

# Wasserwirtschaftliche Anlagen als Flexibilitätsdienstleister im Stromnetz

## Zwischenergebnisse aus Projekten der BMBF-Fördermaßnahme ERWAS

Oliver Gretzschel, Michael Schäfer (Kaiserslautern), Verena Honeck (Bingen) und Arthur Dornburg (München)

### Zusammenfassung

Der Bedarf, Flexibilität am Strommarkt anzubieten, wird verursacht durch einen stetig wachsenden Anteil volatiler erneuerbarer Stromerzeugung als Folge der Energiewende. Flexibilität wird durch den variablen Betrieb verschiedener Anlagen und Energiespeicher bereitgestellt. Erste Untersuchungen zeigen, dass die Wasserwirtschaft mit ihren Leistungsgrößen an Blockheizkraftwerken, Verdichtern und Pumpen über interessante „Flexibilitätsbausteine“ für die Energiewirtschaft verfügt. Der Beitrag beleuchtet den Begriff der Flexibilität und welche Einsatzmöglichkeiten dafür infrage kommen. Dabei richtet sich der Fokus des Flexibilitätseinsatzes weniger auf die wasserwirtschaftlichen Anlagen selbst als auf die Stromnetzinfrastuktur. Des Weiteren werden am Beispiel des Regelenergiemarktes das Marktvolumen sowie die Voraussetzungen zur Teilnahme am Markt ausgeführt.

Schlagwörter: Wirtschaft, Energiewirtschaft, Energiewende, Stromnetz, Flexibilität, Kläranlage, Trinkwasserversorgung

DOI: 10.3242/kae2016.08.001

### Abstract

#### Water Management Facilities as Flexibility Service Provider in the Power Grid Intermediate Results from the BMBF Sponsor Measure ERWAS

The requirement to offer flexibility in the power market has been caused by a steadily increasing share of volatile, renewable electricity generation as a consequence of the energy transition. Flexibility is provided by a variable operation of different facilities and energy storage. Initial investigations show that the water industry, with its performance variables in combined heating plants, compressors and pumps, possesses “flexibility modules” interesting for the energy industry. The article illuminates the perception of the flexibility and which application possibilities qualify for this. Here, the focus on the flexibility application is aimed less at the water management facilities themselves than at the power grid infrastructure. In addition, the example of the balancing energy market, the market volume and the prerequisites for participation in the markets are explained.

Key words: management/industry, energy industry, energy transition, power grid, flexibility, wastewater treatment plant, drinking water supply

## 1 Einleitung

Der Ausbau der erneuerbaren Energien (EE) ist ein wichtiger Pfeiler der Energiewende. Im Jahr 2015 haben diese in Deutschland erstmals einen Anteil von 32,5 % an der Bruttostromerzeugung erreicht [1]. Kurz- und mittelfristig wird der Anteil von erneuerbaren Energien weiter zunehmen. Die regionale Wasserwirtschaft in Deutschland kann mit ihren energetischen Speicher- und Erzeugungsmöglichkeiten sowie durch die vorhandenen energieintensiven Anlagen zur Erreichung der

energiepolitischen Ziele beitragen und so die Integration der volatilen erneuerbaren Energiemengen in das Stromnetz unterstützen. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat unter anderem deshalb die Fördermaßnahme „Zukunftsfähige Technologien und Konzepte für eine energieeffiziente und ressourcenschonende Wasserwirtschaft – ERWAS“ gestartet. Die Fördermaßnahme ist Teil des BMBF-Förderschwerpunkts „Nachhaltiges Wassermanagement – NaWaM“, in dem das BMBF seine

Aktivitäten im Bereich der Wasserforschung innerhalb des Rahmenprogramms „Forschung für nachhaltige Entwicklungen“ (FONA) bündelt. Insgesamt werden im Rahmen der Fördermaßnahme zwölf Verbundvorhaben mit rund 80 Partnern unterstützt (vgl. <https://bmbfnawam-erwas.de/de>).

Das ERWAS-Querschnittsthema „Energiespeicher und Energienetze (ESpEN)“ beschäftigt sich mit den „Flexibilitätpotenzialen“ der Wasserwirtschaft. Untersucht werden sinnvolle und wirtschaftliche Speicherpotenziale sowie Optionen einer Netzintegration durch Flexibilitätsbausteine auf wasserwirtschaftlichen Anlagen. Teilnehmer unterschiedlicher Verbundprojekte tauschen sich bezüglich ihrer Projekterfahrungen aus und tragen die Erfahrungen und Ergebnisse zusammen. In den Verbundvorhaben werden unterschiedliche Handlungsoptionen und konkrete Beiträge zur Flexibilität in der Energiewirtschaft untersucht. Im vorliegenden Bericht werden die damit verbundenen Grundlagen und Begrifflichkeiten erläutert sowie Flexibilitätsoptionen und Möglichkeiten der Wasserwirtschaft für deren Marktintegration aufgezeigt.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Wandel im Stromnetz

Um die Netzstabilität (Frequenz- und Spannung) sicherzustellen, kommt es derzeit bei entsprechenden Netzengpässen zu Abschaltungen von volatilen erneuerbaren Stromerzeugern und somit zu Verlusten. Ursache dafür ist der wachsende Anteil dieser volatilen erneuerbaren Energien zu Zeiten geringer Lasten sowie die nicht immer ausreichende Kapazität im Netz. Zukünftig ist vermehrt mit deutlichen Erzeugungüberschüssen zu rechnen, die zu kritischen Systemzuständen führen können. Daraus ergeben sich zwei zentrale Fragestellungen:

- Wie kann die Netzstabilität sowohl im Übertragungsnetz (Frequenzhaltung) als auch im Verteilnetz (Spannungshaltung) zukünftig sichergestellt werden?
- Wie können Energieüberschüsse sinnvoll genutzt bzw. gespeichert werden?

### 2.2 Flexibilität in der Wasserwirtschaft

Grundsätzlich gibt es für die Behandlung der Volatilitätsproblematik mehrere Handlungsoptionen:

- flexible Erzeugung,
- flexible Nachfrage,
- Stromspeicher und
- leistungsfähige Netze.

Der Investitionsbedarf in angepasste Netze kann durch Optionen diverser Erzeuger und Verbraucher reduziert werden. Begegnen diese der schwankenden Erzeugung mit eigener Flexibilität, so entlastet das nicht nur die Netze, sondern kann für die Akteure auch eine gute Ertragsmöglichkeit sein, auch in der Wasserwirtschaft.

Stromspeicher können sowohl vom Netzbetreiber betrieben werden als auch von Unternehmen mit dezentraler Eigenerzeugung und größeren Verbrauchern. In solchen Fällen kommen den Speichern mehrere Funktionen zu, wodurch die Wirtschaftlichkeit optimiert werden kann. Ein ausreichend dimen-



## SediPoint®: Einfach sauberes Wasser. Punkt.

Wir von FRÄNKISCHE reinigen Regenwasser jetzt auf einzigartige Weise und auf kleinstem Raum – mit dem Sedimentationsschacht SediPoint.

Der kompakte Schacht basiert auf dem nachgewiesenen SediPipe Wirkprinzip mit der patentierten Strömungstrenner-Technologie. Die Sedimentationskassette mit spiralförmiger Wasserführung sorgt für ein Minimum an Platzbedarf – bei voller Leistung.

**SediPoint – Regenwasserreinigung auf den Punkt gebracht!**

sionierter Stromspeicher kann im Idealfall zur Lastspitzenglättung genutzt werden, gleichzeitig aber auch zum wirtschaftlichen Optimieren der Eigenerzeugung und unter Berücksichtigung entsprechender Kriterien sogar im Flexibilitätsmarkt integriert werden.

Eine Möglichkeit zur Sicherstellung der Netzstabilität bei Stromüberschuss besteht darin, gezielt Erzeuger herunterzufahren, zum Beispiel Blockheizkraftwerke (BHKW), und Verbraucher (zum Beispiel Zentrifugen) hochzufahren. Dabei ist das Abregeln von Windkraft- und Photovoltaikanlagen zu vermeiden, da die nicht-produzierte Energie sinnvoll genutzt werden könnte. Die Möglichkeit, Stromverbraucher bzw. -erzeuger so zu betreiben, dass sie unter bestimmten Bedingungen (zum Beispiel Strompreis, Netzstabilität) an- oder abgefahren werden können, wird im Zusammenhang mit Netzstabilität und EE-Ausbau als Flexibilität bezeichnet.

Die durch flexible Fahrweise freiwerdende oder anliegende Last kann als Dienstleistung vermarktet werden. Der passende Markt richtet sich nach der Anlagencharakteristik, wie zum Beispiel der Geschwindigkeit, mit der eine Anlage an- bzw. abgefahren werden kann.

Ein Beispiel für Flexibilität ist die Bereitstellung von Regelleistung zur Frequenzhaltung, siehe Kapitel 3.1. Dies ist bereits gängige Praxis. Für wasserwirtschaftliche Anlagen würde dies bedeuten, in Abhängigkeit von der jeweiligen Netzsituation Erzeuger und Verbraucher hoch- oder herunterzufahren (Abbildung 1).

Der „flexible“ Betrieb von Anlagen kann unterschiedlich für die Sicherung der Netzstabilität eingesetzt werden. Die für Kläranlagen und andere wasserwirtschaftliche Anlagen exemplarisch in Betracht kommenden Einsatzmöglichkeiten (vgl. auch [3]) sind:

- netzentgeltoptimiertes Bezugsverhalten
- Netzkapazitätsmanagement
- Bilanzkreismanagement
- Regelleistung
- Nutzen von Preisschwankungen am Strommarkt
- lokale Netzdienstleistungen

Das Potenzial von wasserwirtschaftlichen Anlagen, zur Sicherung der Netzstabilität beizutragen, ist dabei nicht unerheblich. Potenzialabschätzungen haben gezeigt, dass kommunale Kläranlagen bereits heute ca. 140 MW<sub>el</sub> – unter Ausschöpfung weiterer noch zu erschließender Potenziale bis nahezu 300 MW<sub>el</sub> – an flexibler Leistung bereitstellen könnten [4, 5].

Mittelfristig werden Langzeitspeicher erforderlich [6]. Und zwar ab einem erneuerbaren Stromanteil von 60–70 %, der

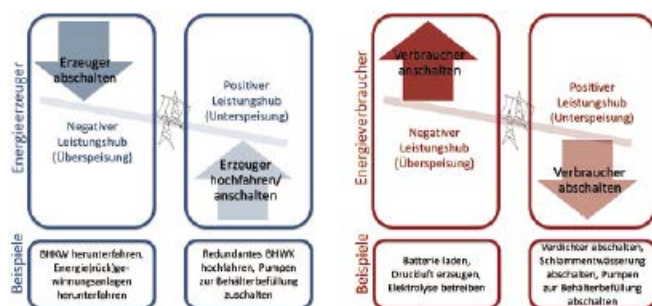


Abb. 1: Mögliches Flexibilitätsverhalten von Verbrauchern und Erzeugern in der Wasserwirtschaft, abgeändert nach [2]

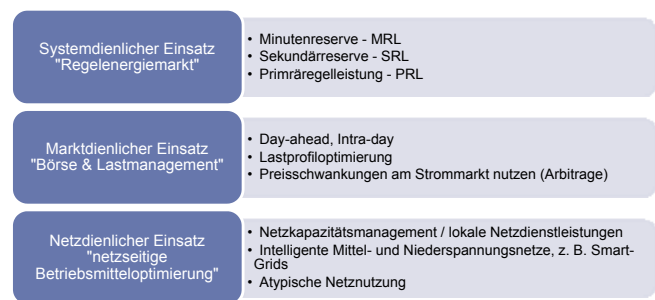


Abb. 2: Einsatzmöglichkeiten für Flexibilität, abgeändert nach [2]

2025 bis 2030 erreicht sein wird. Ein optimaler Einsatz von Flexibilität kann den Speicherbedarf in den kommenden Jahren jedoch niedrig halten.

### 3 Einsatzfelder für Flexibilität

Ein effizienter Anlagenbetrieb kann nur erreicht werden, wenn detaillierte Kenntnisse zu Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen, über Lastprofile und Lastspitzen sowie Wirkungsgrade und Kennlinien vorliegen. Mit diesen Informationen können auch Erlöse im Bereich Lastabschaltung bzw. -zuschaltung, optimierte Beschaffungsprofile oder gar die Reduzierung der Netzentgelte realisiert werden. Mit diesem Know-how können die Flexibilitätsoptionen in unterschiedlichen Märkten eingesetzt werden (Abbildung 2). Ziel des systemdienlichen Einsatzes ist die Unterstützung der Frequenzhaltung im Übertragungsnetz, das dazu dienende Produkt die Regellenergie.

Der netzdienliche Einsatz erfolgt auf der Ebene der Verteilnetze und hat die Spannungshaltung als Ziel. Der marktdienliche Einsatz beinhaltet die unterschiedlichen Produkte der Strombörse und umfasst primär keine system- bzw. netzdienlichen Funktionen.

#### 3.1 Systemdienlicher Einsatz

Mit dem Produkt der Regellenergie für den systemdienlichen Einsatz existiert bereits heute ein Markt mit entsprechendem Ertragspotenzial für flexible Verbraucher und Erzeuger. Die Regellenergie dient der Sicherstellung der Netzfrequenz von 50 Hertz. Abweichungen aus Stromerzeugung und -verbrauch werden unter anderem mit Regellenergie ausgeglichen. Dabei wird zwischen positiver und negativer Regellenergie unterschieden:

- **Positive Regellenergie:** Tritt Strommangel auf, bei dem die Netzfrequenz fallen würde, wird durch das Zuschalten von Stromerzeugern bzw. das Abschalten von Stromverbrauchern die Differenz von Stromerzeugung und Strombedarf ausgeglichen.
- **Negative Regellenergie:** Bei einem Stromüberschuss, bei dem die Netzfrequenz steigen würde, wird durch das Abschalten von Stromerzeugern bzw. das Zuschalten von Stromverbrauchern die Differenz von Stromerzeugung und Strombedarf ausgeglichen.

Das Verhalten sowie das Zuschalten bzw. Reduzieren der Leistung wird am Regenergiemarkt vergütet. Die Regellenergie wird von den Übertragungsnetzbetreibern in drei Formen aus-



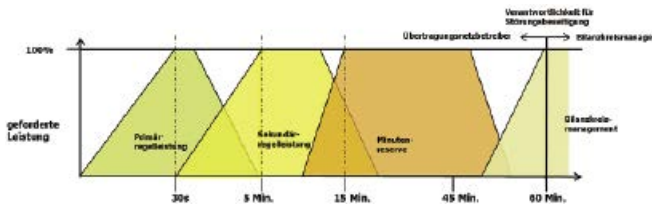


Abb. 3: Verlauf der Regelleistungsbereitstellung [7]

geschrieben, die sich unter anderem durch ihre Aktivierungsgeschwindigkeit unterscheiden (Tabelle 2).

Die Primärregelenergie wird zur schnellen Stabilisierung des Netzes innerhalb von 30 Sekunden benötigt. Die Sekundärregelenergie muss innerhalb von fünf Minuten in voller Höhe zur Verfügung stehen. Die Minutenreserve wird zur Ablösung der Sekundärregelenergie eingesetzt. Für industrielle Verbraucher ist die Minutenreserve und Sekundärregelenergie eine interessante Form der Vermarktung, da diese von vielen Aggregaten bedient werden können: Die Minutenreserve setzt eine Aktivierungs- und Deaktivierungszeit von bis zu 15 Minuten voraus und wird täglich für den folgenden Werktag bzw. freitags für Samstag, Sonntag und Montag ausgeschrieben. Die Sekundärregelenergie wird wöchentlich in Haupttarif (HT, Werktags von 8 bis 20 Uhr) und Nebentarif (NT, Werktags von 0 bis 8 Uhr und von 20 bis 24 Uhr sowie am Wochenende ganztags) ausgeschrieben und hat eine Aktivierungszeit von fünf Minuten.

Mit der Minutenreserve und der Sekundärregelenergie existieren zwei für die Wasserwirtschaft interessante Regelenergieformen. Zum einen wird für die Vorhaltung von Regelleistung ein Leistungspreis gezahlt. Zum anderen wird im Fall eines Abrufs ein Arbeitspreis gezahlt. Die Regelleistung wird von den vier deutschen Übertragungsnetzbetreibern gemeinsam ausgeschrieben. Die Ergebnisse der Ausschreibung variieren sehr stark, abhängig von der Jahreszeit, aber auch über die Woche bzw. über den Tag. So waren 2014 im Bereich des Leistungspreises der Minutenreserve für die ganzjährige Bereitstellung einer Leistung in Höhe von einem Megawatt 4800 € für die positive und 33 300 € für die negative Richtung möglich.

Mithilfe eines Betreibers für ein virtuelles Kraftwerk können auch Anlagen mit kleineren Leistungen (teilweise ab 100 kW<sub>el</sub>, oft aber erst ab einem Flexibilitätsvolumen von 1 MW<sub>el</sub>), die in größeren Pools gebündelt werden, beispielsweise am Minutenreservemarkt teilnehmen. Bei einer Abwasserbehandlungsanlage mit einem Einwohnerwert von 250 000 E können dies unter Berücksichtigung sämtlicher relevanter Komponenten 2 bis 5 MW<sub>el</sub> werden. Dies ist auch davon abhängig, an wie vielen Stunden eines Jahres eine Vermarktung dieser Anlage stattfinden kann. Damit steht der Markt, über virtuelle Kraftwerke, den Betreibern von wasserwirtschaftlichen Anlagen offen.

### 3.2 Netzdienlicher Einsatz

Der netzdienliche Einsatz von Flexibilität bietet derzeit keinen aktiven Markt, zudem sind keine Marktregularien definiert. Zukünftig wird aber auch im Verteilnetz die Nutzung von Flexibilität interessanter, da somit zum Beispiel Kosten für den Netzausbau eingespart werden oder die Betriebsmittelbelastung durch intelligente Steuerung von flexiblen Anlagen reduziert werden kann. Ein einheitliches System sowie einheitliche Marktregularien sind für die Einführung und Öffnung der Ver-

teilnetze für Flexibilitätsdienstleister wichtig. Nur so können klare Vorgaben an die Anlagentechnik und die Steuerungssysteme definiert werden.

Für Betreiber von Wasserversorgungsanlagen ist die atypische Netznutzung von Bedeutung. Das azyklische Lastverhalten der Aggregate gegenüber normalen Verbrauchern im Netz bietet die Chance, mit dem Netzbetreiber individuelle Netzentgelte auszuhandeln. Auch dies kann eine wirtschaftliche Option für den Anlagenbetreiber sein. Entscheidend ist, dass die Höchstlast des Anlagenbetreibers nicht mit der Höchstlast des Netzbetreibers zusammenfällt. Dies kann im Idealfall bereits durch den regulären Anlagenbetrieb möglich sein, aber auch durch flexiblen Betrieb der eigenen Aggregate herbeigeführt werden.

### 3.3 Marktdienlicher Einsatz

Der marktdienliche Einsatz am Spotmarkt der Strombörse, durch Teilnahme am Day-Ahead-Handel und/oder am Intraday-Handel, dient der dynamischen Energiebeschaffung. Die fluktuierende Energieerzeugung von Wind- und Solarstrom führt an diesen Märkten zu zeitweise sehr hoher Volatilität der kurzfristigen Preise. Diese kann ausgenutzt werden, um mit verbrauchs- und erzeugerseitiger Flexibilität einen systematisch niedrigeren Durchschnittspreis beim Energiebezug zu realisieren. Als Day-Ahead wird der Handel von Strom mit Lieferung am nächsten Tag bezeichnet. Er ermöglicht den Handel von Kontrakten, die jeweils die konstante Lieferung von Strom in einer Stunde des Folgetages umfassen. Der Intraday-Handel am Spotmarkt der Strombörse stellt den kurzfristigsten Kauf oder Verkauf von Strom mit Lieferung am gleichen Tag dar.

Für die Teilnahme am Spotmarkt muss das jeweilige Tarifmodell erlauben, einen Teil des Energiebedarfs am Spotmarkt zu beziehen. Außerdem ist die Prognose des Bedarfs und des Marktpreises notwendig (Erstellen eines Fahrplans), um Niedrig- und Hochpreisphasen vorherzusehen und dann die verfügbare Flexibilität einzusetzen, um den Bedarf in diesen Niedrigpreisphasen zu erhöhen und in den Hochpreisphasen zu reduzieren. Die Mindestleistung zum Markteintritt am Spotmarkt beträgt 0,1 MW.

Anzeige



Jahr 2014	Aufrufe bei einem Grenz- arbeitspreis von 500 €/MWh	Gesamtabrufdauer	mittlerer Leistungspreis
	[h/a]	[h/a]	[€/ (MW a)]
MR <sub>neg</sub>	1,5	330	33 300
MR <sub>pos</sub>	8,5	320	4800
SRL <sub>neg</sub>	50,0	4700	42 200
SRL <sub>pos</sub>	17,0	4000	64 300

Tabelle 1: Aufrufcharakteristik sowie Leistungs- und Arbeitspreise für Sekundärregelleistung und Minutenregelleistung [8]

	Primärregelleistung (PRL)	Sekundärregelleistung (SRL)	Minutenreserve (MR)
<b>Aktivierung</b>	bis 30 Sekunden	bis 5 Minuten	bis 15 Minuten
<b>Ausschreibungszeitraum</b>	wöchentlich	wöchentlich	täglich
<b>Ausschreibungszeitpunkt</b>	i. d. R. dienstags	i. d. R. mittwochs	i. d. R. Mo–Fr, 10 Uhr
<b>Produktzeitscheiben</b>	keine (gesamte Woche)	HT: Mo–Fr, 8–20 h, ohne Feiertag NT: restl. Zeitraum	6 × 4-Stundenblöcke am Tag
<b>Produktdifferenzierung</b>	keine (symmetrisches Produkt)	positive/negative SRL	positive/negative MR
<b>Mindestgebotsgröße</b>	1 MW	5 MW	5 MW (Abgabe von Blockge- bot bis max. 25 MW möglich)
<b>Angebotsinkrement</b>	1 MW	1 MW	1 MW
<b>Dauer</b>	30 s bis 15 min	5 min bis 4 h	15 min bis 4 h
<b>Änderungsgeschwindigkeit</b>	automatische Aktivierung nach Frequenzabweichung von 200 mHz bei einer Genauigkeit von ± 10 mHz	mind. 2 % pro Minute der Nennleistung	mind. 2 % pro Minute der Nennleistung
<b>Vergabe</b>	Leistungspreis-Merit-Order	Leistungspreis-Merit-Order	Leistungspreis-Merit-Order
<b>Vergütung</b>	Pay-as-bid (Leistungspreis)	Pay-as-bid (Leistungs- und Arbeitspreis)	Pay-as-bid (Leistungs- und Arbeitspreis)

Tabelle 2: Wesentliche Produktmerkmale der in Deutschland ausgeschrieben Regelleistungsqualitäten, nach [10]

#### 4 Marktchancen und Marktvolumen – Regelernergie

Das Marktvolumen der Regelergiemärkte in Deutschland lag im dritten Quartal 2015 in der Minutenreserve für positive Regelernergie bei 1777 MW und für negative Regelernergie bei 2211 MW. Das der Sekundärregelleistung lag in beiden Leistungsrichtungen bei etwa 2 GW. Die Primärregelleistung wird in positiver und negativer Richtung gemeinsam ausgeschrieben und lag bei 783 MW. In Tabelle 1 sind die mittleren Leistungspreise, die Gesamtabrufdauern der Minutenreserve und Sekundärregelleistung sowie die Stundenwerte der Aufrufe bei einem Grenzarbeitspreis von beispielsweise 500 €/MWh dargestellt.

Zukünftig werden verschiedene Faktoren den Bedarf und Preis der Regelergiemärkte beeinflussen. Entscheidend für das Marktvolumen wird sein, dass der Ausbau der erneuerbaren Stromerzeuger weiter steigen wird. In den kommenden Jahren ist davon auszugehen, dass das Marktvolumen der Regelernergie leicht zunehmen wird. Wichtig ist jedoch auch die Möglichkeit, dass unterschiedliche Technologien und Akteure an den Flexibilitätsmärkten teilnehmen können. Trotz steigendem Bedarf an Flexibilität kann es hier schnell zu einem Überangebot kommen, wie die in Teilmärkten sinkenden Preise zeigen.

Für die Regelleistungsvergütung verhält es sich ähnlich, Großkraftwerke werden sukzessive abgeschaltet und stehen

somit nicht mehr zur Verfügung. Diese Entwicklungen würden prinzipiell einen steigenden Preis für die Regelleistungsbereitstellung nach sich ziehen. Im Gegenzug drängen zukünftig immer mehr kleinere Anlagen, mithilfe von virtuellen Kraftwerken, auf die Märkte. Dies könnte zu fallenden Preisen führen. Demnach sind auch bei den Preisen gegenläufige Effekte abzusehen, die eine zukünftige Preisprognose deutlich erschweren.

#### 5 Umsetzung: Teilnahme am Regelergiemarkt – Systemdienlicher Einsatz

##### 5.1 Virtuelles Kraftwerk

Um die Flexibilitäten zu vermarkten, bedarf es in der Regel eines sogenannten virtuellen Kraftwerks. Dieses fasst die flexiblen Leistungen unterschiedlicher Anlagenstandorte bzw. Anbieter zusammen und bietet diese gebündelt an den Flexibilitätsmärkten an. Der derzeit bekannteste Markt ist der für die negative Minutenreserve. Um daran teilzunehmen, müssen eine Leistung von 5 MW sichergestellt sein sowie weitere Anforderungen an die Aggregate erfüllt sein (vgl. dazu [9]). Diesen Anforderungen können Faulungsanlagen teilweise mit ihren KWK-Anlagen alleine nicht gerecht werden. Durch die Bündelung mit anderen wasserwirtschaftlichen Anlagen kann dieses Leis-

tungsziel im Verbund des virtuellen Kraftwerks jedoch problemlos erreicht und von diesem, ohne großen Mehraufwand für den Anlagenbetreiber, vermarktet werden.

### 5.2 Technische Anforderungen für die Teilnahme am Regelenergiemarkt

Die Anforderungen an die Anlagen als auch an die Kommunikationshardware sinken im Fall der Teilnahme am Regelenergiemarkt von der Primär- über die Sekundär- bis zur Minutenreserve. Dies betrifft vor allem die Aktivierungszeiten, in denen die geforderte Leistung in vollem Umfang bereitgestellt werden muss. Für die Primärregelleistung sind dies 30 Sekunden, für die Sekundärregelleistung 5 Minuten und für die Minutenreserve 15 Minuten [9]. Die technische Tauglichkeit der Anlagen zur Regelleistungserbringung muss in einem Präqualifikationsverfahren der jeweiligen Regelleistungsart nachgewiesen werden. Für alle Regelenergiearten erfolgt die Präqualifikation ausschließlich bei demjenigen Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB), in dessen Regelzone die betreffenden technischen Einheiten unabhängig von der Spannungsebene netztechnisch angeschlossen sind (Anschluss-ÜNB).

Die Bundesnetzagentur legt die Marktregeln und Zugangsbedingungen für die einzelnen Regelleistungsqualitäten nach Konsultation mit den ÜNB und Anbietern fest. In Tabelle 2 sind die wesentlichen Produktmerkmale der ausgeschriebenen Regelleistungsqualitäten zusammengestellt (50 Hertz, Amprion, Transnet BW, Tennet, 2014).

Die Bundesnetzagentur eröffnete am 21. November 2015 ein Festlegungsverfahren zur Weiterentwicklung der Regelenergiemärkte Sekundärregelleistung und Minutenreserve. Zielsetzung ist es, die Anforderungen an die Regelenergiemärkte so anzupassen, dass die Erschließung weiterer Flexibilität für die Regelernergie möglich wird. So soll es zukünftig leichter werden, Windkraftanlagen, steuerbare Verbraucher und Speicher auf dem Regelenergiemarkt zu integrieren. Das Verfahren endete am 12. Februar 2016. Erste Neuregelungen werden im Herbst 2016 erwartet.

Neben den technischen Anforderungen spielen rechtliche Rahmenbedingungen eine wichtige Rolle. Diese werden im Projekt arrivee analysiert und sind in [3] näher ausgeführt.

### 5.3 Technische Infrastruktur auf wasserwirtschaftlichen Anlagen

Für eine Vermarktung der Flexibilität von wasserwirtschaftlichen Anlagen ist vor allem die Anbindung an ein virtuelles Kraftwerk notwendig, da die einzelnen technischen Einheiten die Mindestleistungen der unterschiedlichen Märkte in der Regel nicht erfüllen können. Um eine technische Einheit in ein virtuelles Kraftwerk zu integrieren, ist es notwendig, diese Einheit mit einer Kommunikationstechnik auszurüsten, die mit der entsprechenden Leitwarte korrespondieren kann, die wiederum Steuersignale an die technischen Einheiten weitergibt und eine Leistungsänderung initiiert. Grundsätzlich sind die Kosten

Wasseranalytik

MACHEREY-NAGEL

Spektralphotometer  
NANOCOLOR® VIS II





Einfach und zuverlässig

- **NTU-Check**  
Erkennen Sie störende Trübungen mit unserem einzigartigen NTU-Check
- **IQK-Optionen**  
Umfangreiche IQK-Optionen ermöglichen eine exakte und effiziente Qualitätskontrolle
- **Dokumentation**  
Schnelle und einfache Dokumentation Ihrer Ergebnisse mit allen wichtigen Probeinformationen

MACHEREY-NAGEL

www.mn-net.com

  
Since 1911

für die Kommunikationstechnik moderat und je nach Leistung und Anzahl der Aggregate mit relativ kurzen Amortisationszeiten verbunden.

Aggregate, die auf wasserwirtschaftlichen Anlagen als Flexibilitätsoption dienen bzw. in Zukunft dienen könnten, sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Wie abwasserwirtschaftliche Systemkomponenten als Flexibilitätsbaustein mit der Energiewirtschaft in Interaktion treten könnten, ist in Abbildung 4 skizziert. Auf Kläranlagen kommen dabei mehrere Aggregate in Betracht, die zum Teil auch über die hier dargestellten Komponenten hinausgehen. Diese Untersuchung ist ein Aspekt des Projektes arrivee – Abwasserreigungsanlagen als Regelbaustein in intelligenten Verteilnetzen mit erneuerbarer Energieerzeugung [5].

### 6 Umsetzungsmöglichkeiten

Die einfachste Möglichkeit, Flexibilität auf Kläranlagen bereitzustellen, ist die Anpassung der Fahrweise der vorhandenen KWK-Anlagen. Im Regelbetrieb werden die Anlagen, je nach Vorrang, nach dem Wärmebedarf oder nach dem Strombedarf der Kläranlage gesteuert. Diese Anlagen zu flexibilisieren, bedeutet, externe Faktoren des Energiemarktes für die Betriebsweise mit in die Planung und Betriebsführung aufzunehmen und diese Flexibilität am Markt, aktuell vor allem Minutenreserve und Sekundärregelleistung, anzubieten.

Abwasserbehandlung	Trinkwasserversorgung
<b>Bestandstechnik</b>	
BHKW	Turbinen
Notstromaggregat (Netzersatzanlage, NEA)	Notstromaggregat (Netzersatzanlage, NEA)
Pumpen und Antriebe	Wassergewinnungsanlagen
Druckluftkompressoren	Wasseraufbereitungsanlagen
	Wasserverteilungsanlagen (Pumpen)
<b>Neue Technik</b>	
Power-to-heat (Heißwasserpufferspeicher)	Druckmanagement mit PA
Stromspeicher (Großbatterien)	
Power-to-Gas-(to-Power)	
Sauerstoffspeicherung und -nutzung	
<b>Einsatzbereiche</b>	
systemdienlich	systemdienlich (Regelenergie)
marktdienlich	marktdienlich (Lastprofilmanagement)
netzdienlich	netzdienlich (atypische Netznutzung)
<b>ERWAS-Verbundprojekte, die sich zum Teil mit den obigen Themen befassen</b>	
arrivee, ESiTI	EnWasser, EWave, ENERWA
<a href="https://bmbf.nawam-erwas.de/de/verbundprojekte-0">https://bmbf.nawam-erwas.de/de/verbundprojekte-0</a>	

Tabelle 3: Flexibilitätsoptionen und Einsatzbereiche in der Wasserwirtschaft

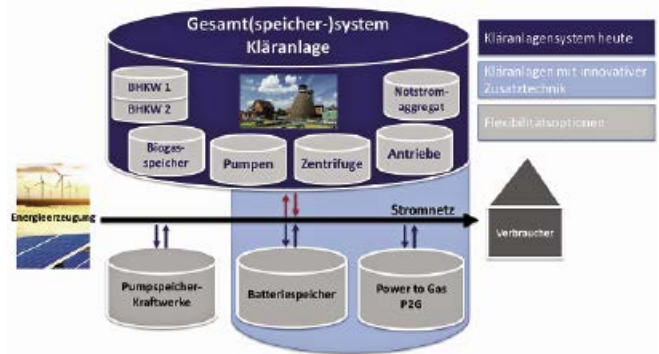


Abb. 4: Abwasserwirtschaftliche Systeme als Flexibilitätsbaustein in der Energiewirtschaft

Durch das Abschalten oder die Leistungsreduzierung des BHKW wird die Erzeugung von Wärme und Strom unterbrochen oder reduziert, dies führt unter anderem dazu, dass die Wärmelieferung an den Faulbehälter reduziert wird. Bei Abwasserbehandlungsanlagen mit einer hohen Redundanz an BHKW können beispielsweise ein bis zwei Aggregate im Dauerlastbetrieb zum Abschalten vorgesehen werden, die restlichen je nach Flexibilitätsbedarf im Zuschaltbetrieb. Somit verfügt der Betreiber nur mit den BHKW schon über mehrere Flexibilitätsoptionen.

Im Einzelfall ist zu prüfen, ob dies zu Problemen führen kann. Zudem muss das in dieser Zeit nicht eingesetzte Faulgas im vorhandenen Gasspeicher zwischengespeichert werden können, damit es nicht abgepackelt werden muss. Um die Wärmebereitstellung während eines Abrufs der negativen Regelleistung sicherzustellen, gibt es die Möglichkeit einer elektrischen Wärmebereitstellung, das sogenannte Power-to-Heat-Verfahren. Interessant an diesem kombinierten Verfahren ist, dass nicht nur die Wärmeversorgung sichergestellt wäre, sondern dass die Power-to-Heat-Anlage zudem auch am Regelleistungsmarkt vermarktet werden kann und somit höhere Vermarktungserlöse erzielt werden können. Im Einzelfall müssen allerdings nicht nur die Belange der Kläranlagen geprüft werden, sondern auch mit welchen Auswirkungen bei einem erhöhten Strombezug während eines Regelleistungsabrufs gerechnet werden muss. Hier spielt vor allem die so generierte Leistungsspitze im Netzbezug eine Rolle für die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens.

Eine weitere Möglichkeit der Nutzung von technischen Anlagen auf Kläranlagen, die mit sehr geringem Aufwand gehoben werden kann, ist die Vermarktung von netzsynchron arbeitenden Netzersatzanlagen. Findet ein Abruf der vorgehaltenen Notstromleistung durch den Regelleistungsmarkt statt, kann dieser auch als Testlauf für die Netzersatzanlage genutzt werden und ein weiterer Test eingespart werden.

Dies sind drei Beispiele für die Möglichkeiten der Vermarktung von technischen Anlagen auf Kläranlagen, weitere sind zukünftig denkbar. Die Wirtschaftlichkeit hängt immer von dem betrachtenden Markt, der Flexibilität einer Anlage sowie der zur Verfügung stehenden Leistung der Anlage ab.

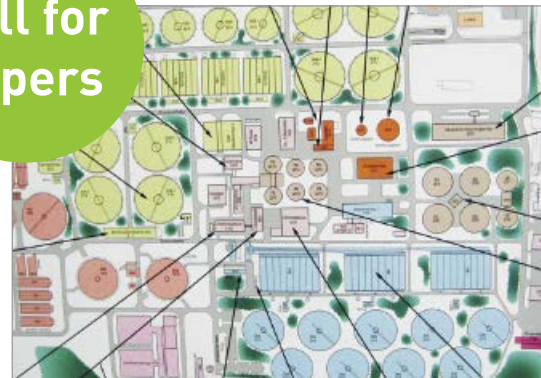
Kritischer wird von den Anlagenbetreibern die Einbindung möglicher Verbraucher wie Pumpen, Zentrifugen oder Antriebe für Gebläse gesehen, da der Betrieb dieser Anlagen den Reinigungsprozess beeinflussen kann. Auch diese könnten bei ausreichender Leistung am Regelleistungsmarkt teilnehmen und somit durch die möglichen Leistungs- und Arbeitspreise einen Er-



# Mess- und Regelungs- technik in abwasser- technischen Anlagen (MSR) mit begleitender Fachausstellung

30. – 31. Mai 2017, Wiesbaden-Niedernhausen

Call for  
papers



## Beitragsaufruf und Einladung

Die Automatisierung bietet für den wirtschaftlichen und sicheren Betrieb von Kläranlagen ein großes Potential. Aktuelle Initiativen wie Industrie 4.0 oder Wasserwirtschaft 4.0 rücken die Möglichkeiten von Informations- und Kommunikationstechnologien und Automatisierung deutlicher als zuvor in das Blickfeld. Das kann hilfreich sein, es befördert aber zugleich die Diskussion über Risiken - insbesondere solcher aus dem Bereich der IT-Security. In jedem Fall gilt auch weiterhin, dass praxistaugliche Lösungen ein enges Zusammenwirken verschiedener Fachdisziplinen von der Planung, über den Anlagenbetrieb, Wartung und Instandhaltung bis zur Migration der Technik erfordern. Die Rolle der IT über die verschiedenen Lebenszyklusphasen von Anlagen und Ausrüstung hinweg nimmt weiter zu. Es resultieren neue technische, organisatorische und das Personal betreffende Herausforderungen.

Die Tagung widmet sich Konzepten und Methoden im Sinne von Industrie 4.0 für die Abwasserwirtschaft. Hier sind Informationsmodelle und mathematische Prozessmodelle ebenso angesiedelt wie die IT-Unterstützung im Betrieb der Anlagen. Beispiele aktueller Technologien - dem zweiten Tagungsaspekt - sind messtechnische Entwicklungen, aber auch die Nutzung von Cloud-Diensten und die fortschreitende informationstechnische Vernetzung unter Nutzung von internet-basierten Lösungen. Fest verankert im Tagungsprogramm sind praktische Referenzbeispiele. Sie können vom Implementierungsbericht bis zur Analyse der Wirtschaftlichkeit reichen.

Im Jahr 2017 findet die Tagung zum zweiten Mal gemeinsam mit den KläranlagenTagen statt. Der interdisziplinäre Expertenaustausch und die Möglichkeit zum wahlweisen Besuch von Vorträgen der parallelen Tagungen sind Kern des Veranstaltungskonzepts.

Sie sind aufgerufen, sich mit einem interessanten Beitrag an dieser Tagung zu beteiligen.

Bitte speisen Sie eine aussagekräftige Kurzfassung (2 DIN-A4-Seiten) eines nicht kommerziell ausgerichteten Vortrags bis zum **31. Oktober 2016** unter der beim Tagungsleiter eingerichteten Seite [www.ifak.eu/MSR-DWA-Tagung](http://www.ifak.eu/MSR-DWA-Tagung) ein.

**Einsendeschluss: 31. Oktober 2016**

### Themenkomplexe

- Konzepte von Industrie 4.0 für die Abwasserwirtschaft
- Steuerung und Regelung vom Entwurf bis zur Implementierung
- Prozessmesstechnik auf Kläranlagen
- CyberSecurity und funktionale Sicherheit
- Energie- und Ressourceneffizienz, Wirtschaftlichkeit
- Diagnose-, Wartungs- und Instandhaltungsinformationen
- Projektmanagement für die Automatisierung

### Kurzfassung und Beitragsauswahl

Die Kurzfassung muss den Titel des Beitrags, die vollständigen Namens- und Kontaktangaben aller Autoren, eine informative Inhaltsangabe, die vorzugweise Zuordnung zu einem der Themenkomplexe und Angaben zu eigenen Veröffentlichungen enthalten. Über die Beitragsannahme entscheidet nach Begutachtung der Kurzfassungen das Programmkomitee, das dem DWA-Fachausschuss KA-13 „Automatisierung von Kläranlagen“ entspricht.

### Programmkomitee:

Dipl.-Ing. Dirk Arnold, Dr.-Ing. Peter Baumann, Dr. rer. nat. Achim Gahr, Prof. Dr.-Ing. Joachim Hansen, Prof. Dr.-Ing. Peter Hartwig, Prof. Dr.-Ing. Ulrich Jumar (Tagungsleiter), Dr.-Ing. Frank Obenaus (Obmann KA-13), Dipl.-Ing. Uta Pachaly, Dr.-Ing. Dieter Thöle

### Weitere Informationen

Frau Renate Teichmann: +49 2242 872-118 · [teichmann@dwa.de](mailto:teichmann@dwa.de)

VDI

VDE

VDI/VDE-Gesellschaft  
Mess- und Automatisierungstechnik



trag erwirtschaften. Gute Vertragspartner und Betreiber virtueller Kraftwerke ermöglichen dem Anlagenbetreiber in der Regel eine „Last-Call-Option“. Somit kann er jederzeit bei internen Bedenken eine Anfrage auch ablehnen. Damit ist sichergestellt, dass die Anlagen im Sinn ihrer originären Aufgabe jederzeit betrieben werden.

Eine weitere Betriebssicherheit der Anlagen bei gleichzeitiger Optimierung der Flexibilität kann durch die Entkoppelung der Einzelsysteme durch Speicher erfolgen. Stromspeicher sind hier der unmittelbare Ansatz zur Netzentkopplung und durch die sinkenden Preise in Einzelfällen bereits durchaus wirtschaftlich. Im Projekt ESiTI werden für den Stromspeicher gleich mehrere Optimierungsansätze ermittelt. Neben der Einbindung in die Regenergie besteht die Möglichkeit zur Reduktion der Lastspitzen des verbleibenden Beschaffungsprofils sowie der optimierten Betriebsführung der BHKWs.

Zusätzliche Möglichkeiten, ressourceneffizient Flexibilitätsoptionen zu implementieren, werden im Projekt arrivee untersucht. Dazu zählt unter anderem die Power-to-Gas (P2G)-Technologie, deren Edukte und Produkte auf der Kläranlage vorhanden sind bzw. genutzt werden können.

Sinnvolle und vor allem wirtschaftliche Speicher kann es durchaus in anderen Medien geben. So können zunächst Wasserspeicher oder Schlammbehälter für eine Flexibilität sorgen. Gasspeicher entkoppeln den BHKW-Betrieb von der Faulgasproduktion. Im Projekt ESiTI wird darüber hinaus eine Flexibilisierung der Gasproduktion, über gezieltere Nutzung des Klärschlammes, untersucht.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Das variable Gesamtpotenzial von Großanlagen beträgt einige MW je Anlage, wodurch die Wasserwirtschaft zu einem bedeutenden und verlässlichen Akteur in Flexibilitätsmärkten werden kann. Auch kleinere Anlagen können mit ihren BHKW und NEA im Verbund eines virtuellen Kraftwerks am Markt agieren. Die dabei in Frage kommenden Einsatzfelder sind vielfältig und noch nicht umfänglich erschlossen. So ist zum Beispiel der Bereich der Smart-Grid-Anwendungen auf der Verteilnetzebene erst im Entstehen und bietet noch entsprechendes Entwicklungspotenzial – auch für wasserwirtschaftliche Anlagen.

Inwieweit sich wasserwirtschaftliche Anlagen für die hier aufgeführten und in den Projekten untersuchten Einsatzbereiche in Zukunft verstärkt einsetzen lassen, wird erheblich von den rechtlichen Rahmenbedingungen und deren zukünftigen Ausgestaltung abhängig sein. Im Rahmen der Projekte ESiTI und arrivee werden unter anderem die Flexibilitätspotenziale der betrachteten Projektkläranlagen näher quantifiziert und innovative Konzepte für die Kläranlage der Zukunft erarbeitet.

## Literatur

- [1] Burger, B.: *Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland – Jahresauswertung*, <https://www.ise.fraunhofer.de/de/daten-zu-erneuerbaren-energien/daten-zur-stromproduktion/daten-zu-erneuerbaren-energien-daten-zur-stromproduktion>, zuletzt geprüft am 26. April 2016
- [2] Gretzschel, O., Schäfer, M., Schmitt, T. G., Hobus, I.: *arrivee – Abwasserreinigungsanlagen in intelligenten Verteilnetzen mit erneuerbarer Energieerzeugung*, DWA-Energietage, Wuppertal, 2015
- [3] Hüesker, F., Charles, T., Kornumpf, T., Schäfer, M., Schmitt, Theo G.: *Kläranlagen als Flexibilitätsdienstleister im Energiemarkt, Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2016, 63 (4), 299–304
- [4] Schäfer, M., Gretzschel, O., Knerr, H., Schmitt, T. G.: *Wastewater treatment plants as system service provider for renewable energy storage and control energy in virtual power plants – a potential analysis*, *Energy Procedia* 2015, 73, 87–93
- [5] Schäfer, M., Gretzschel, O., Knerr, H., Schmitt, T. G., Kolisch, G.: *Die Kläranlage als Regelbaustein im Energienetz – Power-to-Gas-to-Power, wwt – Wasserwirtschaft Wassertechnik* 2015 (6), 27–29
- [6] Sterner, M., Stadler, I.: *Energiespeicher. Bedarf, Technologien, Integration*, Vieweg, Wiesbaden, 2014
- [7] Honeck, V.: *Abwasserreinigungsanlagen als Regelbaustein in intelligenten Verteilnetzen mit erneuerbarer Energieerzeugung*, Tagung der Energieagentur Rheinland-Pfalz zum Thema „Von Klärschlammvergärung bis Regenergie – Zukunftsperspektiven für kommunale Abwasserreinigungsanlagen“, Vortrag in Mainz am 18. Februar 2016
- [8] Simon, R.: *Abwasseranlagen als Bestandteil eines virtuellen Kraftwerks. Wertschöpfung für flexible Anlagen in existierenden Strommärkten*, 3. LDEW-Abwassertag, Landesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, Hessen/Rheinland-Pfalz e. V. Mainz, 2015
- [9] <https://www.regelleistung.net/ext>, letzter Aufruf: 11. Januar 2016
- [10] *Consentec: Beschreibung von Regelleistungskonzepten und Regelleistungsmarkt*, 2014, <https://www.regelleistung.net/ip/action/static/marketdesc>, zuletzt geprüft am 29. Juli 2015

## Autoren

*Dipl.-Ing. Oliver Gretzschel*

*Dipl.-Ing. Michael Schäfer*

*TU Kaiserslautern*

*Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft*

*Paul-Ehrlich-Straße 14, 67663 Kaiserslautern*

*E-Mail: [oliver.gretzschel@bauing.uni-kl.de](mailto:oliver.gretzschel@bauing.uni-kl.de)*

*M. Sc. Verena Honeck*

*Transferstelle Bingen TSB*

*Geschäftsbereich des ITB –*

*Institut für Innovation, Transfer und Beratung gGmbH*

*Berlinstraße 107a, 55411 Bingen*

*Arthur Dornburg*

*bluemove-consulting GmbH*

*Marsstraße 74, 80335 München*

