

Thüringer Landesanstalt
für Landwirtschaft



Standpunkt

zur

Erzeugung und Verwendung von Biogas in der Landwirtschaft



Besuchen Sie uns auch im Internet:
www.tll.de/ainfo

Impressum

3. überarbeitete Auflage, 2002

Herausgeber: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
Naumburger Straße 98, 07743 Jena
Tel.: (03641) 683-0, Fax: (03641) 683 390
eMail: pressestelle@jena.tll.de

Autoren: **Dr. -Ing. Gerd Reinhold**
Prof. Dr. habil. Gerhard Breitschuh

Januar 2002

- Nachdruck - auch auszugsweise - nur mit Quellenangabe gestattet. -

1 Ausgangsbedingungen in Thüringen

Biogas (Faulgas) entsteht unter Sauerstoffabschluss aus organischer Masse durch die anaerobe Fermentation (Gärung) und ist aufgrund seines Methangehaltes energetisch nutzbar.

Besonders durch das am 1. April 2000 in Kraft getretene Erneuerbare-Energien-Gesetz (Sicherung von stabilen Einspeisevergütungen für Strom aus nicht fossilen Quellen auf hohem Niveau), den deutlichen Ölpreisanstieg und die Wirkung der Ökosteuer (Erhöhung des Preisniveaus fossiler Energieträger) wurden Rahmenbedingungen geschaffen, die eine Rentabilität von kapitalintensiven Maßnahmen mit langsamer Rückflussdauer, wie die Errichtung einer landwirtschaftlichen Biogasanlage, auch unter den Bedingungen eines liberalisierten Strommarktes kalkulierbar gestalten.

In Thüringen gibt es 16 landwirtschaftliche Biogasanlagen (Stand Dez. 2001), die den spezifischen örtlichen Bedingungen großer Tierhaltungsbetriebe angepasst sind (Tab. 1). Weitere landwirtschaftliche Biogasanlagen werden zurzeit vorbereitet.

Tabelle 1: Landwirtschaftliche Biogasanlagen in Thüringen (Stand Dez. 2001)



	Anzahl	Faulraum	installierte Gasverwertung	
		m ³	kW _{elektrisch}	kW _{thermisch} ¹⁾
Altanlagen bzw. Wiederinbetriebnahme	2	19 000	720	ca. 2 600 ²⁾
nach 1990 errichtete Anlagen	14	31 900	4 375	ca. 9 700
in Bau, vorbereitete bzw. geplante Anlagen	ca. 30	ca. 60 000	ca. 8 500	ca. 17 000

1) ohne Abzug der Prozessenergie

2) incl. Heizkessel

Die relativ großen Tierbestände und damit der konzentrierte Anfall organischer Dünger bieten günstige Voraussetzungen für die Betreibung von Biogasanlagen. So werden z. B. 55 % der Schweine in Anlagen mit mehr als 3 000 Tieren gehalten. Ca. 50 % der Milchkühe und ein Großteil der Schweine stehen in Gülleställen. Die TS-normierte Wirtschaftsdüngeremenge der Rinder- und Schweinehaltung Thüringens entspricht 516 kt/a organischer Trockensubstanz (oTS). Daraus könnten theoretisch 90 Mio. m³ CH₄/a erzeugt werden (Tab. 2).

Tabelle 2: Wirtschaftsdüngeranfall der Rinder- und Schweinehaltung Thüringens

Tierbestand	Wirtschaftsdüngeranfall			oTS -Anfall kt /a	CH ₄ -Bildung	
	Art	kt/a	TS		theoretisch	gewinnbar ¹⁾
Mio. m ³ /a						
Rinder  445 000 Tiere	Gülle	1 739	10 %	130	82,2	62
	Stallmist	1 686	25 %	246		
	Jauche	453	1 %	2		
Schweine  660 000 Tiere	Gülle	678	10 %	48	36,6	28
	Stallmist	436	25 %	87		
	Jauche	178	1 %	1		
Summe				516	118,8	90

1) ohne Tierbestände unter 100 GV; Abzug für Rotteverluste und den nicht vergärbaren Ligninanteil

Dieses Potenzial entspricht ca. 90 000 m³/a Heizöl bzw. 1,24 % des Primärenergiebedarfs von Thüringen. Bei Unterstellung von 30 % elektrischem und 45 % thermischem Wirkungsgrad der Energiewandlung könnten jährlich 270 000 000 kWh Elektroenergie und 280 000 000 kWh Wärme (nach Abzug der Prozessenergie) als Nutzenergie bereitgestellt werden.

Diese Energiemenge ist ausreichend, um die Bürger von 200 Dörfern mit je 500 Einwohnern vollständig mit Wärme- und Elektroenergie zu versorgen. Durch Einsatz weiterer organischer Reststoffe aus der Landwirtschaft, der Lebensmittelindustrie bzw. aus dem kommunalen Bereich ließe sich das Potenzial weiter erhöhen.

2 Verfahrenstechnik

2.1 Biogasproduktion

Die Höhe der möglichen Biogasproduktion wird im Wesentlichen bestimmt durch:

S das **Substrat**

(Gehalt an TS, organischer Substanz und flüchtigen Fettsäuren, Tierart, Fütterung/Futterverwertung, ...)

S die **verfahrenstechnische Anlagenauslegung**

(Verweilzeit, Reaktorbelastung, Reaktionstemperatur, Vorsäuerung, ...).

Bedingt durch diese Einflussfaktoren besteht eine hohe Variabilität der erzielbaren Gasausbeute. Bei der Planung einer Biogasanlage ist eine anlagenkonkrete Abschätzung der potenziellen Gasproduktion unerlässlich. Die Substratprüfung sollte im Labormaßstab durch Faulversuche (möglichst kontinuierlich bzw. im Batch-Ansatz) mit repräsentativem Substrat erfolgen. Eine mögliche Steigerung der Gasproduktion z.B. durch die Zufuhr weiterer betriebseigener organischer Stoffe (Siloabraum, Futterreste, ...) ist zu beachten.

Überschlägig kann tierbezogen von **0,8...1,2 m³ Biogas pro GVE und Tag** bzw. substratbezogen von **0,2 ...0,4 m³ Biogas pro kg eingesetzte organische Trockensubstanz** ausgegangen werden.

In der landwirtschaftlichen Praxis sind mesophile Mehrreaktor-Rührkesselanlagen mit mechanisch bzw. hydraulischen Homogenisierungssystemen in Beton- und Stahlausführung am weitesten verbreitet. Zum Teil erfolgt die Ausrüstung der Anlagen mit kontrollierten Hydrolysestufen. Oft werden die Lagerbehälter mit Folieabdeckung versehen und als Nachgärbehälter genutzt.

2.2 Energieverwertung

Bei der Verstromung von Biogas wird ein elektrischer Wirkungsgrad von 25 ... 35 % erreicht (Abb. 1).

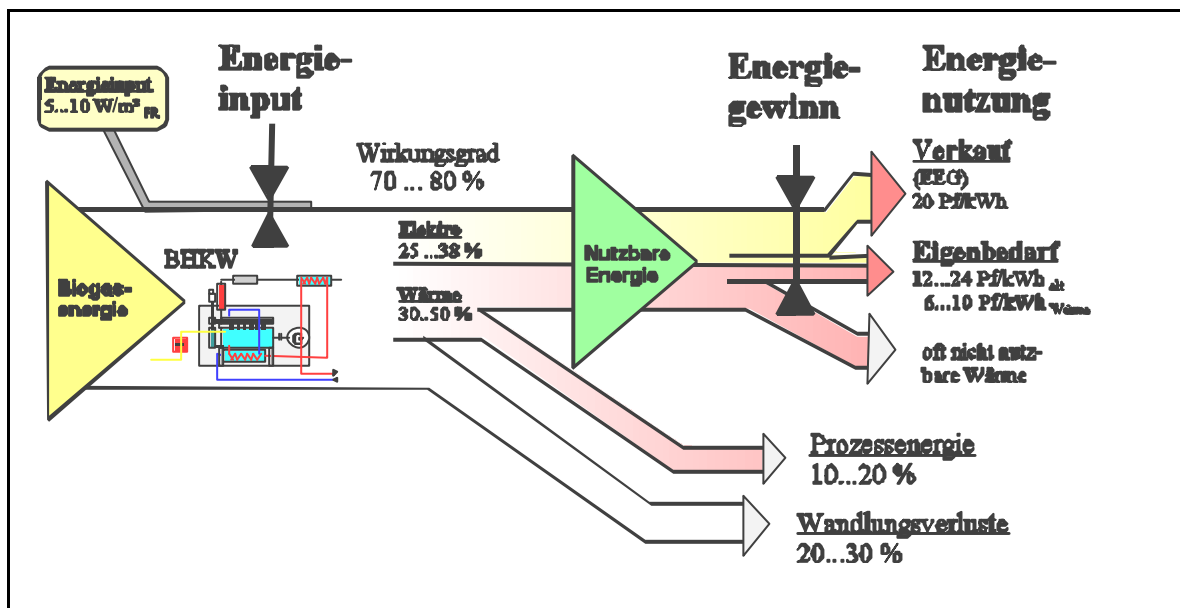


Abbildung 1: Energiefluss in einer landwirtschaftlichen Biogasanlage

Bedingt durch die Einspeisevergütung von 0,1012 $\text{€}/\text{kWh}$ (bis 500 kW BHKW-Leistung, Stand 2002) nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetzes ist trotz des zzt. hohen Heizölpreises ein eindeutiger Trend zur Verstromung des Biogases vorhanden.

Nach der Liberalisierung des Strommarktes kommt die vollständige Einspeisung des Bio-Stromes in das öffentliche Netz als ökonomische Vorzugsvariante in Frage. Eine komplette Verwertung der nach Abzug der Prozessenergie verfügbaren Wärmemengen ist besonders im Sommerhalbjahr kaum gegeben. Hier gilt es - unter Beachtung der steigenden Heizölpreise - strukturelle und standortbezogene Möglichkeiten zu erschließen, um diese Wärmemengen verwerten zu können.

Zur Verstromung können sowohl Zündstrahlmotoren als auch Gas-Otto-Motoren als Antriebsmaschinen für die BHKW-Generatoren eingesetzt werden. Aufgrund des etwas höheren elektrischen Wirkungsgrades erfolgt der vorrangige Einsatz von Zündstrahlmotoren. Diese benötigen ca. 10 % Heizöl als Zündbrennstoff und sind auch zum Anfahren der Biogasanlagen einsetzbar. Gas-Otto-Motoren verursachen oft höhere Investitionen, da sie als Rumpfmotoren nur in geringer Stückzahl gefertigt werden, realisieren aber geringere Emissionen (CO, NO_x) während des Betriebs.

3 Wirtschaftlichkeit der landwirtschaftlicher Biogaserzeugung

Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Biogasanlagen erfolgte anhand einer Modellanlage. Hierbei wurden bewusst nur sicher erreichbare Parameter unterstellt, um überzogene ökonomische Erwartungshaltungen zu vermeiden.

1. Verfahrenstechnik:

- S 20 000 m³ Gülleanfall pro Jahr (8 % TS),
- S 1 000 m³/d Biogaserzeugung (60 % CH₄) in zwei Reaktoren mit je 600 m³ Faulraum,
- S 100 kW Zündstrahl-BHKW (10 % Zündöleinsatz), 30 % elektrischer und 45 % thermischer Wirkungsgrad,
- S Personalaufwand 120 Arbeitskraftminuten/Tag (11 i /AKh).

2. Ökonomische Unterstellungen:

- S Investitionsvolumen von 400 Ti ,
- S 100 % Festzinsdarlehen mit 6 % über die normative Nutzungsdauer der Gesamtanlage von 15 Jahren,
- S Versicherungskosten 0,5 % der Investitionssumme,
- S Instandhaltungskosten 1,5 % der Investitionssumme plus 1,5 Cent/kWh_{elektrisch} Wartungskosten für das BHKW,
- S vollständiger Stromverkauf (10,124 Cent/kWh) und Nutzung von 50 % der verfügbaren Wärme (3 Cent/ kWh),
- S 30 Cent/Liter Zündölpreis, 7 Cent/kWh Stromzukaufspreis.

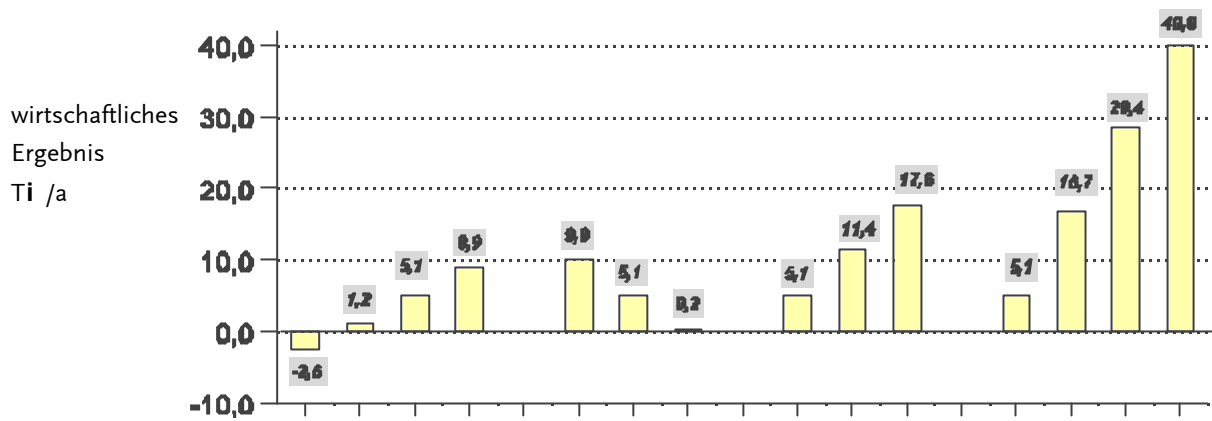
3. Kalkulationsergebnisse (Vollkosten ohne Förderung)

Kosten	Ti /a	Anteil (%)	Leistungen	Ti /a	Ergebnis Ti /a
Zinsen	12,0	(14,9 %)	Wärmeenergie	4,6	
Versicherungen	2,0	(2,5 %)	Elektroenergie	73,5	
Personalaufwand	8,0	(9,9 %)			
Wartung / Instandhaltung	16,9	(20,9 %)			
Hilfsstoffe					
Prozessstrom	4,4	(5,5 %)			
Zündöl	7,3	(9,0 %)			
Sonstige	1,5	(1,8 %)			
	2,0	(2,5 %)			
Verwaltung / Sonstiges					
Zwischensumme (ohne AFA)	54,1			78,1	24,0
AFA (bei 15 Jahren NND)	26,7	(33,0 %)			
Summe (mit AFA)	80,8			78,1	- 2,6

Ausgehend von den getätigten Unterstellungen folgt ein finanzielles Ergebnis von - 2,6 Ti /a für die Modellanlage. Ab einer Förderung in Höhe von 6,8 % des Investitionsvolumens wird ein ausgeglichenes Ergebnis erzielt.

Wesentlichen Einfluss auf die Rentabilität haben (Abb. 2):

- eine möglichen **Investförderung** (0 ... 30 %) durch Programme des Bundes (z. B. durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau) und Thüringens,
- unterschiedliche **Investitionsvolumina** (350 ... 450 Ti), die durch die Standortbedingungen, den Automatisierungsgrad, aber auch durch mögliche Eigenleistungen, die Verwendung vorhandener Ausrüstungsteile begründet sein können,
- unterschiedliche **elektrische Wirkungsgrade** der BHKW-Technik (30 .. 36 %) sowie
- die **Höhe der Gaserzeugung** (500 ... 800 m³ CH₄/d), die substratspezifisch sein kann bzw. durch Zuschlagstoffe erreicht wird.



Förderung	%	0	10	20	30		20		20		20						
Investitionsvolumen	Ti	400					350	400	450		400	400	413	426	438		
BHKW-Wirkungsgrad	%	30					30				30	33	36	30			
CH ₄ -Erzeugung	m ³ /d	600					600				600			600	700	800	900

Abbildung 2: Einflussfaktoren auf die Rentabilität der Biogaserzeugung

Anhand der vorliegenden Modellkalkulationen zeigt sich, dass ein wirtschaftlicher Anlagebetrieb einer Biogasanlage bei Nutzung der Förderungsmöglichkeiten und unter Umsetzung der entsprechenden verfahrenstechnischen und ökonomischen Unterstellungen gut erreicht werden kann.

Zusammenfassend lassen sich folgende Tendenzen für die Wirtschaftlichkeit ableiten:

- S **Kapitalbedingte Kosten** verursachen 40 ... 60 % der Gesamtkosten der Biogaserzeugung und sind deshalb besonders zu beachten.
- S **Wartungs- und Instandhaltungskosten** belaufen sich auf 20 ... 25 %.
- S **Personalkosten** betragen in Abhängigkeit vom Automatisierungsgrad und der Vergabe von Instandhaltungsleistungen (BHKW-Wartungsvertrag) 3 ... 10 %.
- S **Weitere Kosten** werden durch den Prozessstrombedarf (3 ... 10 W/m³_{Faulraum}), Hilfsstoffe (Zündöl, Wasser, ...), Leitung und Verwaltung und gegebenenfalls durch einen notwendigen Substrattransport der betriebseigenen Reststoffe bzw. der Wirtschaftsdünger (Vorschlag 2 ... 3 i /m³) hervorgerufen.
- S Die erzielbaren **Erlöse** werden bei fester Einspeisevergütung vorrangig durch die Höhe der Biogaserzeugung und dem BHKW-Wirkungsgrad bestimmt.
- S Andere Effekte der anaeroben Güllebehandlung (Geruchsentsorgung, mögliche Düngwertverbesserung, Hygienisierung, ...) sollten bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung nur dann Berücksichtigung finden, wenn sie im Betrieb direkt finanziell nachweisbar sind.

4 Rahmenbedingungen und Handlungsempfehlungen

4.1 Ko-Fermentation

Der Einsatz von **betriebseigenen organischen Reststoffen** (Futterreste, Siloabdeckmaterial, Hühnerkot...) führt zur Steigerung der Biogasproduktion und ist zu empfehlen. Mindestens einer der Reaktoren bzw. eine Vorgrube versieht man deshalb mit einem Einspülschacht für feste Reststoffe. Durch den Einsatz von Schneidpumpen o. ä. wird eine Zerkleinerung und eine gute Durchmischung der Reststoffe mit der Gülle realisiert.

Der zzt. diskutierte und z. T. auch schon praktizierte **Einsatz von Feldfrüchten** (z. B. Mais, Futterrüben, ...) ist eine weitere Möglichkeit, die Auslastung des Reaktorraums zu erhöhen und die Gasproduktion zu steigern, wenn das Potenzial der betrieblichen Reststoffe bereits ausgeschöpft wurde.

Die Bedingungen für die Ko-Fermentation **betriebsfremder, organischer Abfälle** aus der Lebensmittelindustrie (Schlempe, Schlachthofabfälle, Fettabfälle, Bleicherde, Verarbeitungsrückstände von Gemüse, Kartoffeln, ...) bzw. aus dem kommunalen Bereich (Bioabfall, Grünschnitt, ...) werden durch die seit September 1998 in Kraft getretene Bioabfallverordnung geregelt.

Der Einsatz von Abfällen tierischer Herkunft unterliegt dem Tierkörperbeseitigungsrecht (siehe auch Erlass des TMSFG vom 17.04.2001).

Beim Einsatz dieser Ko-Substrate muss die Biogasanlage den Forderungen der BioAbfV (direkte und indirekte Prozesskontrolle, Produktkontrolle, ...) genügen. Auch ist zu beachten, dass der eingesetzte Wirtschaftsdünger - unabhängig vom Ko-Substratanteil - den Forderungen der BioAbfV hinsichtlich Schwermetallgrenzwerte, Bodenuntersuchungen usw. unterliegt und definitionsgemäß zu Bioabfall wird.

4.2 Genehmigung der Anlagen

Die Schwelle der immissionschutzrechtlichen Genehmigung einer Biogasanlage wurde mit Wirkung vom August 2001 von 350 kW auf 1 000 kW Feuerungswärmeleistung (d.h. ca. 350 kW_{elektrisch}) erhöht. Genehmigungsrechtliche Probleme bereitet der Einsatz von Zündstrahlmotoren, da die Einhaltung der Grenzwerte der TA-Luft für Gasmotoren ($\text{CO} < 650 \text{ mg/m}^3$; $\text{NO}_x < 500 \text{ mg/m}^3$) nicht gesichert werden kann. Durch den Einsatz von Gas-Otto-Motoren ist die Einhaltung der Grenzwerte der TA-Luft leichter erreichbar. Allerdings führt der Einsatz dieser Motoren meist zur Verschlechterung der Rentabilität (geringerer Wirkungsgrad bei der Elektroenergieerzeugung, höhere Investsumme). Weiterhin wurde eine Genehmigungsgrenze von 10 t Abfall/d Durchsatzleistung eingeführt. Der Entwurf zur Novellierung der TA Luft enthält nach oben korrigierte Emissionsgrenzwerte, so dass zukünftig auch wieder der Einsatz von Zündstrahl-BHKWs möglich wird.

Oft ist die Durchführung des Genehmigungsverfahrens nach BImSchV auch aufgrund der Größe des Fermentors bzw. der Güllelagerung ($> 2 500 \text{ m}^3$) erforderlich. Da dieses Verfahren Rechtssicherheit für den Betrieb bringt, sollte es auch in Grenzfällen (Feuerungswärmeleistung bzw. Behältergröße) angestrebt werden.

Zusätzlich ist die im Jahre 2001 eingeführte Genehmigungsbedürftigkeit nach UVPG ab 250/350 Rinder zu beachten. Diese Umweltverträglichkeitsprüfung muss sofern diese noch nicht erfolgte, im Rahmen der Genehmigung der Biogasanlage mit eingeholt werden.

Die Energieversorger versuchen ungerechtfertigterweise die Regelungen des EEG zu erlaufen (Festlegung von willkürlichen Grenzen für die Zündölmenge, Nichtvergütung des Zündölanteils, Gebühren für die Netzprüfung, Zusatzbedingungen in den Einspeiseverträgen, ...). Hier sind Anstrengungen zur Erreichung einer gesetzeskonformen Praxis erforderlich.

4.3 Nebenwirkungen

Die anaerobe Fermentation führt zu Veränderungen in dem Substrat Gülle. Aus landwirtschaftlicher Sicht sind folgende Effekte zu beachten:

- **Inhaltsstoffveränderungen**

- * 10 ... 40% Abbau der organischen Substanz, kein Abbau von Lignin (Ringverbindungen),
- * Mineralisierung von organischem Stickstoff (NH_4 -Anteil steigt, N ist leichter pflanzenverfügbar),
- * keine Veränderungen bei den Mineralstoffgehalten.

- **Dungwirkung**

- * Mehrertrag bei Düngung in der Vegetationszeit und erhöhte Nährstoffverluste bei Vorratsbegüllung möglich,
- * reduzierte Ätzwirkung.

- **Umwelteffekte**

Verminderung der CO_2 -Emissionen, Geruchsminderung, Hygienisierung, Verminderung der Keimfähigkeit von Unkrautsamen.

Besonders die mögliche Steigerung der Dungwirkung wird oft überschätzt, was z. T. zu ungerechtfertigten Gutschriften bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung führt. Seitens der Umwelteffekte ist der Geruchsabbau ein wichtiges Argument für die Errichtung einer Anlage, auch um Auflagen wie Abstandsregelungen, Behälterabdeckung usw. zu vermeiden.

5 Schlussfolgerungen

- S **Thüringen** verfügt mit **16 Biogasanlagen** im Bereich der Landwirtschaft (Stand 12/2001) über eine geringe Anlagenanzahl, aber aufgrund der Anlagengröße über eine relativ große Fermentationskapazität von über 50 000 m³ (ca. 5 000 kW_{elektrisch}). Bedingt durch die Struktur der Tierproduktion bestehen in Thüringen gute Bedingungen für die Errichtung weiterer Biogasanlagen.
- S Die Monofermentation von Gülle ermöglicht einen **wirtschaftlichen Betrieb der Biogasanlage** bei entsprechenden strukturellen Bedingungen sowie investiver Anlagenförderung.
- S Finanziell nicht bewertbare Kriterien wie CO₂-Vermeidung, Geruchsminderung, Dungwertverbesserung oder Hygienisierung wirken positiv im Entscheidungsprozess für die Errichtung einer Biogasanlage.
- S Zur Absicherung der Investition wird eine **Substratprüfung** bezüglich der Biogasausbeute empfohlen. Diese im Labormaßstab durchzuführenden Faulversuche mit repräsentativem Substrat liefern übertragbare Aussagen zum Biogasbildungspotenzial für die zu errichtenden Großanlagen und ermöglichen eine deutliche Verminderung des Investitionsrestrisikos.
- S Bei der Anlagenplanung sollte die Möglichkeit zur **Ko-Fermentation** biogener Reststoffe und nachwachsender Rohstoffe insbesondere bei der Bemessung des Faulraumvolumens mit beachtet werden. Vorrangig ist beim Einsatz von biogenen Zusatzstoffen auf betriebseigene Reststoffe (Futterreste, Siloabdeckmaterial, ...) zu orientieren, um Konflikte mit der Bioabfallverordnung zu vermeiden. Der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen (Mais, Gras, ...) gewinnt in zunehmenden Maße an Bedeutung.

Bei der Verarbeitung von organischen Reststoffen aus der Lebensmittelerzeugung oder aus dem kommunalen Bereich - fungiert der Landwirt als Entsorger. Über die Entsorgungsgebühr wird die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen verbessert. Zu beachten sind besonders die Forderungen der BioAbfV und des Tierkörperbeseitigungsrechtes.
- S Die **Genehmigung der Anlage** muss meist auch aufgrund der BHKW-Größe nach BImSchV erfolgen. Hier bereitet z.T. die Einhaltung der Grenzwerte der TA-Luft mit den Zündstrahlmotoren Probleme. Die Energieversorgungsunternehmen sind bereits in der Phase der Anlagenplanung einzubeziehen, um die Einspeisebedingungen gesetzeskonform auszuhandeln und mögliche Hemmnisse frühzeitig zu beseitigen.