

FLEXAQUA: EIN HOLISTISCHER ANSATZ ZUR FLEXIBLEN ENERGIENUTZUNG IN DER WASSERWIRTSCHAFT

Leon SPRINGORUM^{1*}, Christian DERKSEN², Omar Ben CHOBBA²,
Nils LOOSE³, Mathias BRUNE⁴, Markus ZDRALLEK⁵

Kurzfassung

Die zunehmende Einspeisung erneuerbarer Energien in das Stromsystem bringt große Herausforderungen bei der Sicherstellung der System- und Netzstabilität mit sich. Aufgrund der Volatilität der Einspeisung von Wind- und Photovoltaikanlagen entstehen stärkere Fluktuationen, welche durch eine flexible Anpassung von Erzeugung und Verbrauch sowie durch Speicherung ausgeglichen werden müssen. Damit rücken die Identifikation, Bewertung und Nutzung vorhandener Flexibilitätspotenziale in bestehenden Infrastrukturen zunehmend in den Fokus. Die Wasserwirtschaft bietet hierbei ein bislang nur begrenzt erschlossenes Potenzial. Viele Anlagen verfügen über steuerbare energieintensive Verbraucher sowie Erzeugungs- und Speicherkapazitäten. Aufgrund der Variabilität des Abwasserzuflusses durch Regenereignisse sind sie bereits für den Betrieb an unterschiedlichen Betriebspunkten ausgelegt und damit besonders gut dafür geeignet, um als systemdienliche Flexibilitätsressourcen in das Energiesystem eingebunden zu werden.

Das Forschungsprojekt *FlexAqua* verfolgt das Ziel, diese Potenziale systematisch zu erfassen, technisch und energiewirtschaftlich zu bewerten sowie geeignete Strategien zu deren Nutzung zu entwickeln. Im Zentrum steht die Frage, wie wasserwirtschaftliche Prozesse so betrieben werden können, dass sie einerseits die betrieblichen Anforderungen an Versorgungssicherheit, Wasserqualität und Prozessstabilität erfüllen, andererseits aber aktiv zur Systemstabilisierung beitragen und ihre betrieblichen Emissionen und Kosten minimieren. Flexibilität wird dabei nicht als isolierte Betriebsoption verstanden, sondern als integraler Bestandteil einer optimierten Anlagenführung im Sinne eines energieadaptiven Betriebs.

Methodisch basiert der Ansatz auf einer Kopplung von Machine-Learning-basierten, physikalisch-technischen Systemmodellen mit energiewirtschaftlichen Prognose- und Optimierungsverfahren. Ausgehend von historischen Betriebsdaten und physikalischen Prozessparametern werden Modelle erstellt, die das dynamische Verhalten zentraler Betriebsmittel, wie Pumpen oder Verdichter, realitätsnah abbilden. Diese Modelle dienen als Grundlage für eine vorausschauende Einsatzplanung, bei der Last- und Erzeugungsprognosen mit betrieblichen Randbedingungen verknüpft werden. Daraus resultieren optimierte Fahrpläne, die den Stromverbrauch zeitlich verlagern und zugleich die technische Integrität des Gesamtsystems wahren.

Darauf basierend soll im Projekt *FlexAqua* ein prototypisches Assistenzsystem für die Leitwarte entwickelt werden, das Empfehlungen für konkrete Schalthandlungen zur Umsetzung der erstellten Fahrpläne gibt. Dabei werden fortlaufend aktualisierte Zustandsdaten und Prognosen genutzt, um den Betriebspunkt der Anlage optimal an die sich ändernden Gegebenheiten anzupassen. Auf diese Weise entsteht eine geschlossene Rückkopplungsschleife aus Prognose, Optimierung, Steuerung, Monitoring und Planverifikation. Abweichungen zwischen Modell und Realität werden erfasst, analysiert und zur kontinuierlichen Verbesserung der Systemmodelle verwendet. Das Assistenzsystem soll im Projektverlauf in einem Feldtest auf der größten Kläranlage des Praxispartners StEB Köln, dem Großklärwerk Köln-Stammheim (1,57 Mio. EW), praktisch erprobt werden. Die Anlage bietet verfahrenstechnisch und energetisch eine hohe Komplexität. Beispielsweise kann Faulgas verstromt

¹ Bergische Universität Wuppertal, Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal, 0202 439 1615, lspringorum@uni-wuppertal.de, <https://www.evt.uni-wuppertal.de/de/>

² EnFlex.IT GmbH, Am Thyssenhaus 1-3, 45128 Essen, {cderksen|obenchobba}@enflex.it

³ Universität Duisburg-Essen, Forsthausweg 2, 47057 Duisburg, 0201 18-32467, nils.loose@uni-due.de

⁴ Stadtentwässerungsbetriebe Köln AÖR (StEB Köln), Ostmerheimer Straße 555, 51109 Köln, mathias.brune@steb-koeln.de

⁵ Bergische Universität Wuppertal, Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal

oder in Erdgasqualität ins Gasnetz eingespeist werden. Perspektivisch ist auch eine Weiterentwicklung des Systems zu einer vollautomatisierten, modellprädiktiven Regelung denkbar.

Neben der technischen Implementierung wird im Projekt auch die energiewirtschaftliche Perspektive adressiert. Durch die Einbindung der flexiblen Betriebspunkte in Strommärkte, insbesondere in die kurzfristigen Spot- und Intraday-Märkte, sowie durch die Bereitstellung von Systemdienstleistungen soll die wirtschaftliche Nutzbarkeit der Flexibilität unter Prognoseunsicherheit aufgezeigt werden. Dazu werden Bewertungsmodelle entwickelt, die sowohl die Energiepreisvolatilität als auch mögliche Prognoseabweichungen berücksichtigen. Der Mehrwert ergibt sich anschließend aus der Möglichkeit eigen erzeugten Strom optimal zu Zeiten hochpreisigen Strombezugs zu nutzen, Strom in Zeiten niedriger Preise zu beziehen, Lastspitzen zu vermeiden und bei Bedarf kurzfristig auf Marktsignale zu reagieren.

Erste Simulationen zeigen, dass durch eine koordinierte, modellbasierte Steuerung der Betriebsmittel signifikante Einsparungen bei Stromkosten und CO₂-Emissionen möglich sind. Gleichzeitig bleibt die Prozesssicherheit gewährleistet, da alle Optimierungen innerhalb der physikalischen und betrieblichen Grenzen erfolgen. Darüber hinaus lassen sich Erkenntnisse aus *FlexAqua* auf andere kommunale oder industrielle Infrastrukturen übertragen.

Das Projekt liefert damit einen fundierten Beitrag zur Integration dezentraler Flexibilität in das Energiesystem. Es zeigt, dass durch präzise Systemmodellierung, Machine-Learning-basierter Prognosen und optimierte Betriebsstrategien bestehende Infrastrukturen aktiv zur Stabilität des Energiesystems beitragen können. *FlexAqua* versteht Flexibilität nicht als Nebenprodukt, sondern als bewusst gestaltete Eigenschaft technischer Systeme, die Wirtschaftlichkeit sowie informationstechnologische und ökologische Nachhaltigkeit miteinander verbindet.

Förderhinweis

Die vorgestellte Arbeit basiert auf Forschungsaktivitäten im Rahmen des Projekts *FlexAqua*. *FlexAqua* wird durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt ausschließlich bei den Autoren.



**Kofinanziert von der
Europäischen Union**

Die Landesregierung
Nordrhein-Westfalen

