

# **Flexibilisierung der Faulgaserzeugung – Entwicklung eines intelligenten Energiemanagementsystems**

Christian Hubert, Kristina Sass, Steffen Krause, Christian Schaum

Universität der Bundeswehr München

# Gliederung

## ► Einführung

- Warum flexibilisieren?

## ► FLXsynErgy

- Untersuchungsumfang FLXsynErgy
- Wie flexibel ist die Klärschlammbehandlung?
- Wie flexibel muss die Klärschlammbehandlung sein?

## ► Fazit und Ausblick

- Das Projekt iEFlex



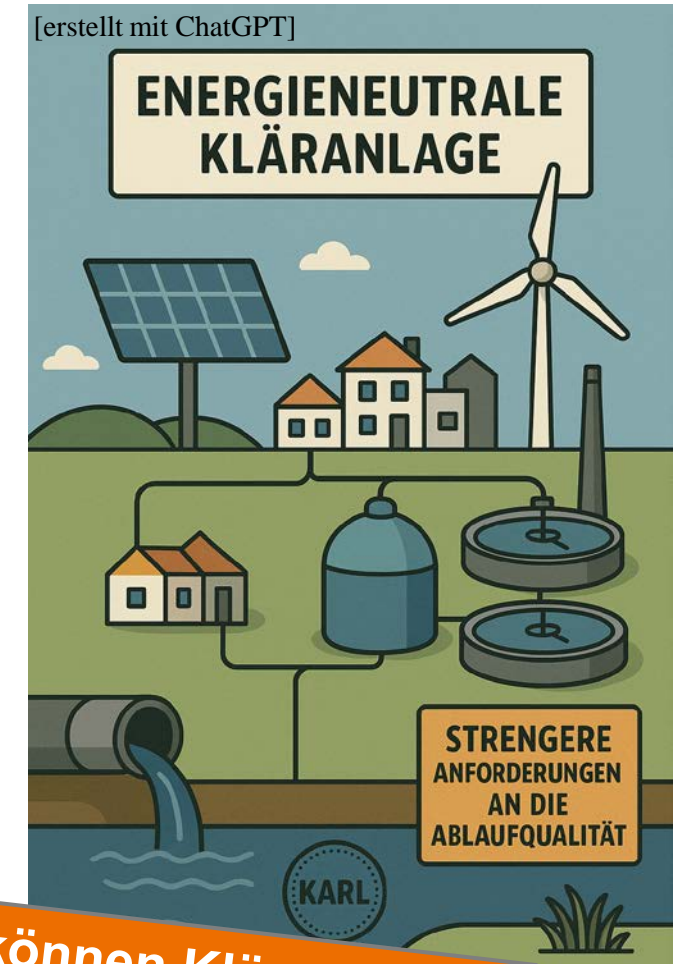
# Einleitung

## Klimaschutzziele

- ▶ Reduktion der Treibhausgasemissionen um 65 % im Vergleich zum Jahr 1990 bis 2030
- ▶ Treibhausgasneutralität bis 2045

## Energiewende

- ▶ Substitution fossiler Energieträger
- ▶ Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien
  - fluktuierende Energieerzeugung
  - Aufbau von Energiespeicherkapazitäten
    - Integration der EE in das System



**Welchen Beitrag können Kläranlagen leisten?**

# Gliederung

## ► Einführung

- Warum flexibilisieren?

## ► FLXsynErgy

- Untersuchungsumfang FLXsynErgy
- Wie flexibel ist die Klärschlammbehandlung?
- Wie flexibel muss die Klärschlammbehandlung sein?

## ► Fazit und Ausblick

- Das Projekt iEFlex





# Flexible und vollenergetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe (FLXsynErgy)

- **Faulungen und Biogasanlagen als Energieverbraucher, -speicher und -erzeuger**
  - Entwicklung von Bemessungsgrößen und Steuerungsmechanismen zur Flexibilisierung der Faulgaserzeugung
  - Wärmekonzept: Faulung als Wärmespeicher
  - Wissenstransfer Faulung und Biogasanlagen
- **Laufzeit: 01.10.2020 – 31.03.2024**



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Gliederung

## ► Einführung

- Warum flexibilisieren?

## ► FLXsynErgy

- Untersuchungsumfang FLXsynErgy
- Wie flexibel ist die Klärschlammbehandlung?
- Wie flexibel muss die Klärschlammbehandlung sein?

## ► Fazit und Ausblick

- Das Projekt iEFlex



# Untersuchungsumfang

## ► Labortechnische Untersuchungen

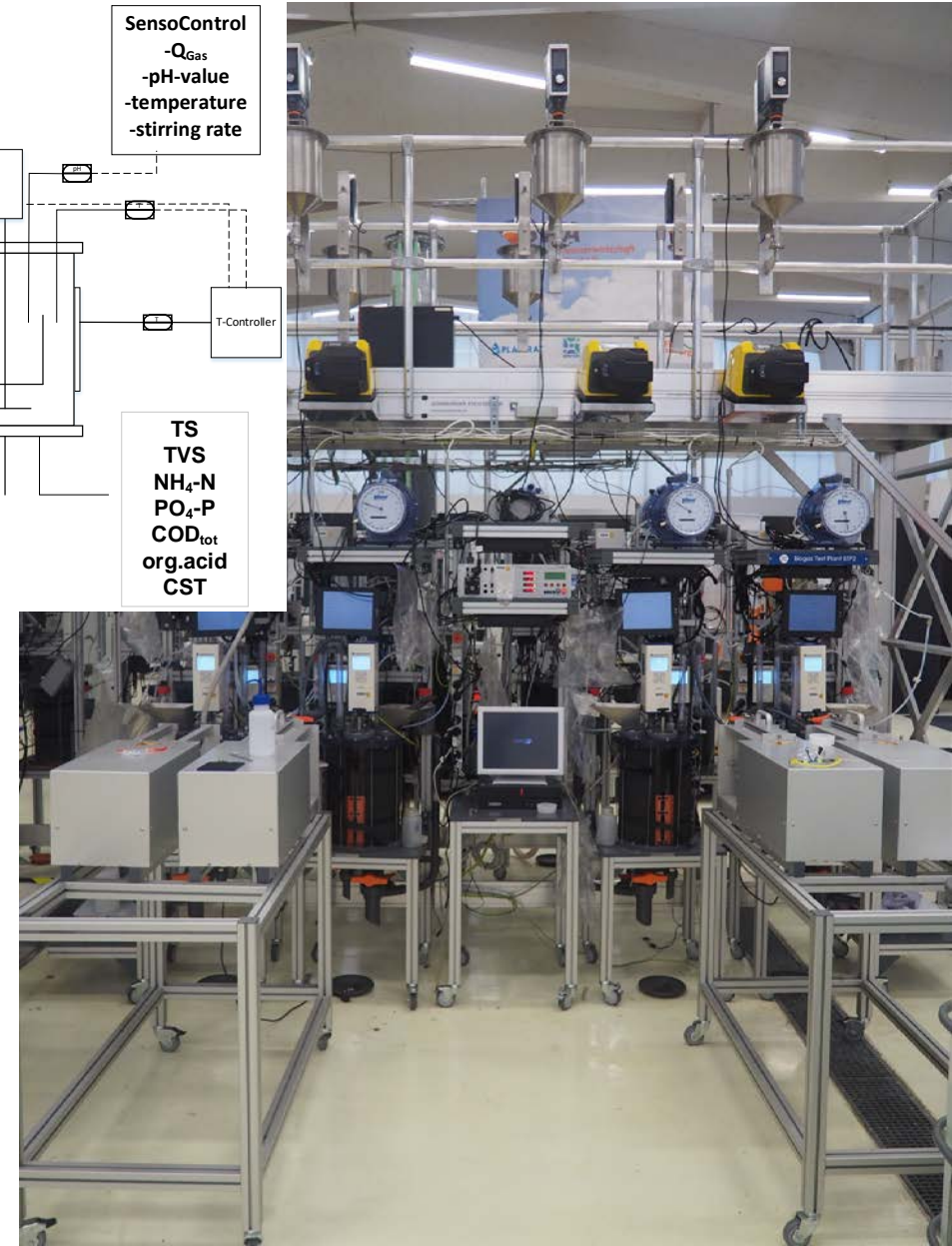
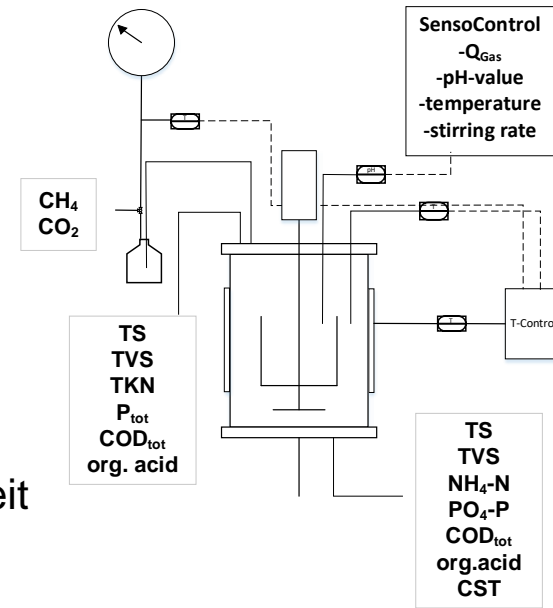
- 8 x CSTR
  - Arbeitsvolumen 15 – 20 L
  - 37°C (33 – 55 °C)
  - Versuchsdauern min. 2 HRT
- Entwässerungsversuche
  - Zentrifugentests, Filterpressen, kapillare Fließzeit
- Batch-Test-Versuche

## ► Auswertung großtechnischer Daten

- Variation der Temperatur
- Co-Substratzugabe: Betrieb, Organisation
- Lastganganalysen → Aufzeigen von Optionen zur Erhöhung der Eigenstromverwertung

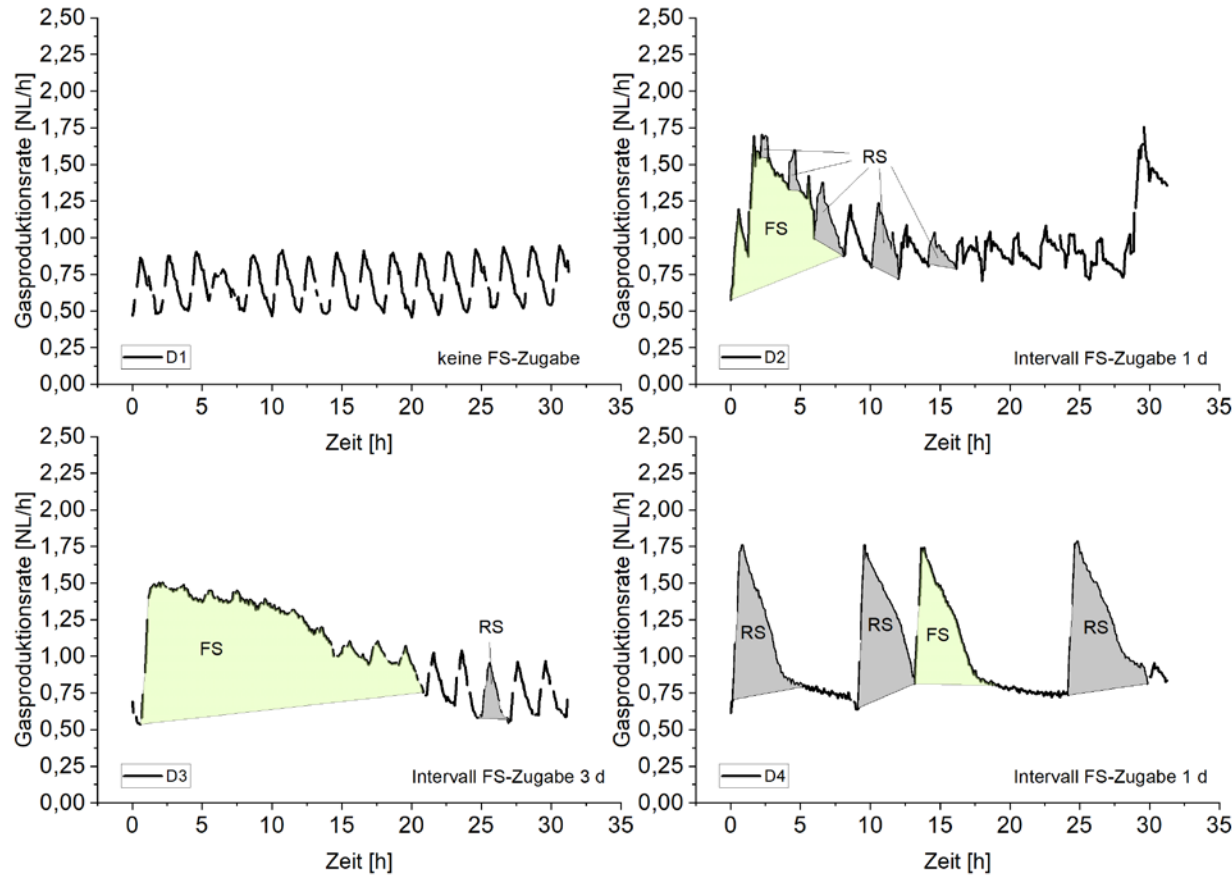
## ► Modellierung

- Potential einer Beteiligung am Day-Ahead-Markt (langfristig)
- Beschreibung des Einflusses einer Teilnahme am Regenergiemarkt



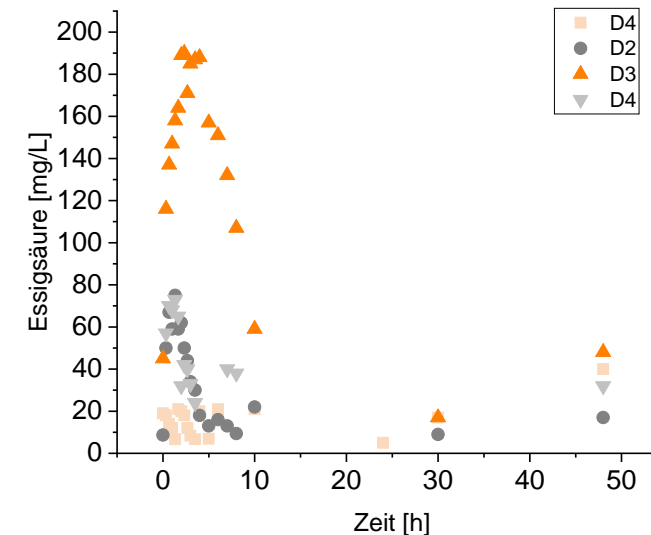


# Labortechnische Untersuchung einer flexibilisierten Co-Substratzugabe



[Hubert, 2025]

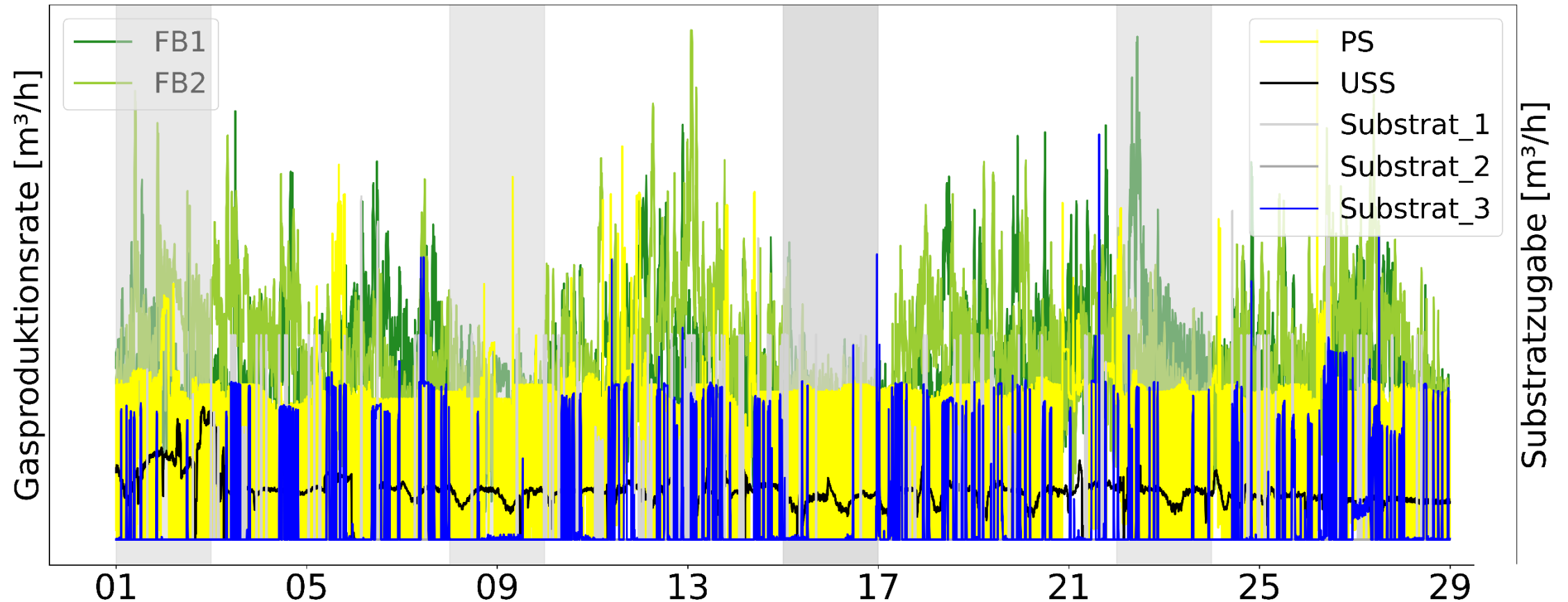
- Untersuchung verschiedener Co-Substrate (Flotatschlamm, Spülmilch, Glycerin) → Unterschiedliche Zusammensetzung, unterschiedliche Umsetzungsgeschwindigkeiten
- Variation mittlere Raumbelastung
- Variation stündliche Raumbelastung



[Hubert, 2025]



# Vom Labor zur Großtechnik...



[Hubert 2024, in Vorbereitung]

- Schwankungen des Co-Substratanfalls
- Raumbelastung: 2,4 – 6,0 kg CSB<sub>zu</sub>/(m³·d)

# Organische Säuren als Steuerungsparameter für den optimierten Betrieb von Faulungen und Biogasanlagen

- **Organische Säuren als Steuerungsparameter  
für den optimierten Betrieb von Faulungen und  
Biogasanlagen**
  - Methodenkalibrierung und -standardisierung
  - Entwicklung eines Sensors
  - Validierung des Stabilitätskennwertes und der Stabilitätsbewertungsmethode
  - Ableitung von Handlungsempfehlungen
- Laufzeit: 01.01.2024 – 31.12.2026



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie



Stadt  
Freising



ELW



der Bundeswehr  
Universität  München



# Was ist der Bedarf an Flexibilität?

## ► Der Bedarf an Flexibilität der Faulung hängt ab von:

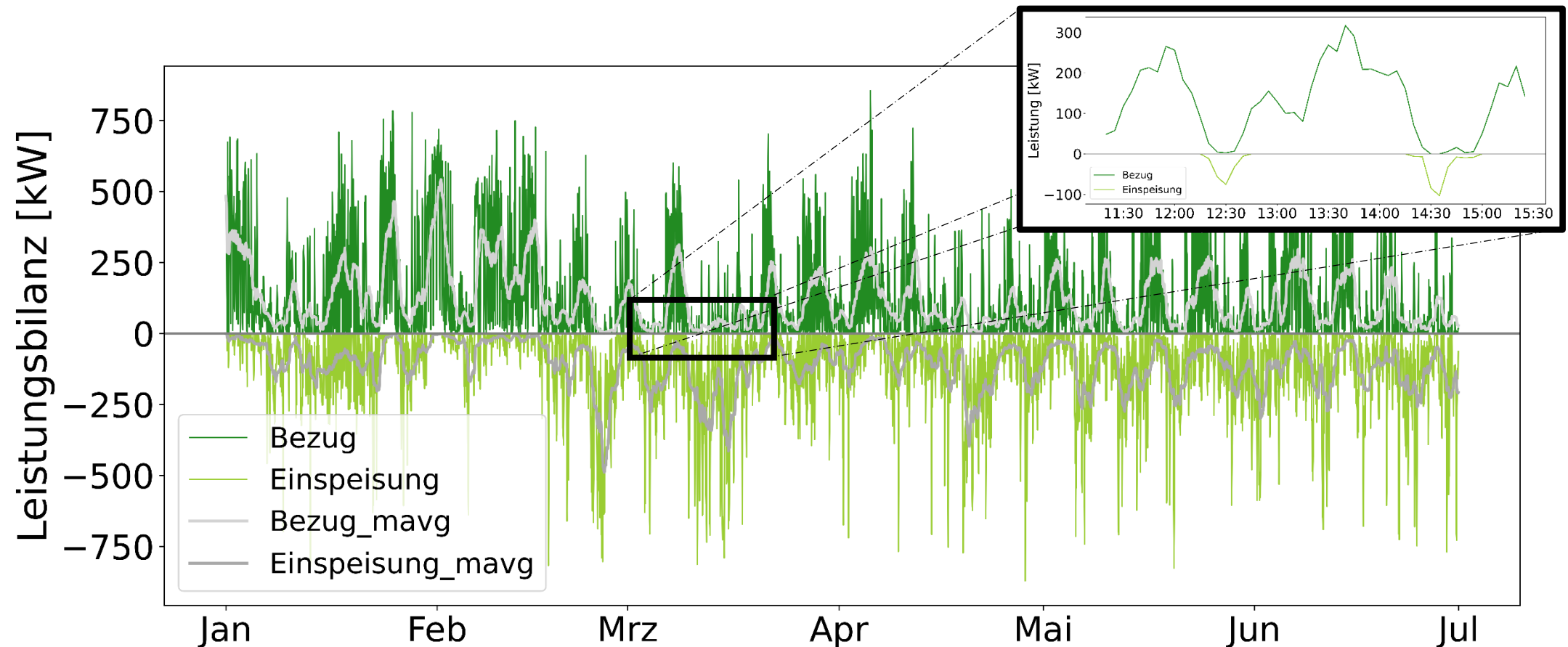
### Nutzungspfad

- Eigenstrommaximierung
- Vermeidung von Lastspitzen
- Vermarktungswege
  - Day-Ahead
  - Regelernergie

### Randbedingungen

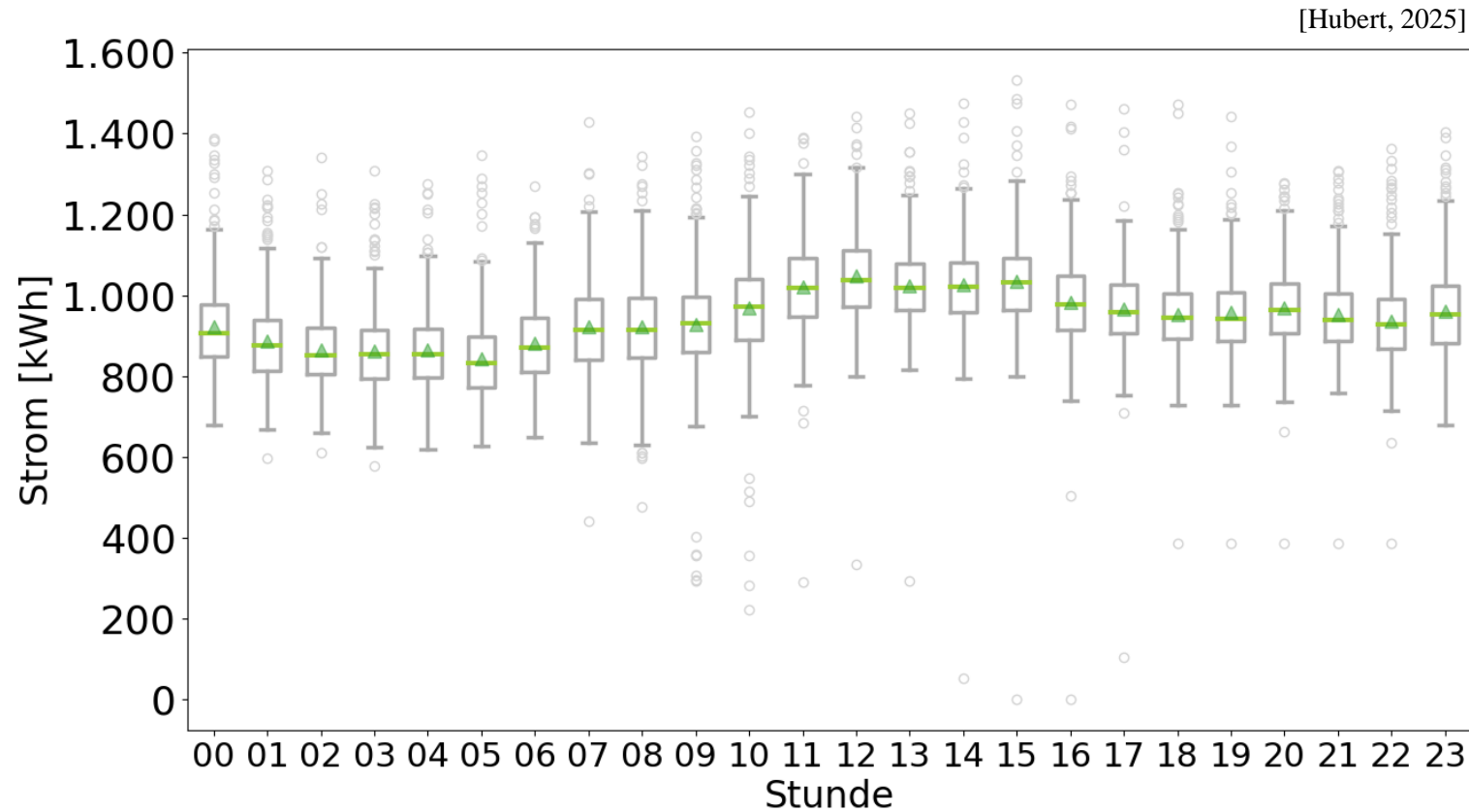
- Lastgang der Kläranlage
- Konstellation der BHKW
- Gasspeichergröße
- Substratspeichergröße
- PV-Anlagen

## ► Lastgang einer Kläranlage





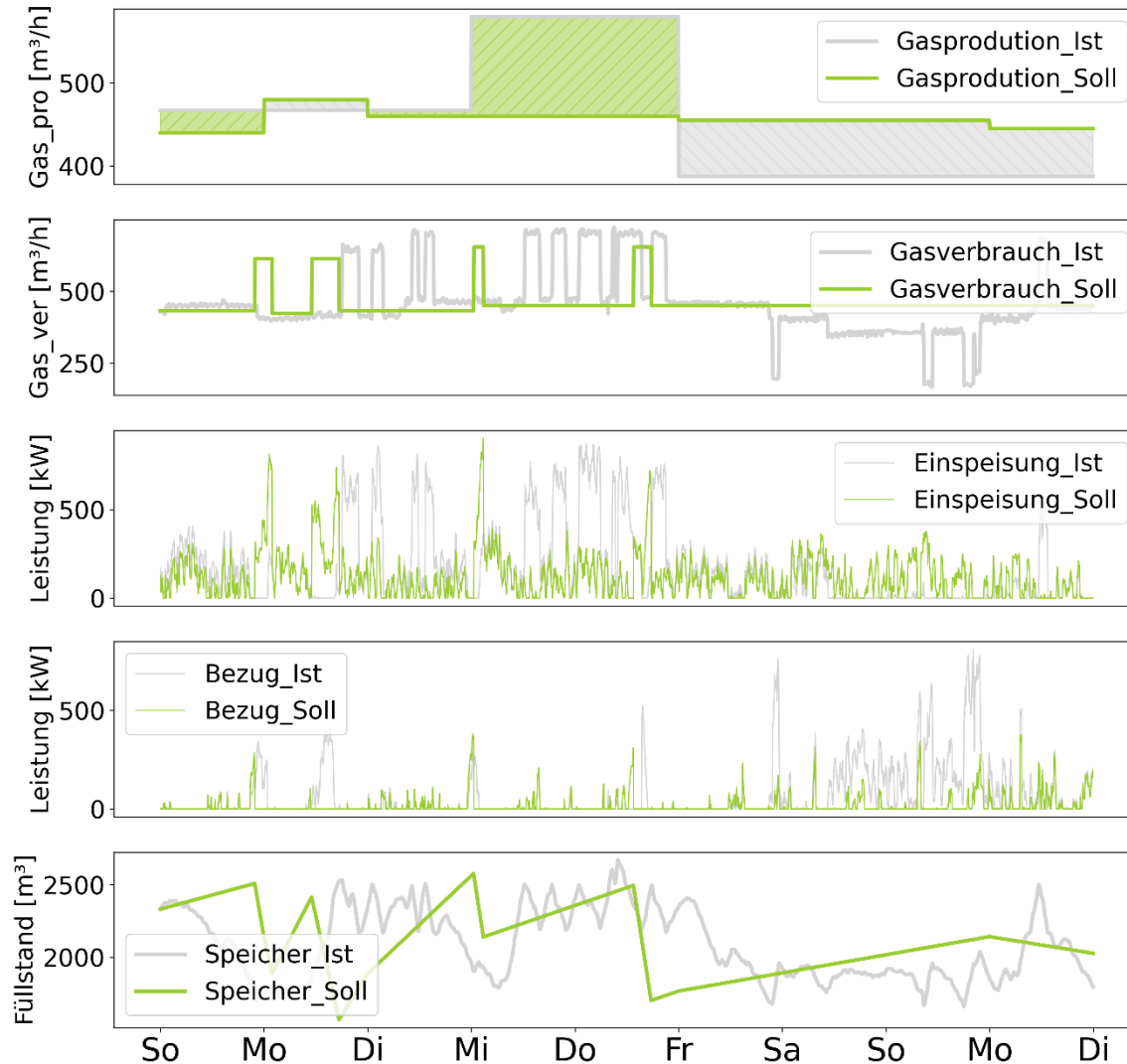
# Bedarf an Flexibilität



- Hohe Grundlast
- geringe Lastschwankungen

Für Energiemärkte  
→ Workshop

# Flexibilisierung der Faulgaserzeugung



[Hubert 2025]

- **Zwangsschaltung aufgrund Überschreitung der Grenzwerte**
  - keine Substratspeicher
  - Volllastbetrieb der BHKW
- **Reduktion des Strombezugs innerhalb von 10 Tagen von 15.890 kWh auf 2.144 kWh**
  - Substratspeicher
  - Teillastbetrieb der BHKW
- **Die erforderliche Schwankung der Raumbelastung liegt deutlich unter den realisierbaren Schwankungen**

# Gliederung

## ► Einführung

- Warum flexibilisieren?

## ► FLXsynErgy

- Untersuchungsumfang FLXsynErgy
- Wie flexibel ist die Klärschlammbehandlung?
- Wie flexibel muss die Klärschlammbehandlung sein?

## ► Fazit und Ausblick

- Das Projekt iEFlex



## Im Rahmen des Projektes gewonnene Erkenntnisse:

- ▶ Raumbelastung ist über großen Wertebereich variierbar 2,4 – 6,0 kg CSB<sub>zu</sub>/(m<sup>3</sup> · d). (betrachtete Kläranlage)
  - Bestätigung über Laborversuche.
- ▶ für mittlere Raumbelastungen (< 4 kg CSB/(m<sup>3</sup> · d)) keine Veränderung der spez. Methangaserzeugung zu beobachten.
- ▶ für größere Raumbelastungen (~ 7 kg CSB/(m<sup>3</sup> · d)) leichte Erhöhung der Stabilität im Faulraum (bezogen auf org. Säuren).
- ▶ Einfluss auf die Entwässerungseigenschaften vor allem bei niedrigen Raumbelastungen gegeben.
- ▶ Aus den verschiedenen Co-Substraten ergibt sich aus der Reaktionsgeschwindigkeit ein unterschiedliches Risiko zur Akkumulation von organischen Säuren.



- ▶ Die Notwendigkeit zur Variierung der Raumbelastung ist (im Vergleich zu beobachteten und realisierten Schwankungen) gering.
- ▶ Der Ausgleich von Energiedefiziten zwischen Tagen und Wochen hat eine deutlich höhere Bedeutung, als ein Ausgleich innerhalb eines Tages.
- ▶ Die Flexibilität ist vor allem geprägt vom komplexen Zusammenspiel von:
  - Substratspeicher – Faulung – Gasspeicher – BHKW

Wie können die Erkenntnisse in die Praxis umgesetzt werden?

# Entwicklung und Aufbau eines intelligenten Energiemanagementsystems

- Flexibilisierte und bedarfsgerechte Faulgasnutzung
  - Intelligentes Energieeffizienzmanagementsystem iEEMS
  - Prognose der erzeugten Energie und den zu erwartenden energetischen Lasten
  - Entwurf möglicher Fahrpläne zum Betrieb der Anlage
  - Erprobung auf **Kläranlage Bad Wörishofen**
- Laufzeit: 01.07.2025 – 30.06.2028

der Bundeswehr  
Universität  München

iEFlex 



der Bundeswehr  
Universität  München



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie



SIEMENS

Dr.-Ing.  
steinle

AVO 



Münchner  
Stadtentwässerung

FAU

Friedrich-Alexander-Universität  
Lehrstuhl für  
Energieverfahrenstechnik

# Flexibilisierung der Faulgaserzeugung – Entwicklung eines intelligenten Energiemanagementsystems

Christian Hubert, Kristina Sass, Steffen Krause, Christian Schaum

Universität der Bundeswehr München

christian.hubert@unibw.de