

5 Technische Nutzung von Biogas

Matthias Plöchl

5.1 Chemische und physikalische Eigenschaften

Biogas besteht überwiegend aus Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2), wobei der Methangehalt zwischen 50 % und 70 % schwankt. Neben diesen beiden Hauptkomponenten kann Biogas in wechselnden Anteilen Wasser (H_2O), Stickstoff (N_2), Sauerstoff (O_2), Wasserstoff (H_2), Ammoniak (NH_3) und Schwefelwasserstoff (H_2S) enthalten. **Tab. 5.1** gibt einen Überblick über die ungefähren Anteile dieser Komponenten. Die tatsächlichen Konzentrationen dieser Stoffe, sowie von Methan und Kohlendioxid, sind sowohl von den eingesetzten Substraten als auch von der Prozessführung abhängig (vgl. Kap. 3). Der H_2S -Gehalt sorgt dafür, dass nicht-entschwefeltes Biogas leicht nach faulen Eiern riecht. VORSICHT! Entschwefeltes Biogas ist nahezu geruchsfrei!

Der Heizwert des Biogases ergibt sich aus dem Methangehalt. So hat Biogas mit einem Methananteil von 50 % einen Heizwert von $5 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$, bei 75 % Methan liegt dieser bei $7,5 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$.

Biogas hat aufgrund seines CO_2 -Anteils eine höhere Dichte als Erdgas (Bei 60 % Methan und 40 % Kohlendioxid $1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ gegenüber $0,7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), ist aber immer noch leichter als Luft (0,9 : 1). Die Zündtemperatur liegt bei etwa 700°C und ist somit um 50°C höher als die von Erdgas. Auffällig ist die geringe Verbrennungsgeschwindigkeit. Diese sinkt mit steigendem CO_2 -Anteil. Die geringere Verbrennungsgeschwindigkeit hat Auswirkungen auf den Wirkungsgrad in Verbrennungsmotoren. So sinkt dieser von 40 % bei 25 % CO_2 -Gehalt auf 36,5 % bei einem 50 % Anteil des CO_2 (Institut für Energie- und Umwelttechnik der Universität Rostock, In: FNR, 2001).

5.2 Aufbereitung

In **Abb. 5.1** sind die geläufigen Nutzungsmöglichkeiten von Biogas und die notwendigen Aufbereitungsschritte dargestellt, wobei derzeit mehr als 90 % des Biogases in Blockheizkraftwerken (BHKWs) zu Strom und Wärme gewandelt werden. Die unterschiedlichen Nutzungsvarianten setzen unterschiedlich aufwändige Vorbehandlungen und Aufarbeitungen des Biogases voraus.

Die Mindestaufarbeitung von Biogas besteht in der Trocknung und Entschwefelung. Zur Trocknung

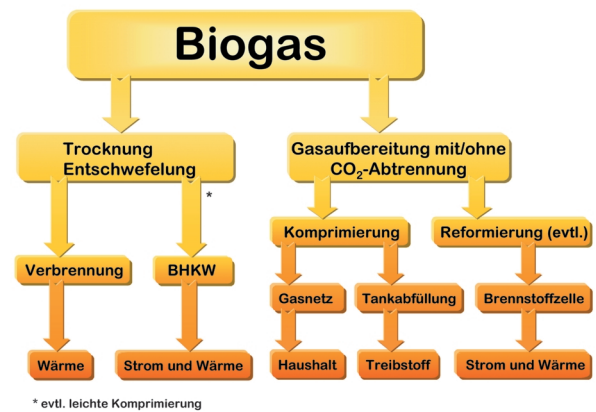


Abb. 5.1: Schema der Nutzungsvarianten und Aufbereitungsschritte von Biogas

wird das Gas möglichst stark abgekühlt und das kondensierende Wasser in Kondensatfallen aufgefangen. Je geringer die Gastemperatur, die erreicht werden kann, desto höher ist der Trocknungseffekt. H_2S würde bei der Verbrennung zu Schwefeldioxid oxidiert, welches zur Korrosion der Motoren und anderer Metallteile, die mit den Verbrennungsgasen in Berührung kommen, führt. Für die Entschwefelung stehen drei Verfahren zur Verfügung (Weiland, in: FNR, 2001):

1. Biologische Entschwefelung durch Schwefel oxidierende Mikroorganismen: Hierzu wird entweder 3 % - 5 % Luft in den Gasraum geblasen, wobei *Thiobacilli* den Schwefelwasserstoff zu Schwefel reduzieren, welcher an der Gasraumwand abgeschieden wird, oder das Biogas wird über ein Festbett mit schwefeloxidierenden Mikroorganismen geleitet, wobei sich das aufoxidierte Schwefeloxid in einer Flüssigphase löst.
2. Absorptionsentschwefelung: Hierbei wird das Biogas in einem trockenen Turmentschwefeler an Raseneisenerz katalytisch oxidiert.
3. Chemische Entschwefelung: Dem Fermenter werden dreiwertige Eisensalze zugegeben, welche mit dem Schwefelwasserstoff schwerlösliches Eisensulfid bilden, das auf den Reaktorboden absinkt.

Keines dieser Verfahren jedoch ist hundertprozentig zuverlässig. So können bei entsprechenden Belastungen oder Belastungsänderungen mehrere 100 ppm H_2S im Biogas verbleiben.

Soll das Biogas als Erdgasersatz (im Gasnetz oder als Treibstoff) genutzt werden, ist eine weitere Aufbereitung und Abtrennung des Kohlendioxids not-

Tab. 5.1: Komponenten und deren Anteile im Biogas

Gaskomponente	CH_4	CO_2	H_2O	N_2	O_2	H_2	NH_3	H_2S
Anteil [Vol.-%]	50-75	25-50	1-10	0-5	0-2	0-1	0-1	0-1

wendig. Zur Abtrennung des Kohlendioxids stehen vier prinzipielle Verfahren zur Verfügung:

1. Druckgaswäsche
2. Druckwechseladsorption oder PSA (Pressure Swing Adsorption)
3. Kryoverfahren
4. Membrantrennung

Diese Verfahren liefern gereinigte Biogase mit etwa 98 % Methangehalt und reines Kohlendioxid, welches auch kommerziell verwertet werden kann. Die ersten beiden Verfahren sind zurzeit am verbreitetsten.

Die Druckwäsche ist ein „nasses Verfahren“, welches auf physikalischer Absorption beruht. Das Prinzip nutzt die unterschiedliche Löslichkeit von Methan und Kohlendioxid aus. Bei der Druckgaswäsche wird das Biogas mit Wasser gewaschen. Hierbei wird ausgenutzt, dass Kohlendioxid sich bei erhöhtem Druck wesentlich besser in Wasser löst als Methan und bei Druckverringerung sich wieder rüchlöst. Ebenfalls geht Schwefelwasserstoff unter Druckerhöhung in Lösung und wird dem Biogas entzogen. In **Abb. 5.2** ist ein Fließschema der Druckwäsche zu sehen.

Wie im Fließschema ersichtlich, wird das Biogas zunächst auf einen Druck von ca. 9 bar gebracht und anschließend durch eine Absorptionskolonne geschickt. Hier wird das CO_2 und geringe Mengen CH_4 vom entgegenströmenden Waschwasser aufgenommen. Nach der CO_2 -Abscheidung enthält das Reingas ca. 96 % - 98 % CH_4 . Das Waschwasser wird dann in einer nachgeschalteten Säule entspannt. Dabei wird ein Großteil des gelösten Methans wieder frei und dem Biogas vor der Absorptionskolonne rückgeführt. Dadurch werden die Methanverluste verringert. Schließlich gelangt das Waschwasser in die Desorptionskolonne. Hier wird Luft in das CO_2 -haltige Waschwasser eingedüst und somit das CO_2 ausgetrieben. Das rege-

nerierte Waschwasser wird zur Absorptionskolonne zurückgepumpt und kann erneut CO_2 aufnehmen.

Es gibt prinzipiell auch die Möglichkeit, ohne eine Regeneration zu arbeiten. Allerdings werden dann große Mengen von gereinigtem Brauchwasser benötigt und es fallen gegebenenfalls Kosten für die Entsorgung des Waschwassers an.

Alternativ lässt sich als Waschlösung Polyglykolyther (Handelsname Selexol) verwenden. Der Vorteil der Lösung liegt in der besseren Aufnahme von CO_2 und H_2S . Die Aufnahmefähigkeit für CO_2 ist um den Faktor 3 höher als bei Wasser. Dadurch kann mit weniger Waschlösung gearbeitet werden und der Aufwand für die Umwälzung ist geringer.

Sofern das Biogas vor der Druckwäsche nicht nahezu vollständig vom H_2S befreit wurde, ist bei den Abgasen mit Schwefelwasserstoff-Anteilen zu rechnen. Um Geruchsbelästigungen zu vermeiden, sollte das Abgas durch einen Biofilter geleitet werden.

Das PSA-Verfahren ist ein adsorptives Verfahren zur Kohlendioxidabtrennung. Bei dieser Methode wird die Eigenschaft des Kohlendioxids, bei erhöhtem Druck an Aktivkohle oder an Molekularsieve auf Kohlenstoffbasis zu adsorbieren, genutzt. In **Abb. 5.3** ist ein Fließbild des Druckwechseladsorptionsverfahrens zu sehen.

Zunächst muss das Rohgas auf ca. 5 - 10 bar verdichtet werden und gelangt dann in die Adsorptionsbehälter, wo es zur CO_2 -Abscheidung kommt. Nach vollständiger Beladung der Aktivkohle bzw. des Molekularsieves wird der Druck bis in den Vakuumbereich abgesenkt und es findet die Desorption des Kohlendioxids statt. Das desorbierte Kohlendioxid wird in die Atmosphäre abgeleitet. Um einen kontinuierlichen Betrieb der Anlage zu ermöglichen, werden mindestens vier Adsorptionsbehälter verwendet, wobei gleichzeitig in einem Behälter die

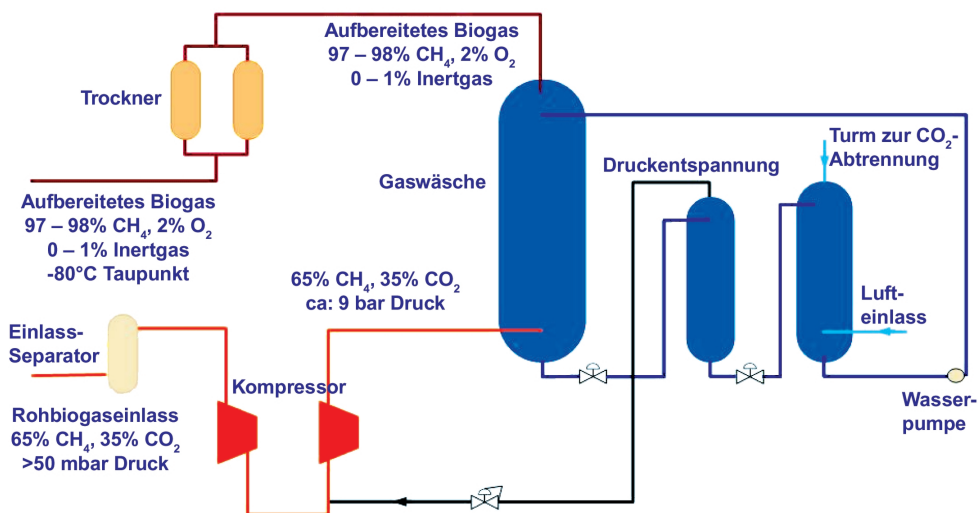


Abb. 5.2: Fließschema der Druckwäsche (nach Kirchmeyer, 2005)

Adsorption stattfindet, in einem der Druck abgesenkt wird, in einem weiteren die Desorption stattfindet und in einem der Druck erhöht wird. Durch diese Betriebsführung wird zusätzlich Energie für die Gaskompression gespart, da der Druck von jedem Adsorptionsbehälter für einen anderen genutzt werden kann. Durch dieses Verfahren wird auch noch vorhandener Schwefelwasserstoff im Rohgas mit abgeschieden. Daher muss gegebenenfalls auch hier das Abgas abschließend behandelt werden, um Geruchsbelästigungen zu vermeiden.

Das Kryoverfahren nutzt den deutlich höheren Gefrierpunkt von CO_2 gegenüber CH_4 , um die beiden Gase zu trennen. Die Membrantrennung entspricht einer Filterung, d.h. die Membran ist für das kleinere Methanmolekül durchlässig, während das Kohlendioxid zurückgehalten wird.

Um störende Spuren aus dem Biogas vollständig zu entfernen, wie dies für den Einsatz in Brennstoffzellen notwendig ist, müssen diese über aufwändige Verfahren unter Einsatz verschiedener Katalysatoren oxidiert oder reduziert und abgetrennt werden. Für den Einsatz mit PEMFC (Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle; **vgl. Kap. 5.4**) wird das Biogas über einen Reformier schließlich zu reinem Wasserstoff aufgearbeitet, bei Verwendung in SOFC (Oxidkeramische Brennstoffzelle; **vgl. Kap. 5.4**) kann das Biogas direkt, d.h. ohne Reformierung, eingesetzt werden.

5.3 Nutzungsmöglichkeiten

Die einfachste Form der Nutzung, jedoch von untergeordneter Bedeutung, ist die direkte Verbrennung des Biogases in Kesseln zur ausschließlichen Wärmeerzeugung. Durch die Verabschiedung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) noch verstärkt, wird Biogas zu über 90 % in BHKWs zur gleichzeitigen Erzeugung von Strom und Wärme eingesetzt, wobei in den meisten Fällen die Wärme, außer für den Eigenbedarf der Anlage, nur

zum geringen Teil genutzt wird. Für den Betrieb von BHKWs stehen verschiedene Aggregattypen zur Verfügung:

1. Für kleine Anlagen ($< 30 \text{ kW}_{\text{el}}$) werden Gas-Otto-Motoren eingesetzt. Der Vorteil dieser Motoren sind die niedrigen Investitionskosten, ansonsten haben Gas-Otto-Motoren einen hohen Verschleiß und somit eine geringe Nutzungsdauer.
2. Zündstrahlaggregate sind vom Prinzip her Dieselmotoren. Das Gas wird mit 7 % - 10 % Heizöl versetzt, um ein betriebssicheres Gemisch zu erhalten. Zündstrahlmotoren haben einen hohen elektrischen Wirkungsgrad, wobei ein Teil der Leistung jedoch auf dem eingesetzten Zündöl beruht. Der typische Einsatzbereich liegt bei 30 - 250 kW_{el} Leistung.
3. In großen Anlagen ($> 250 \text{ kW}_{\text{el}}$) werden heute oft Gas-Diesel-Motoren eingesetzt. Für deren Betrieb wird das Biogas auf 80 mbar leicht verdichtet, wodurch auf den Einsatz von Zündöl verzichtet werden kann. Gas-Diesel-Motoren sind schlecht regelbar, deshalb empfiehlt sich, die angestrebte Leistung in Modulen zusammenzustellen, und somit auf etwaige Betriebsstörungen oder Gasversorgungsengpässe leichter reagieren zu können.
4. Neben diesen Motoren können auch Mikrogasturbinen eingesetzt werden. Sie sind an Standorten besonders gut geeignet, an denen hohe Dampftemperaturen ($> 300 \text{ °C}$) gebraucht werden. Der elektrische Wirkungsgrad der Gasturbinen ist im Vergleich zu den Motoren niedrig (**Tab. 5.2**). Mikrogasturbinen haben jedoch den Vorteil extrem niedrigen Wartungsaufwands und deutlich geringerer Emissionen von Luftschadstoffen.

5.4 Brennstoffzellen

Grundsätzlich gibt es schon heute Brennstoffzellen, die mit Biogas betrieben werden können. Jedoch sind deren Preise aufgrund der geringen

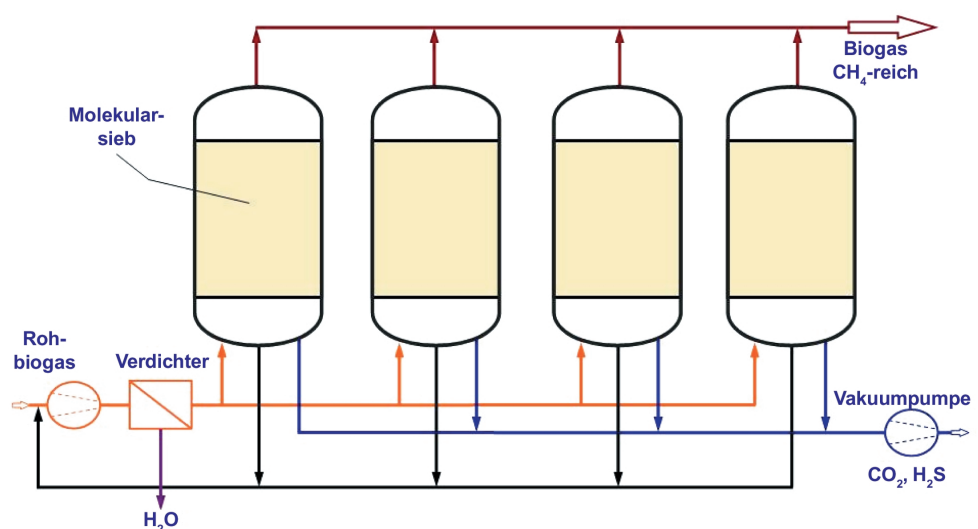


Abb. 5.3: Fließbild des Druckwechseladsorptionsverfahrens (nach Schulz, 2004)

Stückzahlen noch sehr hoch. In **Tab. 5.3** sind die geeigneten Typen von Brennstoffzellen mit ihren Eigenschaften dargestellt.

Im ATB wird zur Zeit die Eignung von PEM Brennstoffzellen für den Einsatz mit Biogas untersucht.

5.5 Gaseinspeisung und Nutzung als Biokraftstoff

Neben der direkten Umsetzung des Biogases vor Ort in Strom und Wärme gibt es die Möglichkeit, das Biogas zu reinigen und in Methan und Kohlendioxid zu trennen (Schulz, 2004, **vgl. Kap. 5.2**). Diese beiden Gase lassen sich dann getrennt vermarkten, wobei das Kohlendioxid komprimiert und in Flaschen gefüllt werden muss, bevor es verkauft werden kann. Das Methan könnte direkt in das Niederdruckgasnetz, im Fall der PSA auch in das Hochdruckgasnetz, eingespeist werden. Bisher haben diese Nutzungsmöglichkeiten in Schweden und in der Schweiz die größte Verbreitung. Hier werden durch kommunale Biogasanlagenbetreiber, die in erster Linie Bioabfälle umsetzen, Trennungs- und Einspeisestationen bzw. Tankstellen betrieben. In Niedersachsen wurde im Juni 2006 die erste Biogastankstelle eingerichtet und in Brandenburg war zur gleichen Zeit eine weitere Anlage zur Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität im Bau (**vgl. Kap. 2**).

Seit Anfang 2006 sind die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz durch das neue Energiewirtschafts-

gesetz (EnWG) und dessen Transport durch die Gasnetze durch die Gasnetzzugangsverordnung (GasNZV) gegenüber der Situation vorher verbessert. Zwar gibt es keine dem EEG vergleichbare Vergütungsgarantie für eingespeistes Biogas, was jedoch zu wünschen wäre, aber eine eindeutige Vorrangregelung für Biogas im Netz. Die Einspeisung ist auf allen Druckebenen des Netzes möglich. Voraussetzungen sind die anerkannten Regeln der Technik, wie sie in den Arbeitsblättern der DVGW veröffentlicht sind.

Wird das Biogas als Austauschgas eingespeist, muss das Kohlendioxid abgetrennt sein. Für das eingespeiste Gas sind die im Netz üblichen Bereiche von Wobbe-Index und Brennwert einzuhalten. Wird es als Zusatzgas eingespeist, muss das nach der Einspeisung vorliegende Gasgemisch diese Werte einhalten.

5.6 Kälteproduktion

Eines der derzeit größten Probleme bei der Biogasnutzung ist die ungenutzte Abwärme bei der Stromproduktion. Durch den vermehrten Einsatz von energiereichen Substraten in der Vergärung wird dieser Wärmeüberschuss, und das insbesondere im Sommer, erheblich verstärkt. Eine Option bietet hier die Nutzung der Abwärme in einer Absorptionskälteanlage zur Erzeugung von Kälte (**Abb. 5.4**), die dann zur Milchkühlung oder zur Kühlung anderer landwirtschaftlicher oder gartenbaulicher Produkte genutzt werden könnte (Schmidt, 2002). Aufgrund der Kosten für Absorp-

Tab. 5.2: Elektrischer Wirkungsgrad, Leistungsbereiche, Wartungsbedarf und Investitionskosten einiger BHKW-Aggregate (Quelle: Weiland, in: FNR, 2001)

Aggregat-Typ	Gas-Otto-Motor	Zündstrahlmotor	Gas-Diesel-Motor	Mikrogasturbine
elektr. Wirkungsgrad	25 % - 27 %	30 % - 35 %	35 % - 40 %	25 % - 27 %
Leistungsbereich	< 30 kW _{el}	30-250 kW _{el}	> 250 kW _{el}	> 150 kW _{el}
Wartungsbedarf	hoch	hoch	niedrig	sehr niedrig
Investitionskosten	niedrig	mittel	hoch	hoch

Tab. 5.3: Für Biogas geeignete Brennstoffzellen (FC steht für Fuel Cell, die englische Bezeichnung für Brennstoffzelle)

PEMFC	Die Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle: Betriebstemperatur ca. 80 °C, hocheffektiv, 60 % elektrischer Wirkungsgrad, hohe Ansprüche an die Reinheit des Wasserstoffs
PAFC	Die Phosphorsaure Brennstoffzelle ist zurzeit die einzig kommerziell verfügbare Brennstoffzelle in größeren Einheiten (ca. 340 kW _{el}), 42 % elektrischer Wirkungsgrad
MCFC	Die Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle wird bei sehr hohen Temperaturen (650°C) betrieben und kann daher ohne vorherigen Reformierprozess betrieben werden, elektrischer Wirkungsgrad über 50 %
SOFC	Die Oxidkeramische Brennstoffzelle hat mit 800-1.000°C die höchste Betriebstemperatur und kann auch mit Biogas direkt betrieben werden, durch nachgeschaltetes Gas- oder Dampfturbinenkraftwerk kann der elektrische Wirkungsgrad auf 70 % gesteigert werden

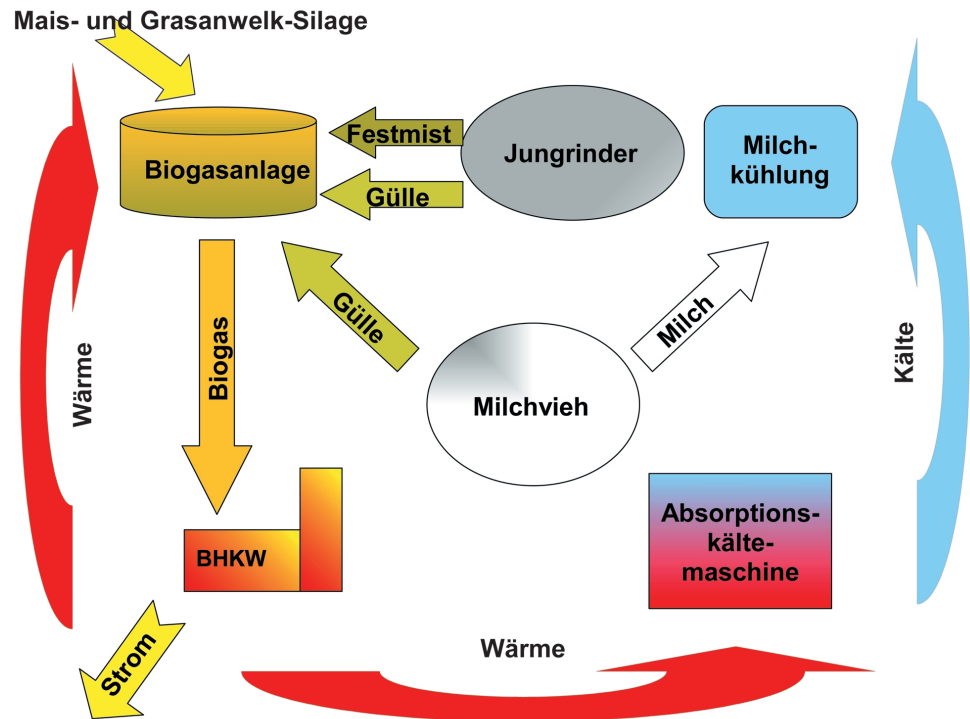


Abb. 5.4: Prinzipschema einer Milchkühlung auf Basis einer Ammoniakabsorptionskälteanlage

tionskälteanlagen (ca. 100.000 € für 100 kW Kälteleistung) scheinen Kälteleistungsbedürfnisse ab 250 kW wirtschaftlich umsetzbar zu sein. Erst wenn es möglich ist, die Investitionen für kleinere Anlagen deutlich zu senken, kann hier eine Wirtschaftlichkeit erreicht werden.

Literatur

- FNR (2001): Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial. Gülzower Fachgespräche Vol. 15, Gülzow.
- Heiermann, M. u. Plöchl, M., eds. (2002): Tagungsband: Biogas und Energielandwirtschaft – Potenzial, Nutzung, Grünes Gas™, Ökologie

und Ökonomie. 18.-19. November 2002 in Potsdam. Bornimer Agrartechnische Berichte Vol. 32, ATB, Potsdam-Bornim.

- Kirchmeyer, F. (2005): Arbeitsblatt: Die Aufbereitung von Biogas – Druckwasserwäsche, ARGE Kompost & Biogas Österreich, Linz.
- Schmidt, S. (2002): Energiemanagement in der Nutztierhaltung: Analyse der Energiewirtschaft großer Milchviehanlagen und der Energieversorgung mit Energie aus Biogas. BTU Forschungshefte Energie, Dissertation.de Verlag im Internet, Berlin.
- Schulz, W. (2004): Untersuchung zur Aufbereitung von Biogas zur Erweiterung der Nutzungsmöglichkeiten, Bremen.