

Energie auf Kläranlagen



zukunft
SEIT 1909
denken



Bau &
Umwelt
iwr

Verstromung von Klärgas

Wilhelm Frey

AAB Frey
Abwassertechnische
Ausbildung und Beratung



Inhalte

- **Faulgasanfall, Faulgaszusammensetzung und Energieinhalt**
- **Faulgasaufbereitung**
 - Entschwefelung, Siloxanentfernung, Methananreicherung
- **Faulgasverwertung**
 - Gasmotor
 - Mikrogasturbine
 - Einspeisung in Gasnetz
- **Feststellung der Wirkungsgrade**
 - elektrisch
 - thermisch



FAULGASANFALL – ZUSAMMENSETZUNG - ENERGIE

- Der Gasanfall ist abhängig von der Menge an **organischem Material**, vom Stabilisierungsgrad sowie von den Faulparametern (Temperatur, pH-Wert, Aufenthaltszeit, etc.)
- Bezogen auf die organische Schlammmasse entstehen ca. **500 [Liter Methan pro kg oTS]**
- Bezogen auf EW und Tag ca. **15 - 20 [Liter Faulgas pro Einwohner und Tag]**
- Faulgas besteht aus **ca. 2/3 Methan** und 1/3 Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff und Wasserdampf
- Reines Methan ca. 36.000 kJ/m_N^3 ($10,0 \text{ kWh/m}_N^3$)
- Faulgas mit 65 % Methan ca. 24.000 kJ/m_N^3 ($6,5 \text{ kWh/m}_N^3$)
- Verstromung ca. 30 – 40 % elektrischer Wirkungsgrad ca. **1,9 – 2,5 kWh/m_N³ Faulgas**



FAULGASAUFBEREITUNG (1)

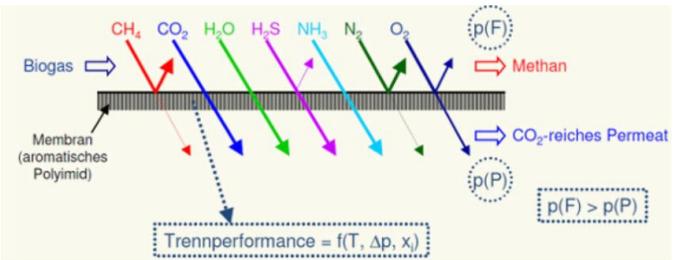
- **Zurückhaltung von Partikeln:** Verschmutzungen im Rohrleitungssystem. Störungen in nachgeschalteten Anlagenteilen
- **Entfeuchtung:** Kondensatanfall wird reduziert und Brennwert des Gases wird erhöht.
- **Entschwefelung:** Schmiermittel von Faulgasmotoren werden von H_2S angegriffen. → Korrosion; SO_2 im Abgas.
 - Einsatz von eisenhaltigen Fällmitteln zur Phosphorentfernung
 - Trockengasentschwefelung mit Raseneisenerz (auch Einturmentschwefler)
 - **Biologische Entschwefelung** (derzeit aktuelles Verfahren)
- **Entfernung von Siloxanen:** Kristalle (Siliziumdioxid) im Brennraum (Verschleiß)
 - Aktivkohleadsorption



FAULGASAUFBEREITUNG (2)

- **Methananreicherung:** Voraussetzung für die Einspeisung in ein Gasnetz

- **Permeationsverfahren** nutzen die geringere Permeabilität von Methan im Vergleich zu CO₂ und anderer Gasbestandteile für die Anreicherung des Methans (> 95 vol.%)



TU Wien, Institut für Umwelttechnik und technische Biowissenschaften

<https://www.axiom.at/>



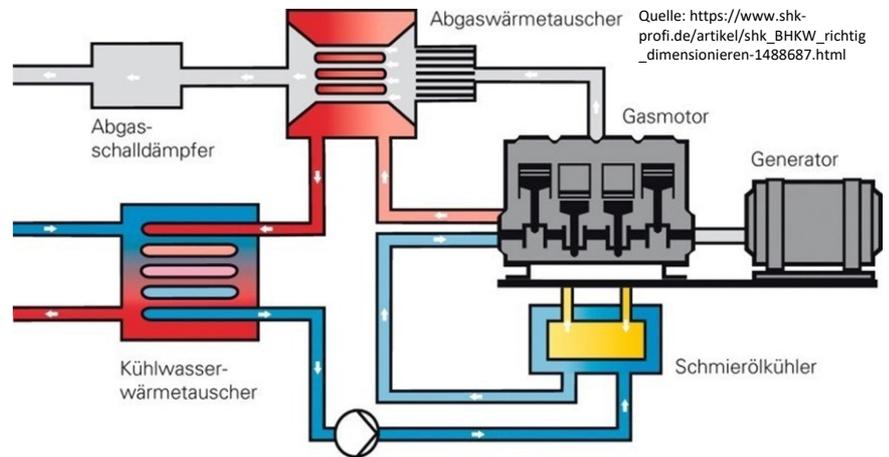
Technische Lösungen zur Faulgasnutzung

- Heizkessel (Gliederkessel)
- **Blockheizkraftwerk (BHKW) - Gasmotor** (30 kW_{el} bis mehrere MW_{el})
 - Ottomotor
 - Zündstrahlmotor (kein Einsatz auf Kläranlagen)
- Mikrogasturbine (30 bis 200 kW_{el})
- Einspeisung in ein Gasnetz (CO₂ Entfernung erforderlich!)
- Sonderlösungen (z. B. Brennstoffzelle)



Blockheizkraftwerk - Aufbau

- Dem Motor wird mit einem Turbolader verdichtetes Faulgas-Luft-Gemisch 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 Abgas, Öl und Kühlwasser enthaltene Wärme kann zum Großteil über Wärmetauscher genutzt werden.



Gasmotor – Ausführung

- **Blockheizkraftwerk (BHKW)**
 - Gasmotor + Generator + Wärmetauscher
 - Abgabe von elektrischer Energie
 - Nutzung auf der Anlage, Einspeisung in das Netz
 - Gewinnung von thermischer Energie
 - Heizung des Faulbehälters, Betriebsgebäude und sonstiger Wärmeverbraucher (z. B. Schlammrocknung)
 - Wirkungsgrad von der Baugröße und Betriebspunkt abhängig
 - Gesamtwirkungsgrade liegen bei 75 bis 85 %
 - typischer elektrischer Wirkungsgrad: ca. 35 % bei 100 kW_{eI}
- Gasmotoren die **direkt** an eine Arbeitsmaschine (z. B. Gebläse) **gekuppelt** sind, werden aktuell selten ausgeführt.



Blockheizkraftwerk - Aufstellung

- Freie Aufstellung im Raum
 - **Vermeiden** von gemeinsamer Aufstellung mit Gebläsen für die Belebung
- Gekapselte Aufstellung im Raum
 - **Zugänglichkeit** für Wartungsarbeiten?
- Aufstellung im Container



Blockheizkraftwerk - Nebenaggregate (Eigenverbrauch)

- Kühlwasserpumpen
- Ölpumpe
- Zündgasverdichter
- Gasverdichter
- Gemischkühler
- Ventilatoren, usw.



Blockheizkraftwerk - Wirkungsgradbestimmung

• Elektrischer Wirkungsgrad

- Definition der abgegebenen elektrischen Leistung
 - Leistungsabgabe des **Aggregates** (Generator minus Nebenantriebe)
 - Leistungsabgabe des **Generators**

$$\text{elektrischer Wirkungsgrad [\%]} = \frac{\text{abgegebene elektrische Leistung [kW]}}{\text{zugeführte chemische Leistung [kW]}} \times 100$$

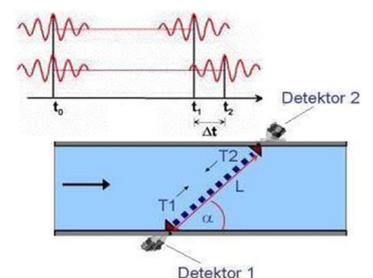
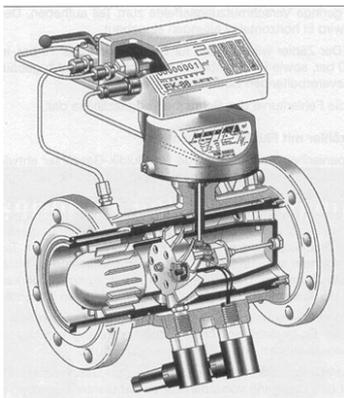
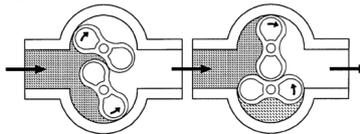
- In der Garantieerklärung wird der Wirkungsgrad häufig mit der vom Generator erzeugten elektrischen Leistung berechnet.



Wirkungsgradbestimmung – Hinweise (1)

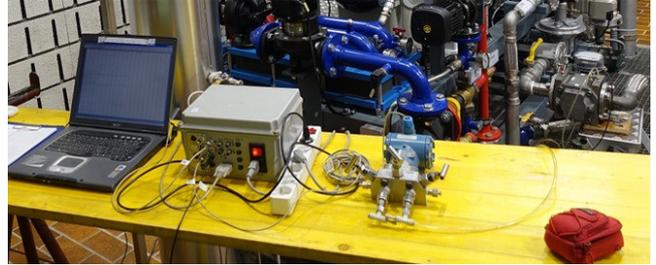
• Volumenstrommessung für Faulgas geeignet sind:

- **Drehkolbengaszähler**
- Turbinenradzähler
- **Ultraschallmitführeffekt**
- (Drosselgeräte; Blenden, Düsen, ...)



Wirkungsgradbestimmung – Hinweise (2)

- Messung der **Zustandsgrößen** des Faulgases (Druck, Temperatur, Feuchte)
 - notwendig für die Umrechnung auf Normkubikmeter
 - Feuchte oft nur über die tiefste Temperatur im System berechenbar
- **Probenahme (Gasanalyse)**
 - keine Luft!
 - eindeutige Probenbezeichnung



	Gehalt	Einheit	BG	Methode
Sauerstoff	1,3	Vol%	0,1	DIN 51872-4
Stickstoff	4,9	Vol%	0,1	DIN 51872-4
Kohlendioxid	38,1	Vol%	0,1	DIN 51872-4
Methan	55,7	Vol%	0,1	DIN 51872-4



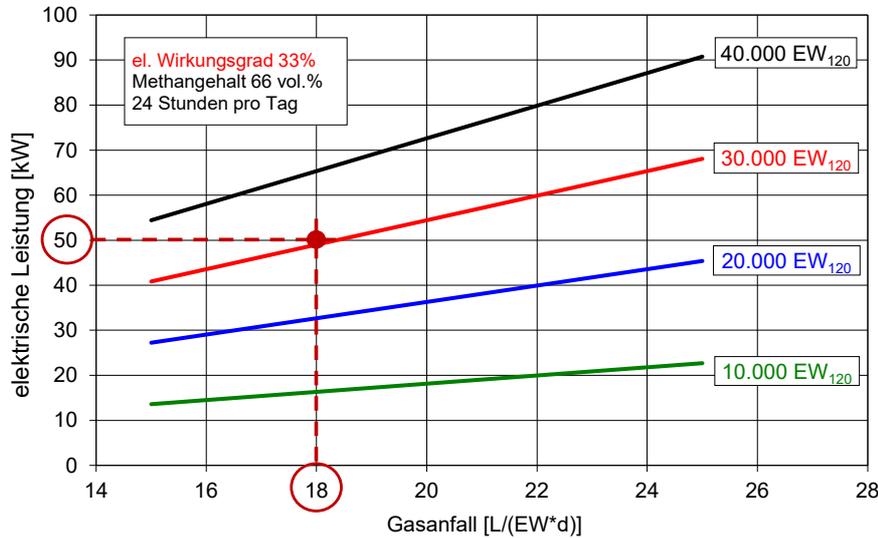
Blockheizkraftwerk - Gebrauchseigenschaften

- **Stärken**
 - 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
 - **ausgereifte Maschinenteknik** > 100.000 Betriebsstunden
 - Investitionskosten tendenziell gering
- **Schwächen**
 - hoher Methangehalt notwendig
 - Notkühlung erforderlich, wenn keine Abwärmenutzung erfolgt
 - hohe Lärmentwicklung
 - **empfindlich** auf **Schwefelwasserstoff**
 - Teillastbetrieb gleiche Kosten pro Betriebsstunde → weniger elektrische Energie → spezifisch teurer
 - Betriebskosten tendenziell hoch (Service + Öl + Kerzen)



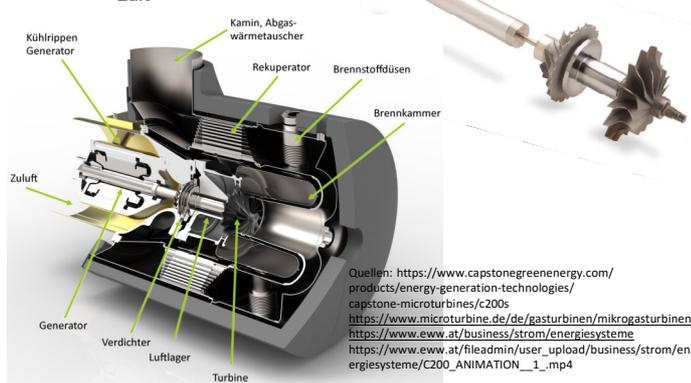
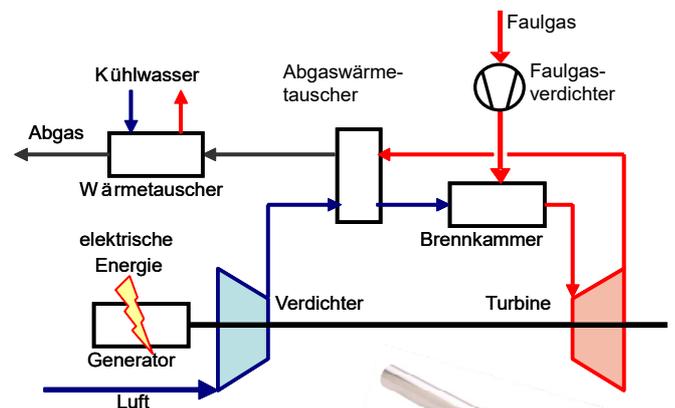
Zusammenhang Baugröße - Gasanfall

Aus dem Diagramm erkennt man, dass z. B. bei einem Gasanfall von 18 L/EW₁₂₀/d ab einer Anlagengröße von 30.000 EW₁₂₀ ein Aggregat mit 50 kW_{el} im Dauerbetrieb betrieben werden kann.



Mikrogasturbine - Funktion

- Die **Verbrennungsluft** wird über den Generator (Kühlung) angesaugt, im Kompressor **verdichtet** (ca. 4 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, das Verdichterslaufrad und der Generatorläufer. Es wird ein hochfrequenter Wechselstrom erzeugt und in 50 Hz umgewandelt.



Quellen: <https://www.capstonegreenenergy.com/products/energy-generation-technologies/capstone-microturbines/c200s>
<https://www.microturbine.de/de/gasturbinen/mikrogasturbinen>
<https://www.eww.at/business/strom/energiesysteme>
https://www.eww.at/fileadmin/user_upload/business/strom/energiesysteme/C200_ANIMATION_1_.mp4



Mikrogasturbine - Gebrauchseigenschaften

• Stärken

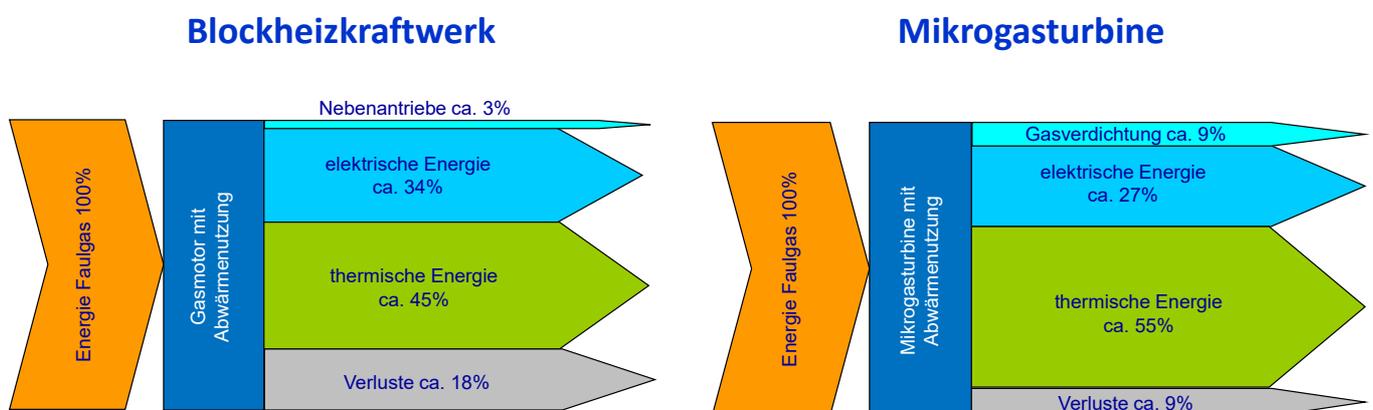
- für geringe Methangehalte geeignet (ab 35 %)
- niedrige Abgasemissionen (NO_x)
- geringer Wartungsaufwand; Luftlagerung; kein Öl (ausgenommen Gasverdichter)
- **Abgaswärmetauscher mit Umgehung**, keine Notkühlung erforderlich
- geringe Schallemissionen
- gute Teillastfähigkeit

• Schwächen

- elektrischer Wirkungsgrad geringer als BHKW (hoher Eigenbedarf)
- Gasaufbereitung und Verdichtung erforderlich (ca. 10 % der Energieproduktion)
- Fremdenergie für Start- und für Gasverdichtung
- Notstrombetrieb nur mit optionalen Zusatzeinrichtungen
- Investitionskosten tendenziell hoch



Faulgasverwertung – Vergleich Energiebilanz



Die Zahlenwerte sind typisch für übliche Baugrößen auf kommunalen Kläranlagen.





Wilhelm Frey
 aab.frey@kabsi.at
 www.aabfrey.com

Literaturhinweise



http://www.aabfrey.com/wp-content/uploads/2011/05/Linz_Faulgas_2011_k.pdf



https://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjwibzYjp6EAxVtUkH5yByQQFn0ECBUQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.nachhaltigwirtschaften.at%2Fresources%2Fnw_pdf%2F0519a_biogasnetzeinspeisung_kurzfassung.pdf&usq=AOvVaw3ycjQWbzbuj4jhc50XPKA7&opi=89978449



https://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwInQgbZj56EAxWw8gIHVFrAiMQFn0ECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Fnachhaltigwirtschaften.at%2Fresources%2Fnw_pdf%2F0601_biogas.pdf&usq=AOvVaw3rW2gbbQAtGiutv0DWYI8&opi=89978449



http://www.aabfrey.com/wp-content/uploads/2011/09/Text_KAN_2011.pdf



<https://www.oewav.at/Kontext/WebService/SecureFileAccess.aspx?fileguid={78547877-8b02-42cb-bd3c-d9af5f681ca4}>



http://www.aabfrey.com/wp-content/uploads/2012/03/TU_Sem_2012_Text.pdf



http://www.aabfrey.com/wp-content/uploads/2014/09/Text_Frey_Kan_Faulgas_2014.pdf