

Biogas

Einspeisung und Systemintegration
in bestehende Gasnetze

M. TheiBing

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

1/2006

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>
oder unter:

Projektfabrik Waldhör
Währinger Straße 121/3, A-1180 Wien
Email: versand@projektfabrik.at

Biogas Einspeisung und Systemintegration in bestehende Gasnetze

DI Dr. Matthias Theißing

FH JOANNEUM Gesellschaft mbH

Wien, Jänner 2006

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT. Sie wurde 2003 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT soll durch Forschung und Technologieentwicklung die Gesamteffizienz von zukünftigen Energiesystemen deutlich verbessert und eine Basis zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energieträger geschaffen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und involvierten Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Mehrfache Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist, die Projektergebnisse – sei es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit leicht zugänglich zu machen. Durch die Homepage www.ENERGIESYSTEMEderZukunft.at und die **Schriftenreihe "Nachhaltig Wirtschaften konkret"** soll dies gewährleistet werden.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
Kurzfassung	III
Abstract	V
Kurzfassung II	VII
Abstract II	XII
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Projektziele	2
1.3 Projektteam.....	3
1.4 Projektablauf.....	4
2 Methodik	7
2.1 Systemgrenze.....	7
2.2 Systemelemente	8
2.3 Systemstruktur.....	8
3 Gasnetz	11
3.1 Gasnetz – Topologie und Verbrauchsprofile	11
3.1.1 Allgemeines	11
3.1.2 Lastgänge	12
3.1.3 Randbedingungen für die Einspeisung von Biogas in bestehende Gasnetze	18
3.1.4 Schlüsse für die Einspeisung von Biogas in bestehende Gasnetze	18
3.2 Einspeisung technisch, Sicherheit.....	19
3.2.1 Allgemeines	19
3.2.2 Gastechnische Komponenten für die Einspeisung.....	20
3.2.3 Einspeisegasleitung.....	22
3.2.4 Einspeisedruckregelanlage	24
4 Substrat	31
4.1 Substrat allgemein.....	31
4.1.1 Nachwachsende Rohstoffe / Energiepflanzen	32
4.1.2 Landwirtschaftliche Abfälle	32
4.1.3 Sonstige organische Stoffe.....	32
4.1.4 Substratverwendung.....	33
4.2 Gasausbeute verschiedener Substrate	35
4.2.1 Berechnung der Gasausbeute.....	35
4.2.2 Realistische Schwankungsbreite	40
4.2.3 Vergleich der Gasausbeuten	46
4.3 Rohstoffkosten.....	49
4.4 Gasqualität Rohbiogas	51
5 Biogaserzeugung	53
5.1 Substrataufbereitung, -vorbehandlung, -zugabe	53
5.2 Vergärungsverfahren.....	55
5.3 Rührtechnologie, Austrag des vergorenen Materials	57

5.4	Prozesseigenschaften	58
5.4.1	Temperatur	60
5.4.2	pH-Wert.....	60
5.4.3	Einflüsse des Substrates auf die Methanbildung und Biogasqualität.....	60
5.4.4	Substrataufschlussgrad und Substratqualität	60
5.4.5	Vermischung.....	61
5.4.6	Hemmstoffe	61
5.4.7	Verweilzeit	63
6	Aufbereitung	65
6.1	Einspeisung	65
6.2	Aufbereitungs- und Reinigungsverfahren.....	67
6.3	Aufbereitungsverfahren	73
6.3.1	Druckwasserwäsche.....	74
6.3.2	Druckwechseladsorption (PSA).....	76
6.3.3	Selexolverfahren.....	78
6.3.4	Aminwäsche	79
6.3.5	Membranverfahren	79
6.3.6	Zusammenfassung	80
6.4	Reinigungsverfahren	81
6.4.1	Entschwefelung mit Eisenoxidpellets	82
6.4.2	Entschwefelung mit Aktivkohle	82
6.4.3	Biologische Entschwefelung.....	83
6.4.4	Ammoniak.....	85
6.4.5	Wasser.....	85
6.4.6	Zusammenfassung	85
7	Emissionen	87
7.1	Gasrelevante Verunreinigungen Rohbiogas	88
7.1.1	H ₂ S.....	88
7.1.2	COS (Kohlenstoffoxidsulfid)	89
7.1.3	Siloxane	89
7.1.4	NH ₃	89
7.1.5	Flüchtige Kohlenwasserstoffe.....	89
7.2	Belastung der Umgebungsluft durch Emissionen aus der Biogasproduktion	90
7.2.1	NH ₃	90
7.2.2	Methan.....	90
7.2.3	Luftgetragenen Keime	90
7.3	Belastung der Umgebungsluft durch Emissionen aus der Biogasverbrennung im Motor.....	90
7.3.1	Geruch	91
7.4	Abwasser	92
7.5	Feststoffrelevante Schadstoffe.....	92
7.5.1	Problematische Inhaltsstoffe und Verunreinigungen in Ausgangssubstraten.....	92
7.5.2	Problematische Inhaltsstoffe und Verunreinigungen im Gärrest.....	95
8	Logistik.....	99
8.1	Transport	99
8.2	Lagerung.....	100
9	Kennzahlen	103
9.1	Kennzahlen – Standortspezifisch	105

9.1.1	Substrat regional.....	105
9.1.2	Substrat extern	106
9.1.3	Entsorgung nach Separation regional	106
9.1.4	Entsorgung nach Separation extern	107
9.1.5	Gasnetz regional.....	107
9.1.6	Transport	108
9.1.7	Elektrische Energie.....	108
9.1.8	Wärme	109
9.1.9	H ₂ O	109
9.2	Allgemein anwendbare Kennzahlen.....	109
9.2.1	BGA	109
9.2.2	Aufbereitung Substrat	111
9.2.3	Aufbereitung Biogas	111
9.2.4	Einspeisung/Anschluss an das Gasnetz	114
9.3	Bewertungskennzahlen	115
9.3.1	Deckungsgrad Gärrest.....	115
9.3.2	Deckungsgrad Gasnetz	116
9.3.3	Deckungsgrad Substrat	118
9.3.4	Substratrisiko	118
9.3.5	Entsorgungsrisiko	119
9.3.6	Gesamterlöse	119
9.3.7	Personalkosten	119
9.3.8	Förderung	120
9.3.9	Gesamtkosten.....	120
9.3.10	Wirtschaftlichkeit.....	120
9.3.11	Standortgüte	120
9.3.12	Grenztarif	121
9.3.13	Grenzkosten für BHKW-Betrieb (zur Eigenversorgung).....	121
9.3.14	Grenzkosten für Heizkessel (Wärmeenergie).....	122
10	Allgemeine Aussagen	123
11	Beitrag zu den Zielen der "Energiesysteme der Zukunft"	125
11.1	Ziele	125
11.2	Zielgruppen für die Projektergebnisse.....	127
11.3	Potenziale im Zusammenhang mit der Projektumsetzung.....	128
11.3.1	regionale Effekte.....	128
11.3.2	Initiierung marktfähiger Technologieentwicklungen	128
11.3.3	Weitere Potenziale.....	128
11.4	Verwertung der Ergebnisse	129
12	Schlussfolgerungen.....	131
	Abbildungsverzeichnis	133
	Tabellenverzeichnis	135
	Literaturverzeichnis	137

Abkürzungsverzeichnis

AGCS	Austrian Gas Clearing and Settlement AG
AOX.....	Adsorbierbare Halogenverbindungen
BGA.....	Biogasanlage
BHKW.....	Blockheizkraftwerk
BMLFUW.....	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BTEX.....	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol
CHP.....	combined heat and power production
CKW	Chlorierte Kohlenwasserstoffe
f	Relative Gasfeuchte [%]
FM	Frischmasse
GWG	Gaswirtschaftsgesetz
η_{BHKW}	Wirkungsgrad des BHKW [-]
K_{el}	Kosten für elektrische Energie [€]
Kh.....	Kohlenhydrate
K_{hV}	Verdauliche Kohlenhydrate [g/kgTS]
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (www.ktbl.de)
K_{th}	Kosten für thermische Energie [€]
LAS.....	Lineare Alkylbenzosulfonate – Tenside
MAK.....	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
m_{NfE}	Masse Stickstofffreie Extraktstoffe [g/kgTS]
m_{Rohfaser}	Masse Rohfaser [g/kgTS]
m_{Rohfett}	Masse Rohfett [g/kgTS]
$m_{\text{Rohprotein}}$	Masse Rohprotein [g/kgTS]
Nawaros	Nachwachsende Rohstoffe
NfE	Stickstofffreie Extraktstoffe
NLP	Normlastprofile
NPE	Nonylphenol und Nonylphenol (1, 2) ethoxylate - Tenside
ÖKL.....	Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Land- entwicklung
ÖPUL.....	Österreichisches Programm zur Förderung einer umwelt- gerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft
oTS.....	Gehalt an organischer Trockensubstanz [%]
ÖVGW	Österreichische Vereinigung des Gas- und Wasserfaches
p_{Dampf}	Sättigungsdampfdruck
PAK	Polyaromatische Kohlenwasserstoffe

PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane
p_G	Partialdruck des trockenen Gases [mbar]
p_M	Gasdruck gemessen [mbar]
p_N	Druck Normzustand: 1013,25 [mbar]
Rf	Rohfette
R_{f_v}	Verdauliches Rohfett [g/kgTS]
Rp	Rohproteine
R_{p_v}	Verdauliches Rohprotein [g/kgTS]
TEG	Triethylenglykol
t_M	Gastemperatur gemessen in [°C]
T_N	Temperatur Normzustand: 273,15 [K]
TNP	Tierische Nebenprodukte
TS	Trockensubstanz [g/kgFM]
V_M	Gasvolumen gemessen [m ³]
V_N	Normvolumen [Nm ³]
VQ	Verdauungsquotient
VQ_{NfE}	Verdauungsquotient Stickstofffreie Extraktstoffe [%]
$VQ_{Rohfaser}$	Verdauungsquotient Rohfaser [%]
$VQ_{Rohfett}$	Verdauungsquotient Rohfett [%]
$VQ_{Rohprotein}$	Verdauungsquotient Rohprotein [%]
W_{el}	Erzeugte elektrische Energie [kWh]
W_{th}	Erzeugte thermische Energie [kWh]

Kurzfassung

Die Biogasnutzung erfolgt in Österreich momentan fast ausschließlich in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Dadurch ist die Wirtschaftlichkeit derartiger Anlagen direkt von einer kontinuierlichen Wärmeabnahme abhängig. Biogas wird andererseits als ein wesentlicher Energieträger in einem zukünftigen Energiesystem angesehen. Die Einspeisung von Biogas in bestehende Gasnetze eröffnet die Möglichkeit, Biogas in größerem Umfang zu nutzen, da die Nutzung mit einem hohen Ausnutzungsgrad erfolgen kann, auch wenn kein Wärmeabnehmer zur Verfügung steht.

Vorliegendes Projekt analysiert die Einspeisung von Biogas in bestehende Gasnetze aus dem Gesichtspunkt der Systemintegration heraus. Im Sinne der Förderung einer nachhaltigen Energieversorgung werden die lokalen und regionalen Gegebenheiten als Randbedingungen mit einbezogen. Neben lokaler/regionaler Substratverfügbarkeit haben die Lastcharakteristik des Gasnetzes, die Liefercharakteristik der Biogasanlage und die Qualitätsanforderungen an das eingespeiste Gas einen entscheidenden Einfluss auf die Gestaltung und Betriebsweise der Biogasanlage und der allfällig nötigen Aufbereitungs- und Reinigungsanlagen für das Biogas.

Hierfür wird ein Verfahren auf Basis von Kennzahlen zur individuellen Beurteilung der technischen und ökonomischen Randbedingungen für die Netzeinspeisung von Biogas erarbeitet. Diese Kennzahlen erlauben, die regionalen/lokalen Randbedingungen abzubilden. Hinsichtlich der Qualität des eingespeisten Biogases erlaubt das Bewertungsverfahren Flexibilität, da die Ermittlung der möglichen Einspeisemengen aus dem Lastgang des Gasnetzes und den Anforderungen des Mischgases aus eingespeistem Biogas und Erdgas im Netz erfolgt.

Es zeigt sich, dass typische Gasnetze der Netzebene 3, in der die Versorgung der Kunden bei Gasdrücken < 6 [bar] erfolgt, in den Sommermonaten einen Rückgang des Gasverbrauches auf ca. ein Zehntel des mittleren Verbrauches im Winter aufweisen. Eine Anlage zur kontinuierlichen Einspeisung von Biogas muss in ihrer Größendimensionierung diesem Sachverhalt Rechnung tragen. Darüber hinaus zeigt sich, dass eine Lastprognose mittels Normlastprofilen in diesen Schwachlastzeiten stark fehlerbehaftet ist.

Aus diesem Gesichtspunkt heraus ist die Einspeisung von Biogas in das Mittel- und Hochdruckgasnetz der Netzebene 2 für zukünftige Überlegungen verstärkt in Erwägung zu ziehen.

Als Ergänzung zu den allgemeinen Fragestellungen der Einspeisung werden Aspekte der technischen Sicherheit der Biogaseinspeisung dokumentiert.

Um dem saisonal variablen Lastgang der Gasnetze besser gerecht zu werden, sollte im Rahmen zukünftiger Forschungsarbeiten die Möglichkeit zu gezieltem Substratwechsel in Biogasanlagen zur Beeinflussung der gelieferten Gasmengen untersucht werden.

Die Datenlage zu Technologie und Betrieb von Biogasanlagen ist derzeit als nicht zufriedenstellend zu bewerten. Aus diesem Grund wird der verstärkte Einsatz von Standardanlagen, ein umfassendes Monitoring bestehender Anlagen und die Erarbeitung eines allgemeinen technischen Regelwerkes angeregt.

Abstract

In Austria biogas is used especially in combined heat and power (CHP) generation applications. Therefore a continuous and rather constant heat demand at the plant's location must be available to enable an economic plant operation. Thus biogas production and use are restricted to a rather small number of locations. On the other hand biogas will play a major role in a future energy system based on renewable sources. Biogas supply to public gas grids results in a broader use of this regenerative energy source with a high utilization factor, even without the demand for heat supply.

In this study, the infeed of biogas into public gas grids is analyzed by looking at system integration. Regional and local circumstances are integrated as boundary conditions to incorporate aspects of a sustainable energy supply. The availability of substrate in the region, load characteristics of the gas grid, gas production rate of the biogas plant and quality specifications for infeed-gas have a major impact on design and operation strategies of the biogas plant as well as on the cleaning and conditioning of the gas.

Therefore a method for technical and economic assessment of biogas plants based on key figures is developed. By the use of these key figures, regional and local boundary conditions can be integrated into the assessment process.

Concerning quality specifications for infeed-gas this method is characterized by a high level of flexibility, because the amount of biogas that can be supplied to the public gas grid is calculated based on the desired quality of the resulting gas mixture of biogas and natural gas in combination with the load characteristics of the gas grid.

As a result of the analyses carried out in this study, it was identified that load characteristics of low pressure public gas grids (grid level 3) show a dramatic decrease of the gas demand during summer. The amount of gas distributed in the grids reduces to one tenth of the medium winter gas demand. This has to be taken into consideration when sizing biogas infeed applications. Besides that, prediction of gas demand using standard load profiles is strongly affected by errors during these low-load-periods.

Taking this into consideration, biogas infeed to high pressure gas grids (grid level 2) should be promoted for further analysis.

In addition aspects regarding technical security of biogas infeed are documented.

Another task for future research work can be the analysis of the effect of substrate change during operation of the biogas plant. Thus variable load characteristics can be accommodated by changing biogas production.

The availability of data concerning technology and operation of biogas production plants and cleaning and conditioning equipment is rather poor. For that reason standardized biogas plants

and efficient monitoring of existing plants should be implemented. Furthermore generally accepted technical rules should be elaborated.

Kurzfassung II

Die Biogasnutzung erfolgt in Österreich momentan fast ausschließlich in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Dadurch ist die Wirtschaftlichkeit derartiger Anlagen direkt von einer kontinuierlichen Wärmeabnahme abhängig. Biogas wird andererseits als ein wesentlicher Energieträger in einem zukünftigen Energiesystem angesehen. Die Einspeisung von Biogas in bestehende Gasnetze eröffnet die Möglichkeit, Biogas in größerem Umfang zu nutzen, da die Nutzung mit einem hohen Ausnutzungsgrad erfolgen kann, auch wenn kein Wärmeabnehmer zur Verfügung steht.

Vorliegendes Projekt analysiert die Einspeisung von Biogas in bestehende Gasnetze aus dem Gesichtspunkt der Systemintegration heraus. Eine nachhaltige Energieversorgung setzt einerseits voraus, dass sowohl die zur Biogaserzeugung benötigten Substrate, als auch die Verwertungs- bzw. Entsorgungskapazitäten für die Gärreste regional bzw. lokal bereitgestellt werden können. Andererseits muss der lokale Gasverbrauch, der sich in der Lastcharakteristik des Gasnetzes widerspiegelt, das erzeugte Biogas absorbieren können.

Um diese Zusammenhänge in geeigneter Form abbilden zu können, wird im Rahmen des vorliegenden Projekts ein Systemansatz erarbeitet (siehe hierzu Abbildung 2).

Die Systemgrenze umschließt das näher untersuchte lokale/regionale Umfeld. Innerhalb dieser Grenzen erfolgt die Bereitstellung der Substrate, der benötigten Energien und der Hilfsstoffe. Weiters erfolgt hier auch die Verwertung bzw. Entsorgung des Gärrestes. Die Komponenten Biogasanlage, Aufbereitungseinrichtungen, Einspeisevorrichtung und Gasnetz werden als Elemente des Systems repräsentiert, die miteinander in einem Wirkungszusammenhang stehen. Die Struktur, die sich daraus ergibt, legt dann die Übertragungsfunktion des Gesamtsystems (vom eingesetzten Substrat bis hin zum eingespeisten Reinbiogas) fest.

Im Rahmen des Projekts wurden technische und betriebliche Daten zu den einzelnen Anlagenkomponenten und -verfahren erhoben.

Es werden Lastgänge von 2 typischen Gasnetzen der Netzebene 3 (Betriebsdruck < 6 [bar]) analysiert. Sowohl das Gasnetz einer kleinen Gemeinde im ländlichen Raum, als auch das Netz einer Bezirkshauptstadt zeigen einen dramatischen Abfall des Gasverbrauches in den Sommermonaten auf ca. ein Zehntel des mittleren Gasverbrauches im Winter (siehe Abbildung 1).

Eine Abschätzung bzw. Prognose des Gasverbrauches mittels Normlastprofilen zeigt in den Schwachlastperioden im Sommer einen Fehler von bis zu 50 [%], und muss daher mit größter Vorsicht erfolgen.

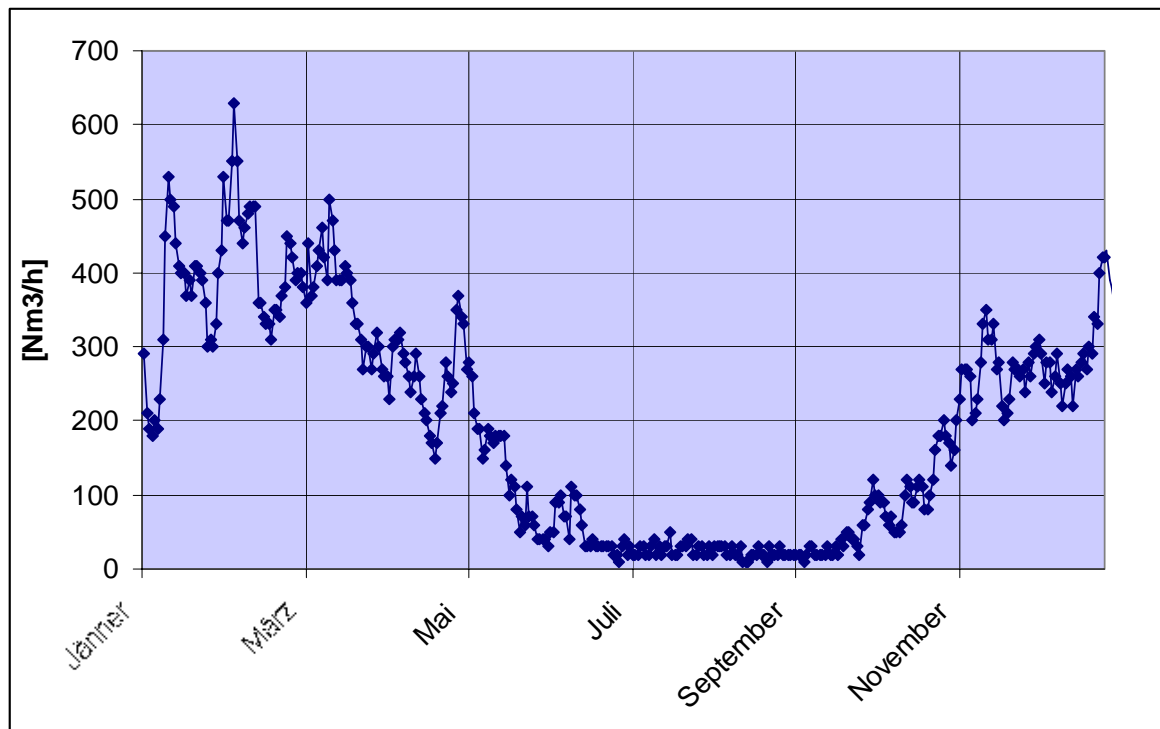


Abbildung 1 Jahresganglinie des stündlichen Gasverbrauches eines Gasnetzes einer obersteirischen Bezirkshauptstadt [STGW 2004]

Da eine Biogaseinspeisung einer über das Jahr kontinuierlichen Menge von der Mindestgasmenge eines Netzes abhängt, wird empfohlen, in die Gasnetze der Netzebene 2 mit ihren größeren Durchflussmengen einzuspeisen. Ein Haupteinflussfaktor auf die Wirtschaftlichkeit ist hierbei aber der höhere Betriebsdruck im Gasnetz.

Zur Abrundung der Darstellung werden die gastechnischen Komponenten, die für die Einspeisung von Biogas notwendig sind, erläutert und hinsichtlich der technischen Sicherheitsanforderungen dokumentiert.

Für die Hauptkomponenten werden die verfügbaren technischen und betrieblichen Daten dokumentiert. Es wird ein Verfahren zur Berechnung der Gasausbeuten und der Rohbiogaszusammensetzung für verschiedene Substrate abgeleitet. Weiters werden Verfahren der Biogaserzeugung erläutert. Für die Aufbereitungs- und Reinigungsverfahren des Rohbiogases werden neben Technologiedaten auch spezifische Kosten der einzelnen Verfahren dokumentiert. Weiters werden die Emissionen, die beim Betrieb einer Biogasanlage mit Gasaufbereitung und Einspeisung in Gasnetze entstehen, analysiert.

Mit Blickrichtung auf die Wirtschaftlichkeit werden Aspekte der Logistik von Substraten und Gärrest analysiert. Im Rahmen des Projekts konnten spezifische Kosten für den Transport dokumentiert werden.

Zur Beurteilung der Möglichkeit zur Einspeisung von Biogas in ein bestehendes Erdgasnetz wird ein Bewertungsverfahren auf Basis von Kennzahlen zur Beurteilung der technischen und ökonomischen Randbedingungen aus dem Systemansatz heraus entwickelt. Die Kennzahlen sind derart gestaltet, dass die regionalen/lokalen Randbedingungen abgebildet werden können.

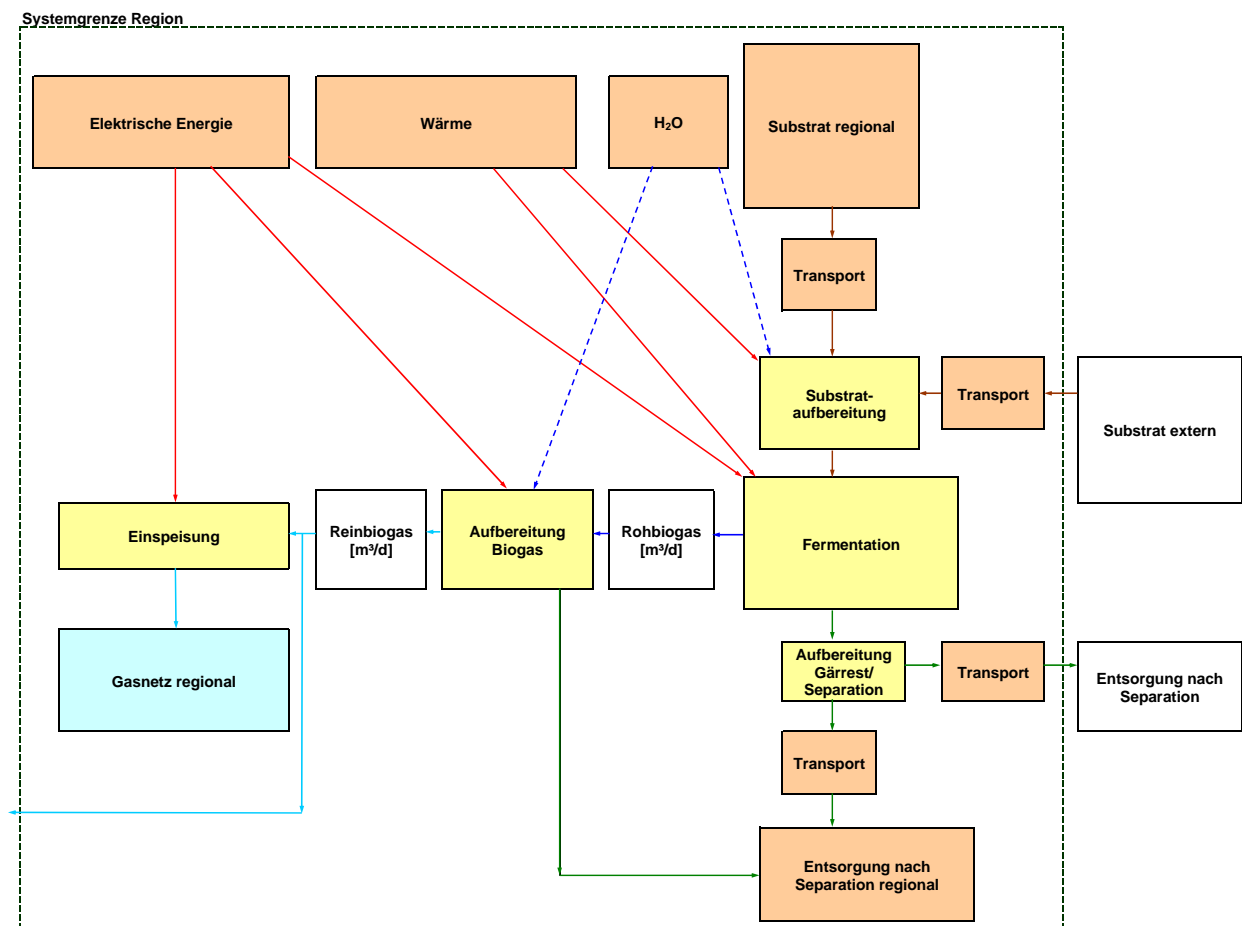


Abbildung 2 Systemstruktur-Kennzahlen

Die Kennzahlen gliedern sich in 3 Gruppen:

- Standortspezifische Kennzahlen
- Allgemein anwendbare Kennzahlen
- Bewertungskennzahlen

Dort wo ausreichend Daten in geeigneter Qualität zur Verfügung stehen, werden typische Zahlenwerte für die Kennzahlen angegeben.

Die standortspezifischen Kennzahlen geben die lokalen/regionalen Gegebenheiten wieder. Sie umfassen vor allem Aussagen zu Substraten, Entsorgungsmöglichkeiten, Lastcharakteristik des Gasnetzes, Randbedingungen des Transportes und der spezifischen Kosten und Verfügbarkeiten der Hilfsstoffe und Energien, die für den Betrieb der Anlage benötigt werden.

Die allgemein anwendbaren Kennzahlen dokumentieren die technischen und wirtschaftlichen Eigenschaften der Anlagenkomponenten Biogasanlage, Substrataufbereitung, Biogasaufbereitung und Anschluss an das Gasnetz.

Die Bewertungskennzahlen geben Auskunft über die technische und wirtschaftliche Realisierbarkeit einer Biogaseinspeisung.

Hierzu werden in einem ersten Schritt Deckungsgrade definiert, die dem jeweils erforderlichen Bedarf die entsprechende Verfügbarkeit entgegenstellen.

Neben den Deckungsgraden für Substrat und Gärrest gibt der Deckungsgrad Gasnetz die entscheidende Information über die Kongruenz von erzeugter und aufbereiteter Biogasmenge und dem Aufnahmevermögen (=Mindesteinspeisemenge) des Gasnetzes. Nur wenn die Mindesteinspeisemenge größer oder gleich der erzeugten Reinbiogasmenge (nach Aufbereitung und Reinigung) ist (das entspricht einem Deckungsgrad ≥ 1), kann die Biogasanlage ganzjährig in das Gasnetz einspeisen. Abbildung 3 zeigt, dass der Deckungsgrad, wenn er auf Basis momentaner Werte ermittelt wird, nicht konstant ist. Abhängig von Lastgang des Gasnetzes und der Liefermenge der Biogasanlage sind Phasen möglich, in denen nicht die gesamte Biogasmenge eingespeist werden kann.

Hinsichtlich der Qualität des eingespeisten Biogases erlaubt das Bewertungsverfahren Flexibilität, da die Ermittlung der möglichen Einspeisemengen aus dem Lastgang des Gasnetzes und den Anforderungen des Mischgases aus eingespeistem Biogas und Erdgas im Netz erfolgt. Typische Anforderungen an das Mischgas können z. B. der Brennwert oder die Konzentrationen einzelner Gaskomponenten sein.

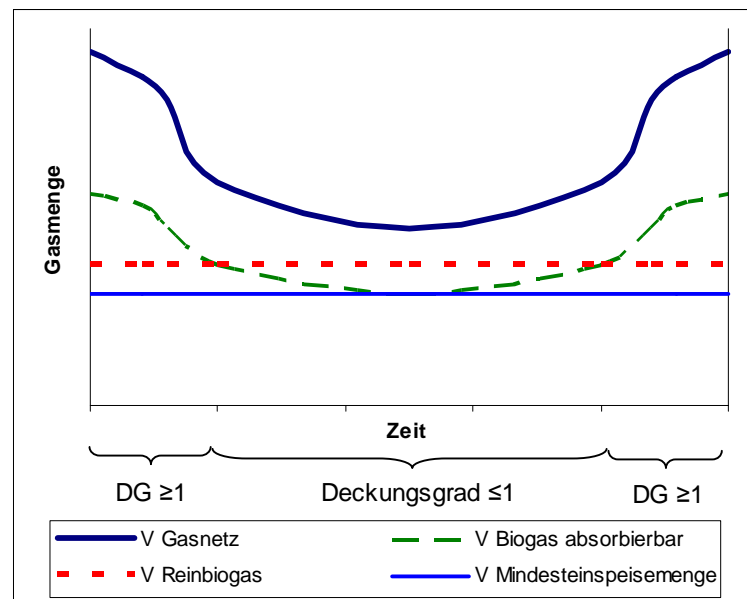


Abbildung 3 Darstellung Lastgang Gasnetz-Mindestspeisemenge-Deckungsgrad

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit werden Kennzahlen definiert, die die Erlössituation und die monetären Aufwände berücksichtigen. Weiters werden Grenzkosten für die Installation eines eigenen BHKWs oder Heizkessels zur Eigenversorgung mit Strom bzw. Wärme errechnet.

Zur Bewertung der Qualität bzw. der Risiken der gewählten Technologie, der eingesetzten Substrate und des Standortes werden "weiche" Kennzahlen eingeführt. Diese sollen bei konkreten Projektentscheidungen den Blick auch auf Sachverhalte lenken, die leicht übersehen werden können, die aber einen entscheidenden Einfluss auf den Projekterfolg haben.

Empfehlungen für weitere F & E Aktivitäten:

- Um dem saisonal variablen Lastgang der Gasnetze besser gerecht zu werden, sollte im Rahmen zukünftiger Forschungsarbeiten die Möglichkeit zu gezieltem Substratwechsel in Biogasanlagen zur Beeinflussung der gelieferten Gasmengen untersucht werden.
- Die Datenlage zu Technologie und Betrieb von Biogasanlagen ist derzeit als nicht zufrieden stellend zu bewerten. Aus diesem Grund wird der verstärkte Einsatz von Standardanlagen, eine umfassendes Monitoring bestehender Anlagen und die Erarbeitung eines allgemeinen technischen Regelwerkes angeregt.

Abstract II

In Austria biogas is used especially in combined heat and power (CHP) generation applications. Therefore a continuous and rather constant heat demand at the plant's location must be available to enable an economical plant operation. Thus biogas production and its use are restricted to a rather small number of locations. On the other hand biogas will play a major role in a future energy system based on renewable sources. Biogas supply to public gas grids results in a broader use of this regenerative energy source with a high utilization factor, even without the demand for heat supply.

In this study, the infeed of biogas into public gas grids is analyzed by looking at system integration. A sustainable energy supply can only be guaranteed when both substrate for biogas production and deposit of fermented substrate are available in the region. On the other hand, local gas demand which leads to load characteristics of the gas grid has to be high enough to absorb the produced biogas.

In order to deal with these relations, a system approach is established in this study (see Figure 5).

The system border comprises the region, for which biogas infeed is investigated. Inside this border substrate additional auxiliary material and energy are supplied. Besides that, utilisation or deposit of fermented substrate is done inside this border, too. The biogas plant, gas cleaning and conditioning devices, infeed equipment and the public gas grid are represented as different elements of the system. These elements are interconnected. The thus gained structure fixes the transfer-function from the substrate input to the output of cleaned and conditioned biogas which is supplied to the gas grid.

In this study technical and operational data has been collected and analyzed for the different components and plant technologies.

Load characteristics of 2 typical public gas grids of grid level 3 (with an operation pressure < 6 bar]) are analyzed. The gas grid of a small village in a rural area as well as the gas grid of a district town show a dramatic decrease of the gas demand during summer. The amount of gas distributed in the grids reduces to one tenth of the medium winter gas demand (see Figure 4).

Besides that, prediction of gas demand using standard load profiles is strongly affected by errors (up to 50 [%]) during these low-load-periods.

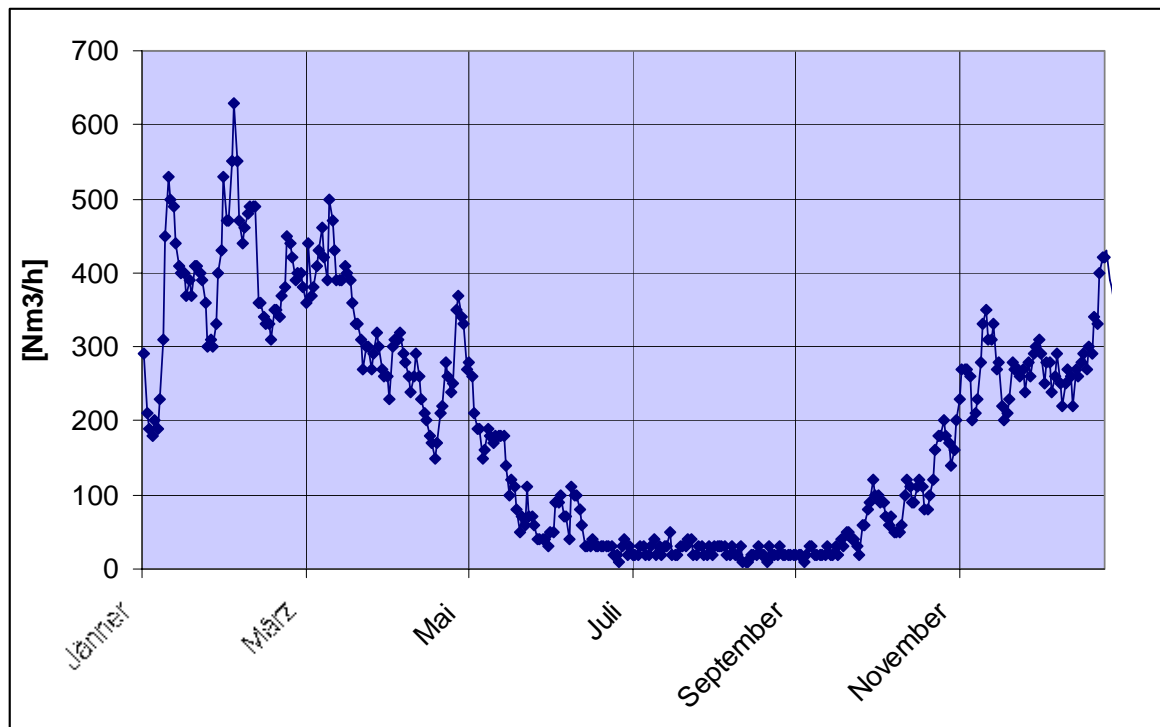


Figure 4 Load characteristics of gas demand (hourly basis) of a public gas grid of a district capital in Styria [STGW 2004]

The infeed of an, over the year, constant amount of biogas into a public gas grid depends on the minimum amount of gas in the grid. Taking this into consideration, biogas infeed to high pressure gas grids (grid level 2), which are characterized by higher amounts of transported and distributed gas, is strongly recommended.

In addition to these operational conditions, aspects regarding technical security of biogas infeed are documented in this study, too.

For the major components, available technical and operational data are documented. A method for the calculation of biogas output and quality depending on substrate input is presented. In addition to technological data, specific costs are documented for gas cleaning and conditioning technologies. Emissions which occur during operation of biogas plants, gas cleaning and conditioning and infeed into gas grids are analyzed, too.

Bearing in mind economic operation, logistics of substrate and fermented substrate are evaluated. In this context, specific costs for transport could be documented.

A method for technical and economic assessment of biogas infeed in public gas grids based on key figures is developed making use of the system approach described above. By the use of

these key figures, regional and local boundary conditions can be integrated into the assessment process.

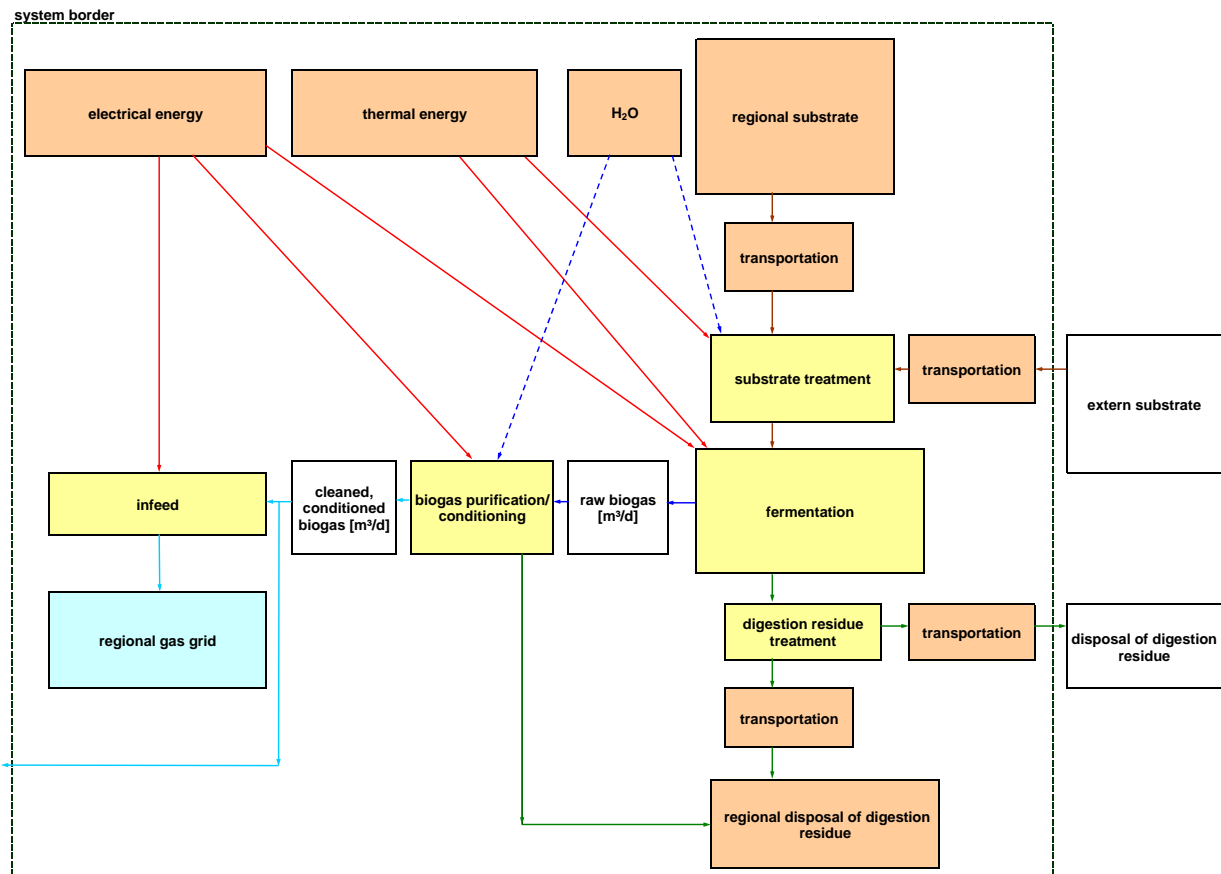


Figure 5 System approach – key figures

The key figures are structured in 3 different groups:

- Key figures related to the regional and local boundary conditions
- Key figures for technology qualification
- Key figures for assessment purpose

Typical values for these key figures are presented as far as data in appropriate quality is available.

Key figures related to the regional and local boundary conditions mainly provide data on substrate availabilities, deposit capacities, load characteristics of the gas grid, boundary conditions regarding transport, specific costs and availabilities of auxiliary material and energy, which are needed for plant operation.

Key figures for technology qualification are formulated to represent technical and economic characteristics of the biogas plant, substrate pre-treatment, gas cleaning and conditioning and infeed into the gas grid.

Key figures for assessment purpose provide information on technical and economic feasibility of biogas infeed.

Cover ratios are defined which compare each demand with the appropriate supply. Cover ratios are formulated for substrate and fermented substrate. The cover ratio of the gas grid provides information on whether the amount of cleaned and conditioned biogas and the infeed capacity (= minimum amount of infeedable biogas) of the gas grid are congruent. Figure 6 shows the relations between load characteristics of the gas grid, amount of biogas, that can be supplied to the grid and the biogas production of the plant.

Concerning quality specifications for infeed-gas this method is characterized by a high level of flexibility, because the amount of biogas that can be supplied to the public gas grid is calculated based on the desired quality of the resulting gas mixture of biogas and natural gas in combination with the load characteristics of the gas grid. Typical quality requirements for the mixed gas can be the gross calorific value etc.

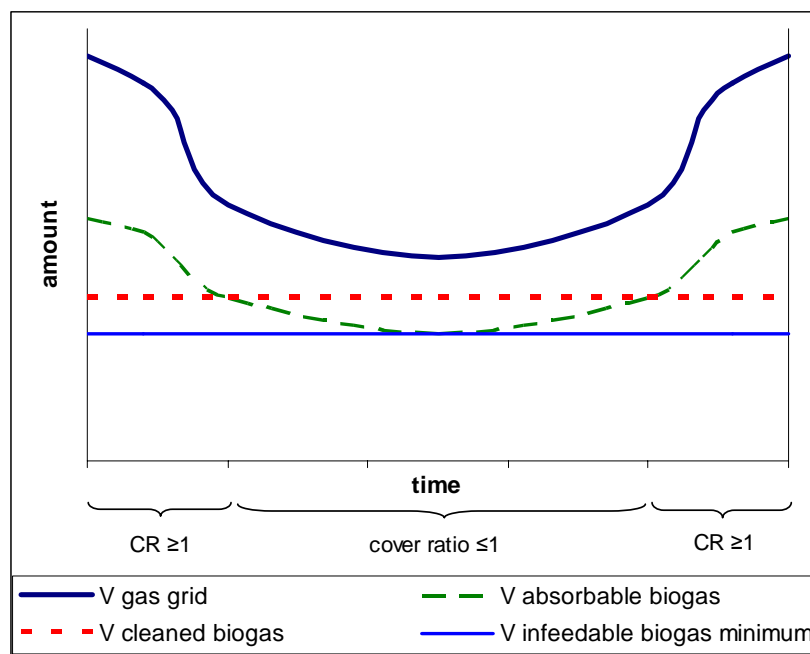


Figure 6 Load characteristics of gas grid, infeed-capacity, amount of biogas produced (schematic drawing)

For economic assessment key figures are defined which evaluate revenues and costs. Marginal costs for the installation of small CHP-units or boilers for covering the energy demand of the biogas plant are calculated, too.

Quality and risks of chosen technology, substrates and plant location are evaluated by key figures with an approach of qualitative analysis.

Recommendations for further R & D activities:

- Analysis of the effect of substrate change during operation of the biogas plant. Thus variable load characteristics can be accommodated by changing biogas production.
- The availability of data concerning technology and operation of biogas production plants and cleaning and conditioning equipment is rather poor. For that reason standardized biogas plants and efficient monitoring of existing plants should be implemented. Furthermore generally accepted technical rules should be elaborated.

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Die Biogasnutzung erfolgt in Österreich momentan fast ausschließlich in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Die Wirtschaftlichkeit derartiger Anlagen ist jedoch direkt von einer kontinuierlichen Wärmeabnahme abhängig, was auch ein gewisses Standortproblem mit sich bringt.

Auf der anderen Seite wird Biogas als ein wesentlicher Energieträger in einem zukünftigen Energiesystem angesehen. Vor allem der verstärkte Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen (Nawaros) zur Vergärung in Biogasanlagen wird als ein wichtiges Standbein im Zusammenhang mit der Etablierung eines nachhaltigen Energiesystems verfolgt. Vor diesem Hintergrund wird laufend über eine Verwendung des erzeugten Biogases zur Einspeisung in Erdgasnetze nachgedacht. Das macht die Biogaserzeugung unabhängig von einem Wärmeabnehmer und vermeidet einen geringen Brennstoffausnutzungsgrad des Biogases, wie er bei einer reinen Stromerzeugung ohne Wärmeauskopplung auftritt.

Für eine Einspeisung von Biogas in größeren Mengen in ein bestehendes Gasnetz gibt es in Österreich aber noch kaum praktische Erfahrungen bzw. Pilotanlagen. Insbesondere sind Fragen der Systemintegration, die aus der Qualität des erzeugten Biogases und der Liefercharakteristik herrühren, derzeit noch ungelöst. Darüber hinaus gibt es zur Zeit weder qualitative noch monetäre Kriterien für die Einspeisung von Biogas. Auch ist die Einspeisung von Biogas von der rechtlichen Seite bis dato nicht ausreichend geregelt.

Um diese Aspekte der Biogaseinspeisung in bestehende Gasnetze näher zu beurteilen, wurden im Rahmen der Programmlinie "Energiesysteme der Zukunft" zwei Grundlagenstudien durchgeführt. Das Projekt Nr. 807712 "Rechtliche, wirtschaftliche und technische Voraussetzungen für die Biogas-Netzeinspeisung in Österreich" unter Führung der HEI | Hornbacher Energie Innovation analysiert die rechtlichen, wirtschaftlichen und technischen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Einführung und Marktentwicklung der Biogas-Netzeinspeisung in Österreich. Darüber hinaus werden der Handlungsbedarf im Bereich Gesetzgebung und Förderung, sowie eine Kalkulationsgrundlage für Demonstrationsprojekte erarbeitet.

Vorliegendes Projekt Nr. 807711 "Biogas – Einspeisung und Systemintegration in bestehende Gasnetze" analysiert die o. a. Fragestellungen zur Biogaseinspeisung aus dem Gesichtspunkt der Systemintegration heraus. Dazu wird ein Bewertungsverfahren für die Einspeisung biogenen Gases in bestehende Gasnetze erarbeitet. Dieses Bewertungsverfahren basiert auf

Kennzahlen für die qualitative und quantitative Beurteilung. Darüber hinaus werden allgemeine Fragestellungen der Systemintegration behandelt.

Als Vorarbeiten zum Projekt werden von Seiten der ProjektpartnerInnen Arbeiten im Rahmen der Voruntersuchung zur Vergärung von Substraten aus Schweinemastbetrieben und Grünschnitt in zwei Biogasanlagen mit angeschlossenem BHKW und Stromeinspeisung in das öffentliche Netz, sowie Datenerhebungen zur Lastcharakteristik von Gasnetzen eingebracht. Diese Erkenntnisse und Daten werden bei der Erarbeitung der technischen Randbedingungen (Arbeitspaket 1) direkt genutzt und erweitert.

Vorliegendes Projekt Nr. 807711 wird den Anforderungen der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“ in mehrfacher Hinsicht gerecht:

- Durch die Einspeisung von Biogas wird der benötigte fossile Erdgasanteil reduziert. Somit wird die Nutzung beider Energieträger längerfristig optimiert.
- Das im Rahmen des Projekts entwickelte Bewertungsverfahren berücksichtigt für die Produktion von Biogas regional/lokal verfügbare Substrate. Somit wird die bereitgestellte Energie rein durch die Verwendung erneuerbarer Energieträger erzeugt.
- Bei einer Einspeisung von Biogas in bestehende Gasnetze ist der Anteil der Wertschöpfung in der Region durch die Beteiligung von potentiellen Substratlieferanten (Landwirte), oder sogar durch deren Zusammenschlüsse als Betreiberkonsortium sehr hoch.
- Der Einsatz von Biogas reduziert treibhausrelevante Emissionen und vermindert auch negative Umweltauswirkungen. Das bedeutet, dass jeder Technologie, die den Anteil von Biogas am gesamten Sekundärenergieaufkommen in Österreich erhöht, ein wesentlicher Beitrag im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zukommt.
- Die Biogaseinspeisung bildet ein individuelles und dezentral arbeitendes Energiesystem, das sich durch Anpassungsfähigkeit und regionales Einbindungspotential auszeichnet (verschiedene Substrate, Standorte, Verfahren etc.).
- Das erarbeitete Beurteilungsverfahren erlaubt, die Einspeisung von Biogas in bestehende Gasnetze für beliebige Standorte zu bewerten. Es ist demnach systemfähig.

1.2 Projektziele

Ziel des Projekts ist die Erarbeitung eines Verfahrens zur individuellen Beurteilung der technischen und ökonomischen Randbedingungen für die Netzeinspeisung von Biogas.

Im Sinne der Systemintegration werden die Lastcharakteristik des Gasnetzes, die Liefercharakteristik der Biogasanlage(n) und die Qualitätsanforderungen der Verbraucher an das aus dem Netz bezogene Gas in die Bewertung mit einbezogen.

Für die Bewertung werden Kennzahlen entwickelt, die neben einer Bewertung der Qualität und der Liefercharakteristik des Biogases die (Last-) Charakteristik des Gasnetzes beschreiben. Diese Kennzahlen können darüber hinaus einfließen in eine zukünftige Preisgestaltung bzw. zur Identifikation von Förderbedarf für eingespeistes Biogas.

Weiters werden allgemeingültige Aussagen gewonnen, die auf folgende Fragestellungen abzielen:

- Welche Randbedingungen sind generell günstig für eine Biogaseinspeisung?

Dabei werden nicht nur technische, sondern auch ökonomische und rechtliche Gesichtspunkte durchleuchtet, und Aussagen getroffen, die als Basis in weiterführende Projekte eingebunden werden können.

- Gibt es allfällige Grenzen, die eine Biogaseinspeisung von vorneherein ausschließen?

Hier werden aus mehreren Gesichtspunkten heraus Randbedingungen erhoben, die eine Biogaseinspeisung in Frage stellen. Es spielen nicht nur Qualität und Quantität von Substrat und somit auch von Biogas eine entscheidende Rolle. Die Standortfrage einer solchen Anlage hängt vorwiegend auch von der Topologie und der Lastcharakteristik des Gasnetzes ab.

Das erarbeitete Verfahren soll in Zukunft schon im Planungsstadium von Biogasanlagen eingesetzt werden, um eine bestmögliche Integration des Biogases in das Gasnetz zu ermöglichen. Eine Abschätzung der lokal erzielbaren Biogasmenge und -qualität führt schon während der Planung zu den richtigen Weichenstellungen hinsichtlich Fermentations- und Gasreinigungstechnologie.

1.3 Projektteam

Das Projektteam besteht aus der FH Joanneum – Studiengang Infrastrukturwirtschaft (Kapfenberg), dem Technischen Büro für Chemie & Biotechnologie DI Dr. Ingrid Theißing-Brauhart (Graz) und der Steirischen Gas-Wärme GmbH (Graz).

Die FH Joanneum übernimmt die Projektleitung. Sämtliche forschungsrelevanten, theoriebezogenen Fragestellungen werden an der FH Joanneum, zu einem Teil in Form von Diplom- und Projektarbeiten, bearbeitet. Darüber hinaus erbringt die FH Joanneum Leistungen im Zusammenhang mit der wirtschaftlichen Beurteilung.

Das Technische Büro für Chemie und Biotechnologie stellt das Bindeglied zwischen der theoretischen Seite und den praktischen Fragestellungen hinsichtlich Auslegung und Anlagenbetrieb dar. Die Aspekte der Verfahrens- und Anlagentechnologie werden vor allem vom Technischen Büro abgedeckt.

Die Steirische Gas-Wärme GmbH bringt als Gasnetzbetreiber wichtige praktische Erfahrungen mit Betrieb und Technologie der Gasinfrastruktur ein. Diese Aspekte tragen wesentlich zur Zielerreichung und Weiterentwicklung dieses Projektes bei. Vor allem kann sie als potentieller Projektpartner einer Demonstrationsanlage fungieren.

1.4 Projektablauf

Das Projekt wurde mit Anfang Juli 2004 gestartet und mit Ende April 2005 beendet. Die Arbeiten wurden nach folgendem Zeitplan abgewickelt. Die Abhaltung des Abschlussworkshops ist, nach Approbation des Endberichtes, im Juni 2005 geplant.

Beteiligter			Projektmonat											
FH	TB	GW	Arbeitsschritte	0704	0804	0904	1004	1104	1204	0105	0205	0305	0405	
Arbeitspaket 1: Erarbeitung der Technischen Randbedingungen														
X		X	Typologisierung des Gasverbrauchs im Gasnetz											
X		X	Erhebung von Gasnetztechnologien und wesentliche Aspekte der Gasnetztopologie											
X	X		Erhebung der Technologien der Biogaserzeugung											
X	X		Feststellen wichtiger Betriebsaspekte der Biogaserzeugung											
X	X	X	Erhebung der Einflüsse der Fermentationstechnologie und der Substrate auf Qualität und Quantität des erzeugten Biogases.											
X	X		Erarbeitung der Liefercharakteristik unterschiedlicher Anlagen-Substrat-Kombinationen											
X	X	X	Erhebung der Technologie und Betriebsaspekte verschiedener Gasaufbereitungstechnologien											
X	X		Feststellen des Energiebedarfs der einzelnen Umwandlungsschritte innerhalb des Prozesses											
X		X	Ausarbeitung von Fragen zur technischen Sicherheit der Gaseinspeisung						♦					
Arbeitspaket 2: Erarbeitung des Beurteilungsverfahrens														
X	X		Finden von Zusammenhängen Substrat – Gasmenge/Gasqualität											
X	X	X	Entwickeln eines Verfahrens zur Beurteilung der Effekte der Biogaseinspeisung auf das Gasnetz											
X	X	X	Weiterentwicklung des Verfahrens zur Identifikation allfälliger Aufbereitungsschritte											
X	X		Entwickeln von Kennzahlen zur schnellen und sicheren Anwendung des Bewertungsverfahrens									♦		
Arbeitspaket 3: Finden allgemeingültiger Aussagen														
X	X		Erarbeiten von generell günstigen Randbedingungen für die Biogaseinspeisung											
X	X		Finden von Ausschließungsgründen für eine Biogaseinspeisung											
X	X	X	Identifikation Technische Maßnahmen im Gasnetz, die die Biogaseinspeisung begünstigen.											
Arbeitspaket 4: Dokumentation														
X	X		Verfassen des Berichts											
X	X	X	Abhalten des Abschlussworkshops										♦	

Abbildung 7 Zeitplan (FH=FH JOANNEUM Gesellschaft mbH, TB=Technisches Büro Theißing-Brauhart, GW=Steirische Gas & Wärme GmbH)

Entsprechend den Zuständigkeiten der einzelnen ProjektpartnerInnen wurden die Arbeiten größtenteils parallel abgewickelt. In regelmäßigen Projektbesprechungen wurden die jeweils aktuellen Ergebnisse und Fragestellungen zwischen den ProjektpartnerInnen erörtert. Zur Erarbeitung und Überarbeitung der Kennzahlen des Bewertungsverfahrens und zur Festlegung der allgemeinen Schlussfolgerungen aus dem Projekt wurden 2 ganztägige Workshops am 3. März 2005 und am 22. April 2005 durchgeführt. Bei diesen Workshops wurden darüber hinaus, soweit möglich, Inkonsistenzen hinsichtlich der verfügbaren Daten erörtert, und allgemeine, das Projekt betreffende Fragestellungen abgehandelt.

Die von Seiten der Programmlinie geforderte, und im Förderungsvertrag spezifizierte Abstimmung mit dem Projekt Nr. 807712 "Rechtliche, wirtschaftliche und technische Voraussetzungen für die Biogas-Netzeinspeisung in Österreich" erfolgte in Form eines gemeinsamen Workshops am 17. August 2004 in Wien, sowie einer gemeinsamen Erörterung der den beiden Projektteams vorliegenden technischen Daten am 18. November 2004 ebenfalls in Wien. Darüber hinaus gab es einen regen Erfahrungsaustausch per Telefon und e-mail.

2 Methodik

Grundlage des methodischen Vorgehens im Rahmen des vorliegenden Projektes ist eine systemtechnische Betrachtungsweise. Das bietet den Vorteil, dass die komplexen Zusammenhänge der Kopplung der Biogaserzeugung und -aufbereitung und des Gasverbrauches im Gasnetz dadurch besser beschreibbar und bewertbar werden. Eine Auslegung und Bewertung einer Biogaseinspeisung nur nach wenigen Parametern oder nur nach allgemeingültigen Kriterien ist nicht zielführend, da für jeden (potenziellen) Standort einer derartigen Anlage andere lokale und regionale Gegebenheiten maßgeblich sind. Es gilt vielmehr, die verschiedenen lokal wirksamen Faktoren systematisiert in die Planung und Bewertung einer Biogaseinspeisung mit einfließen zu lassen. Mittels eines Systemansatzes lässt sich dies in einer übersichtlichen Form durchführen (vgl. hierzu [Haberfellner 2002]). Die erforderlichen Zuordnungen zeigt Abbildung 8.

2.1 Systemgrenze

Die Systemgrenze grenzt den Bereich, innerhalb dessen die Planung/Betrachtung/Bewertung durchgeführt wird, gegenüber der Umgebung ab. Die detailliert untersuchten Bereiche liegen innerhalb der Systemgrenze. Die Wirkungszusammenhänge werden nur für das betrachtete System innerhalb der Grenze untersucht. Zwischen dem System und der Umgebung gibt es Beeinflussungen, die aber nicht direkt gesteuert werden bzw. steuerbar sind.

Im Rahmen der Beurteilung von Biogaseinspeisungen in bestehende Gasnetze wird die Systemgrenze sinnvollerweise mit der Grenze der Region festgelegt, aus der die (Haupt-) Substratversorgung und in der die Gärrestentsorgung erfolgen. Innerhalb der Systemgrenze befinden sich somit das regionale Gasnetz, die Biogasanlage, die Substratquelle und die Senke zur Entsorgung des Gärrestes.

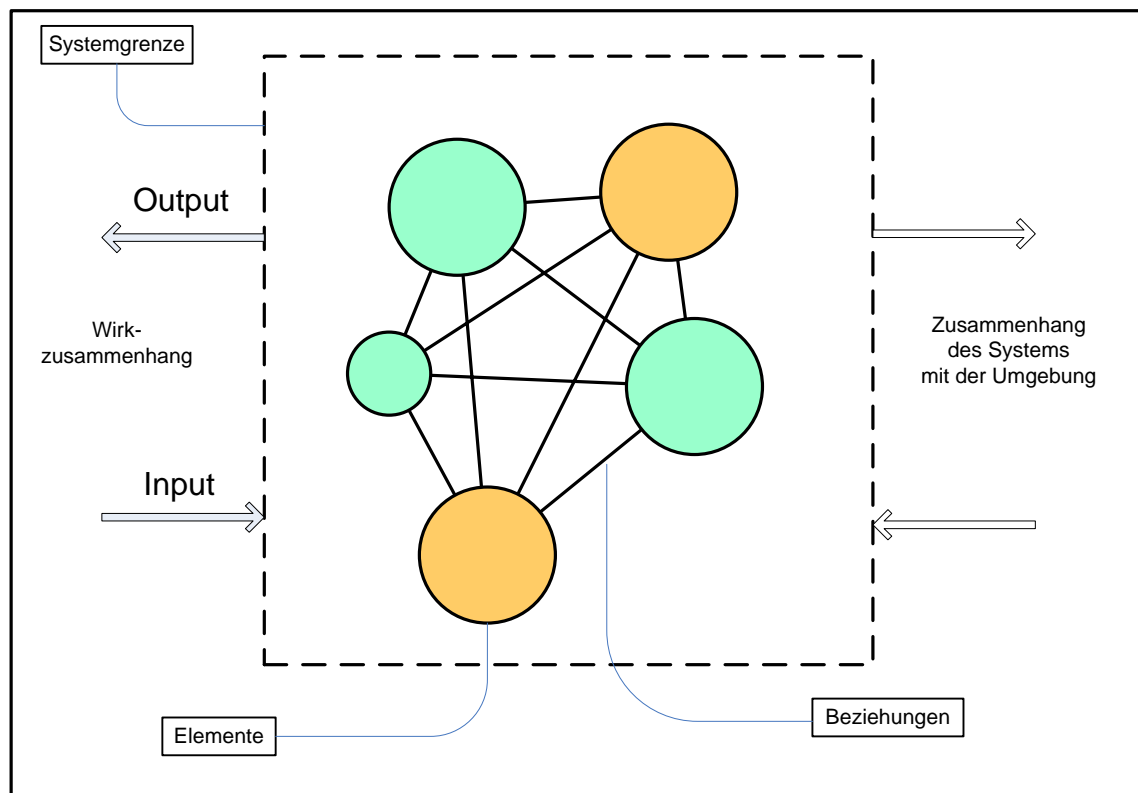


Abbildung 8 Systemstruktur, Elemente im System und Zusammenhänge

2.2 Systemelemente

Innerhalb jedes Systems befinden sich Elemente als dessen Hauptbestandteile. Im vorliegenden Anwendungsfall sind die Hauptelemente das Gasnetz, die Biogasanlage, die Aufbereitungseinrichtungen für das erzeugte Rohbiogas, die Substratquelle, sowie die Gärrestsenke.

2.3 Systemstruktur

Die Elemente eines Systems stehen in Beziehung zueinander. Diese Wirkungsbeziehungen, in unserem Fall die Kette Substrat – Biogasanlage – Rohbiogas – Gasaufbereitung – Reinbiogas – Gasnetz, bilden eine Systemstruktur.

Innerhalb der Elemente wird der Wirkungszusammenhang mit Übertragungsfunktionen beschrieben. Über diese Übertragungsfunktionen werden der Input (z. B. Substrat in die Biogasanlage) mit dem Output (z. B. Rohbiogas aus der Biogasanlage) verknüpft. Bei Kenntnis der Übertragungsfunktionen kann somit der Output direkt aus der Inputgröße errechnet werden.

Durch die Verknüpfung der einzelnen Elemente des Systems erhält man dadurch die Übertragungsfunktion des Gesamtsystems.

Mittels dieses Systemansatzes lässt sich die Situation einer Einspeisung von Biogas in ein bestehendes Gasnetz aus dem Blickwinkel des tatsächlichen Anlagenbetriebes heraus darstellen. Die Spezifika eines speziellen Anwendungsfalles gehen dabei als Randbedingungen in die Abbildung des Systems ein. Allgemeine Annahmen müssen somit nicht als Basis für Projektentscheidungen herangezogen werden. Vielmehr werden die tatsächlichen lokalen und regionalen Gegebenheiten abgebildet.

Entsprechend der Zielsetzung des Projekts, der Erarbeitung eines Verfahrens zur individuellen Beurteilung der technischen und ökonomischen Randbedingungen für die Netzeinspeisung von Biogas, muss aber darüber hinausgehend noch eine Bewertungsebene eingefügt werden. Innerhalb dieser Bewertungsebene werden die maßgeblichen Faktoren des Gesamtsystems mittels Kennzahlen miteinander verknüpft. Dadurch wird die Vielzahl der technischen und wirtschaftlichen Parameter auf einige wenige Werte zusammengefasst. In Kapitel 1 sind die Funktion und Definition dieser Kennzahlen erläutert.

Diese Kennzahlen sind so zu gestalten, dass sie in Zukunft schon im Planungsstadium von Biogasanlagen eingesetzt werden können, um eine bestmögliche Integration des Biogases in das Gasnetz zu ermöglichen. Eine Abschätzung der lokal erzielbaren Biogasmenge und -qualität führt schon während der Planung zu den richtigen Weichenstellungen hinsichtlich Fermentations- und Gasreinigungstechnologie.

Das durch den systemtechnischen Ansatz gewonnene Abbild der Betriebsweise einer Biogaseinspeisung wird in einem weiteren Arbeitsschritt dazu verwendet, allgemeingültige Aussagen darüber zu gewinnen, welche Randbedingungen generell günstig für eine Biogaseinspeisung sind, bzw. ob es allfällige Grenzen gibt, die eine Biogaseinspeisung von vorneherein ausschließen?

Im Zuge des vorliegenden Projekts "BIOGas-Einspeisung und Systemintegration in bestehende Gasnetze" gilt es nun einerseits die erforderlichen Daten für die Systemelemente zu erheben. Das betrifft vor allem die Ermittlung der Übertragungsfunktionen der verschiedenen Anlagenteile (Input - Output – Verknüpfungen von Biogasanlage, Gasreinigung etc.). Andererseits müssen die erforderlichen Kennzahlen definiert, und auf ihre Signifikanz hin überprüft werden.

3 Gasnetz

Bei der Einspeisung von Biogas kommt dem Gasnetz eine entscheidende Bedeutung zu, da es als Senke das erzeugte Biogas aufnehmen muss. Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden deshalb eingehende Untersuchungen der Lastcharakteristik und der technischen Randbedingungen der Gaseinspeisung durchgeführt. Darüber hinaus gilt es noch, grundsätzliche Fragestellungen zur technischen Sicherheit der Einspeisung von Biogas zu klären.

3.1 Gasnetz – Topologie und Verbrauchsprofile

3.1.1 Allgemeines

Es werden je nach Funktion 3 verschiedene Netzebenen unterschieden [Haslinger 2004].

Leitungen der Netzebene 1 werden im Allgemeinen als Fernleitungen bezeichnet. Charakteristisch für Fernleitungen ist das hohe Druckniveau mit Drücken bis zu 70 [bar]. Die Leitungsdimensionen hängen stark von der Durchsatzkapazität und dem benötigten Druck des Gases ab; Rohrleitungsdurchmesser von 800 bis 1050 [mm] reichen in der Regel aus.

Druckabfälle des Gases aufgrund von Reibungsverlusten werden beim Transport über weite Strecken durch Verdichterstationen, die in Abständen von ca. 100 bis 150 [km] installiert sind, ausgeglichen.

Fernleitungen dienen nur dem Transport von Gas über weite Strecken und es gibt keine direkten Abnehmer.

Leitungen der Netzebene 2 werden als Verteilerleitungen bezeichnet. Als Verteilerleitungen bezeichnet man alle Rohrleitungen, die der unmittelbaren Versorgung von Kunden dienen und sich über ein geografisch abgegrenztes Verteilergebiet erstrecken.

Gemeinsam mit den Fernleitungen zählen auch die Verteilerleitungen der Netzebene 2 zu den Hochdruckleitungen. Es gilt, ein Druckniveau von 6 [bar] nicht zu unterschreiten. Der maximale Betriebsdruck ist ebenfalls mit 70 [bar] begrenzt.

Auch in dieser Netzebene sind mit Ausnahme einiger Großabnehmer keine direkten Abnehmer an das Netz angeschlossen.

Leitungen der Netzebene 3 sind alle Verteiler- und Versorgungsleitungen mit einem Druck < 6 [bar]. Sie zweigen immer direkt von Verteilerleitungen der Ebene 2 ab und bilden das

dichteste Netz. Meist verlaufen diese Leitungen entlang von Straßenzügen und sie dienen der direkten Belieferung von Abnehmern.

Grundsätzlich kann aber in keinem Gasnetz, unabhängig von der jeweiligen Netzebene, von einem konstanten Betriebsdruck ausgegangen werden. Dieser ist direkt proportional zum Gasverbrauch. Je größer der Gasverbrauch in einem Gasnetz, Subnetz oder Netzabschnitt ist, desto größer muss der Druck am jeweiligen Einspeisepunkt sein. Das ist eine direkte Folge der Druckverluste im Gasnetz.

Druckverluste entstehen bei der Durchströmung von Rohrleitungen durch Reibung an den Rohrwänden und durch Einzelströmungsverluste an Rohrkrümmern und Armaturen. Der Druckverlust ist abhängig vom Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit in den Rohrleitungen und ist somit proportional dem Quadrat des Gasvolumenstroms in den Leitungen (Strömungsgeschwindigkeit = Volumenstrom / Querschnittsfläche). Hinsichtlich der Berechnungsweise von Druckverlusten und der hierfür benötigten Kennzahlen (Rohrreibungszahl λ , Widerstandsbeiwert ζ) wird auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen [VDI-Wärmeatlas 2002].

Für jegliche Einspeisung von Gas, also auch von Biogas, bedeutet das, dass die einspeisende Anlage in der Lage sein muss, variable Einspeisedrücke bereitstellen zu können. Die hierfür nötige Druckerhöhung kann daher mit einem mehrstufigen, drehzahlgeregelten Kompressor erfolgen, was größere Investitionskosten bedeutet. Alternativ dazu wäre auch eine Verdichtung des eingespeisten Gases auf den maximal auftretenden Druck im Netz möglich. Die Anpassung an den jeweiligen Betriebsdruck kann dann durch Drosselung erfolgen. Den niedrigeren Investitionskosten für den Kompressor stehen in dieser Variante eklatant höhere Betriebskosten gegenüber, die vom Motor zum Antrieb des Kompressors hervorgerufen werden. Damit kommt diese Konfiguration vor allem in den Niederdruckgasnetzen der Netzebene 3 zum Tragen.

3.1.2 Lastgänge

Der momentane Gasverbrauch ist in jedem Netz starken Schwankungen unterworfen. Es ist ein deutlicher Einfluss der Jahreszeit (Entfall des Gasbedarfs für Heizungszwecke im Sommer) zu beobachten (siehe Abbildung 9).

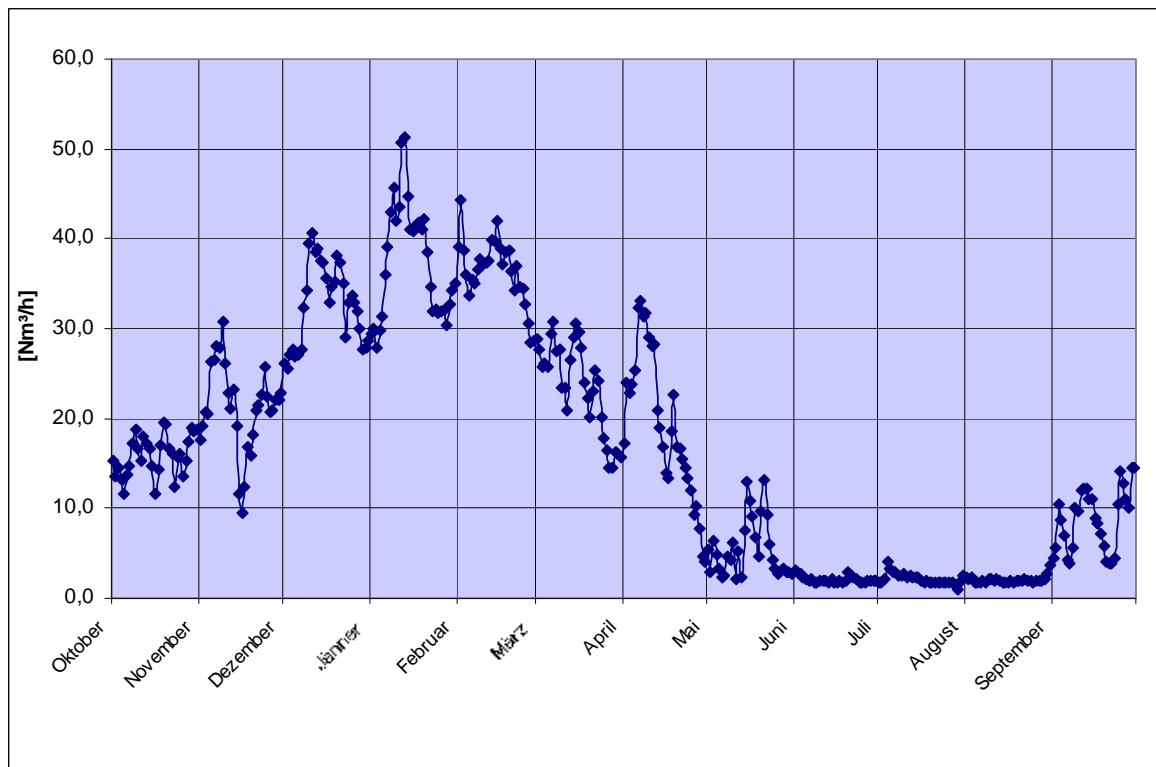


Abbildung 9 Jahresganglinie des mittleren stündlichen Gasverbrauches eines kleinen Gasnetzes im ländlichen Raum [Haslinger 2004]

Wie bei allen Energieträgern ist eine Morgen- und Abendspitze zu beobachten (siehe Abbildung 10). Diese Verbrauchsspitzen verändern ihre charakteristische Form je nach Jahreszeit. Sind beide Verbrauchsspitzen in den Wintermonaten eher breit, so gibt es eine deutliche Verschmälerung der Morgenspitze im Frühjahr bei gleichzeitigem Wegfall der Abendspitze.

Stark beeinflusst wird der Lastgang aber auch von der Struktur der angeschlossenen Verbraucher. So zeigt der Verbrauch von Kunden, die das bezogene Erdgas überwiegend für Heizungszwecke einsetzen (Ein- und Mehrfamilienhäuser) einen ausgeprägten Tagesgang und einen von der Jahreszeit abhängigen Verlauf. Der Verbrauch von Gewerbekunden und Industrie ist demgegenüber durch den geringeren Anteil des Heizungsbedarfes am Gesamtgasbezug durch einen eher konstanten Verlauf, sowohl über den Tag, als auch über das Jahr gekennzeichnet. Die charakteristischen Verbrauchsverläufe verschiedener Kunden sind in den Normlastprofilen (NLP) hinterlegt.

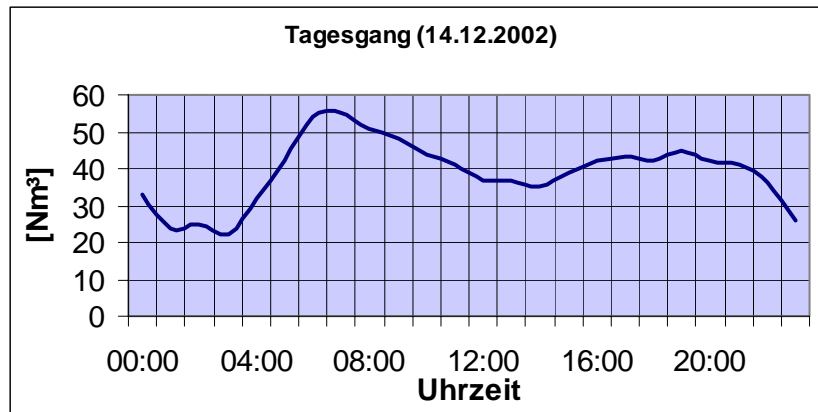


Abbildung 10 Tagesganglinie des Gasverbrauches eines kleinen Gasnetzes im ländlichen Raum im Winter [Haslinger 2004]

Der Verwendung von standardisierten Lastprofilen in Österreich geht eine Neuerung im GWG voraus, die besagt, dass Messpunkte (einzelne Abnehmer), die einen Betriebsüberdruck unter 100 [mbar] und einen Jahresverbrauch kleiner 100.000 [Nm³] aufweisen, mit Hilfe von standardisierten Lastprofilen abgerechnet werden müssen. [Gaswirtschaftsgesetz 2002]

Dazu wurden im Rahmen einer Studie an der TU Graz und der Salzburg AG im September 2002 Lastprofil-Typen berechnet: für Einfamilienhäuser, für Mehrfamilienhäuser und für Gewerbe-Kunden.

Normlastprofile werden täglich für alle 21 Temperaturzonen in Österreich berechnet und vom Bilanzgruppenkoordinator bereitgestellt. Die darin enthaltenen Werte sind immer abhängig von den Tagesmitteltemperaturen in den einzelnen Zonen. Der Bilanzgruppenkoordinator ist die Verrechnungsstelle für Transaktionen und Preisbildung für Ausgleichsenergie. Für die Regelzone Ost ist die AGCS (Austrian Gas Clearing and Settlement AG) und für die Regelzonen Tirol und Vorarlberg ist die A & B (Ausgleichsenergie und Bilanzgruppen – Management AG) zuständig.

Bei der Entwicklung der verschiedenen Normlastprofile wurde versucht, auf eine möglichst große Anzahl von Einflussfaktoren, die das Verbrauchsverhalten der einzelnen Verbrauchergruppen bestimmen, einzugehen.

Ziel ist es, ein Kundenlastprofil im laufenden Jahr aufgrund des Vorjahresverbrauchs möglichst genau vorherzusagen. Eine kosten – und zeitintensive monatliche Ablesung der Zählerstände bei den einzelnen Hausanschlüssen ist somit nicht mehr nötig.

Es gibt eine Reihe von Faktoren, die den Verbrauch beeinflussen können:

- Klimafaktoren: Dieser Faktor wirkt sich vor allem auf das Heizverhalten aus und ist bestimmt durch die wichtigste Einflussgröße für den Tagesverbrauch, die Außentemperatur und durch die Einteilung Österreichs in örtlich abgegrenzte Temperaturzonen. Im Weiteren hat sich gezeigt, dass das Einbeziehen der Klimafaktoren Wind und Niederschlag keine Genauigkeitsverbesserung ergeben.
- Objektdaten: Es wird dabei vor allem auf den Gebäudetyp eingegangen; Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser und Gewerbeobjekte. Einflussfaktoren wie Gebäudenutzung, Baujahr und Sanierungszustand können aufgrund fehlender Transparenz der Daten nicht berücksichtigt werden.
- Kalendarische Einflüsse: Durch die Verwendung von Tagesmitteltemperaturen kann auf eine Einteilung nach Jahreszeiten verzichtet werden. Es gibt jedoch eine Differenzierung von bestimmten Wochentagen anhand verschiedener Tagestypen. Diese sind Werktag, Samstag und Sonntag, sowie bei Gewerbeobjekten Wochenenden. Feiertage werden nicht gesondert klassifiziert; man greift auf die Typen Wochenende bzw. Samstag und Sonntag zurück.
- Soziodemographische Einflussfaktoren: Dieser Bereich ist sehr weitläufig und befasst sich mit dem Verbrauchsverhalten einzelner Personengruppen. Eine Einteilung in Berufstätige, Familien, Pensionisten etc. kann durch zu ungenaue und stark unterschiedliche Verbrauchsverhalten nicht gemacht werden und dieser Faktor kann deshalb auch nicht berücksichtigt werden. [Fuhrberg-Baumann 2002]

Es zeigt sich, dass einige Faktoren bei der Entwicklung der Normlastprofile nicht berücksichtigt werden konnten. Abweichungen sind deshalb unumgänglich.

Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden Lastgänge repräsentativer Gasnetze untersucht, um Randbedingungen für die Einspeisung von Biogas zu gewinnen. Darüber hinaus wurde ein Vergleich zwischen gemessenen Verbrauchswerten und den Ergebnissen der Berechnung nach Normlastprofilen durchgeführt.

Der in Abbildung 9 dargestellte Jahreslastgang eines Ortsnetzes im ländlichen Raum, das eine typische Verbraucherstruktur repräsentiert, zeigt einen dramatischen Abfall des Gasverbrauchs in den Sommermonaten auf ca. ein Zehntel des Winterwertes.

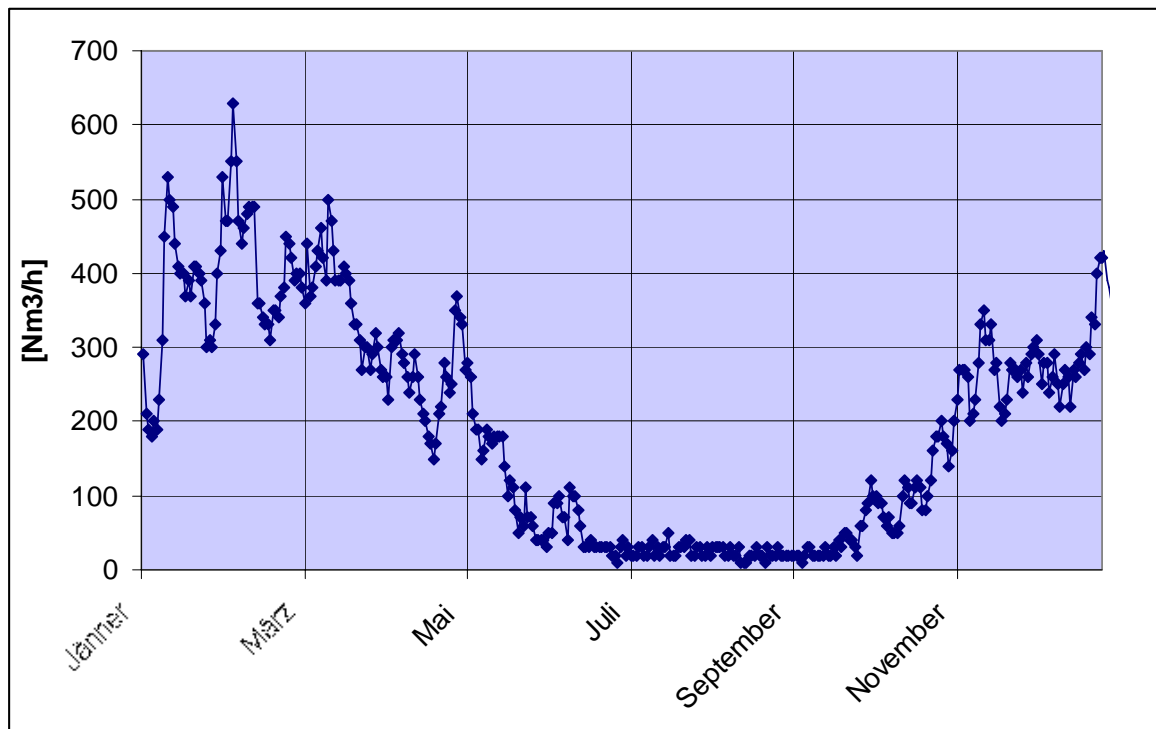


Abbildung 11 Jahresganglinie des stündlichen Gasverbrauches eines Gasnetzes einer obersteirischen Bezirkshauptstadt [STGW 2004]

Auch der in Abbildung 11 dargestellte Verlauf des Gasverbrauches einer Bezirkshauptstadt zeigt den starken Abfall der Gaslieferungen in den Sommermonaten. Dieses Netz ist dadurch charakterisiert, dass das Zentrum mit dem Großteil der öffentlichen Gebäude mit Fernwärme versorgt ist, und die Gasversorgung sich ausschließlich auf Gewerbekunden und die städtischen Randbereiche beschränkt. Dieses Gasnetz kann als typisch für Bezirksstädte in der Steiermark angesehen werden. Der Vergleich mit dem in Abbildung 9 dargestellten Lastgang eines kleinen ländlichen Netzes zeigt, dass es keinen qualitativen Unterschied im Lastprofil gibt, da in beiden Netzen vornehmlich Privathaushalte versorgt werden. Lediglich das Niveau der Gaslieferung spiegelt die unterschiedliche Größe der Netze wider.

Generell gibt es noch wenige Daten über die Lastgänge in Gasnetzen. Vor der Liberalisierung der Gasmärkte waren diese Lastgänge für die Gasversorgungsunternehmen nicht von besonderem Interesse. Erst in Folge der Liberalisierung werden Lastgänge erhoben, wodurch im Allgemeinen bei der Beurteilung von Gaseinspeisungen nicht von einem hinreichenden Datenmaterial ausgegangen werden kann. Es wird dementsprechend die Verwendung von Normlastprofilen unumgänglich.

Wie bereits oben erwähnt, weisen Normlastprofile Fehler gegenüber der Wirklichkeit auf. Im vorliegenden Projekt wurde deshalb auch untersucht, mit welchen Abweichungen zwischen den nach Normlastprofilen ermittelten und den tatsächlichen Gasverbräuchen zu rechnen ist.

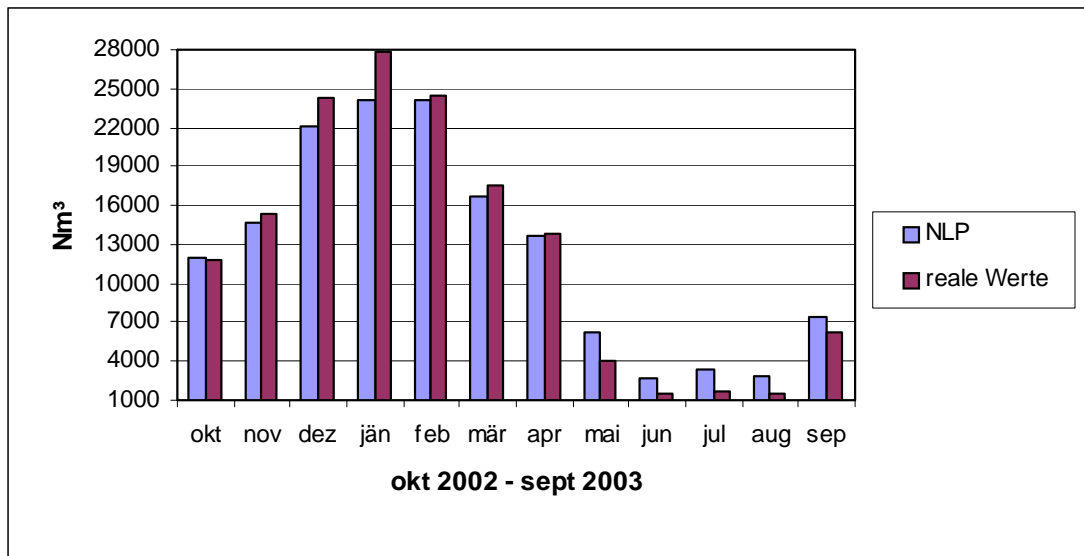


Abbildung 12 Abweichung zwischen Normlastprofil (NLP) und tatsächlichem Verbrauch (Absolutwerte in [Nm³]) [Haslinger 2004]

Der Vergleich zwischen tatsächlichem Lastgang im Gasnetz und den mittels Normlastprofil ermittelten Werten zeigt eine deutliche Abweichung in Schwachlastzeiten (siehe Abbildung 12). Das sind vor allem die Sommermonate, die durch einen starken Abfall des Gasverbrauches für Heizzwecke gekennzeichnet sind. Hier liegen die realen Verbrauchswerte bis zu 50 [%] unter den gemäß NLP errechneten. Eine Erklärung hierfür sind u.a. Solaranlagen, die im Sommer die Warmwassererzeugung zum Großteil abdecken. Ebenso liegt der Gasverbrauch in der Nacht deutlich unter den NLP-Werten (bis zu 40 [%]). Die Erklärung für dieses Phänomen ist vor allem in der Heizungsregelung (Stichwort Nachtabsenkung) zu suchen.

Im Gegensatz dazu zeigt sich, dass in Phasen mit einem hohen Gasverbrauch die realen Verbrauchswerte bis zu 10 [%] über den NLP-Werten liegen.

Die Abweichungen zwischen Normlastprofil und tatsächlichem Lastgang in dem betrachteten städtischen Netz sind nur geringfügig niedriger als jene in einem ländlichen Netz. Laut Auskunft des Leiters des Datenmanagements des Gasnetzbetreibers in der Steiermark fließen in die Berechnung des Normlastprofils auch die Vorjahresabgabemengen direkt ein. Damit sind auch die klimatischen jährlichen Schwankungen für die doch sehr großen Abweichungen mitverantwortlich. In den Sommermonaten zeigt sich eine relativ stabile Abweichung zwischen Normlastprofil und tatsächlichem Verbrauch, sodass in dieser Periode eine Lastprognose mit entsprechend reduzierten Werten möglich erscheint.

3.1.3 *Randbedingungen für die Einspeisung von Biogas in bestehende Gasnetze*

Fasst man die in den vorstehenden Kapiteln dargelegten Sachverhalte des Gasnetzbetriebes zusammen, so sind folgende Randbedingungen für die Einspeisung von Gas, und somit auch von Biogas in bestehende Netze maßgeblich:

- Saisonaler Verlauf des Gasverbrauches im Netz.
In den Sommermonaten reduziert sich der Verbrauch auf ein Zehntel des mittleren Verbrauchs in den Wintermonaten.
- Der Gasdruck im Netz ist variabel.
Bei größerem Verbrauch muss wegen der größeren Druckverluste ein höherer Ausgangsdruck bereitgehalten werden.
- Bei einer Lastprognose mit Normlastprofilen ist in Schwachlastzeiten (= Sommermonate) mit Fehlern von bis zu 50 [%] zu rechnen.

3.1.4 *Schlüsse für die Einspeisung von Biogas in bestehende Gasnetze*

Aufgrund des starken saisonalen Verlaufs der Lastgänge in Netzebene 3 sollte die Einspeisung möglichst in Netzebene 2 erfolgen. Das bedingt aber durch das höhere Druckniveau einen zusätzlichen Investitions- und Betriebsaufwand für einen geeigneten Gasverdichter. Vor allem muss die Gasverdichtung mit den variablen Betriebsdrücken im Gasnetz zurecht kommen. Diesem zusätzlichen Aufwand kann jedoch eine Ersparnis für geringere Aufbereitung des eingespeisten Biogases gegenüber stehen (vgl. hierzu die Situation der Biogaseinspeisung in der Schweiz, die in Kapitel 6.1 näher erläutert ist). Generell vorteilhaft ist es, wenn ein Direktkunde mit großem Verbrauch (Industriekunde) für die Biogaslieferung bereitsteht.

Bei einer Einspeisung in Verteilnetze der Netzebene 3 ist der Einspeisepunkt so zu wählen, dass es in keinem Teilbereich des Netzes und zu keiner Zeit zu einer Umkehr der Strömungsrichtung kommt. Eine Versorgung in Rohrleitungsnetzen mit unterschiedlichen Rohrquerschnitten funktioniert ohne größere Druckverluste, die die Funktionsweise des gesamten Netzes negativ beeinflussen, nur von großen Nennweiten hin zu kleineren Nennweiten.

Demnach erscheint als potenzieller Einspeisepunkt in Netze der Netzebene 3 die Anspeisung von der Netzebene 2 her am zielführendsten.

3.2 Einspeisung technisch, Sicherheit

3.2.1 Allgemeines

Einleitend zu diesem Kapitel muss angeführt werden, dass gegenwärtig von Seiten der ÖVGW (Österreichischer Verein des Gas- und Wasserfaches) eine Richtlinie erarbeitet wird, die zum Ziel hat, technische Kriterien zu definieren, unter welchen Biogas in ein Erdgasversorgungsnetz eingespeist werden kann. Bei der Erarbeitung dieser Richtlinie (sie wird die Richtliniennummerierung G33 tragen) wird davon ausgegangen, dass ausschließlich auf Erdgasqualität (wird durch die ÖVGW Richtlinie G31 definiert – siehe Tabelle 14) aufbereitetes Biogas in ein Erdgasnetz eingespeist werden darf (festgelegt im GWG).

In Bezug auf die Sicherheit sämtliche Maschinen sind die Bestimmungen der Maschinen-Sicherheitsverordnung zu berücksichtigen. Hierfür ist eine CE-Kennzeichnung und Konformitätserklärung erforderlich.

Um für die Einspeisung von Biogas in bestehende Erdgasnetze technische Rahmenbedingungen festlegen zu können, ist als erstes, neben der Berücksichtigung in welche Netzebene eingespeist werden soll (siehe Kapitel 4.1), eine qualitative Differenzierung des eingespeisten Biogases notwendig. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass im Rahmen der Erzeugung, Behandlung und Verwertung von Biogas 3 Biogasqualitäten erzeugt werden, Rohbiogas (darunter versteht man jenes Biogas, welches aus dem Fermenter entnommen wird), gereinigtes Biogas (darunter versteht man getrocknetes und von sauren Komponenten gereinigtes Biogas) und aufbereitetes Biogas (darunter versteht man durch CO₂-Entfernung auf Erdgasqualität aufbereitetes Biogas – ÖVGW Richtlinie G31).

Nachfolgend sind für 3 Gasqualitäten (Annahme eines durchschnittlich guten Biogases) je ein Beispiel mit ausgewählten physikalischen Eigenschaften angeführt (die Annahme für aufbereitetes Biogas würde den Kriterien der G31 entsprechen). Für diese 3 Gasqualitäten werden die Anforderungen an die sicherheitstechnischen Komponenten untersucht.

Tabelle 1 Physikalische Eigenschaften von Biogas

	Einheit	Rohbiogas	Gereinigtes Biogas	Aufbereitetes Biogas
CH₄	[%]	60	61,4	98
CO₂	[%]	37	37,7	≤2
H₂O_{dampf,atmos}	[g/ m ³]	>13,5	6,36	0,05
H₂S	[mg/ m ³]	500	≤5	≤5
Gastemperatur	[°C]	36	4	4
Brennwert	[kWh/m ³]	6,62	6,78	10,8
Dichte	[kg/m ³]	1,17	1,19	0,72
Wobbe-Index	[kWh/m ³]	6,92	7,03	14,4

3.2.2 Gastechnische Komponenten für die Einspeisung

Aus heutiger Sicht kann davon ausgegangen werden, dass ausschließlich Biogas, welches auf Erdgasqualität aufbereitet wurde, in ein öffentliches Erdgasnetz eingespeist werden darf. Das bedeutet, dass ein produziertes Biogas mit geeigneten Verfahren (siehe Kapitel 1) auf die geforderte Gasqualität (ÖVGW G31) aufbereitet werden muss. Darüber hinaus sind auch noch weitere gastechnische Komponenten erforderlich, um eine sichere Einspeisung zu ermöglichen.

3.2.2.1 Gasaufbereitung

Zur Reinigung und Aufbereitung von Biogas werden technische Verfahren eingesetzt, die den Einsatz von Apparaten bzw. Behältern erfordern. Jeder gasdichte Behälter, in dem Biogas erzeugt, gespeichert oder behandelt wird, ist mit einer Über- und Unterdrucksicherung auszurüsten. Bei der Überdrucksicherung ist zu gewährleisten, dass ausströmendes Gas ins Freie gelangt und nicht in umschlossene Räume eintreten kann. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass Rohbiogas auch ein Dichteverhältnis von > 1 (abhängig von der Gaszusammensetzung) haben kann und somit schwerer als Luft ist. Daher ist dafür Sorge zu tragen, dass die Räumlichkeiten, in denen Gasaufbereitungsanlagen installiert sind, ausreichend durchlüftet (Querdurchlüftung) werden. Darüber hinaus sind diese Räume mit einem Gaswarn- bzw. Gassicherheitssystem auszurüsten.

Für dieses Gaswarnsystem sind folgende Gasbestandteile zu betrachten:

- Methan (CH_4) – in der gesamten Aufbereitungsanlage befindet sich ein brennbares Gas. In den sich daraus ergebenden explosionsgefährdeten Bereichen sind Ex-Zonen gemäß ÖVE-Ex65 und ÖVE-Ex65a bzw. ÖVE EN 60079-10 erforderlich. Sämtliche elektrischen Betriebsmittel sind gemäß der Elektro-Ex-Verordnung oder der Explosionsschutzverordnung auszuführen.
- Schwefelwasserstoff (H_2S) – Schwefelwasserstoff ist ein farbloses, charakteristisch riechendes (nach faulen Eiern) und sehr giftiges Gas (MAK-Wert liegt bei 15 mg/m^3). Da, abhängig vom eingesetzten Substrat, bei der Biogasproduktion bis zu mehrere Tausend Milligramm je m^3 Schwefelwasserstoff entstehen können, sollten rohgasführende Anlagenteile in geschlossenen Räumen mit einer, mit elektrochemischen Sensoren bestückten, Gaswarnanlage ausgerüstet werden.
- Kohlendioxid (CO_2) – Im Zuge der Biogasaufbereitung wird Kohlendioxid vom Biogas abgetrennt, und man erhält eine mit Kohlendioxid angereicherte Gas- bzw. Wasserphase (abhängig vom eingesetzten Aufbereitungsverfahren). In jenen Bereichen, in denen das abgetrennte Kohlendioxid transportiert und weiter behandelt wird, ist darauf zu achten, dass begehbare unterirdische Einbauten und geschlossene Räumlichkeiten sich nicht mit Gas füllen können, bzw. diese Einbauten nur unter Einhaltung aller arbeitsicherheitstechnischen Bestimmungen betreten werden (Freimessen der Hohlräume mit mobilen Gaswarngeräten).

Die bei der Gasaufbereitung anfallenden Abwässer sind zu sammeln und in den Fermenter zurückzuführen oder einer geordneten Entsorgung zuzuführen. Dabei ist bei der Wahl der Leitungswerkstoffe zu berücksichtigen, dass diese Abwässer stark korrosiv (z.B. durch Auswaschen von Schwefelwasserstoff und/ oder Kohlendioxid) sein können.

Gemeinsam mit der Überprüfung der Inneninstallationsleitung empfiehlt es sich auch die Aufbereitungsanlagen einer Sichtkontrolle bzw. einer Dichtheitskontrolle zu unterziehen. Die Wartung der Anlage ist entsprechend den Anweisungen des Herstellers von ihm selbst oder einem autorisierten Unternehmen durchzuführen.

3.2.2.2 *Gasverdichtung*

Nahezu alle Gasreinigungsverfahren benötigen für den Reinigungsprozess einen höheren Betriebsdruck als er durch die Biogasproduktion (Fermentation) zur Verfügung steht. D.h. abhängig vom Betriebsdruck des Erdgasnetzes, in das eingespeist werden soll, wird ein Verdichter (z.B. ein Schraubenverdichter) vor der Gasreinigung bzw. Gasaufbereitung und einer danach, für die Anhebung des Gasdruckes auf Einspeisedruck, benötigt. In der Netzebene 3 werden Versorgungsnetze zum größten Teil mit einem Druck $< 1 \text{ [bar]}$ betrieben, was für die Biogaseinspeisung zur Folge hat, dass die in das Biogas eingebrachte Druckenergie wieder vernichtet werden muss (dies erfolgt in der nachgeschalteten Druckregelstation). Erst neu errichtete Versorgungsnetze (seit Mitte der 90-iger Jahre) werden auch mit Drücken von 4 [bar]

betrieben. Für die Einspeisung in eine Hochdrucktransportleitung ist nach der Aufbereitung ein weiterer Verdichter vorzusehen.



Abbildung 13 Schraubenverdichter

Da man beim Rohbiogas von einem korrosiven Gas (H_2S -Anteil und wassergesättigt) ausgehen kann, wird es zum Schutz der Verdichteranlage notwendig sein, das Gas zumindest einer Reinigung (z.B. Gaswäsche) und Trocknung (z.B. Gaskühlung) zu unterziehen.

Der Aufstellungsraum für den Verdichter ist ebenfalls mit einer ständig wirksamen Querdurchlüftung auszustatten. Bei natürlicher Lüftung gilt Ex-Zone 1 und bei einer ständig wirksamen mechanischen Lüftung (mindestens 5-facher Luftwechsel) Ex-Zone 2.

Die Wartung des Verdichters hat durch den Hersteller oder ein von ihm autorisiertes Unternehmen zu erfolgen. Darüber hinaus empfiehlt es sich, ebenso wie bei der Aufbereitungsanlage, auch hier jährlich eine Sichtkontrolle durch eine sachkundige Person durchführen zu lassen.

3.2.3 Einspeisegasleitung

Gasrohrleitungen bestehen aus Rohren und Rohrleitungsteilen (z.B. Rohrbögen, Abscheider, Armaturen, Abzweigstücke usw.). Sämtliche Gasrohrleitungen sind aus Kunststoff oder Stahl zu errichten. Inneninstallationsleitungen (Leitungen in umschlossenen Räumen z.B. in Gebäuden, Regelschränken) und Leitungen, die nicht aufbereitetes Biogas führen, oder einen Betriebsdruck > 10 [bar] haben, müssen ausschließlich aus Stahl gefertigt werden. Die Errichtung und Prüfung von Stahlleitungen mit einem Betriebsdruck < 100 [mbar] (sämtliche Leitungen bis zum Verdichter) muss gemäß der ÖVGW Richtlinie G1 erfolgen. Bei Betriebsdrücken bis 16 [bar] bzw. > 16 [bar] kommen für die Errichtung und Prüfung die ÖVGW Richtlinien G153-1 und G153-2 zur Anwendung. Dies betrifft die Einspeise-Biogasleitung, welche vom Verdichter bis zur Einspeisedruckregelanlage (Einspeisepunkt) reicht. Explizit sei hier darauf hingewiesen, dass bei der Errichtung von erdvergrabenen Gasleitungen

Schutzabstände zur Sicherung der Leitung zu berücksichtigen sind. Für Leitungen bis 16 [bar] gelten die Schutzabstände in nachstehender Tabelle.

Tabelle 2 Schutzabstände für Leitungen bis 16 [bar]

Leitungs- durchmesser	max. Betriebsdruck (MOP)		
	≤100 mbar	>100 mbar, ≤6 bar	>6 bar, ≤16 bar
bis einschl. DN 150	0,5 m	1 m	2 m
über DN 150	1 m	1 m	2 m

Leitungen mit einem Betriebsdruck >16 [bar] müssen innerhalb eines Schutzstreifens gemäß der nachstehenden Tabelle errichtet werden.

Tabelle 3 Schutzabstände für Leitungen größer 16 [bar]

Leitungsdurchmesser	Schutzstreifenbreite
bis DN 150	2 m beiderseits der Rohrleitungsachse
über DN 150 bis DN 300	3 m beiderseits der Rohrleitungsachse
über DN 300	4 m beiderseits der Rohrleitungsachse

Die Leitungen, die vor mechanischem Einwirken geschützt verlegt werden (erdvergrabene oder Steigleitungen an einer Außenwand in Massivbauweise), können aus Kunststoff (ausschließlich aus PE Polyethylen) errichtet werden. Diese Rohre sind entsprechend der ÖVGW Richtlinie G52/2 zu verlegen, die Übergänge von Kunststoff auf Stahl sind entsprechend der ÖVGW Richtlinie G91 bzw. G92 zu errichten.

Neben den Schutzabständen zur Leitungstrasse ist auch darauf zu achten, dass die Leitung mit ausreichender Überdeckung (0,8 [m] wird empfohlen) verlegt wird. Bei der Planung und Errichtung sind die geltenden rechtlichen Bestimmungen (Wasserrecht, Umweltverträglichkeitsgesetz, Gewerberecht usw.) einzuhalten, und technische Vorschriften und Normen (z.B. ÖNORM EN 12007, ÖNORM B 2533) zu beachten.

Bei der Errichtung einer Biogaseinspeiseleitung ist durch den Einbau von Sicherheitseinrichtungen sicherzustellen, dass der höchst zulässige Druck nicht überschritten werden kann. Sie sind grundsätzlich mit Gefälle zu einer Entwässerungseinrichtung bzw. einem Kondensatsammler zu verlegen.

Für erdvergrabene Stahlleitungen ist ebenfalls ein Korrosionsschutz (z.B. kathodischer) vorzusehen. Die Überprüfung sämtlicher Gasleitungen hat entsprechend den ÖVGW Richtlinien zu erfolgen. So sind alle erdvergrabenen Gasleitungen entsprechen der ÖVGW Richtlinien G59 Teil1 und Teil 2 zu überwachen. Diese Überwachung beinhaltet die Sichtkontrolle der Leitungstrasse, Funktionsprüfung der Leitung und Anlagen, Überprüfung des allfälligen kathodischen Korrosionsschutzes (ÖVGW Richtlinie G21) und das Gasspüren (ÖVGW Richtlinie G69). Diese Überwachung darf ausschließlich nur von sachkundigen Personen, die aufgrund ihrer Ausbildung und Erfahrung Kenntnisse über die zu überwachenden Leitungen und Anlagen besitzen, und mit einschlägigen Vorschriften, Normen und Richtlinien vertraut sind, durchgeführt werden. Das Gasspüren von erdvergrabenen Leitungen (oberirdische Lecksuche mittels Absaugmethode) ist mittels Gasspürgeräten gemäß der ÖVGW Richtlinie G103 und von Personen mit einer gültigen Bescheinigung gemäß der ÖVGW Richtlinie G102 durchzuführen. Die Überwachung der Leitungstrasse hat jährlich zu erfolgen mit Ausnahme des kathodischen Korrosionsschutzes, der alle 3 Jahre, der Überprüfung von Absperrarmaturen, die alle 4 Jahre und dem Gasspüren, das bei Leitungen mit einem Betriebsdruck ≤ 5 [bar] alle 6 Jahre, zu erfolgen hat.

Inneninstallationsleitungen, insbesondere rohgasführende Leitungen sind einmal jährlich durch eine sachkundige Person optisch zu überprüfen. Darüber hinaus sind diese Leitungen alle 2 Jahre mittels Gasspürgeräten (entsprechend der ÖVGW Richtlinie G103) auf Undichtheit zu überprüfen. Vor allem sind alle lösbaren und nicht lösbaren Verbindungen auf Undichtheit zu prüfen.

3.2.4 Einspeisedruckregelanlage

Für die Errichtung, Prüfung und den Betrieb von Erdgasdruckregelanlagen werden die ÖVGW Richtlinien G73 Teil 1 bis 3 angewandt, welche auch für die Biogaseinspeisedruckregelanlagen zur Anwendung kommen sollten. Entsprechend dem ÖVGW Regelwerk teilt man Gasdruckregelanlagen in 3 Kategorien ein:

- Gasdruckregelanlagen mit einem Eingangsdruck >5 [bar] bis ≤ 100 [bar] (G73/1)
- Gasdruckregelanlagen mit einem Eingangsdruck >100 [mbar] bis ≤ 5 [bar] und Auslegungsmenge von >200 [m³/h] (G73/2)
- Gasdruckregelanlagen mit einem Eingangsdruck >100 [mbar] bis ≤ 5 [bar] und Auslegungsmenge von < 200 [m³/h] (G73/3)

Einspeisegasdruckanlagen werden in Umhausungen (Stationen) errichtet, die abhängig von der Gasmenge, welche über die Station fließt, von Schränken (siehe nebenstehendes Foto) bis hin zu eigenen Gebäuden reichen können. Für diese Stationen sind die einschlägig gültigen Sicherheits- und Umweltbestimmungen (z.B. Baurecht) beim Bau und Betrieb zu berücksichtigen.

sichtigen. Sämtliche Bauteile (sämtliche Wände) der Station sind brandbeständig F90 gemäß der ÖNORM B3800 auszuführen. Die Türen sind aus metallischem Werkstoff und zumindest absperribar und brandhemmend (T30 nach ÖNORM B3800) auszuführen. Es ist auch darauf zu achten, dass eine ausreichende Durchlüftung des Stationsraumes sicher gestellt ist. Die Zu- und Abluftöffnungen sind nach Möglichkeit raumdiagonal anzuordnen, und die freien Querschnitte dieser müssen jeweils 400 [cm²], jedoch mindestens 2 [%] der Bodenfläche der Station aufweisen. Für die Druckregelstation ist auch ein Blitzschutz gemäß ÖVE/ ÖNORM E8049-1 vorzusehen.



Abbildung 14 Einspeisegasdruckanlage

Eine Einspeisedruckregelanlage setzt sich aus 5 Hauptkomponenten zusammen: den Absperrarmaturen, den Gasleitungsstücken, dem Gasfilter, der Druckregel- und Sicherheitsvorrichtung und der Gasmesseinrichtung. Im nachstehenden Flussbild einer Niederdruckregelanlage wird von 5 [bar] auf 0,1 [bar], für die Einspeisung in ein Ortsgasversorgungsnetz, reduziert. Die Druckregelanlage wurde als Zweistranganlage ausgeführt, um bei Wartungs- bzw. Instandhaltungsarbeiten sicherstellen zu können, dass nicht die gesamte Anlage außer Betrieb genommen werden muss, und somit die Weiterversorgung mit Gas gewährleistet ist.

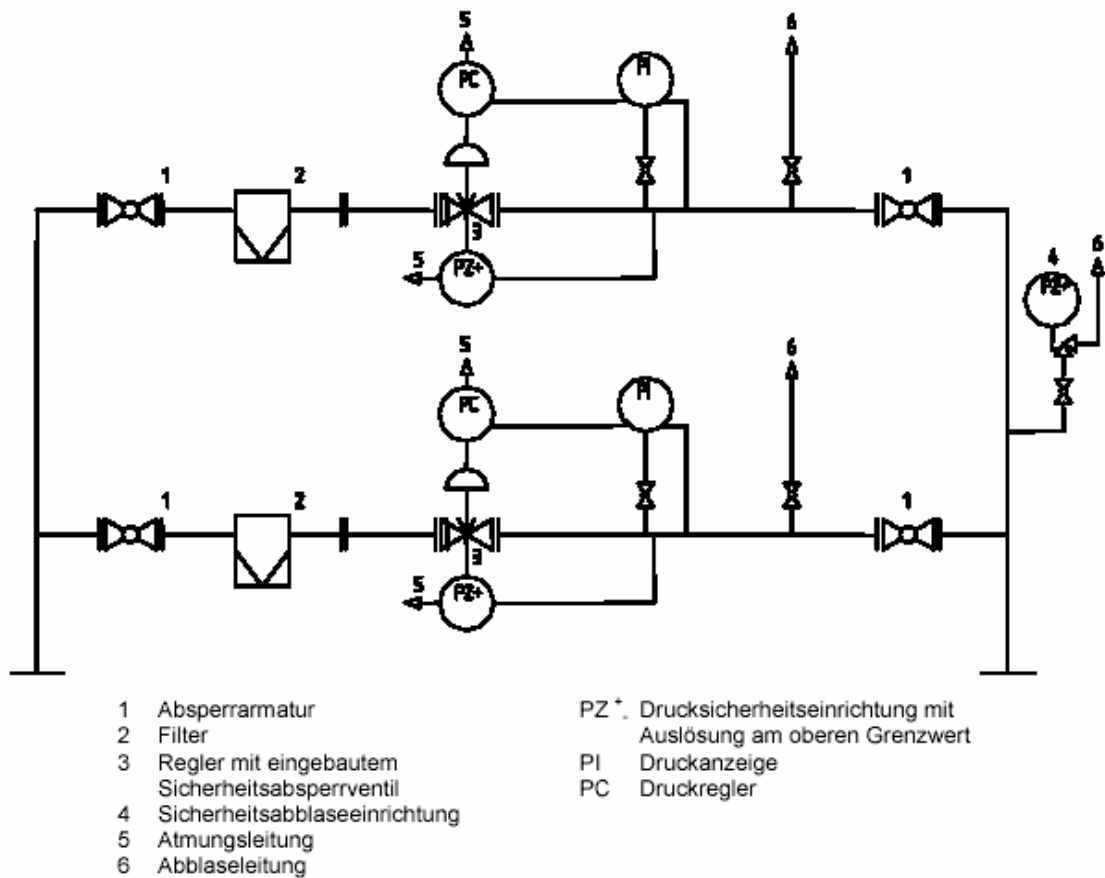


Abbildung 15 Schema einer Einspeisegasdruckanlage

Bei der Planung einer Biogaseinspeisedruckregelanlage muss darauf Bedacht genommen werden, mit welchem höchstmöglichen Betriebsdruck das Erdgasnetz, in welches eingespeist werden soll, betrieben werden kann, da dieser für die Auslegung und Auswahl der Regler, aber auch der Verdichter von großer Bedeutung ist.

In der Gaswirtschaft werden heute für den Bau von Erdgasdruckregelstationen ausschließlich nicht korrosionsbeständige Materialien eingesetzt, da man bei Erdgas von einem trockenen Gas ausgeht, das frei von korrosiven Bestandteilen ist. Daher sind auch die Komponenten (Druckregler, Gaszähler, etc.) aus korrosionsbeständigen Materialien nur als Sonderanfertigungen am Markt erhältlich. Daher ist deren Anschaffung auch entsprechend kostenintensiv. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht empfiehlt es sich, für die Einspeisung von Biogas in ein Erdgasnetz nur zumindest gereinigtes Biogas vorzusehen, um so für die Errichtung einer Druckregelanlage auf die in der Gaswirtschaft verwendeten Komponenten zurückgreifen zu können.

3.2.4.1 Absperrarmaturen

Sie dienen als sicherheitstechnische Einrichtung und werden eingangs- bzw. ausgangsseitig der Druckregelstation installiert. Für Gasdruckregelanlagen mit einem Betriebsdruck ≤ 16 [bar] werden Klappen und mit einem Betriebsdruck > 16 [bar] Kugelhähne eingesetzt.

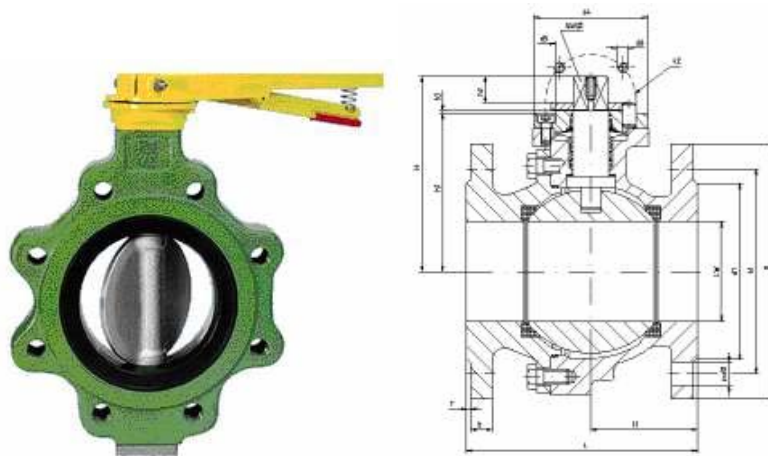


Abbildung 16 Absperrarmatur

Die eingesetzten Armaturen haben der ÖNORM M 7342 (wird zukünftig durch die ÖNORM EN 13774 ersetzt) zu entsprechen

3.2.4.2 Gasleitungen

Diese bestehen aus Rohren, Formstücken, Dichtungen und Verbindungen. Für den Bau von Gasdruckregelanlagen dürfen nur solche Bauteile eingesetzt werden, die den technischen Regeln und Normen bzw. dem Kesselgesetz entsprechen. Die Anforderung an die Rohre und Rohrleitungsteile für die Messeinrichtungen können den ÖVGW Richtlinien G6 und G53 entnommen werden. Die Verbindung von Bauteilen sollte grundsätzlich durch Schweißen erfolgen. Die Schweißverbindungen haben den entsprechenden Bestimmungen der ÖVGW Richtlinie G1 zu entsprechen und dürfen nur durch Personen mit einem Schweißzeugnis gemäß der ÖNORM EN 287-1 hergestellt werden.

Wenn die Zuleitungen (Biogas und Erdgas) kathodisch geschützt sind, ist die Druckregelanlage elektrisch getrennt (durch Isolierflansche) von diesen auszuführen.

3.2.4.3 Gasfilter und Abscheider

Gasfilter und Abscheider sind dann vorzusehen, wenn die Möglichkeit besteht, dass im Gas funktionsstörende Festbestandteile oder Flüssigkeiten mitgeführt werden. Da bei Biogas, auch bei gereinigtem und aufbereitetem, nicht ausgeschlossen werden kann, dass sich auch noch nach der Aufbereitung flüssige und/oder feste Bestandteile im Gas befinden, müssen zum

Schutz und zum einwandfreien Betrieb Gasfilter und Abscheider in einer Biogaseinspeisedruckregelstation vorgesehen werden. Diese sind so zu bemessen, dass die zu erwartenden Staub- bzw. Feuchtigkeitsmengen aufgenommen werden können. Auch müssen sie auf den maximalen Gasdurchfluss ausgelegt werden. Zur Überwachung der Verschmutzung kann eine Differenzdruckmessung (mit Alarmmeldung) vorgesehen werden.

3.2.4.4 Gasdruckregler

Die Regelung des Einspeisedruckes hat die Aufgabe, den Druck ausgangsseitig innerhalb der erforderlichen Grenzen aufrecht zu halten. Die Baugruppe Gasdruckregler besteht üblicherweise aus drei integrierten Komponenten, dem Sicherheitsabblaseventil, dem eigentlichen Druckregler und dem Sicherheitsabsperrentil. Das Sicherheitsabblaseventil hat die Aufgabe das abzusichernde System gegen Überdruck zu schützen (wird der zulässige Wert überschritten, lässt es einen Gasstrom entweichen und schließt selbstständig wenn der Ansprechdruck unterschritten wird). Das Sicherheitsabsperrentil hat die Aufgabe, den Gasstrom selbstständig zu schließen, sobald der Druck im abzusichernden System einen eingestellten Wert überschreitet. Beide Sicherheitseinrichtungen gemeinsam gewährleisten, dass bei Druckerhöhung im Erdgasnetz kein Erdgas in die Biogasanlage strömen kann.



Abbildung 17 Gasdruckregler

Für Betriebsdrücke bis 10 [bar] werden federbelastete und > 10 [bar] werden pilotgesteuerte (Gegendruck wird mittels Gas erzeugt) Druckregler eingesetzt.

3.2.4.5 Gasmesseinrichtung

Gasnetzbetreiber müssen in Österreich, entsprechend den sonstigen Marktregeln der E-Control, die Menge und Qualität des in ihr Netz eingespeisten Gases überwachen. Damit wird sichergestellt, dass bis 31.12.2005 alle Gaskunden thermisch abgerechnet (gemäß ÖVGW Richtlinie G177) werden können. Unter der thermischen Abrechnung versteht man die Verrechnung vom Energieinhalt (Brennwert) des Gases bezogen auf Normbedingungen (0 [°C] und 1013,25 [mbar]). Um dies zu ermöglichen sind an allen Einspeisepunkten in ein regionales Netz die Gasmenge und die Betriebsbedingungen (Temperatur und Druck) zu messen, sowie die Gasqualität (z.B. durch Simulation) hinsichtlich der brenntechnischen Komponenten zu bestimmen.



Abbildung 18 Drehkolbengaszähler, Turbinenradgaszähler

Die Gasmengenmessung hat entsprechend der ÖVGW Richtlinie G74 zu erfolgen. Für die Messung von kleinen Volumenströmen (≤ 200 [m³/h]) werden Drehkolbengaszähler und von großen Volumenströmen (> 200 [m³/h]) werden Turbinenradgaszähler eingesetzt. Die Auswahl eines Gasmengenzählers hat an Hand der vorhandenen Betriebsverhältnisse zu erfolgen (siehe ÖNORM EN 1776). Bei der Planung der Messeinrichtung ist darauf zu achten, dass die Strömungsgeschwindigkeit von ca. 20 [m/s] nicht überschritten wird, und eine laminare Strömung gewährleistet ist.

Eine Komponente, die für die Erfassung der Gasmengen in Normbedingungen benötigt wird, ist der Mengenumwerter. Für die Funktionalität des Umwerter ist es notwendig, dass Gas-temperatur und Gas- und Luftdruck (entsprechend ÖVGW Richtlinie G77) gemessen werden. Mit diesen Messwerten und der Gasmenge wird nun gemäß der ÖVGW Richtlinie G76 die Gasmenge in Normvolumeneinheiten ermittelt.

Die Überwachungs-, Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten für die gesamte Biogaseinspeisepressurdruckregelanlage sind nach der ÖVGW Richtlinie G78 vorzunehmen. Die Durchführung erfolgt durch sachkundige Personen in einem einjährigen Intervall.

Für die thermische Abrechnung ist auch die Ermittlung des Brennwertes des eingespeisten Gases notwendig. Die Ermittlung der Erdgasqualität erfolgt mittels Online-Gaschromatografen an den Einspeisepunkten in ein Erdgasversorgungsnetz (z.B. Landesgasversorgungen). Die Anforderungen an diese Messsysteme sind der ISO 6974 Teil 1-6 zu entnehmen. Bei dieser Messung werden Kohlenwasserstoffe und N₂, O₂ und CO₂ erfasst. Die Ermittlung der brenntechnischen Daten (Brennwert, relative Dichte und Wobbe-Index) erfolgt gemäß der ISO 6976.

Da die gaschromatografische Bestimmung der Gasqualität sehr aufwändig und damit auch kostenintensiv ist, muss grundsätzlich hinterfragt werden, ob diese Methode für die Ermittlung

der brenntechnischen Daten für Biogas technisch notwendig ist. Beim Fermentationsprozess (anaerobere Vergärung von biogenen Stoffen) entstehen ausschließlich die Hauptbestandteile CH_4 und CO_2 sowie die Nebenbestandteile H_2 , H_2S , NH_3 , N_2 und O_2 und keine höherwertigen Kohlenwasserstoffe (ab Ethan). Davon ausgehend könnten auch weniger aufwändige Messsysteme zur Anwendung kommen. Eine sinnvolle und bezüglich des Messergebnisses gleichwertige Alternative stellen so genannte kombinierte Messsysteme dar. Diese Systeme können entsprechend den Bedürfnissen (CH_4 , CO_2 , N_2 , O_2 , H_2 , H_2S usw.) mit Sensoren bestückt und online betrieben werden. Die Messtoleranz < 1 [%] ist zwar höher als bei der gaschromatografischen Messung, da aber bei der Mengenmessung eine Toleranz von ± 2 [%] zugelassen wird, ist diese höhere Toleranz vernachlässigbar.



Abbildung 19 Gaschromatograf

Die Gasqualitätsmessung wird auf Grund ihres Platzbedarfes nicht in der Gasdruckregelstation angeordnet werden können. Hier bieten sich die Aufstellräumlichkeiten des Gasverdichters bzw. der Aufbereitungsanlage an. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass das gleiche Gas, welches mengenmäßig erfasst wird, gemessen wird.

4 Substrat

In diesem Kapitel wird der Einsatz von verschiedenen Rohstoffen als Substrat zur Biogasproduktion diskutiert. Neben einer Einteilung der Substrate wird ein Berechnungsvorgang beschrieben, mit dem die mögliche Gasausbeute unterschiedlicher Substanzen ermittelt werden kann. Mitberücksichtigt werden auch Kriterien hinsichtlich Kosten bzw. Erträgen verschiedener Rohstoffgruppen, sowie auch die Auswirkungen der Rohstoffe auf die Biogasqualität.

4.1 Substrat allgemein

Als Substrat wird organisches und biologisch abbaubares Material unterschiedlichster Herkunft bezeichnet. Als Grundsubstrat von landwirtschaftlichen Biogasanlagen dient vorwiegend Gülle bzw. Mist. Zusätzlich zum Grundsubstrat werden heutzutage weitere Stoffe verwertet, die als Kosubstrate (z.B. landwirtschaftliche Abfälle) bezeichnet werden. Vermehrt werden auch Anlagen mit nachwachsenden Rohstoffen (Energiepflanzen) als Grundsubstrat betrieben. Letzteren wird auch das größte Potenzial im Vergleich zu allen anderen Rohstoffen zugesprochen.

Um dem Ziel der Programmlinie – der Nutzung erneuerbarer Energieträger – gerecht zu werden, wurde die Untersuchung der Substrate auf nachwachsende Rohstoffe und landwirtschaftliche Abfälle konzentriert. Zur Vervollständigung der Substratliste werden aber auch die restlichen organischen Abfälle erwähnt, die einerseits für den wirtschaftlichen Betrieb einer Biogasanlage notwendig sein können (z.B. höhere spezifische Gasausbeute) und andererseits aber in einigen Fällen einen Mehraufwand für den Betrieb der Anlage bedeuten können (z.B. Substrataufbereitung, Hygienisierung). Die Substrate werden in einem kurzen Überblick folgendermaßen eingeteilt:

- Nachwachsende Rohstoffe (Nawaros) bzw. Energiepflanzen
- Landwirtschaftliche Abfälle (pflanzlich, tierisch)
- Sonstige organische Stoffe
 - Industrielle/Gewerbliche organische Abfälle/Abwässer
 - Kommunale feste Abfälle (Biotonne, Grünschnitt)
 - Kommunaler Klärschlamm

4.1.1 *Nachwachsende Rohstoffe / Energiepflanzen*

Bei der Produktion von Biogas wird neben den ursprünglichen Substraten (Gülle, landwirtschaftliche Abfälle) zunehmend die Möglichkeit genutzt, Energiepflanzen – eigens für die Biogasproduktion angebaut – zu vergären. Energiepflanzen bzw. nachwachsende Rohstoffe werden als Kosubstrat neben Gülle, oder auch als Monosubstrat zu Biogas vergoren. Im letzteren Fall wird die erforderliche Trockensubstanzkonzentration – abhängig von der Wahl des Verfahrens – mit der Zugabe von Wasser erreicht.

Zu den am Häufigsten eingesetzten Energiepflanzen zählen Mais, Getreideganzpflanzen, Gräser mit hohem Biomasseertrag und Feldfrüchte (Rüben). Mit welchen Pflanzen der größtmögliche Ertrag erzielt wird bzw. welche Fruchtfolgen für eine ökologische Gasproduktion erforderlich sind, ist Gegenstand von vielen derzeit noch laufenden Studien und wird daher im vorliegenden Projekt nicht näher erläutert. Für das vorliegende Bewertungsverfahren werden für die gängigsten Substrate Werte aus eigenen Berechnungen sowie Literaturwerte herangezogen, die auch schon zum Teil empirisch nachgewiesen wurden.

Ein Kriterium für die Nutzung von Energiepflanzen ist es, einen möglichst hohen Energieertrag pro Hektar bei niedrigen Ernte- und Bereitstellungskosten zu erreichen. Aus dieser Tatsache heraus kann ein Ansatz für die Bewertung der Substratverfügbarkeit formuliert werden (siehe Kapitel 9.3).

4.1.2 *Landwirtschaftliche Abfälle*

Landwirtschaftliche Substrate werden in eine tierische und eine pflanzliche Komponente unterteilt. Zum tierischen Anteil zählen einerseits die Ausscheidungen der einzelnen Nutztiere (Gülle und Festmist, vorwiegend aus Rinder- und Schweinehaltung) und andererseits die bei der Schlachtung entstehenden Abfälle (z.B. Panseninhalt). Auf Grund der schon seit einigen Jahren geltenden gesetzlichen Regelungen, die dem Landwirt die Schlachtung am eigenen Hof nur bei Einhaltung strenger Hygienevorschriften wie eigenem Schlachtraum, Kühlraum, etc. durch zusätzlichen finanziellen Mehraufwand ermöglichen, hält sich der Anfall von Schlachtabfällen im landwirtschaftlichen Bereich in Grenzen und wird dementsprechend auch in der Literatur nicht als landwirtschaftliches Substrat, sondern als fester industrieller Abfall eingestuft. Zur pflanzlichen Komponente zählen Ernterückstände aus der Landwirtschaft wie z.B. Stroh, Kartoffelkraut und Rübenblätter.

4.1.3 *Sonstige organische Stoffe*

Unter dem Namen „Sonstige organische Stoffe“ werden alle restlichen Substrate subsumiert, die nicht Gegenstand der Ziele dieser Programmlinie sind, aufgrund der Vollständigkeit jedoch

mit berücksichtigt wurden. Es wurde schon kurz erwähnt, dass diese Stoffe nicht landwirtschaftlicher Herkunft zum Teil auch Vorteile gegenüber Nawaros aufweisen. Zum Beispiel können derzeit noch monetäre Erträge aus der Substratannahme erzielt werden. Demgegenüber gibt es auch Nachteile wie erhöhten Aufbereitungsaufwand der Substrate bzw. potenzielle Einschränkungen in der Gärrestverwertung durch Ausbringung.

4.1.3.1 Industrielle organische Abfälle

Zu den industriellen organischen Abfällen zählen hauptsächlich Abfälle aus der Lebensmittelindustrie wie Gemüseabfälle, Schlachtabfälle, Fette, Flotatfett usw. Hierbei müssen im Falle einer Verwendung als Substrat die geltenden Hygienevorschriften (EU-Hygieneverordnung) berücksichtigt werden. Im Weiteren können auch verdorbene Produkte aus dem Lebensmittelhandel dieser Kategorie hinzugerechnet werden. In diesem Fall kann sich jedoch der Mehraufwand der Aufbereitung (Entpackung) negativ auf die Annahmeerlöse auswirken.

4.1.3.2 Kommunale Abfälle

Zu den kommunalen Abfällen zählen Grünschnitt, Gartenabfälle und Küchenabfälle, die über das in Österreich verbreitete Sammelsystem „Biotonne“ entsorgt werden. Darüber hinaus entstand durch das seit Mai 2004 in Kraft getretene allgemeine Verfütterungsverbot für Küchenabfälle und Speisereste aus Gewerbebetrieben eine weitere Substratart, da die flüssige Phase dieser Küchenabfälle (Sautrank) und tierischen Speisereste nicht der Biotonne zugeführt werden dürfen. Unternehmen, die die gesammelten Küchenabfälle und Speisereste/Sautrank in einer Biogasanlage behandeln, müssen jedoch eine Zulassung nach §3 Tiermaterialengesetz sowie eine Abfallbehandlererlaubnis nach §24 Abfallwirtschaftsgesetz 2002 besitzen.

4.1.3.3 Kommunaler Klärschlamm

Kommunaler Klärschlamm entsteht bei der biologischen Abwasserreinigung. Dieser wird im Prozessschritt der Schlammstabilisierung aerob oder anaerob weiterbehandelt. Die anaerobe Stabilisierung erfolgt gleich der Biogaserzeugung im Fermenter, dient jedoch bei der Abwasserreinigung in erster Linie der Reduktion des anfallenden Klärschlammes bzw. des organischen Anteiles des Schlammes und der Stabilisierung. Das entstehende Klärgas wird direkt zur Energieversorgung der Kläranlage verwendet. Seit der Forcierung der Biogaserzeugung und aufgrund einer unzureichenden Auslastung der Faultürme auf Kläranlagen gibt es allerdings an vielen Kläranlagenstandorten Überlegungen zur Mitvergärung von Kosubstraten.

4.1.4 Substratverwendung

In Abhängigkeit von der Verfügbarkeit und der Gasausbeute verschiedener Substrate, sowie der Fermentationstechnologie (Trocken-/Nassfermentation) werden in den meisten Fällen

