
KLÄRANLAGEN IN KOMBINATION MIT DER WASSERELEKTROLYSE ALS NEUE ANBIETER VON REGELENERGIEPRODUKTEN

Franziska Hönig, Matthias Ebert, Ulrich Blum

EnInnov2018

15. Symposium Energieinnovation

16.02.2018

Agenda

- Motivation
- Potential von Kläranlagen
- Stand der Wissenschaft und Technik
- HYPOS-Projekt *LocalHy*
- Systemanalyse- und Wirtschaftlichkeitstool
- Ausblick

Motivation

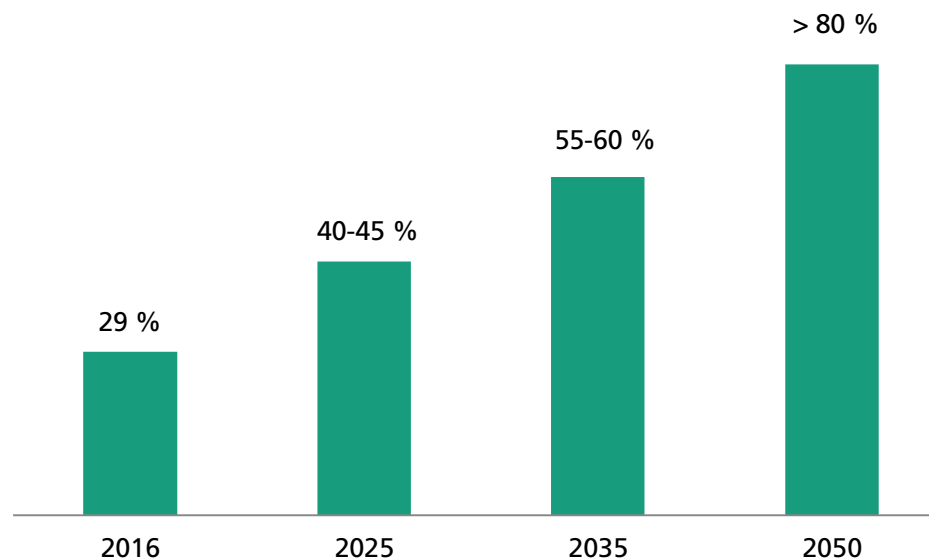


Abb. 1: Anteil der Erneuerbaren Energien (EE) am Bruttostromverbrauch in Deutschland [1]

- zunehmender Anteil an fluktuierender Energie bringt steigenden Bedarf an flexiblen Technologien mit sich, um Netzstabilität im Übertragungsnetz (*Frequenzhaltung*) zu gewährleisten → Bereitstellung von **Regelleistung** durch die Übertragungsnetzbetreiber
- **Power-to-Gas (PtG)-Konzepte** können wesentlich zur Lösung des Speicherproblems beitragen, OHNE EE-Anlagen abregeln zu müssen

Motivation

Entwicklung der Ausfallarbeit

= abgeregelte Strommenge aufgrund Überangebot

Anteil der Ausfallarbeit an der gesamten Erzeugungsmenge von EE-Anlagen: 2,3 % (2016)

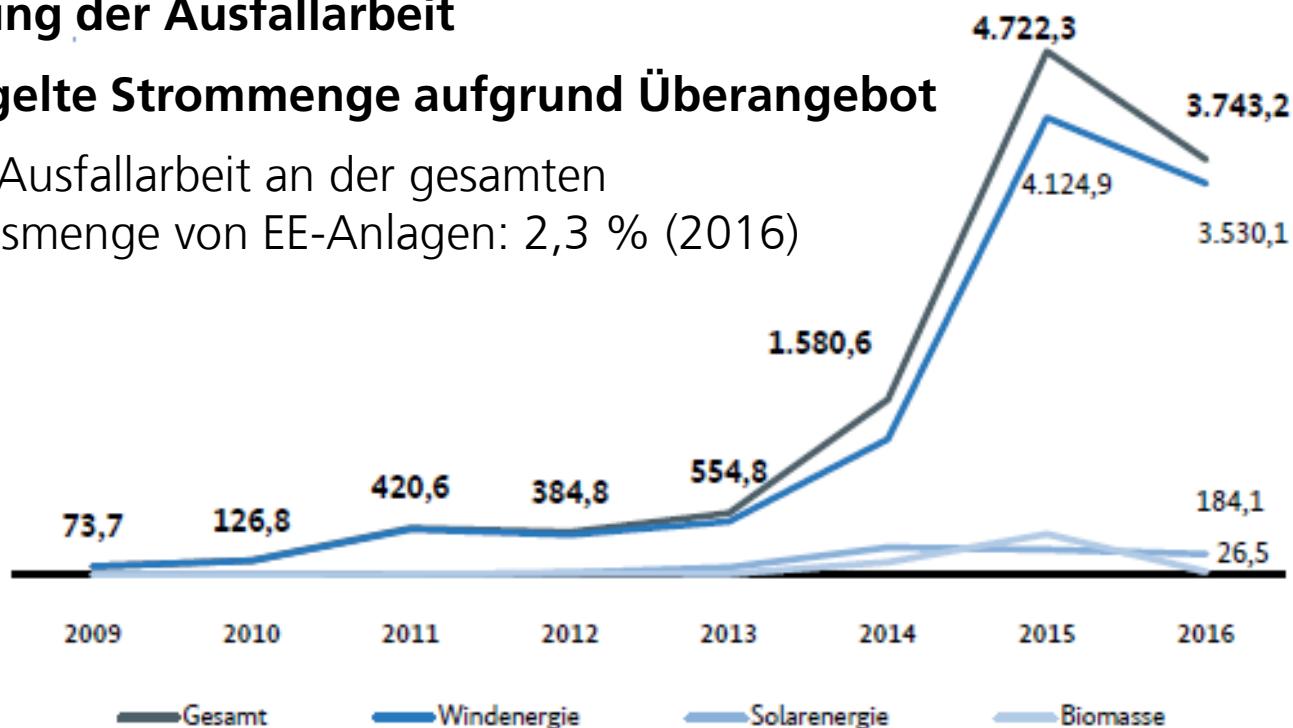


Abb. 2: Ausfallarbeit verursacht durch Einspeisemanagementmaßnahmen (EinsMan-Maßnahmen) in GWh [2]

Motivation

Wesentlicher Standortvorteil für den Einsatz der Wasserelektrolyse auf Kläranlagen:

Der elektrolytisch gewonnene Sauerstoff wirkt hier als Energieträger und Prozessbeschleuniger.

- Durch den Eintrag von Reinsauerstoff in die Belebungsbecken der biologischen Reinigungsstufe im Vergleich zu luftbegasteten Anlagen:
- geringeres Gasvolumen für die Versorgung der Mikroorganismen notwendig
 - Verringerung von Geruchsemissionen aufgrund geringerer Aerosolbildung
 - Leistungssteigerung bei gleichem Beckenvolumen bzw. Verkleinerung des Belebungsbeckens bei gleicher Leistung
 - Reduzierung des Energieaufwandes [3]

Potential von Kläranlagen

- **Biologische Reinigungsstufe:** größter Stromverbraucher von kommunalen Kläranlagen
- Hauptstromverbraucher der biol. Reinigungsstufe: **Gebälsestation** → größtes Einsparpotential [4]
- rund 10.000 kommunale Abwasserbehandlungsanlagen in Deutschland: Bedarf von ca. 4,2 Mrd. kWh/a an elektrischer Energie [5]
- **Nutzung von Wasserstoff UND Sauerstoff am Kläranlagenstandort** → Steigerung der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit
- Verwertungsmöglichkeiten:
 - Reinsauerstoffbegasung (biologische Reinigungsstufe)
 - Wasserstoff für die Rückverstromung mittels Brennstoffzelle oder Verbrennungsmotor
 - Wasserstoff als Kraftstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge

Potential von Kläranlagen

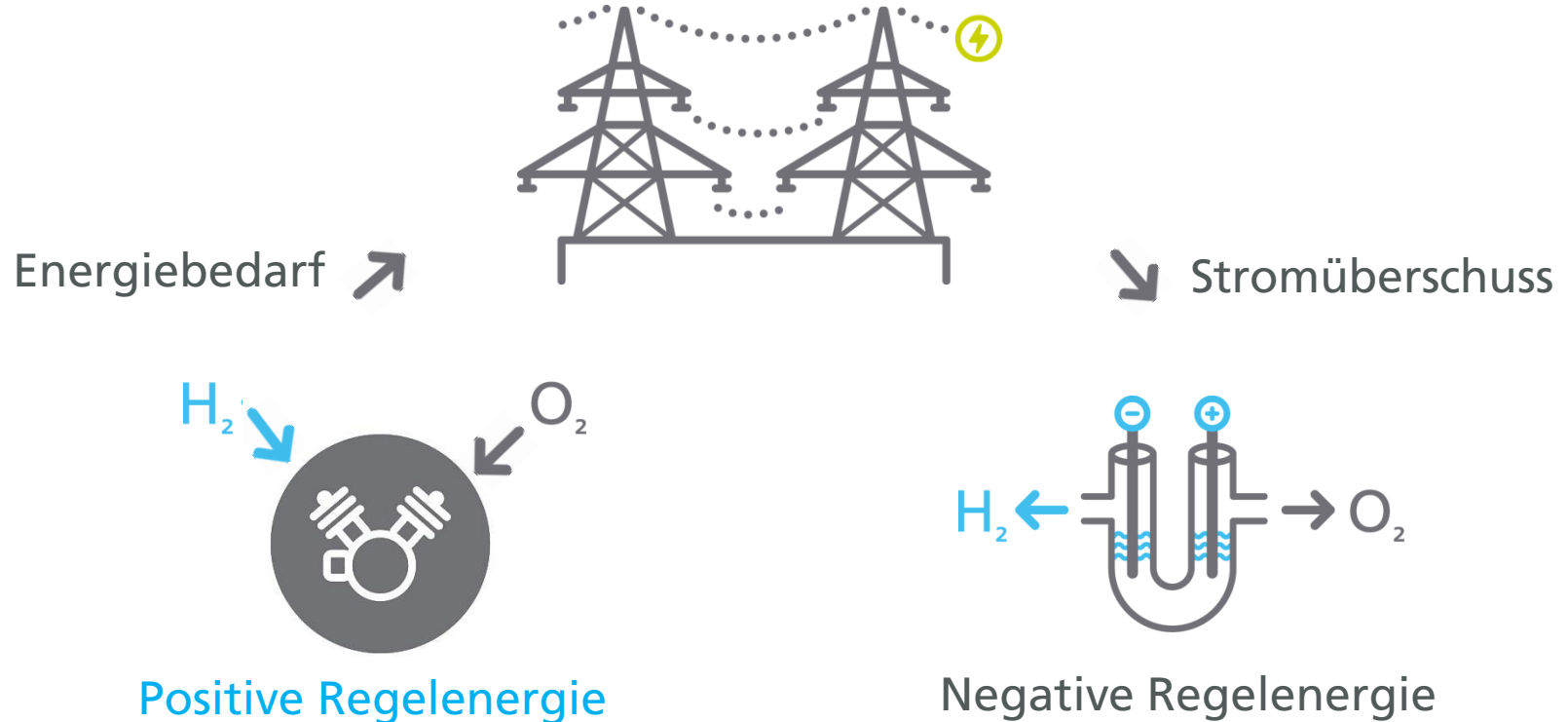


Abb. 3: Bereitstellung von positiver und negativer Regelenergie auf Kläranlagen

→ Stabilisierung der Stromnetze durch Aufnahme des Stromüberschusses mittels Wasserelektrolyse und Rückverstromung beispielsweise durch Wasserstoff-Sauerstoff-Verbrennungsmotor oder Brennstoffzellen am Kläranlagenstandort

Stand der Wissenschaft und Technik

Tab. 1: Übersicht über die drei wesentlichen Arten der Wasserelektrolyse [6]

Technologie	Temperaturbereich	Kathodenreaktion	Ladungsträger	Anodenreaktion
AEL	40-90 °C	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	OH^-	$2\text{OH}^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$
PEMEL	20-100 °C	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	H^+	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
HTEL (SOEL)	700-1.000 °C	$\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + \text{O}^{2-}$	O^{2-}	$\text{O}^{2-} \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{e}^-$

- bereits Demonstrationsprojekte zu Elektrolyseuren (Chlor-Alkali-EL, PEMEL) für prinzipiell alle drei Regelenergieprodukte (**Primär-, Sekundär-, Minutenreserve**) für negative Regelleistung
- Erlöse durch reine Vorhaltung der Kapazitäten (*Leistungspreis*) und durch Abruf (*Arbeitspreis*)
- Zusätzlicher (externer) Nutzen: positive Öffentlichkeitswirkung durch aktiven Beitrag zur Netzstabilität und Integration von EE [7]

Stand der Wissenschaft und Technik

Bereits mehrere Projekte zum Thema PtG, auch auf Abwasserreinigungsanlagen als idealen Standort

Bisheriger Fokus: **Wasserstoffverwertung**

Nebenprodukt: Sauerstoff

- entweder über Dach des Elektrolyseurs abgelassen oder
 - zur Spitzenlastabdeckung (bspw. Projekt *Wasserstoff-Initiative-Vorpommern* am Standort Barth [8]) oder Geruchselimination vorwiegend für Industriekläranlagen in die Belebungsbecken eingebracht [3]
- Substituierung von Luft- durch 100 % Reinsauerstoff in der biologischen Reinigungsstufe zur Stromkostenreduzierung noch nicht hinreichend untersucht

HYPOS-Projekt *LocalHy*

Allgemeines

■ HYPOS: HYDROGEN POWER STORAGE & SOLUTION EAST GERMANY

= eines von zehn ostdeutschen Projekten, im Rahmen des Programms „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ durch das BMBF gefördert

- *LocalHy*: Dezentrale Wasserelektrolyse mit kombinierter Wasserstoff- und Sauerstoffnutzung aus EE
 - 1. gefördertes HYPOS-Projekt
 - Laufzeit: 08/2015 – voraus. 05/2019

HYPOS Ziel:

Wirtschaftliche H₂-Elektrolyse durch Nutzung des Stromüberschusses aus Wind und Sonne

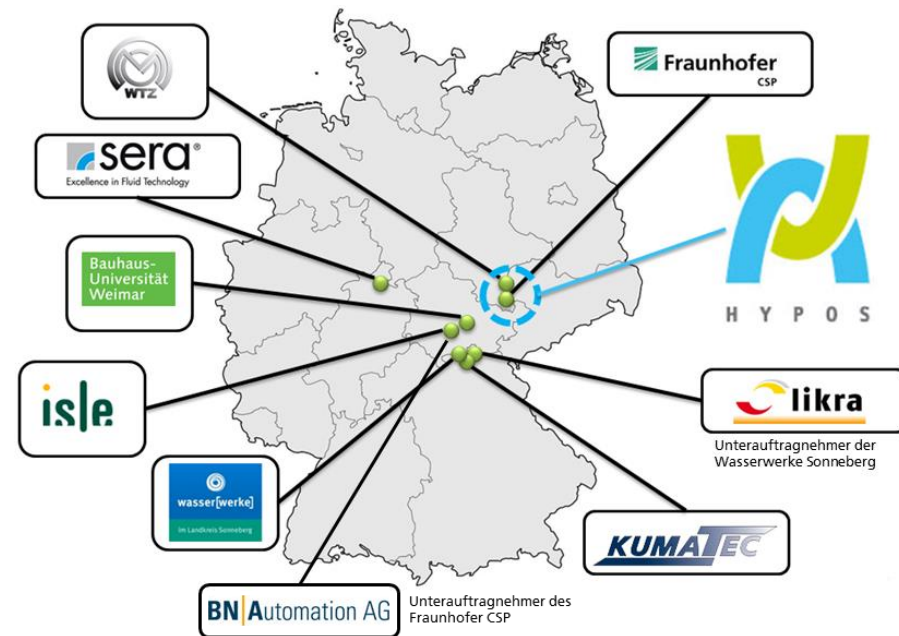


Abb. 4: Projektpartner von *LocalHy*

HYPOS-Projekt *LocalHy*

Gesamtziel

Umsetzbarkeit und
Wirtschaftlichkeit
des Gesamtsystems

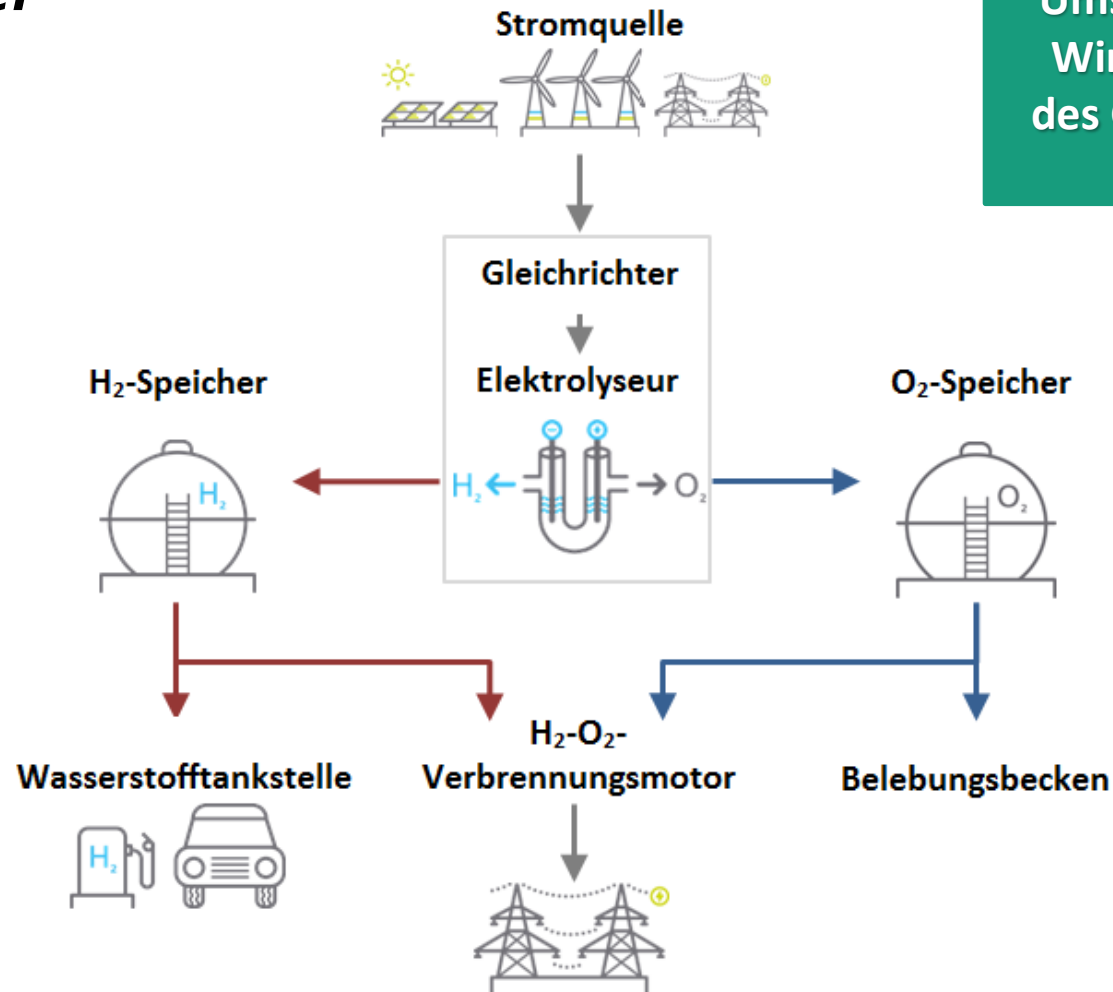
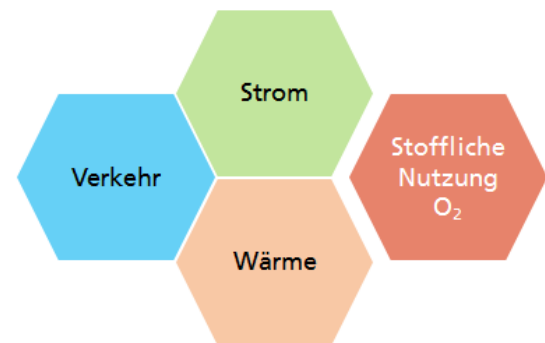


Abb. 5: Systemkomponenten des *LocalHy*-Projektes

HYPOS-Projekt *LocalHy*

Sektorenübergreifendes PtG-System

- Idee: Produktion von „grünem“ Sauerstoff mittels Wasserelektrolyse vor Ort unter Verwendung von überschüssigem Strom aus EE-Quellen zur Reduzierung der Stromkosten der biologischen Reinigungsstufe
 - Nebenprodukt: Wasserstoff
 - zusätzliche Verwertung des Wasserstoffes durch Vertankungsmöglichkeit und Rückverstromung am Kläranlagenstandort zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit
- **Sektorenübergreifendes Power-to-Gas-System**



Systemanalysetool

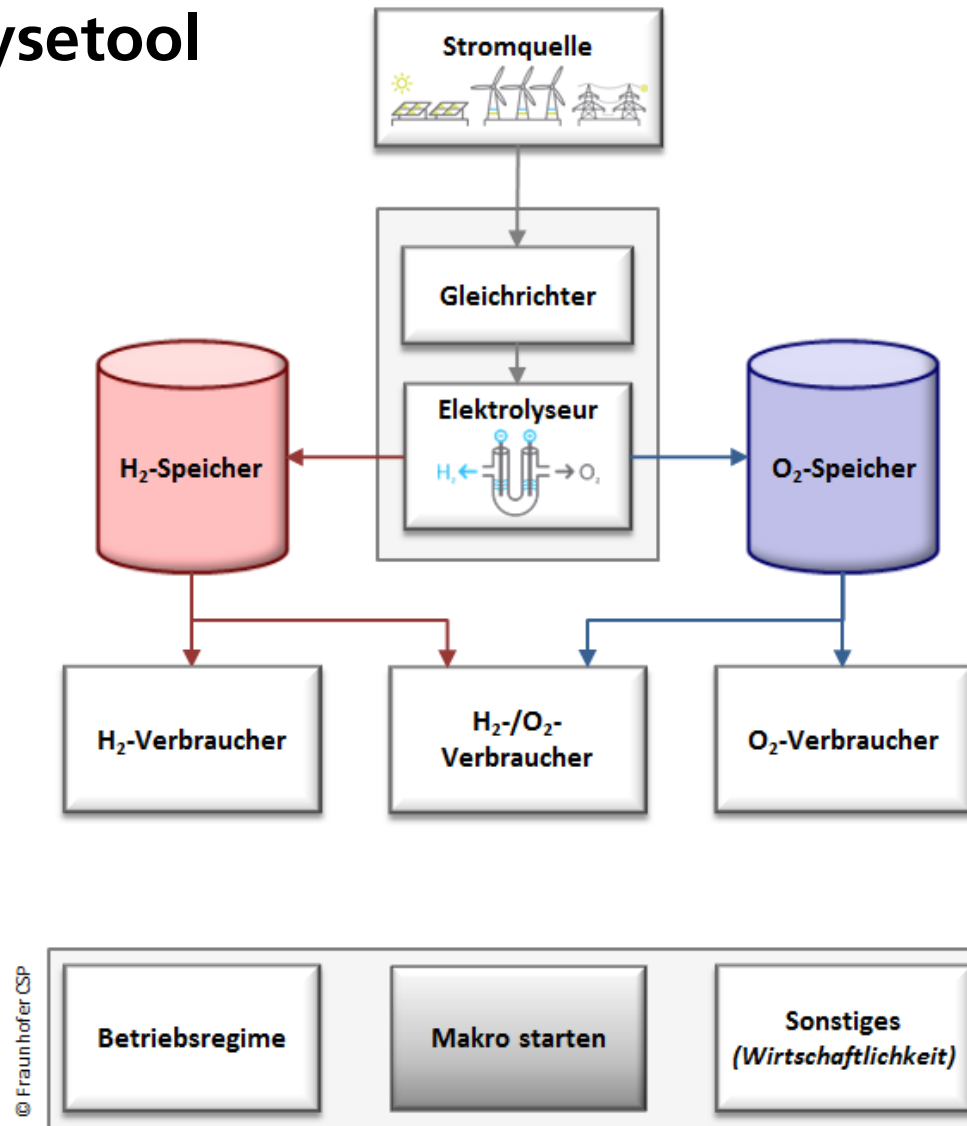


Abb. 6: Eingabemaske des entwickelten Systemanalysetools

Systemanalysetool

Benutzeroberfläche:

- Reiter zur „Systemsimulation“ und „Wirtschaftlichkeit“
 - System- und Wirtschaftlichkeitsanalyse zunächst unabhängig voneinander durchführbar
 - Dateneingabe für Systemkomponenten erfolgt durch Benutzer; separate Excelliste für PV-/Windenergiedaten bzw. für Verbraucher integrierbar
 - H₂-/O₂-Anwender individuell auswähl- und priorisierbar
 - unter *Betriebsregime* Stromquelle einstellbar: EE, EE+Netz, Netz (*Grünstrom/ Graustrom*)
- stündlich aufgelöste Simulation eines Betriebsjahres
- Verknüpfung des Wirtschaftlichkeitstools mit der Systemsimulation

Wirtschaftlichkeitstool



Abb. 7: Ablauf der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

- Wahl der *Kapitalwertmethode* als gebräuchlichstes Rechenverfahren
- Kapitalwertentwicklung über die Laufzeit
- automatische Ausgabe der Sensitivitätsanalyse-Diagramme

Ausblick

- Test des Gesamtsystems auf der Kläranlage Sonneberg-Heubisch (Thüringen)
- Evaluierung der entstehenden Energie- und Stoffströme aus dem Testbetrieb
- Sensitivitätsanalyse zur Feststellung des optimalen Zusammenspiels der Komponenten
- Optimierung der Systemsimulation zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit
- Erweiterung des Systemanalysetools um neue Komponenten wie Brennstoffzellen, Batteriespeicher oder neue Sauerstoff-/Wasserstoffanwender
- Beurteilung der Anwendbarkeit von derartigen Anlagen sowohl national als auch international für die Entwicklung eines neuartigen Geschäftsmodells

Literaturangaben

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Erneuerbare Energien in Zahlen,“ BMWi, Berlin, 2016
- [2] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen | Bundeskartellamt, „Monitoringbericht 2017,“ Bundesnetzagentur | Bundeskartellamt, Bonn, 2017
- [3] HST Hydro-Systemtechnik GmbH, „Reinsauerstoffbelüftung auf kleinen Industriekläranlagen - Energieeinsparpotenziale und Kapazitätssteigerungen am Beispiel der Kläranlage der Fa. Emsland Frischgeflügel GmbH,“ Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU, Meschede, 2012
- [4] Bundesamt für Energie, „Untersuchungen über den Stromverbrauch biologischer Reinigungsverfahren auf Kläranlagen,“ BFE, Bern, 2006
- [5] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., „DWA-Positionen - Positionen zur Energie- und Wasserwirtschaft,“ DWA, Hennef, 2013
- [6] T. Smolinka, M. Günther und J. Garche, „Stand und Entwicklungspotenzial der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen Energien,“ NOW-Studie, Berlin, 2011
- [7] Rolls-Royce Power Systems AG, „MTU onsite energy Aggregate für die Vermarktung von Regelenergie,“ 2018. Online: <http://www.mtuonsiteenergy.com/regelenergie/index.de.html>
- [8] ARGE Wasserstoff-Initiative Vorpommern, „Solarer Wasserstoff in Mecklenburg-Vorpommern - Utopie oder Zukunftstechnologie,“ WTI Wasserstofftechnologie-Initiative Mecklenburg-Vorpommern e.V., Barth, 2003

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt:

Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP Halle (Saale)

Franziska Hönig

E-mail: franziska.hoenig@csp.fraunhofer.de

Web: <http://www.csp.fraunhofer.de/>

Danksagung:

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, welches im Rahmen der Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany (HYPOS)-Initiative das Projekt *LocalHy* möglich macht (Förderkennzeichen: 03ZZ0705D).