

# Lastverschiebungspotenziale in der Wasserversorgung

*Im Forschungsprojekt werden energieintensive Bereiche der Wasserversorgung auf mögliche Lastverschiebungspotenziale untersucht. Dabei soll anhand von zehn Wasserversorgungsunternehmen unterschiedlicher Größe und Struktur in Baden-Württemberg analysiert werden, welches Lastverschiebungspotenzial theoretisch zur Verfügung steht und ob dieses auch wirtschaftlich nutzbar ist. Es werden wichtige Rahmenbedingungen zur Teilnahme am Lastmanagement herausgestellt und die technische Anbindung beim Versorger sowie die Übertragung und Umsetzung von Börsensignalen über ein virtuelles Kraftwerk bis hin zur entsprechenden Förderanlage betrachtet.*

Im Normalbetrieb werden Hochbehälter in einer Wasserversorgung pegelabhängig befüllt. In der Regel erfolgt dies in den Nachtstunden, um einen evtl. vorhandenen Nachtтариф zu nutzen und, um den Einfluss auf die Versorgungsstruktur des Ortsnetzes so gering wie möglich zu halten.

In Zeiten von fluktuierender Einspeisung von Energie aus erneuerbaren Energiequellen (hauptsächlich Wind und Photovoltaik) liegt die Idee nahe, die energieintensiven Bereiche einer Wasserversorgung (Befüllung von Hochbehältern, Wasseraufbereitung, usw.) zeitlich möglichst optimal auf die zur Verfügung stehende Energie abzustimmen. Durch ein intelligentes Pumpmanagement (Lastmanagement) würde einem Wasserversorger eine ähnliche Position wie einem Pumpspeicherkraftwerk zukommen (dezentrale Pumpspeicher). In Zeiträumen mit Stromüberangebot wird Energie verbraucht und Wasser in den Hochbehälter gepumpt und gespeichert um damit Pumpzeiten in Bereichen mit Stromengpässen zu vermeiden. Dabei wird der Einfluss dieser energieoptimierten Fahrweise der Pumpen auf die Struktur des Wasserversorgungssystems und auf die Anlagen selbst analysiert. Im Ergebnis wird ein betriebswirtschaftlich optimiertes Speichermanagement erwartet.

In der Untersuchung wird zwischen verschiedenen Versorgungssystemen unterschieden. Diese können z. B. Druckerhöhungsanlagen (Saugbetrieb aus dem Behälter oder Saugbetrieb aus dem Netz), Tiefbrunnenpumpen zur Wassergewinnung, Wasserwerke und -aufbereitungsanlagen und Netzpumpen sein.

Im Durchschnitt kann man davon ausgehen, dass in Deutschland rund 80 % des Strombedarfs einer Wasserversorgung für Pumpenergie verwendet wird. In Baden-Württemberg gibt es rund 1.300 Wasserversorger, überwiegend kommunale Eigenbetriebe und Zweckverbände [1]. Die in diesem Projekt erarbeiteten Ergebnisse können auf eine Betrachtung auf Baden-Württemberg als Bundesland erweitert/angewandt werden und eine Aussage für Gesamtdeutschland getroffen werden. Das Projekt wird von insgesamt zehn Wasserversorgungsunternehmen unterschiedlicher Größe und Struktur auf Landesebene in Baden-Württemberg unterstützt und von der EnBW Holding finanziert.

## Prozessuale Herangehensweise

Im Folgenden werden im Detail die Herangehensweise und unterschiedliche Versorgungsstrukturen vorgestellt. Um verschiedene Wasserversorgungssysteme zu bewerten und miteinander vergleichen zu können, werden diverse Betriebssysteme definiert und untersucht.

### Herangehensweise:

- » Im ersten Schritt erfolgt eine allgemeine Überprüfung der Fördersysteme in Bezug auf die optimale Auslegung. Dabei erfolgt eine Bewertung der aktuellen Situation ohne Berücksichtigung des Themas Lastmanagement. Daraus ergeben sich möglicherweise erste Optimierungspotenziale der Förderanlagen selbst wie z. B. eine Nachrüstung mit Drehzahlregelung.
- » Im zweiten Schritt wird speziell auf die Lastmanagement-Thematik eingegangen. Dabei werden die erforderlichen Daten erhoben.
- » Am Ende sollen die Ergebnisse als Basis für eine energetische und betriebswirtschaftliche Optimierung des Systems dienen.

Da allein aufgrund dem seit Jahren fallendem Pro-Kopf-Verbrauch an Trinkwasser in der BRD der Großteil der Wasserversorgungsanlagen nicht mehr optimal ausgelegt sind, wird der wirtschaftliche Nutzen des Lastmanagements in Relation zum Nutzen einer angepassten Auslegung bei den meisten Versorgern eher als gering erwartet.

## Unterschiedliche Versorgungsstrukturen

Im Folgenden sind verschiedene Versorgungsstrukturen definiert worden, von denen jeweils im durchgeführten Projekt mindestens zwei bei Wasserversorgungsunternehmen untersucht werden.

**System A (Bild 1)** zeigt einen Tiefbrunnen, von dem Grundwasser in einen Hochbehälter oder Reinwasserbehälter gefördert wird. Die benötigte Pumpenergie hängt maßgebend von der Förderhöhe und dem Förderstrom ab. Der Zeitraum, in dem die Pumpe in Betrieb ist, wird zum einen durch das Wasserdargebot bzw. Wasserrecht im Brunnen und zum anderen vom Füllstand des Behälters begrenzt. Beim **System B (Bild 2)** werden Förderanlagen im Wasserwerksbereich analysiert. Entscheidend sind die Aufbe-

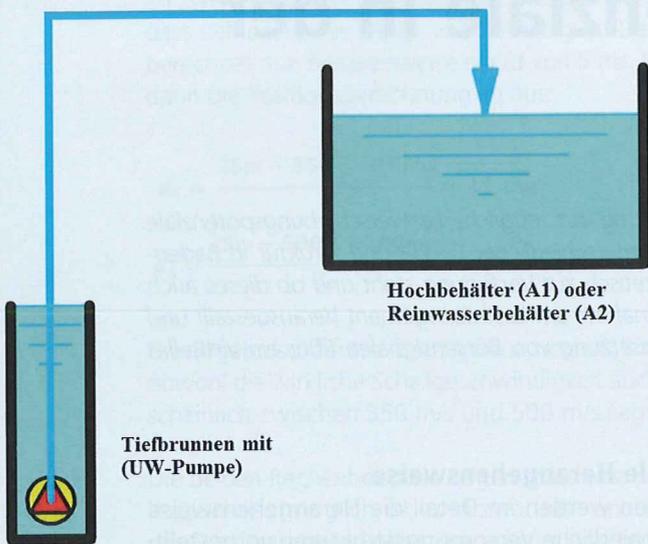


Bild 1: System A, Versorgungsstruktur A (Quelle: RBS wave)

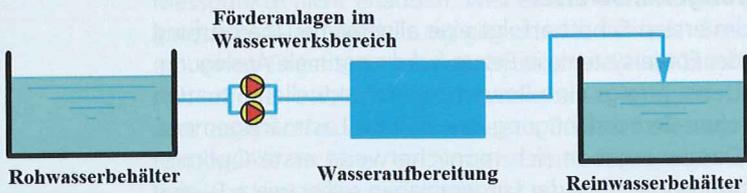


Bild 2: System B, Versorgungsstruktur B (Quelle: RBS wave)

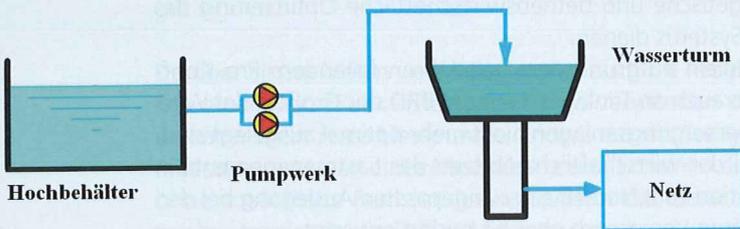


Bild 5: System E, Versorgungsstruktur E (Quelle: RBS wave)

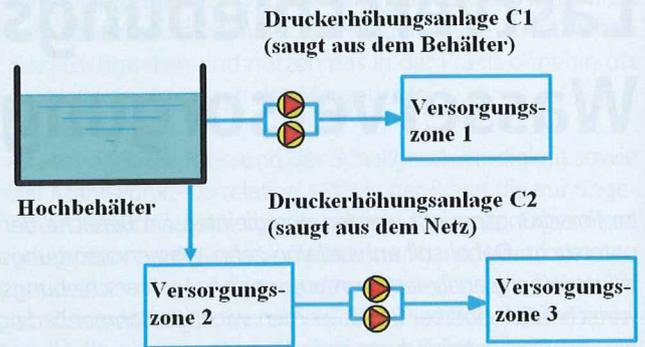


Bild 3: System C, Versorgungsstruktur C (Quelle: RBS wave)

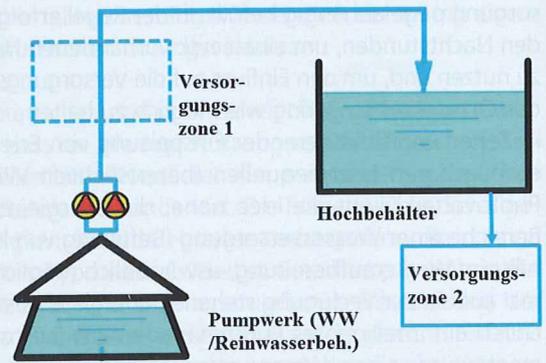


Bild 4: System D, Versorgungsstruktur D (Quelle: RBS wave)

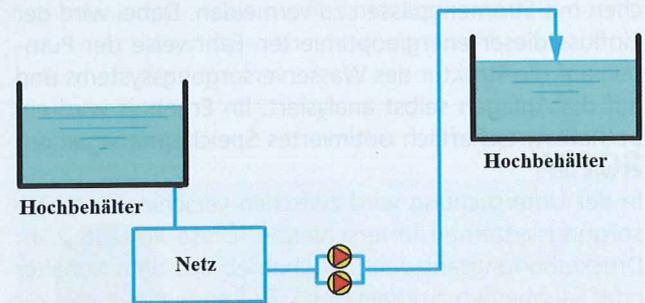


Bild 6: System F, Versorgungsstruktur F (Quelle: RBS wave)

reitleistung des Wasserwerks, das Rohwasserdargebot, der Wasserspiegel im Reinwasserbehälter, sowie der Gesamtverbrauch in der Versorgungszone.

Bei **System C** werden Druckerhöhungsanlagen betrachtet. Dabei wird zwischen direktem und indirektem Anschluss der Anlagen unterschieden. Solch eine Betriebsweise lässt vermutlich keine sinnvoll nutzbaren Lastverschiebungspotenziale zu, da zur Aufrechterhaltung des Netzdruckes die Pumpen meist durchgehend in Betrieb sind (drehzahlregelt). Bei kleinen Versorgungszone besteht eventuell

die Möglichkeit, Druckspeicher wie Druckwindkessel oder Membranausdehnungsgefäße zu nutzen (**Bild 3**).

Im **System D** wird Grundwasser bzw. Quellwasser bei Bedarf aufbereitet und durch eine Versorgungszone in einen Hochbehälter gefördert. Die erforderliche Pumpleistung ergibt sich aus dem geodätischen Höhenunterschied den Druckverlusten und der Menge, die gefördert werden soll. Die Randbedingungen sind die Netzverbräuche und -drücke, die Behälterfüllstände, sowie die eventuell vorhandene Aufbereitungsleistung im Wasserwerk (**Bild 4**).

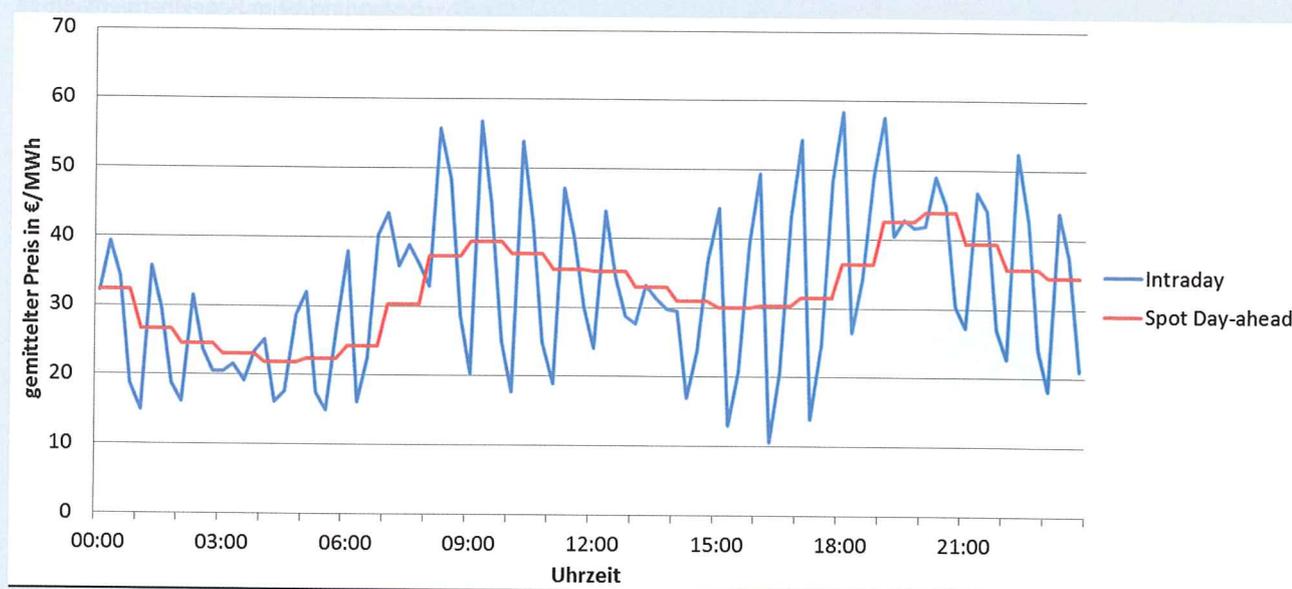


Bild 7: Durchschnittlich mittlerer Preis von Januar bis Ende Juli 2014 über 24 h aufgetragen (Quelle: Netze BW)

**System E** zeigt eine Versorgung über einen Wasserturm. Dieser wird über einen Hochbehälter und ein Pumpwerk befüllt. Abhängig vom Wasserspiegel kann das Pumpwerk in Betrieb sein. Da der Nutzinhalt des Wasserturms meist kleiner ist als der des Hochbehälters oder Reinwasserbehälters, von dem der Turm befüllt wird, ist hier bei der Ermittlung von Potenzialen zur Lastverschiebung der Netzverbrauch entscheidend (Bild 5).

Im **System F** wird ausgehend von einem Hochbehälter ein weiterer Hochbehälter über ein dazwischenliegendes Netz befüllt. Um den geodätischen Höhenunterschied zu überwinden und um Druckverluste auszugleichen, wird die vorhergesehene Menge gepumpt. Hierbei spielt die Hydraulik des Netzes eine entscheidende Rolle.

Der Zeitraum, in dem das Pumpwerk in Betrieb ist, wird zum einen durch die Füllstände der beiden Behälter beschränkt. Ein zweiter wichtiger Punkt ist der aktuelle Netzverbrauch und die sich einstellenden Fließdrücke im Netz (Bild 6).

### Strommarktübersicht

Lastmanagement beschreibt die Anpassung des Stromverbrauchs an das Stromangebot. In der Wasserversorgung bedeutet das, die Hochbehälter dann zu füllen wenn es aus Sicht der Energiemärkte vorteilhaft ist. An dieser Stelle werden für das Forschungsvorhaben die Energiemärkte Spot Day Ahead und Intraday sowie die Regelenergieprodukte Sekundärregelenergie und Minutenreserve untersucht. Diese Märkte weisen Preisspannen auf, welche durch Lastmanagement ausgenutzt werden können, um damit zusätzliche Erlöse zu erwirtschaften.

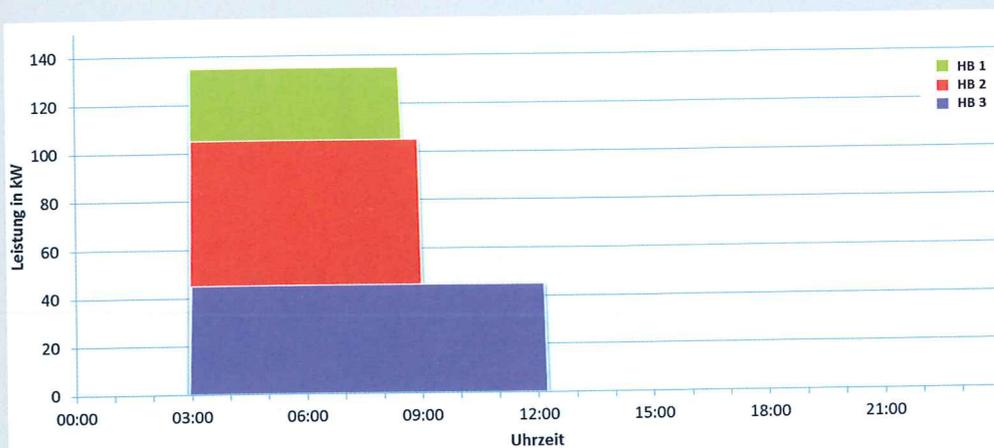
EPEX SPOT ist die Börse für Stromspotmärkte für Frankreich, Deutschland, Österreich und Schweiz. Das Unter-

nehmen wurde 2008 durch den Zusammenschluss der Stromspotaktivitäten der Energiebörsen Powernext SA aus Frankreich und der EEX AG in Deutschland aus der Taufe gehoben [2]. Über EPEX SPOT werden Spot Day Ahead und Intraday-Auktionen abgewickelt.

Der Basiswert in der Day-Ahead-Auktion ist der zur Lieferung am nächsten Tag in 24-Stunden-Intervallen gehandelte Strom. Der Basiswert im Intraday-Markt ist der gehandelte Strom für Einzelstundenkontrakte, 15-Minuten-Perioden oder Blockkontrakte zur Lieferung am gleichen oder nächsten Tag. Jeder Einzelstundenkontrakt, 15-Minuten-Kontrakt oder Blockkontrakt kann bis zu 45 Minuten vor Lieferbeginn gehandelt werden [2]. In Bild 7 ist ein durchschnittlicher Preis über einen Tag gemittelt aus dem Zeitraum Januar bis Ende Juli 2014 über 24 h aufgetragen. Dies zeigt beim Intraday-Markt einen volatileren Preis mit größeren Preisdifferenzen als beim Spot Day Ahead.

Die Energiemärkte Spot Day Ahead und Intraday eignen sich zum Beispiel für kurzfristige Optimierungen im Strombezug sowie zum Ausgleich von Fahrplan- und Prognoseabweichungen. Beim Spot Day Ahead findet der Handel mit einer Auktion am Tag vor der physikalischen Lieferung statt. Da die Preisdifferenzen entscheidenden Einfluss auf das Erlöspotenzial haben ist davon auszugehen, dass beim Intraday-Markt der größere Erlös erzielt werden kann. Trotzdem sind beide Märkte hinsichtlich des Lastmanagements in der Wasserversorgung interessant und werden in die Untersuchungen mit einbezogen.

Der Regelenergiemarkt dient zur Frequenzhaltung des Stromnetzes. Dies ist wichtig, da Stromangebot und Nachfrage immer im Gleichgewicht sein müssen. Wenn das Stromangebot im Netz größer ist als die Nachfrage, gibt es negative



**Bild 8:** Durchschnittliches tägliches Lastmanagementpotenzial (Quelle: Netze BW)

Regelleistung, die Strom aus dem Stromnetz entnimmt. Wenn die Stromnachfrage größer ist als das Angebot, gibt es positive Regelleistung, die Strom in das Stromnetz einspeist. Die Regelleistung kann von einem Stromerzeuger erbracht werden, indem die Einspeiseleistung erhöht beziehungsweise gedrosselt wird oder von einem Stromverbraucher, der den Strombezug erhöht beziehungsweise verringert.

Das Lastmanagement regelt die Last und somit den Stromverbraucher. Hier kann die positive Regelleistung durch das Abschalten einer Last und die negative Regelleistung durch das Zuschalten einer Last erbracht werden. Damit sind die Grundvoraussetzungen für die Erbringung von Regelleistung durch Lastmanagement gegeben. Generell gibt es die drei Regelleistungsarten: Primärregelleistung, Sekundärregelleistung und Minutenreserveleistung. Diese werden zeitlich nacheinander abgerufen und lösen sich damit gegenseitig ab. Die Primärregelleistung wird als erstes sekundenschnell abgerufen. Diese Anforderung, innerhalb Sekunden den Lastgang der Pumpen zu ändern, kann durch Lastmanagement in der Wasserversorgung nicht erfüllt werden. Dadurch kann keine Primärregelleistung angeboten werden. Dagegen werden die Sekundärregelleistung und Minutenreserveleistung nach fünf beziehungsweise 15 Minuten abgerufen. Diese Zeitvorgaben können beim Lastmanagement in der Wasserversorgung erfüllt werden. Demnach müssen die Pumpen bei positiver Regelleistung im angebotenen Zeitraum und mit der angebotenen Leistung in Betrieb sein. Bei Abruf der Regelleistung müssen die Pumpen in der vorgeschriebenen Zeit abgeschaltet oder um die entsprechende Leistung gedrosselt werden. Bei negativer Regelleistung ist es genau umgekehrt. Die angebotene Leistung darf im angebotenen Zeitraum nicht bezogen werden und muss bei Abruf um die entsprechende Pumpleistung erhöht werden. Der Zeitraum, in der die entsprechende Regelleistung angeboten wird, wird mit einem Leistungspreis vergütet. Bei entsprechendem Abruf der Regelleistung, wird der Arbeitspreis bei positiver Regelleistung vergütet und bei negativer bezahlt.

Dementsprechend wird der Zusatzlös mit Lastmanagement am Energiehandelsmarkt durch einen preisgünstigeren Strom-

bezug und beim Regelenergiemarkt im Wesentlichen durch den Leistungspreis der angebotenen Regelleistung erzielt.

### Analyse und Erhebung von Potenzialen

Einer der zehn Wasserversorger die am Projekt teilnehmen ist ein mittelgroßer Wasserversorger in Baden-Württemberg, der eine Stadt mit ca. 30.000 Einwohnern versorgt. Bei diesem Wasserversorger liegen bereits erste Ergebnisse vor. Zielstellung ist es, die Erlöse, die durch die Vermarktung erzielt werden können der Größenordnung nach zu ermitteln.

Voraussetzung für flexible Lasten ist ein Speicher vor und ein Speicher nach

der Pumpstation. Dadurch wird es ermöglicht, den zweiten Speicher mit maximaler Pumpleistung über einen bestimmten Zeitraum am Tag zu füllen. Es muss sichergestellt sein, dass der tägliche Wasserabsatz in den Behälter gepumpt wird und die Versorgungssicherheit des Netzes zu jeder Zeit gewährleistet ist. Unter Beachtung dieser Restriktionen kann die Förderpumpe zeitlich flexibel den Behälter füllen. Diese zeitliche Flexibilität der Stromlast und aller technischen Restriktionen gilt es bei der mittelgroßen Wasserversorgung zu ermitteln. Dafür wird das Versorgungsschema in die Versorgungsstrukturen A-F wie im vorigen Kapitel beschrieben unterteilt und jede Struktur einzeln untersucht. Durch diese Vorgehensweise ergibt sich der Vorteil, ein komplexes Versorgungsschema mit vielen Abhängigkeiten in die relevanten Systeme einzuteilen und somit eine übersichtliche Darstellung zu erhalten. Mit einem hydraulischen Rechenmodell werden die technischen Restriktionen wie die maximale Pumpleistung und die Fließdrücke bei der Tagesspitze ermittelt und simuliert. Unter Beachtung dieser Restriktionen kann bei dem mittelgroßen Wasserversorger ein Lastmanagementpotenzial von circa 1000 kWh pro Tag erhoben werden. Dieses unterteilt sich in drei Behälter, die alle von einem zentralen Pumpwerk aus befüllt werden und unterschiedliche Befüllzeiten haben.

In **Bild 8** ist das Lastmanagementpotenzial exemplarisch an einem Tag dargestellt. Die Behälter müssen mit Wasser durch diese Pump-Energiemenge am Tag gefüllt werden. Die drei farbigen Balken stellen jene Pumpenergie dar, die zur Befüllung der jeweiligen Behälter erforderlich ist. Es ist jedoch aus Sicht der Wasserversorgung nicht relevant, zu welcher Zeit am Tag das Wasser gepumpt wird, sofern den Kunden ausreichend Wasser über das vorhandene Speichervolumen zur Verfügung gestellt werden kann. Deshalb ist es möglich, die Blöcke am Stück oder unterteilt in kleinere Blöcke innerhalb eines Tages zu verschieben. Diese zeitliche Flexibilität der Förderpumpen kann an dieser Stelle gegen den Energiemarkt optimiert werden, indem die Vermarktung als Regelleistung oder ein optimierter Strombezug am Energiehandelsmarkt erfolgt.

## Erste Ergebnisse des Forschungsprojekts

Mit dem erhobenen Lastmanagementpotenzial wurden Erlösmodelle entwickelt, mit denen die Vermarktung des Potenzials gegenüber den Energiemärkten untersucht und auf Wirtschaftlichkeit geprüft wird. Eine notwendige Voraussetzung für die Vermarktung von Potenzialen in dieser Größenordnung ist die Anbindung des Wasserversorgers an das „Virtuelle Kraftwerk“ der EnBW. Im Bereich von Lastmanagement bündelt dieses die Flexibilität einzelner Systeme und vermarktet sie gegenüber den Energiemärkten. Dadurch ist eine Erschließung der Marktopportunitäten auch von verhältnismäßig kleinen Anbietern möglich. Zum Beispiel gibt es bei der Sekundärregelenergie eine Mindestangebotsgröße von 5 MW die seitens der Bundesnetzagentur seit 2011 festgelegt ist [3].

Durch mehrere Wasserversorger kann diese Voraussetzung über einen Pooling in einem Virtuellen Kraftwerk realisiert werden. Ein weiterer Vorteil eines Virtuellen Kraftwerks ist die automatische Ansteuerung der Pumpen der Wasserversorger, um zusätzliche Betriebskosten einzusparen. Ziel der EnBW ist es, die Flexibilität bei Wasserversorgern zu quantifizieren, zu qualifizieren und bei entsprechenden Voraussetzungen in das Virtuelle Kraftwerk aufzunehmen. Eine Präqualifikation der Wasserversorgung durch den Übertragungsnetzbetreiber ist dabei zusätzliche Voraussetzung für die Teilnahme an den Regelenergiemärkten. Dabei wird die Zuverlässigkeit der Anlagen und somit das Erbringen der Regelenergie geprüft.

Es werden die Regelenergiemärkte Sekundärregelenergieleistung und Minutenreserve sowie die Energiehandelsmärkte Spot Day Ahead und Intraday untersucht. Für jedes Vermarktungsmodell wird ein geeigneter Fahrplan der Pumpen hinsichtlich des maximalen Erlöspotenzials erstellt und die Erlöse den Kosten gegenübergestellt.

Die Ergebnisse dieser ersten Untersuchungen zeigen, dass ein wirtschaftliches Betreiben von Lastmanagement in der Wasserversorgung bereits möglich ist. Die Vermarktung von negativer Regelenergie erzielt dabei die größten Erlöse. Aber auch am Intraday-Markt kann das Potenzial wirtschaftlich vermarktet werden. Dagegen sind die Preisdifferenzen am Spot Day Ahead zu gering, um die anfallenden Kosten bei dem beispielhaften Wasserversorger zu decken.

## Ausblick

Auf folgende offenen Punkte und Fragestellungen wird in der weitergehenden Untersuchung im Verlauf des Forschungsprojekts eingegangen:

- » Der Betreiber eines virtuellen Kraftwerks kauft Strom an der Börse und dieser muss von den Teilnehmern am virtuellen Kraftwerk abgenommen werden. Was sind die Folgen, wenn dies aus irgendeinem Grund nicht geschehen kann?
- » Inwiefern ist eine Teilnahme am Lastmanagement für Versorger möglich, die längerfristige Stromlieferverträge besitzen.
- » Wie genau muss die Übertragungstechnik gestaltet werden? Also der Weg vom Preissignal an der Börse,

über das virtuelle Kraftwerk bis hin zur Förderanlage! Die Steuerungs- und Bedienphilosophie beim Versorger sollte beibehalten werden um so wenig wie möglich ins System einzugreifen.

- » Eventuell kann bei Pumpwerken großer Leistung die Installation zusätzlicher Förderanlagen mit geringer Leistung wirtschaftlich sein, um das Lastverschiebungspotenzial ganz auszunutzen.

## Zusammenfassung

Diese ersten Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt am Beispiel einer mittelgroßen Wasserversorgung sind vielversprechend. Die zeitlich verschiebbaren Stromlasten werden intelligent gesteuert und tragen damit zum einen zur Glättung der Einspeiseschwankungen und somit zur Integration der Erneuerbaren Energien bei. Zum anderen können in der Wasserversorgung zusätzliche Erlöse erwirtschaftet werden, die zur Reduzierung der Energiekosten des Wasserversorgers beitragen. Somit bietet das Lastmanagement Vorteile für die Energiemärkte und für die Wasserversorgung. Mit Abschluss des Projekts im Februar 2015 steht somit ein Verfahren zur Verfügung, um mit geringem Aufwand das mögliche Potential einer Lastverschiebung für ein Wasserversorgungsunternehmen zu beschreiben und zu bewerten.

## Literatur

- [1] Büringer, H. (2006) Trinkwasserversorgung in Baden-Württemberg, Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 5/2006, S. 28-31
- [2] <http://www.epexspot.com/de/produkte/>
- [3] Bundesnetzagentur (2011) Pressemitteilung von 13.04.2011

## AUTOREN



**FABIAN JANOTTE**

Consulting / Projektleiter Netzmanagement  
RBS wave GmbH, Stuttgart  
Tel. +49 711 / 289 513-37  
f.janotte@rbs-wave.de



Dr.-Ing. **GERALD GANGL**

Consulting / Bereichsleiter  
RBS wave GmbH, Stuttgart  
Tel. +49 711 / 128 48414  
g.gangl@rbs-wave.de



**SIMEON SIEGELE**

DH-Studierender B.Eng. Maschinenbau  
Netze-BW GmbH, im Auftrag der EnBW  
Energie Baden-Württemberg AG, Stuttgart  
Tel. +49 711 / 289-87618  
s.siegele@enbw.com