

Vergärung organischer Reststoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen

Stoffdaten, Gärtechnik und gesetzliche Grundlagen

Urs Baserga, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon

Die Co-Vergärung von organischen Reststoffen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen gewinnt auch in der Schweiz vermehrt an Bedeutung. Die gemeinsame Vergärung von Hofdüngern mit organischen Reststoffen aus Landwirtschaft, Industrie, Gewerbe und Haushalten verbessert die Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Biogasanlagen. Die Technologie ist ökologisch sinnvoll, weil fossile Brennstoffe eingespart werden und eine kontrollierte, überschaubare Kreislaufwirtschaft betrieben wird. In der Schweiz sind zurzeit rund zehn Anlagen in Betrieb, in denen die Co-Vergärung in grösserem Massstab durchgeführt wird.

Dieser FAT-Bericht fasst den heutigen Stand des Wissens zusammen und richtet sich an Planer, Anlagenbetreiber und Bewilligungsbehörden. Neben der Charakterisierung der wichtigsten Prozessgrössen der Co-Vergärung sind die wichtigsten Grundlagendaten für die Planung (Biogasausbeuten, Stoffdaten, hygienische Aspekte, gesetzliche Bestimmungen) in tabellarischer Form zusammengefasst. Er ergänzt die FAT-Berichte Nr. 512: «Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen» und Nr. 530: «Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen».

Die Co-Vergärung als interessanter Betriebszweig

Im Rahmen der Kreislaufwirtschaft können organische Reststoffe im Wesentlichen auf vier Arten verwertet werden. Neben der Kompostierung, der Verbrennung und der Verfütterung an Nutztiere bietet sich die Vergärung in einer Biogasanlage an. Die Wahl des Verfahrens hängt dabei von der physikalischen und chemischen Beschaffenheit (organische Inhaltsstoffe, Vergärbarkeit, Schadstoff-

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Die Co-Vergärung als interessanter Betriebszweig	1
Hofdünger und Abfallarten	3
Stoffdaten und Biogasausbeuten	3
Verfahrenstechnik	4
– Vor- und Nachbehandlung	
– Vergärung	
– Daten von Praxisanlagen	
– Betriebserfahrungen und Störungen	
Seuchenhygienische Aspekte	7
– Hygienisierung des Co-Substrates	
Gesetzliche Bestimmungen	9
Literatur	10



Abb. 1: Co-Vergärungs-Biogasanlage mit integriertem Gasspeicher und Rottetrommel (Grüngutvergärung mit anschliessender Kompostierung).

Problemstellung

Durch die Co-Vergärung von biogenen Roh- und Reststoffen wird das Kosten/Nutzen-Verhältnis landwirtschaftlicher Biogasanlagen verbessert. Die Zugabe von Co-Substraten zur hofeigenen Gülle erhöht den Gasertrag und damit die Stromproduktion der Wärmekraft-Kopplungsanlage. Eine weitere Einnahmequelle ist der zusätzliche Erlös, der sich aus der Co-Vergärung gebührenpflichtiger Reststoffe ergibt. Besonders geeignet sind Co-Substrate, die hohe Gaserträge erbringen und die ohne erheblichen technischen Mehraufwand mitvergoren werden können. Wichtige Voraussetzungen für den Betrieb einer Co-Vergärungsanlage sind zudem, dass die gesetzlichen Anforderungen der landwirtschaftlichen Verwertung in Bezug auf die Schad- und Nährstoffbelastung erfüllt sind und dass die seuchenhygienischen Aspekte der Co-Vergärungstechnologie beachtet werden.

Unterschiedliche Co-Substrate erfordern unterschiedliche verfahrenstechnische Lösungen für die Vergärung (Vorbehandlung und Beschickung, Durchmischung, Nachbehandlung und Lagerung) und die Verwertung des vergorenen Substrates. Ebenso wird die Prozessbiologie von der Art und Menge der eingesetzten Co-Substrate beeinflusst. Konkret verlangen Anlagenbetreiber und Planer Angaben zu den Belastungsgrenzen (Mischverhältnis Gülle/Co-Substrat, optimale Verweilzeit und Gärtemperatur). Da die Co-Vergärung eine noch junge Technologie ist, fehlen entsprechende Unterlagen für den Praktiker. Dieser FAT-Bericht fasst den heutigen Stand des Wissens in praxisnaher Form zusammen und dient als Planungs- und Entscheidungsgrundlage für Anlagenplaner, Betreiber und Bewilligungsbehörden.

gehalt, Struktur) sowie vom zu erwartenden Energieertrag des Reststoffes ab. Als Co-Vergärung oder Co-Fermentation bezeichnet man die gemeinsame Vergärung von Klärschlamm (ARA) oder Wirtschaftsdüngern (landwirtschaftliche Biogasanlage) mit organischen Reststoffen aus Gewerbe, Landwirtschaft, Indu-

Tab. 1: Stoffdaten und Biogausbeuten von Hofdüngern und Co-Substraten [nach 4,9,10,11]

	TS (%)	OS (%TS)	Nges (% TS)	NH ₄ -N (%Nges)	P ₂ O ₅ (%TS)	K ₂ O (% TS)	Mg (% TS)	C/N	Biogausbeute (l/kg OS)
Hofdünger									
Rindergülle	6-11	68-85	2,6-6,7	39-60	0,5-3,3	5,5-10	0,3-0,7	10-17	400
Rindermist (frisch)	12-25	65-85	1,1 -3,4	20-58	1,0-1,5	2-5	1,3	14-25	400
Schweinegülle	2,5-9,7	60-85	6-18	50-92	2-10	3,0-7,5	0,6-1,5	5-10	450
Schweinemist (frisch)	20-25	75-90	2,6-5,2	35	2,3-2,8	2,5-3		9-16	450
Hühnergülle	10-29	75-77	2,3-6,0	69-70	2,3-6,2	1,2-3,5	0,4	7	470
Hühnerkot (fest)	32,0-32,5	70-80	5,4	7,2					470
Schafmist (frisch)	25-30	80	3	35	1,2-1,7	2,7-4,8		14	400-500
Pferdemist (frisch)	28	75	2,1		1	1,8		18	300-400
Landwirtschaftliche Abfälle									
Silage (Gras)	26-82	67-98	3,5-6,9	6,9-19,8	0,4-0,8				500-600
Heu	86-93	83-93	2,0-2,1	5,7-12,4	0,2-0,3				500
Klee	20	80	2,8		0,7	3		12	500-650
Getreidestroh	85-90	85-89	0,5		0,2-0,4	1-2,3		71-165	250-350
Maistroh	86	72	1,2		0,5	1,7		30	500
Rübenblatt	15-18	78-80	2,0-2,5		0,5-1,1	4,0-4,7	0,72	15-16	400-500
Kartoffelkraut	25	79	1,5		0,5	2,9		16-25	500-600
Laub	85	82	1		0,1	0,2		50	400
Agroindustrielle Abfälle									
Apfelschlempe	2-3,7	94-95			0,73			6	450-500
Kartoffelschlempe	12-15	90	5-13		0,9	6,4		3-9	430-500
Weizenschlempe	3-5	96-98	6,0-9,9		3,6-6,0		0,4-0,7		400-500
Melasseschlempe	10,5	71,2							400-550
Apfeltrester	25	86	1,1		0,3	0,9		30	350-550
Obsttrester	40-50	30-93	1,0-1,2		0,5-0,6	1,2-1,6	0,1	30-50	450-500
Rebentrester	40-50	80-95	1,5-3,0		0,8-1,7	3,4-5,4	0,15	20-30	
Biertreber	21-15	66-95	4,0-5,0		1,5	1,2		9-10	500
Melasse	80	95	1,5		0,3			14-27	450
Molke	4,3-6,5	80-92	0,7-1,5	20,3	0,8-1,8			27	800-900
Gemüseabfälle	5-20	76-90	3-5		0,8	1,1		15	400-600
Heilkräuter	53	55	2,3		1,2	1,1		14	400
Ölsaatenrückstand	92	97	1,4		0,3	1,2		41	600
Raps-Extraktionsschrot	88	93	5,6		2,5	1,6		8	500-600
Rizinusschrot	90	81	5,6		2,3	1,4		8	
Vinasse	63	53	3,8		0,3	8,8		5	
Kommunale Abfälle und Schlachthofabfälle									
Grünschnitt	11,7	90	3,3-4,3		0,3-2	2-9	0,2	12-27	600
Mähgut (Segge)	22-37	93-96	2-3		1,5-2	1		23	500
Tierkörpermehl			8-12		2-5	0,3-0,5		2,5-5	
Blutmehl	90	80	12	0,6	1	0,6		4	600
Magen/Darminhalt	14	82	2,6		1	0,7		19	450-550
Panseninhalt	11-19	80-90	1,3-2,2	30	1,3	0,5	0,1	19	300-400
Speiseabfälle	9-37	75-98	0,6-5	2-22	0,3-1,5	0,3-1,2	0,1-0,2	18	600
Flotatschlamm	5-24	85-98	3-9	0,2-0,6	1-3	0,06-0,2	0,6		1200
Fettabscheidermaterial	2-70	70-99	0,1-3,6	15-43	0,1-0,6	0,1-0,5	0,1-0,5		1300

OS: Organische Substanz Nges: Gesamtstickstoff NH₄-N: Ammoniumstickstoff
 C/N: Verhältnis Kohlenstoff/Stickstoff Biogausbeute: Liter Biogas pro zugeführte organische Substanz

strie und Haushalten. Die **landwirtschaftliche Co-Vergärung** ist ökonomisch und ökologisch sinnvoll, weil

- der Energieertrag einer Biogasanlage erhöht wird;
- zusätzliches bäuerliches Einkommen durch den Erlös von Entsorgungsgeldern erwirtschaftet werden kann;
- fossile Brennstoffe eingespart und klimarelevante Emissionen vermindert werden;
- Geruchsemissionen verhindert werden;
- Nährstoffe pflanzenbaulich genutzt werden;

- eine überschaubare und kontrollierbare Kreislaufwirtschaft betrieben wird.

Zur Zeit beträgt der Anteil der Co-Vergärungsanlagen rund 15-20%. Dieser Prozentsatz wird stetig anwachsen, da alle neuen Anlagen als Co-Vergärungsbiogasanlagen ausgelegt werden. Ideal für die landwirtschaftliche Co-Vergärung ist flüssiges bzw. pumpfähiges nasses Material, das ohne zusätzliche Vorbehandlung der Vorgrube beigemischt und in den Fermenter gepumpt werden kann. Durch eine vorgängige Zerkleinerung von festem Material besteht aber auch die Möglich-

Tab. 2: Schwermetallgehalte in Hofdüngern und Co-Substraten [nach 4]

	Cd	Cr	Cu	Hg (mg/kg TS)	Ni	Pb	Zn
Hofdünger							
Rindergülle	0,3-0,5	8	38	0,05	6	7	170-230
Rindermist	0,4	20	39	0,04	10	7	213
Schweinegülle	0,5-1,8	2-14	250-760	0,04	11-32,5	7-18	700-1200
Schweinemist	0,4	11	395-740	0,02	13	6	570-1220
Hühnergülle	0,2-0,3	<1-7,7	48-78	0,02	7-9	6-8,4	330-450
Landwirtschaftliche Abfälle							
Rübenblatt	0,2	<1	8-10		5	0,5	17-28
Kartoffelkraut			2,5-11,5	0,4			23-78
Agroindustrielle Abfälle							
Apfeltrester	0,3	1,6	7,8			3,4	6,7
Obsttrester	0,11	0,06-12	7,8-30	0,06	3-21	0,7-3	25-30
Rebentrester	0,03-0,05	5	150	0,01	2,5		58-75
Biertreber	0,25	16-18	5,5-6	0,03-0,04	16-20	1-1,5	138-140
Filtrationskieselgur	0,3-0,5	7,4-15,9	2,8-4,9	<0,01-0,02	5,2-16,4	0,05-3,4	27-28
Gemüseabfälle	0,35-0,8	2,25-8,5	5,2-12,2	0,01-0,03	3,2-8,5	1,8-4,6	85-94
Heilkräutereextrakt	0,7	25	50	0,5	18	21	240
Ölsaatenrückstand	0,04		1	0,01	2	0,3	3,8
Rapsschrot	0,1	5,3	5,8		5,1	1,2	73
Rizinus-Extraktionsschrot	0,1	113,3	21,1	0,02	9,9	5,3	93,8
Vinasse	0,3	18	603	0,02	18	2,9	
Kommunale Abfälle und Schlachtabfälle							
Bioabfall	0,3-0,6	7-25	14-21	0,1-0,83	5,5-10		88-105
Grasschnitt	0,7-2,1	4-9	10-20		1-9	6-80	83-388
Flotatschlamm			39-80				281-380
Fettabscheiderrückstand			44				290
Mageninhalt Schwein			49-53				163-190
Panseninhalt	2	33	5-99		20	20	71-321
Blutmehl	0,1	4	28,3		0,2	2,5	36,3
Grossküchenspeisereste			7				67

keit, «trockene» Reststoffe wie zum Beispiel Getreideabgänge oder Grünabfälle in einer landwirtschaftlichen Anlage zu vergären. Für die Beurteilung eines Co-Substrates hinsichtlich Gärtechnik und landbaulicher Verwertung sind im Wesentlichen folgende **Anforderungen** massgebend:

- der störungsfreie Betrieb der Biogasanlage muss gewährleistet sein;
- das Co-Substrat soll einen hohen Gasertrag aufweisen;
- das Co-Substrat sollte Erlöse durch die Einnahme von Entsorgungsgebühren einbringen;
- die landwirtschaftliche Verwertung des vergorenen Materials muss hinsichtlich Nährstoffbilanz, Schadstoffe und Hygiene gewährleistet sein.

Hofdünger und Abfallarten

Hofdünger

Die Hofdünger bilden das Grundsubstrat der landwirtschaftlichen Co-Vergärung.

Für die Co-Vergärung eignen sich sämtliche anfallenden Gülle- und Festmistarten. Das beachtliche Puffervermögen der Wirtschaftsdünger gewährleistet für die Co-Vergärung – insbesondere für schnell abbaubare Abfallstoffe (Säurebildung) – eine hohe Stabilität des Faulprozesses.

Landwirtschaftliche Abfälle

Als landwirtschaftliche Abfälle eignen sich Stoffe, die eigens für die Biogasproduktion produziert werden (Energiegras, Energiepflanzen) sowie «Abfallstoffe» aus der landwirtschaftlichen Produktion wie Ernterückstände oder Getreideabgänge. Für einen Teil dieser Abfälle ist für die problemlose Vergärung eine vorgängige Zerkleinerung notwendig. Je nach Substrat sind auch Anpassungen im Bereich der Beschickung (Pumpenauswahl) und der Durchmischung des Fermenterinhalt (Schwimmdeckenbildung, Sedimentbildung) erforderlich.

Agroindustrielle Abfälle

Abfälle aus der Lebensmittelverarbeitung

eignen sich besonders gut für die Co-Vergärung. Die Abfallprodukte der Nahrungsmittelherstellung sind wenig belastet mit Schadstoffen; sie haben in der Regel eine homogene Struktur und Zusammensetzung und liefern hohe Gaserträge.

Kommunale Abfälle

Kommunale Abfälle wie Grünabfall, Renschnitt, Laub etc. können ebenfalls in landwirtschaftlichen Biogasanlagen mitvergärt werden. Aufgrund der heterogenen Zusammensetzung und des teilweise hohen Anteiles an Störstoffen (Metalle, Plastik) erfordern diese Stoffe oft eine aufwendigere Vorbehandlung (Sortierung, Zerkleinerung). Zudem sind wie bei den landwirtschaftlichen Abfällen Modifikationen im Bereich «Pumpen und Rühren» notwendig. Dasselbe gilt üblicherweise auch für feste Bioabfälle von Grossverteilern (Gemüse, Früchteabfälle).

Abfälle aus Gastronomie, Schlachthofabfälle

Grossküchenabfälle (Speiseabfälle, Fritierfette) und Schlachthofabfälle (Flotatfette, Pansen, Darminhalte) liefern hohe Gasausbeuten und werden relativ häufig in landwirtschaftlichen Anlagen eingesetzt. Problematisch können diese Abfallstoffe hinsichtlich der seuchenhygienischen Auswirkungen sein.

Die Co-Vergärung von seuchenhygienisch bedenklichen Abfällen erfordert zum Teil weitergehende technische Massnahmen, um eine Verschleppung von pathogenen Keimen zu verhindern (thermophile Gärtemperaturen, Vorerhitzung des Co-Substrates).

Stoffdaten und Biogasausbeuten

In Tabelle 1 und 2 sind die für die Vergärung und Verwertung relevanten Stoffdaten, Biogasausbeuten und Schadstoffgehalte (Schwermetalle) von potentiellen Abfallstoffen der landwirtschaftlichen Co-Vergärung zusammengestellt. Die Werte gelten als Anhaltspunkte und können für eine erste Grobabschätzung des

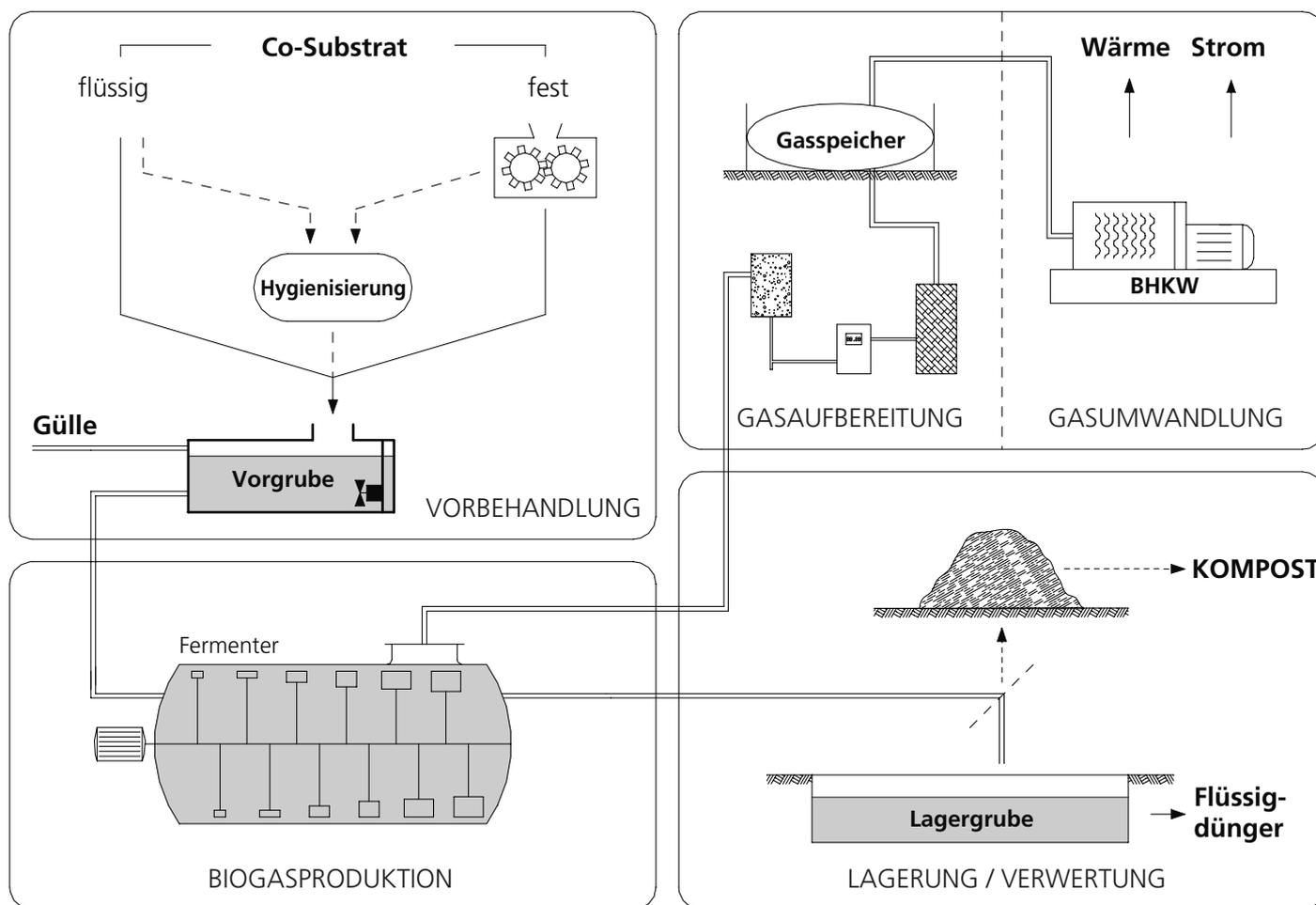


Abb. 2: Komponenten einer Co-Vergärungs-Biogasanlage.

Energieertrags sowie der Nähr- und Schadstoffbelastung dienen. Für die genauere Berechnung ist in der Regel eine Analyse des verwendeten Co-Substrates notwendig. Falls der Abfallproduzent die Stoffdaten nicht liefern kann, müssen entsprechende Laboruntersuchungen für den Qualitätsnachweis in Auftrag gegeben werden.

Materials substratspezifische Anpassungen notwendig. Die Technik der Gasaufbereitung und der Gasumwandlung bleibt dieselbe wie bei der Güllevergärung.

Lagerung

Für **flüssige bzw. pumpfähige Co-Substrate** ist keine zusätzliche verfahrenstechnische Aufbereitungsstufe notwendig. Das fließfähige Material kann direkt in die Vorgabe oder in den Fermenter eingebracht werden. Je nach Substratart und Anlieferbedingungen (Menge, zeitliche Verteilung) ist eine Grube oder ein Vorratsbehälter für die Zwischenlagerung des Co-Substrates auf dem Betrieb erforderlich. **Feste Co-Substrate** werden in der Regel auf einer Mistplatte oder einem offenen Lagerplatz deponiert. Es ist darauf zu achten, dass die Lagerung des Rohmaterials keine Geruchsbelästigungen verursacht.



Abb 3: Grüngut-Co-Vergärung: Beschickung des Fermenters mit einer Balgpumpe (in Kombination mit einer Kreiselpumpe).

Zerkleinerung des Materials

Feststoffe müssen vor der Vergärung soweit zerkleinert werden, dass ein verstopfungsfreier Betrieb (Beschickung, Schwimmdeckenbildung, Überlauf) garantiert werden kann. Für die Zerkleinerung werden, abhängig vom Co-Substrat, unterschiedliche Verfahren ein-

Verfahrenstechnik

Vor- und Nachbehandlung

Abbildung 2 zeigt die wichtigsten Komponenten einer Co-Vergärungs-Biogasanlage. Gegenüber der reinen Güllevergärung sind vor allem bei der Vorbehandlung, bei der Schwimmdecken- und Sedimentbeherrschung (Fermentertyp und Rührsystem) sowie bei der Nachbehandlung des vergorenen

gesetzt. Die Palette reicht vom **Häcksler oder Futtermischwagen** [8] für die Zerkleinerung von trockenem Material (Grünabfälle, Silage) über die **Schneid- und Mixerpumpe** bis hin zum **Mazerator** für die Feinstzerkleinerung des Gülle/Co-Substrat-Gemisches.

Beschickung

Für die Beschickung von Biogasanlagen ist der Einsatz langsam fördernder Pumpen, die auch Faserstoffe und grössere Fremdkörper vertragen, von Vorteil. Wie bei den Zerkleinerungsverfahren sind in der Praxis die unterschiedlichsten Pumpsysteme verbreitet. Für dünnflüssige Mischungen werden **Kreiselpumpen** mit oder ohne Schneidaggregat eingesetzt. Für dickflüssiges oder feststoffreiches Frischmaterial werden auch **Exzenter-schnecken** oder **Drehkolbenpumpen** verwendet. Diese Systeme können auch in Gegenrichtung fördern, was für die Behebung von möglichen Verstopfungen vorteilhaft ist. In neueren Anlagen wird auch vermehrt die **Balgpumpe** (Abb. 3) eingesetzt [8], die sich gemäss Aussagen der Betreiber sehr gut für die Förderung von dicker Gülle mit hohen Fremdkörperanteilen bewährt hat. Die Balgpumpe ist vom Typ her eine Membranpumpe, wobei die Membran durch einen Gabelstaplerpneu ersetzt ist, der durch einen Motor mittels Pleuel und Exzenter ausgedehnt (Saugvorgang) bzw. zusammenge-drückt wird (Druckvorgang).

Grundsätzlich ist eine mehrmalige Beschickung mit kleinen Chargen einer einmaligen täglichen Beschickung vorzuziehen. Insbesondere bei Anlagen mit hoher organischer Raumbelastung können **Belastungsstösse** zu verfahrenstechnischen (Schwimmdeckenbildung) und biologischen Problemen führen (Schaumbildung durch hohe Säurekonzentrationen).

Nachbehandlung des Gärmaterials

Die vergorene Gülle/Co-Substratmischung wird direkt in die Endlagergrube gepumpt und von dort via Gullenfass oder Bodenleitung auf die Felder ausgebracht. Je nach Co-Substrat und weiterem Verwendungszweck des Gärsubstrates kann eine nachträgliche Verfahrensstufe zur **Fest/Flüssigtrennung** zur Anwendung kommen. Hiezu sind einfache Verfahren wie das Entfernen des

Flotates mit einem Greifkran einsetzbar [6]. Es besteht auch die Möglichkeit, die Feststoffabscheidung mittels handelsüblicher Entwässerungsverfahren (Schneckenpressen, Siebbandpressen usw.) durchzuführen. In der Anlage mit Grün-gutvergärung (Tab. 3, Abb. 1) wird das vergorene Feststoffmaterial nach der Abpressung in einer Rottetrommel **nachkompostiert** und abgesackt.

Vergärung

Fermentertypen

Für die landwirtschaftliche Co-Vergärung verwendet man grösstenteils einstufige, volldurchmischte Fermenter mit semi-kontinuierlicher Betriebsweise. Dabei wird dem Gärbehälter intermittierend frisches Substrat zugeführt und eine identische Menge vergorenes Material abgezogen bzw. aus dem Behälter verdrängt. Grundsätzlich sind liegende und stehende Fermenterformen unterscheidbar. Für **liegende Fermenter** dienen in der Praxis meist zylindrische, oberirdisch angeordnete Stahltanks. **Stehende Fermenter** haben aus statischen Gründen meist einen runden Querschnitt und sind – insbesondere bei grösseren Anlagen – aus Beton hergestellt. Ein Fermenter wurde in Holzbauweise ausgeführt und hat sich bisher gut bewährt [7].

Rührwerk

Bei Co-Vergärungsanlagen spielt das Rührwerk eine zentrale Rolle für den störungsfreien Betrieb der Anlage. Viele Co-Substrate bilden Schwimmdecken oder Sedimente, deren Aufbau nur durch ein effizientes Rührwerk verhindert werden kann. In liegenden Behältern werden langsam drehende **Haspelrührwerke** für die Durchmischung des Gärsubstrates

eingesetzt. In stehenden Fermentern werden hauptsächlich vertikale **Paddelrührwerke** und tangential eingebaute **Propellerrührwerke** verwendet. Bei problematischen Substraten kann sich bei einem Rührwerksausfall binnen weniger Stunden eine kompakte Schwimmdecke ausbilden, die zu einer Blockierung des Rührwerkes führen kann [1, 5]. Es ist deshalb sehr wichtig, dass das Rührwerk regelmässig kontrolliert wird.

Prozessgrössen der Co-Vergärung

Die wichtigsten Prozessgrössen, welche die Prozessstabilität und die Biogasproduktion beeinflussen, sind die hydraulische Verweilzeit (tR), die Raumbelastung (RB) und die Gärtemperatur (T).

Die **hydraulische Verweilzeit** ist definiert als die mittlere Aufenthaltszeit des Gärsubstrates im Fermenter. Sie berechnet sich aus dem Fermenternutzvolumen V (m³) und der täglichen Beschickungsmenge Q (m³/Tag):

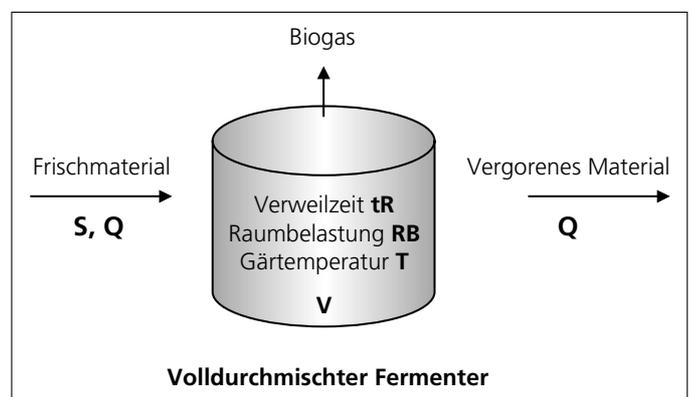
$$tR = V/Q \text{ (Tage)}$$

Die **Raumbelastung** ist eine wichtige Grösse für die Beurteilung der biologischen Belastung des Prozesses. Sie gibt an, wie stark der Fermenter bzw. die am Abbau beteiligten Bakterien mit organischem Material belastet sind. Sie berechnet sich aus der Substratkonzentration S (kg org. Substanz/m³), der täglichen Beschickungsmenge Q (m³) und dem Fermenternutzvolumen V (m³):

$$RB = Q \times S / V \text{ bzw. } S / tR \text{ (kgOS/m}^3 \text{ und Tag)}$$

Bei der Zugabe von Co-Substraten findet eine **Belastungserhöhung** statt. Damit der Gärprozess stabil bleibt, muss ge-

Abb. 4: Prozessgrössen eines semi-kontinuierlich betriebenen Biogasfermenters. V = Fermenternutzvolumen (m³), Q = Beschickungsmenge (m³/Tag), S = Substratkonzentration (kg organische Substanz/m³).



währleistet werden, dass die Verweilzeit eine kritische Grenze nicht unterschreitet (Auswaschung der Methanbakterien bei massiver **Erhöhung der Beschickungsmenge**) und die Bakterien nicht mit zuviel organischem Material belastet werden (Versauerung des Prozesses durch massive **Zugaben von konzentrierter organischer Substanz** wie Fette oder gut abbaubare «trockene» Co-Substrate).

Die **Gärtemperatur** beeinflusst die Geschwindigkeit des anaeroben Abbaus. In der Praxis unterscheidet man die Vergärung bei mesophilen Temperaturen (30–40 °C) und die sogenannte thermophile Vergärung bei Temperaturen von über 50 °C. Landwirtschaftliche Anlagen werden fast ausschliesslich im mesophilen Temperaturbereich betrieben. Die thermophile Vergärung kann dann vorteilhaft sein, wenn seuchenhygienisch bedenkliches Material als Co-Substrat eingesetzt wird.

Daten von Praxisanlagen

Anteilmässig sind in den schweizerischen Co-Vergärungsanlagen folgende Co-Substrate dominierend: Pansen und Darminhalte (drei Anlagen), Getreideabgänge (zwei Anlagen), Gemüseabfälle von Grossverteilern und Rüstbetrieben (drei Anlagen), Treber sowie Grünabfälle (eine Anlage). In geringerem Masse werden auch Fettabfälle mitvergoren. Zwei Anlagen wurden im Eigenbau erstellt [5, 6], eine weitere als Demonstrationsan-

lage in Holzbauweise [7], die anderen sechs Co-Vergärungsanlagen sind Anlagentypen der Firma Graf AG, Amriswil [1, 10] bzw. des Ingenieur-Büros Böhni in Frauenfeld [8]. In Tabelle 3 sind die wichtigsten Prozessgrössen dieser Anlagen zusammengefasst. Als Ergänzung sind auch zwei deutsche Anlagen aufgeführt, in denen Fettabscheiderabfälle und Speisereste mitvergoren werden.

Mit Ausnahme einer Anlage liegen die **Verweilzeiten** grösstenteils zwischen 30 und 40 Tagen. Die Fermenter von Co-Vergärungsanlagen werden in der Regel grösser dimensioniert als reine Güllefermenter. Einerseits wird damit eine erhöhte Sicherheit in Bezug auf die Prozessbiologie erreicht (höhere Verweilzeit = kleinere Belastung), andererseits ist dadurch zusätzliche Kapazität für die Vergärung weiterer Co-Substrate vorhanden. Die **Gärtemperaturen** der mesophilen Anlagen liegen im Bereich zwischen 30 und 40 °C. Die optimale Gärtemperatur kann je nach Substrat und energetischer Situation (Gasverwertung) unterschiedlich sein. Sie wird in der Regel von den Betreibern ermittelt. Die **organische Raumbelastung** der untersuchten Anlagen liegt zwischen 1,6 und 7 kg organische Substanz pro m³ Fermentervolumen und Tag. Die Anlage mit der sehr hohen Raumbelastung von 7 kg OS/m³ · d wird mit Rückführung von vergorenem Substrat betrieben. Als grober Richtwert kann für die landwirtschaftliche Co-Vergärung eine obere Belastungsgrenze von 4–5 kg OS/m³ · d empfohlen werden.

Betriebserfahrungen und Störungen

Die Co-Vergärung ist verfahrenstechnisch anspruchsvoller als die alleinige Vergärung von Gülle. Vor allem bei der Substratvorbehandlung und der Beschickung sind zusätzliche Vorsichtsmassnahmen (Sortierung und Sichtung des Materials) und Verfahrensstufen (Zerkleinerung) für den störungsfreien Betrieb notwendig. Der Grossteil der in den Praxisanlagen aufgetretenen Probleme lag denn auch erwartungsgemäss im Bereich «Pumpen und Rühren» (Verstopfung der Zu- und Ablaufleitung, Blockierung des Mazerators, Schwimmdeckenbildungen). In einigen Fällen mussten Betriebsunterbrüche in Kauf genommen werden, weil die Fermenter mit zuviel Material beschickt wurden. Durch diese Stossbelastungen kam es zu unkontrollierten Schwimmdeckenbildungen oder zur Versauerung des Faulprozesses infolge einer biologischen Überlastung des Systems. In Co-Vergärungsanlagen nimmt das Rührwerk eine zentrale Stellung ein. Bei einem Ausfall kann sich innert Stunden eine kompakte Schwimmdecke bilden, die zur Blockierung des Rührwerkes führt. Zur Vorbeugung dieser schwerwiegenden Betriebsstörung ist eine regelmässige Kontrolle (eventuell Alarmsignal bei Rührwerksausfall) notwendig.

Es zeigte sich aber, dass diese Kinderkrankheiten der Co-Vergärung innert nützlicher Frist behoben werden konnten und nach einer technischen Anpassung bzw. durch eine vermehrte Kontrolle der Anlage (und des Co-Substrates) ein störungsfreier Betrieb möglich wurde.

Tab. 3: Verwendete Co-Substrate in Biogasanlagen: Raumbelastungen, Verweilzeit und Gärtemperatur

Fermenter		Beschickung			tR (Tage)	Temp. (°C)	Gesamtbelastung (kg OS/m ³ d)
Typ	Grösse (m)	Gülle (m/d)	Co-Substrat	Menge (m ³ , kg/d)			
liegend	110	3,0	Fettabscheiderfett	0,5 m ³	30	48	4,0
liegend	100	1,7	Speiseabfälle	0,9 m ³	37	33	3,2
lieg./stehend	100/130	6,5	Grassilage	500 kg	25-28	35-38	1,7-4
lieg./stehend	100/130	6,5	Weizenabgang	220 kg	25-28	35-38	1,8-4
stehend	2x75	4,3	Darminhalt	1,6 m ³	25	34-38	3,7
stehend	260	5,5	Darminhalt	2 m ³	30-35	35-38	2,2
stehend	260	8,0	Gemüse, Pansen	2 m ³	22-25	38	2,8
stehend	260	2,5	Gemüse-, Obstreste	8 m ³	20-24	34	4,0
liegend	130	2,7	Treber, Pansen	8 m ³	15-17	35	bis 7
stehend	400	7,0	Grünabfälle	600 kg	30-40	33	1,6
stehend	115	3	Gemüseabfälle, Fette	600 kg	20-35	35-38	3-3,8

tR: Verweilzeit, OS: Organische Substanz

Aufgrund der verschiedenartigen Co-Substrateigenschaften und der unterschiedlichen betrieblichen Voraussetzungen kann für landwirtschaftliche Anlagen in der Regel keine Einheitstechnik angeboten werden. Es sind oftmals kleine technische oder praktische Details, die darüber entscheiden, ob eine Anlage funktioniert oder nicht. Es ist deshalb sehr zu empfehlen, dass ein Interessent mit den Betreibern von Praxisanlagen Kontakt aufnimmt, um ihre Erfahrungen in die Planung und den Bau einer neuen Anlage mit einzubeziehen. Ansprechstellen für die Vermittlung der Betreiberadressen und für weiterführende Informationen zur landwirtschaftlichen Co-Vergärung sind die Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik,

Tänikon sowie die Arbeitsgemeinschaft E2000-Energie aus der Vergärung, engeli engineering, Neerach.

Seuchenhygienische Aspekte

Durch die Zunahme der Co-Vergärungstechnologie besteht die Gefahr, dass die Hofdünger mit kontaminierten Reststoffen vermischt werden, was eine Verschleppung von Seuchenerregern und anderen tier-, menschen- und pflanzenpathogenen Keimen zur Folge haben kann. Ausschlaggebend für das seuchenhygienische Risiko der Co-Vergärung ist dabei das verwendete Co-Substrat.

Die **Hofdünger** bieten aus hygienischer Sicht keine Probleme. Die **landwirtschaftlichen Abfälle** wie Gras, Ernterückstände, Getreideabgänge usw. sind wie die Abfälle aus der **Agroindustrie** weitgehend frei von Erregern und somit seuchenhygienisch ebenfalls unbedenklich. Abfälle aus der **kommunalen Entsorgung** und der **Gastronomie** sowie **Schlachthofabfälle** müssen jedoch zu den seuchenhygienisch problematischen Co-Substraten gezählt werden. Als seuchenhygienisch bedenklich gelten insbesondere die Speiseabfälle, Flotat-schlämme aus Schlachthöfen sowie Haushaltabfälle (Abb. 5).

Hygienisierung des Co-Substrates

Keimreduktion durch den Gärprozess

Während des Gärprozesses findet eine bedeutende Reduktion der pathogenen Keime statt (Tab. 4, Abb. 6). Neben den chemischen und biologischen Einflussgrößen (pH-Wert, Ammoniakkonzentration, organische Säuren, toxische Stoffwechselprodukte) spielen die Temperatur und die Einwirkzeit eine bedeutende Rolle. Bei **mesophilen Gärtemperaturen** wird ein Grossteil der Erreger nach einer Einwirkzeit von 20 bis 25 Tagen inaktiviert. Bei **thermophilen Temperaturen** (53 °C und höher) erfolgt die Inaktivierung im Bereich von Stunden [3].

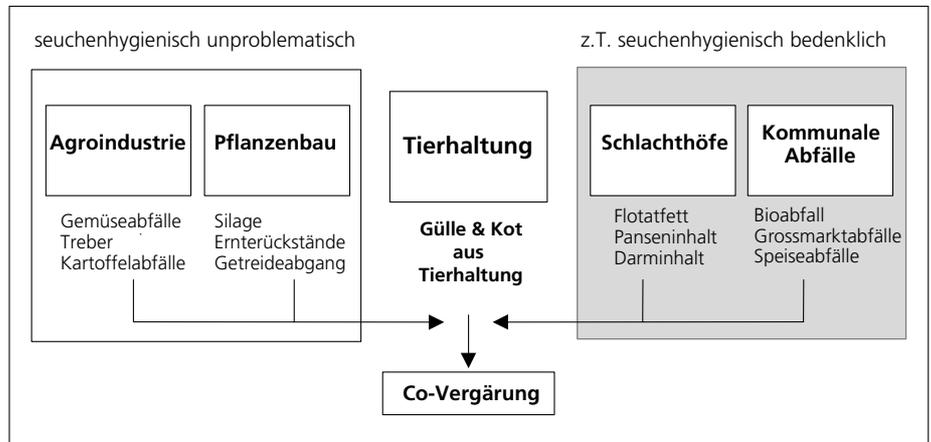


Abb. 5: Klassifizierung verschiedener Co-Substrate nach Abfallkategorie und seuchenhygienischem Risikopotential [3].

Tab. 4: Einfluss des Gärprozesses auf die Inaktivierung von Bakterien und Wurmeiern [3]

Bakterien	Biogasanlage		Lagergrube	
	53 °C	35 °C	18–21 °C	6–15 °C
	T-90 Werte		T-90 Werte	
	Stunden	Tage	Wochen	Wochen
Salmonella typhimurium	0,7	2,4	2,0	5,9
Salmonella dublin	0,6	2,1		
E.coli	0,4	1,8	2,0	8,8
Staphylococcus aureus	0,5	0,5	0,9	7,1
Coliforme Bakterien		3,1	2,1	9,3
Streptococcus faecalis	1,0	2,0		
Gruppe D-Streptokokken		7,1	5,7	21,4

T-90 Wert: Einwirkzeit für eine 90%-ige Reduktion der Keime

Wurmeier	Temperatur	Inaktivierungszeit
Eier von gastrointestinalen-, Rund- und Fadenwürmern	53 °C	1–4 Stunden
Eier von Labmagen-Darmwürmern (Rind), Bandwurm (Katze) / Fadenwurm (Schwein), Ascaris (Schwein) / Lungenwurmlarve	35 °C	2 Tage < 2 Tage / 6-8 Tage 21-35 Tage / < 7 Tage

Bestimmte thermoresistente Keime können hingegen auch nach einer Expositionszeit von 30 Tagen noch nachweisbar sein, weshalb für Risikosubstrate weitergehende Hygienisierungsmaßnahmen notwendig sind.

Bei **thermophilen Gärtemperaturen** ab 53 °C ist für eine ausreichende Hygienisierung des Gärsubstrates eine garantierte minimale Aufenthaltszeit im Gärbehälter von 24 Stunden notwendig [3]. Bei volldurchmischten Fermentern darf also das Beschickungsintervall nicht kürzer als 24 Stunden sein.

Bei **mesophilen Gärtemperaturen** wird eine verlässliche Entseuchung nur durch Vorerhitzung des Risikomaterials erreicht (Pasteurisierung bei 70 °C während einer Stunde). In einem **vorgeschalteten Hygienisierungsbehälter** wird das kontaminierte Substrat während einer Stunde auf 70 °C erhitzt und anschließend in den Fermenter gepumpt. Zur Kontrolle des Verfahrens müssen die Behälter mit einem Temperaturschreiber zur Erfassung der Temperatur und der Hygienisierungszeit bestückt sein. Trotz einfacher Technik sind einige Grundsätze der Hygienisierungstechnik einzuhalten und wichtige konstruktive Details zu be-

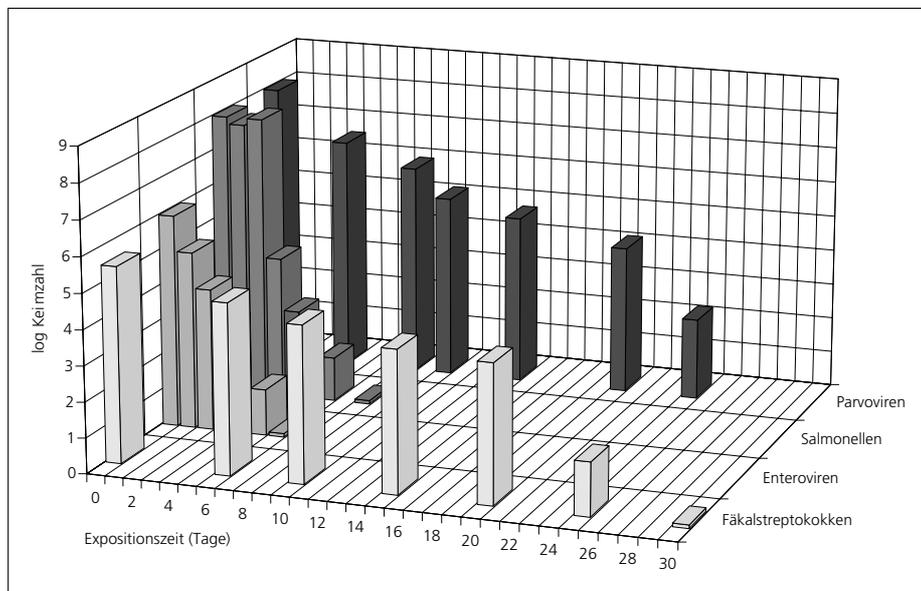


Abb. 6a: Reduktion verschiedener Testorganismen (Bakterien und Viren) in einer mesophil betriebenen Biogasanlage ($T = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$).

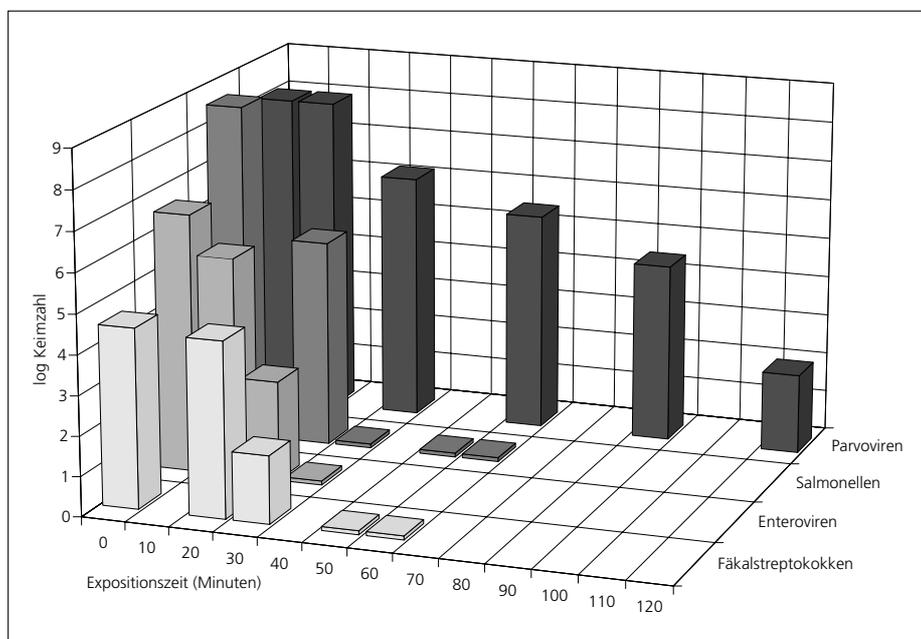


Abb. 6b: Reduktion verschiedener Testorganismen (Bakterien und Viren) in einer thermophil betriebenen Biogasanlage ($T = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$).

achten («Strikte Trennung der reinen und unreinen Seite»). So ist unhygienisiertes Material so zu lagern, dass bereits hygienisiertes Co-Substrat und vergorenes Material nicht mit kontaminiertem Frischmaterial in Berührung kommt. Beim Hygienisierungstank ist insbesondere bei den Leitungen darauf zu achten, dass sich keine Totzonen mit ungenügender Erhitzung bilden können (Schieber, Abflussrohr).

Sowohl bei der thermophilen als auch bei der mesophilen Vergärung muss das kon-

taminierte Material zerkleinert werden. Für eine ausreichende Hygienisierung wird eine Zerkleinerung der Feststoffe auf eine Korngrösse von $<10\text{ mm}$ empfohlen [3].

Spezielle **Hygienisierungsvorschriften** für landwirtschaftliche Co-Vergärungsanlagen bestehen in der Schweiz noch keine. Aufgrund der kleinen Anzahl von Anlagen ist das reale Gefährdungspotenzial auch noch ohne Relevanz. Zudem ist heute die Verwertung gefährlicher tierischer Abfälle durch die bestehende Ge-

setzgebung in ausreichendem Masse gewährleistet. In Deutschland müssen gemäss der im Herbst 1998 in Kraft gesetzten Bioabfallverordnung Küchen- und Kantinenabfälle, Fettabfälle sowie Fettabscheiderinhalte und Flotate aus Schlachthöfen einer Hygienisierung unterzogen werden [12]. Falls auch in der Schweiz eine massive Zunahme der Co-Vergärungsanlagen gesetzliche Regelungen erforderlich macht, müssen an alle Verwertungsarten, insbesondere an die Kompostierungsverfahren, dieselben hygienischen Qualitätsanforderungen gestellt werden. Eine diesbezüglich Ausarbeitung von Richtlinien hat in enger Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Veterinärwesen (BVET), dem Bundesamt für Umweltschutz, Wald und Landschaft (BUWAL) und dem Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) zu erfolgen.

Gesetzliche Bestimmungen

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen, die die Co-Vergärung und die Verwertung des Gärmaterials direkt oder indirekt betreffen, sind in einer Vielzahl von Gesetzes- und Verordnungstexten beschrieben. Die Verordnungen sind im Wesentlichen im Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG), im Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (GSchG) und im Tierseuchengesetz (TSG) festgeschrieben. Als übersichtliches Nachschlagewerk zum Vollzug der Stoff-Verordnung (USG) leistet der Ordner «Kompost und Klärschlamm – Weisungen und Empfehlungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene Liebefeld (FAC) im Bereich der Abfalldünger» [13] sowie die **«Wegleitung zur Bewertung und Zulassung von Düngern und diesen gleichgestellten Erzeugnissen»** der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL) gute Dienste [14]. In der **«Wegleitung für den Gewässerschutz in der Landwirtschaft (Bereich Hofdünger)»** sind die gemäss Gewässerschutzgesetz wichtigsten Vorschriften und Richtlinien in Bezug auf die Hofdünger- und Bodenbewirtschaftung zusammengefasst [15]. Die Wegleitung erlaubt eine übersichtsmässige Beurteilung der Gewässerschutzverhältnisse bei Betrieben mit Nutztierhaltung.

Tab. 5: Massgebende Gesetze, Verordnungen und Wegleitungen, die sich mit der Behandlung und Verwertung von Hof- und Abfalldüngern befassen [3].

Massgebende gesetzliche Bestimmungen auf Bundesebene

- Umweltschutzgesetz (USG)
- Gewässerschutzgesetz (GSchG)
- Stoffverordnung (StoV)
- Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen (VVS)
- Tierseuchenverordnung (TSV)
- Verordnung über die Entsorgung tierischer Abfälle (VETA)
- Düngerbuch-Verordnung (DüBV)
- Technische Verordnung über Abfälle (TVA)

Wegleitungen

- Wegleitung für den Gewässerschutz in der Landwirtschaft (Bereich Hofdünger)
- Kompost und Klärschlamm – Weisungen und Empfehlungen im Bereich der Abfalldünger
- Wegleitung zur Bewertung und Zulassung von Düngern und diesen gleichgestellten Erzeugnissen

Wichtigste Artikel (bezogen auf Stoffgruppen)

Küchen- und Speiseabfälle	TSV	Art. 41, 44
Pansen, Darminhalt	VETA	Art. 3, 6
Fleischabfälle	VETA	Art. 3, 5, 6
Speiseöl, Fette	TSV	Art. 41, 42 / VVS Code 1741
Abfalldünger	StoV	Anhang 4.5, Ziffer 1
Hofdünger	GSchG	Art. 4, 6, 12, 14, <i>Wegleitung Gewässerschutz</i>
Kompost, Klärschlamm	StoV	Anhang 4.5, Ziff.1, 221, 222, 322, Ordner FAC
Häusliches Abwasser	GSchG	Art.12, <i>Wegleitung Gewässerschutz</i>



Abb. 7: Innenansicht eines liegenden Fermenters mit Heizregister und Haspelrührwerk.

Literatur

- [1] Baserga, U.: Landwirtschaftliche Co-Vergärungsbiogasanlagen: Biogas aus organischen Reststoffen und Energiegras. FAT-Berichte Nr. 512, 1998, 12 Seiten.
- [2] Engeli, H., Egger, K.: Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen. Stand der Technik 1998 für die Praxis. FAT-Berichte Nr. 530, 1999, 8 Seiten.
- [3] Baserga, U.: Seuchenhygienische Beurteilung der landwirtschaftlichen Co-Vergärung. Bundesamt für Energie, Januar 1999, 22 Seiten.
- [4] Bisupek, B., Weiland, P., Harder, H.: Kofermentation, KTBL-Arbeitspapier 249, KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, 48165 Münster (D), ISBN 3-7843-1971-8, 1998, 70 Seiten.
- [5] Baserga, U., Neukomm, H.P.: Co-Vergärung von Festmist und verschiedenen landwirtschaftlichen Abfallprodukten in einer Flüssigbiogasanlage, BFE, Dezember 1996, 15 Seiten.
- [6] Baserga, U., Wittwer, K. & U.: Co-Vergärung von Hühnermist und festen Abfallstoffen in einer landwirtschaftlichen Biogasanlage, BFE, Dezember 1996, 14 Seiten.
- [7] Egger, K.: Kleine, schlüsselfertige Biogasanlage (Phase II). Bundesamt für Energie, November 1997, 35 Seiten.
- [8] Böhni, Th.: Selbstbauhandbuch zum Bau einer landwirtschaftlichen Kompaktbiogasanlage für 60-225 GVE, Bundesamt für Energie 1999, 35 Seiten.
- [9] Wellinger, A., Baserga, U., Edelmann, W., Egger, K., Seiler, B.: Biogas-Handbuch, 2. Auflage, Verlag Wirz AG, 1991, 192 Seiten.
- [10] Infoenergie: Biogasverbundanlage Frauenfeld. Nebenerwerb durch Abfallverwertung. Broschüre Energieinnovation, 1997, 4 Seiten.
- [11] Schulz, H.: Biogas-Praxis. Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele. Ökobuch-Verlag, Staufen bei Freiburg 1996, ISBN 3-922964-59-1, 187 Seiten.
- [12] Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung). Bundesgesetzblatt Jg. 1998, Teil 1, Nr. 65. Bonn (D), September 1998.
- [13] FAC (Hrsg.): Kompost und Klärschlamm-Weisungen und Empfehlungen der Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC) im Bereich der Abfalldünger. EDMZ-Art. Nr. 730.920 d, Juni 1995.
- [14] FAL (Hrsg.) Wegleitung zur Bewertung und Zulassung von Düngern und diesen gleichgestellten Erzeugnissen Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), Januar 1999.
- [15] Wegleitung für den Gewässerschutz in der Landwirtschaft (Bereich Hofdünger). Hrsg.: Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Juli 1994.

Dank

Diese Studie wurde vom Bundesamt für Energie (BFE), Forschungsprogramm Biomasse, finanziert.

Anfragen über das behandelte Thema und über andere landtechnische Probleme sind an die unten aufgeführten Berater für Landtechnik zu richten. Weitere Publikationen und Prüfberichte können direkt bei der FAT (CH-8356 Tänikon) angefordert werden. (Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90).

E-Mail: info@fat.admin.ch, Internet: <http://www.admin.ch/sar/fat>

- ZH** Kramer Eugen, LIB Strickhof,
8315 Lindau, Telefon 052 354 98 30
Blum Walter, LIB Strickhof,
8315 Lindau, Telefon 052 354 98 30
- BE** Jutzeler Martin, Inforama Berner Oberland,
3702 Hondrich, Telefon 033 654 95 45
Hügi Kurt, Inforama Seeland,
3232 Ins, Telefon 032 312 91 21
Marti Fritz, Inforama Rütli und Waldhof,
3052 Zollikofen, Telefon 031 910 52 10
Hofmann Hans Ueli, Inforama Schwand,
3110 Münsingen, Telefon 031 720 11 21
- LU** Moser Anton, LBBZ Schüpfheim,
6170 Schüpfheim, Telefon 041 485 88 00
Hodel René, LBBZ, Centralstr. 21,
6210 Sursee, Telefon 041 921 91 91
Marti Pius, LBBZ Willisau,
6130 Willisau, Telefon 041 970 20 77
Widmer Norbert, LMS,
6276 Hohenrain, Telefon 041 910 26 02
- UR** Landw. Beratungsdienst, Aprostr. 44,
6462 Seedorf, Telefon 041 871 05 66
- SZ** Landolt Hugo, Landw. Schule Pfäffikon,
8808 Pfäffikon, Telefon 055 415 79 22
- OW** Müller Erwin, BWZ Obwalden,
6074 Giswil, Telefon 041 675 16 16
Landwirtschaftsamt, St. Antonistr. 4,
6061 Sarnen, Telefon 041 666 63 58
- NW** Egli Andreas, Landwirtschaftsamt,
6370 Stans, Telefon 041 618 40 05
- GL** Amt für Landwirtschaft, Poststr. 29,
8750 Glarus, Telefon 055 646 67 00
- ZG** Furrer Jules, LBBZ Schluethof,
6330 Cham, Telefon 041 780 46 46
Kiefer Lukas, LBBZ Schluethof,
6330 Cham, Telefon 041 780 46 46
- FR** Krebs Hans, Landw. Institut Freiburg (IAG),
1725 Posieux, Telefon 026 305 58 50
- SO** Wyss Stefan, Landw. Bildungszentrum Wallierhof,
4533 Riedholz, Telefon 032 627 09 62
- BL** Zjörjen Fritz, Landw. Zentrum Ebenrain,
4450 Sissach, Telefon 061 971 21 21
- SH** Landw. Bildungszentrum Charlottenfels,
8212 Neuhausen, Telefon 052 674 05 00
- AI** Koller Lorenz, Gaiserstrasse 8,
9050 Appenzell, Telefon 071 788 95 76
- AR** Vuilleumier Marc, Landwirtschaftsamt AR,
9102 Herisau, Telefon 071 353 67 56
- SG** Haltiner Ulrich, Landw. Schule Rheinhof,
9465 Salez, Telefon 081 757 18 88
Steiner Gallus, Landw. Schule Flawil,
9230 Flawil, Telefon 071 394 53 53
- GR** Urwyler Hansueli, Grabenstrasse 1,
7000 Chur, Telefon 081 257 24 03
Föhn Josef, Landw. Schule Plantahof,
7302 Landquart, Telefon 081 307 45 25
- AG** Müri Paul, LBBZ Liebegg,
5722 Gränichen, Telefon 062 855 86 27
- TG** Herrmann Samuel, LBBZ Arenenberg, Fachstelle
Betriebsberatung und Landtechnik, Amriswilerstr. 50,
8570 Weinfelden, Telefon 071 622 10 22
- TI** Müller Antonio, Ufficio consulenza agricola,
6501 Bellinzona, Telefon 091 814 35 53

Landwirtschaftliche Beratungszentrale, Abt. Landtechnik, 8315 Lindau, Telefon 052 354 97 58

Die FAT-Berichte erscheinen in zirka 20 Nummern pro Jahr. – Jahresabonnement Fr. 50.–. Bestellung von Abonnements und Einzelnummern: FAT, CH-8356 Tänikon. Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90.

E-Mail: info@fat.admin.ch – Internet: <http://www.admin.ch/sar/fat> – Die FAT-Berichte sind auch in französischer Sprache als «Rapports FAT» erhältlich. – ISSN 1018-502X.