

9. Biogastagung der LWK Niedersachsen

**Prozessmesstechnik an  
Biogasanlagen – Methoden und  
Verfahren – was ist für den  
Praktiker erforderlich und sinnvoll?**

Verden/Aller, 7. März 2018

**Ingolf Seick** und Jürgen Wiese

Professur „Siedlungswasserwirtschaft – Schwerpunkt Abwasser“

Hochschule Magdeburg-Stendal

Email: [juergen.wiese@hs-magdeburg.de](mailto:juergen.wiese@hs-magdeburg.de)

Mobil: 0151-62461999

## Arbeitsgruppe Siedlungswasserwirtschaft/Abwasser

- Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Wiese (Arbeitsgruppenleiter)
- Dipl.-Ing. Kirstin Neumann (Laboringenieurin)
- M.Sc. Monica Vergara Araya (Bioverfahrenstechnik, Wissen. Mitarbeiterin)
- M.Eng. Sebastian Kelm (Elektrotechnik, Wissenschaftlicher Mitarbeiter)
- M.Sc. Ingolf Seick (Wasserwirtschaft, Wissenschaftler Mitarbeiter)
- M.Eng. Thomas Czoske (Wasserwirtschaft, Promotionstipendiat)



**Abwasser?** Ein Schwerpunkt der Arbeitsgruppe ist auch die Biogastechnik!

## **Gliederung**

1. Einführung
2. Beispiele für die Überwachung des Gärprozesses
3. Beispiele für die Überwachung der Anlagentechnik
4. Was kommt als Nächstes?
5. Zusammenfassung und Ausblick

# Abschnitt: Einführung

## Was ist für den Praktiker erforderlich und sinnvoll?

Einfache, kleine Biogasanlage

Große und komplexe Biogasanlage



NawaRo-Biogasanlage

- 3.300 t/a Rindergülle
- 4.500 t/a Gras, Grünroggen, Wildgräser und Mais
- 2,1 Mio. kWh/a Strom
- 1,6 Mio. € Investitionskosten



Bioabfallanlage mit BioErdgasproduktion

- 63.000 t/a Bioabfälle
- 48 Mio. kWh/a Bioerdgas
- 25 Mio. € Investitionskosten

**Hinweis:** Herr Wiese war bis Ende 2015 Geschäftsführer u.a. von diesen beiden Anlagen

## Welche Faktoren beeinflussen den Einsatz der Messtechnik?

- Größe und Investitionskosten der Anlage
- Art, Eigenschaften und Anzahl der verschiedenen Gärsubstrate
- Nachrüstbarkeit von Mess-/Automationstechnik → oft schwierig!
- Raumbelastung der Anlage
- Individuelles Sicherheitsbedürfnis der Betreiber/Investoren:
  - „Meine Milchkühe geben 10.000 Liter pro Jahr, dann bekomme ich meine „Betonkuh“ doch locker in den Griff!  
→ Ich brauche keine Mess- und Automationstechnik!“
  - „Meine Biogasanlage kostet 2 Mio. €, mein Auto kostet nur 50.000 € und hat viel mehr Sicherheitstechnik als meine Biogasanlage!  
→ Das kann doch nicht sein!“
- ... und viele weitere Faktoren!

## Welche Faktoren beeinflussen den Einsatz der Messtechnik?

Parameter	PKW	Biogasanlage
Investitionskosten	i.d.R. < 100.000 €	i.d.R. > 1.000.000 €
Laufdauer Motor pro Jahr	i.d.R. < 500 h/a	i.d.R. > 7.500 h/a
Einnahmen pro Jahr	i.d.R. keine Einnahmen	i.d.R. > 400.000 €/a
Gesamtkosten	i.d.R. < 20.000 €/a	i.d.R. > 350.000 €/a
Nutzungsdauer	12 Jahre	20 Jahre kalkuliert
Intensität der Belastung	selten am Limit (Motor und Fahrwerk meist unterlastet)	Motor und/oder Biologie oft am Limit betrieben
Zugangsvoraussetzung	Führerschein	keine
Erforderliche Substrate	i.d.R. < 3 t Kraftstoff	i.d.R. > 5.000 t Gärsubstrate
Sicherheitseinrichtungen (nur Standardausstattung)	Sicherheitsgurt Knautschzone Airbag Anti-Blockier-System (ABS) Anti-Schlupf-Regelung (ASR) Elektronisches-Stabilitäts-Programm (ESP)	(Gasanalysator) Gaswarngerät Über-/Unterdrucksicherung
Gefahr bei Unfall	Personenschäden (Verletzung/Tod)	Personenschäden (Verletzung/Tod) Umweltschäden
Auswirkungen bei (dauerhaften) Betriebsstörungen	gering, da Alternativen (z.B. Leihwagen/ÖPNV) möglich	hoch (ggf. Insolvenz des BGA-Betreibers)

**Die Praxis zeigt:**  
Der eigentliche Mehrwert von Messtechnik zeigt sich leider erst oft in schwierigen Situationen! Dann ist es aber gut, wenn man Messtechnik hat und reagieren kann!

Bild: PKW versus Biogasanlage (Bildquelle: Wiese [2014])

## Welche Trends begünstigen den Einsatz der Messtechnik?

1. Kostendruck durch steigende Substratpreise
2. Druck durch Finanzinstitute und Versicherungen
3. Probleme werden immer komplexer („Multi-kriterielle Optimierung“):
  - Maximierung Energieproduktion → Erhöhung Einnahmen
  - Minimierung Eigenenergiebedarf → Reduzierung Ausgaben
  - Minimierung Eingangsstoffe → Reduzierung Ausgaben
  - Viele verschiedene Eingangsstoffe → Nutzung von Marktchancen
  - Minimierung Betriebsrisiken → Hohe Anlagenverfügbarkeit
  - Maximierung Durchsatzleistung → Erhöhung Einnahmen
  - Minimierung Arbeitseinsatz → Reduzierung Ausgaben
  - Reduzierung Wassereinsatz → Reduzierung Gärreste
4. Biogasanlagen sollen im Erneuerbare Energie-Mix zuverlässig Grundlast und Regelenergie produzieren!

Abschnitt:  
Beispiele für die Überwachung  
des Gärprozesses

## Problem: Inhomogene Eingangsstoffe

Datum	Einheit	1	2	3	4	5	6
24. April 2007	%TS	27,5	30,7	25,7	<b>22,8</b>	30,4	30,5
26. Juni 2007	%TS	30,0	31,5	<b>37,5</b>	24,7	29,5	30,1

→ **Problem: Große Qualitätsschwankungen bei Eingangsstoffen führen zu Gasertragsschwankungen!**

→ **Lösung 1: Energiegehalts- statt gewichtsbezogene Fütterung!**

→ **Lösung 2: Kombination schnell und langsam abbaubarer Stoffe**



Bild: Beispiel für die Beprobung eines Silagehaufens einer NawaRo-Biogasanlage (Bildquelle: Wiese und König [2008])

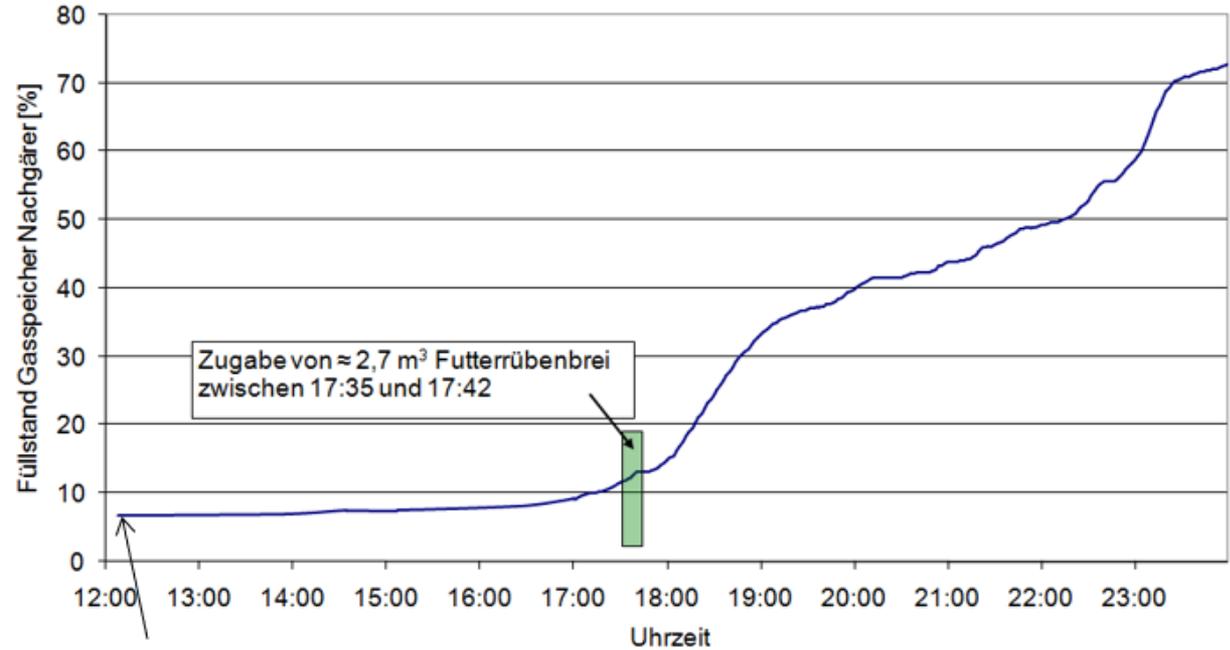
## Lösung 1: Feuchtebestimmung

- **Postulat:** Eine ungenaue Information ist besser als gar keine Information!
- Um den Trockenmasse-Gehalt als wichtige Prozessgröße ausreichend genau für die Praxis schätzen zu können, kann für viele Substrate auf Feuchtemessgeräte zurückgegriffen werden.
- Es handelt sich um Präzisionswaagen, die mit Heizeinrichtungen ausgestattet sind. Diese Geräte bestimmen den Feuchtegehalt einer Probe bis zur deren Gleichgewichtskonstanz.
- Einstiegsgeräte sind ab 1.000 € erhältlich.
- **Wichtig:** Disziplin, regelmäßige Messungen!



Bild: Feuchte-  
Bestimmung  
(Bildquelle: Wiese)

## Lösung 2: Dosierung schnell abbaubarer Substrate



Gasmotor regelt herunter, Gasblase füllt sich nur langsam

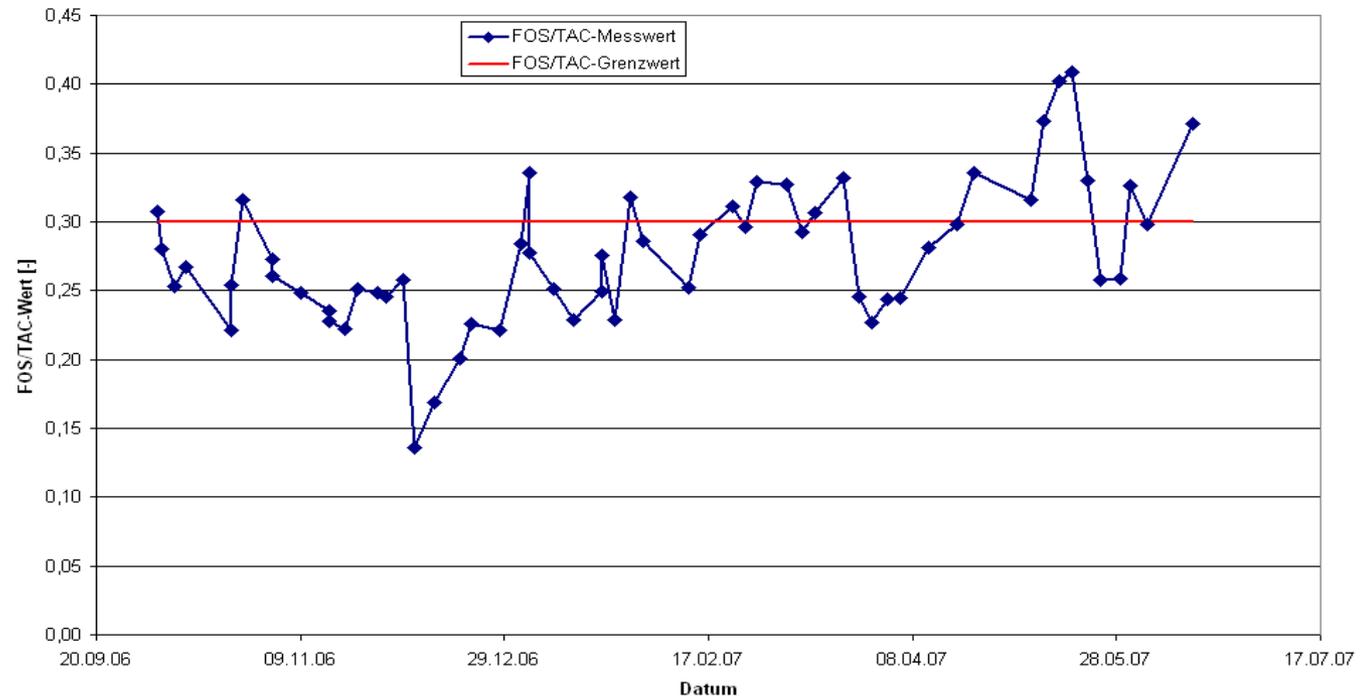
Bild: Gezielter Einsatz von Futterrübenbrei zur kurzfristigen Erhöhung der Biogasproduktion (Bildquellen: Wiese et al. [2008])

**Hinweis:** Die Dosierung dieser Stoffe kann man automatisieren (z. B. abhängig von Echtzeit-Gasdruckmessungen und Echtzeit-Gasfüllstandmessungen)!

## Beispiel: Prozessüberwachung mit FOS/TAC



Automatischer  
FOS/TAC-Titrator  
(Bildquelle: Wiese)



- FOS/TAC ist anlagenspezifischer Wert → Vorsicht vor Literaturwerten!
- Wichtiger als der Absolutwert ist der Trend!
- Labordaten lassen sich auch für die Automation nutzen!

## Beispiel: Prozessüberwachung mit Redox und pH

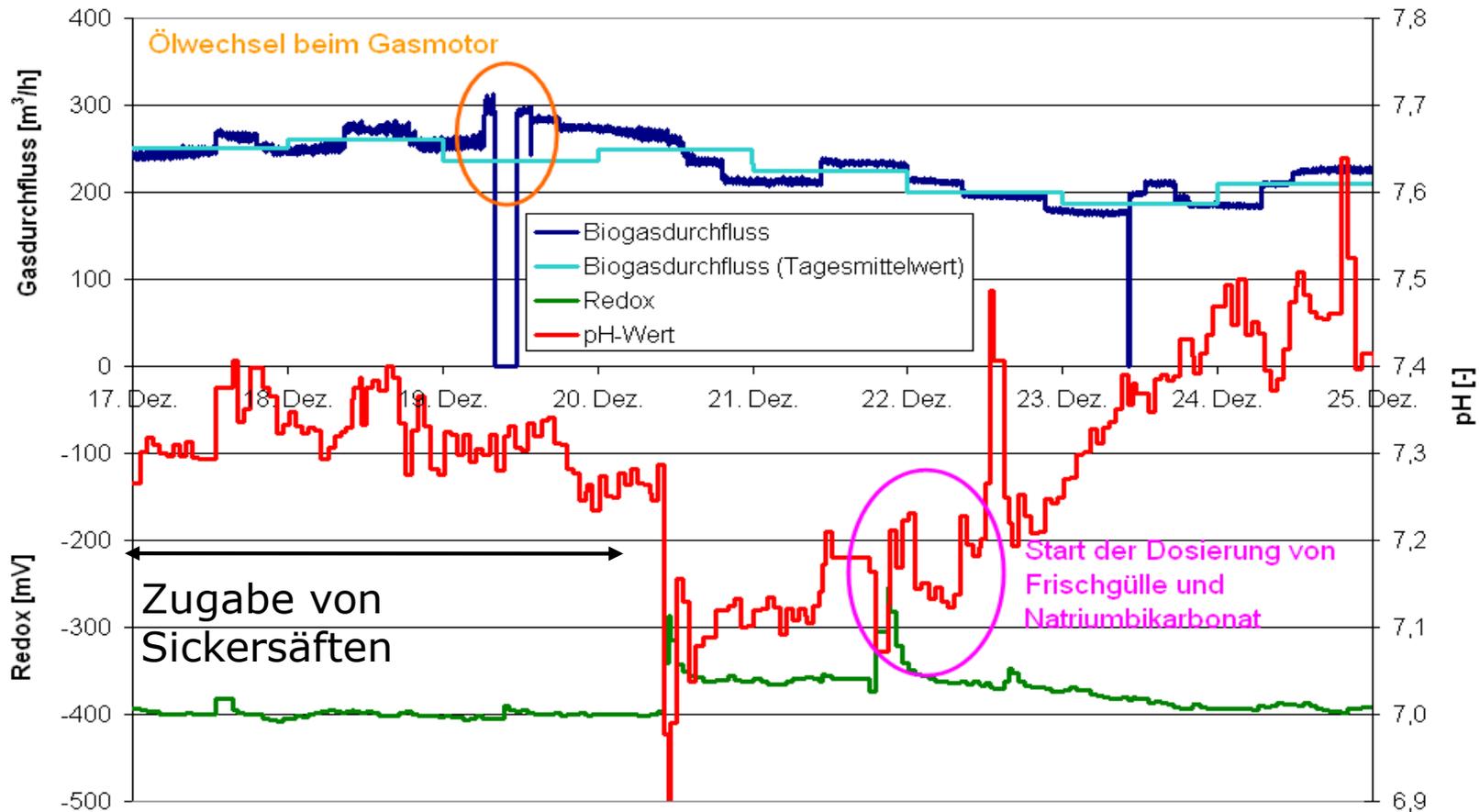
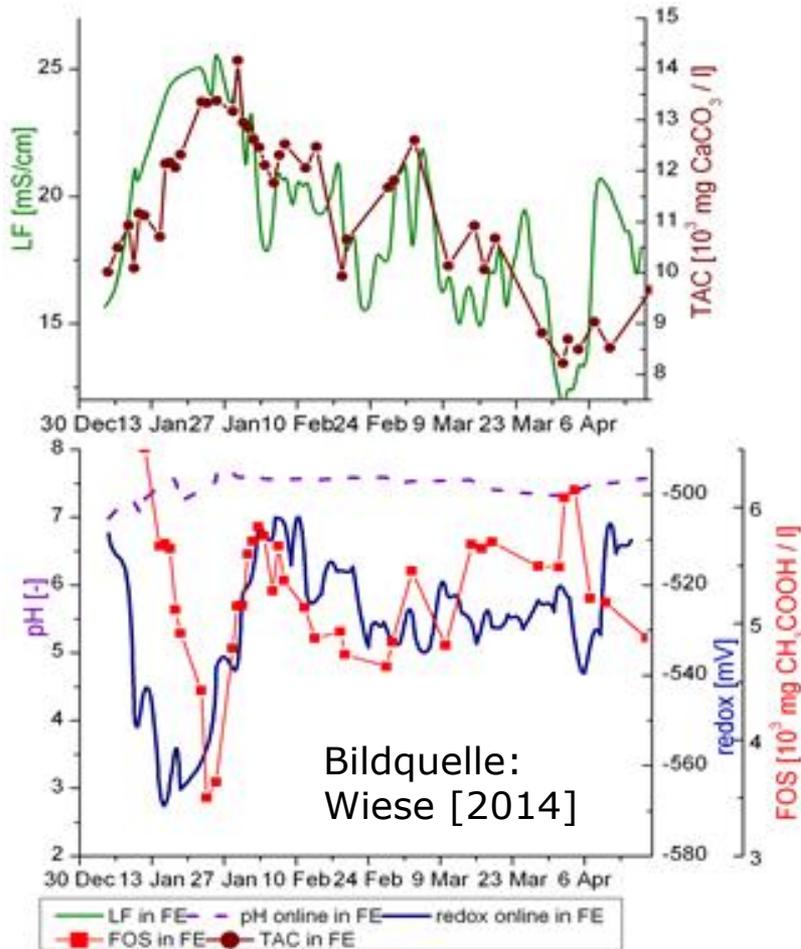


Bild: Störung des Biogasprozesses durch übermäßige Zugabe von Sickersäften (Bildquelle: Wiese et al. [2008])

## Beispiel: Prozessüberwachung mit Redox, pH und LF



### NaWaRo-BGA (Gülle, Mais)

- Die Leitfähigkeit korreliert hier gut mit der Pufferkapazität (TAC).
- Das Redox-Potenzial korreliert gut mit der Konzentration flüchtiger organischer Säuren. → Das Redox-potenzial reagiert sogar früher als der FOS-Wert!
- Durch Einbindung weiterer Parameter (z. B. Gasdurchfluss, Gasanalyse) lässt sich die Entscheidungsbasis weiter verbessern.

## Beispiel: Erkennung potenziell gefährlicher Substrate

Automatisierte Eingangskontrolle mit Messungen in der zentralen Pumpstation: „Dosieren wir **Gülle**, **Silagesickersaft** oder **Gülle mit viel Reinigungsmittel**?“ → Ggf. automatischer Stop bzw. Warnung!

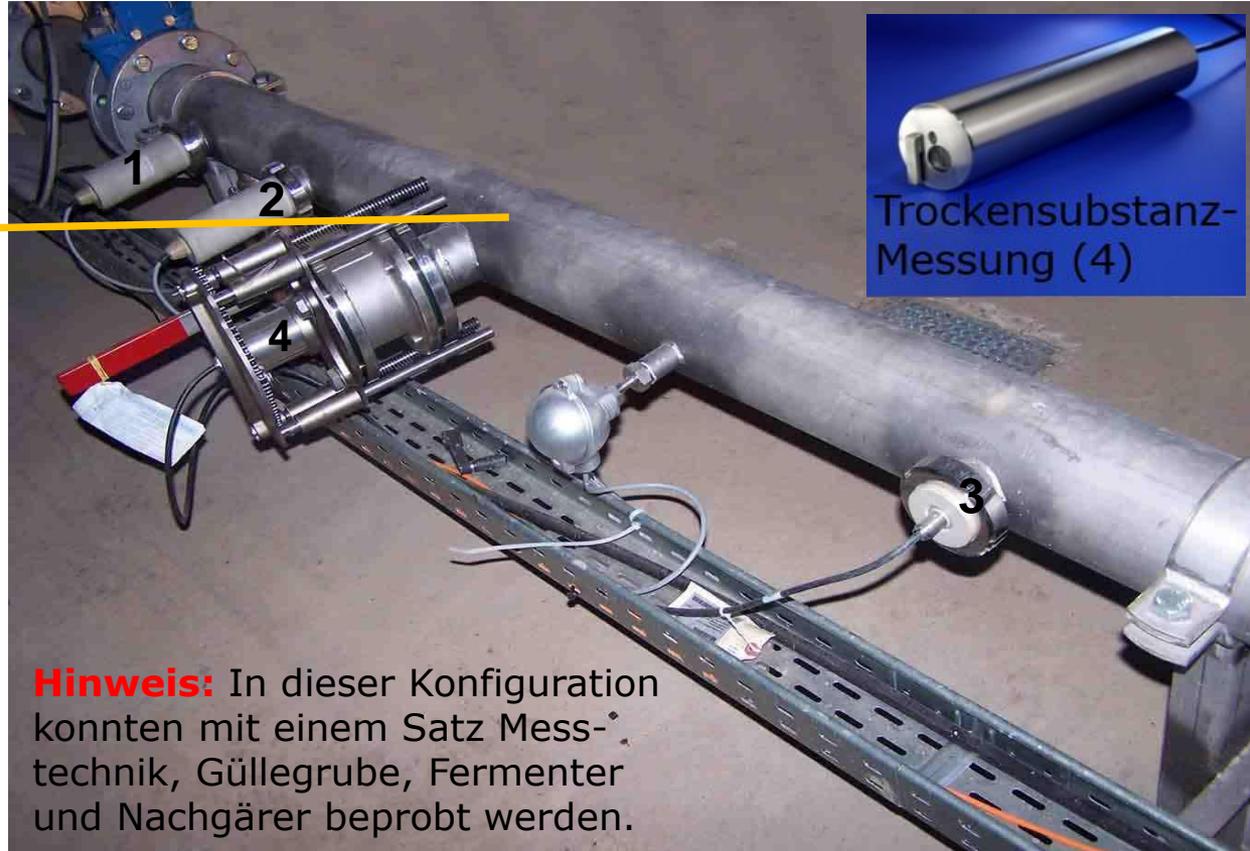
Substrate (Beispiele):	pH [-]	Redox [mV]	el. LF [mS/cm]	TS [%]
Silagesickersaft	< 4	> 0	≈ 8	< 1
Rindergülle	7,0 - 7,2	< - 300	12 - 15	2 - 5
Schweinegülle	7,8 - 8,0	< - 300	≈ 13	≈ 2

el. LF = elektrische Leitfähigkeit

TS = Trockensubstanzgehalt ≈ TM = Trockenmassegehalt

Quelle: Wiese [2014]

## Frage: Wie kann man solche Messtechnik installieren?



1,2

pH-/Redox-Sensor (oben)



Sensor für elektrische Leitfähigkeit (links)

**Hinweis:** In dieser Konfiguration konnten mit einem Satz Messtechnik, Güllegrube, Fermenter und Nachgärer beprobt werden.

Bild: Druckleitung mit Echtzeit-Messungen für pH, Redox, elektrische Leitfähigkeit und Trockensubstanz (Bildquellen: Wiese und Hach)

## Beispiel: Gasleckagen detektieren (1)

- Das Anspringen von Über-/Unterdruck-Sicherungen kann nicht nur zu hohen Emissionen führen, sondern auch zu einer Gefahrenquellen werden (z. B. Explosionsgefahr). Ein finanzieller Verlust kommt hinzu!
- Daher bietet es sich an, die Sicherungen zu überwachen.
- Neben online-Druckwächtern können hierzu auch Strömungswächter eingesetzt werden.
- **Hinweis:** Strömungswächter sollten an das Leitsystem angebunden werden und sind mindestens mit einer Alarmmeldung zu versehen!



Bild: Strömungssensor (1) zur Überwachung der Abblaseeinrichtung einer Überdruck-sicherung (2) (Bildquelle: Wiese)

## Beispiel: Gasleckagen detektieren (2)



Bild: Laserhandmessgerät zur Methanleckortung (links), Vermessung des Kopfteils eines Anaerobreaktors mit diesem Gerät (rechts) (Bildquellen: Wiese)

**Hinweis:** Gasfolien, Dichtungen etc. unterliegen einer Alterung und können auch beschädigt werden. Eine regelmäßige Dichtheitsprüfung (z. B. 1/a) ist sinnvoll und teilweise behördlich schon vorgeschrieben! → Meist gut angelegtes Geld!

Abschnitt:  
Beispiele für die Überwachung  
der Anlagentechnik

## Störungsstatistik von Biogasanlagen

Komponente	Störungen pro Jahr (bezogen auf alle 31 Anlagen)
BHKW	532
Feststoffeintragsystem	151
Pumpen und Rohrleitungen	96
Rührwerke	83
Biogasprozess	54
Messtechnik	35
Stromausfall	35
Gasspeicher	31
Spannungsschwankungen	28
Steuer- und Regelungstechnik	27
Gasreinigung	23
BHKW-Aufstellraum	19
Heizung	13
Substratzerkleinerung	9
Unkontrollierter Gasaustritt	3
Substratannahme	3
Sonstige	25

**Postulat:** Störungen des Biogasprozesses sind zwar weniger häufig, können aber größere finanzielle Verluste verursachen, weil sie sich oft nicht sofort wieder beheben lassen! Dennoch sollte man die Zustandserfassung der Maschinenteknik nicht vernachlässigen!

→ **Condition Monitoring**

Quelle: Schwachstellen an Biogasanlagen verstehen und vermeiden, KTBL-Heft 84, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) e.V. (Hrsg.), ISBN 978-3-939371-46-5, Darmstadt, Deutschland

## Beispiel: Überwachung von Schiebern



Klassische Schieber



Modifizierte Schieber

Grünroggen



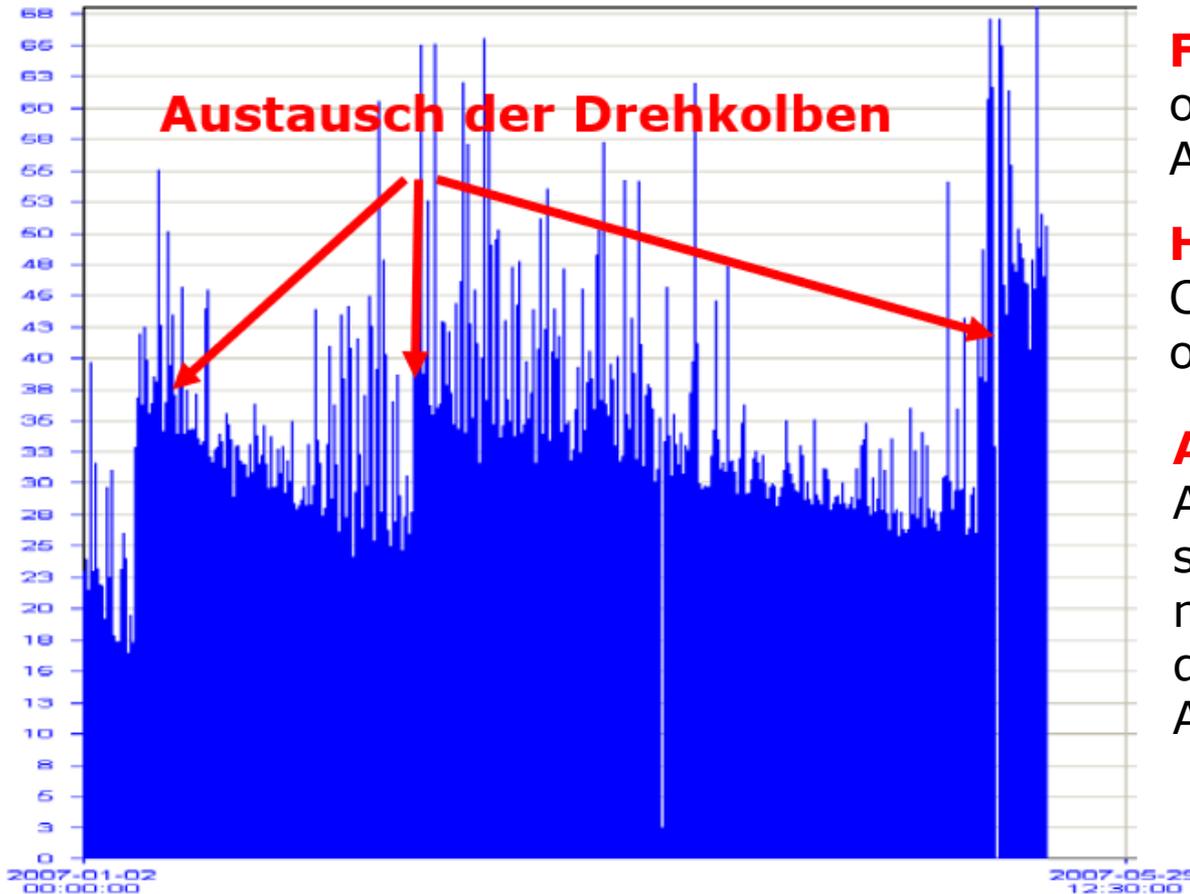
Verstopfung



**Lösung:** Die Schieber werden mit Spülschlüssen ausgestattet. Da die Endlagen und auch die Dauer zum Öffnen/Schließen der Schieber überwacht werden, kann bei Bedarf eine automatische Spülung durchgeführt werden (z. B. wenn die gemessene Schließdauer ansteigt).

Bildquellen: Wiese [2014]

## Beispiel: Überwachung von Pumpentechnik



**Frage:** Wann ist der kostenoptimale Zeitpunkt des Austauschs der Drehkolben?

**Herstellerangabe:**  
Ca. alle 4 Monate → hier offenbar nicht sinnvoll!

**Alternativ:** Dynamischer Austausch unter Berücksichtigung der Fördermenge/-dauer und der Energiekosten. → Automatisierung möglich!

Bild: Fördermenge der Drehkolbenpumpe in m<sup>3</sup>/h  
(Bildquelle: Schneider [2008])

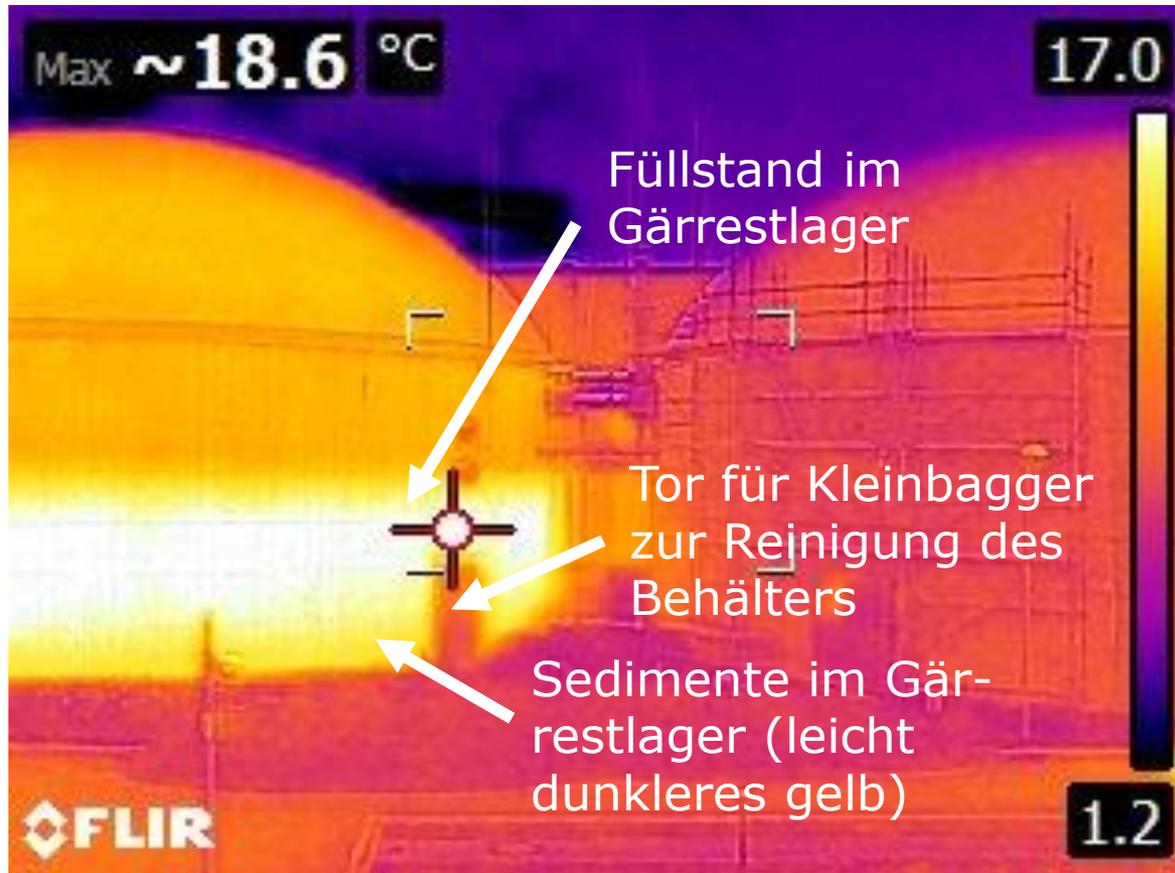
## Überwachung von Pumpentechnik – Mehrere Daten nutzen!

Tab.: Zusammenhang zwischen Messwerten und Diagnosemöglichkeiten bei Pumpen – **Beachte:** Bereits mit wenigen intelligent ausgewerteten Messwerten kann eine Pumpstation effizient überwacht werden  
(Quelle: Siemens AG [2014])

Problem	Messwerte
Blockade	Durchfluss & Wirkleistung
Trockenlauf	Durchfluss & Wirkleistung
Gasmitförderung	Durchfluss & Druckdifferenz
Kavitation	Durchfluss, Temperatur, Eingangsdruck
Verschleiß	Durchfluss, Druckdifferenz & Wirkleistung
Überlast	Wirkleistung
Schlechter Wirkungsgrad	Durchfluss, Druckdifferenz & Wirkleistung

**Hinweis:** Manche Hersteller bieten derartige Programme an!

## Beispiel: Einsatz von Wärmebildern (1)



### Was sehen Sie?

In diesem Fall kam es zu Problemen mit Sedimenten in den Gärrestbehältern, weil sich diese bis über das Reinigungstor gestaut hatten. Hierdurch entstanden hohe Kosten (z. B. Spezialtechnik, Dach abnehmen). Mit der Wärmebildkamera lässt sich die Sedimenthöhe detektieren, sodass man bei der Bewirtschaftung gegensteuern kann.

Bild: Wärmebildaufnahme eines Gärrestlagerbehälters zwecks Detektion der Sedimentablagerungen (Bildquelle: Wiese)

## Beispiel: Einsatz von Wärmebildern (2)

Vakuumpumpe



Rohbioabfall



Kompostmieten



Bilder: Andere Anwendungsbereiche für Wärmebilder auf einer anaeroben Bioabfallbehandlungsanlage mit Nachkompostierung (Bildquelle: Wiese)

## Erhöhung der Anlagen- und Arbeitssicherheit

- In den letzten Jahren kam es leider auf vielen Biogasanlagen zu Unfällen, die manchmal auch tödlich endeten!
- Erste Behörden fangen daher an, den Einbau von Sicherheitsmesstechnik zu fordern.
- Beispiele:
  - Raumluftüberwachung auf toxische Gase (z. B. H<sub>2</sub>S)
  - Automatische Kontrolle der Drainageeinrichtungen (z. B. Füllstand, Menge, Trübung)
  - Notabschaltung ganzer Anlagenbereiche beim Betreten durch Lichtschranken und Lichtschleier (z. B. Dosiertechnik)
  - Echtzeit-Überwachung der Über-/Unterdrucksicherungen
  - Automatische Verschlusskontrollen von Behälteröffnungen
  - ...

## Beispiel: Sicherheitsmesstechnik



Bild (Mitte oben):  
Lichtschranke  
mit Not-Aus im  
Zugang zur  
automatischen  
Fütterung



Bild (oben rechts):  
Trübungsüber-  
wachung des  
Drainagewassers

Bild (links oben):  
Füllstandsüberwachung  
eines Drainageschachts



Bild (Mitte unten):  
Online-Luken-  
Überwachung

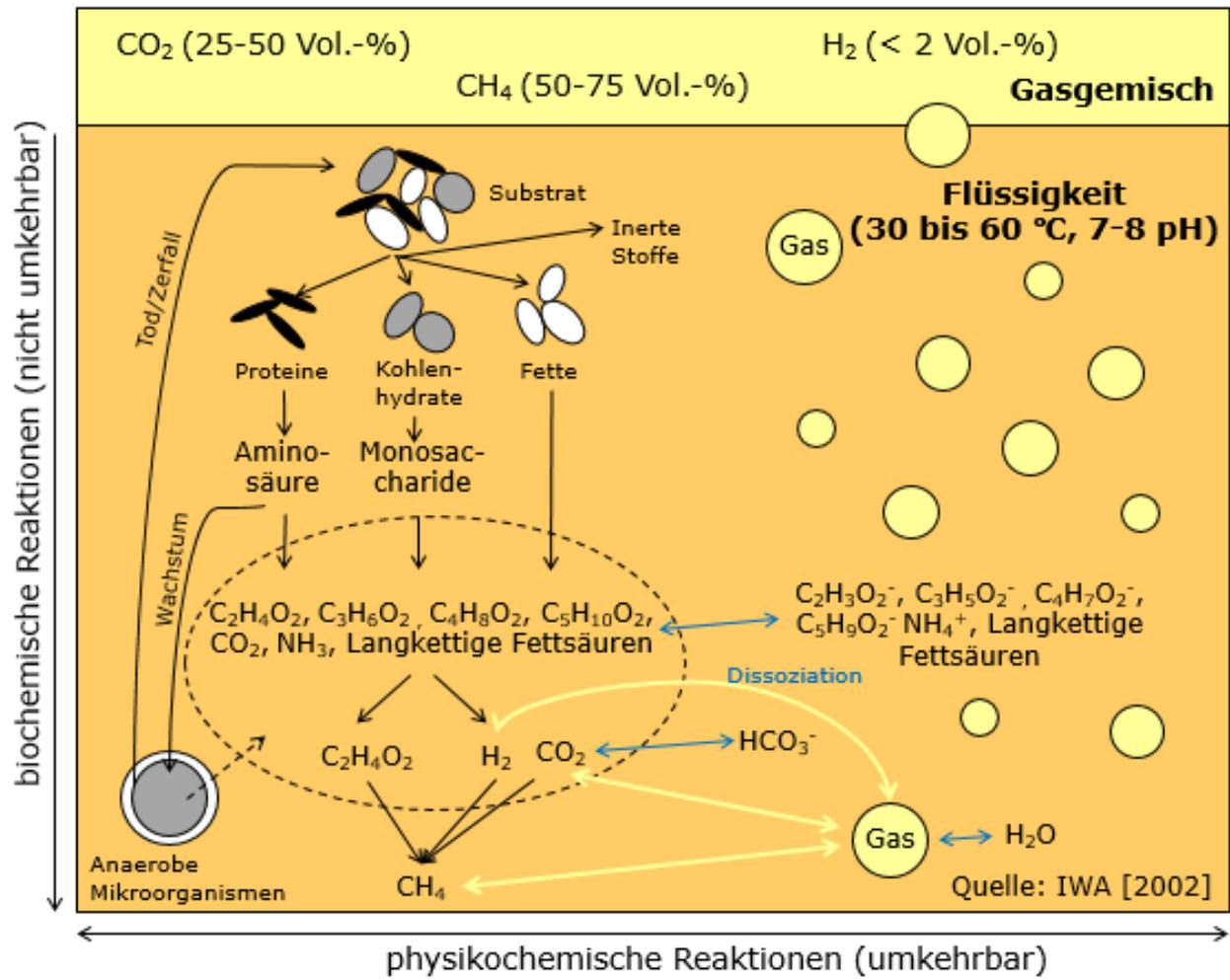


Bild (links unten): Raumluftüberwachung  
(u.a. H<sub>2</sub>S) auf toxische Stoffe

Bildquellen: Wiese

Abschnitt:  
Was kommt als Nächstes?

## Trend: Modellgestützte Optimierung (1)



**Hinweis:** Wir sind heute in der Lage, den komplexen Anaerobprozess ausreichend genau in Computermodellen nachzubilden! → Neue Möglichkeiten der Anlagenoptimierung! → Erste Betreiber von Großanlagen nutzen bereits Computermodelle!

Bild: Anaerober Abbauprozess (Bildquelle: nach IWA [2002])

**Hinweis:** Die grafische Oberfläche ist einfach, darunter befindet sich aber ein komplexes bio-chemisches Modell!

## Trend: Modellgestützte Optimierung (2)

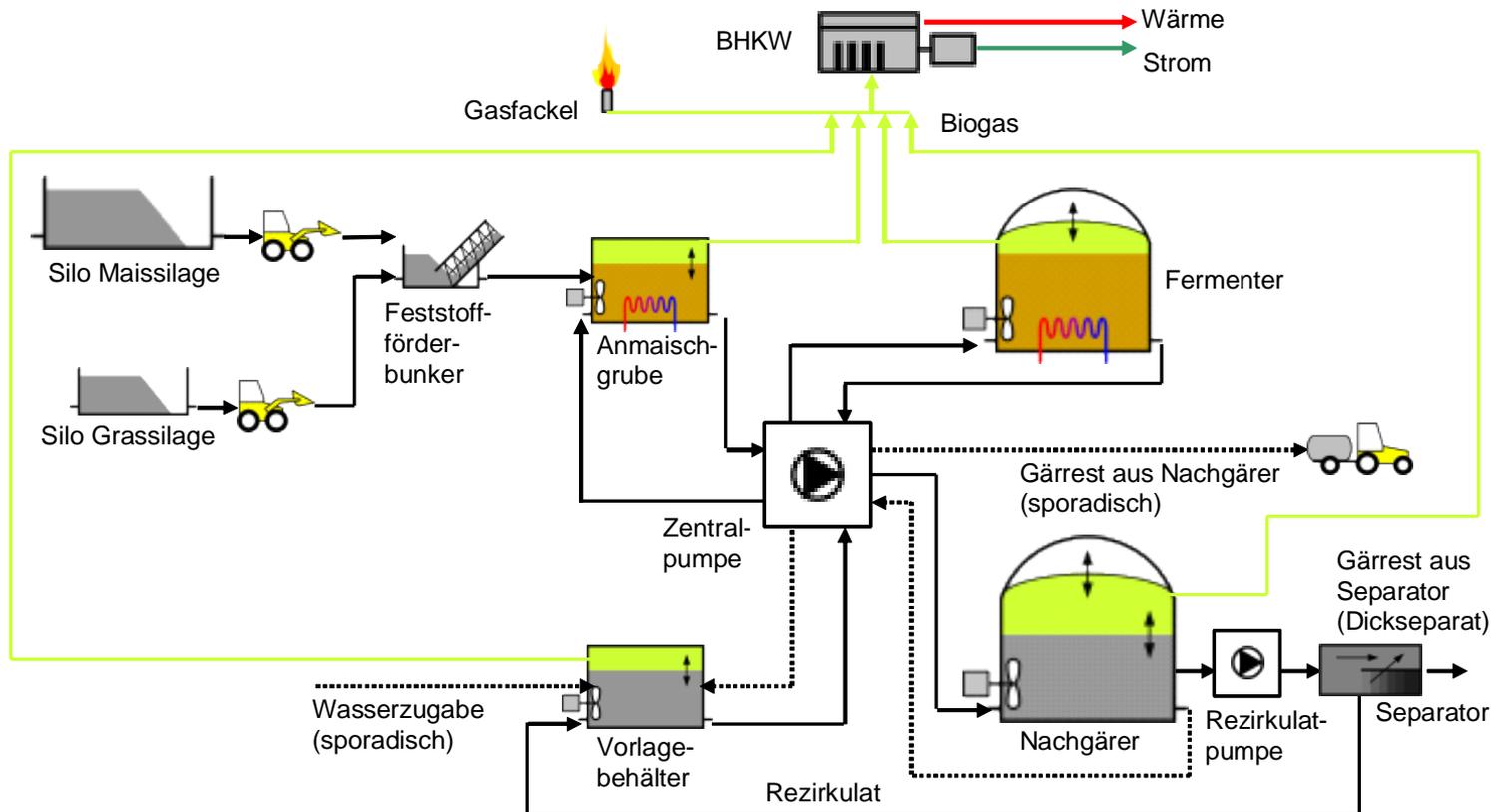


Bild: Simulationsmodell einer landwirtschaftlichen Biogasanlage zur direkten Unterstützung des Anlagenbetriebs (z. B. Prognosen, Optimierung des Substrateinsatz) (Bildquellen: Seick und Tschepetzki [2015])

## Trend: Modellgestützte Optimierung (3)

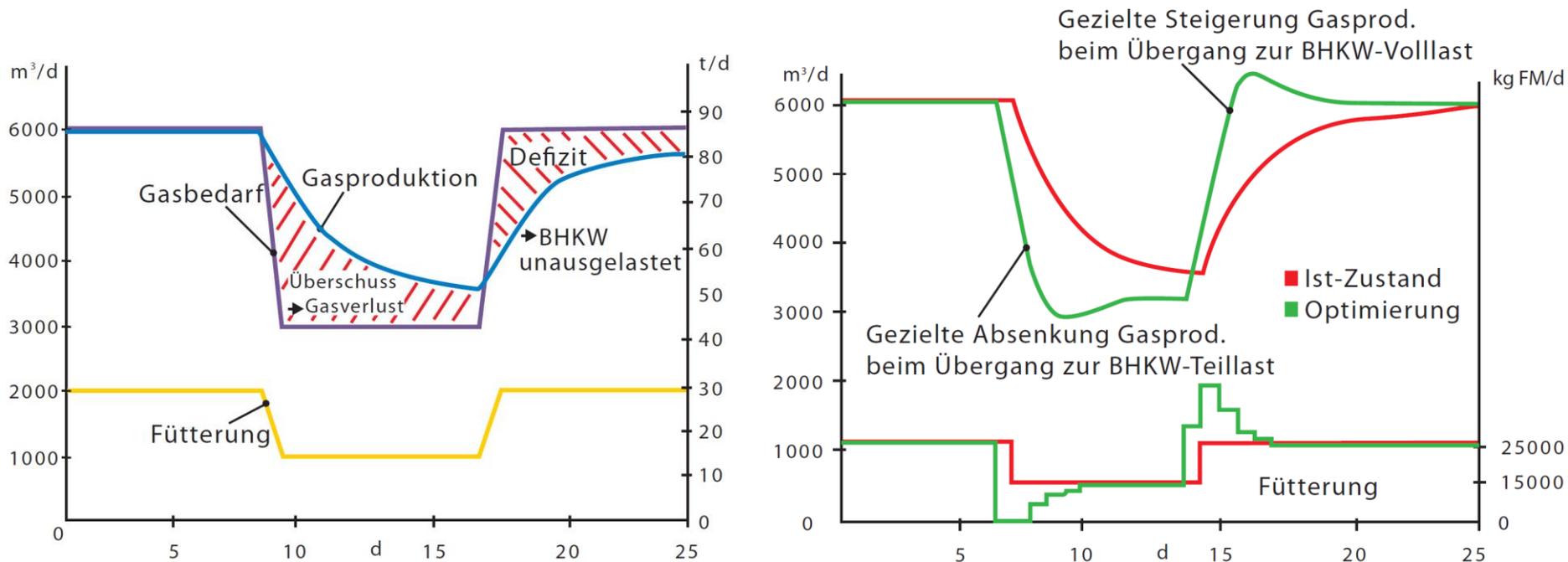


Bild: Beispielprognosen zur Abstimmung der Gasproduktion (abhängig von Fütterung und Stabilität des biologischen Prozesses) und des Gasbedarfs des Blockheizkraftwerks (Bildquelle: Seick und Tschepetzki [2015])

# Abschnitt: Zusammenfassung und Ausblick

## Zusammenfassung und Ausblick (1)

- Mit zunehmenden wirtschaftlichen Herausforderungen gewinnt die Optimierung von Biogasanlagen an Bedeutung!
- Der Einsatz umfangreicher Messtechnik ist diesbezüglich hilfreich, weil wir den Prozess sehr viel besser nachvollziehen können.
- Ziel der Mess- und Automationstechnik ist, die Anlagenverfügbarkeit und den Auslastungsgrad dauerhaft auf einem möglichst hohen Niveau zu halten und kritische Lastfälle frühzeitig zu erkennen.
- Der Stand der Mess- und Automationstechnik erlaubt bereits heute eine Automation von Biogasanlagen auf einem hohem Niveau.
- **Wichtig:** Messgeräte müssen gewartet und kontrolliert werden!  
→ Oft scheitert der Einsatz an dieser Problematik! → Analytische Qualitätssicherung → Die Betreiber müssen geschult werden!

## Zusammenfassung und Ausblick (2)

- Eine allgemein gültige Aussage „Wann machen welche Messgeräte Sinn?“ ist nicht möglich, da dies von vielen Faktoren abhängt ist:
  - Individuelles Sicherheitsbedürfnis des Betreibers und Finanziers
  - Größe und Alter der Biogasanlage
  - Art und Schwankung der Einsatzstoffe
  - ... und viele weitere Faktoren.
- **Herausforderung an Anlagenbau und Forschung:** Es muss klarer gezeigt werden, dass Mess- und Automationstechnik komplexe Probleme effizient lösen kann! Dabei sollte nicht nur die Überwachung des biologischen Prozesses, sondern auch eine Minimierung der Störungen der Maschinenteknik im Fokus stehen!
- **Unser Angebot an Sie:** Wenn Sie Fragen oder Probleme haben, dann kontaktieren Sie uns!

## Literaturverzeichnis

- IWA [2002]: Anaerobic Digestion Model No.1 (ADM1), IWA Task Group for Mathematical Modelling of Anaerobic Digestion Processes, ISBN 9781900222785, IWA Publishing, Großbritannien
- Schneider [2008]: Schneider O., Erfassung und Bewertung von Betriebs- und Störungs- informationen als Grundlage für ein effizientes Instandhaltungs- und Maschinen- management von Biogasanlagen, Diplomarbeit, Fachhochschule Bielefeld, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Bielefeld, Deutschland
- Seick I. und Tschepetzki, R. [2015]: Dynamische Simulation für den optimierten und flexiblen Betrieb von Biogasanlagen, KTBL/FNR-KONGRESS Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven, Potsdam, 22./23.09.2015, Deutschland
- Siemens AG [2014]: SIMATIC PCS 7 Condition Monitoring Library, Präsentation
- Wiese J. , Kujawski O., König R., Dickmann K. und Andree H. [2008]: Applying Instrumentation, Control and Automation for Biogas Plants – Results of Full-scale Applications. Proceedings, World Bioenergy Congress 2008, Sweden
- Wiese J. und König R. [2009]: From a black-box to a glass-box system – The attempt towards a plant-wide automation concept for full-scale biogas plants, Water Science & Technology (WST), Vol. 60, No. 2, pp. 321–327, IWA Publishing, UK
- Wiese J. [2014]: Transparente Prozessüberwachung von Biogas- und Kläranlagen durch Einsatz moderner Mess- und Automationstechnik, Habilitationsschrift, Fakultät Maschinenbau, Helmut-Schmidt-Universität

**Vielen Dank für  
Ihre Aufmerksamkeit!**

Fragen?

Kritik?

Diskussion!