

# Prozessflexibilisierung an Biogasanlagen

## Prozessüberwachung und -regelung

Sören Weinrich, Eric Mauky und Jan Liebetrau



© Anklam Bioethanol GmbH

Biogas Forum Bayern | 27. Sitzung der Arbeitsgruppe III  
26.09.2018 | Technischen Universität München | Siedlungswasserwirtschaft

## Inhalt

### **1. Einleitung**

Kurzvorstellung DBFZ | Flexibilisierung von Biogasanlagen

### **2. Laborversuche**

Flexible Biogasproduktion | Prozessstabilität | Gasspeicherbedarf

### **3. Praxisversuche**

Prozessregelung | Simulationsmodell | Fütterungsmanagement |  
Flexible Biogasproduktion | Prozessstabilität | Gasspeichermanagement

### **4. Zusammenfassung**

Anwendungsszenario | Möglichkeiten | Herausforderungen



# 1. Einleitung

Kurzvorstellung DBFZ

Flexibilisierung von Biogasanlagen

# 1. Einleitung

## Kurzvorstellung DBFZ



### Entwicklung

- gegründet am 28. Februar 2008 in Berlin als gemeinnützige GmbH
- alleiniger Gesellschafter: Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)



### Auftrag

Der Auftrag des DBFZ ist es, die **effiziente Integration von Biomasse** als wertvolle Ressource für eine **nachhaltige Energiebereitstellung** wissenschaftlich im Rahmen angewandter Forschung zu unterstützen.

### Struktur

Rund 200 Mitarbeiter bis 12/2016 in Administration und vier Forschungsbereichen.

# 1. Einleitung

## Kurzvorstellung DBFZ



### Zentrale Aufgabe des DFBZ



Systembeitrag von Biomasse

© Gabriele Jepsen / Fotolia.com

- quantitativer und qualitativer Beitrag der Biomasse im zukünftigen Energiesystem
- zukünftige Anforderungen an Bioenergietechnologien zur Systemintegration
- Zusammenspiel der Bioenergiesektoren im Energiesystem der Zukunft

### Vier Forschungsschwerpunkte des DBFZ

Anaerobe  
Verfahren



Bioenergieträger und  
Kraftstoffe



Intelligente Biomasse-  
heiztechnologien



Katalytische  
Emissionsminderung



© alle Bilder: DBFZ

# 1. Einleitung

## Kurzvorstellung DBFZ



### Technische Ausstattung

Biogaslabor



Kompaktierungstechnik



Kraftstofftechnikum



Forschungsbiogasanlage



Verbrennungstechnikum



Motorenprüfstand

© alle Bilder: DBFZ (J. Gutzeit)

# 1. Einleitung

## Flexibilisierung von Biogasanlagen



### Entwicklung des Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG)

- EEG 2000: 20-jährige Festvergütung, Abnahmepflicht des Stromnetzbetreibers
- EEG 2012/14: Vergütungsabsenkung, Abnahme im Anlagenzubau
- EEG 2017: von der Festvergütung zum Ausschreibemodell

### Mögliche Perspektiven der Biogastechnologie

- Direktvermarktung
- Biogasanlagen als CO<sub>2</sub>-Quelle
- Power2Gas oder Power2Heat
- Aufbereitung zu Biomethan
- Chemikalienproduzent
- Teilnahme an Ausschreibungen

**bedarfsgerechte Biogasproduktion  
als Grundlage für die Entwicklung  
zukunftsfähiger Anlagenkonzepte**



**Prozessflexibilisierung  
zur Direktvermarktung**

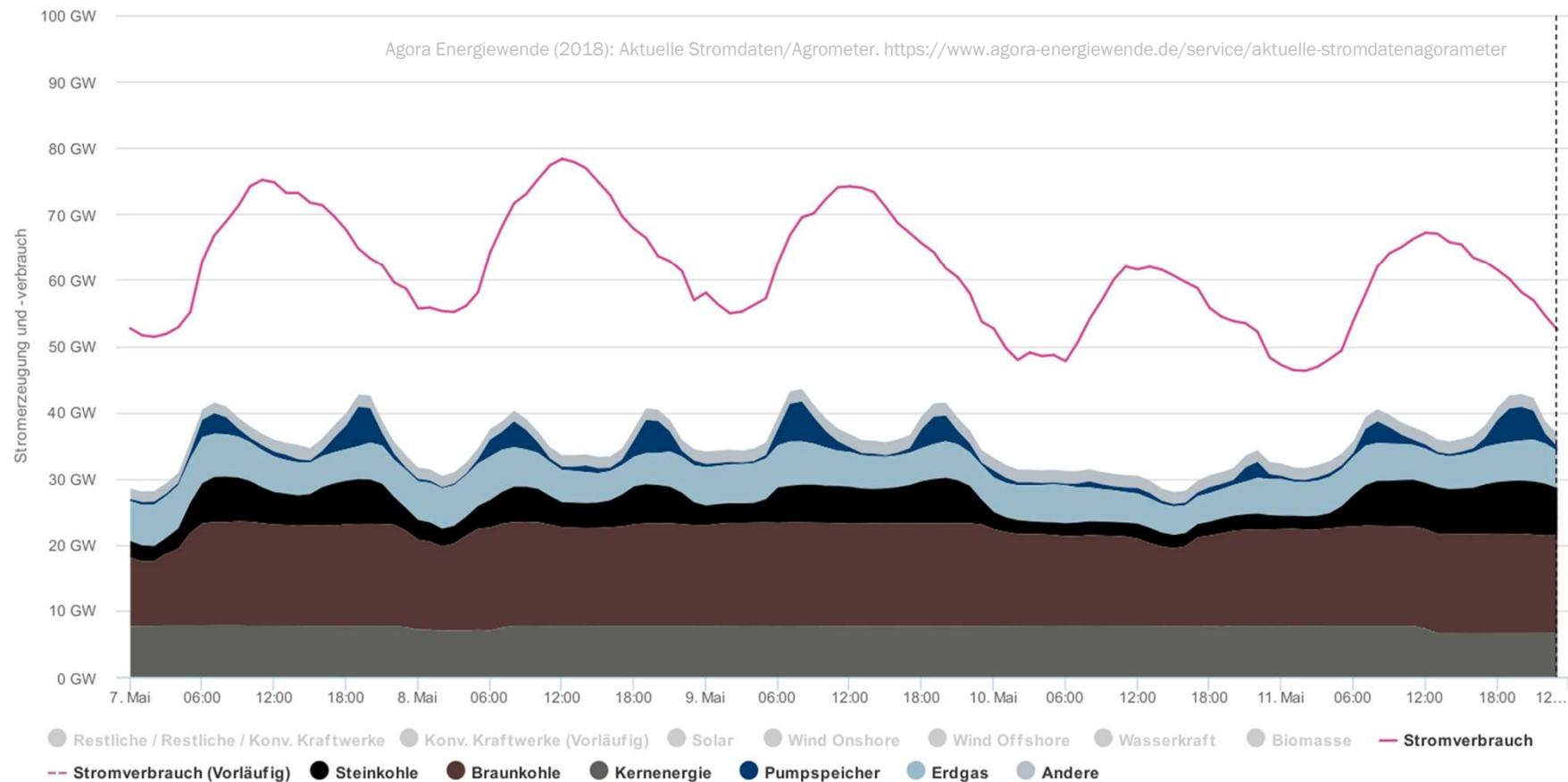
# 1. Einleitung

## Flexibilisierung von Biogasanlagen



### Stromversorgung in Deutschland Montag 07.05.2018 bis Freitag 11.05.2018

#### Konventionelle Kraftwerke



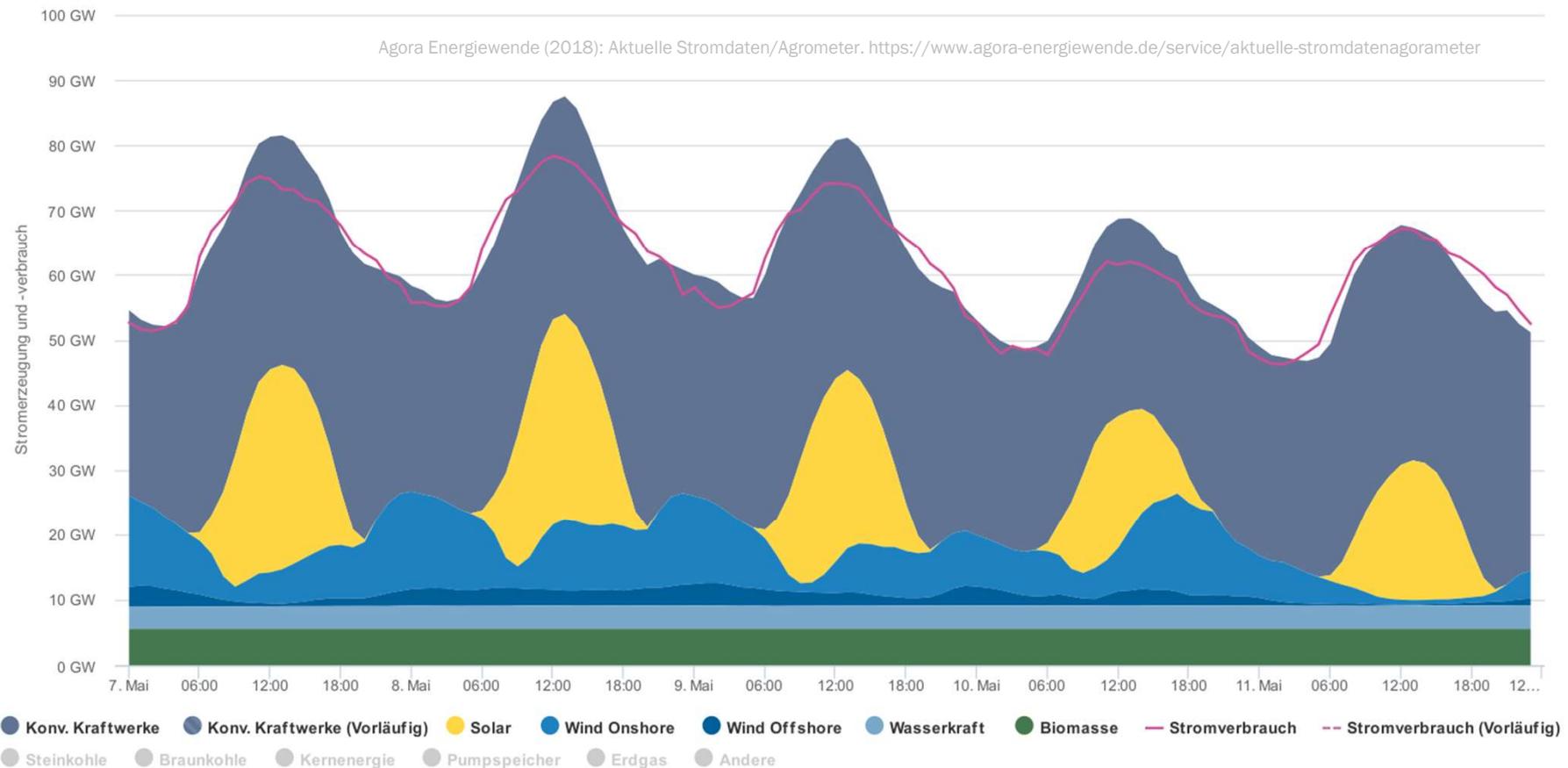
# 1. Einleitung

## Flexibilisierung von Biogasanlagen



### Stromversorgung in Deutschland Montag 07.05.2018 bis Freitag 11.05.2018

#### Konventionelle und regenerative Kraftwerke

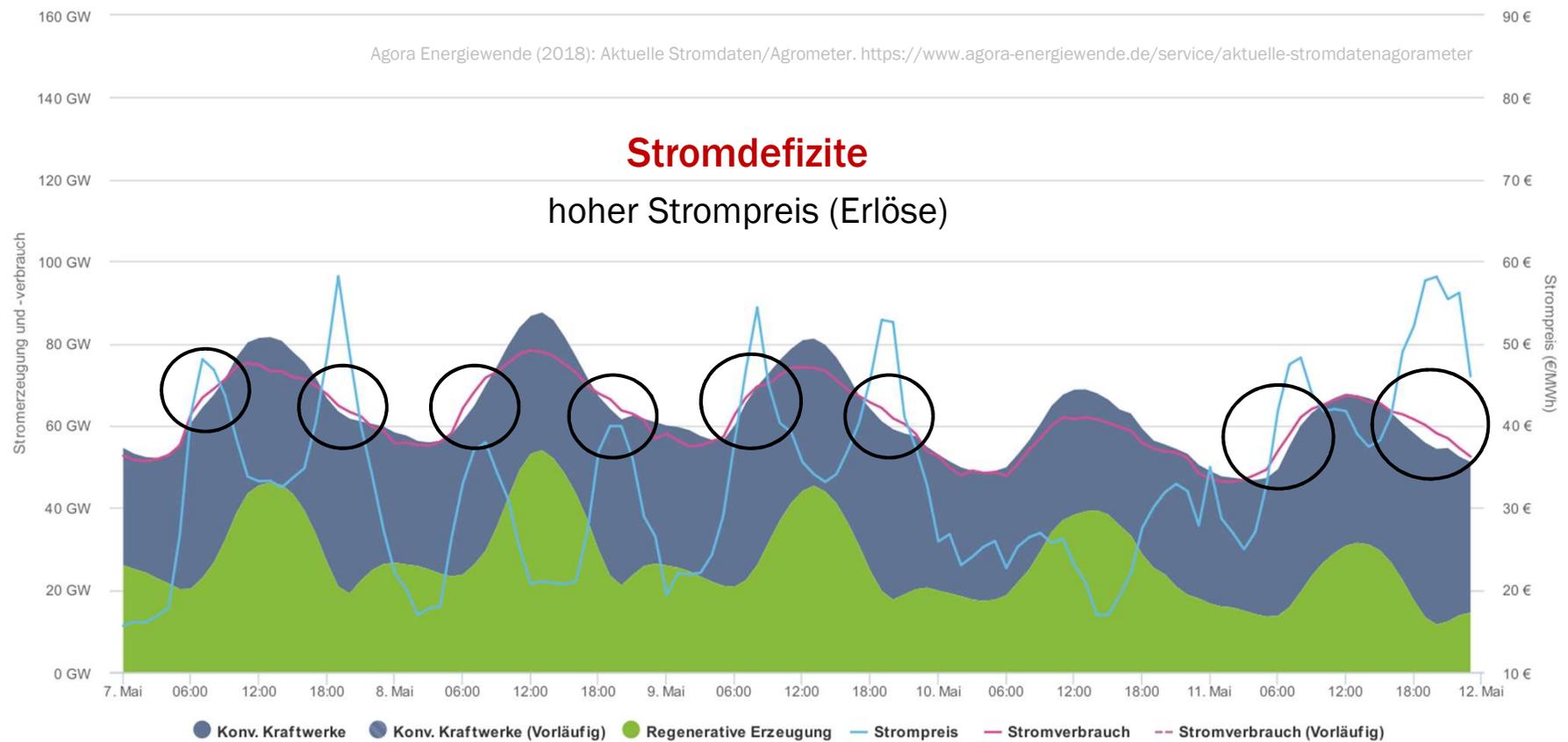


# 1. Einleitung

## Flexibilisierung von Biogasanlagen



### Strompreise in Deutschland Montag 07.05.2018 bis Freitag 11.05.2018

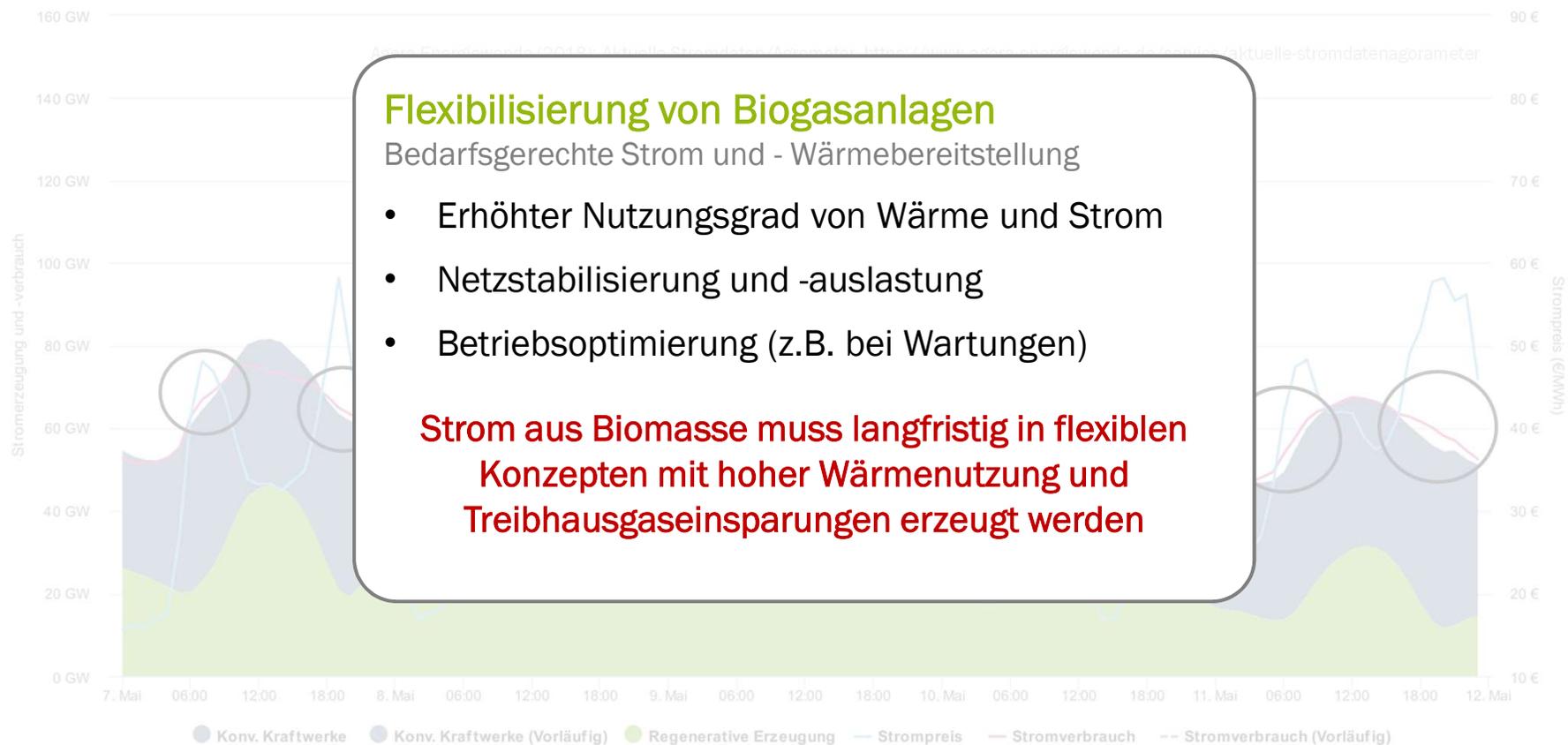


# 1. Einleitung

## Flexibilisierung von Biogasanlagen



### Strompreise in Deutschland Montag 07.05.2018 bis Freitag 11.05.2018



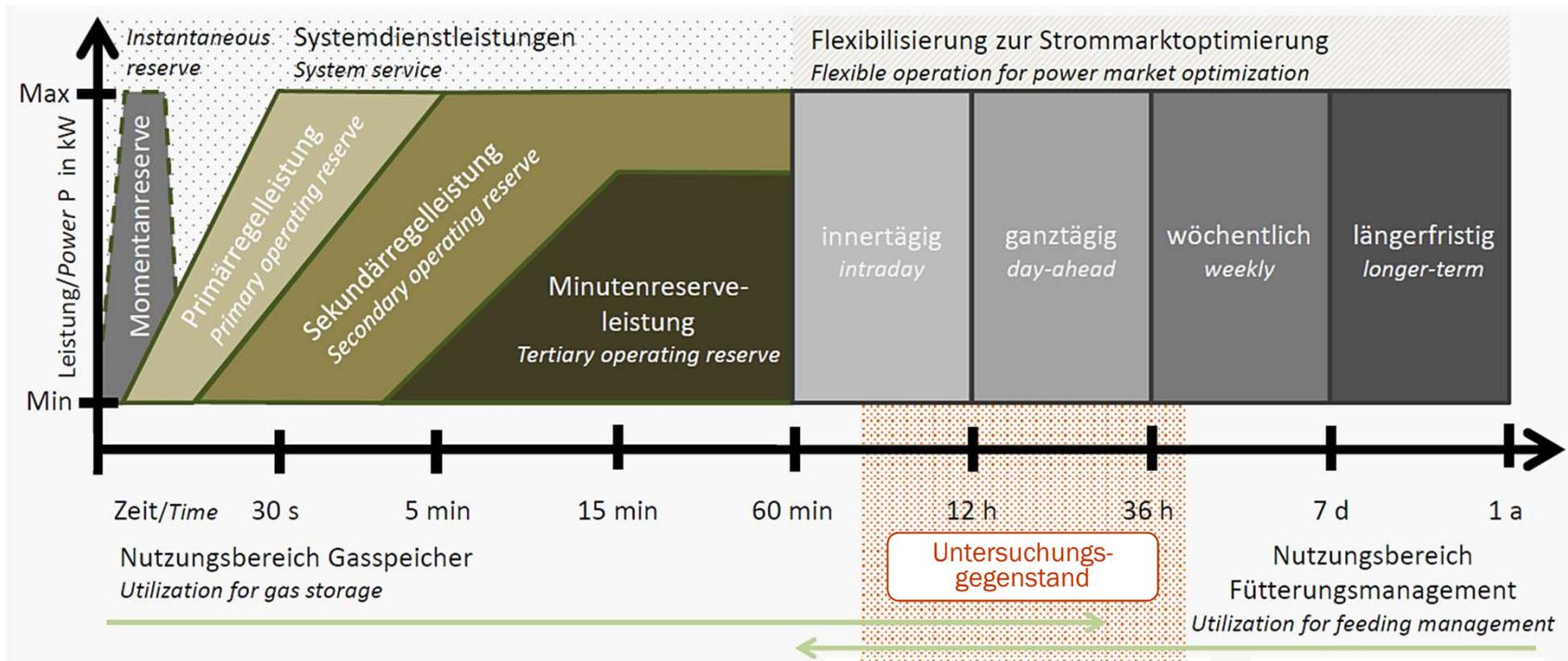
# 1. Einleitung

## Flexibilisierung von Biogasanlagen



### Regelleistung

Zeitliche Charakterisierung der unterschiedlichen Regelleistungsarten



angepasst nach Barchmann et al. (2016)  
 Erweiterung der Flexibilität von Biogasanlagen – Substratmanagement,  
 Fahrplansynthese und ökonomische Bewertung  
 Landtechnik Vol. 71, Nr. 6, S. 233–251

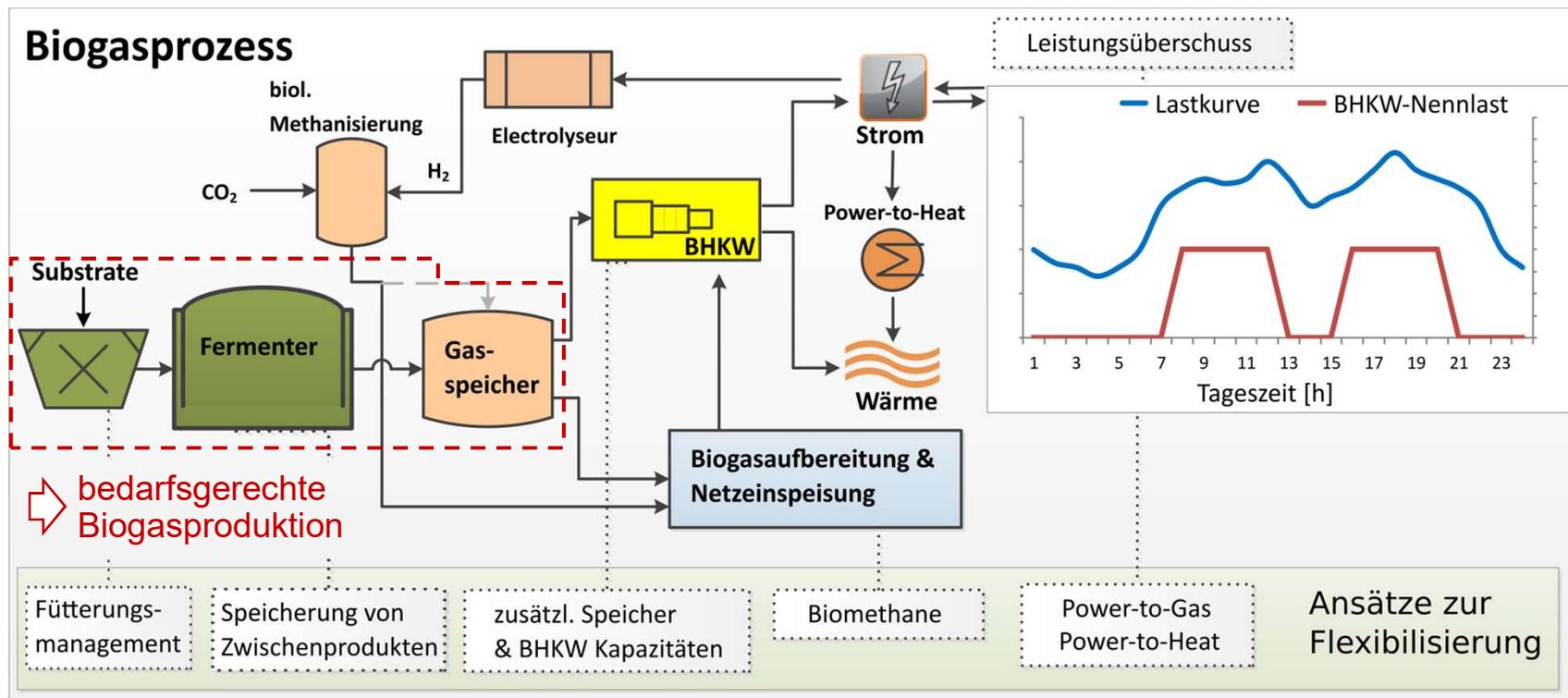
# 1. Einleitung

## Flexibilisierung von Biogasanlagen



### Möglichkeiten zur Flexibilisierung von Biogasanlagen

- vielfältige Optionen und Ansätze zur Flexibilisierung von Biogasanlagen



angepasst nach Szarka et al. (2013)  
 A novel role for bioenergy: A flexible, demand-oriented power supply.  
 Energy Vol. 61, S. 18-26.



## 2. Laborversuche

Flexible Biogasproduktion

Prozessstabilität

Gasspeicherbedarf

## 2. Laborversuche

### Flexible Biogasproduktion



### Laborversuche

- kontinuierlicher Rührkesselreaktor ( $V_R = 35 \text{ L}$ )
- mesophile Betriebstemperatur
- flexibler Substrateinsatz von
  - Maissilage
  - Zuckerrübensilage



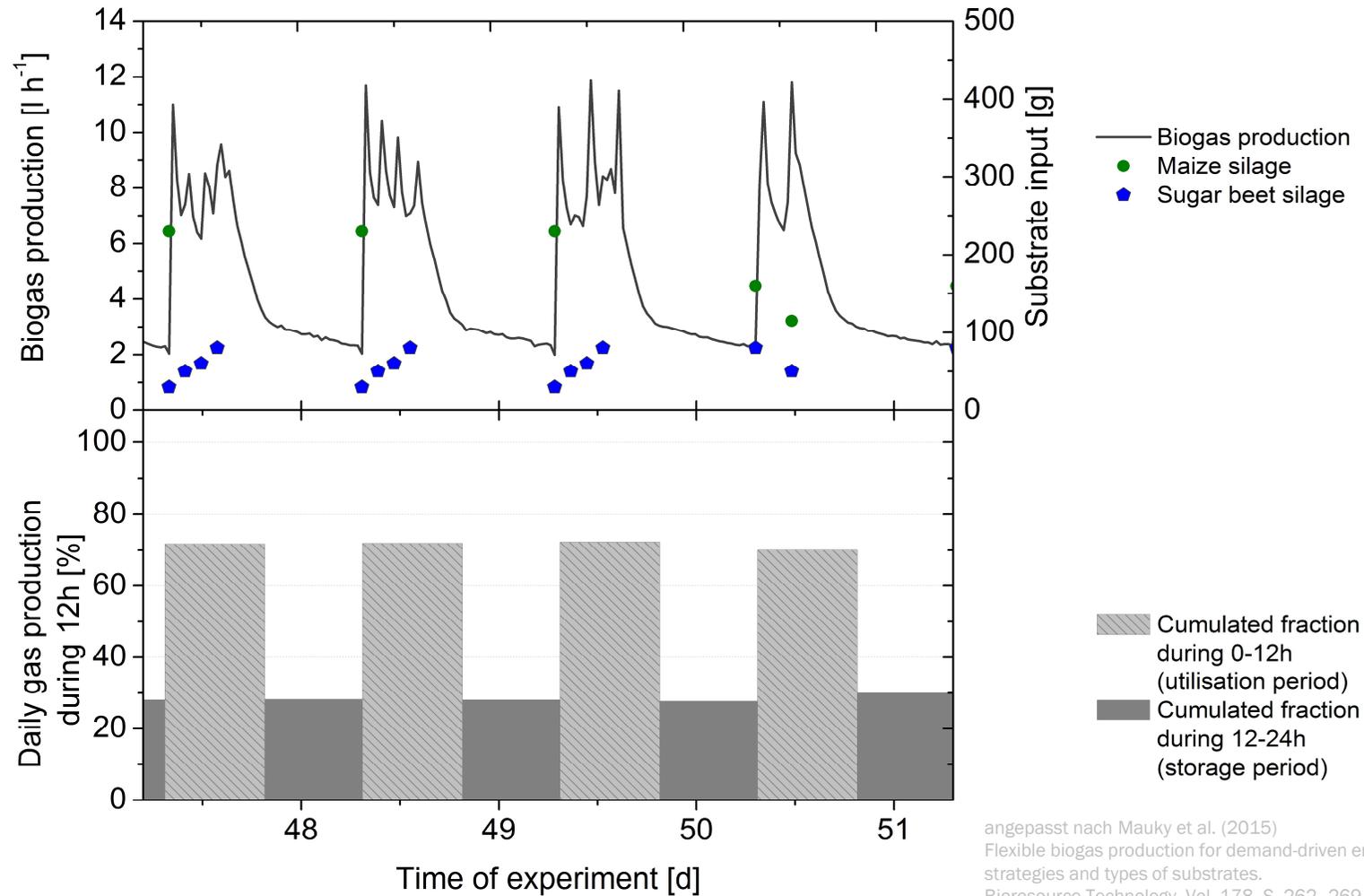
© alle Bilder: DBFZ

# 2. Laborversuche

## Flexible Biogasproduktion



### Substratzufuhr und Biogasproduktion



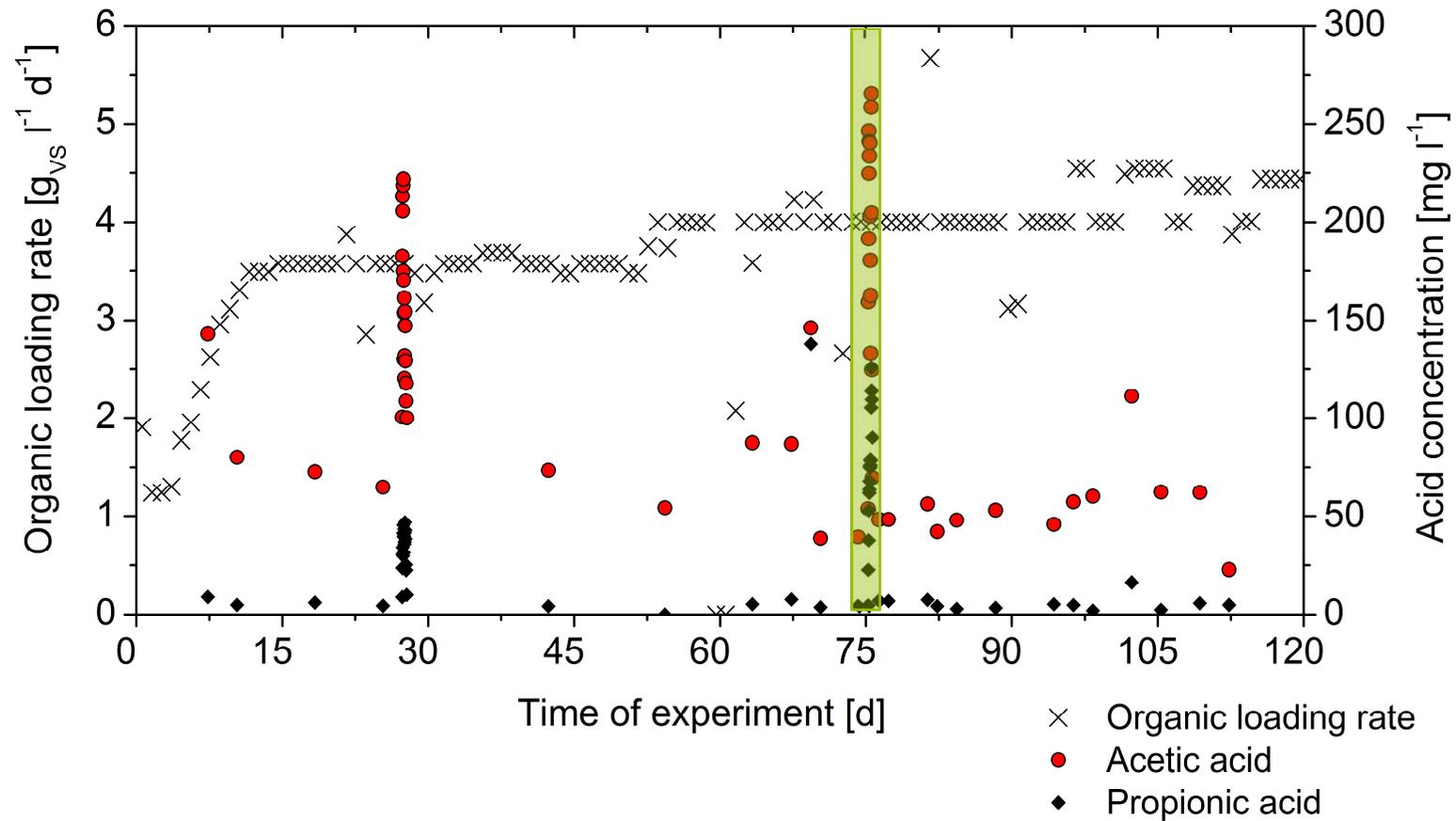
angepasst nach Mauky et al. (2015)  
Flexible biogas production for demand-driven energy supply – Feeding strategies and types of substrates. *Bioresource Technology*, Vol. 178, S. 262–269.

# 2. Laborversuche

## Prozessstabilität



Konzentration organischer Säuren | Raumbelastung  $\approx 4 \text{ g}^{-1} \text{ oTS L}^{-1} \text{ d}^{-1}$



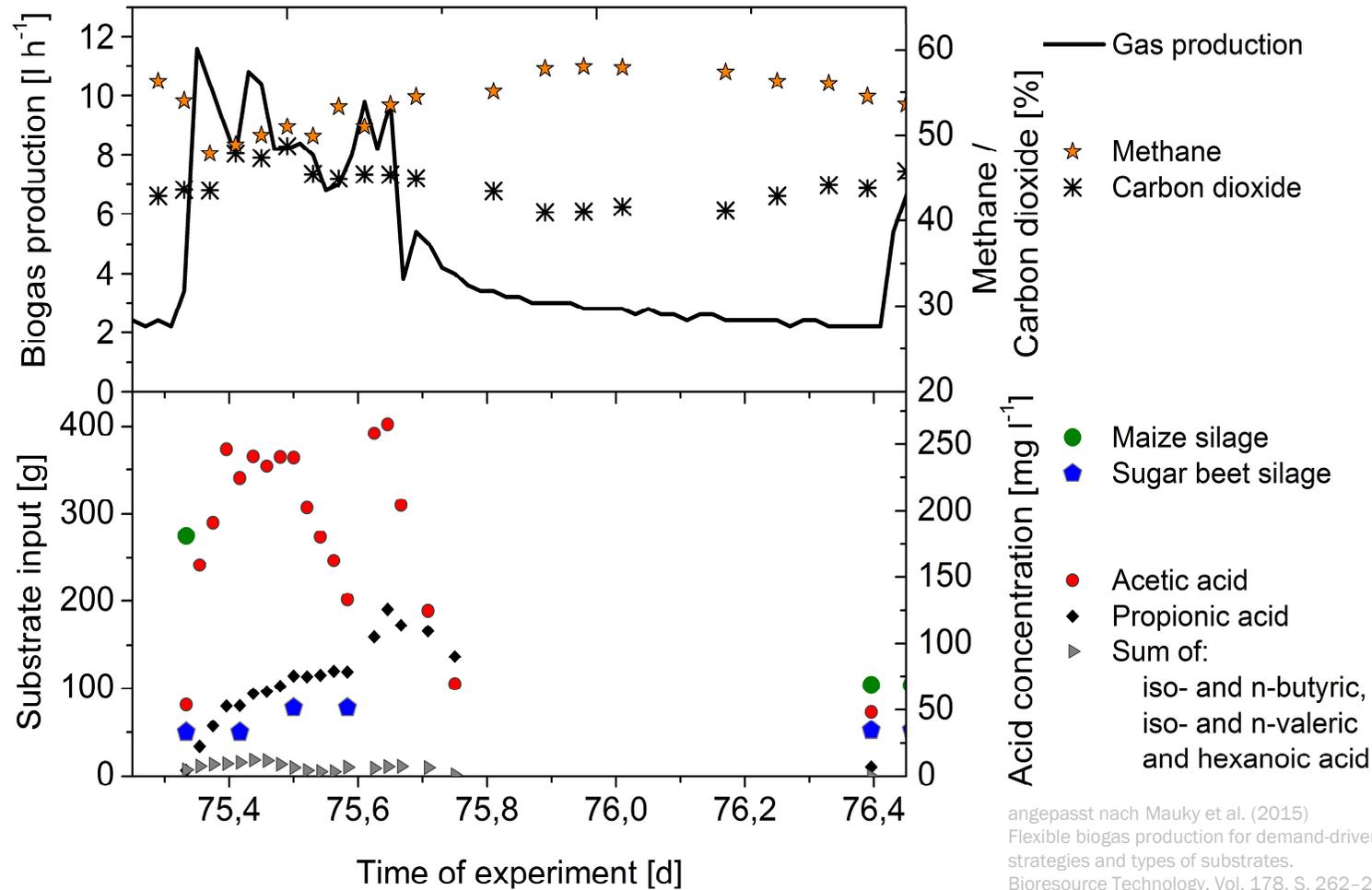
angepasst nach Mauky et al. (2015)  
Flexible biogas production for demand-driven energy supply – Feeding strategies and types of substrates.  
Bioresource Technology, Vol. 178, S. 262–269.

# 2. Laborversuche

## Prozessstabilität



### Tagesgang der Gasqualität und Säurekonzentration



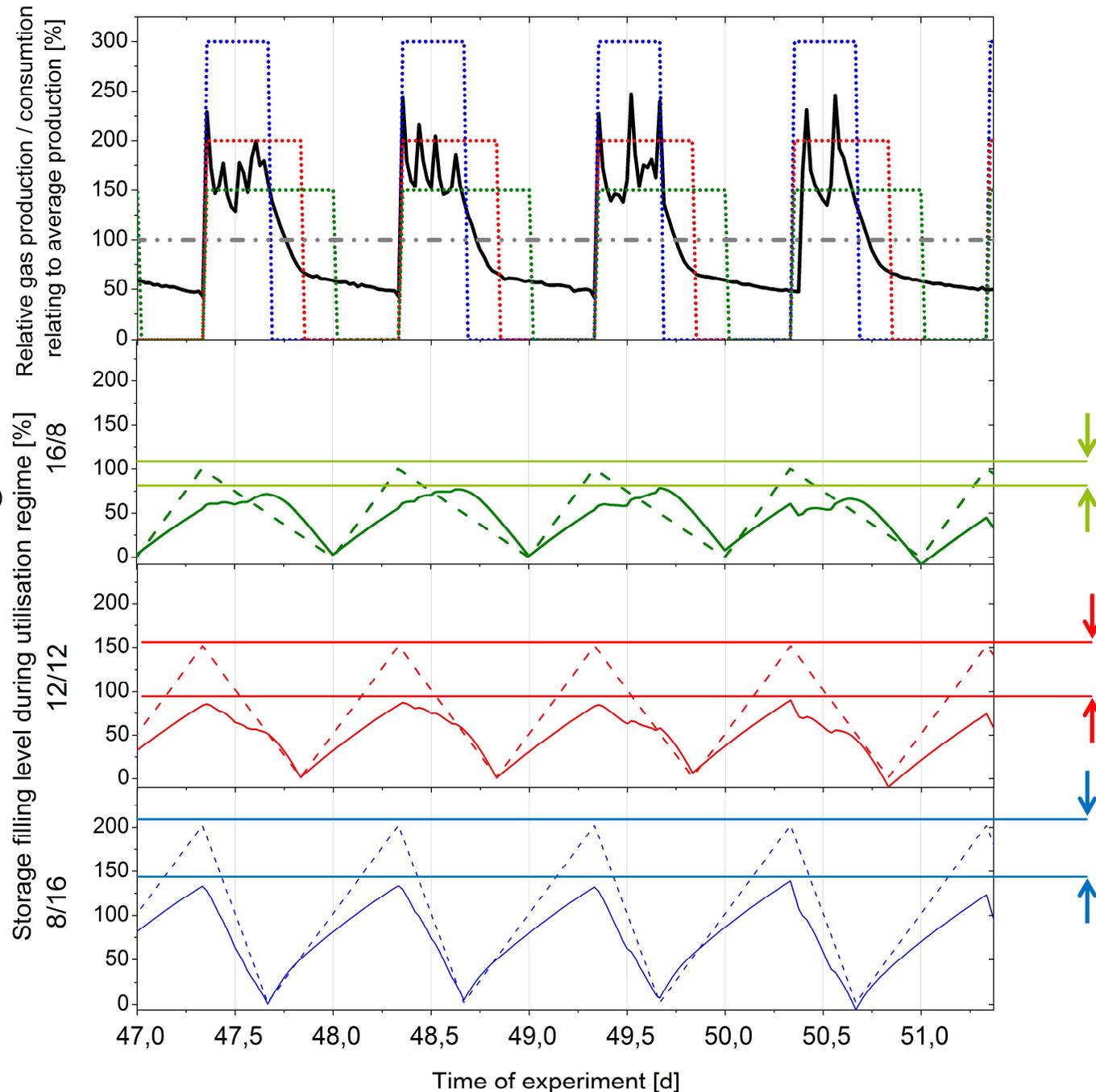
# 2. Labor- versuche

## Gasspeicher- bedarf

- Flexible gas production
- - - Average gas production
- ... 16/8h gas utilisation regime
- ... 12/12h gas utilisation regime
- ... 8/16h gas utilisation regime

- Storage filling level during  
a utilisation regime of:
- 16/8h (flexible gas prod.)
  - - - 16/8h (continuous gas prod.)
  - 12/12h (flexible)
  - - - 12/12h (continuous)
  - 8/16h (flexible)
  - - - 8/16h (continuous)

angepasst nach Mauky et al. (2015)  
Flexible biogas production for demand-  
driven energy supply - Feeding  
strategies and types of substrates.  
Bioresource Technology,  
Vol. 178, S. 262-269.





### **3. Praxisversuche**

Prozessregelung

Simulationsmodell

Fütterungsmanagement

Flexible Biogasproduktion

Prozessstabilität

Gasspeichermanagement

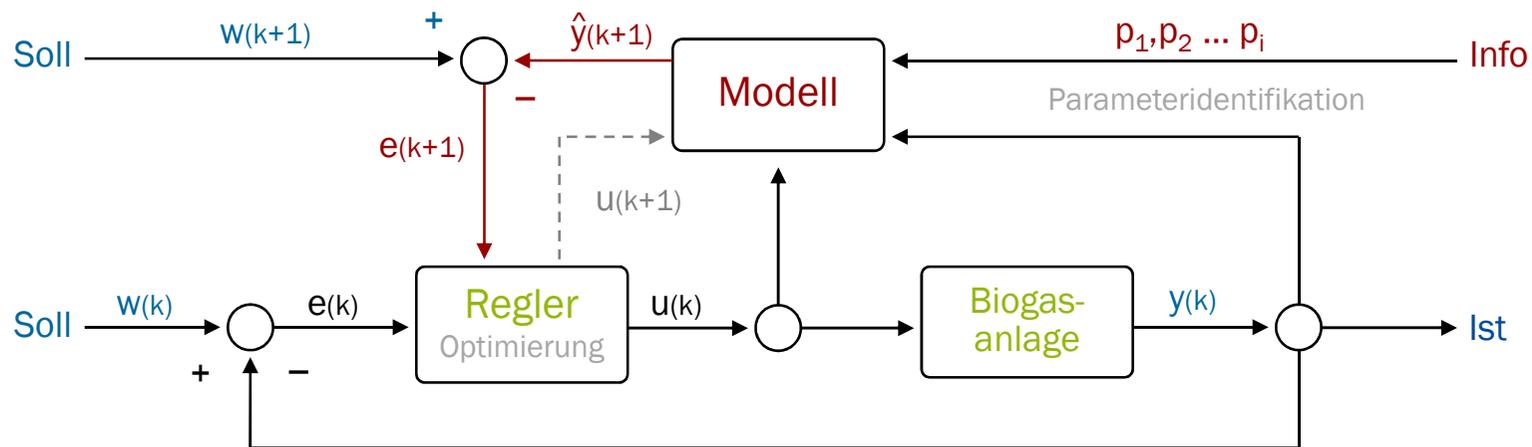
# 3. Praxisversuche

## Prozessregelung



### Model Predictive Control (MPC)

Modellbasierte Regelung für automatisierte und optimierte Prozessführung



↳ Regelung ist erheblich von der Genauigkeit der Modellrechnung (Simulation) abhängig

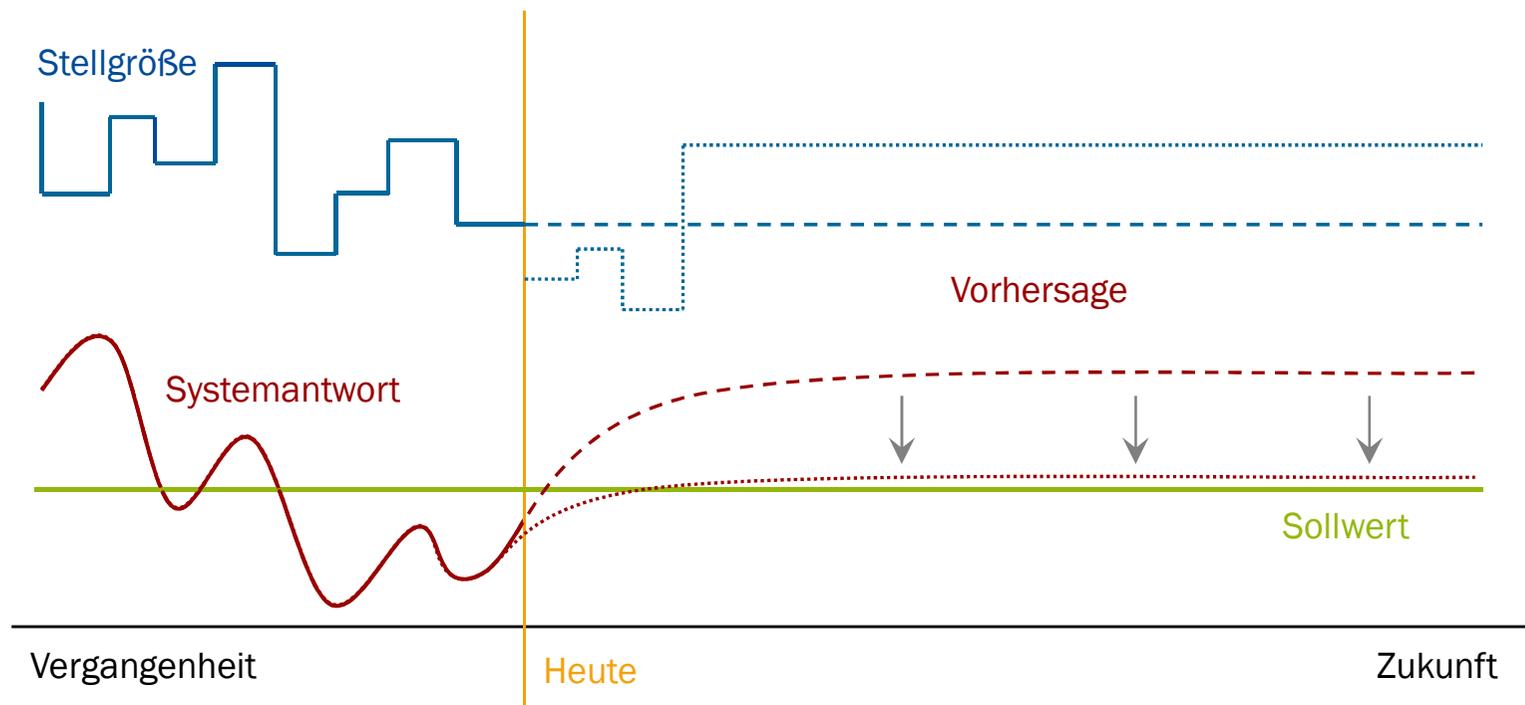
# 3. Praxisversuche

## Prozessregelung



### Model Predictive Control (MPC)

Schematisches Funktionsbeispiel: Systemantwort im Zeitbereich

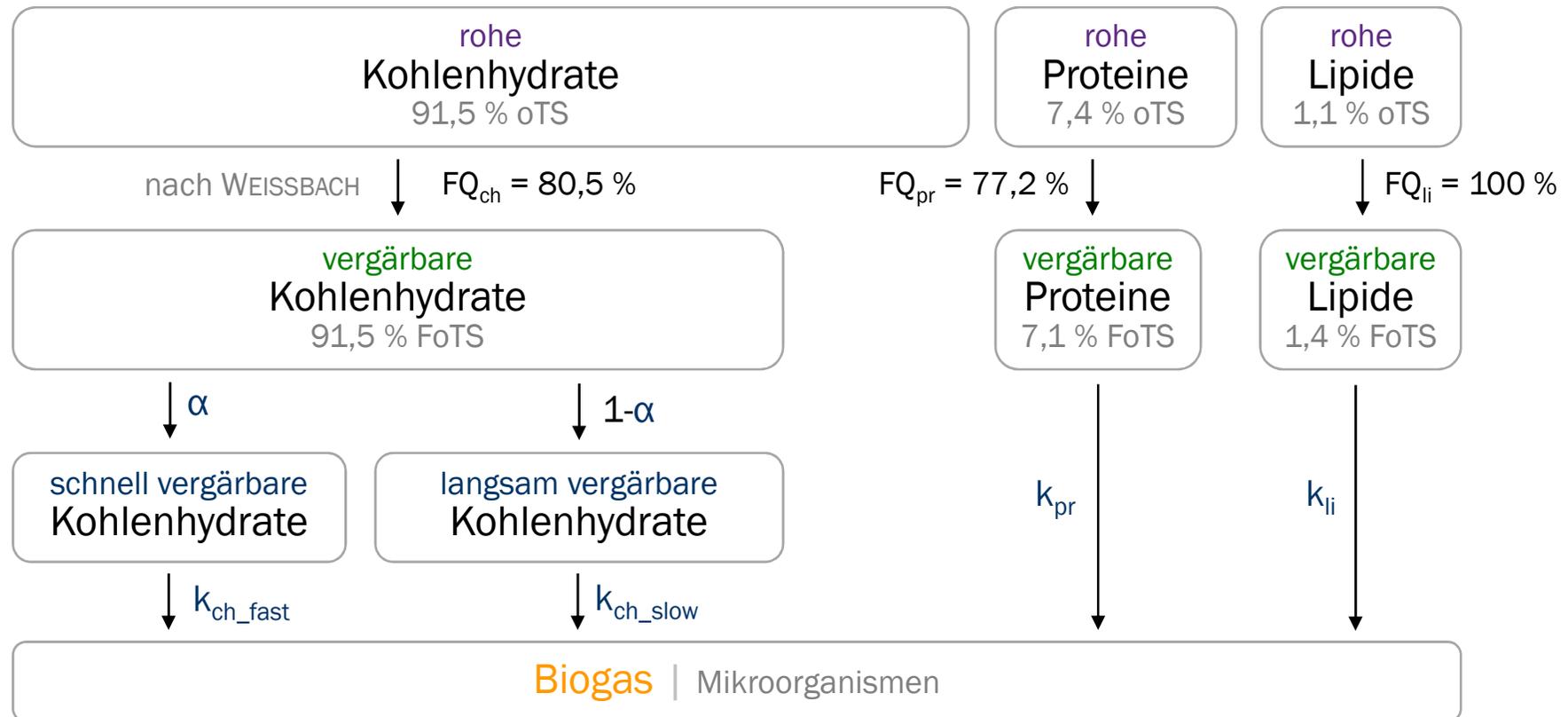


# 3. Praxisversuche

## Simulationsmodell



### Vereinfachung des ADM1 | Substratcharakterisierung Beispiel: Maissilage



# 3. Praxisversuche

## Fütterungsmanagement



### Anlagenaufbau und -komponenten

- 75 kW elektrisch und 70 kW thermische Leistung (Zündstrahlmotor)
- zahlreiche und vielfältige Fermentertypen
  - zwei Hauptfermenter mit Zentralrührwerk (festes Gasdach)
  - Nachgärer und Gärrestlager (Doppelmembran Gasspeicher)
  - Kleinfermenter (Hydrolysestufe) und Pfropfenstromreaktor
- umfangreiche Automatisierungstechnik und Sensoren



© aller Bilder: DBFZ (J. Gutzeit und P. Trainer)

# 3. Praxisversuche

## Fütterungsmanagement



### Aufbau der Forschungsbiogasanlage



© Zeichnung DBFZ (M. Stur)

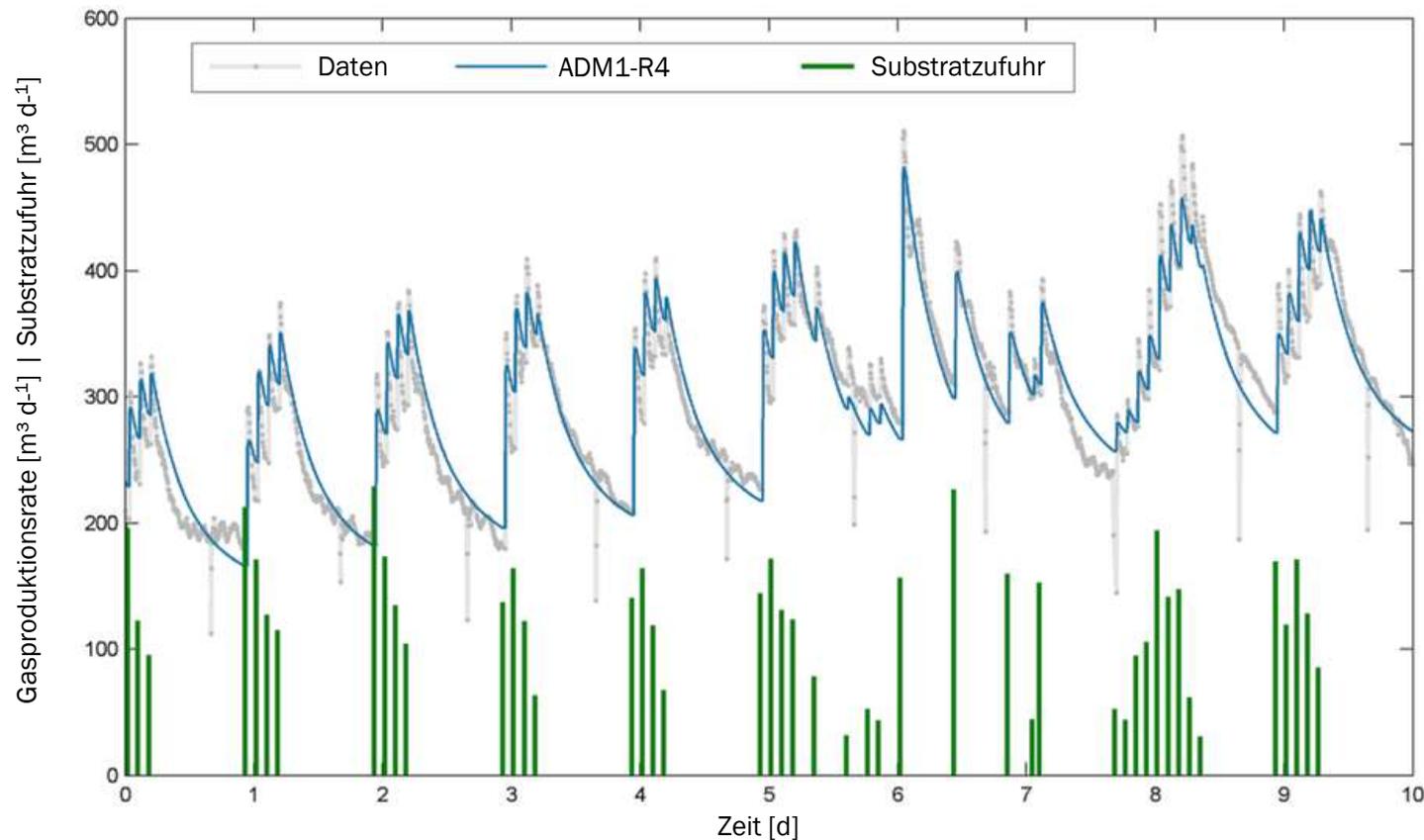
# 3. Praxisversuche

## Fütterungsmanagement



### Simulation der bedarfsgerechten Biogasproduktion anhand des ADM1-R4

Monovergärung von Maissilage bei optimierten Modellparametern ( Reaktionskonstanten)

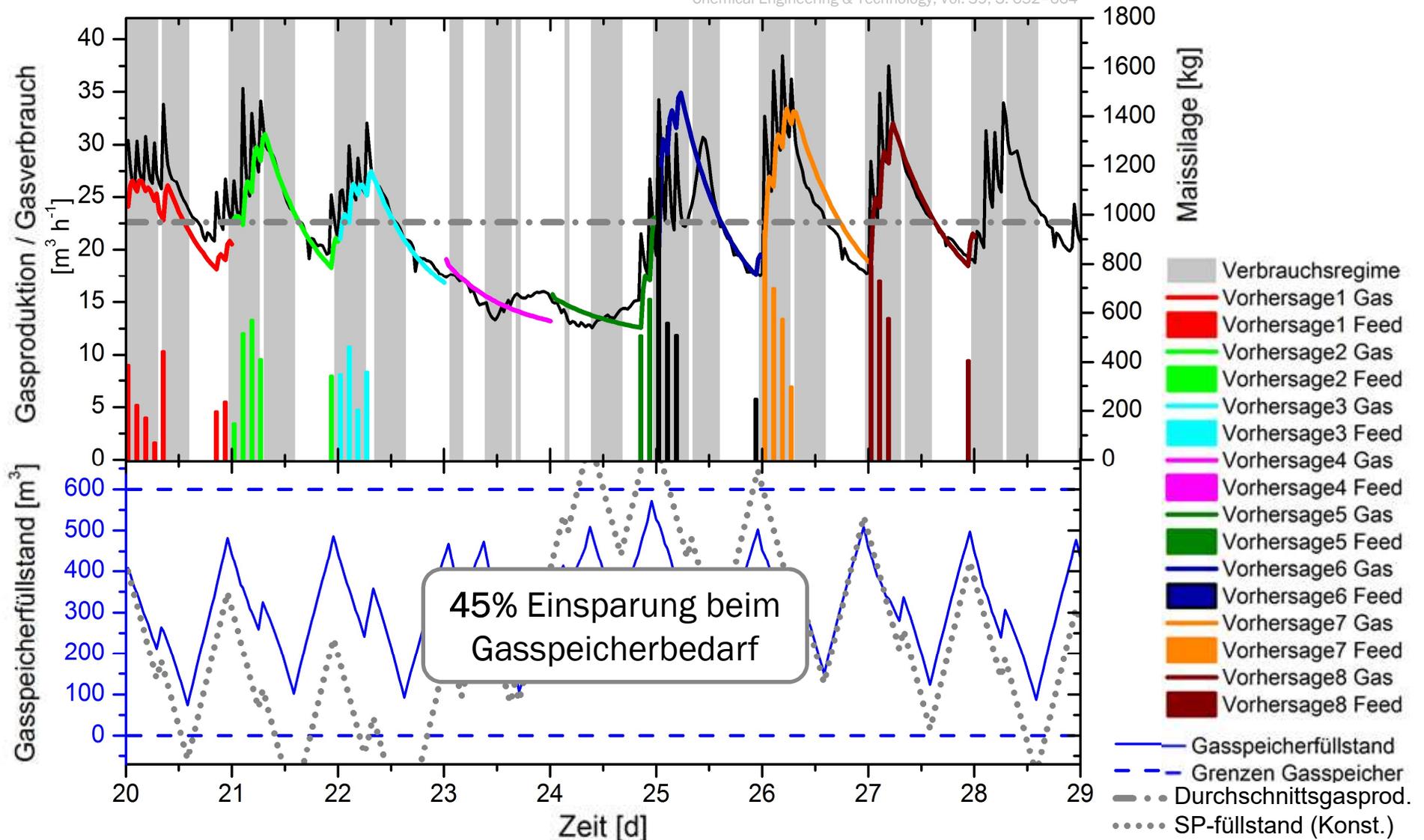


# 3. Praxisversuche

## Flexible Biogasproduktion



angepasst nach Mauky et al. (2016)  
 Model Predictive Control for Demand-Driven Biogas Production in Full Scale.  
 Chemical Engineering & Technology, Vol. 39, S. 652-664



# 3. Praxisversuche

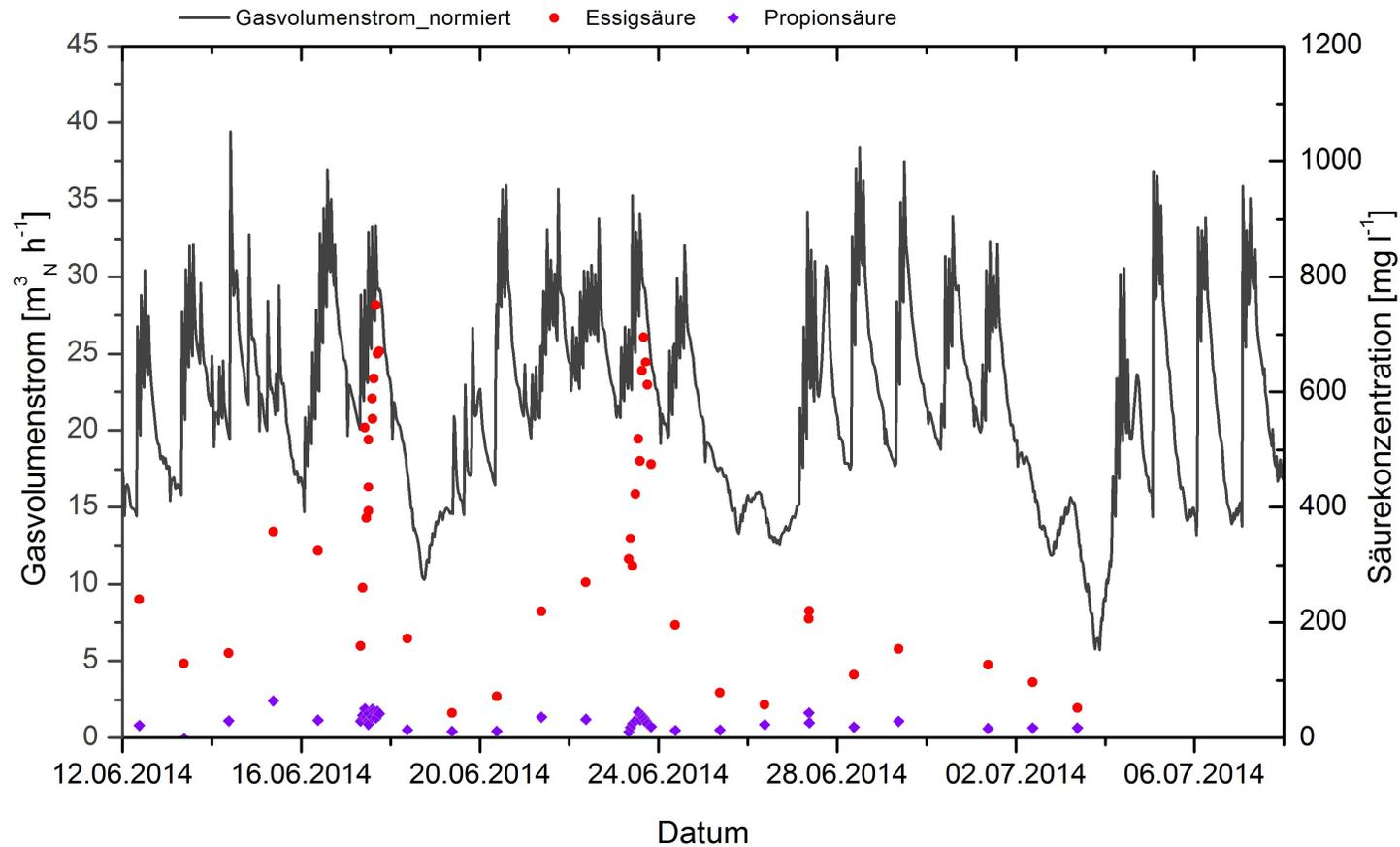
## Prozessstabilität



### Forschungsbiogasanlage DBFZ | 190 m<sup>3</sup>

Substrate: Maissilage, Rindergülle und Zuckerrübensilage

angepasst nach Mauky et al. (2017)  
Demand-driven biogas production by flexible feeding in full-scale – Process stability and flexibility potentials  
Anaerobe, Vol. 46, S. 86-95.



© DBFZ (J. Gutzeit)

# 3. Praxisversuche

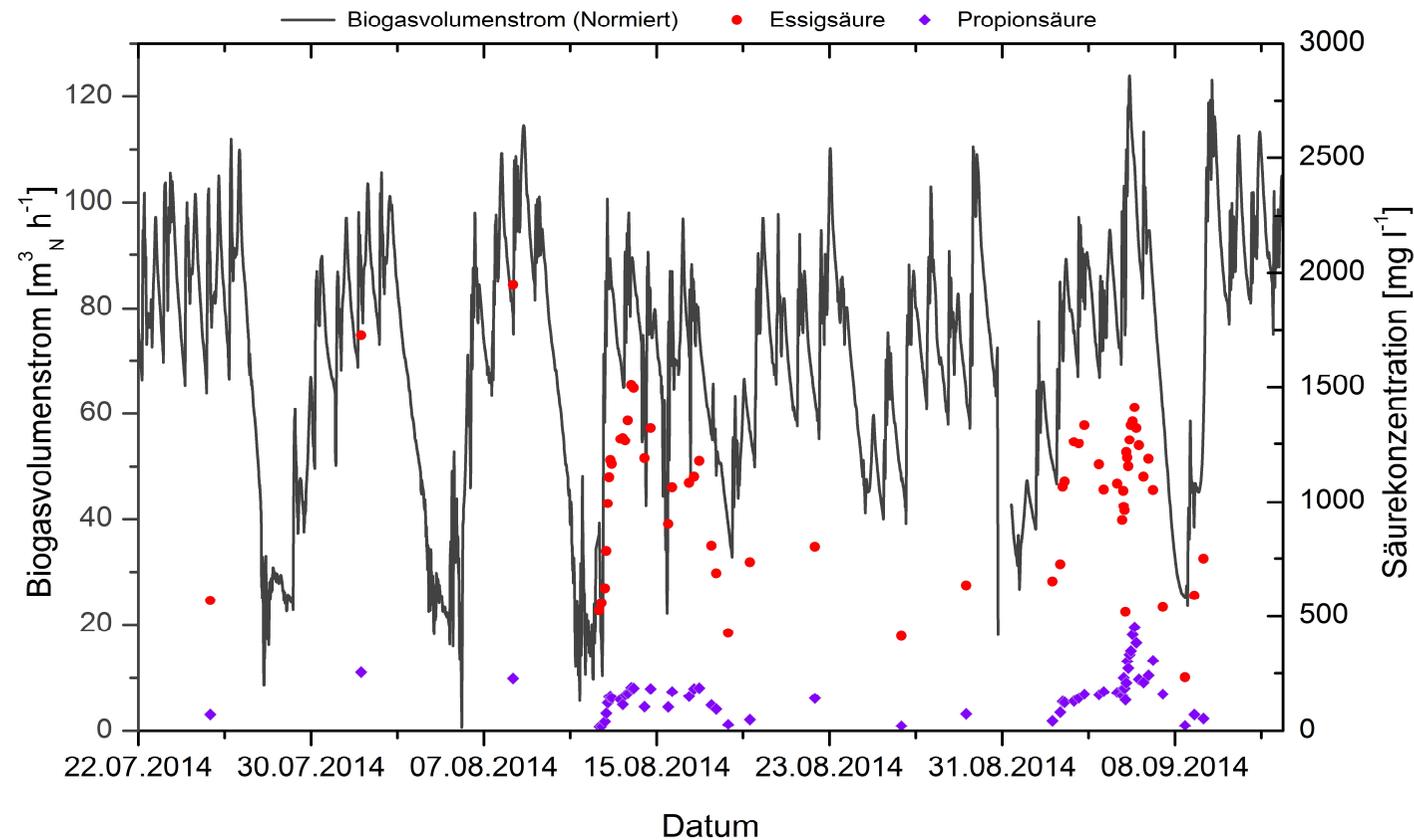
## Prozessstabilität



### Forschungsbiogasanlage Uni Hohenheim | 923 m<sup>3</sup>

Substrate: Maissilage, Grassilage und Getreideschrot

angepasst nach Mauky et al. (2017)  
Demand-driven biogas production by flexible feeding in full-scale – Process stability and flexibility potentials  
Anaerobe, Vol. 46, S. 86-95.



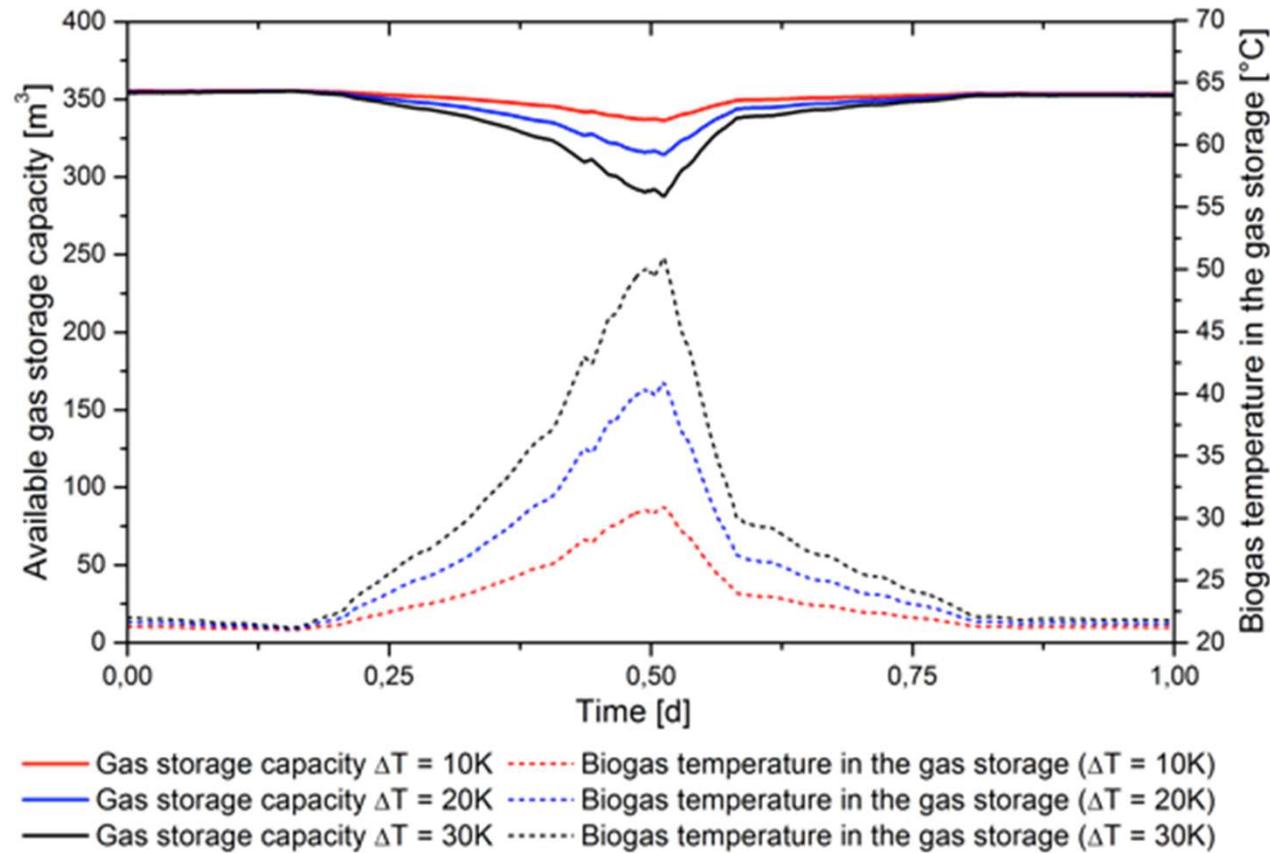
© Novatech

# 3. Praxisversuche

## Gasspeichermanagement



### Temperatureinfluss im Gasspeicher



in Anlehnung an Mauky et al. (2017)  
 Demand-driven biogas production in full-scale by model predictive feed control.  
 Conference Proceedings of the 25th European Biomass Conference and  
 Exhibition (EUBCE), Stockholm, Sweden, S. 1845-1851

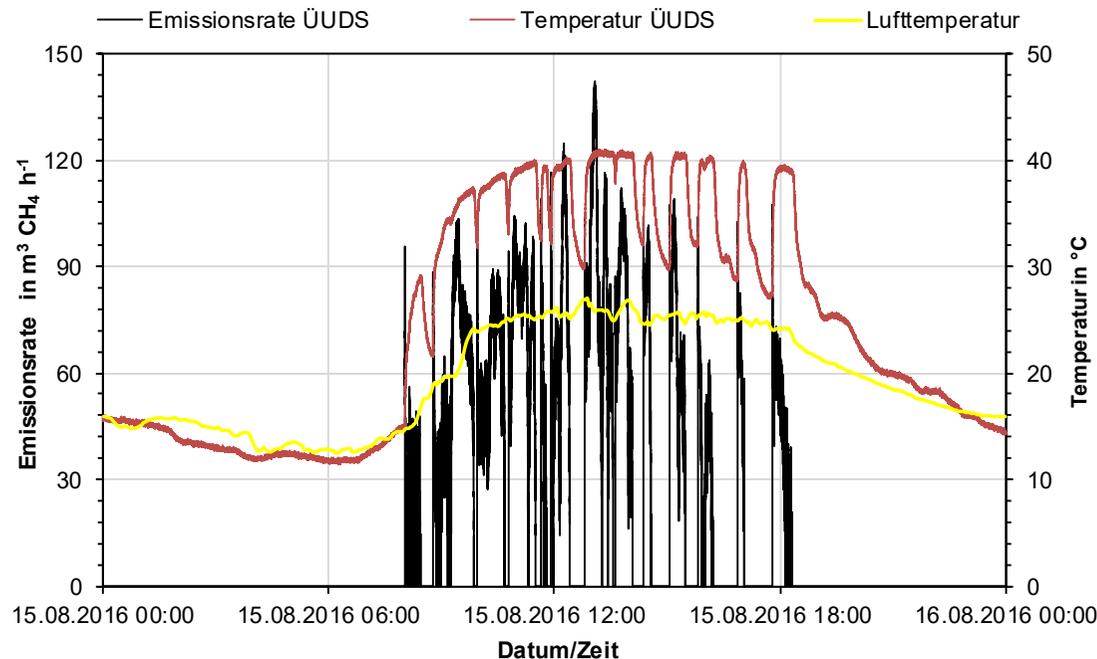
# 3. Praxisversuche

## Gasspeichermanagement



### Ursachen für das Auslösen von Überdrucksicherungen

- falsch betriebener Gasspeicher bei ca. 80 bis 100%
- unzureichende Einbindung der Konversionsaggregate in Anlagensteuerung
- fehlende Wartung und Instandsetzung der Gasspeicher und Konversionsaggregate



- ungeeignetes Fütterungsregime
- Keine Berücksichtigung der Witterungseinflüsse

angepasst nach Reinelt (2017)  
Messtechnische Überwachung diffuser, betriebsbedingter und/oder zeitlich variabler Methanemissionen aus Biogasanlagen  
Tagungsbeitrag FNR/KTBL-Kongress, Bayreuth, S. 237-249.



## 4. Zusammenfassung

Anwendungsszenario

Möglichkeiten

Herausforderungen

# 4. Zusammenfassung

## Anwendungsszenario

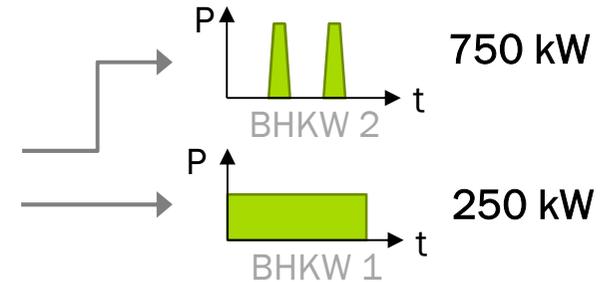
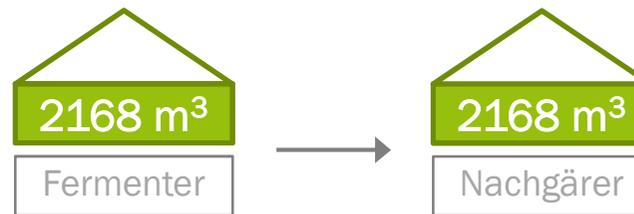
angepasst nach Barchmann et al. (2016)  
 Erweiterung der Flexibilität von Biogasanlagen – Substratmanagement,  
 Fahrplansynthese und ökonomische Bewertung.  
 Landtechnik Vol. 71, Nr. 6, S. 233–251



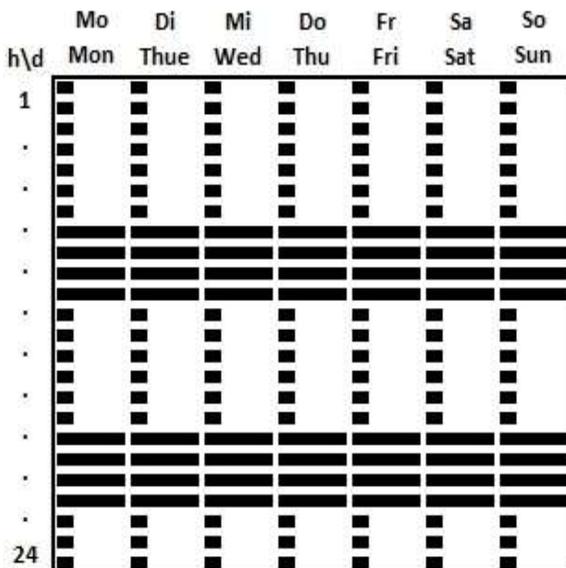
### Referenzanlage

Substrate:  
 70 % Maissilage  
 30 % Rindergülle

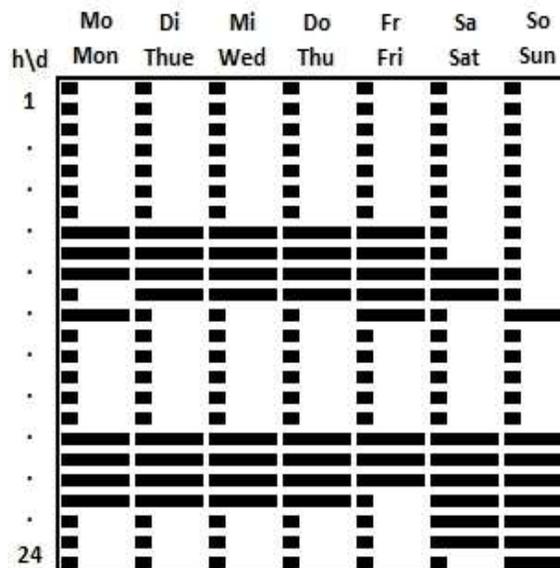
Gasspeicher Brutto **2200 m<sup>3</sup>**



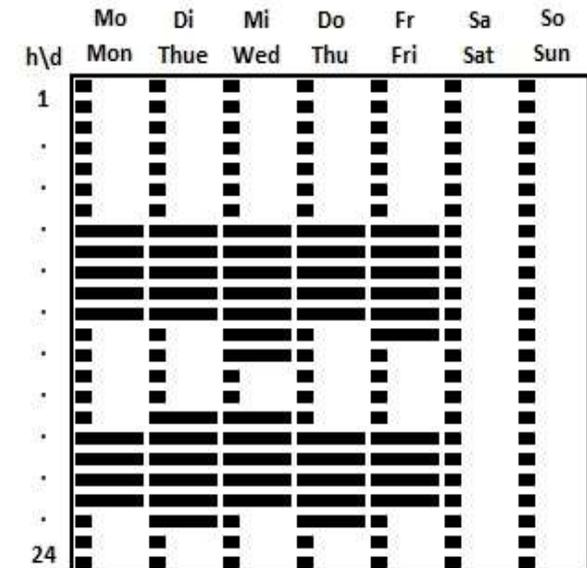
Standardfahrplan - 24  
 standard schedule - 24



Tagesfahrplan - 24/7  
 daily schedule - 24/7



Wochenfahrplan - 168  
 weekly schedule - 168



# 4. Zusammenfassung

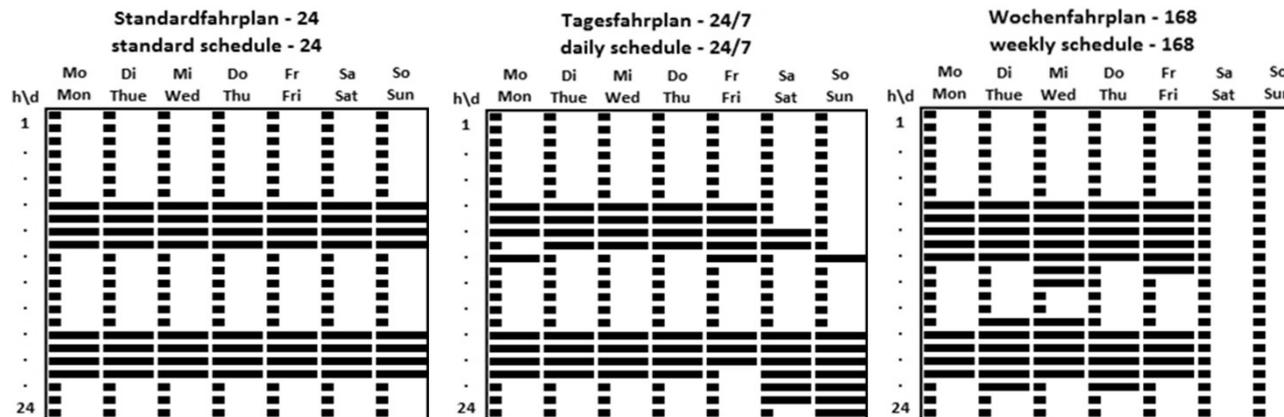
## Anwendungsszenario

angepasst nach Barchmann et al. (2016)  
 Erweiterung der Flexibilität von Biogasanlagen – Substratmanagement,  
 Fahrplansynthese und ökonomische Bewertung.  
 Landtechnik Vol. 71, Nr. 6, S. 233–251



### Ausgangsszenario

Gasspeicher  
 Bruttovolumen  
**2200 m<sup>3</sup>**



EPEX-Mehrerlös [€ p.a.]	17 902		19 572		26 872	
Mehrerlös gegenüber dem Referenzszenario [%]	-		9,3 %		50,1 %	
Fütterung	statisch	dynamisch	statisch	dynamisch	statisch	dynamisch
Speicherbedarf abs. [m <sup>3</sup> ]	1 638	1 407	2 948	1 796	9 500	3 314
Speicherauslastung [%]	74 %	64 %	134 %	82 %	432 %	151 %
zusätzlicher Speicherbedarf [m <sup>3</sup> ]	0	0	748	0	7 300	1 114
Speicherreduktion [%]		-14,1 %		-39,1 %		-65,1 %

# 4. Zusammenfassung

## Möglichkeiten



### Möglichkeiten

- Biogasprozess kann flexibler betrieben werden, als momentan üblich
  - ↳ hohe Dynamik und Prozessstabilität bei typischen Raumbelastungen
- große Gasspeichereinsparungen durch bedarfsgerechtes Fütterungsmanagement
  - ↳ vielfältige Optionen durch flexiblen Substrateinsatz und dynamische Anlagenführung
- vereinfachte Prozessmodelle sind für eine robuste und praxisnahe Anwendung geeignet
  - ↳ keine allgemeingültige Aussagen, Auswahl erfolgt anhand der konkreten Zielstellung
- Simulation und Regelung der Biogasproduktion ist mit hoher Genauigkeit möglich
  - ↳ Prozessentwicklung, Zustandsüberwachung, Prozessoptimierung und -regelung
- Gasspeichermanagement muss Temperaturschwankungen kompensieren
  - ↳ präzise Messungen bzw. Modellierung (Vorhersage) der Füllstände erforderlich

# 4. Zusammenfassung

## Herausforderungen



### Herausforderungen

- Erweiterung der Prozessüberwachung und -regelung
  - Anwendung weiterer Regelgrößen, Prozesse und Substrate
  - Simulation umfangreicher Anlagenkonzepte (einschließlich Gasstrecke)
  - Abbildung von Störungen und Prozessinhibitoren bei hohen Raumbelastungen
  - Berücksichtigung technischer Effekte wie z.B. Substrataufschluss, Durchmischung, etc.
- Sensorentwicklung zur automatisierten (online) Prozessüberwachung

↳ Ausblick: Anwendung praxisnaher Methoden  
im großtechnischen Anlagebetrieb

## Smart Bioenergy – Innovationen für eine nachhaltige Zukunft

### **Ansprechpartner**

Sören Weinrich

Tel. +49 (0)341 2434 – 341

E-Mail: [soeren.weinrich@dbfz.de](mailto:soeren.weinrich@dbfz.de)

Eric Mauky

Tel. +49 (0)341 2434 – 745

E-Mail: [eric.mauky@dbfz.de](mailto:eric.mauky@dbfz.de)

**DBFZ Deutsches  
Biomasseforschungszentrum  
gemeinnützige GmbH**

Torgauer Straße 116

D-04347 Leipzig

Tel.: +49 (0)341 2434 – 112

E-Mail: [info@dbfz.de](mailto:info@dbfz.de)

[www.dbfz.de](http://www.dbfz.de)