

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



[erstellt mit ChatGPT]

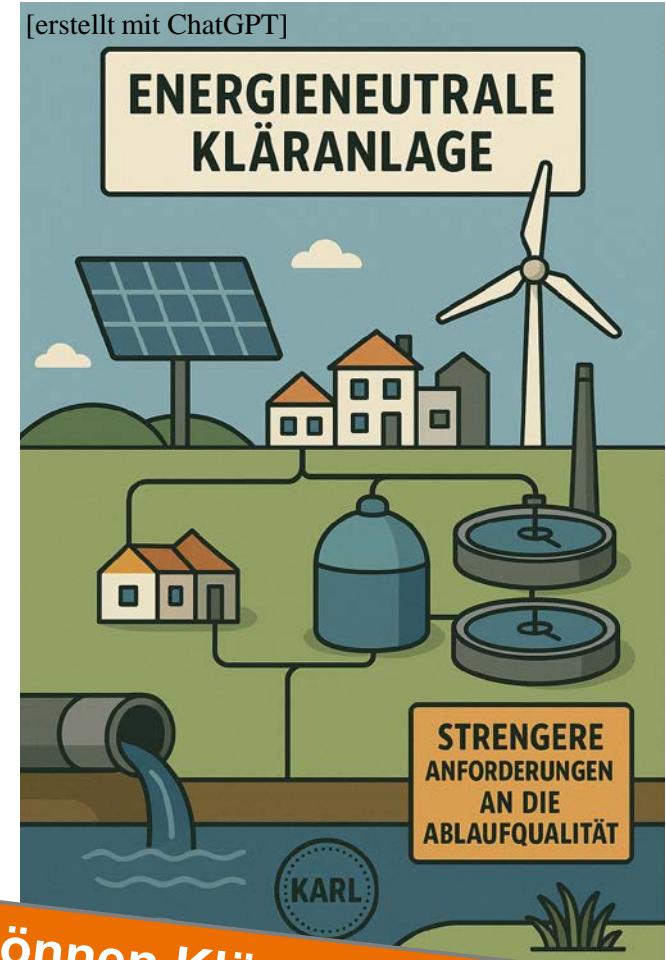
Klimaschutzziele

- ▶ **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

► 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

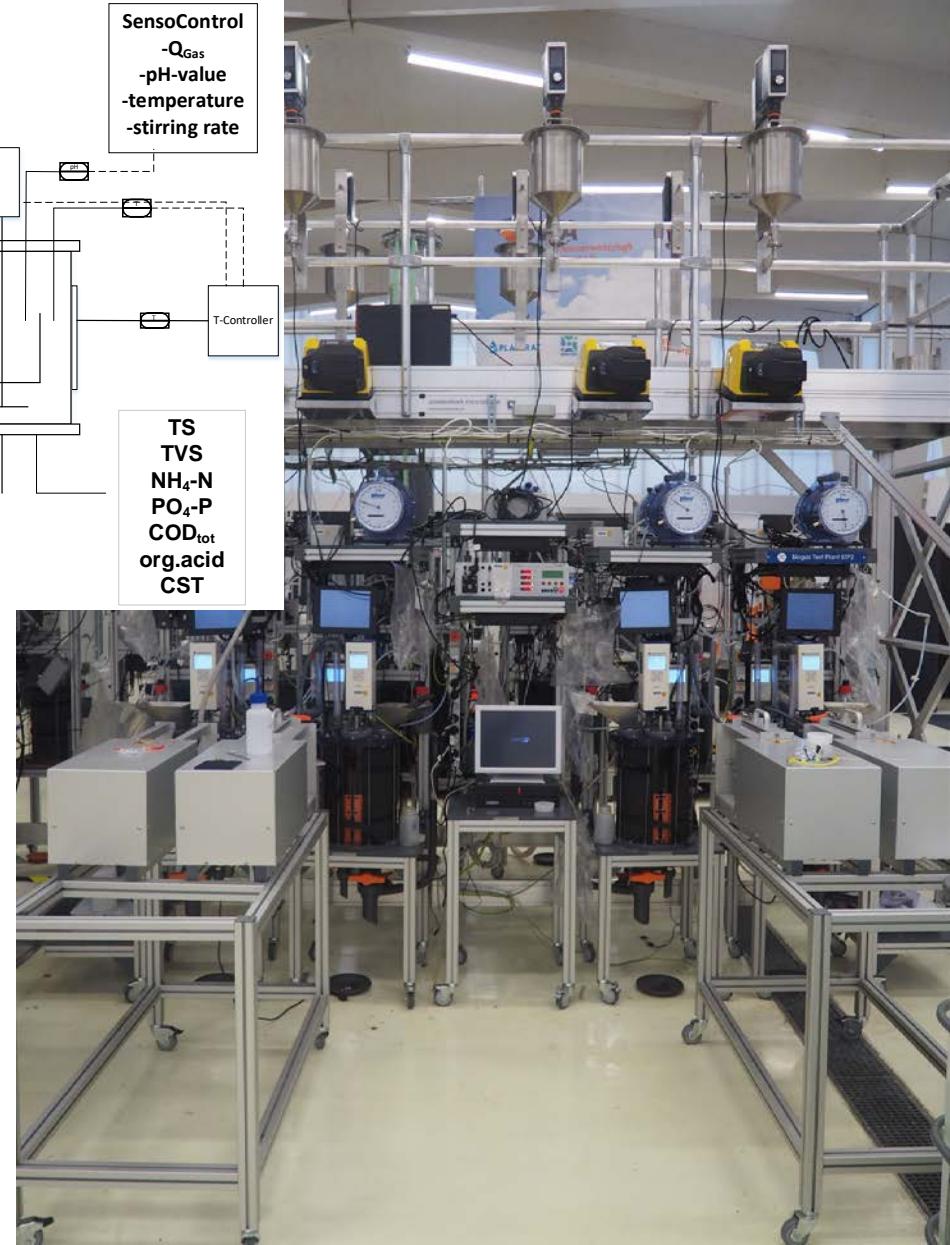
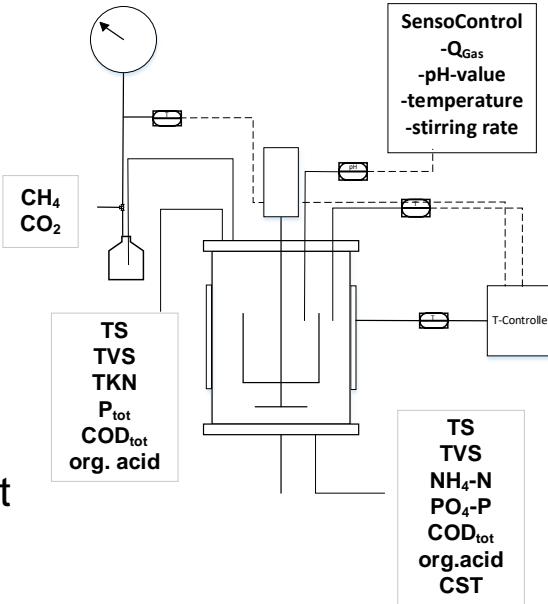
- 8 x CSTR
 - Arbeitsvolumen 15 – 20 L
 - 37°C (33 – 55 °C)
 - Versuchsdauern min. 2 HRT
- Entwässerungsversuche
 - Zentrifugentests, Filterpressen, kapillare Fließzeit
- Batch-Test-Versuche

► Auswertung großtechnischer Daten

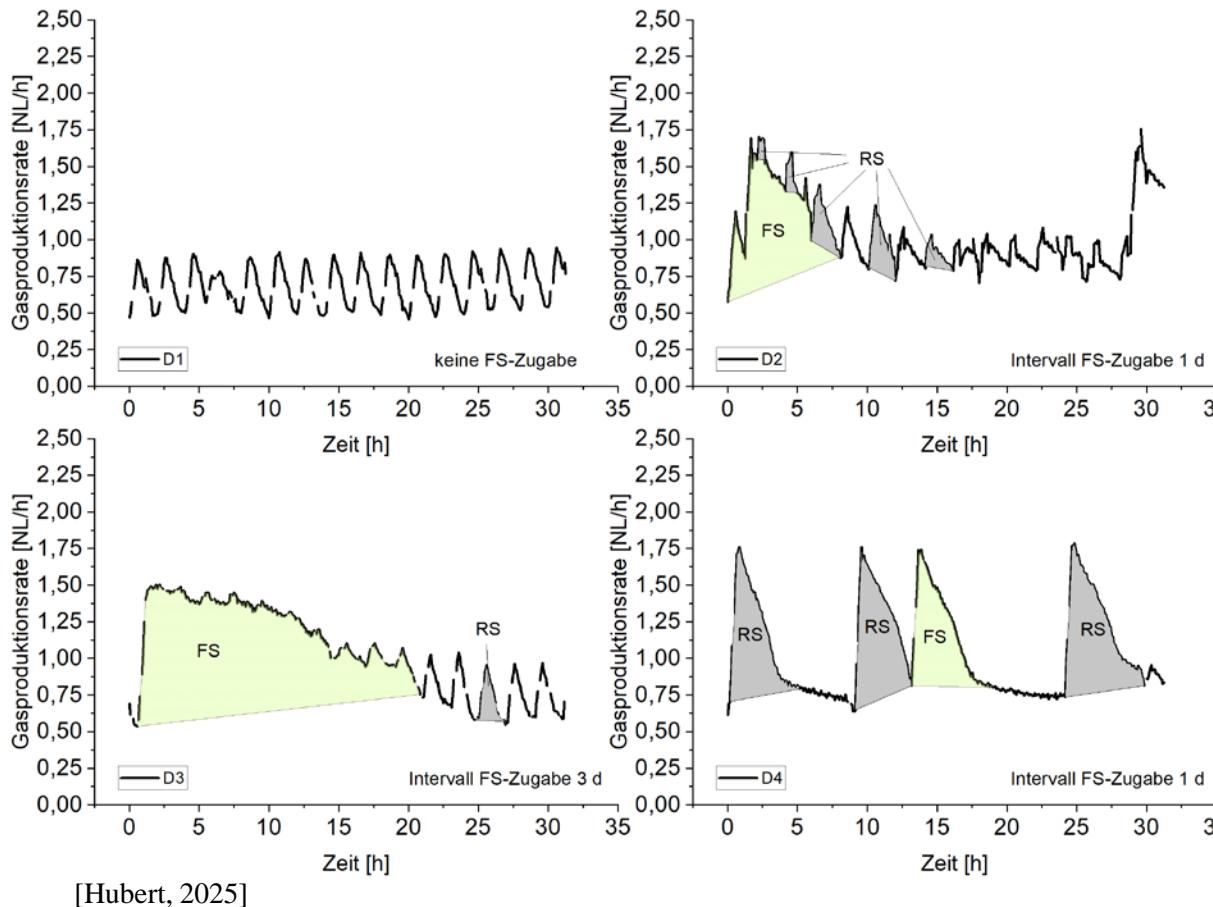
- Variation der Temperatur
- Co-Substratzugabe: Betrieb, Organisation
- Lastganganalysen → Aufzeigen von Optionen zur Erhöhung der Eigenstromverwertung

► Modellierung

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

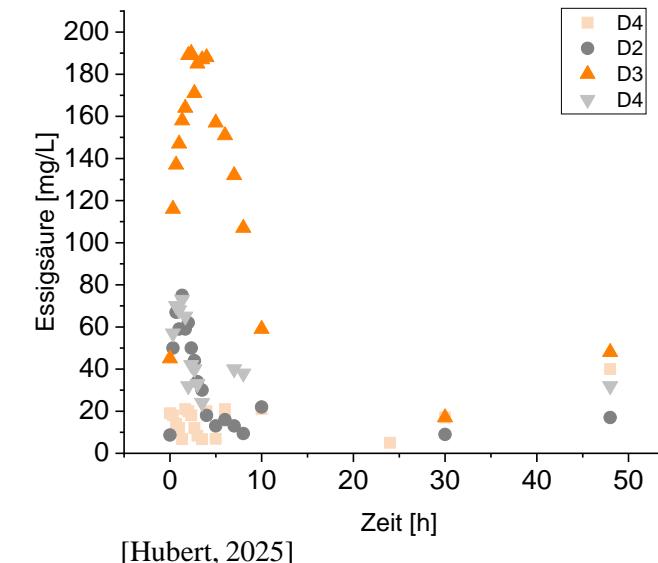


Labortechnische Untersuchung einer flexibilisierten Co-Substratzugabe

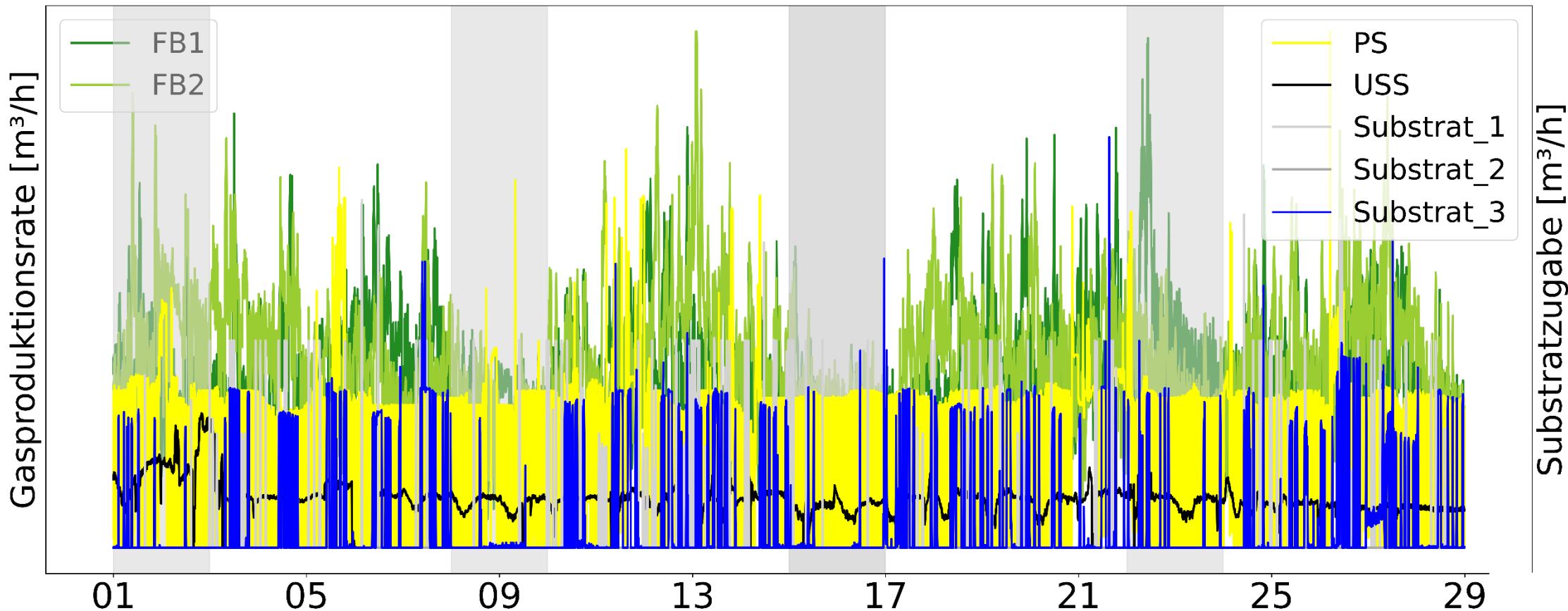


[Hubert, 2025]

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



[Hubert, 2025]



- Schwankungen des Co-Substratanfalls
- Raumbelastung: $2,4 - 6,0 \text{ kg CSB}_{\text{zu}}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$

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



► Der Bedarf an Flexibilität der Faulung hängt ab von:

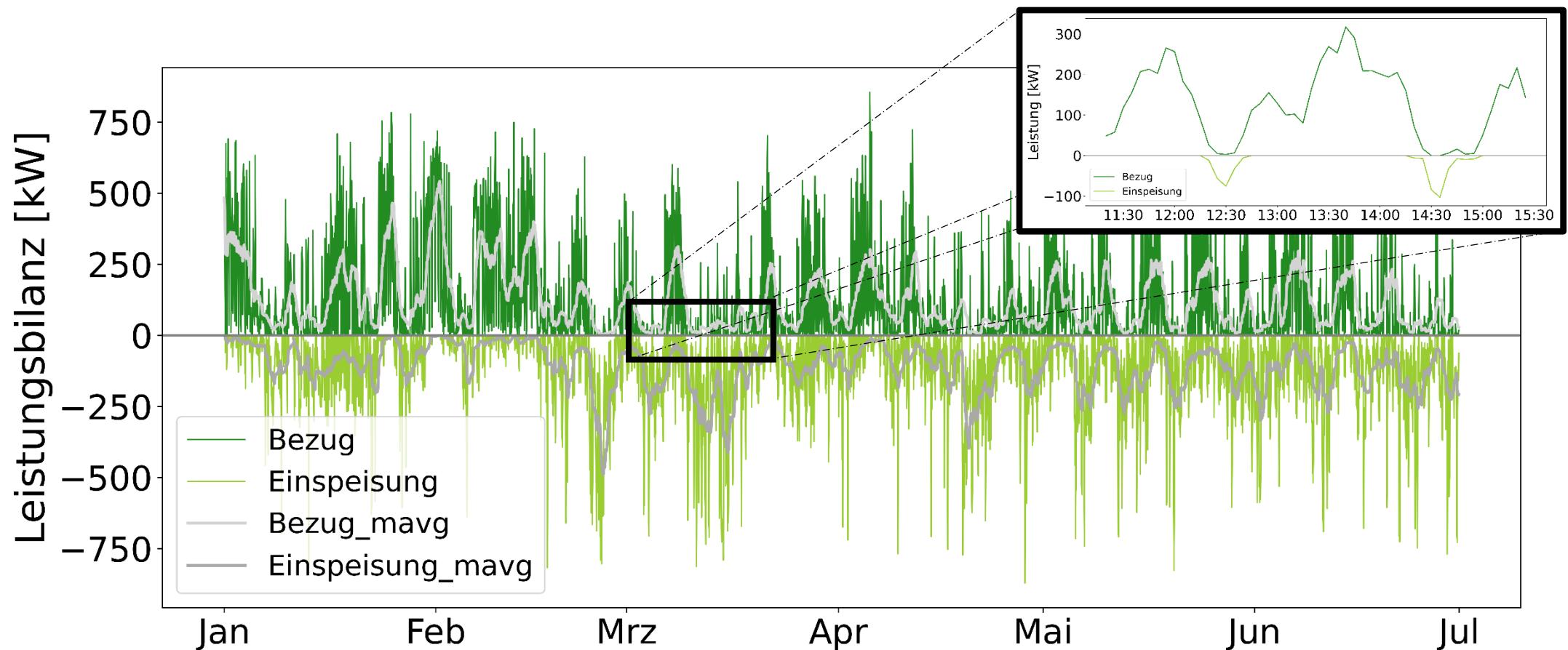
Nutzungspfad

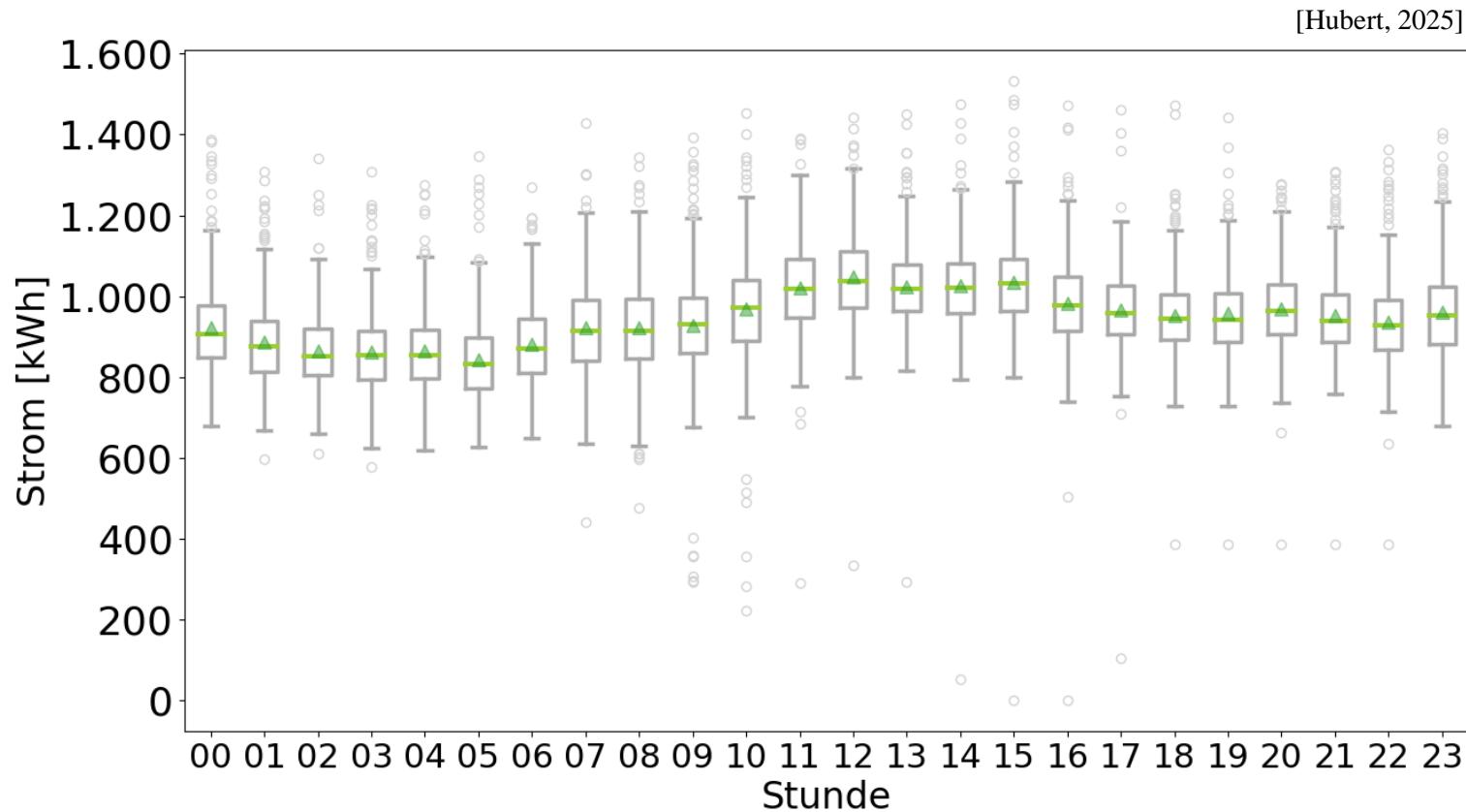
- Eigenstrommaximierung
- Vermeidung von Lastspitzen
- Vermarktungswege
 - Day-Ahead
 - Regelenergie

Randbedingungen

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

► Lastgang einer Kläranlage

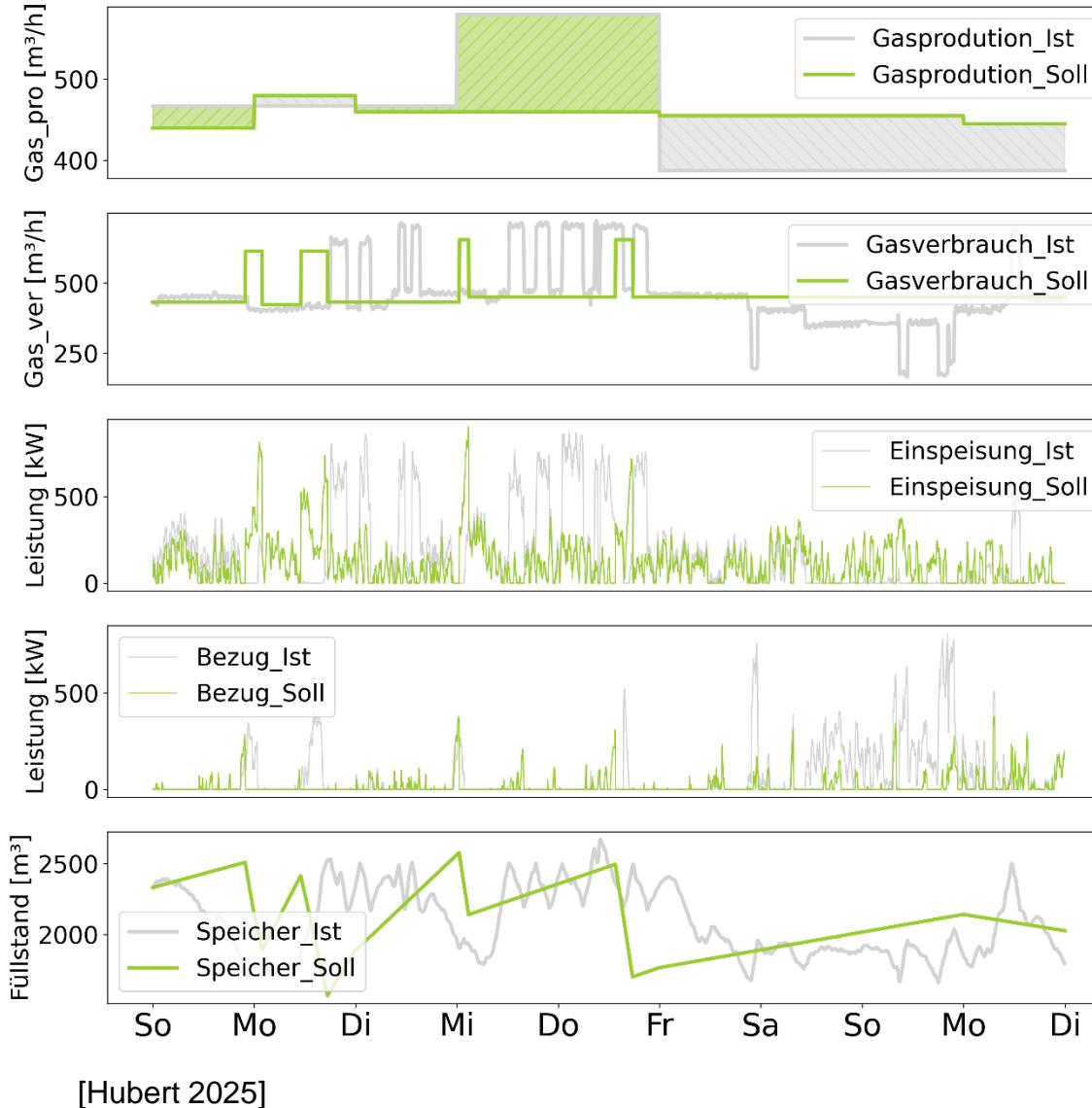




- Hohe Grundlast
- geringe Lastschwankungen

Für Energiemarkte
→ Workshop

Flexibilisierung der Faulgaserzeugung



- ▶ **Zwangsschaltung aufgrund Überschreitung der Grenzwerte**
 - keine Substratspeicher
 - Vollastbetrieb 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**

- **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_{zu}/(m³ · d). (betrachtete Kläranlage)**
→ Bestätigung über Laborversuche.
- ▶ **für mittlere Raumbelastungen (< 4 kg CSB/(m³ · d)) keine Veränderung der spez. Methangaserzeugung zu beobachten.**
- ▶ **für größere Raumbelastungen (~ 7 kg CSB/(m³ · 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



Flexibilisierung der Faulgaserzeugung – Entwicklung eines intelligenten Energiemanagementsystems

Christian Hubert, Kristina Sass, Steffen Krause, Christian Schaum

Universität der Bundeswehr München
christian.hubert@unibw.de