



UNIVERSITÄT  
HOHENHEIM

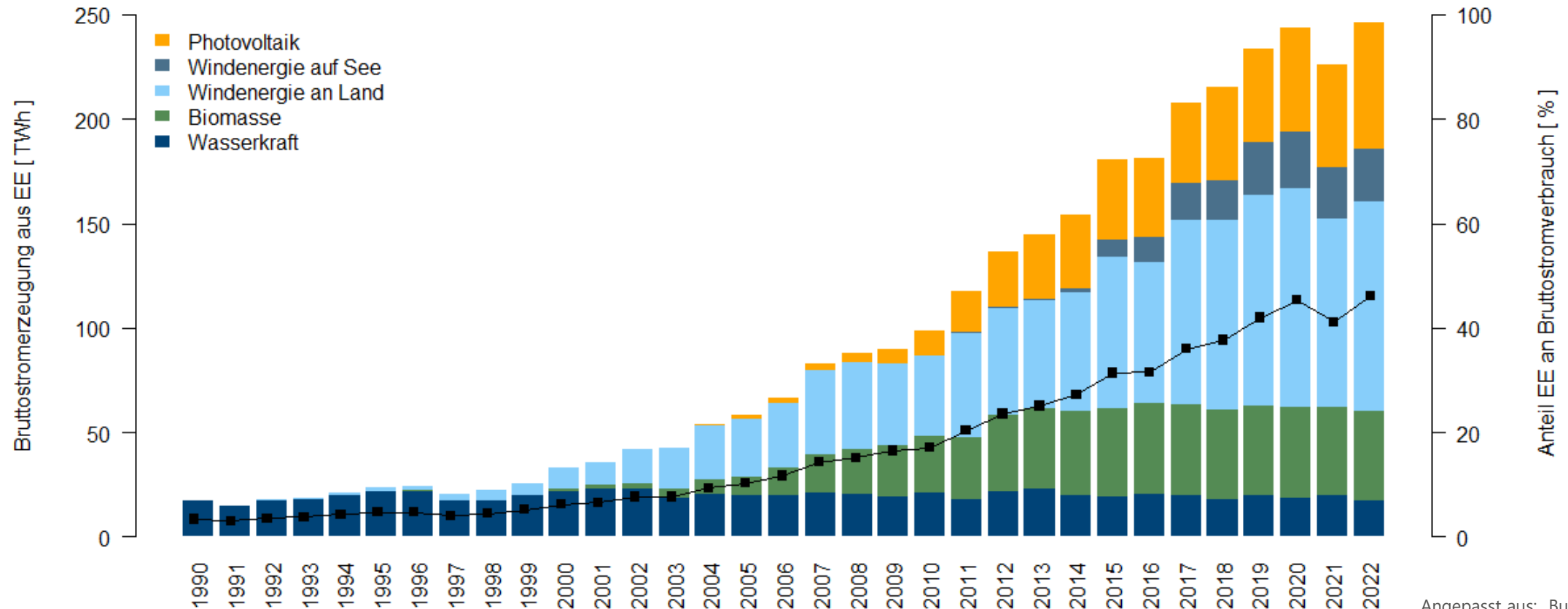
Projekt *Powerland 4.2*

# OPTIMIERTE INTEGRATION VON BIOENERGIE IN LÄNDLICHE ENERGIESYSTEME

Dr. Johannes Krümpel

KTBL/FNR-Kongress „Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven“, 12.09.2023

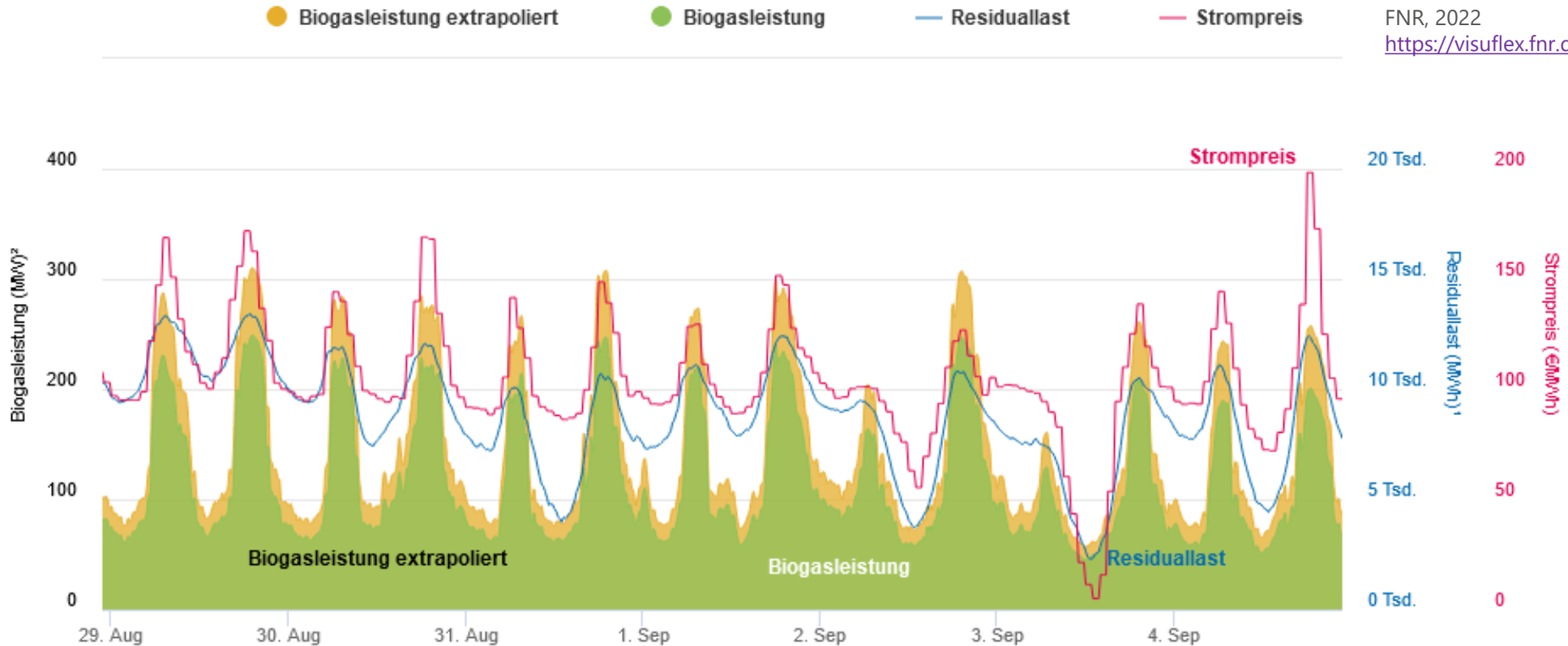
# ENERGIEWENDE: HIN ZU MEHR ERNEUERBAREN



Angepasst aus: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2023) – Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland

- Wind und Photovoltaik schwankt nahezu 0 bis > 45GW (FNR, 2022)
- Bedarf an erneuerbarer Regelenergie

# ENERGIEWENDE: HIN ZU MEHR ERNEUERBAREN



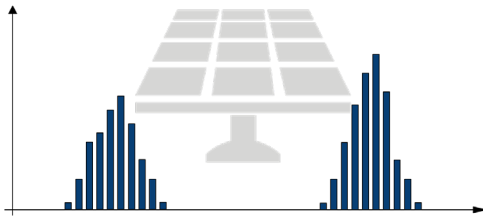
FNR, 2022

<https://visuflex.fnr.de/visualisierung>

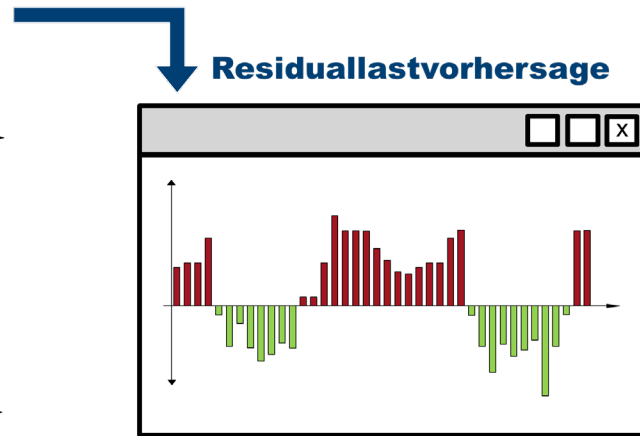
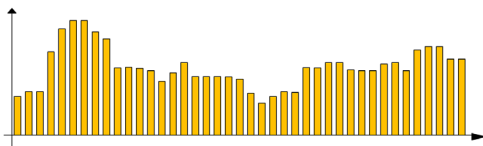
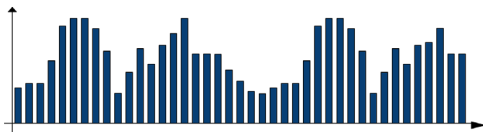
- Durch die Flexibilisierung könnten zusätzlich etwa 10-15 GW flexible Spitzenleistung aus Biogas bereitgestellt werden (FNR 2022)
- bei Erschließung aller Potenziale für die Biogaserzeugung sogar über 30 GW (FNR 2022)

# PROJEKT-ÜBERSICHT POWERLAND 4.2

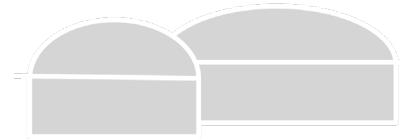
**Prognose:  
PV-Strom Produktion**



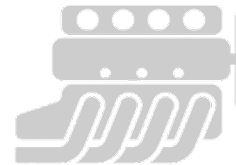
**Prognose:  
Strom- und Wärmebedarf**



**Intelligente Steuerung der BGA  
und flexible Substratplanung**



**Steuerung des BHKW zur  
optimierten Strom- und  
Wärmeversorgung**



UNIVERSITÄT  
HOHENHEIM



Hochschule Reutlingen  
Reutlingen University



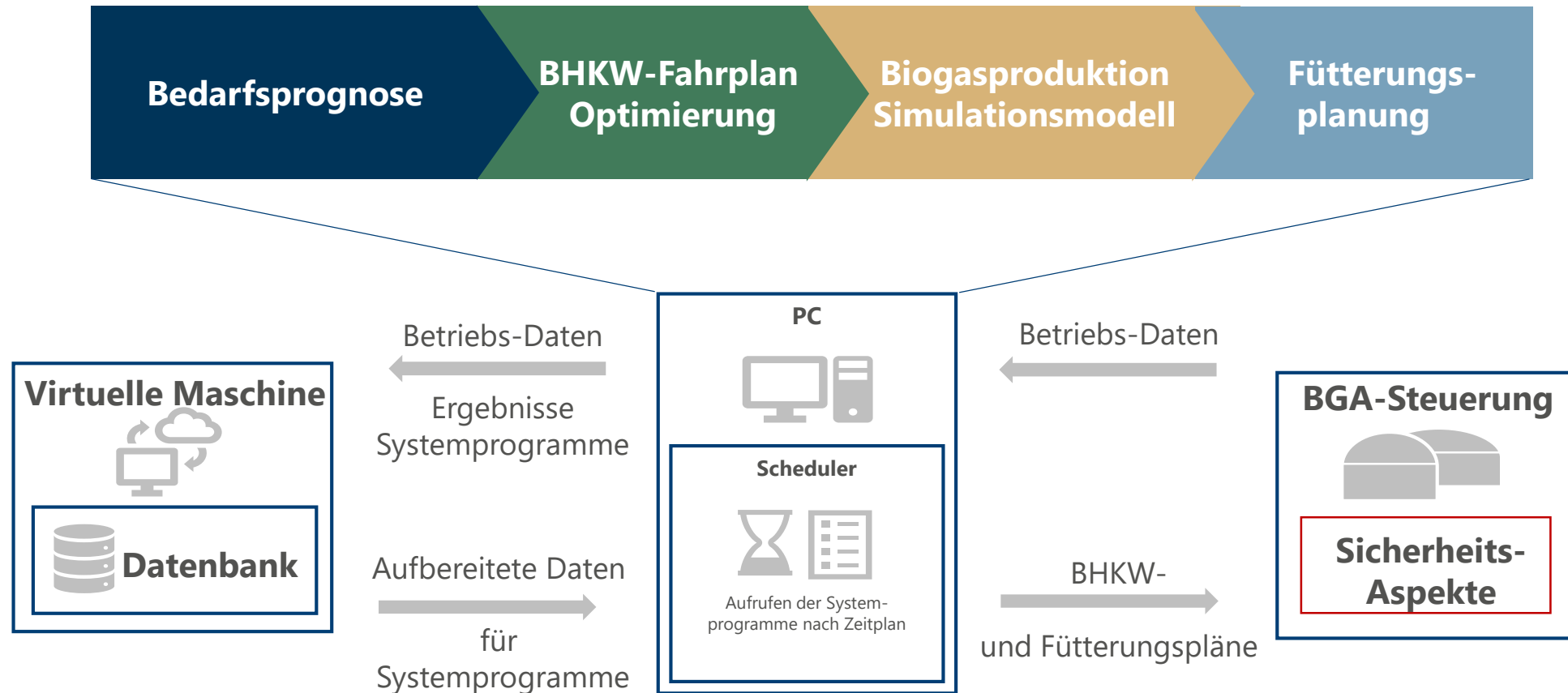
Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V.



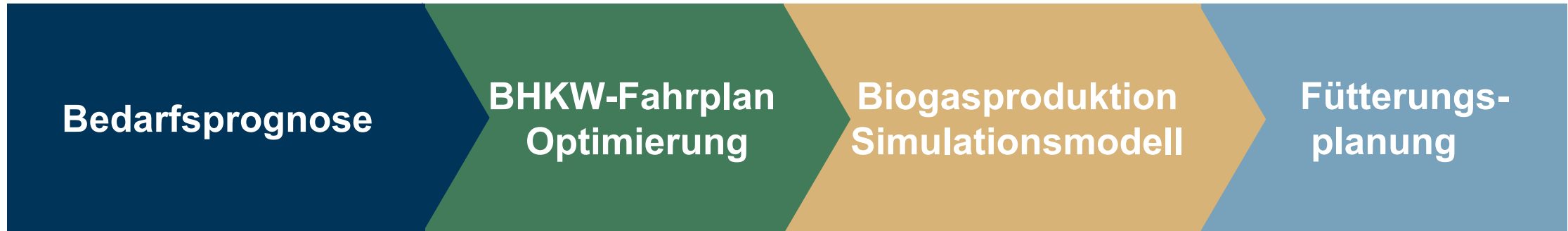
Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

# AUFBAU DATENAUSTAUSCH

Täglich neue Berechnung / Ausführung:



# MODULARER AUFBAU



- **Strom- & Wärmebedarf einer Region**
- **Strompreis**
- **Netzbetreiber**

- **Optimierungskriterien**
- **Wärmenutzung**
- **Netzdienlichkeit**

- **Fermenterspezifisch**
- **Substratmischung**
- **wenige Eingangsgrößen**
- **Übertragbar**

- **„Zurückrechnen“**
- **Randbedingungen**

# VERSUCHSSTATION UNTERER LINDENHOF

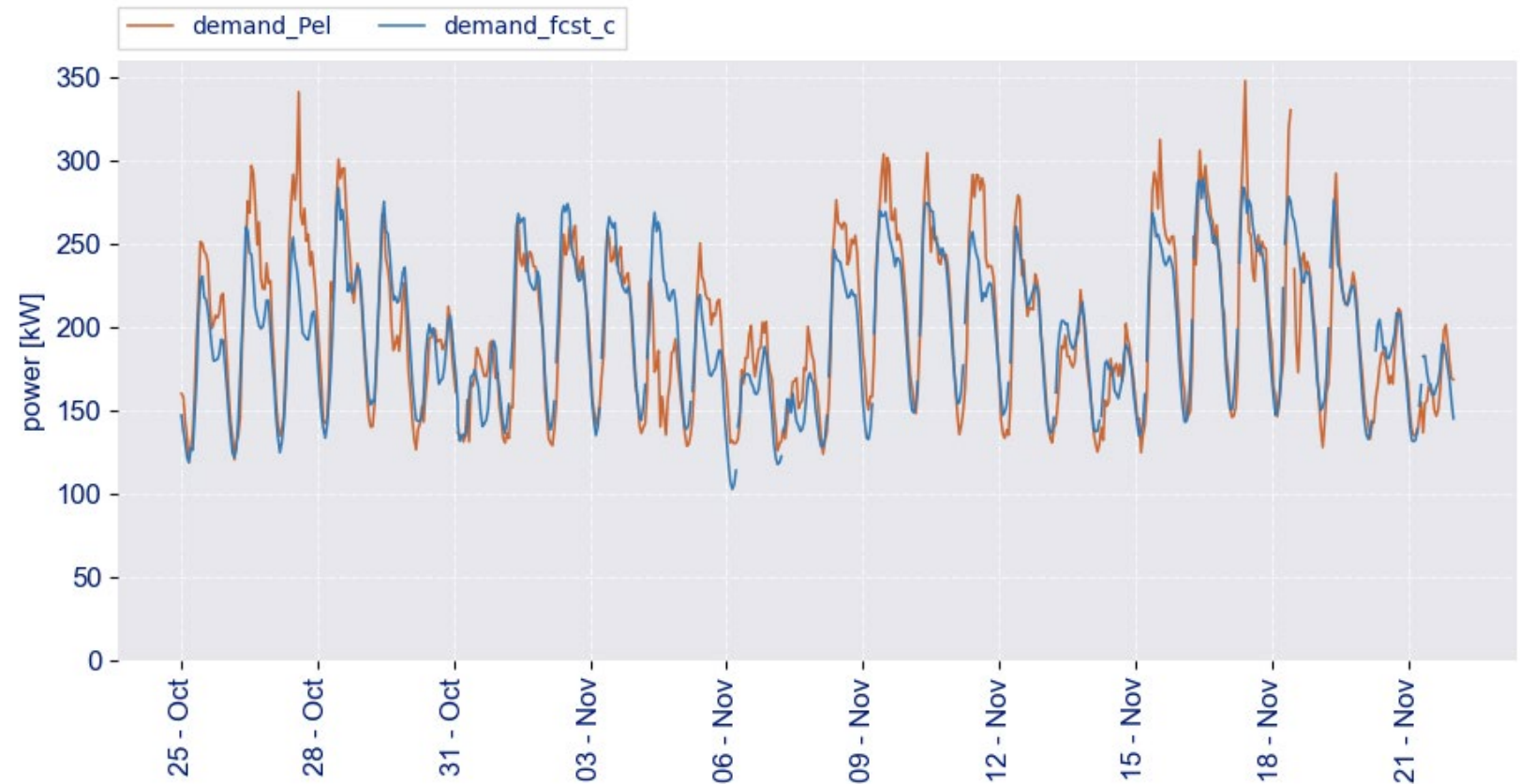
- Biogasanlage (BGA), 355kW<sub>el</sub>
  - 2 Fermenter , 1 NG a 923m<sup>3</sup>
  - 1830m<sup>3</sup> Gas Speicher
    - 13 Vollaststunden
- Schweine & Rinderhaltung
- Kleintierhaltung
- Personalgebäude



- Jahresbedarf elektrisch: 840.000 kWh
- Jahresbedarf thermisch: 2.375.000 kWh

# BEDARFSPROGNOSE

- Mindestens 48h Vorhersage-Horizont
- Werkzeuge der „Zeitreihen-Analyse“
- Auf Basis der Stromverbrauchs-Daten **der vergangenen 3 Wochen**
- Mehr Verbraucher → genauere Vorhersagen



Bedarfsprognose

BHKW-Fahrplan  
Optimierung

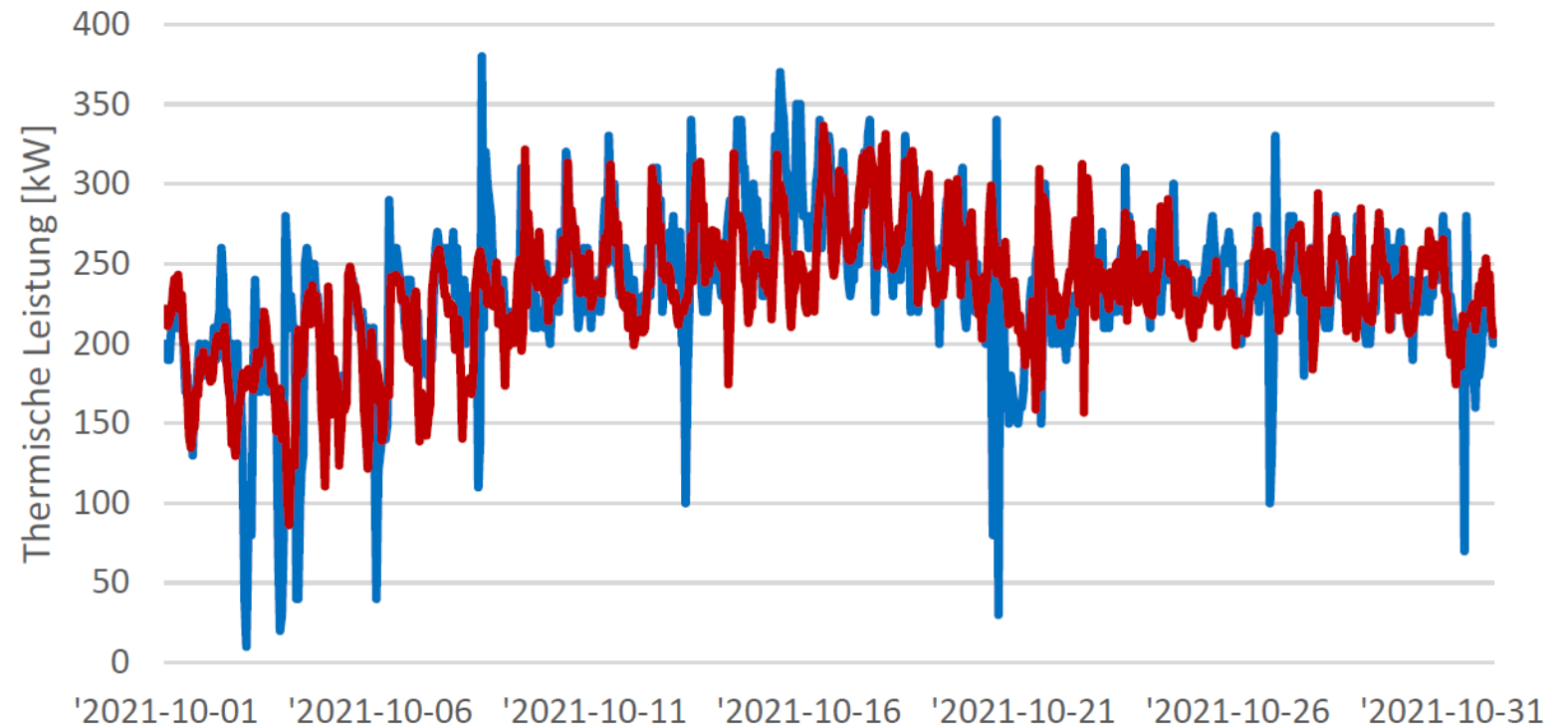
Biogasproduktion  
Simulationsmodell

Fütterungs-  
planung



# BEDARFSPROGNOSE

- Für die Wärmebedarfsprognose werden zusätzlich berücksichtigt:
- Temperaturverlauf der letzten Wochen
- Wärmeübergang  
(Wird automatisch bestimmt)
- Wettervorhersage



Bedarfsprognose

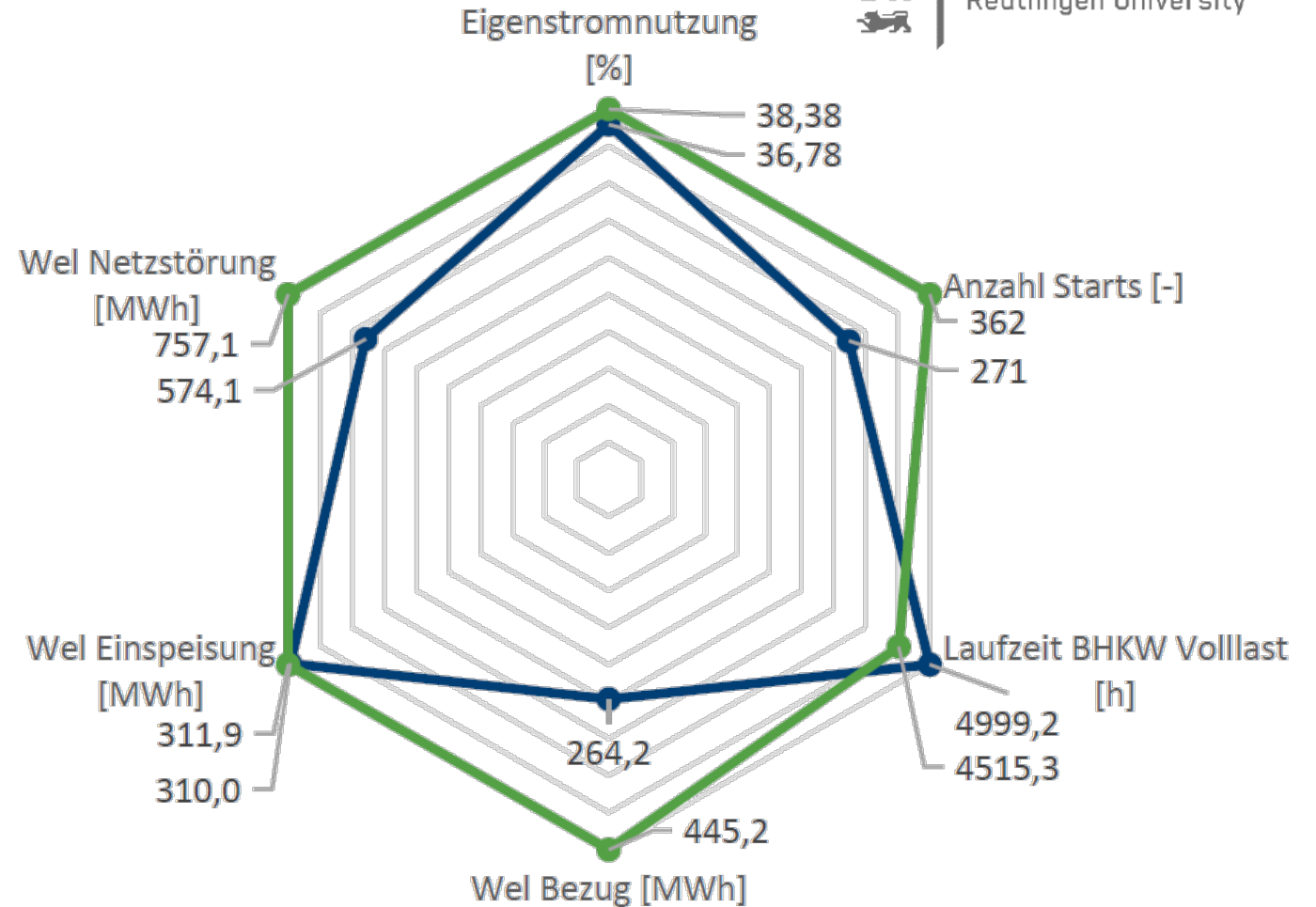
BHKW-Fahrplan  
Optimierung

Biogasproduktion  
Simulationsmodell

Fütterungs-  
planung

# BHKW-FAHRPLAN-OPTIMIERUNG

- Unterschiedliche Optimierungskriterien
- z.B. Berücksichtigung des vorgelagerten Netzes
- Ergebnis ist ein BHKW-Fahrplan für die kommenden 48h mit zugehörigem Gasbedarf



Bedarfsprognose

BHKW-Fahrplan  
Optimierung

Biogasproduktion  
Simulationsmodell

Fütterungs-  
planung

# BIOGASPRODUKTION SIMULATIONSMODELL

- Modelle mit hohem Grad an Komplexität (ADM1)
- Schwierig zu bestimmende Parameter
- Begleitende Laborexperimente notwendig
- Übertragbarkeit auf Praxis-Maßstab?

Bisher...

**VS.**

- Schlechte Ausstattung Mess und Regeltechnik der Bestandsanlagen
- Nur 5% mit pH, ORP Sensoren (FNR, 2009)
- 70% messen das produzierte Biogas Volumen (FNR, 2009)

➔ Schwierigkeiten bei der Implementierung ←

Bedarfsprognose

BHKW-Fahrplan  
Optimierung

Biogasproduktion  
Simulationsmodell

Fütterungs-  
planung

# BIOGASPRODUKTION SIMULATIONSMODELL

*neuer Ansatz:* Zeitreihenanalyse

- Lineares Modell der allgemeinen Form:

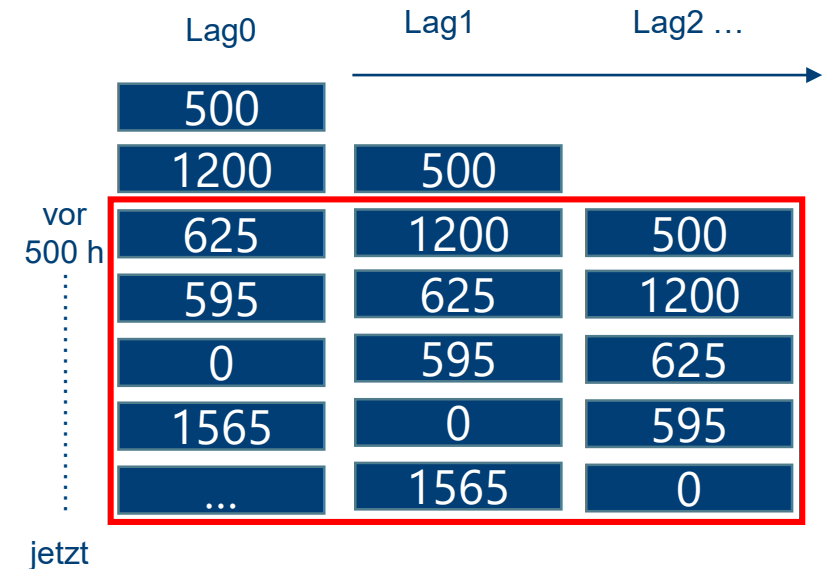
$$A\vec{x} + \vec{\varepsilon} = \vec{b}$$

$\vec{b}$  Ergebnis: **Zeitreihe Biogasproduktion**

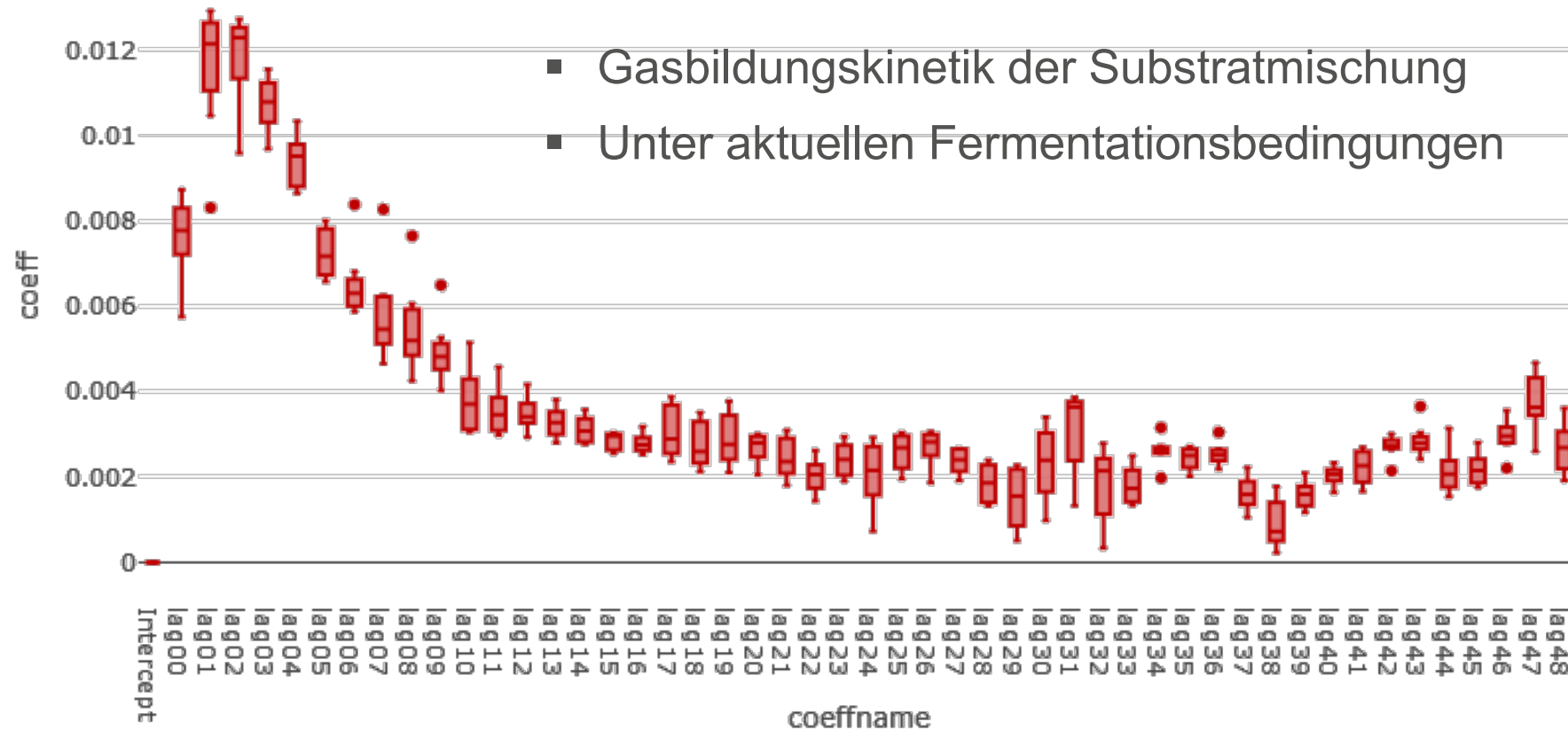
$A$  Matrix der **Zeitreihe Fütterung** mit Verzögerungsgliedern ("48 Lags")

$x$  Koeffizienten-Vektor → ("virtuelle") **Gasbildungskinetik der Substratmischung**

Um die Biogasproduktion der nächsten 48h zu berechnen wird  $x$  und  $A$  eingesetzt



# BIOGASPRODUKTION SIMULATIONSMODELL



Bedarfsprognose

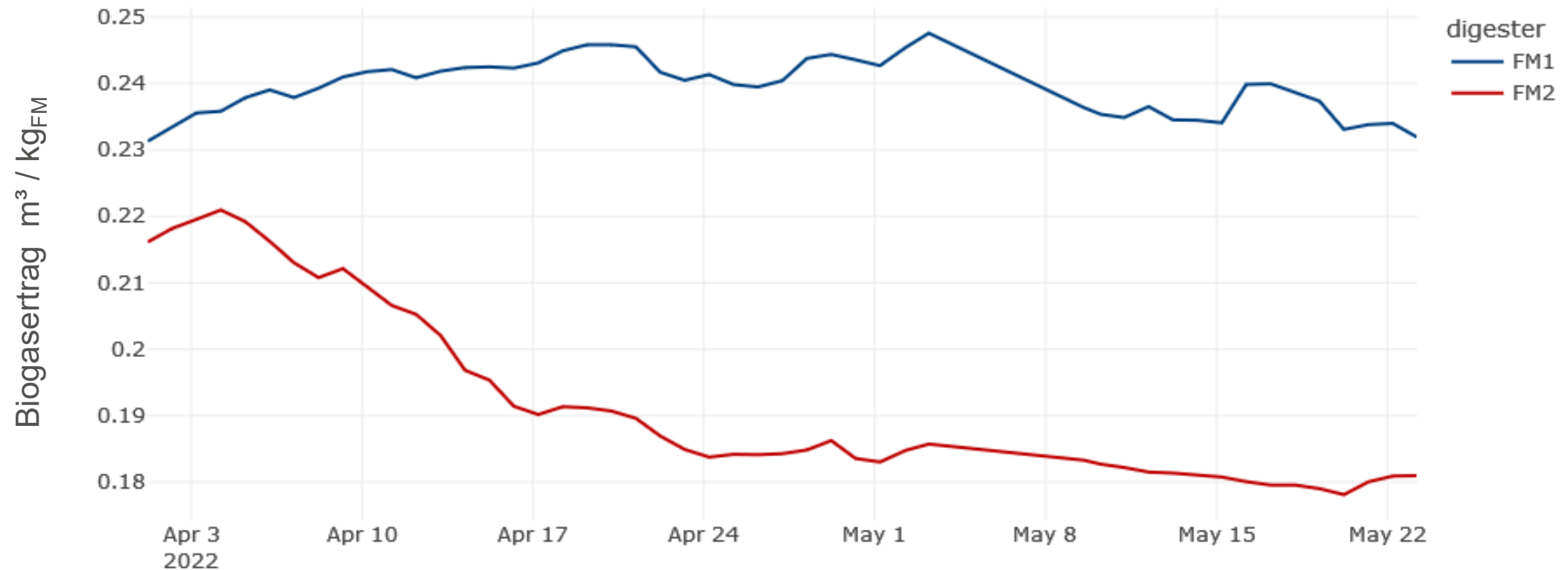
BHKW-Fahrplan  
Optimierung

Biogasproduktion  
Simulationsmodell

Fütterungs-  
planung

# BIOGASPRODUKTION SIMULATIONSMODELL

- Summe der Koeffizienten: "virtueller spezifischer Gasertrag" im Zeitverlauf



Bedarfsprognose

BHKW-Fahrplan  
Optimierung

Biogasproduktion  
Simulationsmodell

Fütterungs-  
planung

# FÜTTERUNGSPLANUNG

Problem: nicht invertierbare Matrix !

$X$  Matrix der Zeitreihe Fütterung mit Verzögerungsgliedern ("Lags")

→ Man kann nicht auf die Fütterung "zurückrechnen"

Lösung: zufällige Fütterungspläne (tausende) = Monte-Carlo Ansatz  
und mit zuvor bestimmten

$\vec{a}$  Koeffizienten-Vektor des Trainingsdatensatzes,

$\vec{b}$  Ergebnis: Zeitreihe Biogasproduktion

für jeden Fütterungsplan berechnen und mit dem Bedarf vergleichen

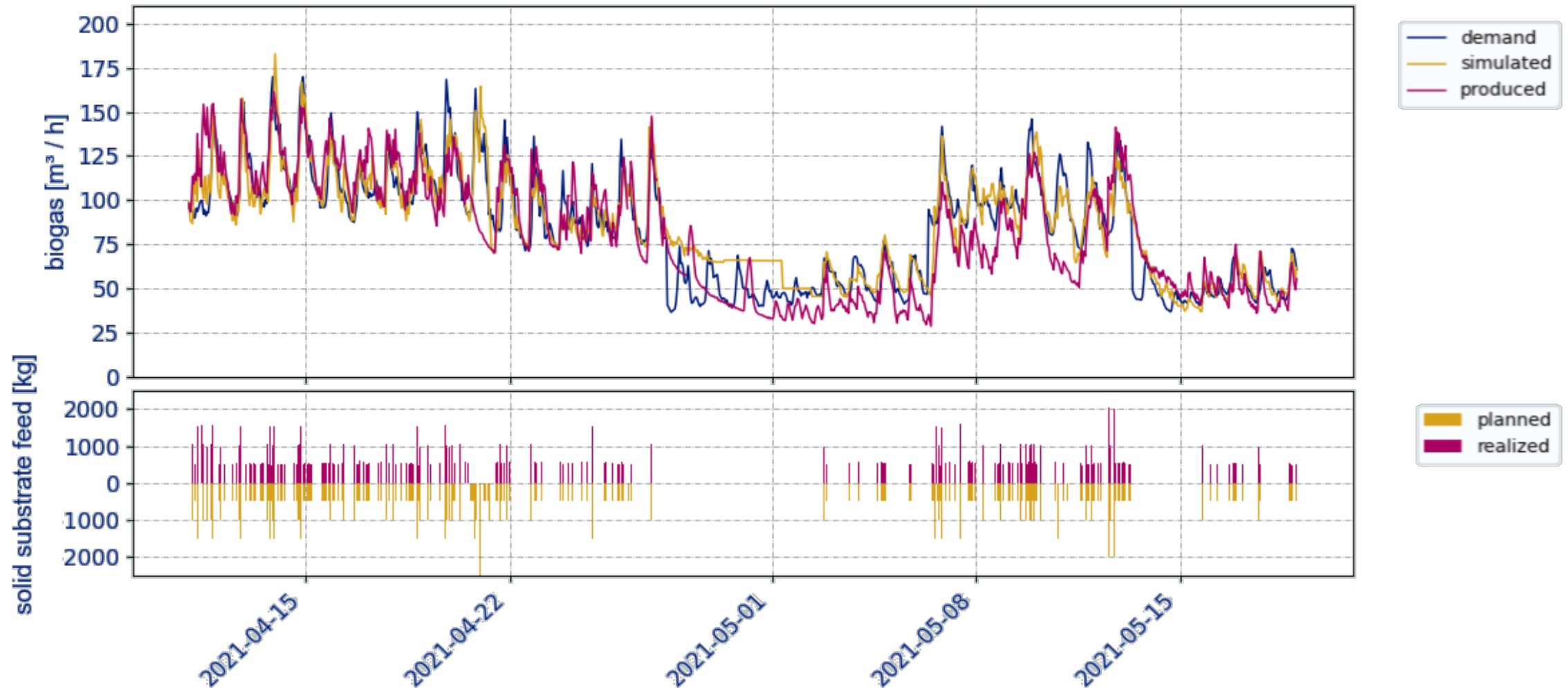
Bedarfsprognose

BHKW-Fahrplan  
Optimierung

Biogasproduktion  
Simulationsmodell

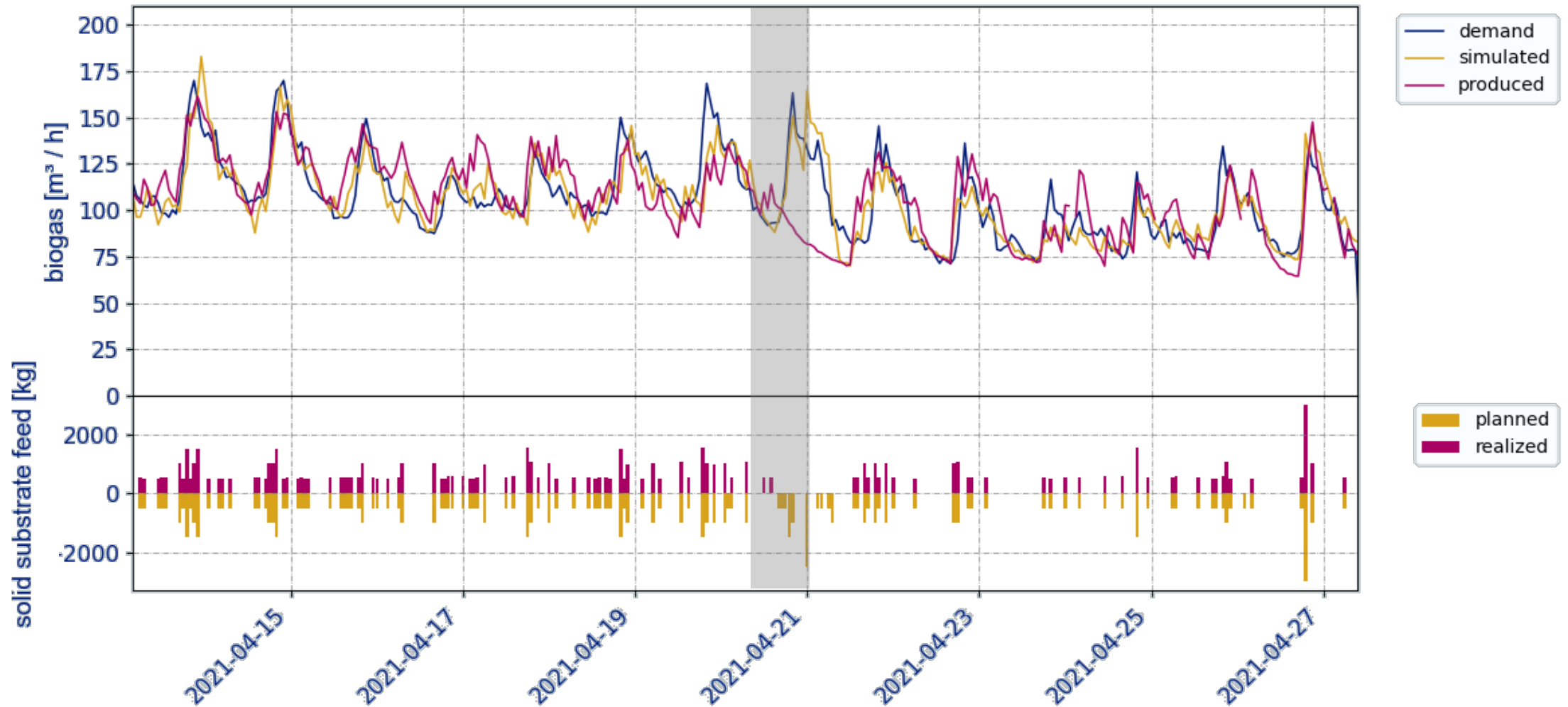
Fütterungs-  
planung

# UMSETZUNG IN DER PRAXIS

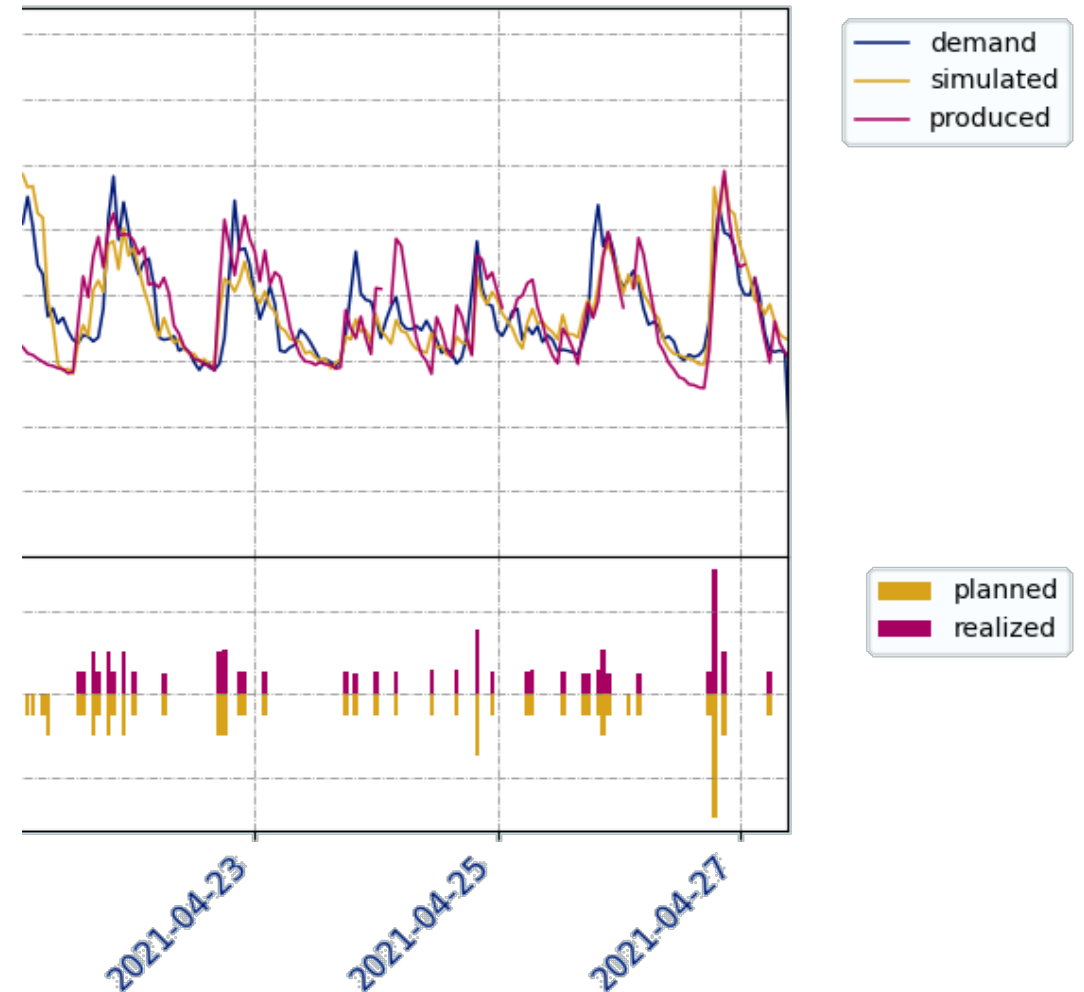
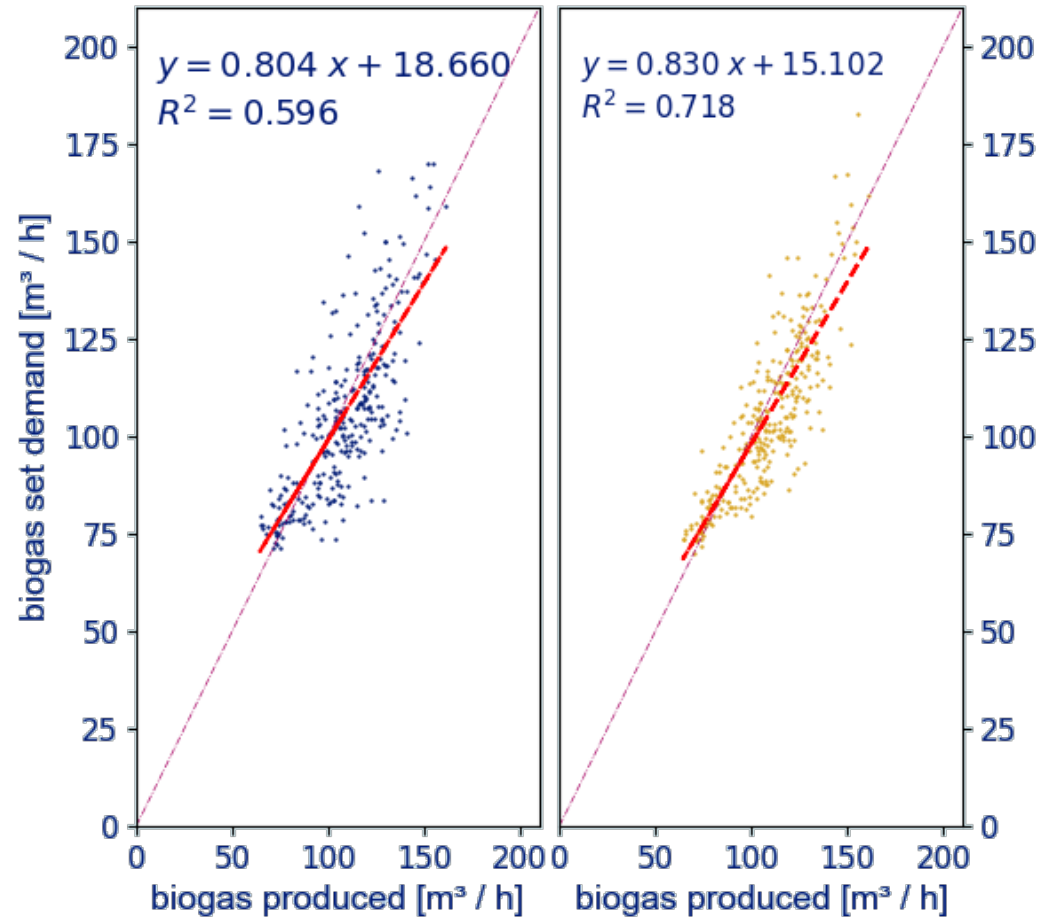




# UMSETZUNG IN DER PRAXIS



# UMSETZUNG IN DER PRAXIS



# FAZIT

- Fundamental neuer Ansatz mit erfolgreicher Praxis-Erprobung
- Einfache Umsetzung auf Bestandsanlagen
- Anlagen-individuelle Umstände werden berücksichtigt
- Autonome Adaption auf andere Biogasanlagen
- Grundlage für weitere Innovationen

# AUSBLICK

- Gewichtetes Trainingsset um Substratwechsel schneller abzubilden
- Zeitreihe der Koeffizienten für Qualitätskontrolle
- Gülleberücksichtigung
- Fütterungsinckremente in verschiedenster Größe
- Feedback-Loop: Gas-Speicher
- Implementierung der Gas-Qualitäts-Kontrolle.



UNIVERSITÄT  
HOHENHEIM

**VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT**

Dr. Johannes Krümpel Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

[j.kruempel@uni-hohenheim.de](mailto:j.kruempel@uni-hohenheim.de)