

4

Beschreibung ausgewählter Substrate

In diesem Kapitel sollen ausgewählte Substrate näher betrachtet werden. Es wird sowohl auf die Herkunft der Substrate als auch auf deren wichtigste Eigenschaften wie Trockensubstanz (TS), organische Trockensubstanz (oTS), Nährstoffe (N, P, K) oder vorhandene organische Schadstoffe eingegangen. Außerdem werden Aussagen über die zu erwartenden Gaserträge und die Gasqualität sowie die Handhabung der Substrate getroffen.

Da es nicht möglich ist, die gesamte Bandbreite der möglichen Substrate zu beschreiben, hat dieses Kapitel keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Auch unterliegen die hier dargestellten Substrate jährlichen Qualitätsschwankungen, weshalb die in diesem Kapitel aufgeführten Stoffdaten keine absoluten Werte darstellen.

4.1 Substrate aus der Landwirtschaft

4.1.1 Wirtschaftsdünger

Nimmt man die Statistiken über die Nutztierhaltung in Deutschland als Grundlage, so ergibt sich gerade in der Rinder- und Schweinehaltung ein enormes Substratpotenzial, welches für eine Verwendung in Biogasanlagen

geeignet ist. Insbesondere durch die wachsenden Betriebsgrößen in der Tierhaltung und die gestiegenen Umwelanforderungen an die weitere Nutzung der Exkrementen müssen alternative Verwertungswege für die anfallende Gülle bzw. den anfallenden Festmist gefunden werden. Die Nährstoffe von Wirtschaftsdüngern lassen sich aus Tabelle 4-1 entnehmen.

Im Zusammenhang der Initiative „Gute Qualität und sichere Erträge“ des Umwelt- und des Verbraucherschutzministeriums vom Juni 2002 wurden vom Umweltbundesamt Berlin die folgenden mittleren Schwermetallgehalte ermittelt (Tabelle 4-2).

Der Biogasertrag von Rindergülle liegt mit 20-30 m³ je t Substrat leicht unter dem der Schweinegülle (vgl. Tabelle 4-3). Zudem weist das Gas aus Rindergülle im Vergleich zu dem aus Schweinegülle einen deutlich niedrigeren durchschnittlichen Methangehalt auf /4-4/. Dies liegt daran, dass der Magen des Rindes ähnlich wie eine Biogasanlage arbeitet, die Gülle also schon vorvergoren wurde.

Rinder- und Schweinegülle lassen sich auf Grund ihres relativ niedrigen Trockensubstanzgehaltes gut mit anderen Substraten (Kosubstrate) kombinieren. Anders sieht dies beim Festmist aus, da er wegen des hohen Trockensubstanzanteils in der Regel verdünnt werden muss, um pumpfähig zu sein; zudem muss

Tabelle 4-1: Nährstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern (nach/4-1/)

Substrat	TS	oTS	N	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
	[%]	[% TS]					
Rindergülle	8-11	75-82	2,6-6,7	1-4	0,5-3,3	5,5-10	0,3-0,7
Schweinegülle	ca.7	75-86	6-18	3-17	2-10	3-7,5	0,6-1,5
Rindermist	ca. 25	68-76	1,1-3,4	0,22-2	1-1,5	2-5	1,3
Schweinemist	20-25	75-80	2,6-5,2	0,9-1,8	2,3-2,8	2,5-3	n.a.
Hühnermist	ca. 32	63-80	5,4	0,39	n.a.	n.a.	n.a.

Tabelle 4-2: Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern (nach /4-3/)

Substrat	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Rindergülle	0,3	7,3	44,5	0,06	5,9	7,7	270
Schweinegülle	0,4	9,4	309	0,02	10,3	6,2	858
Rindermist	0,29	12,9	39,0	0,03	5,2	30,0	190
Schweinemist	0,33	10,3	450	0,04	9,5	5,1	1068
Hühnermist	0,25	4,4	52,6	0,02	8,1	7,2	336

Tabelle 4-3: Gasertrag und Methangehalt von Wirtschaftsdüngern

Substrat	Biogasertrag		CH ₄ -Gehalt [Vol.-%]
	[m ³ /t Substrat]	[m ³ /t oTS]	
Rindergülle	20-30	200-500	60
Schweinegülle	20-35	300-700	60-70
Rindermist	40-50	210-300	60
Schweinemist	55-65	270-450	60
Hühnermist	70-90	250-450	60

der Festmist homogenisiert werden. Als eventuelle Kosubstrate kommen hier in erster Linie solche mit einem hohen Wasser- oder Energiegehalt in Betracht (Schlempen, Fette etc.).

Das Handling und die Lagerung von Rinder- bzw. Schweinegülle ist relativ unproblematisch. Im Normalfall kann die Gülle direkt oder über eine Vorgrube der Biogasanlage zugeführt werden.

4.1.2 Nachwachsende Rohstoffe

Bei Einhaltung bestimmter rechtlicher Vorgaben ist der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf Stilllegungsflächen zur Verwendung in Biogasanlagen möglich. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen sind durch die EU-Verordnung Nr. 1251 vom 17. Mai 1999 /4-5/ sowie die dazugehörige Durchführungsbestimmung /4-6/ gegeben. Zusätzlich hat die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung „Merkblätter zur Verwendungskontrolle Nachwachsender Rohstoffe“ /4-7/, /4-8/ herausgegeben, die als Hilfestellung dienen sollen.¹

4.1.2.1 Mais

Mais als nachwachsender Rohstoff eignet sich durch seinen hohen Energieertrag je Hektar für die Verwen-

Sollen auf Stilllegungsflächen nachwachsende Rohstoffe zur Verwendung in Biogasanlagen angebaut werden, so wird gemäß der Verordnung (EG) Nr. 2461/99 zwischen dem Anbau zur Verwertung in hofeigenen und nicht-hofeigenen Biogasanlagen unterschieden.

Bei hofeigenen Biogasanlagen muss eine Anbauerklärung bei der zuständigen Behörde eingereicht werden. Jedoch muss bei nicht-hofeigenen Biogasanlagen ein Anbau- und Abnahmevertrag zwischen dem Erzeuger und dem Betreiber der Biogasanlage abgeschlossen und eingereicht werden. In beiden Fällen sind die nachwachsenden Rohstoffe vollständig zu ernten und einzulagern. Zusätzlich müssen die Rohstoffe denaturiert werden, damit sie als Futter- oder Nahrungsmittel unbrauchbar werden. Hierzu sind derzeit Gülle oder Festmist sowie Tieröl oder Bitterlupinenschrot zugelassen, zudem kann bei Körnergetreide auch der Farbstoff „Dispers-Blau“ eingesetzt werden.

Ausführliche Informationen zu den Genehmigungsverfahren können den „Merkblättern zur Verwendungskontrolle von nachwachsenden Rohstoffen in Biogasanlagen“ des Bundesamtes für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) entnommen werden.

derung in Biogasanlagen. Besonders in viehhaltenden Betrieben steht jedoch die bisherige Nutzung der Maissilage als Futter in direkter Konkurrenz zur Verwendung in Biogasanlagen. Die Ernteerträge je Hektar schwanken zwar von Jahr zu Jahr, liegen im Mittel aber bei ca. 45 t Frischmasse. Weitere Kenndaten der Maissilage sowie der Biogasertrag und der Methangehalt sind in Tabelle 4-4 zusammengefasst.

Angaben über organische Schadstoffe sowie über eventuelle Schwermetallfrachten liegen zur Zeit nicht

1. Siehe hierzu: <http://www.ble.de> unter „Pflanzliche Erzeugnisse – Nachwachsende Rohstoffe“

Tabelle 4-4: Stoffeigenschaften Maissilage

Substrat	TS	oTS	N	NH ₄	P	Biogasertrag		CH ₄ -Gehalt
	[%]	[% TS]		[% TS]		[m ³ /t FM]	[m ³ /t oTS]	[Vol.-%]
Maissilage	20-35	85-95	1,1-2	0,15-0,3	0,2-0,3	170-200	450-700	50-55

Tabelle 4-5: Mineralstoffgehalte und Spurenelemente von Maissilage /4-9/, /4-10/

Substrat	Ca	P	Na	Mg	K	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn	Fe
	[% TS]					[mg/kg TS]							
Maissilage	0,18	0,24	0,03	0,12	1,13	0,2	0,5	4,5-5	5	2	35-56	31	67

Tabelle 4-6: Stoffeigenschaften von Roggensilage (Ganzpflanze)

Substrat	TS	oTS	N	NH ₄	P	Biogasertrag		CH ₄ -Gehalt
	[%]	[% TS]		[% TS]		[m ³ /t FM]	[m ³ /t oTS]	[Vol.-%]
Roggen-GPS	30-35	92-98	4,0	0,57	0,71	170-220	550-680	ca. 55

vor. Die Anteile an Spurenelementen lassen sich aus Tabelle 4-5 ersehen. Fremd- oder Störstoffe kommen in der Maissilage kaum vor.

Die Maissilage kann unproblematisch gelagert werden, da sie in der Regel als Fahrsilo angelegt und mit einer Plastikfolie abgedeckt wird. Nach Abschluss der Silierphase (4-6 Wochen) kann sie direkt in der Biogasanlage verwendet werden.

Zwar ist auch eine Monovergärung von Maissilage möglich, dennoch empfiehlt es sich, Maissilage als Kosubstrat mit Gülle zu vergären, da der Prozessablauf hierbei stabiler ist und sich bei Kofermentation Synergieeffekte ergeben können, die die Abbaubarkeit bzw. den Methanertrag erhöhen können.

4.1.2.2 Roggen-Ganzpflanzensilage (GPS)

Stellvertretend für weitere mögliche Ganzpflanzensilagen (GPS) soll an dieser Stelle Roggen-GPS vorgestellt werden. Roggen stellt nur geringe Ansprüche an die Bodengüte und an das Klima und kann deshalb auch in kühleren Regionen bzw. auf leichten Böden angebaut werden. Beim Anbau als nachwachsender Rohstoff auf Stilllegungsflächen gelten die gleichen vertraglichen Regelungen wie beim Mais (siehe Kapitel 4.1.2.1). Der Kornertrag des Roggens liegt bei ungefähr 5-6 t je Hektar, das Korn:Stroh-Verhältnis bei ca. 1:1,6. Dies ergibt einen Gesamtertrag von 13-15 t FM je Hektar /4-11/.

Da Roggen nur einmal jährlich geerntet werden kann, also nur saisonal anfällt, ist eine Silierung sinnvoll, um für das ganze Jahr ein möglichst gleichblei-

bendes Substrat zu haben. Die wichtigsten Kenndaten der Roggensilage sind in Tabelle 4-6 dargestellt.

Angaben über Schwermetallkonzentrationen liegen zurzeit nicht vor, sie liegen aber in der Regel unter den zulässigen Höchstgrenzen für Lebensmittel.

Eine ganzjährige Lagerung ist wie schon angesprochen durch Silieren des Materials möglich, besondere Anforderungen hinsichtlich Hygiene oder Störstoffen bestehen nicht.

4.1.2.3 Rüben

Auf Grund ihres hohen Massewachstums eignet sich die Rübe (Futter- oder Zuckerrübe) gut zum Anbau als nachwachsender Rohstoff. Anders als Roggen stellt die Rübe spezielle Ansprüche an Boden und Klima, sie braucht ein eher mildes Klima und tiefgründige humose Böden.

Die Erträge sind je nach Bodenvoraussetzungen unterschiedlich und bewegen sich bei der Zuckerrübe um 500-600 dt/ha. Bei den Erträgen der Futterrüben ergeben sich zusätzlich noch Sortenunterschiede, so liegt der Ertrag von Masserüben bei ca. 900 dt/ha und der der Gehaltsrüben bei ungefähr 600-700 dt/ha /4-11/. Bei den Erträgen der Blattmasse ergeben sich ebenfalls sortenspezifische Unterschiede. So liegt die Relation von Rübenmasse zu Blattmasse bei der Zuckerrübe bei 1:0,8 und die der Gehaltsrübe bei 1:0,5. Die Massenrübe hat auf Grund ihres hohen Massewachstums „nur“ eine Rübe-Blatt-Relation von 1:0,3-0,4 /4-11/. Weitere stoffliche Daten sind in den Tabellen 4-7 und 4-8 aufgeführt.

Tabelle 4-7: Stoffeigenschaften von Rüben und Rübenblatt [4-12]

Substrat	TS	oTS	N	NH ₄	P	Biogasertrag		CH ₄ -Gehalt
	[%]	[% TS]		[% TS]		[m ³ /t FM]	[m ³ /t oTS]	[Vol.-%]
Zuckerrübe	23	90-95	2,6	0,2	0,4	170-180	800-860	53-54
Masserübe	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,3	75-100	620-850	53-54
Gehaltsrübe	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,4	75-100	620-850	53-54
Rübenblatt	16	75-80	0,2-0,4	n.a.	0,7-0,9	ca. 70	550-600	54-55

Tabelle 4-8: Schwermetallgehalte [4-1]

Substrat	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg TS]					
Rübenblatt	0,2	<1	10	5	0,5	28

Zwar fehlen genaue Werte über die Konzentrationen an Schwermetallen in den Rübenkörpern, doch kann davon ausgegangen werden, dass diese relativ gering sind (s. auch Kap. 4.2.4). Die Abbaubarkeit der Rüben ist relativ hoch, jedoch nur unter der Voraussetzung, dass die Rüben vorher gut zerkleinert worden sind.

Probleme treten jedoch bei der Trockenreinigung der Rüben auf. Anhaftende Erde muss möglichst vollständig entfernt werden, da sie sich sonst am Fermenterboden absetzt und ansammelt, wodurch wertvoller Gärraum verloren geht. Auch müssen Steine vor dem Zerkleinern entfernt werden. Da Rüben sowie Rübenblatt nur saisonal geerntet werden, ist eine Lagerung notwendig, um das Substrat das ganze Jahr verfügbar zu machen, was in der Regel durch Silieren der zerkleinerten Pflanze geschieht. Allerdings muss hier beachtet werden, dass eine Lagerung als Fahrsilo auf Grund der breiigen Konsistenz der zerkleinerten Rübe nicht möglich ist, weswegen hier ein fest umschlossenes Lager benutzt werden muss.

Tabelle 4-9: Stoffeigenschaften von Grassilage [4-1], [4-13], [4-14]

Substrat	TS	oTS	N	NH ₄	P ₂ O ₅	Biogasertrag		CH ₄ -Gehalt
	[%]	[% TS]		[% TS]		[m ³ /t FM]	[m ³ /t oTS]	[Vol.-%]
Grassilage	25-50	70-95	3,5-6,9	6,9-19,8	0,4-0,8	170-200	550-620	54-55

Tabelle 4-10: Schwermetallgehalte von Grassilage [4-10]

Substrat	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg TS]					
Grassilage	0,2	1,4	8,1-9,5	2,1	3,9	38-53

4.1.2.4 Grassilage

Der Anbau und die Ernte von Gras bzw. die Nutzung von Grassilage ist wie auch beim Mais gut mechanisierbar und relativ unproblematisch. Je nach Witterung und Klimabedingungen kann mit drei bis fünf Ernten im Jahr gerechnet werden. Die Menge an Grassilage, die letztlich für eine Verwertung in Biogasanlagen verbleibt, hängt von mehreren Faktoren ab. Dies sind im Wesentlichen:

- Bodenqualität
- Klimabedingungen
- Pflanzenart und -sorte
- Reifegrad zum Erntezeitpunkt
- Art der Konservierung und Lagerung

Auf Grund der Vielfalt dieser Faktoren ist eine verlässliche Angabe von Ernteerträgen nicht möglich. Nachfolgend sind deshalb nur die spezifischen Stoffdaten (Tabelle 4-9) sowie die Gehalte an Schwermetallen (Tabelle 4-10) aufgeführt.

Es sei noch angemerkt, dass die Grassilage in den Milchviehregionen den Hauptbestandteil des Winterfutters darstellt. Eine Verwertung der Grassilage als Rohstoff für Biogasanlagen kann hier also nur von Grünlandflächen erfolgen, die nicht zur Futtergewinnung benötigt werden. Jedoch können auch Stilllegungsflächen zum Anbau von Ackergras genutzt werden.



4.2 Substrate aus der weiterverarbeitenden Agroindustrie

4.2.1 Bierherstellung

Bei der Produktion von Bier fallen verschiedene Nebenprodukte an, von denen Treber mit 75 % den Hauptanteil ausmacht. Je Hektoliter Bier fallen ca. 19,2 kg Treber, 2,4 kg Hefe und Geläger, 1,8 kg Heißtrub, 0,6 kg Kühltrub, 0,5 kg Kieselgurschlamm und 0,1 kg Malzstaub an /4-15/.

In diesem Kapitel wird nur der Treber näher betrachtet, da er die mengenmäßig größte Fraktion darstellt. Dennoch sind die übrigen Fraktionen bis auf den Kieselgurschlamm ebenso gut für eine Verwen-

dung in Biogasanlagen geeignet. Allerdings ist derzeit nur ein Teil der anfallenden Mengen auch tatsächlich nutzbar, da die anfallenden Produkte auch anderweitig, z. B. in der Lebensmittelindustrie (Bierhefe) oder als Tierfutter (Treber, Malzstaub) eingesetzt werden.

In Tabelle 4-11 sind Kenndaten des Trebers aufgezeigt.

Die Schadstoffgehalte des Trebers lassen sich aus Tabelle 4-12 ersehen.

Die Lagerung und das Handling sind relativ unproblematisch. Allerdings treten bei längerer Lagerung beachtliche Energieverluste und Schimmelpilzbefall auf, weswegen in einem solchen Fall eine Silierung empfehlenswert ist.

Tabelle 4-11: Stoffeigenschaften von Biertreber /4-1/, /4-15/

Substrat	TS	OTS	N	NH ₄	P ₂ O ₅	Biogasertrag		CH ₄ -Gehalt
	[%]	[% TS]	[% TS]			[m ³ /t FM]	[m ³ /t oTS]	[Vol.-%]
Biertreber	20-25	70-80	4-5	n.a.	1,5	105-130	580-750	59-60

Tabelle 4-12: Schwermetallgehalte von Biertreber /4-10/

Substrat	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg TS]					
Biertreber	0,1-0,2	0,5	15	0,5	0,3	76

4.2.2 Alkoholgewinnung

Schlempen entstehen als Nebenprodukt bei der Alkoholherstellung aus Getreide, Kartoffeln oder Obst.

Bei der Alkoholerzeugung fällt je Liter Alkohol etwa die 12-fache Menge Schlempe an, welche derzeit hauptsächlich als Viehfutter oder als Düngemittel eingesetzt wird /4-15/.

In Tabelle 4-13 sind die Stoffdaten einzelner Schlempen sowie deren Gasausbeuten und Methan-gehalte aufgeführt. Allerdings liegen nur unvollständige Analysewerte vor.

Besondere Anforderungen an Hygienemaßnahmen bestehen im Allgemeinen nicht, auch weisen Schlempen in der Regel nur geringe Konzentrationen an Schadstoffen oder Schwermetallen auf.

Tabelle 4-13: Stoffeigenschaften von Alkoholschlempen /4-1/, /4-15/

	TS	oTS	N	P ₂ O ₅	Biogasertrag		CH ₄ -Gehalt
	[%]	[% TS]	[% TS]		[m ³ /t FM]	[m ³ /t oTS]	[Vol.-%]
Getreideschlempe	6 - 8	83-88	6-10	3,6-6	30-50	430-700	58-65
Kartoffelschlempe	6 - 7	85-95	5-13	0,9	36-42	400-700	58-65
Obstschlempe	2 - 3	ca. 95	n.a.	0,73	10-20	300-650	58-65

4.2.3 Kartoffelverarbeitung (Stärkeherstellung)

Bei der Stärkeherstellung aus Kartoffeln fällt neben organisch belasteten Abwässern auch sogenannte Kartoffelpülpe als Nebenprodukt an. Diese besteht hauptsächlich aus Schalen, Zellwänden und nicht aufgeschlossenen Stärkezellen, welche nach der Stärkegewinnung übrigbleiben. Je Tonne verarbeiteter Kartoffeln fallen ungefähr 240 kg Pülpe sowie 760 Liter Kartoffelfruchtwasser und 400-600 Liter sogenanntes Prozesswasser /4-16/ an.

Derzeit wird ein Teil der Pülpe als Viehfutter wieder an die Landwirte abgegeben und der größte Teil des Fruchtwassers als Dünger auf die Felder ausgebracht. Da aber die Verfütterung nur einen kleinen Teil der anfallenden Menge ausmacht und das Ausbringen des Fruchtwassers zu einer Überdüngung der Flächen und zur Versalzung des Grundwassers führen kann, müssen mittelfristig alternative Verwertungsmöglichkeiten gefunden werden.

Eine Möglichkeit ist die Verwertung in Biogasanlagen, da es sich bei den Nebenprodukten um gut vergärbare Substrate handelt. Die stofflichen Eigenschaften sind in Tabelle 4-14 dargestellt.

In Tabelle 4-15 sind die Konzentrationen an Spurenelementen im Substrat angegeben. Zu beachten sind die relativ hohen Kalium- und Chloridgehalte, welche unter Umständen zu einer Hemmung des Gärprozesses führen können.

Fremd- und Störstoffe sind nicht zu erwarten, da diese schon vor oder während der Stärkegewinnung abgetrennt wurden.

Besondere Anforderungen an Hygienemaßnahmen oder die Lagerung bestehen nicht, es sollte jedoch beachtet werden, dass Frucht- und Prozesswasser bei Lagerung in Vorratsbehältern für den Gärprozess wieder erwärmt werden muss, was zusätzliche Energie benötigt.

Tabelle 4-14: Stoffeigenschaften der Nebenprodukte der Stärkeerzeugung

Substrat	TS	oTS	N	NH ₄	P ₂ O ₅	Biogasertrag		CH ₄ -Gehalt
	[%]	[% TS]				[m ³ /t FM]	[m ³ /t oTS]	
Pülpe (frisch)	ca. 13	ca.90	0,5-1	0,04	0,1-0,2	80-90	650-750	52-65
Fruchtwasser	3,7	70-75	4-5	0,8-1	2,5-3	50-56	1500-2000	50-60
Prozesswasser	1,6	65-90	7-8	0,6-0,8	2-2,5	55-65	3000-4500	50-60

Tabelle 4-15: Mineralstoffe und Spurenelemente

Substrat	K ₂ O	Ca	Cl	Na	Mg	NO ₃ -N
	[mg/kg FM]					
Kartoffelpülpe (frisch)	1814	19,3	4,8	262,5	154,1	0,56
Fruchtwasser	5557,8	34,2	1320	39,9	222,1	85,93
Prozesswasser	2196	18	235,5	60,1	66,1	14,48

4.2.4 Zuckergewinnung

Bei der Verarbeitung von Zuckerrüben zur Herstellung von Kristallzucker fallen verschiedene Nebenprodukte an, die hauptsächlich als Viehfutter verwendet werden. Dies sind zum Einen sogenannte Nass-Schnitzel, die nach dem Zerkleinern der Rüben und der anschließenden Extraktion des Zuckers anfallen, und zum Anderen die Melasse, die durch Abtrennen der Zuckerkristalle von dem eingedickten Zuckersirup gewonnen wird. Ein Teil der Schnitzel wird durch Einmischen von Melasse und durch Abpressen

des enthaltenen Wassers zu Melasseschnitzel weiterverarbeitet und ebenfalls als Tierfutter eingesetzt.

Die Melasse wird neben der Verwendung als Tierfutter auch als Rohstoff in Hefefabriken oder Brennerien eingesetzt. Zwar ist dadurch die verfügbare Menge stark eingeschränkt, jedoch stellen Rübenschnitzel und Melasse auf Grund des Restzuckergehaltes ein gutes Kosubstrat für die Biogasproduktion dar (vgl. Tabelle 4-16).



Tabelle 4-16: Stoffeigenschaften von Pressschnitzel und Melasse /4-1/, /4-15/, /4-17/

Substrat	TS	oTS	N	P ₂ O ₅	Biogasertrag		CH ₄ -Gehalt
	[%]	[% TS]	[% TS]		[m ³ /t FM]	[m ³ /t oTS]	[Vol.-%]
Pressschnitzel	22 - 26	ca. 95	n.a.	n.a.	60-75	250-350	70-75
Melasse	80 - 90	85-90	1,5	0,3	290-340	360-490	70-75

Tabelle 4-17: Gehalte an Schwermetallen /4-18/

Substrat	Cd	Cr	Hg	Mn	Zn	Sn	Ni	Cu	Fe
	[mg/kg Frischmasse]								
Pressschnitzel	0,35	4,40	0,01	25,6	22,4	0,16	2,0	4,31	194
Melasse	0,12	0,20	<0,01	29,6	32,0	0,18	2,99	2,69	32,3

Als Substrat für Biogasanlagen sind, wie zu ersehen ist, die Nebenprodukte der Zuckerindustrie gut geeignet. Allerdings eignen sich die Substrate auf Grund des hohen Trockenmassegehalts nicht für eine Monovergärung. In Verbindung mit z.B. Gülle stellen sie aber ein gutes Kosubstrat dar. Die Schwermetallgehalte der Nebenprodukte zeigt Tabelle 4-17.

Bedingt durch den Entzuckerungsprozess können Fremd- und Störstoffe praktisch ausgeschlossen werden. Besondere hygienische Anforderungen an Lagerung und Verwendung bestehen derzeit nicht.

Die Pressschnitzel werden zur längeren Haltbarkeit einsiliert, die Melasse in entsprechenden Vorratsbehältern gelagert. Dies ist auch vor dem Hintergrund der saisonalen Verfügbarkeit der Zuckerrüben bzw. der Nebenprodukte (September bis Dezember) notwendig, um eine ganzjährige Versorgung zu sichern.

4.2.5 Nebenprodukte der Obstverarbeitung

Bei der Verarbeitung von Trauben und Obst zu Wein und Fruchtsaft fallen sogenannte Trester als Nebenprodukte an. Diese werden wegen ihrer noch hohen Gehalte an Zucker bevorzugt als Rohstoff für die Alkoholherstellung genutzt. Aber auch als Viehfutter oder als Grundstoff für die Pektinherstellung finden die Trester Verwendung. Je Hektoliter Wein bzw. Fruchtsaft fallen ca. 25 kg Trester und je Hektoliter Fruchtnektar rund 10 kg Trester an /4-15/. Die wichtigsten Stoffdaten sind in den Tabellen 4-18 und 4-19 aufgeführt.

Fremd- oder Störstoffe sind auf Grund des vorhergehenden Produktionsprozesses nicht zu erwarten, auch ist eine Hygienisierung nicht notwendig. Bei längerer Lagerung ist auch eine Silierung der Substrate möglich.

Tabelle 4-18: Stoffeigenschaften von Trester /4-1/, /4-15/

Substrat	TS	oTS	N	P	Biogasertrag		CH ₄ -Gehalt
	[%]	[% TS]	[% TS]		[m ³ /t FM]	[m ³ /t oTS]	[Vol.-%]
Apfeltrester	25-45	85-90	1,1	0,3	145-150	660-680	65-70
Obsttrester	25-45	90-95	1-1,2	0,5-0,6	250-280	590-660	65-70
Rebentrester	40-50	80-90	1,5-3	0,8-1,7	250-270	640-690	65-70

Tabelle 4-19: Schwermetallgehalte von Trester /4-1/

Substrat	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg TS]					
Apfeltrester	0,3	1,6	7,8	n.a.	3,4	6,7
Obsttrester	n.a.	0,06	7,8	3	0,7	25
Rebentrester	0,5	5	150	2,5	n.a.	75

4.3 Organische Reststoffe aus Kommunen und Haushalten

In diesem Kapitel sind eine Reihe von Stoffen zusammengefasst, die zwar im Allgemeinen als Abfall nicht weiter beachtet werden, sich aber auf Grund der organischen Herkunft gut als Substrate in Biogasanlagen einsetzen lassen. Es werden an dieser Stelle folgende Stoffe berücksichtigt: die Biotonne aus der kommunalen Abfallentsorgung, Speisereste und überlagerte Lebensmittel vor allem aus Großküchen, Marktabfälle, Schlachtrückstände sowie Fettabscheiderrückstände.

Um eine Ausbreitung von Krankheiten oder Seuchen zu verhindern, müssen bei den hier betrachteten Stoffgruppen besondere hygienische Anforderungen

erfüllt werden. Diese werden durch die Bioabfallverordnung (BioAbfV) und die EU-Verordnung Nr. 1774/2002 sowie deren Durchführungsbestimmungen vorgeschrieben. Auch die Verwertung der anfallenden Gärreste ist durch die genannten Regelwerke eingeschränkt und nur mit erheblichen Auflagen möglich.

Die Zusammensetzung der einzelnen Substrate schwankt teilweise sehr stark, da nach Anfall unterschiedliche Fraktionen in den einzelnen Stoffklassen vorhanden sind. Die Spannweiten der Stoffeigenschaften von Reststoffen und Schlachtrückständen sind in den Tabellen 4-20 und 4-21 zusammengefasst.

Auf Grund ihrer Herkunft weisen die hier betrachteten Substrate nur geringe Konzentrationen an Schwermetallen auf (Tabelle 4-22).

Tabelle 4-20: Stoffeigenschaften organischer Reststoffe /4-1/, /4-14/

Substrat	TS	oTS	N	NH ₄	P ₂ O ₅	Biogasertrag		CH ₄ -Gehalt
	[%]	[% TS]		[% TS]		[m ³ /t FM]	[m ³ /t oTS]	[%]
Biotonne	40-75	50-70	0,5-2,7	0,05-0,2	0,2-0,8	80-120	150-600	58-65
Speisereste und überlagerte Lebensmittel	9-37	80-98	0,6-5	0,01-1,1	0,3-1,5	50-480	200-500	45-61
Marktabfälle	15-20	80-90	3-5	n.a.	0,8	45-110	400-600	60-65
Fettabscheider	2-70	75-93	0,1-3,6	0,02-1,5	0,1-0,6	11-450	ca. 700	60-72

Tabelle 4-21: Stoffeigenschaften von Schlachtrückständen /4-1/, /4-14/

Substrat	TS	oTS	N	NH ₄	P ₂ O ₅	Biogasertrag		CH ₄ -Gehalt
	[%]	[% TS]		[% TS]		[m ³ /t FM]	[m ³ /t oTS]	[%]
Mageninhalt (Schwein)	12-15	75-86	2,5-2,7	n.a.	1,05	20-60	250-450	60-70
Panseninhalt	11-19	80-90	1,3-2,2	0,4-0,7	1,1-1,6	20-60	200-400	58-62
Flotatschlamm	5-24	80-95	3,2-8,9	0,01-0,06	0,9-3	35-280	900-1200	60-72

Tabelle 4-22: Schwermetallgehalte von organischen Reststoffen und Schlachtabfällen /4-1/

Substrat	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg TS]					
Biotonne	0,3-0,6	7-25	14-21	5,5-10	n.a.	88-105
Speisereste (+ überl. LM)	n.a.	n.a.	7	n.a.	n.a.	67
Fettabscheider	n.a.	n.a.	44	n.a.	n.a.	290
Marktabfälle	0,8	8,5	12,2	8,5	4,6	94
Mageninhalt (Schwein)	n.a.	n.a.	49-53	n.a.	n.a.	163-190
Panseninhalt	2	33	5-99	20	20	71-321
Flotatschlamm	n.a.	n.a.	39-80	n.a.	n.a.	281-380

Je nach Reinheit der Substrate müssen allerdings Fremd- und Störstoffe wie Plastik, Knochen, Gummibänder etc. vor dem Einbringen in die Biogasanlage entfernt werden, um Störungen im Anlagenbetrieb zu vermeiden. Gerade der Inhalt der Biotonne weist oft viele dieser unerwünschten Stoffe auf.

Hier bestehen, anders als bei den bisher betrachteten Substraten, erhebliche Anforderungen an die Seuchenhygiene. Dies trifft insbesondere auf die Schlachtabfälle zu, da hier ein besonderes Risiko besteht. Auf Grund der ab Mai 2003 gültigen EU-Verordnung 1774 werden alle bedenklichen Stoffe je nach seuchenhygienischen Bedenken in drei Kategorien eingeteilt. Eine Verarbeitung dieser Substrate ist ohne vorherige Hygienisierung nicht zulässig, zudem werden Mindestanforderungen an die Lagerung sowie die Biogasanlagen gestellt /4-19/.

Für einen zügigen Abbau der Substrate muss den Bakterien genügend Angriffsfläche geboten werden, weswegen die eingesetzten Substrate vorher gründlich zerkleinert und homogenisiert werden müssen. Können die Vorgaben erfüllt werden, sind die organischen Reststoffe gute Kosubstrate mit relativ guten Gasausbeuten (siehe Tabellen 4-20 und 4-21).

4.4 Grün- und Rasenschnitt

Durch die kommunale Pflege von Parkflächen und begrüntem Straßenrändern fällt eine Menge an Grün- und Rasenschnitt an. Da dieses Material aber nur saisonal anfällt, muss es für eine ganzjährige Bereitstellung als Biogas-Substrat siliert werden. Dies ist aber wegen des weit verstreuten Aufkommens nur bedingt sinnvoll, will man zu hohe Transportkosten vermeiden.

Abgesehen davon ist es ein gut zu vergärendes Kosubstrat, auf Grund des hohen Trockensubstanzgehalts ist es aber als Monosubstrat nicht zu empfehlen. Einige wichtige Stoffdaten sowie die Biogasausbeute und den Methangehalt zeigen die Tabellen 4-23 und 4-24.

Das Handling ist bis auf die angesprochenen logistischen Schwierigkeiten bei der Silierung unproblematisch. Eventuell muss das Material vor Einbringen in die Biogasanlage von Störstoffen wie Ästen oder Steinen befreit und homogenisiert werden. Eine Hygienisierung ist in der Regel nicht erforderlich.

Tabelle 4-23: Stoffeigenschaften von Grünschnitt /4-1/, /4-15/

Substrat	TS	oTS	N	P	Biogasertrag		Methangehalt
	[%]	[% TS]	[% TS]		[m ³ /t FM]	[m ³ /t oTS]	[Vol.-%]
Grünschnitt	ca. 12	83-92	2-3	1,5-2	150-200	550-680	55-65

Tabelle 4-24: Schwermetallgehalte von Grünschnitt /4-1/

Substrat	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg TS]					
Grünschnitt	0,7-2,1	4-9	10-21	1-9	70	8

4.5 Anhang

Tabelle 4-25: Zusammenfassung der Substrate

Substrat	TS	oTS	N	NH ₄	P	Biogasertrag		CH ₄ -Gehalt
	[%]	[% TS]		[% TS]		[m ³ /t FM]	[m ³ /t oTS]	[Vol.-%]
Wirtschaftsdünger								
Rindergülle	8-11	75-82	2,6-6,7	1-4	0,5-3,3	20-30	200-500	60
Schweinegülle	ca.7	75-86	6-18	3-17	2-10	20-35	300-700	60-70
Rindermist	ca. 25	68-76	1,1-3,4	0,22-2	1-1,5	40-50	210-300	60
Schweinemist	20-25	75-80	2,6-5,2	0,9-1,8	2,3-2,8	55-65	270-450	60
Hühnermist	ca. 32	63-80	5,4	0,39	n.a.	70-90	250-450	60
Nachwachsende Rohstoffe								
Maissilage	20-35	85-95	1,1-2	0,15-0,3	0,2-0,3	170-200	450-700	50-55
Roggen-GPS	30-35	92-98	4,0	0,57	0,71	170-220	550-680	ca. 55
Zuckerrübe	23	90-95	2,6	0,2	0,4	170-180	800-860	53-54
Masserübe	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,3	75-100	620-850	53-54
Gehaltsrübe	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,4	75-100	620-850	53-54
Rübenblatt	16	75-80	0,2-0,4	n.a.	0,7-0,9	ca. 70	550-600	54-55
Grassilage	25-50	70-95	3,5-6,9	6,9-19,8	0,4-0,8	170-200	550-620	54-55
Substrate der weiterverarbeitenden Agrarindustrie								
Biertreber	20-25	70-80	4-5	n.a.	1,5	105-130	580-750	59-60
Getreideschlempe	6 - 8	83-88	6-10		3,6-6	30-50	430-700	58-65
Kartoffelschlempe	6 - 7	85-95	5-13		0,9	36-42	400-700	58-65
Obstschlempe	2 – 3	ca. 95	n.a.		0,73	10-20	300-650	58-65
Pülpe (frisch)	ca. 13	ca.90	0,5-1	0,04	0,1-0,2	80-90	650-750	52-65
Fruchtwasser	3,7	70-75	4-5	0,8-1	2,5-3	50-56	1500-2000	50-60
Prozesswasser	1,6	65-90	7-8	0,6-0,8	2-2,5	55-65	3000-4500	50-60
Pressschnitzel	22 - 26	ca. 95	n.a.		n.a.	60-75	250-350	70-75
Melasse	80 - 90	85-90	1,5		0,3	290-340	360-490	70-75
Apfelfrester	25-45	85-90	1,1		0,3	145-150	660-680	65-70
Obsttrester	25-45	90-95	1-1,2		0,5-0,6	250-280	590-660	65-70
Rebentrester	40-50	80-90	1,5-3		0,8-1,7	250-270	640-690	65-70
Organische Reststoffe aus Kommunen / Schlachtrückstände								
Biotonne	40-75	50-70	0,5-2,7	0,05-0,2	0,2-0,8	80-120	150-600	58-65
Speisereste und überlagerte Lebensm.	9-37	80-98	0,6-5	0,01-1,1	0,3-1,5	50-480	200-500	45-61
Marktabfälle	5-20	80-90	3-5	n.a.	0,8	45-110	400-600	60-65
Fett aus Fettabscheidern	2-70	75-93	0,1-3,6	0,02-1,5	0,1-0,6	11-450	ca. 700	60-72
Mageninhalt (Schwein)	12-15	75-86	2,5-2,7	n.a.	1,05	20-60	250-450	60-70
Panseninhalt	11-19	80-90	1,3-2,2	0,4-0,7	1,1-1,6	20-60	200-400	58-62
Flotatschlamm	5-24	80-95	3,2-8,9	0,01-0,06	0,9-3	35-280	900-1200	60-72
Grün- und Rasenschnitt								
Grünschnitt	ca. 12	83-92	2-3		1,5-2	150-200	550-680	55-65



4.6 Literaturverzeichnis

- 
- /4-1/ KTBL Arbeitspapier 249 – Kofermentation; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft – KTBL; Darmstadt 1998
- /4-2/ KTBL Taschenbuch Landwirtschaft 2002/03; 21. Aufl.; Darmstadt; 2002
- /4-3/ Zur einheitlichen Ableitung von Schwermetallgrenzen in Düngemitteln“; Workshop, Umweltbundesamt; Berlin 2002
- /4-4/ Weiland, P.: Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und –erzeugung in Deutschland; Gülzoer Fachgespräche, Band 15: Energetische Nutzung von Biogas: „Stand der Technik und Optimierungspotenzial“; S. 8-27; Weimar 2000
- /4-5/ Verordnung (EG) Nr. 1251/1999; der Kommission; Brüssel 1999
- /4-6/ Verordnung (EG) Nr. 2461/1999; der Kommission; Brüssel 1999
- /4-7/ Merkblatt zur Verwendungskontrolle Nachwachsener Rohstoffe in hofeigenen Biogasanlagen; Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung (BLE); Frankfurt/M. 2002
- /4-8/ Merkblatt zur Verwendungskontrolle Nachwachsener Rohstoffe in nicht hofeigenen Biogasanlagen; Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung (BLE); Frankfurt/M. 2002
- /4-9/ LUFA Oldenburg: Maissilagequalität; Download vom 17.03.2003, <http://www.lufa-oldenburg.de/maissilage.htm>
- /4-10/ Endbericht zum Projekt „Erfassung von Schwermetallströmen in landwirtschaftlichen Produktionsbetrieben“ (in Vorbereitung); Umweltbundesamt; Berlin 2003
- /4-11/ Dörfler, H. (Hrsg.): Der praktische Landwirt; 4. Aufl.; BLV Verl.-Ges., München; 1990
- /4-12/ Hassan, E.: Untersuchungen zur Vergärung von Futterrübensilage; BLE-Projekt Az. 99UM031; Abschlußbericht; Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig; 2001
- /4-13/ Keymer, U.: Wirtschaftlichkeit und Förderung von Biogasanlagen; Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, München; <http://www.regierung.niederbayern.bayern.de/wirfuersie/biogas/UlrichKeymer.pdf>, Download vom 29.08.2003
- /4-14/ Schattner, S.; Gronauer, A.: Methanbildung verschiedener Substrate – Kenntnisstand und offene Fragen; aus: Gülzower Fachgespräche, Band 15: „Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial“; S. 28-38, Weimar, 2000
- /4-15/ Wilfert, R.; Schattauer, A.: Biogasgewinnung und –nutzung – Eine technische, ökonomische und ökologische Analyse; DBU-Projekt, 1. Zwischenbericht; Institut für Energetik und Umwelt GmbH, Leipzig; Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig; 2002
- /4-16/ Umweltbericht; Emsland-Stärke; Download vom 16.09.2002; <http://www.emsland-staerke.de/d/umwelt.htm>
- /4-17/ Schnitzel und Melasse – Daten, Fakten, Vorschriften; Verein der Zuckerindustrie; Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, 1996
- /4-18/ Konzept zur Qualität und Produktsicherheit für Futtermittel aus der Zuckerrübenverarbeitung; Broschüre; 2. Aufl.; Verein der Zuckerindustrie; 2003
- /4-19/ Verordnung (EG) Nr. 1774/2002; Anh. VI; der Kommission; Brüssel 2002