

# Abwasserreinigungsanlagen als Flexibilitätsbaustein im Stromnetz

Ergebnisse aus dem Projekt

**arrivee**

Abwasserreinigungsanlagen als Regelbaustein  
in intelligenten Verteilnetzen mit  
erneuerbarer Energieerzeugung



18. Kölner Kanal und Kläranlagen Kolloquium, 14. September 2017

*Oliver Gretzschel*, Michael Schäfer, Theo G. Schmitt, FG Siwawi TU Kaiserslautern

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**FONA**  
Nachhaltiges  
Wassermanagement  
BMBF



**NaWaM**  
Nachhaltiges Wassermanagement



**ERWAS**

# Gliederung

Hintergrund & Projektziele

Flexibilität: Bausteine, Potenziale, Management

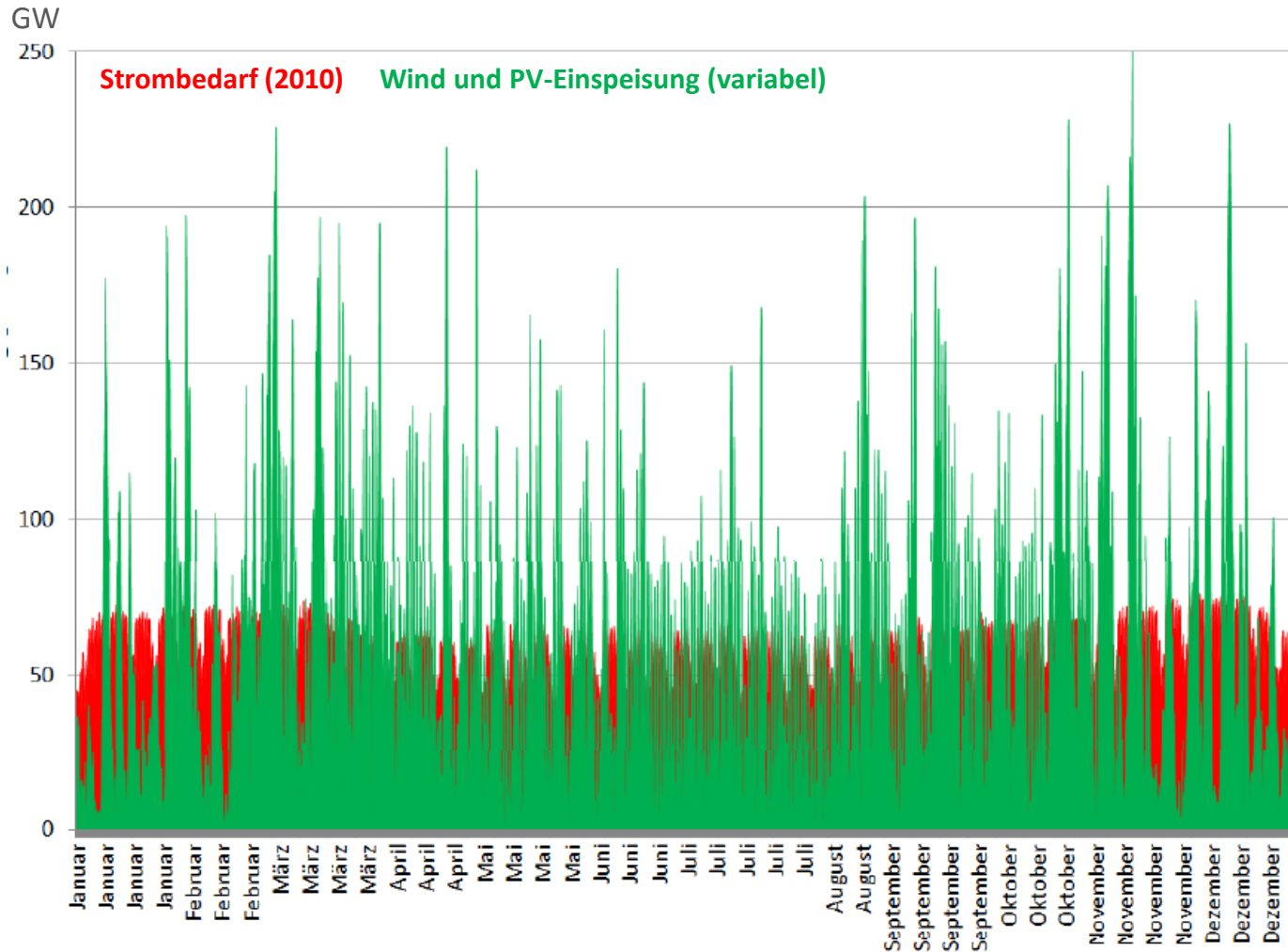
Anlagenkonzepte

Schnittstelle Kläranlage - Stromnetz

Handlungsempfehlungen

Kernbotschaften

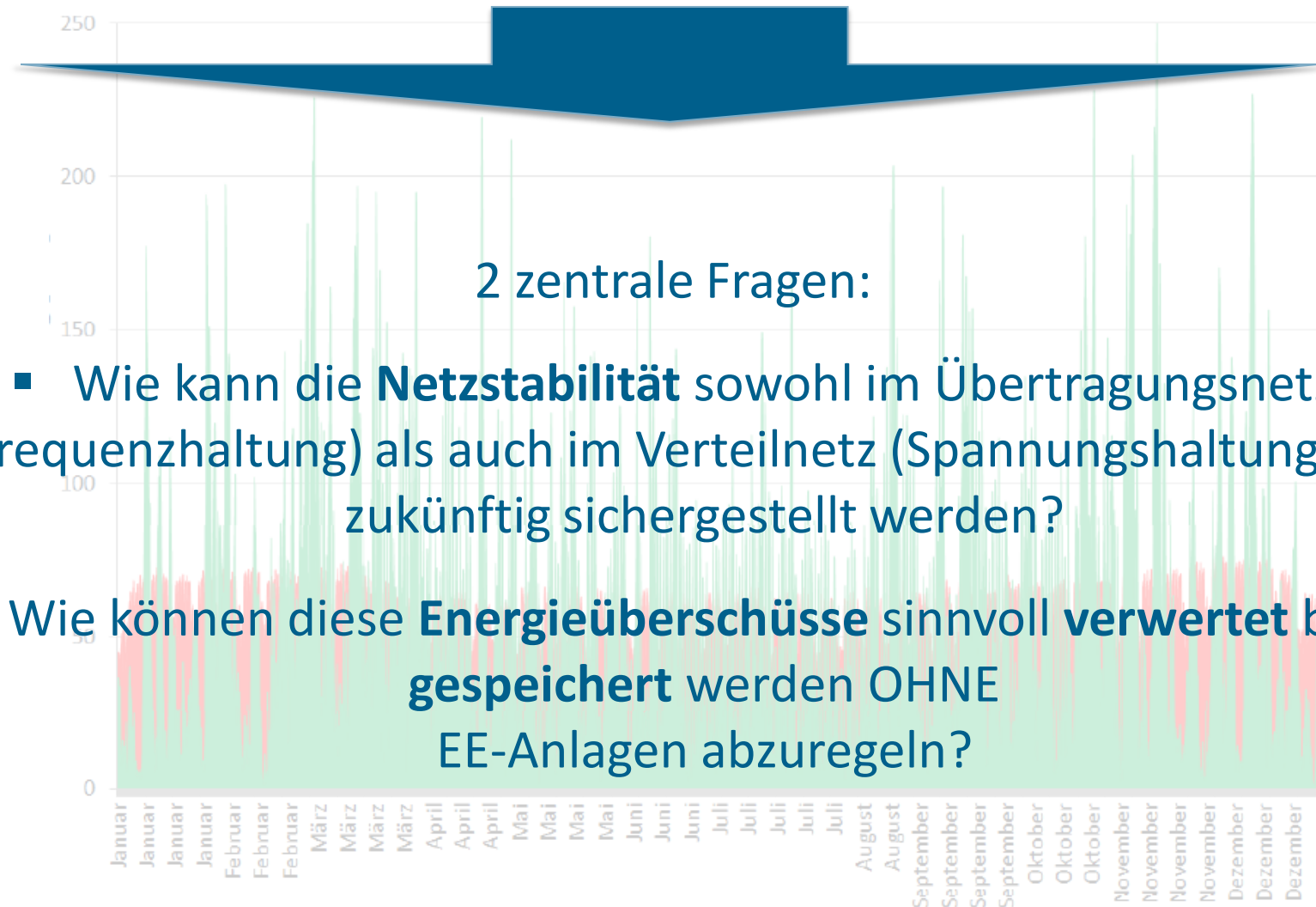
- Hintergrund & Ziele
- Flexibilität
- Anlagenkonzepte
- Stromnetz
- Handlungsempfehlungen
- Kernbotschaften

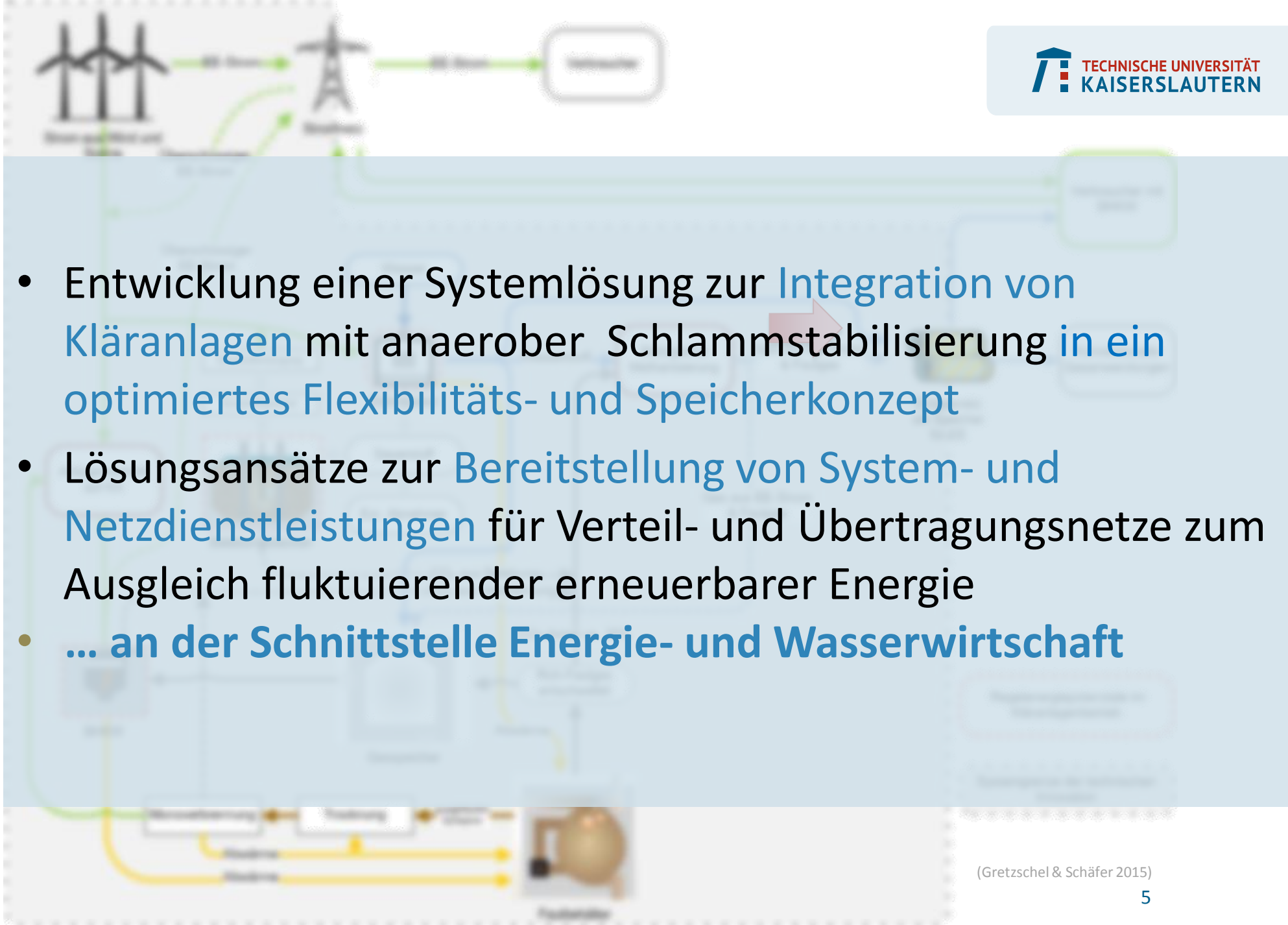


(Stadler 2012)

- Starke Schwankungen auf Erzeugerseite
- Über- UND Unterschreitung Bedarf
- Netzstabilität: Abregelung EE-Erzeuger
- zunehmend kritische Systemzustände!
- EE 100 % - Flexi & Speicher!
- EE 80 % - Flexi & Speicher!
- EE 60 % - Flexi! Speicher?
- EE 40 % - Flexi! Speicher?
- EE 20 %

- Hintergrund & Ziele
- Flexibilität
- Anlagenkonzepte
- Stromnetz
- Handlungsempfehlungen
- Kernbotschaften





Hintergrund & Ziele

Flexibilität

Anlagenkonzepte

Stromnetz

Handlungsempfehlungen

Kernbotschaften

- Entwicklung einer Systemlösung zur **Integration von Kläranlagen** mit anaerober Schlammstabilisierung **in ein optimiertes Flexibilitäts- und Speicherkonzept**
- Lösungsansätze zur **Bereitstellung von System- und Netzdienstleistungen** für Verteil- und Übertragungsnetze zum Ausgleich fluktuierender erneuerbarer Energie
- **... an der Schnittstelle Energie- und Wasserwirtschaft**

Hintergrund & Ziele

**Flexibilität**

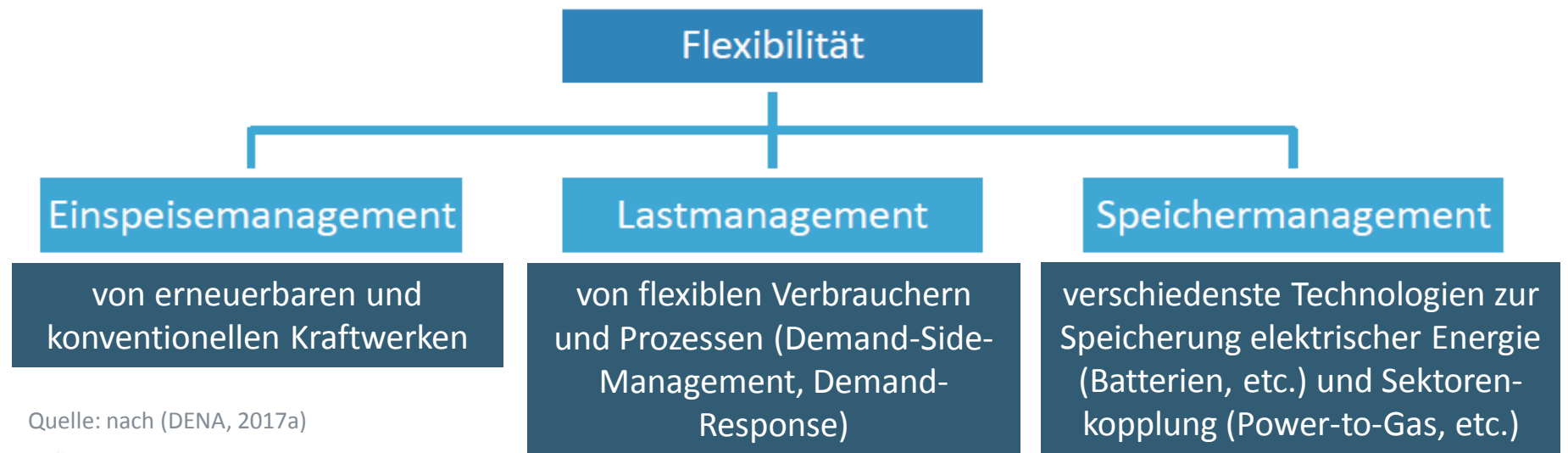
Anlagenkonzepte

Stromnetz

Handlungsempfehlungen

Kernbotschaften

- keine eindeutige Definition von Flexibilität
- in arrivee: *Flexibilität* = die Fähigkeit einer technischen Anlage, ihre elektrische Leistungsaufnahme oder -abgabe auf Grund eines externen Signals kurzfristig für einen begrenzten Zeitraum anzupassen.



Quelle: nach (DENA, 2017a)



Kläranlagen verfügen über Flexibilitätspotenziale in allen drei Teilbereichen und sind somit per se interessant für weiterführende Untersuchungen hinsichtlich der Bereitstellung von Flexibilität.

- Hintergrund & Ziele
- Flexibilität**
- Anlagenkonzepte
- Stromnetz
- Handlungsempfehlungen
- Kernbotschaften



### Strom- und Wärmeproduktion

Produktion von Strom auf den Anlagen.



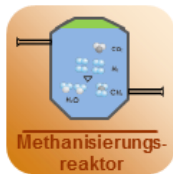
### Aggregatennutzung

Flexible Nutzung der Aggregate im Reinigungsprozess und der Schlammbehandlung



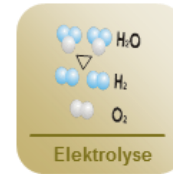
### Gaswischenspeicherung

Speicherung zur flexiblen Nutzung, z.B. des BHKWs oder als Langzeitspeicher.



### Methanproduktion

Produktion von CH<sub>4</sub> zur Verstromung bzw. Langzeitspeicherung.



### Wasserelektrolyse

Nutzung bei Energieüberschuss im Netz zur Produktion von O<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>.



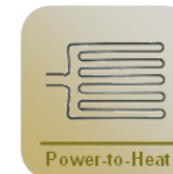
### Verwendung des anfallenden O<sub>2</sub>

Nutzung in der biol. Stufe und/oder in der Spurenstoffelemination (O<sub>3</sub>).



### Druckluftherzeugung

Erzeugung bei Stromüberschuss und Nutzung bei Defizit.



### Batterien und Power-to-Heat

Umwandlung Strom in Wärme (PtH) und Stromdirektspeicherung mit Batterien.



Hintergrund & Ziele

**Flexibilität**

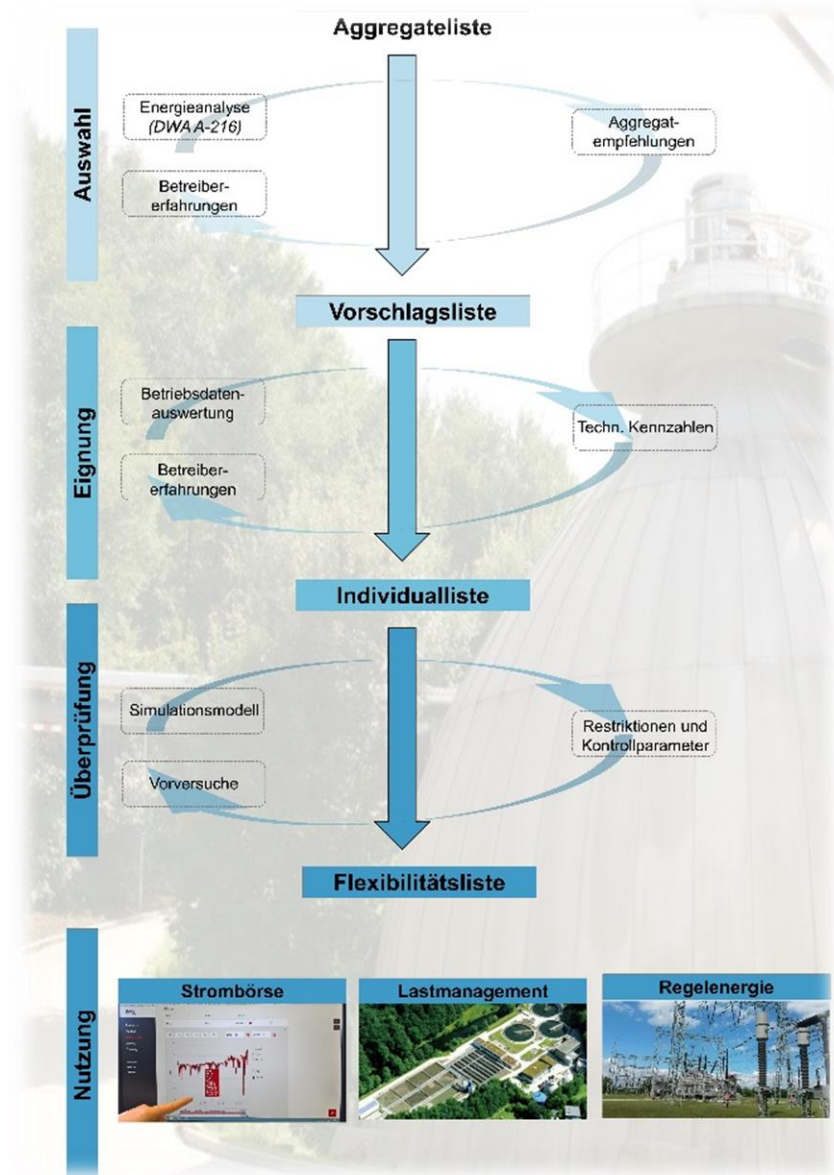
Anlagenkonzepte

Stromnetz

Handlungsempfehlungen

Kernbotschaften

- Entwickeltes **Vorgehen zur Identifizierung und Nutzung** von Kläranlagenaggregaten als **Flexibilitätsbausteine** anhand der Pilotanlage Radevormwald
- **Empfehlungen und Bewertungen** zu nutzbaren Aggregattypen
- **Technische Kennzahlen:** Zu-/Abschaltzeiten, An-/Abfahrzeiten, Regenerationszeiten
- **Restriktionen und Kontrollparameter** zur Sicherstellung des Reinigungsbetriebes
- Möglichkeiten der **Nutzung und Vermarktung** von Flexibilität





- Hintergrund & Ziele
- Flexibilität**
- Anlagenkonzepte
- Stromnetz
- Handlungsempfehlungen
- Kernbotschaften

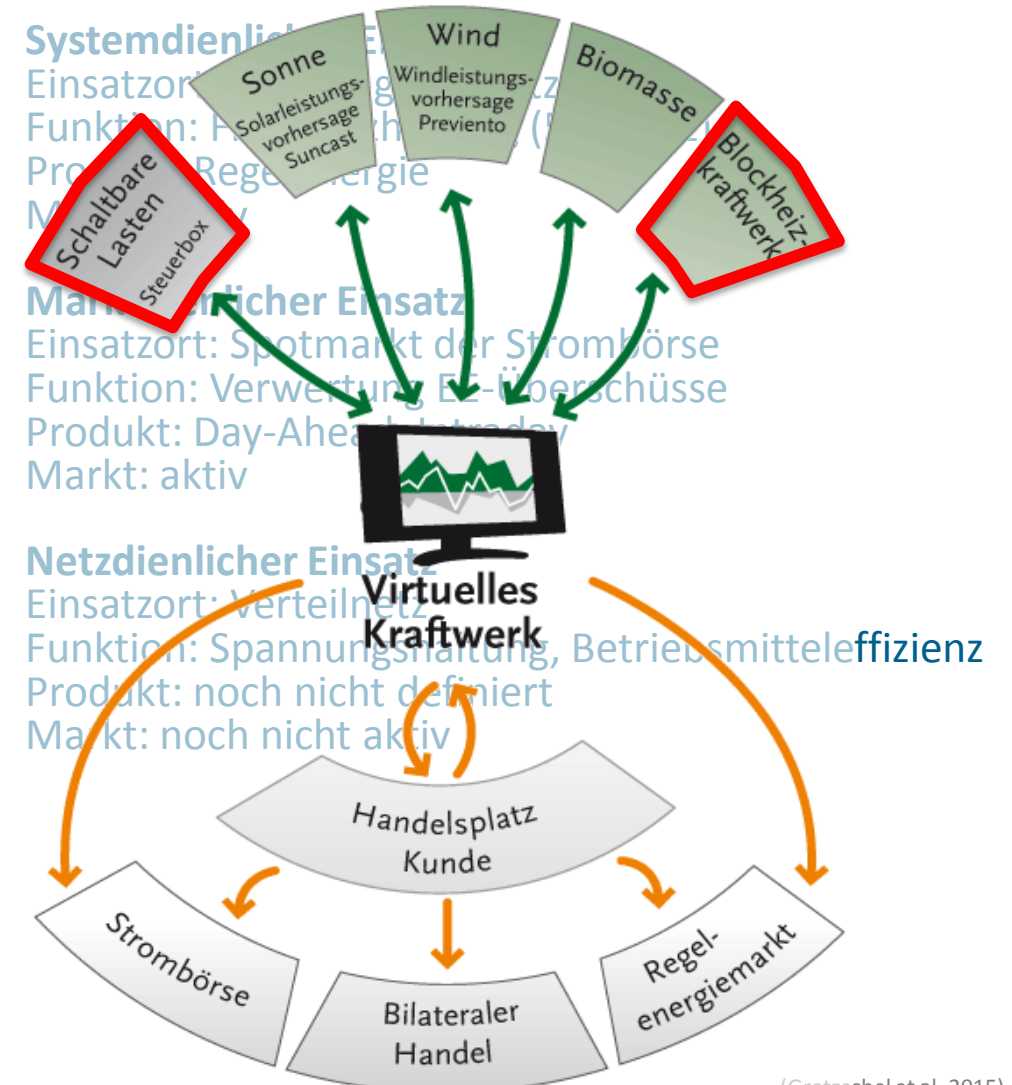
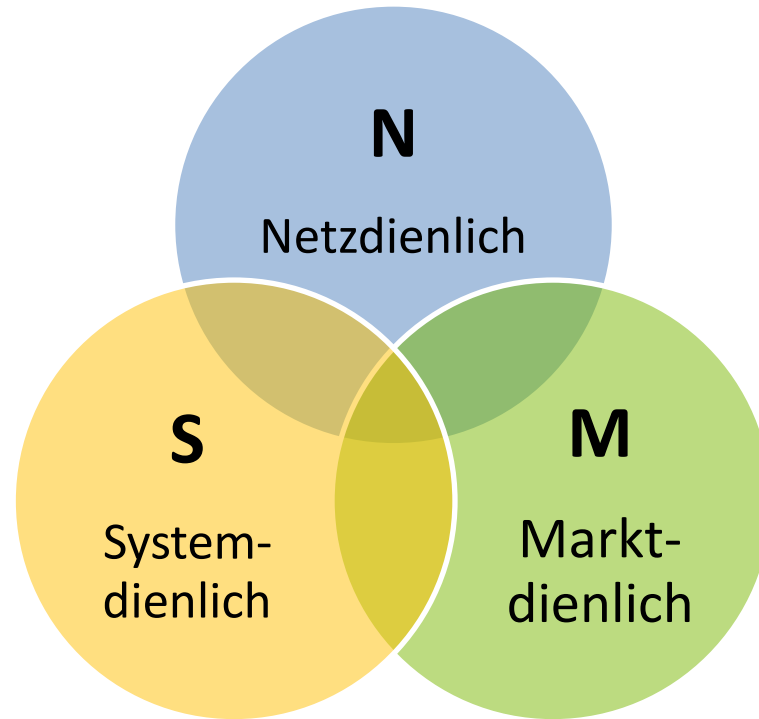
- Empfehlungen zu:**
- **Leistungspotenzial** je nach Größenklasse
  - **Nutzungsart:** Positive / negative Flexibilität
  - **Klärtechnische Kenngrößen:** Min./max. Abschaltdauern, Regenerationszeiten
  - **Technischen Kenngrößen:** z.B. An- Abfahrzeiten
  - **Regelkriterien:** Restriktionen zur Einhaltung des Reinigungsbetriebs
  - **Einsatzbereich**



Aggregat	Blockheizkraftwerk		
Baugruppe	Stromerzeugung		
Leistungspotenzial	Groß		[W/E]
	GK 1-3:	4,1	
	GK 4:	2,1	
	GK 5:	2,0	
Flexibilitätsrichtung	Positive & negative Flexibilität		
Integration in ein Lastmanagement	Gut Geeignet		
Min. Zuschaltdauer	60	[min]	
Max. Zuschaltdauer	1.440	[min]	
Min. Abschaltdauer	5	[min]	
Max. Abschaltdauer	1.440	[min]	
Regenerationszeit	5/30	[min]	
Anfahrzeit	180	[s]	
Abfahrzeit	300	[s]	
Regelkriterien	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Füllstand Gasspeicher (min/max)</li> <li>• max. Schaltvorgänge</li> </ul>		
Vorgeschlagener Einsatzbereich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Internes Lastmanagement</li> <li>• Regelenergie</li> </ul>		

Abbildung: Beispieldatenblatt „BHKW“

- Hintergrund & Ziele
- Flexibilität**
- Anlagenkonzepte
- Stromnetz
- Handlungsempfehlungen
- Kernbotschaften



(www.enegymeteo.de, 2016)

(Gretzschel et al. 2015)

Netz | Kläranlage

**TSB** Virtuelles Kraftwerk  
Transferstelle Bingen



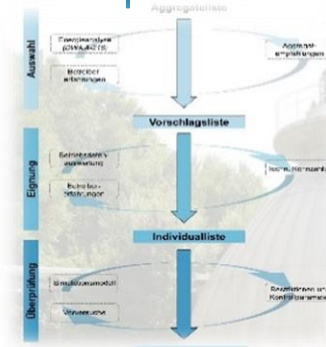
BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL  
Auswirkungen auf das Verteilnetz

Sozialwissenschaftliche und politisch-rechtliche Begleitung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN

bbh  
BECKER BÜTTNER HELD

Vorgehen, Restriktionen & Steuerparameter



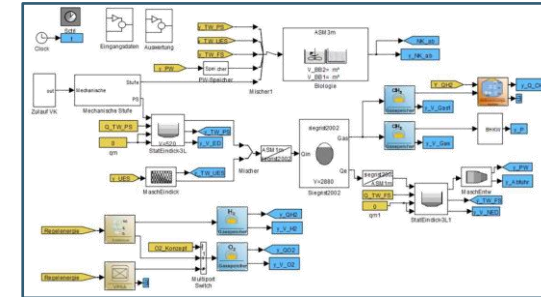
TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN

Abschaltversuche



WUPPERVERBAND  
für Wasser, Mensch und Umwelt

Auswirkungen auf die Anlage (Modellierung)



WiW  
Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft mbH

Hintergrund & Ziele

Flexibilität

Anlagenkonzepte

Stromnetz

Handlungsempfehlungen

Kernbotschaften

## Position der Abwasserreinigung am Energiemarkt:

- Steigerung der **Stromproduktion** auf 2,11 TWh<sub>el</sub> bis 2,61 TWh<sub>el</sub> im optimierten Bestand möglich
- Bereitstellung von Flexibilität** durch KWK-Anlagen, NEA und Verbrauchsaggregate
- Aktuelle Flexibilitätsleistung** der Kläranlagen bundesweit: (+)651 MW<sub>el</sub> und (-)338 MW<sub>el</sub>

**großes Potenzial vorhanden!**

Tabelle: Flexibilitätspotenziale der bundesweiten Kläranlagen

	Leistung P		Zuschaltbare Energiemenge	Abschaltbare Energiemenge
	[MW <sub>el</sub> ]		[MWh/d]	[MWh/d]
NEA	(+) 98,0	-	48,3	-
KWK-Anlagen	(+ / -) 214,98		1.685,59	2.146,35
KA-Aggregate	(+) 337,8	(-) 122,90	∑ 34,01 – 323,25	∑ 184,25 – 244,91
∑	(+) 650,78	(-) 337,88	1.767,90 – 2.057,14	2.330,60 – 2.391,26

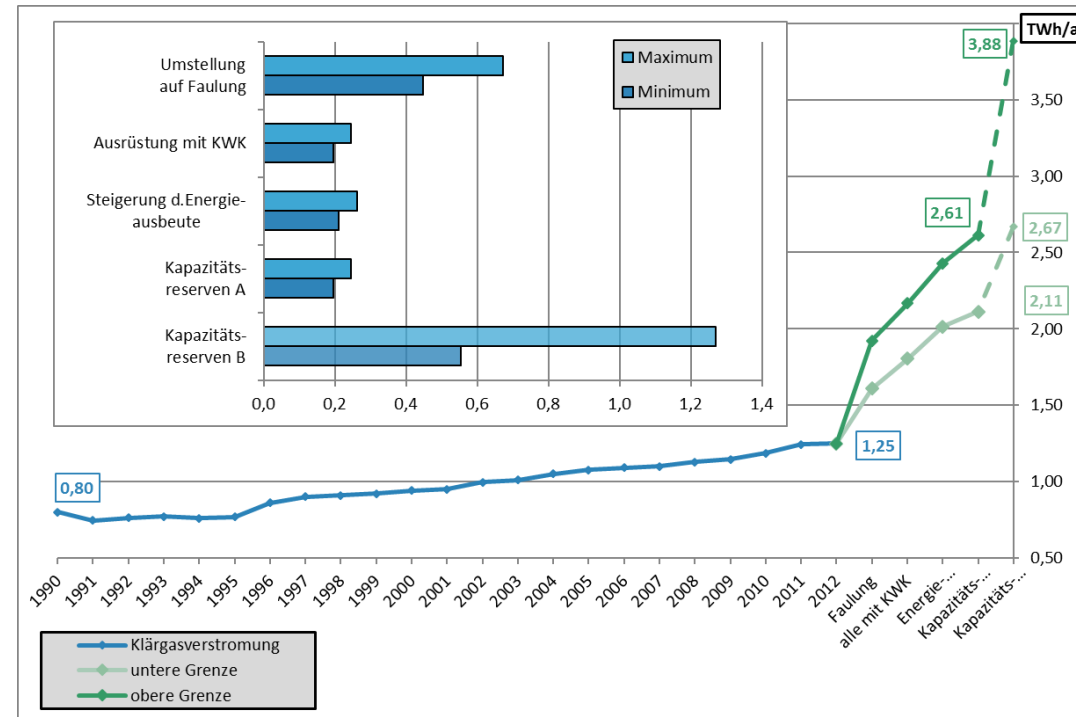
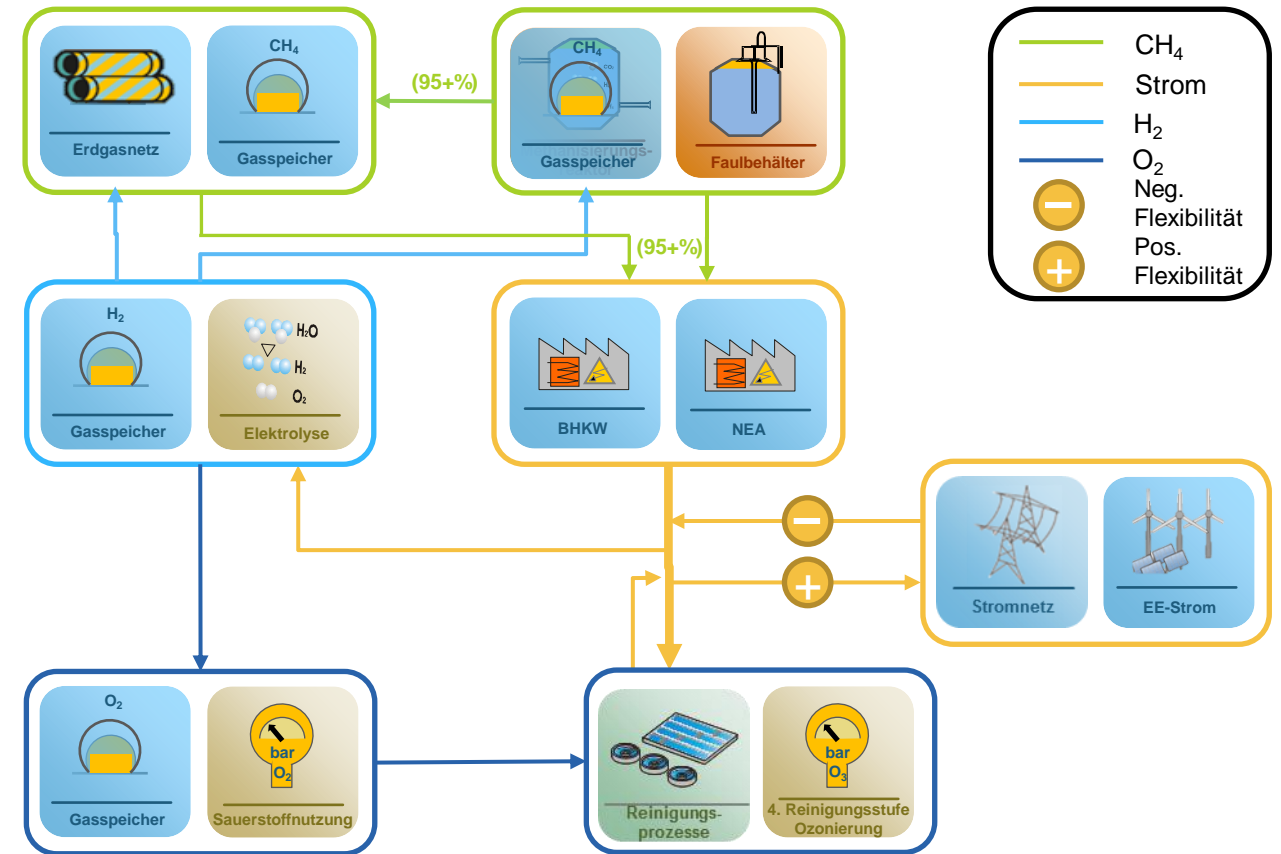


Abbildung: Potenzial der Stromproduktion auf KA mit anaerober Schlammstabilisierung

- Hintergrund & Ziele
- Flexibilität
- Anlagenkonzepte**
- Stromnetz
- Handlungsempfehlungen
- Kernbotschaften

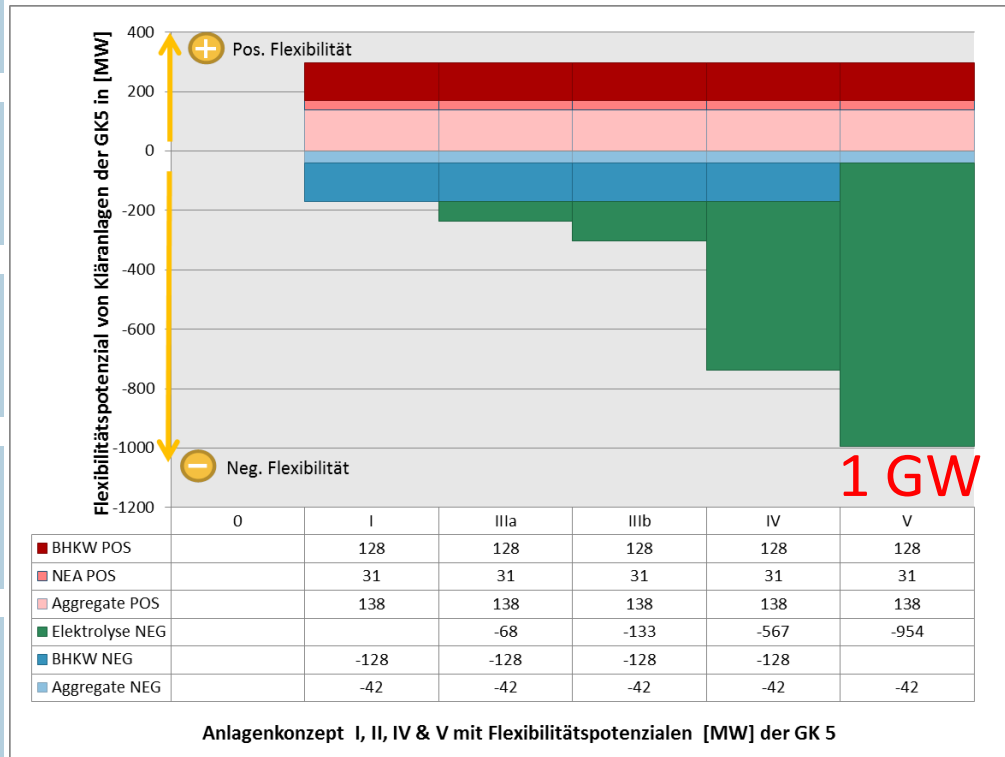
- Konzept I. – Status Quo**
- Konzept II. – Druckluft
- Konzept III. – H<sub>2</sub>-Nutzung
- Konzept IV. – H<sub>2</sub>-Einspeisung
- Konzept V. – Biologische Methanisierung**
- Elektrolyseur als innovativer Flexibilitätsbaustein zur Schaffung von Synergien auf der Kläranlage**





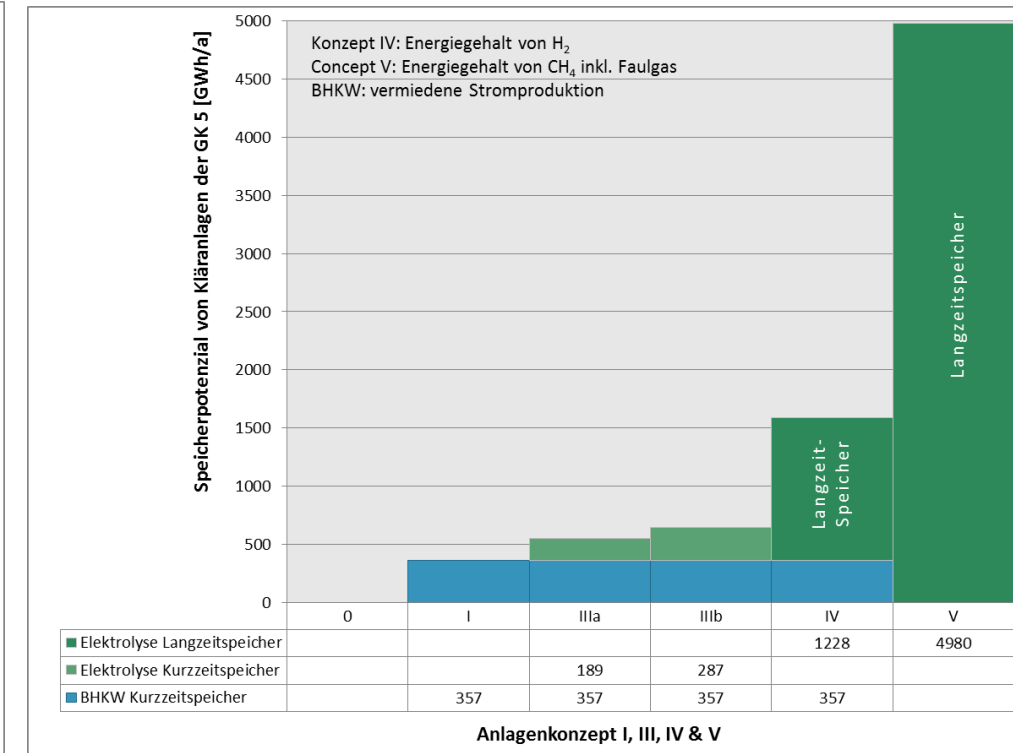
- Hintergrund & Ziele
- Flexibilität
- Anlagenkonzepte
- Stromnetz
- Handlungsempfehlungen
- Kernbotschaften

## Flexibilität GK 5



**Großes Potenzial: Flexibilität**  
 1 GW  $\hat{=}$  ca. 500 WKA à 2 MW  
 oder  $\sim$  1 AKW

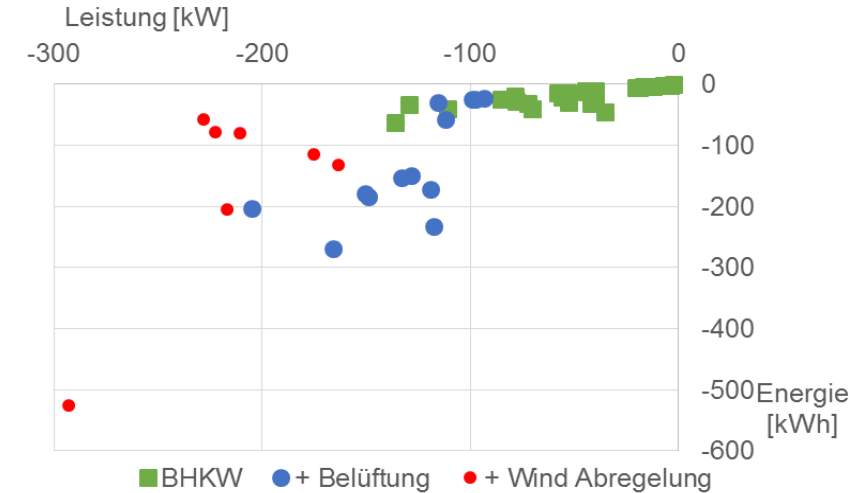
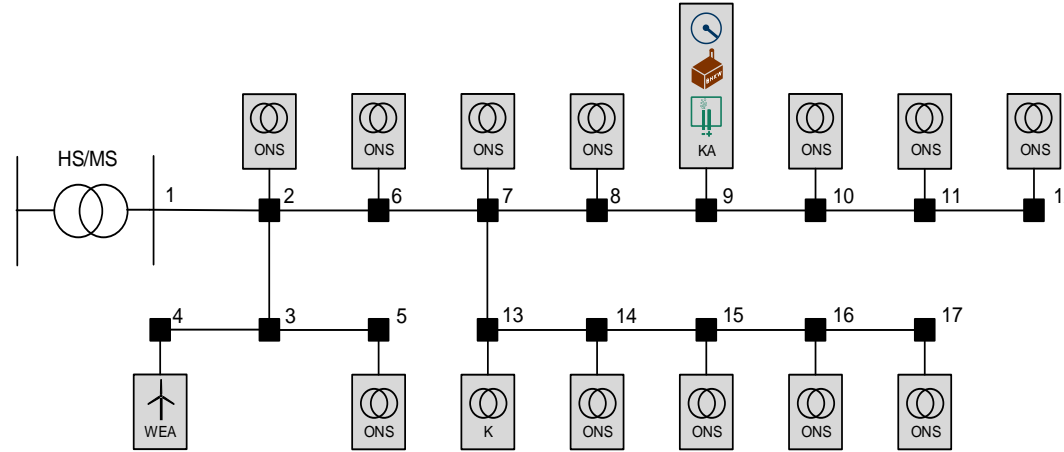
## Speicherpotenzial GK 5 5 TWh



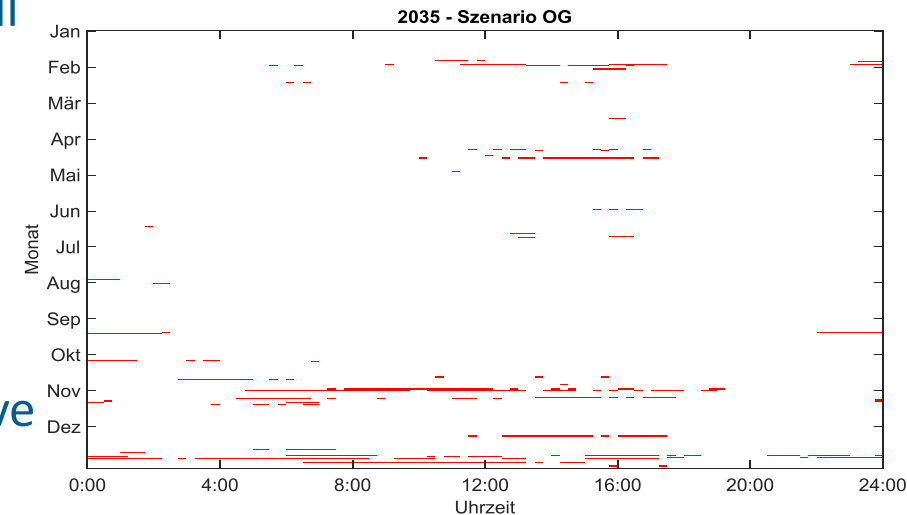
**Großes Potenzial: Speicher**  
 5 TWh  $\hat{=}$  ca. 1,6 · EE-  
 Abregelung in 2015: 3,1 TWh



- Hintergrund & Ziele
- Flexibilität
- Anlagenkonzepte
- Stromnetz**
- Handlungsempfehlungen
- Kernbotschaften

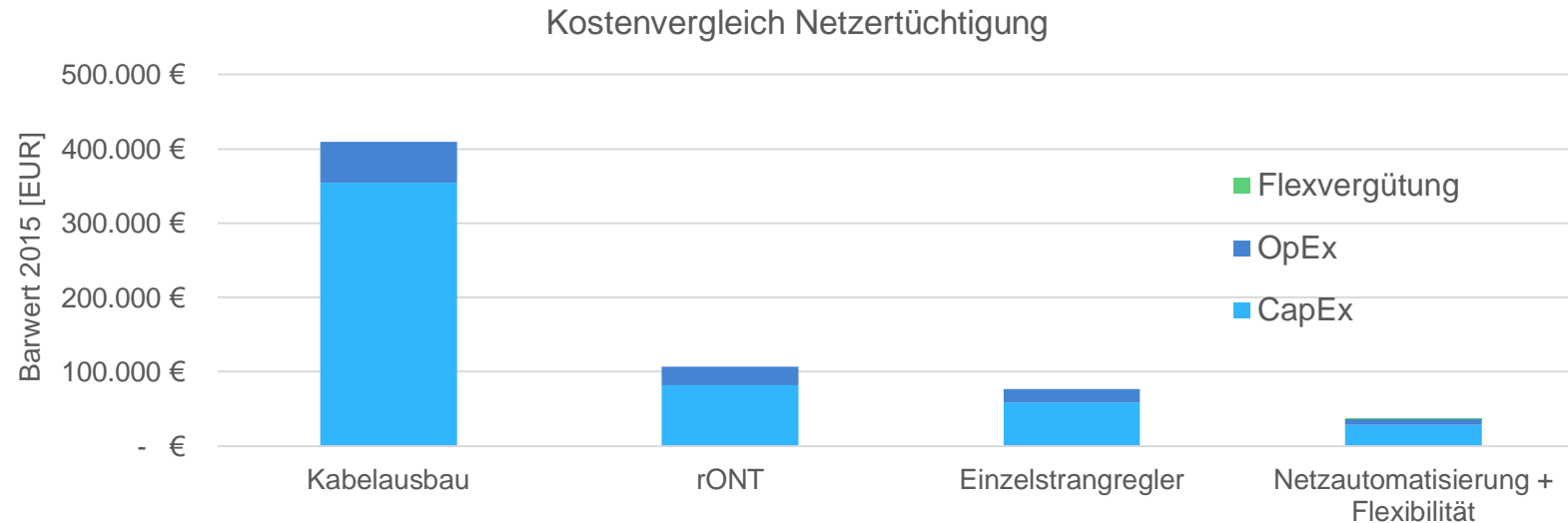


- Kopplung von Netzmodell und Kläranlagenmodell durch **Netzkapazitätskorridor**
- Grenzwertverletzungen sehr selten und kurz → große Zeiträume für Flexibilitätsangebote am Markt
- Großteil der **Netzprobleme durch bestehende Flexibilitäten der Kläranlage lösbar** ohne negative Auswirkungen auf den Kläranlagenbetrieb



T. Kornrumpf jn (Schmitt et al. 2017)

- Hintergrund & Ziele
- Flexibilität
- Anlagenkonzepte
- Stromnetz**
- Handlungsempfehlungen
- Kernbotschaften

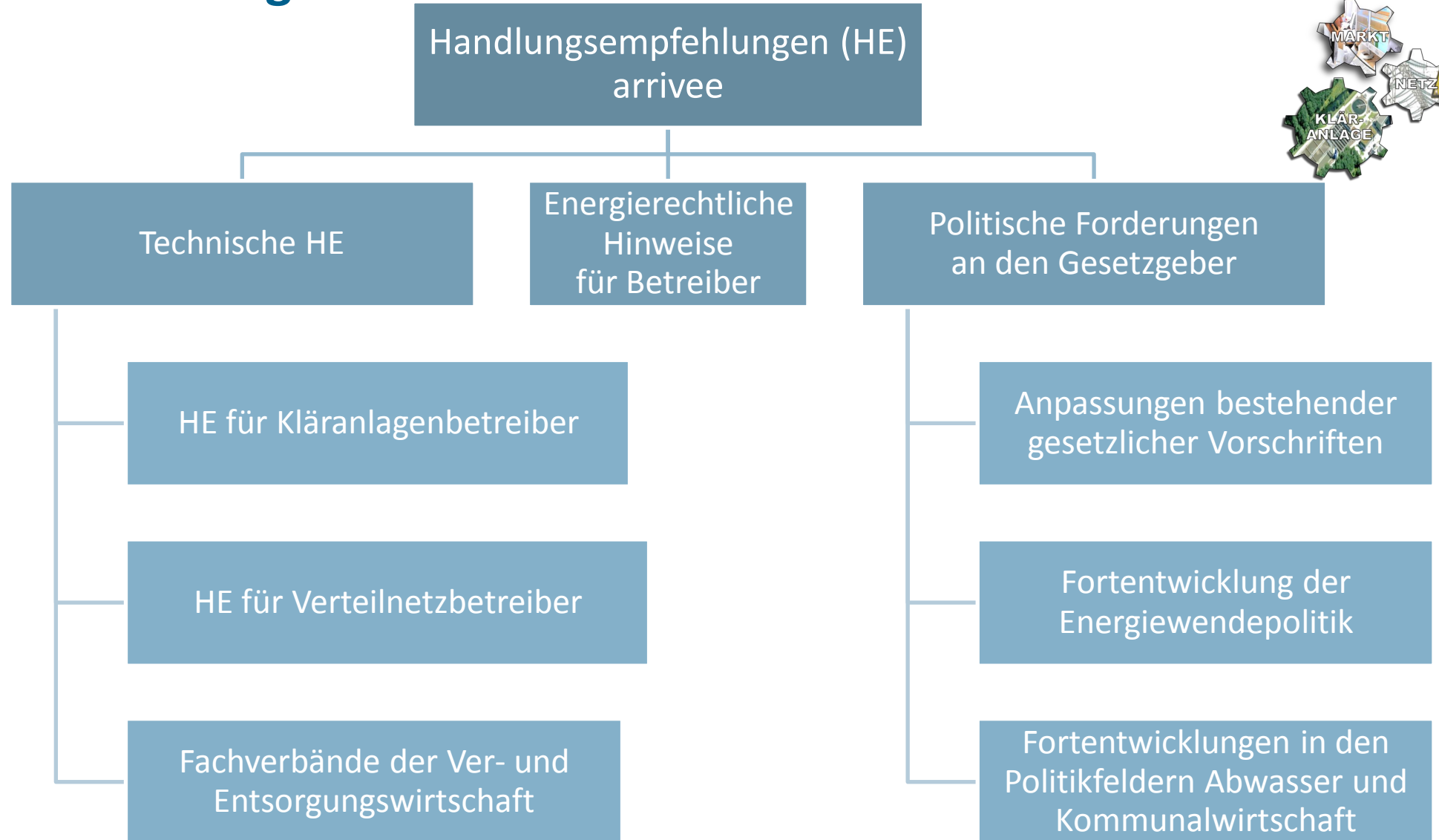


- Netzautomatisierung und **Flexibilitätsmanagement kostengünstigste Option**
- Wettbewerb der günstigsten Flexibilitätsoptionen (inkl. Einspeisemanagement)
- relativ **geringe Kompensationszahlungen** erforderlich für dynamisches Einspeisemanagement der Windenergieanlage → **relativ geringe Erlösmöglichkeiten für Kläranlagenbetreiber** aus netzdienlichem Verhalten
- Deckungsbeiträge für KA-Investitionen müssen aus **marktorientierter Fahrweise kommen** („Mitnahmeeffekt“ dennoch ausnutzen)

T. Kornrumpf jn (Schmitt et al. 2017)



- Hintergrund & Ziele
- Flexibilität
- Anlagenkonzepte
- Stromnetz
- Handlungsempfehlungen**
- Kernbotschaften



Hintergrund & Ziele

Flexibilität

Anlagenkonzepte

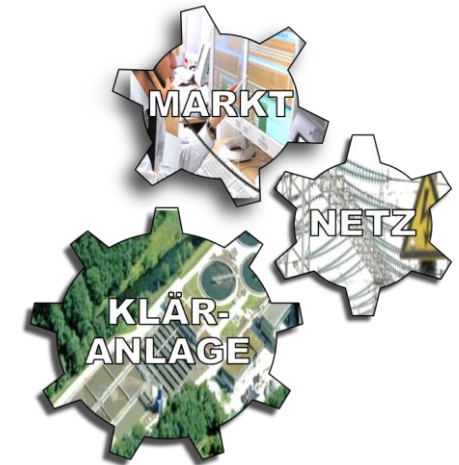
Stromnetz

Handlungsempfehlungen

**Kernbotschaften**

## Kläranlagen ...

- ... können einen **Beitrag zur bedarfsgerechten Entlastung und Stabilisierung von Stromnetzen** leisten. Sie verfügen dazu über ein **signifikantes Potenzial**.
- ... können in spezifischen Anschlusssituationen **im Verteilnetz** dazu beitragen, dass **konventioneller Netzausbau entfallen oder verzögert** werden kann.
- ... mit Schlammfäulung sind - abhängig von der örtlichen Situation der Strom- und Gasnetze - **geeignete Standorte zur Umsetzung von Power-to-Gas-Anlagen**.
- ... ermöglichen die **Sektorenkopplung** (Strom-Gas-Wärme).



Hintergrund & Ziele

Flexibilität

Anlagenkonzepte

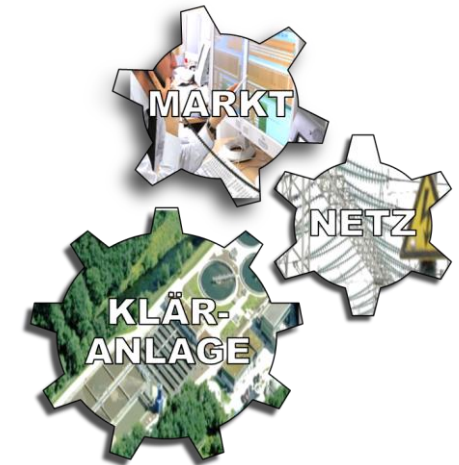
Stromnetz

Handlungsempfehlungen

**Kernbotschaften**

## Kläranlagen ...

- ... sind in der Lage ihre **Betriebsweise temporär** aufgrund externer sowie interner Anforderungen **anzupassen, ohne den Klärprozess negativ zu beeinflussen.**
- ... können an **neuen Geschäftsmodellen und Produkten** mit ihren **vorhandenen Flexibilitäten** partizipieren und davon profitieren.



### Voraussetzung:

Die **Nutzung vorhandener Flexibilitäten** muss durch die **Schaffung von Anreizsystemen** und **transparenter, lösungsorientierter (rechtlicher & politischer) Rahmenbedingungen** gestützt werden.

Hintergrund & Ziele

Flexibilität

Anlagenkonzepte

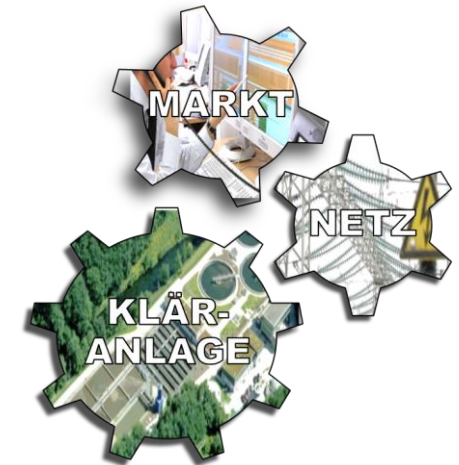
Stromnetz

Handlungsempfehlungen

**Kernbotschaften**

## arrivee-Konzepte sind innovativ und gesellschaftlich relevant :

- Vorhandene **Ressourcen** werden **energetisch effizient genutzt**.
- **Technologisch innovativen Verfahren für dezentrale Energiemärkte der Zukunft** wird der Weg bereitet.
- Die **gemeinwohlorientierte Kommunalwirtschaft** wird **aktiv in die Stabilisierung der Energiewende einbezogen**.





Flex-Potenzial

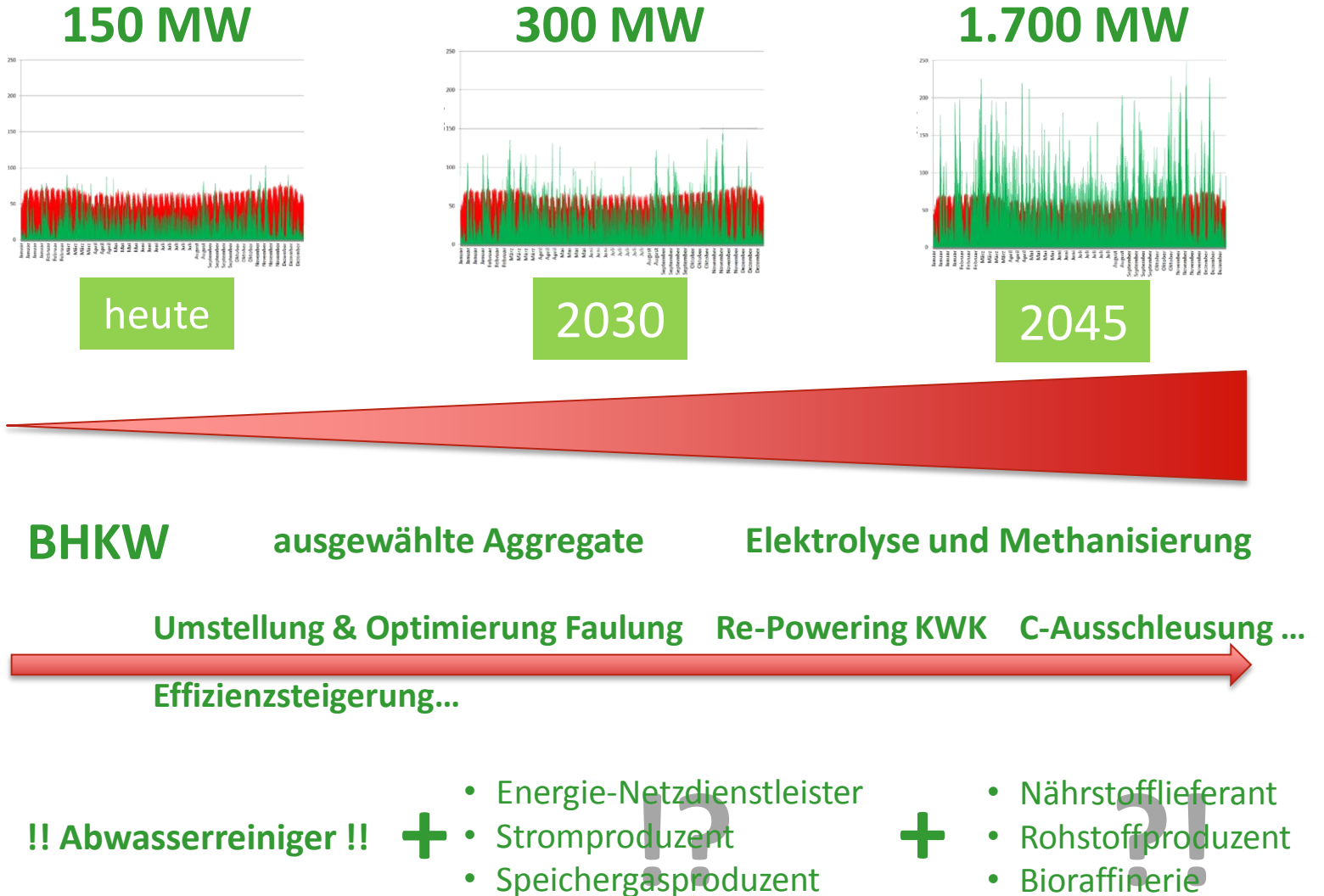
EE-Strom-Ausbau

Flexibilitäts- & Speicherbedarf

Erschließen von Flexibilitäts- und Speicheroptionen

Potenzialerhöhung

Funktionen



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Vortrag und alle Projektergebnisse als ,  
sowie Programm und Hinweise zur

Fachtagung - Kläranlagen in der Energiewende:  
Faulung optimieren & Flexibilität wagen  
am 30. November 2017 in Kaiserslautern

➔ [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 TU Kaiserslautern

