



## BIOGAS IM VERKEHRSSEKTOR

Technische Möglichkeiten, Potential und  
Klimarelevanz

Werner Pölz  
Stefan Salchenegger



BERICHTE  
283

Wien, 2005



**Projektleitung**

DI Stefan Salchenegger

**Autoren**

DI Werner Pölz

DI Stefan Salchenegger

**Gesamtkoordination**

Dr. Elisabeth Friedbacher

Diese Studie wurde im Auftrag des Ministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie erstellt.

Das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie ist vertreten durch:

Dr. Andreas Dorda

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Abt. Mobilität und Verkehrstechnologien

A - 1010 Wien, Rengasse 5

email: andreas.dorda@bmvit.gv.at

Weitere Informationen zu Publikationen des Umweltbundesamtes unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

**Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH  
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2005

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 3-85457-799-0



## ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Studie, die das Umweltbundesamt im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie erstellt hat, werden technische Möglichkeiten sowie die umweltbezogenen Auswirkungen von Biogas als Kraftstoff im Verkehrssektor untersucht.

Die Studie bietet einen Überblick über mögliche Rohstoffquellen und die theoretisch verfügbaren Mengen von Biogas in Österreich. Hier belegen zitierte Studien aufgrund der breit gefächerten Rohstoffsituation bereits das hohe mengenmäßige Potential.

Um die Umweltauswirkungen des Einsatzes von Biogas im Verkehrssektor abzuschätzen, werden die Treibhausgas- sowie Luftschadstoffemissionen von Biogasfahrzeugen jenen von Dieselfahrzeugen gegenübergestellt. Die gesamthafte Beurteilung der Umwelteffekte wird ermöglicht, indem neben den direkten Fahrzeugemissionen auch die Emissionen der vorgelagerten Prozesse (v.a. bei Kraftstoffproduktion und -transport) mit ausgewiesen sind. Die Ergebnisse der Studie können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Der Einsatz von Biogas als Kraftstoff ist aus technischer Sicht problemlos möglich. Aufbereitetes Biogas unterscheidet sich in der chemischen Zusammensetzung nicht von Erdgas und weist somit ebenso gute Voraussetzungen für den Einsatz im Fahrzeugsektor auf wie Erdgas.
2. Österreich verfügt über ein sehr hohes Mengenpotential an Biogas. Das Potential ist weitaus höher als jenes für andere biogene Kraftstoffe wie Bioethanol oder Biodiesel. Bei Einsatz der gesamten Biogasmenge im Verkehrssektor könnten etwa 27 % des im Straßenverkehr in Österreich verfahrenen Kraftstoffes substituiert werden.
3. Der Einsatz von Biogas im Verkehrssektor kann zu einer Reduktion der gesamten Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors von bis zu 75 % führen.
4. Gerade bei den kritischen Luftschadstoffen  $\text{NO}_x$  und Partikel bietet Biogas als Kraftstoff gegenüber Dieselfahrzeugen ein hohes Potential zur Reduktion der direkten Fahrzeugemissionen. Berücksichtigt man die vorgelagerten Prozessemissionen so zeigt sich, dass die Umweltbilanz von Biogas wesentlich von den vorgelagerten Transportprozessen abhängt.
5. Voraussetzung für eine Markteinführung von Biogas im Verkehrssektor ist die Schaffung einer Erdgasinfrastruktur, bestehend aus einem ausreichenden Tankstellennetz, sowie eine entsprechende Verfügbarkeit von Erdgasfahrzeugen.
6. Darüber hinaus müssen geeignete politische und gesetzliche Rahmenbedingungen zur Förderung von Biogas (bzw. Erdgas) als Kraftstoffalternative geschaffen werden. Dazu zählen neben der Festlegung attraktiver Einspeisebedingungen in das Erdgasnetz auch die Angleichung diverser gesetzlicher Vorgaben (etwa Garagenverordnungen) sowie die langfristige Sicherstellung einer steuerlichen Begünstigung gegenüber herkömmlichen Kraftstoffen.



## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>AUFGABENSTELLUNG .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>METHODIK.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Verwendete Datengrundlagen .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs 2.1 .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3</b>	<b>GEMIS – Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme.....</b>	<b>15</b>
2.3.1	GEMIS 4.2 – Österreich .....	16
<b>3</b>	<b>BIOKRAFTSTOFFE .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Definition.....</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>GESETZLICHE RAHMENBEDINGUNGEN FÜR BIOGAS.....</b>	<b>19</b>
<b>4.1</b>	<b>Europäische Union.....</b>	<b>19</b>
4.1.1	Biokraftstoffrichtlinie (2003/30/EG) .....	19
4.1.2	Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt (2001/77/EG) .....	19
4.1.3	Hygieneverordnung (2002/1774/EG) .....	19
<b>4.2</b>	<b>Österreich .....</b>	<b>20</b>
4.2.1	Ökostromgesetz (BGBl. I Nr. 149/2002) .....	20
4.2.2	Kraftstoffverordnung (BGBl. II Nr. 418/1999).....	20
4.2.3	Mineralölsteuergesetz (BGBl. Nr. 630/1994 ST0197) .....	21
4.2.4	Erdgasabgabegesetz (BGBl. Nr. 201/1996) .....	21
4.2.5	Gaswirtschaftsgesetz – GWG (BGBl. I Nr. 121/2000).....	21
4.2.6	Sonstige relevante Rechtsbereiche .....	21
<b>5</b>	<b>BIOGAS.....</b>	<b>22</b>
<b>5.1</b>	<b>Definition Biogas.....</b>	<b>22</b>
<b>5.2</b>	<b>Genese von Biogas .....</b>	<b>22</b>
<b>5.3</b>	<b>Biogasproduktion.....</b>	<b>22</b>
5.3.1	Ausgangsstoffe (Substrate).....	22
5.3.2	Anlagen .....	24
<b>5.4</b>	<b>Biogasaufbereitung.....</b>	<b>26</b>
5.4.1	Kohlendioxidabtrennung .....	27
5.4.2	Entschwefelung .....	30
5.4.3	Gastrocknung .....	31
<b>5.5</b>	<b>Verdichtung von Biogas .....</b>	<b>32</b>
5.5.1	Druckniveau im Erdgasnetz .....	32
5.5.2	Druckniveau für Bio-/Erdgastankstellen.....	32
<b>6</b>	<b>BEISPIELE FÜR DIE AUFBEREITUNG UND DIE ANWENDUNG VON BIOGAS IM VERKEHRSSSEKTOR .....</b>	<b>34</b>
<b>6.1</b>	<b>Beispiel Schweden.....</b>	<b>34</b>
6.1.1	Biogaseinspeisung in Laholm .....	35
6.1.2	Biogasaufbereitung in Linköping .....	35



<b>6.2</b>	<b>Beispiel Schweiz</b> .....	<b>36</b>
6.2.1	Kompo-Mobil I & II.....	36
6.2.2	Erdgas Zürich.....	36
6.2.3	Migros Zürich.....	36
<b>6.3</b>	<b>Beispiel Deutschland</b> .....	<b>37</b>
6.3.1	Klärgasaufbereitung Stuttgart – Mühlhausen .....	37
6.3.2	Biogasaufbereitung auf der Kläranlage Mönchengladbach – Neuwerk ....	37
6.3.3	Biogasanlage Albersdorf, Schleswig – Holstein .....	37
6.3.4	Biogasanlage Schleswig .....	37
<b>7</b>	<b>ERDGASFAHRZEUGE</b> .....	<b>39</b>
<b>7.1</b>	<b>Definition Erdgas</b> .....	<b>39</b>
<b>7.2</b>	<b>Technische Entwicklung</b> .....	<b>39</b>
<b>7.3</b>	<b>Anforderung Gasqualität</b> .....	<b>40</b>
<b>7.4</b>	<b>Anbieter von Erdgasfahrzeugen</b> .....	<b>41</b>
<b>8</b>	<b>POTENTIAL BIOGAS IN ÖSTERREICH</b> .....	<b>42</b>
<b>8.1</b>	<b>Derzeitiger Stand</b> .....	<b>42</b>
<b>8.2</b>	<b>Zukünftiges Potential</b> .....	<b>42</b>
8.2.1	Technisches vs. Theoretisches Potential.....	42
8.2.2	Hemmnisse .....	45
8.2.3	Wirtschaftliche Anreize.....	46
<b>9</b>	<b>VERTEILUNG BIOGAS</b> .....	<b>47</b>
<b>9.1</b>	<b>Zentrale vs. Dezentrale Produktion</b> .....	<b>47</b>
9.1.1	Rahmenbedingungen.....	47
9.1.2	Versorgung.....	47
9.1.3	Einspeisung in das Erdgasnetz.....	47
9.1.4	Direktabgabe Biogastankstellen .....	49
<b>10</b>	<b>ÖKOBILANZ BIOGAS IM VERKEHRSSSEKTOR</b> .....	<b>51</b>
<b>10.1</b>	<b>Erstellung Ökobilanz</b> .....	<b>51</b>
10.1.1	Energie- und Materialbilanz Szenario 1: Zentrale Biogasanlagen – Bereitstellung mittels Biogastankstelle.....	54
10.1.2	Energie- und Materialbilanz Szenario 2: Zentrale Biogasanlagen – Einspeisung in das Erdgasnetz.....	55
10.1.3	Energie- und Materialbilanz Szenario 3: Dezentrale Biogasanlagen - Biogasbereitstellung mittels Biogastankstelle oder Einspeisung in das Erdgasnetz .....	55
10.1.4	Energie- und Materialbilanz Szenario 4: Idealszenario - Dezentrale und zentrale Biogasanlagen.....	55
<b>10.2</b>	<b>Ergebnisse Ökobilanz</b> .....	<b>55</b>
10.2.1	Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen: Szenario 1 .....	56
10.2.2	Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen: Szenario 2 .....	59
10.2.3	Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen: Szenario 3.....	61
10.2.4	Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen: Szenario 4.....	63
<b>11</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN</b> .....	<b>66</b>



**12 LITERATUR..... 72**



## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Einteilung der Fahrzeuggruppen „PKW mit Benzinmotor“ und „PKW mit Dieselmotor“ im Handbuch der Emissionsfaktoren .....	14
Tabelle 2:	Einteilung der Fahrzeuggruppe „Lieferwagen/Leichte Nutzfahrzeuge mit Benzinmotor“ bzw. „mit Dieselmotor“ lt. Handbuch der Emissionsfaktoren .....	14
Tabelle 3:	Einteilung der Fahrzeugkategorie „Lastkraftwagen“ im. Handbuch der Emissionsfaktoren .....	14
Tabelle 4:	Kraftstoffspezifikationen für Erdgas .....	20
Tabelle 5:	Zusammensetzung von Biogas [ULZ 2003; SCHULZ 2003] .....	22
Tabelle 6:	Verfahren zur Methanisierung von Biogas [TRETTER 2003] .....	26
Tabelle 7:	Anforderungen an Biogas für den Einsatz als Fahrzeugtreibstoff bzw. Einspeisung in das Gasnetz in Schweden [JÖNSSON 2002] ..	34
Tabelle 8:	Erforderliche Biogasqualität laut Standard SS 15 54 38 in Schweden [Tretter 2003] .....	35
Tabelle 9:	Erdgaszusammensetzung zur Nutzung in Fahrzeugen (ISO/DIS 15403) .....	40
Tabelle 10:	Übersicht der Anbieter von Erdgasfahrzeugen .....	41
Tabelle 11:	Anzahl und Potential von Biogasanlagen in Österreich [BRAUN 2004] .....	42
Tabelle 12:	Anzahl an Nutztieren 2002 in Österreich [STATISTIK AUSTRIA] ..	43
Tabelle 13:	Ungefähre Ergiebigkeit von tierischen Exkrementen pro Tag und GVE sowie Heizwert des Biogases [ANDERL 1998] .....	43
Tabelle 14:	Biogasausbeute und Zusammensetzung von Biogas aus biogenen Abfällen [GRASMUG 2002] .....	45
Tabelle 15:	Gasqualitätsanforderung für Biogas zur Einspeisung in das österreichische Erdgasnetz [ÖVGW 2001] .....	48
Tabelle 16:	Technisches Potential für die Biogaserzeugung .....	66





## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Gasausbeuten unterschiedlicher Substrate (mit Spannweiten) [Schattner 2000].....	24
Abbildung 2:	Flussschema einer Biogasanlage.....	24
Abbildung 3:	Schematischer Aufbau einer Druckwasserwäsche [Schultz 2003] 27	
Abbildung 4:	Fließschema einer nassen Gaswäsche mit Prozessdaten [Schultz 2003].....	28
Abbildung 5:	Flussschema einer Druckwechseladsorptionsanlage [Schultz 2003] .....	29
Abbildung 6:	Schematischer Aufbau einer auf Gasverflüssigung basierenden Biogasaufbereitungsanlage [Schultz 2003] .....	30
Abbildung 7:	Prozesskette der Produktion und Reinigung von Biogas für den Verkehrssektor mit dem Substrat Gülle.....	51
Abbildung 8:	Prozesskette der Produktion und Reinigung von Biogas für den Verkehrssektor mit dem Substrat Mais.....	52
Abbildung 9:	Spezifischen Emissionen von Diesel und Erdgas-PKW in g/km [IFEU 2002, HBEFA, 2005].....	53
Abbildung 10:	Direkte CO <sub>2</sub> -Äquivalent- und CO <sub>2</sub> -Emissionen der Kraftstoffe Erdgas im Jahr 2005, Diesel im Jahr 2010 und Biogas im Jahr 2005 in PKW in g/Pkm.....	56
Abbildung 11:	Direkte Luftschadstoffemissionen der Kraftstoffe Erdgas im Jahr 2005, Diesel im Jahr 2010 und Biogas im Jahr 2005 in PKW in g/Pkm.....	57
Abbildung 12:	Gesamte Treibhausgasemissionen in g/Pkm für PKW mit den Kraftstoffen Erdgas (2005), Diesel (2010) und Biogas (2005) beim Szenario 1.....	58
Abbildung 13:	Gesamte Luftschadstoffe in g/Pkm für PKW mit den Kraftstoffen Erdgas (2005), Diesel (2010) und Biogas (2005) beim Szenario 1	59
Abbildung 14:	Gesamte Treibhausgasemissionen in g/Pkm für PKW mit den Kraftstoffen Erdgas (2005), Diesel (2010) und Biogas (2005) beim Szenario 2.....	60
Abbildung 15:	Gesamte Luftschadstoffe in g/Pkm für PKW mit den Kraftstoffen Erdgas (2005), Diesel (2010) und Biogas (2005) beim Szenario 2	61
Abbildung 16:	Gesamte Treibhausgasemissionen in g/Pkm für PKW mit den Kraftstoffen Erdgas (2005), Diesel (2010) und Biogas (2005) beim Szenario 3.....	62
Abbildung 17:	Gesamte Luftschadstoffe in g/Pkm für PKW mit den Kraftstoffen Erdgas(2005), Diesel (2010) und Biogas (2005) beim Szenario 363	



Abbildung 18: Gesamte Treibhausgasemissionen in g/Pkm für PKW mit den Kraftstoffen Erdgas (2005), Diesel (2010) und Biogas (2005) beim Szenario 4.....	64
Abbildung 19: Gesamte Luftschadstoffe in g/Pkm für PKW mit den Kraftstoffen Erdgas(2005), Diesel (2010) und Biogas (2005) beim Szenario 4... ..	65
Abbildung 20: Darstellung der Reduktionspotentiale der gesamten Treibhausgasemissionen von den Referenztechnologien Diesel (2010) und Erdgas (2005) sowie den Biogas-Szenarien im Vergleich zu einem durchschnittlichen PKW-Diesel im Jahr 2004 ..	67
Abbildung 21: Darstellung der Reduktionspotentiale der gesamten SO <sub>2</sub> -Emissionen von den Referenztechnologien Diesel (2010) und Erdgas (2005) sowie den Biogas-Szenarien im Vergleich zu einem durchschnittlichen PKW-Diesel im Jahr 2004 .....	68
Abbildung 22: Darstellung der Reduktionspotentiale der gesamten NO <sub>x</sub> -Emissionen von den Referenztechnologien Diesel (2010) und Erdgas (2005) sowie den Biogas-Szenarien im Vergleich zu einem durchschnittlichen PKW-Diesel im Jahr 2004 .....	68
Abbildung 23: Darstellung der Entwicklung der gesamten Staub-Emissionen von den Referenztechnologien Diesel (2010) und Erdgas (2005) sowie den Biogas-Szenarien im Vergleich zu einem durchschnittlichen PKW-Diesel im Jahr 2004.....	69
Abbildung 24: Idealszenario: Gesamte CO <sub>2</sub> -Äquivalent-Emissionen in g/Pkm für die Referenztechnologien PKW Diesel und Erdgas und 2 ausgewählten Szenarien unter „idealen“ Prozessbedingungen... ..	70
Abbildung 25: Idealszenario: Gesamte Luftschadstoffemissionen in g/Pkm für die Referenztechnologien PKW Diesel und Erdgas und 2 ausgewählten Szenarien unter „idealen“ Prozessbedingungen... ..	70



# 1 AUFGABENSTELLUNG

Der Einsatz von Erdgasantrieben im Verkehrssektor gewann in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung. Trotz des vergleichsweise geringen Entwicklungsaufwandes, welcher bisher von den Fahrzeugherstellern betrieben wurde, stellen sich Erdgasfahrzeuge zunehmend als wirtschaftliche und umweltverträgliche Alternative zu herkömmlichen Antriebssystemen heraus. Immer mehr Fahrzeughersteller bieten daher serienmäßig Erdgasfahrzeuge an. Zusätzlich beginnen die Energieversorger verstärkt, Ergastankstellen in ihr bestehendes Tankstellennetz zu integrieren. Aufgrund dieser Entwicklungen ist in den nächsten Jahren mit einer deutlichen Steigerung des Anteils von Erdgasfahrzeugen in der österreichischen Gesamtflotte zu rechnen.

Neben der Möglichkeit zur Reduktion der Abhängigkeit von destillierten Erdölprodukten und somit einer Steigerung der Energieunabhängigkeit weisen Gasfahrzeuge ein hohes Potential zur Verringerung der direkten Luftschadstoffemissionen auf. Erdgas verfügt als Kraftstoff fossilen Ursprungs jedoch über den Nachteil der begrenzten Verfügbarkeit sowie einer im Vergleich zu Biokraftstoffen schlechten Treibhausgasbilanz.

Dieser Nachteil wird beim Einsatz von Biogas weitgehend vermieden. Bei der Produktion aus Abfällen, Energiepflanzen oder Gülle weist Biogas sogar eine positive Treibhausgasbilanz auf, da ansonsten entstehende Methanemissionen in die Atmosphäre vermieden werden. Daneben bieten sich etliche biogene Rohstoffe für die Biogaserzeugung an, hierbei wird in der Wachstumsphase der Pflanze ebensoviel Kohlendioxid gebunden wie bei der Verbrennung freigesetzt wird.

Durch den Aufbau der Infrastruktur für Erdgasfahrzeuge bietet sich die Chance, auch den Einsatz von Biogas im Verkehrssektor zu forcieren. Somit ließen sich neben den Vorteilen bei den Luftschadstoffen auch deutliche Verringerungen der Treibhausgasemissionen erreichen.

Ziel der Studie ist es, in einem ersten Schritt die möglichen Potentiale für den Biogaseinsatz in Österreich zu ermitteln. Hierfür wird eine Literaturstudie über grobe Mengenabschätzung der in Österreich zur Verfügung stehenden Rohstoffe (Abfall, biogene Produkte) vorgenommen. Weiters wird in der Studie ein Überblick über derzeit am Markt befindliche Biogasanlagen geboten, um eine Mengenabschätzung an Biogas für Österreich durchzuführen.

In einem zweiten Schritt werden technische Fragestellungen untersucht. Dies betrifft neben den Anforderungen an das Biogas für den Einsatz in Verkehrsmitteln (Reinheit, Zusammensetzung etc.) auch die Untersuchung der Möglichkeit des Einsatzes von Biogas in Erdgasfahrzeugen.

Neben der Untersuchung von Potential und technischen Voraussetzungen für die Erzeugung von Biogas sollen auch die technischen Möglichkeiten der Verteilung bzw. Einspeisung untersucht werden. Dies betrifft speziell die Fragestellung hinsichtlich der Vor- und Nachteile einer zentralen vs. dezentralen Biogasproduktion sowie einer Einspeisung in das Erdgasnetz vs. einer Direktabgabe an Biogastankstellen.

Darüber hinaus werden in der Studie die Vorteile des Einsatzes von Biogas sowohl hinsichtlich des Ausstoßes von Luftschadstoffen wie auch von Treibhausgasen näher untersucht. Mittels der Abschätzung für den Biogaseinsatz soll das



theoretische Gesamtpotential für die Reduktion der Umweltbelastung durch den Einsatz von Biogas im Verkehrssektor in Österreich abgeschätzt werden.



## 2 METHODIK

### 2.1 Verwendete Datengrundlagen

Den Berechnungen in dieser Studie liegen fundierte Recherchen in einschlägiger Literatur zu Grunde. Persönliche Anfragen bei Biogasanlagenbetreibern, Herstellern von Erdgasfahrzeugen, ausländische Biogasexperten etc. wurden im Laufe der Arbeiten durchgeführt und in die Studie eingearbeitet.

Die von konventionellen Fahrzeugen emittierten direkten Schadstoffe wurden mit dem Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (siehe Kap. 2.2) berechnet, Emissionen von vorgelagerten Prozessen sowie Emissionen der Erdgasfahrzeuge mit GEMIS (siehe Kap. 2.3).

### 2.2 Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs 2.1

Das Handbuch ist ein Programm zur Berechnung der Emissionen von Straßenverkehrsfahrzeugen. Das Modell wurde in Kooperation mit Deutschland, der Schweiz und den Niederlanden entwickelt und stellt das genaueste Verkehrsemissionsmodell in Europa dar.

Grundlage für die Modellentwicklung sind die Emissionsmessungen an Fahrzeugen am Rollenprüfstand bzw. Motorprüfstand. Die ermittelten Emissionen wurden in Emissionsfaktoren für reale Fahrsituationen umgelegt, um eine realitätsnahe Abbildung des Schadstoffausstoßes zu erhalten.

Das Handbuch gestattet die Berechnung der Emissionen für folgende Fahrzeuggruppen:

- PKW
- Leichte Nutzfahrzeuge
- Schwere Nutzfahrzeuge (LKW, Sattelschlepper, Lastzüge)
- Busse (Linien- bzw. Reisebusse)
- Zweiräder (Mofas bzw. Motorräder)

Diese können weiter in Fahrzeugklassen unterteilt werden (nach Antriebsart, Abgasstandard, Baujahr, Größenklasse), um möglichst exakte Angaben bezüglich der Emissionen eines Einzelfahrzeuges zu erhalten.

Die Fahrzeuggruppen werden im Handbuch für Emissionsfaktoren folgendermaßen definiert:

**PKW:** Kraftwagen für die Personenbeförderung mit einem höchst zulässigem Gesamtgewicht < 3,5 t

**LNF:** Lieferwagen/leichte Nutzfahrzeuge für die Güterbeförderung mit einem höchst zulässigem Gesamtgewicht < 3,5 t.

**LKW:** Fahrzeuge für die Güterbeförderung mit einem höchst zulässigem Gesamtgewicht >3,5 t.

Tabelle 1: Einteilung der Fahrzeuggruppen „PKW mit Benzinmotor“ und „PKW mit Dieselmotor“ im Handbuch der Emissionsfaktoren

<b>PKW mit Benzinmotor</b>		<b>PKW mit Dieselmotor</b>	
GKat vor 1987	differenziert nach 3 Größenklassen	konventionell vor 1986	differenziert nach 3 Größenklassen
GKat 1988-1990		konventionell 1986-1988	
EURO1		EURO1	
EURO2		EURO2	
EURO3		EURO3	
EURO4	> 2 l Hubraum	EURO4	> 2 l Hubraum

Tabelle 2: Einteilung der Fahrzeuggruppe „Lieferwagen/Leichte Nutzfahrzeuge mit Benzinmotor“ bzw. „mit Dieselmotor“ lt. Handbuch der Emissionsfaktoren

<b>Lieferwagen / Leichte Nutzfahrzeuge mit Benzinmotor</b>	<b>Lieferwagen / Leichte Nutzfahrzeuge mit Dieselmotor</b>
konventionell vor 1981	konventionell vor 1986
konventionell nach 1981	konventionell nach 1986
GKat	
EURO1	EURO1
EURO2	EURO2
EURO3	EURO3
EURO4	EURO4

Tabelle 3: Einteilung der Fahrzeugkategorie „Lastkraftwagen“ im Handbuch der Emissionsfaktoren

<b>LKW</b>	
LKW 80erJr	differenziert nach Gewichtsklassen:
LKW EURO1	< 7,5 t
LKW EURO2	7,5 – 12 t
LKW EURO3	12 – 14 t
	14 – 20 t
	20 – 26 t
	26 – 28 t
LKW EURO4	28 – 34 t
	34 – 40 t

Die Emissionsfaktoren sind getrennt nach Fahrsituationen und Streckenneigung enthalten, da diese wesentliche Einflussfaktoren für den Schadstoffausstoß darstellen. So ist es möglich, Emissionsfaktoren für verschiedene Straßenkategorien (Autobahn, Innerorts- und Außerortsstraßen) und Fahrzustände



(„Stop and Go“, leichte Störungen im Verkehrsgeschehen, Beschleunigungsphasen etc.) zu ermitteln. Im Handbuch sind Emissionsfaktoren unterschieden nach etwa 50 Fahrsituationen inkludiert.

Neben den Emissionen im betriebswarmen Zustand bietet das Handbuch die Möglichkeit, Kaltstart- und Verdampfungsemissionen abzubilden. Damit präsentiert sich das Handbuch als umfassende Grundlage für die Berechnung von Straßenverkehrsemissionen in Österreich.

### 2.3 GEMIS – Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme

Das GEMIS Modell (Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme) umfasst Grunddaten zur Bereitstellung von Energieträgern (Prozessketten- und Brennstoffdaten). Neben fossilen (Stein- und Braunkohle, Erdöl und Erdgas) und erneuerbaren Energieträgern (Sonnenenergie, Windenergie, Biogas, Biomasse, etc.) sind auch Hausmüll und Uran sowie Wasserstoff enthalten.

Die Datenbank umfasst:

- Technologien zur Bereitstellung von Wärme und Strom (Heizungen, Warmwasser, Kraftwerke aller Größen und Brennstoffe, Heizkraftwerke, Blockheizkraftwerke (BHKW)...),
- Stoffe (vor allem Grundstoffe und Baumaterialien), inklusive der vorgelagerten Prozessketten ,
- Transportprozesse, unterschieden nach Personen- und Güterverkehr auf Straße, Schiene, Luft und Wasserwegen

GEMIS berücksichtigt von der Primärenergie- bzw. Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie bzw. Stoffbereitstellung alle Schritte und bezieht auch den Hilfsenergie- und Materialaufwand zur Herstellung von Energieanlagen und Transportsystemen mit ein.

Die Datenbasis enthält für alle diese Prozesse Angaben bezüglich:

- Nutzungsgrad, Leistung, Auslastung, Lebensdauer;
- Direkte Luftschadstoffemissionen (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Halogene, Staub, CO);
- Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O sowie alle FCKW/FKW);
- Feste Reststoffe (Asche, Entschwefelungsprodukte, Klärschlamm, Produktionsabfall, Abraum);
- Flüssige Reststoffe;
- Flächenbedarf;
- Kumulierte Energieaufwendungen.

Der Schadstoff Staub wird in GEMIS nicht in Partikelgrößen unterschieden. Die berechnete Ökobilanz weist somit den Gesamtstaub der Prozesskette aus.

Der Kumulierte-Energie-Aufwand (KEA) [DRAKE 1996] ist die Summe aller Primärenergieinputs (inklusive der zur Materialherstellung), die für ein Produkt oder eine Dienstleistung aufgewendet wird. Primärenergien sind Ressourcen wie Erdöl, Sonnen- und Windenergie oder auch Uran, aus denen nutzbare Energieträger wie Heizöl, Benzin, Strom oder Fernwärme erzeugt werden. Der KEA wird bestimmt, indem für ein bestimmtes Produkt (z. B. Stahl) oder eine Dienstleistung (z. B. Raumwärme, Transport von Gütern) die gesamte Vorkette

untersucht und die jeweilige Energiemenge ermittelt wird. Die Vorketten der Stromerzeugung z. B. sind die Stromtrassen, die Kraftwerke sowie die Aktivitäten (Prozesse), die zum Betrieb der Kraftwerke notwendig sind (Bergbau, Raffinerien usw.). Auch der Aufwand zur Herstellung der jeweiligen Prozesse wird im KEA erfasst.

Eine wichtige Rolle spielt der KEA bei der Diskussion um die energetische Amortisationsdauer [VDI 1997]. Diese entspricht jener Zeit, die ein Energiesystem benötigt, um die für seine Herstellung investierte Energie durch die eigene Erzeugung wieder zu produzieren.

Kraftwerke und Heizungen, Verkehr und Industrie bewirken eine große Zahl von Umweltwirkungen. Ein erheblicher Teil der Umweltprobleme ist ursächlich mit Energie verbunden. Der Energieaufwand, den ein Produkt oder eine Dienstleistung erfordert, lässt sich relativ genau bestimmen. Die Vielzahl von Umweltwirkungen führt bei Ökobilanzen zu hohem Aufwand bei der Datenermittlung und komplexen Methoden bei der Bewertung. Da ein Großteil der Umwelteffekte aus der Energiebereitstellung und -nutzung resultiert, kann der KEA als Anhaltspunkte zur ökologischen Bewertung verwendet werden. Die erforderlichen Energiedaten können gut ermittelt und standardisiert werden.

Die Emissionsberechnungen sind im GEMIS 4.2 mit Länderherkunft versehen und sind somit regional zuordenbar. Dadurch ergibt sich eine genaue Aufteilung in Bereitstellungsemissionen und Emissionen, welche durch den Energieeinsatz vor Ort entstehen.

GEMIS 4.2 unterscheidet zwischen nichterneuerbaren und erneuerbaren kumulierten Energieaufwendungen und bildet daraus die Summe. Somit können auf einem Blick die Bereitstellungsemissionen für verschiedenste Systeme (z.B. Gasheizung, Holzheizung, etc.) analysiert werden.

### **2.3.1 GEMIS 4.2 – Österreich**

GEMIS-Österreich beinhaltet im Vergleich zum deutschen Basismodell GEMIS eine Weiterentwicklung der Datenbasis, insbesondere Österreichspezifische Datensätze, die eine Anwendung des Computermodells für Fragestellungen in Österreich ermöglichen. GEMIS-Österreich kann zudem Kosten analysieren – die entsprechenden Kenndaten der Brenn- und Treibstoffe sowie der Energie- und Transportprozesse (Investitions- und Betriebskosten) sind in der Datenbasis enthalten.

Mit GEMIS-Österreich können die Ergebnisse von Umwelt- und Kostenanalysen auch bewertet werden. Hierbei erfolgt eine Aggregation von klimarelevanten Schadstoffen zu so genannten CO<sub>2</sub>-Äquivalenten und die Ermittlung externer Umweltkosten, die zusammen mit den betriebswirtschaftlichen („internen“) Kosten zur Bestimmung der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten dienen.





## 3 BOKRAFTSTOFFE

### 3.1 Definition

„**Biokraftstoffe**“ sind flüssige oder gasförmige Kraftstoffe, die aus Biomasse hergestellt werden, wobei „Biomasse“ als der biologisch abbaubare Anteil von Erzeugnissen, Abfällen und Rückständen der Landwirtschaft (einschließlich pflanzlicher und tierischer Stoffe), der Forstwirtschaft und damit verbundener Wirtschaftszweige sowie der biologisch abbaubare Anteil von Abfällen aus Gewerbe und Haushalten definiert ist (Definition lt. Biokraftstoffrichtlinie 2003/30/EG).

Biokraftstoffe können in folgenden Formen bereitgestellt werden:

- (a) als reine Biokraftstoffe oder in hoher Konzentration in Mineralölderivaten,
- (b) als Biokraftstoffe, die Mineralölderivaten beigemischt wurden (gem. EN228 und EN590),
- (c) als Flüssigkeiten, die Derivate von Biokraftstoffen sind (z.B. ETBE).

Laut Richtlinie 2003/30/EG gelten zumindest folgende Erzeugnisse als Biokraftstoffe:

- **Bioethanol:** Ethanol, das aus Biomasse und/oder dem biologisch abbaubaren Teil von Abfällen hergestellt wird und für die Verwendung als Biokraftstoff bestimmt ist.
- **Biodiesel:** Methylester eines pflanzlichen oder tierischen Öls mit Dieselkraftstoffqualität, der für die Verwendung als Biokraftstoff bestimmt ist.
- **Biogas:** Brenngas, das aus Biomasse und/oder aus dem biologisch abbaubaren Teil von Abfällen hergestellt wird, durch Reinigung Erdgasqualität erreichen kann und für die Verwendung als Biokraftstoff bestimmt ist, oder Holzgas.
- **Biomethanol:** Methanol, das aus Biomasse hergestellt wird und für die Bestimmung als Biokraftstoff bestimmt ist.
- **Biomethylether:** Dimethylether, der aus Biomasse hergestellt wird, und für die Verwendung als Biokraftstoff bestimmt ist.
- **Bio-ETBE** (Ethyl-Tertiär-Butylether): ETBE, der aus der Grundlage von Bioethanol hergestellt wird. Der Volumenprozentanteil des Biokraftstoffes beträgt 47 %.
- **Bio-MTBE** (Methyl-Tertiär-Butylether): Kraftstoff, der aus der Grundlage von Biomethanol hergestellt wird. Der Volumenprozentanteil des Biokraftstoffes beträgt 36 %.
- **Synthetische Biokraftstoffe:** Synthetische Kohlenwasserstoffe oder synthetische Kohlenwasserstoffgemische die aus Biomasse gewonnen werden.
- **Biowasserstoff:** Wasserstoff, der aus Biomasse und/oder aus dem biologischen abbaubaren Teil von Abfällen hergestellt wird und für die Verwendung als Biokraftstoff bestimmt ist.
- **Reines Pflanzenöl:** Öl, das durch Auspressen, Extraktion oder vergleichbare Verfahren aus Ölsaaten gewonnen wird, roh oder raffiniert,



jedoch chemisch unverändert, sofern es für den betreffenden Motorentyp geeignet ist und die entsprechende Emissionsanforderungen erfüllt.



## 4 GESETZLICHE RAHMENBEDINGUNGEN FÜR BIOGAS

### 4.1 Europäische Union

#### 4.1.1 Biokraftstoffrichtlinie (2003/30/EG)

Durch die **Biokraftstoffrichtlinie** (Richtlinie 2003/30/EG) wurden Anfang Mai 2003 die rechtlichen Rahmenbedingungen für die vermehrte Verwendung von Biokraftstoffen geschaffen.

Zielsetzung der Richtlinie ist es, dass bis Ende 2005 ein energetischer Mindestanteil von 2 % an Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen an den gesamten für Transportzwecke verwendeten Otto- und Dieselmotorkraftstoffen eingesetzt wird, bis Ende 2010 soll sich dieser Anteil auf 5,75 % erhöhen.

Die Richtlinie war bis 31.12.2004 in nationales Recht umzusetzen, was in Österreich im Rahmen einer Novelle der Kraftstoffverordnung (BGBl. II Nr. 417/2004) im November 2004 geschah.

#### 4.1.2 Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt (2001/77/EG)

Im Rahmen der **Richtlinie 2001/77/EG** wurde im September 2001 die Förderung der Produktion von elektrischem Strom aus erneuerbaren Energien geregelt. Die Richtlinie dient dazu, eine Steigerung des Anteils erneuerbarer Energiequellen an der Stromerzeugung im Elektrizitätsbinnenmarkt zu fördern und eine Grundlage für einen entsprechenden künftigen Gemeinschaftsrahmen zu schaffen.

Die Richtlinie wurde im Jahr 2002 durch das Ökostromgesetz (BGBl. I Nr. 149/2002) in nationales Recht umgesetzt.

#### 4.1.3 Hygieneverordnung (2002/1774/EG)

Die **Hygieneverordnung** (1774/2002/EG) vom Oktober 2002 behandelt die Entsorgung von nicht für den menschlichen Verzehr bestimmten tierischen Nebenprodukten. Sie enthält tierseuchen- und hygienerechtliche Vorschriften für die Abholung, Sammlung, Beförderung, Lagerung, Behandlung, Verarbeitung und Verwendung oder Beseitigung tierischer Nebenprodukte.

Zusätzlich werden darin die Bedingungen zur Zulassung einer Biogasanlage aufgeführt. So muss eine Biogasanlage, wenn sie mit tierischen Nebenprodukten betrieben wird, laut der Verordnung über folgende Installationen verfügen:

- Eine unumgehbare Pasteurisierungs-/Entseuchungsabteilung mit
  - Geräten zur Überwachung der Temperaturentwicklung
  - Aufzeichnungsgeräten zur ständigen Aufzeichnung der Messergebnisse
  - Angemessenem Sicherheitssystem zur Vermeidung einer unzulänglichen Erhitzung
- Eine geeignete Einrichtung zur Reinigung und Desinfektion von Fahrzeugen und Behältern beim Verlassen der Biogasanlage

## 4.2 Österreich

### 4.2.1 Ökostromgesetz (BGBl. I Nr. 149/2002)

Das **Ökostromgesetz** setzt die EU Richtlinie 2001/77/EG in nationales Recht um. Das Bundesgesetz regelt unter anderem die Voraussetzung für die Förderung der Erzeugung elektrischer Energie aus erneuerbaren Energieträgern sowie eine bundesweit gleichmäßige Verteilung der Aufwendungen.

Die Förderung erfolgt durch Festsetzung von Mindestpreisen und durch eine Abnahmepflicht von Strom, der auf der Basis von erneuerbaren Energieträgern erzeugt wird. Zielsetzung des Gesetzes ist, im Interesse des Klima- und Umweltschutzes unter Anderem eine technologiepolitische Schwerpunktsetzung im Hinblick auf die Erreichung der Marktreife neuer Technologien vorzunehmen.

### 4.2.2 Kraftstoffverordnung (BGBl. II Nr. 418/1999)

In der **Kraftstoffverordnung** (BGBl. II Nr. 418/1999) werden die technischen Anforderungen für Erdgas als Treibstoff vorgegeben.

Tabelle 4: Kraftstoffspezifikationen für Erdgas

Merkmal	Einheit	Grenzwerte		Prüfverfahren	
		Mindestwert	Höchstwert	Verfahren	Veröffentlichung
Relative Dichte		0,55	0,7	ISO 6976	1995
Brennwert	MJ/m <sup>3</sup>	30,2	47,2	ISO 6976	1995
Wobbe Index	MJ/m <sup>3</sup>	46,1	56,6	ISO 6976	1995
Staub		Technisch frei			
Druck (bei 15°C)	bar	-	200		

Die in Tabelle 4 dargestellten Grenzwerte werden nach Vorliegen einer europäischen Standardisierung angepasst bzw. ergänzt.

Mit der Novelle der Kraftstoffverordnung im November 2004 wurde die Biokraftstoffrichtlinie in österreichisches Recht umgesetzt. Folgende Ziele für das Inverkehrbringen von biogenen Kraftstoffen im Verkehrssektor wurden definiert:

- Ab dem 1. Oktober 2005: **2,5 %**, bezogen auf den Energieinhalt, gemessen an gesamten im Bundesgebiet in Verkehr gebrachten **Otto- und Dieselkraftstoffen** im Verkehrssektor pro Jahr.
- Ab dem 1. Oktober 2007: **4,3 %**, bezogen auf den Energieinhalt, gemessen an gesamten im Bundesgebiet in Verkehr gebrachten **Otto- und Dieselkraftstoffen** im Verkehrssektor pro Jahr. Dieser, sich auf den Energieinhalt beziehende Wert entspricht einem Anteil von 5 Volumsprozent Biodiesel bzw. Bioethanol an den gesamten in Verkehr gebrachten Diesel- bzw. Ottokraftstoffen.
- Ab dem 1. Oktober 2008: **5,75 %**, bezogen auf den Energieinhalt, gemessen an gesamten im Bundesgebiet in Verkehr gebrachten **Otto- und Dieselkraftstoffen** im Verkehrssektor pro Jahr.



#### **4.2.3 Mineralölsteuergesetz (BGBl. Nr. 630/1994 ST0197)**

Erdgas ist derzeit nicht mit der Mineralölsteuer belegt.

Laut dem **Mineralölsteuergesetz** (BGBl. Nr. 630/1994 ST0197), § 4, Absatz 11 sind gasförmige Kohlenwasserstoffe, die bei der Verwertung von Abfällen aus der Verarbeitung landwirtschaftlicher Rohstoffe oder bei der Tierhaltung, bei der Lagerung von Abfällen oder bei der Abwasserreinigung anfallen und als Treibstoffe oder zum Verheizen verwendet werden, von der Mineralölsteuer befreit.

Ferner sind reine Kraftstoffe biogenen Ursprungs von der Mineralölsteuer befreit.

#### **4.2.4 Erdgasabgabegesetz (BGBl. Nr. 201/1996)**

Gemäß dem Erdgasabgabegesetz beträgt die Abgabe pro m<sup>3</sup> Erdgas € 0,066, wobei der Kubikmeter im Sinne dieses Gesetzes bei einer Temperatur von 0 Grad C und einem Druck von 1,01325 bar festgelegt ist.

#### **4.2.5 Gaswirtschaftsgesetz – GWG (BGBl. I Nr. 121/2000)**

Wesentlich für die Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz sind folgende Paragraphen:

§ 17. (1) Der Netzbetreiber, an dessen Netz die Kundenanlage, für die Netzzugang begehrt wird, angeschlossen ist, ist verpflichtet, dem Netzzugangsberechtigten (§ 41) Netzzugang zu den allgemeinen Bedingungen und den gesetzlich bestimmten Preisen zu gewähren.

§ 41a. Erdgasunternehmen können den Netzzugang im Namen ihrer Kunden begehren. Erzeuger von biogenen Gasen (Bio- und Holzgas) können im Namen ihrer Kunden den Netzzugang begehren, sofern hierdurch die Interoperabilität der Netze nicht beeinträchtigt wird.

#### **4.2.6 Sonstige relevante Rechtsbereiche**

Zu den zuvor näher beschriebenen gesetzlichen Bestimmungen kommen weitere, vor allem für den Betrieb einer Biogasanlage relevante Rechtsbereiche. So wird das Ausbringen des Restsubstrats im Düngemittelgesetz 1994 geregelt. Anlagen mit einer Kapazität > 20.000 Tonnen pro Jahr sind UVP - pflichtig und unterliegen somit dem Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz. Für weitere Informationen hinsichtlich relevanter Rechtsbereiche wird auf einschlägige Literatur verwiesen [AMON 2003].

## 5 BIOGAS

### 5.1 Definition Biogas

Biogas wird laut Biokraftstoffrichtlinie (Richtlinie 2003/30/EG) als Brenngas bezeichnet, das aus Biomasse und/oder aus dem biologisch abbaubaren Teil von Abfällen hergestellt wird, durch Reinigung Erdgasqualität erreichen kann und für die Verwendung als Biokraftstoff bestimmt ist.

### 5.2 Genese von Biogas

Biogas entsteht bei der Fermentation von organischen Stoffen wie Gülle, Mist, Jauche, Pflanzen, Speiseresten etc. – in der Natur überall dort, wo kein Sauerstoff Zutritt hat.

Wird organisches Material ohne Sauerstoff (anaerob) gelagert, beginnt unter Mitarbeit methanbildender Bakterien ein biologischer Prozess, bei dem (Bio)Gas entsteht. Das gebildete Biogas besteht aus:

Tabelle 5: Zusammensetzung von Biogas [ULZ 2003; SCHULZ 2003]

Stoff	Chemische Bezeichnung	Anteil [%]	Wirkung
Methan	CH <sub>4</sub>	40-75	Brennbare Biogaskomponente
Kohlendioxid	CO <sub>2</sub>	25-55	Vermindert den Brennwert Fördert Korrosion (schwache Kohlensäure)
Wasserdampf	H <sub>2</sub> O	0-10	Korrosion
Stickstoff	N <sub>2</sub>	<5	Vermindert Brennwert
Sauerstoff	O <sub>2</sub>	<2	
Wasserstoff	H <sub>2</sub>	<1	
Schwefelwasserstoff	H <sub>2</sub> S	<2	Korrosion SO <sub>2</sub> -Emissionen Giftig
Ammoniak	NH <sub>3</sub>	<1	NO <sub>x</sub> -Emissionen Giftig

Für die Qualität des Biogases ist in erster Linie der Methangehalt verantwortlich – je mehr Methan enthalten ist, desto besser der Brennwert.

### 5.3 Biogasproduktion

#### 5.3.1 Ausgangsstoffe (Substrate)

Zur Biogasgewinnung kann grundsätzlich jede organische oder biologische Substanz (Biomasse) herangezogen werden, die durch Mikroorganismen abgebaut werden kann. Aufgrund der extremen Vielfalt der bakteriellen



Stoffwechselreaktionen ist auch das Spektrum an möglichen Substraten nahezu unbegrenzt. Manche Stoffe lassen sich aufgrund ihrer besonderen chemischen Struktur jedoch nur langsam abbauen. Dazu zählt z.B. das Lignin, die Gerüstsubstanz des Holzes. Man unterscheidet zwischen Rohstoffen aus der Landwirtschaft und aus gewerblichen Quellen.

Zu den **landwirtschaftlichen Rohstoffen** zählen

- Gülle
- Mist
- Mais/ Maissilage
- Gras / Grassilage
- Sonstige (Energie-)Pflanzen (z.B. Sonnenblumen, etc.)

Zu den Rohstoffen aus **gewerblichen Quellen** zählen:

- Bioabfälle
- Speisereste
- Schlachthofabfälle
- Fette
- Obst- und Gemüseabfälle
- Klärschlämme
- Kompost
- Proteinreiche Industrieabwässer
- Kohlenhydratreiche Industrieabwässer
- Fettabscheiderrückstände

Je nach Art des eingesetzten Substrats unterscheidet sich der Gasertrag. Die folgende Abbildung zeigt die unterschiedlichen Gasausbeuten verschiedener Substrate.

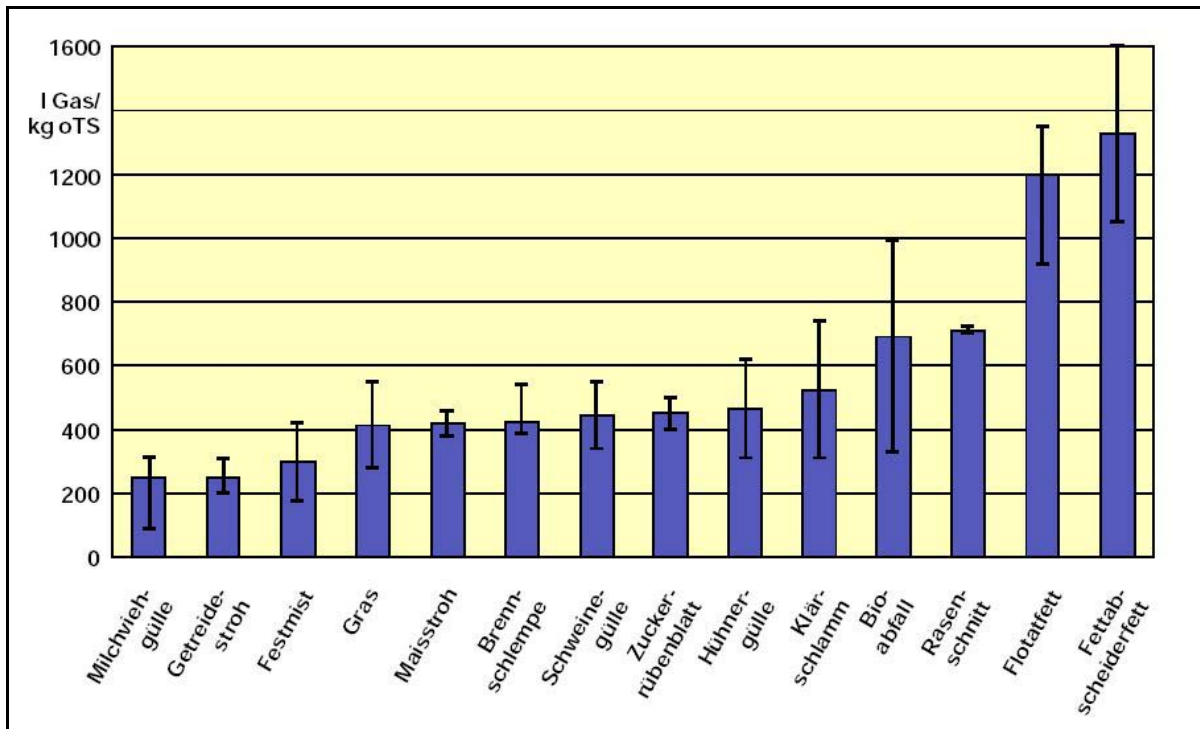


Abbildung 1: Gasausbeuten unterschiedlicher Substrate (mit Spannweiten) [Schattner 2000]

### 5.3.2 Anlagen

Jede Biogasanlage ist grundsätzlich nach demselben Schema aufgebaut. Abbildung 2 zeigt die benötigten Einzelbaueinheiten rund um den Fermenter.

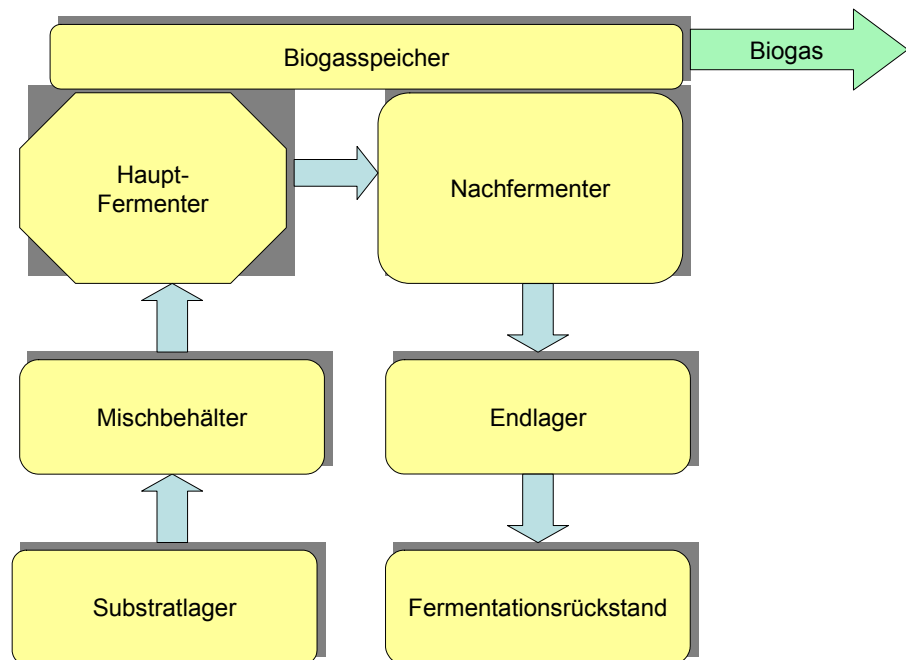


Abbildung 2: Flusschema einer Biogasanlage





Das Herzstück einer Biogasanlage ist der Fermenter. Es ist ein breites Spektrum von Fermentertypen erhältlich, wobei die Bauart des Fermenters der gesamten Anlage ihren Namen gibt. Man unterscheidet zwischen Nassfermentation (Trockensubstanzgehalt < 15%) und Trockenfermentation (Trockensubstanzgehalt 25-60%). In Österreich wird größtenteils das Verfahren der Nassfermentation angewandt.

#### 5.3.2.1 Nassfermentation

Bei der Nassfermentation unterscheidet man im Wesentlichen zwischen drei Systemen, welche sich durch die Methode der Substratdurchmischung unterscheiden:

- **Rührkesselfermenter**

Diese Typen gewährleisten eine ständige Durchmischung der Substrate im Fermenterraum. Sie werden entweder im mesophilen (35°C – 38°C) oder im thermophilen (55°C - 60°C) Bereich betrieben. Die benötigte Wärme muss dabei zur Verfügung gestellt werden.

- **Pfropfenströmfermenter**

Auch diese Anlage verfügt über ein Rührwerk, das aber keine gleichmäßige Durchmischung ermöglicht, sondern das Durchströmen des Substrats in Pfropfenform erzwingt.

- **Zwei-Kammersystem**

Dieses System verzichtet auf ein mechanisches Rührwerk und arbeitet mit einer pneumatischen Rührtechnik.

#### 5.3.2.2 Trockenfermentation

Auch bei der Trockenfermentation unterscheidet man zwischen drei Systemen:

- **ANACOM Verfahren**

Der ANACOM - Fermenter (**Anaerobic composting of manure**) arbeitet nach dem System der trockenen, kontinuierlichen Vergärung. Die Substrateinbringung erfolgt durch eine Kolbenpresse (Maulwurf). Der Substrataustrag des vergorenen Materials erfolgt mit Hilfe eines Kratzbodens und einer Austragschnecke.

- **Garagensystem**

Dieses Trockenfermentationsverfahren zur Methanisierung von halbfeuchten schüttfähigen, stapelbaren oder stückigmachbaren Biomassen ist ein völlig neues und patentiertes Verfahren zur Erzeugung von Biogas. Es handelt sich dabei um ein Verfahren bei etwa 70-80°C und benötigt keine Umsetzung der Biomasse in einen pumpfähigen Zustand.

- **Schlauchfermenter**

Bei diesem System handelt es sich um eine Neuentwicklung auf dem Biogasmarkt und ist deshalb kaum verbreitet. Die Befüllung erfolgt analog mit der bei der Silierung üblichen Folientechnologie in Schläuchen. Die Schläuche werden beheizt und isoliert, das Gas wird direkt in das Blockheizkraftwerk (BHKW) oder den Gasmotor (Selbstansaugung) geleitet.

## 5.4 Biogasaufbereitung

Um das Biogas als Treibstoff im Verkehrsbereich nutzen zu können, ist es nötig, es aufzubereiten. Diverse im Gas enthaltenen Elemente müssen entfernt und der Methangehalt erhöht werden. Hierzu stehen für die Abscheidung von unerwünschten Stoffen verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Tabelle 6: Verfahren zur Methanisierung von Biogas [TRETTER 2003]

Verfahrensprinzip	Verfahren
Absorption, physikalisch	Fluor-Solvent (Propylenkarbonat, Glycerinacetat) Purisol (n-Methylpyrrolidon) Rectisol (Methanol) Selexol Druckwasserwäsche
Absorption, chemisch	Heißkarbonatwäsche, Heißpottaschewäsche Monoethanolamin (MEA) Diethanolamin (DEA) Diisopropanolamin (DIPA) Methyldiethanolamin (MDEA) Diglycolamine
Adsorption, Druckwechsel	Kohlenstoffmolsieb keramische Molsiebe natürliche Zeolithe (bspw. Tuff) Silicagel Aluminiumoxid
Membranverfahren, Gaspermeation	Zelluloseacetat, Polysulfon Polyetherimid, Polycarbonat Polyvinylalkohol, Polyester, Polyformaldehyd Polyvinylethenfluorid versetzt mit 3-Methylsulfolen
Membranverfahren, Flüssigmembrane	H <sub>2</sub> O DEA oder DIPA in Polyethylenglykol
Biotropfkörper	Luftdosierung bzw. Thyrobazillen
Bioreaktor	chemoautotrophe Bakterien Mikroalgen 2 Phasenfermentation
Kondensation, Kryogene Behandlung	CH <sub>4</sub> -Verflüssigung CO <sub>2</sub> -Verflüssigung Mikrostrukturapparate

Welche Verfahren zur Anwendung kommen hängt nicht nur von der geforderten Qualität des aufbereiteten Gases ab, sondern auch von der durchgesetzten Menge. Manche Verfahren sind kostenintensiv und werden erst ab einem gewissen Volumsstrom wirtschaftlich.

### 5.4.1 Kohlendioxidabtrennung

Der entscheidende Schritt zur Erhöhung des Methangehaltes ist die Kohlendioxidabtrennung. Wie in Tabelle 5 ersichtlich, hat unaufbereitetes Biogas einen Methangehalt zwischen 40 und 75 %, der auf über 96 % erhöht werden muss, um das Gas als Treibstoff verwenden zu können. Vier Verfahren finden großtechnisch oder in Pilotprojekten ihre Anwendung.

#### 5.4.1.1 Absorption

Bei den absorptiven Verfahren unterscheidet man im Wesentlichen zwischen physikalischen und chemisch-physikalischen Wäschen. Bei beiden Methoden wird die unterschiedliche Wasserlöslichkeit vom Methan und Kohlendioxid ausgenutzt, wobei sich  $\text{CO}_2$  unter Druck stärker löst als Methan.

Beim rein physikalischen Verfahren, auch Druckwasserwäsche genannt, wird das  $\text{CO}_2$  im Gegenstromverfahren bei ca.  $20^\circ\text{C}$  und einem Druck von 10 bis 12 bar mittels Brauchwasser oder einer Polyethylen-Lösung absorbiert. Durch die Zusätze erhöht sich die Löslichkeit von Kohlendioxid, wodurch weniger Absorptionsflüssigkeit zum Einsatz kommen muss. Es können Methangehalte von 96 % oder mehr bei 100 % Feuchte erreicht werden.

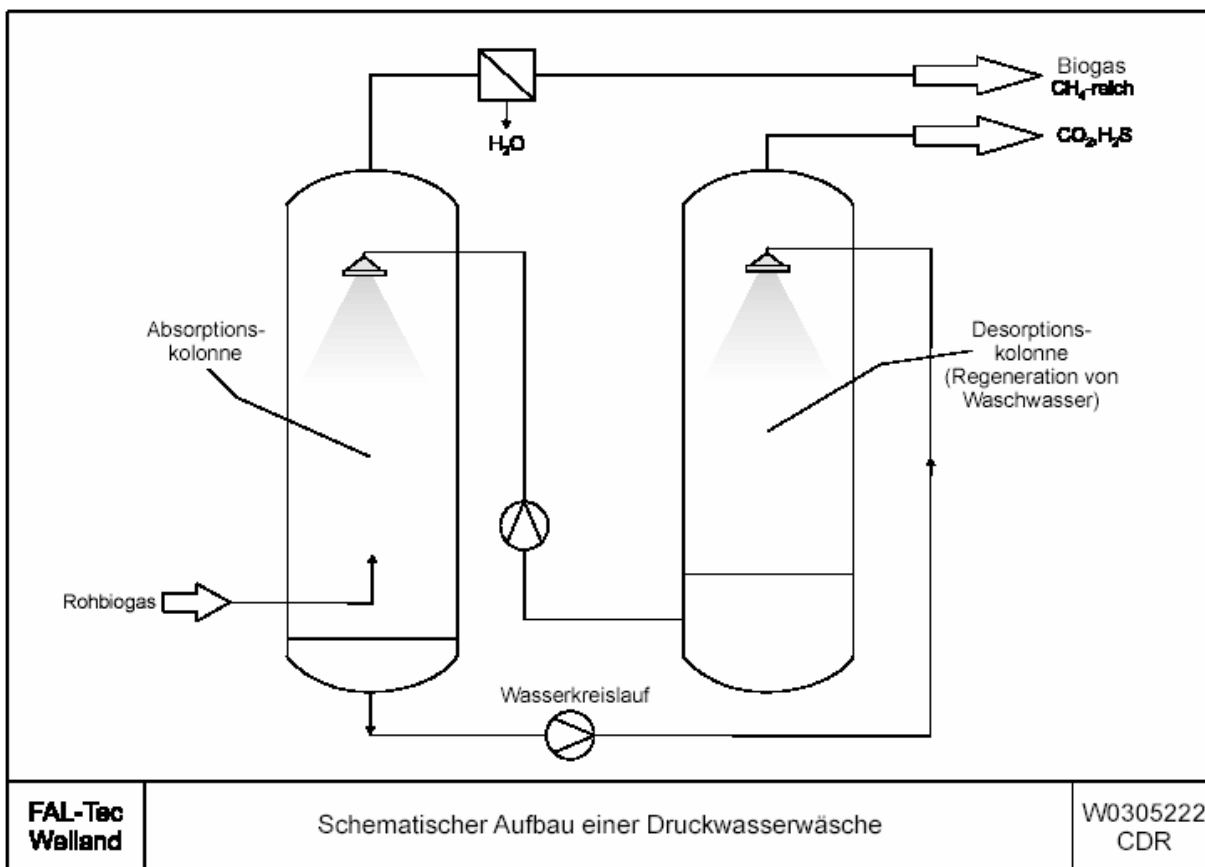


Abbildung 3: Schematischer Aufbau einer Druckwasserwäsche [Schultz 2003]

Im Gegensatz zur rein physikalischen Gaswäsche nutzt das physikalisch-chemische Verfahren die chemische Absorptionsfähigkeit der beigemengten Flüssigkeiten. Meist handelt es sich dabei um Monoethylenglykol (MEG) oder Triethylenglykol (TEG). Der wesentliche Unterschied liegt aber in der Regeneration. So wird das beladene H<sub>2</sub>O-MEG Gemisch nicht bei erhöhtem Druck gereinigt, sondern durch Erwärmen auf ca. 170°C regeneriert. Die benötigte Wärme wird meist durch Verbrennen eines Teiles des Gases produziert.

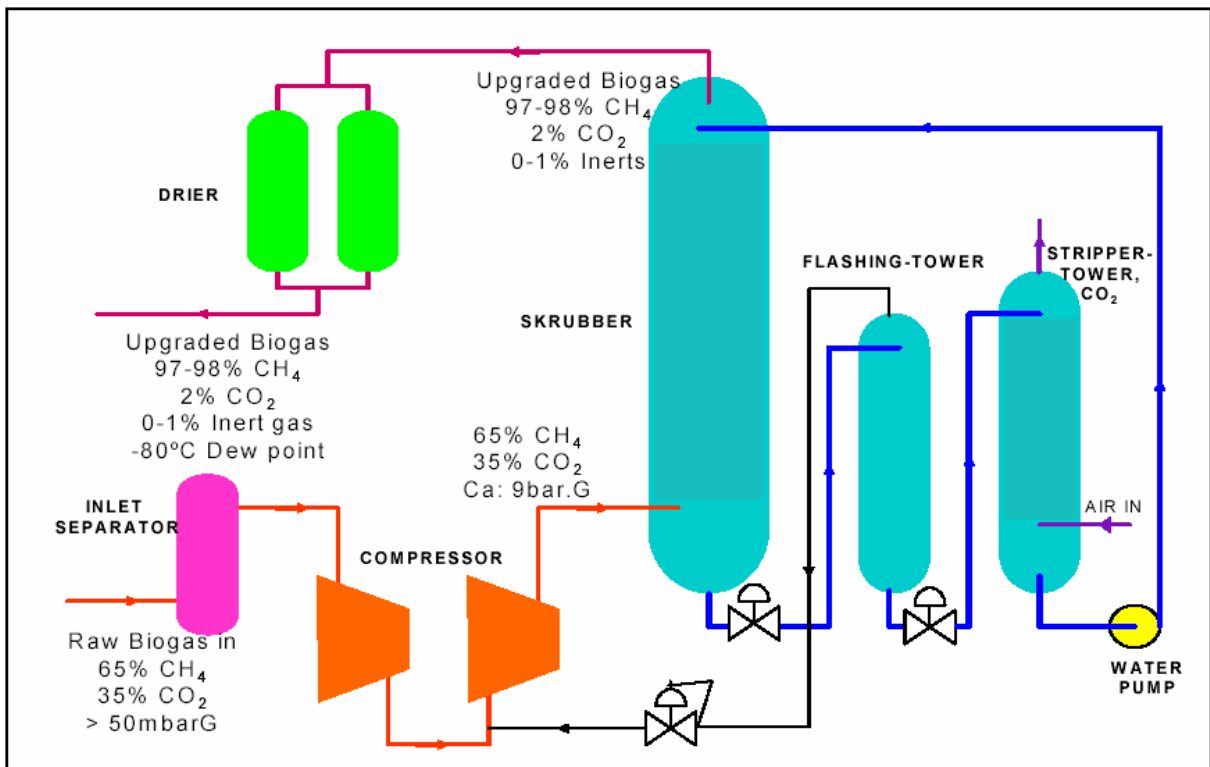


Abbildung 4: Fließschema einer nassen Gaswäsche mit Prozessdaten [Schultz 2003]

#### 5.4.1.2 Adsorption

Das am weitesten verbreitete Verfahren ist die Druckwechsel-Adsorption. Das Biogas wird auf ca. 8-10 bar verdichtet und in den Adsorptionsbehälter gepresst. Das CO<sub>2</sub> wird dort an Aktivkohle oder an Molekularsieben auf Kohlenstoffbasis adsorbiert. Es werden immer mindestens vier Adsorptionsbehälter gleichzeitig betrieben um eine kontinuierliche Reinigung – Regeneration gewährleisten zu können.

Das bei der Regeneration mittels Druckentspannung desorbierte Kohlendioxid wird in die Atmosphäre abgeführt. Mit dieser Technik lassen sich Methankonzentrationen > 96 % erreichen.

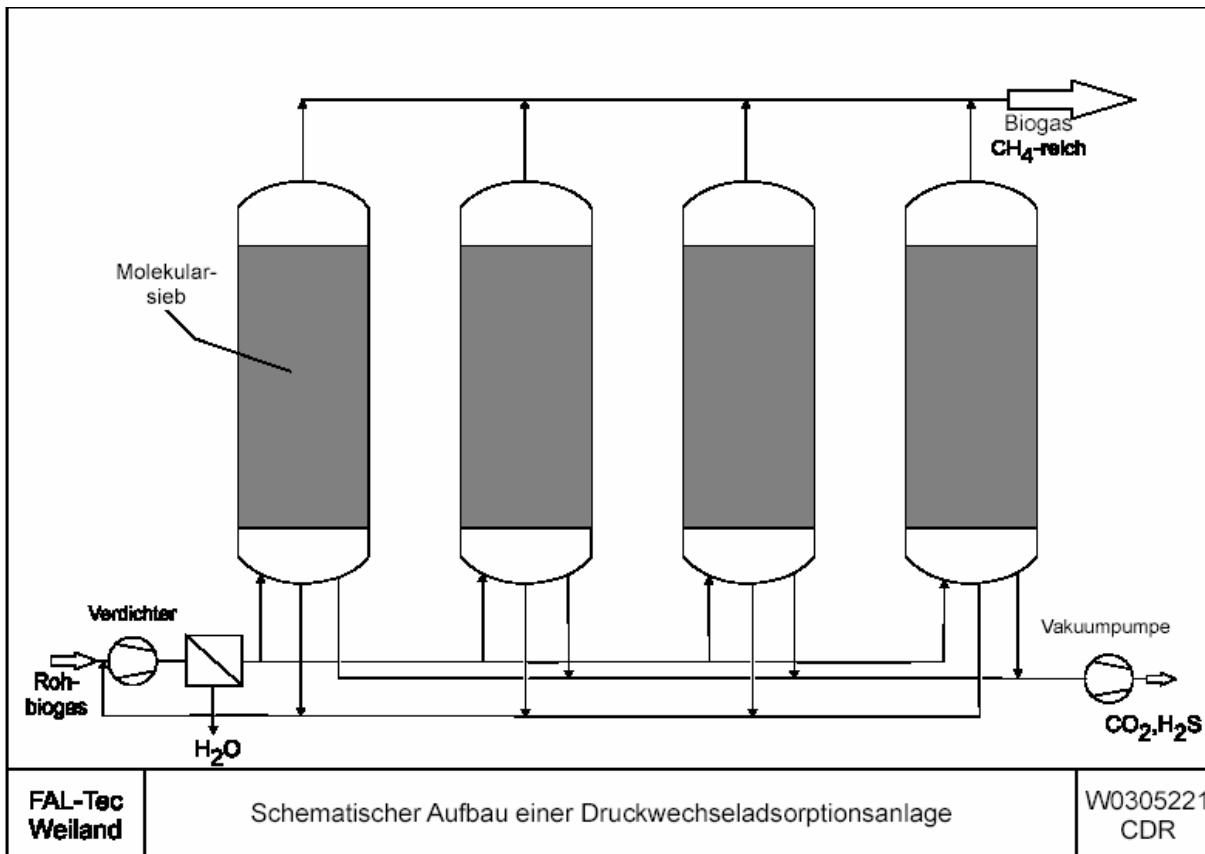


Abbildung 5: Flussschema einer Druckwechseladsorptionsanlage [Schultz 2003]

#### 5.4.1.3 Membran-Trennverfahren

Beim Membran – Trennverfahren wird die unterschiedliche Permeabilität der Membranen für verschiedene Gasmoleküle ausgenutzt. So durchströmt  $\text{CO}_2$  oder  $\text{H}_2\text{S}$  diverse Membranen bis zu 20-mal schneller als  $\text{CH}_4$ .

Durch den Einsatz verschiedener Membranen lässt sich entweder eine selektive Abtrennung von Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff durchführen, oder beide werden in einem Schritt entfernt.

Bei der Weiterbehandlung der abgetrennten Gasströme unterscheidet man zwischen nassem und trockenem Membranverfahren. Beim ersteren werden die abgetrennten Gasbestandteile in Waschlösungen absorbiert, beim trockenem Verfahren gasförmig ausgetragen.

Das für das Verfahren benötigte Druckgefälle wird durch einen auf der Rohgasseite aufbrachten Überdruck gewährleistet. Dieser erhöhte Druck erleichtert auch die Einspeisung in ein Gasnetz.

#### 5.4.1.4 Gasverflüssigung

Bei dieser, auch „kryogene Biogastrennung“ genannten, Methode nutzt man die unterschiedlichen Siedepunkte der Gaskomponenten aus. So wird  $\text{CO}_2$  bei einem Druck von 50 bar bei  $15^\circ\text{C}$  flüssig,  $\text{CH}_4$  aber erst bei  $-80^\circ\text{C}$ .

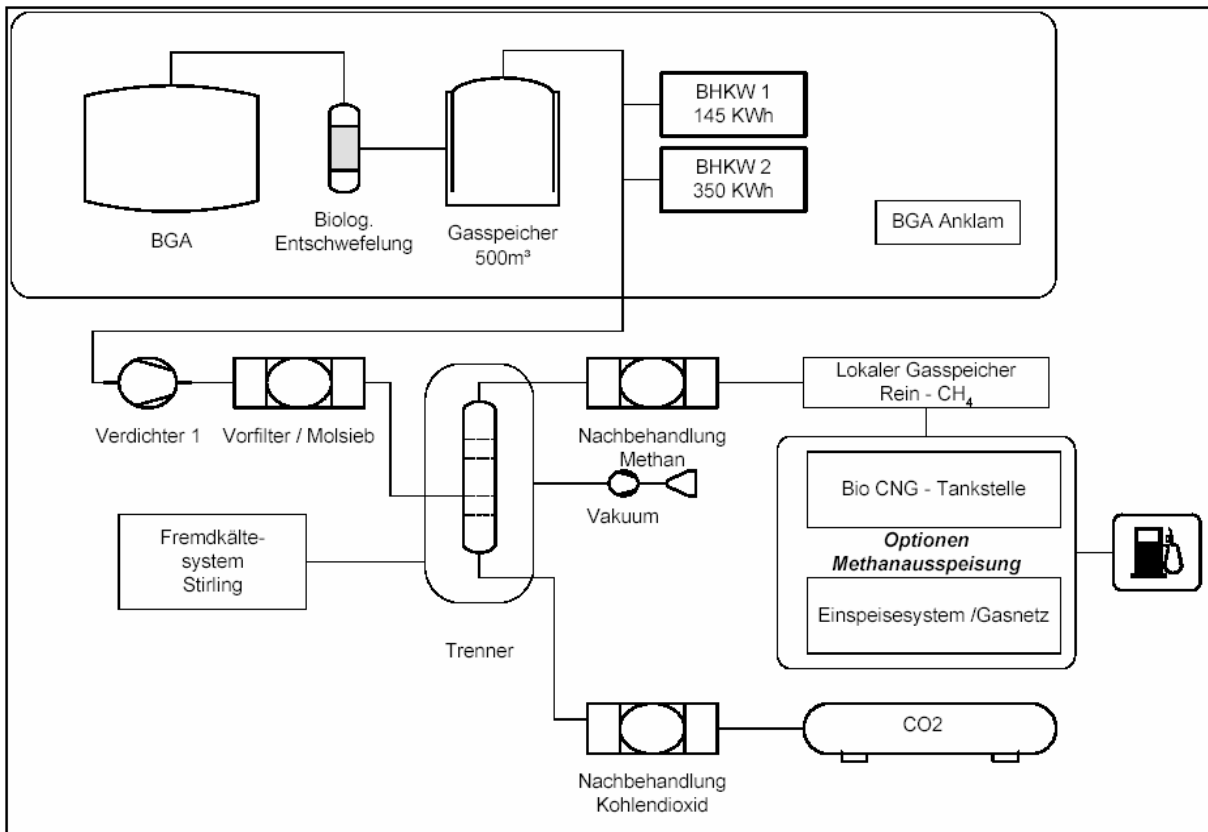


Abbildung 6: Schematischer Aufbau einer auf Gasverflüssigung basierenden Biogasaufbereitungsanlage [Schultz 2003]

Nach einer Verdichtung auf 200 bar werden die Gasbegleitstoffe wie  $\text{CO}_2$  mit Hilfe von Molekularsieben adsorbiert. Das verflüssigte Gasgemisch wird anschließend mittels Niedertemperaturdestillation aufgetrennt.

Mit der Gasverflüssigungen können sehr hohe Gasreinheiten ( $> 97\%$ ) erzielt werden, es ist aber aufgrund des hohen Energieaufwands zur Kühlung sehr kostenintensiv.

## 5.4.2 Entschwefelung

Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ist ein Nebenprodukt, das bei der Vergasung im Fermenter entsteht und nicht nur giftig ist sondern auch stark korrosiv auf Leitungen und Anlagen wirkt sowie bei der Verbrennung zu Schwefeldioxid umgewandelt wird. Der  $\text{H}_2\text{S}$ -Gehalt ist sehr stark vom verwendeten Substrat abhängig. So hat Biogas aus Gülle wesentlich höhere  $\text{H}_2\text{S}$ -Konzentrationen als Gas aus Energiepflanzen.

### 5.4.2.1 $\text{H}_2\text{S}$ -Oxidation

Grundsätzlich kann der  $\text{H}_2\text{S}$  - Anteil direkt im Fermenter, danach als eigener Prozess oder im Rahmen der Methanreicherung reduziert werden. Die am meisten verbreitete Methode ist das Einblasen von geringen Mengen von Luft in den Fermenter. Mikroorganismen wandeln den Schwefelwasserstoff auf aerobem Weg in elementarem Schwefel um, der sich an der Fermenterwand ablagert. Dieser wird dann zusammen mit dem Ausbringen des fermentierten Materials entfernt. Diese biologische Oxidation kann auch extern durch Biofiltration im Rieselbett



erfolgen. Vor allem bei größeren Anlagen wird dieses Verfahren verstärkt eingesetzt, da man optimale Betriebsbedingungen für die Entschwefelung schaffen kann. Bei diesem Verfahren ist allerdings zu beachten, dass durch die Zufuhr von Luft auch der Stickstoffgehalt des Biogases ansteigt.

#### **5.4.2.2 Adsorption H<sub>2</sub>S**

Alternativ zur Schwefelwasserstoffoxidation wird vereinzelt auch die chemische Adsorptionstechnik angewandt. Diese kann unter Verwendung katalytischer Aktivkohle erfolgen, wobei die Aktivkohle nach vollständiger Beladung regeneriert werden muss. Demzufolge müssen mindestens zwei Adsorber vorhanden sein, um eine kontinuierliche Aufbereitung gewährleisten zu können.

#### **5.4.2.3 Chemische Fällung**

Eine andere Möglichkeit besteht darin, mit Hilfe von Eisenhydroxid und Sauerstoff den Schwefelwasserstoff zu elementarem Schwefel umzuwandeln. Da für diese Methode zusätzlich Wasser benötigt wird, wird das Biogas zuvor nicht getrocknet. Das beladene Eisenoxid muss in regelmäßigen Abständen mit Sauerstoff regeneriert werden. Da diese Reaktion stark endotherm abläuft, besteht die Gefahr einer Selbstentzündung. Während der Regeneration wird wiederum ein zweiter Reinigungsfilter benötigt, um das Biogas kontinuierlich aufzubereiten zu können.

Alternativ besteht die Möglichkeit, das schädliche H<sub>2</sub>S mittels einer chemischen Absorption (Einsatz von Natronlauge) bzw. mit Hilfe von semipermeablen Membranen zu entfernen.

### **5.4.3 Gastrocknung**

Um die Bildung von flüssigem Wasser zu vermeiden, das zusammen mit anderen Begleitstoffen (zum Beispiel H<sub>2</sub>S) korrosiv wirkt, muss das Biogas entwässert werden.

Konventionelle Biogasanlagen verwenden zu diesem Zweck meist Kondensatabscheider und Schmutzfilter. Das Biogas trifft nach Verlassen des beheizten Fermenters auf eine kühlere Umgebung, das Wasser kondensiert aus. Der Schmutzfilter dient dazu, mitgerissene Feststoffe aus dem Gasstrom zu entfernen. Zu diesem Zweck werden Kiestöpfe als Grobfilter eingesetzt.

Meist müssen nach dieser Grobentfeuchtung weitere Schritte unternommen werden, um den Wassergehalt für weitere Aufbereitungsschritte zu vermindern. Drei Verfahren stehen dazu zur Verfügung.

#### **5.4.3.1 Kondensation von H<sub>2</sub>O**

Das Abscheiden des Wassers aus dem Gasstrom erfolgt durch Zentrifugalkräfte, nachdem die Temperatur durch Einsatz von Kühlenergie abgesenkt wurde um den Wasserdampf zu kondensieren. Die Temperaturen können maximal auf 0,5°C bis 1°C gesenkt werden, da bei tieferen Temperaturen das Kondensat vereisen würde und nicht mehr abgeführt werden könnte. Mittels Kondensation kann eine Trocknung auf einen Taupunkt von 5°C erreicht werden.

Der Vorteil dieser Methode ist, dass keine zusätzlichen Absorptions- bzw. Adsorptionsmittel benötigt werden. Dem gegenüber steht der Energieaufwand, das Gas zuerst zu kühlen und danach wieder optimale Temperaturen für die Folgeschritte der Aufbereitung zu erreichen.

#### 5.4.3.2 Adsorption von H<sub>2</sub>O

Als Adsorption bezeichnet man die Bindung von Gasen an der Oberfläche von festen Stoffen. Um möglichst gute Adsorptionsergebnisse zu erreichen, ist es wichtig, eine möglichst große Kontaktfläche zur Verfügung zu stellen. Die Adsorptionsverfahren können auf der Bindemöglichkeit von Aktivkohle, Silicagel, Aluminiumoxid oder Molekularsieben basieren. Da diese Adsorptionsmittel nach vollständiger Beladung wieder regeneriert werden müssen, benötigt man für einen kontinuierlichen Betrieb mindestens zwei Adsorber.

Ein wesentlicher Vorteil gegenüber der Kondensation ist, dass Taupunkte bis -60°C erreicht werden können. Die Kosten sind aber erheblich höher.

#### 5.4.3.3 Absorption von H<sub>2</sub>O

Absorption ist die Lösung von Gasen in Flüssigkeiten. Das kann in physikalischer Form geschehen, oder mittels einer chemischen Reaktion stattfinden.

Ein Verfahren, das vor allem in der Erdgasindustrie angewandt wird, ist die Glykolväsche. Als Absorber wird entweder Monoethylenglykol (MEG) oder Triethylenglykol (TEG) verwendet. Dabei wird das Wasser in der Gasphase physikalisch gebunden. Das Glykol muss danach in einem geschlossenen Kreislauf bei ca. 200°C regeneriert werden.

Mit dem Verfahren kann Reingas erzeugt werden, welches einen Taupunkt von -15°C aufweist. Nachteilig wirken sich aber die erhöhten Kosten für den zusätzlichen Glykolkreislauf aus, zudem sind beide Absorber giftig.

### 5.5 Verdichtung von Biogas

#### 5.5.1 Druckniveau im Erdgasnetz

Wie bereits in Kapitel 4.2.5 beschrieben, ist das Einspeisen von Biogas in das Erdgasnetz gesetzlich erlaubt. Der Einspeiser muss allerdings die geforderte Qualität jederzeit nachweisen können und darüber hinaus den benötigten Druck aufbringen.

Das Erdgasnetz in Österreich gliedert sich in drei Ebenen (§23b GWG):

- Netzebene 1: Fernleitungen
- Netzebene 2: Verteilerleitungen mit einem Druck > 6 bar
- Netzebene 3: Verteilerleitungen mit einem Druck < 6 bar

Die Fernleitungen werden laut Auskunft der Netzbetreiber fast ausschließlich mit 70 bar betrieben. In den Verteilerleitungen ist das Druckniveau sehr inhomogen, es können Drücke von 200 mbar bis maximal 70 bar auftreten. Eine genaue Angabe der für die Verdichtung benötigten Energie zu treffen ist aus diesem Grund nicht möglich.

#### 5.5.2 Druckniveau für Bio-/Erdgastankstellen

Das Bio-/Erdgas wird an Tankstellen mit einem 200 bar an die Erdgasfahrzeuge abgegeben. Dieses Druckniveau muss direkt vor Ort zur Verfügung gestellt werden wobei die benötigte Energie für diese Druckerhöhung von der Temperatur, der Zusammensetzung des Gases und vor allem von der Durchsatzmenge abhängig ist. Als Richtwert für den Energieaufwand zur Druckerhöhung von Umgebungsdruck





auf 200 bar kann von etwa 3 % der im Gas gespeicherten Energie ausgegangen werden.



## 6 BEISPIELE FÜR DIE AUFBEREITUNG UND DIE ANWENDUNG VON BIOGAS IM VERKEHRSSSEKTOR

In einigen europäischen Staaten ist der Einsatz von Biogas im Verkehrssektor schon realisiert. Vor allem Schweden und die Schweiz können als Vorreiter genannt werden, aber auch Deutschland verfügt über eine stetig wachsende Zahl von Biogasanlagen.

### 6.1 Beispiel Schweden

2001 waren in Schweden mehr als 230 Biogasanlagen in Betrieb, 130 davon in Verbindung mit Abwassernachbehandlungsanlagen. Der Rest des gesamten in Schweden produzierten Biogases von etwa 1.400 GWh wurde aus Deponien und Biomüll gewonnen.

Im Jahr 1999 wurden Qualitätsnormen für die Einspeisung vereinbart, die seither auch für die Verwendung von Biogas als Treibstoff gelten.

*Tabelle 7: Anforderungen an Biogas für den Einsatz als Fahrzeugtreibstoff bzw. Einspeisung in das Gasnetz in Schweden [JÖNSSON 2002]*

<b>Bestandteil</b>		<b>Grenzwert</b>
Methan	%	>96
Wasser	mg/m <sup>3</sup>	32
Kohlendioxid	%	<3
Sauerstoff	%	<1
Schwefel	mg/m <sup>3</sup>	<23

Zusätzlich können von Seiten den schwedischen Gasversorgungsunternehmen neben den oben genannten Anforderungen auch Vorgaben für den Heizwert gemacht werden, um eine korrekte Messung des Gasverbrauchs beim Endkunden zu gewährleisten.

In den späteren 80er-Jahren wurde auch damit begonnen, Biogas als KFZ – Treibstoff zu nutzen. Neben der Weiterentwicklung der Aufbereitungsmethoden wurde ein nationaler Standard für Biogas als Motor – Kraftstoff eingeführt.

Den mehr als 5300 Bio-/Erdgasfahrzeugen stehen 50 öffentliche Tankstellen zur Verfügung. Ein Großteil der Fahrzeuge sind PKW, aber auch 550 Busse sowie 200 LKW werden mit Bio-/Erdgas betrieben. Im Sommer 2005 verkehrte darüber hinaus der erste biogasbetriebene Zug auf der Strecke Linköping - Västervik.



Tabelle 8: Erforderliche Biogasqualität laut Standard SS 15 54 38 in Schweden  
[Tretter 2003]

<b>Merkmal</b>	<b>Gewöhnliche Ottomotoren</b>	<b>Magermotoren</b>
Wobbe – Index	43,9 – 47,3 MJ /Nm <sup>3</sup>	44,7-46,4 MJ/Nm <sup>3</sup>
Wobbe - Index	12,2 – 13,1 kWh/Nm <sup>3</sup>	12,4-12-9 kWh/Nm <sup>3</sup>
CH <sub>4</sub> – Gehalt	97 ± 2 Vol%	97 ± 1 Vol%
Methanzahl	> 130	> 130
O <sub>2</sub> -Gehalt	< 1 Vol%	< 1 Vol%
Gehalt an CO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> + N <sub>2</sub>	< 5 Vol%	< 4 Vol%
Gesamtstickstoff (ohne N <sub>2</sub> )	< 20 mg/Nm <sup>3</sup>	< 20 mg/Nm <sup>3</sup>
H <sub>2</sub> S – Gehalt	< 23 mg/Nm <sup>3</sup>	< 23 mg/Nm <sup>3</sup>
H <sub>2</sub> O – Gehalt	< 32 mg/Nm <sup>3</sup>	< 32 mg/Nm <sup>3</sup>
Taupunkt bei höchstem Lagerungsdruck	t – 5° C	t – 5° C

### 6.1.1 Biogaseinspeisung in Laholm

Die Biogasanlage wurde im Jahr 1992 errichtet, um die wachsenden Probleme mit der Stickstoffdüngerabschwemmung in den Griff zu bekommen. Das Ziel war einerseits die Produktion von Biogas für Laholm und Umgebung, andererseits die Herstellung eines biologischen Düngemittels für die umliegende Landwirtschaft.

Die Anlage verarbeitet pro Jahr 25.000 t Gülle sowie 10.000 t andere Abfallmaterialien von 15 verschiedenen Lebensmittelbetrieben. Die Kapazität wurde vor kurzem durch die Errichtung einer zweiten, identischen Anlage verdoppelt.

Bis 2000 wurde das produzierte Biogas von jährlich etwa 10 – 15 GWh in einem Blockheizwerk genutzt. Im Jahre 2001 wurde eine Biogasaufbereitungsanlage errichtet, die 250 m<sup>3</sup> Biogas pro Stunde auf Erdgasqualität aufbereiten kann.

### 6.1.2 Biogasaufbereitung in Linköping

Die Biogasanlage in Linköping versorgt nicht nur die gesamte Busflotte der Stadt (63 Busse) sondern auch 132 zusätzliche Fahrzeuge, darunter 30 Taxis und 9 Müllfahrzeuge.

Als Substrat werden vor allem Abfallmaterialien aus dem lokalen Werk der Swedish Meats sowie Gülle eingesetzt. Dadurch fungiert die Biogasanlage gleichzeitig auch als Abfallbehandlungsanlage.

Die Aufbereitung erfolgt mittels fünf Aufbereitungsanlagen mit einer Gesamtkapazität von 1800 Nm<sup>3</sup>/h Rohgas, dessen Methangehalt von ca. 65 % auf durchschnittlich 97 % erhöht wird.



## 6.2 Beispiel Schweiz

In der Schweiz wird schon seit Jahren intensiv an der Aufbereitung von Biogas gearbeitet. Zahlreiche Projekte wurden seit 1995 realisiert, im Jahr 2001 waren sieben Aufbereitungsanlagen in Betrieb. Da die meisten Betriebe in der Nähe von Ortsverteilungsnetzen lokalisiert sind, ergeben sich geringe Anforderungen an die Gasverdichtung. Ein Großteil des aufbereiteten Biogases wird als Kraftstoff für Fahrzeuge verwendet. Derzeit gibt es in der Schweiz etwa 1.250 Bio-/Erdgasfahrzeuge, die an 50 Tankstellen betankt werden können.

Die Anforderungen für Erdgas bzw. Biogas als Kraftstoff werden in der Schweiz durch die Richtlinie 13G des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches geregelt. Sie trat am 1.1. 2004 in Kraft.

### 6.2.1 Kompo-Mobil I & II

Im Rahmen des Kompo-Mobil I Projektes wurden Gasreinigungsanlagen, die Kompression und die Lagerungsmöglichkeit von Biogas untersucht. Es startete im Herbst 1995, das gereinigte Biogas wurde als Treibstoff für umgebaute Benzinfahrzeuge verwendet. Der Schwefelwasserstoff wurde mittels Adsorption an Aktivkohle entfernt, eine Druckwasserwäsche zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung und ein Molekularsiebtrockner zur Gastrocknung wurde verwendet. Damit ließ sich der Methangehalt auf konstant 93 % erhöhen, mit einem Wasserdampf- und H<sub>2</sub>S-Anteil von unter 5 ppm.

Direkt im Anschluss an Kompo-Mobil I wurde das Kompo-Mobil II Projekt in Angriff genommen. Der Methangehalt wurde auf über 96 % erhöht und die Anlage mit einem Energieeinsatz für die Aufbereitung von etwa 10 % des gereinigten Biogases wirtschaftlicher gemacht. Durch die modifizierten Reinigungsverfahren konnte der Taupunkt des aufbereiteten Gases auf minus 65°C gesenkt werden, es wurden keine Spuren von Schwefelwasserstoff gemessen. Die Verstromung in einem BHKW hatte allerdings wesentliche wirtschaftliche Vorteile gegenüber dem Kraftstoffeinsatz in Fahrzeugen.

### 6.2.2 Erdgas Zürich

Im Großraum Zürich wird das aufbereitete Biogas unter dem Markennamen „Kompogas“ vertrieben. Es wird zu einem Teil in das öffentliche Erdgasnetz eingespeist oder direkt an Tankstellen als Treibstoff für KFZ zur Verfügung gestellt. Das Biogas wird mit den üblichen Reinigungsverfahren aufbereitet: Entschwefelung, Gastrocknung und CO<sub>2</sub>-Abscheidung durch Druckwechseladsorption. [Schulz 2003].

### 6.2.3 Migros Zürich

Die Grünabfälle der Produktionsbetriebe und Restaurants der Genossenschaft Migros Zürich werden seit Anfang 2001 zu 100 % zu Anlagen der Kompogas AG gebracht und dort zu Biogas vergärt. Das Biogas wird entweder in einer Kraft-Wärme-Kopplung Anlage verstromt oder aufbereitet und in das Erdgasnetz eingespeist bzw. als Kraftstoff eingesetzt. Acht LKW der Firma Migros fahren ausschließlich mit Biogas.

Mit den 2500 Tonnen Biomüll, in Biogas umgewandelt, können die acht Migros LKW etwa 606.000 Kilometer pro Jahr unterwegs sein. Aufgrund



dieser positiven Erfahrungen überlegt das Unternehmen weitere Biogasanlagen zu errichten.

### **6.3 Beispiel Deutschland**

Derzeit sind in Deutschland mehr als 1.600 Biogasanlagen in Betrieb. Im Zuge der Novelle des Gesetzes für den Vorrang erneuerbarer Energien, das am 1. Juni 2004 in Kraft trat, wird mit einem starken Anstieg der Zahl von Anlagen in den nächsten Jahren gerechnet.

Zurzeit wird das erzeugte Biogas in keiner Anlage in das Erdgasnetz eingebracht bzw. als Fahrzeugkraftstoff eingesetzt, es sind aber einige Pilotprojekte durchgeführt worden oder in Planung:

#### **6.3.1 Klärgasaufbereitung Stuttgart – Mühlhausen**

Dieses Projekt wurde von der EU gefördert und behandelte die Klärgasaufbereitung auf Erdgasqualität. Die Reinigung erfolgte mittels chemischer Absorption in einem MEA<sup>1</sup> Reaktor. Bei der Anlage werden 400 m<sup>3</sup>/h rohen Klärgases aufbereitet und in das Erdgasnetz eingespeist.

Die Anlage lief in der Zeit zwischen 1986 und 1993 störungsfrei und hat während dieser Zeit etwa 5 Mio. m<sup>3</sup> gereinigtes Biogas in das städtische Erdgasnetz eingebracht.

#### **6.3.2 Biogasaufbereitung auf der Kläranlage Mönchengladbach – Neuwerk**

Dieses Pilotprojekt wurde 1981 begonnen und es wurden bis zum Jahr 1996 insgesamt 19,7 Mio. m<sup>3</sup> Biogas auf Erdgasqualität aufbereitet. Der Höhepunkt der Produktion wurde 1987 mit 1,7 Mio. m<sup>3</sup> erreicht, in den folgenden Jahren nahm sie ständig ab.

Im Sommer 1996 wurde die Biogasaufbereitungsanlage wegen der Inbetriebnahme einer Klärschlamm Trocknung außer Betrieb genommen, da das Klärgas zur Trocknung eingesetzt wurde.

#### **6.3.3 Biogasanlage Albersdorf, Schleswig – Holstein**

Die Biogasaufbereitungsanlage in Albersdorf diente als Pilotprojekt um verschiedene Aufbereitungsarten für eine großtechnische Anwendung zu testen. Die Versuchsanlage nahm im Oktober 2002 ihren Betrieb auf. Es wurden 50 m<sup>3</sup> Biogas pro Stunde aufbereitet, das gereinigte Gas wurde danach aber nicht ins Erdgasnetz eingespeist sondern in einem Blockheizkraftwerk verstromt. Im Dezember 2003 wurde der Test beendet. Das am tauglichsten empfundene Verfahren soll in der Biogasanlage Schleswig eingesetzt werden.

#### **6.3.4 Biogasanlage Schleswig**

Die in der zuvor genannten Anlage in Albersdorf getesteten und weiterentwickelten Gasaufbereitungsverfahren (Druckwechselabsorption) sollten in einer Biogasanlage in Schleswig großtechnisch eingesetzt

---

<sup>1</sup> MEA = Monoethanolamin (schwache, organische Base)



werden. Derzeit herrscht an der Anlage Baustopp, nach Auskunft der Geschäftsführung der Farmatic Biotech Energy AG sollen die Biogasanlage sowie die Aufbereitung definitiv in Betrieb gehen. Das aufbereitete Gas soll sowohl ins Gasnetz der Stadtwerke Schleswig eingespeist als auch für den Fahrzeugbetrieb eingesetzt werden.



## 7 ERDGASFAHRZEUGE

### 7.1 Definition Erdgas

Erdgas ist ein brennbares Gas, das in unterirdischen Lagerstätten vorkommt. Da es in der Regel unter hohem Druck steht, fördert es sich sozusagen von selbst, sobald das Reservoir einmal geöffnet ist.

Die chemische Zusammensetzung schwankt beträchtlich. Ein Hauptbestandteil ist immer Methan, dessen Anteil die Qualität des Gases bestimmt. Häufig enthält Erdgas auch größere Anteile höherer Kohlenwasserstoffe sowie diverse andere Gase.

### 7.2 Technische Entwicklung

Erdgasfahrzeuge spielen derzeit in Österreich eine nur untergeordnete Rolle. So gab es im Jahr 2003 nur 30 Neuzulassungen dieses Kraftstofftyps, insgesamt sind ca. 250 Erdgasfahrzeuge auf Österreichs Straßen unterwegs. Für die Einführung dieser neuen Technologie ist neben der Errichtung einer benötigten Infrastruktur und legislativer Maßnahmen auch die Festlegung fiskalpolitischer Rahmenbedingungen erforderlich.

Die Fahrzeuge werden in monovalenter und bivalenter Ausführung angeboten. Erstere verfügt neben dem Erdgastank einen Not-Benzintank, der maximal 9 Liter fassen darf. Der Motor selbst ist auf den Betrieb mit Erdgas spezialisiert, was zu erheblich geringerem Kraftstoffverbrauch und geringeren Schadstoffemissionen gegenüber konventionellen Benzin und Dieselmotoren führt. Bei den bivalenten Fahrzeugen fällt dieser Vorteil aufgrund der fehlenden Optimierung größtenteils weg.

Benzinbetriebener und erdgasbetriebener Motor weisen in ihrer Funktionsweise keine grundlegenden Unterschiede auf. Ausschlaggebend ist vielmehr der verwendete Kraftstoff, und hier erweisen sich die Eigenschaften von Erdgas als ideal für den Einsatz in der modernen Motorenteknologie.

Bei erdgasbetriebenen Motoren kann im optimierten Zustand das Kraftstoff-Luft-Gemisch auf Grund der hohen Klopffestigkeit von Erdgas (ROZ 125) höher verdichtet werden als dies bei Benzin der Fall ist. Dies bringt durchwegs Vorteile: Mit einer höheren Verdichtung lässt sich ein höherer Wirkungsgrad bei gleichzeitig sparsamerem Verbrauch erzielen. Überdies wird der Schadstoffausstoß reduziert.

Zudem arbeiten mit Erdgas betriebene Motoren deutlich leiser als Benzin- oder Dieselmotoren. Grund für die Geräuschreduktion ist die Tatsache, dass das Erdgas-Luft-Gemisch langsamer und daher weicher verbrennt.

Das Erdgas wird mit einem Druck von 200 bar in den Tank gefüllt, der einen vorgeschriebenen Berstdruck von 600 bar aufzuweisen hat. Da auch der Flammpunkt über dem von konventionellen Kraftstoffen liegt, ist die Gefahr eines Brandes nicht höher als bei Benzin- oder Dieselfahrzeugen. Somit ist das Unfallverhalten in keiner Weise negativer als das konventioneller PKW. Da Erdgas im Schadensfall rasch in die Atmosphäre entweicht kann es sogar als sicherer bezeichnet werden.

### 7.3 Anforderung Gasqualität

Die Anforderung an die Qualität von Erdgas als Treibstoff wird in Österreich durch die Kraftstoffverordnung geregelt. Darin werden Grenzwerte für die relative Dichte, den Brennwert, den Wobbe-Index und den höchstzulassenen Druck sowie die Art des Prüfverfahrens angegeben (siehe Kapitel 4.2.2.).

Darüber hinaus gibt die ISO/DIS 15403 die geforderte Gaszusammensetzung bei Verwendung in Fahrzeugen wider.

Tabelle 9: Erdgaszusammensetzung zur Nutzung in Fahrzeugen (ISO/DIS 15403)

<b>Gaskomponente</b>	<b>Grenze bzw. Bereich</b>
Methan	≥ 96%
Kohlendioxid	≤ 3%
Sauerstoff	≤ 0,5%
Stickstoff	k. A.
Gesamtschwefel	≤ 120 mg/Nm <sup>3</sup>
Mercaptane	≤ 15 mg /Nm <sup>3</sup>
Schwefelwasserstoff	≤ 5 mg/Nm <sup>3</sup>
Feuchte	≤ -10 bis -30 °C Drucktaupunkt (abhängig von lokalen Umgebungsbedingungen)
Staub	technisch frei (≤ 1 µm)
Öl	100 – 200 ppm





## 7.4 Anbieter von Erdgasfahrzeugen

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die derzeit am Markt befindlichen Erdgas - PKW.

Tabelle 10: Übersicht der Anbieter von Erdgasfahrzeugen

<b>Marke</b>	<b>Modell</b>
Opel	Opel Zafira 1.6 CNG
	Astra Caravan 1.6 CNG
	Combo Kastenwagen
Mercedes	Mercedes-Benz E 200 NGT
Fiat	MULTIPLA 1.6 Natural Power CityLiner
	Punto
	Doblo
	Ducato
Volvo	S60, 2,4 Bi-Fuel Kinetic
	S80, 2,4 Bi-Fuel Kinetic
	V70, 2,4 Bi-Fuel Kinetic
VW	Golf Variant Bi-Fuel
Citroen	1.4 Erdgas Family
	1.4 Erdgas 600 kg

Derzeit wird der Einsatz von Biogas in den Fahrzeugen nur vom Hersteller Opel zu 100 % freigegeben.

## 8 POTENTIAL BIOGAS IN ÖSTERREICH

### 8.1 Derzeitiger Stand

Derzeit ist es schwer möglich, die tatsächlich produzierten Mengen von Biogas in Österreich zu bestimmen. Es gibt keine gesetzliche Meldepflicht, dadurch auch keine offizielle Stelle, die biogasrelevante Daten aufzeichnet.

Im Rahmen des Ökostromgesetzes sind aber die meisten landwirtschaftlichen Biogasanlagen bei der E-Control gemeldet. Laut deren Aufzeichnungen waren per 31.12.2003 141 Biogasanlagen mit einer Engpassleistung von 24,08 MW in Betrieb. Insgesamt wurden 2003 41,59 GWh Ökostrom in das österreichische Stromnetz eingespeist. Da aus einem Kubikmeter Biogas ca. 1,2 kWh Strom produziert werden können, ist davon auszugehen, dass im Jahr 2003 ca. 35 Mio. m<sup>3</sup> Biogas produziert wurden.

In einer derzeit laufenden Studie des IFA Tulln über das derzeitige Potential von Biogasanlagen wird die Produktion auf 43-65 Mio. m<sup>3</sup> geschätzt.

Tabelle 11: Anzahl und Potential von Biogasanlagen in Österreich [BRAUN 2004]

Quelle	Anlagenzahl	Mio. m <sup>3</sup> Biogas pro Jahr	Durchschnittlicher Anteil (%)
Deponien	62 Restmülldeponien	45-100	32
Klärschlamm	134 Schlammfauktürme	75 - 100	38
Landwirtschaft	119 Biogas- u. Co-Fermentationsanlagen	43-65	23
Industrieabwasser / -abfall	25 Anaerob Vorreinigungsanlagen	9 - 14	5
Biotonne	4 kommunale Bioabfall Vergärungsanlagen	5 - 6	2
TOTAL		177 - 285	100

### 8.2 Zukünftiges Potential

Für diese Studie wurden keine neuen Prognosen über das Potential von Biogas in Österreich erstellt, es wurde vielmehr auf vorhandene Literatur zurückgegriffen.

#### 8.2.1 Technisches vs. Theoretisches Potential

Um das zukünftige Potential seriös abschätzen zu können ist in erster Linie eine Unterscheidung zwischen technischen und theoretischen Möglichkeiten zu treffen. Nicht an jeder Wasseraufbereitungsanlage kann wirtschaftlich oder logistisch eine Klärgasanlage betrieben werden. Auch kann die potentiell vorhandene Menge von Biogas aus dem Nutztierbestand nicht direkt vorausgesagt werden.



Schwierig ist, die Festlegung von Kriterien, ab wann man eine Landwirtschaft oder Kläranlage als potentielle Biogasquelle ansieht, und welche Volumen man dann für diese Produktionsstätte annimmt.

### 8.2.1.1 Nutztierhaltung

Großes Potential für die Biogaserzeugung stellt die Nutzung landwirtschaftlicher Tierhaltung dar. Vor allem die Exkremente von Rindern, Schweinen und Geflügel eignen sich für die Fermentation.

Tabelle 12: Anzahl an Nutztieren 2002 in Österreich [STATISTIK AUSTRIA]

	<b>Bestand (in 1000)</b>
Rinder	2.067
Schweine	3.305
Schafe	304
Ziegen	58
Hühner	11.905

In der Praxis werden zur Ermittlung von Güllemengen und den daraus zu erwartenden Biogasmengen Großvieheinheiten (GVE) herangezogen. Eine Großvieheinheit beträgt 500 kg Lebendgewicht, was etwa einem Rind, fünf Schweinen oder 250 Stück Geflügel entspricht. Folgende Werte werden in der Literatur für die Ergiebigkeit unterschiedlicher Exkremente genannt:

Tabelle 13: Ungefähre Ergiebigkeit von tierischen Exkrementen pro Tag und GVE sowie Heizwert des Biogases [ANDERL 1998]

	<b>Rind je GVE</b>	<b>Geflügel je GVE</b>	<b>Schweine je GVE</b>
Gülle in kg/Tag	50	25	20
Trockensubstanz in kg/Tag	5	7,5	2
Gasausbeute im m <sup>3</sup> /Tag	1,5	3,0	0,8
Methangehalt in %	60	70	70
Heizwert in MJ pro m <sup>3</sup> Gas	20	23	23
Heizwert in MJ des täglich erzeugten Gases	3,0	6,9	1,84
entsprechendes Äquivalent in Erdgas in m <sup>3</sup>	0,8	1,85	0,49

Demnach kann bei der Verwendung von Geflügelexkrementen die beste Gasausbeute erreicht werden. Aus einer Kombination der Werte aus Tabelle 12 und Tabelle 13 kann ein theoretisches Potential von ca. 1.350 Mio. m<sup>3</sup> Biogas aus landwirtschaftlicher Viehhaltung berechnet werden.

Das gesamte theoretisch nutzbare Potential kann jedoch nicht für die Fermentation eingesetzt werden. Ausreichende Voraussetzungen bieten hier Betriebe mit hohen Geflügelbeständen (Hühnerfarmen) sowie Betriebe mit mindestens 30 GVE Rindern bzw. Schweinen. Ab dieser Größe kann die Installation einer Biogasanlage als wirtschaftlich sinnvoll angesehen werden. Unter Berücksichtigung dieser Annahmen kann von einem technisch Potential von Biogas aus landwirtschaftlicher Tierhaltung von ca. **670 Mio. m<sup>3</sup>** im Jahr ausgegangen werden [AMON 1997].

#### **8.2.1.2 Pflanzenproduktion**

Berechnungen aus der Literatur [AMON 2001] gehen von einem realistischen Potential von **1,8 Mrd. m<sup>3</sup>** Biogas pro Jahr aus der Pflanzenproduktion aus. Laut Amon können Hektarerträge von etwa 4.800 m<sup>3</sup> (Silomais), 3.056 m<sup>3</sup> (Luzerne) und 2087 m<sup>3</sup> (Futterrüben) Biogas erreicht werden. Er geht davon aus, dass 20 % der Ackerfläche Österreichs zum Energiepflanzenanbau genutzt wird, auf 20 % der Ackerfläche Energiepflanzen als Zwischenfrüchte erzeugt werden und 20 % der Biomasse des Dauergrünlandes genutzt werden.

#### **8.2.1.3 Kläranlagen**

Biogas aus Kläranlagen enthält neben den üblichen Komponenten wie Methan, Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff auf Spuren verschiedener Siloxane. Diese chemischen Verbindungen können in Fahrzeugmotoren zu Ablagerungen führen, die einen reibungslosen Betrieb des Motors nicht weiter gewährleisten.

Die Abscheidung dieser Spurenelemente erfolgt meist mit Hilfe von Kältetechnik.

#### **8.2.1.4 Küchenabfälle**

Biogene Abfälle aus Haushalte und Groß- bzw. Kantinenküchen stellen vor allem in Großstädten ein enormes Potential für die Produktion von Biogas dar. Im Jahr 2002 fielen in Österreich 531.000 Tonnen biogene Abfallstoffe, getrennt gesammelt (Schlüsselnummer 91104) und 105.000 Tonnen Küchen- und Kantinenabfälle (Schlüsselnummer 91202) an.

Eine Studie der IFA Tulln (in Zusammenarbeit mit der MA 22, MA 48 und der Wiener Umweltschutzbehörde) untersuchte die Biogasausbeute aus Speiseresten und Marktabfällen.

Tabelle 14: *Biogasausbeute und Zusammensetzung von Biogas aus biogenen Abfällen [GRASMUG 2002]*

	<b>Speisereste</b>	<b>Marktabfälle</b>
<b>Biogasausbeute (bei 35°)</b>		
bezogen auf CSB*	0,44 m <sup>3</sup> /kg <sub>CBS</sub>	0,53 m <sup>3</sup> /kg <sub>CBS</sub>
bezogen auf OTS <sup>#</sup>	1,1 m <sup>3</sup> /kg <sub>OTS</sub>	1,328 m <sup>3</sup> /kg <sub>OTS</sub>
bezogen auf Frischmasse (ca. 80% H <sub>2</sub> O)	170 m <sup>3</sup> /t	170 m <sup>3</sup> /t
<b>Biogaszusammensetzung</b>		
Methan	72 %	70 %
Kohlendioxid	28 %	30 %
Schwefelwasserstoff	0,32 %	-

\* CSB – Chemischer Sauerstoffbedarf

# OTS - Organische Trockensubstanz

Mit den in Tabelle 14 angegebene Werten und den oben genannten Zahlen für die Mengen an biogenen Abfällen lässt sich ein theoretisches Potential von ca. 700 Mio. m<sup>3</sup> Biogas errechnen.

Aufgrund eines erhöhten technischen Aufwandes (Kontrollen, Probenahmen, etc.) und die dadurch entstehenden Mehrkosten wird diese Art der Biogaserzeugung in dieser Studie nicht näher behandelt.

Ausgehend von den in dieser Studie betrachteten Substraten Energiepflanzen und Exkremte aus der Nutztierhaltung kann von einem gesamten theoretischen Potential von etwa **2,47 Mrd. m<sup>3</sup> Biogas** in Österreich ausgegangen werden.

Aus diesem Potential lässt sich mit einem Energieinhalt von 6,5 kWh pro m<sup>3</sup> Biogas und angenommenen Verlusten von 6 % bei der Aufbereitung eine Energiemenge von 15 Mrd. kWh erzeugen. Der gesamte Energieverbrauch des österreichischen Straßenverkehrssektors im Jahr 2003 betrug 56 Mrd. kWh [OLI 2004].

Mit dem Einsatz des gesamten Potentials für die Erzeugung von Biogas im Verkehrssektor in Österreich ließen sich somit etwa **27 %** der konventionellen Kraftstoffe im Straßenverkehr in Österreich substituieren.

### 8.2.2 Hemmnisse

Derzeit existieren zahlreiche Barrieren, die eine Einführung und Verbreitung des Einsatzes von Biogas im Verkehrssektor hemmen. In bisherigen Studien wurden Aktionsfelder ermittelt, um diese Hemmnisse systematisch erfassen zu können [HAAS 2001, eigene Recherchen]. Diese sind:

- **Betreiber/Investor/Nutzer:** Wirtschaftlichkeit, Zahlungsbereitschaft, Informationsstand
  - Hohe Investitionskosten (Anlagen werden einzeln konzipiert)
  - Informationsmangel bei Betreibern/Planern: Überschusswärme nicht genutzt, nicht ausreichende Wartung

- **Technologie:** F&E, Systemoptimierung, Standardisierung
  - Fehlende Standardisierung
  - Teure Aufbereitung
- **Gesellschaft:** Politik, Verwaltung, Öffentlichkeit
  - strukturelle Hemmnisse: Viehhaltung in Österreich eher Weidehaltung - wenige Betriebe mit Möglichkeiten zum Sammeln der Exkremente
  - Komplexe Umweltauflagen: Hygienevorschriften, Düngemittelgesetz, Wasserrechtsgesetz, Abfallwirtschaftsgesetz, etc.
  - Förderung Ökostrom
  - Keine Standardisierung Biogastankstelle
- **Markt:** Systemanbieter, Marketingaktivitäten, Produktinformation, Katalysatoren
  - Geringe Transparenz des Marktes
  - Konkurrenz Erdgas

## 8.2.3 Wirtschaftliche Anreize

### 8.2.3.1 Förderungen

Zahlreiche Förderungsmöglichkeiten stehen sowohl in Österreich als auch auf Ebene der Europäischen Union zur Verfügung. Auch auf Landesebene werden erneuerbare Energien in Österreich verstärkt gefördert.

### 8.2.3.2 Erlöse

Durch die Befreiung regenerativer Treibstoffe von der Mineralölsteuer (siehe Kapitel 4.2.3) kann Biogas auf dem Treibstoffmarkt konkurrenzfähig angeboten werden.



## 9 VERTEILUNG BIOGAS

### 9.1 Zentrale vs. Dezentrale Produktion

#### 9.1.1 Rahmenbedingungen

##### 9.1.1.1 Potential Substrat

Ein entscheidender Punkt bezüglich der Wirtschaftlichkeit bzw. der Umweltverträglichkeit ist die Entfernung zwischen der Biogasanlage und dem Ort des Anfalls von Substraten. Lange Transportwege führen einerseits zu erhöhten Transportkosten. Andererseits verschlechtert sich die Treibhausgas- und Luftschadstoffbilanz, wenn der Transport mit LKW durchgeführt wird.

Wie bereits in Kapitel 8.2.1.1 erwähnt, ist in Österreich die Viehhaltung eher auf kleinere Betriebe bzw. auf Almhaltung spezialisiert. Als potentielle Betriebsstellen für Biogasanlagen bieten sich daher einerseits Großviehbetriebe an, andererseits besteht die Möglichkeit, mittelgroße Betriebe mittels Rohrleitungssystem zu einer zentralen Biogasanlage zu verbinden. Die Entfernung zwischen den Betrieben sollte aber höchstens 500 Meter betragen.

Substrate auf der Basis von Energiepflanzen stellen einen wesentlichen Teil der zukünftigen Biogasproduktion dar. Vor allem die energetische Ausbeute von Energiepflanzen ist erheblich höher als der von Gülle. Etwa 70 % des energetischen Anteils des technischen Potentials werden laut Literatur [AMON 2001] von Energiepflanzen gedeckt.

Von entscheidender Bedeutung wird sein, dass Anlagen vorhanden sind, in denen Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger gemeinsam verarbeitet werden können.

##### 9.1.1.2 Antransport

Falls die Entscheidung zu einer zentralen Biogaserzeugung gefallen ist, stellt sich die Frage, wie das Substrat zu der Anlage transportiert wird. Wie bereits erwähnt verschlechtert ein Transport auf der Straße mit LKW die Treibhausgasbilanz und es werden zusätzlich Schadstoffe emittiert.

#### 9.1.2 Versorgung

Ein wesentliches Problem bei der Anwendung von Biogas im Verkehrsbereich ist das Bereitstellen als Treibstoff. Die Produktion erfolgt meist in landwirtschaftlich geprägten Gebieten, wobei die Endverbraucher in städtischen Bereichen vorherrschen. Um nun das Produkt (Biogas) an den Verbraucher (Fahrzeug) zu bringen, gibt es im Allgemeinen zwei Möglichkeiten, entweder man speist es in das öffentliche Erdgasnetz ein oder man errichtet eigene Biogastankstellen.

##### 9.1.3 Einspeisung in das Erdgasnetz

Die Möglichkeit, das produzierte Biogas einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung stellen zu können, bietet die Einspeisung in das öffentliche Erdgasnetz. Durch die Vermengung mit konventionellem Erdgas wird auch in Spitzenverbrauchszeiten die kontinuierliche Versorgung an Erd/Biogastankstellen sichergestellt.

##### 9.1.3.1 Gesetzliche Erfordernisse

In Österreich werden die Qualitätsanforderungen, die für die Einspeisung in das Erdgasnetz und den Transport von Erdgas und biogenen Gasen im „Netz“

erforderlich sind, durch die Richtlinie G31 der Österreichischen Vereinigung für das Gas- und Wasserfach vorgegeben.

Tabelle 15: Gasqualitätsanforderung für Biogas zur Einspeisung in das österreichische Erdgasnetz [ÖVGW 2001]

<b>Brenntechnische Kenndaten</b>			
<b>Bezeichnung</b>	<b>Kurzzeichen</b>	<b>Einheit</b>	<b>Wert</b>
Wobbe-Index	W <sub>s</sub>	kWh/m <sup>3</sup>	13,3 bis 15,7
		MJ/m <sup>3</sup>	47,7 bis 56,6
Brennwert	H <sub>s</sub>	kWh/m <sup>3</sup>	10,7 bis 12,8
		MJ/m <sup>3</sup>	38,5 bis 46,0
Relative Dichte	d		0,55 bis 0,65
<b>Gasbegleitstoffe</b>			
<b>Bezeichnung</b>	<b>Einheit</b>		<b>Grenzwert</b>
Kohlenwasserstoffe: Kondensationspunkt	°C		maximal 0 bei Betriebsdruck
Wasser (H <sub>2</sub> O): Kondensationspunkt	°C		maximal -8 bei einem Druck von 40 bar
Sauerstoff (O <sub>2</sub> )	% Mol-Anteil		≤ 0,5
Kohlenstoffdioxid (CO <sub>2</sub> )	% Mol-Anteil		≤ 2,0
Stickstoff (N <sub>2</sub> )	% Mol-Anteil		≤ 5
Wasserstoff (H <sub>2</sub> )	% Mol-Anteil		≤ 4
Gesamtschwefel	mg S/m <sup>3</sup>		in Störfällen kurzzeitig ≤ 150 Im Jahresmittel ≤ 30 auf Dauer ≤ 10
Mercaptanschwefel	mg S/m <sup>3</sup>		≤ 6
Schwefelwasserstoff (H <sub>2</sub> S)	mg/m <sup>3</sup>		≤ 5
Kohlenstoffoxidsulfid (COS)	mg/m <sup>3</sup>		≤ 6
Halogenverbindungen	mg/m <sup>3</sup>		0
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )			technisch frei
Fest- und Flüssigbestandteile			technisch frei
Andere Bestandteile, welche die Betriebssicherheit und den Bestand des Netzes gefährden, dürfen nicht enthalten sein.			





### 9.1.3.2 Technische Erfordernisse

Wie in Punkt 9.1.3.1 erwähnt, ist die Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz gesetzlich erlaubt. Auch das Erreichen der geforderten Gasqualität stellt technisch kein großes Hindernis dar. Trotzdem wird derzeit in Österreich kein Biogas eingespeist. Gründe hierfür sind einerseits die hohen Kosten für die Aufbereitung sowie organisatorische Hürden bei der Einspeisung.

### 9.1.4 Direktabgabe Biogastankstellen

Eine weitere Möglichkeit das Produkt Biogas an den Verbraucher zu bringen ist die Errichtung von Biogastankstellen direkt beim Erzeuger. Nachteilig bei dieser Variante wirken sich die hohen Kosten für die Errichtung und Instandhaltung aus.

#### 9.1.4.1 Gesetzliche Erfordernisse

Das Errichten einer Biogastankstelle ist in Österreich nicht unproblematisch, da es derzeit keine einheitlichen gesetzlichen Vorschriften existieren. Die Tankstellen müssen von akkreditierten Prüfern abgenommen werden, die Dichtheit der Ventile, der maximale Kesseldruck etc. überprüft werden.

Der TÜV Österreich hat einen Anforderungskatalog basierend auf den technischen Erfahrungen (VdTÜV-Merkblätter) und einer hierfür geltenden Europäischen Norm entwickelt.

#### 9.1.4.2 Technische Erfordernisse

Das Betanken an einer Biogastankstelle unterscheidet sich grundsätzlich nicht von dem an einer konventionellen Tankstelle. Der Zapfhahn wird am Tankstutzen angeschlossen und nach etwa 3 Minuten ist die Betankung eines PKW abgeschlossen. Da der Druck im Fahrzeugspeicher etwa 200 bar beträgt, ist ein Verdichten notwendig. Man unterscheidet 3 Arten von Betankungsanlagen:

- **1-Bank Verfahren**

Diese Schnellbetankungsanlage besteht aus einem Verdichter, einem Zwischenspeicher und einer Zapfvorrichtung. Beim Betanken eines Fahrzeuges strömt das Gas, getrieben durch die Druckdifferenz, aus dem Zwischenspeicher in den Fahrzeugtank. Hierfür werden nur wenige und einfache Komponenten benötigt, was sich positiv auf die Investitionskosten auswirkt. Der Nachteil besteht allerdings darin, dass die Kapazität des Zwischenspeichers nur zu einem Drittel genutzt wird. Der Kompressor läuft demzufolge oft an, was zu hohen Betriebskosten der Anlage führt.

- **3- Bank Verfahren**

Bei dieser Art ist der Zwischenspeicher dreigeteilt. Beim Tanken werden die Speicher, je nach Druckdifferenz automatisch zum Fahrzeug umgeschaltet. So können kleinere Speicher eingesetzt werden, was wiederum die Investitionsaufwendungen reduziert.

- **Mannesmann Verfahren**

Die Fa. Mannesmann hat eine Lösung mit hydraulischen Kompressoren entwickelt. Mit einer ersten Verdichterstufe wird das Gas in einen Zwischenspeicher auf den Solldruck verdichtet. Beim Tanken wird mit einem Boosterkompressor die Abgabe zum Fahrzeug geleistet. Mit diesem Verfahren kann das Volumen des Zwischenspeichers zu 75 % genutzt werden, was



aufgrund des geringeren Energiebedarfes zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit führt.

## 10 ÖKOBILANZ BIOGAS IM VERKEHRSSSEKTOR

### 10.1 Erstellung Ökobilanz

Für die Erstellung der Ökobilanz werden die Prozessketten für die Produktion von Biogas für den Verkehrssektor analysiert. Im Folgenden werden als Substrate Mais und Gülle betrachtet. Die Betrachtung wurde auf Mais und Gülle fokussiert, da eine Abhandlung sämtlicher in Frage kommender Substrate den Rahmen der Studie sprengen würde.

Die Prozesskette von Gülle ist in der nachfolgenden Abbildung ersichtlich.

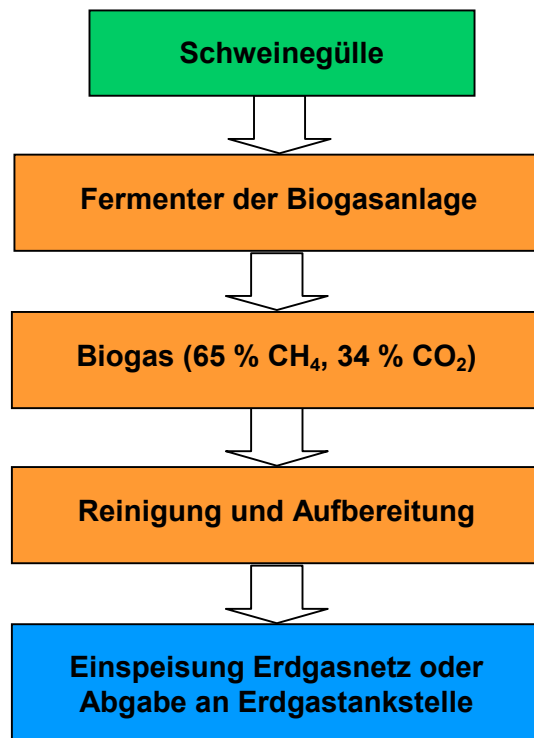


Abbildung 7: Prozesskette der Produktion und Reinigung von Biogas für den Verkehrssektor mit dem Substrat Gülle

Das Substrat Gülle fällt als „Abfallprodukt“ der Landwirtschaft an. Daher sind keine vorgelagerten Prozesse in der Ökobilanz zu berücksichtigen.

Bei der Bereitstellung von Mais werden sämtliche Energieeinsätze von Anbau über Ernte bis zur erforderlichen Silage des Substrates berücksichtigt. Die Anlagenkomponenten werden je nach Einsatzgebiet – dezentrale oder zentrale Biogaserzeugung – konfiguriert, wobei die Fermentervolumen bei zentralen Anlagen größer ausgelegt werden als bei dezentralen Anlagen. Die Biogasreinigung und Aufbereitung führt in Folge zu der erforderlichen Biogasqualität, wodurch sowohl eine Einspeisung in das Erdgasnetz als auch die Abgabe an Erdgasfahrzeuge möglich ist.

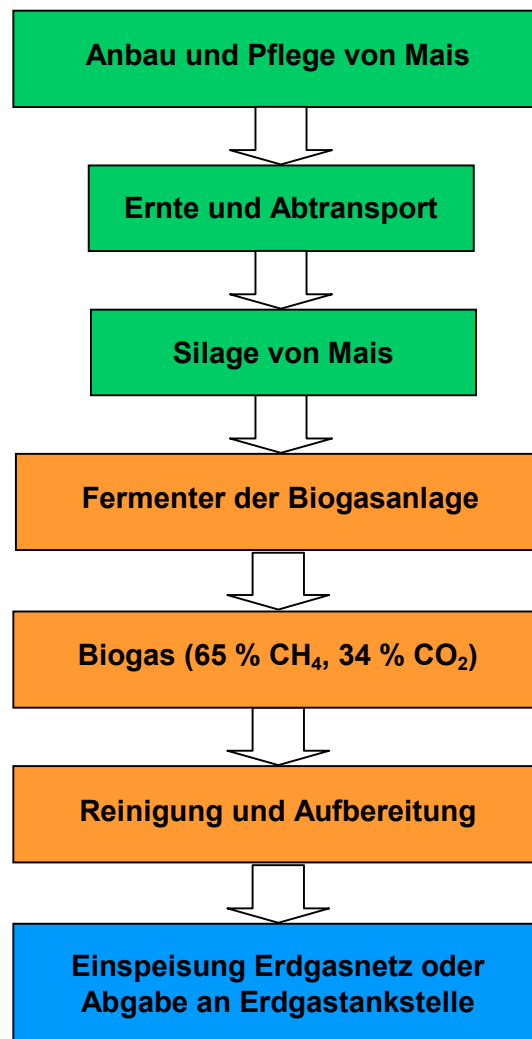


Abbildung 8: Prozesskette der Produktion und Reinigung von Biogas für den Verkehrssektor mit dem Substrat Mais

Der Anbau von Mais für die Biogasproduktion wird auf Ackerflächen in Österreich betrieben, die sich zurzeit in Produktion befinden, daher handelt es sich hier um keine zusätzlichen Emissionsquellen. Diese vorgelagerten Emissionen von Mais (Anbau, Ernte, Transport, etc.) werden der Emissionsbilanz von Biogas zur Gänze zugerechnet, würden aber auch ohne Biogasproduktion anfallen.

Die Energie- und Materialbilanzen werden in GEMIS-Österreich 4.2 eingearbeitet. Mit Hilfe der Szenarienarbeit werden die Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen von Biogas jenen von Erdgas- bzw. Dieselfahrzeuge gegenübergestellt. Für die Projektierung von Biogas wird in dieser Studie ein Zeitraum bis 2010 angenommen. Für ein zukünftiges Dieselfahrzeug werden die spezifischen Emissionen aus dem Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) herangezogen. Hingegen die Luftschadstoffemissionen der Erdgasfahrzeuge stammen aus TREMOD [IFEU 2002]. Die Entwicklungen und Verbesserungen der Verbrennungstechnologie im Erdgasfahrzeug-Sektor bis zum Jahr 2010 wurden auf Grund mangelnder Daten nicht berücksichtigt. Somit wird in dieser Studie ein Diesel PKW aus den Jahren 2004 und 2010 mit einem Bio-/Erdgas PKW aus dem Jahre 2005 verglichen.

Sämtliche Berechnungen in dieser Studie gehen von einem durchschnittlichen, österreichischen Fahrzeug unter Berücksichtigung durchschnittlicher Fahrsituationen mit einem Besetzungsgrad von 1,5 Personen aus. Die spezifischen Emissionen eines durchschnittlichen Dieselfahrzeuges im Jahr 2010 aus HBEFA ergeben folgendes Bild.

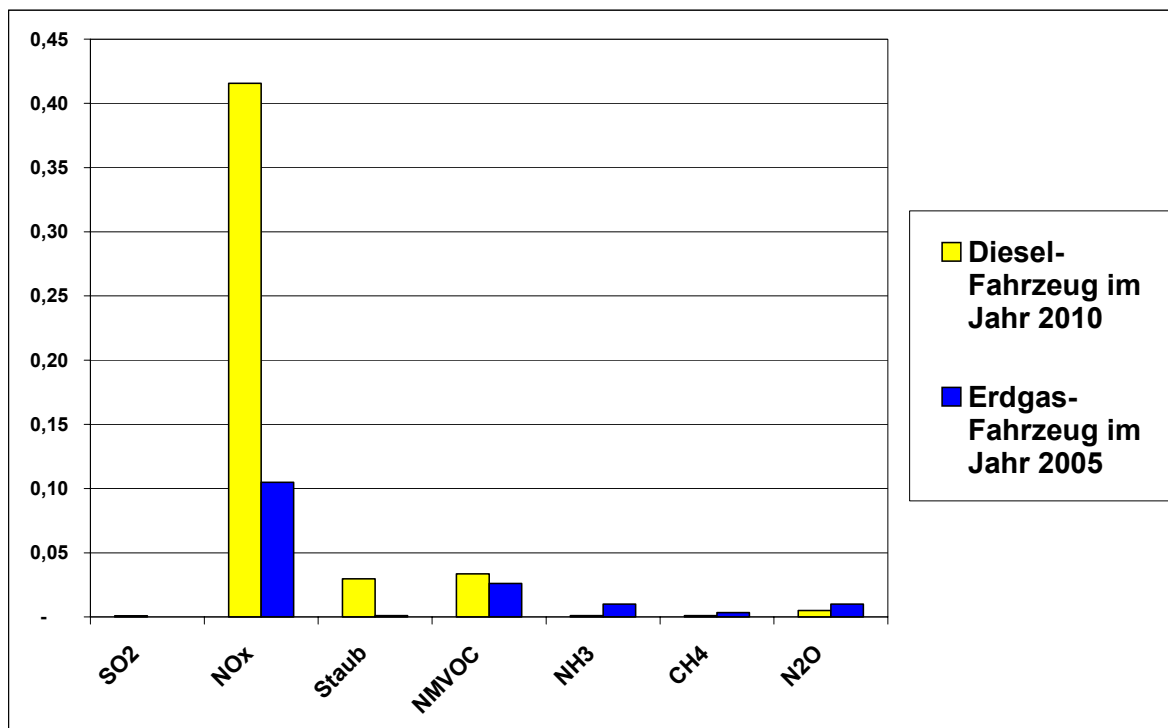


Abbildung 9: Spezifischen Emissionen von Diesel und Erdgas-PKW in g/km [IFEU 2002, HBEFA, 2005]

Bei den nachfolgenden Szenarien und den Referenztechnologien werden sowohl die direkten Emissionen, als auch die vorgelagerten Emissionen berücksichtigt.

Einen hohen Anteil der vorgelagerten Treibhausgasemissionen von Erdgas werden beim Transport verursacht. 74 % der gesamten österreichischen Erdgasaufbringung stammen aus Russland. In GEMIS-Österreich werden CH<sub>4</sub>-Verluste in den Pipelines mit 0,016 % pro 100 km bei gesamter Transportdistanz von 7.000 km angeführt [GEMIS-Österreich 4.2, 2004]. In den Verlusten sind die CH<sub>4</sub>-Emissionen der Kompressorstationen mitgerechnet.

Wie aus den vorherigen Kapiteln ersichtlich, ist der Einsatz von Biogas im Verkehrssektor auf unterschiedliche Weise und unter verschiedenen Voraussetzungen möglich. Im Rahmen dieser Arbeit werden drei Szenarien näher betrachtet, die kurz- bis mittelfristig das größte Potential einer Umsetzung aufweisen.

- **Szenario 1: Zentrale Biogasanlage – Bereitstellung mittels Biogastankstelle**
- **Szenario 2: Zentrale Biogasanlage – Einspeisung in das Erdgasnetz**
- **Szenario 3: Dezentrale Biogasanlage**
- **Szenario 4: Idealszenario – zentrale und dezentrale Biogasanlage**

### 10.1.1 Energie- und Materialbilanz Szenario 1: Zentrale Biogasanlagen – Bereitstellung mittels Biogastankstelle

Hier wird von einer zentralen Biogasanlage ausgegangen. Die Substrate werden aus der Umgebung angeliefert, das Biogas produziert, aufbereitet und danach an einer Biogastankstelle dem Verkehr zur Verfügung gestellt.

Die Biogasanlage sowie die Aufbereitung müssen auf große Mengen zu verarbeitenden Substrat ausgelegt sein. Daher wird in diesem Szenario von Anlagengrößen von mindestens 1,5 MW ausgegangen.

Als Ausgangssubstrat wird einerseits Gülle, andererseits die Energiepflanze Mais verglichen. Der Hektarertrag von Mais beträgt 42 t Frischmasse mit einem Feuchtegehalt von 33 %. Das entspricht einer Menge von 12 bis 13 t organischer Trockensubstanz pro Hektar. Für den Anbau und Pflege von Mais werden laut Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft [KTBL 2002] 180 Liter Diesel pro Hektar angegeben. Der Düngeaufwand pro Hektar wird mit rund 80 kg Stickstoff, 27 kg Phosphor und 85 kg Kalium in die Ökobilanz aufgenommen. Weiters werden rund 1,3 kg Pflanzenschutzmittel pro Hektar eingesetzt.

Der Silagevorgang, der für die Aufbereitung von Mais vor dem Fermentationsprozess erforderlich ist, benötigt rund 15 l Diesel pro Tonne Frischmais und wird mittels Traktoraufbaugerät durchgeführt. Weiters wird ein Transport von 3 km mittels Traktor und Anhänger berücksichtigt.

Der Antransport der Substrate zu der zentralen Fermentationsanlage wird mittels LKW durchgeführt. Beim Straßentransport wird ein LKW der Abgasklasse EURO 3 mit 14 bis 20 Tonnen Nutzlast eingesetzt. Um die Relevanz der Wegstrecken für die Ökobilanz zu verdeutlichen, werden die Transportlängen mit 50 bzw. 100 km angenommen (bei einer durchschnittlichen Beladung von 7,5 Tonnen). Auf Grund der leeren Rückfahrt werden in die Ökobilanz Wegstrecken von 100 bzw. 200 km einberechnet.

Die anaerobe Fermentation von Maissilage und von Gülle läuft bei rund 35°C ab. Der Heizenergieeinsatz beträgt rund 0,108 kWh pro kWh Biogas. Die Heizenergie wird mittels Biomasseheizwerk bereitgestellt, was für österreichische Verhältnisse als realistischster Ansatz erscheint. An dieser Stelle sei erwähnt, dass die Standortwahl einen wesentlichen Einfluss auf die Emissionsbilanz von Biogas darstellt. Die Nutzung von Fernwärme oder Wärme aus einer KWK-Anlage kann die Luftschadstoffemissionen der Biogaserzeugung drastisch reduzieren. Diese Idealbedingungen werden in der Studie in einem weiteren Szenario Rechnung getragen.

Das Rühren des Fermentats beansprucht rund 0,03 kWh pro kWh Biogas an elektrischem Strom. Die Errichtung der Fermentationsanlage wird in der Ökobilanz berücksichtigt. Der Materialeinsatz wird auf die Lebenszeit von 15 Jahren aufgeteilt.

Die Aufbereitung von Biogas für den Einsatz im Kraftfahrzeugsektor wird im Kapitel 5.4 beschrieben. Der Energieeinsatz an elektrischem Strom wird mit 0,05 kWh pro kWh aufbereiteten Biogasen angegeben [SCHULTE 2003]. Bei der Aufbereitung wird von einem Wirkungsgrad von rund 94,2 % ausgegangen. In der Ökobilanz wird angenommen, dass rund 5 % Methan (CH<sub>4</sub>) des aufbereiteten Biogases durch Kohlefilter der Aufbereitungsanlagen entweicht.



Bei der Tankstelleabgabe von 1 kWh komprimiertem, aufbereitetem Biogas werden 0,025 kWh el. Strom in der Ökobilanz berücksichtigt.

### **10.1.2 Energie- und Materialbilanz Szenario 2: Zentrale Biogasanlagen – Einspeisung in das Erdgasnetz**

Das Szenario 2 wird als Weiterentwicklung des Szenario 1 gesehen. Die Ökobilanz berücksichtigt wie im Szenario 1 Anbau, Ernte, Silage von Mais, Transport von Mais bzw. Gülle und sämtlich nachfolgende Prozesse der Biogaserzeugung und Aufbereitung. Das gereinigte Biogas wird im Szenario 2 jedoch direkt in das Erdgasnetz eingespeist. Die Annahme dieses Szenarios lautet, dass das eingespeiste Biogas an einer beliebigen Erdgastankstelle zu 100 % in einen PKW getankt wird.

Laut GEMIS Deutschland 4.2 wird für den Transportaufwand von Biogas in Rohrleitungssystemen von einem Stromeinsatz von 75 Wh/tkm und einem Verlust von 0,0006 % Methan pro 100 km ausgegangen [GEMIS 4.2, 2004]. Die Transportdistanz für Erdgas in Österreich wird in GEMIS-Österreich mit 100 km angegeben. Die gesetzlichen und technischen Anforderungen für die Einspeisung in das Erdgasnetz werden im Kapitel 9.2.1 beschrieben.

### **10.1.3 Energie- und Materialbilanz Szenario 3: Dezentrale Biogasanlagen - Biogasbereitstellung mittels Biogastankstelle oder Einspeisung in das Erdgasnetz**

Das Szenario 3 geht von einer dezentralen Produktion von Biogas aus. Die Abgabe von Biogas erfolgt an einer Biogastankstelle, die sich in unmittelbarer Nähe zur Biogasherstellung befindet, bzw. mittels Einspeisung in das Erdgasnetz.

Die Energie- und Massenbilanzen werden vom Szenario 1 übernommen, doch der Transport mittels LKW ist nicht erforderlich. Grundsätzlich wird in diesem Szenario von kleineren Anlagen mit einer installierten Leistung von 300 kW ausgegangen.

### **10.1.4 Energie- und Materialbilanz Szenario 4: Idealszenario - Dezentrale und zentrale Biogasanlagen**

Im Folgenden wird ein „Best Case“ Szenario erstellt. Darin wird die für die Fermentation benötigte Wärme durch ein angeschlossenes Blockheizkraftwerk bereitgestellt. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass die Methanverluste während der Produktion und Aufbereitung auf 2 % gesenkt werden, was enorme Auswirkungen auf die Treibhausbilanz hat.

Somit werden im „Idealszenario“ folgende Parameter verändert:

- Verbesserung der Erdgas-Fahrzeugtechnologie; Reduktion des Verbrauchs von 6,2 kg/100 km auf 5,5 kg Erdgas/Biogas pro 100 km
- Abwärmennutzung einer KWK-Anlage; die Abwärme wird ohne Emissionen bewertet
- Verbesserung der Biogasaufbereitung und Reinigung; Reduktion der Methanausgasung von 5 % auf 2 %

## **10.2 Ergebnisse Ökobilanz**

Die Treibhausgasemissionen und Luftschadstoffemissionen werden mit GEMIS-Österreich berechnet. Die Ergebnisse setzen sich aus den direkten Emissionen

beim PKW und den vorgelagerten Emissionen zusammen. Für die gesamte Emissionsbilanz sind folgende 3 Bereiche wesentlich:

- Der Wärmeeinsatz für die Fermentation
- Der Transport der Substrate
- Die Methanverluste bei der Biogasaufbereitung

Eine Verbesserung in diesen 3 Bereichen kann zu wesentlichen Emissionseinsparungen führen.

### 10.2.1 Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen: Szenario 1

Die gesamten Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen setzen sich aus den direkten und vorgelagerten Prozessen zusammen. Die direkten Emissionen entstehen durch die Verbrennung der Kraftstoffe. Der Anteil an Kohlenstoff im Kraftstoff bestimmt im hohen Maße die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Bei Biogas wird der Kohlenstoff als CO<sub>2</sub>-neutraler Bestandteil bewertet. Sämtliche anderen bei der Verbrennung entstehenden Treibhausgase, wie z. B. CH<sub>4</sub> oder N<sub>2</sub>O, sind zur Gänze als klimawirksame Gase in die Bilanz aufgenommen.

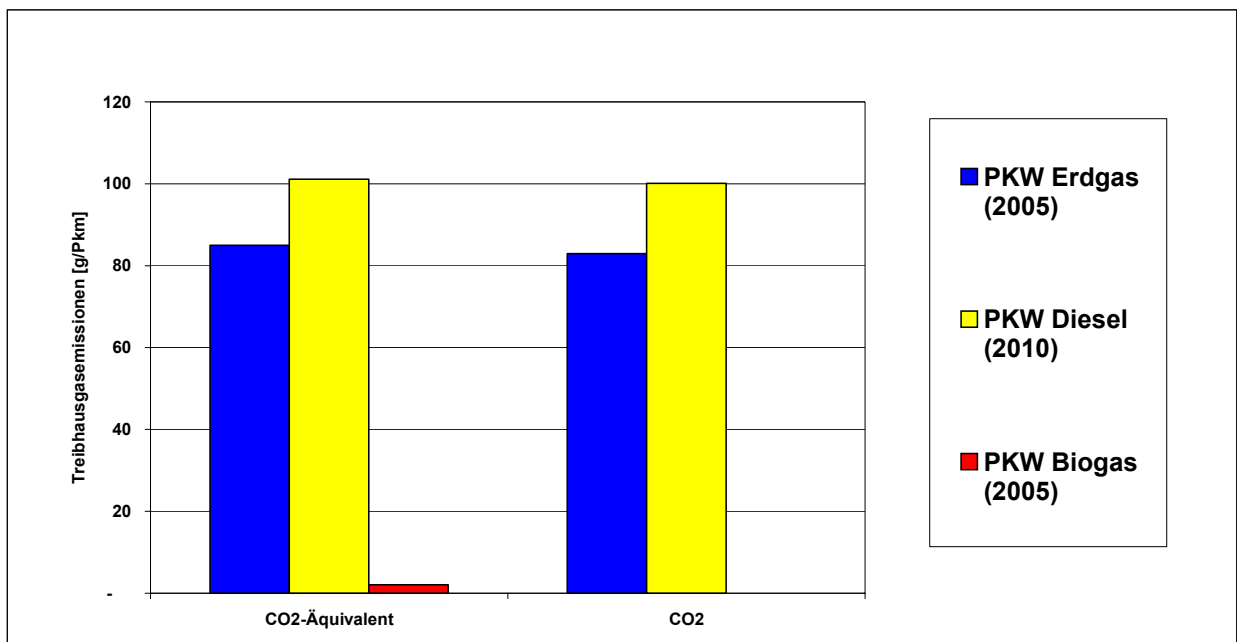


Abbildung 10: Direkte CO<sub>2</sub>-Äquivalent- und CO<sub>2</sub>-Emissionen der Kraftstoffe Erdgas im Jahr 2005, Diesel im Jahr 2010 und Biogas im Jahr 2005 in PKW in g/Pkm

Biogas muss für den Einsatz in Kraftfahrzeugen die Qualität und Reinheit von Erdgas aufweisen. Daher unterscheiden sich die direkten Luftschadstoffemissionen von Biogas und Erdgas nicht.



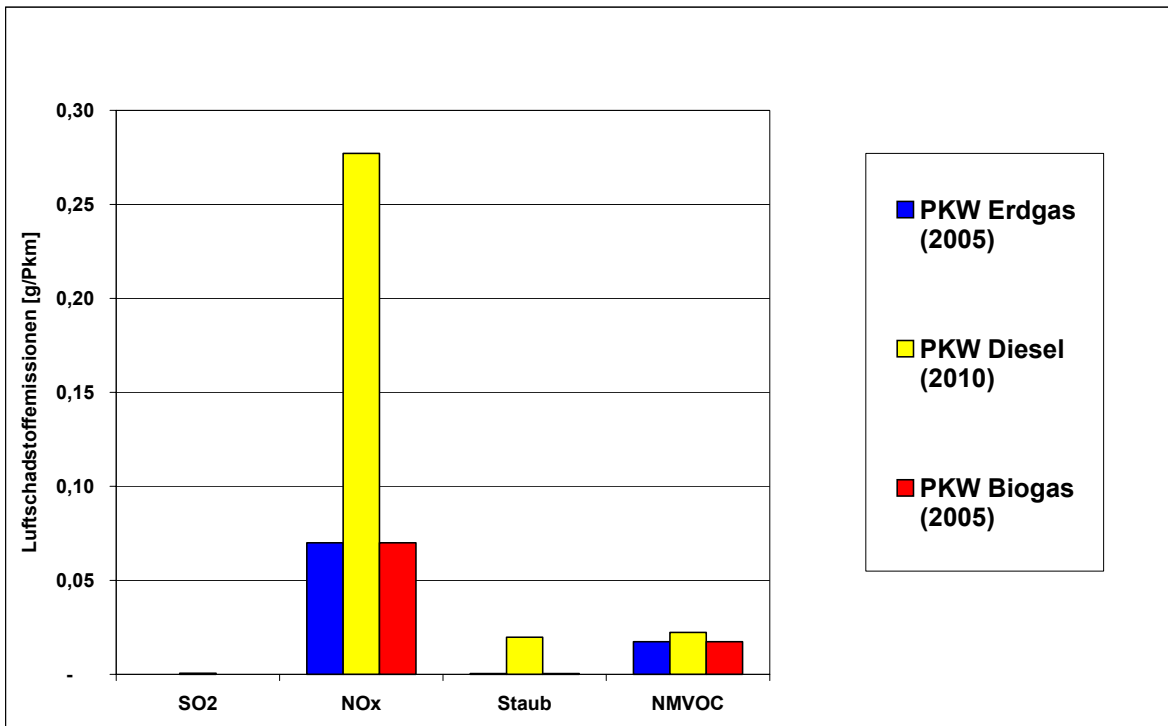


Abbildung 11: Direkte Luftschadstoffemissionen der Kraftstoffe Erdgas im Jahr 2005, Diesel im Jahr 2010 und Biogas im Jahr 2005 in PKW in g/Pkm

Im Szenario 1 betragen die gesamten CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen beim Kraftstoff Erdgas 116 g/Pkm. Rund 73 % entstehen direkt bei der Verbrennung. In den vorgelagerten Emissionen werden ebenfalls die Leitungsverluste von Erdgas berücksichtigt.

Die gesamten CO<sub>2</sub>-Äquivalentemissionen eines durchschnittlichen Diesel-PKW im Jahr 2010 betragen rund 118 g pro Personenkilometer (1,5 Personen pro Fahrzeug). Der überwiegende Teil der Gesamtemissionen entsteht während der Fahrt (85 %), rund 18 g/Pkm stammen aus den vorgelagerten Prozessen.

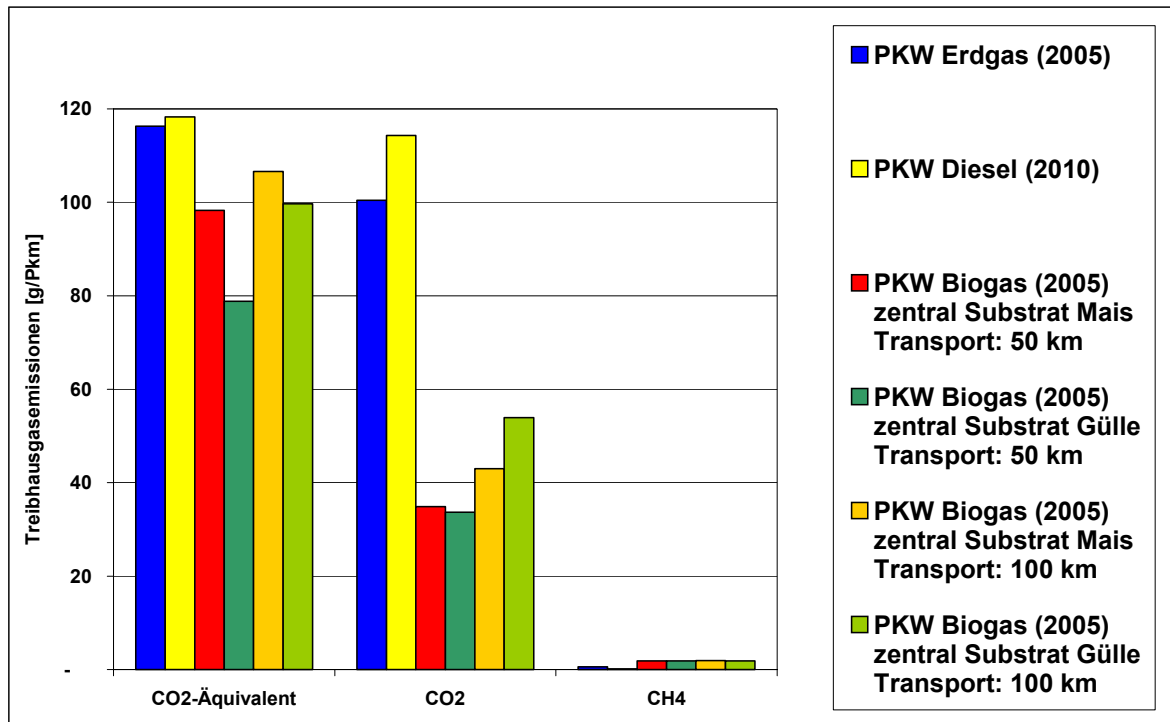


Abbildung 12: Gesamte Treibhausgasemissionen in g/Pkm für PKW mit den Kraftstoffen Erdgas (2005), Diesel (2010) und Biogas (2005) beim Szenario 1

Das Szenario 1 beschreibt, wie zuvor angeführt, die zentrale Biogasproduktion mit den Substraten Mais und Gülle. Die direkten Treibhausgasemissionen aus dem Kraftstoff Biogas nehmen mit rund 2,1 g/Pkm einen sehr geringen Anteil an den gesamten Treibhausgasemissionen ein. Der Anbau von Mais verursacht mit 32,1 g/Pkm rund 33 % der CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen. Der Transport von Mais mittels LKW bei einer Distanz von 50 km führt zu CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen von 9,5 g/Pkm. Der Transport von Gülle mittels LKW beeinflusst die Ökobilanz massiv, da Gülle eine geringe Energiedichte durch den hohen Wasseranteil aufweist. Unter Berücksichtigung einer Transportdistanz von 50 km verursacht der Transport der Gülle rund 21,5 g gesamte CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen pro Pkm

Der größte Anteil der gesamten Treibhausgasemissionen stammt bei beiden Substraten aus der Biogasreinigung. Hier wirkt sich der Energieeinsatz für die Aufbereitung des Biogases und für den Fermentationsprozess aus.

Die Methanabgasungen bei der Reinigung und Aufbereitung von Biogas haben starke Auswirkungen auf die gesamten CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen. Neue Reinigungstechnologien könnten die Methanverluste (derzeit ca. 5 %) erheblich verringern und eine wesentliche Reduktion der gesamten CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen bewirken.

Aus der obigen Abbildung ist klar ersichtlich, dass größere Transportdistanzen zu höheren Treibhausgasen führen. Daher nimmt man mit der Standortwahl einer zentralen Fermentationsanlage einen wesentlichen Einfluss auf die Ökobilanz. Der Transport von Gülle ist aus dieser Sichtweise nicht zu forcieren.

Der Einsatz von Biogas unter Berücksichtigung der Annahmen von Szenario 1 führt bei beiden Substraten zu einer deutlichen Reduktion der gesamten Treibhausgasemissionen im Vergleich zu Erdgas und Diesel.

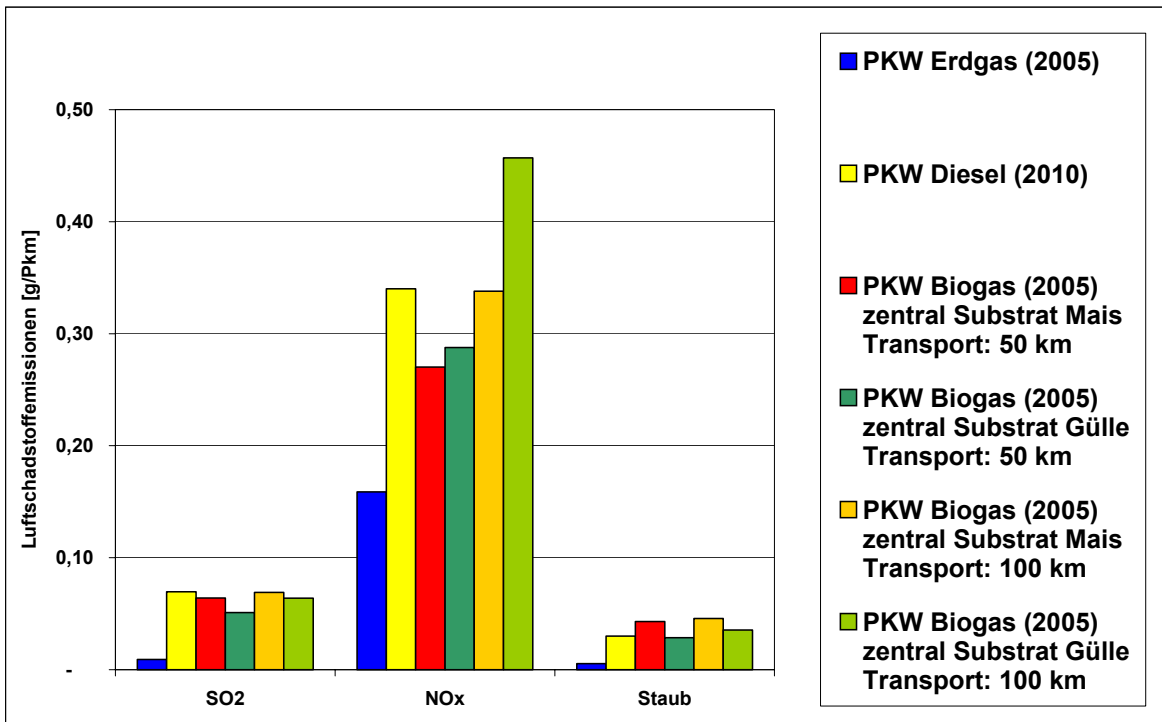


Abbildung 13: Gesamte Luftschadstoffe in g/Pkm für PKW mit den Kraftstoffen Erdgas (2005), Diesel (2010) und Biogas (2005) beim Szenario 1

In Abbildung 13 werden die Luftschadstoffemissionen der Referenztechnologien Erdgas und Diesel 2010 mit den Biogasproduktionsvarianten aus Szenario 1 verglichen. Die gesamten Luftschadstoffemissionen von SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, und Staub liegen deutlich über den Emissionen von Erdgasfahrzeugen.

Die NO<sub>x</sub>-Emissionen beim Kraftstoff Biogas entstehen vor allem beim Transport der Substrate. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen aus Biogas mit dem Substrat Mais bei einem Transport von 50 km setzen sich aus den direkten (0,070 g/Pkm) und vorgelagerten Emissionen (0,20 g/Pkm) zusammen.

Der Stromeinsatz für die Biogasproduktion wird mit der österreichischen Stromaufbringung 2002 (inklusive den Stromimporten) gedeckt. Die Staub-Emissionen beim Kraftstoff Biogas werden vor allem durch die Stromimporte verursacht. Die Düngemittelproduktion zeigt sich hauptverantwortlich für die höheren Staubemissionen beim Substrat Mais.

Die SO<sub>2</sub>-Emissionen beim Kraftstoff Biogas stammen zu einem Teil aus dem Heizenergieaufwand aus Biomasse für den Fermentationsvorgang, andererseits aus dem Stromeinsatz für den Biogasprozess.

## 10.2.2 Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen: Szenario 2

Grundlage für das Szenario 2 ist das vorangehende Szenario 1 (Zentrale Biogasanlage mit Biogastankstelle). Neben der zentralen Biogasproduktion mit den Substraten Mais und Gülle wird der Energieeinsatz für die Einspeisung in das Erdgasnetz betrachtet. Die Abgabe erfolgt über eine (beliebige) Erdgastankstelle in Österreich.

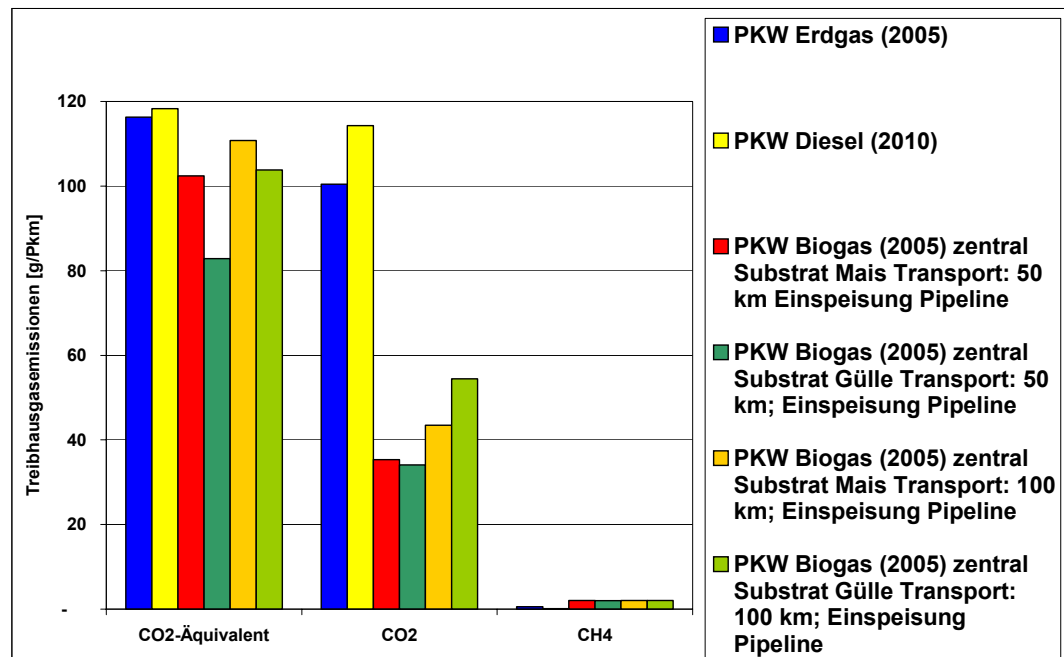


Abbildung 14: Gesamte Treibhausgasemissionen in g/Pkm für PKW mit den Kraftstoffen Erdgas (2005), Diesel (2010) und Biogas (2005) beim Szenario 2

Die Verdichtung und der Transport von Biogas im Erdgasnetz erhöhen die gesamten CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen um rund 4,2 g/Pkm.

Die gesamten CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen bei der Biogasproduktion aus dem Substrat Mais liegen selbst bei einem Transport von 100 km nicht über jenen der PKW-Diesel-Fahrzeuge.

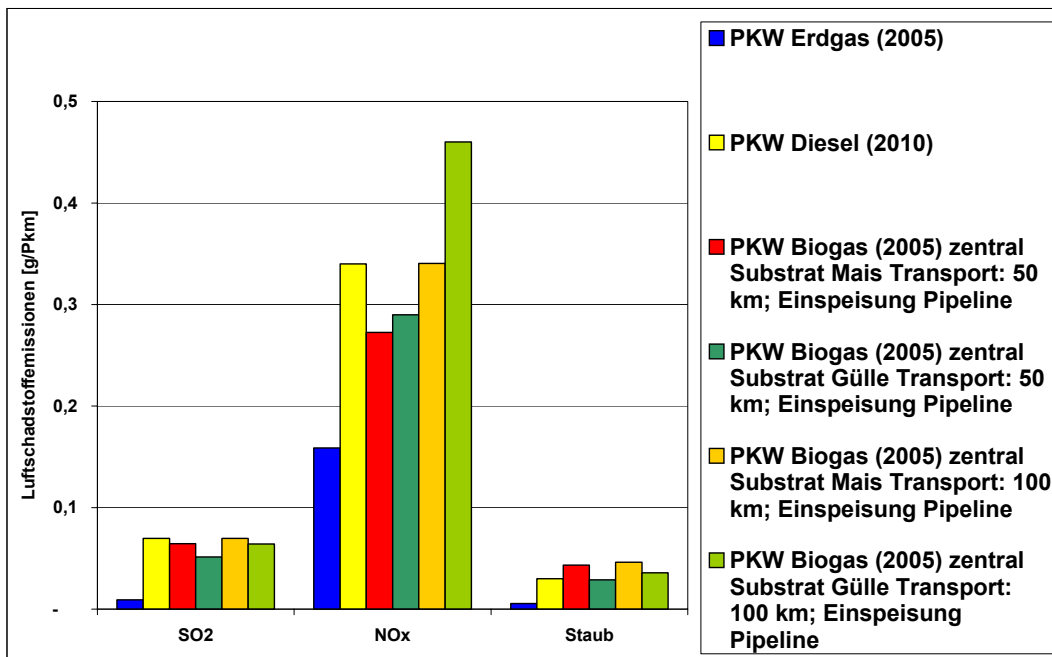


Abbildung 15: Gesamte Luftschadstoffe in g/Pkm für PKW mit den Kraftstoffen Erdgas (2005), Diesel (2010) und Biogas (2005) beim Szenario 2

Der Pipelinetransport von Biogas im Erdgasnetz hat sehr geringe Auswirkungen auf die gesamten Luftschadstoffemissionen, da die Gas-Kompressorstationen mit schadstoffarmen Gasturbinen betrieben werden.

### 10.2.3 Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen: Szenario 3

Das Szenario 3 betrachtet die dezentrale Biogaserzeugung. Fermenter mit einer Leistung von 300 kW dienen zur Biogaserzeugung. Die Biogasanlagen werden in unmittelbarer Nähe der Substrate Mais und Gülle errichtet. Die Biogasreinigung und Aufbereitung wird an den jeweiligen Biogasanlagen angeschlossen. Als Varianten werden die Abgabe über eine Tankstelle sowie die Einspeisung in das Erdgasnetz untersucht.

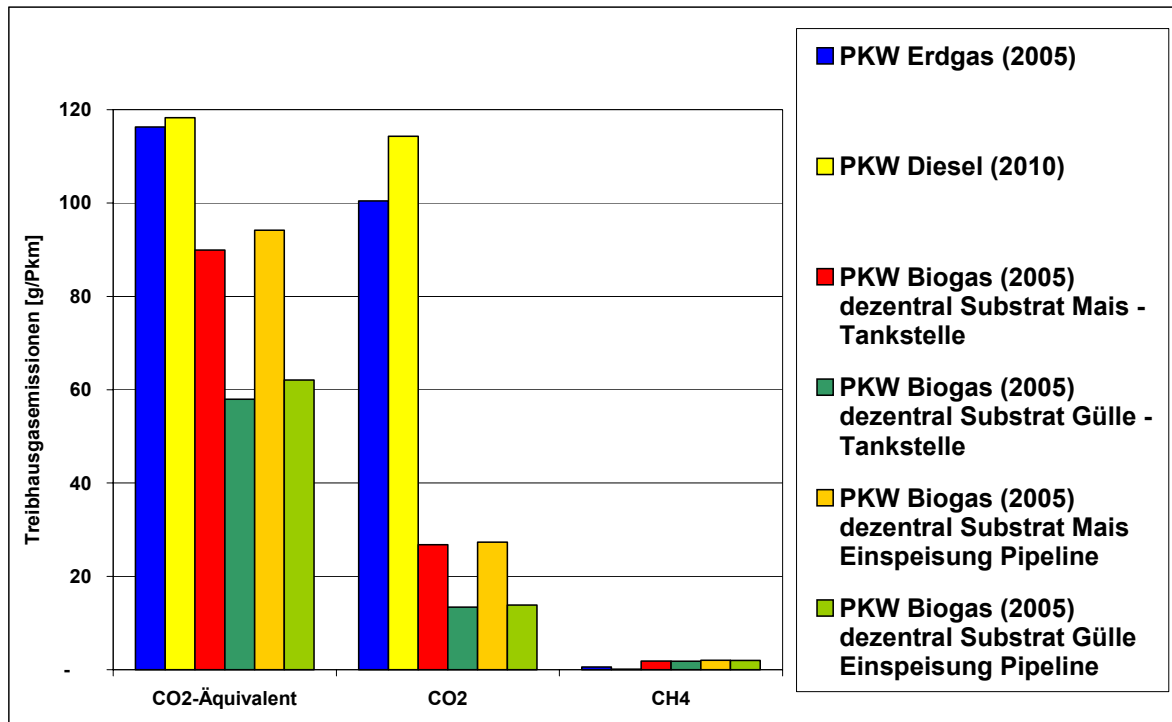


Abbildung 16: Gesamte Treibhausgasemissionen in g/Pkm für PKW mit den Kraftstoffen Erdgas (2005), Diesel (2010) und Biogas (2005) beim Szenario 3

Die dezentrale Biogasproduktion aus den Substraten Mais und Gülle führt im Vergleich zu den Referenzfahrzeugen mit den Kraftstoffen Erdgas (2005) und Diesel (Bezugsjahr 2010) zu deutlich geringeren CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen. Das Substrat Gülle wird wiederum als Reststoff betrachtet. Daher sind die gesamten CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen um rund 35 % niedriger als beim Substrat Mais. Der Anbau, die Ernte und die Silage von Mais verursachen 35,4 g CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen/Pkm.

Der Stromeinsatz beim Fermenter, die Biogasaufbereitung und Reinigung verursachen rund 12 g CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen/Pkm. Wie bereits erwähnt, wirken sich die Methanverluste von 5 % bei der Biogasaufbereitung und –reinigung massiv auf die Treibhausgasbilanz von Biogas aus. Die gesamten CH<sub>4</sub>-Emissionen aus Biogas mit dem Substrat Gülle betragen 2,04 g/Pkm. Das Treibhausgaspotential von Methan ist um den Faktor 23 höher als jenes von CO<sub>2</sub>. Daher bilden die CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der gesamten Prozesskette von Biogas mit den Substraten Mais und Gülle rund 47 g CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen/Pkm. Über 95 % der CH<sub>4</sub>-Emissionen stammen aus den Verlusten bei der Biogasaufbereitung und –reinigung.

Wie schon im Szenario 2 angeführt, bedeutet die Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz keine signifikante Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen.

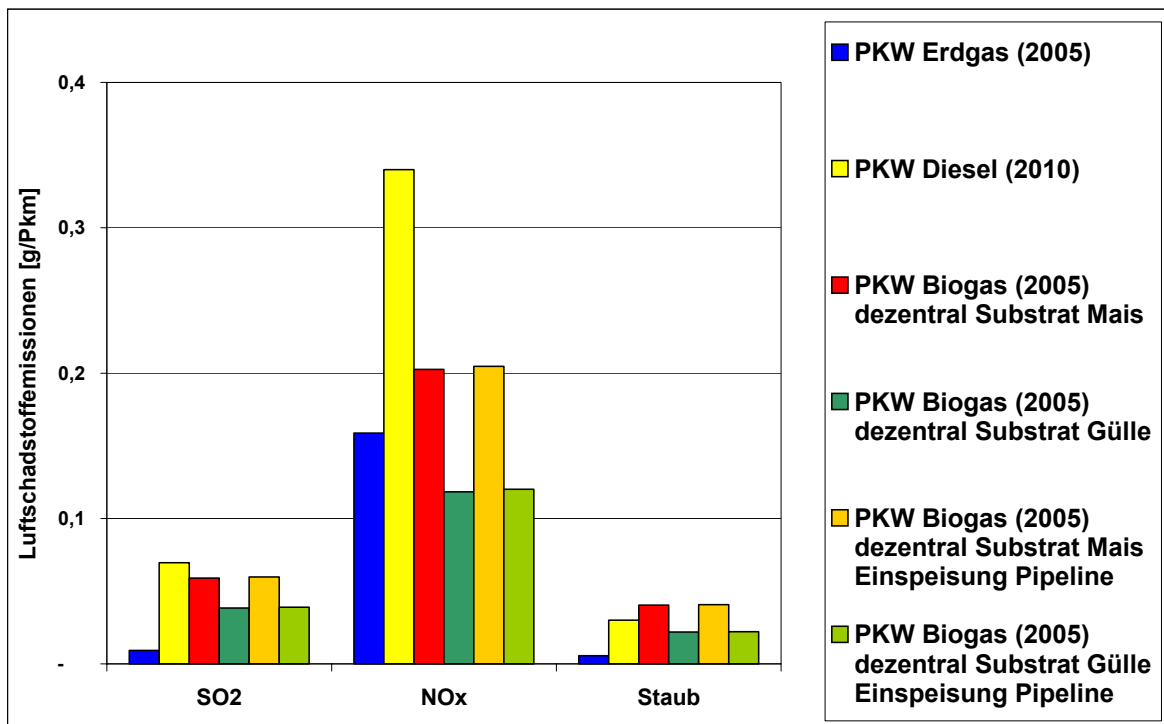


Abbildung 17: Gesamte Luftschadstoffe in g/Pkm für PKW mit den Kraftstoffen Erdgas(2005), Diesel (2010) und Biogas (2005) beim Szenario 3

Die gesamten Luftschadstoffe der Referenzfahrzeuge mit den Kraftstoffen Erdgas und Diesel (2010) sowie die Biogasvarianten werden in der obigen Abbildung angeführt. Die SO<sub>2</sub>-Emissionen bei den Substraten Mais und Gülle stammen größtenteils aus den Stromeinsätzen für Fermenterprozess und Biogasaufbereitung sowie der Heizenergie aus Biomasse. Die Herstellung der Düngemittel führt beim Substrat Mais zu höheren SO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zu Biogas aus dem Substrat Gülle.

Wie auch schon in den anderen Szenarien führt die dezentrale Biogasproduktion im Vergleich zu Diesel zu einer Reduktion der gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen. Beim Substrat Gülle entsteht der überwiegende Teil der NO<sub>x</sub>-Emissionen bei der Verbrennung des Treibstoffes (56 %). Der Heizenergieaufwand aus Biomasse (rund 20 %) und bei der Stromproduktion (rund 15 %) sind weitere NO<sub>x</sub>-Emissionsquellen. Die höheren NO<sub>x</sub>-Emissionen bei Biogas aus dem Substrat Mais im Vergleich zum Substrat Gülle stammen aus den Dieselmotoren für den Anbau, Ernte und Silage.

Der Heizenergieaufwand bzw. der Anbau, Ernte und Silage von Mais verursachen den Großteil der Staubemissionen aus der Biogasproduktion.

#### 10.2.4 Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen: Szenario 4

Im Szenario 4 „Idealszenario“ werden der technischen Weiterentwicklungen von Erdgasfahrzeugen und Biogasaufbereitung Rechnung getragen. Weiters wird durch Abwärmenutzung eine zusätzliche Wärmebereitstellung für den Biogasprozess obsolet. Die Auswirkungen der Annahmen im Szenario 4 werden sowohl bei der zentralen als auch bei der dezentralen Biogaserzeugung untersucht.

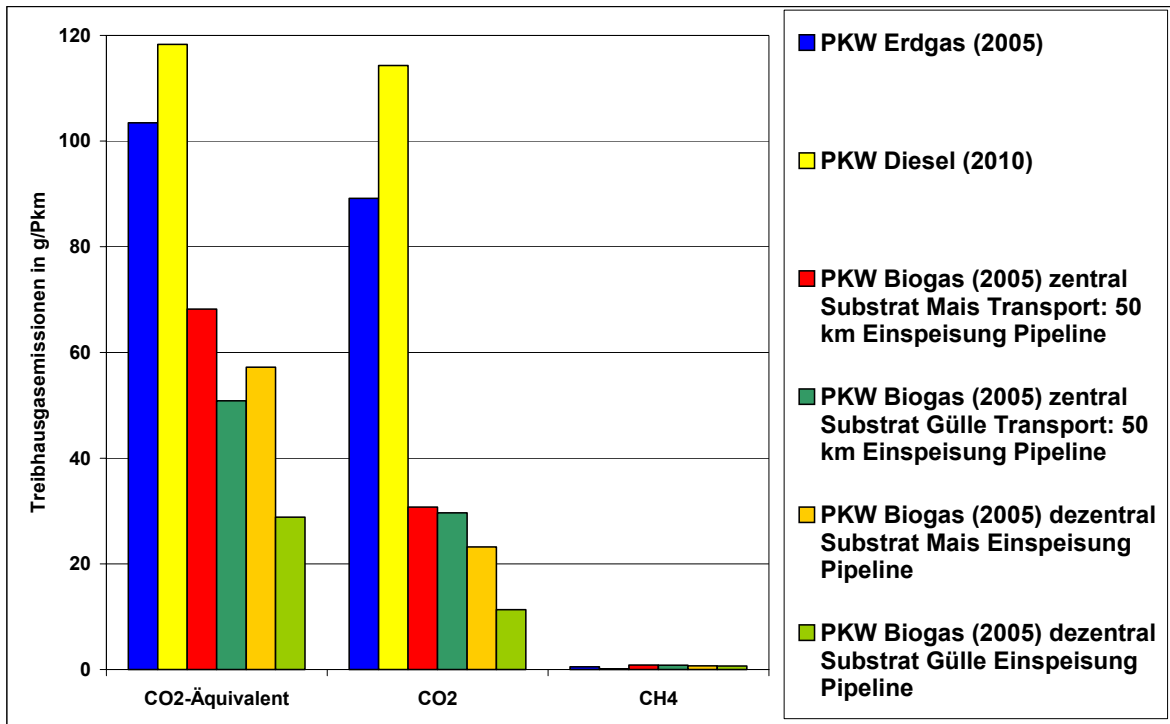


Abbildung 18: Gesamte Treibhausgasemissionen in g/Pkm für PKW mit den Kraftstoffen Erdgas (2005), Diesel (2010) und Biogas (2005) beim Szenario 4

Im Szenario 4 werden zentrale (Transportdistanz 50 km) und dezentrale Biogasanlagen unter idealen Bedingungen untersucht.

In Abbildung 18 sind die gesamten Treibhausgasemissionen in g/Pkm ersichtlich. Das Idealszenario bringt eine deutliche Reduktion der CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen im Vergleich zu einem erdgasbetriebenen bzw. dieselbetriebenen Fahrzeug. Eine verbesserte Biogas-Reinigungstechnologie bringt deutliche Reduktionen der CH<sub>4</sub>-Emissionen.



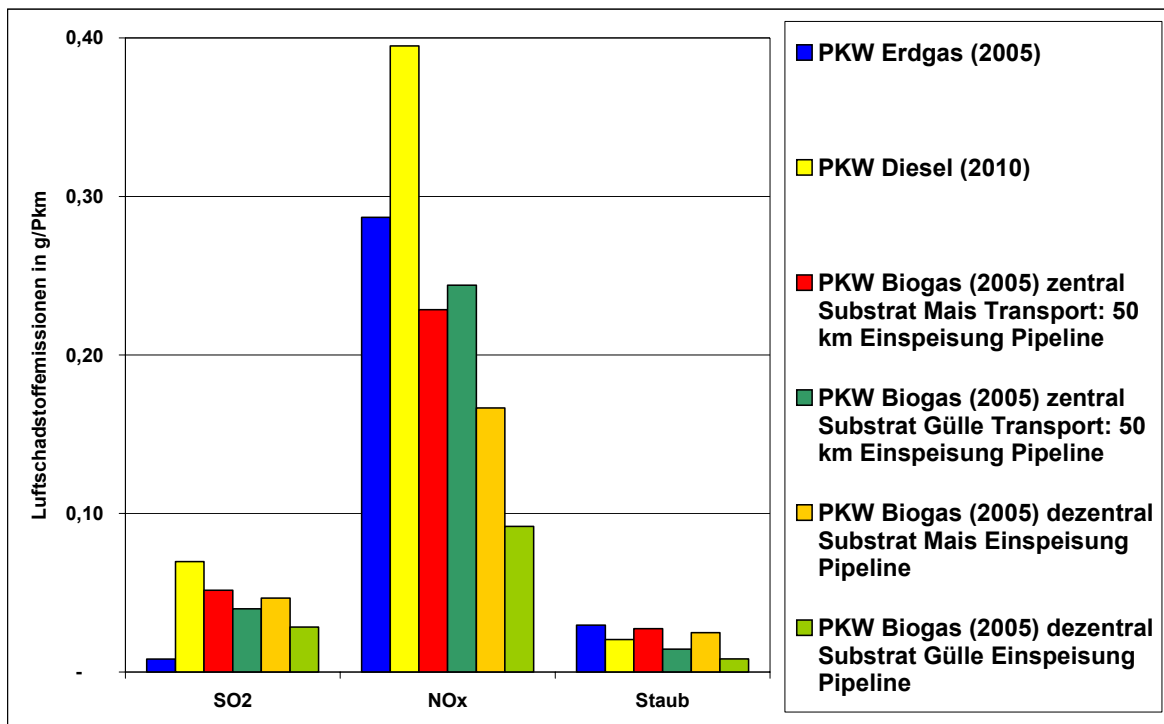


Abbildung 19: Gesamte Luftschadstoffe in g/Pkm für PKW mit den Kraftstoffen Erdgas(2005), Diesel (2010) und Biogas (2005) beim Szenario 4

Die Abbildung 19 zeigt die gesamten Luftschadstoffe unter den Annahmen des Szenarios 4. Die gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen im Szenario 4 weisen einen Rückgang bei zentralen Biogasanlagen im Vergleich zum Szenario 2 bei beiden Substraten von rund 15 % aus. Bei dezentralen Biogasanlagen sind die Reduktionsmöglichkeiten bis zu 23 %. Der Schadstoff SO<sub>2</sub> bei sämtlichen Technologien des Szenarios 4 liegt auf Grund der verbesserten Rahmenbedingungen unter jenen von Dieselfahrzeugen. Die Annahmen des Idealszenarios beeinflusst die gesamten Staubemissionen der zentralen und dezentralen Biogasanlagen massiv.

## 11 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der Einsatz von Biogas im Verkehrssektor bietet eine gute Möglichkeit, die Emissionen aus dem Verkehrssektor zu senken und einen Teil zur Erfüllung der Biokraftstoffrichtlinie beizutragen. Das Potential an einzusetzenden Substraten ist vorhanden, auch die technischen Möglichkeiten sowohl der Biogasproduktion als auch der Fahrzeughersteller sind gegeben was auch durch Beispiele aus verschiedenen europäischen Staaten belegt ist.

In Österreich besteht ein großes Potential für die Erzeugung von Biogas. Vor allem in Hinblick auf die Erfüllung der Vorgaben der Biokraftstoffrichtlinie kann Biogas in Österreich eine maßgebliche Rolle spielen. Ein wesentlicher Vorteil von Biogas ist, dass eine Anbaufläche von 1 ha Mais rund 40.000 kWh liefert. Im Gegensatz dazu kann aus einem Hektar Raps Biodiesel mit einem Energieinhalt von 9.940 kWh [BLT 1999] erzeugt werden.

*Tabelle 16: Technisches Potential für die Biogaserzeugung*

	Biogaserzeugung	Methan pro Tonne Substrat
Nutztierhaltung	670 Mio. m <sup>3</sup>	180 – 200 m <sup>3</sup>
Energiepflanzen	1.800 Mio. m <sup>3</sup>	350 – 400 m <sup>3</sup>

Für den Einsatz des Kraftstoffes Biogas ist jedoch sowohl die Forcierung von Erdgasfahrzeugen als auch die Schaffung der notwendigen Infrastruktur erforderlich. Auch eine größere Durchdringung von Erdgasfahrzeugen auf dem österreichischen Markt ist eine Grundvoraussetzung. Als Einstiegsmöglichkeit bieten sich vereinzelt Flotten an, die speziell auf diesen Kraftstoff umgerüstet werden.

In dieser Studie wurde versucht, das Potential von Biogas als Kraftstoff im Verkehrssektor zu ermitteln. Mit Hilfe eines Computermodells namens GEMIS Österreich wurden Ökobilanzen erstellt, um die Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen zu berechnen. Es wurden sowohl die direkten Emissionen des Fahrzeuges als auch die so genannten vorgelagerten Prozesse berücksichtigt.

Die Studie kommt zum Erkenntnis, dass der Einsatz von Biogas als Kraftstoff nicht nur zu einer Reduktion von Treibhausgasen führt sondern auch der Ausstoß von Luftschadstoffen kann verringert werden. Dies ist insofern beachtlich, als bei Bio-/Erdgasfahrzeugen der derzeitige technologische Standard unterstellt wurde, während bei Dieselfahrzeugen die technologische Weiterentwicklung bis 2010 berücksichtigt ist.

Wie Abbildung 20 zeigt, bietet Biogas, je nach Szenario, ein Einsparungspotential der Treibhausgasemissionen von 20 % bis maximal 53 % im Vergleich zu einem durchschnittlichen Dieselfahrzeug aus dem Jahr 2004.

Aus der Darstellung sind die Anteile der direkten und vorgelagerten (schraffiert) Emissionen an den gesamten Treibhausgasemissionen ersichtlich.

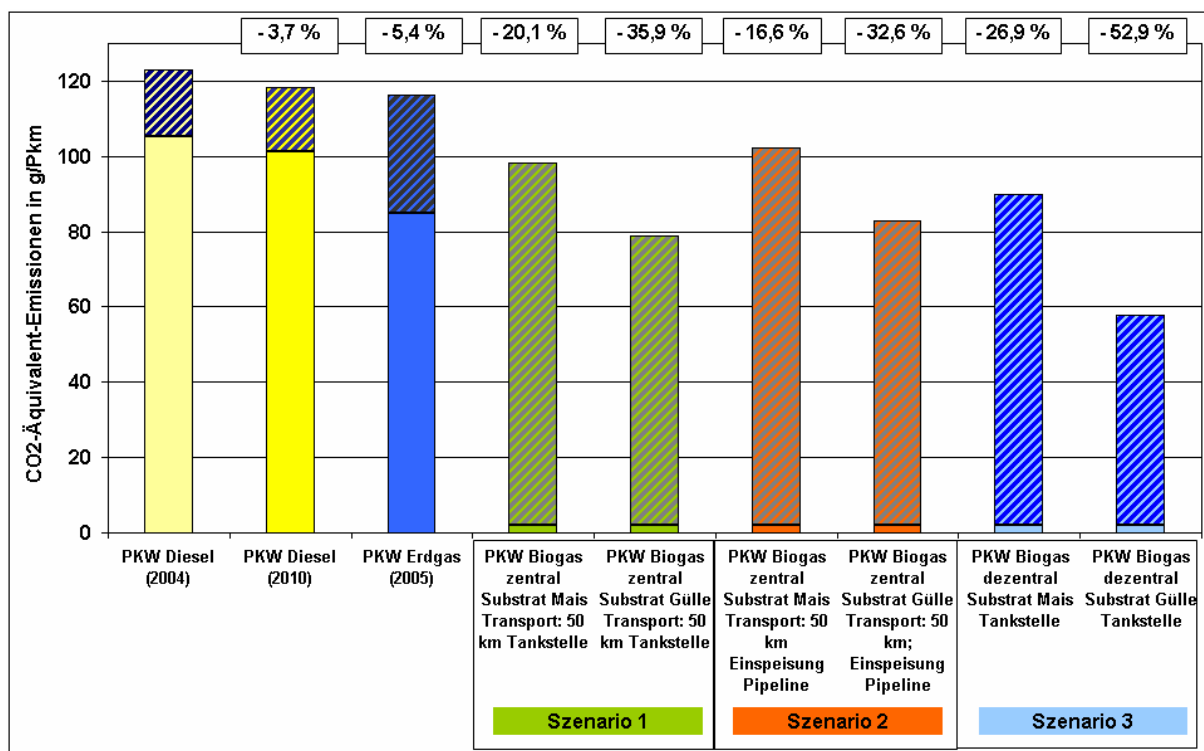


Abbildung 20: Darstellung der Reduktionspotentiale der gesamten Treibhausgasemissionen von den Referenztechnologien Diesel (2010) und Erdgas (2005) sowie den Biogas-Szenarien im Vergleich zu einem durchschnittlichen PKW-Diesel im Jahr 2004

Die gesamten Emissionen (vorgelagerte und direkte) betrachtend haben Biogasfahrzeuge im Vergleich zu Dieselfahrzeugen im Referenzjahr 2004 bei sämtlichen Schadstoffen bessere Bilanzen. Die hohen vorgelagerten Emissionen von Biogas aus Energiepflanzen entstehen während des Anbaus und der Verarbeitung der Rohstoffe.. Auch der Antransport der Substrate zu zentralen Anlagen mit Diesel LKW gilt als entscheidende vorgelagerten Emissionsquelle. Einen wesentlichen Beitrag zu den Gesamtemissionen leistet auch die Vor-Ort-Verbrennung bei den Biogasanlagen zur Wärmeerzeugung.

Am besten schneidet das Szenario von dezentralen Biogasanlagen mit dem Substrat Gülle ab, da hier vorgelagerte Prozessemissionen aus Transport sowie des gesamten landwirtschaftlichen Anbaus entfallen.

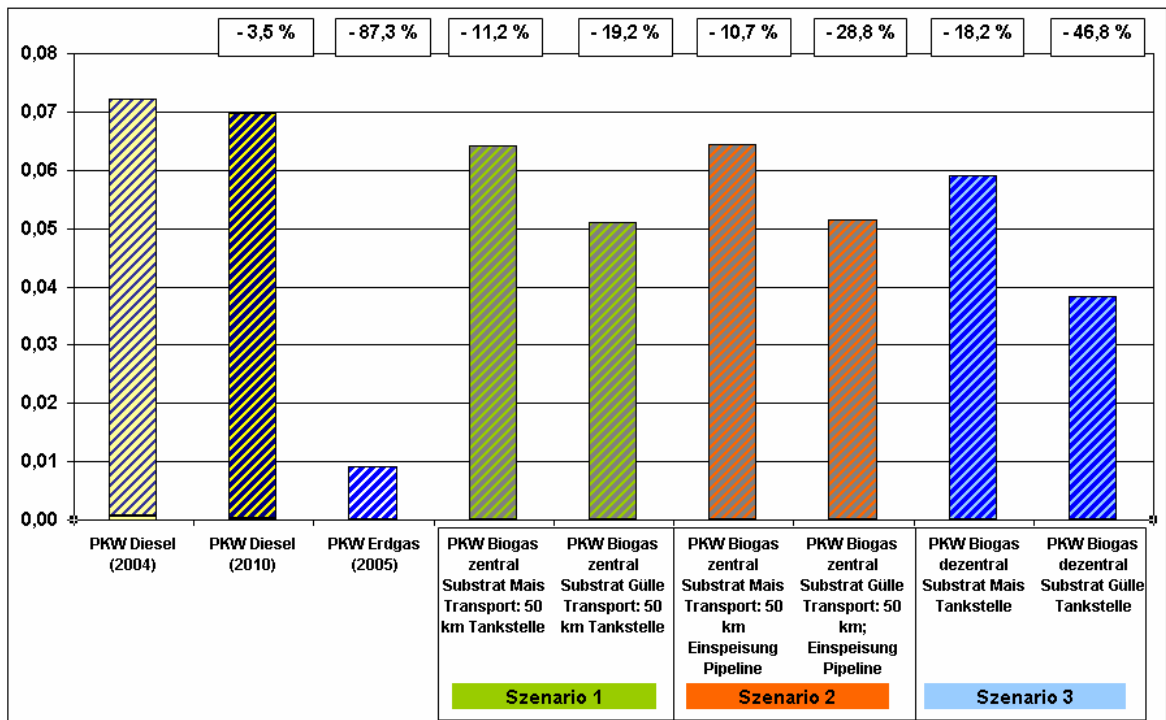


Abbildung 21: Darstellung der Reduktionspotentiale der gesamten SO<sub>2</sub>-Emissionen von den Referenztechnologien Diesel (2010) und Erdgas (2005) sowie den Biogas-Szenarien im Vergleich zu einem durchschnittlichen PKW-Diesel im Jahr 2004

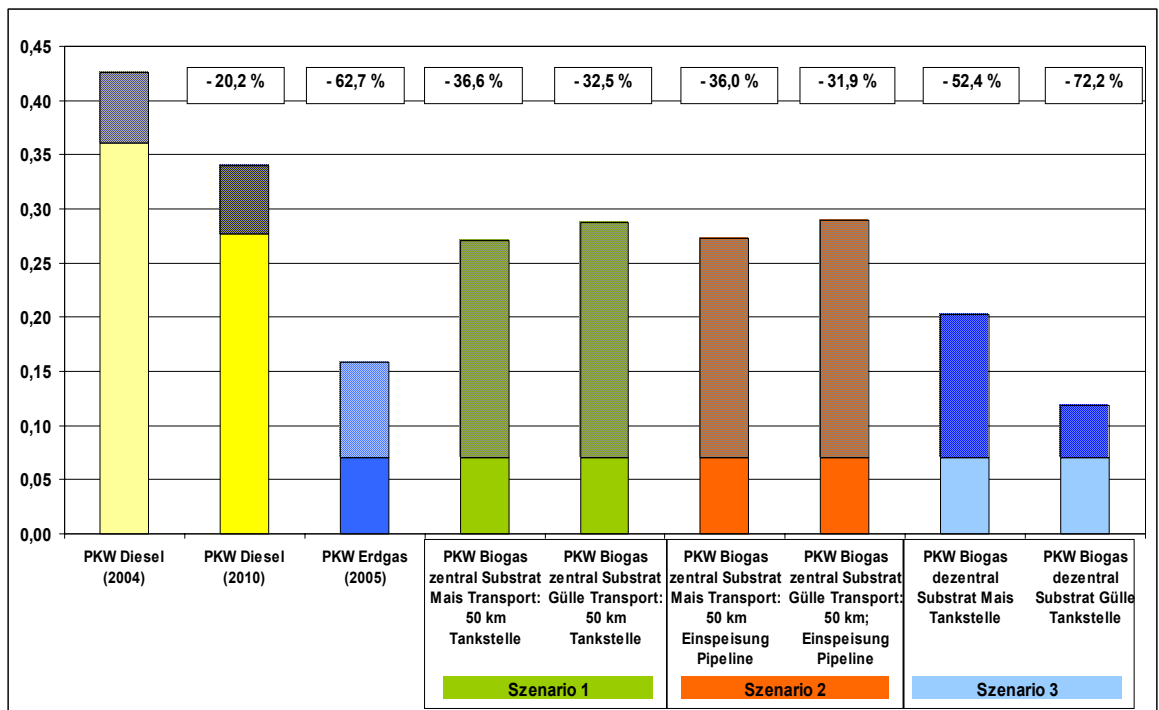


Abbildung 22: Darstellung der Reduktionspotentiale der gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen von den Referenztechnologien Diesel (2010) und Erdgas (2005) sowie den Biogas-Szenarien im Vergleich zu einem durchschnittlichen PKW-Diesel im Jahr 2004

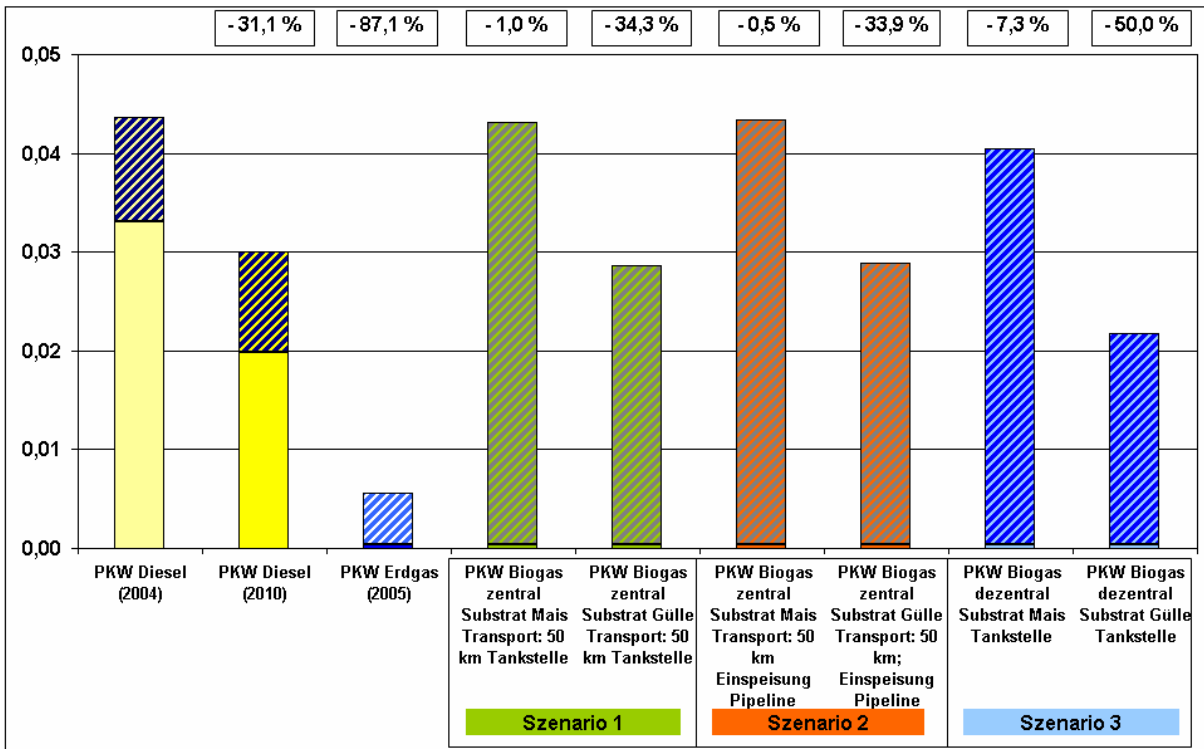


Abbildung 23: Darstellung der Entwicklung der gesamten Staub-Emissionen von den Referenztechnologien Diesel (2010) und Erdgas (2005) sowie den Biogas-Szenarien im Vergleich zu einem durchschnittlichen PKW-Diesel im Jahr 2004

In den folgenden Abbildungen wird ein „Best Case“ Szenario dargestellt. Darin wird die für die Fermentation benötigte Wärme durch ein angeschlossenes Blockheizkraftwerk bereitgestellt. Dadurch verringern sich die vor allem die SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> Emissionen beträchtlich. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass die Methanverluste während der Produktion und Aufbereitung auf 2 % gesenkt werden, was enorme Auswirkungen auf die Treibhausgasbilanz hat. Methan hat ein um 23 Mal höheres Treibhauspotential als Kohlendioxid. Als dritter Punkt wird eine Verbesserung der Erdgas-Fahrzeugtechnologie mit einer Reduktion des Verbrauchs von 6,2 kg/100 km auf 5,5 kg Erdgas/Biogas pro 100 km angenommen.

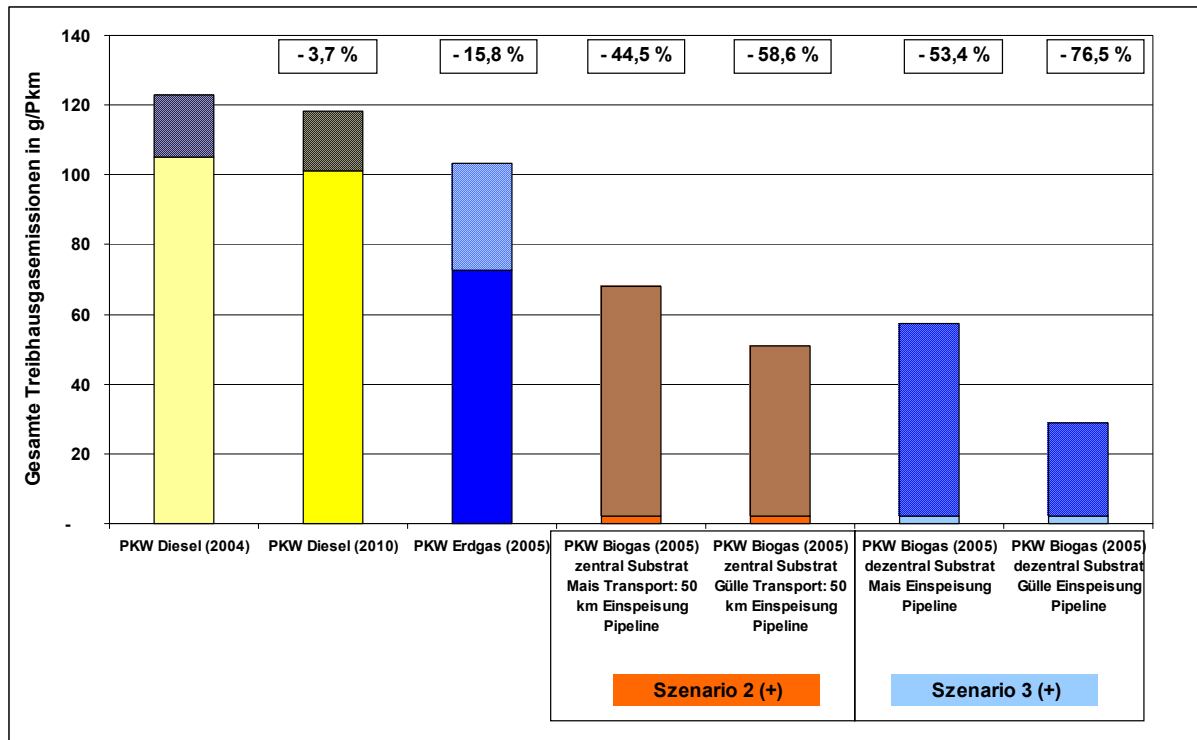


Abbildung 24: Idealszenario: Gesamte CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen in g/Pkm für die Referenztechnologien PKW Diesel und Erdgas und 2 ausgewählten Szenarien unter „idealen“ Prozessbedingungen

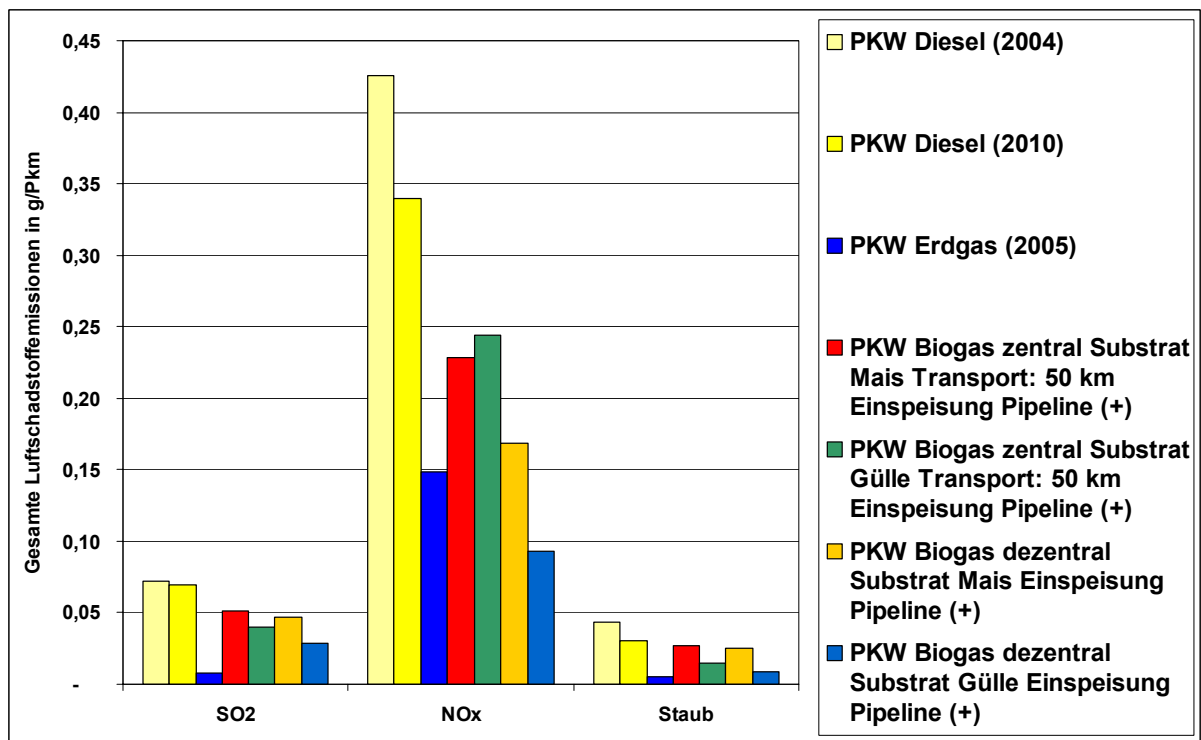


Abbildung 25: Idealszenario: Gesamte Luftschadstoffemissionen in g/Pkm für die Referenztechnologien PKW Diesel und Erdgas und 2 ausgewählten Szenarien unter „idealen“ Prozessbedingungen



Vergleicht man die Ergebnisse des Ideal-Szenarios mit den Emissionen durchschnittlichen Dieselfahrzeug aus dem Jahr 2004 sind Reduktionen in fast allen Schadstoffen sichtbar. Die betrifft vor allem die Treibhausgasemission sowie die Luftschadstoffe  $\text{NO}_x$  und Staub.

Abschließend kann festgehalten werden, dass Biogas aufgrund des hohen Mengenpotentials einen entscheidenden Beitrag zur Erfüllung der Biokraftstoffrichtlinie beitragen kann. Darüber hinaus lässt sich eine enorme Reduktion der gesamten Treibhausgasemissionen erreichen.

Gerade bei den kritischen Luftschadstoffen  $\text{NO}_x$  und Partikeln bietet Biogas als Kraftstoff gegenüber Dieselfahrzeugen ein hohes Potential (je nach Szenario auch inklusive vorgelagerter Prozessemissionen) zur Reduktion der Gesamtemissionen.

Vorraussetzung für eine Markteinführung von Biogas in den Verkehrssektor ist allerdings die Schaffung einer Erdgasinfrastruktur, bestehend aus einem ausreichenden Erdgastankstellennetz sowie eine Verfügbarkeit von Erdgasfahrzeugen. Dafür müssen geeignete politische und gesetzliche Rahmenbedingungen geschaffen werden. Dazu zählt neben geregelten Einspeisebedingungen in das Erdgasnetz auch eine mittelfristige steuerliche Sicherheit.

## 12 LITERATUR

### AMON 1997

Amon T., „Reduktionspotentiale für klimarelevante Spurengase durch dezentrale Biomethanisierung in der Landwirtschaft“, BOKU Wien, 1997

### AMON 2001

Amon T., etal., „Neue Entwicklung der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung und wirtschaftliche Rahmenbedingungen“, Gumpensteiner Bautagung 2001

### AMON 2003

Amon, T., etal., „Genehmigungserfordernisse für Biogasanlagen“, Gumpensteiner Bautagung 2003

### Biokraftstoffrichtlinie (2003/30/EG)

Richtlinie 2003/30/EG zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor

### BLT 1999

OEKOBILANZ BIODIESEL, Manfred Wörgetter, Marion Lechner, Josef Rathbauer, Eine Studie der Bundesanstalt für Landtechnik im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, März 1999

### BRAUN 2004

Braun R., „Stand der Technik der Biogasproduktion“, IFA Tulln, 2004

### DRAKE F.

Kumulierte Treibhausgasemissionen zukünftiger Energiesysteme, S 7 – 28, Springer Verlag, Hannover 1996

### Erdgasabgabegesetz (BGBl. Nr. 201/1996)

Bundesgesetz, mit dem eine Abgabe auf die Lieferung und den Verbrauch von Erdgas eingeführt wird (BgBl. Nr. 201/1996)

### Gaswirtschaftsgesetz (BGBl. I Nr. 121/2000)

Bundesgesetz, mit dem Neuregelungen auf dem Gebiet der Erdgaswirtschaft erlassen werden (BGBl. I Nr. 121/2000)

### GEMIS 4.2 2004

Daten aus: Gesamt Emissionsmodell Integrierter Systeme (GEMIS), [www.oeko.de/service/gemis](http://www.oeko.de/service/gemis), 2004

### GEMIS-Österreich 4.2 2004

Österreich spezifische Daten aus: Gesamt Emissionsmodell Integrierter Systeme (GEMIS), [www.umweltbundesamt.at/gemis](http://www.umweltbundesamt.at/gemis), 2004

### GRASMUG 2002

Grasmug M., Braun R., „Vergärung biogener Abfälle aus Wien – Vergärbarkeit und Verwertbarkeit von Speiseresten und Marktabfällen“, IFA Tulln, 2002





## HAAS 2001

Haas, R., Berger M., Kranzl, L., „Strategien zur Forcierung erneuerbarer Energieträger in Österreich unter Berücksichtigung des EU-Weißbuches für erneuerbare Energien und der Campaign für Take-off“, TU Wien, 2001

## HBEFA 2004

Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, UBA Berlin, BUWAL, Umweltbundesamt, 2004

## Hygieneverordnung (2002/1774/EG)

Hygieneverordnung 2002/1774/EG mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte

## IFEU 2002

Institut für Energie- und Umweltforschung: TREMOD Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland 1980-2020; W. Knörr, U. Höpfner, U. Lambrecht, H.J. Nagel, A. Patyk, laufende Arbeiten, Heidelberg, 2002

## JÖNSSON 2002

Jönsson O., et.al., „Biogas Feeding to the Natural Gas Grid and digestate use in the Swedish Biogas Plant of Laholm“, 2002

## Kraftstoffverordnung (BGBl. II Nr. 418/1999)

Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über die Qualität von Kraftstoffen (BGBl. II Nr. 418/1999)

## KTBL 2002

KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft): Betriebsplanung Landwirtschaft 2002/2003. Datensammlung. 18. Aufl., Darmstadt, 2002

## Mineralölsteuergesetz 1995 (BGBl. Nr. 630/1994)

Bundesgesetz, mit dem die Mineralölsteuer an das Gemeinschaftsrecht angepasst wird (BGBl. Nr. 630/1994)

## OLI 2004

Österreichische Luftschadstoffinventur, Umweltbundesamt 2004

## Ökostromgesetz 2002 (BGBl. I Nr. 149/2002)

Bundesgesetz, mit dem Neuregelungen auf dem Gebiet der Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren Energieträgern und auf dem Gebiet der Kraft-Wärme-Kopplung erlassen werden (BGBl. I Nr. 149/2002)

## ÖVGW 2001

Richtlinie G31 „Erdgas in Österreich“ der Österreichischen Vereinigung für das Gas- und Wasserfach, 2001

## Richtlinie 2001/77/EG

Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt



SCHATTNER 2000

Schattner, S., „Einsatz von Abfällen zur Cofermentation“, Bayrisches Institut für Landtechnik, 2000

SCHULTE 2003

Schulte-Schulze Berndt, A., „Gasaufbereitung mittels Druckwechseladsorption“, Proceedings zum Workshop „Aufbereitung von Biogas“, 2003

SCHULTZ 2003

Schultz, W., Hille, M., und Tentscher, W. „Untersuchung zur Aufbereitung von Biogas zur Erweiterung zur Nutzungsmöglichkeiten“, 2003

STATISTIK AUSTRIA

<http://www.statistik.gv.at>

TRETTNER 2003

Tretter, H. „Neue Optionen für die Nutzung von Biogas – eine technoökonomische Analyse der Aufbereitung von Biogas zur Einspeisung ins Österreichische Erdgasversorgungsnetz“, Diplomarbeit TU – Wien, 2003

ULZ 2003

Ulz, G. Bauherrenmappe Biogas, LandesEnergieVerein Steiermark, 2003

VDI 1997

VDI – Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Bericht 1328 „Ganzheitliche Bilanzierung von Energiesystemen“ S. 13 – 15, VDI-Verlag, 1997