

# Automatisierte Rührsysteme in Biogasanlagen – Sens-O-Mix

---

Stefan Dietrich, Anne Deutschmann; Fraunhofer IKTS  
KTBL-Biogaskongress, 12.09.2023

# Übersicht

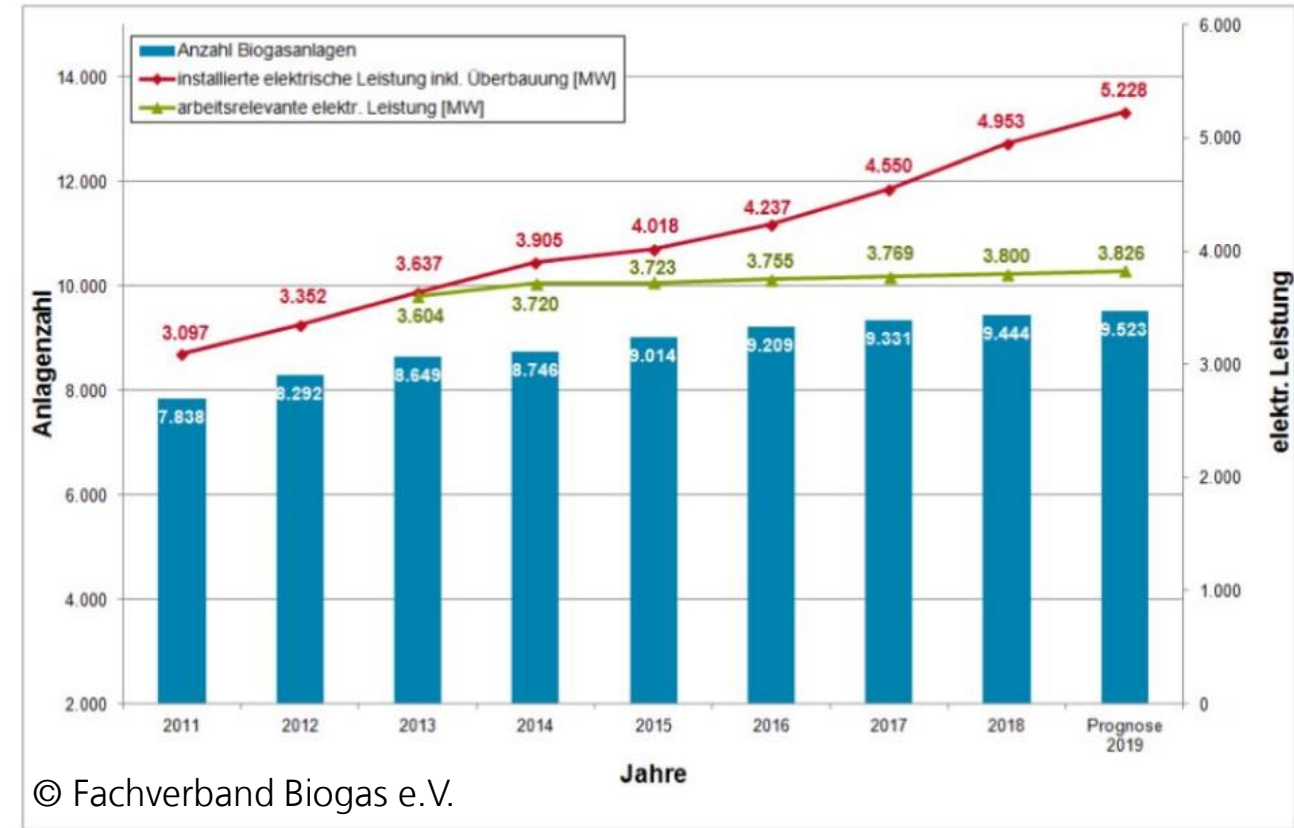
---

- Projektsteckbrief
- Hintergrund & Motivation
- Ansätze & Vorhabensziele
- Umsetzung & aktueller Ergebnisstand
- Ausblick

- **Volltitel:** „Entwicklung und Erprobung sensorbasierter Rührsysteme in Biogasanlagen zur Steigerung der Effizienz und Prozessstabilität bei einer lastflexiblen und bedarfsgerechten Biogasproduktion“
- **Förderung:** BMEL-Förderprogramm »Nachwachsende Rohstoffe«, FNR-Förderaufruf »Flexibilisierung der Biogaserzeugung«, FKZ 2219NR046
- **Laufzeit:** 01.05.2020-31.10.2023
- **Konsortium**
  - Fraunhofer IKTS
  - Universität Hohenheim
  - Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V.
  - Technische Universität Berlin
  - DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
  - Repowering Technik Ost GmbH (RTO)

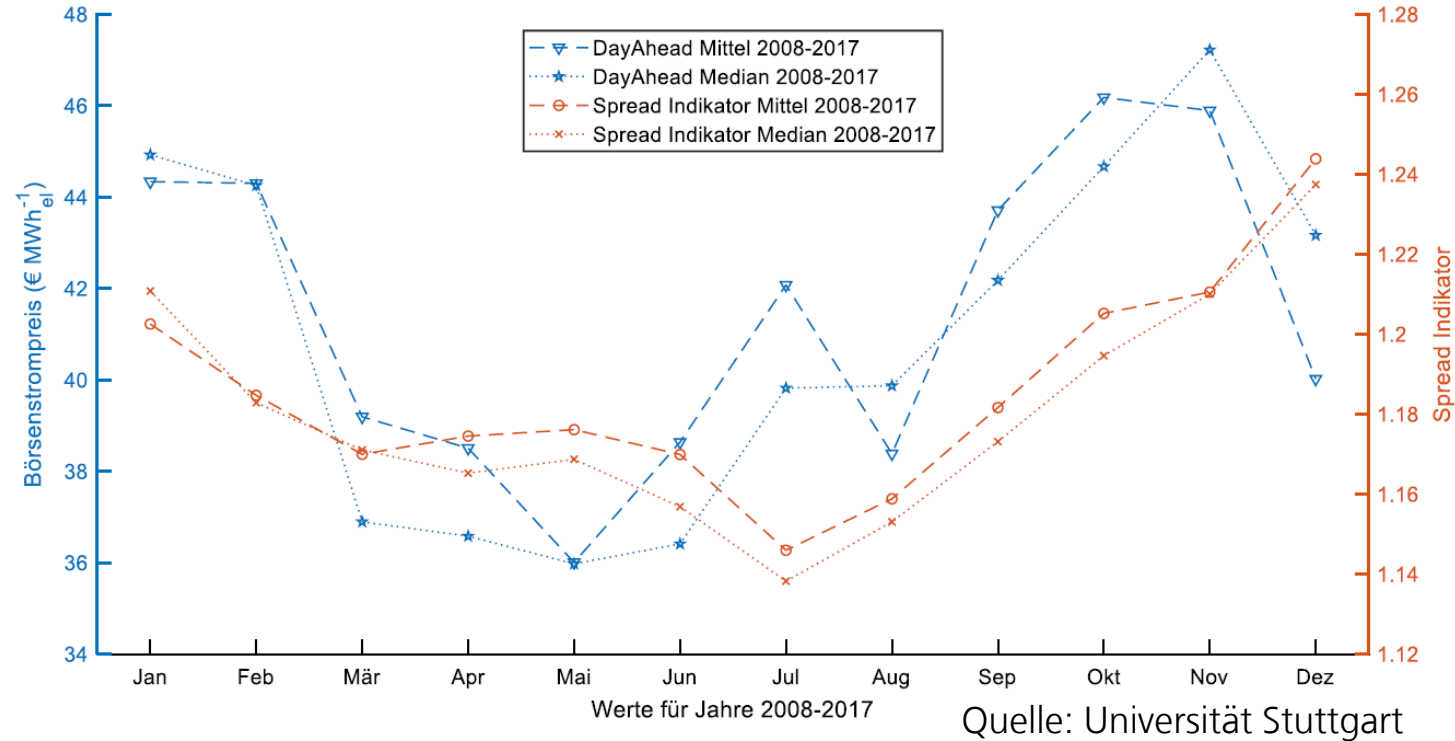
# Hintergrund und Motivation

- BGA-Bestand Deutschland 2022\*: Ca. 6000 MW<sub>el</sub>
- Großteil der relevanten Leistung wird im Dauerbetrieb generiert
- Konsequente Flexibilisierung: 15-20 GW Spitzenleistung möglich\*
- Rührwerke: Haupt-Energieaufwand



# Hintergrund und Motivation

- Ziel: Lastflexible und bedarfsgerechte Biogasproduktion mit automatisiertem, energieeffizientem Rührbetrieb



- Technische Voraussetzungen & Stand der Technik zu Projektbeginn/Antragstellung
  - Online-Bewertung der Substrateigenschaften am Input
  - Echtzeit-Datenerfassung im Fermenter
  - Intelligente Prozesssteuerung (Rührer, Substratzufuhr)

Nicht bekannt  
FEHLT  
FEHLT

# Ansätze und Vorhabensziele

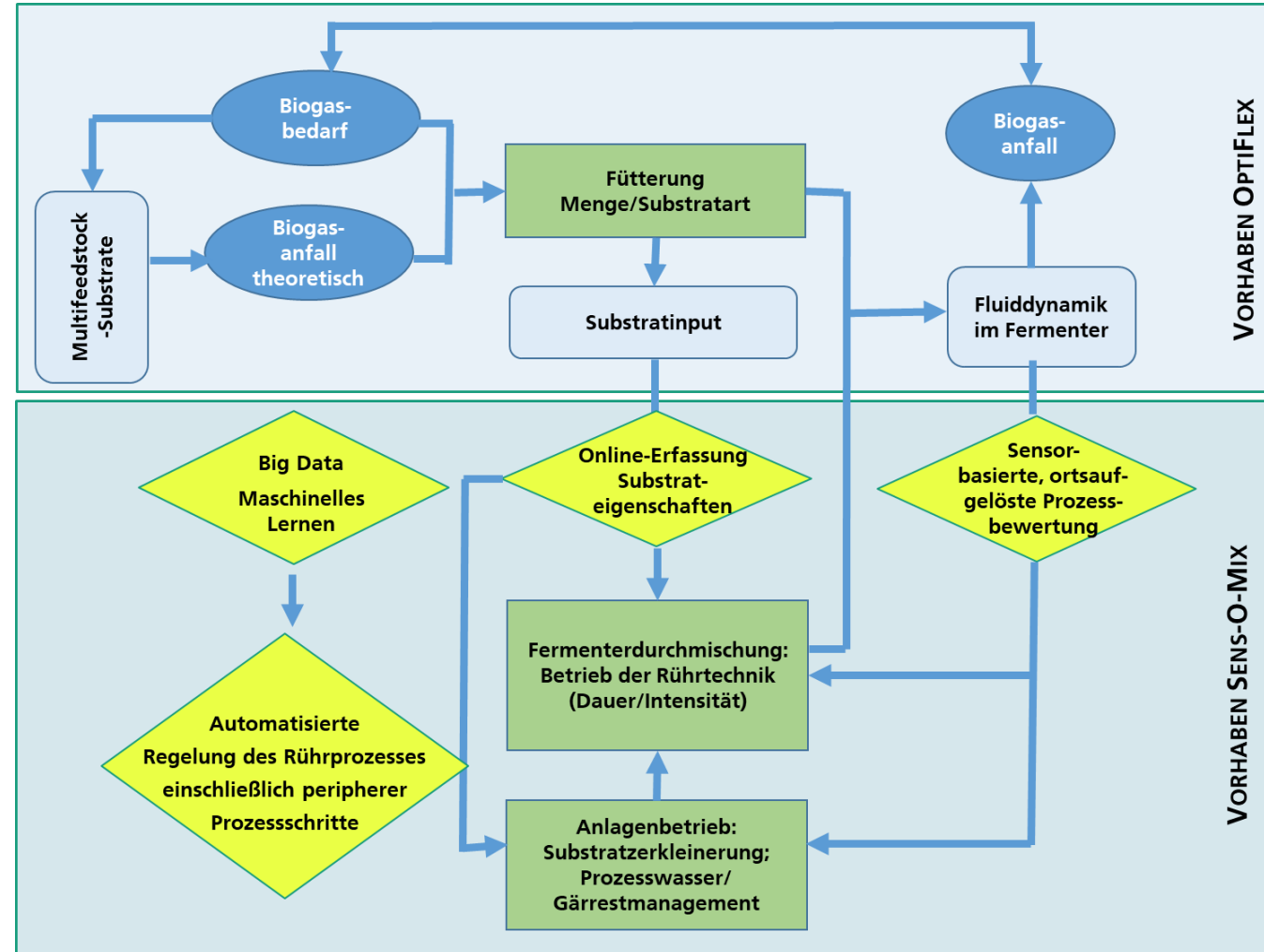
## Projektstruktur

### ■ OptiFlex:

- Modellbasierte Fütterung + Hydrodynamik

### ■ Sens-O-Mix

- Modellbasierte Fütterung + Hydrodynamik
- KI + Onlinesensorik + Daten

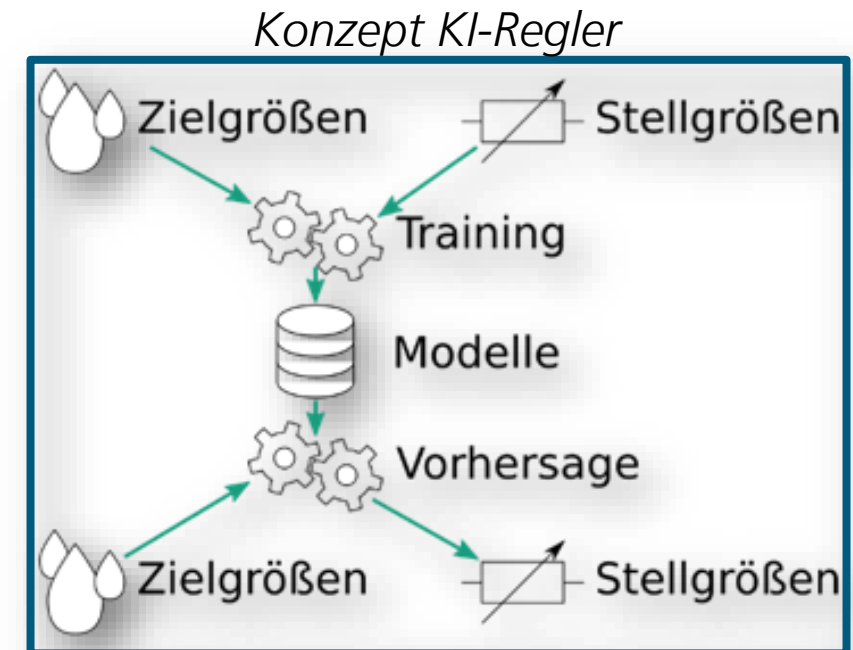




# Ansätze und Vorhabensziele

## KI - Regler

- Entwicklung eines „intelligenten“ Reglers für den automatisierten Rührbetrieb
  - ML-basierte Echtzeit-Prozessregelung auf Basis von Modellen und Messwerverfassung im Fermenter
  - Gezielte Einstellung definierter fluiddynamischer Prozessbedingungen
  - Dynamische Optimierung der Substratzufuhr (modellprädiktive Regelung)
  - Gewünschter Biogasertrag als Führungsgröße



# Ansätze und Vorhabensziele

## Entwicklungsziele

---

- **Entwicklung und Implementierung von Messtechnik** für die orts aufgelöste Bewertung des Misch- und Fermentationsprozesses
- **Erweiterung Datengrundlage & Qualifikation funktionaler Zusammenhänge** Substrateigenschaften - Mischprozess - Biogasgewinnung
- **Entwicklung & experimentelle Verifikation fluiddynamischer Modelle**, Ableitung Aussagen zu Rührbedarf und optimaler Prozessführung (Skalen bis zu großtechnischen Anlagen)
- **Entwicklung, Training und Test praxistauglicher KI-basierter Regler** (Rührbetrieb, Substratvorbehandlung, Gärrest-/ Prozesswasserrückführung)



# Umsetzung & Ergebnisse

## Messtechnik und Datenerfassung

---

- Drei Säulen der Prozessbewertung
  - Charakterisierung Substrateigenschaften und -mengen
  - Erfassung fluiddynamischer Zustand im Fermenter
  - Detektion Prozessstörungen
  
- Anforderungen
  - Online-fähig
  - Zuverlässig und langzeitstabil unter Einsatzbedingungen

# Umsetzung & Ergebnisse

## Messtechnik und Datenerfassung: Substrat

- Anforderungen
  - Aussagen über rheologische und granulometrische Eigenschaften
  - Multifeedstock-fähig
  - Kompakt und direkt auf der BGA einsetzbar
- Ansatz: Optisches Konsistometer (HZDR)
  - Ablaufverhalten des Substrates über definierte Oberfläche
  - Erfassung mittels optischer Sensoren
  - Auswertung mittels Bildanalyse



Abb.: Prototyp des Konsistometers (© HZDR)

# Umsetzung & Ergebnisse

## Messtechnik und Datenerfassung: Fermenter

- Messtechnik
  - Magneto-induktive Durchflussmesser (MID), Dehnungsmessstreifen (DMS), Rohrviskosimeter
  - Radarsensor
  - Mikrowellensensor
  - pH, el. LF, Redox
- Aussagen
  - Rührerschub, Geschwindigkeit; Fließverhalten, räumliche Verteilung des Substrats
  - Detektion Schwimmschichtbildung
  - Trockensubstanzgehalt
  - Homogenität Gärsubstrat v.a. nach Einmischen
- Weitere Echtzeit-Messgrößen: Gasmenge und -qualität, Rührerleistung, Substrattemperatur, Substratzufuhr
- Erfassung Messwerte in Datenbank → Grundlage für Entwicklung und das Training des KI-Reglers

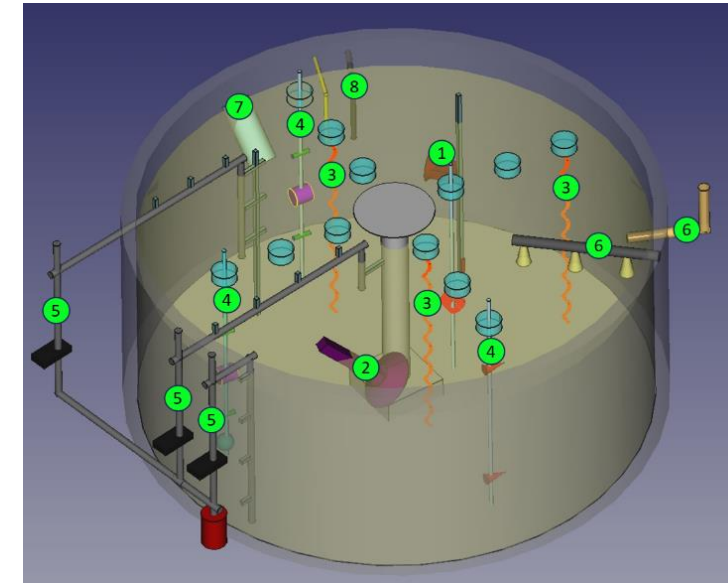


Abb.: Hauptfermenter UHO, schematisch: 1 TMR, 2 SAR, 3 MID/DMS, 4 Messlanzen (pH, LF, Redox), 5 Probenahme (Visko, TS), 6 Schwimmschichtsensor, 7 Zufuhr Festsubstrat, 8 Zufuhr Gülle; (© Uni Hohenheim)

# Umsetzung & Ergebnisse

## Messtechnik und Datenerfassung: Fermenter

Strömungs-  
geschwindigkeit

pH, ORP, LF,  $\vartheta$



Sensorschleusen mit Prozesssensorik (© UHOH)



Messrohrleitung für den Test der pH-, LF- und ORP-Sensoren über Prozessgewindeanschlüsse sowie der TS-Messungen und des Sinkschichtensors in einem Kunststoffrohr (© UHOH)

# Umsetzung & Ergebnisse

## Prozessverständnis und Modelle

---

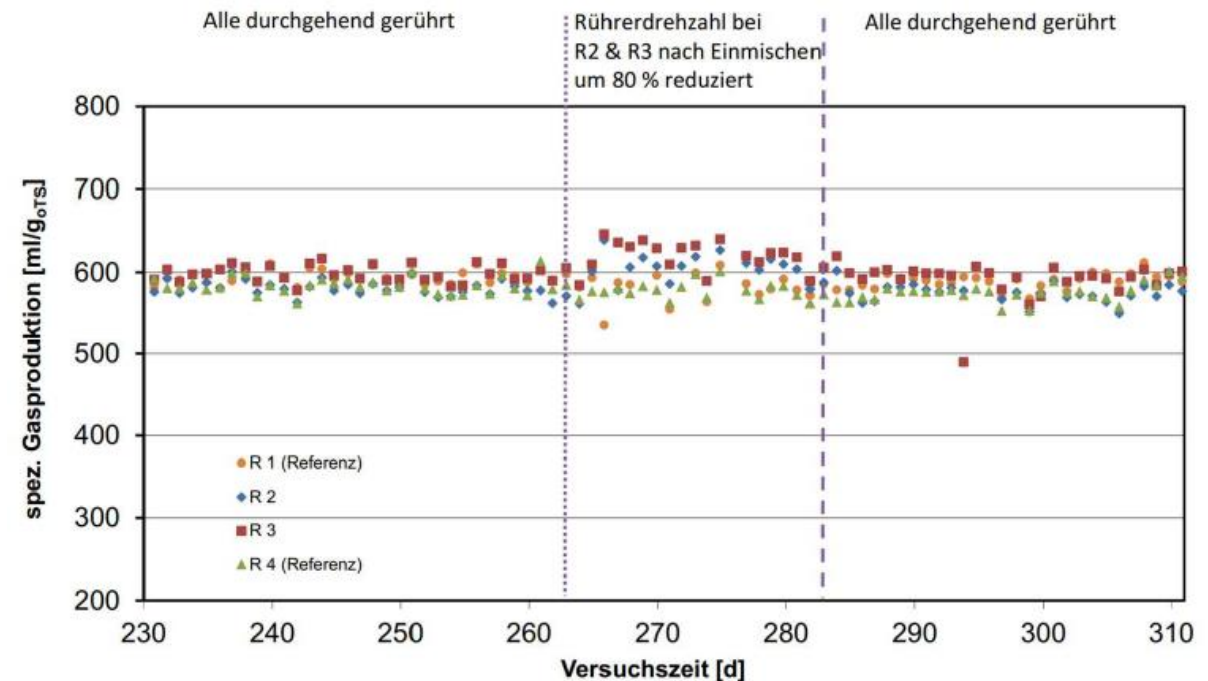
- Labor- & Praxisversuche: Einfluss des Mischzustandes auf den Biogasprozess
  - DBFZ: Laborversuche Zusammenhang Rührregime vs. Biogasbildung
  - IKTS: Laborversuche Rührregime vs. Durchmischung
  - UHO: Praxisversuche Rührregime vs. Biogasproduktion



# Umsetzung & Ergebnisse

## Prozessverständnis und Modelle

- Vorläufige Zwischenergebnisse
  - DBFZ: Nach Einmischphase Reduktion der Drehzahl um 80 %: Steigerung Gasproduktion um 3,8 %
  - IKTS: Nach Einmischen Verteilung Substrat im Reaktor, Reduktion der Drehzahl um 80 %: Keine vollständige Durchmischung



Zusammenhang von Gasproduktion und Rührbetrieb (© DBFZ)

# Umsetzung & Ergebnisse

## Prozessverständnis und Modelle

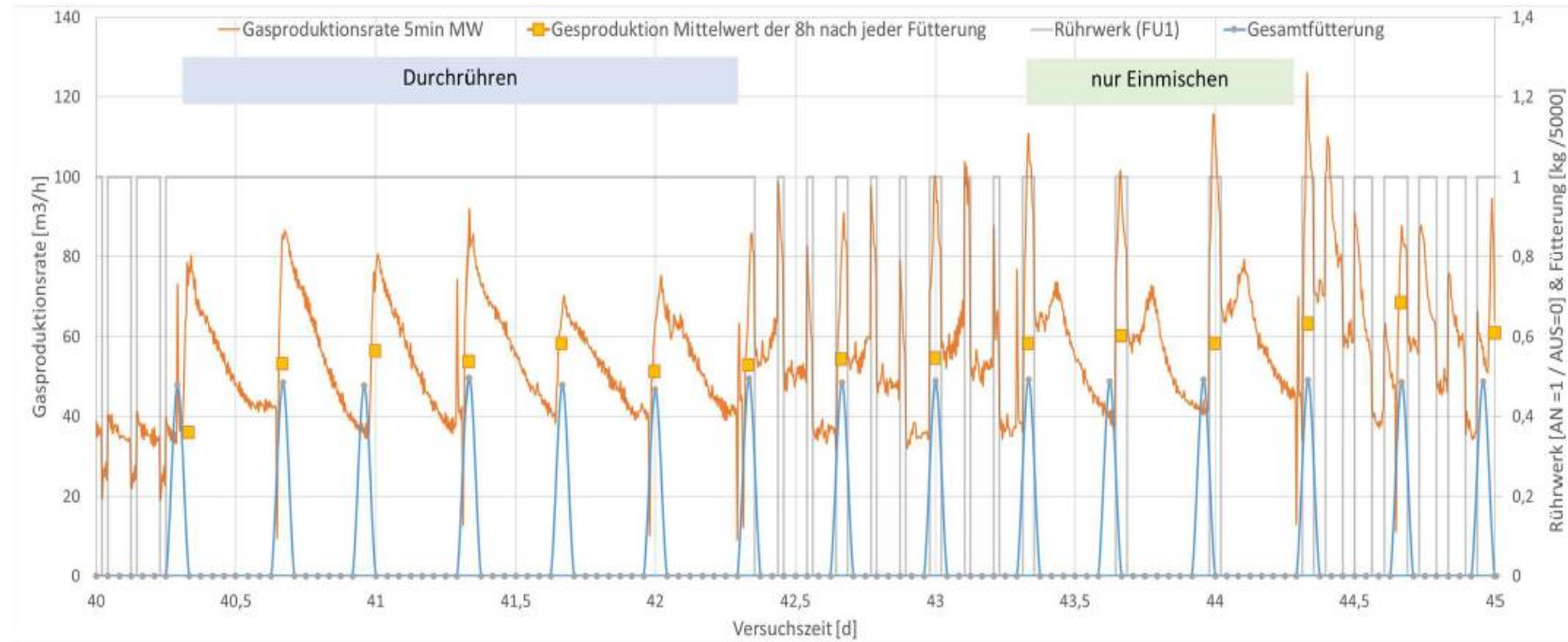


Abb.: Zusammenhang Gasproduktion (orange) vs. Rührerbetrieb (grau) (© UHOH)

- UHOH:
  - Rührpausen vs. kontin. Rühren: Gleicher BG-Ertrag
  - Deutliche Verlängerung der Rührpausen: Kein negativer Einfluss auf Biogasprozess → Energiesparpotential!
  - Erhöhung der Rührintensität: Erhöhte Gasfreisetzung aus Gärsubstrat → Flexibler Speicher



# Umsetzung & Ergebnisse

## KI-basierter Regler: Grundidee

- Mittels ML-Algorithmen Generation mathematischer Modelle für Prozessparameter aus Beispieldaten
- Modellbasierte Vorhersagen für ausgewählte Parameter, Entscheidungen über die Prozesssteuerung
- Automatisierte, prädiktive Interpolation der Prozess-Stellgrößen in Abhängigkeit von angestrebtem Biogas-Ertrag

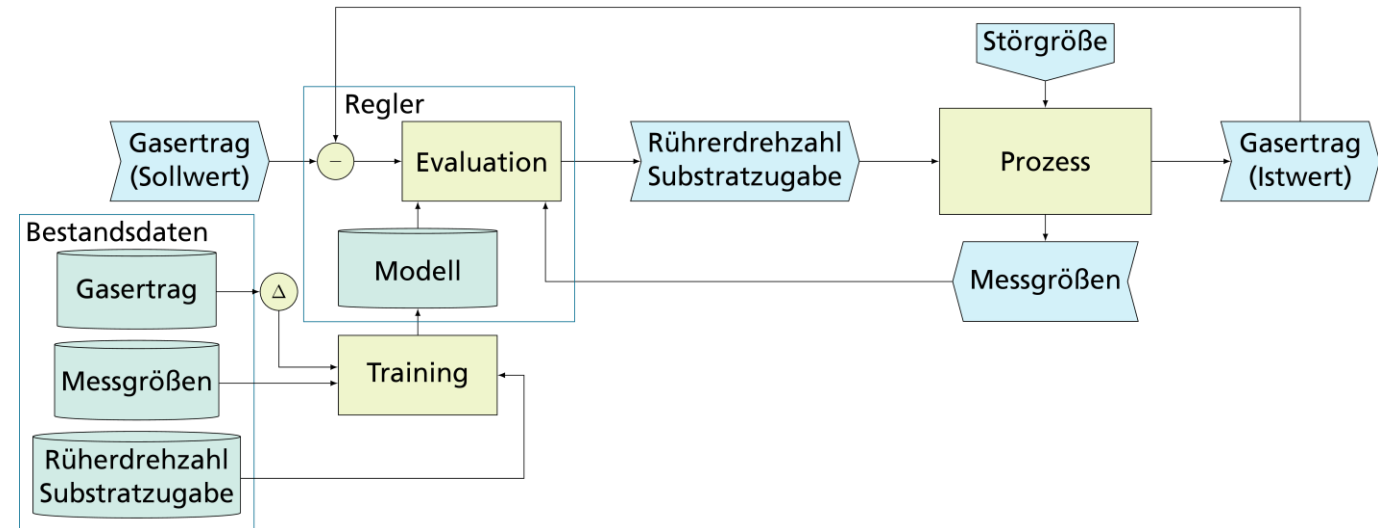


Abb.: Prozessmodell & Trainingskonzept für KI-Regler (© IKTS)

# Umsetzung & Ergebnisse

## KI-basierter Regler: Entwicklung

### Input

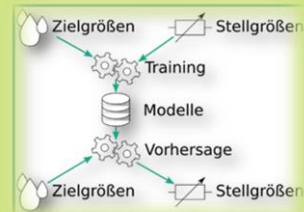
- Rheologie, Granulometrie, stoffliche Parameter
- Fluiddynamik
- Gasertrag, Rührerleistung



### Steuerung Mischprozess

*KI-Regler*

- Angepasste Durchmischung für optimalen Biogasertrag



### Steuerung Biogasbildung

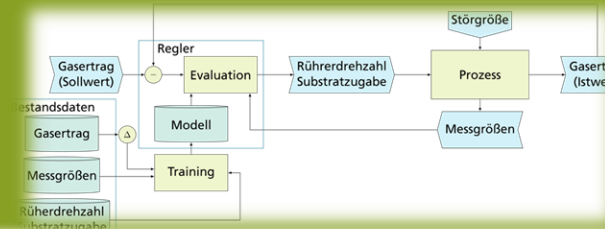
*Modellprädiktive Fütterung*

- Zeitpunkt und Menge der Inputsubstrate



### Steuerung des Gesamtprozesses

- Optimierter Biogasertrag durch angepasste Rührintensität
- Reduzierter Energieverbrauch



# Umsetzung & Ergebnisse

## KI-basierter Regler: Training

---

- Ziel: Gesicherte Vorhersagen der Rührparameter in Abhängigkeit von gewünschtem Gasertrag und Input-Größen
- Genutzte Daten
  - Bestandsdaten (mehrstufig, 11/2020-03/2023)
  - Mit neu installierter Sensorik generierte Daten (folgt)
- Verifikation mit realen Versuchsdaten

# Umsetzung & Ergebnisse

## KI-basierter Regler: Ergebnisse

- Modelltraining auf Basis neuronaler Netze (RNN, CNN)
- Input-Daten: UHO Fermenter 1, vergangene 48h
  - Fütterung, Rührleistung, Gasertrag & -zusammensetzung, Füllstand, T, Umpumpmenge, Gülledosierung, u.a.
- Vorhersage: Soll-Leistung & Aktivität TMR und SAR für kommende 24h
- Gute Übereinstimmung Realwerte und Prognose
- Praxisbetrieb des Reglers seit Anfang 08/2023: Rührersteuerung auf Basis tagesaktuell bestimmter Messwerte und gewünschten Gasertrags

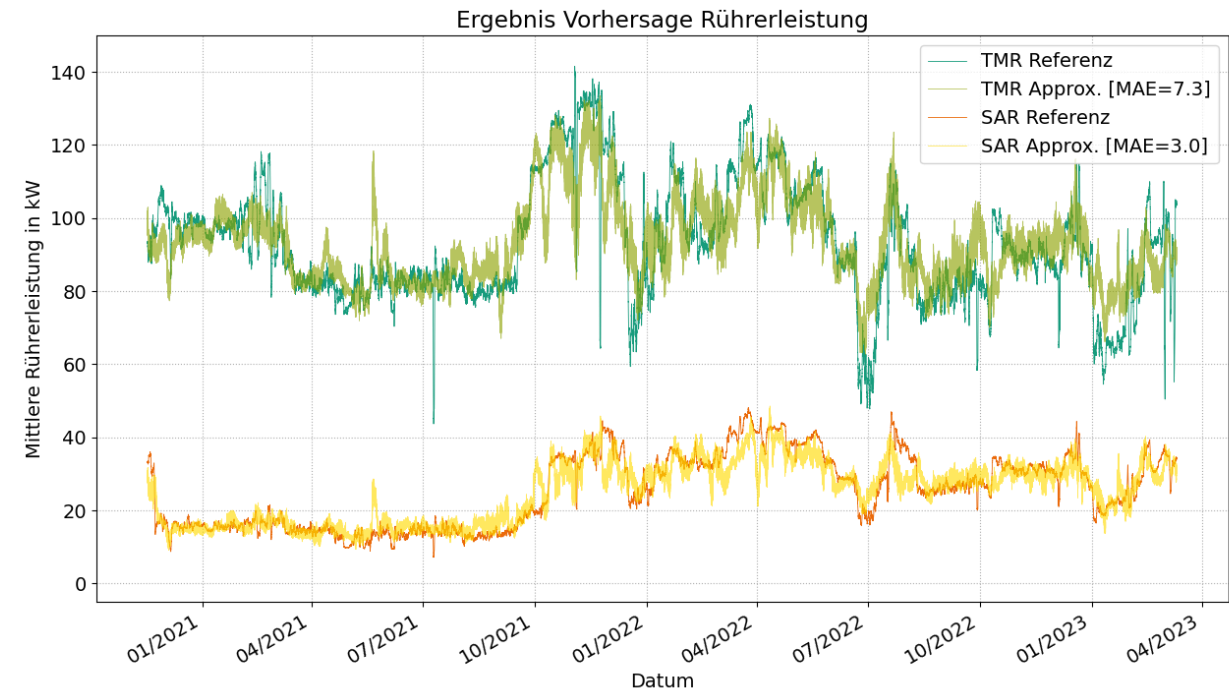


Abb.: Reale vs. Prognostizierte Rührerleistung UHO F1, CNN-Model (© IKTS)

# Aktuelle Folgerungen & Ausblick

---

- Folgerungen
  - KI-Regler läuft seit 09.08.2023 stabil im Praxisbetrieb der BGA Uni Hohenheim
  - Messtechnik wurde erfolgreich in Betrieb genommen und in die Auswertung integriert
    - Schwimmschichtsensor, Konsistometer, kommerzielle Messtechnik (pH, LF, Redox, TS, DMS)
  - Prozessverständnis und Modelle wurden optimiert
    - Einmischen von frischem Substrat
    - Verringerung Rührintensität zwischen Beschickungen → erhebliches Sparpotential
- Ausblick
  - Erweiterung Regler-Testbetrieb auf Integration Fütterung
  - Abschließende Validierung der installierten Sensorik
  - Ergänzung der Prozessmodelle

# Danksagung

---

Das Sens-O-Mix - Konsortium dankt dem BMEL und der FNR für die Unterstützung und die vertrauensvolle Zusammenarbeit.

Das IKTS dankt den Projektpartnern für die konstruktive und angenehme Kooperation selbst in der schwierigen Projektphase während der Covid19-Pandemie:

Benjamin Ohnmacht, Andreas Lemmer (UHOH), Sebastian Reinecke, Holger Kryk, Jan Schäfer, Lukas Buntkiel (HZDR), Eric Mauky, Jürgen Pröter (DBFZ), Markus Kolano, Matthias Kraume (TUB), Sebastian Winkler, Kay Rostalski (RTO)



# Kontakt

---

**Dr.-Ing. Stefan Dietrich**  
**Geschäftsbereich Kreislauftechnologien & Wasser**  
**Tel. +49 351 2553 7644**  
**[stefan.dietrich@ikts.fraunhofer.de](mailto:stefan.dietrich@ikts.fraunhofer.de)**

Fraunhofer IKTS  
Winterbergstr. 28  
01277 Dresden  
[www.ikts.fraunhofer.de](http://www.ikts.fraunhofer.de)