

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 DBFZ



© 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 CO₂-Quelle
- Power2Gas oder Power2Heat
- Aufbereitung zu Biomethan
- Chemikalienproduzent
- Teilnahme an Ausschreibungen

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



**Prozessflexibilisierung
zur Direktvermarktung**

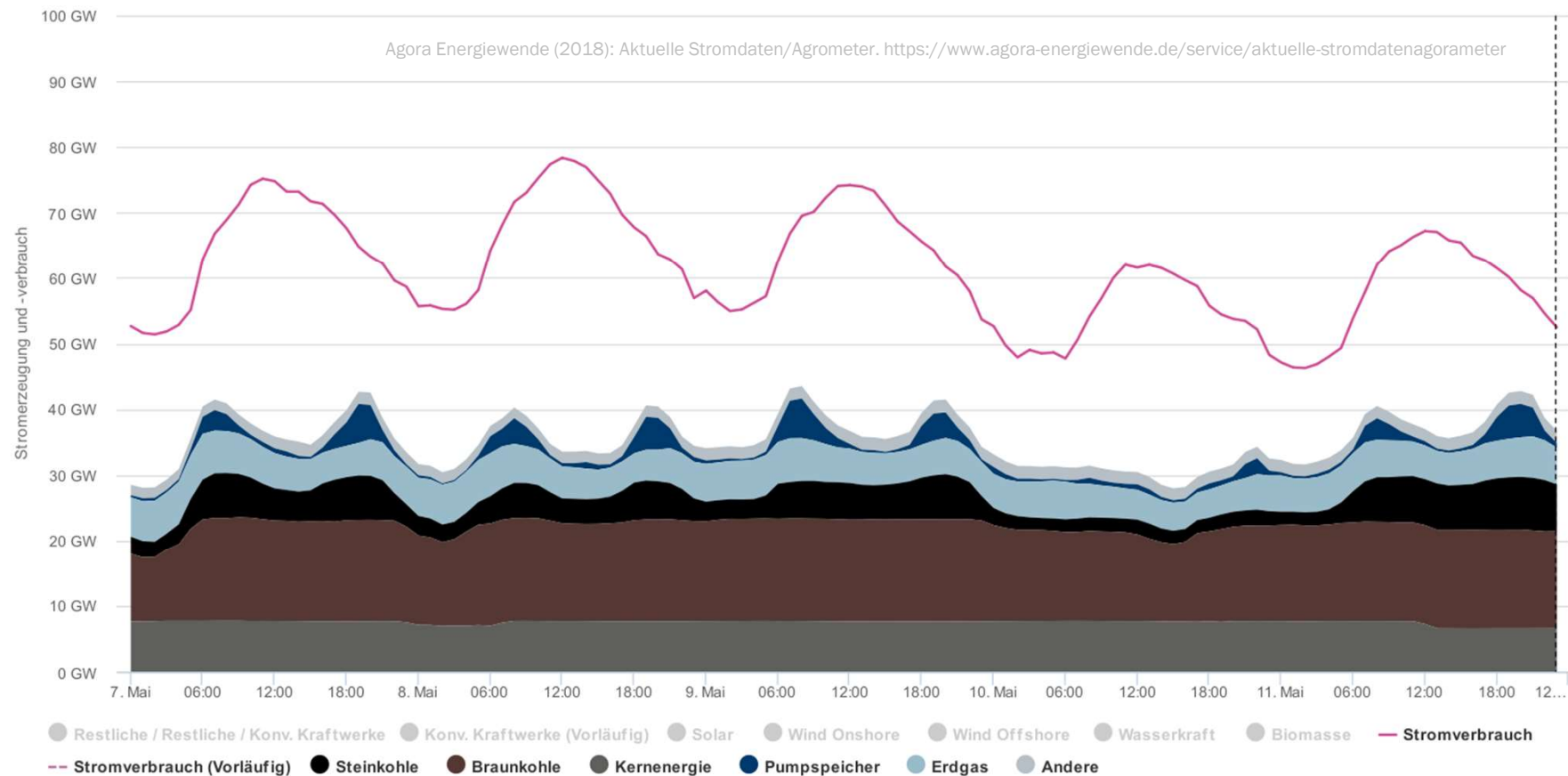
1. Einleitung

Flexibilisierung von Biogasanlagen



Stromversorgung in Deutschland Montag 07.05.2018 bis Freitag 11.05.2018

Konventionelle Kraftwerke



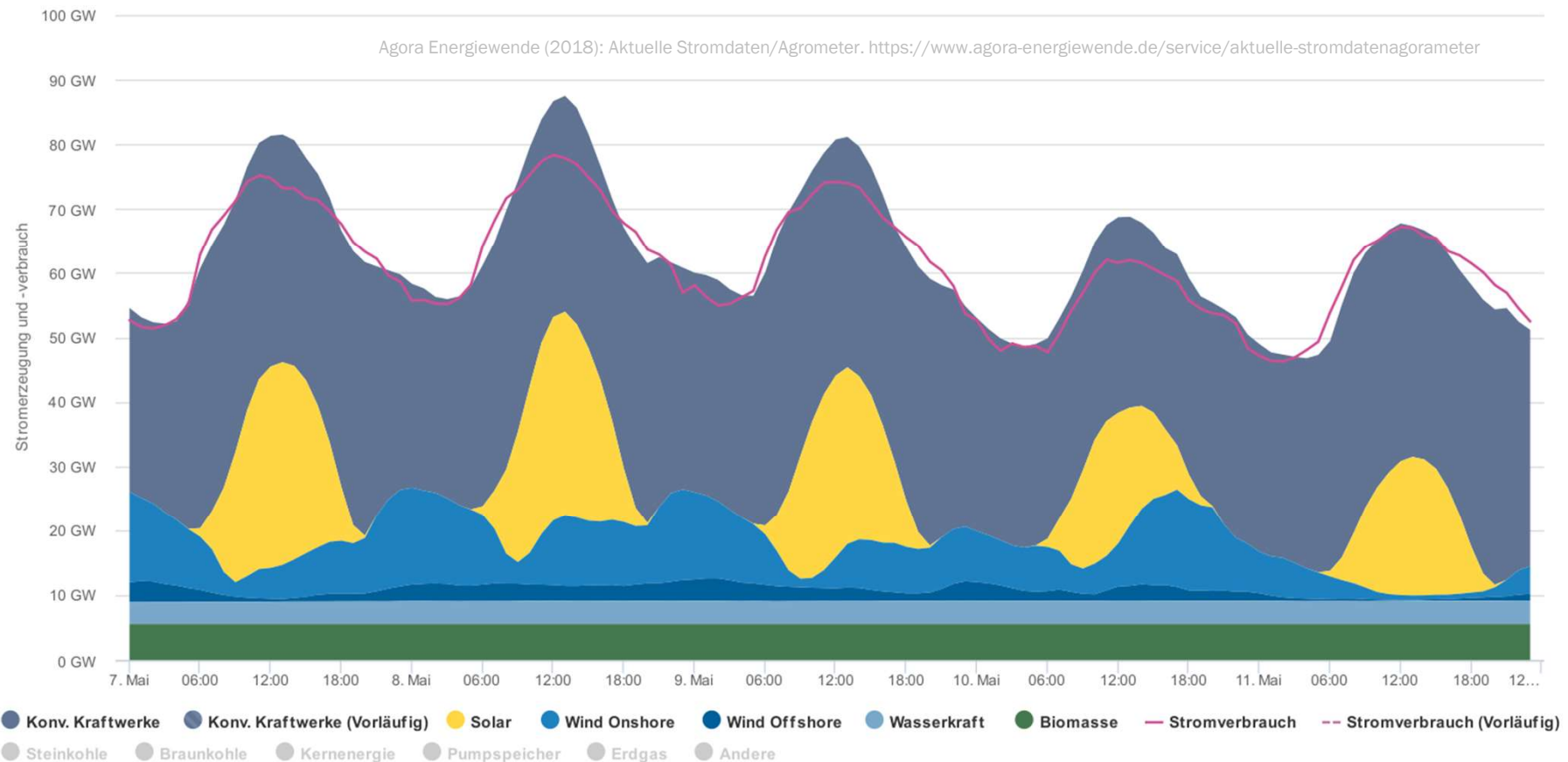
1. Einleitung

Flexibilisierung von Biogasanlagen



Stromversorgung in Deutschland Montag 07.05.2018 bis Freitag 11.05.2018

Konventionelle und regenerative Kraftwerke

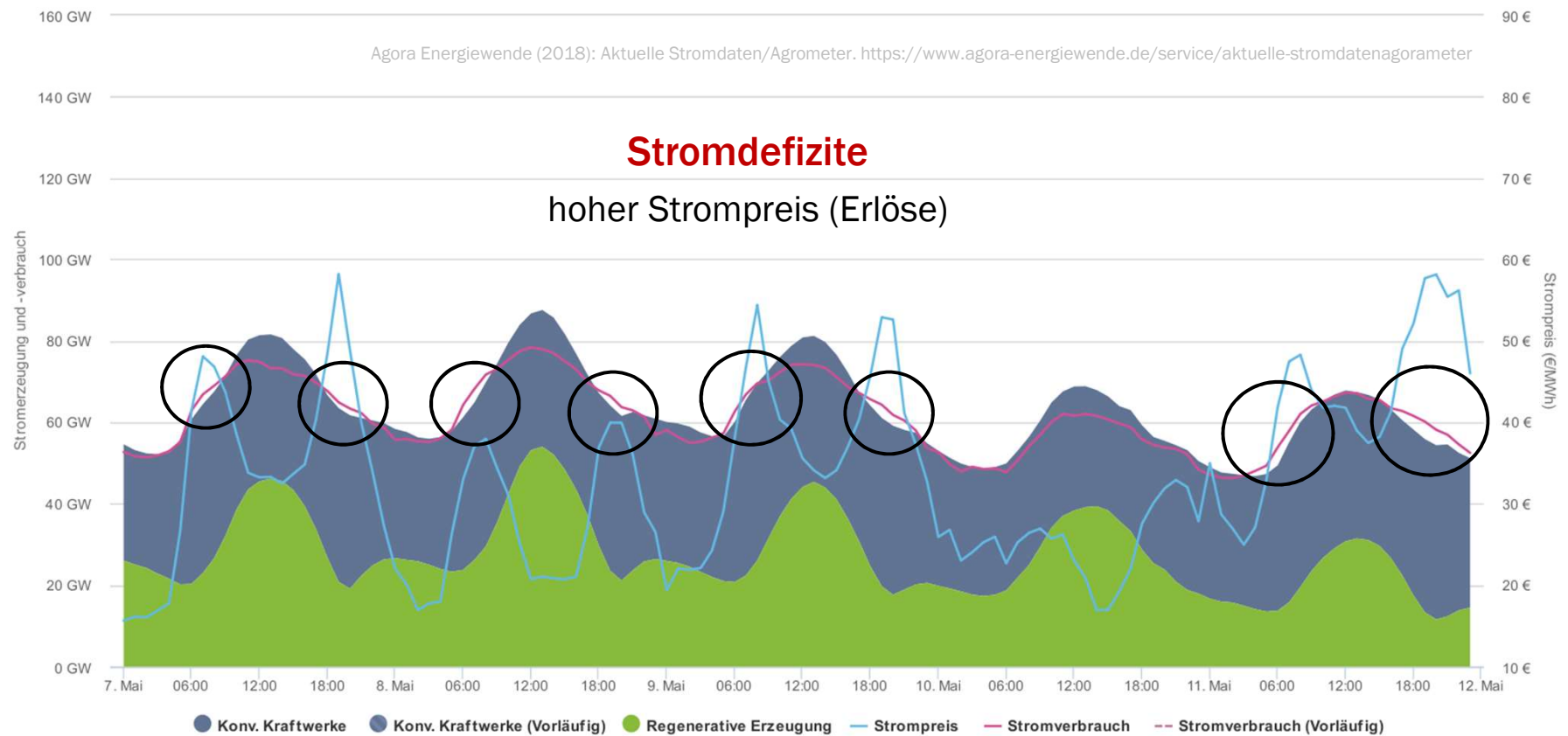


1. Einleitung

Flexibilisierung von Biogasanlagen



Strompreise in Deutschland Montag 07.05.2018 bis Freitag 11.05.2018

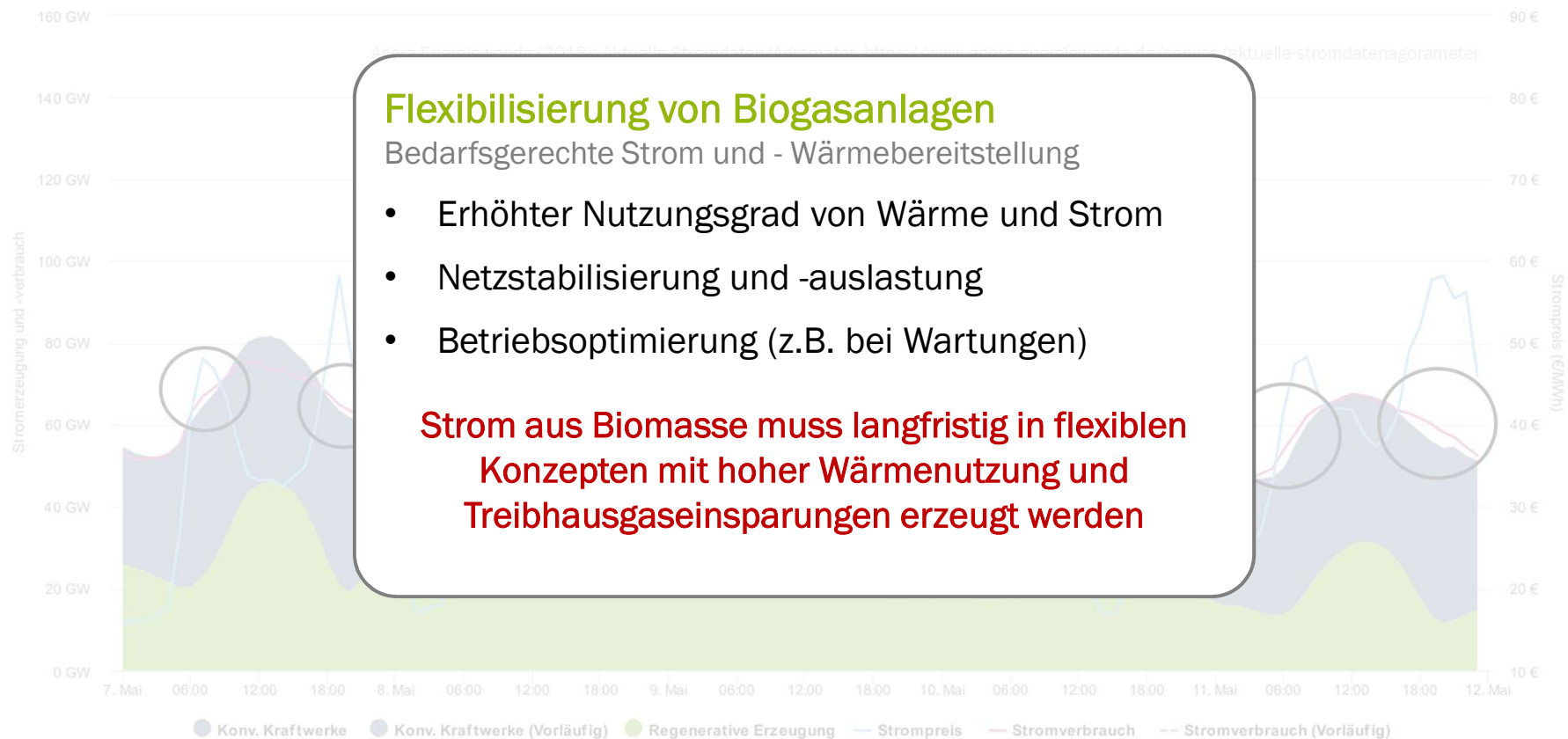


1. Einleitung

Flexibilisierung von Biogasanlagen



Strompreise in Deutschland Montag 07.05.2018 bis Freitag 11.05.2018



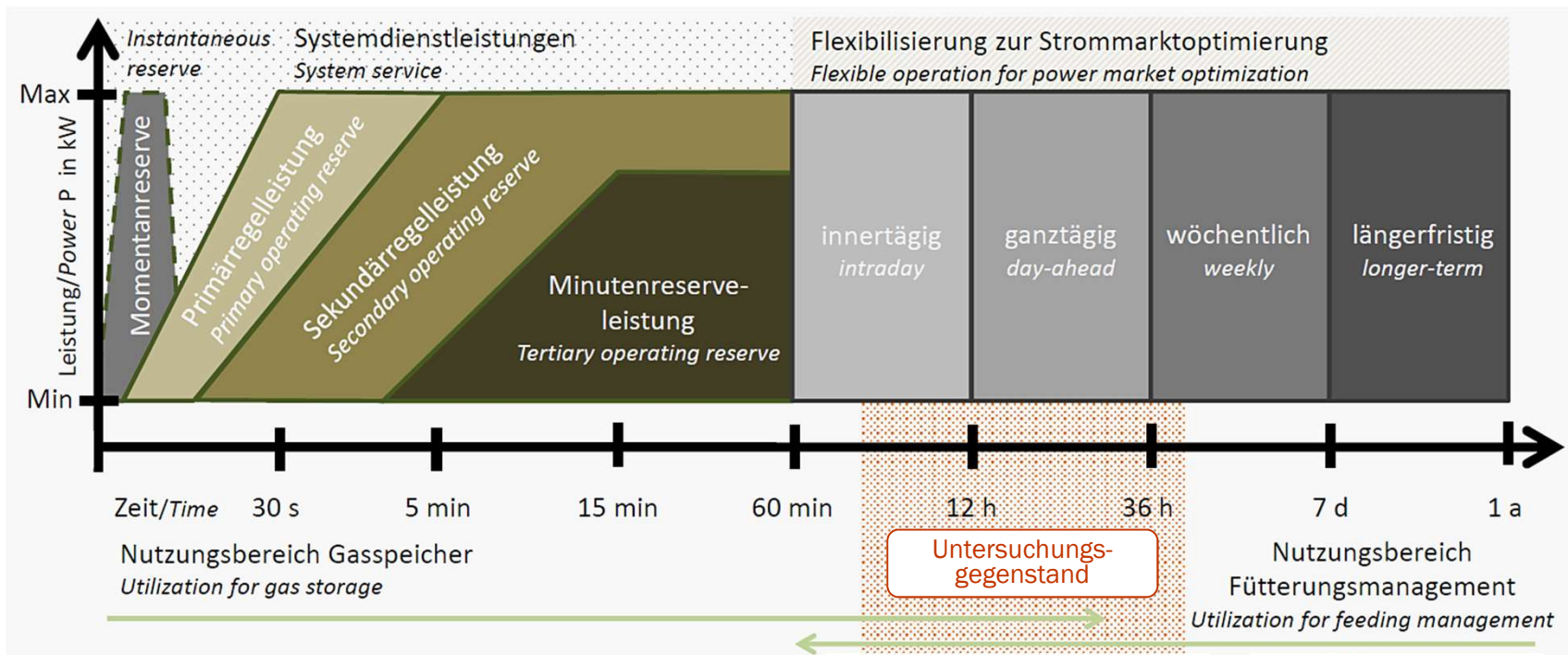
1. Einleitung

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

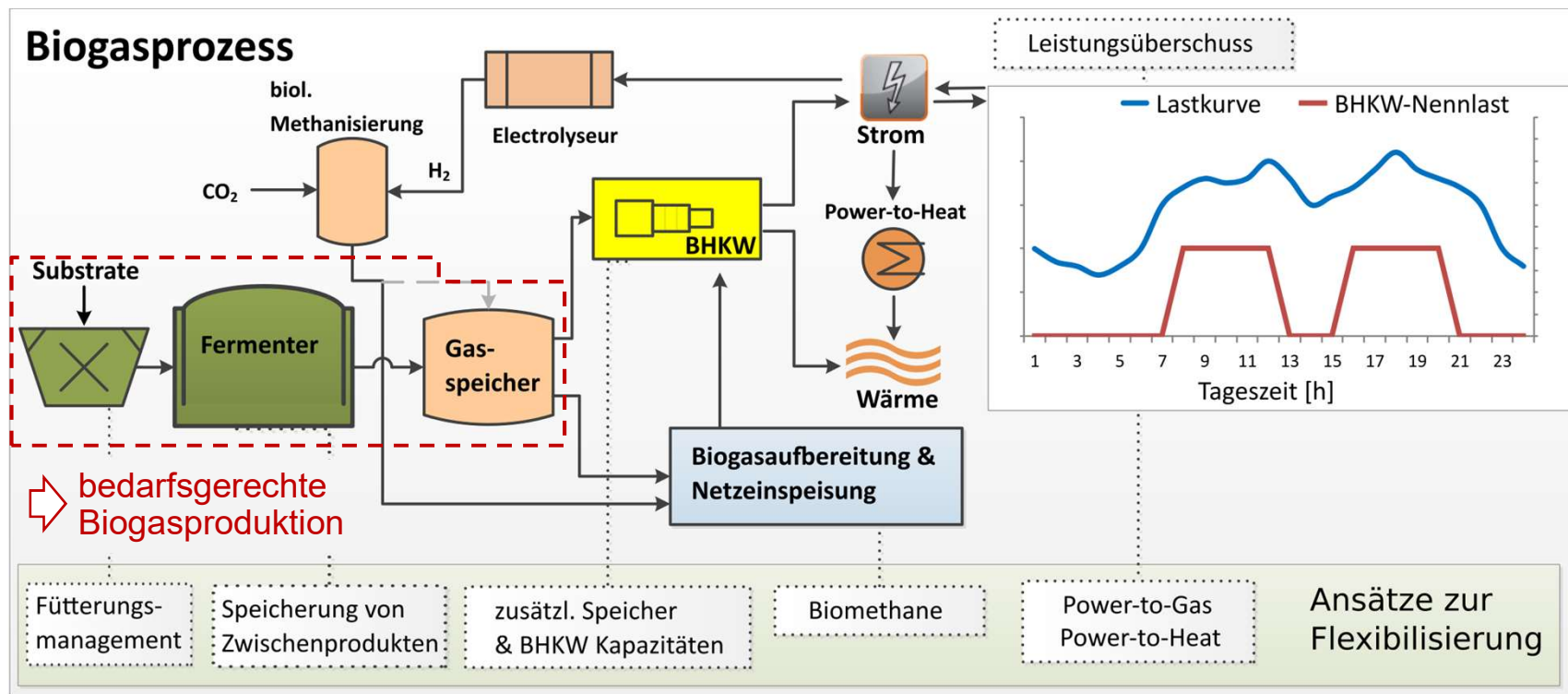
1. Einleitung

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



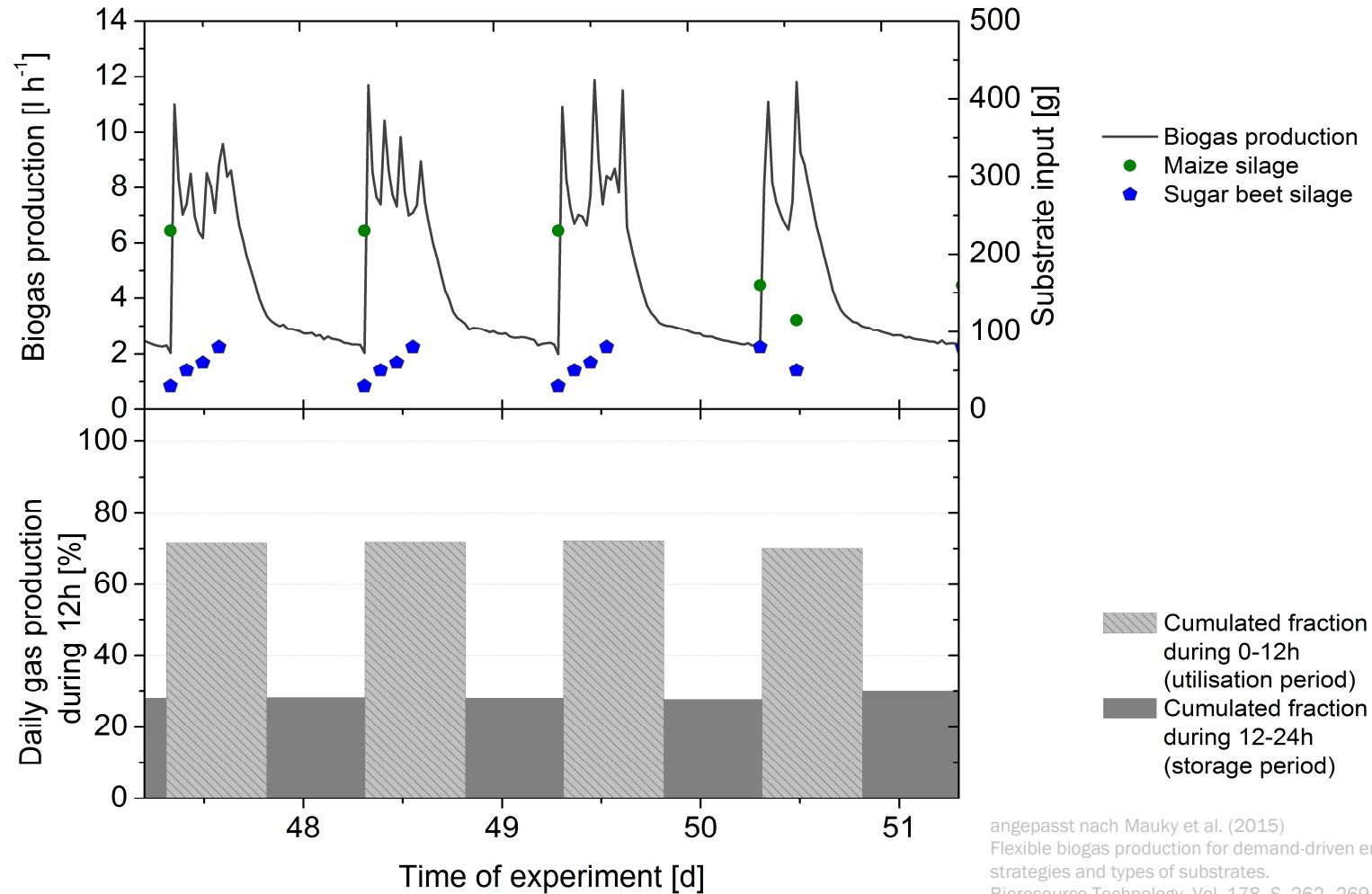
© alle Bilder: DBFZ

2. Laborversuche

Flexible Biogasproduktion



Substratzufuhr und Biogasproduktion



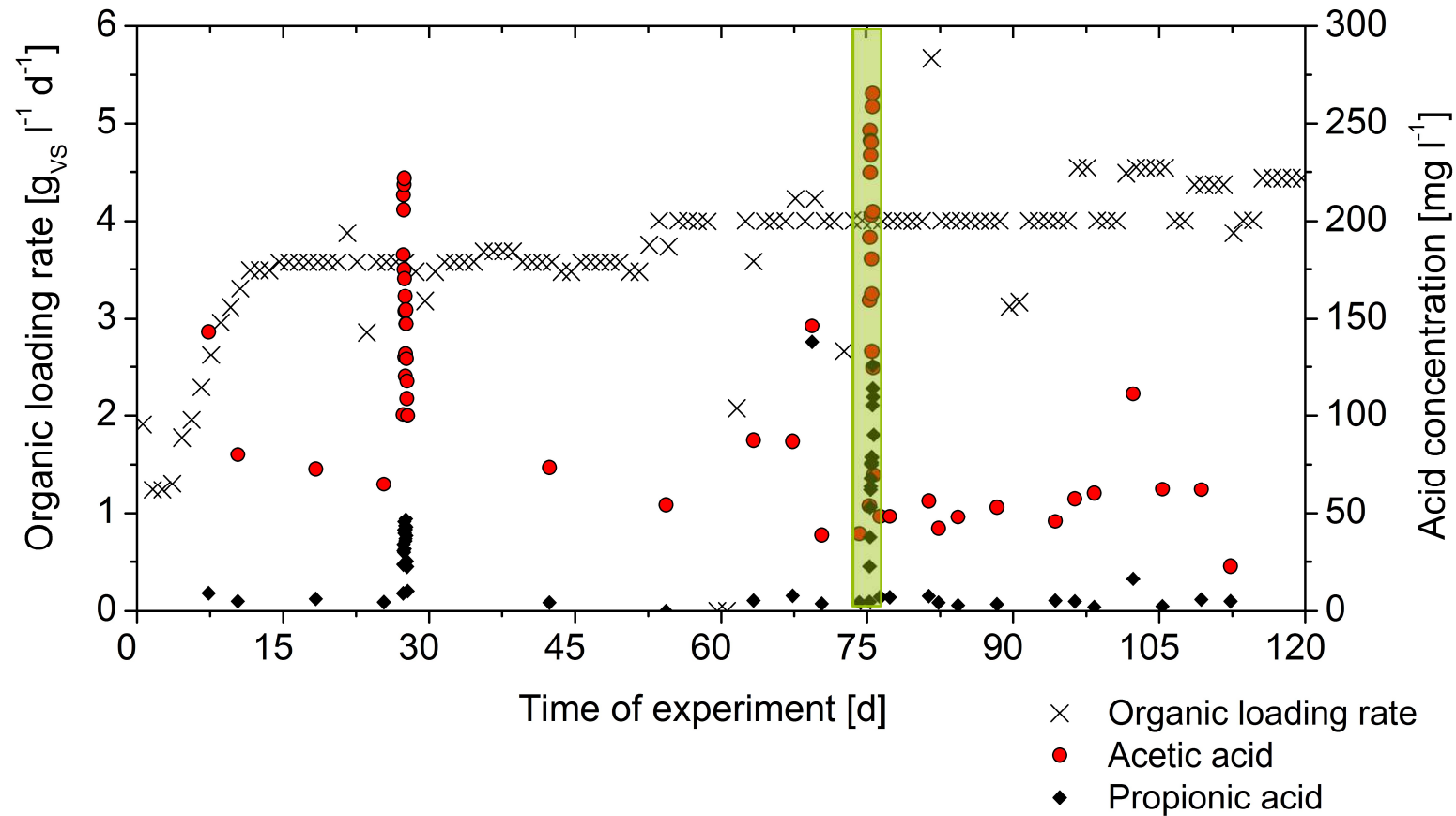
angepasst nach Mauky et al. (2015)
Flexible biogas production for demand-driven energy supply – Feeding strategies and types of substrates. *Bioresource Technology*, Vol. 178, S. 262–269.

2. Laborversuche

Prozessstabilität



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



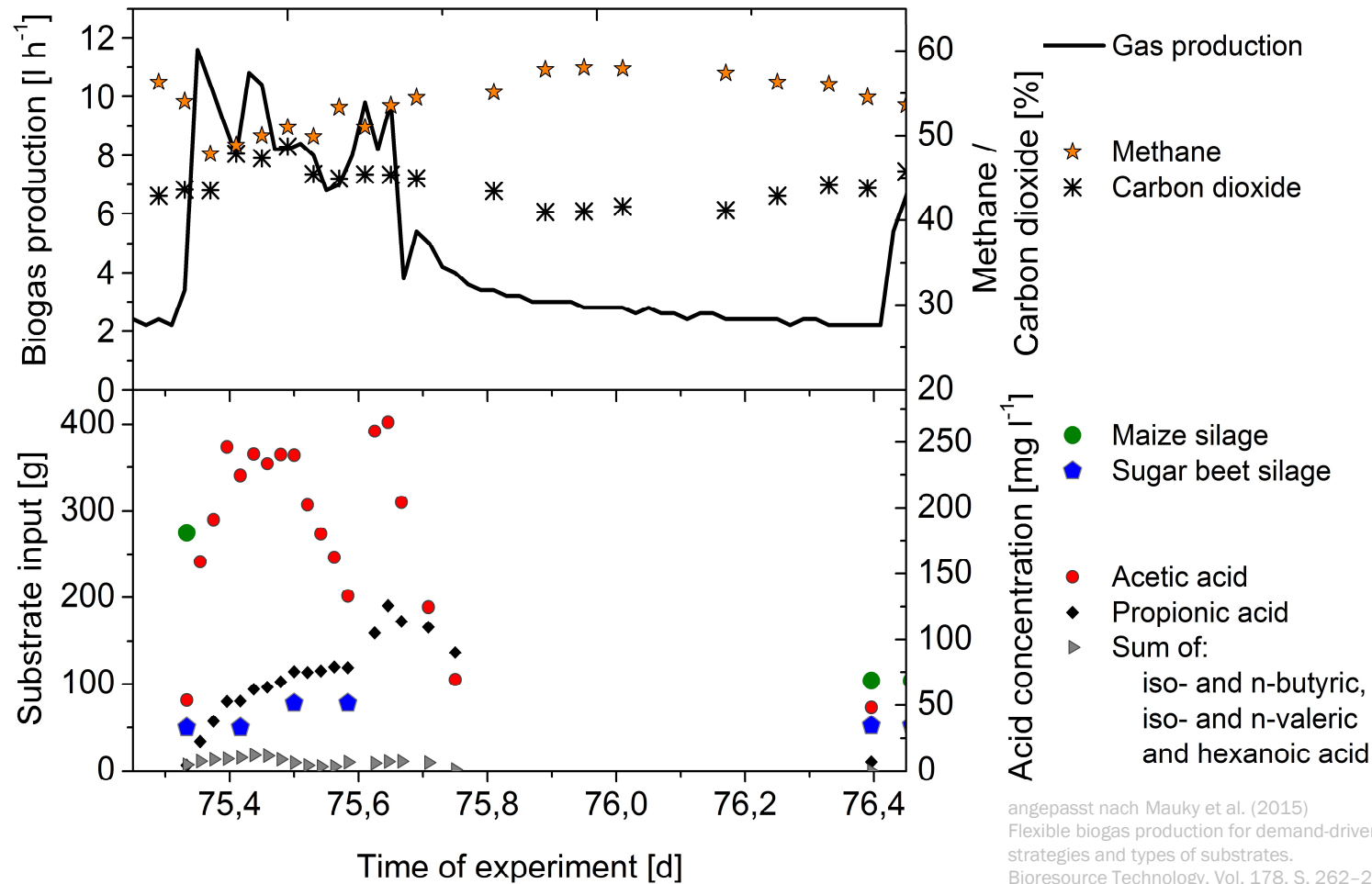
angepasst nach Mauky et al. (2015)
Flexible biogas production for demand-driven energy supply – Feeding strategies and types of substrates.
Bioresource Technology, Vol. 178, S. 262–269.

2. Laborversuche

Prozessstabilität



Tagesgang der Gasqualität und Säurekonzentration



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.

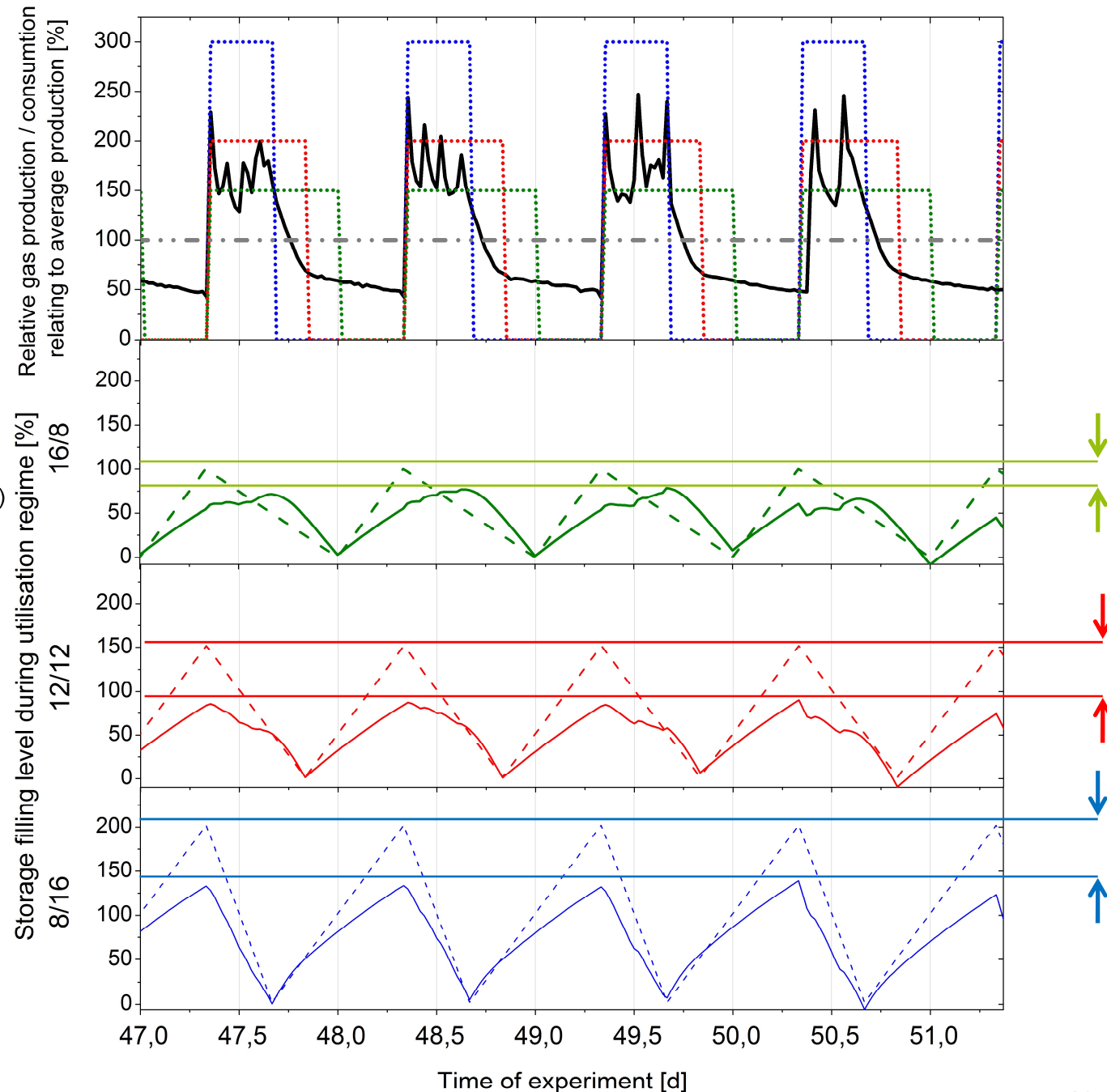
2. Labor- versuche

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

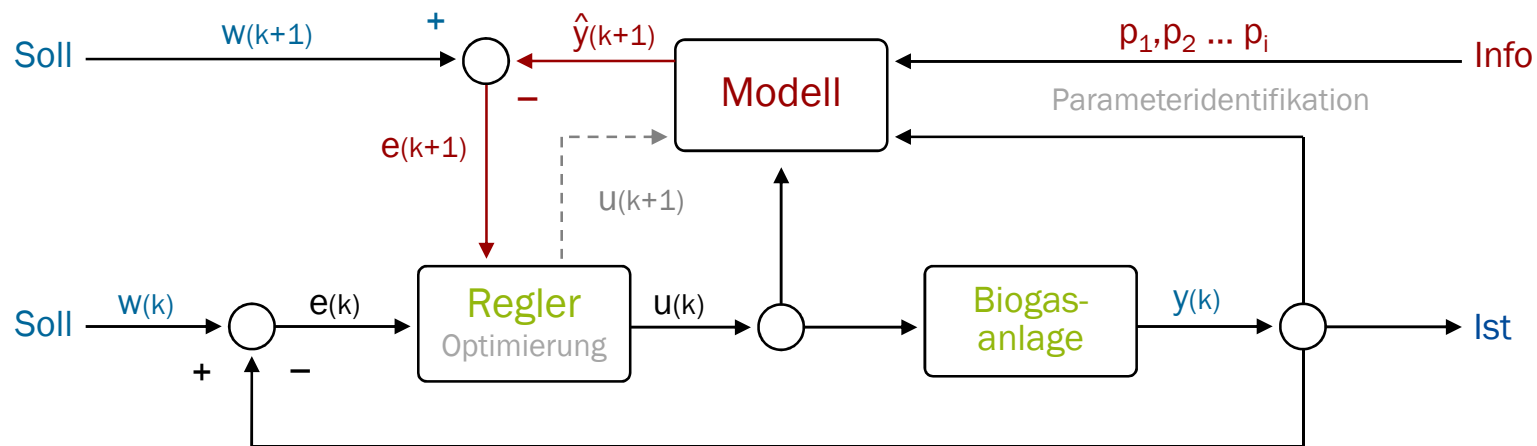
3. Praxisversuche

Prozessregelung



Model Predictive Control (MPC)

Modellbasierte Regelung für automatisierte und optimierte Prozessführung



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

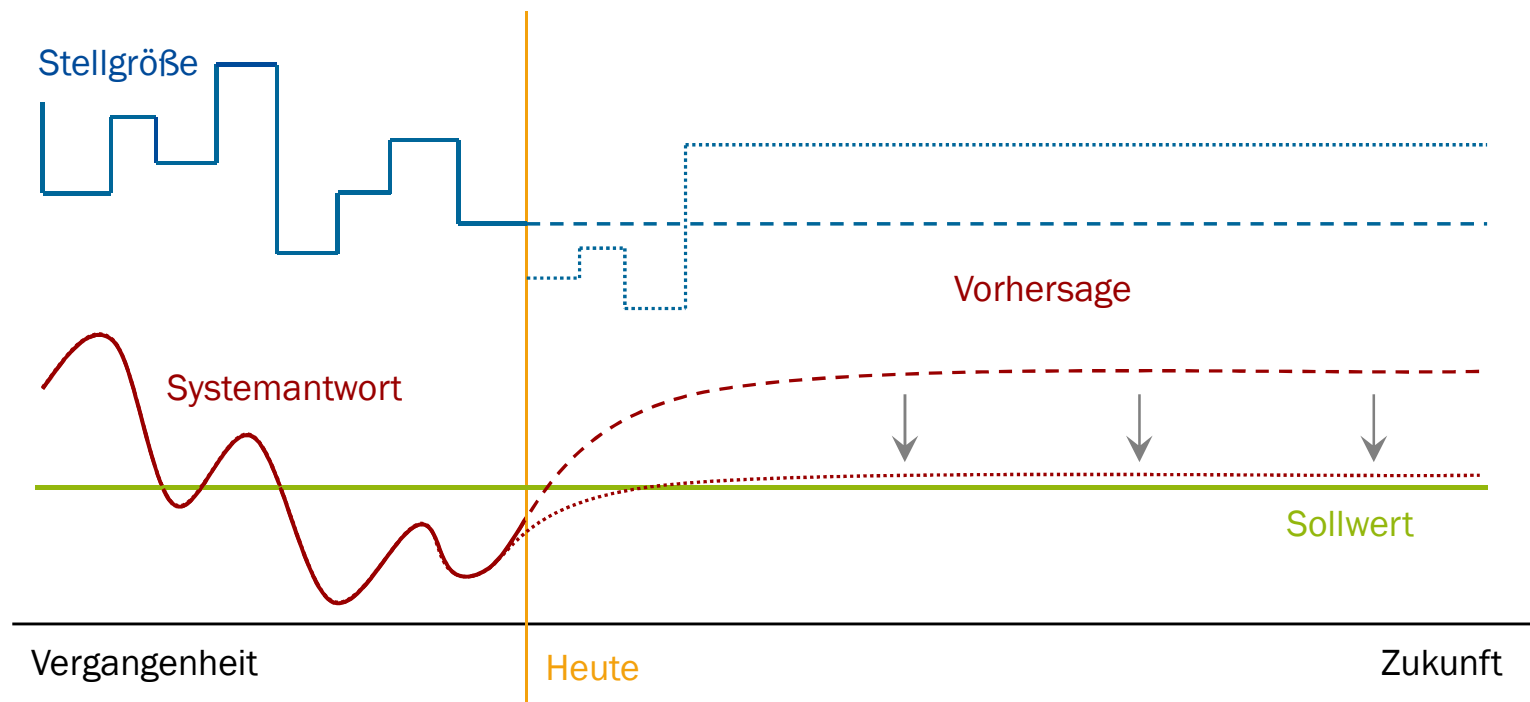
3. Praxisversuche

Prozessregelung



Model Predictive Control (MPC)

Schematisches Funktionsbeispiel: Systemantwort im Zeitbereich

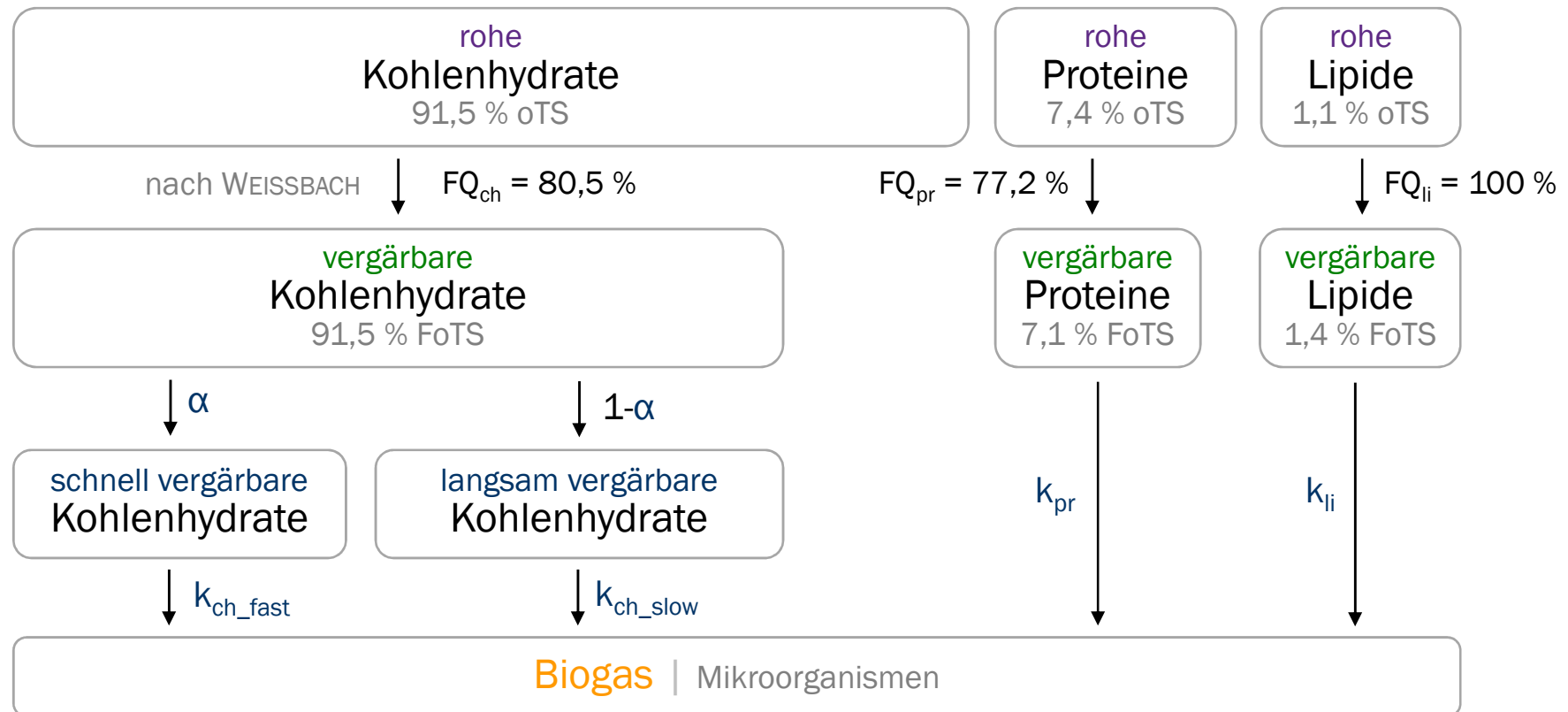


3. Praxisversuche

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)

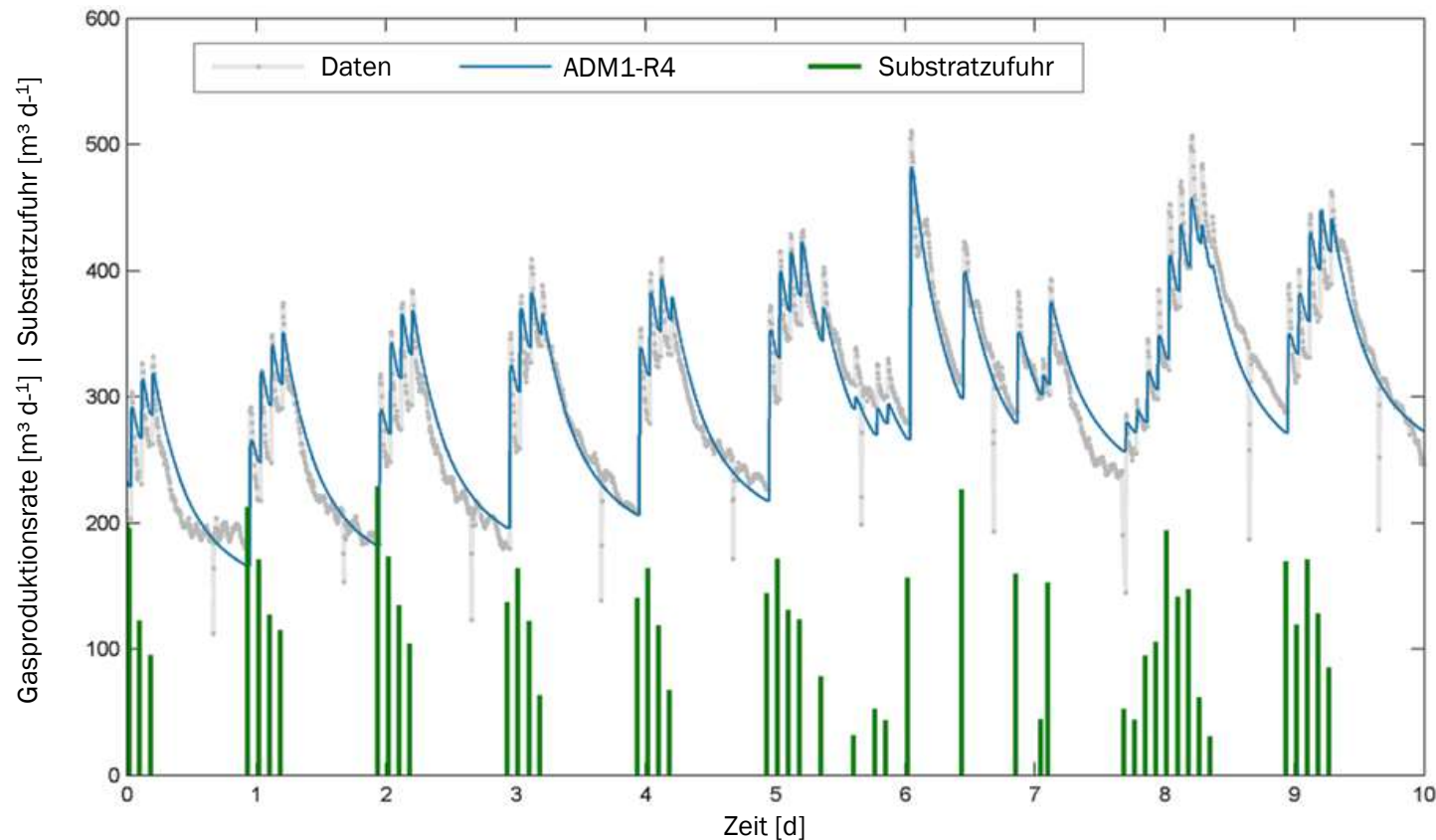
3. Praxisversuche

Fütterungsmanagement



Simulation der bedarfsgerechten Biogasproduktion anhand des ADM1-R4

Monovergärung von Maissilage bei optimierten Modellparametern (Reaktionskonstanten)

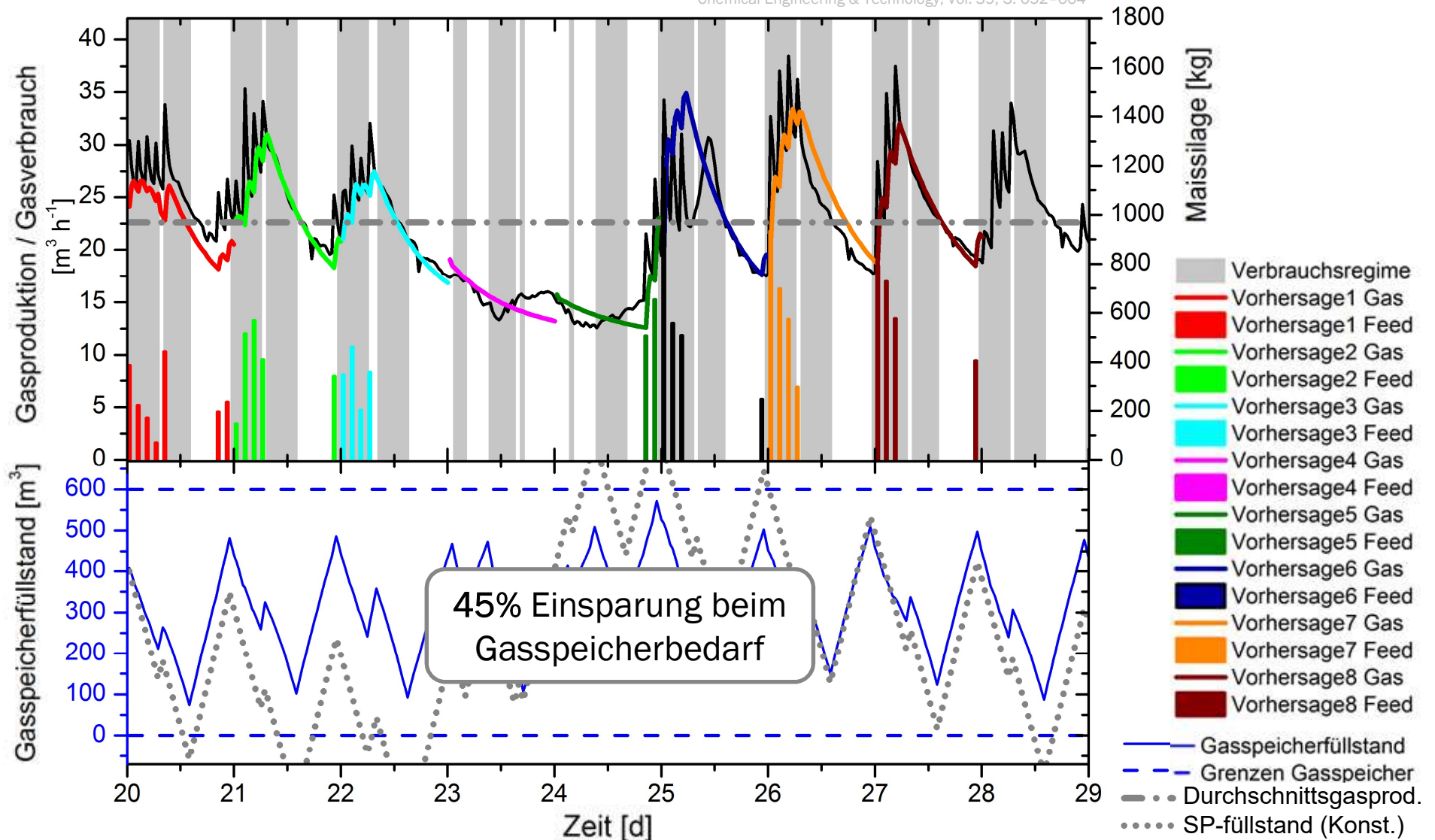


3. Praxisversuche

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

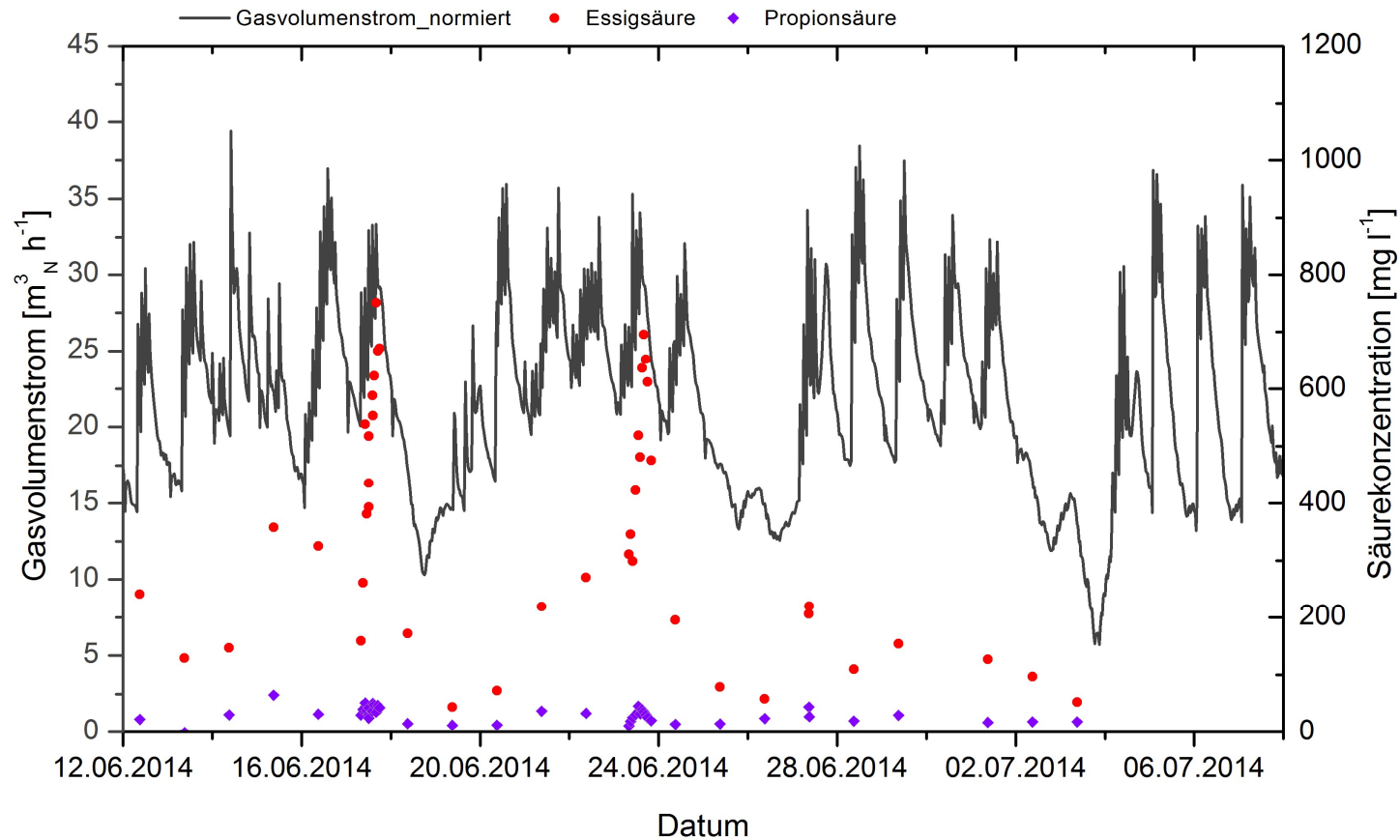
Prozessstabilität



Forschungsbiogasanlage DBFZ | 190 m³

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

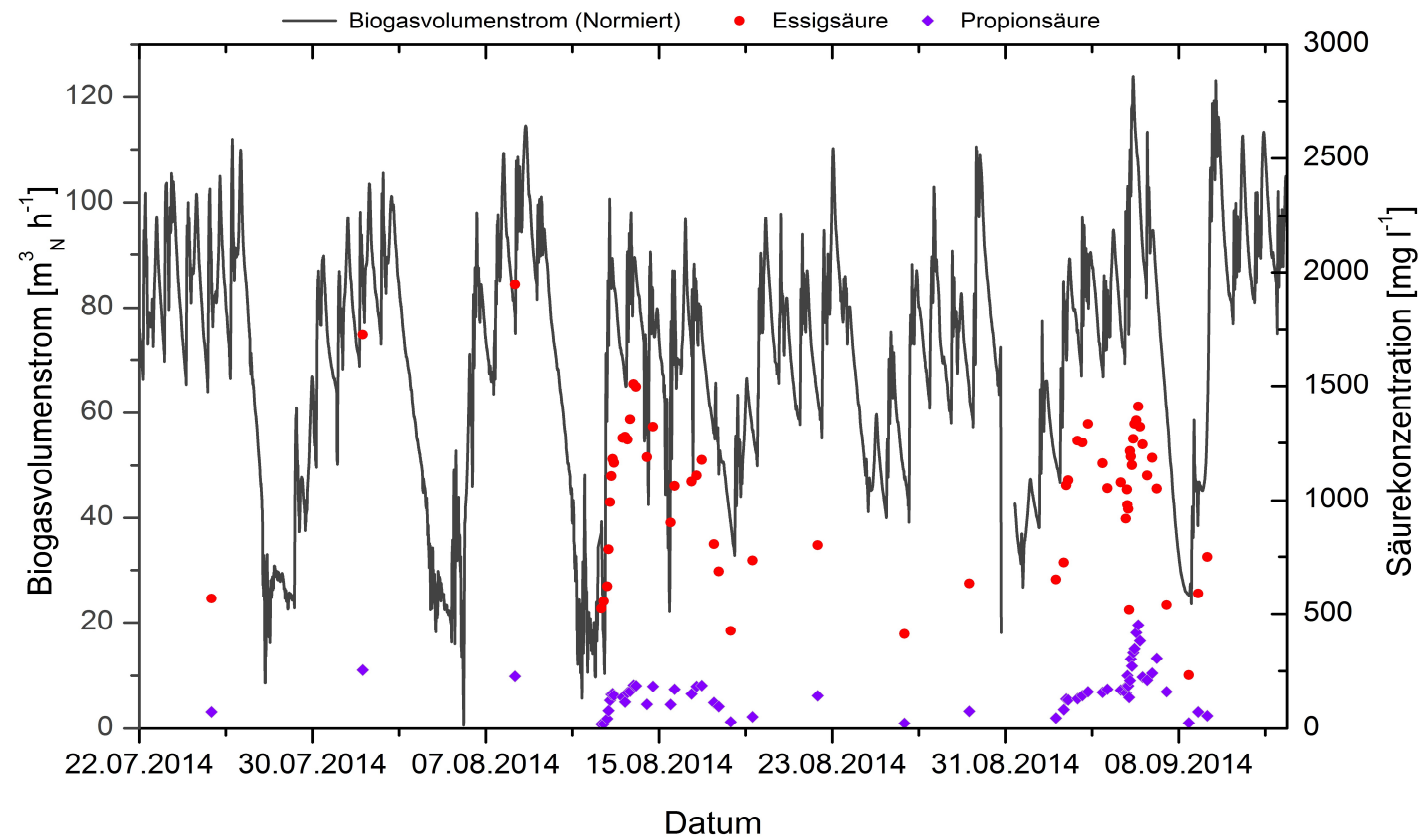
Prozessstabilität



Forschungsbiogasanlage Uni Hohenheim | 923 m³

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.



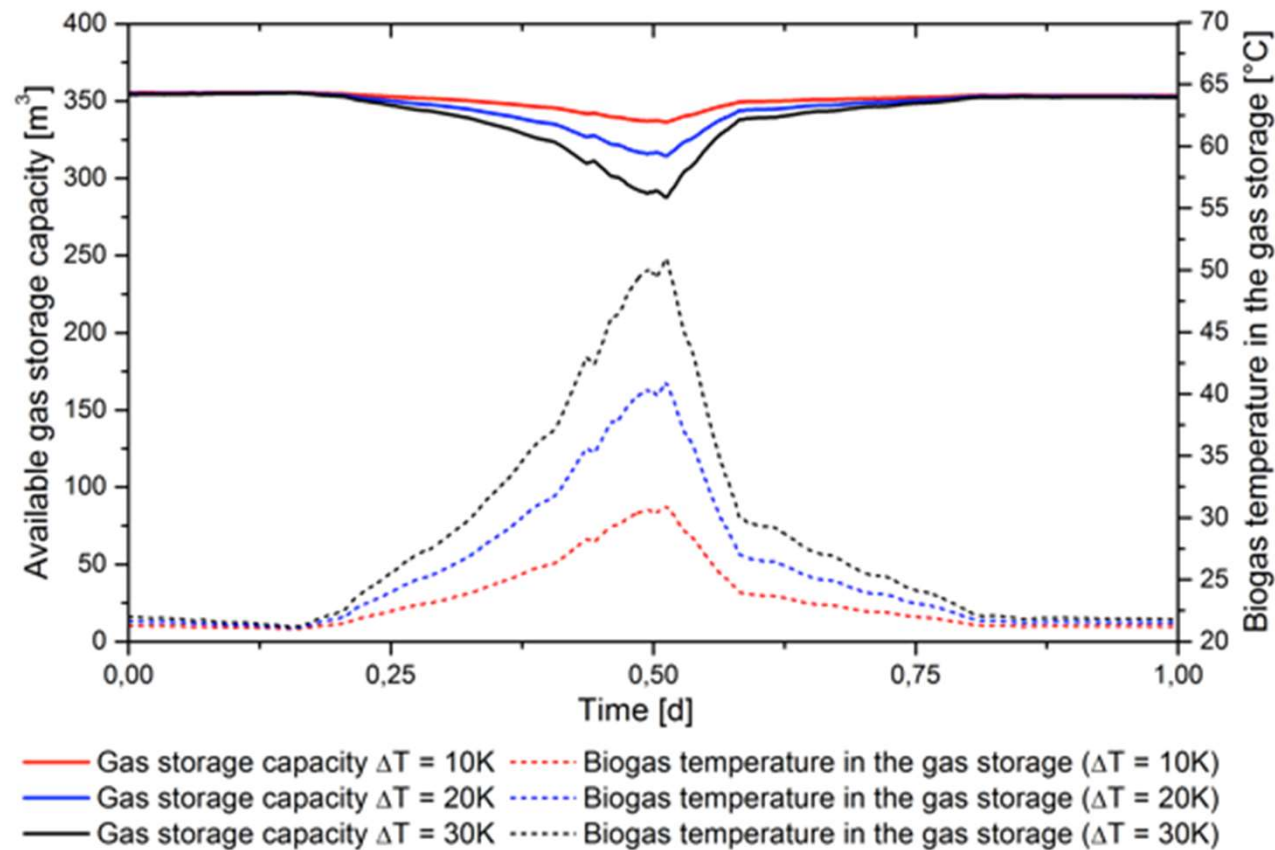
© Novatech

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

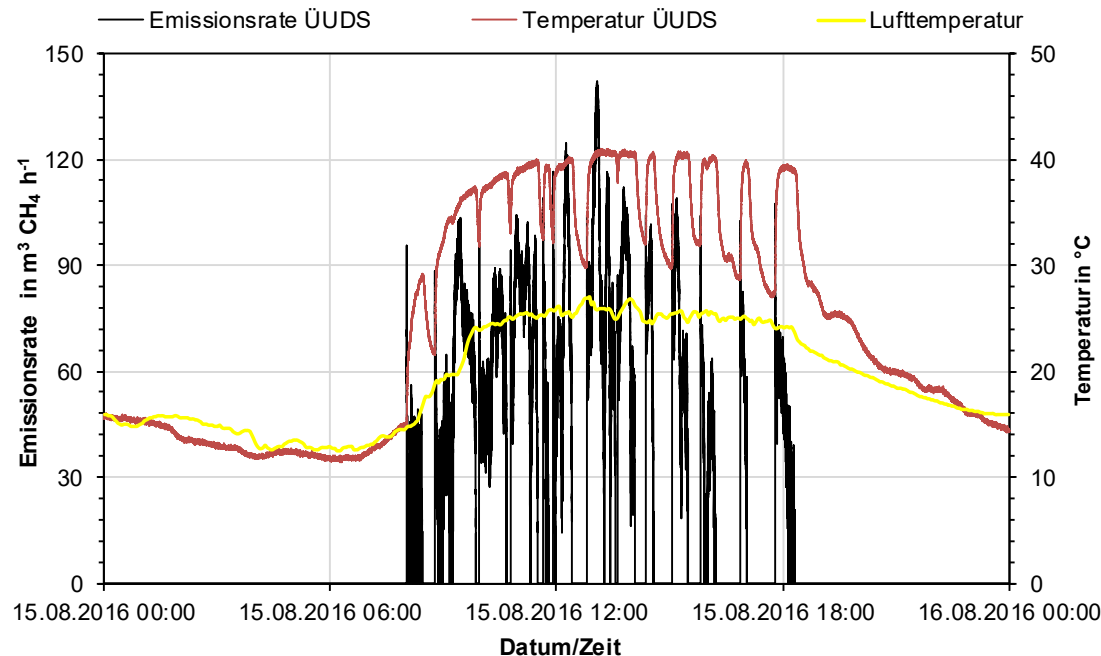
3. Praxisversuche

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

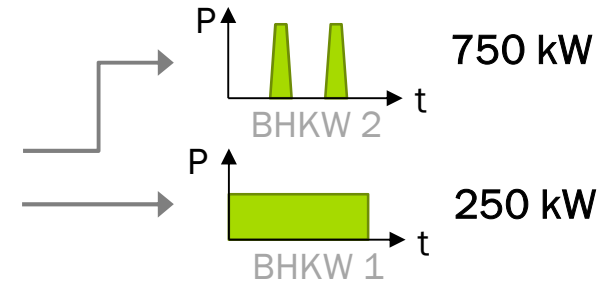
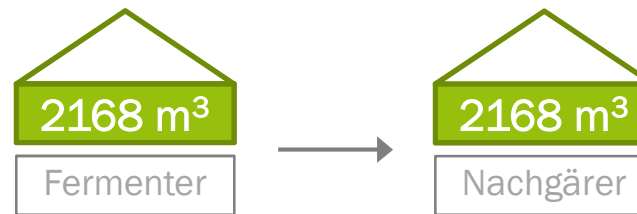
angepasst nach Barchmann et al. (2016)
 Erweiterung der Flexibilität von Biogasanlagen – Substratmanagement,
 Fahrplansynthese und ökonomische Bewertung.
 Landtechnik Vol. 71, Nr. 6, S. 233–251



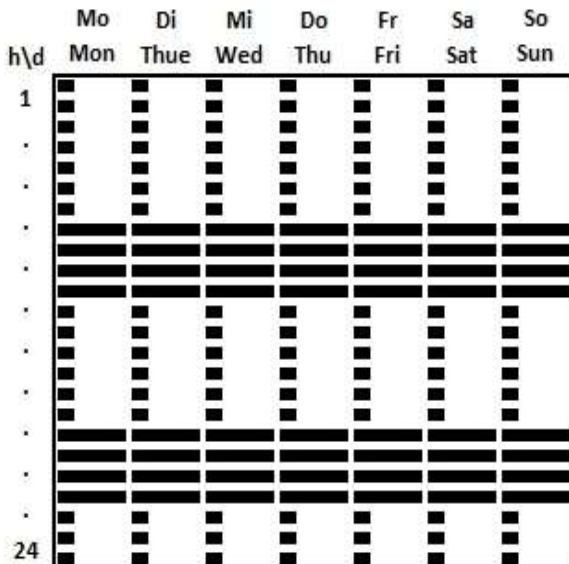
Referenzanlage

Substrate:
 70 % Maissilage
 30 % Rindergülle

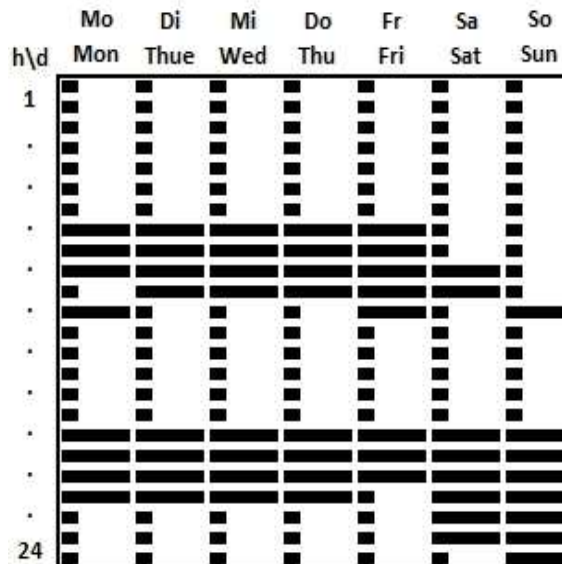
Gasspeicher Brutto **2200 m³**



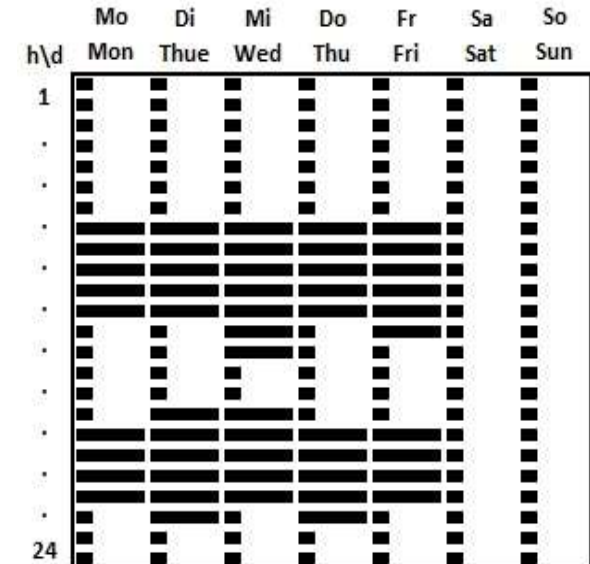
Standardfahrplan - 24
 standard schedule - 24



Tagesfahrplan - 24/7
 daily schedule - 24/7



Wochenfahrplan - 168
 weekly schedule - 168



4. Zusammenfassung

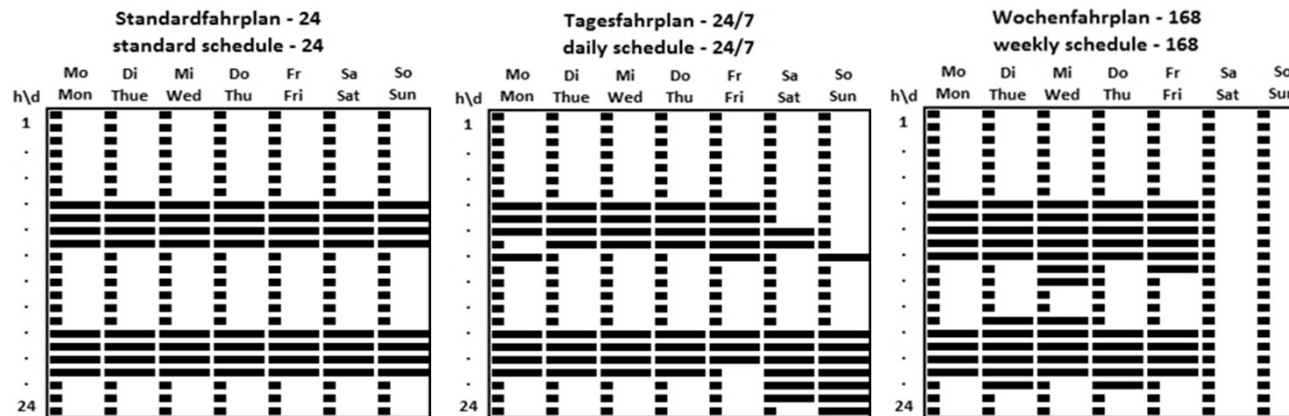
Anwendungsszenario

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 m³



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 ³]	1 638	1 407	2 948	1 796	9 500	3 314
Speicherauslastung [%]	74 %	64 %	134 %	82 %	432 %	151 %
zusätzlicher Speicherbedarf [m ³]	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

Eric Mauky

Tel. +49 (0)341 2434 – 745

E-Mail: 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

www.dbfz.de