



Energieeffiziente Faulgasnutzung

Dr. Wilhelm Frey

Abwassertechnische Ausbildung und Beratung

www.aabfrey.com



Mittwoch, 13. Oktober 2010



Wo beginnt energieeffiziente Faulgasnutzung?

- ⇒ Beim Abwasseranfall, der Sammlung und Ableitung?
- ⇒ Im Belebungsbecken, bei der Eindickung?
- ⇒ Beim Faulprozess im Faulturm?
- ⇒ Im Blockheizkraftwerk, im Heizkessel, der Mikrogasturbine?
 - Bei der Ausschreibung, den Auswahlkriterien, der Abnahmemessung, im laufenden Betrieb?
- ⇒ Bei der Verwendung der elektrischen Energie?
- ⇒ Bei der Verwendung der thermischen Energie?



Verwendungszweck von Faulgas

- ⇒ Heizung der Schlammfäulung und Betriebsgebäude, etc. (z.B. Schlamm-trocknung)
- ⇒ Reduktion Strombezug
 - Spitzenstromabdeckung
 - Lastmanagement
 - Notstrombetrieb
- ⇒ Bereitstellung thermischer Energie für Dritte
- ⇒ Stromeinspeisung in EVU Netz
- ⇒ Gaseinspeisung in das Gasnetz



Allgemeines

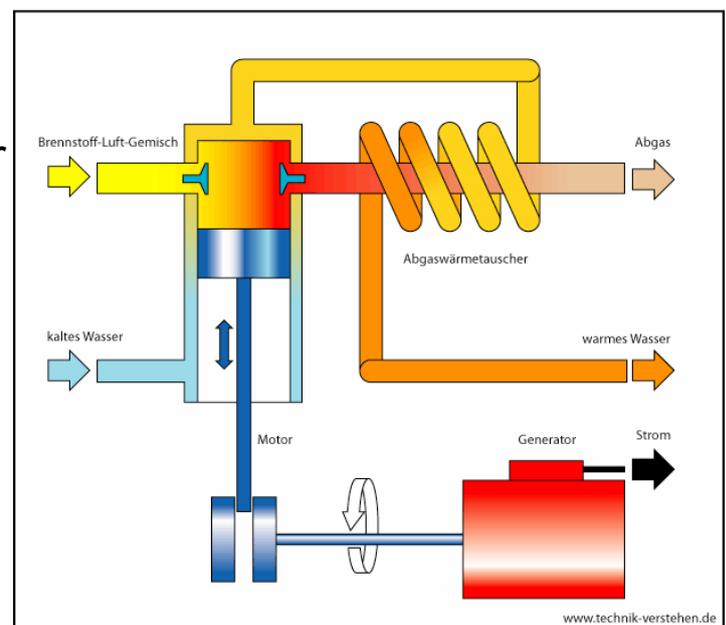
- ⇒ Gasanfall → ca. 15 - 20 Liter/(EW·Tag)
 - Anlagen mit und ohne Vorklärung
 - Stabilisierungsgrad des Überschussschlammes
 - Betriebsparameter des Faulturms
- ⇒ Gasqualität → ca. 6,5 kWh/m_N³
 - 2/3 Methan
 - 1/3 Kohlendioxid
 - Schwefelwasserstoff, Wasserdampf, Siloxane, etc.
- ⇒ Gasaufbereitung
 - Entfeuchtung, Entschwefelung, Verdichtung
 - Siloxanfilter, CO₂ Entfernung, Methanabreicherung

Technische Lösungen zur Faulgasnutzung

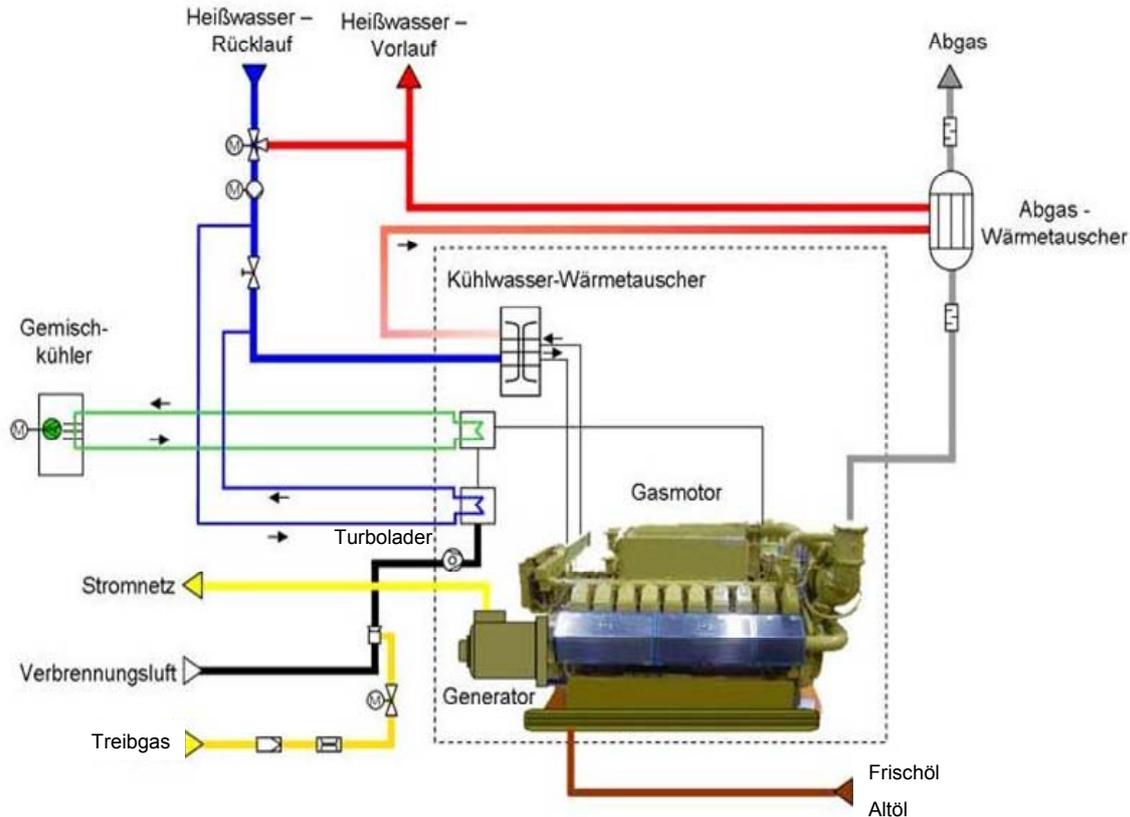
- ⇒ Heizkessel (Gliederkessel)
- ⇒ Gasmotor (30 bis 600 kW_{el})
 - Ottomotor
 - Zündstrahlmotor (kein Einsatz auf Kläranlagen)
- ⇒ Mikro-Gasturbine (30 bis 200 kW_{el})
- ⇒ Sonderlösungen (z.B. Brennstoffzelle)

BHKW mit Gas-Otto-Motor - FUNKTION

- ⇒ Dem Motor wird ein im Turbolader verdichtetes Luft-Faulgasgemisch zugeführt.
- ⇒ Das Gemisch wird im Zylinder mittels Zündkerze gezündet und verbrannt.
- ⇒ Durch die Kolbenbewegung wird mechanische Energie erzeugt und im Generator in elektrische Energie umgewandelt.
- ⇒ Die im abgegebene Wärme kann zum Großteil über Wärmetauscher gewonnen und genutzt werden.



Schema Blockheizkraftwerk



(Quelle: Stadtwerke Eberswalde GmbH (D))

Energieeffiziente Faulgasnutzung, Linz 2010 10 13

7/38

BHKW - Stärken

- ⇒ Elektrischer Wirkungsgrad bei Vollast bis 39 %, bei Teillast weniger z.B. 32%
- ⇒ Geringe Leistungsverluste durch Nebenaggregate (ca. 2 % bis max. 5% bei Notkühlung)
- ⇒ Energieautark und daher notstromtauglich (Starterbatterie)
- ⇒ Gasvordruck ca. 50 hPa (=mbar)
- ⇒ Unempfindlich gegen Druck- und Temperaturschwankungen
- ⇒ Abwärmenutzung über Kühlwasser und Abhitzekeessel
- ⇒ Ausgereifte Maschinenteknik > 100.000 Betriebsstunden
- ⇒ Investitionskosten tendenziell gering



BHKW - Schwächen

- ⇒ Hoher Methangehalt notwendig
- ⇒ Notkühlung erforderlich, wenn keine Abwärmenutzung erfolgt
- ⇒ Hohe Lärmentwicklung
- ⇒ Empfindlich auf Schwefelwasserstoff
- ⇒ Betriebsphasen möglichst lang, 4 bis 6 Stunden.
- ⇒ Teillastbetrieb gleiche Kosten pro Betriebsstunde → weniger Strom → spezifisch teurer
- ⇒ Betriebskosten tendenziell hoch (Service + Öl + Kerzen)
- ⇒ Abgaswerte hoch



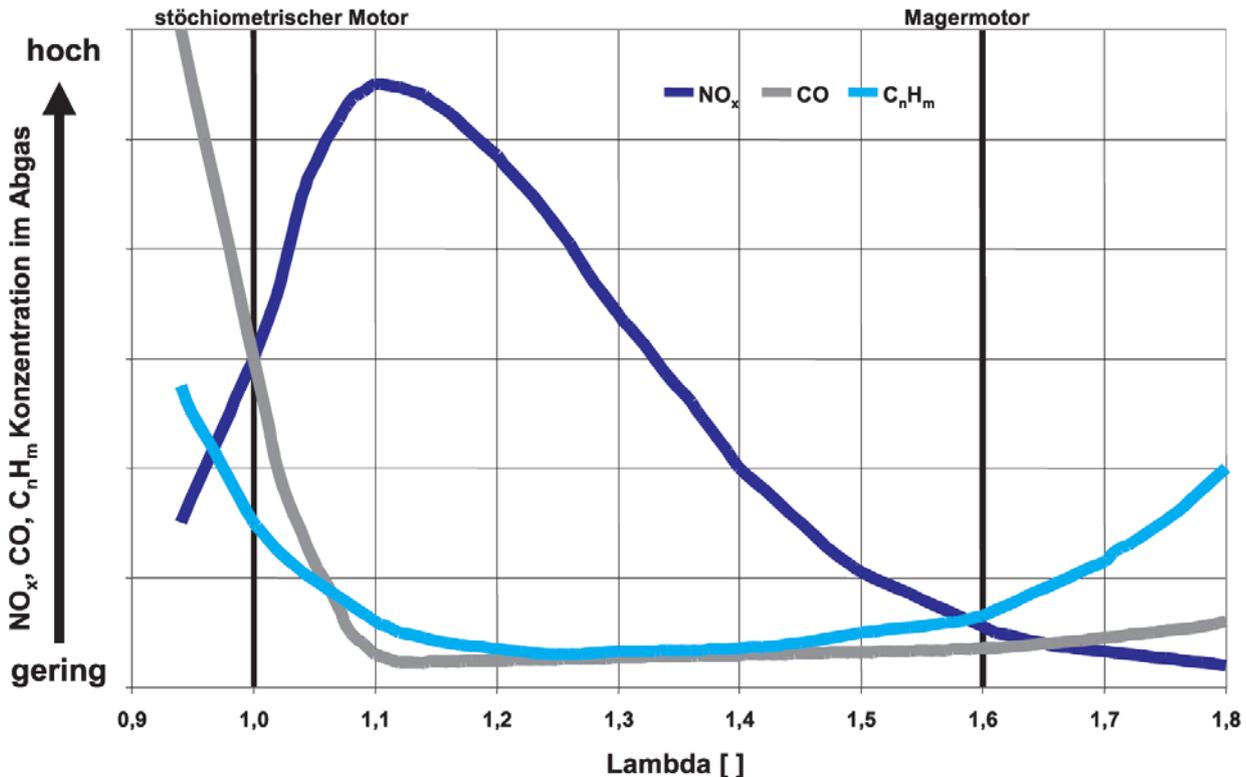
BHKW Abgaswerte

- ⇒ In Österreich gibt es die „TECHNISCHE GRUNDLAGE FÜR DIE BEURTEILUNG VON BIOGASANLAGEN“ des BMWA aus 2007. Darin werden folgende Werte genannt:
- ⇒ Die Emissionsgrenzwerte sind Halbstundenmittelwerte und beziehen sich auf trockenes Abgas im Normzustand (0 °C, 1013 hPa) sowie einen Volumengehalt an Sauerstoff von 5 %.

	< 100 kW _{mech}	> 100 kW _{mech}
Stickstoffoxide als NO ₂	-	400 mg/m ³
Kohlenstoffmonoxid (CO)	650 mg/m ³	650 mg/m ³
Nicht-Methan-KW (NMHC)	-	150 mg/m ³
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	-	5 mg/m ³

BHKW Abgaswerte

⇒ Magermotor zur Stickoxidreduzierung dadurch aber höhere Formaldehydkonzentrationen (dzt. Grenzwert 60 mg/m^3)



Mikro Gasturbine - FUNKTION

- ⇒ Die Verbrennungsluft wird über den Generator (Kühlung) angesaugt, im Kompressor verdichtet (4-6 bar) und im Rekuperator vorgewärmt.
- ⇒ In der Brennkammer wird Luft und (extern) verdichtetes Gas gemischt und verbrannt. Die Verbrennungsgase werden über das Turbinenlaufrad entspannt.
- ⇒ Auf der Welle befindet sich die Turbine, der Kompressor und der Generatorläufer. Es wird ein hochfrequenter Wechselstrom (1600 Hz) erzeugt und über Leistungselektronik in 50 Hz umgeandelt.



Mikro Gasturbine - Stärken

- ⇒ Für geringe Methangehalte geeignet (ab 35 %)
- ⇒ Unempfindlich auf Schwefelwasserstoff
- ⇒ Niedrige Abgasemissionen
- ⇒ Abwärmenutzung über Abgaswärmetauscher
- ⇒ Luftgelagertes Turbinenrad (bei Capstone MicroTurbine) und berührungslose elektronische Leistungseinheit.
- ⇒ Geringer Wartungsaufwand; kein Öl (ausgenommen Gasverdichter)
- ⇒ Abgaswärmetauscher mit Umgehung, keine Notkühlung erforderlich
- ⇒ Aufstellung im Raum oder im Freien
- ⇒ Betriebskosten geringer - Wartungsvertrag - Heißgasteiltausch ca. 50.000 Betriebsstunden
- ⇒ Geringe Schallemissionen und keine Vibrationen.
- ⇒ Gute Teillastfähigkeit bis 50 %



Mikro Gasturbine - Schwächen

- ⇒ elektrischer Wirkungsgrad ca. 26 – 33 % (ohne Eigenbedarf)
- ⇒ Gasaufbereitung und Verdichtung erforderlich (dauernd ca. 10% der Energieproduktion)
- ⇒ Absinken des Wirkungsgrades bei steigender Ansaugtemperatur der Verbrennungsluft
- ⇒ Fremdenergie für Start- und für Gasverdichtung
- ⇒ Notstrombetrieb nur mit Zusatzeinrichtungen
- ⇒ Anzahl der Starts begrenzen typisch 1 Start/Tag
- ⇒ Investitionskosten tendenziell hoch



Hinweise zur Planung (1)

⇒ MASCHINENGRÖSSE

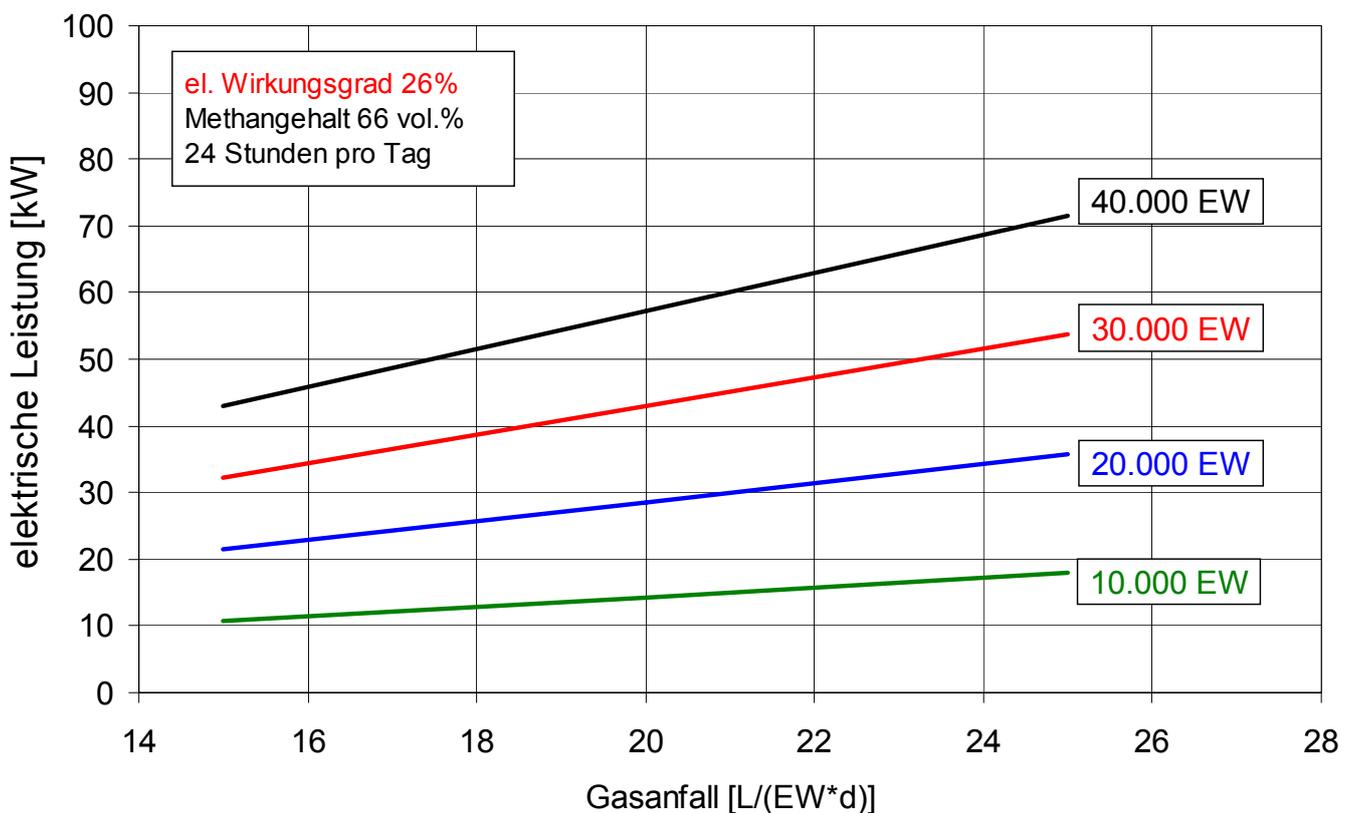
- je größer desto spezifisch günstiger
- redundante Ausführung deutlich teurer

⇒ GASANFALL

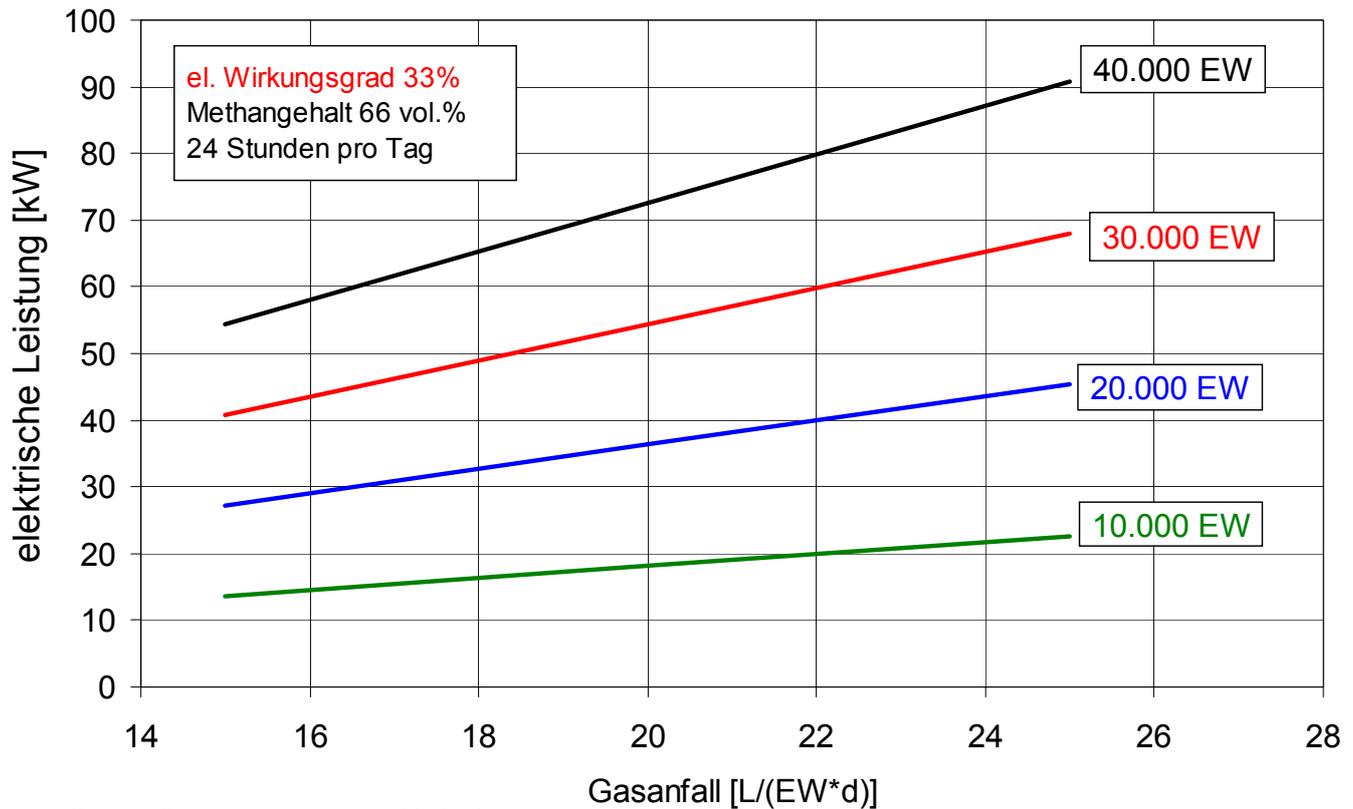
- auf tatsächlichen Gasanfall abstimmen; nicht auf zukünftige Entwicklungen
- Betriebsweise sollte auf Gasanfall anpassbar sein
- BHKWs zumindest 6 Stunden je Start, Teillastbetrieb vermeiden (günstige Betriebskosten nur bei Volllast); möglichst Dauerbetrieb mit Volllast (mindestens 5000 Betriebsstunden/a)
- Mikrogasturbine ein Start pro Tag
- Erweiterung vorsehen
- Ersatzenergie (z.B. Erdgas)



Gasanfall – elektrische Leistung ($\eta_{el}=26\%$)



Gasanfall – elektrische Leistung ($\eta_{el}=33\%$)



Energieeffiziente Faulgasnutzung, Linz 2010 10 13

17/38

Gasanfallmessung

⇒ Technische Lösungen

- Thermische Massendurchflussmesser
- Turbinenradzähler
- Laufzeitverfahren
- Sonstige

⇒ Hinweise zur Messung

- Große Fehler durch Feuchte und/oder Kondensate
- Korrektur über Messung der Gaszusammensetzung notwendig
- Bilanzierung über oTS und/oder CSB der Schlammbehandlung
- Bilanzierung über Energieerzeugung vorhandener Aggregate
- Volumetrische Messung mittels Gasbehältern



Hinweise zur Planung (2)

⇒ NEBENAGGREGATE UND KOSTEN DER PERIPHERIE

- Gasaufbereitung (Erwärmung, Siloxanentfernung, ev. Entschwefelung)
- Bei der Bewertung ist der Eigenstrombedarf zu berücksichtigen - Nettoenergieproduktion
- Einbindung in die Wärmewirtschaft (oft schwierig)
- Notkühlung bei Gasmotoren
- Raumlüftung/Kühlung, Schallschutz
- Explosionsschutz (Gaswarnanlage, Abschaltungen, Lüftung)



Hinweise zur Planung (3)

⇒ VERBRAUCHSITUATION AUF DER ARA

- Stromverbrauch (z.B. Tagesspitzen, Betrieb Schlammwässerung)
- Eigenstromerzeugung bevorzugt tagsüber – höhere Stromkosten
- Wärmebedarf sollte jedenfalls abgedeckt werden

⇒ NOTSTROMBETRIEB erforderlich/möglich?

⇒ GESAMTSYSTEM BETRACHTEN

- inkl. Wärmewirtschaft, Gasspeicherung, Bewirtschaftung Faulung, Lüftungsanlage. Explosionsschutz etc.



Garantiewerte für Blockheizkraftwerk und Mikrogasturbine

- ⇒ Elektrischer Wirkungsgrad
- ⇒ Thermischer Wirkungsgrad
- ⇒ Abgaswerte
- ⇒ Schallemissionen
- ⇒ Betriebsmittelverbrauch (z.B. Öl)
- ⇒ Wartungsaufwand (z.B. 5 Std. pro Woche)



Garantiewerte für Blockheizkraftwerk und Mikrogasturbine

- ⇒ Zur Sicherstellung der Funktionstüchtigkeit und Wirtschaftlichkeit werden **Garantiewerte** gefordert.
- ⇒ In der Praxis findet man häufig Garantiewerte für den **elektrischen Wirkungsgrad**.
 - Nennleistung: 100 %
 - Teillastbetrieb z.B. 80% und 60%
- ⇒ Diese Angaben werden für die **Bestbieterermittlung** verwendet.

Elektrischer Wirkungsgrad

⇒ Der elektrische Wirkungsgrad eines BHKW wird aus der abgegebenen **elektrischen Energie** und der zugeführten **chemischen Energie** des Faulgases berechnet.

$$\eta_{el}[\%] = \frac{\text{elektrische Energie [kW]}}{\text{Energie Faulgas [kW]}} \cdot 100$$

⇒ Es ist zu vereinbaren, ob der **Eigenverbrauch** der Kühleinrichtungen, der Gasaufbereitung, etc. berücksichtigt werden soll.

Thermischer Wirkungsgrad

⇒ Der thermische Wirkungsgrad eines BHKW wird aus der abgegebenen **thermischen Energie** und der zugeführten **chemischen Energie** des Faulgases berechnet.

$$\eta_{th}[\%] = \frac{\text{thermische Energie [kW]}}{\text{Energie Faulgas [kW]}} \cdot 100$$

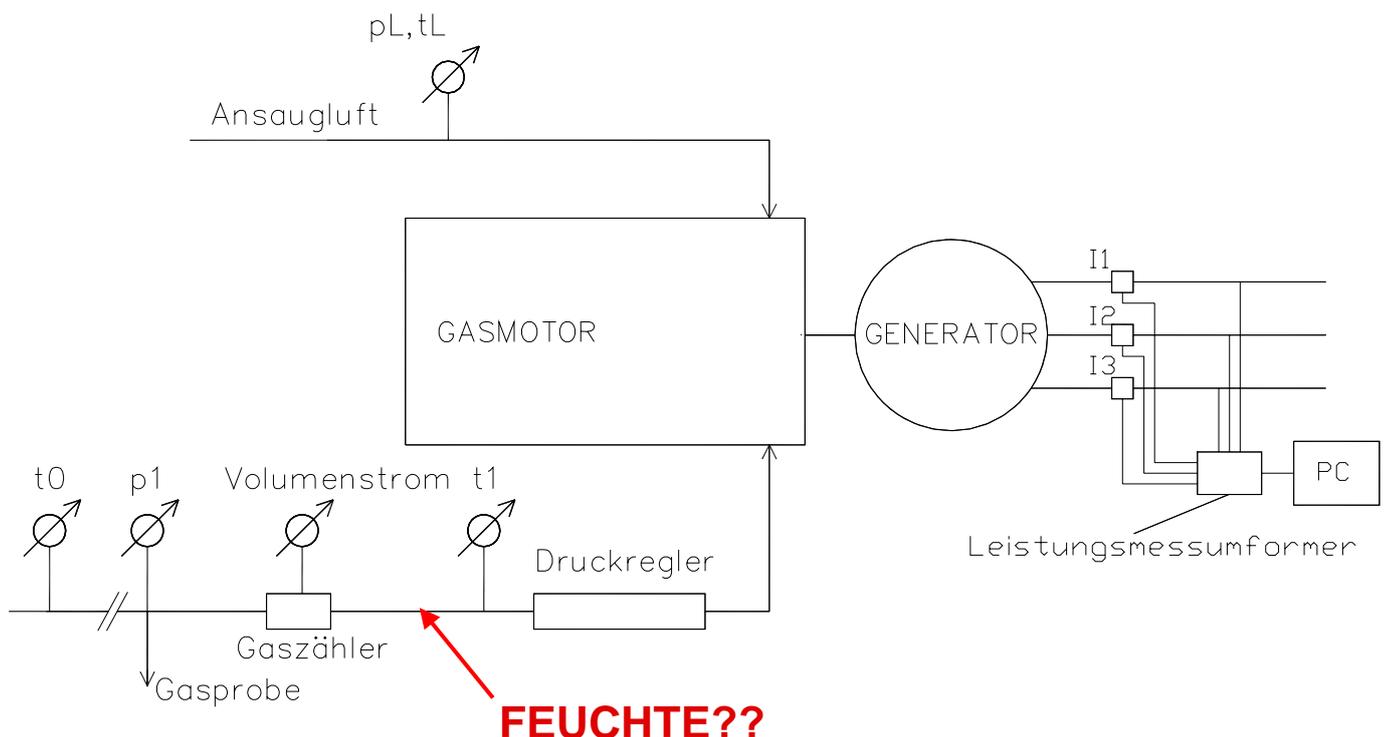
⇒ Die abgegebene thermischen Energie besteht in der Regel aus mehreren Teilen, z.B:

- Wärmeenergie aus dem Kühlwasser
- Wärmeenergie aus dem Abgas

Durchführung von Abnahmemessungen - Aufgaben

- ⇒ Messung der abgegebenen elektrischen Leistung.
 - Ermittlung der Leistungsaufnahme der Nebenaggregate. (z.B. Kühlwasserpumpen, Gasverdichter)
- ⇒ Die Bestimmung der mit dem Faulgas zugeführten Energie.
 - Volumenstrom
 - Druck
 - Temperatur
 - Gaszusammensetzung

Durchführung von Abnahmemessungen - Anlagenschema



Elektrische Leistung

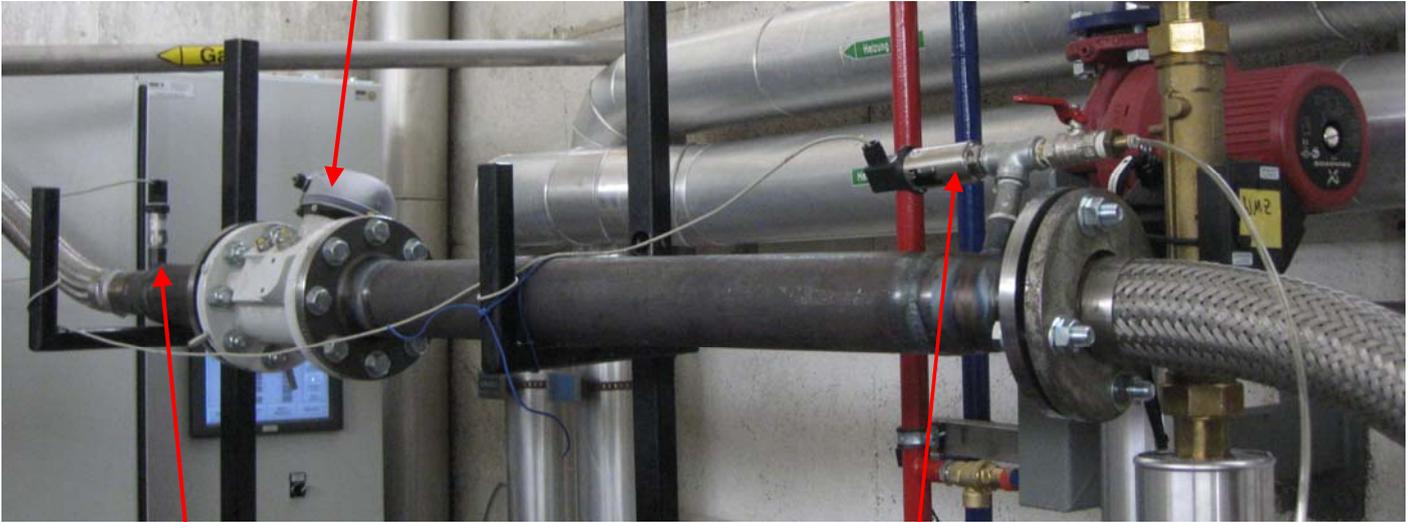


Energieeffiziente Faulgasnutzung, Linz 2010 10 13

Energie im Faulgas

- ⇒ Zur Bestimmung der mit dem Faulgas zugeführten Energie, muss der **Massenstrom** des Methangases ermittelt werden.
- ⇒ Die Messung von Faulgasvolumenströmen ist eine **anspruchsvolle** messtechnische **Aufgabe**.
- ⇒ Für Abnahmemessungen hat sich in der Praxis das Prinzip des **Turbinenradzählers** bewährt.
- ⇒ Der Turbinenradzähler misst den **Betriebsvolumenstrom**. Zur Umrechnung auf den Massenstrom sind die **Zustandsgrößen** (Druck, Temperatur) des Faulgases ebenfalls zu messen. Auch die Feuchte hat wesentlichen Einfluss auf das Endergebnis.
- ⇒ Mit dem Ergebnis der **Gasanalyse** kann nun der Energieinhalt des Faulgasstromes berechnet werden.

Turbinenradzähler



Temperaturmessung

Druckmessung

Gasprobenahme





Gasanalyse

Probenbezeichnung: BAFE053
Probenahmedatum: 04.02.10
Labornummer: 1001220-001
Material: Gas

	Gehalt	Einheit	BG	Methode
Sauerstoff	u.d.B.	Vol%	0,1	DIN 51872-04-A (GC-WLD)
Stickstoff	0,2	Vol%	0,1	DIN 51872-04-A (GC-WLD)
Kohlendioxid	37,9	Vol%	0,1	DIN 51872-04-A (GC-WLD)
Methan	61,9	Vol%	0,1	DIN 51872-04-A (GC-WLD)
Ethan	u.d.B.	Vol%	0,01	DIN 51872-04-A (GC-WLD)
Propan	u.d.B.	Vol%	0,01	DIN 51872-04-A (GC-WLD)
i-Butan	u.d.B.	Vol%	0,01	DIN 51872-04-A (GC-WLD)
n-Butan	u.d.B.	Vol%	0,01	DIN 51872-04-A (GC-WLD)
Heizwert Hi	22220	kJ/m ³		berechnet
Heizwert Hi	6,18	kWh/m ³		berechnet

BG = Bestimmungsgrenze

u.d.B. = unter der Bestimmungsgrenze



Ergebnis einer Abnahmemessung

	LASTBEREICH			
	100 %	75 %	50 %	
Volumenstrom Gas_N_trocken	44,6	34,4	25,1	Nm ³ /h
CH ₄	61,9	61,9	61,9	vol%
CO ₂	37,9	37,9	37,9	vol%
N ₂	0,2	0,2	0,2	vol%
Volumenstrom CH ₄ _trocken	27,60	21,28	15,51	Nm ³ /h
Energie_EIN	275,2	212,2	154,6	kW
Elektr_Energie_AUS	100,8	75,4	50,0	kW
elektrischer Wirkungsgrad	36,6%	35,6%	32,3%	-
GARANTIEWERT	36,43%	35,07%	32,90%	
MINDESTWERT	34,6%	33,3%	31,3%	
DIFFERENZ	0,6%	1,4%	-1,7%	



**Danke für Ihre
Aufmerksamkeit!**

aab.frey@aon.at