

Bereitstellung von Regelenergie durch Kläranlagen – Erfahrungen aus der Praxis

Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe KEK-7.5 „Lastmanagement und Interaktion mit Energienetzen“^{*)}

Zusammenfassung

Bis 2030 soll in Deutschland der Bruttostromverbrauch zu mindestens 80 % aus erneuerbaren Energien gedeckt werden. Aufgrund der volatilen Stromerzeugung von Wind- und Photovoltaikanlagen wird der Bedarf an Flexibilitäten und Energiespeichern zur Netzstabilisierung kontinuierlich zunehmen. Kläranlagen können bereits heute mit den installierten Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen über die Teilnahme am Regelenergiemarkt einen Beitrag zur Netzstabilisierung und somit dem Ausbau erneuerbarer Energien leisten. Es liegen Erfahrungen aus der Vermarktung von Primär-, Sekundär- und Minutenreserveleistung vor. Neben dem Beitrag zur Frequenzhaltung im Verbundnetz lassen sich damit auch monetäre Erlöse in unterschiedlicher Größenordnung erzielen, ohne für wesentliche Störungen im Betriebsablauf zu sorgen. Im Rahmen des vorliegenden Arbeitsberichtes werden die Erfahrungen einiger Betreiber hinsichtlich des gesamten Prozesses von der Anmeldung bis hin zur Erlössituation ausgewertet und diskutiert.

Schlagwörter: Klärschlamm, Energie, Elektrizität, Netzstabilität, Regelenergie, Kläranlage

DOI: 10.3242/kae2023.08.004

Abstract

How wastewater treatment plants can provide balancing energy – practical experiences

Working report from DWA Working Group KEK-7.5 ‘Load Management and Interaction with Energy Networks’

Renewable energy is set to account for at least 80 % of gross electricity consumption in Germany by the year 2030. The volatile nature of power generation from wind turbines and photovoltaic systems will lead to a continuous increase in the need for flexibility and energy storage for grid stabilisation purposes. Today, wastewater treatment plants can already help to stabilise the grid and thus drive the expansion of renewable energies by participating in the balancing energy market with existing combined heat and power (CHP) plants. Experience has also been gathered with marketing primary, secondary and minute reserve power. Along with helping to maintain frequency in the integrated grid, wastewater treatment plants can also gain monetary benefits of varying sizes without causing significant disruption to the operational process. This working report analyses and discusses the experiences of some operators with the entire process, from registration to revenues.

Keywords: sewage sludge, energy, electricity, grid stability, balancing energy, wastewater treatment plant

Einleitung

Die aktuelle weltpolitische Situation führte in kurzer Zeit zu einem erheblichen Anstieg der Energiepreise und rückte das Bestreben nach Energieeinsparung in unterschiedlichsten Sektoren vermehrt in den Fokus. Im Kontext der energetischen Opti-

mierung von Kläranlagen sind bereits zahlreiche Publikationen sowie das Arbeitsblatt DWA-A 216 [1] bekannt und in laufender Weiterentwicklung. Die Klimaschutzziele der Bundesrepublik Deutschland sowie das Anliegen, die Abhängigkeit von Importen fossiler Energieträger zu reduzieren, macht zudem den Ausbau erneuerbarer Energien unerlässlich. Damit einhergehende Herausforderungen hinsichtlich der Sicherstellung der Netzstabilität werden kontrovers diskutiert.

Kläranlagen verfügen über zahlreiche Flexibilitätsbausteine und damit über die Fähigkeit, ihre elektrische Leistungsaufnahme oder -abgabe aufgrund externer Anforderungen für einen begrenzten Zeitraum anzupassen. Hierzu kommen vorrangig KWK-Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplung), die zur Faulgasverstromung genutzt werden, wie auch Netzersatzanlagen zum Einsatz. Im Rahmen des Arbeitsberichts „(Energetische) Flexibilitäten auf Kläranlagen – Hintergrund und Voraussetzungen

^{*)} Mitglieder der DWA-Arbeitsgruppe KEK-7.5 „Lastmanagement und Interaktion mit Energienetzen“ sind: Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Schaum (Neubiberg, Sprecher), Prof. Dr.-Ing. Torsten Frehmann (Essen, stellvertretender Sprecher), M. Eng. Torsten Bonnen (Mainz), Dr.-Ing. Martin Brockmann (Bremen), M. Sc. Philipp Gack (Pforzheim), M. Sc. Magdalena Gierke (Berlin), Rechtsanwalt Markus Heinrich (Hamm), M. Sc. Niklas W. Höing (Bottrop), M.Sc. Christian Hubert (Neubiberg), Dipl.-Ing. Wolfgang John (Darmstadt), Dipl.-Ing. Simone Kraus (Köln), Dipl.-Ing. Martin Mergelmeyer (Lilienthal), Dipl.-Ing. Rüdiger Meß (Verden), Dipl.-Ing. Susanne Ramm-Dittrich (Dresden), Dr.-Ing. Michael Schäfer (Kaiserslautern), M. Sc. Bettina Steiniger (Neubiberg). – Kontakt in der DWA-Bundesgeschäftsstelle: Dipl.-Ing. Reinhard Reifensstuhl, E-Mail: reifensstuhl@dwa.de



Abb. 1: Vereinfachte Übersicht des Strommarkts

für eine sinnvolle Nutzung“ der DWA-Arbeitsgruppe KEK-7.5 wurden bereits die energetischen Flexibilitäten sowie die Herausforderungen und Chancen für die Betreiber von Kläranlagen definiert [2].

Einzelne Kläranlagenbetreiber nutzen dieses Potenzial, um mittels Regelleistung den kurzfristigen Ausgleich von Schwankungen im Stromnetz zu unterstützen. Es liegen Erfahrungen aus der Vermarktung von Primär-, Sekundär- und Minutenreserveleistung vor. Neben dem Beitrag zur Frequenzhaltung im Verbundnetz lassen sich damit auch monetäre Erlöse in unterschiedlicher Größenordnung erzielen, ohne für wesentlichen Störungen im Betriebsablauf zu sorgen. Im Rahmen des vorliegenden Arbeitsberichts werden die Erfahrungen einiger Betreiber hinsichtlich des gesamten Prozesses von der Anmeldung bis hin zur Erlössituation ausgewertet und diskutiert.

Grundlagen zur Regellenergie

Zweck der Regellenergie ist es, kurzfristig auftretende Abweichungen von dem prognostizierten Strombedarf sowohl in positiver Richtung, durch Stromeinspeisung in das Stromnetz bzw. Reduktion der eigenen Stromlasten, als auch in negativer Richtung, durch Aufnahme von Stromüberschüssen im Netz und/ oder der Drosselung der Erzeugung, zu kompensieren. Den deutschen Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB) fällt die Aufgabe zu, dieses Leistungsgleichgewicht zwischen Stromerzeugung und -abnahme in ihrer jeweiligen Regelzone ständig aufrecht zu erhalten, mit dem Ziel, die Frequenz im europäischen Verbundnetz konstant bei 50 Hz zu halten. Hierfür schreiben die ÜNB erforderliche Mengen an Regellenergie aus. Gemäß § 22 Abs. 2 Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) haben die Betreiber von Übertragungsnetzen bei der Beschaffung von Regellenergie ein diskriminierungsfreies und transparentes Ausschreibungsverfahren anzuwenden. Bei diesem müssen die Anforderungen, welche die Anbieter von Regellenergie für die Teilnahme erfüllen müssen, durch die Übertragungsnetzbetreiber vereinheitlicht werden. Für diese Ausschreibung haben sie

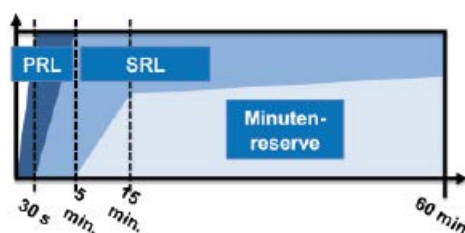


Abb. 2: Darstellung der zeitlichen Vorgaben zum vollständigen Abruf der in Reserve gehaltenen Leistungskapazitäten

eine gemeinsame Internetplattform eingerichtet (www.regelleistung.net).

Im Vergleich zur Strombörse oder den Over-the-Counter-Geschäften werden auf dem Regelleistungsmarkt nur sehr geringe Strommengen gehandelt. Der Bedarf an Regelstrom entsprach im Jahr 2021 für die positive und negative Sekundärregelenergie einschließlich der Minutenreserve ca. 1,7 TWh [3] mit einem Marktvolumen von 300 Millionen Euro [4] für die erbrachte Arbeit (Bezugsjahr 2021). Die Nettostromerzeugung belief sich im Vergleich dazu auf rund 507,1 TWh im Jahr 2022 [5].

Der Regelleistungsmarkt untergliedert sich in die Produkte Primärregelenergie (PRL), im europäischen Kontext auch Frequency Containment Reserve (FCR) genannt, Sekundärregelenergie bzw. automatic Frequency Restoration Reserves (SRL bzw. aFRR) sowie Minutenreserve oder manual Frequency Restoration Reserves (MRL bzw. mFRR) (Abbildung 1). Die Produkte unterscheiden sich im Kern durch die Dauer, in der die angebotene Leistung vollständig hoch- bzw. heruntergefahren werden muss. In der PRL erfolgt die Leistungsaufnahme bzw. -reduktion innerhalb von 30 s und muss für mindestens 15 min vorgehalten werden. Für die SRL sind für die Reaktionszeit maximal 5 min veranschlagt. In der MRL muss die Leistungsaufgabe bzw. -abgabe innerhalb von 15 min erfolgen. Abbildung 2 veranschaulicht die zeitliche Abhängigkeit der drei Produkte. Während in der PRL keine Unterscheidung zwischen Leistungsvorhaltung und abgerufener Arbeit erfolgt, findet in der SRL sowie in der MRL eine getrennte Vermarktung der in Reserve zu haltenden Leistung sowie der bei Bedarf geleisteten Arbeit statt. Daraus resultieren für die Vorhaltung und die Arbeit unterschiedliche Preise. Abbildung 3 zeigt die durchschnittlichen Preise innerhalb eines Tages für Vorhaltung der Leistung (links) und dem Arbeitspreis (rechts) für das Jahr 2021. Die Vorhaltung wird für Zeitscheiben von vier Stunden gehandelt. Ein Angebot für die Vorhaltung bedingt gleichfalls, ein Angebot für den Arbeitspreis abzugeben. Die angebotenen Leistungsreserven müssen für die Dauer der adressierten Zeitscheibe vorgehalten werden. Müssen Ungleichgewichte auf dem Stromnetz ausgeglichen werden, erfolgt der Abruf der angebotenen Leistungsreserven in einer Rangfolge entsprechend den angebotenen Arbeitspreisen. Somit bedingt ein Zuschlag

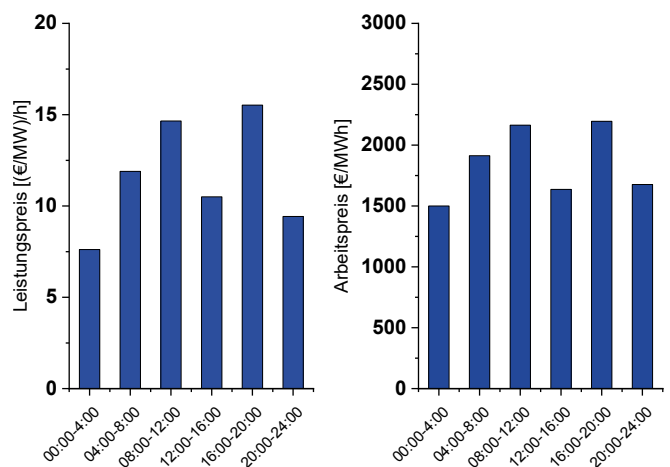


Abb. 3: Durchschnittliche Leistungs- und Arbeitspreise für den positiven Sekundärregelmarkt für die jeweiligen Zeitscheiben im Jahr 2021

zur Vorhaltung von Leistungsreserven nicht die Erbringung von tatsächlicher Arbeit. Es ist ersichtlich, dass durch entsprechende Preisstrategien eine gewisse Entkopplung einer Vermarktung von Leistungsreserven und der Erbringung von Arbeit erzielt werden kann. Seit Mitte 2022 gilt mit der Einführung des PICASSO Frameworks im Zuge der europäischen Harmonisierung der Regelreservemärkte ein maximaler Preis von 15 000 €/MWh, außerdem wurde das pay-as-cleared-Verfahren für die Regelarbeitsmärkte eingeführt. Im pay-as-cleared-Verfahren wird jeder aktivierte Betreiber mit dem Angebotspreis des jeweils teuersten aktivierten Angebots vergütet.

Voraussetzungen zur Teilnahme am Regelenenergiemarkt

Für eine direkte Teilnahme am Regelenenergiemarkt ist aktuell eine vorhandene Mindestleistung von ± 1 MW für jedes der drei Produkte erforderlich. In aller Regel sind auf Kläranlagen nur geringere Leistungsreserven vorhanden. Hier ist eine Teilnahme nur über einen Vermarktungsdienstleister möglich. Dieser hat die Möglichkeit, Aggregate mit Leistungen < 1 MW durch Zusammenschluss in ein sogenanntes „virtuelles Kraftwerk“ auf dem Markt zu platzieren.

Der erste Schritt zur Vermarktung von Regelenenergie ist es, den Nachweis zur technischen Befähigung einer Teilnahme am Regelenenergiemarkt zu erbringen. Dies erfolgt im Zuge der Präqualifikation [6]. Da der Zugriff auf entsprechende Aggregate direkt über den Übertragungsnetzbetreiber bzw. indirekt über den Vermarkter erfolgt, wird im Rahmen der Präqualifikation die Kommunikation zwischen dem Signalgeber und dem entsprechenden Aggregat bzw. den Aggregatgruppen geprüft. Zudem wird getestet, ob das Aggregat, dessen Leistung vorgehalten werden soll, innerhalb der entsprechenden Zeitvorgaben (PRL = 30 s, SRL = 5 min, MRL = 15 min) entsprechend hoch- bzw. heruntergefahren werden kann. Hierzu wird innerhalb einer Stunde ein Doppelhöcker abgefahren (Abbildung 4).

Sobald eine Reserveeinheit für die Teilnahme am Regelenenergiemarkt qualifiziert wurde, kann diese für den Einsatz beim Vermarkter bereitgestellt werden. Die Bereitstellung der Einheit verpflichtet zum Betrieb nach Aufforderung in einem vorgegebenen Zeitfenster und für die angeforderte Dauer.

Sofern die angemeldete Einheit nicht nutzbar ist – auch bei technischem Versagen – muss der Vermarkter eine Besicherung für die Einheit aktivieren. Der Betreiber muss in diesem Fall mit

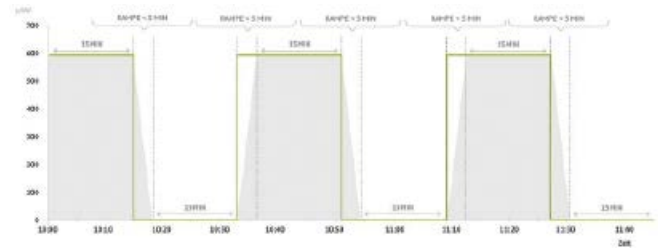


Abb. 4: Darstellung einer beispielhaften Leistungskurve „Doppelhöcker“, die im Rahmen der Präqualifikation zur Prüfung der technischen Voraussetzungen abgefahren wird (Quelle: NextKraftwerk)

entsprechenden Sanktionen rechnen, die mit dem Vermarkter vertraglich vereinbart werden. Entsprechende Aggregatsausfälle und Revisionen müssen somit schnellstmöglich dem Vermarkter kommuniziert werden.

Der Marktzugang ist mit entsprechenden Aufwendungen verbunden, die sich aus internen Kosten etwa für Personal, Installation der fernwirktechnischen Einrichtung, Programmierung der Steuerung etc. zusammensetzen. In einem Einzelfall musste eine einmalige Gebühr bei dem Vermarkter entrichtet werden. Die Zugangskosten beliefen sich nach Aussagen der Kläranlagenbetreiber auf etwa 10 000 €. Für die Kommunikation zwischen Signalgeber und Aggregat muss eine Kommunikationsschnittstelle installiert werden, die gegen Gebühr von dem Vermarkter gemietet wird oder deren Bereitstellung über den Anteil des Vermarkters an den Erlösen abgegolten ist.

Gemeinsam mit dem Vermarkter wird eine Vermarktungsstrategie entwickelt. Dem Vermarkter liegen hierfür empirische Daten hinsichtlich der Abrufhäufigkeiten und der zu erwartenden Erlöse in Abhängigkeit von den Angebotspreisen vor. Tabelle 1 zeigt beispielhaft in Abhängigkeit von der angebotenen Leistung (Spalte 1) den Zusammenhang zwischen dem angebotenen Arbeitspreis (Spalte 2), der kumulierten geleisteten Arbeit bzw. der kumulierten Aktivierungszeit des Aggregats (Spalte 3 und 4) sowie dem Erlös (Spalte 5) für das Jahr 2021. Da der Markt starken Fluktuationen unterworfen ist, können sich Abrufhäufigkeiten bei statischen Angebotspreisen stark verändern. Diese Veränderungen können immer dem jeweiligen Vermarkter zurückgespiegelt und die Strategie entsprechend angepasst werden.

Weitergehende Informationen zu den Voraussetzungen zur Teilnahme am Regelenenergiemarkt sowie zu den Präqualifikati-

Customer bid capacity (MW)	Customer bidding price (Euro/MWh)	Customer Activation Energy (MWh)	Customer Activation Time (h)	Revenue 2021 (Euro)
11	100	31.913	2.901	3.191.309 €
11	150	20.555	1.869	3.083.234 €
11	200	15.809	1.437	3.161.778 €
11	250	13.032	1.185	3.257.892 €
11	300	9.340	849	2.802.107 €
11	400	4.130	375	1.651.801 €
11	500	2.070	188	1.034.897 €
11	600	1.244	113	746.533 €
11	700	801	73	560.954 €
11	800	571	52	457.199 €

Tabelle 1: Beispielhafte Darstellung des Zusammenhangs zwischen Angebotspreis, kumulierter Aktivierungszeit und dem jährlichen Erlös (Quelle: Entelios AG)

onsbedingungen können auf www.regelleistung.net abgerufen werden.

Abgrenzung der Regelenergie vom Redispatch

Betreiber von Eigenerzeugungsanlagen und Stromspeichern haben Mitwirkungs- und Meldepflichten mit dem Ziel Netzengpässe zu beseitigen. Diese als Redispatch 2.0 bezeichnete Regelung ist seit 2019 im Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) verankert. Die Fernsteuerung der Anlage und Fernabfrage der Daten erfolgt über bestehende Fernwirktechnik. Sofern diese nicht vorhanden ist, besteht keine Nachrüstpflicht [7].

Wenn Anlagebetreiber bereits einen Teil der elektrischen Leistung im Rahmen von Regelleistung vermarkten, kann bzw. muss dieser Teil nicht im Rahmen von Redispatch-Maßnahmen angeboten werden.

Zwei weitere praxisrelevante Ausnahmen sind:

- Wärmegeführte KWK-Anlagen können angeben, dass sie aufgrund von Wärmeauskopplung keinen negativen Redispatch leisten können.
- KWK-Anlagenbetreiber mit eigener Nutzung von Strom und Wärme können dagegen das Redispatch-Vermögen in Abhängigkeit von ihrem Grad der Selbstversorgung anteilig oder komplett als nicht beanspruchbar melden.

Erfahrungswerte aus der Praxis

Übersicht der ausgewerteten Daten

Basis der Auswertungen zur Teilnahme am Regelenergiemarkt bilden sechs kommunale Betreiber von Kläranlagen. Die Beteiligung unterscheidet sich anhand der jeweiligen Marktsegmente, die bedient werden, der Aggregatstypen sowie der am Markt angebotenen Leistung. An den Anlagen werden mehrheitlich Leistungskapazitäten aus Blockheizkraftwerken (BHKW) (zwischen 100 und 588 kW_{el}) angeboten. Eine Kläranlage vermarktet Netzersatzanlagen (NEA) von Pumpwerken mit einer vermarkteten Leistung von 4000 kW_{el}, und eine weitere Anlage hat die Leistung einer Dampfturbine (1800 kW_{el}) für die Marktteilnahme präqualifiziert.

Unterschiede konnten gleichfalls in der Art und Weise der Organisation der Aggregate zur Vermarktung festgestellt wer-

den. Auf einer Kläranlage werden einzelne Aggregate mit ihrer jeweiligen Gesamtleistung angeboten. Der Vermarkter hat in diesem Fall direkten Zugriff auf einzelne BHKWs. Die BHKWs wurden in diesem Fall entsprechend ihren Betriebsweisen bestimmten Marktsegmenten zugeordnet.

Die Mehrzahl der Kläranlagen hat ausgewählte Blockheizkraftwerke zu Pools zusammengefasst. Diese Strategie erlaubt es den Betreibern, variabel Kapazitäten der verschiedenen verfügbaren Aggregate freizugeben. Ein Betreiber bietet zwei Blockheizkraftwerke jeweils im wöchentlichen Wechsel an. Mit Ausnahme einer Anlage und den NEA wurden in der Regel lediglich Teilkapazitäten der vorhandenen Aggregate angeboten und nicht die durch das Aggregat bzw. den Pool vorhandenen Gesamtkapazitäten. Zwei Anlagen haben sich für die PRL präqualifiziert, wobei lediglich eine Anlage noch in diesem Segment aktiv ist. Drei Anlagen beteiligen sich entweder am SRL⁺, SRL⁻ oder an beiden SRL-Segmenten. Drei Anlagen partizipieren am MRL⁺- oder MRL⁻-Markt. Eine Übersicht der Marktbeteiligung kann Tabelle 2 entnommen werden.

Anzahl der Abrufe, Abrufzeiten und Abrufdauern

Anzahl, Zeit und Dauer der Abrufe hängen zunächst vom Marktsegment ab, in dem die Leistung vermarktet wird. Zudem spielt die Vermarktungsstrategie des Vermarktlers für das entsprechende Aggregat bzw. dem Pool eine wichtige Rolle. Die Vermarktungsstrategie wird gemeinsam mit dem Anlagenbetreiber festgelegt und sollte zunächst in einem iterativen Prozess optimiert werden. Die vereinbarte Vermarktungsstrategie ist nicht abschließend und kann jederzeit an die veränderten Marktbedingungen angepasst werden. Sollte die Anzahl der Abrufe nicht mehr hinnehmbar sein, kann eine andere Strategie gewählt werden, was allerdings in der Regel zu einer Abnahme der Erlöse führen wird. Nicht zuletzt fluktuiert der Bedarf an Regelenergie stetig, sodass sich die entsprechenden Zahlen im Tagesgang bis hin zum Jahresgang ändern werden. Zudem ist der Markt stetigen Änderungsprozessen unterworfen. Politische Entscheidungen sowie nicht vorhersehbare Ereignisse wie beispielsweise die Energiekrise können die Marktvolatilität stark beeinflussen, sodass die hier vorgestellten Werte lediglich als Momentaufnahme betrachtet werden können.

Abbildung 5 zeigt beispielhaft die Dauer der Abrufe zweier BHKW im Zeitraum zwischen März und Juli 2022 als Boxplots.

		Leistung [kW _{el}]	Marktsegment				
			PRL	SRL ⁺	SRL ⁻	MRL ⁺	MRL ⁻
#A	BHKW_1	428	–	×	–	×	–
	BHKW_2	556	–	–	×	–	×
	BHKW_3	428	–	×	–	×	–
	BHKW_4	430	–	×	×	×	–
#B	NEA	4000	–	×	–	×	–
#C	BHKW_Pool	300	×	–	–	–	–
	BHKW_Pool	588	–	×	×	–	–
	Dampfturbine	1800	–	–	×	–	–
#D	BHKW_Pool	265	–	–	–	×	–
	BHKW_Pool	525	–	–	–	–	×
#E	BHKW_alternierend	100	×	–	–	–	–
#F	BHKW_1	300	–	–	×	–	–

Tabelle 2: Überblick der Marktbeteiligung von sechs Kläranlagenbetreibern

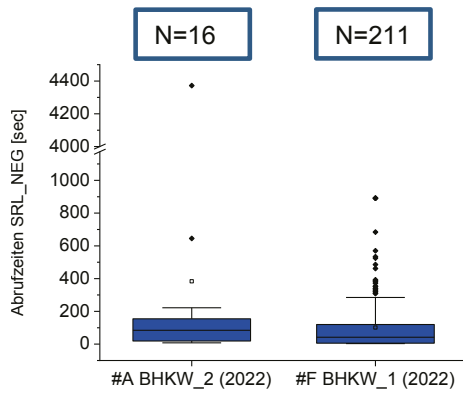


Abb. 5: Box-Plot-Diagramm der Abrufzeiten zweier BHKWs aus den Kläranlagen #A und #F im Zeitraum zwischen 1. März 2022 und 31. September 2022. Die BHKWs wurden in der negativen SRL vermarktet. In der Box ist die absolute Anzahl der Abrufe der jeweiligen BHKWs ablesbar.

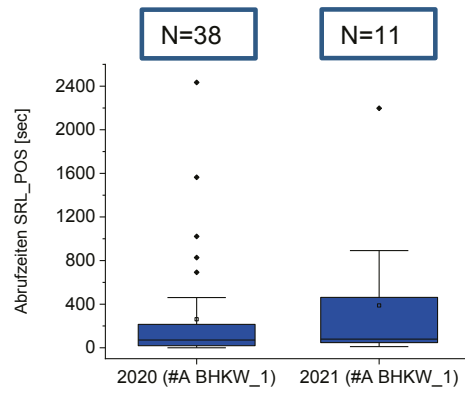


Abb. 6: Box-Plot-Diagramm der Abrufzeiten eines BHKWs der Kläranlage #A für die Jahre 2020 und 2021. Das BHKW wurde in der positiven SRL vermarktet. In der Box ist die absolute Anzahl der Abrufe der jeweiligen BHKWs ablesbar.

Beide Blockheizkraftwerke werden in der SRL⁻ vermarktet. Es sind deutliche Unterschiede in der Anzahl der Abrufe zwischen beiden Aggregaten zu beobachten, was auf die Unterschiede in der Vermarktungsstrategie und/oder den unterschiedlichen Regelzonen zurückzuführen ist. Die Laufzeiten belaufen sich im Median auf 84 s bzw. 42 s. Für Anlage #A betrug die Laufzeit in einem Fall 4400 s, was zu einem hohen Mittelwert von 383 s führte. In #F betrug der Mittelwert rund 100 s. Bei der Berechnung der Aktivierungszeiten ist darauf hinzuweisen, dass entsprechende Rampen zum hoch- oder herunterfahren der Leistungen nicht berücksichtigt wurden. Somit dienen die Werte der Orientierung über die erwartbare Größenordnung.

Abbildung 6 zeigt die Dauer sowie die Anzahl der Abrufe des BHKW₁ von Anlage #A in den Jahren 2020 und 2021. Das Aggregat wurde in diesem Zeitraum in der SRL⁺ vermarktet. Es sind Unterschiede in der Anzahl der Abrufe festzustellen ($n_{2020} = 38, n_{2021} = 11$). Hinsichtlich der Dauern sind nur geringe Abweichungen zwischen den beiden Jahren zu beobachten. Diese beliefen sich im Median auf 71 s bzw. 79 s.

Für Anlage #A erfolgte innerhalb der SRL⁻ in den Jahren zwischen 2020 und 2021 ein Abruf mit einer Dauer von 36 s. Weder im Jahr 2020 noch im Jahr 2021 erfolgten Abrufe innerhalb der MRL⁻ oder MRL⁺. Dies ist auf eine bevorzugte Vermarktung der Kapazitäten innerhalb der SRL aufgrund der

höheren Erlöspotenziale zurückzuführen. Abrufe in der PRL erfolgen stetig durch kontinuierliche Modellierung des Arbeitspunkts der Anlage proportional zu den Netzfrequenzabweichungen mit Reaktionszeiten im Sekundenbereich. Eine statistische Auswertung ist hier nicht möglich.

Abbildung 7 zeigt die relative Häufigkeit der Abrufe nach den entsprechenden Zeitscheiben zwischen März und Juli 2022 in der SRL⁻ für Anlage #A und Anlage #F auf. Die Zeitfenster der Abrufe sind für beide Anlagen ähnlich. Die häufigsten Abrufe erfolgen in der SRL⁻ in der Zeitscheibe 12:00 bis 16:00 Uhr. In diesem Zeitfenster entfallen 40 bis 50 % der Abrufe. Weitere 20 bis 25 % der Abrufe liegen im Zeitfenster zwischen 8:00 und 12:00 Uhr. Für die SRL⁺ sind die häufigsten Abrufe in der Zeit zwischen 8:00 und 12:00 Uhr zu beobachten. Häufigere Abrufe erfolgen in den Zeitfenstern 16:00 bis 20:00 Uhr.

Erlöse

Abbildung 8 zeigt die gemittelten Erlöse für den Zeitraum 1. März 2022 bis 31. Juli 2022 für einzelne Aggregate auf. Anlage #A BHKW₂ und Anlage #F BHKW₁ wurden innerhalb der SRL⁻ vermarktet. Es sind deutliche Unterschiede der spezifischen Erlöse erkennbar, die gegebenenfalls auf die Vermarktungsstrategie des jeweiligen Vermarkters sowie auf Unter-

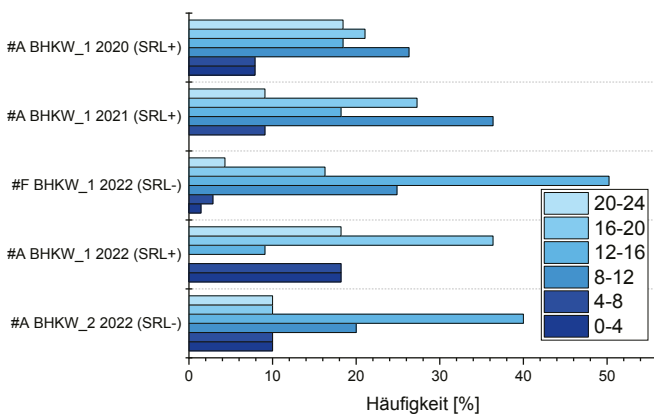


Abb. 7: Darstellung der prozentualen Häufigkeiten eines Abrufes in den jeweiligen Zeitscheiben

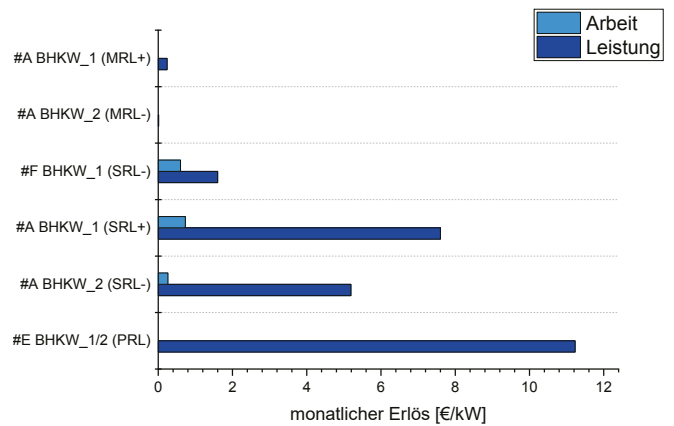


Abb. 8: Darstellung der spezifischen monatlichen Erlöse für die Vermarktung einzelner Aggregate gemittelt über den Zeitraum zwischen dem 1. März 2022 und 31. Juni 2022

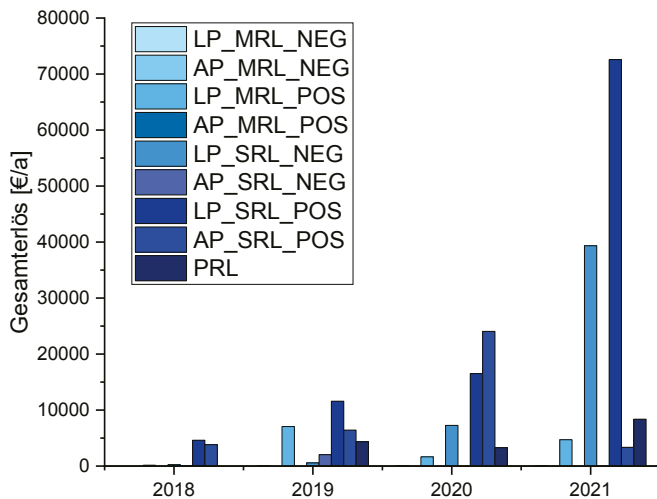


Abb. 9: Erzielte Erlöse durch die Kläranlagen #A (MRL/SRL) und #E (PRL) in den Jahren 2018 bzw. 2019 (Anlage #E) bis 2021

schiede innerhalb der verschiedenen Regelzonen zurückzuführen sind.

Die Erlöse werden nach Arbeit und Leistung unterteilt. Es ist ersichtlich, dass für beide Anlagen der Großteil der Erlöse auf das Vorhalten von Leistung entfällt. Aufgrund der höheren Anzahl an Abrufen des Aggregats in Anlage #F sind die Erlöse aus der erbrachten Arbeit in #F höher als in Anlage #A. Allerdings steigt der Erlös nicht im selben Umfang wie die Anzahl der Abrufe. Dies verdeutlicht die Bedeutung der Marktpositionierung in Hinblick auf die Erlöspotenziale. Die höchsten spezifischen Erlöse sind innerhalb der PRL zu beobachten mit einem Erlös von über 11 €/kW, gefolgt von einer Vermarktung in der SRL⁺.

Die Entwicklung der Erlöse zwischen den Jahren 2018 und 2021 aus den verschiedenen Marktsegmenten ist in Abbildung 9, basierend auf den Daten der Anlagen #A und #E, dargestellt. Die Teilnahme an der PRL durch die Anlage #E erfolgte erst ab dem Jahr 2019. Insgesamt kann in den letzten Jahren eine steigende Tendenz der Erlöse am Regelenergiemarkt festgestellt werden. Allerdings variieren die Erlöse innerhalb der Segmente von Jahr zu Jahr stark. Beispielsweise konnte Anlage #A im Jahr 2020 im Vergleich zu den Jahren 2019 und 2021 deutlich höhere Erlöse mit erbrachter Arbeit in der SRL⁺ erzielen. Ein Anstieg ist insbesondere für das Vorhalten von Leistung in der SRL⁺ zu erkennen. Es muss erneut darauf hingewiesen werden, dass der Regelenergiemarkt hoch volatil ist und bereits in den Jahren vor 2015 attraktive Preise erzielt wurden. Dies änderte sich in den Folgejahren bis 2019, in denen auf dem Regelenergiemarkt kaum lukrative Preise erzielt werden konnten.

Lessons Learned

Bei den Betreibern wurden im Rahmen der Vorbereitung auf die Vermarktung von Regelenergie durch ein „virtuelles Kraftwerk“ sowie während der aktiven Vermarktung von Regelenergie Erkenntnisse und Betriebserfahrungen gesammelt. Diese werden im Folgenden geschildert, sodass die daraus abgeleiteten Betriebsweisen sowie Optimierungen von Betreibern zur Teilnahme am Regelenergiemarkt genutzt werden können.

Im ersten Schritt, der Vorbereitung auf die Teilnahme am Regelenergiemarkt, sind vor allem die technische Eignung der Module für das Anbieten von PRL, SRL oder MRL zu überprüfen und die Anlagen im Anschluss zu präqualifizieren. Im Präqualifizierungsprozess sind die Hersteller der Module gefragt, soweit es bei der Auslegung nicht berücksichtigt wurde, die Steuerung der Module auf die durch die jeweilige Regelart geforderte Reaktionszeit zu optimieren. Die Dauer des Präqualifikationsprozesses ist abhängig von dem Erfolg der genannten Anpassungen und der Zusammenarbeit zwischen den Betreibern und den Vermarktungsdienstleistern. Die Dienstleister überprüfen mittels verbauter Kommunikations- und Steuerungstechnik die Reaktionszeiten, indem verschiedene Arbeitspunkte mittels Fernsteuerung der Module angefahren werden und die Reaktionszeit kontrolliert wird. Im Lauf der Jahre hat sich die Dauer des Vorbereitungs- und Präqualifikationsprozesses aufgrund gesammelter Erfahrungen durch die Modulhersteller, Vermarktungsdienstleister sowie Betreiber deutlich verkürzt. Bei neuen Regelenergievermarktungen ist jedoch die Gestaltung der Verträge mit den Dienstleistern häufig zeitaufwendig. Im Fall einer angestrebten Regelenergievermarktung ist mit dem zuständigen Stromversorger Kontakt aufzunehmen, um Anforderungen hinsichtlich Datenaustausch und Bilanzkreismanagement abzuklären und unerwartete Kosten, die aus einem Bilanzkreisausgleich resultieren können, zu vermeiden.

Zur aktiven Bereitstellung und Vermarktung der Regelenergie muss mit einer Vorlaufzeit, die vom Vermarktungsdienstleister abhängig ist, die seitens des Betreibers zur Verfügung stehende Regelleistung gemeldet werden. Diese Meldung erfolgt – ebenfalls abhängig vom Dienstleister – entweder per Excel-Datei via Mail oder über Online-Portale, die vom Dienstleister bereitgestellt werden. Eine Auflistung der gemeldeten Zeitfenster, Anzahl der tatsächlichen Abrufe inklusive Leistung und eine Aufschlüsselung der erreichten Vergütung werden abhängig von den Dienstleistern auf den oben genannten Wegen zur Verfügung gestellt. Allgemein ist die Kooperations- und Unterstützungsbereitschaft der Dienstleister von den Anlagenbetreibern durchweg positiv aufgefasst worden. Auch bei unvorhersehbaren Wartungen oder Störungen ist eine unkomplizierte und kurzfristige Abmeldung über eine Telefonhotline möglich.

Die Betriebsweise und die angebotenen Regelenergieprodukte unterscheiden sich einerseits abhängig von der verbauten und verfügbaren Anlagentechnik sowie andererseits von den gesammelten Erfahrungen des Betriebspersonals. So kann auf einigen Anlagen auf einen BHKW-Pool zurückgegriffen werden, wodurch Redundanzen gewährleistet werden können. Die Bereitstellung von Regelenergie über den Pool wird von einigen Betreibern über lediglich ein Modul realisiert, sodass die anderen Module keine Leistungsänderungen erfahren bzw. nur für positive Regelenergie zugeschaltet werden. Alternativ wird die Regelenergie aufgeteilt auf den gesamten Pool bereitgestellt, sodass die prozentuale Änderung geringer ist und über den Pool verteilt mehr Regelenergie angeboten werden kann. Bei dieser Variante ist bei der Bereitstellung von positiver Regelenergie allerdings zu beachten, dass die Module außerhalb eines Abrufs in reduzierter Leistung betrieben werden und somit bei gleicher zu entsorgender Klärgasmenge mehr Betriebsstunden für die Module anfallen. Diese Kosten sind bei den Wartungsverträgen sowie den früher fälligen Betriebsstunden den Erlösen gegenüber zu stellen.

Da auf Kläranlagen in der Regel nur kleine Gasspeicher zur Verfügung stehen, ist bei dem Regelenergiebetrieb der Gasbehälterfüllstand zu berücksichtigen und optimalerweise per Programmierung als Randbedingung zu integrieren. Im Lauf der Jahre haben verschiedene Betreiber entweder händisch Abrufe pausiert oder automatisiert diese Randbedingung integriert, um einen Gasmangel oder das Abfackeln von Gas und somit Energieverluste zu reduzieren.


Aufgrund der oben genannten Randbedingungen, allgemein gesteigertem Überwachungsaufwand durch das Betriebspersonal sowie der mechanischen Beanspruchung der Maschinen muss die Anzahl und Länge der Abrufe in einem vertretbaren Verhältnis zur Vergütung stehen. Die Vergütung der Bereitschaft sowie im Fall eines Abrufs ist in den letzten Jahren deutlich gestiegen, wodurch die Attraktivität des Regelenergiemarkts gesteigert wurde. Im Austausch mit dem Vermarktungsdienstleister ist es möglich und empfehlenswert, eine überschaubare Häufigkeit der Abrufe zu gewährleisten. Durch die Anpassung der Vermarktungsstrategie, der Definition von Mindestlaufzeiten der Module oder einer maximalen Abrufmenge kann die Anzahl der Abrufe gesteuert werden.

Ausblick

Bis 2030 soll in Deutschland der Bruttostromverbrauch zu mindestens 80 % aus erneuerbaren Energien gedeckt werden. Aufgrund der volatilen Stromerzeugung von Wind- und Photovoltaik-Anlagen wird der Bedarf an Flexibilitäten und Energiespeichern zur Netzstabilisierung kontinuierlich zunehmen. Kläran-

lagen können bereits heute mit den installierten KWK-Anlagen allem voran den Blockheizkraftwerken über die Teilnahme am Regelenergiemarkt einen Beitrag zur Netzstabilisierung und somit dem Ausbau erneuerbarer Energien leisten. Mit Verpflichtung aller Betreiber von EEG- und KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung über 100 KW zur Teilnahme am Redispatch 2.0 seit dem 1. Oktober 2021 stellt sich ohnehin die Frage, inwieweit eine Beteiligung am Regelenergiemarkt zukünftig eine sinnvolle Alternative zur gesetzlichen Verpflichtung zur Bereitstellung von Kapazitäten darstellen wird.

Literatur

- [1] Arbeitsblatt DWA-A 216: *Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen*, Hefen, 2015
- [2] DWA-Arbeitsgruppe KEK-7.5: (Energetische) Flexibilitäten auf Kläranlagen – Hintergrund und Voraussetzungen für eine sinnvolle Nutzung, *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2019, 66 (10), 820–827
- [3] SMARD: Marktdaten, <https://www.smard.de/home/download-center/download-marktdaten> (abgerufen: 01.03.2023)
- [4] Next (abgerufen: 01.03.2023); Was ist Regelenergie? <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/regelenergie>
- [5] SMARD: Der Strommarkt im Jahr 2022, <https://www.smard.de/page/home/topic-article/444/209624> (abgerufen: 01.03.2023)
- [6] Next: Präqualifikation für den Regelenergiemarkt: Was ist das und wie funktioniert es?, <https://www.next-kraftwerke.de/energie-blog/praekualifikation-regelenergiemarkt> (abgerufen: 24.04.2023)
- [7] Westnetz: <https://www.westnetz.de/de/fuer-partnerfirmen/redispatch-2-0/faqs-fuer-anlagen-und-netzbetreiber.html> (abgerufen: 31.03.2023) 



**WELT
HUNGER
HILFE**

HUNGER AUF LEBEN.
Leben ohne Hunger ist ein Menschenrecht.



Jetzt spenden: welthungerhilfe.de

IBAN: DE 15 3705 0198 0000 0011 15, BIC: COLSDE33