

**Fachhochschule
Münster** University of
Applied Sciences



Fachbereich
Energie • Gebäude • Umwelt

Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Dipl.-Ing. Elmar Brüggling, M.Sc.

Fachhochschule
Münster University of
Applied Sciences



Energie
Gebäude
Umwelt

Prof. Dr. C. Wetter
Dipl.-Ing. E. Brüggling

Stegerwaldstr. 39
48565 Steinfurt

www.fh-muenster.de/fb4



**Fachtagung der Fachhochschule Lippe und Höxter
„Einspeisung von Biogas in Gasnetze“**

Verfahrenstechnik der Gasaufbereitung am
Beispiel des Biogasnetzes Gronau/Epe



Inhalt

- Erneuerbare Energien – Aktueller Sachstand
- Zusammensetzung und Eigenschaften von Biogas
- Entfeuchtung von Biogas
- Entschwefelung von Biogas
- Beispiel eines erfolgreichen Konzeptes



Erneuerbare Energien

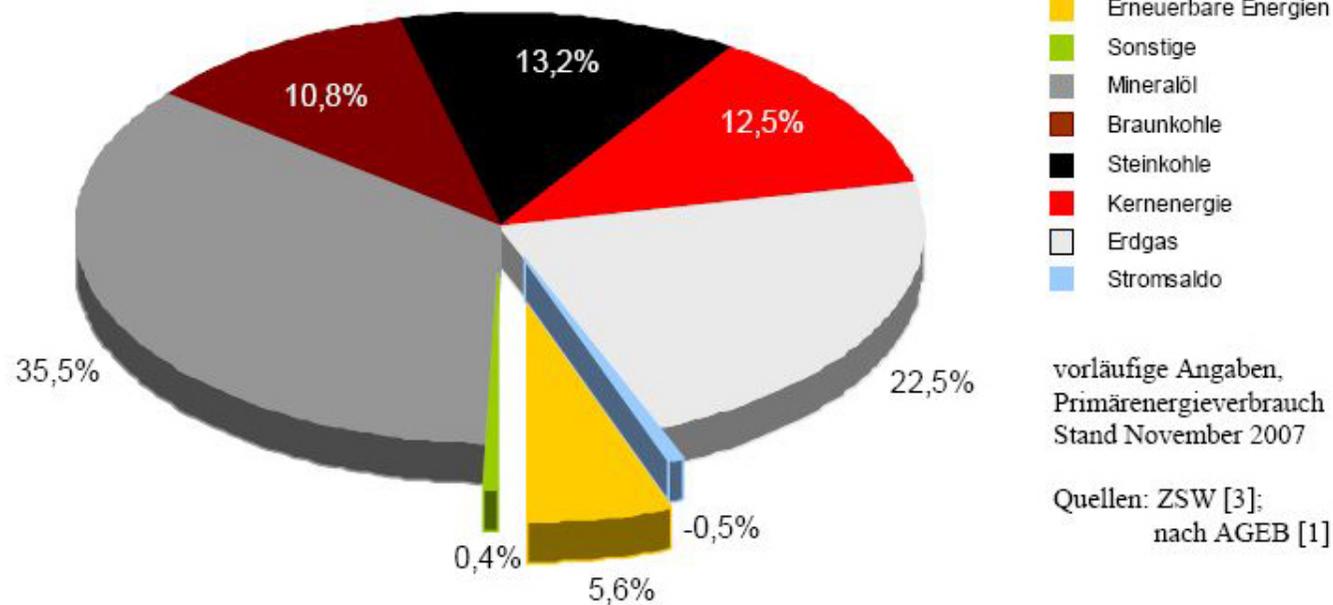
- Nachhaltige Energienutzung als Zielvorgabe der Bundesregierung für Deutschland
 - Anteil der erneuerbaren Energien an der Energiebereitstellung in Deutschland 2007
 - 5,6 % des Primärenergieverbrauchs
 - 11,5 % der Stromerzeugung
 - 6,0 % der Wärmeerzeugung
 - 6,6 % der Kraftstoffe
 - Vermeidung von ca. 100 Mio. t CO₂/a
 - Zielvorgaben
 - 5 % des Primärenergieverbrauchs in 2010
 - 12,5 % der Stromerzeugung
 - 8,0 % der Wärmeerzeugung
 - 5,75 % der Kraftstoffe (EU-Richtlinie 2003/30/EG)
 - Vermeidung von 213 Mio. t CO₂/a (- 21%) bis 2012 (Nationaler Allokationsplan für Deutschland)
 - Senkung des CO₂-Ausstoßes um 40 % CO₂ bis 2020



Erneuerbare Energien



Struktur des Primärenergieverbrauchs im Jahr 2006
gesamt: 14.598 PJ



Erneuerbare Energien

- Struktur der Endenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energien für das Jahr 2006
 - Etwa 5,9 % (4.154 GWh/a) der erneuerbaren elektrischen Energie wird durch Biogasanlagen erzeugt
 - Etwa 3,4 % (3.043 GWh/a) der erneuerbaren thermischen Energie wird durch Biogasanlagen erzeugt
- Nach einer Potentialerhebung des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit besteht folgendes Biogaspotential in Deutschland:
 - ca. 94.000 GWh/a durch den Anbau von Energiepflanzen auf Stilllegungsflächen
 - ca. 25.200 GWh/a durch die Vergärung von Wirtschaftsdünger

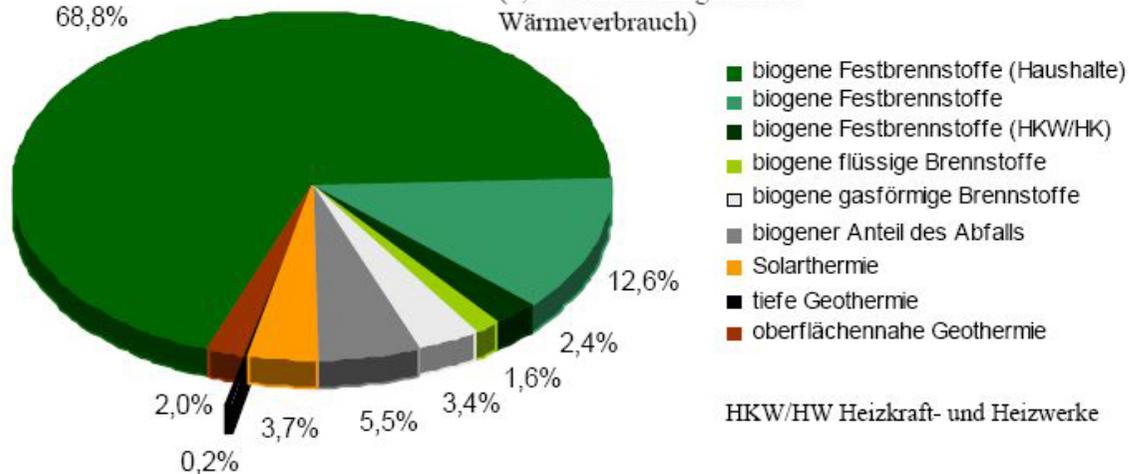


Erneuerbare Energien



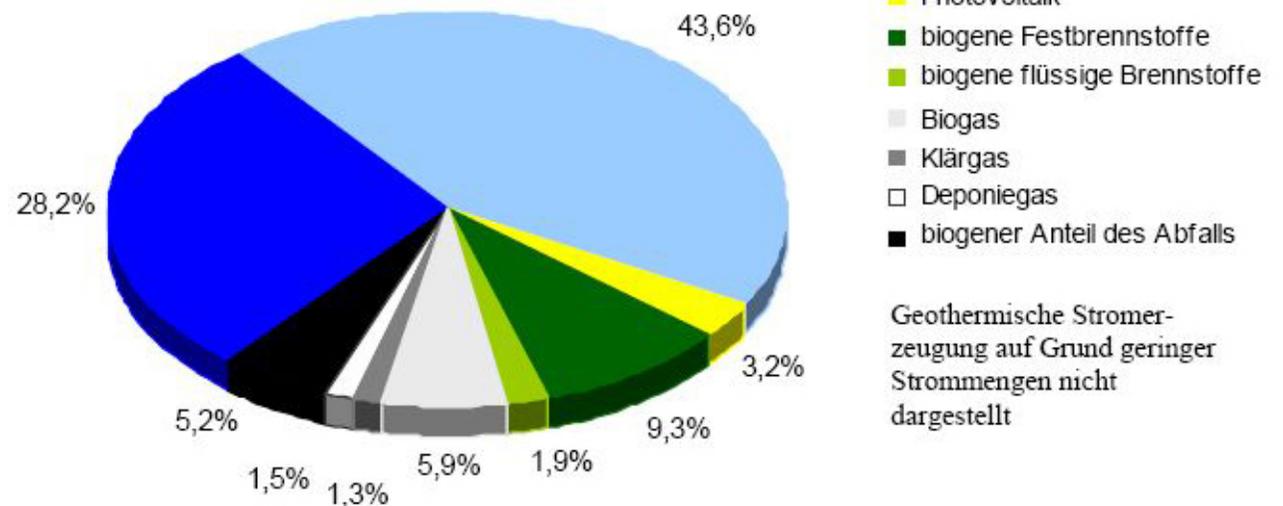
Struktur der Wärmebereitstellung

Wärmebereitstellung:
rd. 89,5 TWh
(6,0 %-Anteil am gesamten
Wärmeverbrauch)



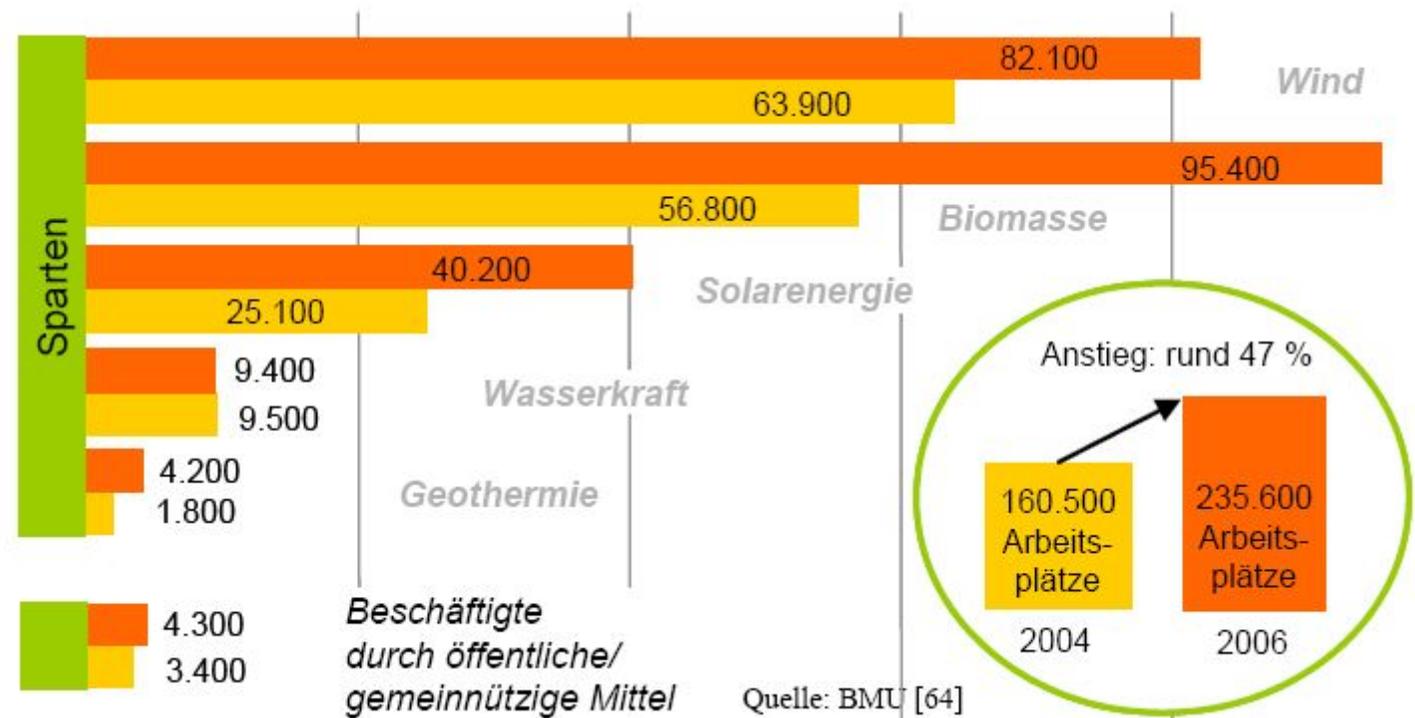
Struktur der Strombereitstellung

Stromerzeugung: rd. 70,4 TWh
(11,5 %-Anteil am gesamten
Stromverbrauch)



Erneuerbare Energien

- Wirtschaftsdaten der Erneuerbaren Energien in Deutschland
 - Gesamtumsatz: 22,4 Mrd. Euro (2006)
 - 235.600 Arbeitsplätze (2006)
 - Biomasse: ca. 95.400 Arbeitsplätze
 - Anstieg von: 68 % gegenüber 2004



Erneuerbare Energien

Biogasnutzung in Deutschland

- Durch das Erneuerbare Energiengesetz (EEG) ist ein wirtschaftlicher Betrieb von Biogasanlagen möglich.
- Die Anzahl der Biogasanlagen sowie die installierte elektrische Leistung ist seit Inkrafttreten des EEG (2000) sprunghaft angestiegen.
 - 1999: ca. 850 Anlagen mit etwa 200 MW_{el}
 - 2005: ca. 2.700 Anlagen mit etwa 665 MW_{el}
 - 2007: ca. 3.700 Anlagen mit etwa 1.270 MW_{el}
- Das vorhandene Biogaspotential in Deutschland ist bei weitem noch nicht ausgenutzt, so dass eine Steigerung der Energieproduktion aus Biogas möglich ist.
 - Konzeptentwicklungen zur Realisierung und Nutzung der vorhandenen Potentiale insbesondere der Gaseinspeisung
 - Standortungebundene Wärme- bzw. Kältenutzungskonzepte



Zusammensetzung und Eigenschaften von Biogas



Zusammensetzung von Biogas

Biogas		
Hauptkomponenten:	CH ₄	50-65 Vol.%
	CO ₂	30-40 Vol.%
Feuchte: (<i>mesophil</i>) (<i>thermophil</i>)	H ₂ O	4-6 Vol.%
		10-15 Vol.%
Spurengase: (Ausnahmen möglich)	H ₂ S	50-10.000 mg/m ³
	NH ₃	< 100 mg/m ³
	KW-Verb.	< 10 mg/m ³
	Staub	Spuren

Eigenschaften von Biogas

Dichte	1,2 kg/m ³
Heizwert	4-7,5 kWh/m ³ (abhängig vom Methangehalt)
Zündtemperatur	700 °C
Zündkonzentration Gasgehalt	6-12 %
Geruch	Bei Schwefelwasserstoffgehalt nach faulen Eiern, sonst fast geruchlos

Entfeuchtung von Biogas

- **Entfeuchtung:**

Ziel der Entfeuchtung ist es, den Wasserdampfdruckpunkt durch die verschiedenen Behandlungsverfahren zu senken und den Wasseranteil auszuschneiden zur:

- Verlängerung der Wartungsintervalle
- Reduzierung von Korrosion
- Erhöhung der Standzeiten der Blockheizkraftwerke

- Es existieren verschiedene Verfahren zur Entfeuchtung von Biogas

- Kondensationstrocknung:
Unterschreitung des Taupunktes des Wassers
 - Abkühlung und Kondensation über die Strecke der Erdleitung (einfachste Lösung)
 - Entwässerung über Gaskühler
- Adsorptionsverfahren:
Trocknung durch Anlagerung
 - Entfeuchtung mit Silicagel
- Absorptionsverfahren:
Trocknung durch Aufnahme
 - Entfeuchtung mit Triethylenglykol



Entfeuchtung von Biogas

- Abkühlung und Kondensation über die Strecke der Erdleitung
 - Regelmäßige Entleerung und Wartung des Kondensatabscheiders
 - mind. 1 % Gefälle mind. 50 m, besser mehr
 - Einfachste Variante und in vielen Fällen ausreichend
- Entfeuchtung über einen Gaskühler
 - Kältemaschine: Verdampfung des Kältemittels im Verdampfer entzieht der der Umgebung die Verdampfungswärme. Das Gas wird an dem Verdampfer vorbeigeleitet, so das das Wasser auskondensieren und gesammelt werden kann
 - Die drucklose Variante der Kühlung kann einen Taupunkt von 4 °C - 10 °C erreichen
 - Strombedarf einer 500 m³/h – Anlage: ca. 3,5 kW_{el}
 - Investitionskosten für 500 m³/h (ca. 1 MW_{el}): ca. 25.000 €



Entfeuchtung von Biogas

- Entfeuchtung über einen Gaskühler



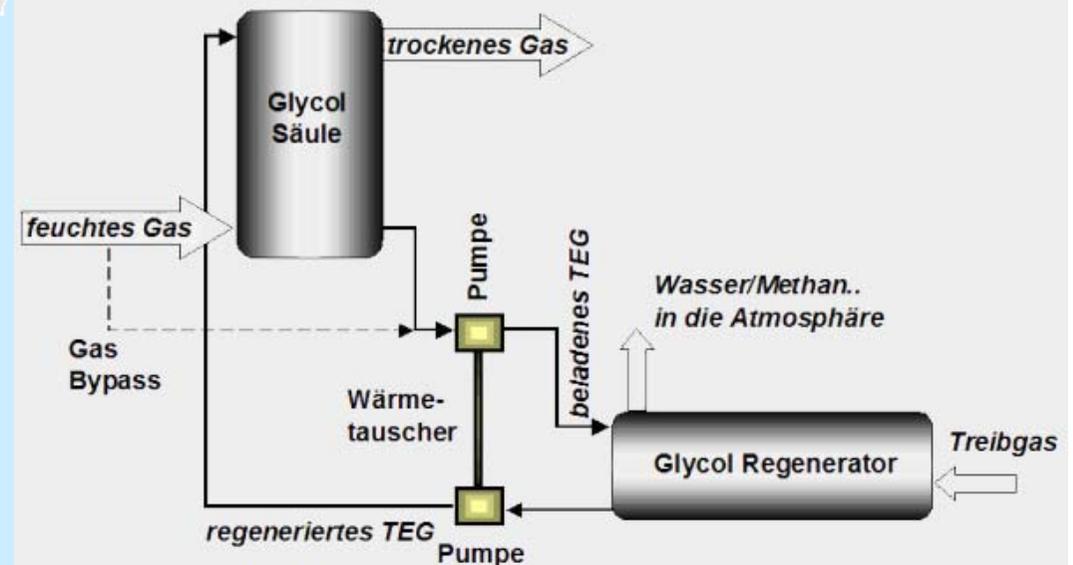
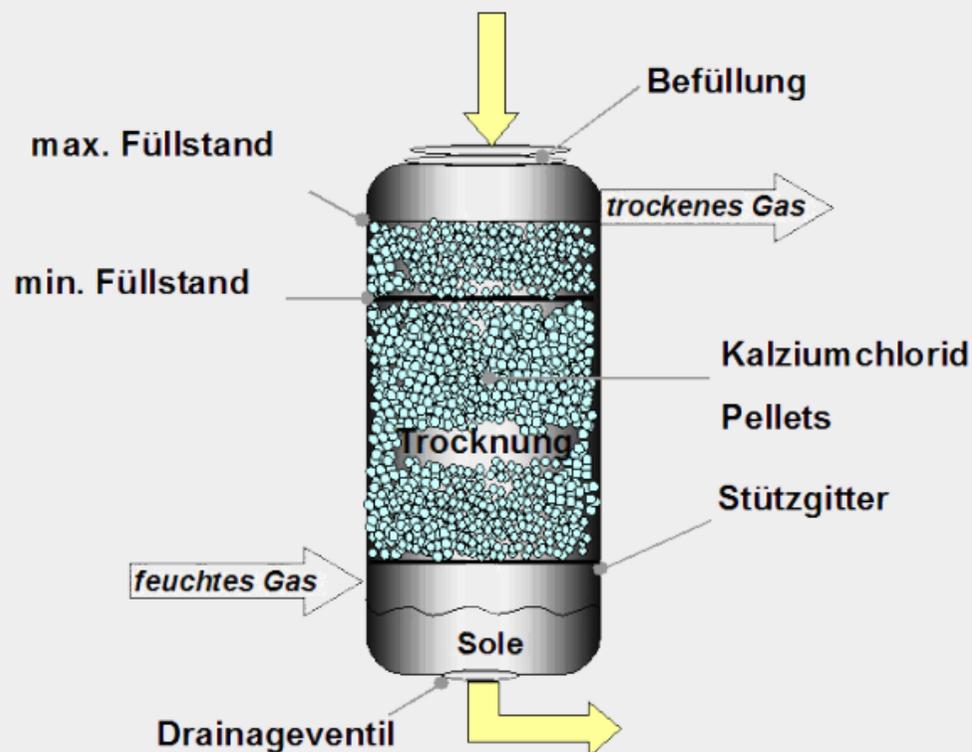
Entfeuchtung von Biogas

- Weitere Verfahren:
 - Membrantechnologie
 - Trennung durch unterschiedliche Permeabilität
 - Durch Druckerhöhung kann der Trennvorgang beschleunigt werden
 - Erst in der Erprobungsphase für Biogasanlagen
 - Entfeuchtung mit Silicagel
 - Gas durchströmt einen Adsorber (Silicagel)
 - ab einem Volumenstrom von etwa 100 m³/h
 - Taupunkt liegt bei -60°C, Betriebsdruck beträgt 6-10 bar
 - 2 Adsorber für den kontinuierlichen Betrieb erforderlich
 - Regeneration erfolgt durch die Spülung mit trockenem Heißgas (120 bis 150°C)
 - Entfeuchtung mit Triethylenglykol (TEG)
 - Biogas wird durch Kontakt mit hygroskopischer Flüssigkeit entfeuchtet
 - Abgeschlossenes wartungsarmes System
 - das mit Wasser beladene TEG wird unter Wärmezugabe regeneriert
 - Taupunkt auf unter 10 °C möglich
 - Schaumbildung möglich (Antischaummittel erforderlich)



Entfeuchtung von Biogas

- Weitere Verfahren:
 - Entfeuchtung mit Kalziumchlorid
 - Taupunkt von 10 –12 ° C
 - Betrieb auf zwei Kolonnen
 - befeuchteten Pellets verflüssigen sich und laufen als Sole ab
 - Nachteile des Verfahrens sind der erreichbare Taupunkt und Korrosion- und Verstopfungserscheinungen



Entschwefelung von Biogas

- **Entschwefelung:**
Schwefelwasserstoffgehalt des Biogases kann zu erheblichen Problemen bei der Gasnutzung führen:
 - Korrosionserscheinungen durch Bildung von Schwefelsäure
 - schnellere Versauerung des Motoröls, möglicher Schaden des Motors
 - mikrobiologische Hemmungen des Abbauprozesses
- Es existieren verschiedene Verfahren zur Entschwefelung von Biogas
 - Physikalische Verfahren
 - Aktivkohlefilter
 - Adsorption an Zinkoxide
 - Chemische Verfahren
 - Fällung mit Eisensalzen (Eisen III und Eisen II)
 - Gaswäsche mit Natronlauge oder Eisenhydroxid
 - Biologische Verfahren
 - Lufteinblasung in den Fermentergasraum
 - Externe biologische Entschwefelungskolonnen



Entschwefelung von Biogas

- Physikalische Verfahren
 - Adsorption an Aktivkohle
 - Entfernung durch katalytische Oxidation an der Aktivkohleoberfläche
 - Einsatz für die Feinstreinigung (< 1 ppm) bei Ausgangsbelastungen von 200 bis 400 mg/m³
 - Bei höheren Konzentrationen wird die Aktivkohle zu schnell beladen
 - Durch die Imprägnierung der Aktivkohle kann die Reaktionsgeschwindigkeit und damit die Beladungskapazität erhöht werden
 - Kaliumjodid (KI) imprägnierter Aktivkohle
 - Kaliumcarbonat (K₂CO₃) imprägnierter Aktivkohle
 - Kaliumpermanganat (KMnO₄) imprägnierten Aktivkohle
 - sehr effektives Verfahren, mit dem sehr gute Reinigungsleistungen, zusätzliche Entfernung auch anderer Schadgase und -verbindungen (z.B. NH₃, Siloxane und Halogenverbindungen)
 - Beladungskapazität mit 0,2 bis 0,5 kg Schwefel pro kg Aktivkohle
 - Nachteile:
 - Keine Einstellung einer tolerierten Schwefelwasserstoffkonzentration möglich
 - Relativ hohe Betriebskosten (Austausch der Aktivkohle)



Entschwefelung von Biogas



Entschwefelung von Biogas

- Chemische Verfahren
 - Fällung mit Eisensalzen (Eisen III und Eisen II)
 - Zugabe von Eisen II-Salzen (Eisenchlorid) direkt in den Fermenter
 - Die zugegebenen Ionen binden die vorhandenen Schwefel-Ionen, es bildet sich unlösliches Eisensulfid
 - Geringe Investitionskosten (Dosierpumpe, Vorlagebehälter)
 - eine Reinigungsleistung zwischen 100 und 500 ppm erreichbar
 - sehr gut bei H_2S -Spitzenbelastungen anwendbar
 - Keine Luftdosierung erforderlich
 - Eine 500 kW_{el} -Anlage benötigt etwa 25 t/a Eisenchlorid
 - Nachteil:
 - Je nach erforderlicher Reinigungsleistung, relativ hohe Betriebskosten
 - Gaswäsche mit Natronlauge oder Eisenhydroxid
 - sehr hohe Reinigungsgrade möglich
 - gezielte automatisierte Optimierung der Schwefelwasserstoffabscheidung durch Laugen- und Temperaturregelung möglich
 - Nachteile:
 - zusätzliches, mit Kosten verbundenes Aggregat
 - zusätzlicher Wartungsaufwand
 - Entsorgung der verbrauchten Lauge notwendig

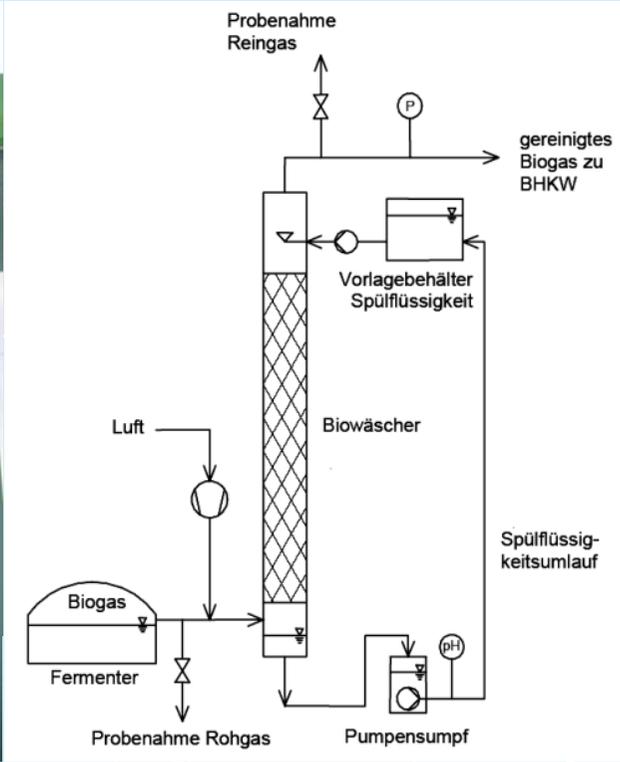


Entschwefelung von Biogas

- Biologische Verfahren
 - Lufteinblasung in den Fermentergasraum
 - Mikroorganismen setzen H_2S auf aerobem Weg zu Schwefelsäure und elementarem Schwefel um
 - Der elementare Schwefel setzt sich als gelbe Schicht im Gasraum des Fermenters und auf der Flüssigphase ab
 - Luftzufuhr ca. 3-5 % der freigesetzten Biogasmenge
 - sehr kostengünstige, wartungs- und störfallarme Technik
 - Aufwuchsflächen für die Schwefelbakterien sollten vorhanden sein oder zusätzlich geschaffen werden
 - Diese Technik wird an den meisten landwirtschaftlichen Biogasanlagen eingesetzt
 - Der Schwefel wird über den Gärrest wieder in den natürlichen Stoffkreislauf zurückgeführt
 - Nachteile:
 - keine gezielte Optimierung des Schwefelwasserstoffabbaues möglich
 - mögliche Prozessbeeinträchtigung durch Sauerstoffeintrag
 - Korrosion (Schwefelsäure) an allen Bauteilen im Gasraum
 - Externe biologische Entschwefelungskolonnen
 - Gleiches Prinzip → Vermeidung der o.g. Nachteile
 - Sehr hohe Reinigungsleistungen für alle Anlagengrößen möglich
 - Höhere Kosten, da zusätzliches Aggregat erforderlich



Entschwefelung von Biogas



Beispiel eines erfolgreichen Konzeptes



Beispiel eines erfolgreichen Konzeptes

- Bau einer Biogasanlage zur Wärmeversorgung der Molkerei Söbbeke in Gronau-Epe

- Bau einer Biogasanlage im Außenbereich
- Biogastransport zum Wärmeabnehmer – hier die Molkerei Söbbeke
- Errichtung und Betrieb von zwei BHKW an zwei Standorten
- Optimierung der KWK-Nutzung
- Regionale Wertschöpfung
- Ersatz von fossiler Energie durch regional erzeugtes Biogas (Grundlast)



Beispiel eines erfolgreichen Konzeptes



• Anlagendaten

- 3.000 m² Lagerfläche für NawaRos (ca. 8.000 t/a Silomais und ca. 2.000 t/a Grünroggen)
- Feststoffeintrag mit Hilfe eines Schubbodens (70 m³)
- 1 Hauptfermenter
- 1 Nachgärer mit Gasspeicherdach
- 1 Endlagerbehälter
- 1 BHKW mit einer elektrischen Leistung von 250 kW_{el} am Standort der Biogasanlage
- 1 BHKW mit einer elektrischen Leistung von 500 kW_{el} am Standort der Molkerei
- Biogasleitung von ca. 1.000 m Länge
 - **Entfeuchtung durch Abkühlung und Kondensation über die Strecke der Erdleitung**
- **Entschwefelung durch Lufteinblasung in den Fermentergasraum**
- Ersatz von fossiler Energie durch regional erzeugtes Biogas (Grundlast)

Beispiel eines erfolgreichen Konzeptes

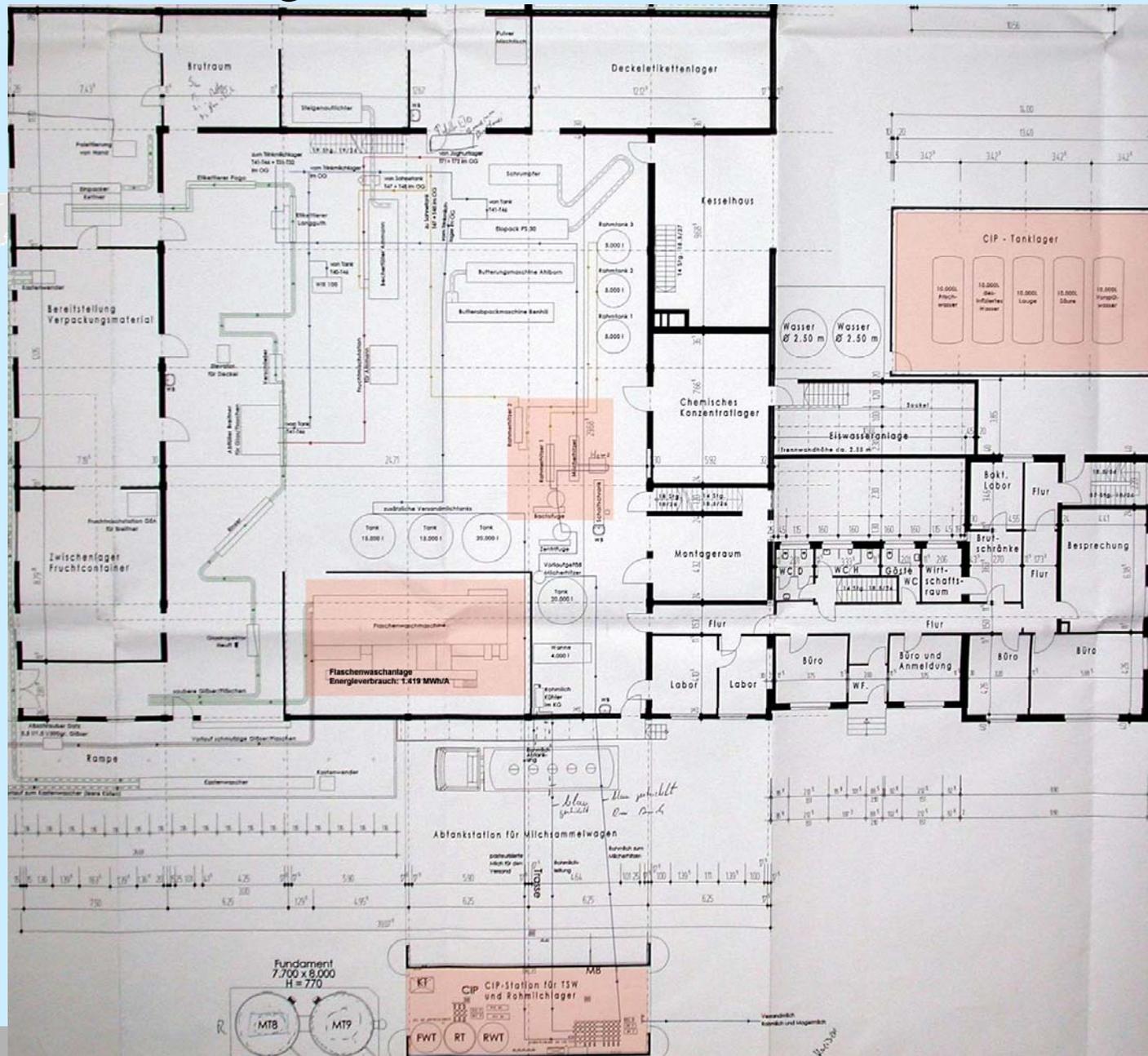
- Ermittlung der substituierbaren Prozessschritte bei der Molkerei Söbbeke

- Gesamtenergieverbrauch: 6.300 MWh_{th}/a
- Anzahl der Energieverbraucher: 30
- Substituierbarer Energieverbrauch: 3.900 MWh_{th}/a (61 %) entspricht etwa 390.000 l/a Heizöl
- CO₂-Einsparung: rund 940.000 kg CO₂/a



Beispiel eines erfolgreichen Konzeptes

- Ermittlung der substituierbaren Prozessschritte



Beispiel eines erfolgreichen Konzeptes

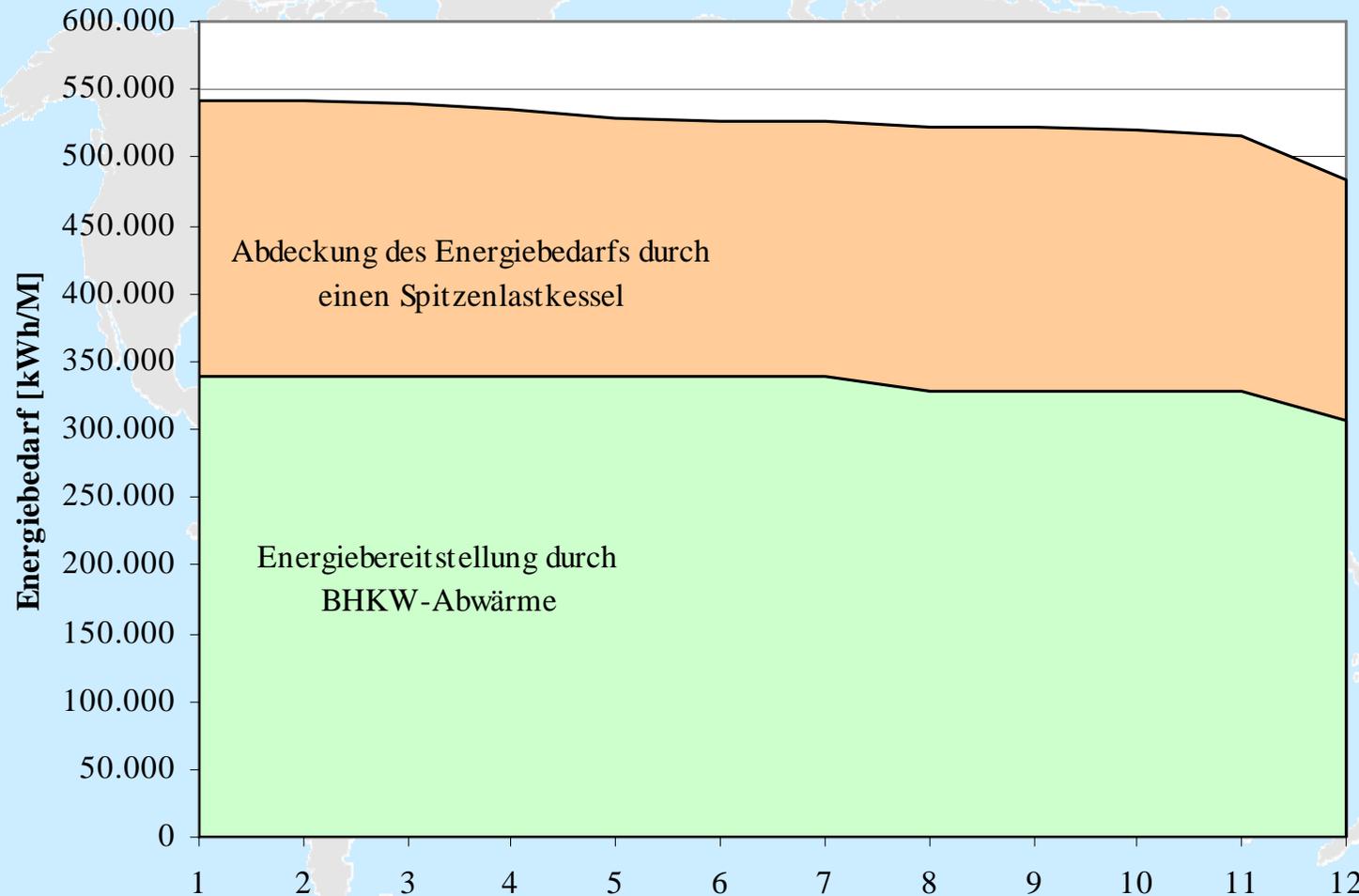


• Energieverbrauch der Molkerei Söbbeke

	Bezeichnung	Verbrauchs- menge Dampf [t/a]	Energie- bedarf [MWh/a]	Temperaturerhöhung	
				von	auf
				[°C]	[°C]
Substituierbare Energieverbraucher					
1	2050021 Flaschenwaschanlage	2.199	1.419	80,00	80,00
2	1090025 Aufschörf CIP Betrieb	1.971	1.305	65,00	65,00
3	1090027 Aufschörf CIP Rohm.	951	624	65,00	65,00
4	2020021 BR - Erhitzen inkl. Baktofuge	413	267	60,00	74,00
5	2020022 BR - Erhitzen inkl. Baktofuge, Homo	387	250	60,00	74,00
6	2020020 BR - Erhitzen Standard	66	43	60,00	74,00
	Summe Energie:	5.988	3.907		
Verbraucher die ggf. später angeschlossen werden können					
7	2301020 Verwaltung allgemein	60	39		
8	2330020 Vertrieb	45	29		
9	2331020 Telefonverkauf	18	12		
10	2336020 Fertigwarenlager	17	11		
11	2300020 Geschäftsführung allgemein	11	7		
	Summe Energie:	152	98		
Verbraucher die weiterhin Dampf benötigen					
12	2050022 Verschleißer	2.474	1.590		
13	2040023 Jogh-Herst. R ³ >8000Kg	396	256	65,00	98,00
14	2040010 Joghurt - Vorbereitung	256	170	10,00	100,00
15	2020031 BR - Erhitzen Rahm	111	74	80,00	110,00
16	2020010 BR - Vorbereiten	68	44	10,00	95,00
17	2040025 Jogh-Herst. stichf.> 8000Kg	36	23	65,00	98,00
18	2040022 Jogh-Herst. R ³ < 8000Kg	35	23	65,00	98,00
19	2050028 Gl. Pumpe + Anw.stichfest	28	18	5,00	40,00
20	2040024 Jogh-Herst. stichf.< 8000Kg	27	18	65,00	98,00
21	2070020 Sahneerhitzer - Zweifach	26	17	6,00	110,00
22	2060020 Joghurt - Brutraum	23	15	40,00	40,00
23	2090010 Abf. Elo - Vorbereitung	23	15	10,00	90,00
24	2080055 Am. Pumpe + Anw.stichfest	16	10	5,00	40,00
25	1140020 Technische Betriebsleitung	12	8		
26	2031090 Buttereie - Tagesreinigung	8	5	10,00	80,00
27	2070010 Sahneerhitzer - Tagesarbeiten	8	5	10,00	90,00
28	2090090 Abf. Elo - Tagesreinigung	8	5	10,00	90,00
29	1100020 Belegschaftseinrichtungen	6	4		
30	2032001 Butterabp. - Vorbereitung	5	3	10,00	80,00
	Summe Energie:	3.567	2.303		
	Gesamtsumme:	9.707	6.308		
	Durchschnittlicher Energiebedarf:	1,11	0,72		
	Anteil der substituierbaren Energie:	61,69%	61,94%		
	Anteil der ggf. später substituierbaren Energie:	1,57%	1,55%		

Beispiel eines erfolgreichen Konzeptes

- Jahresdauerlinie der Molkerei Söbbeke nach der Umsetzung des Wärmekonzeptes



Leitfaden zum Bau einer Biogasanlage

- Agenda 21 NRW Best Practice Beispiel -

- Insgesamt vier konsekutive Bände:

kostenfreier Download unter:
www.fh-muenster.de/fb4/biogas

