REGELPOOLING MIT INFRASTRUKTURANLAGEN

WASSERVERSORGUNGEN UND ARA – SCHLUSSBERICHT DES LEUCHTTURMPROJEKTS

Von 2014 bis 2017 wurden durch die Partner InfraWatt, Alpiq und Ryser Ingenieure im Rahmen eines vom Bundesamt für Energie (BFE) unterstützten Leuchtturmprojektes technische Lösungen für Lastverschiebungen bei Wasserversorgungen (WV) und Abwasserreinigungsanlagen (ARA) entwickelt und in die Praxis umgesetzt. Dazu zählen Sekundärregelpooling und Lastspitzenoptimierung mit Blockheizkraftwerken bei ARA und Stromkostenoptimierung mit Pumpen in WV. Diese Lösungen stehen nun auch weiteren interessierten Anlagenbetreibern zur Verfügung.

Andreas Hurni, Ryser Ingenieure AG*
Ernst A. Müller, InfraWatt
Christian Zaugg, Alpiq AG

RÉSUMÉ

POOL DE RÉGLAGE DANS LES INSTALLATIONS D'INFRASTRUCTURE D'ALIMENTATION EN EAU ET DE STEP – RAPPORT FINAL DU PROJET PHARE

Le projet phare «Pool de réglage dans les installations d'infrastructure – services des eaux et stations d'épuration», soutenu par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), a démarré en mai 2014 et a été clôturé fin 2017. Durant plus de trois ans, en collaboration avec six stations d'épuration (STEP) et cinq alimentations en eau (AE), différentes solutions techniques ont été développées pour la fourniture d'énergie d'équilibrage et la mise en place de transferts de charges. Dans les STEP, il a été possible, avec les couplages chaleur-force (CCF) de quatre installations, de se préqualifier pour la puissance de réglage secondaire chez Swissgrid et de constituer un pool de réglage avec une flexibilité de 1 mégawatt – pool actif sur le marché de l'électricité depuis l'été 2017. Dans une autre STEP, un outil de pronostic utilisant des données météorologiques et relatives aux débits permet de prévoir les pics de consommation électrique, et les CCF sont utilisés depuis octobre 2016 pour réduire les pics de charge et permettre ainsi d'importantes économies de coûts pour le tarif de puissance. Pour l'AE a pu être développé un outil d'optimisation des coûts permettant une utilisation optimale des pompes durant les heures à faible coût d'électricité, et donc des économies substantielles. Cet outil

> S. 63

AUSGANGSLAGE

Der Anteil der unregelmässig anfallenden Stromproduktion aus Sonne und Wind nimmt stetig zu. Somit spielt zukünftig der Ausgleich zwischen Stromangebot und -nachfrage für die Stromnetze eine immer wichtigere Rolle. Da Stromangebot und -nachfrage jederzeit gleich gross sein müssen, gehört der Lastausgleich mittlerweile zu den Schlüsseltechnologien zur Sicherstellung der Stromversorgung *(Fig. 1)* [1, 2].

Ende 2017 wurde das vom Bundesamt für Energie (BFE) unterstützte Leuchtturmprojekt «Regelpooling mit Infrastrukturanlagen – Wasserversorgungen und Abwasserreinigungsanlagen» nach gut dreieinhalbjähriger Laufzeit abgeschlossen [3]. Die Projektpartner *InfraWatt, Alpiq* und *Ryser Ingenieure* konnten gemeinsam mit elf Betreibern *(Tab. 1)* von Wasserversorgungen (WV) und Abwasserreinigungsanlagen (ARA) aufzeigen, dass mit bestehender Infrastruktur und verhältnismässig kleinem Aufwand ein namhafter Beitrag zur Verschiebung von Stromlasten geleistet werden kann, ohne deren Betrieb zu beeinträchtigen.

Im Laufe der Untersuchungen zeigte sich, dass es sowohl bei den Wasserversorgungen als auch bei den Abwasserreinigungsan-

** Kontakt: andreas.hurni@rysering.ch*

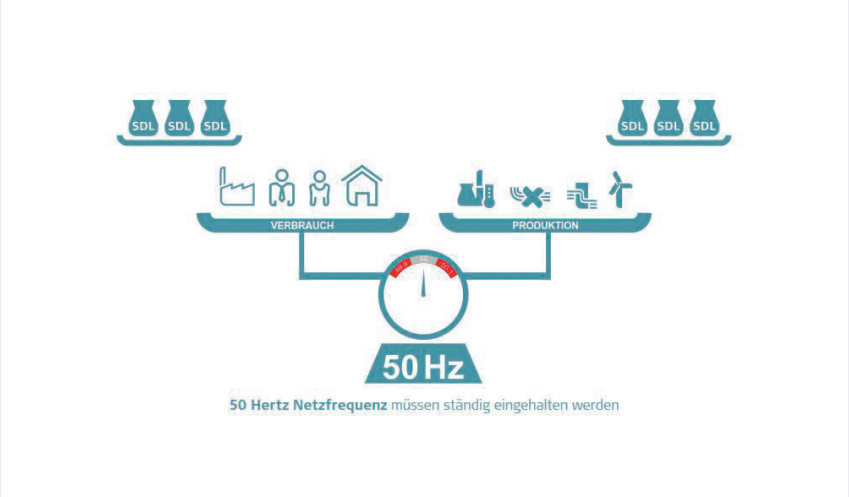

Fig. 1 Systemdienstleistungen (SDL) zur Sicherstellung der Netzstabilität
Services système (SS) pour garantir la stabilité du réseau

Projektpartner
Wasserversorgung Stadtwerk Winterthur (ZH)
Wasserverbund Region Bern (BE)
Wasserwerk Reinach und Umgebung (BL)
Aziende Municipalizzate di Bellinzona (TI)
Aziende Industriali di Lugano (TI)
Service de l'eau Lausanne (VD)
ARA Morgental, Steinach (SG)
ARA Bachwis, Fällanden (ZH)
ARA Werdhölzli, Zürich (ZH)
ARA Altenrhein, Thal (SG)
ARA Worblental, Ittigen (BE)

Tab. 1 Übersicht der 11 Projektpartner (blau = WV, grün = ARA)
Aperçu des 11 partenaires de projet (bleu = distributeurs d'eau, vert = STEP)

lagen verschiedene Handlungsoptionen für die Lastverschiebung gibt. Bei Projektbeginn wurde jeweils für jede Anlage im Rahmen einer Machbarkeitsstudie geprüft, welche Handlungsoptionen im Vordergrund stehen, mit welchen Einsparungen bzw. Erlösen gerechnet, und wie die Umsetzung konkret angegangen werden kann.

HANDLUNGSOPTIONEN WV

Bei den Wasserversorgungen bestehen folgende Handlungsoptionen für die Erbringung von Lastverschiebungen:
- Stromkostenoptimierung
- Tertiärregelleistung

STROMKOSTENOPTIMIERUNG

Voraussetzung für die Umsetzung der Stromkostenoptimierung ist die Aushandlung eines Stromliefervertrages, der für jede Wochenstunde einen strommarktnahen Tarif vorsieht. Alleine durch die Aushandlung eines neuen Stromliefervertrages kann oft schon eine signifikante Reduktion der Tarife und damit der Stromkosten erreicht werden. Für erfolgreiche Verhandlungen ist wichtig, dass die WV auf Augenhöhe mit dem Stromlieferanten diskutieren kann.

Bei Wasserversorgungen stehen für die Lastverschiebung im Wesentlichen die grossen Pumpen zur Verfügung. Die strommarktnahen Tarife ermöglichen es, die Pumpen grösstenteils während Stunden mit niedrigen Preisen zu betreiben und so Stromkosten einzusparen und dies, ohne den Betrieb zu beeinträchtigen *(Fig. 2)*. Die tiefsten Strompreise treten in der Regel während den frühen Morgenstunden und speziell an Wochenenden auf. Mit zunehmendem Anteil von Solarstrom am Produktionsmix wird es zukünftig bei schönem Wetter auch über Mittag Zeiten mit niedrigen oder im Extremfall sogar negativen Strompreisen geben. Der stromkostenabhängige Betrieb ist netzdienlich, da Stunden mit niedrigem Strompreis ein Überangebot an Elektrizität anzeigen. Die Stromkostenoptimierung ermöglicht nach der Aushandlung eines neuen Vertrages neben der Reduktion der Stromtarife zusätzliche Einsparungen der Wirkenergiekosten im Bereich von etwa 10–20%.

TERTIÄRREGELLEISTUNG

Anders als ARA, welche die wertvollere Sekundärregelleistung (SRL) erbringen können, erzielen WV in der Regel lediglich Tertiärregelleistung (TRL). Bei der Bereitstellung von Tertiärregelleistung bei den WV geht es darum, entweder während einem Vierstundenblock die Pumpen in Betrieb zu nehmen (negative Regelleistung bzw. TRL-), oder falls sie laufen, abzustellen (positive Regelleistung bzw. TRL+).

Die negative Regelleistung ist im Markt gefragter und wird deshalb auch besser vergütet. Für das Anbieten von Tertiärregelleistung an Swissgrid ist eine Mindestregelleistung von 5 MW erforderlich, was unter den WV schweizweit wohl nur die WV Lausanne alleine erreichen kann. Bei

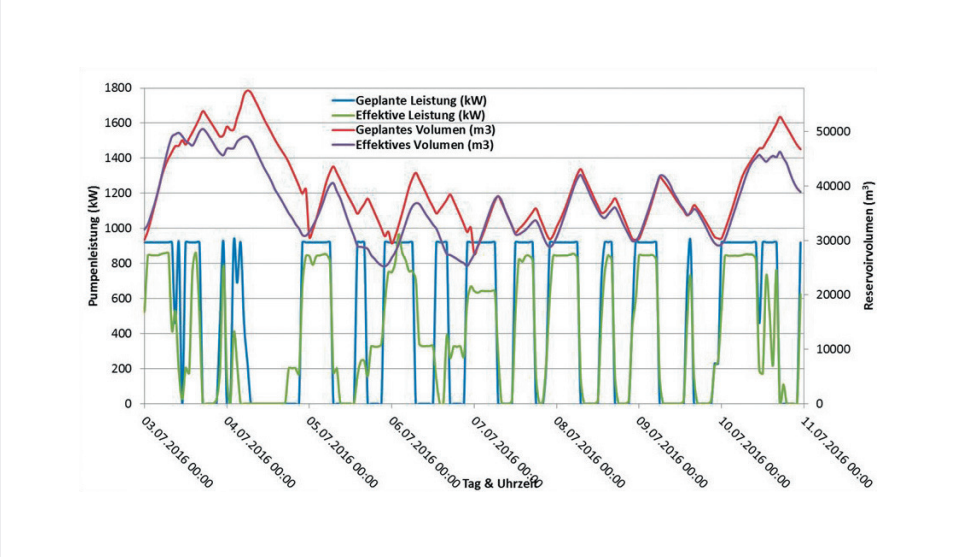

Fig. 2 Exemplarische Darstellung der Pumpfahrplanoptimierung sowie dessen Auswertung für den Zeitraum 3. bis 11. Juli 2016 [3]
Représentation exemplaire du calendrier d'optimisation des pompes et de son évaluation pour la période du 3 au 11 juillet 2016 [3]

allen anderen ist ein Zusammenfassen bzw. Poolen mehrerer Versorgungen erforderlich (deshalb Tertiärregelpooling). Entscheidend für die Fähigkeit einer WV, Tertiärregelleistung zu erbringen, ist das Vorhandensein von ausreichend grossen Wasserspeichern (Reservoire). Üblich ist ein Reservoirvolumen von etwa einem mittleren Tagesverbrauch im Versorgungsgebiet. Bei den Projektpartnern lagen die Volumina im Bereich von 60 bis 200% des mittleren Tagesverbrauches. Je grösser die Reserven, desto flexibler ist eine WV für die Bereitstellung von Tertiärregelleistung.
Bei den WV konnte der Nachweis für die Machbarkeit der Bereitstellung von Tertiärregelleistung beim Wasserverbund Region Bern erbracht werden. Die Umsetzung ist aus wirtschaftlichen Gründen (zu geringe Erlöse) – ausser in Ausnahmefällen – jedoch nicht lukrativ.

STÄDTISCHE QUERVERBUNDUNTERNEHMEN

Im Projektverlauf konnte bei städtischen Querverbundunternehmen, die gleichzeitig Wasser- und Stromversorger sind, häufig eine Divergenz zwischen den Zuständigen der WV und des Strombereiches festgestellt werden. Eine Reduktion der Stromkosten der Wasserversorgung durch die Stromkostenoptimierung bewirkt Mindereinnahmen im Strombereich. Das führt bei den städtischen Querverbundunternehmen zu einer Reduktion der Gewinne, was aus Sicht der öffentlichen Hand nicht wünschenswert ist.
Allerdings könnte sich durchaus eine Win-win-Situation einstellen. Der dank der Umsetzung der Stromkostenoptimierung und Regelpooling planbare Verbraucher WV ermöglicht es, den Stromeinkauf besser zu planen und zu optimieren, was zu tieferen Strombeschaffungskosten führt und die tieferen Gewinne wieder kompensieren kann. Ähnliche Dienstleistungen könnten dann z. B. auch industriellen Kunden angeboten werden.

EIGNUNGSKRITERIEN FÜR LASTVERSCHIEBUNG

Damit das Kosten-Nutzen-Verhältnis bei der Umsetzung der Stromkostenoptimierung in einem guten Bereich liegt, sollten die eingesetzten Pumpen eine Mindestleistung von 100 oder noch besser über 200 kW aufweisen. Der Stromverbrauch am entsprechendem Pumpwerkstandort muss zudem über 100 000 kWh pro Jahr liegen, damit der freie Marktzugang gewährleistet ist und überhaupt ein strommarktnaher Liefervertrag ausgehandelt werden kann.

HANDLUNGSOPTIONEN ARA

In ARA wurde der Fokus von Anfang an auf die Blockheizkraftwerke (BHKW) gelegt. Grund dafür ist die Schwierigkeit, die für Reinigungsleistung der ARA relevanten grossen Stromverbraucher wie Gebläse in der biologischen Reinigungsstufe (meist verantwortlich für gut 60% des Stromverbrauches einer ARA) und Pumpen allfälliger Hebewerke strommarktnah zu betreiben.
Mit den BHKW können dank dem Vorhandensein eines Speichers (Gasometer) folgende Handlungsoptionen in Betracht gezogen werden:

- negative Sekundärregelleistung (SRL–, Reduktion der Leistung des BHKW)
- Lastspitzenoptimierung
- Tertiärregelleistung (TRL+, Starten eines BHKW)
- Direktvermarktung

NEGATIVE SEKUNDÄRREGELLEISTUNG

BHKW können in der Regel im Bereich zwischen etwa 55 und 100% der Nominalleistung betrieben werden. Üblich ist ein Betrieb bei voller Leistung oder zumindest bei mehr als 80%. Dadurch ist es möglich, die Leistung bei Bedarf von z. B. 100 auf 55% zu reduzieren und auf diese Weise negative Sekundärregelleistung bereitzustellen. Die hohen Anforderungen der nationalen Netzübertragungsgesellschaft *Swissgrid* für Sekundärregelleistung setzen jedoch eine sehr schnelle Anpassung der Leistung voraus. Im Rahmen des Projekts durchgeführte Tests zeigten, dass die BHKW meistens dazu in der Lage sind. So bestand der ARA-Regelpool, zusammengesetzt aus BHKW auf vier ARA, die Präqualifikation von Swissgrid bereits im ersten Anlauf *(Fig. 3)*. Der entsprechende Pool ist seit Sommer 2017 am Markt und soll nun zeitnah vergrössert werden.
Die Bereitstellung von Sekundärregelleistung wird deutlich besser vergütet als diejenige von Tertiärregelleistung. Deshalb steht für die meisten ARA die erste Lösung im Vordergrund.
Wichtig für die BHKW-Betreiber ist, dass für sie beim Regelpool von Alpiq keine Pönalen anfallen, wenn ihre Anlage nicht zur Verfügung stehen sollte. Das entsprechende Ausfallrisiko wird durch den Regelpoolbetreiber gedeckt.

LASTSPITZENMANAGEMENT

Die Option Lastspitzenmanagement mit BHKW kann nur auf ARA umgesetzt werden, auf denen die BHKW normalerweise nicht in Betrieb sind. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn das bei der Faulung des Klärschlamms anfallende Klärgas nicht mehr mit dem BHKW verwertet, sondern zu Biomethan aufbereitet und

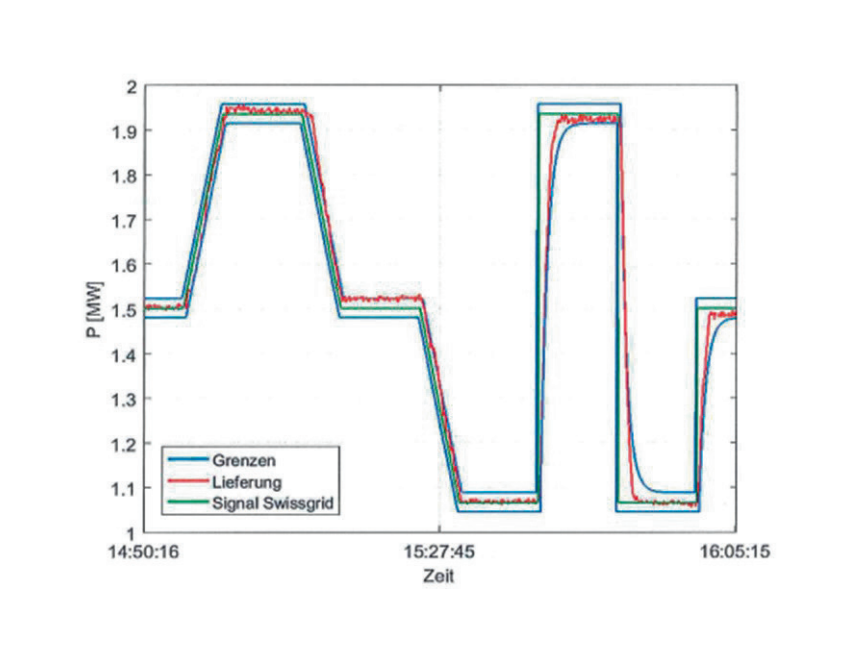

Fig. 3 Resultat der Präqualifikation mit den BHKW [1]
Résultat de la préqualification avec les CCF [1]

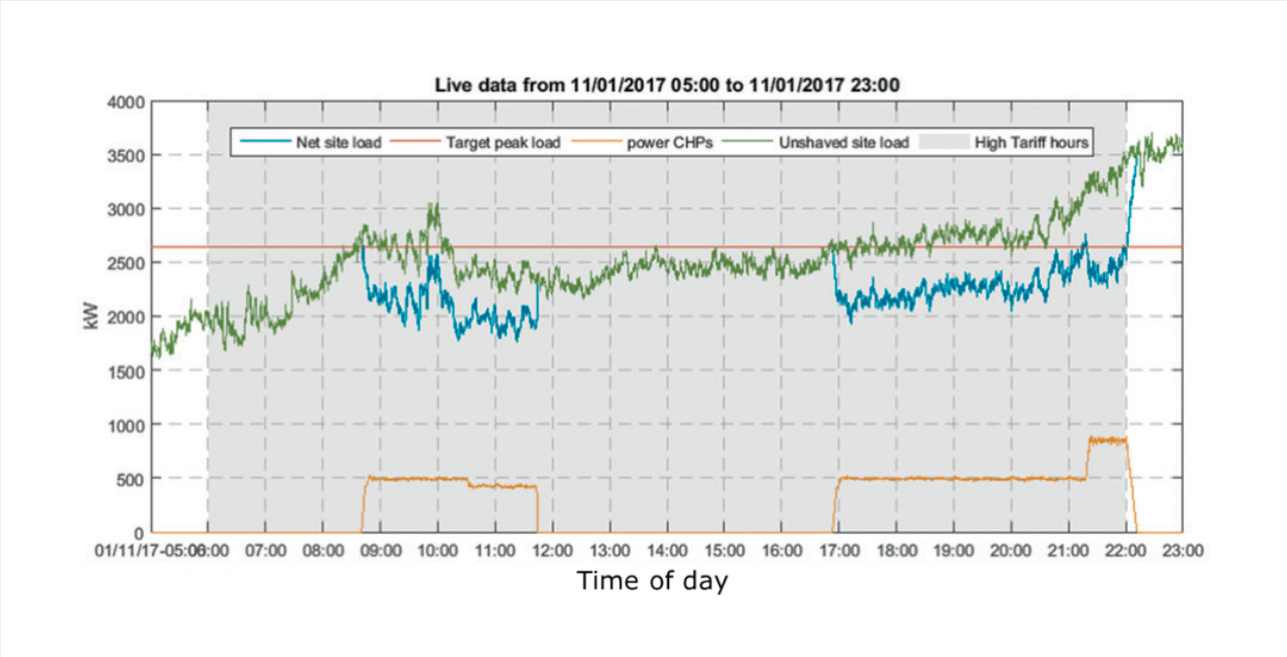

Fig. 4 Beispiel für den Einsatz des Spitzenlastreglers im realen Betrieb [3]
Exemple d'utilisation du régulateur de charges de pointe durant son fonctionnement effectif [3]

ins Gasnetz eingespeist wird. Auf der ARA Werdhölzli in Zürich werden zwei von ursprünglich vier BHKW mit einer Leistung von je gut 900 kW für die Brechung von Strombezugsspitzen eingesetzt. Durch den Einsatz der beiden BHKW während rund 300 Stunden pro Jahr konnten die Stromlastspitzen der ARA von rund 4500 auf in der Regel unter 3000 kW begrenzt werden.
Voraussetzung für die Umsetzung des Lastspitzenmanagements war die Entwicklung eines Prognosetools, das mit Meteodaten sowie Daten aus dem Kanalnetz die Höhe der Stromlastspitzen mit genügend Vorlauf voraussagen kann. Mit diesen Prognosen können die BHKW bei Bedarf rechtzeitig gestartet und kostenrelevante Leistungsspitzen vermieden werden *(Fig. 4)*.

POSITIVE TERTIÄRREGELLEISTUNG

Die Umsetzung der Option Tertiärregelleistung wurde lediglich auf der ARA Werdhölzli angedacht. Da die BHKW hier nur noch während rund 300 Stunden pro Jahr für die Brechung von Lastspitzen im Einsatz sind, stehen sie während den restlichen gut 8000 Stunden für die Bereitstellung von positiver Tertiärregelleistung (TRL+) zur Verfügung. Dies setzt den Start der BHKW innerhalb von 15 Minuten und für in der Regel vier Stunden Dauer voraus. Der entsprechende Test wurde erfolgreich durchgeführt. Aufgrund der niedrigen Erlöse für positive Tertiärregelleistung wurde diese Option jedoch schlussendlich nicht umgesetzt.

AUSBLICK DIREKTVERMARKTUNG

Stromproduktionsanlagen mit einer Leistung von über 500 kW, die bereits von der kostendeckenden Einspeisevergütung profitieren, müssen gemäss dem im Mai 2017 vom Souverän verabschiedeten Energiegesetz spätestens ab 1.1.2020 möglichst entsprechend den Anforderungen des Stromnetzes betrieben werden und unterstehen daher der Direktvermarktungspflicht. Die Höhe der entsprechenden Vergütung ist heute noch nicht genau bekannt. Durch eine strommarktkonforme Betriebsweise der BHKW kann ein Betreiber die Erlöse aber weiter optimieren. Kleinere Anlagen mit einer installierten Leistung zwischen 30 und 500 kW können freiwillig ebenfalls an der Direktvermarktung teilnehmen, müssen sich aber aktiv darum bemühen. Auf jeden Fall empfiehlt es sich, die Erlöse aufgrund der aktuell gültigen Vergütung genauer zu prüfen.[1]

EIGNUNGSKRITERIEN

Für die Bereitstellung von sekundärer Regelenergie sollte ein BHKW über eine Mindestleistung von 200 kW bzw. eine flexible Leistung von rund 100 kW verfügen.

[1] *Weitere Informationen zur aktuellen Situation auf www.infrawatt.ch*

ERGEBNISSE UND ERFAHRUNGEN

Tabelle 2 gibt eine Übersicht der in die Praxis umgesetzten Handlungsoptionen aller elf Projektpartner *(grün)* sowie der technisch machbaren und wirtschaftlich voraussichtlich sinnvollen, aber nicht umgesetzten Optionen *(rot)*.
Bei den WV wurde die Stromkostenoptimierung beim Wasserverbund Region Bern und dem Wasserwerk Reinach und Umgebung umgesetzt. Das technisch ebenfalls machbare Tertiärregelpooling wurde hingegen aufgrund der tiefen Vergütung bei keiner Wasserversorgung realisiert.
Vier ARA (Morgental, Bachwis, Altenrhein und Worblental) haben die Option Sekundärregelleistung über einen Regelpool von Alpiq umgesetzt und sind seit dem *Sommer* 2017 auf dem Strommarkt. Auf der ARA Werdhölzli ist seit Herbst 2016 das Lastspitzenoptimierungstool im Einsatz.

PRAXISERFAHRUNGEN DER BETREIBER

Wasserverbund Region Bern (WVRB): Stromkostenoptimierung

Der Geschäftsführer des WVRB, *Bernhard Gyger*, bestätigt, dass die Lastverschiebungen keine Probleme bei der Wasserversorgung ergeben haben und das neue Regime auch von den Mitarbeitern rasch akzeptiert wurde. Die Lastverschiebung funktioniere auch nach

	Handlungsoptionen umgesetzt/nicht umgesetzt			Erbrachter Nachweis
Projektpartner	**Stromkostenoptimierung**	**Sekundärregelpooling**	**Lastspitzenoptimierung**	**Tertiärregelpooling**
Wasserversorgungen				
WV Stadtwerk Winterthur (ZH)				
Wasserverbund Region Bern AG (BE)				
WW Reinach (BL)				
AM Bellinzona (TI)				
AI Lugano (TI)				
Service de l'eau Lausanne (VD)				
Abwasserreinigungsanlagen				
ARA Morgental, Steinach (SG)				
ARA Bachwis, Fällanden (ZH)				
ARA Werdhölzli, Zürich (ZH)				
ARA Altenrhein, Thal (SG)				
ARA Worblental, Ittigen (BE)				

Tab. 2 Übersicht der umgesetzten Handlungsoptionen der Projektpartner [3]
Aperçu des options d'intervention mises en œuvre par les partenaires de projet [3]

mehrmonatigem Einsatz sehr gut. Die Stromkostenoptimierung sei mit geringem Aufwand machbar und habe sich finanziell gelohnt. Gyger kann auch weiteren Kollegen empfehlen, die Reservoire ihrer WV als «Gratisbatterien» für die Stromkostenoptimierung zu nutzen, aus finanziellen Gründen und als Beitrag zur Stromversorgungssicherheit.

Abwasserverband Morgental (AVM): Sekundärregelpooling

Geschäftsführer *Roland Boller* vom AVM war anfänglich skeptisch, liess sich dann aber aufgrund der Ergebnisse der detaillierten Voruntersuchungen auf einen Test ein, was sich lohnte. Der ARA-Betrieb laufe wie bisher zuverlässig, der letzte Entscheid liege immer noch beim Betreiber, berichtet Roland Boller. Die Mitarbeiter haben nicht einmal etwas vom Test mitbekommen. Die Investitionen seien mit wenigen tausend Franken gering gewesen und beschränkten sich auf die Einbindung des Fernzugriffes. Der Aufwand für das Regelpooling beschränke sich auf wöchentlich eine Viertelstunde für die Erstellung und Weiterleitung der Prognose. Danach fliessen regelmässig Erlöse zu, die sich auf rund 10 000 Franken jährlich aufsummieren, ohne dass die ARA ein Risiko für Pönalen tragen muss.

PRODUKTMODELLE

Für die verschiedenen, umgesetzten Handlungs- bzw. Flexibilitätsoptionen wurden im Rahmen des Leuchtturmprojektes von Alpiq und den Ryser Ingenieuren verschiedene Produktmodelle entwickelt. *Tabelle 3* gibt eine Übersicht über Richtwerte (definitive Konditionen und Preise sind abhängig von der Anlage und der Preisentwicklung der SDL-Märkte).

In der Regel wird für eine WV oder ARA vorerst eine Machbarkeitsstudie von Fachleuten aus dem Wasserfach in Zusammenarbeit mit Regelpoolspezialisten erarbeitet, um die verfügbaren Handlungsoptionen aufzuzeigen und zu vergleichen und aufgrund der ermittelten Kosten und Erlöse eine Umsetzungsempfehlung abzuleiten.

Die Sekundär- und Tertiärregelleistung von BHKW wird über einen Regelpool vermarktet. Es werden von Alpiq jeweils 70% der Erlöse an den BHKW-Betreiber ausbezahlt. Die Anpassung des Leitsystems wird in der Regel durch den Betreiber ausgelöst, die Anbindung an den Regelpool übernimmt der Regelpoolanbieter. Die Erlöse für Sekundärregelleistung liegen im Bereich von etwa 50 000 bis 70 000 Franken pro MW und Jahr, diejenige für Tertiärregelleistung um etwa einen Faktor 5 tiefer.

Produkt	Kundennutzen	Kosten/Erlös
Machbarkeitsstudie	– Analyse zeigt Handlungsoptionen auf – Kosteneinsparung/Mehrerlöse – Umsetzungsempfehlung	– Studie nach Aufwand
SRL	– Vermarktung der BHKW im Sekundärregelenergiemarkt – Algorithmus integriert Anlagen im Regelpool und senkt Abrufhäufigkeit	– Regelpoolingansatz – 70% der Einnahmen werden ausbezahlt – Anpassung am Leitsystem trägt der Kunde
TRL	– Vermarktung der BHKW im Tertiärregelenergiemarkt (mangelnde Rampenfähigkeit/Flexibilität für SRL)	– Regelpoolingansatz – 70% der Einnahmen werden ausbezahlt – Anpassung am Leitsystem trägt der Kunde
Abonnement Stromkostenoptimierung oder Lastspitzenoptimierung	– Lastspitzenoptimierung zur optimalen Netznutzung – Reduktion der Energiekosten dank preisoptimiertem Fahrplan – Mehrfachnutzen durch Kombiprodukte	– Abomodell für DL zu ca. 20% der Kostenersparnis – Anpassung am Leitsystem trägt der Kunde

Tab. 3 Übersicht der umgesetzten Produktmodelle von Alpiq [3]
Aperçu des modèles de produits mis en œuvre par Alpiq [3]

Projektpartner (v.l.): Raphael Osswald, Rytec AG; Ernst A. Müller, InfraWatt (Projektleiter Leuchtturmprojekt); Irina Radzikhovskaya und Christian Zaugg, Alpiq AG; Ständerat Filippo Lombardi, Präsident InfraWatt; Beat Kobel und Andreas Hurni, Ryser Ingenieure AG

(Bild: InfraWatt, Troy productions)

KONTAKTE UND WEITERE INFORMATIONEN
www.infrawatt.ch
regelpooling.ch

Für die Optionen Stromkostenoptimierung bei WV und Lastspitzenoptimierung bei BHKW kommt ein Abo-Modell zur Anwendung. Die Abonnementskosten betragen ca. 20% der Kostenersparnis. Die Kosten für die Anpassung des Leitsystems werden normalerweise durch den Anlageneigentümer getragen.

FAZIT

Im Rahmen des Leuchtturmprojektes konnten mehrere Lösungen für die Nutzung der Flexibilität von bestehenden Infrastrukturanlagen in Wasserversorgungen und auf Abwasserreinigungsanlagen entwickelt und umgesetzt werden. Diese Lösungen stehen nun den anderen Betreibern zur Verfügung. Bevor neue Anlagen für die Bereitstellung von Flexibilität erstellt werden, gilt es die Potenziale der bereits vorhandenen Infrastrukturanlagen möglichst vollständig auszuschöpfen. Das Leuchtturmprojekt kommt zum Schluss, dass Abwasserreinigungsanlagen und Wasserversorgungen mit grösseren BHKW bzw. Pumpen diese wertvollen, bestehenden Infrastrukturanlagen zukünftig noch besser nutzen und ohne grossen Aufwand für ihre Flexibilitätsoptionen zusätzliche Erlöse genieren können. Gleichzeitig leisten sie so einen Beitrag zur Energiewende bzw. zur Stromversorgungssicherheit.

BIBLIOGRAPHIE

[1] *Müller, E.A. et al. (2015): Regelpooling mit Infrastrukturanlagen, ein Leuchtturmprojekt von InfraWatt, Alpiq und Ryser Ingenieure. Aqua & Gas 12/15*

[2] *Hurni, A. (2017): Lastverschiebung mit Infrastrukturanlagen. Tagungsband 50. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft (ISSN 0342-6068)*

[3] *Müller, E.A. et al. (2017): Regelpooling mit Infrastrukturanlagen, Wasserversorgungen und Abwasserreinigungsanlagen. Schlussbericht Leuchtturmprojekt vom 15.12.2017. Bundesamt für Energie*

[4] *Müller, E.A. et al. (2013): Potenzial der Schweizer Infrastrukturanlagen zur Lastverschiebung. InfraWatt mit Unterstützung vom Bundesamt für Energie*

[5] *Moser, R.; Hurni, A.; Müller, E.A. (2013): Lastverschiebung. Aqua & Gas 11/13: 44-50*

[6] *Müller, E.A. (2014): Leuchtturmprojekt gestartet. Umweltperspektive 4/14*

[7] *Kilchmann, A. et al. (2004): Energie in der Wasserversorgung, Ratgeber zur Energiekosten- und Betriebsoptimierung. BFE und SVGW*

[8] *Müller, E.A. et al. (2008/2010): Energie in ARA. Leitfaden zur Energieoptimierung auf Abwasserreinigungsanlagen. VSA und BFE*

[9] *Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2014): Ein Strommarkt für die Energiewende. Diskussionspapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (Grünbuch)*

[10] *Reithofer, T. et al. (2013): Anbindung von Regelpools an den Schweizer SDL-Markt. Herausgeber VSE*

[11] *Nabe, C.; Trinkner, U.; Bons, M., (2015): Zukünftige Energiemärkte und die Rolle der Netzbetreiber, Endbericht. Swiss Economics und Ecosys, im Auftrag des BFE*

> SUITE DU RÉSUMÉ

est utilisé avec succès depuis 2016 dans le Wasserverbund Region Bern AG. Dans quatre de six AE, d'importants potentiels ont été identifiés pour la fourniture de puissance de réglage tertiaire. Vu les prix de la puissance de réglage tertiaire, actuellement faibles et nettement moins élevés que ceux de la puissance de réglage secondaire, les AE n'avaient aucun intérêt à mettre en œuvre cette option. Une AE a été en mesure de prouver sa capacité à fournir une puissance de réglage tertiaire.