

# arrivee



Abwasserreinigungsanlagen als Regelbaustein  
in intelligenten Verteilnetzen mit  
erneuerbarer Energieerzeugung

DWA Energietage 2015

Oliver Gretzschel, Michael Schäfer, Theo G. Schmitt, FG Siwawi TU Kaiserslautern  
Inka Hobus, WiW mbH, Wuppertal

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



NaWaM  
Nachhaltiges Wassermanagement



ERWAS

# Gliederung

Hintergrund und Grundlagen

Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte

Potenziale und Regelkonzept

Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb

Märkte für Flexibilität

Zusammenfassung und Ausblick



**Vorweg:**

# !!! Übergeordnetes Ziel = Abwasserreinigung !!!

## Zusatzaufgabe: AbwVO Anh.1 B

(2) Abwasseranlagen sollen so errichtet, betrieben und benutzt werden, dass eine energieeffiziente Betriebsweise ermöglicht wird. Die bei der Abwasserbeseitigung entstehenden Energiepotenziale sind, soweit technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar, zu nutzen.

Hintergrund und Grundlagen

Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte

Potenziale und Regelkonzept

Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb

Märkte für Flexibilität

Zusammenfassung und Ausblick

## Status Quo:

- KWK-Strom dient in der Regel der **Eigendeckung des Stromverbrauchs** für die Behandlung des zugeführten Abwassers und des anfallenden Überschussschlammes.

## Projektziele:

- **Kläranlagen** mit anaerober Stabilisierung bieten mit den vorhandenen KWK-Anlagen und den zugehörigen Gasspeichern hervorragende technische Voraussetzungen, um **System- und Netzdienstleistungen für Verteil-** (Spannungshaltung) und **Übertragungsnetze** (Frequenzhaltung mit Hilfe von Regelernergie) zur Verfügung zu stellen.
- Überprüfung weiterer Anlagenkomponenten zur **Bereitstellung dieser Dienstleistungen** unter den Aspekten der Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit.
- Entwicklung einer Systemlösung zur **Integration von Kläranlagen** mit separater, anaerober Schlammstabilisierung **in ein Speicher- und Regelernergiekonzept.**

Hintergrund und Grundlagen

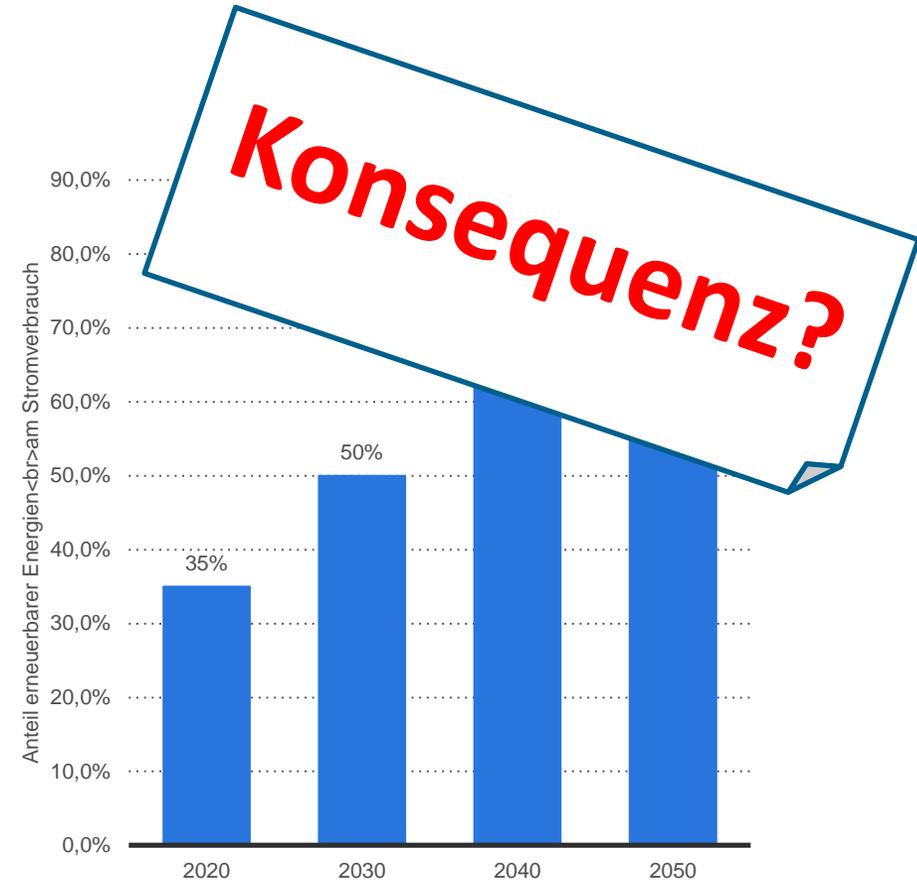
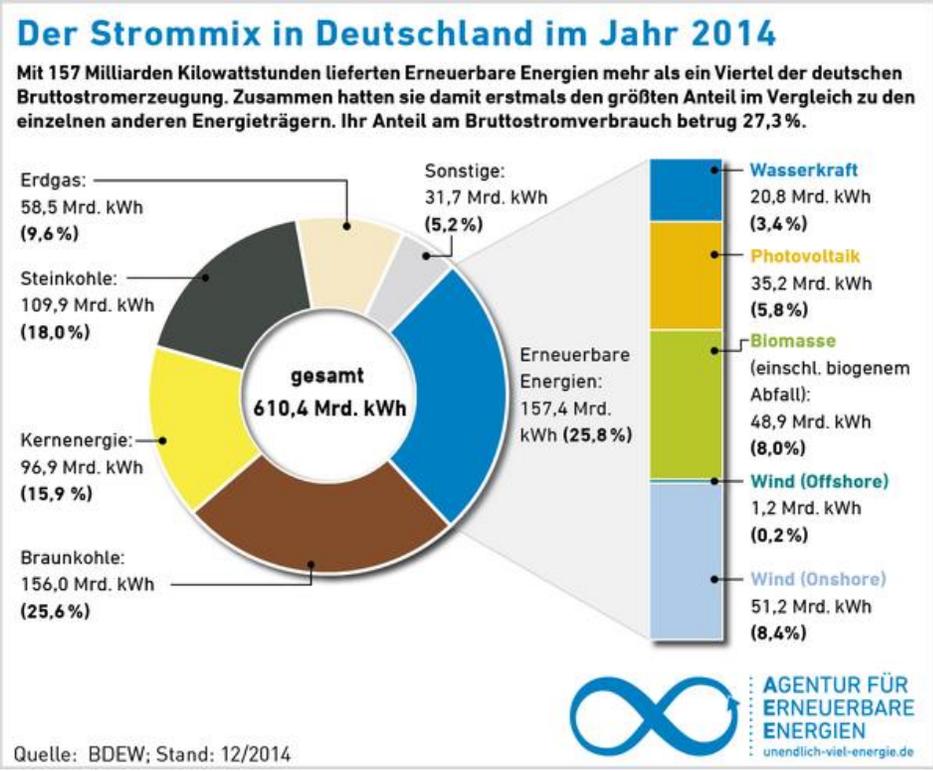
Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte

Potenziale und Regelkonzept

Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb

Märkte für Flexibilität

Zusammenfassung und Ausblick



Hintergrund und Grundlagen

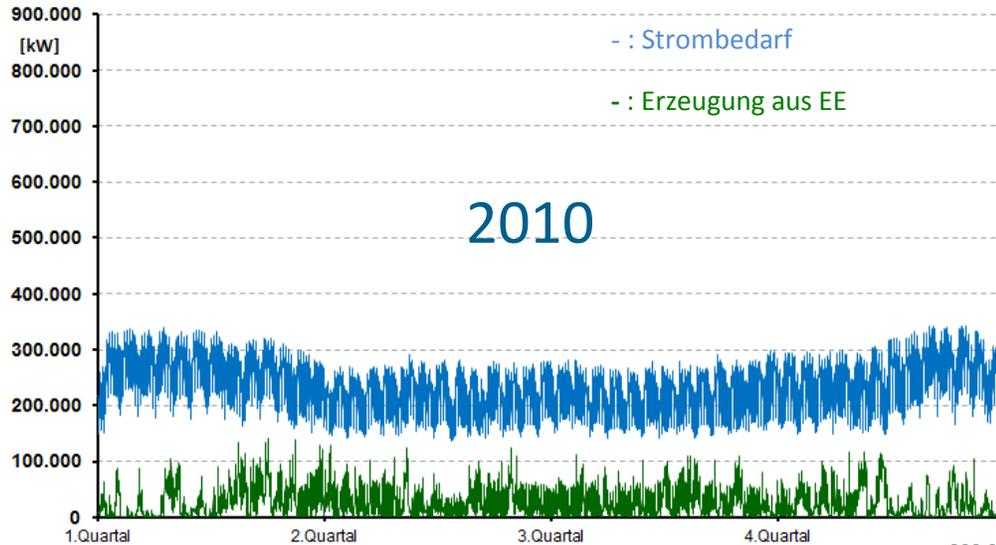
Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte

Potenziale und Regelkonzept

Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb

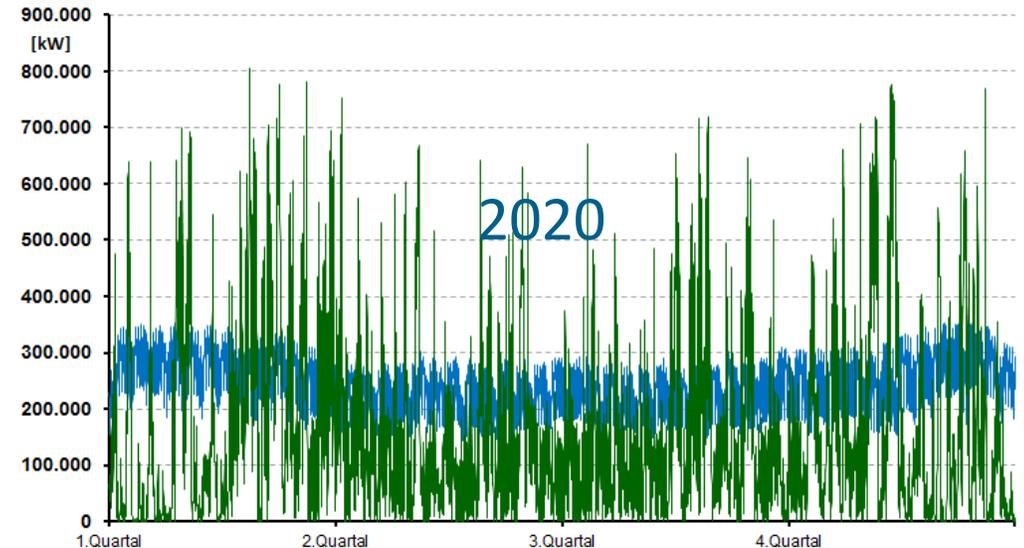
Märkte für Flexibilität

Zusammenfassung und Ausblick

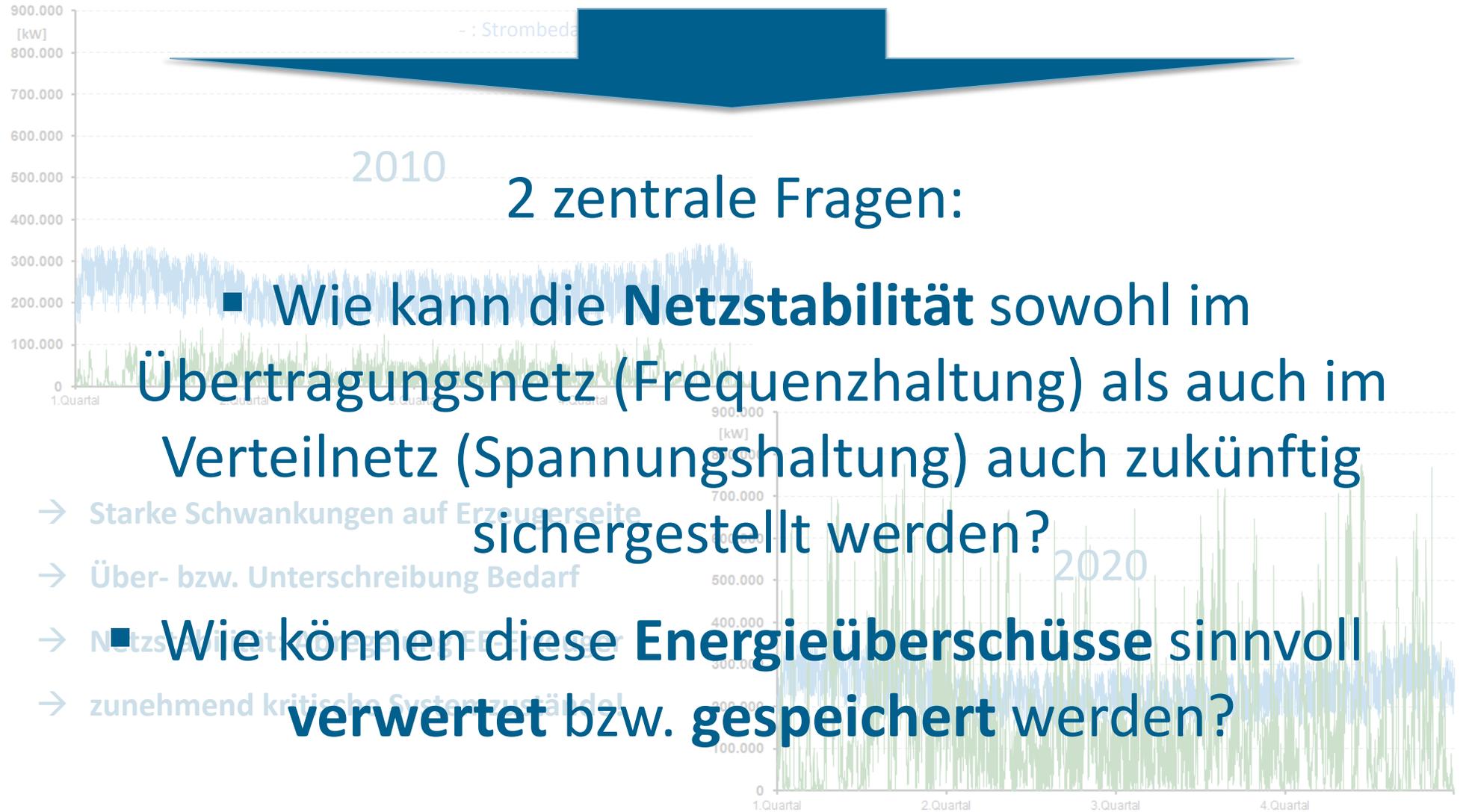


- Bedarf > EE-Erzeugung
- Unterschreibung Bedarf
- Netzstabilität: unproblematisch
- keine kritischen Systemzustände!

- Starke Schwankungen auf Erzeugerseite
- Über- bzw. Unterschreibung Bedarf
- Netzstabilität: Abregelung EE-Erzeuger
- zunehmend kritische Systemzustände!



- Hintergrund und Grundlagen
- Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte
- Potenziale und Regelkonzept
- Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb
- Märkte für Flexibilität
- Zusammenfassung und Ausblick



Hintergrund und Grundlagen

Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte

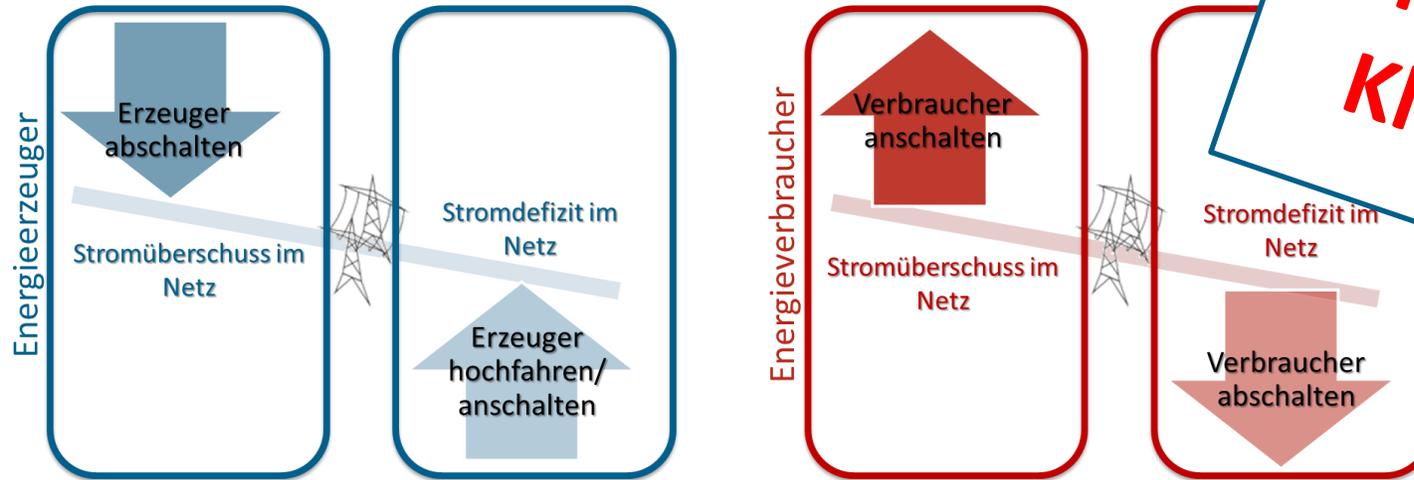
Potenziale und Regelkonzept

Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb

Märkte für Flexibilität

Zusammenfassung und Ausblick

## → Flexibilitätsoptionen



**Flexibilität auf Kläranlagen?**

Stromverbraucher bzw. -erzeuger = **Flexibilitätsoption**  
 Flexible Fahrweise → flexible Last → Dienstleistung  
 Markt: abh. von Anlagencharakteristik (z. B. Geschwindigkeit des Anfahrens)

Hintergrund und Grundlagen

**Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte**

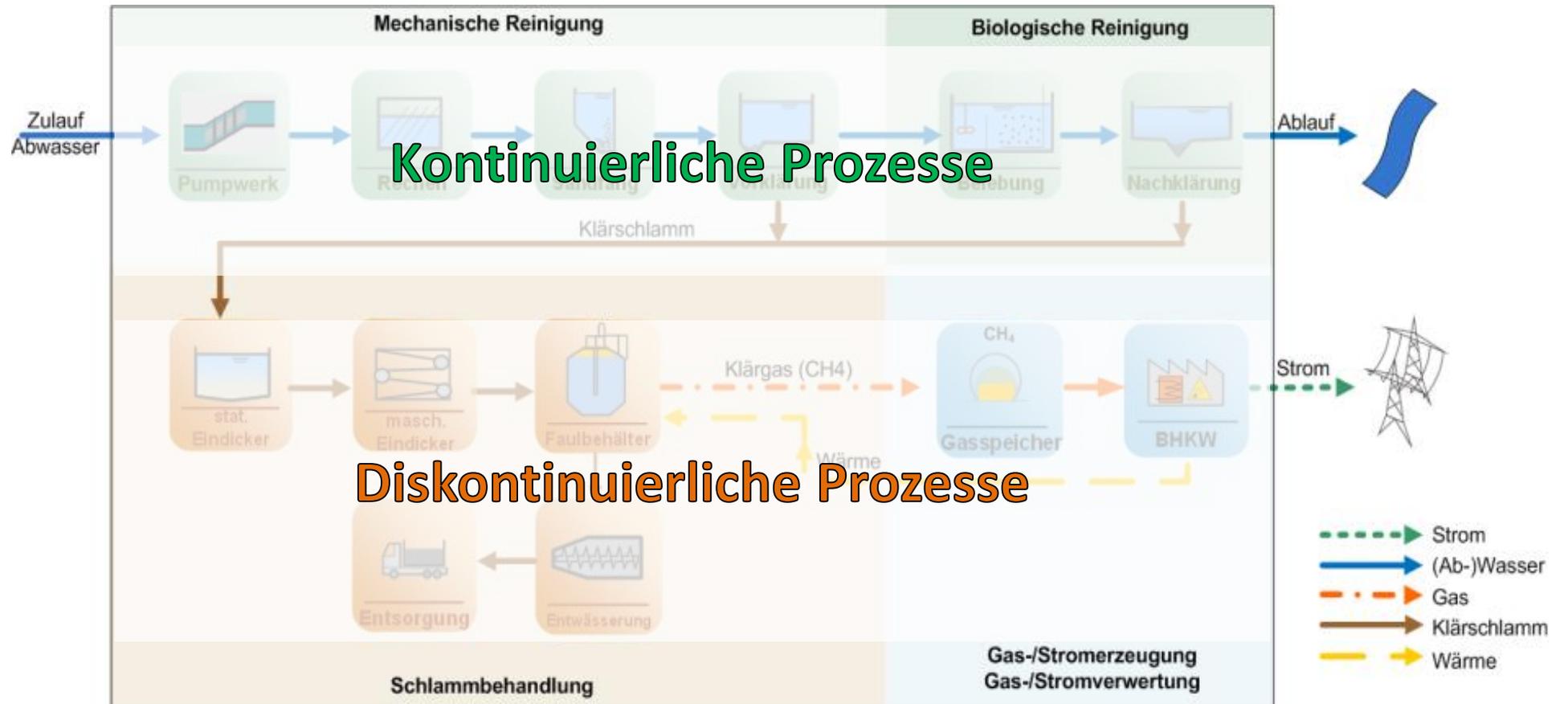
Potenziale und Regelkonzept

Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb

Märkte für Flexibilität

Zusammenfassung und Ausblick

## ... im Kläranlagebestand



Hintergrund und Grundlagen

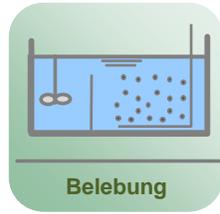
Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte

Potenziale und Regelkonzept

Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb

Märkte für Flexibilität

Zusammenfassung und Ausblick



Belebung



Faulbehälter



Gasspeicher



BHKW



**Größter Stromverbraucher**

Regeloptionen:

- Intermittierender Betrieb
- Nutzung von Reinsauerstoff

**Konstante CH<sub>4</sub> Produktion**

Regeloptionen:

- Co-Fermentation
- Zusätzliche Methanproduktion durch Zugabe von H<sub>2</sub>

**Lokale Zwischenspeicherung**

Regeloptionen:

- Zwischenspeicherung zur effizienten Nutzung des BHKWs und des Elektrolyseurs

**Strom- und Wärmeproduktion**

Regeloptionen:

- Nutzung bei freien Kapazitäten
- Nutzung von redundanten BHKWs und Notstromaggregaten

**Bestand**

+ weitere Aggregate z. B. der Schlammwässerung oder Netzersatzanlagen

Hintergrund und Grundlagen

**Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte**

Potenziale und Regelkonzept

Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb

Märkte für Flexibilität

Zusammenfassung und Ausblick

## ... durch innovative Anlagentechnik

### Hintergrund:

- Nutzung vorhandener Infrastruktur  
→ Faulturm, BHKW, Gasspeicher
  
- Verwertung vorhandener Ressourcen  
→ regeneratives CO<sub>2</sub>
  
- Optimierung der Flexibilitätsoptionen  
→ Reaktion auf Bedarf in den Netzen



Hintergrund und Grundlagen

**Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte**

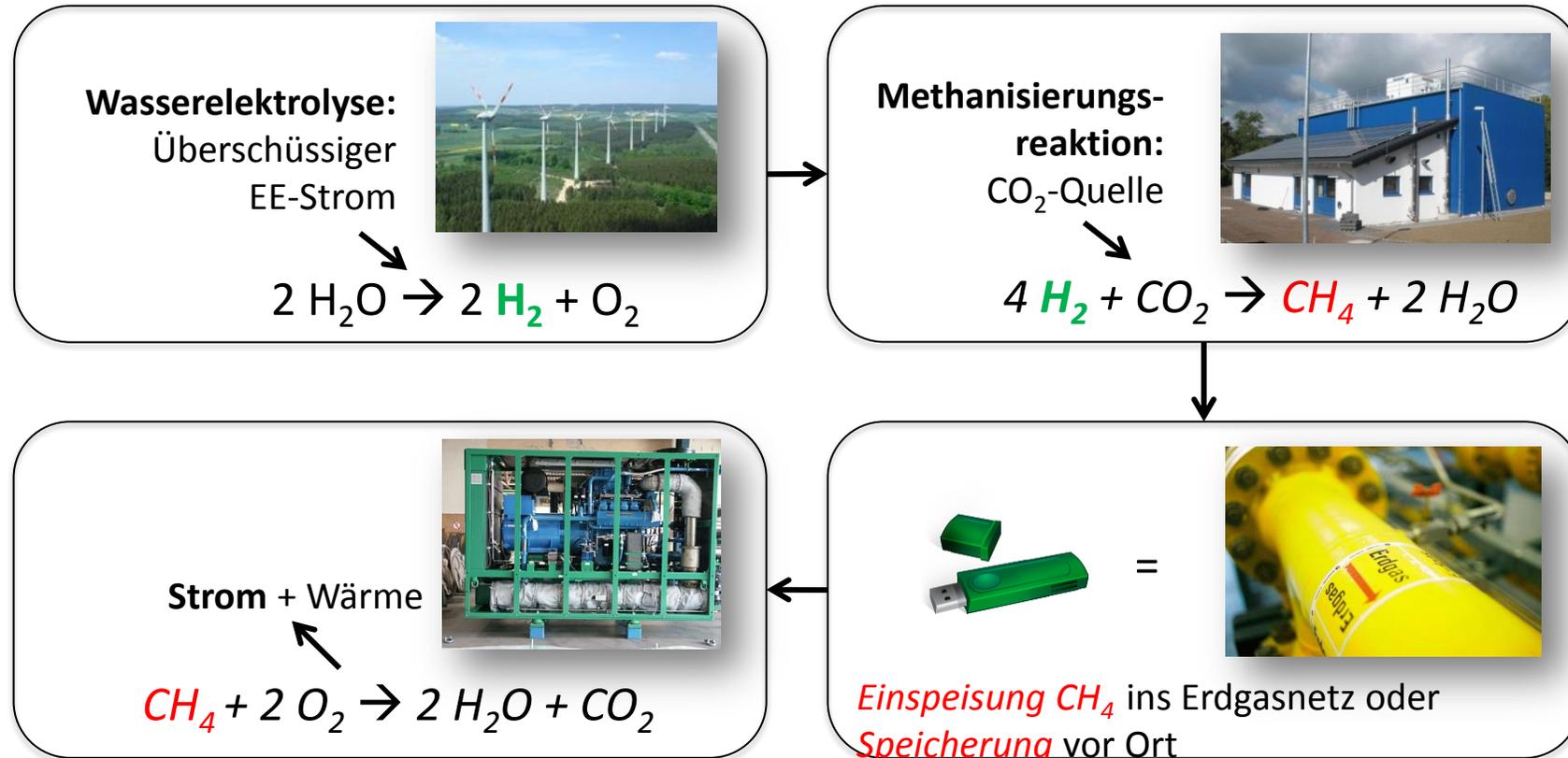
Potenziale und Regelkonzept

Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb

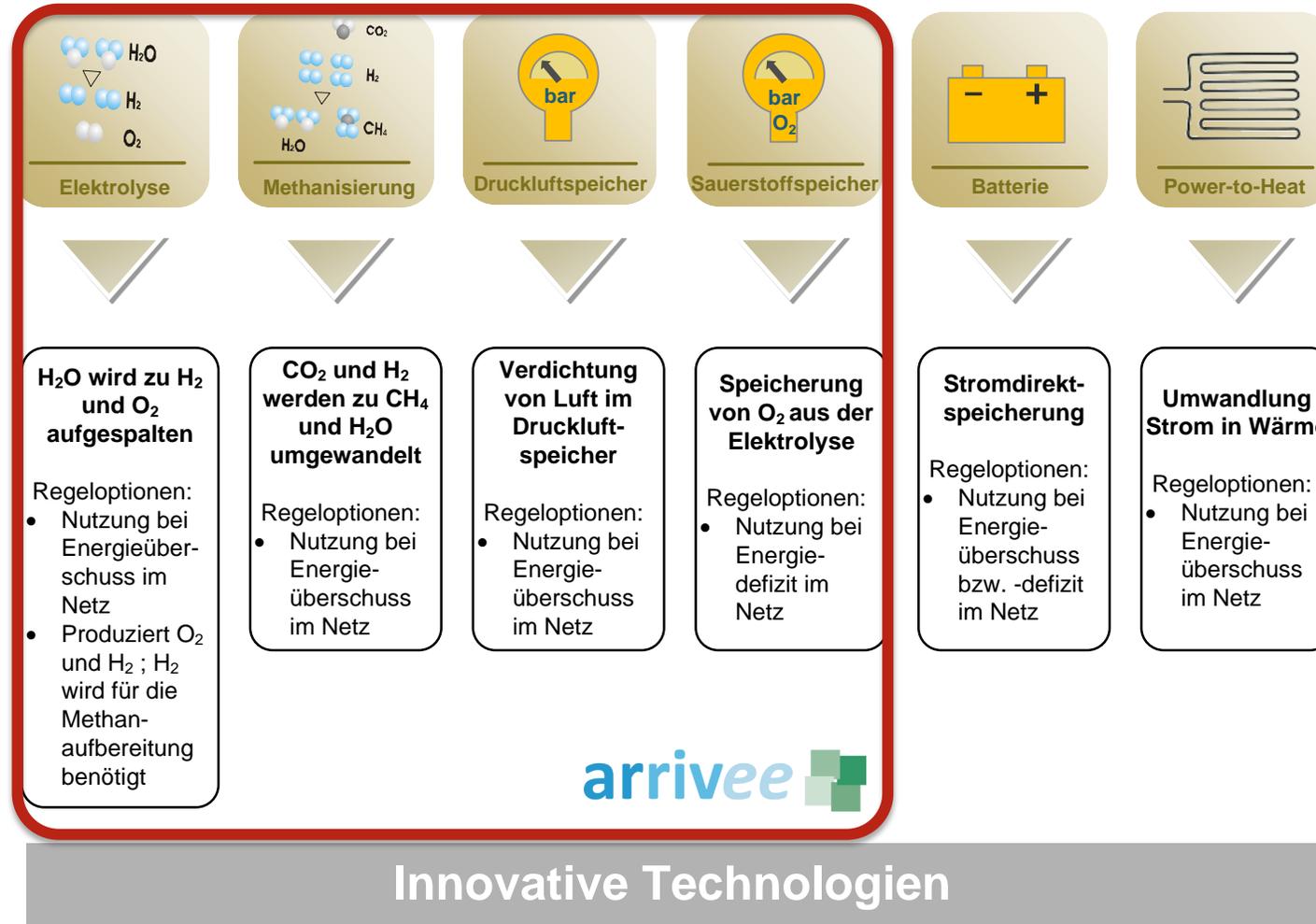
Märkte für Flexibilität

Zusammenfassung und Ausblick

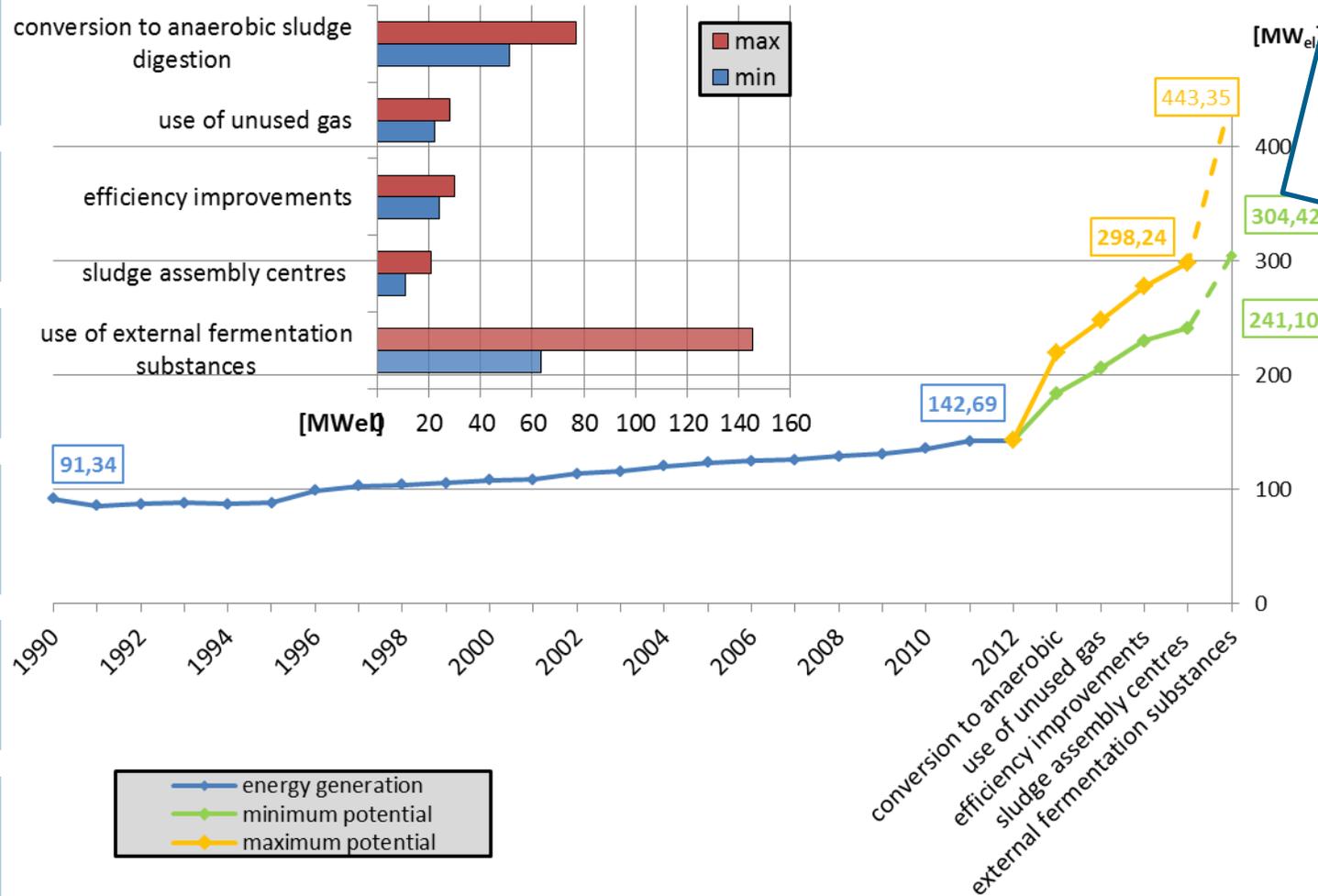
## ... durch innovative Anlagentechnik, z. B. Power-to-Gas



- Hintergrund und Grundlagen
- Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte**
- Potenziale und Regelkonzept
- Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb
- Märkte für Flexibilität
- Zusammenfassung und Ausblick



- Hintergrund und Grundlagen
- Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte
- Potenziale und Regelkonzept**
- Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb
- Märkte für Flexibilität
- Zusammenfassung und Ausblick



**Kläranlagenpotenzial:**  
**300 MW<sub>el</sub>**  
**→ ca. 15% Anteil der**  
**neg. MRL**

Hintergrund und  
Grundlagen

## optimierte Bestand (KWK)

- 300 MW<sub>el</sub>
- ca. 15% der derzeit erforderlichen neg. Regelleistung

Flexibilitätsoptionen  
und Anlagenkonzepte

**Potenziale und  
Regelkonzept**

## Integration Elektrolyse

- **Variante 1:** Wenn Elektrolyse läuft wird H<sub>2</sub> erzeugt um anfallendes CO<sub>2</sub> zu methanisieren
- **Varianten 2:** H<sub>2</sub> wird im „Überschuss“ erzeugt, um auch dann zu methanisieren, wenn keine Elektrolyse betrieben wird

Auswirkungen auf  
den Anlagenbetrieb

Märkte für Flexibilität

Zusammenfassung  
und Ausblick

- **CO<sub>2</sub>-Verwertungsgrad beeinflusst Elektrolyseleistung: 5 ... 14 \* P<sub>KWK</sub>**

Hintergrund und Grundlagen

Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte

**Potenziale und Regelkonzept**

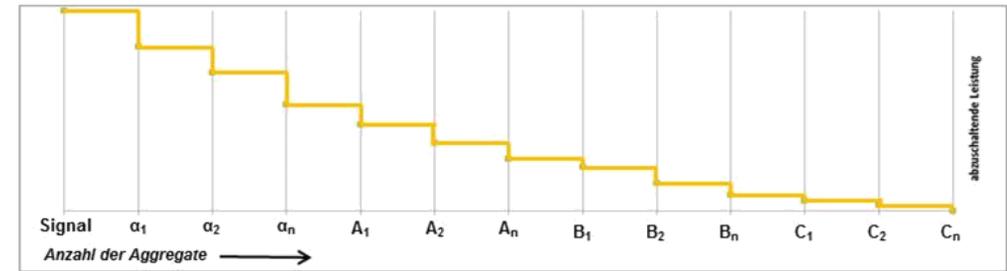
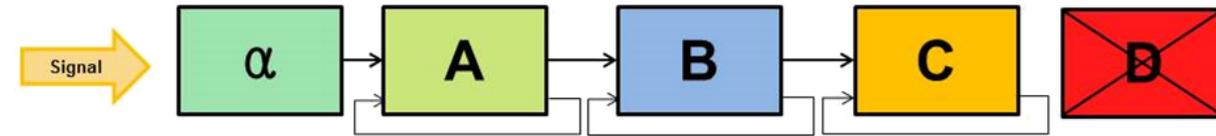
Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb

Märkte für Flexibilität

Zusammenfassung und Ausblick

## Verbraucher und Erzeuger:

- Bewertung und Klassifizierung in Abhängigkeit der Flexibilität
- Kaskadierte Prüfung bei Flexibilitätsbedarf im Netz
- Entwicklung individueller Regeln je Aggregategruppe
- Mathematische Simulation und prakt. Erprobung



Aggregatklasse	Leistung	An-/Abschaltbarkeit	Beispiel
Typ α	groß	jederzeit	BHKW, Elektrolyse
Typ A	mittel - groß	problemlos	Schlammbehandlung (Zentrifuge)
Typ B	gering - mittel	bedingt	Gebläse
Typ C	gering	selten	Rührwerk
Typ D	nicht nutzbar		

→ Ermittlung der Flexibilitätspotenziale von Kläranlagen und Abgleich mit Bedarfen des Netzes

Hintergrund und Grundlagen

Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte

Potenziale und Regelkonzept

**Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb**

Märkte für Flexibilität

Zusammenfassung und Ausblick

Auswirkungen auf die Prozesse der **Abwasserreinigung** und der **Schlammbehandlung** müssen bewertet werden!

Ausschaltzeiten Aggregate	Tiefe Belastung (Nacht)					Hohe Belastung (Tag)				
	15 min	30 min	1h	2h	>2h	15 min	30 min	1h	2h	>2h
Hebewerk	Orange	Orange	Light Orange			Orange	Light Orange			
Sandfang Gebläse	Dark Blue	Dark Blue				Dark Blue				
Biologie Gebläse	Blue	Blue	Blue	Light Blue		Blue	Light Blue			
Biologie Rührwerk	Blue	Blue				Blue				
Biologie RLS Pumpen	Blue	Blue	Blue	Blue		Blue	Blue	Blue		
Faulung Rührwerk	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	
Faulung Umwälzpumpen	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	
Schlammeind. / Entwässerung									Dark Red	Dark Red

(nach Müller et al. 2013)



arrivee-Pilotanlage Radevormwald:  
theoretisches Regelpotential = **122 kW**

# ...bei abschalten der Belüftung (Messung)

Hintergrund und Grundlagen

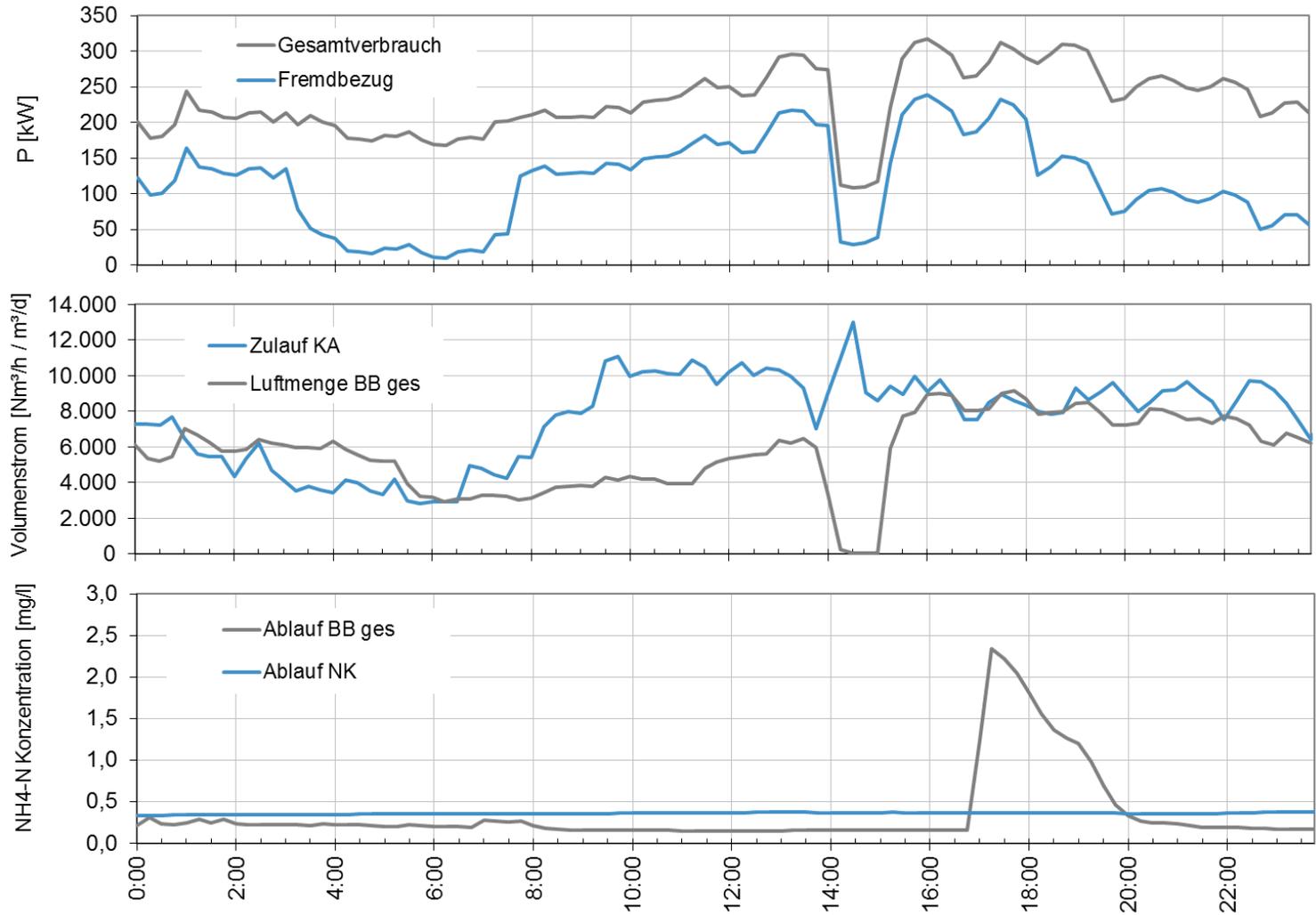
Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte

Potenziale und Regelkonzept

**Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb**

Märkte für Flexibilität

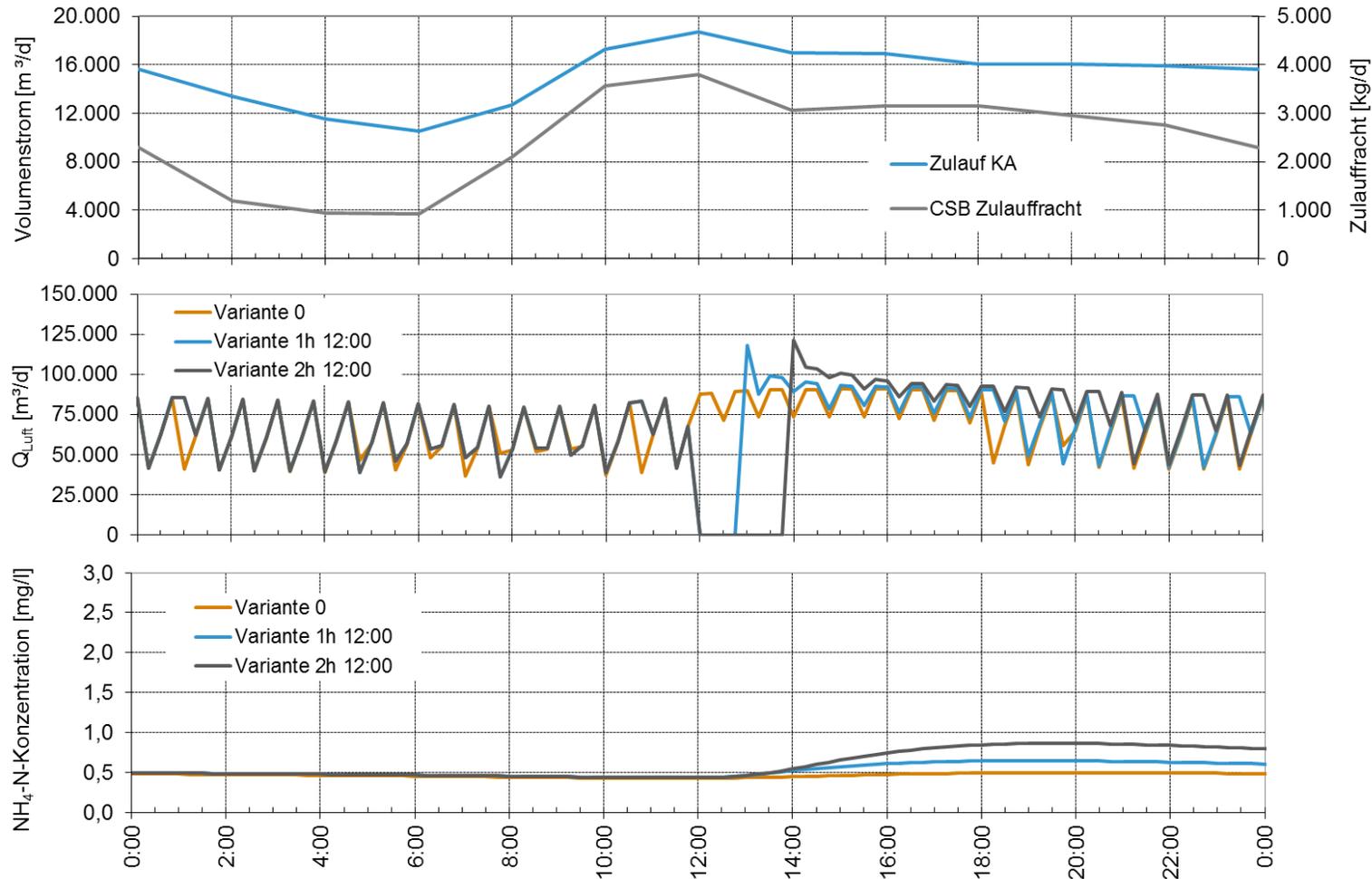
Zusammenfassung und Ausblick



**Messung TW:**  
keine Auswirkung  
auf den Betrieb

# ...bei abschalten der Belüftung (Simulation)

- Hintergrund und Grundlagen
- Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte
- Potenziale und Regelkonzept
- Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb**
- Märkte für Flexibilität
- Zusammenfassung und Ausblick



Messung TW:  
keine Auswirkung  
auf den Betrieb

**Simulation TW  
und RW:**  
Abschaltung bis 2h  
möglich mit  
geringfügige  
Auswirkung auf  
Ablaufkonz.

Hintergrund und Grundlagen

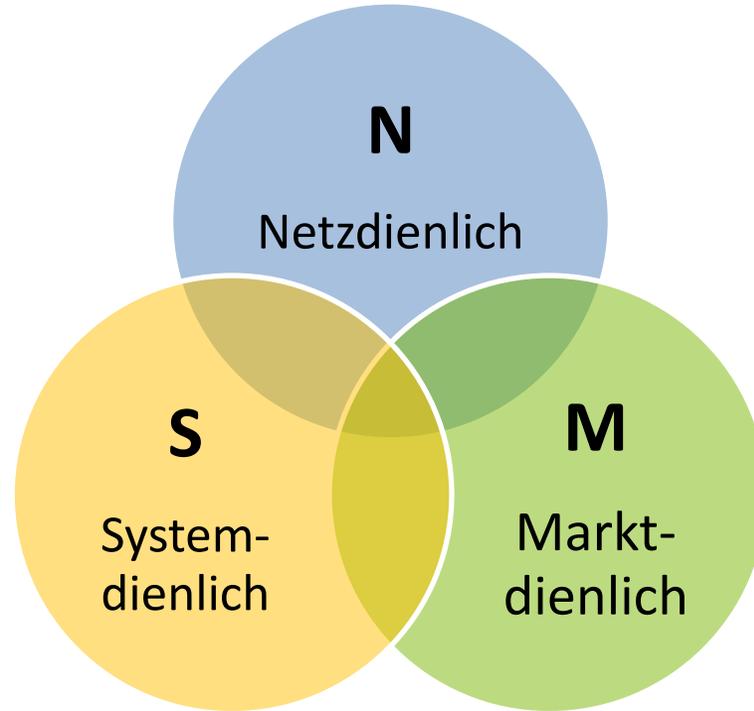
Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte

Potenziale und Regelkonzept

Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb

Märkte für Flexibilität

Zusammenfassung und Ausblick



**Systemdienlicher Einsatz**

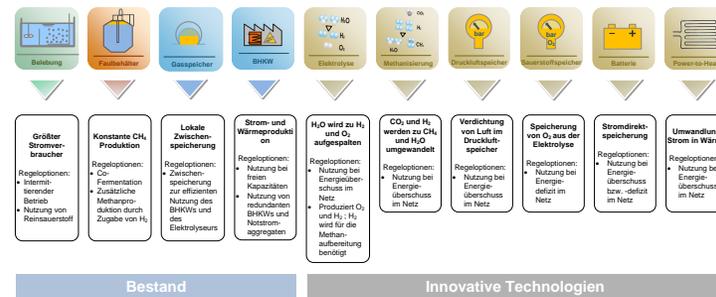
Einsatzort: Übertragungsnetz  
Funktion: Frequenzhaltung (50 Hertz)  
Produkt: Regelleistung  
Markt: aktiv

**Marktdienlicher Einsatz**

Einsatzort: Spotmarkt der Strombörse  
Funktion: Verwertung EE-Überschüsse  
Produkt: Day-Ahead, Intraday  
Markt: aktiv

**Netzdienlicher Einsatz**

Einsatzort: Verteilnetz  
Funktion: Spannungshaltung, Betriebsmitteleffizienz  
Produkt: noch nicht definiert  
Markt: noch nicht aktiv



Bestand      Innovative Technologien

Anlagenkonzepte werden hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung unterschiedlicher Marktoptionen untersucht

Hintergrund und Grundlagen

Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte

Potenziale und Regelkonzept

Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb

Märkte für Flexibilität

**Zusammenfassung und Ausblick**

- Faulungsanlagen mit **KWK** können schon heute mit KWK-Leistung am **Regelenergiemarkt** teilnehmen
- deutliches **Potenzial** von Faulungsanlagen zur Bereitstellung von **Netzsystemdienstleistungen** durch Anpassung der vorhandenen Infrastrukturen
- Potenzial für eine mehrfache Steigerung der verfügbaren KWK-Leistung vorhanden
- Potenziale für **innovative Technologien** (z. B. Elektrolyse, Methanisierung) werden noch näher quantifiziert und Vermarktungsmodelle geprüft und entwickelt

Hintergrund und Grundlagen

Flexibilitätsoptionen und Anlagenkonzepte

Potenziale und Regelkonzept

Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb

Märkte für Flexibilität

Zusammenfassung und Ausblick

- Entwicklung eines **gestuften Regelkonzepts** zur Aktivierung des Regel- und Speicherpotentials der Kläranlage
- Beurteilung der **Auswirkungen des Flexibilitätseinsatzes** auf den Betrieb und die Energiebilanz der Kläranlage sowie die Auswirkungen auf das vorgelagerte Verteilnetz mit Hilfe von Simulationsmodellen
- **detaillierte Auslegung und Bewertung von innovativen Anlagenkonzeptionen**
- **Bewertung unterschiedlicher politischer und energierechtlicher Randbedingungen für die Umsetzung des Konzeptansatzes**
- **Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und eine Kosten-Nutzen-Analyse auf Basis der Regel- und Systemdienstleistungspotenziale**

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

[www.erwas-arrivee.de](http://www.erwas-arrivee.de)  
[siwawi.bauing.uni-kl.de](http://siwawi.bauing.uni-kl.de)

Oliver Gretzschel, Michael Schäfer, Theo G. Schmitt, FG Siwawi TUKaiserslautern

Inka Hobus, WiW mbH, Wuppertal