

64. Biogas-Fachtagung Thüringen, Apfelstädt, 31. März 2026

Verbesserte Flexibilisierung von Biogasanlagen durch variable Gärtemperatur

Ingolf Seick

Hochschule Magdeburg-Stendal
FB Wasser, Umwelt, Bau und Sicherheit
AG Siedlungswasserwirtschaft/Abwasser (Prof. Dr.-Ing. Jürgen Wiese)

Email: ingolf.seick@h2.de
Tel: 0391-886 4365
URL: h2.de/abwassergruppe



Gliederung

1. Einleitung
2. Überblick zur Erprobung im Labor/Technikum und Modellierung
3. Wo sehen wir Anwendungspotenziale?
4. Wie kann eine praktische Realisierung aussehen?
5. Zusammenfassung und Ausblick

Abschnitt 1

Einleitung

- FuE zur Optimierung, Modellierung und Simulation von Biogasanlagen im Rahmen der Arbeitsgruppe Siedlungswasserwirtschaft / Abwasser
- Durch Betrieb von Laborfermentern und eine Technikumsanlage werden diese Aktivitäten unterstützt
- Seit 2016 drei Projekte zu Verfahrensentwicklungen für flexibilisierte Biogasanlagen mit Untersuchungen zur Variation der Gärtemperaturen
 - „ThermoFlex“ → Wärmespeicherung im (thermophilen) Nachgärer
FKZ: 03KB142A-E [1]
 - „ThermoFlex-WAVE“ → Weiterentwicklung, Anpassung, Validierung, Erprobung
FKZ: 03KB142A-E [2]
 - „**flexigast**“ → s. folgende Folien
FKZ: 03EI5424A-E [3]



Gefördert durch:



Projektträger:

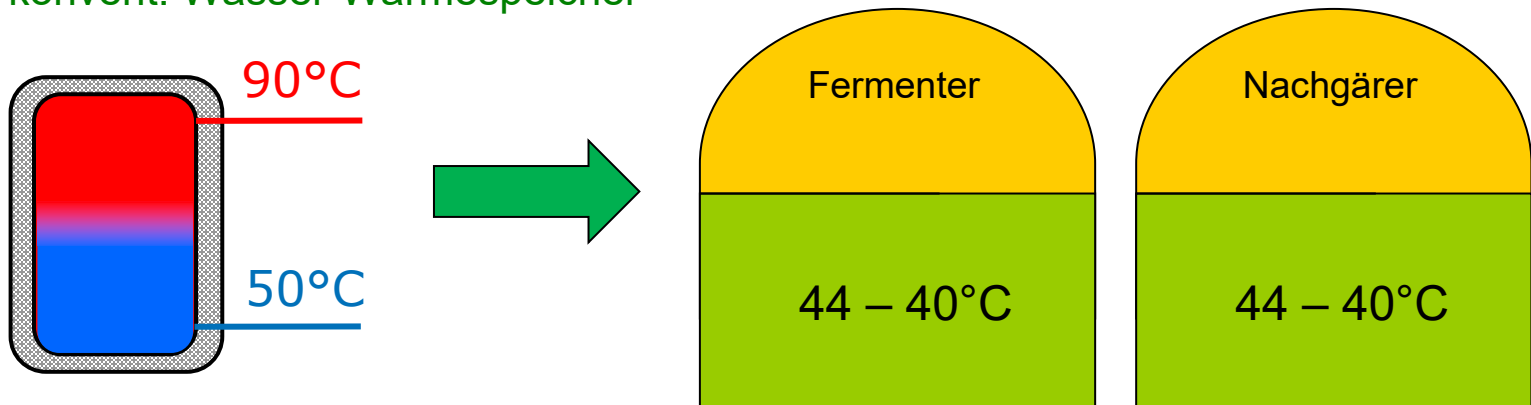


Was ist der Ansatz?

- Bessere Flexibilisierung von Biogasanlagen (Gasproduktion und Wärmespeicherung) durch gezielte **Variation Gärtemperatur**
 - abgestimmt mit **flexibler Fütterung**
 - wenn BHKW aus (Stromfahrplan, z. B. am WE): $T_{\text{Fermenter}} \downarrow$ und Fütterung $\downarrow$
 - wenn BHKW an: $T_{\text{Fermenter}} \uparrow$ und Fütterung $\uparrow$
- Wärmemanagement unterstützt durch Wärmepumpe
 - sowie ggf. durch „Nachgärer-Wärmespeicher“
 - und optional auch Wärmerückgewinnung aus dem Gärrest

z. B. Wärmespeicherung in 500 m³
konvent. Wasser-Wärmespeicher

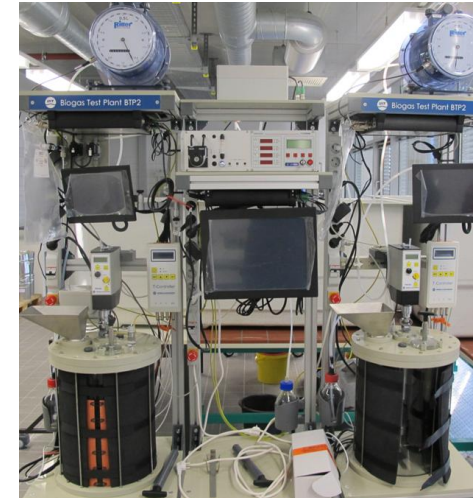
entspr. $\Delta T = 4 \text{ K}$ in 2 x 2.500 m³ Gärbehältern



Abschnitt 2

Überblick zur Erprobung im Labor/Technikum und Modellierung

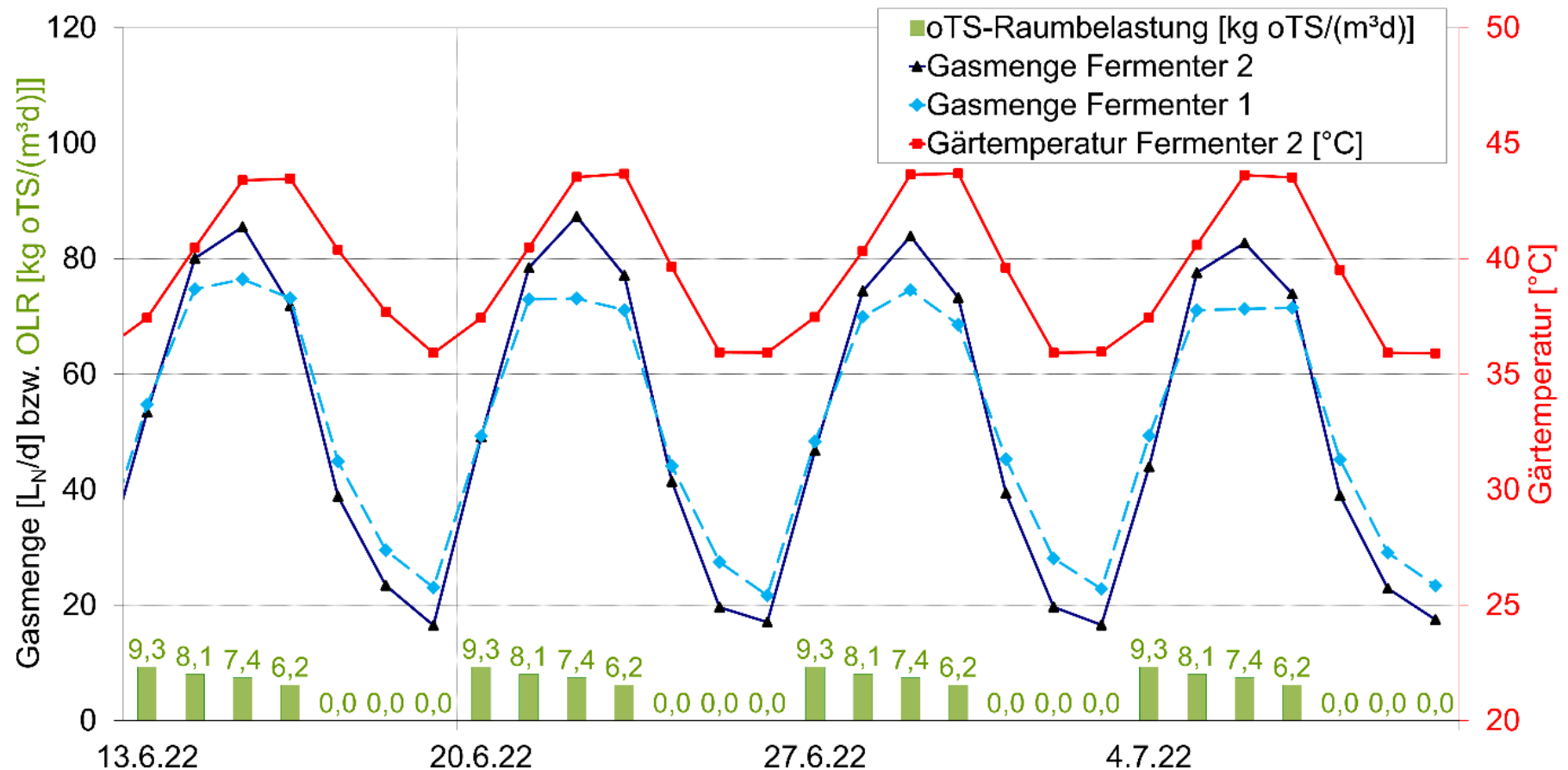
- Kontinuierliche Gärversuche an Laborbiogasanlage (2021/22)
 - 2 x 20 L Fermenter (parallel)
 - Fermenter 1: konstant 42°C (Referenz)
 - Fermenter 2: T-Variationen zw. 34°C - 48°C, mit $T_m \approx 40 - 42^\circ\text{C}$ (je Woche)
 - Fütterung mit 50 % Rindergülle und 50 % Maissilage (1x pro Wochentag)
 - Mittlere Raumbelastung: 4,5 kg oTS/(m³d)
 - Fütterungsdynamik in beiden Fermentern gleich (bis $\pm 100\%$)
- Erprobung an Technikumsanlage (2023)
 - 2 x 1 m³ Fermenter (in Reihe)
 - im 40'-Container (transportabel)



Beispiel Laborgärversuch 2022 - Biogasmengen

Flexibilisierung Gasproduktion d. „flexigast-Fermenters“ (Fermenter 2 mit Temperaturvariation) im Vergleich mit **Referenz** (Fermenter 1 mit konstant 42°C, flexible Fütterung wie Fermenter 2) im semi-kontinuierlichen Laborgärversuch 2022 mit zwei 20 Liter Fermentern im Parallelbetrieb

Gasmenge (Tageswerte), Versuch 2022 - Details Phase 5, Vergleich Fermenter 1 und 2

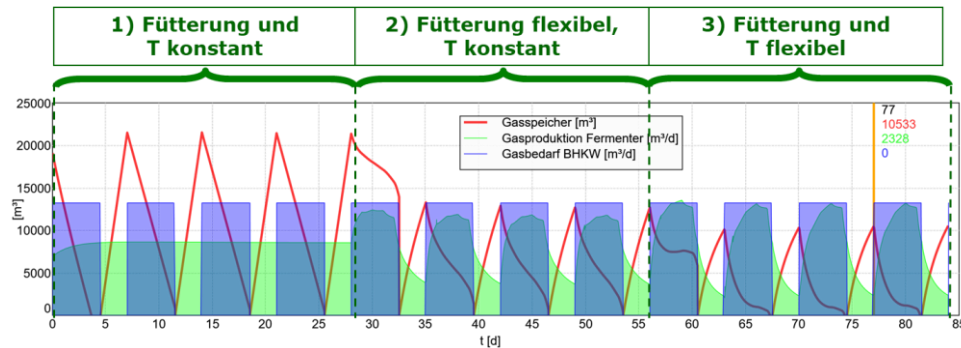


- Temperaturvariationen im Laborfermenter im Bereich von ca. 34-48°C (im Wochenzyklus) waren aus Sicht des Biogasprozesses auch bei Raumbelastungen von i. M. 4,5 kg oTS/(m³d) problemlos möglich
 - Mittlerer Methanertrag abhängig von T_m (Wochenmittel Gärtemp.)
 - bei $T_m > 40^\circ\text{C}$ kein Minderertrag gegenüber Referenz (konst. 42°C)
- Abgestimmtes Fütterungsmanagement (mind. Fütterungspause am WE)
- Effekt Fütterungsvariation auf Flexibilität Gasproduktion ließ sich mit
 - angepasster Wochenfütterung
 - Ausdehnung Fütterungsstopp auf 3 Tage (Fr-So) deutlich steigern
- Prozessbiologie unbeeinträchtigt (z. B. FOS/TAC $\approx 0,3$ und pH $\approx 7,5$)
- Gasspeicherbedarf durch Variation Gärtemperatur um ca. 10 % und insges. (mit flexibler Fütterung) um mehr als 50 % reduziert

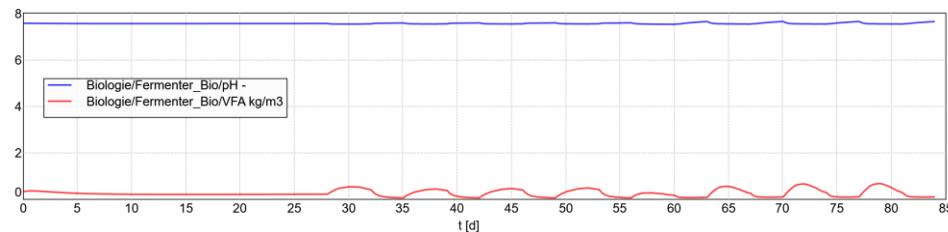
⇒ **Zusätzliche Flexibilität durch gezielte T-Variation im Fermenter**

Modelle zur dynamischen Simulation: *

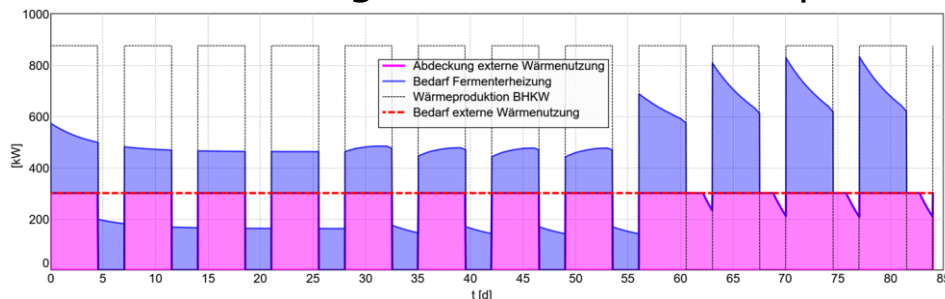
■ Biogasproduktion und Gasspeicher



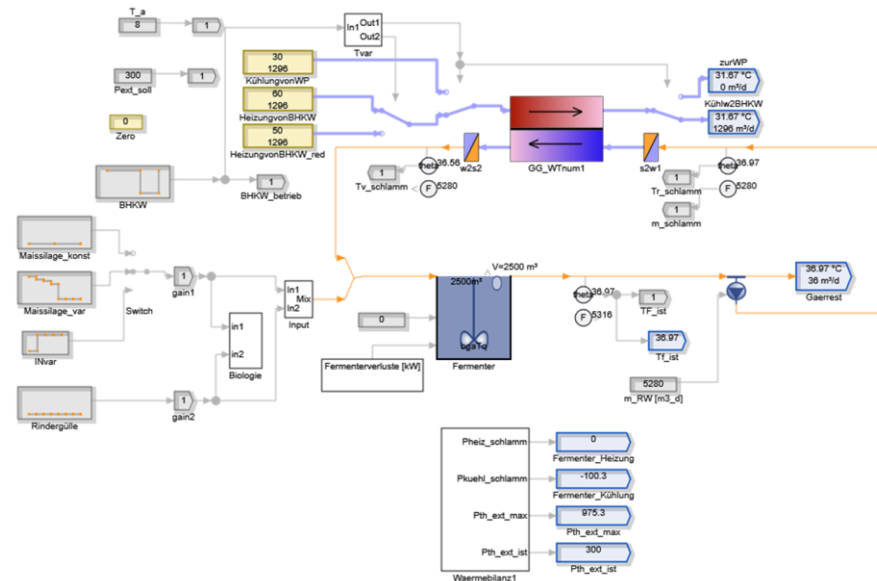
■ Bioprozess



■ Wärmemanagement und Wärmespeicher



* Simulationsprogramm
SIMBA# [4]



⇒ **Simulationen bestätigen Gärversuche/Erprobung**

⇒ **und zeigen Einsparungen Wärmespeicher bis 100 %**

Abschnitt 3

Wo sehen wir Anwendungspotenziale?

Anwendungspotenziale „flexigast“ (1)

- Für **mittlere Flexibilisierungen** (bis dreifach-Überbauung):
 - kein Zubau Wärmespeicher nötig, weniger Zubau Gasspeicher
 - senkt Investitionskosten für Flexibilisierung
 - damit **zusätzliche Perspektiven** für EEG-Anschlussförderung
 - hier geht es nicht um Konkurrenz zur „Voll-Flexibilisierung“ sondern um Reduzierung „Anlagensterben“

Hierfür ist eine Nachrüstung von Wärmeaustauschfläche für die Be- und Entladung des Fermenter-Wärmespeichers nötig. Durch eine Wärmepumpe werden ein effektiverer Wärmeentzug aus dem Fermenter erreicht und die nutzbare Wärmemenge für externe Verbraucher, während das „Flex-BHKW“ aus ist, erhöht. Saisonale Flexibilität erweitert das Potenzial.

Die Stromkosten für den bei den üblichen Gärtemperaturen sehr effizienten Betrieb der Wärmepumpe lassen sich ggf. durch Nutzung von PV-Eigenstrom weiter reduzieren. Ohnehin würde die „flexigast-Wärmepumpe“ nur laufen, wenn das BHKW aus ist, also in Zeiten mit Überschüssen im Netz und geringen Strompreisen. Das kann zum Lastmanagement beitragen und perspektivisch bei dynamischem Stromtarif sogar Zusatzerlöse generieren.

Anwendungspotenziale „flexigast“ (2)

- Unterstützung **höher flexibilisierter BGA** (>dreifach-Überbauung),
 - welche üblicherweise mit Warmwasser-Wärmespeicher und entsprechend großem Gasspeichervolumen ausgestattet sind:
 - flexigast ermöglicht hier mehr Wärmespeicherung
 - und ein besseres Gasspeichermanagement
 - also **zusätzliche Flexibilität** und (Wärme-)Versorgungssicherheit

Im einfachsten Fall nur Fermenterheizung ausschalten, wenn BHKW aus ist (mit z. B. T-Absenkung um -1...-2 K am Wochenende), um vorhandenen Wärmespeicher voll für externen Wärmebedarf zu nutzen (i. Z. m. flexibler Fütterung wird auch der Gasspeicher entlastet).

⇒ **flexigast-Basislösung**“, ohne Wärmepumpe, ohne Umrüstung Beheizung

⇒ erfordert keine Investitionen (ggf. erweitertes Prozessmonitoring)!

mehrere Hebel zur Dynamisierung der Biogasproduktion nutzen:

⇒ neben einem optimalen Fütterungsmanagement (mgl. unterstützt durch leicht abbaubare Substrate, temporäre Fütterung des Nachgärers u. ä.) auch kontrollierte Variationen der Gärtemperaturen

- Für Biogasanlagen die (bisher) keine relevanten Möglichkeiten einer externen Wärmenutzung realisieren konnten
 - sowie für die EEG-Anschlussförderung >3fach überbaut werden müssen
 - und damit bei den entspr. kurzen BHKW-Laufzeiten einen (kleinen) Wärmespeicher bräuchten, um die Beheizung der Fermenter abzusichern
 - Hier kann flexigast den zusätzlichen Wärmespeicher vermeiden, wobei keine Wärmepumpe erforderlich ist

Nötig wäre hierfür die Installation zusätzlicher Wärmeaustauschfläche für die angepasste verbesserte Beheizung des Fermenters in Verbindung mit einer geeigneten Temperaturführung (z. B. Variation im Bereich von +/- 1 K je Tag).

Ein Wärmespeicher kann dann ggf. nachgerüstet werden, wenn es zur finalen Planung und Realisierung der Wärmenutzung (z. B. Nahwärmenetz) kommt und die Rahmenbedingungen für die geeignete Speicherdimensionierung feststehen.

- Das bietet also Kosteneinsparungen und mehr Planungssicherheit

Abschnitt 4

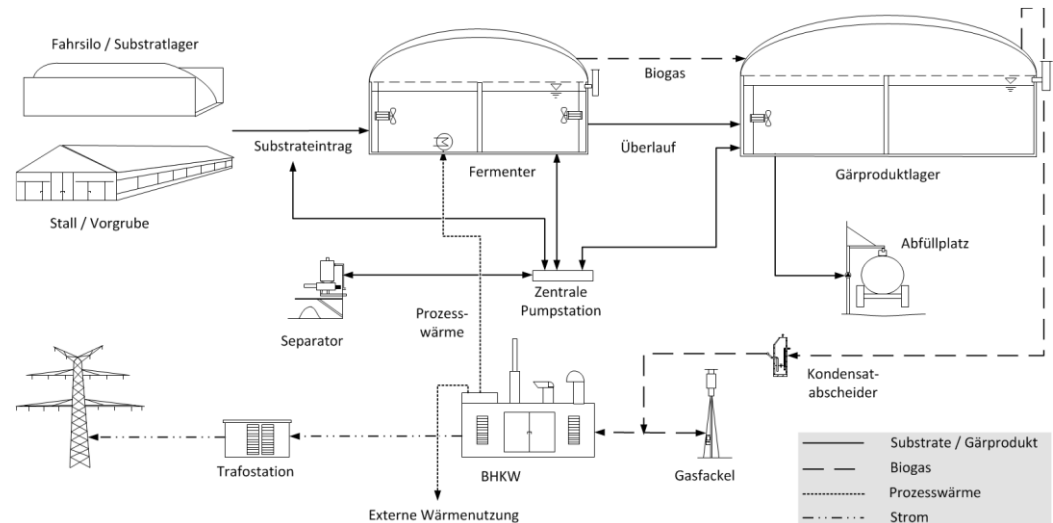
Wie kann eine praktische
Realisierung aussehen?

Option auch für Anlagen bis 350 kW

- Zur Zielgruppe gehören (auch) Anlagen, welche die mit den steigenden Flexibilisierungsanforderungen für eine Anschlussförderung im EEG verbundenen Investitionen nicht im vollen Umfang tätigen können.
- Aus Sicht des neuen Biomassepaketes 2025 fällt der Blick damit zuerst auf kleinere Anlagen, die unter der **Bagatellgrenze von 350 kW** installierter elektrischer Leistung liegen werden.
- Die geringe Bemessungsleistung von langfristig max. 140 kW_{el} i. V. mit den durch die geringe Überbauung begrenzten Mehreinnahmen an der Strombörse führt hier zu einer deutlich größeren Gewichtung der **Wärmeeinnahmen** bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Schulze-Lefert [5])

Beispiel für Anlage bis 350 kW

- Annahme: kleinere Bestandsanlage (z. B. 250 kW) mit:
 - Fermenter: 2.000 m³, neues gasdichtes Gärproduktlager (180 d Lagerzeit)
 - insges. 2.800 m³ Gasspeicher (Foliendächer)
 - Rindergülle (Hauptsubstrat) und Maissilage
 - 150 kW anlagenexterne Wärmenutzung (saisonal)
- Ertüchtigung für 12 a Weiterbetrieb im Rahmen 350 kW-Bagatellgrenze
 - 14.000 BVh
=> 140 kW_{el} förderfähig
 - nur 25 % Mais (Deckel!)
 - neues BHKW 350 kW_{el}
 - Netzanschluss, Trafo, MSR, Genehmigung...
 - Gasspeicher (>24 h)
 - Wärmespeicher (>24 h)



Schema aus: Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas KTBL [6]

Überschlägige Kostenbetrachtung zum Beispiel

- Schätzung Gesamtinvestition (basierend u.a. auf KTBL [6]): **≈ 1 Mio. €**
 - davon ca. 500 T€ für BHKW (350 kW-Gasmotor inkl. Peripherie)
 - und ca. 340 T€ in Gas- und Wärmespeicher (inkl. Einbindung)
 - Mögliche Einsparungen durch flexigast
 - schon mit einer Reduktion des Speicherbedarfs um 30 % wäre hier kein zusätzlicher Gasspeicher nötig (vorh. Foliendächer würden reichen)
 - kein zusätzlicher Wärmespeicher erforderlich
 - dafür aber Wärmepumpe (ca. 150 kW_{th}) und mehr Wärmeaustauschfläche (z. B. Verdopplung Heizringe in Fermenter)
- ⇒ **Damit könnte flexigast hier ca. 100 T€ einsparen!**

Kosteneinsparungen Gas- und Wärmespeicherung:

Komponente	Referenz	flexigast
Gasspeicher:	60.000 € vorh. 2800 m³ reichen nicht: +300 m³ erf. => neues Foliendach Fermenter	0 € hier nicht erforderlich
Wärmepumpe:	0 € hier nicht erforderlich	62.000 € Schätzung für 150 kWth, vgl. [DWA-M 114]
Wärmespeicher:	160.000 € Kostenansatz für einen 160 m³ Wärmespeicher	0 € hier nicht erforderlich
Heizungstechnische Einbindung:	120.000 € Einbindung Wärmespeicher	120.000 € Einbindung Wärmepumpe und zusätzliche Wärmetauscher
Nachrüstung Wärmetauscher:	0 €	40.000 € Schätzung gemäß Verdopplung der vorh. Heizringe in Fermenter
Summe ohne Förderung:	<u>340.000 €</u>	<u>222.000 €</u>
Zuschlag fuer Planung, Genehmigung, Sonstiges (10%)	<u>34.000 €</u>	<u>22.200 €</u>
Förderung:	-84.000 € (30% für Wärmespeicher und Einbindung)	-54.600 € (30% für Wärmepumpe und Einbindung)
Summe abzgl. Förderung:	<u>290.000 €</u>	<u>189.600 €</u>

Einsparung durch flexigast gegenüber Referenz:

100.400 €

34,6%

(bezüglich einer Gesamtinvestition zur Ertüchtigung für Weiterbetrieb im EEG v. z.B.:

1.050.000 €

9,6%

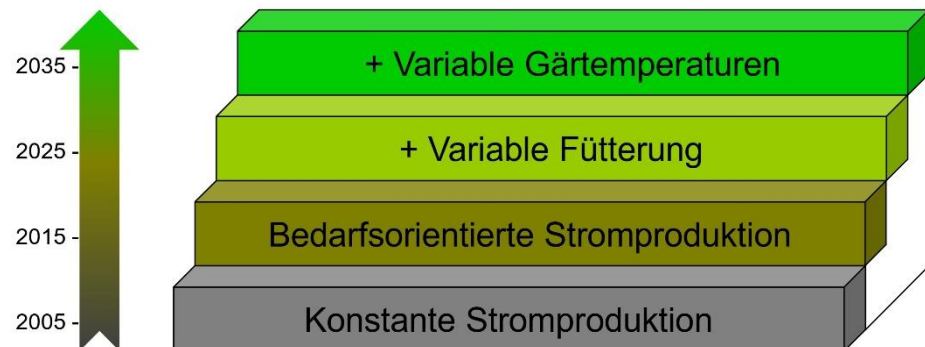
Abschnitt 5

Zusammenfassung und Ausblick

- Eine gezielte Variation der Fermentertemperatur, abgestimmt mit flexibler Fütterung, beeinträchtigt nicht die Effizienz und Stabilität des Biogasprozesses.
- Dies eröffnet neue Möglichkeiten für eine flexible Biogasproduktion und gleichzeitig für die Nutzung der Gärbehälter als Wärmespeicher.
- Wie auch in Beispielsimulationen mit dynamischen Modellen des Biogasprozesses und des Wärmemanagements gezeigt, ermöglicht das:
 - eine Gasspeicherreduktion um mehr als 50 % (davon mindestens 40 % durch das Fütterungsmanagement und 10 % durch die flexiblen Gärtemperaturen).
 - Wärmespeicher wird bis zu 100 % gespart, was entscheidend zur Wirtschaftlichkeit beitragen kann.
- Das entwickelte flexigast-Verfahren kann kostengünstige und effektive Lösungen für die Flexibilisierung von Biogasanlagen bieten.

- Hemmend für die Markteinführung kann die wirtschaftliche Situation vieler Biogasanlagen i. Z. m. (förder-)politischen Unsicherheiten sein, was die Investitionsbereitschaft für Flex-Projekte senkt.
- Aber gerade mit Blick auf diese aktuellen Herausforderungen für die Biogasbranche kommt die Entwicklung zur richtigen Zeit. Sie kann z. B. Bestandsanlagen durch Kosteneinsparungen bei der Flexibilisierung Perspektiven für einen wirtschaftlichen Weiterbetrieb bieten oder auch zusätzliche Flexibilität und Wärmeversorgungssicherheit bei hoch flexiblen Biogasanlagen ermöglichen.

⇒ **Basislösung
prädestiniert für
Markteinführung**



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**

Fragen?
Kritik?
Diskussion!



URL: h2.de/abwassergruppe