

Das Forschungsvorhaben Gazelle – Kurzvorstellung

Dr. Jörg Kretzschmar



Das Forschungsvorhaben Gazelle

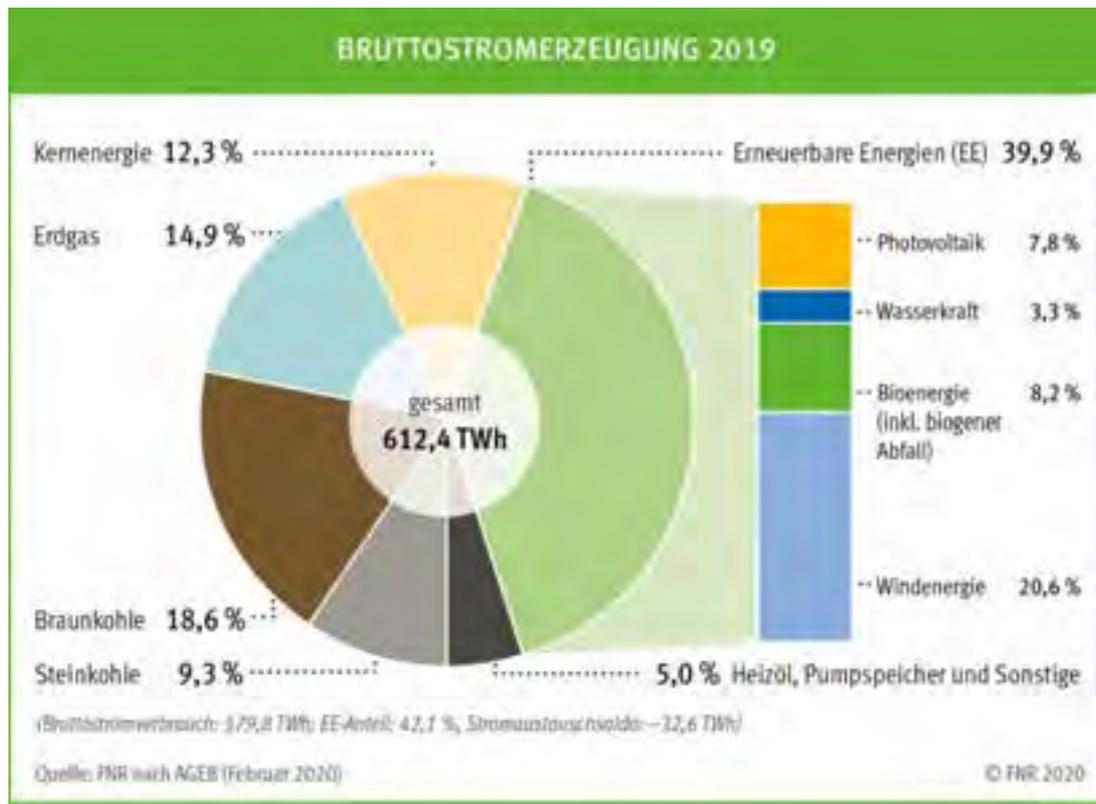


Ganzheitliche Regelung von Biogasanlagen zur Flexibilisierung und energetischen Optimierung – Gazelle

- **Gefördert durch:** Freistaat Sachsen und Europäischer Fonds für regionale Entwicklung, Projektträger SAB
- **Durchgeführt von:** DBFZ
- **In Kooperation mit:** Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) / Lehr- und Versuchsgut Köllitsch (LVG)
- **Projektdauer:** 02.2017 – 11.2020
- **Ziele:**
 - 1)** Erweiterung existierender und Entwicklung neuer modellgestützter Flexibilisierungs- und Optimierungsansätze für Biogasanlagen (technisch und ökonomisch)
 - 2)** Optimale Kombination von Substratmanagement und modellgestützter Anlagenregelung zur größtmöglichen Steigerung der Flexibilität und Effizienz von bestehenden Biogasanlagen



Warum flexibilisieren?



Warum flexibilisieren

- Steigender Anteil regenerativer Energiequellen im Energiesystem
- Sachsen: ~13,5 % Bruttostromerzeugung auf Basis erneuerbarer Energieträger¹
- Solar- und Windstrom sind stark wetterabhängig → **Ausgleichsoptionen werden benötigt:**
 - z.B. Pump-, (Redoxflow-)Batteriespeicher, **flexible Biogasbereitstellung**, Power-to-Gas (nur bei Überschussstrom)
- Installierte elektrische Leistung des Biogassektors in Dtl.: ~5 GW, davon ~70% im Dauerbetrieb²

¹https://www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/SN/kategorie/strom/auswahl/510-anteil_erneuerbarer_/#goto_510, Zugriff: 23.11.2020

² FNR (2018): Flexibilisierung von Biogasanlagen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow

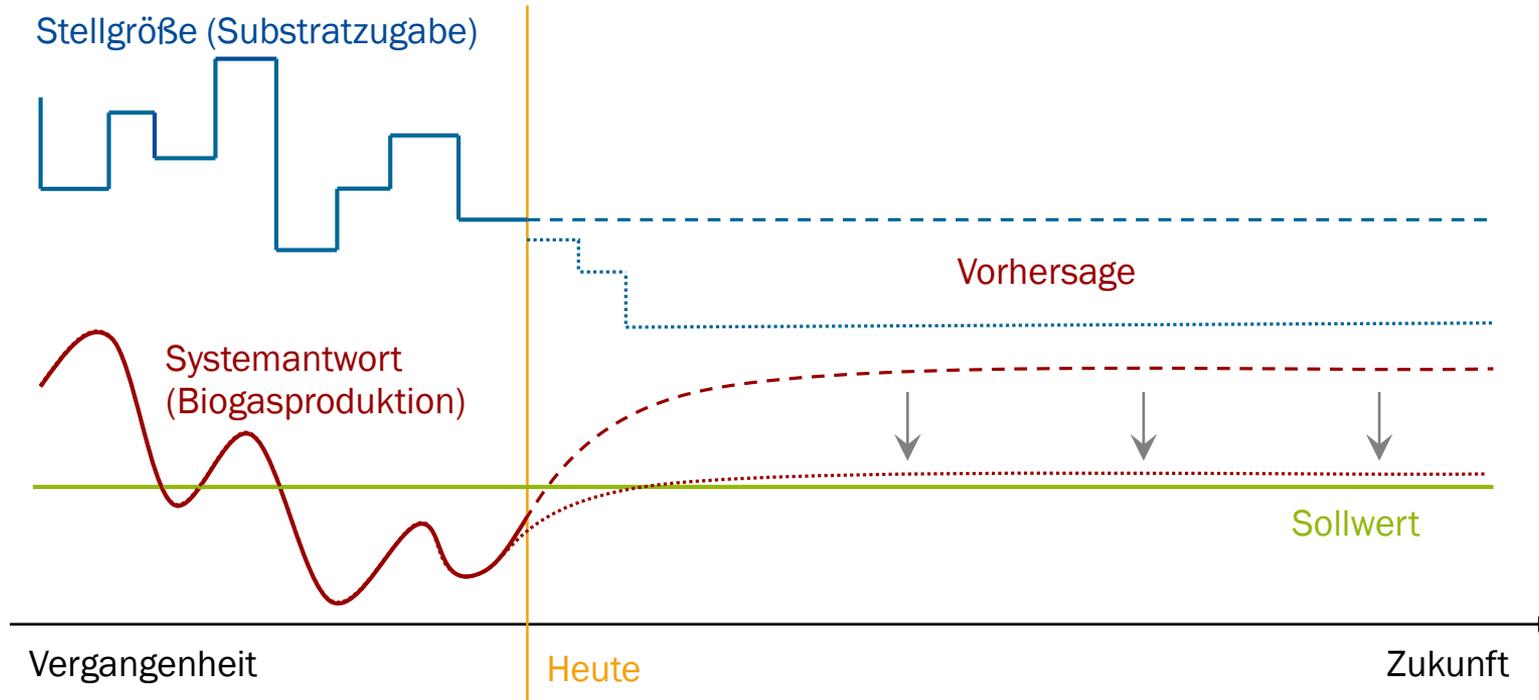
Flexibilisierung von Biogasanlagen

1. Flexibler BHKW-Betrieb ohne bauliche und mit geringen betrieblichen Veränderungen
2. Erhöhung des Gasspeichervolumens
3. Flexibilisierung der Gasproduktion durch Fütterungsmanagement, d.h. durch gezielte Variation von Fütterungszeitpunkt und Fütterungsmenge → Fütterungsmengen und Zeitpunkte werden durch ein komplexes Anlagenmodell vorhergesagt

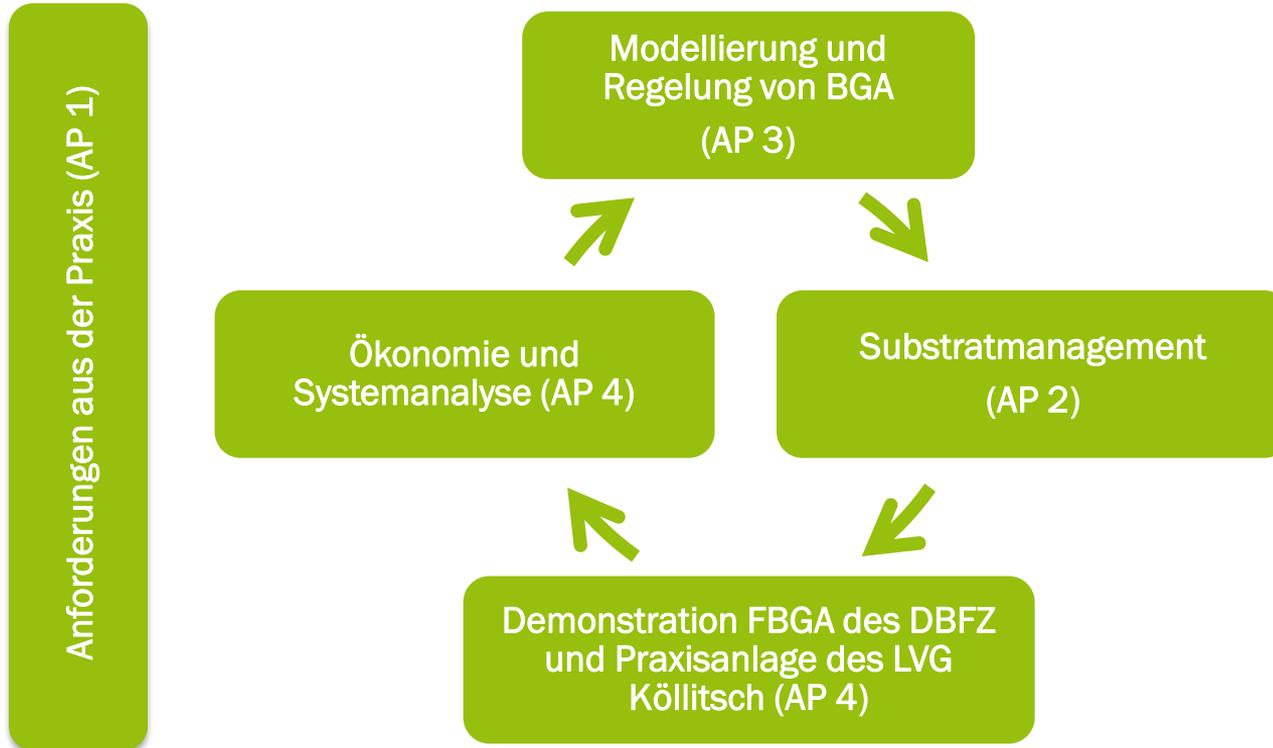
Zentrales Teilziel von Gazelle: Entwicklung, Erweiterung und Validierung des modellgestützten Fütterungsmanagements an Biogasanlagen

Modellbasierte Prozessregelung

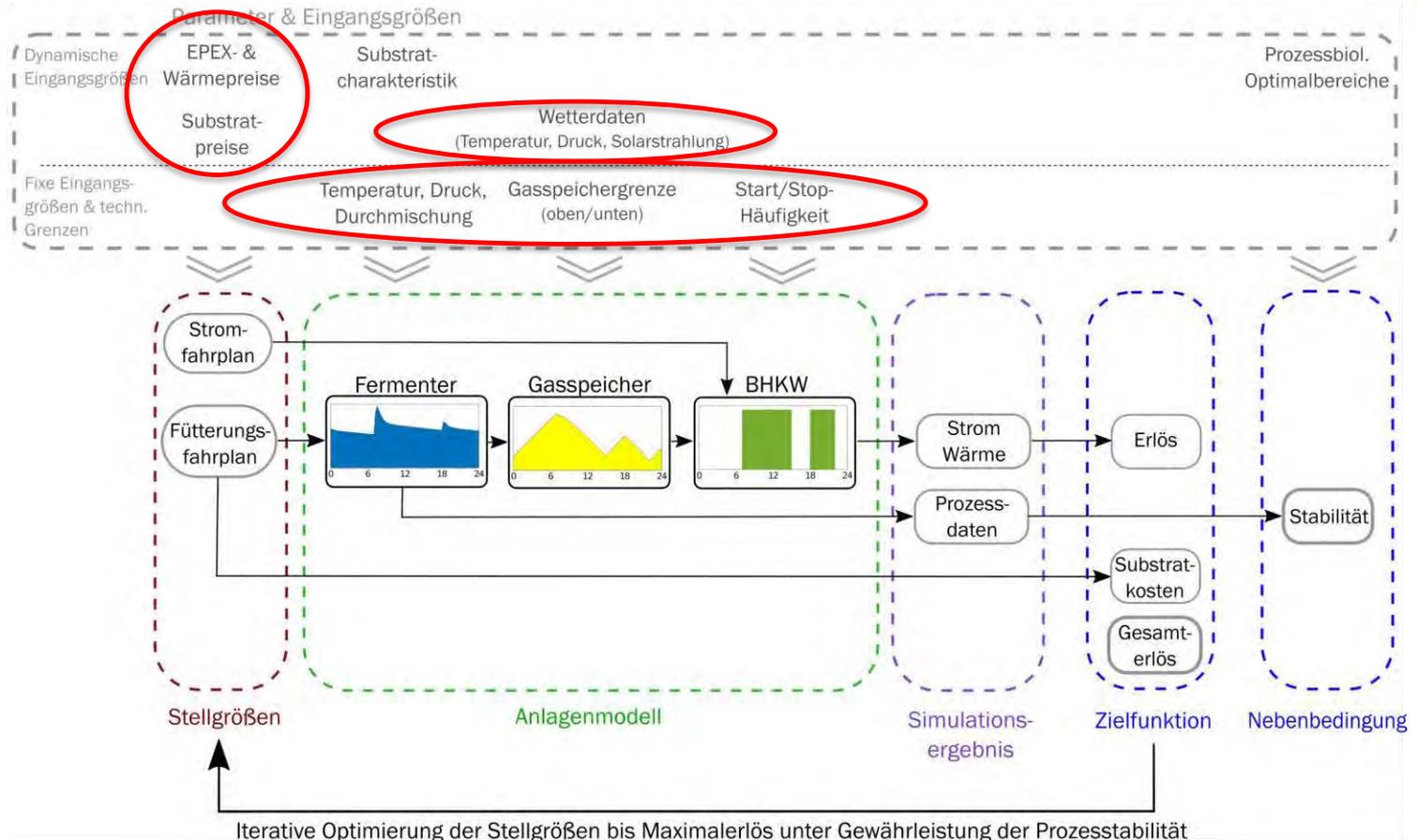
Schematisches Funktionsbeispiel



Arbeitsinhalte des Vorhabens Gazelle



Ganzheitlicher Ansatz



Kernaktivitäten im Vorhaben

1. Möglichkeiten der Anlagensimulation & Prozessflexibilisierung (Vortrag S. Weinrich):

- Erweiterung und Anpassungen bestehender Modelle (ADM1)
- Entwicklung von Anlagenmodellen

2. Chancen und Ergebnisse der modellbasierten Prozessführung – Erprobung im Anlagenbetrieb (Vortrag M. Winkler)

- Versuche zur Validierung der modellprädiktiven Regelung an der FBGA des DBFZ

Kernaktivitäten im Vorhaben

3. Ableitung von Herausforderungen bei der praktischen Umsetzung der Prozessflexibilisierung (Vortrag E. Mauky)

- Praxiserfahrungen an der Forschungsbiogasanlage des DBFZ und dem Lehr- und Versuchsgut Köllitsch

4. Betriebswirtschaftliches Potential / Ökonomischer Vergleich der flexiblen Fütterung (Vortrag M. Dotzauer)

- Evaluation an Praxisanlagen

5. Schlussfolgerung und Ableitung von Handlungsempfehlungen

Smart Bioenergy – Innovationen für eine nachhaltige Zukunft

Ansprechpartner

Dr. Jörg Kretzschmar

Tel.: +49(0)341 2434-419

E-Mail: joerg.kretzschmar@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

Möglichkeiten der Prozessflexibilisierung und Anlagensimulation

Sören Weinrich und Eric Mauky



3. Dezember 2020 | Biogas auf dem Sprung
Chancen und Herausforderungen der flexiblen Fütterung



Prozessflexibilisierung

- Möglichkeiten zur Flexibilisierung von Biogasanlagen
- Labor- und Praxisversuche zur bedarfsgerechten Biogasproduktion
- Einflussfaktoren bei der Prozessflexibilisierung

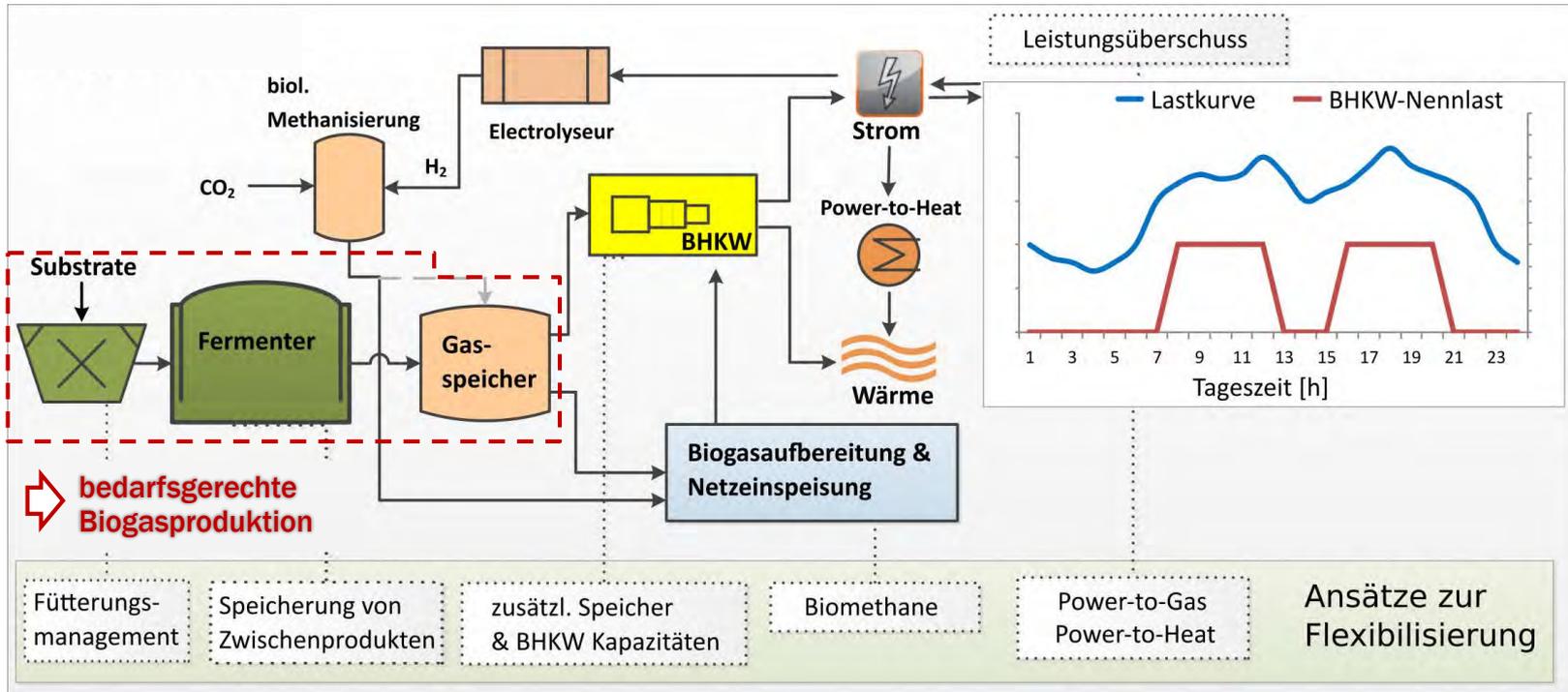
Anlagensimulation

- Modellerstellung zur Simulation von Biogasanlagen
- Messwerterfassung und Entwicklung von praxisnahen Prozessmodellen
- Simulationsergebnisse zur bedarfsgerechten Biogasproduktion

3. Zusammenfassung

- Möglichkeiten und Herausforderung der Prozessflexibilisierung und Anlagensimulation

Möglichkeiten 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.

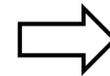
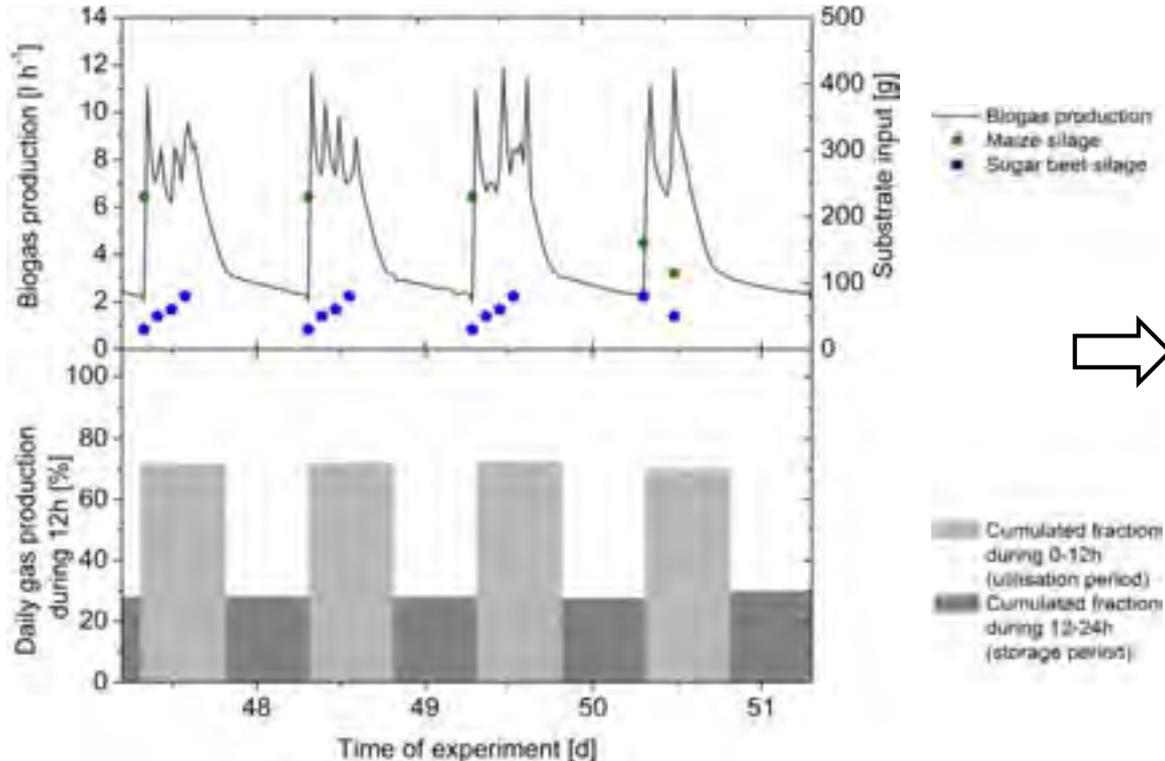


© DBFZ (J. Gutzeit)

Versuchsaufbau

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

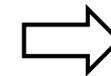
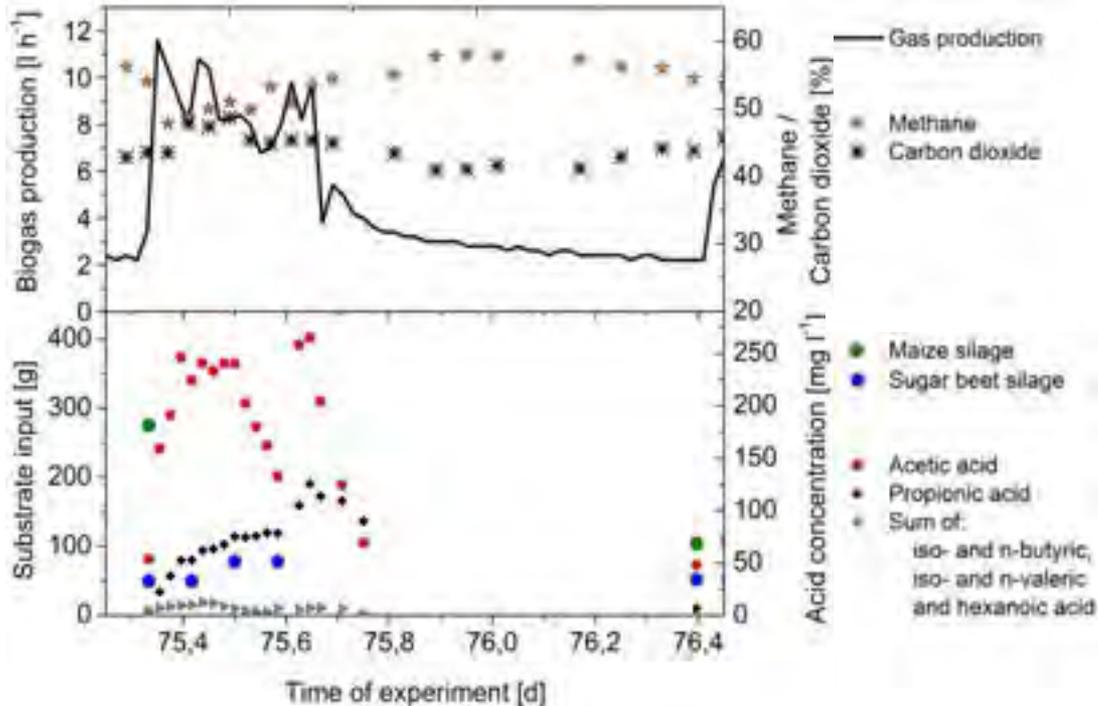
Substratzufuhr und Biogasproduktion



Verlagerung (ca. 70 %) der Gasproduktion auf eine Tageshälfte

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

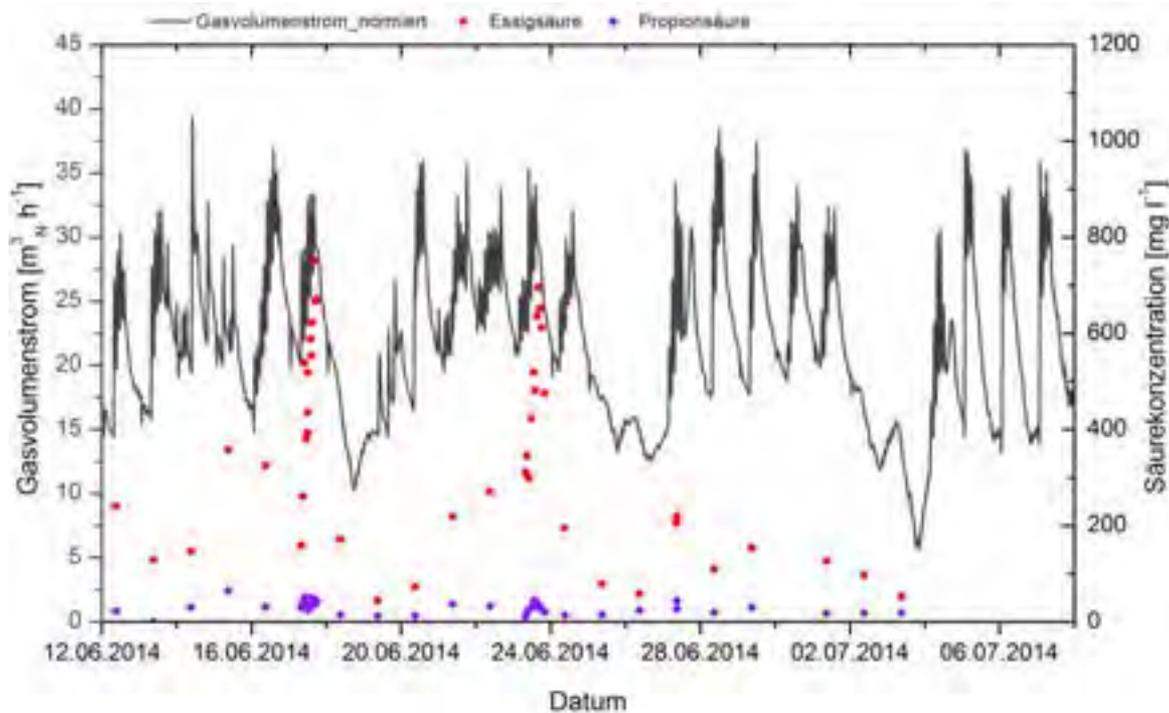
Prozessstabilität



Stabiler Prozesszustand
bei niedrigen
Säurekonzentrationen

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

Forschungsbiogasanlage des DBFZ



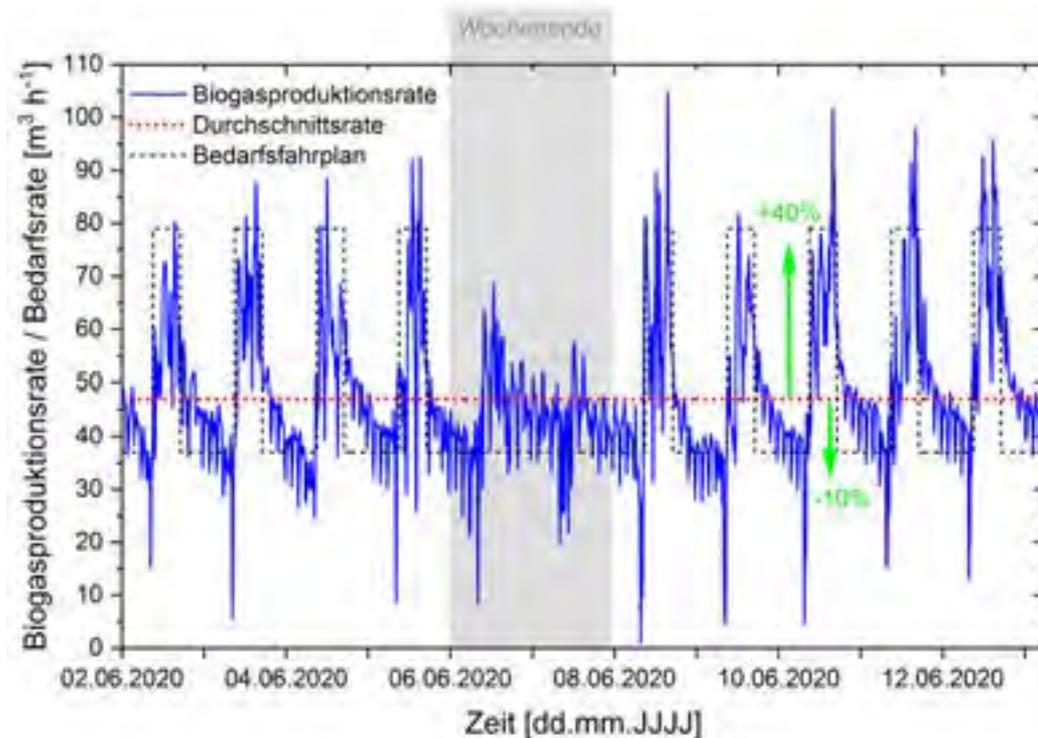
Angepasst nach Mauky et al. (2017) Demand-driven biogas production by flexible feeding in full-scale – Process stability and flexibility potentials *Anaerobe*, Vol. 46, S. 86-95.

Substrate:

Maissilage, Rindergülle und Zuckerrübensilage



Biogasanlage des Lehr- & Versuchsguts Köllitsch

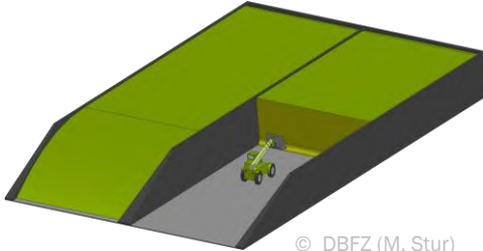


Substrate:

Maissilage, Grassilage, Rindergülle,
Rinderfestmist und Getreidespelzen

Prozessflexibilisierung

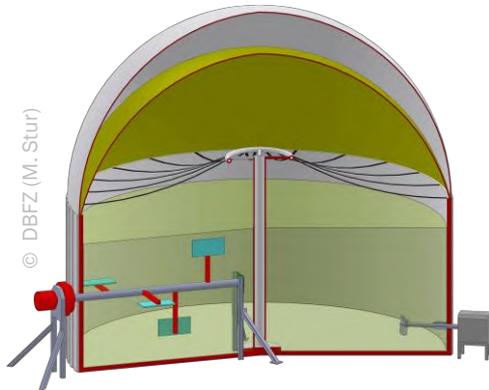
Einflussfaktoren bei der Prozessflexibilisierung



Substrateigenschaften

- Biogasbildungspotential
- Abbaukinetik
- Physikalische Eigenschaften

durch
Desintegration !
beeinflussbar



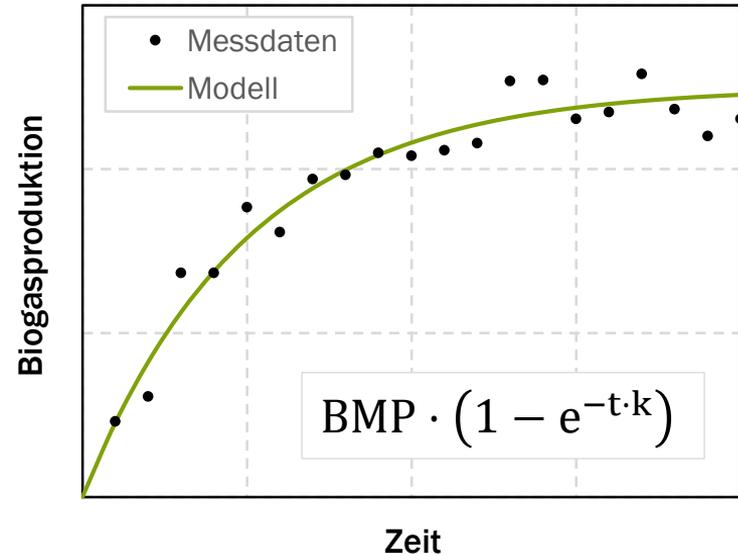
Fermentereigenschaften

- Fermentertyp und Anlagenkonzept
- Einbringtechnik (Zufuhrgeschwindigkeit)
- Rührtechnik (Rheologie)
- Messtechnik
- Gasspeicher

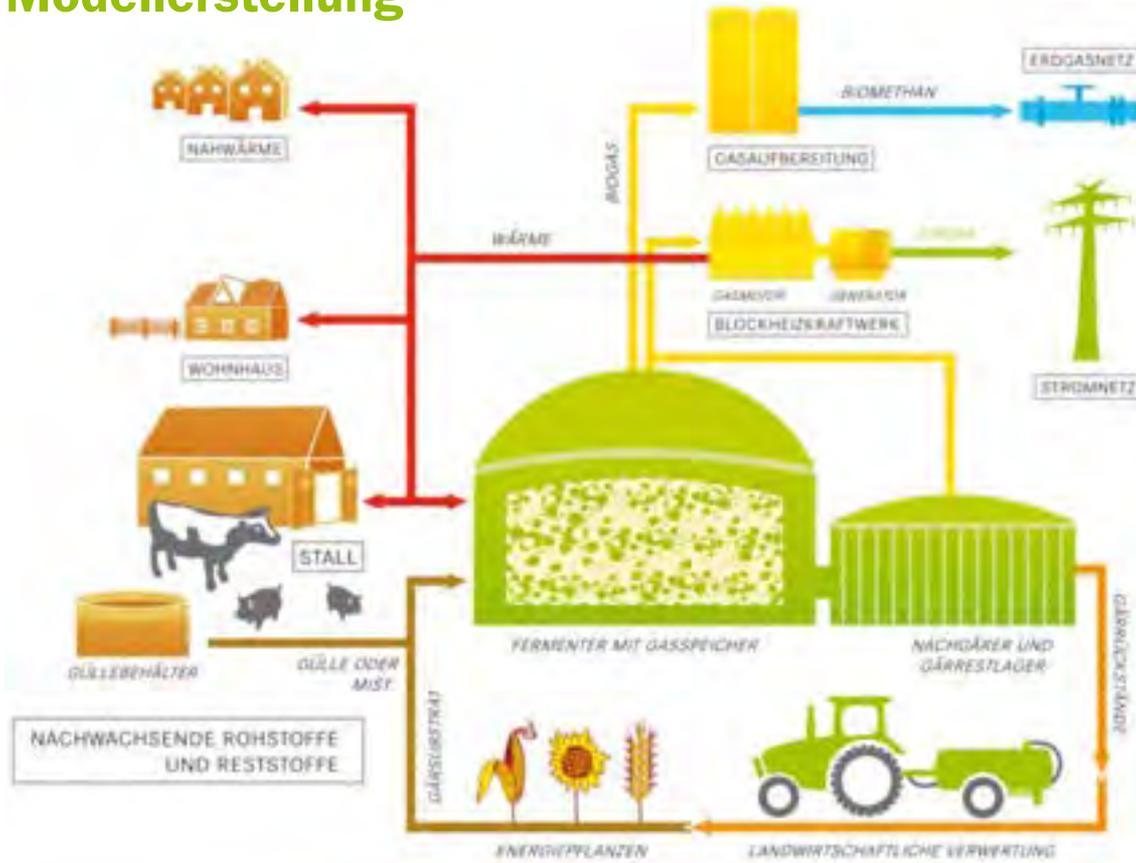
Definition Modellierung

Ein dynamisches Modell ist eine **vereinfachte Abbildung** eines **komplexen Systems** und dient dazu, die charakteristischen Eigenschaften anhand **mathematischer Funktionen** zeitabhängig zu beschreiben.

Imboden und Koch:
Systemanalyse: Einführung in die mathematische
Modellierung natürlicher Systeme.
1. Auflage. Springer, Berlin, 2008



Anlagensimulation Modellerstellung



Charakteristische Anlagenkomponenten

Schema einer
landwirtschaftlichen
Biogasanlage

Fachagentur Nachwachsende
Rohstoffe e.V. (FNR)

Substrate und Gärrest (Flüssig-Festphase)

Substratmenge	Wiegezellen und Durchflussmessung	online
TS oTS	Trockenrückstand Glühverlust	offline *
Nährstoffe	Futtermittelanalyse und Elementaranalyse	offline *
FOS FOS-TAC	Titration	offline *
Säurespektrum	GC und HPLC	offline *
NH ₄ -N	Destillation Photometrie	offline
pH-Wert	pH-Messkette	on offline
Spurenelemente	IC, AAS, ICP-OES und ICP-MS	offline
Gasbildungspotential	Gasbildungs- bzw. Aktivitätstest (Batch)	offline

Biogas (Gasphase)

Gasvolumenstrom	Thermische, physikalische oder mechanische Verfahren	online
Gaszusammensetzung	Spektroskopie, FID, GC, FID und Wärmetönung	online

* ggf. durch spektroskopische Verfahren wie z.B. NIRS oder MIRS nach entsprechende Kalibration als Online-Messung verfügbar

Anlagensimulation

Messwerterfassung



Substrate und Gärrest (Flüssig-Festphase)

Substratmenge

Wiegezellen und Durchflussmessung

online

TS | oTS

offline *

Nährstoffe

offline *

FOS | FOS-TAC

Messtechnische Ausstattung

In der großtechnischen Anlagenpraxis

offline *

Säurespektrum

offline *

NH₄-N

- wenig kontinuierlich erfasste (online) Messdaten

offline

pH-Wert

- Laboranalysen (offline) nur selten bzw. bei Störungen

on | offline

Spurenelemente

- keine Informationen zur Mikrobiologie

offline

Gasbildungspotential

- zum Teil starke Messunsicherheiten

offline

Biogas (Gasphase)

↳ **Wie komplex muss ein Simulationsmodell sein?**

Gasvolumenstrom

online

Gaszusammensetzung

Spektroskopie, FID, GC, FID und Wärmetönung

online

* ggf. durch spektroskopische Verfahren wie z.B. NIRS oder MIRS nach entsprechende Kalibration als Online-Messung verfügbar

Vereinfachung des etablierten Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1)

Ursprüngliche Modellstruktur des ADM1



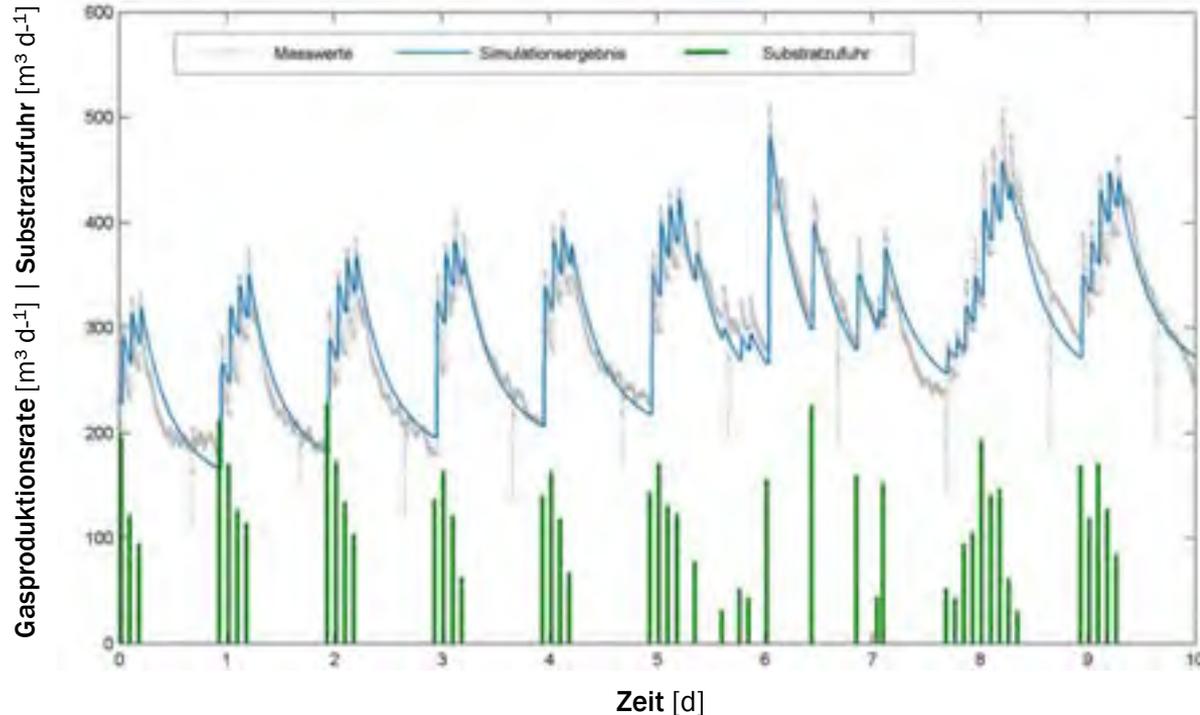
↳ Zahlreiche **Komponenten**, **Prozessphasen** und **unbekannte Parameter**

Stark vereinfachte Modellstruktur des ADM1-R4



↳ **Schnelle Rechenzeiten** und **robustes Systemverhalten**

Simulation der bedarfsgerechten Biogasproduktion



Substrat:
Maissilage



Möglichkeiten

- Biogasprozess kann flexibler betrieben werden, als momentan üblich
 - ↳ **hohe Dynamik** und **Prozessstabilität** bei typischen Raumbelastungen
- vereinfachte Prozessmodelle sind für eine **robuste** und **praxisnahe Anwendung** geeignet
 - ↳ keine allgemeingültige Aussagen, Auswahl erfolgt anhand der konkreten **Zielstellung**

Herausforderungen und Ausblick

- Abbildung von **Störungen** und **Prozessinhibitoren** bei hohen Raumbelastungen
- Berücksichtigung technischer Effekte wie z.B. **Substrataufschluss**, **Durchmischung**, etc.
- Methodvalidierung im **Praxisbetrieb**

Smart Bioenergy – Innovationen für eine nachhaltige Zukunft

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Sören Weinrich

Tel.: +49 (0)341 2434 341

E-Mail: soeren.weinrich@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

Chancen und Ergebnisse der modellbasierten Prozessführung

Manuel Winkler, Eric Mauky, Sören Weinrich, Jörg Kretzschmar



3. Dezember 2020 | Leipziger Biogas-Fachgespräch | Biogas auf dem Sprung

Gliederung



- 1) Motivation**
- 2) Materialien und Methoden**
- 3) Ergebnisse und Diskussion**
- 4) Fazit und Ausblick**

© DBFZ, 2018



1 Motivation

1.1 Ausgangssituation

- ✓ Erneuerbare Energien für eine nachhaltige Stromproduktion
- ✓ Inhärente Fluktuation von Windkraft und Photovoltaik → flexible Bereitstellungslösungen zur Sicherung stabiler Energieversorgung
- ✓ Direktvermarktung als mittelfristige Zukunftsperspektive für landwirtschaftliche Biogasanlagen → Verlängerung der EEG-Förderung um 10 Jahre
- Flexibilisierung = Ertüchtigung von Biogasanlagen zur bedarfsgerechten Stromproduktion zu Bedarfsspitzen
- In der Praxis: Zubau der installierten BHKW-Leistung (und des Gasspeichervolumens), dabei finanzielle Förderung über Flexprämie; Flexibilisierung meist auf das BHKW beschränkt



Renewable Energies. Florian Gerlach (Nawaro). CC-BY-SA 3.0

1 Motivation

1.2 Stand der Technik, Vorgängerprojekt

Bisherige Ergebnisse (Projekt RegEnFlx, FKZ 100143221, 2014 - 2016)

- Feststoffsubstrate: Maissilage und Zuckerrübenmus
- Flexible Fütterung ermöglicht über 40 % Gasspeichereinsparung (Mauky et al., 2016)
- Versuche nur am Fermenter, BHKW und Gasspeicher werden lediglich simuliert
- Fester BHKW-Wochenfahrplan (an EPEX-Preisen orientiert) (EPEX = „European Power Exchange“, Strombörse)

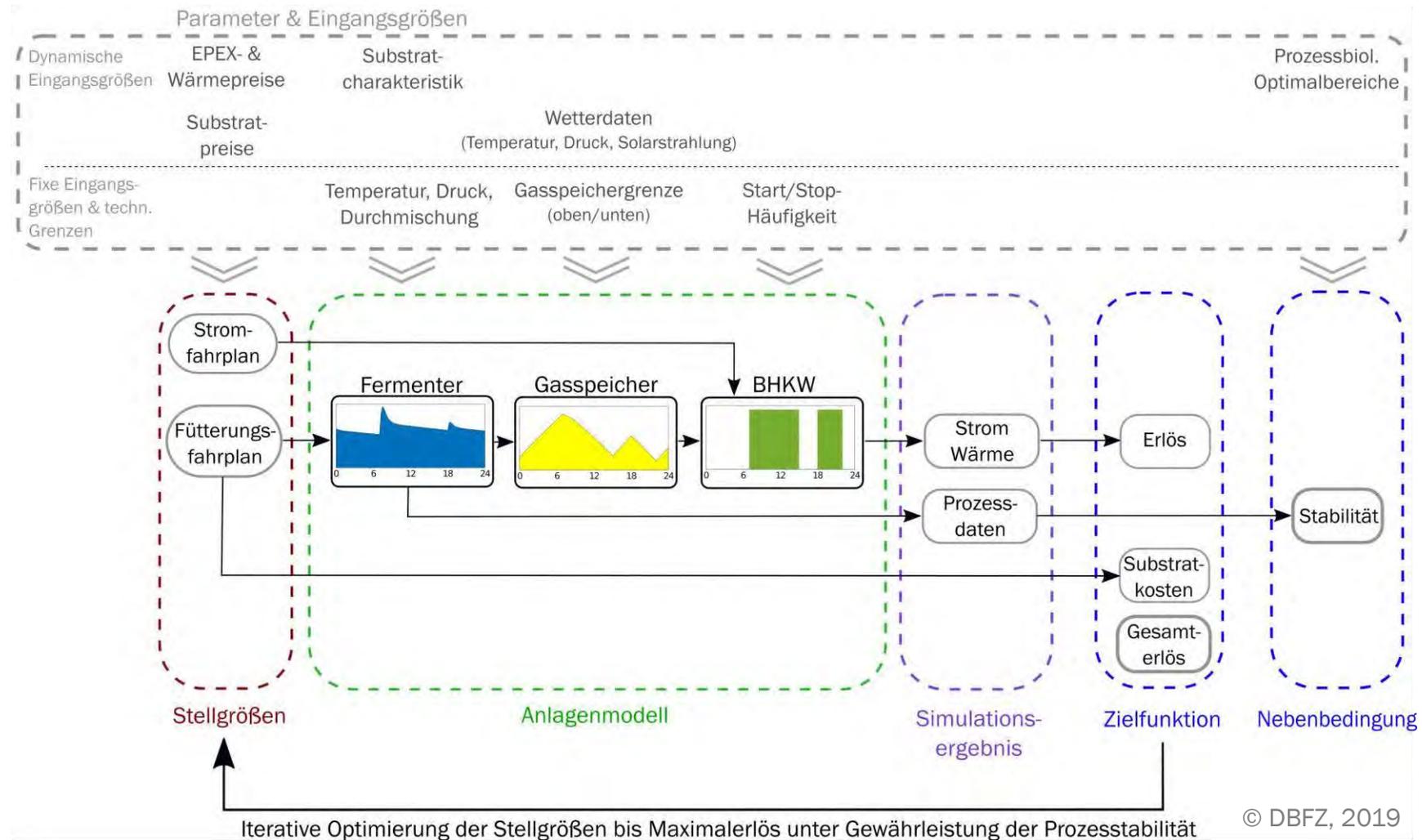
Neuer Forschungsansatz (Projekt Gazelle, FKZ 100267056, 2017 - 2020)

- Erweiterung der Systemgrenze auf Gasspeicher und BHKW
- Fütterungsoptimierung der Feststoffsubstrate (Gemisch aus Maissilage und Getreideschrot)
- Erläsoptimierung auf Basis von vorhergesagten Preiszeitreihen anhand echter, tagesaktueller EPEX-Preise
- Ganzheitlicher Optimierungsansatz: Iterative Fahrplan- und Fütterungsoptimierung

Mauky, Eric; Weinrich, Sören et al. (2016): Model Predictive Control for Demand-Driven Biogas Production in Full Scale. In: Chem. Eng. Technol. 39 (4), S. 652–664. DOI: 10.1002/ceat.201500412.

1 Motivation

1.2 Stand der Technik, Vorgängerprojekt



2 Materialien und Methoden

2.1 Der Algorithmus

- Lineares Fermentermodell auf Basis des ADM1-R4 (Weinrich 2017)
- Lineares Gasspeicher- und BHKW-Modell
- Iterative Fahrplan- und Fütterungsoptimierung:
Maximiere Erlös unter Einhaltung des Gasspeichers

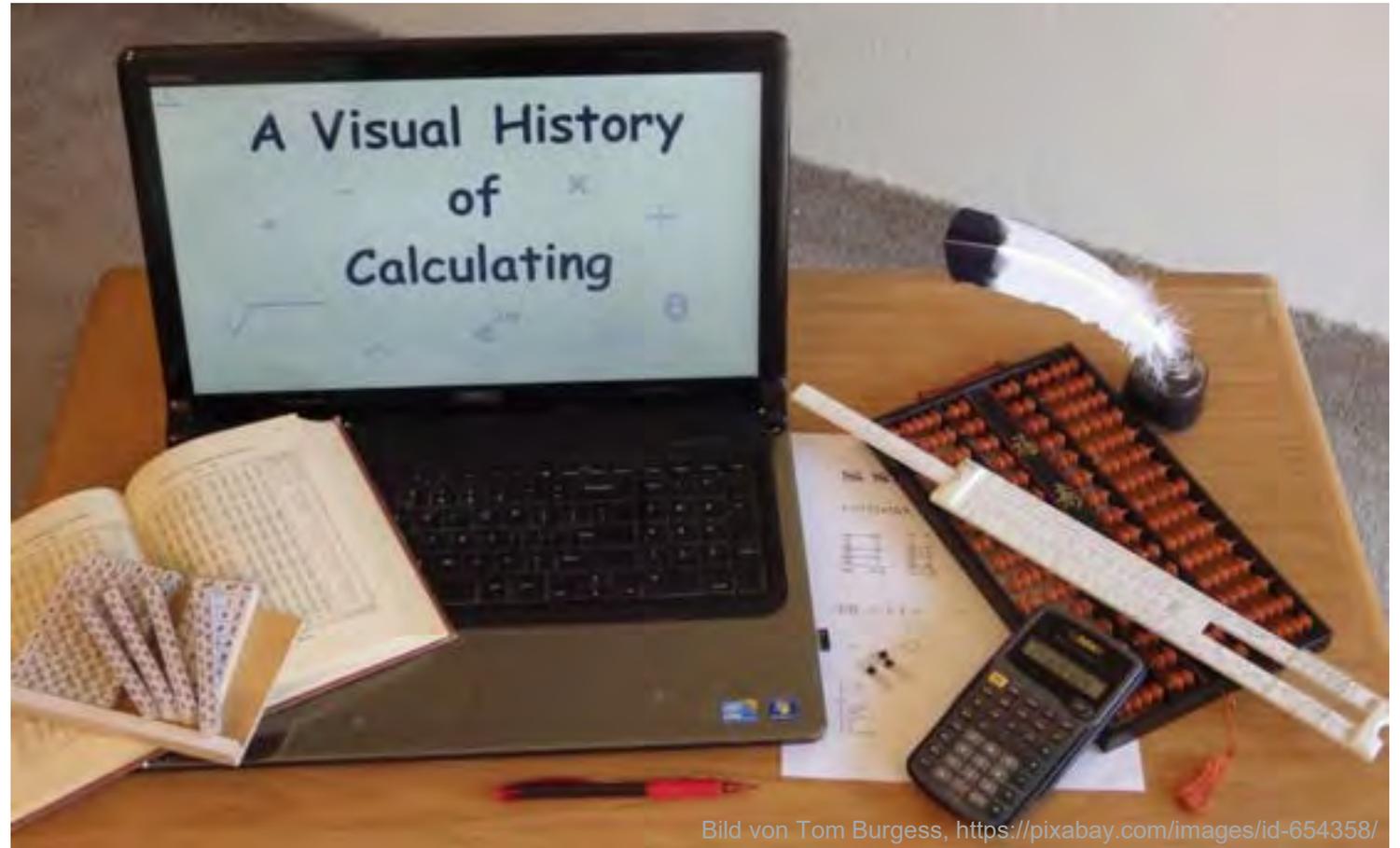


Bild von Tom Burgess, <https://pixabay.com/images/id-654358/>

Weinrich, Sören (2017): Praxisnahe Modellierung von Biogasanlagen: Systematische Vereinfachung des Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1). Dissertationsschrift, Universität Rostock. DOI: 10.18453/rosdok_id00002016

2 Materialien und Methoden

2.2 Praktische Umsetzung an der Forschungsbiogasanlage des DBFZ



- Als Reaktoren Hochfermenter 3.1 und Nachgärer 3.4 in Reihe betrieben
- Flexibler Gasspeicher (Kopfraum des Nachgärs 3.4)
- Feststoff-Substrat: Gemisch aus Maissilage und Getreideschrot
- Flüssig-Substrat: Rindergülle
- Elektrische Nennleistung des BHKW: 75 kW
- Bemessungsleistung: 28,94 kW
- Mittlere B_R : $2,7 \text{ kg}_{\text{OTS}}/\text{m}^3/\text{d}$
- Überbauungsgrad: $\approx 2,59$
- Optimierung und Fahrplananpassung jeden Wochentag bis 12 Uhr

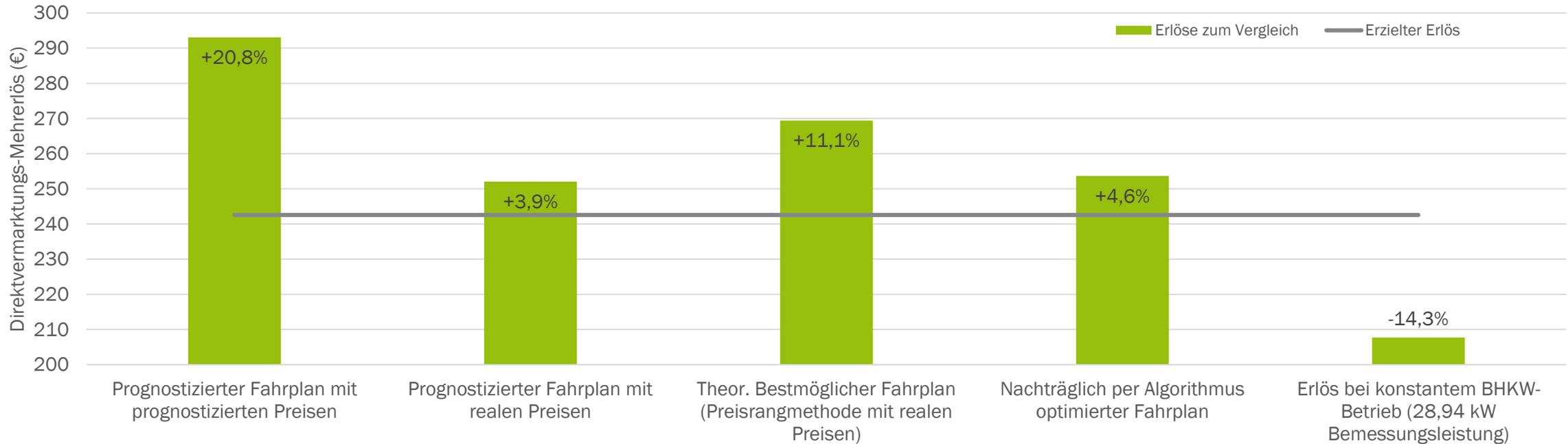


3 Ergebnisse und Diskussion

3.4 Erzielter Wochenerlös am Strommarkt



Vergleich möglicher Erlöse



- Prognostizierte Erlöse zu hoch, da prognostizierte Preise und Gasmengen zu hoch
- Reale Erlöse: 90 % des *theoretischen* Optimums (mit dieser Anlage nicht realisierbar)
- Reale Erlöse: 95 % des real machbaren, wenn man die Preise im Vorhinein gewusst hätte

4 Fazit und Ausblick

Erzielte Ergebnisse

- ✓ Funktionsfähigkeit modellbasierter Optimierungssoftware erfolgreich demonstriert
- ✓ Erzielter Direktvermarktungs-Mehrerlös bei 90 % des theoretisch und 95 % des praktisch möglichen
- ✓ Hohe Direktvermarktungs-Mehrerlöse an modernen Bestandsanlagen auch ohne Gasspeicherzubau möglich

Weiterer Forschungsbedarf

- Dynamische Bilanzierung des Gasspeichers
- Engere Verzahnung von Optimierung mit Anlagendaten und -steuerung → Schritt zur selbstregelnden Anlage
- Praxistransfer der entwickelten Methoden



© Fotos: DBFZ (P. Trainer und J. Gutzeit)

Deutsches Biomasseforschungszentrum

gemeinnützige GmbH



Smart Bioenergy – Innovationen für eine nachhaltige Zukunft

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Manuel Winkler

Tel.: +49 (0)341 2434-532

E-Mail: manuel.winkler@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



**Praxiserfahrungen beim flexiblen Betrieb an der Forschungsbiogasanlage
des DBFZ und dem Lehr- und Versuchsgut Köllitsch**

Eric Mauky, Christian Krebs, Ulf Müller, Jörg Kretzschmar



Biogas auf dem Sprung – Chancen und Herausforderungen der flexiblen Fütterung

Forschungsanlagen im Projekt



DBFZ – Forschungsbiogasanlage

Fermenter: 208 m³ Festdach
Nachgärer: 215 m³ mit 150 m³ Gasspeicher
Gärrestlager: 215 m³ mit 150 m³ Gasspeicher
Inst. el. Leistung 75 kW_{el}
Zündstrahl-Motor (Schnell)



Forschungsanlagen im Projekt



Biogasanlage des Lehr- & Versuchsguts Köllitsch

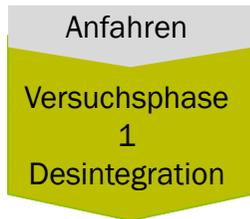
Fermenter: 1250 m³ mit 350 m³ Gasspeicher
Nachgärer: 1640 m³ mit 450 m³ Gasspeicher
Gärrestlager: Gesamt 3500 m³
Inst. el. Leistung 104 kW_{el}
Gas-Otto-Motor (MAN)



Substratmanagement DBFZ



2019/05



Rindergülle
Roggen-GPS



Parallelbetrieb
der
Hauptfermenter



Trockenzerkleinerer & Nasszerkleinerer



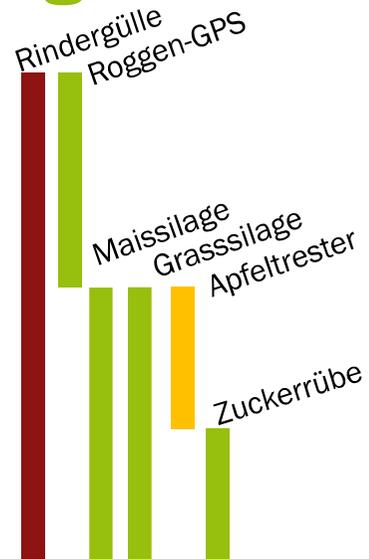
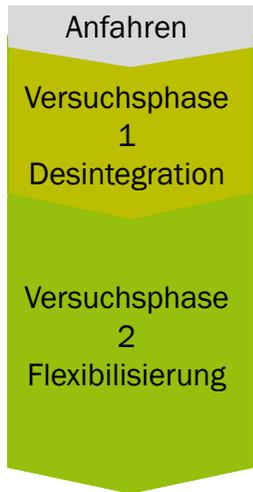
2020



Substratmanagement DBFZ



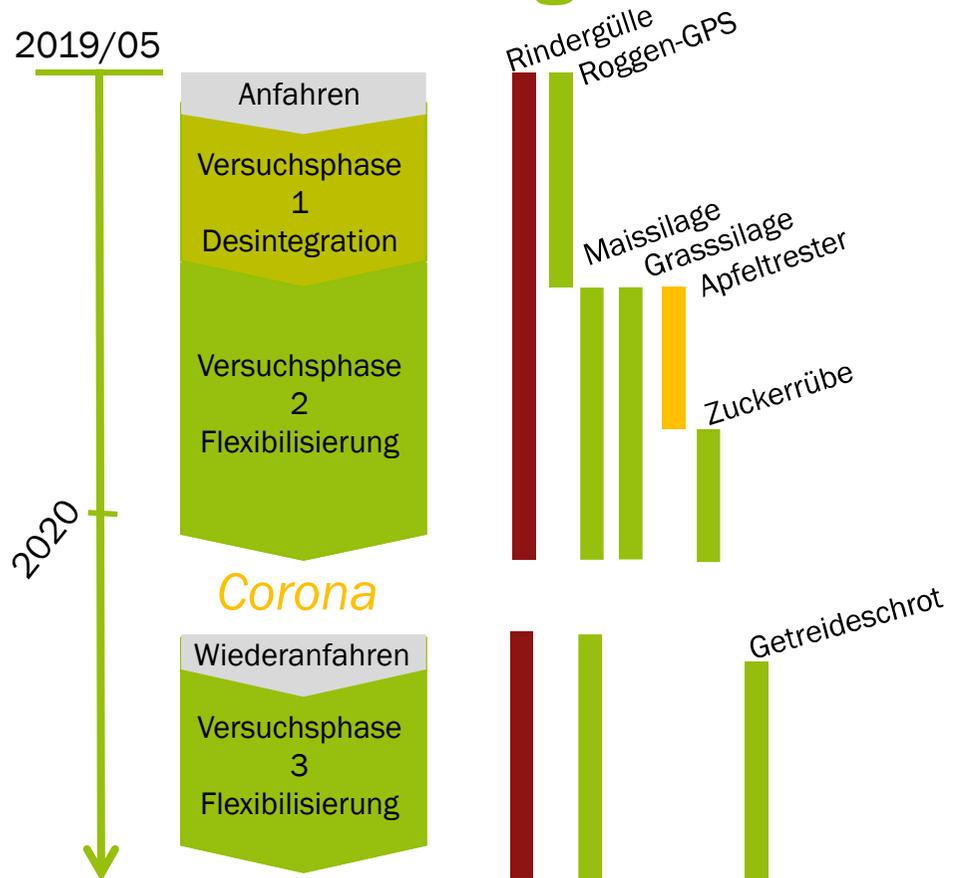
2019/05



2020



Substratmanagement DBFZ





Substratmanagement Köllitsch

2020/01

März

Einfahren,
Etablierung
FlexFeed

RG



Substratmix aus Rinderfestmist, Maissilage, Grassilage



Gleichverteilte Fütterung

- 8 x Täglich Rindergülle
- 12 x Täglich Feststoff

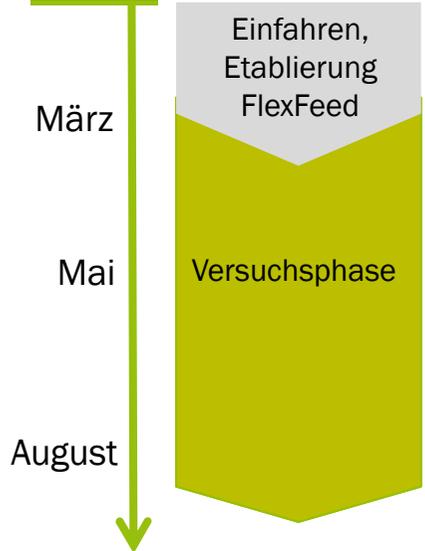
Umstellungsvariante auf dynamische Fütterung im Tagesverlauf

- Werktags zwischen 7 - 17 Uhr: Erhöhung der Fütterungsmenge
- Werktags zwischen 17 - 7Uhr: Verringerung der Menge
- Wochenende vorerst konstant

Substratmanagement Köllitsch



2020/01



RG Substratmix aus Rinderfestmist, Maissilage, Grassilage



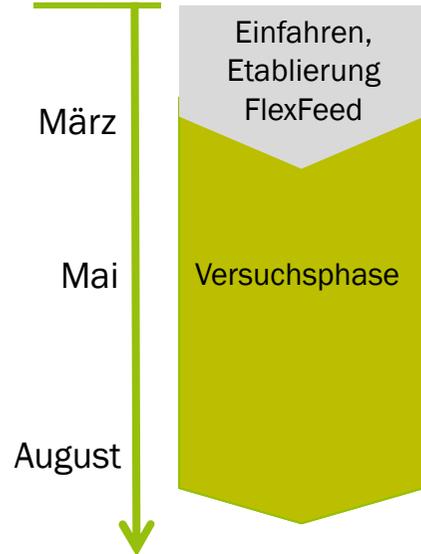
Hammermühle



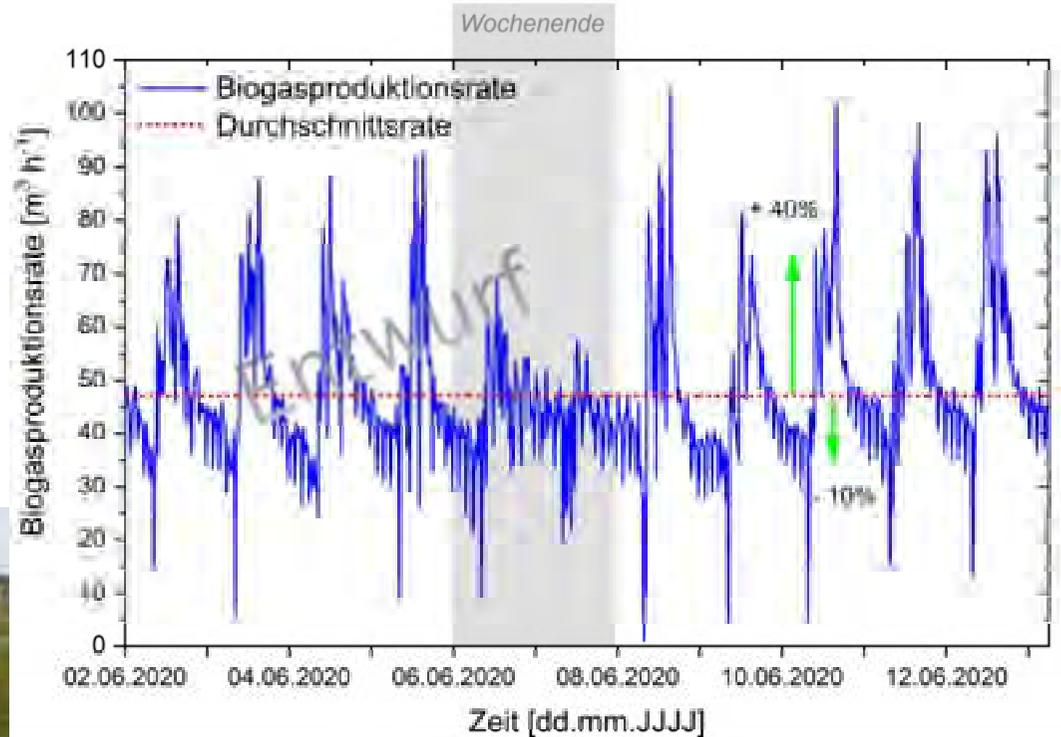
Substratmanagement Köllitsch



2020/01



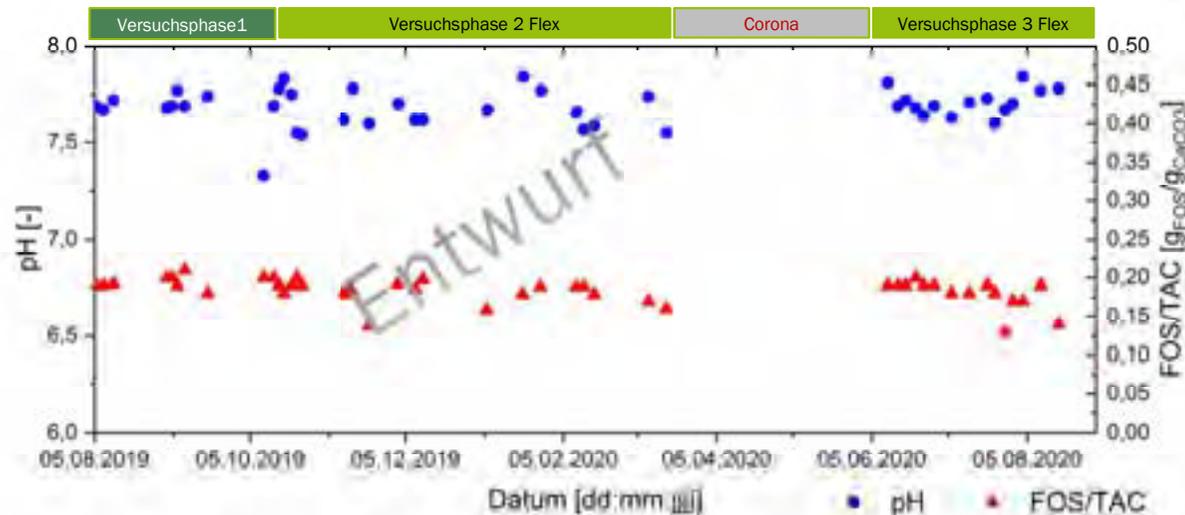
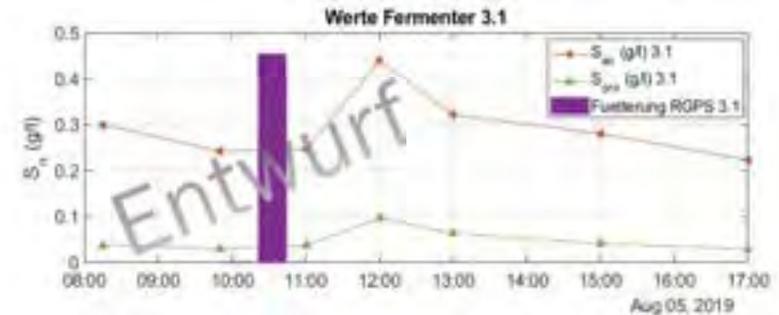
RG Substratmix aus Rinderfestmist, Maissilage, Grassilage



Prozessstabilität FBGA



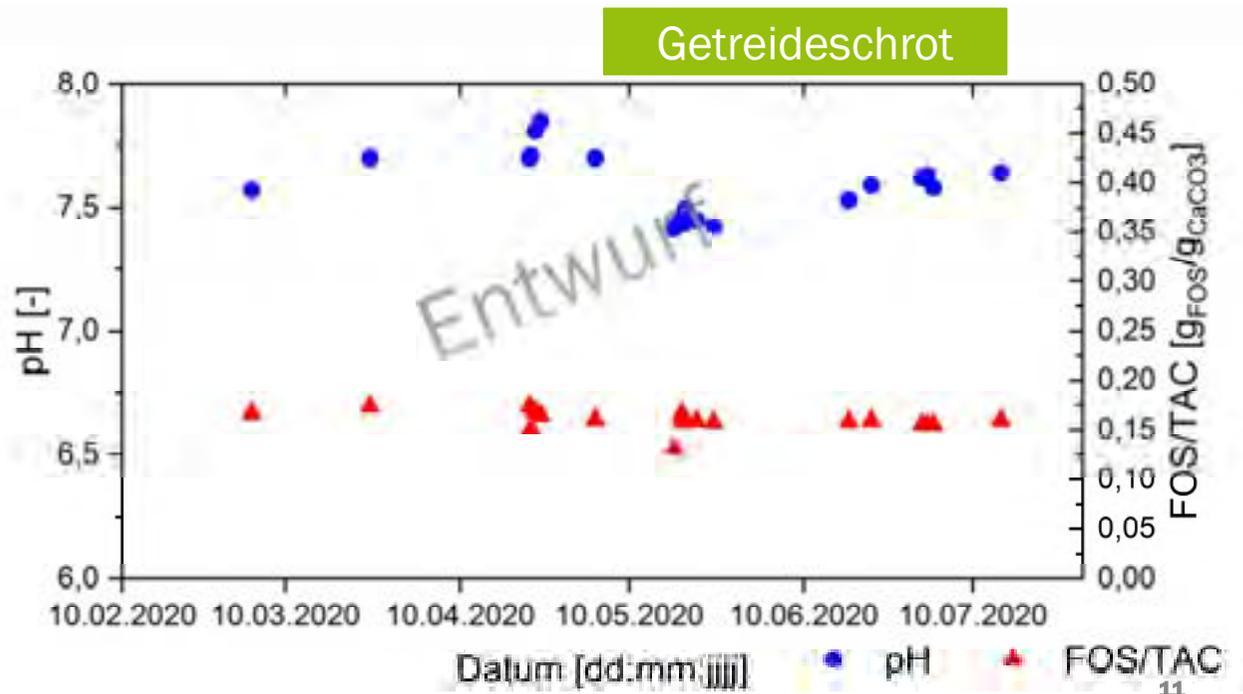
- Raumbelastungen zwischen 3 und 5 kg_{oTS} m⁻³ d⁻¹
- Kurzfristige Prozessschwankungen
- Langfristig stabiler Prozess



Prozessstabilität Köllitsch



- Raumbelastungen 1,8 und 2,1 kg_{oTS} m⁻³ d⁻¹
- kaum Prozessschwankungen
- Langfristig stabiler Prozess
- keine kritischen Situationen

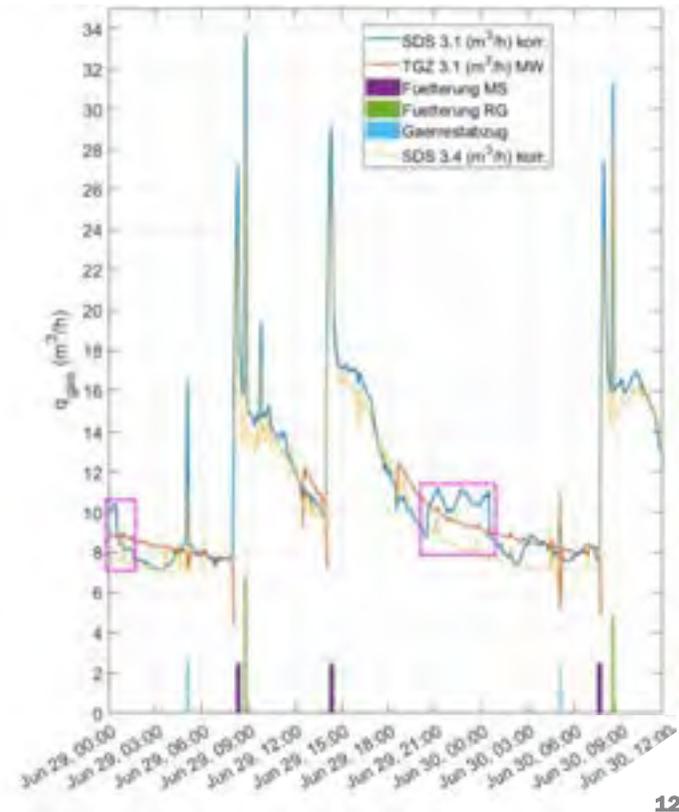


Messtechnik FBGA



Biogasvolumenstrommessung

Staudrucksonde + Trommelgaszähler



Messtechnik Köllitsch

Mobile Volumenstrommessstrecke

Messprinzip: Ultraschall



Zustand ohne Messgeräte

Umgerüstete Gasleitung mit Messgeräten

Isolierte Messtrecken



Datenaufzeichnung

Regelmäßiger Reinigungsbedarf



Messtechnik Gasspeicher



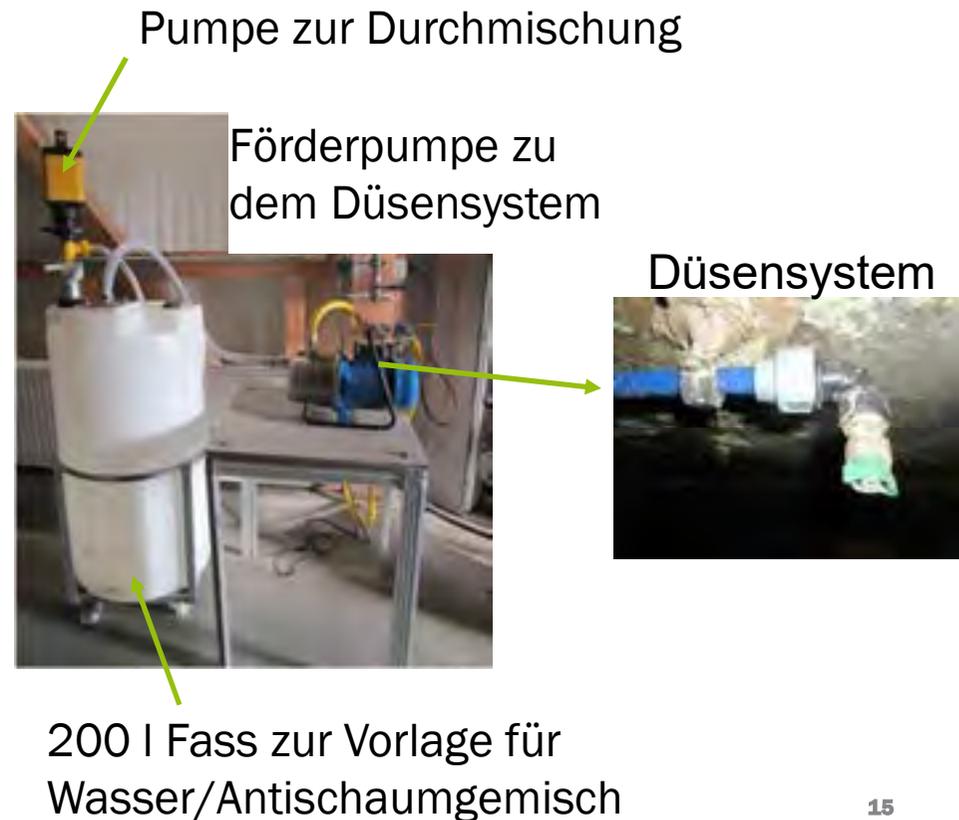
- unterschiedliche Genauigkeiten und Bereiche guter Anzeige
- Kommunikation zwischen Gasspeichern bzw. gutes Abströmen → Rohrleitungsquerschnitte
- Temperatureinfluss auf Speicherkapazität



Schaumreduzierung FBGA



- Entscheidungskriterium Zugabe: Schaumhöhe ca. 30 bis 40 cm über Normalfüllstand Fermenter
- Hoher Kontrollaufwand
- Verdünnungsverhältnis in Abhängigkeit der Anteile Zuckerrübe bzw. Getreideschrot,
- bei Apfeltrester war kein Entschäumer notwendig





Arbeitsabläufe und Personaleinsatz

Anforderungen an das Personal

- höherer Personalbedarf aufgrund komplexerer Abläufe (Substrataufbereitung, Substratzugabe, Prozessüberwachung)
- rel. hohe Qualifikation des Personals notwendig
- flexible Arbeitszeiten notwendig (Fütterungszeitpunkte / Verschiebung der üblichen Arbeitszeiten)

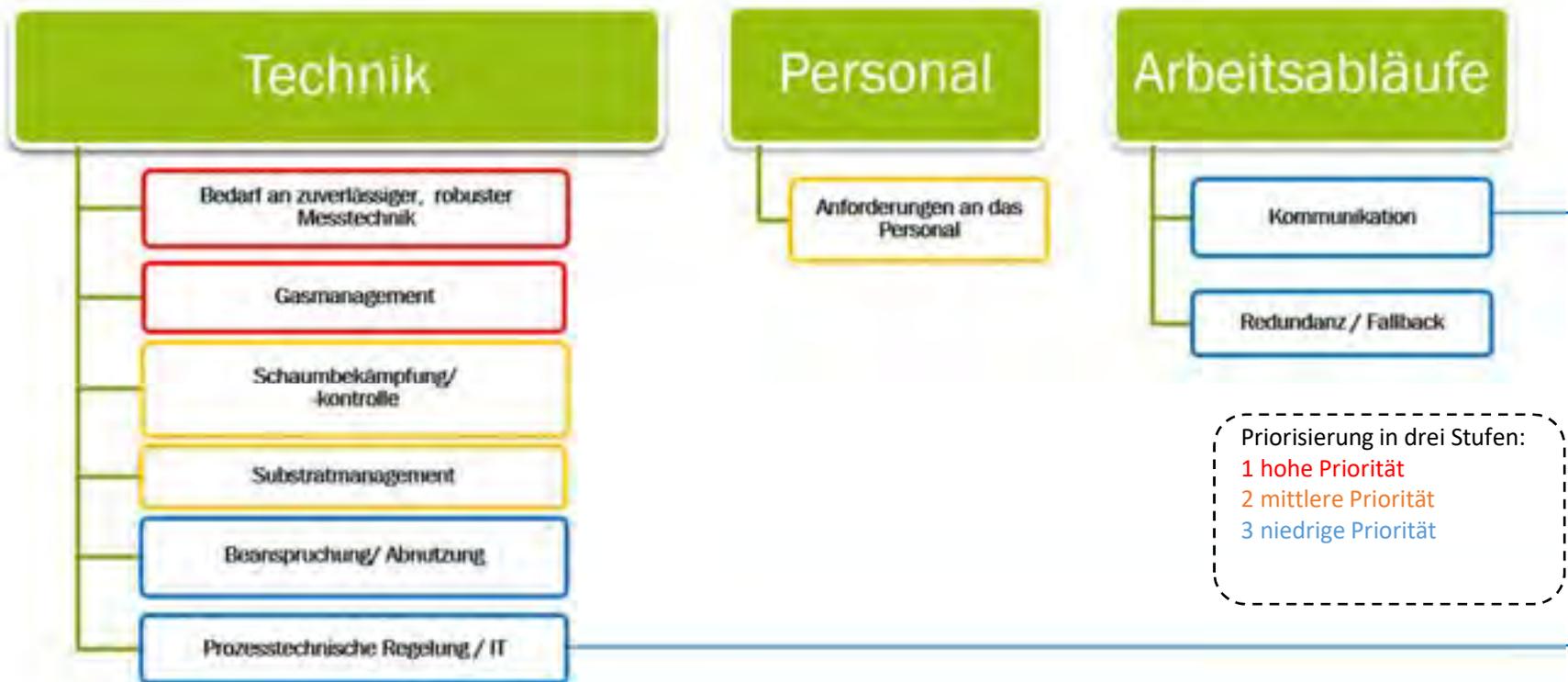
Kommunikation

- geeignete Kanäle zum Daten- / Informationsaustausch zwischen modellbasierter Regelung und Anlagenpersonal notwendig

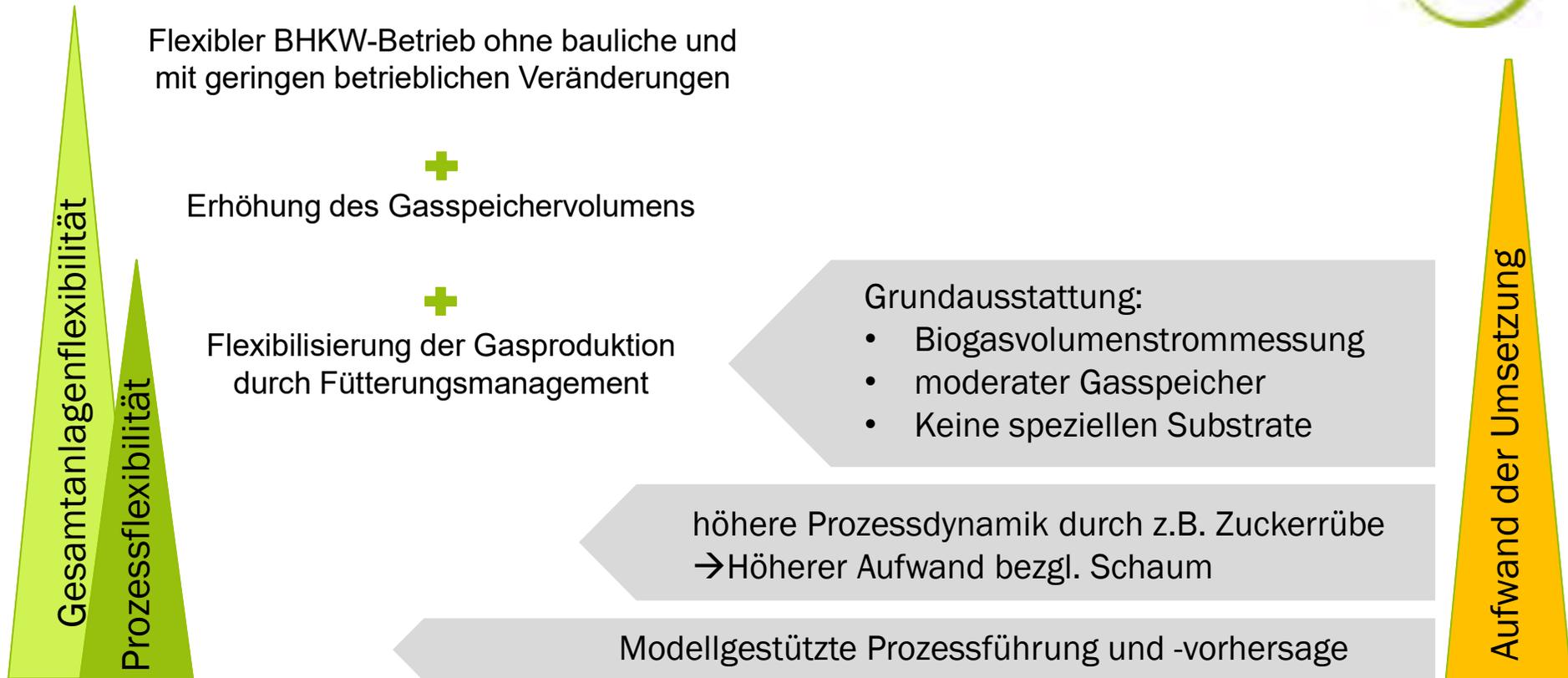
Redundanz / Fallback

- Regeln für Störfälle müssen erarbeitet und abgestimmt werden

Zusammenfassung



Möglichkeiten & Herausforderungen



Smart Bioenergy – Innovationen für eine nachhaltige Zukunft

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Eric Mauky

eric.mauky@dbfz.de

Dr. rer. nat. Jörg Kretzschmar

joerg.kretzschmar@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

Ökonomische Analysen

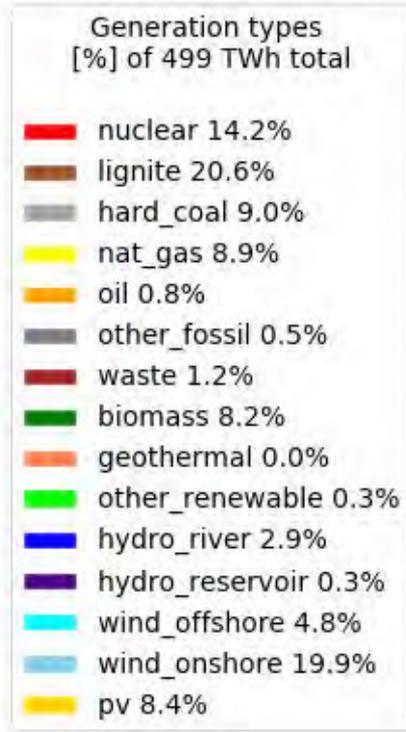
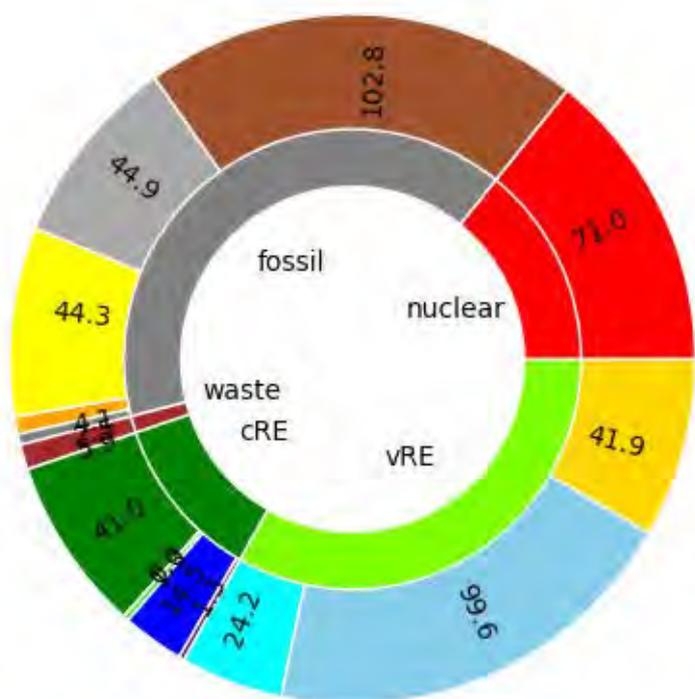
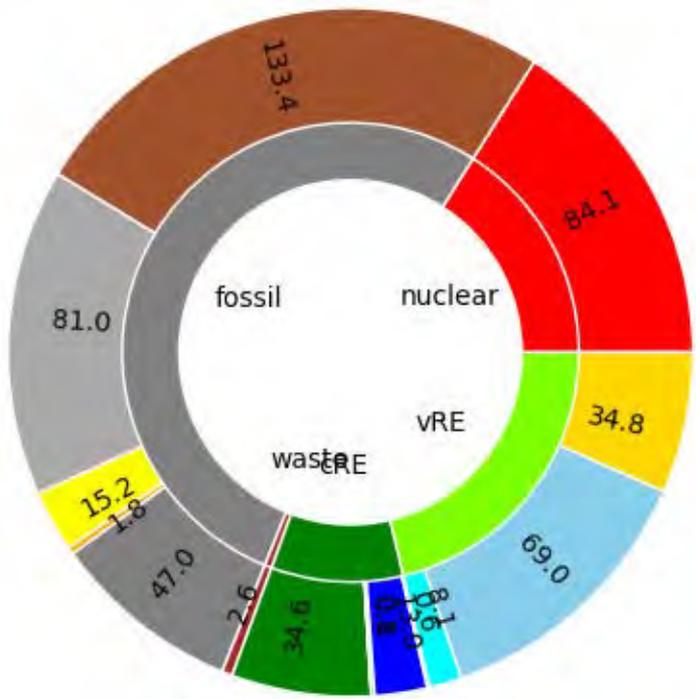
Martin Dotzauer, Tino Barchmann



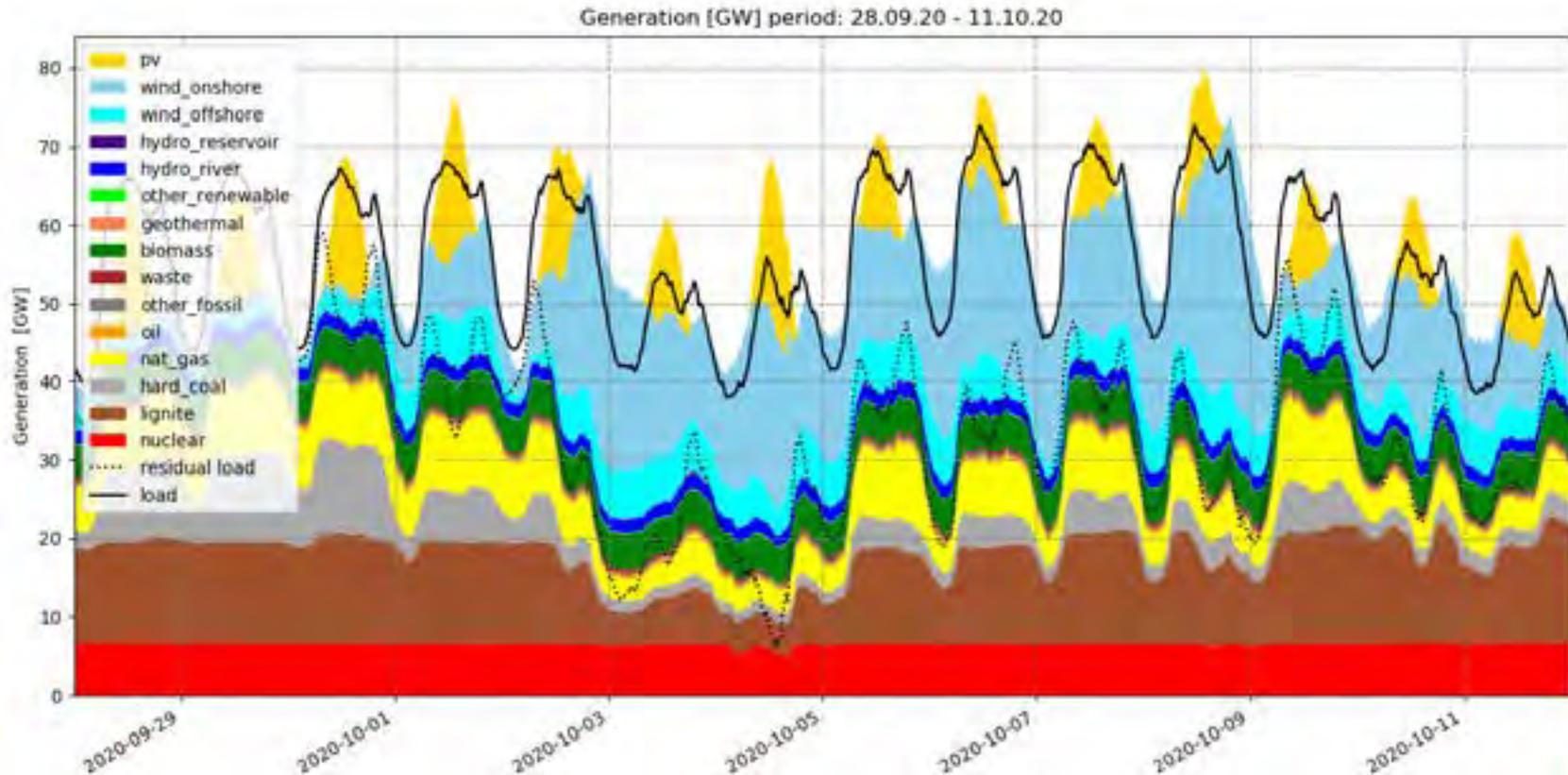
- **Energiewende im Stromsektor und Flexibilitätsoptionen**
- **EEG als zentraler Rahmen zur Flexibilisierung von Biogasanlagen**
 - Bestandsanlagen & Neuanlagen
- **Technische Aspekte der Flexibilisierung**
 - Gasproduktion (Fütterungsmanagement), Gasspeicher, BHKW, Anlagenperipherie, Transformator, Netzanschluss
- **Ökonomische Aspekte der Flexibilisierung**
 - Zielmärkte (EPEX, Regelenergie), Zielkonflikte Wärmevermarktung, Fahrplanoptimierung
- **Zusammenfassung**

Energiewende – Stromsektor

2015▶ 2019



Energiesystemtransformation - Residuallast



- **Anlagen mit (im Idealfall) 10 Jahren Restlaufzeit können jetzt wieder die Flexibilitätsprämie zur Kapazitätserweiterung nutzen**
- **Nach Auslaufen der ersten Vergütungsperiode 10-jähriger Anschlussbetrieb möglich**
- **Bündelung von Anlagen in einem Gebot möglich**
- **Strategisches Bietverhalten:**
 - A) Früher Zuschlag / späte Realisierung, um möglichst hohes Gebot zu realisieren
 - B) Anbieten „auf gut Glück“ ohne Reinvestition so lange die Anlage läuft

Rechtsrahmen – EEG 2021

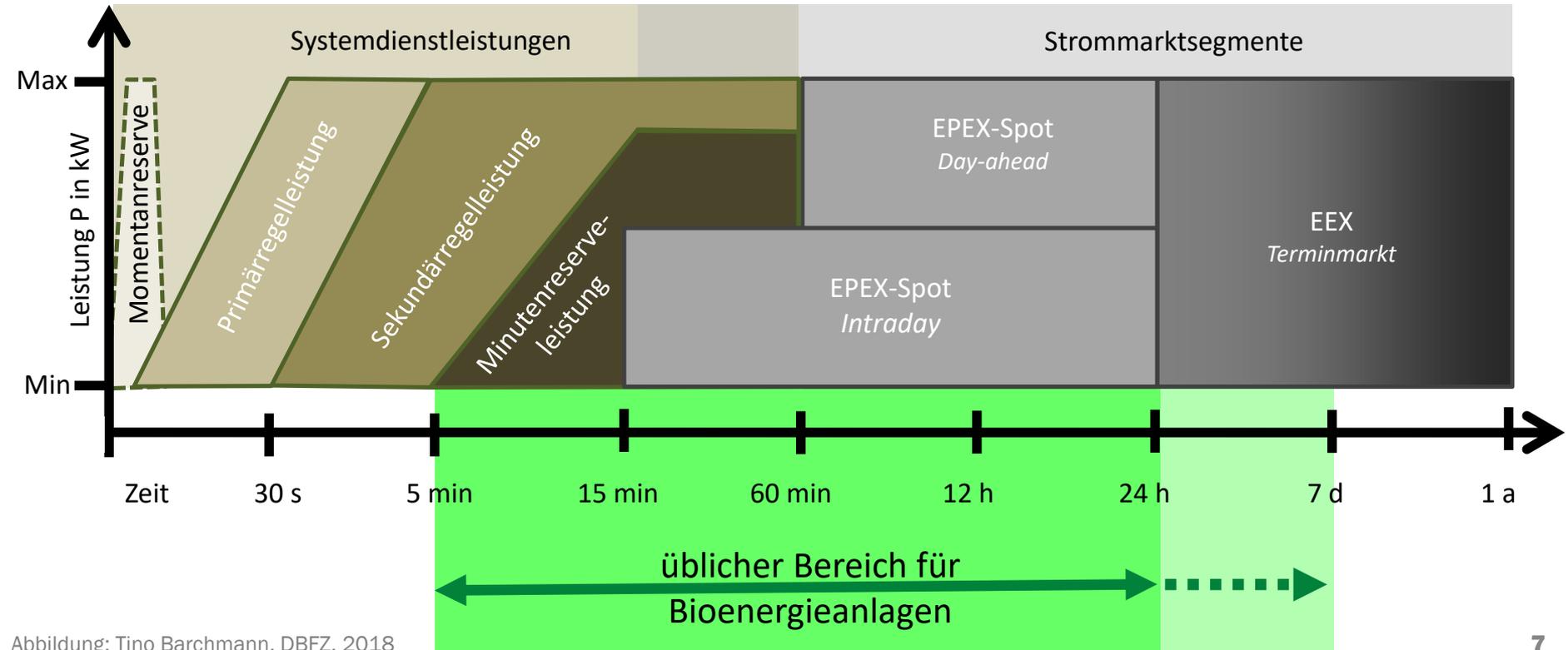


- **Förderdauer 20 Jahre**
- **ab 1. Januar 2023 Energieträgerspezifischer Jahresmarktwert anstatt Monatsmittelwert → Anreiz für saisonale Flexibilisierung**
- **Aussetzung der Vergütung bei negativen Preisen für alle Anlagen in der Ausschreibung (Bestandsanlagen erst ab 6h Preis<0)**

Jahr	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020*
n Preis<0	15	71	12	15	56	64	64	126	97	145	142	211	257

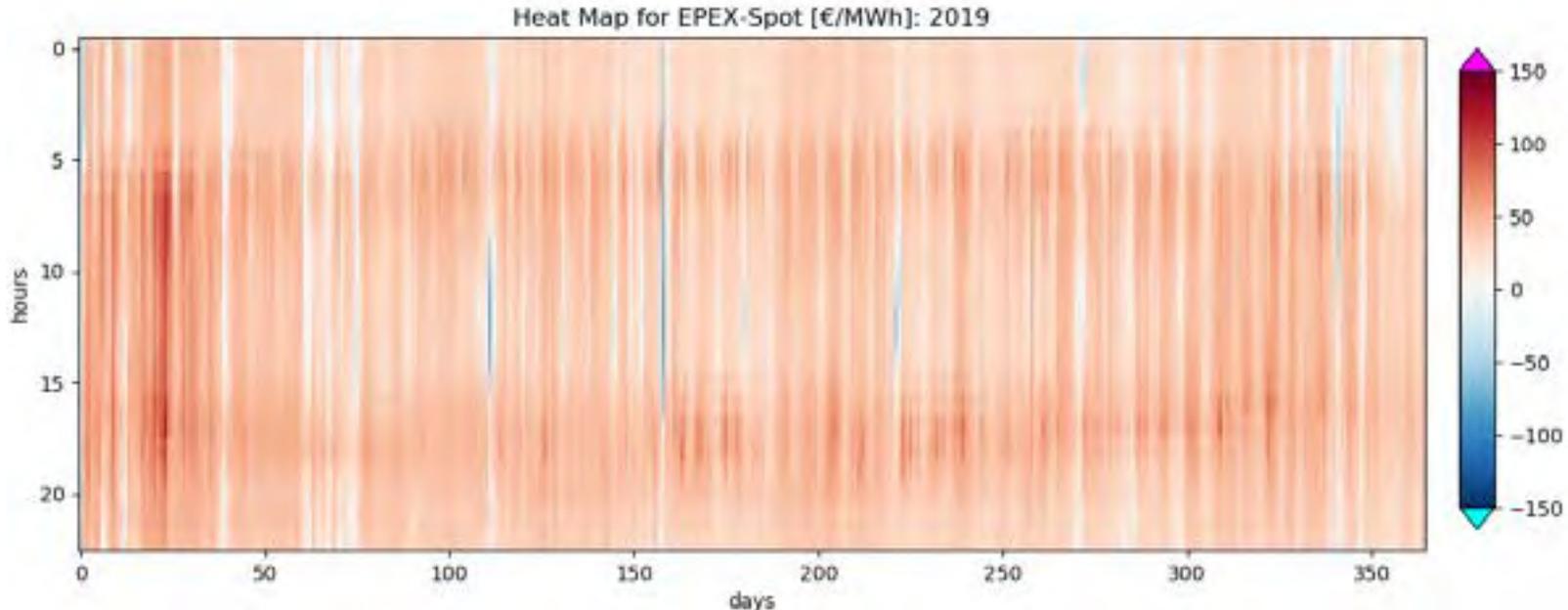
- **→ Konsequente Auslegung der Anlage auf einen flexiblen Betrieb**

Ökonomie – Zielmärkte / Regelenergie



Ökonomie – Zielmärkte / EPEX Spot

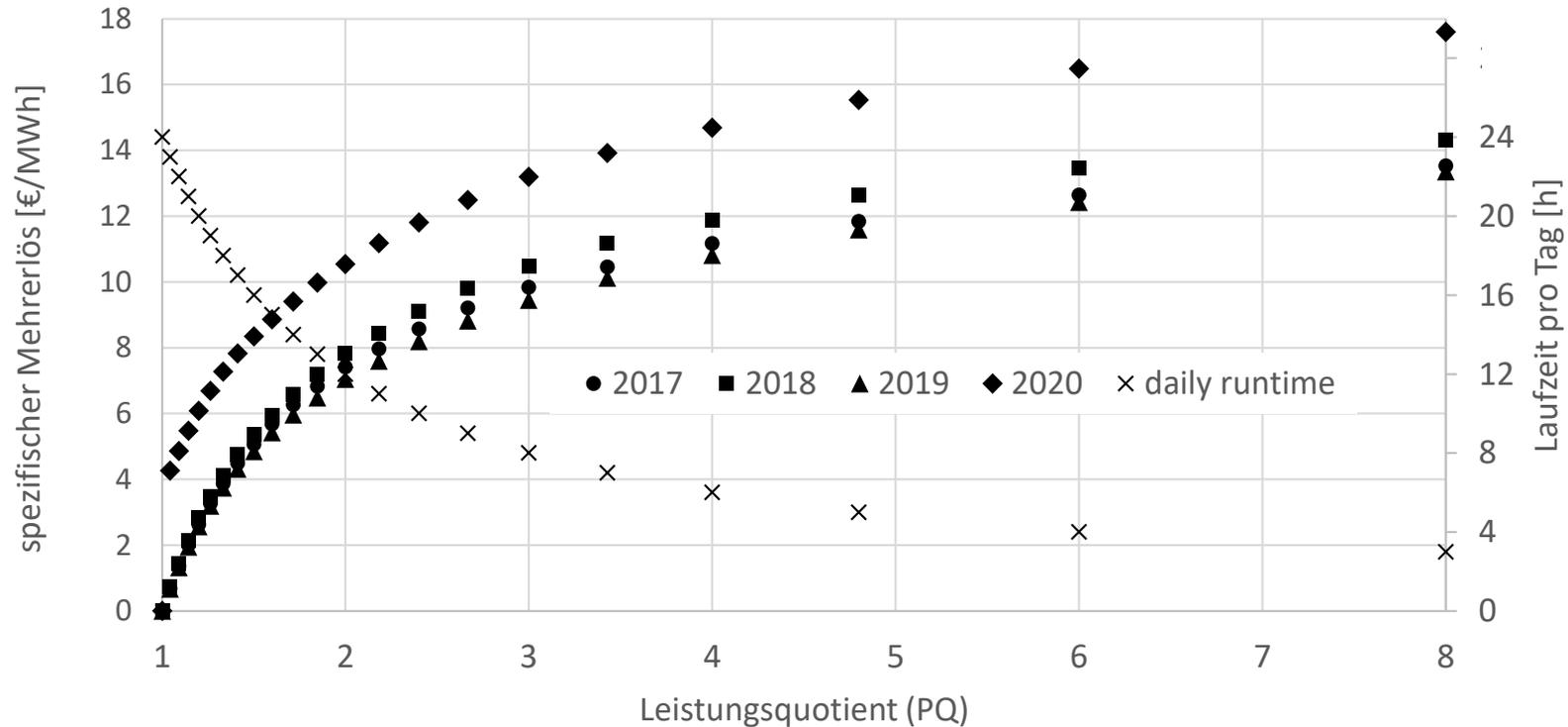
- **Innertägige Schwankungen bieten das größte Potential**
- **Saisonale Muster klar erkennbar, negative Preise treten ganzjährig auf**



Ökonomie – Zielmärkte / EPEX Spot

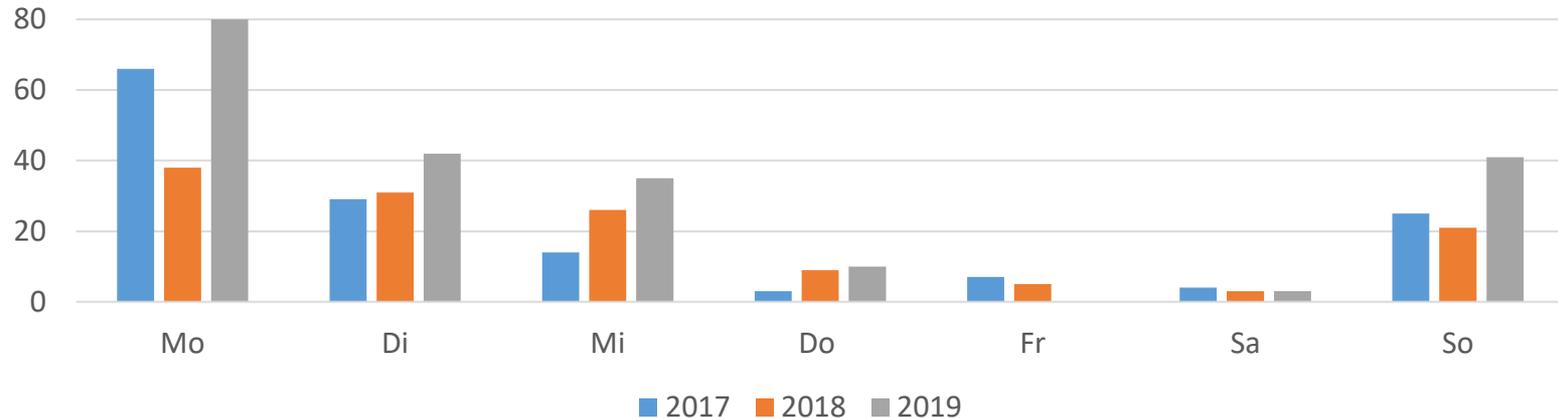


Spezifische Mehrerlöse für die EPEX Spot (dynamischer Spread)



- **Häufigkeit negativer Preise steigt zukünftig -> Vermeidung von Vergütungsausfällen als weitere Zielgröße bei der Fahrplanoptimierung**

Häufigkeit negativer Preise nach Wochentag



Gasspeicher Zusammenhänge



- **Gasspeicher ist das Schlüsselement zur Verlagerung der Einspeisezeiten**
- **Beispielrechnung BGA 02 ($P_{inst} = 1.200 \text{ kW}$, $P_{bem} = 570 \text{ kW}$):**
 - Bruttogasspeichervolumen 1.600 m³
 - Nettogasspeichervolumen 1.088 m³ (Bruttovolumen / 1,25 * 0,85)
 - Methanspeicherkapazität 577 m³ (Nettogasspeichervolumen * 0,53)
 - Energieäquivalent (Brennwert) 5.750 kWh (Methanspeicherkapazität * 9,97)
 - Energieäquivalent (Strom) 2.360 kWh (Energieäquivalent * 0,41)
- **Speicherzeiten**
 - Power-ON (alle BHKW in Vollast) 3,76 h
 - Power-OFF (alle BHKW aus) 4,16 h

Vergleich der BGA 01 und BGA 02



BGA 01

BHKW 1:	549 kW / 40,4 %
BHKW 2:	635 kW / 40,4 %
$P_{\text{installiert}}$:	1.184 kW
$P_{\text{Bemessung}}$:	521 kW
PQ:	2,27
$V_{\text{Gasspeicher}}$:	6.000 m ³
t_{Pmax} :	7,5 h
t_{Pmin} :	17 h

BGA 02

BHKW 1:	600 kW / 41 %
BHKW 2:	600 kW / 41 %
$P_{\text{installiert}}$:	1.200 kW
$P_{\text{Bemessung}}$:	570 kW
PQ:	2,11
$V_{\text{Gasspeicher}}$:	1.600 m ³
t_{Pmax} :	7,3 h
t_{Pmin} :	16 h

Effekte dyn. Fütterungsmanagement BGA 01



- Referenzjahr 2018
- Modellierung für alle Jahreszeiten möglich
- Gasspeicher ist jetzt schon sehr großzügig dimensioniert
- dFM steigert Mehrerlöse und senkt Starthäufigkeit

BGA01 - Winter	statische Fütterung	dynamische Fütterung
EPEX-Mehrerlös	1.008,98	1.376,40
Benchmark PRM ¹	103,0%	140,6%
Starts pro Tag	2,9	1,6
BGA01 - Frühjahr	statische Fütterung	dynamische Fütterung
EPEX-Mehrerlös	657,66	813,59
Benchmark PRM ¹	72,6%	89,8%
Starts pro Tag	2,9	2,2
BGA01 - Herbst	statische Fütterung	dynamische Fütterung
EPEX-Mehrerlös	626,85	726,65
Benchmark PRM ¹	82,5%	95,6%
Starts pro Tag	2,4	2,1
BGA01 - Herbst	statische Fütterung	dynamische Fütterung
EPEX-Mehrerlös	1.206,31	1.428,80
Benchmark PRM ¹	160,9%	190,6%
Starts pro Tag	2,9	2,2
BGA02 - 4W HR ²	statische Fütterung	dynamische Fütterung
EPEX-Mehrerlös	45.497,41	56.490,76
Benchmark PRM ¹	104,8%	129,1%
Starts pro Tag	2,7	2,1

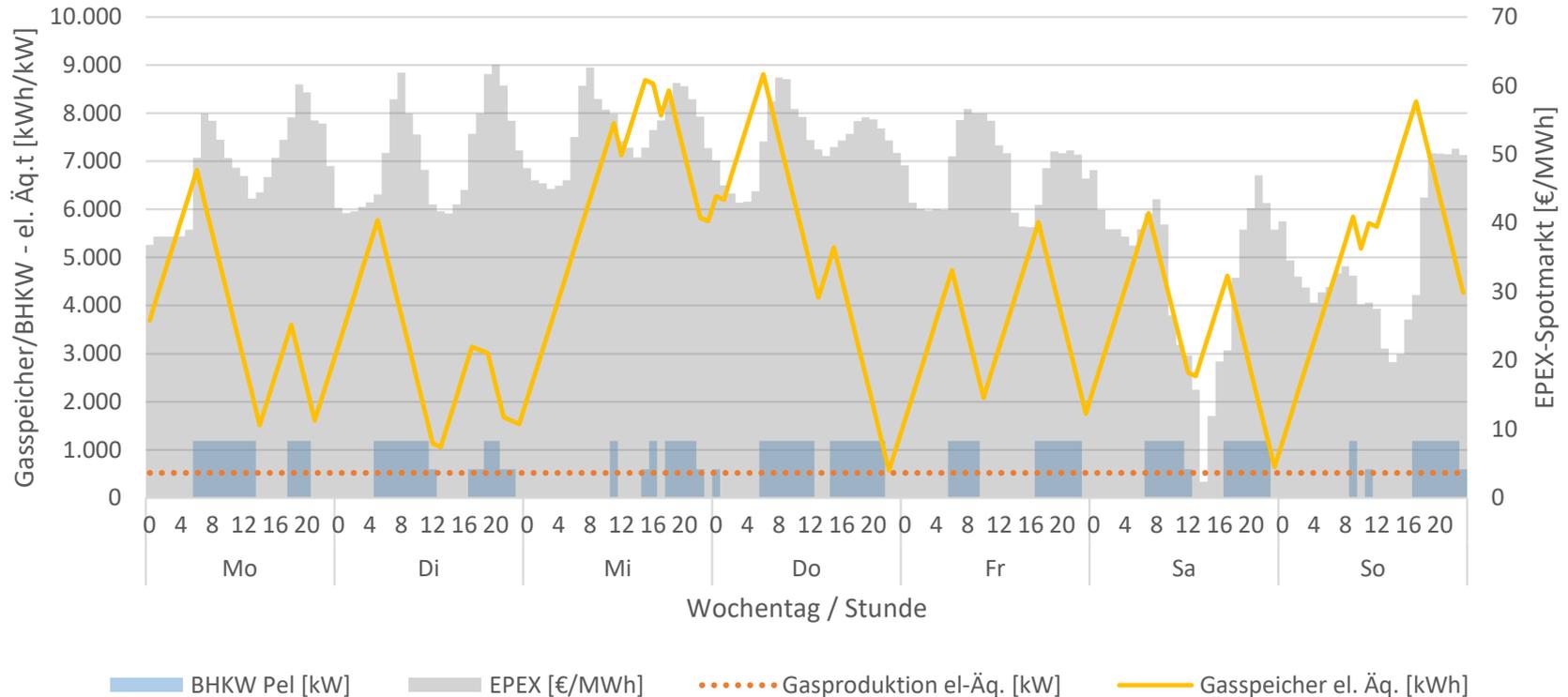
¹ PRM - Preisrangmethode zur Bestimmung der potentiellen Mehrerlöse ohne Restriktionen

² 4W HR - Hochrechnung für ein Kalenderjahr anhand von 4 Referenzwochen

Effekte des Fütterungsmanagements BGA01



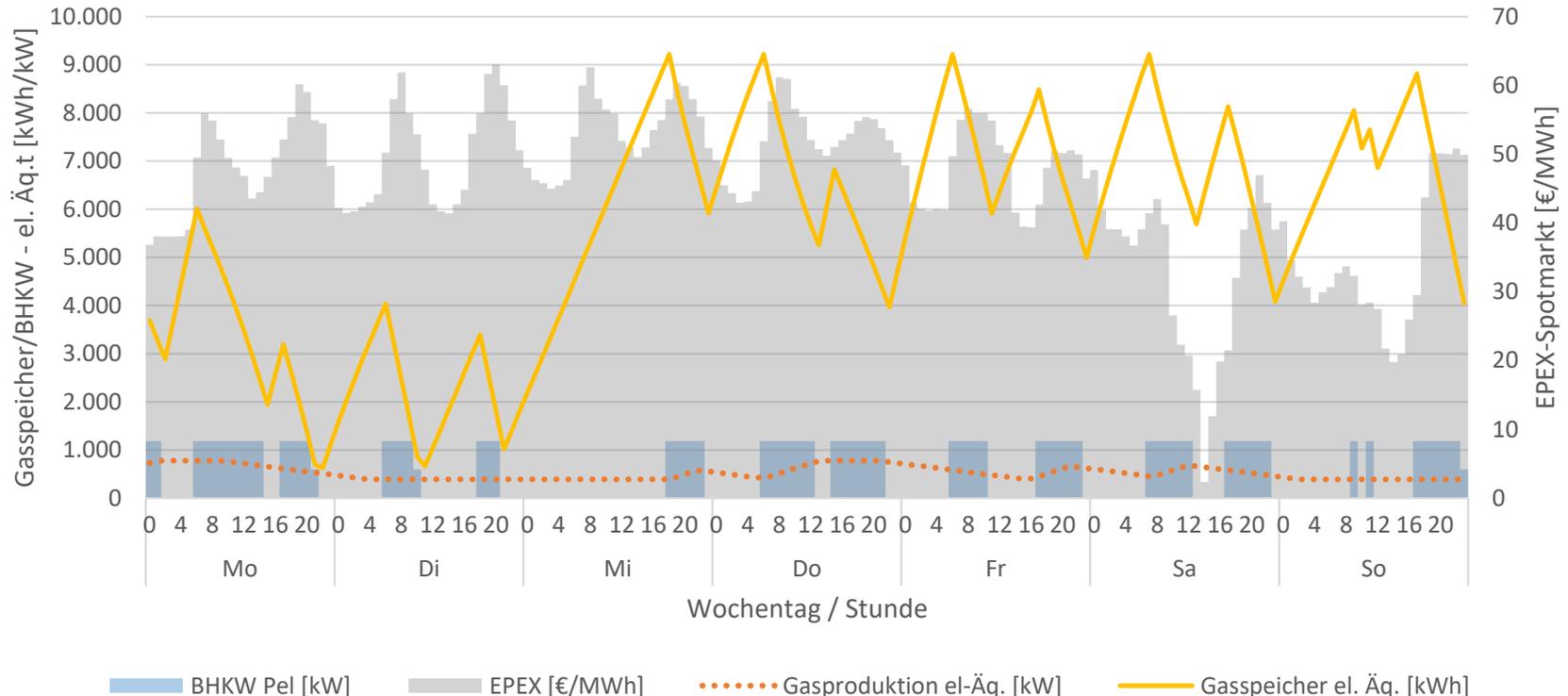
Fahrplanoptimierung ohne Fütterungsmanagement - 2018/KW 40



Effekte des Fütterungsmanagements BGA01



Fahrplanoptimierung mit Fütterungsmanagement - 2018/KW 40



Effekte dyn. Fütterungsmanagement BGA 02



- Referenzjahr 2018
- (noch) keine Modellierung für den Herbst möglich
- Gasspeicher der Anlage ist der „Flaschenhals“
- dFM steigert Mehrerlöse und senkt Starthäufigkeit

BGA02 - Winter	statische Fütterung	dynamische Fütterung
EPEX-Mehrerlös	537,21	958,96
Benchmark PRM ¹	50,0%	89,3%
Starts pro Tag	7,3	6,3
BGA02 - Frühjahr	statische Fütterung	dynamische Fütterung
EPEX-Mehrerlös	499,10	523,00
Benchmark PRM ¹	50,2%	52,6%
Starts pro Tag	6,8	5,4
BGA02 - Sommer	statische Fütterung	dynamische Fütterung
EPEX-Mehrerlös	357,44	514,21
Benchmark PRM	42,9%	61,7%
Starts pro Tag	7,0	5,7
BGA02 - 3W HR ³	statische Fütterung	dynamische Fütterung
EPEX-Mehrerlös	24.158,19	34.600,22
Benchmark PRM ¹	47,7%	67,9%
Starts pro Tag	7,0	5,8

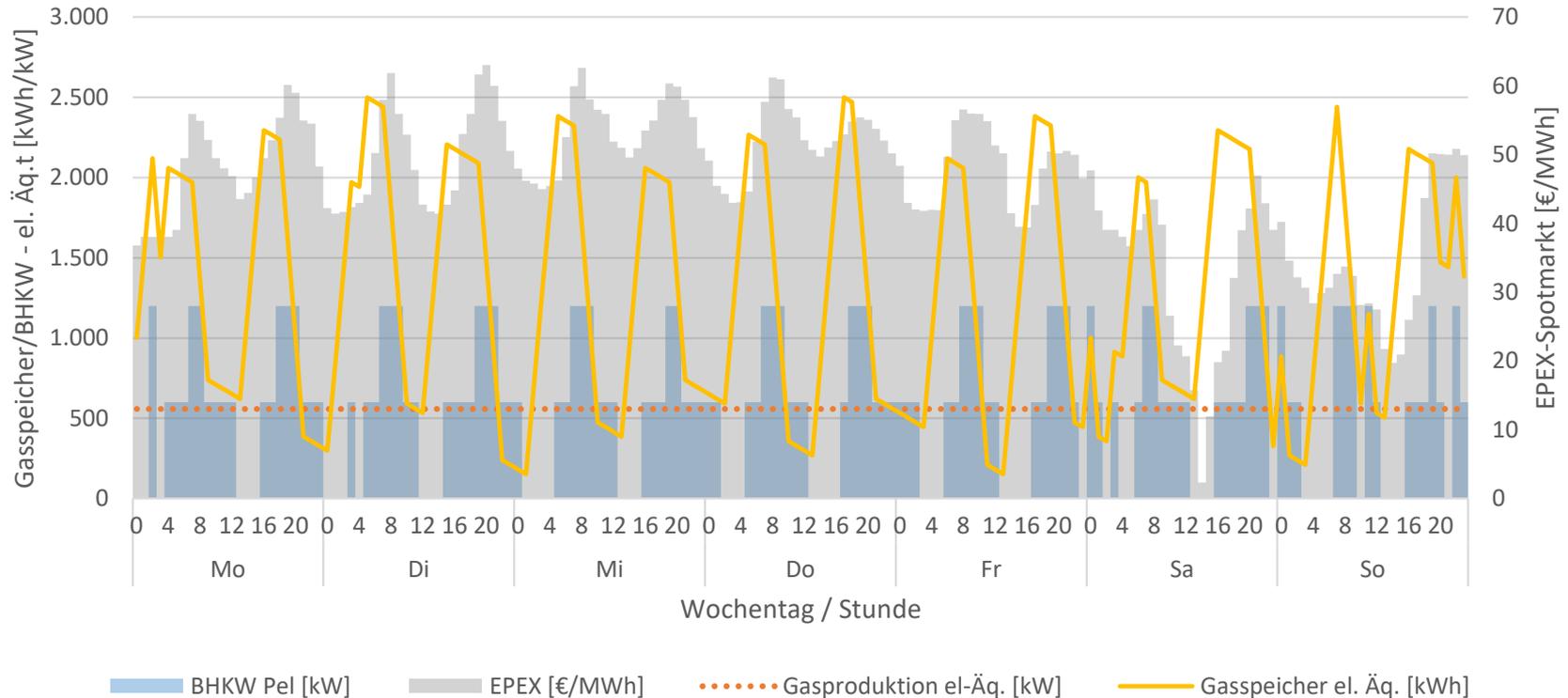
¹ PRM - Preisrangmethode zur Bestimmung der potentiellen Mehrerlöse ohne Restriktionen

³ 3W HR - Hochrechnung für ein Kalenderjahr anhand von 3 Referenzwochen

Effekte dyn. Fütterungsmanagement BGA 02



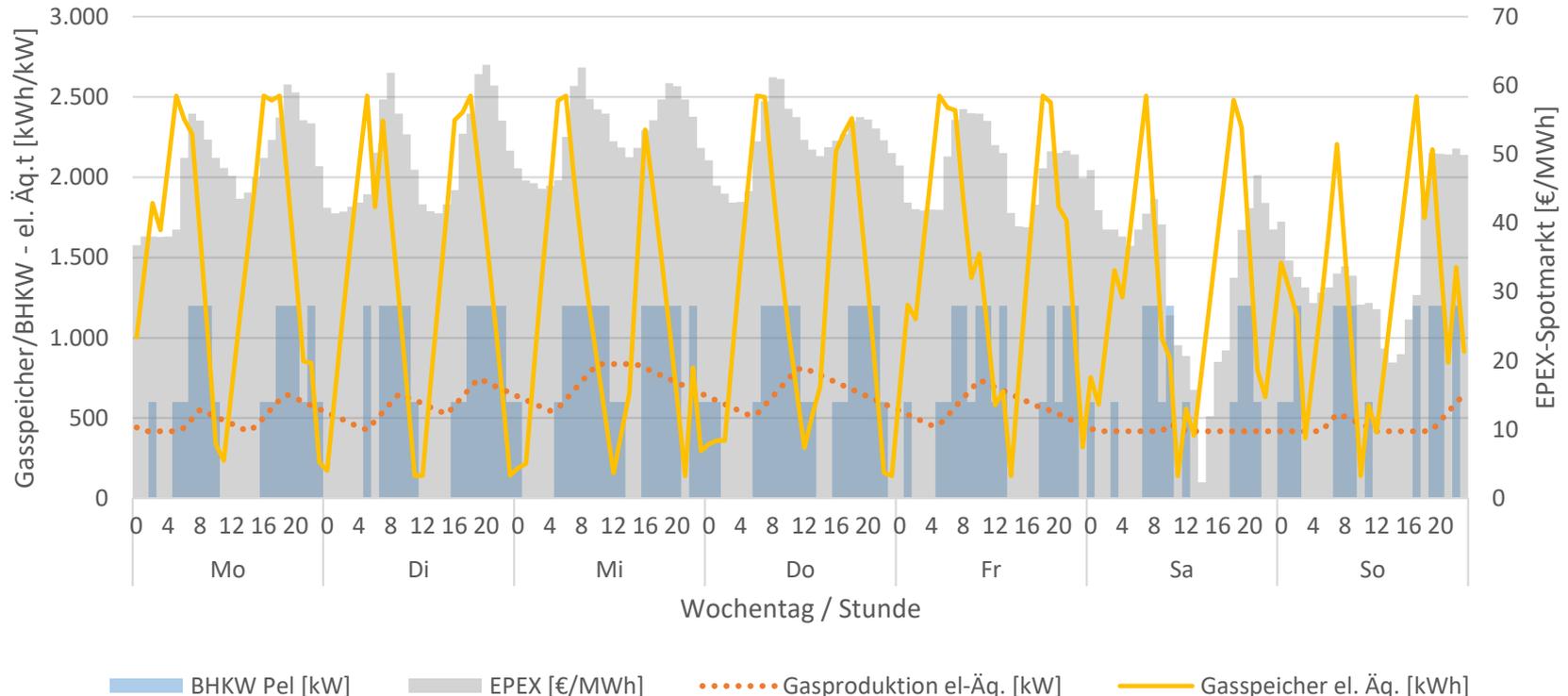
Fahrplanoptimierung ohne Fütterungsmanagement - 2018/KW 27



Effekte dyn. Fütterungsmanagement BGA 02



Fahrplanoptimierung mit Fütterungsmanagement - 2018/KW 27



Zusammenfassung



- **Bedarf für steuerbare Erzeugung wächst, Volatilität im Markt zunehmend**
- **EEG-Novelle verbessert die Aussichten für Bestands- und Neuanlagen**
- **EEG-Novelle zeigt deutlich, dass größere Anlagen obligatorisch flexibel zu konzeptionieren sind (z.B. im Form des Qualitätskriteriums)**
- **Primärer Effekt: Fütterungsmanagement erlaubt längeren Stillstand zu Niedrigpreisphasen bzw. längere Verstromung zu Hochpreisphasen**
- **Sekundäre Effekte: Höhere Mehrerlöse am Spotmarkt und verminderte Taktung**
- **Fütterungsmanagement ist kein Ersatz für fehlendes Speichervolumen**

Smart Bioenergy – Innovationen für eine nachhaltige Zukunft

Ansprechpartner

Martin Dotzauer

martin.dotzauer@dbfz.de

Tino Barchmann

tino.barchmann@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

Das Forschungsvorhaben Gazelle – Schlussfolgerungen

Dr. Jörg Kretzschmar



Schlussfolgerungen



Modellgestütztes Fütterungsmanagement

- vereinfachte Prozessmodelle sind für eine robuste und praxisnahe Anwendung geeignet
- Funktionsfähigkeit modellbasierter Optimierungssoftware erfolgreich im Praxismaßstab demonstriert
- Biogasprozess kann flexibler betrieben werden, als momentan üblich
- hohe Dynamik und Prozessstabilität bei typischen Raumbelastungen

Modellgestütztes Fütterungsmanagement – weiterer Forschungsbedarf

- Abbildung von Störungen und Prozessinhibitoren bei hohen Raumbelastungen
- Berücksichtigung technischer/ physikalischer Effekte wie z.B. Substrataufschluss, Durchmischung, dynamische Bilanzierung des Gasspeichers
- Engere Verzahnung von Optimierung mit Anlagendaten und -steuerung → Schritte zur selbstregelnden Anlage → Nachwuchsgruppe „Modellbasierte Zustandsüberwachung und Prozessführung an Biogasanlagen“ (S. Weinrich, BMEL/FNR, FKZ: 2219NR333)
- Praxistransfer der entwickelten Methoden

Schlussfolgerungen



Praktische Umsetzung an Biogasanlagen

- modellgestütztes Fütterungsmanagements ist bereits mit geringen baulichen und betrieblichen Änderungen umsetzbar (LVG Köllitsch)

Zur Maximierung des Erlöses im Rahmen der Direktvermarktung existieren verschiedene Herausforderungen:

- Bedarf an zusätzlicher, robuster Messtechnik
- Gasmanagement (Rohrdurchmesser, Gasspeichervolumen,...)
- Erhöhte Personalanforderungen
- Schaum- und Substratmanagement
- Praxistaugliche Implementierung der Prozessregelung

Schlussfolgerungen



Ökonomie

- Direktvermarktungs-Mehrerlös von 90 % des theoretisch möglichen Mehrerlöses nachgewiesen
- Direktvermarktungs-Mehrerlöse an modernen Bestandsanlagen auch ohne Gasspeicherzubau möglich
- Fütterungsmanagement ist aber kein vollständiger Ersatz für fehlendes Speichervolumen
- Fütterungsmanagement erlaubt längeren Stillstand zu Niedrigpreisphasen bzw. längere Verstromung zu Hochpreisphasen
- EEG-Novelle verbessert die Aussichten für Bestands- und Neuanlagen

Smart Bioenergy – Innovationen für eine nachhaltige Zukunft

Ansprechpartner

Dr. Jörg Kretzschmar

Tel.: +49(0)341 2434-419

E-Mail: joerg.kretzschmar@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