

# **Prinzipien und Stand der Technik bei der Schwachgasbehandlung**

Dr.-Ing. Jan Liebetrau

Rytec GmbH

**Emissionen im Fokus: Gülle- und Gärproduktlager auf dem Prüfstand –  
Messmethoden, Technik und Minderungsansätze**

# Rytec – Kurzvorstellung



## Wir sind...

- ... unabhängige Ingenieure und Techniker
- ... erfahrene Planer für verfahrens- und energietechnische Anlagen
- ... spezialisiert auf die Bereiche Biogas und Deponiegas
- ... sind in Deutschland, Frankreich und der Schweiz aktiv

## Wir bieten an...

- ... alle Planungsleistung in den Bereichen Biogas, Deponiegas, Abfall- Energieanlagen
- ... Betrieb und Service von BHKW, Biogasanlagen und Deponiegasanlagen
- ... Dienstleistungen für Deponiebetreiber und Biogasanlagenbetreiber
- ... Beratung und Machbarkeitsstudien
- ... Anlagenbau als GU
- ... individuelle und technologieoffen Lösungen in enger Abstimmung mit dem Kunden

## Unsere Werte...

- ... wirtschaftliches Denken und Handeln beim Planen, Bau und Betrieb
- ... respektvoller Umgang mit Partnern und Kunden
- ... Ressourcen schonen, Energie effizient nutzen und Emissionen mindern

### Rytec GmbH

Engineering für Abfalltechnologie  
und Energiekonzepte



#### Engineering

Pariser Ring 37  
76532 Baden-Baden



#### Service und Betrieb

Außerhalb 1  
63303 Dreieich



# Inhalt

- Grundlagen und Prinzipien der Verbrennung von methanhaltigen Gasen
- Technologien zur Schwachgasbehandlung
- Explosionsschutz
- Dimensionierung und technische Umsetzung
- Kosten

# Eigenschaften Methan



## Eigenschaften von Methan

Summenformel	CH <sub>4</sub>
Durchschnittliche Verweildauer in der Atmosphäre	12,4 Jahre
Treibhauspotenzial im Vergleich zu Kohlendioxid	Über 20 Jahre: 84-fach; über 100 Jahre 28-mal so hoch (IPCC AR 5)
Aggregatzustand bei 1013 mbar und 293,15 K	gasförmig
Farbe/Geruch	Farblos/geruchlos
Dichte bei 1013 mbar und 273,15 K	0,7175 kg/m <sup>3</sup>
Zündtemperatur	595 °C
Untere und obere Explosionsgrenze	4,4 Vol.-% - 16,5 Vol.-%
Löslichkeit in Wasser bei 293,15 K und 1013 hPa	24,4 mg/l
Flammentemperatur	1970 °C

# Gase mit geringem Methangehalt

## Biogastechnologie

- Abgase von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK)
- Abgase aus der Biogasaufbereitung
- Offene und nicht gasdichte Gärrestlagerung

## Landwirtschaft

- Tierhaltung, insbesondere Güllewirtschaft oder Güllelagerung

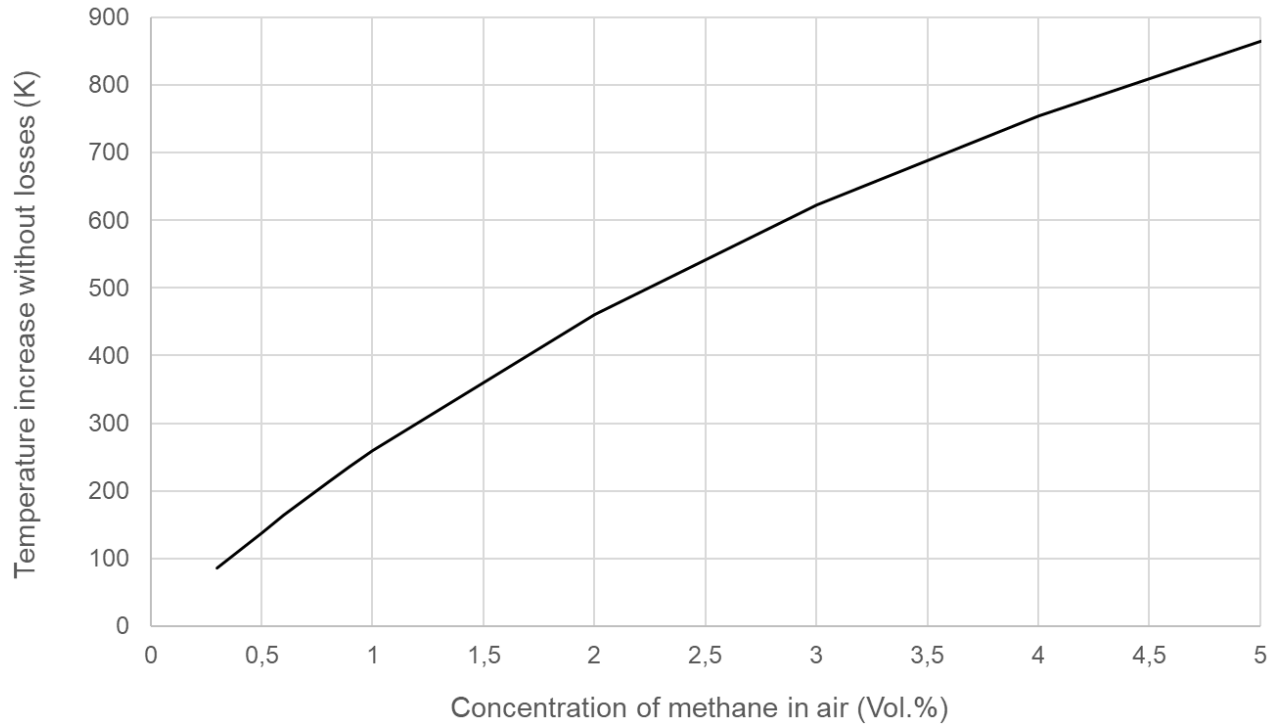
## Abfallwirtschaft

- Deponien
- Biologische Abfallbehandlung, z. B. Kompostierung, Absaugung von Luft aus Abfall- oder Produktumschlagbereichen

# Einflussfaktoren auf den Verbrennungsprozess



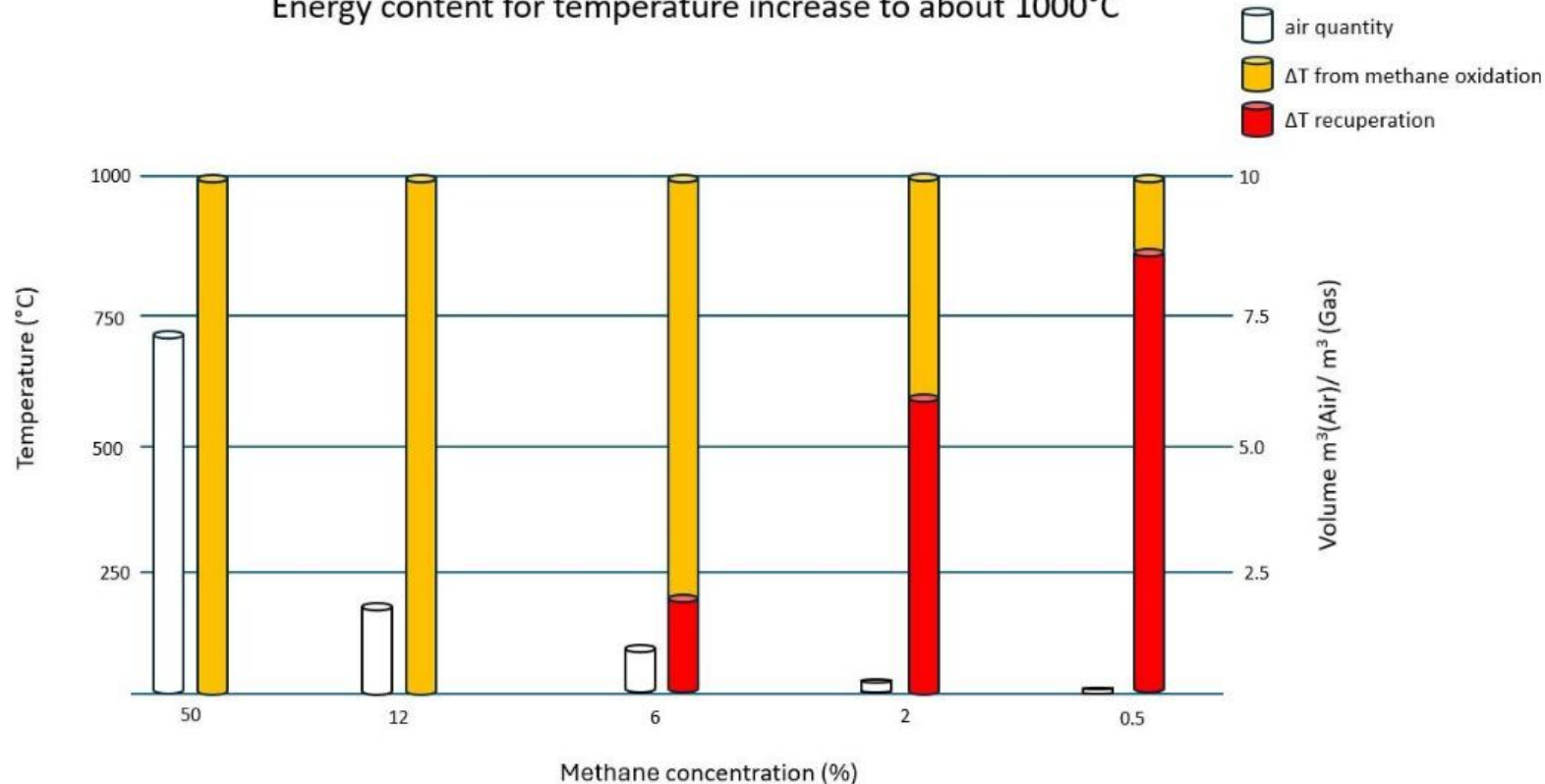
Temperature increase of air resulting from energy from methane oxidation energy equivalent retrieved from different concentration levels (Mixture with  $\lambda=1,5$ , net calorific value) in K (no losses)



- Brenngas
- Verweilzeit,
- Verbrennungstemperatur,
- Temperaturverteilung,
- Turbulenz und
- (Überschüssiger) Sauerstoff

# Prinzip der Verbrennung von methanhaltigen Gasen mit niedrigen Konzentrationen

Energy content for temperature increase to about 1000°C



Zur Oxidation und Temperaturregelung (Lambda) wird Luft zugeführt

Bei hohen Methankonzentrationen wird Luft benötigt, um den Oxidationsprozess zu kühlen

Je niedriger der Methangehalt, desto geringer ist der durch die Oxidation im Gasgemisch verursachte Temperaturanstieg

Je geringer der Methangehalt, desto mehr müssen Verluste minimiert und Wärme zurückgewonnen werden, um die erforderlichen Temperaturwerte zu erreichen

## Oxidation mit Flamme

Fackel (> 35 Vol.% CH<sub>4</sub>)

BHKW (> 25 % CH<sub>4</sub>)

## Flammlose Oxidation

Fackelähnliche Anwendungen („CHC“ > 12 Vol.% CH<sub>4</sub>)

E Flox (> 3 Vol.% CH<sub>4</sub>)

RTO (> 0,4 Vol.% CH<sub>4</sub>)

Katalytische Oxidation

## Biologische Oxidation

Methanoxidationsfilter (ohne Begrenzung)

**Mitverbrennung** (ohne Begrenzung)

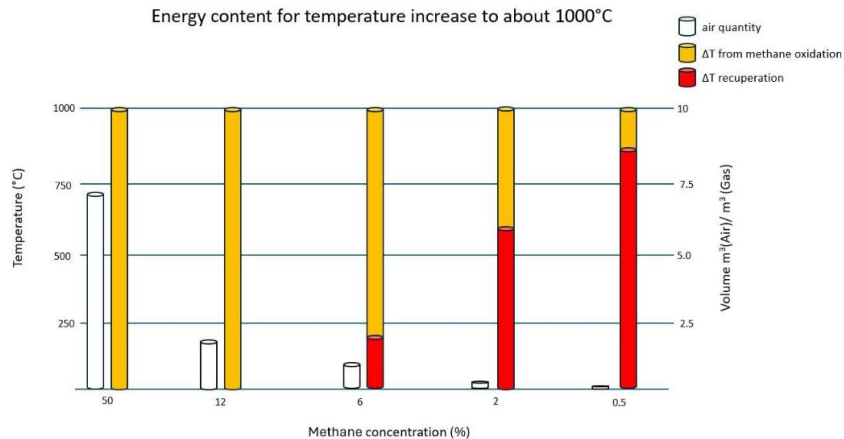
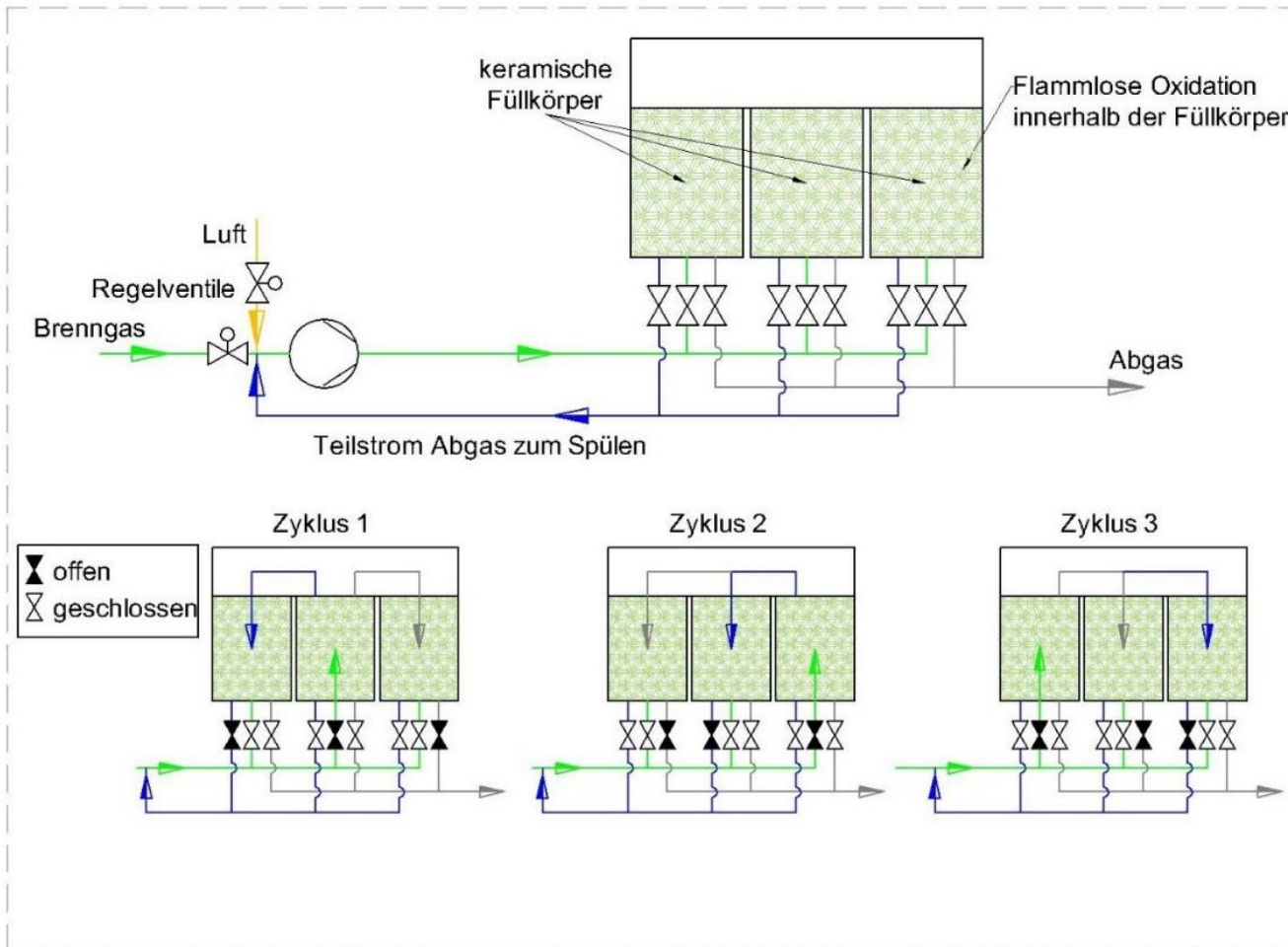


Figure 4: Required air volume (Lambda=1,5) and partition of energy required to reach 1000°C (Temperature increase due to the oxidation of methane respective required recuperation from off gas)

# Verbrennungstechnologie - Regenerative Thermische Oxidation RTO



Wärmeaustausch am keramischen Füllkörper

Diskontinuierliche, wechselnde  
Strömungsrichtungen

Reduzierung von Wärmeverlusten

Niedrige Abgastemperatur

Hohe Wärmerückgewinnungskapazität

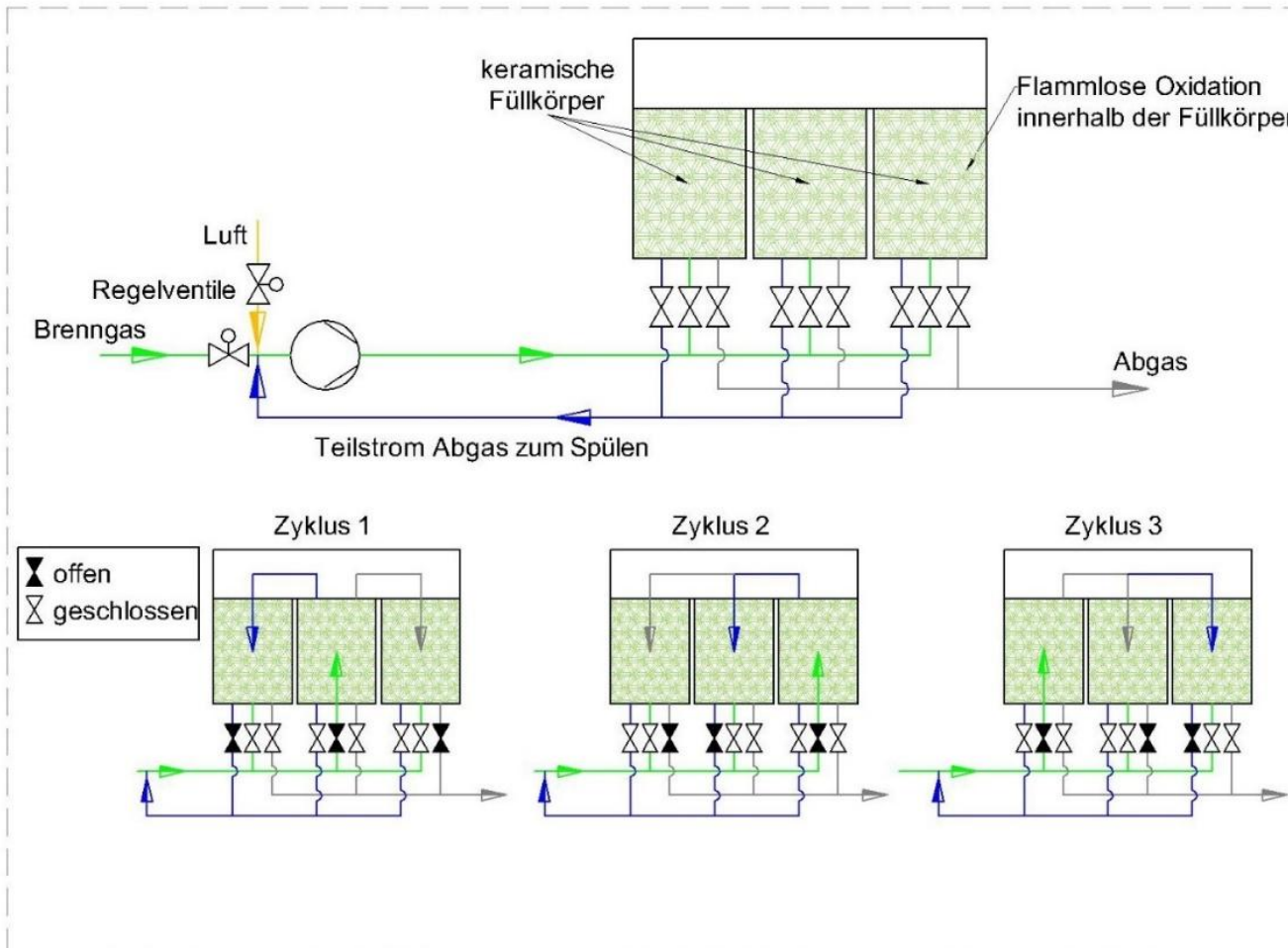
Autotherm ab ca. 0,4 Vol. CH<sub>4</sub>

2-Kammer- und 3-Kammer-Systeme

Einfacher Prozess

Energieintensiver Anlaufprozess

# Verbrennungstechnologie - Regenerative Thermische Oxidation



Bei Start muss aufgeheizt werden

Leistungsbereich 1:8 bis 1:10

Kleinste Leistungsklasse im  
Deponiebereich aktuell < 100 kW

# RTO

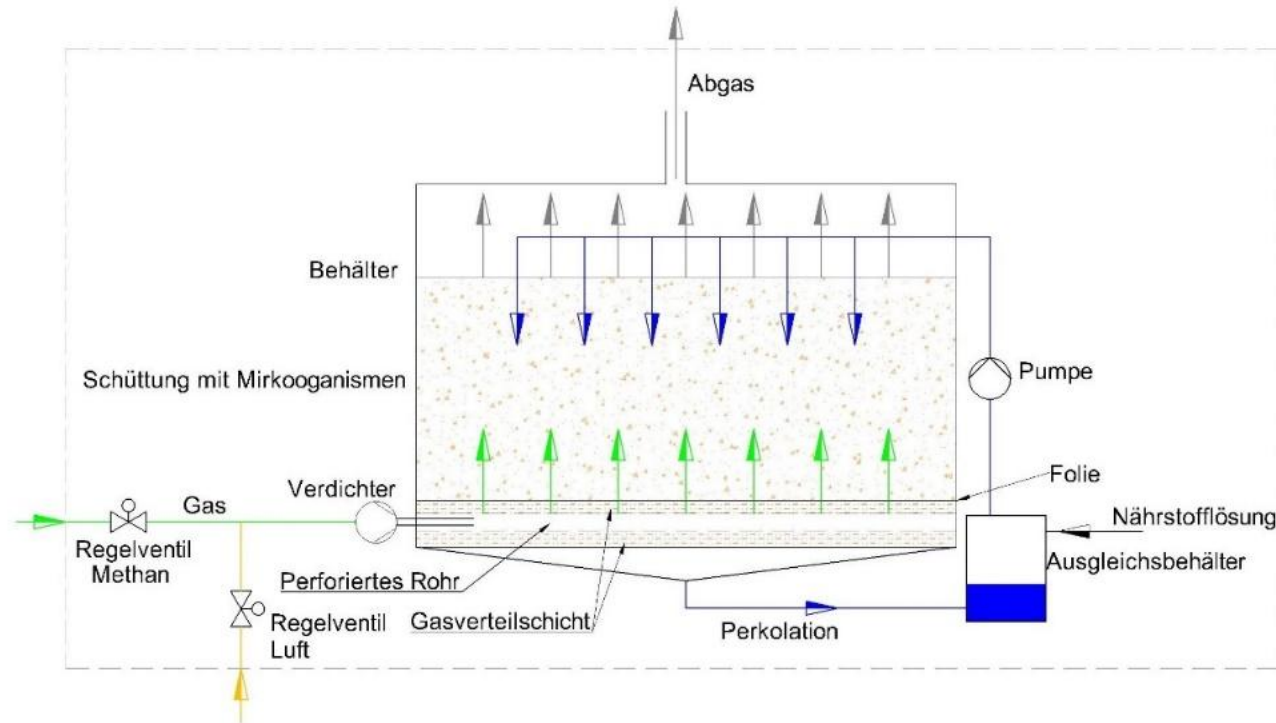
Förderleistung Deponiegas 15 - 150 m<sup>3</sup>/h

10-100 kW thermische Leistung

Zwei Kammer RTO



# Alternative für kleine Anlagen: Biologische Methanoxidation



Aktive Systeme/Passive Systeme in der Deponiegasbehandlung verwendet

Aktive Systeme deutlich weniger dokumentiert als passive Systeme, Leistungsfähigkeit unklar

**Keine Begrenzung wie bei Verbrennungssystemen – Schwankungen können toleriert werden**

# Biologische Methanoxidation - Bemessung



k	v	Ce	Ca	Abbaugrad
h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup>	g/m <sup>3</sup>	g/m <sup>3</sup>	%
2	100	12,6	2,52	80
Volumen	80,47	m <sup>3</sup>	notwendiges Volumen Filter	
Fläche	53,65	m <sup>2</sup>	(1,5 m Filtermaterialhöhe)	
Flächenbelastung	33,6	l CH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> h		
Flächenbelastung	23,5	g CH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> h		

$$V = \frac{1}{k} \cdot \dot{V} \cdot \ln \frac{C_E}{C_A}$$

Nähere Angaben zu den Berechnungen finden sich in [35 bis 37]. Für den Konzentrationsbereich unterhalb von 3 Vol.-% wurden Kinetikkonstanten zwischen 1 und 2,5 h<sup>-1</sup> ermittelt [37, 38]. Hieraus ergeben sich für eine 90 %ige Reinigungsleistung volumenbezogene Filterbettbelastungen zwischen 0,4 und 1,1 m<sup>3</sup>/[m<sup>3</sup> · h].

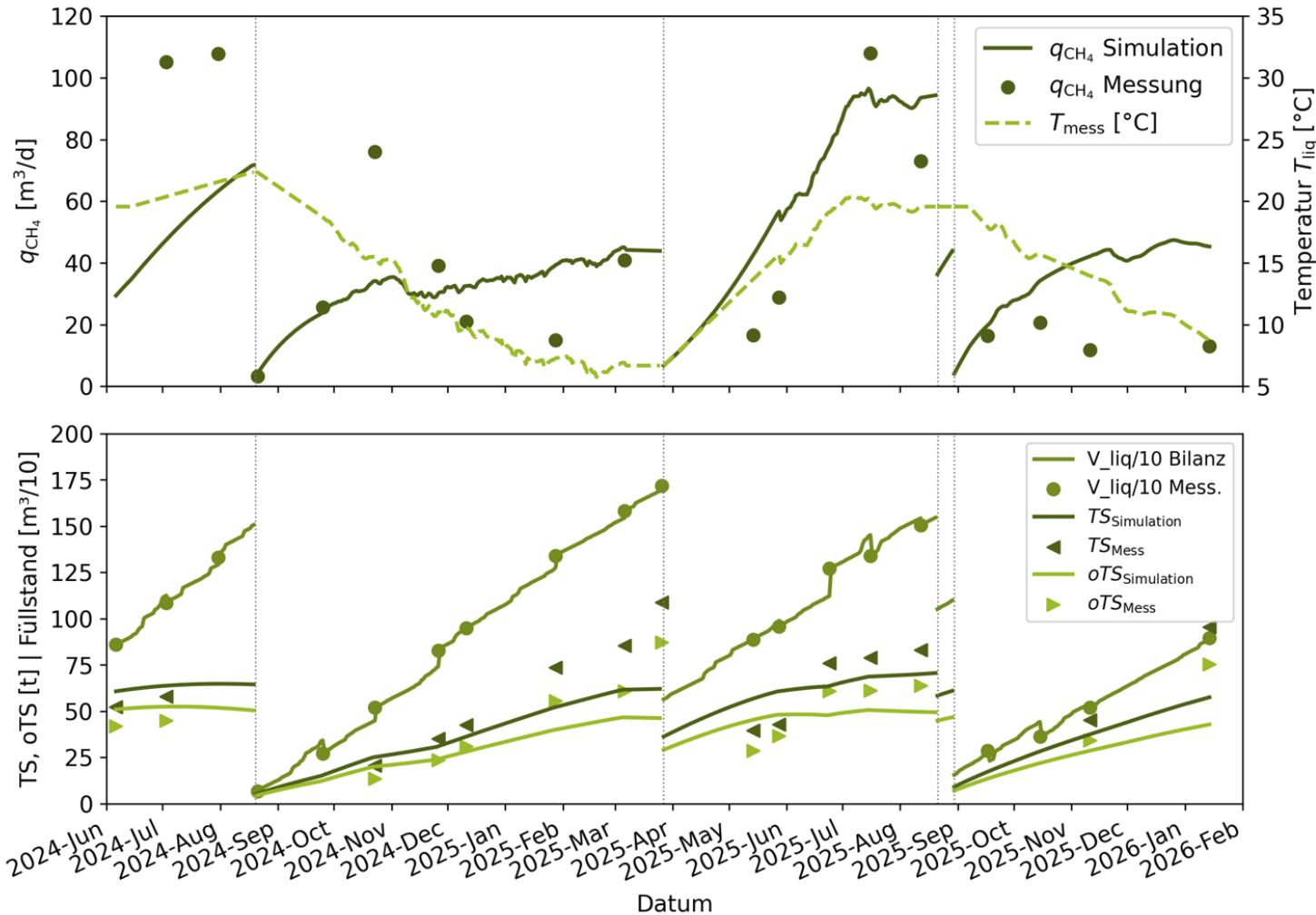
# Biologische Methanoxidation

## Ausführung:

- Gasförderstation im Bestandsgebäude
- Max. Leistung Deponiegasverdichter 150 m<sup>3</sup>/h
- Automatische Luftregelung
- Ca. 2 m<sup>3</sup>/h Methan
- Containerbauweise (verstärktes HDPE) mit 2 in Reihe geschalteten, geschlossenen Containern
- Fläche eines Containers mit den Abmaßen von 9,88 x 2,26 m beträgt ca. 22 m<sup>2</sup>.
- Filtermaterial auf Rostboden aufgebracht
- Filter selbst besteht aus ca. 50 cm starken Schicht Wurzelholz und Filterschicht von ca. 1,4 m Rindenmulch-/Fichtenhackschnitzel/Kompost
- Das Filtervolumen eines Containers beträgt somit ca. 42 m<sup>3</sup>.
- Beregnungsanlage im Deckenbereich mit Rücklauf und Vorlagebehälter



# Randbedingungen im Güllelager



Stark schwankende Gasbildung

Schwankender Füllstand

Luft eintrag durch  
Wetterveränderungen

Luft eintrag durch Austrag der Gülle

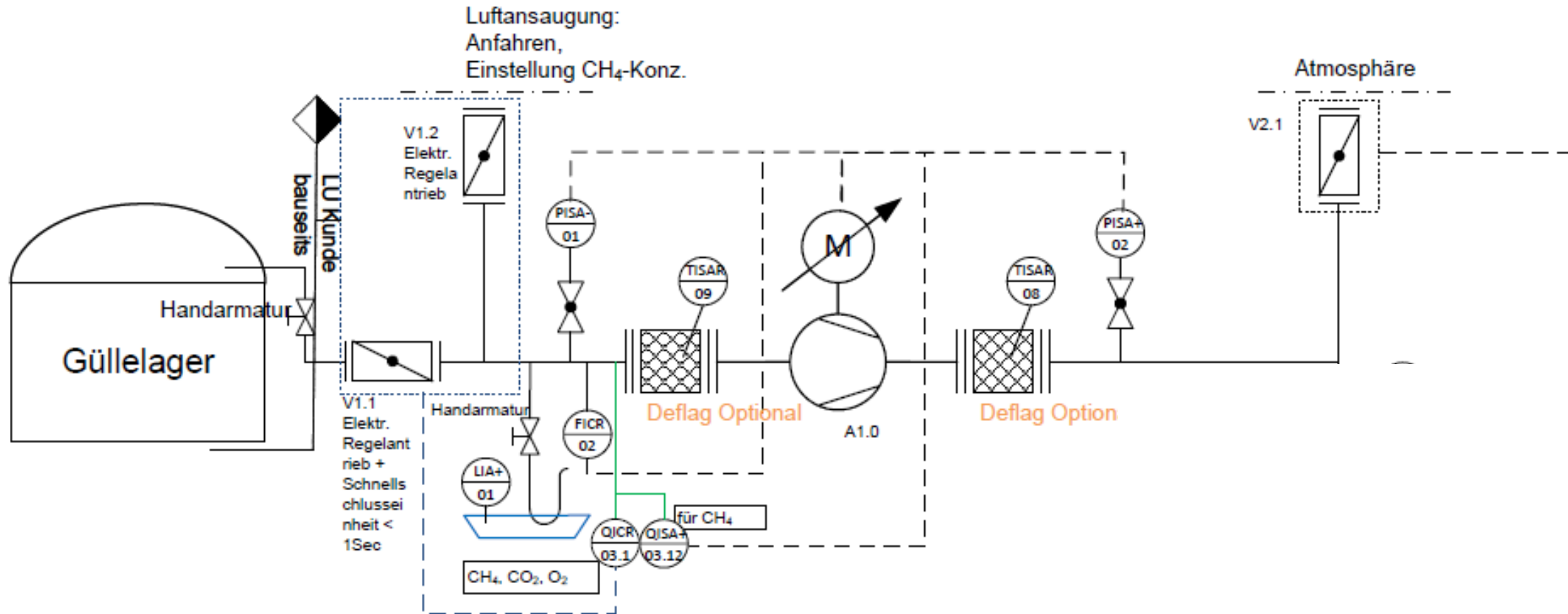
Stark schwankende Konzentrationen  
und explosionsfähige Gemische  
wahrscheinlich

Für eine Behandlung des Gases  
sollte Konzentration geregelt werden

# Explosionsschutz

- Explosionsfähiges Gemisch im Güllelager kann auftreten
- Absaugung von Gas aus dem Gasraum kann daher nur mit entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen erfolgen
- Um bei Absaugung dauerhafte Förderung von explosionsfähigem Gemisch (Zone 0) zu vermeiden, muss Konzentrationsüberwachung und Regelung vorhanden sein
- Mögliches Konzept: Absaugung mit redundanter Methanmessung und Beimischung von Luft, um sicher die Einhaltung von 50 % untere Explosionsschutzgrenze zu gewährleisten
- Überwachung der Konzentration im Gasraum für den Prozess hilfreich
- Dadurch keine Ex – Zone für alle nachfolgenden Technologien, aber auch niedrige Methankonzentration

# Mögliche Anordnung Absaugung

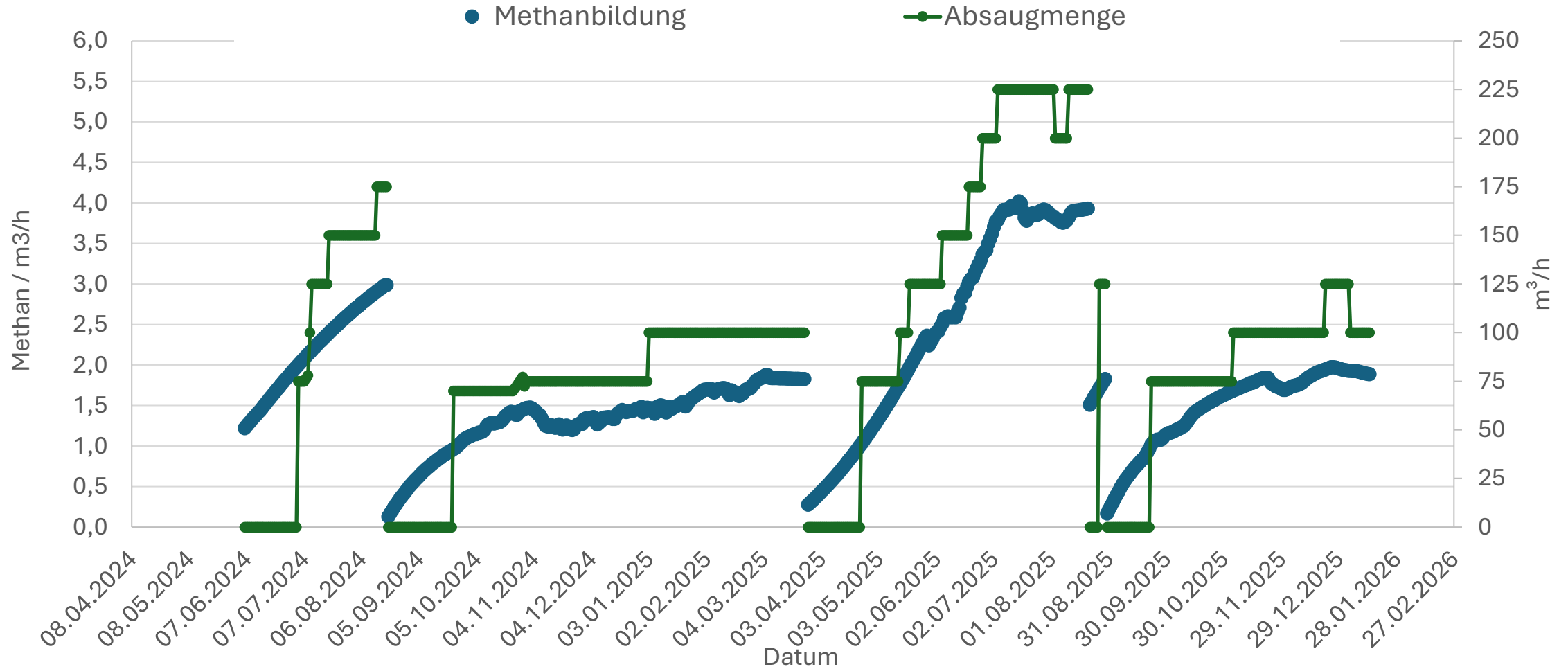


# Absaugung

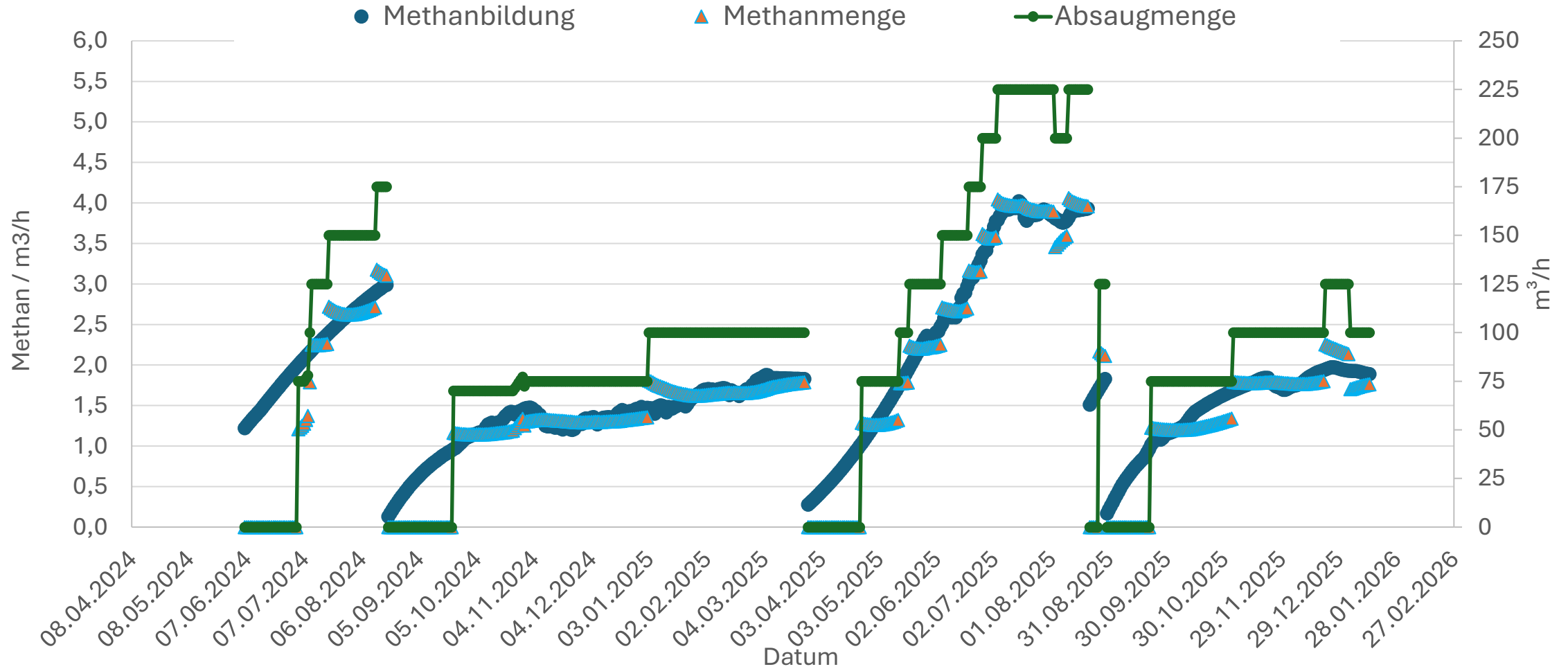


- Absaugung beeinflusst Konzentration im Gasraum, da Luftaustausch gefördert wird
- Methankonzentration und Methanmenge müssen zu Anlagentechnologie passen
  
- Bei Entleerung des Lagers (Gülle wird ausgebracht) werden große Mengen Luft eingesaugt und die Gasbildung wird sehr klein
  
- Bilanzierte Gasbildung:
  - Ca. 1,9 m<sup>3</sup>/h Methan im Mittel
  - Bei 5 m<sup>3</sup> Gülle pro Tag folgt daraus 9 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup> Gülle
  
- Behältervolumen mit Gasraum: 3770 m<sup>3</sup>

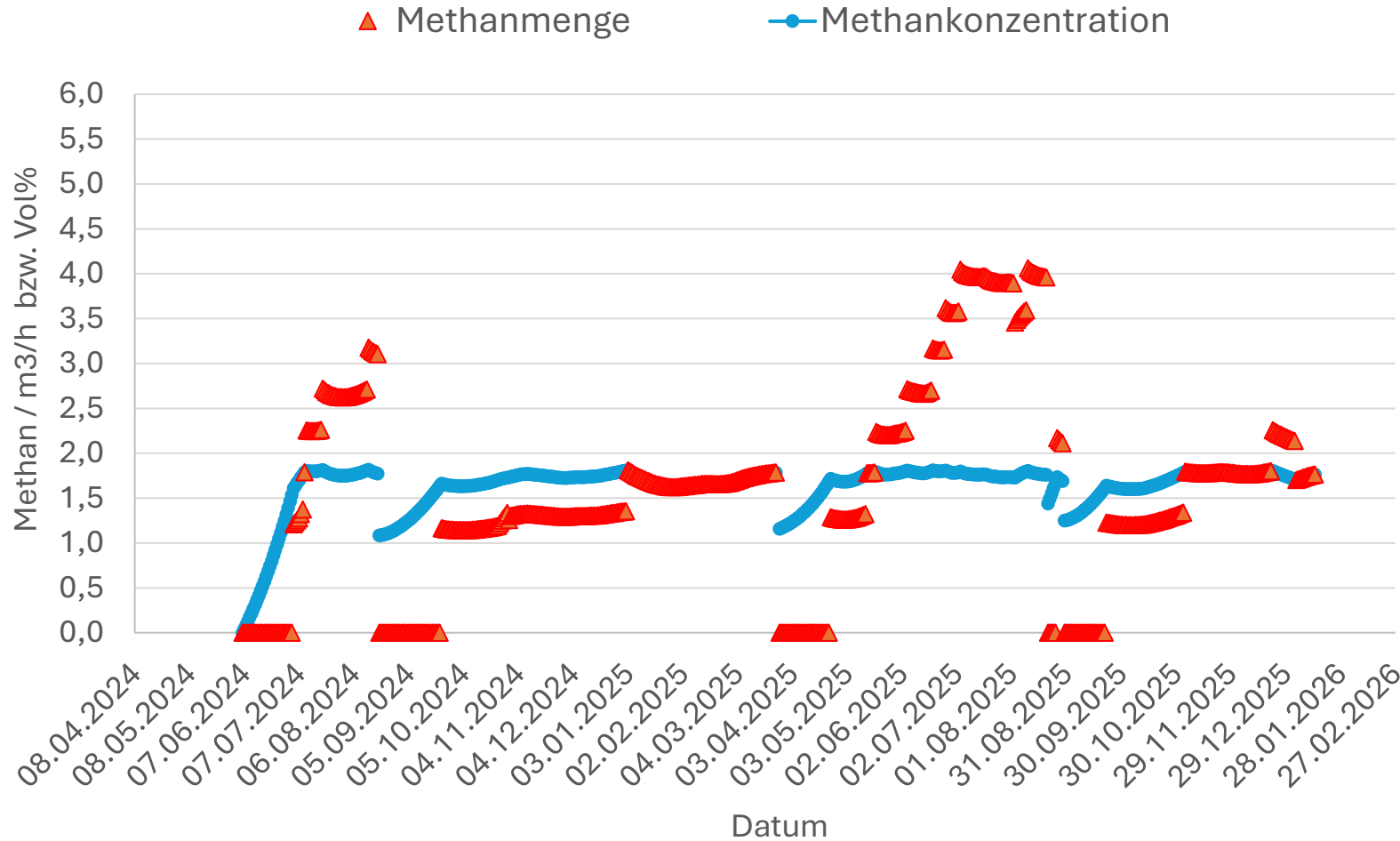
# Absaugung



# Absaugung



# Absaugung



Methankonzentration kann größer 1 % eingestellt werden

Im Versuchszeitraum 4 Stillstandszeiten, 2 pro Jahr

Methanmenge größer 1 m³/h kann eingestellt werden – kann behandelt werden

# Kosten



- 400 000 € Invest auf 20 Jahre; 4,5 % Zins
  - 1 % Wartung/a
  - 8000 Euro Eigenstrombedarf
  - 3000 Euro sonstiges
  - 45 810 € jährliche Kosten
- 
- Bei 5 m<sup>3</sup>/h Methan im Schnitt
  - 55 €/t CO<sub>2</sub> Break even
- 
- Bei 2 m<sup>3</sup>/h Methan im Schnitt
  - 135 €/t CO<sub>2</sub> Break even

# Fazit und Ausblick

Methanemissionen aus Güllelager höher als erwartet

Lager kann mit wenigen Stopps abgesaugt werden

Methanoxidationsfilter und RTO als Verfahren technisch möglich

Emissionsminderung wird aktuell nicht vergütet – Anwendung daher aktuell unwirtschaftlich und damit unwahrscheinlich



**Rytec GmbH**

Engineering für Abfalltechnologie und Energiekonzepte

Pariser Ring 37

D-76532 Baden-Baden

[www.rytec.com](http://www.rytec.com)

+49 - (0)72 21 - 3 77 60 0

engineering@rytec.com