



**MATHEMATISCHE SIMULATIONEN
ZUR EINBINDUNG VON
REGENERATIVEN ENERGIEQUELLEN
UND SPEICHERTECHNOLOGIEN ZUR
OPTIMIERUNG DES
ENERGIEMANAGEMENTS AUF
KOMMUNALEN KLÄRANLAGEN**

51. ESSENER TAGUNG

14.03.2018, ESSEN

Dr.-Ing. Kristoffer Ooms



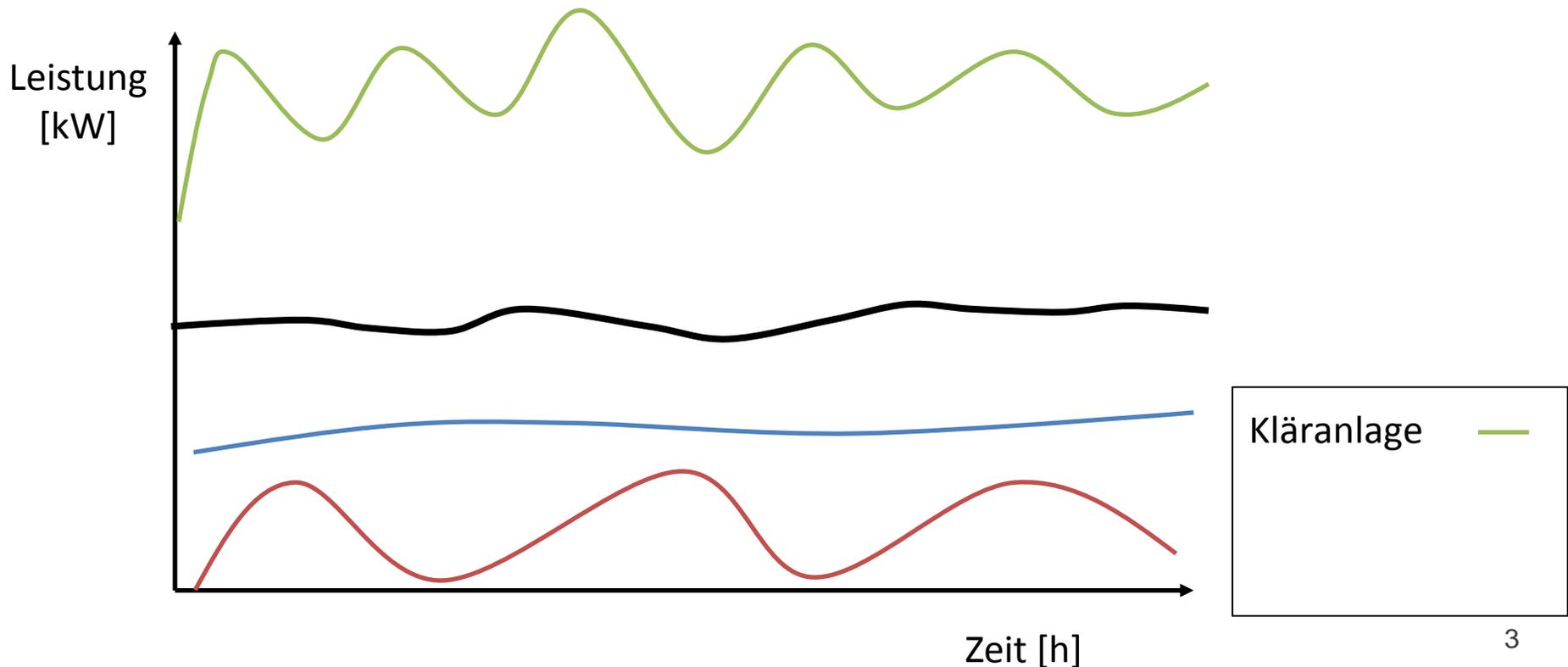
AGENDA



- Hintergrund und Zielsetzung
- Modelltechnische Entwicklung
- Betrachtete Pilotanlagen
- Numerische Simulation und Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

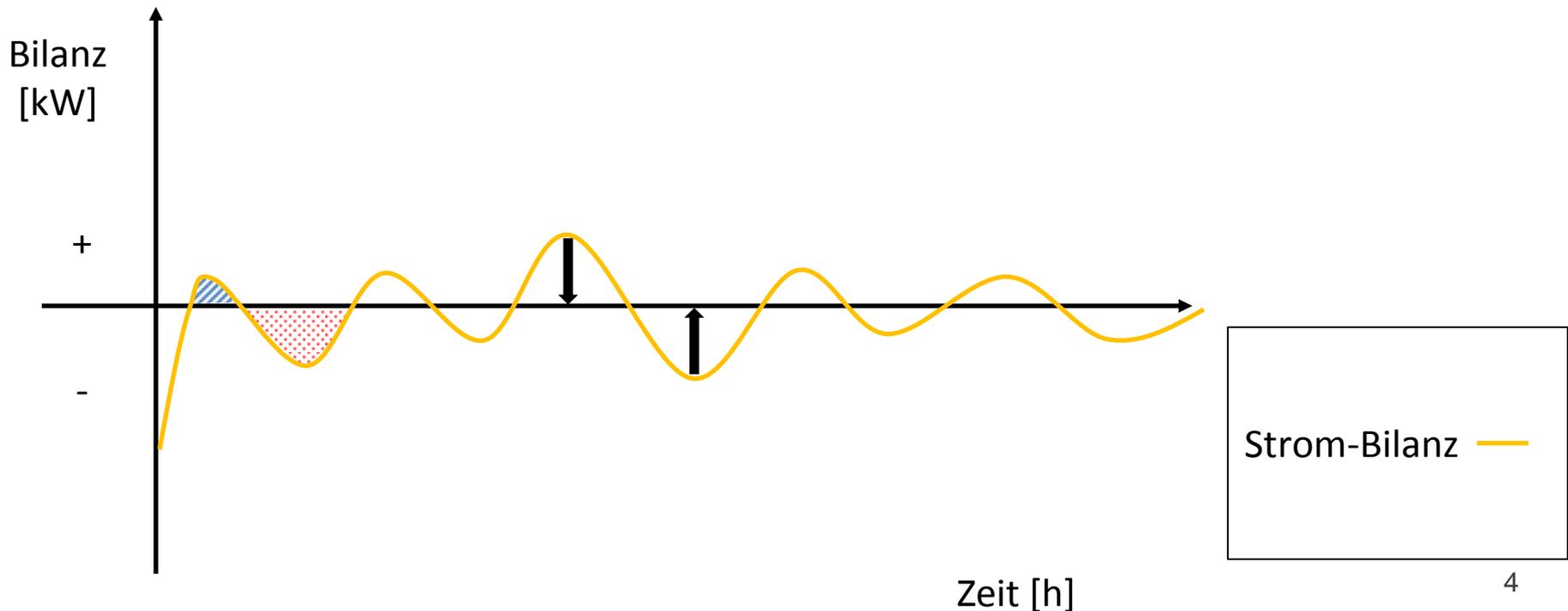
HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG

- **Erweiterung** eines dynamischen Simulationswerkzeuges
- Untersuchung von Energieverbrauch und -erzeugung im zeitlichen Verlauf

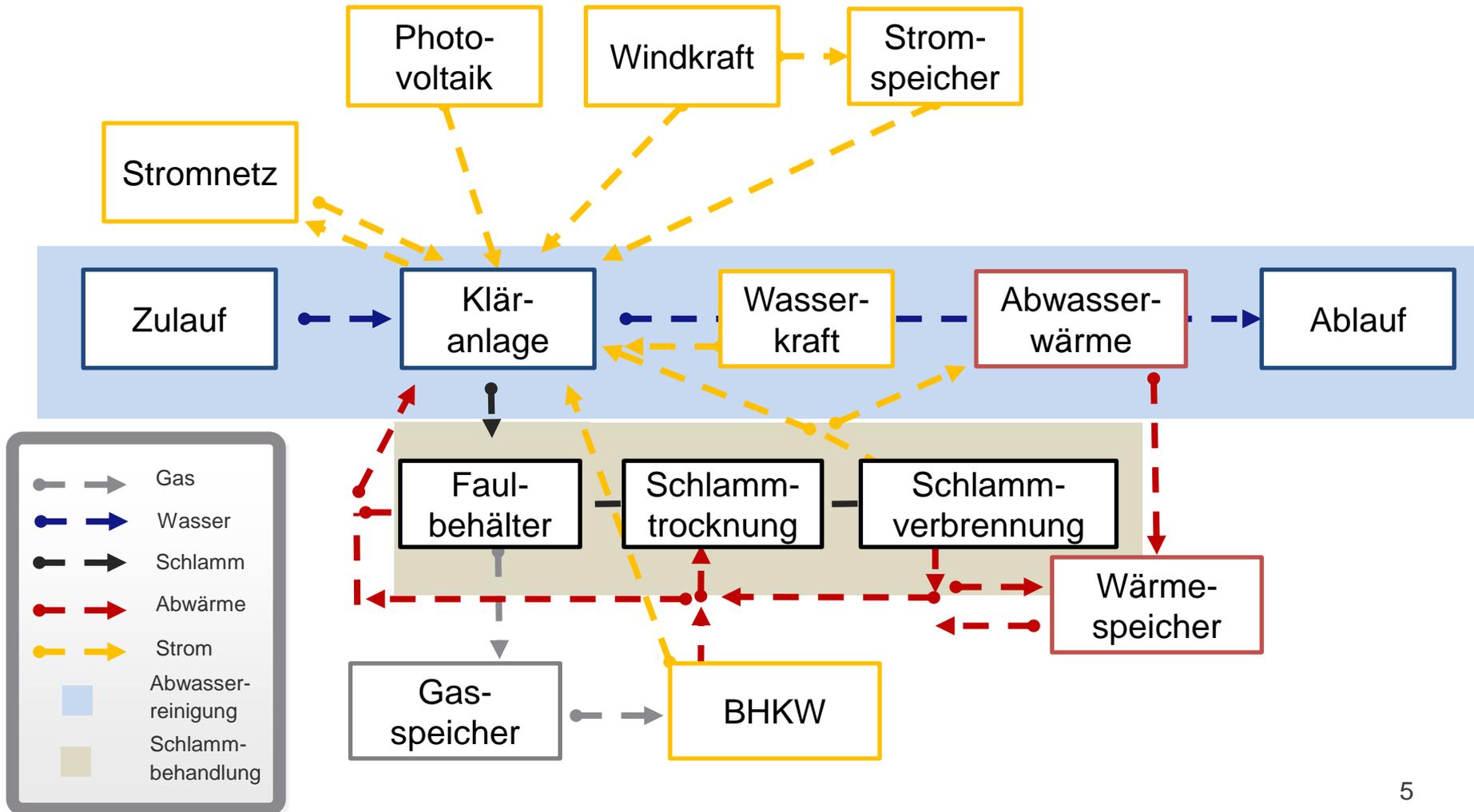


HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG

- **Erweiterung** eines dynamischen Simulationswerkzeuges
- Untersuchung von Energieverbrauch und -erzeugung im zeitlichen Verlauf
- Bilanzierung der **Energieströme** (Strom und Wärme)



ENERGIEMANAGEMENT AUF KLÄRANLAGEN



BESCHREIBUNG DER STOFF- UND ENERGIESTRÖME



Stoffstrommodell

- Abwasserreinigung (ASM), Biogasmodell (ADM)

Elektrisches Modell

- Leistungsaufnahme (P_V) und -abgabe (P_E)

$$\vec{v}_{el} = (P_{el}) [kW]$$

$$P_s = \sum_1^n P_{E,n} - \sum_1^m P_{V,m} [kW]$$

$$W = \int_0^t P(t) dt [kWh]$$

Thermisches Modell

- Wärmetransport via Massenstrom und Temperatur

$$\vec{v}_{th} = \begin{pmatrix} \dot{m} \\ T \end{pmatrix}$$

PILOTANLAGEN



KA Bottrop



Große Anlage > 750.000 EW
Klärschlammkraftwerk
Freiflächen für **PV** und **WKA**

Energieverbrauch:

46 GWh/a (59,7 kWh/EW*a)

76 % Deckung aus BHKW + WSO

*nur KA: 31 GWh/a (39,8 kWh/EW*a)*

KA Iserlohn-Baarbachtal



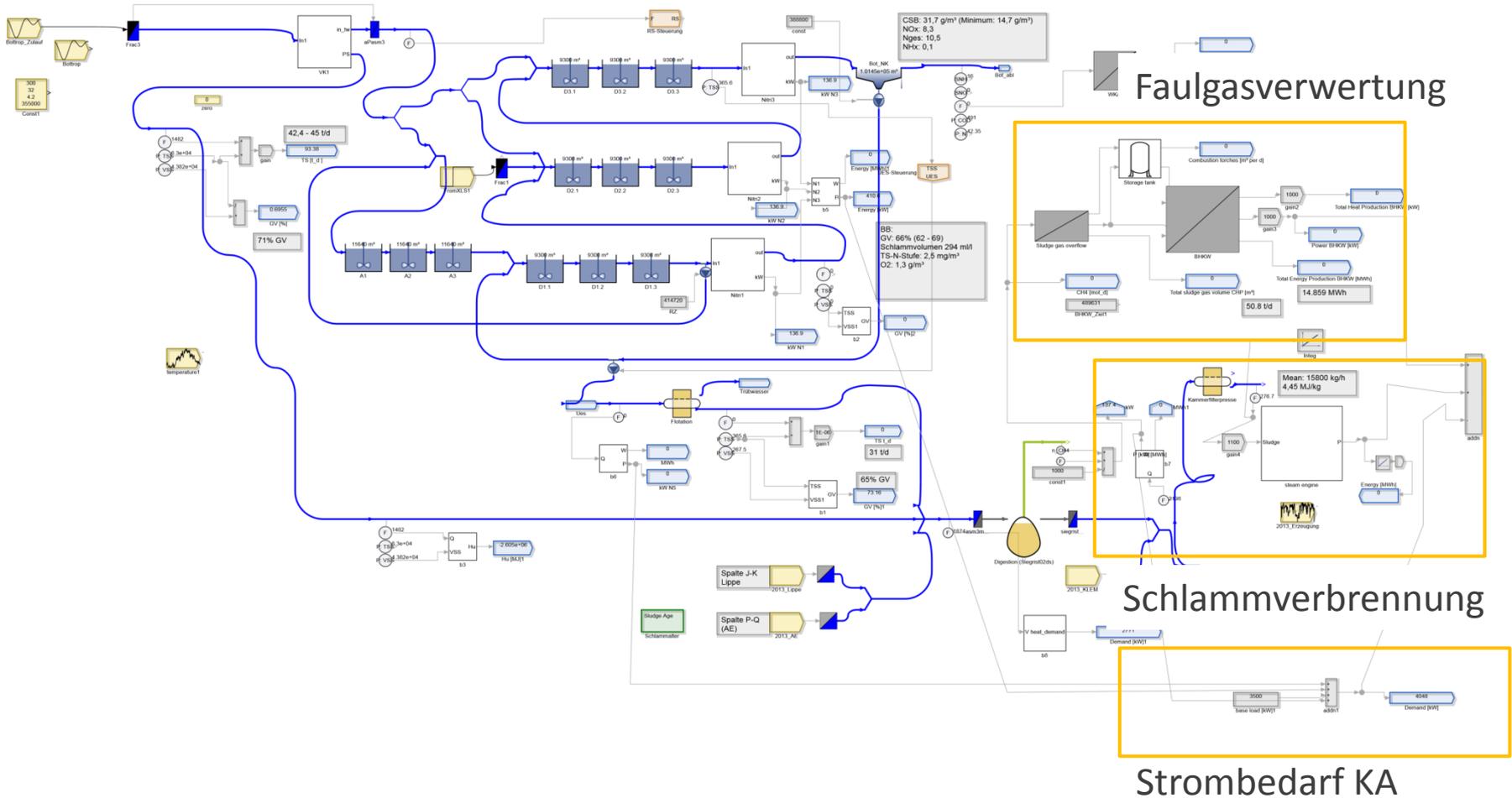
mittlere Anlage ca. 65.000 EW
Freiflächen für **PV**

Energieverbrauch:

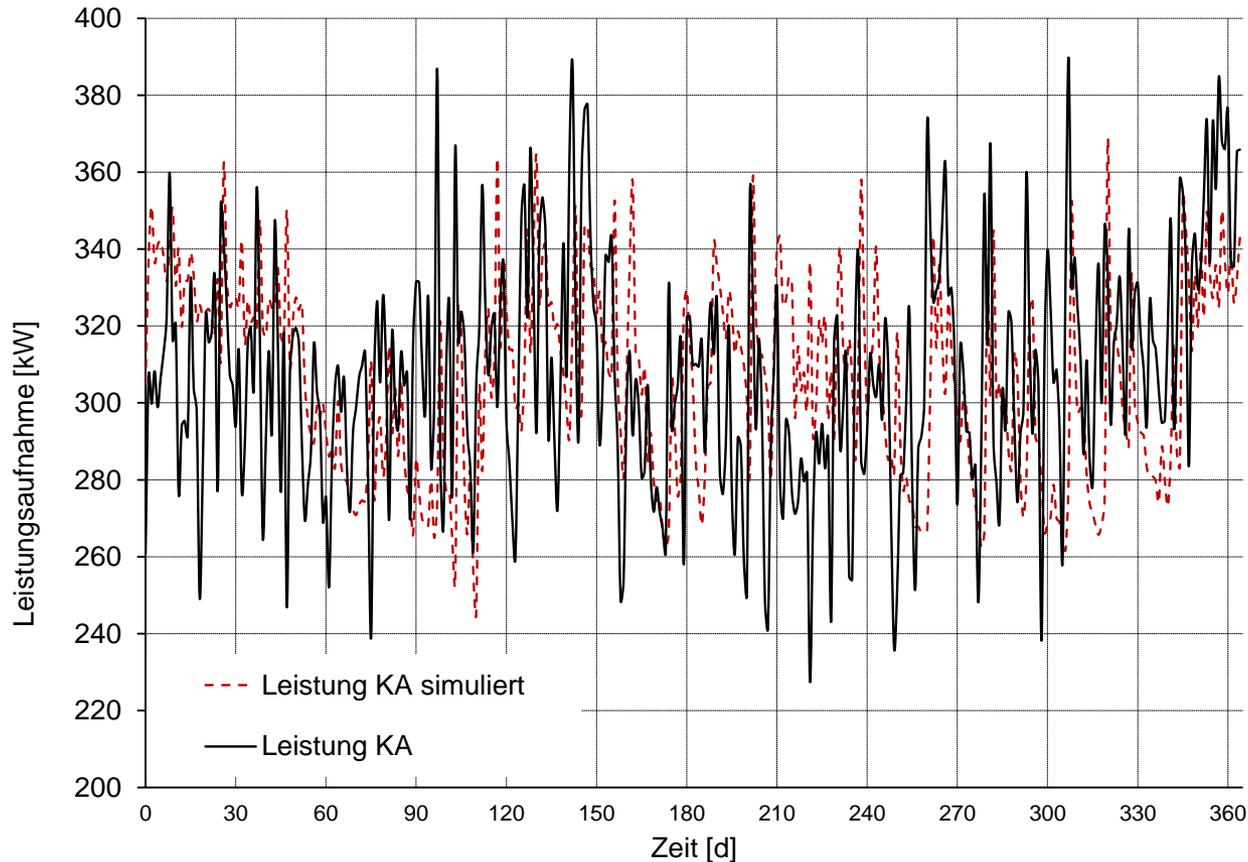
2,7 GWh/a (43 kWh/EW*a)

50 % Deckung aus BHKW

MODELL DER KLÄRANLAGE BOTTROP



MODELLKALIBRIERUNG – ENERGIEAUFNAHME



Iserlohn-Baarbachtal

Energieverbrauch 2014

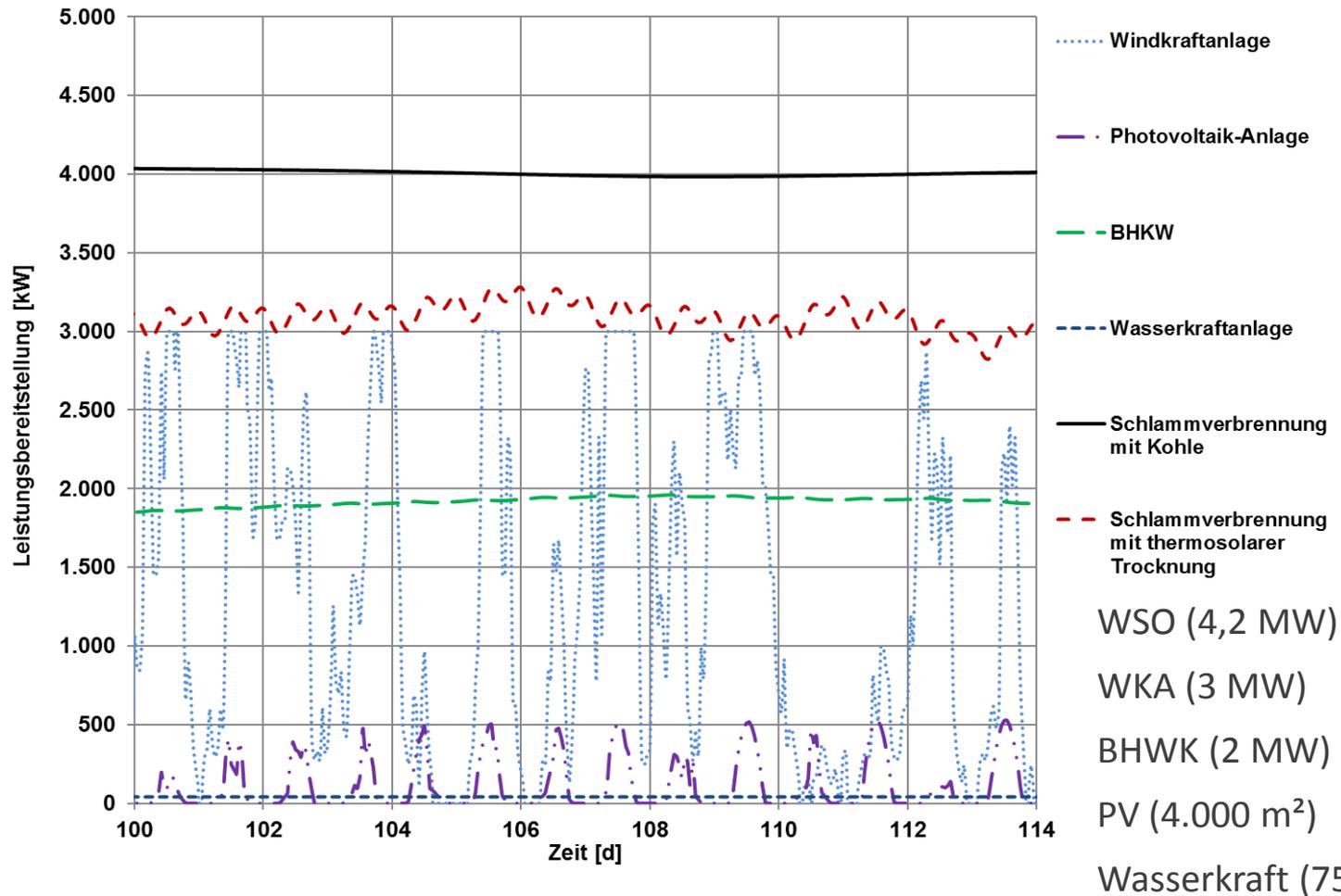
Korrelationskoeffizient:

0,97

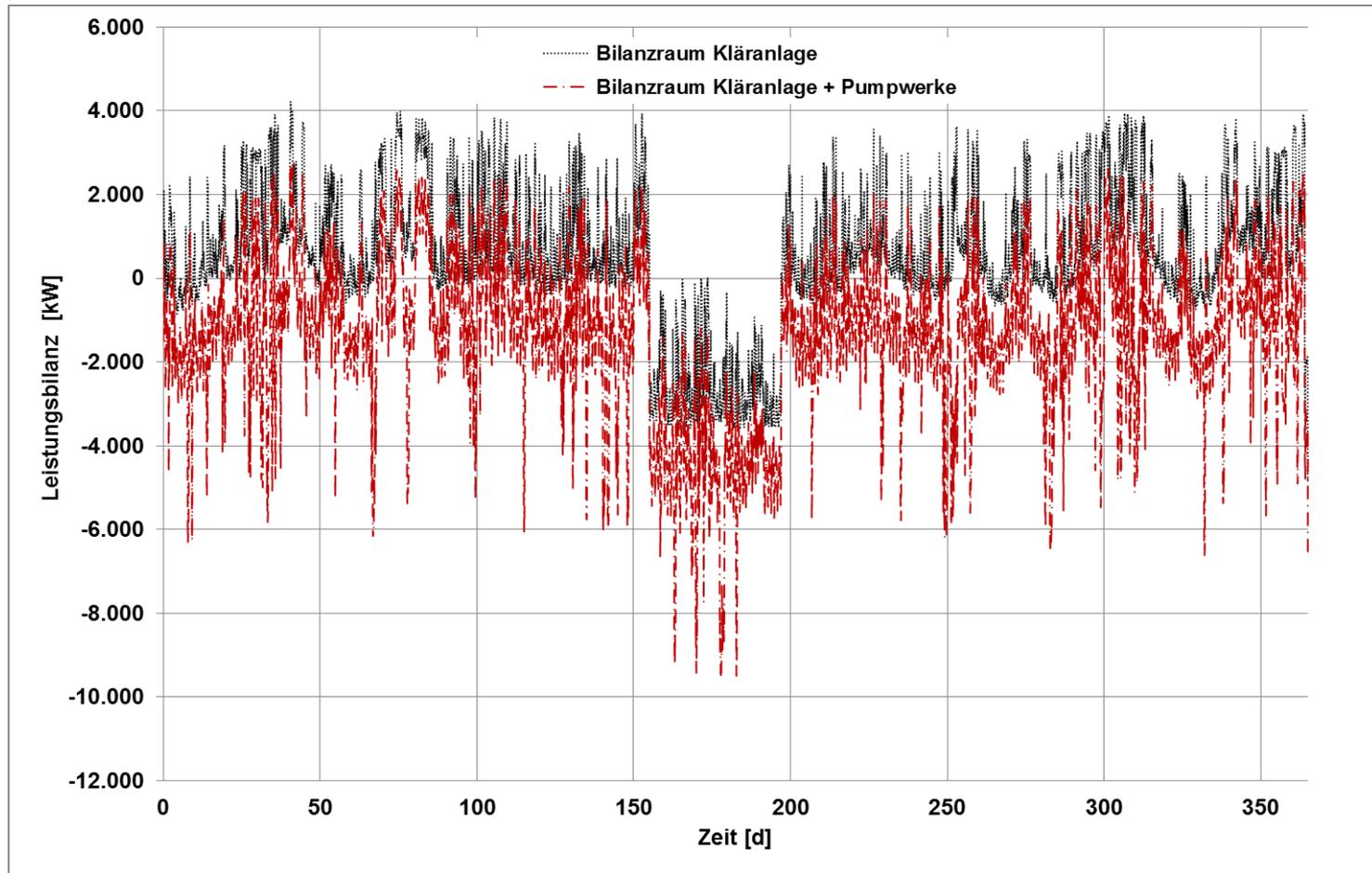
Ist: 2.690 MWh

Simuliert: 2.683 MWh

ELEKTRISCHER ENERGIEERTRAG BEISPIEL KLÄRANLAGE BOTTROP



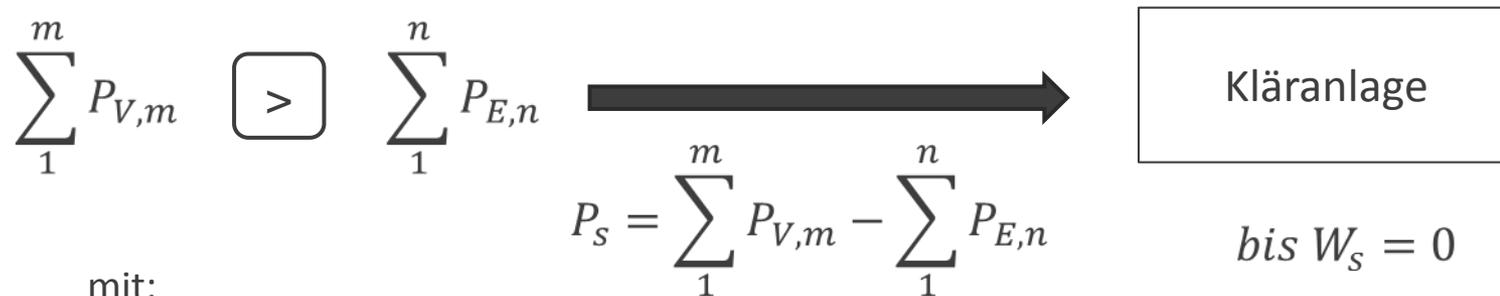
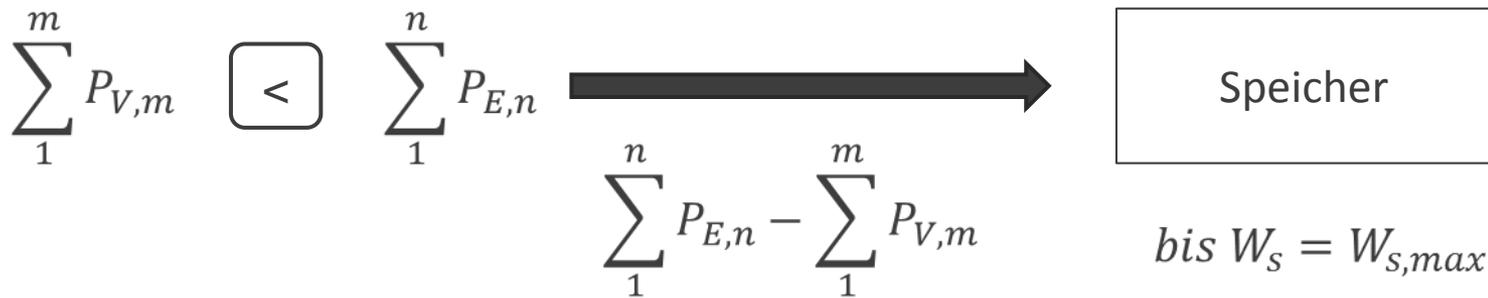
ELEKTRISCHE ENERGIEBILANZEN AUF EINER KLÄRANLAGE



ENERGETISCHES BILANZMODELL

$$P_{KA} = \sum_1^n P_{E,n} - \sum_1^m P_{V,m} \text{ [kW]}$$

$\Rightarrow P_{KA} > 0 \triangleq$ Energieüberschuss
 $\Rightarrow P_{KA} < 0 \triangleq$ Energiebedarf

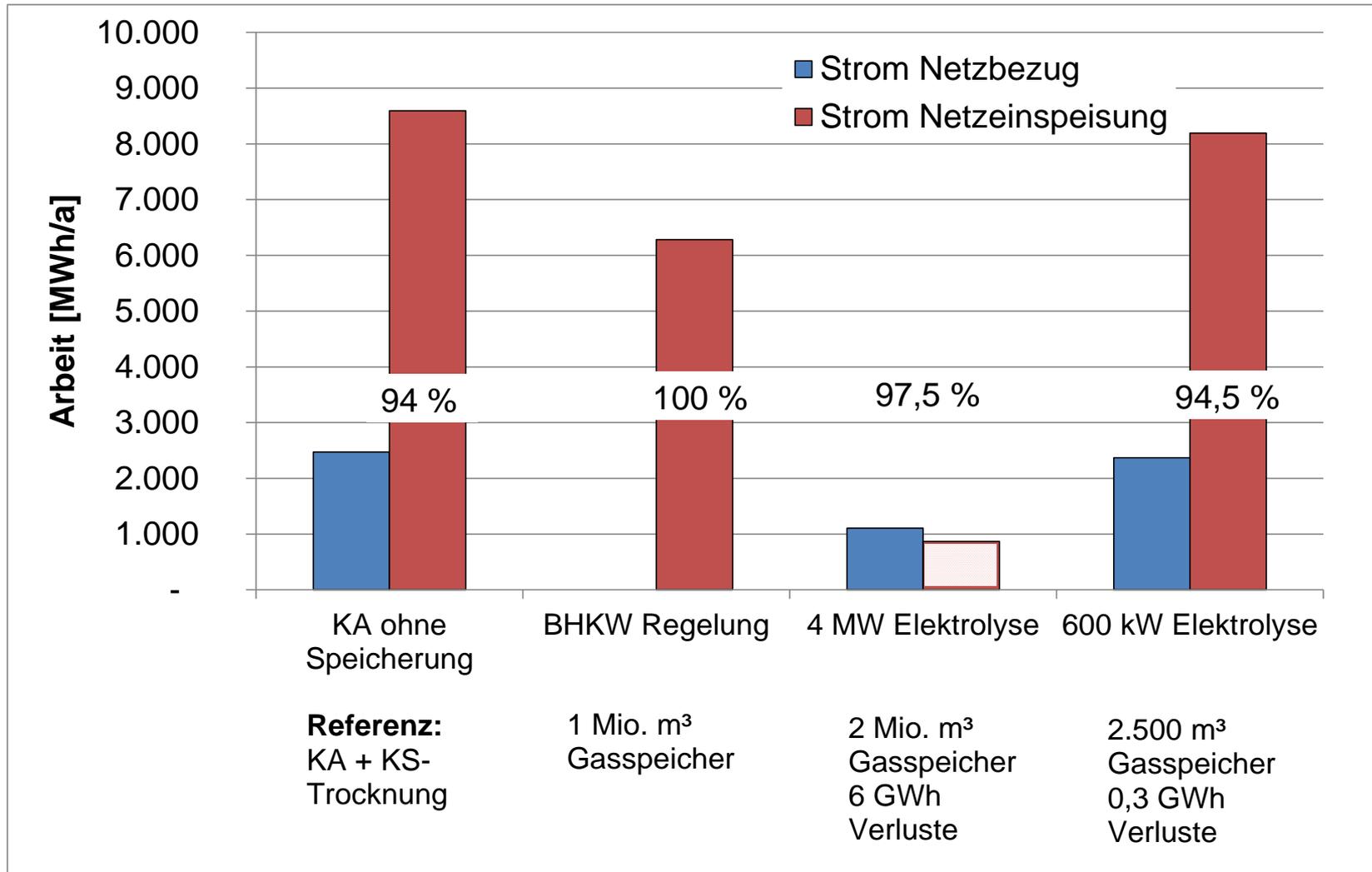


mit:

[kW]

- P_S : Leistungsbilanz des Systems [kW]
- P_V : Leistungsaufnahme der Verbraucher
- P_E : Leistungsabgabe der Erzeuger [kW]
- W_S : Energiemenge des Speichers [kWh]

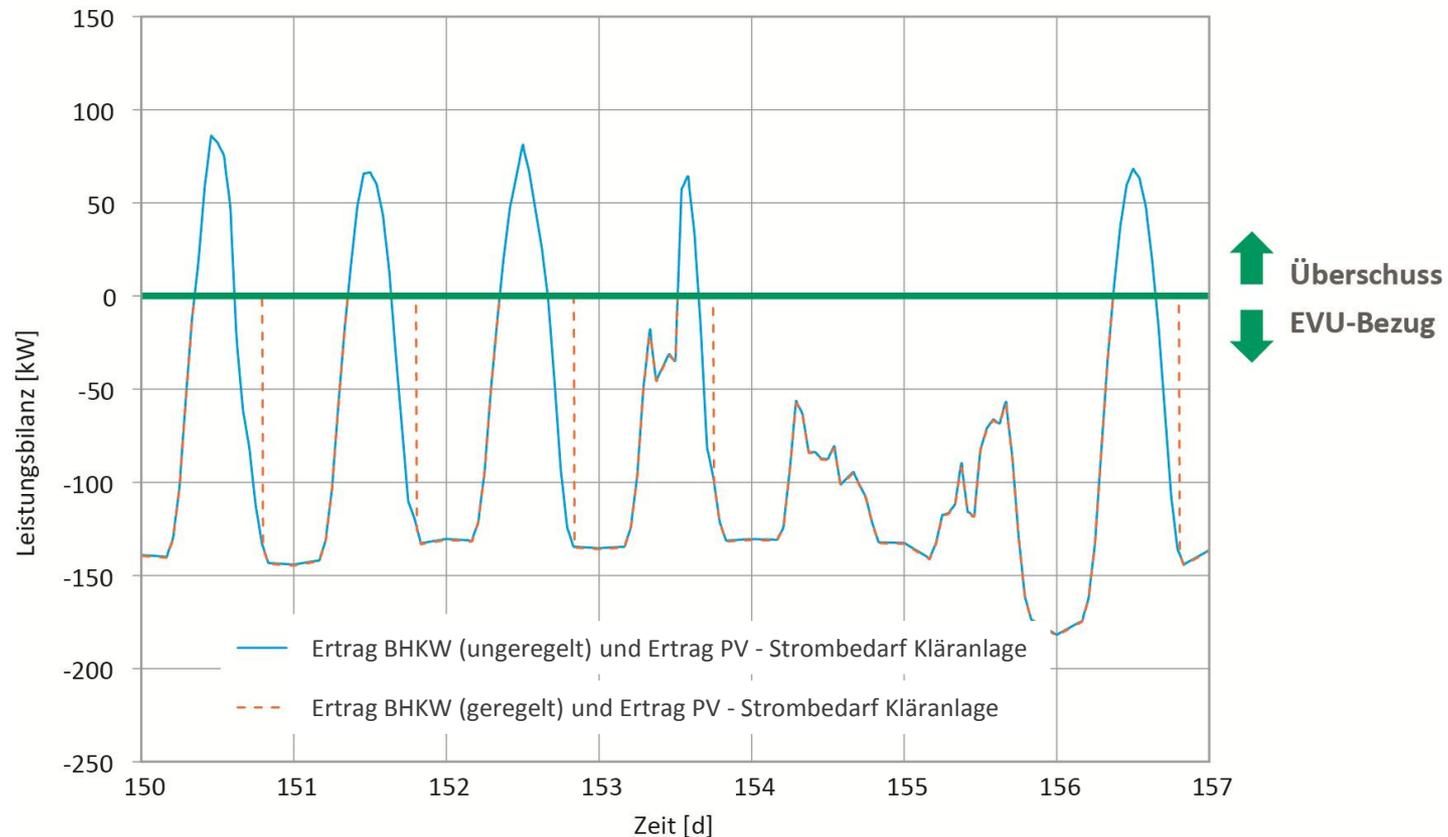
MÖGLICHKEITEN DER ENERGIESPEICHERUNG



ENERGIEMANAGEMENT DURCH BHKW-REGELUNG



Kläranlage: 2.683 MWh Ertrag BHKW: 1.431 MWh Ertrag PV: 362 MWh
Netzbezug: 926 MWh 891 MWh
Überschusseinspeisung: 37 MWh 0 MWh



ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK



- Entwicklung eines integrierten Simulationsmodell für biochemische, elektrische und thermische Prozesse auf Kläranlagen.
- Fluktuierende Energie- und Stoffströme können realistisch abgebildet werden.
- Thermische und elektrische Energie kann dynamisch über einen beliebigen Zeitraum mit hoher Auflösung bilanziert werden.
- Iterative Ableitung idealer Erzeugungs- und Speicherkapazitäten zur Optimierung des Energiemanagements und zur Planung.
- Das Modell ist um zusätzliche Technologien frei erweiterbar.
- Weitergehende energetische Betrachtungen der Verfahrenstechnik ermöglichen eine dynamische Energieanalyse und verbesserte Energiebilanz von Maßnahmen.
- Ableitung von Betriebsunterstützungsmaßnahmen anhand von Prognosedaten.



VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

Forschungsinstitut für Wasser- und
Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen e.V.
Kackertstraße 15 – 17 · 52056 Aachen
www.fiw.rwth-aachen.de

Dr.-Ing. Kristoffer Ooms
Tel. +49 (0) 241 80 2 68 22
Ooms@fiw.rwth-aachen.de