$ und der langsamen, axialen Durchmischung die Möglichkeit von Kurzschlussströmungen äusserst gering. Dies gilt auch, wenn im Reaktor eine leichte Entmischung mit schwacher Schwimmschicht oder Dünnpfahse an der Gärgutoberfläche entsteht. Die weit verbreitete Rückimpfung von vergorenem Material in den Zuströmbereich erhöht das Kurzschlussrisiko kaum. Es ist aufgrund der etwas dünnen Datenlage angezeigt, von typischen liegenden Feststoffreaktoren einige gesicherte Verweilzeitverteilungen zu bestimmen.

Inhomogene Bereiche: In Kompostierungsanlagen treten die wesentlichen Hygienekurzschlüsse aufgrund unzureichend erhitzter Randbereiche an den Grenzflächen Kompost – Luft resp. Kompost - Untergrund auf. Die bestehenden Handlungsempfehlungen und Betriebskontrollen (Belüftungs- resp. Wenderhythmus, Temperaturkontrolle) erlauben, wenn sie konse-

quent angewandt werden, eine hinreichende Minimierung dieser Kurzschlüsse in Platz- und Boxenkompostierungen. Bei der Feldrandkompostierung kann systembedingt das Auftreten von Kurzschlüssen und unzureichend erhitzten Substratanteilen nicht ausgeschlossen werden. Dieser Tatsache ist durch entsprechende Klassierung hygienekritischer Ausgangsmaterialien in der Positivliste Rechnung zu tragen.

Verschleppungen: Sowohl in Kompostierungsanlagen als auch in Vergärungsanlagen jeder genannten Konfiguration ist ein Verschleppen von Keimen aus nicht hygienisiertem Material in Endprodukte möglich, sei es über den Luftpfad (tendenziell bei der Kompostierung und in Hallen) oder durch den Sickerwasser- (tendenziell bei nicht witterungsgeschützten offenen Lagern) oder Restmaterialpfad (tendenziell bei Bewirtschaftung durch Radlader und Traktoren). Der Umfang dieser Rekontaminationen ist schwer quantifizierbar. Bei der ausschliesslichen Verarbeitung von Material der Hygieneklassen a) und b) gemäss (Schleiss and Baier 2003) kann eine saubere Platzbewirtschaftung die Hygienierisiken wirkungsvoll minimieren, es sind keine weiteren Massnahmen notwendig. Bei Verarbeitung von Material der Klasse c) ist eine räumlich getrennte und geschlossene Lagerung der entsprechenden Ausgangsmaterialien und eine möglichst geschlossene Förderung bis zum massgeblichen Hygienisierungsschritt sinnvoll.

5.4 Anwendung der Produkte

Es wird empfohlen, analog zum Vorgehen in Deutschland (Bundesministerium_für_Umwelt 2007), Anwendungsempfehlungen resp. -Einschränkungen für Endprodukte wie Gärgut und Kompost zu formulieren, wenn die Hygienisierungsleitung einer Verfahrenskette resp. die hygienische Unbedenklichkeit der Produkte mangels Prozessprüfung nicht nachgewiesen werden kann. So ist z.B. die Anwendung von mesophil behandeltem Gärgut auf Tabakanbauflächen wegen der Gefahr von TMV nicht sinnvoll. Auch für Gärgut und Kompost, welche nachweislich oder potentiell mit Rohmaterial beschickt wurden, welches mit Mehltau / Fusarien / *Chalara* oder Kohlhernie – infiziert war, sind Anwendungsbeschränkungen auf die entsprechenden Kulturflächen zu formulieren.

6 Ausblick / Handlungsbedarf

Vollkommene Hygiene im Sinne einer Abwesenheit potentieller Krankheitskeime in den Produkten Gärgut oder Kompost existiert bei der Verwertung und Behandlung von Grünabfällen nicht. Die entstehenden Produkte von Vergärungs- und Kompostierungsanlagen können auch bei Hygienisierungsschritten nach Stand der Technik noch Keime enthalten, welche für Pflanzen, Tiere oder für den Mensch pathogen sind. Es ist Aufgabe der Verwertungstechnologien und der mit ihnen betriebenen Abfallbehandlungsanlagen, diese Restkonzentrationen gesichert und zuverlässig so gering zu halten, dass die Anwendung der Produkte Gärgut und Kompost nicht zu einer Verbreitung und zu einer Vermehrung der Keime führen kann. Dies entspricht dem generellen Anliegen der Abfallwirtschaft, durch die Verwendung behandelte biogener Abfälle in der Landwirtschaft keine negativen Effekte entstehen zu lassen.

Aus Sicht der vorliegenden Studie bestehen in folgenden Bereichen Handlungsansätze:

- ✦ **Positivliste:** Eine Positivliste soll nach Verfahrenstauglichkeit und nicht nur ausschliesslich nach Hygieneklassierungen aufgegliedert werden. Ziel muss sein, eine Liste für die gesamte Branche anzuwenden. Die durch BLW und BAFU bearbeitete branchenübergreifende Positivliste für Vergär- und Kompostieranlagen wird diesem Aspekt ansatzweise gerecht. Die vorliegende Studie kann als Grundlage einer Überarbeitung dienen.

							Anforderungen, Einschränkungen, Bemerkungen, Empfehlungen
Positivliste für Vergär- und Kompostieranlagen							
Wwa-Code		Hygieneklasse	geeignet für thermophile Vergärung	geeignet für mesophile Vergärung	geeignet für Platzkompostierung	geeignet für Feldrandkompostierung	VTNP-Bewilligung durch Kantonstarzt VeVA-Bew. druch zuständige kant. Behörd.
Befindet sich ein Substrat nicht auf der Positivliste, so es für die Vergärung/Kompostierung nicht geeignet. Zur Prüfung der Verwendung muss beim Bund (BLW oder BAFU) oder bei der zuständigen kant. Behörden nachgefragt werden, ob das Substrat für die Kompostierung/ Vergärung geeignet ist. Trifft dies zu, kann das Material freigegeben und in die Positivliste aufgenommen werden.							
1 Ausgangsmaterial aus kommunalem Sammeldienst							
200201	Grüngut mit Rüstabfällen und Speiseresten ("ländlich")	a	X	X	X	X	Gemeinde resp. Sammeldienst verbietet in Weisung die Zugabe von Speiseresten zum Grüngut, verholztes Material wenn möglich für Heizzwecke aussortieren. Holzanteil ist vom Analgetyp und Endproduktqualität abhängig. Geruchsproblematik bei Kompostierung und Zwischenlagerung beachten
00201							Gemeinde resp. Sammeldienst bewirbt in Weisung die Zugabe von Speiseresten zum Grüngut, gilt nur für Speisereste (Küchen- und Speiseabfälle) aus privaten

Abbildung 12: Ausschnitt Positivliste mit Berücksichtigung des Hygieneaspektes

- ⊕ Wo sind weitere Datenerhebungen und Messungen notwendig? Um die Akzeptanz der neuen Positivliste mit den entsprechenden Regeln zu steigern, ist es hilfreich, wenn den theoretischen Ansätzen fundierte praktische Messungen und Analysen folgen. Es wird an dieser Stelle vorgeschlagen, einige Ansätze gemäss der Baumusterprüfung zu testen und damit die theoretischen Aussagen praktisch zu beweisen.
- ⊕ Ebenso ist es aus Sicht der ausgewerteten Literaturdaten empfehlenswert, die nicht-thermischen Inaktivierungseffekte durch Laborstudien zu quantifizieren.
- ⊕ Eignungsempfehlung für Produkte. Für die Branche der Grüngutverarbeitung ist es aus Wettbewerbssicht von grosser Bedeutung, dass die entstehenden Produkte Gärgut und Kompost in ihrer Anwendung aus Hygienegründen möglichst wenig eingeschränkt werden. Bei den häufigen Transporten und Verschiebungen ist eine solche Einschränkung problematisch. Basierend auf unterschiedlichen Kategorien von Ausgangsprodukten und deren potentielltem Befall mit Pathogenen sind Anwendungsempfehlungen für Gärgut und Kompost in Abhängigkeit der durchlaufenen Hygienisierungsstufen auszuarbeiten. Für Produkte, welche ausgehend von hygienisch kritischen Abfällen in Umlauf geraten, wird vorgeschlagen, ein Vorgehen analog zur Hygienebaumusterprüfung anzuwenden.
- ⊕ Die in der Deutschen Baumusterprüfung eingesetzten Hygieneleitorganismen bilden die hier verwendeten Tenazitätsklassen I-IV nur ungenügend ab. Es wird vorgeschlagen, diese Organismen einer kritischen Betrachtung sowohl im Hinblick auf die realistische Hygienerelevanz als auch auf die praktische Durchführbarkeit der Analysen zu unterziehen.
- ⊕ In Bezug auf invasive Neophyten herrscht keine kohärente Haltung und kein einheitliches Vorgehen zur Behandlung. Die Datenlage zur Inaktivierung in realen Abfallbehandlungsanlagen ist dürftig, schliesst aber eine Eignung dieser Anlagen zur Risikominimierung nicht aus. Die Positivliste der Ausgangsmaterialien und Zuschlagstoffe zur Herstellung von Komposten und Gärgut (Inspektoratskommission 2005, revidiert 2006) hat die Hygieneklassierung von (Schleiss, Baier, 2003) weitgehend übernommen. Ein Aspekt, der damals nicht akut war, ist die Verbreitung invasiver Neophyten. Im Vollzug dazu wird von einigen Fachstellen die Verbrennung der Neophyten in KVA gefordert, weil keine genügenden Garantien von Kompostierung und Vergärung zur gesicherten Hygienisierung geleistet werden. Dies ist unter realen Bedingungen nicht oder nur mit unverhältnismässig hohem Aufwand umsetzbar. Weitere Untersuchungen zur Inaktivierung invasiver Neophyten in Vergärungs- und Kompostierungsanlagen sind notwendig.
- ⊕ Die praktische Handhabung von separat gesammeltem Grüngut, für welches ein geringer Anteil von Küchenabfällen und Speiseresten (<5%) nicht auszuschliessen ist, ist uneinheitlich. Es ist eine verbindliche Regelung auf Stufe Verordnung (Totalrevision TVA) dieses Themenbereichs angezeigt.

7 Literatur

- Ade-Kappelmann K (2008) Untersuchungen zur seuchenhygienischen Unbedenklichkeit von Gärresten aus Bioabfällen nach der Behandlung in Anaerobanlagen. Dissertation der Veterinärmedizin an der Freien Universität Berlin, Journal-Nr. 3255
- Baier U, Warthmann R, Ott L, Schleiss K (2009) Bioabfallbehandlungsanlagen als Hygienebarrieren. Übersicht & Darstellung der Elimination potentiell pathogener Organismen für Grüngutbehandlungsanlagen nach dem Stand der Technik. In: ARGE Kantonstagung, Baar 5. Nov. 2009
- BioAbfV (1998) Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung - BioAbfV), Fassung Okt. 2006, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).
- Böhm R (1998) Disinfection and hygiene in the veterinary field and disinfection of animal houses and transport vehicles. *International Biodeterioration & Biodegradation* 41:217-224
- Bundesgütegemeinschaft_Kompost_e.V. (2003) Hygiene Baumusterprüfsystem Kompostierungsanlagen Vergärungsanlagen, 3. ergänzte und überarbeitete Auflage. Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V, Köln
- Bundesgütegemeinschaft_Kompost_e.V. (2009) Erläuterung der RAL-Prüfzeugnisse und hinterlegter Qualitäts-/Prüfkriterien. Bundesgütegemeinschaft, Kompost e.V., D-51149 Köln
- Bundesministerium_für_Umwelt (2007) Begründung zur Verordnung zur Änderung der Bioabfallverordnung und der Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung, Version 19.11.2007. In: Bundesministerium für Umwelt NuR (ed)
- DüBV (2007) Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngern (DüBV) vom 16. November 2007 (Stand am 1. Januar 2009) Der Schweizerische Bundesrat.
- DBU (2008) Optimierung der Anaerob-Technik zur Behandlung von Bioabfällen aus Sicht der Hygiene sowie Erarbeitung eines Hygiene-Prüfsystems für Anaerob-Anlagen. In: Deutsche Bundesstiftung Umwelt
- EU (2002) Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 3. Oktober 2002 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte.

- EU_Kommission (2006) Entscheidung der Kommission vom 3. November 2006 zur Festlegung überarbeiteter Umweltkriterien und der damit verbundenen Beurteilungs- und Prüfanforderungen für die Vergabe des EG-Umweltzeichens für Bodenverbesserer. Amtsblatt der Europäischen Union, Aktenzeichen K(2006) 5369
- FAC (1995) Weisungen und Empfehlungen der FAC im Bereich Kompost, Mindestqualität von Kompost, Stand 01.06.1995.
- FAL (1999) Wegleitung zur Bewertung und Zulassung von Düngern und diesen gleichgestellten Erzeugnissen. EDMZ Art.-Nr: 730.960.d.
- IWB (2005) Aus Abfall wird Energie: KVA Basel. Imagebroschüre IWB Margarethenstrasse 40, 4002 Basel, www.iwb.ch
- Kettler R (2000) Eine kurze Geschichte des Abfalls. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Abteilung Abfall, Bern
- Kirchmayr R et al. (2007) Anaerobic Degradation of Animal By-Products, in: Utilization of By-Products and Treatment of Waste in the Food Industry. Springer USA
- Knie A, Haumacher R, Philipp W, Martens W, Böhm R (2001) Untersuchungen zur Seuchen- und Phytohygiene in Anaerobanlagen (Halb- bzw. großtechnische Anlagen). Forschungsbericht FZKA-BWPLUS, Universität Hohenheim, Institut für Tierhygiene
- Knoll K.H, Strauch D, (1981) Methodensammlung für hygienisch-mikrobiologische Untersuchungen von Kompostierungsverfahren, Umweltbundesamt Berlin
- Lebuhn M, Effenberger M, Garces G, Gronauer A, Wilderer PA (2004) Hygienization by anaerobic digestion: comparison between evaluation by cultivation and quantitative real-time PCR. In: 10th IWA International Congress on Anaerobic Digestion, Montreal, Canada, pp 93-99
- Lebuhn M, Effenberger, M., Gronauer A. (2006) Gewässerschutz durch Biogastechnologie. In: Kongressband der 15. Jahrestagung des Fachverbands Biogas e.V.: Wirtschaftsmotor Biogas, 25. - 27. Jan. 2006, Hannover, S. 201-207.
- Martens W, Böhm R (2009) Overview of the ability of different treatment methods for liquid and solid manure to inactivate pathogens. *Bioresource Technology* 100:5374-5378
- Philipp W, Ade-Kappelmann K, Drca M, Lorenz H, Böhm R (2005) New hygiene rules for biogas plants. Revision of the German Biowaste Ordinance. In: ISAH 2005 - Warsaw, Poland
- RAL Qualitätskriterien und Güterrichtlinien (RAL-GZ 245) - Gärprodukt flüssig -. Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.

Schleiss K, Baier U (2003) Entwicklung eines Systems für die Sicherung der Qualität von Kompost und Gärgut - unter Berücksichtigung der Lebensmittelsicherheit und des Umweltschutzes. Projekt im Auftrag der Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW)

TSV (1995) Tierseuchenverordnung (TSV) vom 27. Juni 1995 (Stand am 1. März 2009) Der Schweizerische Bundesrat.

VKS (2001) VKS-Richtlinie 2001: Qualitätseigenschaften von Komposten und Gärgut aus der Grüngutbewirtschaftung. Herausgegeben vom Verband Kompostwerke Schweiz (VKS) in Zusammenarbeit mit dem Biogas Forum Schweiz

VKS (2009) Inspektoratskommission der Kompostier- und Vergärbranche der Schweiz, Schweizerische Qualitätsrichtlinie 2009 der Branche für Kompost und Gärgut - mit Anwendungsempfehlungen.

VTNP (2004) Verordnung über die Entsorgung von tierischen Nebenprodukten (VTNP) vom 23. Juni 2004 (Stand am 1. Juli 2008) Der Schweizerische Bundesrat.