NaWaM
Nachhaltiges Wassermanagement
ERWAS

Energetische Optimierung des wasserwirtschaftlichen Gesamtsystems

Leitfaden

ENERWA

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Leitfaden: Energetische Optimierung des wasserwirtschaftlichen Gesamtsystems (ENERWA)

Impressum

Verbundkoordination

Dr.-Ing. Wolf Merkel | Anja Rohn

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung, gGmbH
Moritzstraße 26
45476 Mülheim an der Ruhr

Gestaltung Leitfaden

Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW) e.V.

Projektpartner

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH (IWW)
45476 Mülheim an der Ruhr

Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW) e.V.
52056 Aachen

Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft der RWTH Aachen (IAEW)
52062 Aachen

Abteilung Aquatische Ökologie der Universität Duisburg-Essen (UDE)
45141 Essen

Forschungsstelle Bürgerbeteiligung der Bergischen Universität Wuppertal (BUW)
42119 Wuppertal

Wupperverband (WV)
42289 Wuppertal

Aggerverband (AV)
51645 Gummersbach

WAG Wassergewinnungs- und -aufbereitungsgesellschaft Nordeifel mbH (WAG)
52159 Roetgen

enwor – energie & wasser vor ort GmbH
52134 Herzogenrath

Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH (RWW)
45479 Mülheim an der Ruhr

SYDRO Consult GmbH
64283 Darmstadt

Rechenzentrum für Versorgungsnetze Wehr GmbH (RZVN)
40227 Düsseldorf

Becker Büttner Held – Rechtsanwälte · Wirtschaftsprüfer · Steuerberater Partnerschaft (BBH)
10179 Berlin

Ruhrverband
45128 Essen

Wasserversorgungsverband Rhein-Wupper
42929 Wermelskirchen

Inhalt

Vorwort 4

Kurzbeschreibung 6

Bürgerbeteiligung & Rechtsrahmen 10

Welchen Beitrag leisten Bürgerbeteiligungsverfahren zu Forschungsfragen in der Ressourcen- und Energiepolitik? 12

Wie wirken sich die rechtlichen Rahmenbedingungen auf die Zulässigkeit und Wirtschaftlichkeit der untersuchten Maßnahmen der energetischen Optimierung des wasserwirtschaftlichen Gesamtsystems aus? 16

Talsperre & Fließgewässer 18

Hat eine dynamische Talsperrenbewirtschaftung Auswirkungen auf die Rohwasserqualität des Staukörpers? 20

Wie wird das theoretisch vorhandene energiewirtschaftliche Potenzial von Talsperren ermittelt? 24

Wie sind die ökologischen Auswirkungen eines dynamisierten Talsperrenbetriebs im Unterlauf zu bewerten? 28

Trinkwasseraufbereitung 32

Ist ein dynamischer Betrieb von Wasseraufbereitungsanlagen möglich und sinnvoll? 34

Wie kann zur energetischen Optimierung aller einzelnen Apparate der Wasseraufbereitung eine gesamtsystemische Analyse durchgeführt werden? 38

Trinkwassertransport, -speicher & -verteilung 42

Welche Einsparpotenziale hinsichtlich Energiebedarf und Energiekosten bestehen in Trinkwassernetzen? 44

Energie-Management im Verbund 48

Ist eine übergeordnete Optimierung von Talsperre – Aufbereitung – Verteilung möglich? 50

Bildnachweis 52

Vorwort

Vorwort

Die Infrastruktursysteme der Wasserversorgung sind ein Rückgrat unserer modernen Industriegesellschaft und sind gekennzeichnet durch komplexe Prozessketten mit Anlagen und Komponenten der Wassergewinnung, -aufbereitung, -speicherung und -verteilung. Sie werden vorrangig zur einwandfreien und sicheren Bereitstellung von Trinkwasser konzipiert und betrieben und sind für einen langjährigen Betrieb über mehrere Jahrzehnte hinweg ausgelegt. Veränderliche Rahmenbedingungen erfordern deshalb regelmäßig Optimierungs- und Anpassungsmaßnahmen, um einerseits Kosten zu sparen und andererseits neuen Anforderungen zu genügen. Aktuell stehen Wasserversorger nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen, sondern auch vor dem Hintergrund politisch geforderter Energieeffizienz sowie neuer Möglichkeiten der Energieerzeugung und -speicherung vor der Herausforderung, Energiepotenziale zu identifizieren und zu nutzen. Wasserversorger gehören zu den großen regionalen Stromverbrauchern. Entsprechend hoch ist der Einfluss der Energieeffizienz auf die Betriebsaufwendungen und aufgrund der CO_2-Emissionen auch auf die Umwelt. Neben erheblichen Potenzialen durch Energieeinsparmaßnahmen und Effizienzsteigerung bietet die Nutzung von Wasserkraft auch Chancen zur Energieerzeugung. Insbesondere Talsperren als Rohwasserressourcen sind riesige Energiespeicher, die aufgrund des Qualitätsbewusstseins und eines starren Gerüsts an gesetzlichen Vorgaben nur in geringem Maße genutzt werden.

Die Anlagen der Wasserwirtschaft bieten zudem die Möglichkeit, eine auf erneuerbaren Energien beruhende Energieversorgung durch ein mit dem Stromnetz kommunizierendes Lastmanagement zu unterstützen. Ein Zusammenwirken von Wasser- und Energiewirtschaft könnte somit ein zukünftiges Konzept sein, bei dem durch eine Dynamisierung des wasserwirtschaftlichen Betriebs dargebotsabhängige Energieerzeugungsanlagen mehr als zurzeit genutzt werden.

Es gibt Möglichkeiten, die Energieeffizienz von wasserwirtschaftlichen Anlagen zu steigern und die Energiewende zu unterstützen. Damit kann sowohl ein wichtiger Beitrag für den Umweltschutz, als auch durch Kosteneinsparung ein betriebswirtschaftlicher Vorteil erreicht werden. Außerdem haben Anlagenbetreiber nach einer umfassenden Analyse ihre Systeme noch besser im Blick und können auf zukünftig veränderte Rahmenbedingungen schneller reagieren.

Dr. Wolf Merkel
Geschäftsführer IWW Zentrum Wasser

Anja Rohn
Koordinatorin von ENERWA

Kurzbeschreibung

Gesamtprojekt

Um die Verbesserung der Energiebilanz und die Ausnutzung von Energieressourcen in der Wasserversorgung zu unterstützen, hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) das Verbundprojekt ENERWA gefördert. 15 Partner aus Wissenschaft und Praxis (Wasserverbände, Wasserversorger, Ingenieurbüros) haben im ENERWA-Forschungsverbund systematisch Energiepotenziale in Wasserversorgungssystemen untersucht. Die Ergebnisse wurden im vorliegenden Leitfaden in Form von Antworten auf standardisierte Energieeffizienz-Fragen herausgearbeitet, die Ihnen die entwickelten Analysemethoden und die Ergebnisse an Beispielanlagen nahebringen.

Bei ENERWA standen Trinkwassertalsperren und die nachgeschalteten Bestandteile des Wasserversorgungssystems im Mittelpunkt der Untersuchungen. Neben den Turbinen an den Talsperren bergen Aufbereitungsanlagen in den Wasserwerken und Trinkwasserverteilungsnetze mit ihren Anlagen und Komponenten wie Rohrleitungen, Druckerhöhungsanlagen sowie Wasserspeichern bisher noch ungenutzte energetische Potenziale. Dabei müssen wasserwirtschaftliche, qualitätsbezogene und technische Restriktionen, wie z. B. die minimale und maximale Wasserabgabe an den Unterlauf bzw. an die Wasseraufbereitung, aber auch die erzielbaren Erlöse aus dem Verkauf von Strom berücksichtigt werden. Darüber hinaus können energetische Optimierungen Auswirkungen auf die Rohwasserqualität und die Ökologie haben und gegen rechtliche, ökonomische aber auch gesellschaftliche Barrieren stoßen. All diese Randbedingungen wurden im Rahmen von ENERWA analysiert und berücksichtigt.

Wesentliche Ergebnisse:

1. Dynamischer Talsperrenbetrieb liefert ein ökologisch und für die Rohwasserqualität verträgliches Energiepotenzial
   Eine Dynamisierung der Wasserabgabe aus Talsperren im Rahmen einer 24-Stunden-Optimierung beeinträchtigt die Schichtung des Staukörpers und damit die Rohwasserqualität nicht. Die ökologische Bewertung von Gewässerläufen unterhalb von Talsperren deutet darauf hin, dass bei einer dynamisierten Betriebsweise sogar eine naturnähere und robustere Gewässer-Lebensgemeinschaft erwartet werden kann.

2. Wasseraufbereitung: Höhere Energieeffizienz ohne Beeinträchtigung der Qualität
   In der Wasseraufbereitung gibt es Prozesse mit deutlichem Optimierungspotenzial, deren Erschließung z. B. durch Abschalten, Austausch von ineffizienten Komponenten, Verfahrens-Optimierung oder dynamisierten Betrieb erreicht werden kann. Auch bei der Heizung und Entfeuchtung im Wasserwerk sind Verbesserungen möglich.

3. Wasserversorgungsnetze: bessere Netzstruktur senkt den Energiebedarf
   Mittels dreier Standardfälle der Netztypisierung in Bezug auf Netztopologie und Höhenlagen konnte in ENERWA ein Analysewerkzeug zur energetischen Druckzonenoptimierung entwickelt werden. Mit Hilfe einer schrittweisen Analyse der Versorgungsstruktur lassen sich über die Kombination der Ansatzpunkte Pumpenoptimierung, Druckreduzierung, Netzumgestaltung und Speicherbetrieb erhebliche Einsparpotenziale realisieren.

4. Energieoptimierung im Verbund
   Die Optimierung von Teilsystemen aus Talsperrenbetrieb/Wasserwerk-Speicherung/Verteilung wirkt immer auf die Nachbarsysteme. Eine Verbundoptimierung sollte sich an den Optimierungen im Verteilungsnetz ausrichten, da dann die höchsten Einsparungen insgesamt erreicht werden können, ohne dass ein Mehrverbrauch in anderen Teilsystemen entsteht.

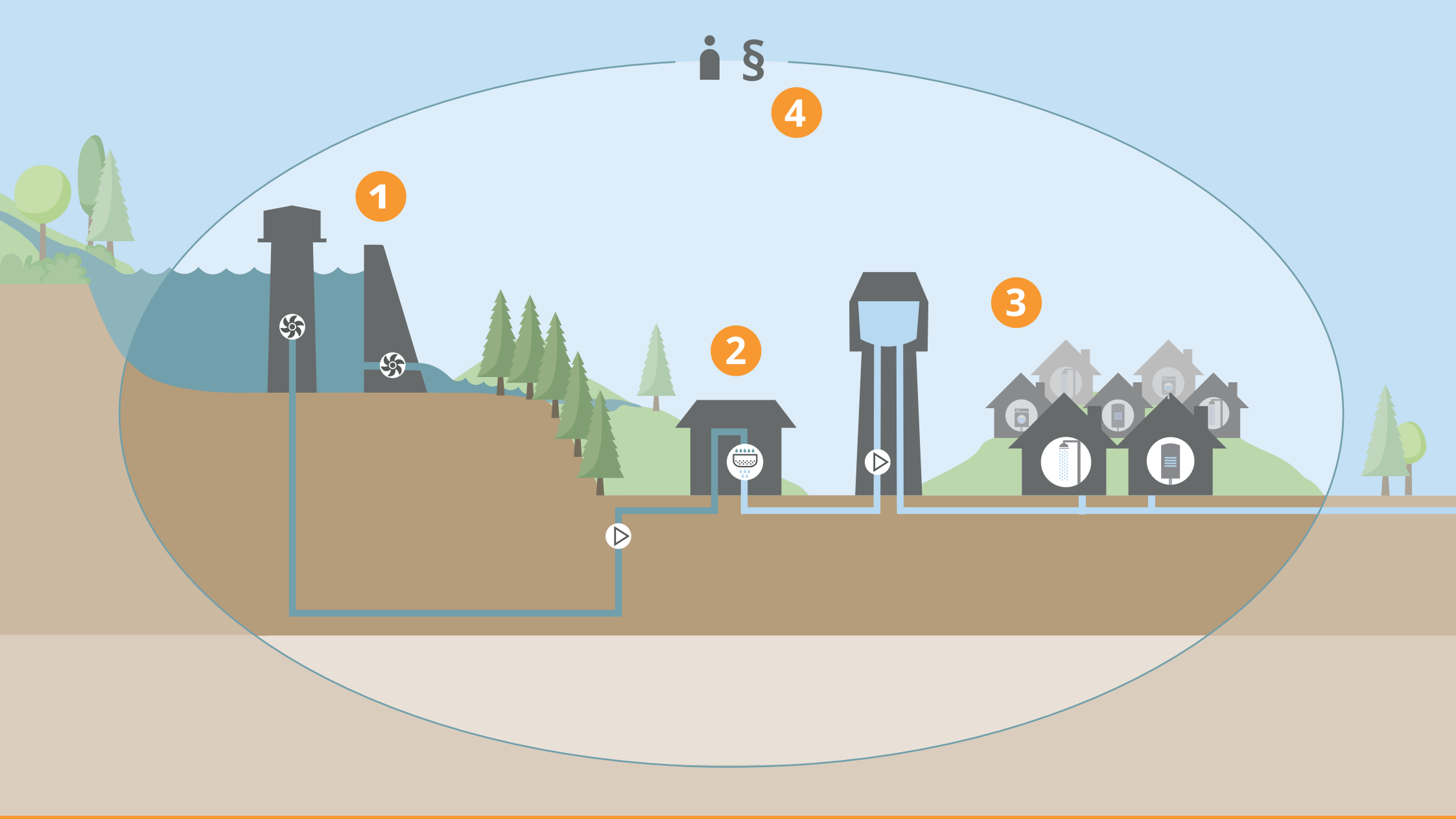
5. Wirtschaftlichkeit: Energiebedarf und Kosten senken
   In der gegenwärtigen Energiepreisstruktur mit einem hohen nicht-beeinflussbaren Abgabenanteil rechtfertigt das ökonomische Potenzial derzeit nur einfache Anpassungen der Betriebsweise im Talsperrenbetrieb, weil Investitionen in der Regel nicht erwirtschaftet werden können. Neben Ansätzen zur Einsparung von Energie wurden auch Möglichkeiten zur Einsparung von Kosten durch günstigen Strombezug aufgezeigt.

6. Die Gesellschaft ist Teil des wasserwirtschaftlichen Systems
   Optimierungsmaßnahmen in Wasserversorgungssystemen können Veränderungen verursachen, die von der Gesellschaft mitgetragen werden müssen. Das entwickelte und erprobte Beteiligungsverfahren zeigte, dass die teilnehmenden Bürger und Interessengruppen ein besseres Verständnis energiewirtschaftlicher Fragestellungen und damit auch eine höhere Bereitschaft entwickeln konnten, sinnvolle Veränderungen mitzutragen.

7. Der Rechtsrahmen setzt der Energieoptimierung Grenzen
   Der rechtliche Rahmen wird durch Vorgaben des öffentlichen Wasserrechts, der Trinkwasserverordnung und durch verschiedene Anforderungen des Energierechts in Bezug auf Energiebezug, Energieeinspeisung und Eigenerzeugung gebildet. Unter den aktuellen Bedingungen werden durchaus Gestaltungspielräume in Bezug auf Energieeinsparung, aber weniger Möglichkeiten in Bezug auf Energieerzeugung gesehen.

8. Anregungen zum Energiemanagement: ENERWA-Webtools helfen
   Die ENERWA-Webtools zeigen einen neuen Weg der Wissensverbreitung: Insgesamt vier Webtools bereiten das verfügbare Wissen in Form von Analysewerkzeugen für typische Optimierungsfälle auf und beraten interaktiv.

ENERWA-Gesamtsystem



1 **Talsperre & Fließgewässer**
Energieerzeugungspotenzial
Rohwasserqualität
Gewässerökologie

2 **Wasseraufbereitung**
Energieeinsparpotenzial

3 **Wasserverteilungsnetz**
Energieeinsparpotenzial

4 **Akzeptanz | Rechtsrahmen**
Bürgerbeteiligung
Wirtschaftlichkeit

Bürgerbeteiligung & Rechtsrahmen

Große Dhünn-Talsperre
Herzlich Willkommen an der
zweitgrößten Trinkwassertalsperre Deutschlands
ENERWA
WUPPERVERBAN

Welchen Beitrag leisten Bürgerbeteiligungsverfahren zu Forschungsfragen in der Ressourcen- und Energiepolitik?

Bürgerbeteiligung leistet einen substanziellen Beitrag zur Ressourcen- und Energiepolitik.

Sie sensibilisiert die Bürgerschaft und Öffentlichkeit für ressourcen- und energiepolitische Fragestellungen und steigert die Akzeptanz von Forschungsvorhaben und deren Umsetzung.

Weiterhin werden durch die Bürgerbeteiligung wichtige Forschungsergebnisse zentral in die politischen Arenen eingespeist. Außerdem erfahren Forscher*innen, Interessenvertreter, Unternehmer und politische Akteure die bürgerschaftlichen Erwartungen an ressourcen- und energiepolitische Entwicklungen und können ihre Planungen und ihre Kreativität unmittelbar auf die gesellschaftliche Nachfrage abstellen.

Beschreibung

Das in ENERWA entwickelte Beteiligungsverfahren gründete auf einer umfassenden Datenbank-Analyse zum Bürgerengagement in Energie- und Ressourcenfragen.

Ansetzend an diesen Daten wurde eine Fallstudien-Metaanalyse nach dem Mixed-Methods-Ansatz (Jens Newig) als Feldexperiment entwickelt[1]. Es wurde ein zweistufiges Verfahren gewählt. Die erste Stufe bestand aus einer Stakeholder-Beteiligung, um deren Expertise einzubeziehen. Die Ergebnisse wurden in einem Bürgerbeteiligungsverfahren weiterverarbeitet. In einer Gesamtschau entstand anschließend ein Bürgergutachten.

Stakeholderbeteiligung

Vertreter aus Behörden, Verbänden, Vereinen und Wasserbetreibern werden eingeladen, um das inhaltliche Programm für die zweite Stufe zu schärfen und deren Expertise in Form von Vorträgen einfließen zu lassen.

Bürgerbeteiligungsverfahren Planungszelle

Die äußeren Parameter werden durch die sogenannte Planungszelle gesetzt, die in strukturierter Weise mit den Teilnehmenden in der Bürgerbeteiligung arbeitet. Während des Verfahrens tragen Referenten zu ausgewählten Themen vor, um den Teilnehmer*innen ein umfassendes und punktgenaues Wissen zu vermitteln. Zur Validierung der Ergebnisse und Befunde wird zeitversetzt eine Kontrollgruppe, die die gleichen Vorträge hört und die gleichen Aufgaben bearbeitet, einbezogen.

1 Jens Newig, Nicolas Jager, Edward Challies: Führt Bürgerbeteiligung in umweltpolitischen Entscheidungsprozessen zu mehr Effektivität und Legitimität? Erste Ergebnisse einer Metaanalyse von 71 wasserpolitischen Fallstudien*: in Zeitschrift für Politikwissenschaft 22. Jahrgang Heft 4, 2012, S. 527 – 564.

Beispiel:

Das ENERWA-Bürgerbeteiligungsverfahren wurde räumlich auf die Talsperrenregion im Bergischen Land mit der Großen Dhünn-, Bever- und Neyetalsperre begrenzt. Um die Attraktivität des Bürgerbeteiligungsverfahrens für die Bürgerschaft zu steigern, wurde der regionale Bezug in den Titel des Verfahrens aufgenommen; er lautete „Unser Wasser im Bergischen – Talsperren im Fokus vielfältiger Interessen“. Durch die Einbindung der regionalen Bürgermeister konnten das Interesse an dem Verfahren und dem Thema in der Einwohnerschaft gesteigert und eine größere mediale Öffentlichkeit erreicht werden (Abbildung 1): Im Zeitraum von Oktober 2015 bis Februar 2017 entstanden etliche Zeitungsartikel zum Forschungsprojekt und zur Bürgerbeteiligung.

Verstärkt wurde die Öffentlichkeitsarbeit durch Videofilme, die unter anderem auf der ENERWA.ORG Internetseite veröffentlicht wurden. Das Bürgergutachten ist digital und als Printversion erschienen und allen wichtigen politischen Institutionen und Ausschüssen zur Verfügung gestellt worden. Während des Verfahrens arbeiteten 54 Bürger*innen 28 Stunden in vier großen Themenblöcken.

Erster großer Themenblock mit vier Unterthemen war die energetische Optimierung: a) in Talsperren und Fließgewässern, b) unter ökonomischer Perspektive, c) unter ökologischen Gesichtspunkten, d) beim Gebrauch/Verbrauch von Wasser.

Drei weitere Themen beschäftigten sich mit den e) rechtlichen Rahmenbedingungen der Wasserversorgung und dem f) ökologischen und g) ökonomischen Wert von Talsperren.

Pressespiegel

Bergische Morgenpost
Freitag, 06.11.2015 | Nr. 259

Bergische interessieren sich über Umgang mit dem Wasser

VON M. EICKHORN

HÜCKESWAGEN/WERMELSKIRCHEN

Dass sich so viele Menschen dafür interessieren, wie mit dem Wasser im Bergischen Land umgegangen wird, hätte Mark Schwalm von der Bergischen Universität Wuppertal gar nicht gedacht. Er ist der Projektleiter des „Enerwa“-Projektes, bei dem er sich gemeinsam mit einem Team damit auseinandersetzt, wie das Wassersystem im Bergischen energetisch optimiert werden kann. 53 zufällig ausgewählte Teilnehmer aus Hückeswagen, Wermelskirchen und Burscheid bekamen die Chance, drei Tage lang im Wermelskirchener Landhaus „Spatzenhof“ mitzureden, Diskussionen anzustoßen und alles über das Thema Wasser zu erfahren. Auch viele andere hätten gern mitgemacht, sagte Schwalm.

Diejenigen, die dabei waren, zeigten sich bei der Abschlussveranstaltung gestern begeistert. „Ich nehme eine unglaubliche Menge an interessanten Informationen zum Umgang mit Trinkwasser mit“, sagte die Wermelskirchenerin Christiane Müller. Auch Vanessa Kirstein fasste ihre Eindrücke zusammen: „Es kristallisiert sich heraus, dass es, wenn es um den Umgang mit Wasser geht, einen Interessenkonflikt zwischen Wirtschaft und Politik gibt. Die Umsatzsteigerung steht im Vordergrund, und der Naturschutz rückt in den Hintergrund.“

Was den Teilnehmern wichtig war, fassten sie in einem Positionspapier zusammen. Dabei ging es nicht um konkrete Projektvorschläge, sondern darum, wie die Wasserwirtschaft im Bergischen strukturell verbessert werden könnte. Beispielsweise wurde überlegt, wie die Stromkosten, die beim Wassertransport von einer Talsperre bis zum Verbraucher anfallen, reduziert werden können.

Mark Schwalm und sein „Enerwa“-Forschungsteam werden die Bürgerinteressen demnächst Bundestagsabgeordneten der Ausschüsse für Umwelt und Energie vorstellen. „Wir wollen ihnen nicht bloß erklären, wie Energieoptimierung in der Wasserwirtschaft aussehen kann. Das, was die Bürger wollen, spielt eine große Rolle“, sagte Mark Schwalm.

Herauskristallisiert habe sich beispielsweise, dass die Menschen die Privatisierung der Wasserwirtschaft ablehnen und eine Aufnahme des Grundrechts auf Trinkwasser ins Grundgesetz fordern. „Sie sind zudem bereit, ein wenig mehr für ihr Wasser zu zahlen, wenn in der Wasserwirtschaft Energie eingespart werden kann und die Wasserqualität trotzdem gleich bleibt.“

Schwalm gibt an, dass sich 42 Prozent der eingeladenen Teilnehmer zurückgemeldet hätten. „Das ist mehr als bei so mancher Kommunalwahl“, sagte er stolz.

Pressespiegel

Remscheider Generalanzeiger
Mittwoch, 18.11.2015 | Nr. 269

Bürger fordert weiches Wasser

Die Wasserversorgung in Hückeswagen ist zweigeteilt: Viele bekommen nur kalkreiches Wasser.

Von Karsten Mittelstädt

Wer in Scheideweg oder Straßweg wohnt, kann es laufen lassen. Wer in der Innenstadt wohnt, bekommt kalkreiches Wasser und sollte die Filter der Wasserhähne öfter mal reinigen. Foto: Michael Sieber

HÜCKESWAGEN HAT GUTES WASSER

Pressespiegel

Remscheider Generalanzeiger
Freitag, 17.02.2015
Nr. 41

Bürgermeister erhält Bürgergutachten

Vanessa Kirstein und Max Klein machten mit beim Bürgergutachten. Foto: Mittelstädt

Am Montag, 20. Februar, wird im Heimatmuseums das Bürgergutachten „Unser Wasser im Bergischen“ an die Bürgermeister der drei beteiligten Städte Hückeswagen, Wermelskirchen Burscheid überreicht. An dem Gutachten zum sinnvolleren Umgang mit der Ressource Wasser“, das von der Bergischen Universität Wuppertal durchgeführt wurde, nahmen 50 zufällig ausgesuchte Bürger der genannten Städte teil. Das Gutachten wird Bürgermeister Dietmar Persian überreicht, der Schirmherr der Aktion ist. Zur Übergabe mit Präsentation sind interessierte Bürger eingeladen. *kum*

Montag, 20. Februar, 18 Uhr, Heimatmuseum

Pressespiegel

Remscheider Generalanzeiger
Montag, 20.02.2015 | Nr. 43

Abbildung 1: Mediale Aufmerksamkeit

Zum Schluss wurde über die Attraktion von Wasser im Spannungsverhältnis von Naturschutzgebieten und Nutzflächen referiert.

Zu allen Themen des Verfahrens fand eine Politikeranhörung statt. In diesem Zusammenspiel von Wissenschaft, Forschern, Unternehmern, Interessensvertretern, Politikern und Bürgerschaft entstand transdisziplinär sozial robustes Wissen[2].

Akzeptanz und Erreichbarkeit der Bürgerschaft

Über die Einwohnermeldeämter der Städte wurden die Bürger*innen nach dem Zufallsprinzip eingeladen. Das Thema der Energie- und Ressourceneffizienz erzeugte eine außergewöhnlich hohe Teilnahmebereitschaft der Bürgerschaft. Die Rücklaufquote des Einladungsverfahrens lag bei 43%.

Die genderbezogene Teilnahme war vollständig ausgeglichen (50%). Die soziodemografische Erhebung veranschaulicht am Bildungsabschluss (Abbildung 2) und am Beschäftigungsverhältnis (Abbildung 3) die Repräsentativität zur Gesamtbevölkerung[3].

Welchen Schulabschluss haben Sie gemacht oder streben Sie an?

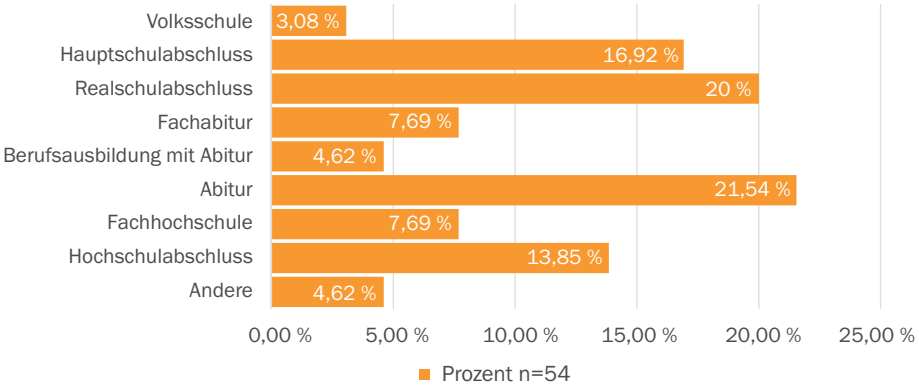


Abbildung 2: Bildungsgrad

Wie ist Ihr Beschäftigungsverhältnis?

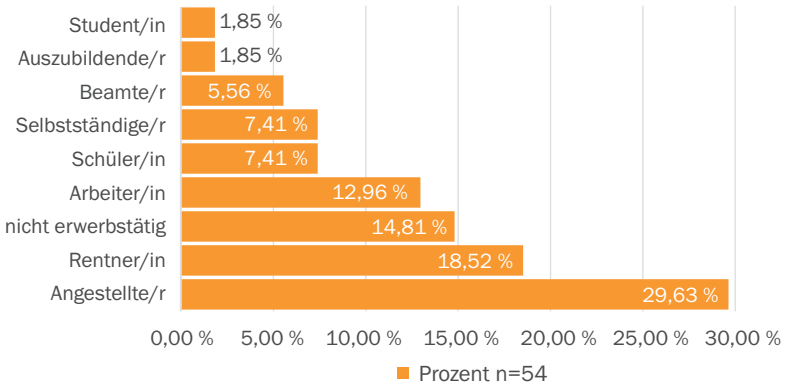


Abbildung 3: Beschäftigungsverhältnis

2 Helga Nowotny u. a.: Mode 2 revisited: The New Production of Knowledge. In: Minerva. 41, 2003, S. 179–194.

3 https://www.destatis.de/DE/Publikationen/StatistischesJahrbuch/Arbeitsmarkt.pdf – letzter Abruf 17.03.2017

Ergebnisse und Empfehlungen der Bürgerschaft

1. Energetische Optimierung

- Herstellung eines energieeffizienten Zusammenhangs zwischen Lastoptimierung und verbrauchsoptimiertem Verhalten bei der Wasserbereitstellung und -nutzung
- Erhaltung der Artenvielfalt in den Fließgewässern und Talsperren
- Nichtbeeinträchtigung der Wassergüte bzw. Qualität des Trinkwassers
- Nichtüberschreiten der ökologischen Belastbarkeit hinsichtlich der Wassertemperatur und Fließgeschwindigkeit für den Unterlauf

Neben einer energetischen Optimierung spielten weitere Aspekte zur Optimierung eine große Rolle:

- Aufklärung der Verbraucher
- Zukunftsorientiertes Management der Wasserbetreiber
- Sensibilisierung des Verbraucherverhaltens (durch Anreize)
- Reduzierung des Wasserverbrauchs
- Die Betreiber sollten die Preis- und Bevölkerungsentwicklung zukunftsfähig im Blick halten.

2. Politische und rechtliche Dimension der Wasserwirtschaft

- Verschärfte Kontrollen in der Landwirtschaft
- Regelmäßige und unangemeldete unabhängige Kontrollen der Wasserqualität
- Pflicht zur Zusammenarbeit mit den Gesundheitsämtern, Verbraucherschutz und gesundheitliche Vorgaben
- Wasserversorgung soll öffentlich bleiben.
- Einführung eines verminderten Mehrwertsteuersatzes für die Wasserversorger
- Einrichtung einer zentralen bundesweiten Datenbank mit allen wichtigen Parametern und Qualitätswerten rund um das Thema Wasser, Trinkwasser und Trinkwasserversorgung

Vertiefende Literatur

- Energetische Optimierung des Gesamtwassersystems „Unser Wasser im Bergischen – Talsperren im Fokus vielfältiger Interessen“ (ISBN: 978-3-946781-00-4)
- ENERWA Abschlussbericht

Wie wirken sich die rechtlichen Rahmenbedingungen auf die Zulässigkeit und Wirtschaftlichkeit der untersuchten Maßnahmen der energetischen Optimierung des wasserwirtschaftlichen Gesamtsystems aus?

Die rechtliche Zulässigkeit der untersuchten Maßnahmen richtet sich maßgeblich nach dem öffentlichen Wasserrecht und dem Wasserversorgungsrecht. Eine Beurteilung der Zulässigkeit ist nur im jeweiligen Einzelfall möglich, wobei im Hinblick auf Talsperren vor allem die Vorgaben der vorhandenen Genehmigungen sowie das allgemeine Verschlechterungsverbot bezüglich des Gewässerzustands zu beachten sind und im Hinblick auf die Wasseraufbereitung und -verteilung die im Verhältnis zu den jeweiligen Abnehmern des Wassers geltenden Anforderungen an die Wasserqualität, den Druck und die Wasserverfügbarkeit (z. B. TrinkwV und AVBWasserV). Für die Wirtschaftlichkeit sind dagegen vor allem die energierechtlichen Bestimmungen von Bedeutung. Deren derzeitige Ausgestaltung schafft nur sehr begrenzt wirtschaftliche Anreize für die Umsetzung der untersuchten Maßnahmen und ist zudem durch eine hohe Komplexität gekennzeichnet.

Potenziale und Beispiele

Die rechtlichen Rahmenbedingungen der energetischen Optimierung des wasserwirtschaftlichen Gesamtsystems werden im Wesentlichen durch das öffentliche Wasserrecht und das Wasserversorgungsrecht einerseits sowie das Energierecht andererseits bestimmt. Dabei sind das öffentliche Wasserrecht und das Wasserversorgungsrecht vor allem für die Zulässigkeit der untersuchten Maßnahmen von Bedeutung, das Energierecht dagegen für ihre Wirtschaftlichkeit.

Das hauptsächlich im Wasserhaushaltsgesetz des Bundes (WHG) und den jeweiligen Landeswassergesetzen geregelte **öffentliche Wasserrecht** ist vor allem mit Blick auf energetische Maßnahmen an Talsperren von Bedeutung. Deren Errichtung und Betrieb bedürfen (egal, ob die Talsperre über eine Wasserkraftanlage verfügt oder nicht) grundsätzlich einer Genehmigung der zuständigen (Wasser-) Behörde. Da es bei der energetischen Optimierung in der Regel nicht um die Neuerrichtung von Talsperren geht, sondern um eine Änderung der Betriebsweise und ggf. der Anlagentechnik, sind vor allem die vorhandenen Genehmigungen daraufhin zu überprüfen, ob die dort enthaltenen Anforderungen einer energetischen Optimierungsmaßnahme entgegenstehen. Dies kann nur im jeweiligen Einzelfall geschehen. Typischerweise enthalten Genehmigungen für Talsperren aber Vorgaben z. B. zu Mindest- und Höchstabflussmengen, zum Höchstpegel, zum Hochwasserschutzraum sowie zur Wasserqualität und zu deren Kontrolle. Steht eine Genehmigung einer Maßnahme entgegen, so kommt im Rahmen der gesetzlichen Vorschriften, insbesondere des WHG und des jeweiligen Landeswassergesetzes, ggf. eine Änderung der Genehmigung in Betracht. Grenzen werden einer solchen aber bspw. durch die im Europarecht wurzelnden und an verschiedenen Stellen des WHG (z. B. in § 27 für oberirdische Gewässer) umgesetzten Verschlechterungsverbote bezüglich des Gewässerzustandes gesetzt. Danach sind Änderungen der Betriebsweise einer Talsperre, die zu einer Verschlechterung des Gewässerzustands führen, nur sehr begrenzt genehmigungsfähig.

Das **Wasserversorgungsrecht** betrifft vor allem die Wasseraufbereitung und -verteilung. Es regelt die Rechtsbeziehungen zwischen dem Wasserversorger oder -lieferanten und denjenigen, die von diesem Wasser abnehmen (insbesondere versorgte Letztverbraucher und Weiterverteiler) und trifft z. B. Bestimmungen zur Wasserqualität, zum Wasserdruck sowie zur Wasserverfügbarkeit. Welche rechtlichen Regelungen insoweit einschlägig sind, hängt wiede-

rum vom jeweiligen Einzelfall ab. Grundsätzlich lässt sich aber sagen, dass im Verhältnis zu Weiterverteilern und Industrieunternehmen kaum gesetzliche Vorgaben existieren (ggf. mit Ausnahme der Trinkwasserverordnung bei Industrieunternehmen), so dass es auf die jeweils getroffenen vertraglichen Vereinbarungen und ggf. deren Änderbarkeit ankommt. Für mit Wasser versorgte Haushaltskunden und sonstige nichtindustrielle Letztverbraucher gilt dagegen die Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Wasser (AVBWasserV; bei öffentlich-rechtlicher Versorgung mit Satzung und Gebühren zumindest mittelbar über § 35 AVBWasserV). Diese schreibt vor, dass grundsätzlich jederzeit am Ende der Anschlussleitung Wasser zur Verfügung zu stellen ist (§ 5 Abs. 1 AVBWasserV) und zwar mit einem Druck, der für eine einwandfreie Deckung des üblichen Bedarfs im betreffenden Versorgungsgebiet erforderlich ist (§ 4 Abs. 3 AVBWasserV). Hinsichtlich der Wasserqualität verweist die AVBWasserV auf die gesetzlichen Vorschriften (§ 4 Abs. 3 AVBWasserV) und damit auf die Trinkwasserverordnung (TrinkwV). Im Rahmen dieser Vorgaben können energetische Optimierungsmaßnahmen Änderungen des Drucks und der Wasserqualität rechtfertigen, wobei die TrinkwV verschiedene Minimierungsgebote enthält.

Die **energierechtlichen Bestimmungen** z. B. des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG), des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG), des Stromsteuergesetzes (StromStG) oder der Stromnetzentgeltverordnung (StromNEV) beschränken die Zulässigkeit energetischer Optimierungsmaßnahmen in der Regel nicht, sind aber für deren Wirtschaftlichkeit dafür von umso größerer Bedeutung. Die (zeitliche) Flexibilisierung des Strombedarfs ist nach gegenwärtiger Rechtslage nur begrenzt wirtschaftlich attraktiv, da die Netzentgelte und die staatlichen Mehrbelastungen (z. B. EEG-Umlage und Stromsteuer), welche einen wesentlichen Teil der Strombeschaffungskosten ausmachen, überwiegend bzw. ausschließlich von der benötigten Arbeit (also der Strommenge) und nicht von der Leistung bestimmt werden. Auch eine Eigenerzeugung von Strom wird wirtschaftlich nur wenig unterstützt, da z. B. die EEG-Förderung von Wasserkraft an zahlreiche Voraussetzungen geknüpft ist (so gilt bspw. zunächst nach oben gepumptes Wasser von vornherein nicht als Wasserkraft) und, abgesehen von wenigen Ausnahmen, EEG-Umlage und Stromsteuer grundsätzlich auch bei eigenerzeugtem Strom anfallen. Flexibilitäten bei Bedarf und Erzeugung als Regelenergie zu vermarkten, erscheint zwar möglich, ist aber kapazitätsmäßig an relativ hohe Hürden geknüpft – wobei es derzeit allerdings Ansätze gibt, die Teilnahme am Regelenergiemarkt auch kleineren Anbietern zu ermöglichen. Insgesamt lohnen sich energetische Optimierungsmaßnahmen jenseits einer Reduzierung des Strombedarfs wirtschaftlich daher derzeit kaum. Darüber hinaus zeichnen sich die energierechtlichen Vorschriften – bedingt durch die zahlreichen, sich häufig ändernden und nicht harmonisierten Rechtsnormen – durch eine hohe Komplexität aus, was sie in der Praxis nur mit großem Aufwand handhabbar macht.

Talsperre & Fließgewässer

Hat eine dynamische Talsperrenbewirtschaftung Auswirkungen auf die Rohwasserqualität des Staukörpers?

Eine dynamische Talsperrenbewirtschaftung hat unter Berücksichtigung ökologisch vertretbarer Grenzen, keine negativen Auswirkungen auf die Rohwasserqualität des Staukörpers einer Talsperre. Vielmehr kann eine dynamische Bewirtschaftung genutzt werden, um den Nährstoffhaushalt und respektive den Sauerstoffhaushalt gezielt positiv zu beeinflussen.

Untersuchungsmethode und Tools

Die primäre Funktion von Trinkwassertalsperren ist die Bereitstellung von Rohwasser zur Trinkwasseraufbereitung in ausreichender Menge und Qualität. Eine energetische Nutzung der Wassermengen, die an die Trinkwasseraufbereitung und über den Grundablass an die unterliegenden Fließgewässer abgegeben werden, ist hierbei bisher lediglich ein positiver Nebeneffekt. Dies spiegelt sich auch in den derzeitigen Bewirtschaftungsregeln und Planfeststellungsbeschlüssen der Trinkwassertalsperren und den hier definierten abzugebenden Mindestwassermengen wider. Ein dynamischer Talsperrenbetrieb ist demnach größtenteils unzulässig und die Auswirkungen eines dynamischen Talsperrenbetriebes auf die Rohwasserqualität des Staukörpers nur schwer abzuschätzen bzw. kaum zu untersuchen. In ENERWA konnte für derartige Untersuchungen jedoch eine Sanierungsmaßnahme des Ruhrverbandes am Damm des Biggesees begleitet werden. Über einen Zeitraum von sechs Monaten (Januar bis Juli 2015) wurden insgesamt 39 Mio. m³ des Stauraumvolumens (ca. 30 %) über den Grundablass abgegeben

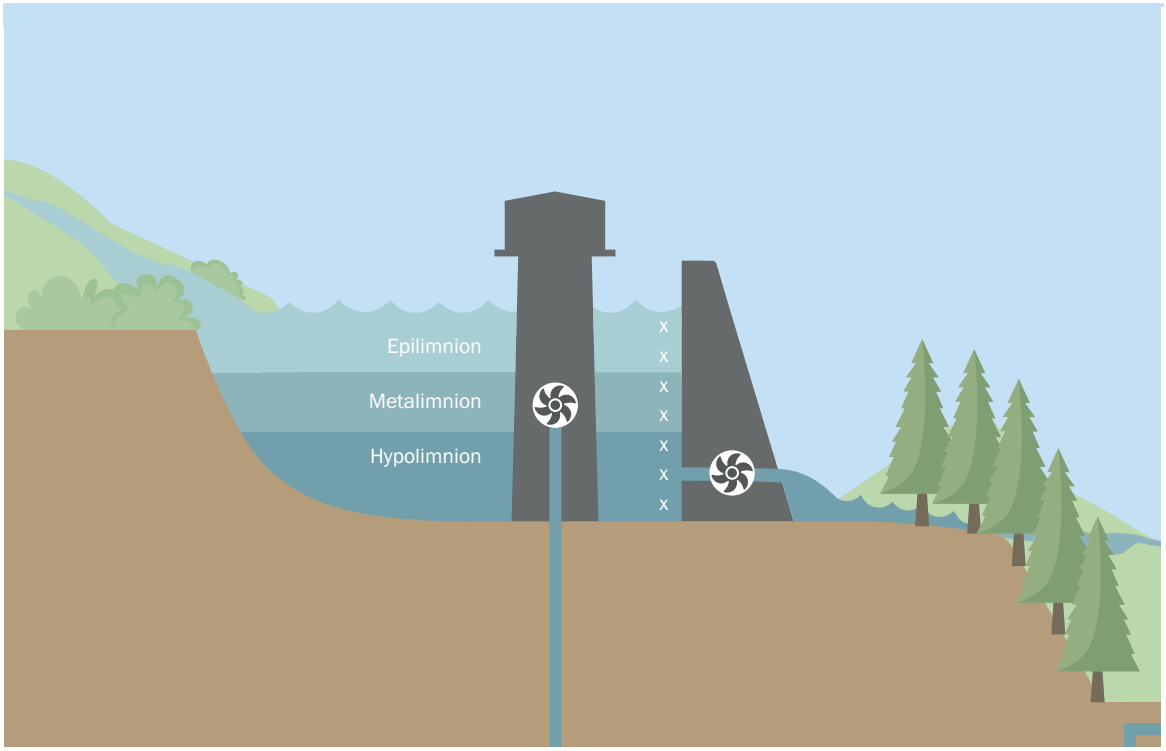


Abbildung 4: Skizze der thermischen Schichtung des Staukörpers und Aufnahme von Tiefenprofilen im dammnahen Bereich

und eine Absenkung des Stauspiegels um 12 m erzielt. Dies wurde durch eine starke, energetisch optimierte Dynamisierung der Grundablassabgabe über den üblichen Betrieb hinaus und Wasserabgabe-Schwankungen von 1,5 m^3/s bis zu 30 m^3/s innerhalb von 15 min erreicht. Die Sanierungsmaßnahme wurde mit einem detaillierten Gewässergüte-Monitoring durch die Verbundpartner begleitet. Um die Auswirkungen der dynamischen Bewirtschaftungsweise auf die thermische Schichtung des Staukörpers, den Sauerstoff- und Nährstoffhaushalt untersuchen zu können, wurden sowohl in Zeiten schwacher als auch starker Grundablassabgaben Tiefenprofile zu folgenden wesentlichen Gewässergüteparametern aufgenommen:

- Sauerstoffsättigung und -konzentration
- Wassertemperatur
- Trübung

Bei den Messungen konzentrierten sich die Verbundpartner auf den vorderen dammnahen Erosionsbereich des Staukörpers und den Bereich rund um den Grundablass (Abbildung 4). Die drastische Absenkung des Stauspiegels ermöglichte eine Abschätzung der maximalen Auswirkungen eines dynamischen Talsperrenbetriebes. Zusätzlich zu den im Rahmen von ENERWA erhobenen Gewässergütedaten wurden die langjährigen Talsperren-Gewässergütedaten der im Projekt beteiligten Wasserverbände als Vergleichsdaten genutzt und eine umfangreiche Literaturrecherche zu chemisch-physikalischen Prozessen in Staukörpern erstellt.

Potenziale und Beispiele

Eine dynamische Talsperrenbewirtschaftung hat nach Auswertung der vorliegenden Daten keine Auswirkungen auf die Stabilität der thermischen horizontalen Schichtung des Staukörpers. Hingegen kann eine langfristige dynamische Bewirtschaftung mit starken Stauspiegelschwankungen Auswirkungen auf die vertikale thermische Schichtausprägung haben (Abbildung 5).

Durch die erhöhte Wasserentnahme aus dem Grundablass (und Hypolimnion) kommt es zu einer Absenkung der Sprungschicht, d.h. der metalimnischen Schicht, unter Mitführung des Wärmeinhaltes und zu einer leichten Erwärmung des Tiefenwassers.

Durch die vertikale Reduzierung des Hypolimnions, ist es umso wahrscheinlicher, dass die Herbstzirkulation den Gewässergrund schneller erreichen kann. Demnach kann die hypolimnische Rohwasserentnahme entscheidend zur Durchmischung des Staukörpers beitragen.

In Zeiten hoher Wasserabgaben waren keine Auffälligkeiten gegenüber anderen Bewirtschaftungsphasen bezüglich Temperatur, Sauerstoff oder Trübung festzustellen.

Bei der stetigen Abführung hypolimnischen Wassers konnte beobachtet werden, dass dem Staukörper gelöste Nährstoffe entzogen werden. Die dynamisierte Bewirtschaftungsweise könnte auf diese Weise zu einem langfristig oligotrophen Nährstoffbild beitragen.

Es konnten auffällig erhöhte Trübungskonzentrationen in Nähe des Grundablasses des Biggedammes beobachtet werden. Mögliche Ursachen dafür sind:

- Aufwirbelungen am Gewässergrund
- horizontale und vertikale Konzentrationsverlagerung im Hypolimnion
- Verstärkung des Vertikaltransports in der kompletten Wassersäule

Die während der Stauspielgelabsenkung gemessenen geringen Chlorophyll-a-Konzentrationen im Hypolimnion lassen vermuten, dass die erhöhten Trübungskonzentrationen auf Grund von Konzentrationsverlagerungen und nicht durch Aufwirbelungen am Gewässergrund und Remobilisierung von Nährstoffen entstanden sind.

Die dynamisch verstärkte Wasserabgabe aus dem Grundablass führte während der Stratifikation zu höheren Sauerstoffkonzentrationen im grundnahen Bereich, verbunden mit einer verzögerten Ausbildung anaerober Verhältnisse.

Eine negative Beeinflussung der Rohwasserqualität des Staukörpers durch eine dynamische Talsperrenbewirtschaftung konnte somit nicht nachgewiesen werden. Im Gegenteil: Sie könnte sogar zur Regulierung des Nährstoff- und respektive Sauerstoffhaushaltes genutzt werden.

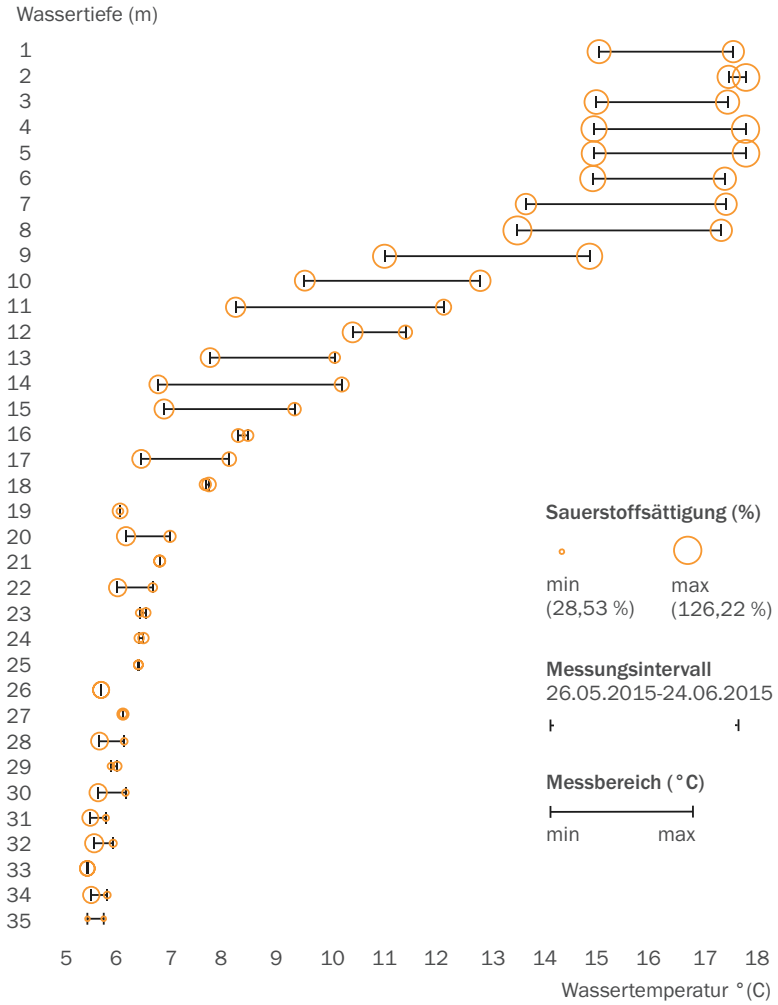


Abbildung 5: Darstellung der Tiefenprofile für die Wassertemperatur (Min. und Max.) und die Sauerstoffsättigung (qualitativ über Blasengröße) über die Wassertiefe und dem angegebenen Messintervall

Vertiefende Literatur

- ENERWA-Teilergebnisbericht – Dokumentation zu regionalen Potenzialen, Kosten, Nutzen und Einsatzgrenzen einer energetischen Dynamisierung von Trinkwassertalsperren – Kapitel: Regionale Fallstudien zur Bewertung der Wirkungen einer energieoptimierten und dynamisierten Talsperrenbewirtschaftung unter Gewässergüte-Gesichtspunkten im Staukörper, Echterhoff & Meißner, 2017
- ENERWA Abschlussbericht

Wie wird das theoretisch vorhandene energiewirtschaftliche Potenzial von Talsperren ermittelt?

Die Bestimmung des energiewirtschaftlichen Potenzials von Talsperren erfolgt auf Basis einer Modellierung aller Wasserentnahmen, Zuflüsse und Restriktionen. Anschließend wird der Einsatz aller Komponenten so optimiert, dass zu möglichst hohen Strompreisen Strom erzeugt und zu möglichst geringen Preisen Strom verbraucht wird. Dabei muss innerhalb der Dynamisierungsperiode von bspw. 24 Stunden die Summe der jeweiligen Zuflüsse und Entnahmen konstant bleiben.

Untersuchungsmethoden und Tools

Das energiewirtschaftliche Potenzial ergibt sich aus der dynamisierten Bewirtschaftung einer Talsperre anhand variabler Strompreise. Als dynamisierte Bewirtschaftung bezeichnet man die mengenmäßig zeitlich variable Entnahme des Rohwassers aus dem Talsperrenkörper, beispielsweise zur Anpassung der energetischen Nutzung des Wasserpotenzials zu Zeiten hoher Nachfrage und hoher Strompreise.

Basis des Optimierungsverfahrens zur Talsperren-Dynamisierung ist die Modellierung des Systems mit allen betrieblichen und technischen Restriktionen. Abbildung 6 stellt die im Modell berücksichtigten Komponenten sowie den Datenbedarf dar.

Das modellierte System wird beschrieben durch das Volumen der Talsperre, welches durch eine zeitvariante Füllstandskennlinie eingeschränkt wird. Es werden sowohl minimale als auch maximale Beckenfüllstände berücksichtigt. Je nach Optimierungsvariante können die zeitvarianten Abflüsse als Variable fest vorgegeben werden (z. B. m^3/h oder m^3/d). Eine Vorgabe je Zeitintervall stellt dabei keinen Freiheitsgrad

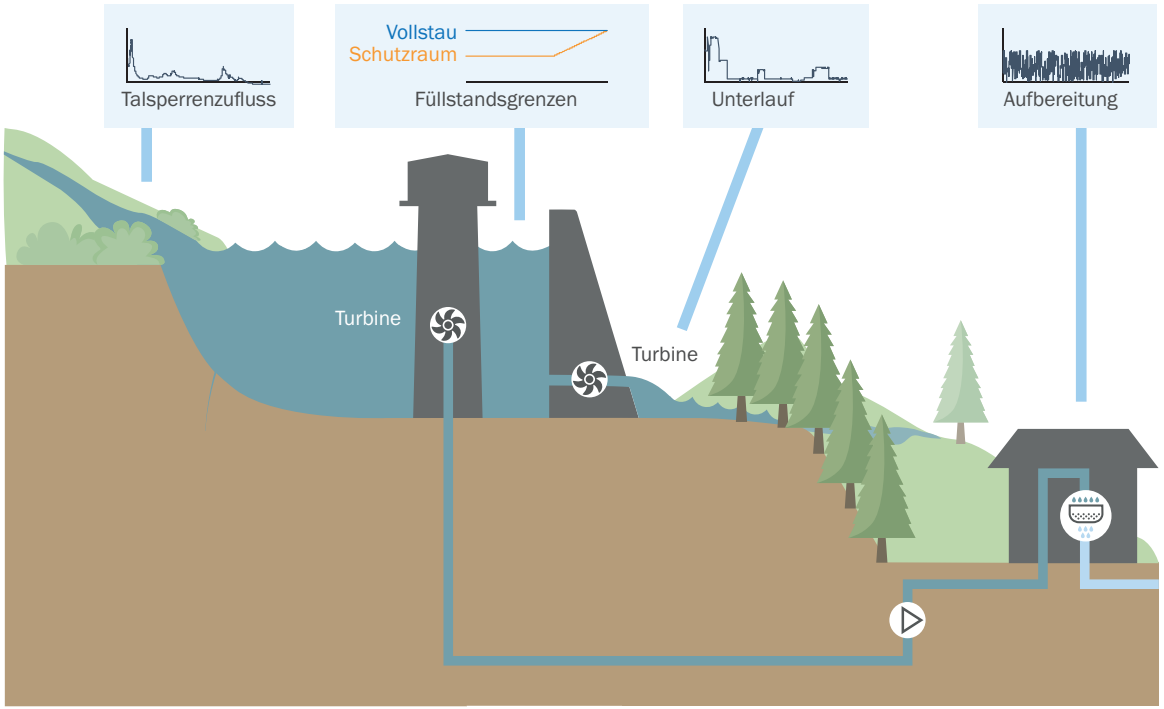


Abbildung 6: Beschreibung eines exemplarischen Talsperrensystems in der Dynamisierung

der Optimierung mehr dar. Wird die Vorgabe über einen längeren Zeitraum (bspw. einen Tag) vorgegeben, so verbleibt der Optimierung der Freiheitsgrad die Menge auf die Zeitintervalle innerhalb des Tages aufzuteilen.

Grundsätzlich werden die Zu- und Abflüsse über Zeitreihen mit stündlichen Mittelwerten abgebildet. Je nach Optimierungsvariante werden die Wassermengen der Abflüsse (Unterlauf und Aufbereitung) eingeschränkt bzw. freigegeben und somit abhängig der Variante auf unterschiedlichem Niveau dynamisiert. Technische und wasserwirtschaftliche Restriktionen sind in jeder Variante im selben Maße zu berücksichtigen.

In der kostenoptimierten Variante wird die Abgabe an Rohwassermengen je Zeitintervall pro Stunde an die Aufbereitung und den Unterlauf der Talsperre dynamisiert. Ziel ist die Maximierung des arbeitsabhängigen Deckungsbeitrages als Differenz von Erlösen und Kosten. Die arbeitsabhängigen, stündlichen Vermarktungserlöse ergeben sich durch die bereitgestellte elektrische Leistung über die Dauer einer Stunde multipliziert mit dem zugehörigen Day-Ahead Spotmarktpreis der jeweiligen Stunde. Die Kosten ergeben sich aus der benötigten Leistung sowie dem Strompreis zuzüglich Steuern und Abgaben. Dabei ist abhängig vom Netzanschluss, den Eigentumsverhältnissen und der Größe von Erzeugung und Verbrauch, inwieweit Abgaben auch für den Verbrauch eigener Erzeugung anfallen. Als Freiheitsgrad wird in der Optimierung die nutzbare Wassermenge je Zeitperiode für alle Rohwasser-Abgabestellen abgebildet. Abbildung 7 verdeutlicht die Quantifizierung der Freiheitsgrade.

Grundlage der Bestimmung der Wassermengen je Zeitperiode bildet das historische Abgaberegime, welches in konstante Zeitperioden unterteilt wird. Ergebnis sind die abgeleiteten Abgabevolumina je Zeitperiode, die in der Dynamisierung als bindende Nebenbedingung berücksichtigt werden.

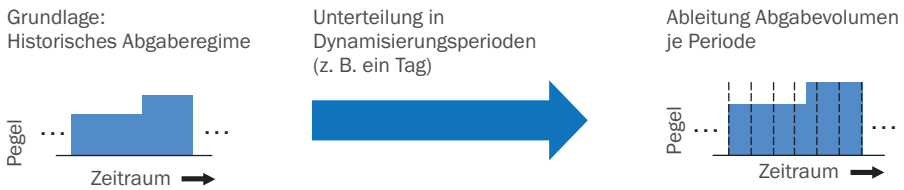
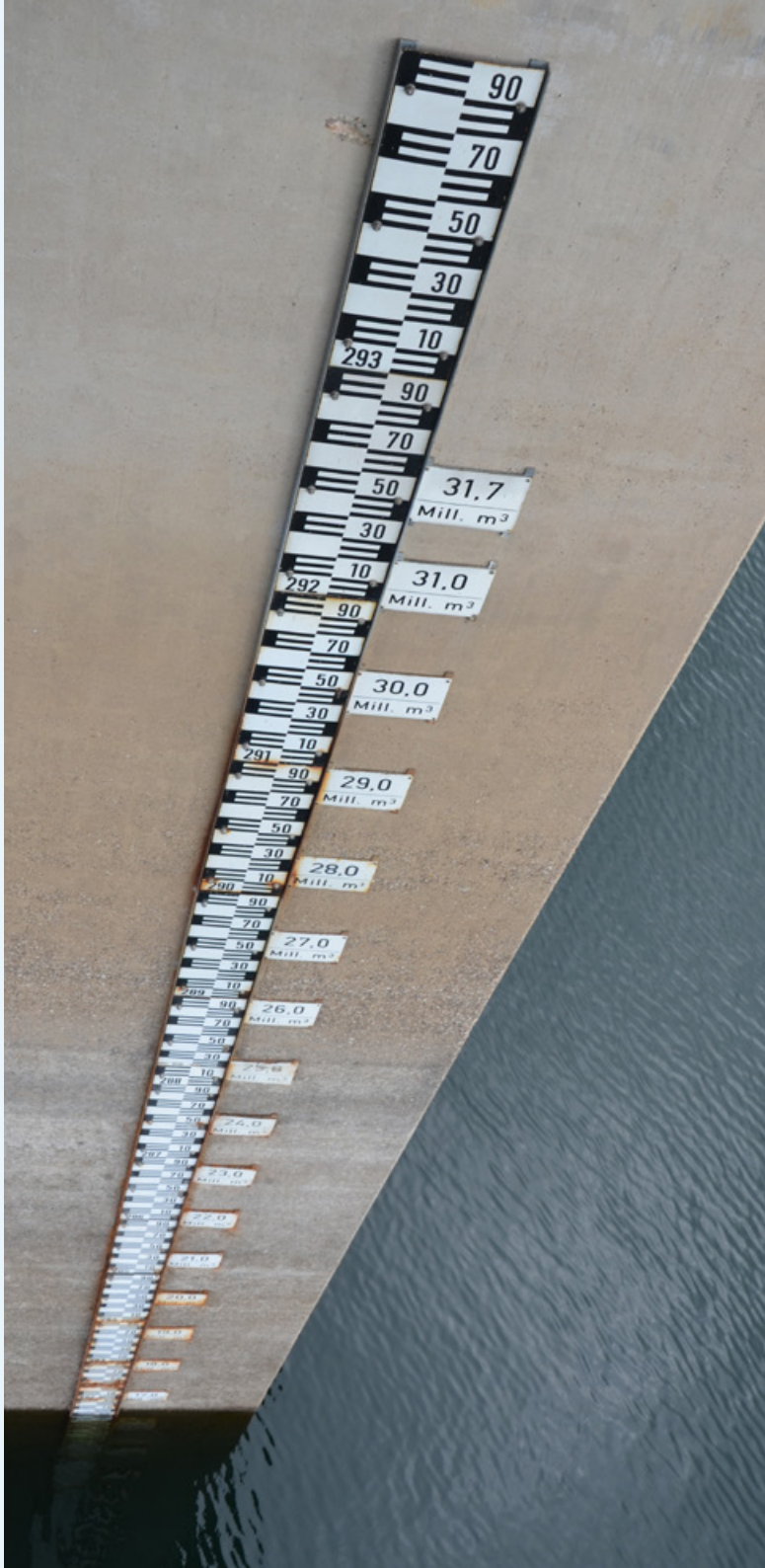


Abbildung 7: Bestimmung der Dynamisierungsperiode in der kostenoptimierten Variante



Potenziale und Beispiele

Im Folgenden wird das energiewirtschaftliche Optimierungspotenzial verschiedener Dynamisierungsperioden für das System Trinkwassertalsperre Wiehl, Trinkwasseraufbereitung Auchel und Flussunterlauf Wiehl betrachtet. Die beispielhaften Ergebnisse beziehen sich auf die Strommarktsituation im Jahr 2014. Der Simulation werden konsistente Eingangsdaten zu Grunde gelegt. So werden passend zum Betrachtungsjahr die Abgabemengen der Trinkwassertalsperre an die Trinkwasseraufbereitung und das Fließgewässer Wiehl unterhalb der Talsperre sowie die Strompreise des Jahres verwendet. Diese wurden über verschiedene Dynamisierungszeiträume und respektive verschiedener, für die Stromerzeugung verfügbarer Wassermengen berechnet. Grundsätzlich dient die Simulation der Dynamisierung der Abschätzung von Erlöspotenzialen.

Dabei standen zum einen die Dynamisierung der Rohwasserabgabe an den Unterlauf und zum anderen die Dynamisierung der Abgabe an die Trinkwasseraufbereitung im Fokus der Untersuchung. In der folgenden Abbildung 8 werden die jährlichen Erlöspotenziale aus der Dynamisierung des Wiehl-Unterlaufs dem Referenzfall gegenübergestellt, welcher einer strompreisunsensitiven Bewirtschaftung entspricht. Im ersten Teil wird dazu zunächst von einer vorgegebenen Abgabezeitreihe an die Trinkwasseraufbereitung ausgegangen.

Gegenüber dem Referenzfall ist zu erkennen, dass die Erlössteigerung bei kurzen Dynamisierungsperioden am größten ist (4,2 %/a von einer auf drei Stunden).

Mit zunehmender Verlängerung der Dynamisierungsperiode nimmt der Grenznutzen der Dynamisierung ab. Gegenüber dem Referenzfall lassen sich die jährlichen Verkaufserlöse um maximal 17,1 %/a bei einer Dynamisierungsperiode von 168 Stunden bzw. einer Woche erhöhen. Grundsätzlich handelt es sich hierbei um Potenziale, die aufgrund der langen Dynamisierungsperioden mit weiteren Aufwendungen für bspw. die Speicherung verbunden sind. Neben den abnehmenden Grenzerlösen pro Jahr geht mit einer Verlängerung der Dynamisierungsperiode ein planerischer Anstieg des Aufwands für Vermarktungsprognosen sowie Aufwendungen für Speicherung von Volumina an der Abnahmestelle der Trinkwasseraufbereitung einher, um die Rohwasserbereitstellung stets gewährleisten zu können.

Neben einer Dynamisierung der Abgabe an den Unterlauf wurde ebenfalls eine Dynamisierung der Abgabe an die Trinkwasseraufbereitung untersucht. Um die jeweiligen Effekte getrennt quantifizieren zu können, wurde dabei von einer vorgegebenen Rohwasserabgabe an den Unterlauf ausgegangen. Somit ist eine isolierte Betrachtung der lastoptimierten Dynamisierung ohne Rückwirkung möglich. Als Referenz wird die nicht lastoptimierte Dynamisierung (1h) verwendet. Die folgenden Abbildungn acht und neun zeigen die Entwicklung der jährlichen Erlöse abhängig von der Dynamisierungsperiode in der Trinkwasseraufbereitung.

Mit der Veränderung der Dynamisierungsperiode der Rohwasserabgabe an die Trinkwasseraufbereitung geht eine Rohwasserspeicherung in der Aufbereitung einher. Da die Speicherung nur begrenzt möglich ist, wird als maximale Dynamisierungsperiode ein Zeitraum von 24 Stunden gewählt. Die Ergebnisse zeigen eine ähnliche Entwicklung wie die Simulationen des Unterlaufs. Somit lassen sich bei einer Dynamisierungsperiode von 24 Stunden die Stromerlöse um 11,2 %/a steigern.

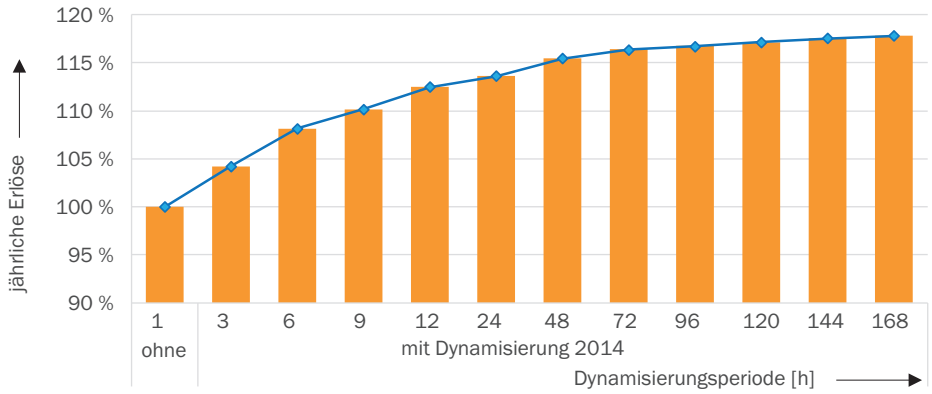


Abbildung 8: Kostenoptimierte Dynamisierung Jahr 2014

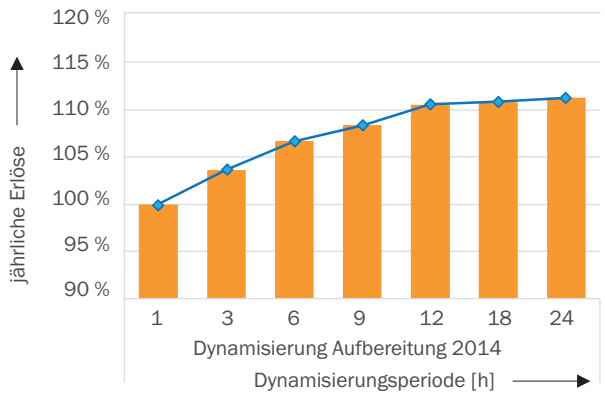


Abbildung 9: Lastoptimierte Dynamisierung Jahr 2014

Wie sind die ökologischen Auswirkungen eines dynamisierten Talsperrenbetriebs im Unterlauf zu bewerten?

Hinsichtlich der Abfluss- und Geschiebedynamik besteht das Potenzial, den Talsperrenbetrieb im Rahmen natürlicher Schwellenwerte zu dynamisieren. Die Dynamisierung erhöht voraussichtlich die Lebensraumqualität und wirkt sich positiv auf die Gewässerbiologie und den ökologischen Zustand aus. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Regionen hängt von der Betriebsweise der Talsperre ab und bedarf der Prüfung.

Untersuchungsmethoden

Hydrologie

Über eine hydrologische Charakterisierung naturnaher (ungestörter) Abflussregime von Fließgewässern in der betrachteten Projektregion wurden ökologisch vertretbare Dynamisierungspotenziale für Talsperrenunterläufe hergeleitet. Die hydrologische Charakterisierung erfolgte über eine Indizierung verschiedener ökologischer relevanter Abflusskategorien:

- **Magnitude:** Höhe und Variabilität der Wassermenge
- **Frequenz:** durchschnittliche Häufigkeit von bestimmten Abflussereignissen, z. B. Hoch-/Niedrigwasserabflüssen (HQ/NQ) im Verlauf eines Jahres
- **Dauer:** durchschnittliche Dauer von Abflussereignissen, z. B. Hoch-/Niedrigwasserabflüssen (HQ/NQ)
- **Änderungsrate**: Änderungen des Abflusses (Anstieg/Abstieg) in einer definierten Zeiteinheit (z. B. in 15 Minuten) und deren Intensität

Im Vergleich zu diesen Referenzgewässern weist die Abflussdynamik der betrachteten Talsperrenunterläufe im ENERWA-Projektgebiet deutliche und signifikante Veränderungen auf (Tabelle 1).

Daraus ergeben sich folgende Potenziale für eine Dynamisierung des Abflussregimes der Talsperren:

a) Variabilität der Magnitude: Im Sommer besteht das Potenzial, eine höhere Variabilität der Abflüsse zu generieren.

b) Frequenz HQ: Es besteht abhängig von der Jahreszeit das Potenzial, die Häufigkeit von hochwasserähnlichen Abflüssen zu erhöhen.

Tabelle 1: Zusammenfassung der saisonalen Abweichungen der Abflussregime unterhalb von Talsperren (n = 11) im Vergleich zu ungestörten Referenzgewässern (n = 38). Doppelpfeile: Signifikante Abweichung; einzelne Pfeile: deutliche, aber nicht signifikante Abweichung; ein Gleichheitszeichen: keine Abweichung.

Abflussindex	Sommer	Winter
Variabilität Magnitude	↓↓	=
Frequenz NQ	↓↓	↑↑
Frequenz HQ	↓	↓↓
Dauer NQ	=	↑↑
Dauer HQ	↑↑	↑↑
Tägl. Anstiegsrate	↓↓	↓↓
Tägl. Abstiegsrate	↓↓	↓

c) Frequenz NQ: Im Sommer besteht das Potenzial, häufiger NQ-ähnliche Abflüsse zu generieren; damit verbunden ist die Möglichkeit, eine zeitlich begrenzte erhöhte Wasserabgabe infolge höherer und häufigerer HQ-ähnlicher Abflüsse im Sommer zu kompensieren.

d) Dauer HQ: Unabhängig von der Jahreszeit sind die HQ-ähnlichen Abflüsse deutlich zu lang; dies sollte bei einer Dynamisierung berücksichtigt werden.

e) Tägliche Anstiegsraten: Es besteht unabhängig von der Jahreszeit das Potenzial, die täglichen Anstiegsraten zu erhöhen und damit höhere Abflüsse in kürzerer Zeit zu generieren; dies trifft weniger ausgeprägt auch auf die Abstiegsraten der Abflüsse zu.

Fallstudien zu weiteren abiotischen Veränderungen (Feinsedimente, Temperatur)

Aktuell zeigen die betrachteten Talsperren eine meist deutlich herabgesetzte Abflussdynamik im Unterlauf. Bettbildende Abflussereignisse sind zu selten und bedingen eine erhöhte Akkumulation von Feinsediment (Abbildung 10). Es resultiert ein Habitatverlust und damit ein Diversitätsverlust der aquatischen Wirbellosengemeinschaft. Eine Dynamisierung der Abflussregime unterhalb der Talsperren ist daher aus ökologischer Sicht zu begrüßen.

Hinsichtlich des Temperaturregimes sind in den Talsperrenunterläufen deutlich veränderte Temperaturverhältnisse gemessen worden (Abbildung 11). Die Variabilität der Temperaturregime ist stark eingeschränkt, die Wassertemperaturen sind vor allem im Frühjahr und Sommer zu niedrig und vollständig von der Lufttemperatur entkoppelt. Die Strahlwirkung dieser Abkühlung konnte bis zu 10 km unterhalb der Talsperren nachgewiesen werden.

Prognose der Auswirkung eines dynamisierten Talsperrenbetriebs auf die Gewässerökologie

Die festgestellten abiotischen Auswirkungen von Talsperren auf den Unterlauf (Temperaturabsenkung, erhöhte Feinsedimentgehalte, Abflussstabilisation)

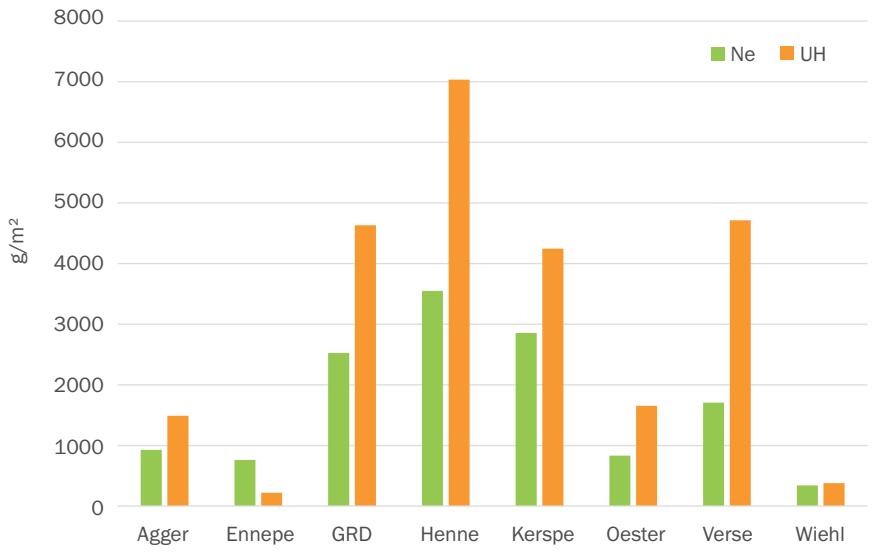


Abbildung 10: Oberflächennahe Feinsedimentmengen unterhalb der Talsperren (UH) und in vergleichbaren, unbeeinflussten Nebengewässern (Ne). GRD = Talsperre Große Dhünn

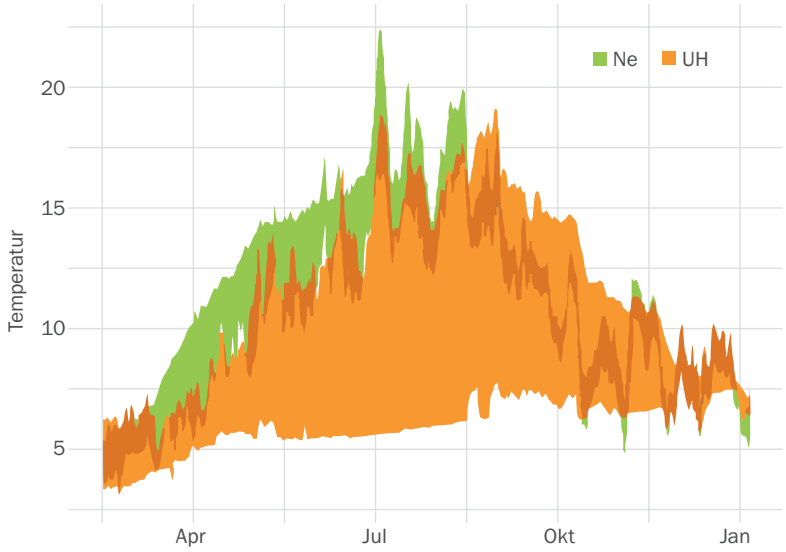


Abbildung 11: Tagesmittelwerte der Wassertemperatur aller erfasster Gewässerabschnitte unterhalb von Talsperren (UH) und vergleichbaren Nebengewässern (Ne)

führen zu einer Veränderung der Makrozoobenthosgemeinschaft. Folgendes wurde in diesem Zusammenhang festgestellt:

- Rückgang von strömungsliebenden Wirbellosenarten und Zunahme an Arten ohne spezialisierte Strömungsansprüche
- Anstieg von kälteliebenden Quellarten
- Rückgang der Weidegänger aufgrund erhöhter Feinsedimentgehalte
- Diversitätsverlust und Abnahme von strömungssensitiven sowie störungsempfindlichen Arten

Diese Veränderungen sind für den ökologischen Zustand der Gewässer unterhalb von Talsperren als negativ zu bewerten. Ein dynamischerer Betrieb im Rahmen der oben beschriebenen Grenzen ist somit durchaus ökologisch vertretbar und könnte sich sogar positiv auswirken.

Beispiel Wiehltalsperre

Die Pegelstation Loeffelsterz im Unterlauf der Wiehltalsperre weist im betrachteten Zeitraum einen mittleren Abfluss von 0,47 m³/s auf, der Niedrigwasserabfluss (10 % Perzentil) liegt bei 0,10 m³/s und der Hochwasserabfluss (90 % Perzentil) erreicht einen Abfluss von 0,80 m³/s. In Tabelle 2 sind die entsprechenden Abflussindizes der hydrologischen Sommermonate zum Vergleich mit Referenzpegelstationen gesetzt. Zur Maximierung der Dynamisierungspotenziale erfolgt der Vergleich auf Grundlage des 3. Quantils des Referenzdatensatzes.

Tabelle 2: Vergleich Abflussindizes Wiehl ab/Referenz im Sommer

	Variabilität Magnitude	Frequenz NQ	Frequenz HQ	Dauer NQ	Dauer HQ	Tägliche Anstiegs-rate	Tägliche Abstiegs-rate
Referenz	1,62	5,48	1,91	7,87	3,18	0,50	0,23
Wiehl ab	0,90	2,00	1,36	9,95	13,87	0,08	0,08

Die Gesamtdynamik (Index Variabilität Magnitude) des Unterlaufes der Wiehltalsperre liegt in den Sommermonaten deutlich unterhalb der des Referenzdatensatzes. Ein dynamischer Talsperrenbetrieb (häufigere tägliche Abflussunterschiede) könnte hier zu einer Annäherung der beiden Abflussverhältnisse führen. Niedrigwasserereignisse traten im beobachteten Zeitraum seltener auf (Frequenz NQ), Nutzungspotenziale können hier vor allem durch Speicherauffüllung während Niedrigstromperioden am Stromspotmarkt entstehen. Ebenso wurden im Unterlauf weniger Hochwasserereignisse (Frequenz HQ) mit deutlich erhöhter Laufzeit (Dauer HQ) aufgezeichnet. Geringfügig erhöhte Spitzenauslastungen mit einer maximalen Dauer von drei Tagen könnten energetisch genutzt werden und würden gleichzeitig eine Angleichung an ungestörte Abflussverhältnisse bedeuten. Sowohl tägliche An- als auch Abstiegsraten des Kontrolldatensatzes zeigen deutlich höhere Werte als der Unterlauf der Wiehltalsperre und können als direktes Dynamisierungspotenzial betrachtet werden. So könnten die täglichen Anstiegsraten von derzeit im Mittel

0,08 (tägl. Anstiegsrate Wiehl ab) * 0,47 m³/s (MQ) = 0,04 m³/s

auf 0,50 (tägl. Anstiegsrate Referenz)* 0,47 m³/s = **0,23 m³/s**

Abflussänderung pro Tag erhöht werden.

Weiterführende Literatur

- ENERWA Abschlussbericht
  Siehe S. 23, Kapitel: Regionale Fallstudien zur Bewertung der Wirkungen einer energieoptimierten und dynamisierten Talsperrenbewirtschaftung auf abiotische und biotische Ökosystemelemente im Unterlauf
- ENERWA-Webtool „Talsperre“ – Energetische Optimierung des Talsperrenbetriebs
  (www.enerwa.org)

Trinkwasseraufbereitung

Ist ein dynamischer Betrieb von Wasseraufbereitungsanlagen möglich und sinnvoll?

Einer Umstellung auf einen dynamischeren Betrieb muss auf jeden Fall für jede Anlage ein technischer Versuch mit den später typischen Randbedingungen vorangehen. Sie lohnt sich energetisch und wirtschaftlich nur in Sonderfällen, kann aber sinnvoll sein, wenn es für andere Bereiche der Versorgungskette lohnend ist.

Untersuchungsmethoden

Zur Bestimmung der Energie- und Kosteneinsparpotenziale müssen zunächst folgende Einflussfaktoren bekannt sein bzw. ermittelt werden:

- fluktuierende Strompreiskurve (variabler Anteil) zzgl. Strompreiszuschläge (fixer Anteil – z. B. EEG-Umlage, Stromsteuer, ...)
- Netznutzungsentgelt (bei ganzjähriger Betrachtung)
- Wasserbedarf und Einspeiseganglinie des Versorgungsgebiets
- Zeitlicher Verlauf der Füllstände von Speicherbehältern (z. B. Roh- und Reinwasser)
- Schaltstufen und Kennlinien von Pumpen oder anderen Energieverbrauchern wie z. B. Ozonanlagen
- Anlagenkennlinie der Aufbereitungsanlage

Um die Korrelation zwischen der elektrischen Leistung wesentlicher Energieverbraucher und dem Volumenstrom zu ermitteln, sind folgende Datenerhebungen notwendig:

- Online-Messdaten zur elektr. Leistung einzelner Verbrauchseinheiten für minimale bis maximale Aufbereitungsleistungen
- Einzelmessungen der Leistungsaufnahme aller relevanten Stromverbraucher bei minimaler, mittlerer und maximaler Aufbereitungslast als Alternative zu fehlenden Online-Messdaten
- Daten zur Berechnung des Energiebedarfs der Pumpen

Für Pumpen kann der Energiebedarf des gesamten Pumpwerks über die allgemeine Pumpenformel berechnet werden:

$$P=(Q*H)/(367{,}2*\eta)$$

Zur Bestimmung der Förderhöhe H werden sog. Energielinien der jeweiligen Wasseraufbereitungsanlagen erstellt (siehe Beispiel S. 35).

Für die Berechnung des Energiebedarfs einer dynamischen Fahrweise von Aufbereitungsanlagen und der damit verbundenen Kosten wurde vom IWW ein Tool erstellt. Damit können folgende Anteile des stündlichen Energiebedarfs für den jeweiligen Betrachtungszeitraum (z. B. 24 Stunden oder 1 Jahr) ermittelt werden:

- statischer Anteil (z. B. Entfeuchtung, Klimatisierung, Heizung, Licht, Chemikalienlagerung)
- linearer Anteil (z. B. statische Förderhöhe)
- dynamischer Anteil (z. B. Strömungswiderstände)

Weiterhin wird in dem Modellierungstool das nutzbare Volumen des Trinkwasserspeichers mit Füllstandsänderungen berücksichtigt. Einen wesentlichen Einfluss auf die Füllhöhe hat auch die Einspeiseleistung ins Verteilungsnetz bzw. der reale Wasserbedarf des Versorgungsgebiets, der beizubehalten ist.

Die für die Berechnungen notwendigen Näherungsfunktionen werden aus den erhobenen Daten sowie wesentlichen Merkmalen der Aufbereitungsanlage ermittelt und zusammengeführt. Bei Anwendung realer oder optimierter Aufbereitungsganglinien auf diese Näherungsfunktionen erhält man als Ergebnis die elektrische Leistungsaufnahme pro Stunde für statische, lineare und dynamische Verbraucher (Abbildung 12).

Zur Berechnung der Energiekosten wird der berechnete stündliche Gesamtenergiebedarf mit dem jeweiligen Strompreis (inkl. der fixen Strompreisanteile) dieser Stunde multipliziert. Das jährliche Netznutzungsentgelt wird auf alle Jahresstunden umgelegt.

Beispiel

Das Wasserwerk Erlenhagen des Aggerverbandes verbraucht jährlich ca. 3 Mio. kWh/a für Gewinnung und Aufbereitung. Anhand der ermittelten Energielinie für das Wasserwerk (Abbildung 13) wird deutlich, dass der hohe Energiebedarf der Wassergewinnung durch die Förderung des Rohwassers um eine Höhe von ca. 53 m vom Wasserspiegel der Talsperre bis hin zum Einlauf in das Wasserwerk verursacht wird.

Im Berechnungstool wurden Näherungsfunktionen P(Q) für die wesentlichen elektrischen Verbraucher des Wasserwerks Erlenhagen hinterlegt, die anhand der Messwerte bestimmt worden waren. Die wesentlichen Verbraucher sind: Mikrosiebanlage und offene Filter (Verbrauch an vorher erzeugter Lageenergie) sowie UV-, Kalkwasser- und geschlossene Filteranlagen (Verbrauch von elektrischer Energie).

Zum Vergleich des (spezifischen) Energiebedarfs und der Energiekosten bei dynamischer und konservativer Fahrweise wurde zunächst eine dynamische Aufbereitungsganglinie anhand der Spotmarktpreiskurve aus 2015 modelliert. Anhand des Modellierungstools, welches durch Zusammenführen einzelner Näherungsfunktionen den Energiebedarf der gesamten Aufbereitung berechnen kann (Abbildung 14), konnten so Energiebedarf und -kosten beider Fahrweisen bilanziert und gegenübergestellt werden.

Fazit der Untersuchungen im Wasserwerk Erlenhagen war, dass ein Einsparpotenzial lediglich beim Netznutzungsentgelt liegt und dieses durch Anpassung der Fahrweise um 21 % (=10.032 €/a) hätte reduziert werden können.

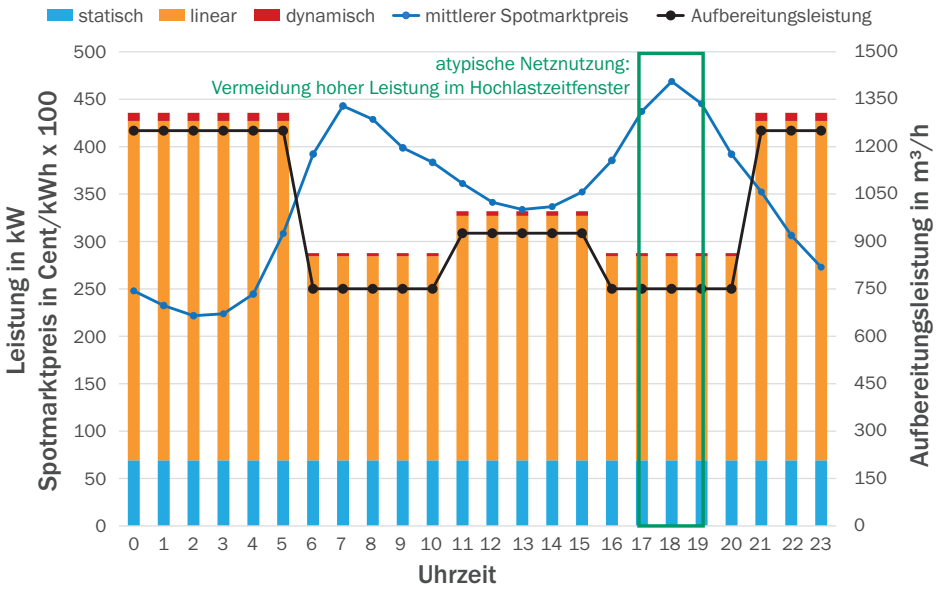


Abbildung 12: Elektrische Leistungsaufnahme statischer, linearer und dynamischer Energiebedarfsanteile - Beispiel für das Ergebnis eines Tages der Optimierungsrechnung mit dem IWW-Tool

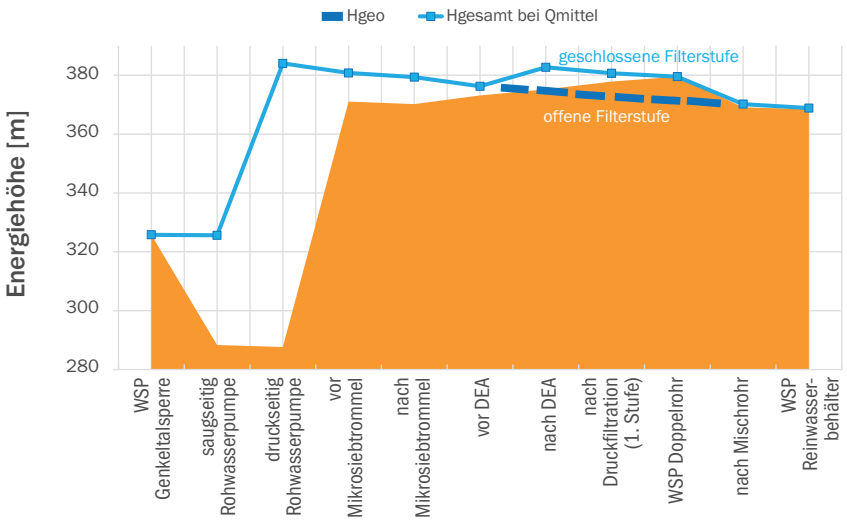


Abbildung 13: Energielinie für das Wasserwerk Erlenhagen bei einer Aufbereitungsleistung von 975 m³/h; (Hgeo = geodätische Höhe) WSP = Wasserspiegel; DEA = Druckerhöhungsanlage)

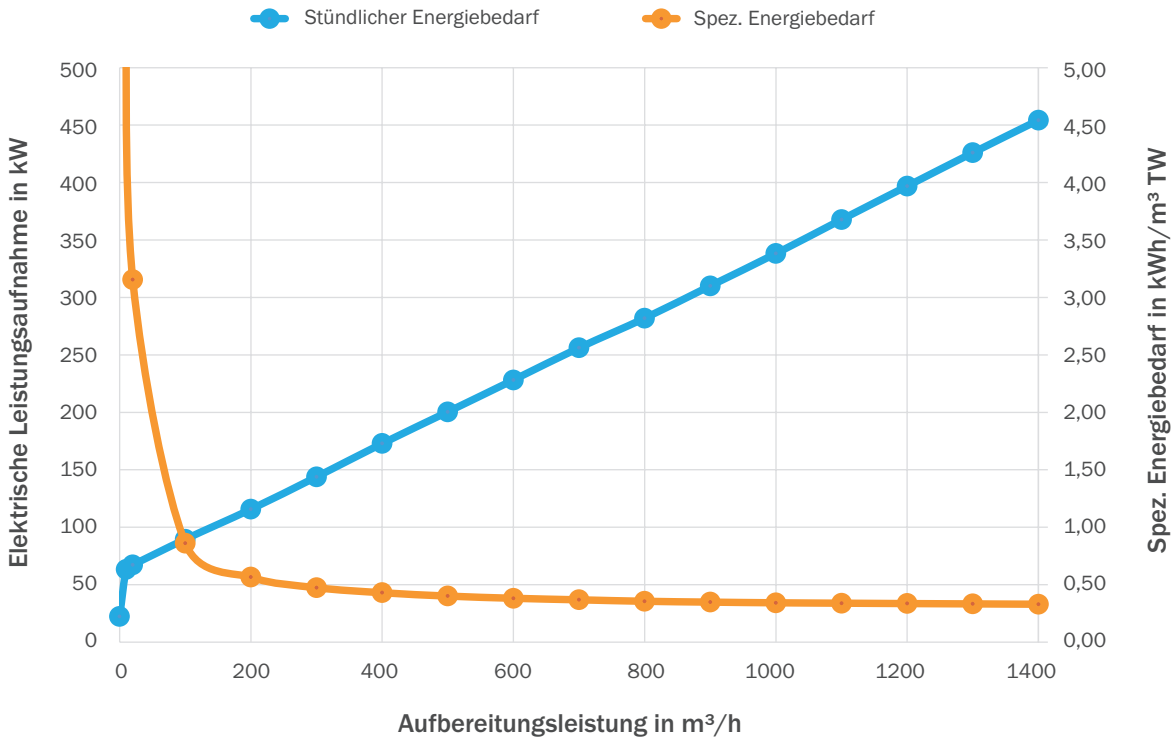


Abbildung 14: Berechneter Energiebedarf des Wasserwerks Erlenhagen

Durch die dynamische Fahrweise entsteht allerdings ein Mehrbedarf an Energie von 0,7 % (= 20.893 kWh/a), der folglich höhere Kosten durch die variablen und fixen Strompreisanteile mit sich bringt und der Einsparmöglichkeit durch fluktuierende Strompreise entgegenwirkt. Strom der Leipziger Strombörse kann in seiner Zusammensetzung schwanken, sodass der Anteil an regenerativen Energien zu bestimmten Uhrzeiten besonders hoch sein kann. Eine Verbesserung der CO2-Bilanz wäre daher trotz eines Mehrbedarfs an Energie denkbar.

In Summe ergab sich eine Kosteneinsparung von ca. 2,7 % (= 10.032 €/a). Eine Verringerung von Energiekosten durch Anpassung an die Spotmarktpreiskurve zeigte sich nicht. Das größte Kosteneinsparpotenzial wird hingegen durch Meidung des Hochlastzeitfensters bei der atypischen Netznutzung erreicht. Die Kalkulationen beziehen sich allein auf die Wasseraufbereitung und berücksichtigen nicht die Netzpumpen, die in der Regel Teil des Wasserwerks sind.

Weiterführende Literatur

- DVGW-Information Wasser Nr. 77 „Handbuch Energieeffizienz/Energieeinsparung in der Wasserversorgung
- ENERWA Abschlussbericht
- ENERWA-Web-Tool „Dynamisierung“ – Dynamisierter Betrieb des Wasserwerkes (www.enerwa.org)

Wie kann zur energetischen Optimierung aller einzelnen Apparate der Wasseraufbereitung eine gesamtsystemische Analyse durchgeführt werden?

Die gesamtsystemische Analyse hilft bei energetischen Optimierungsvorhaben, das gesamte Energieeinsparpotenzial zu erkennen und auszuschöpfen. Sie erfolgt über die Schritte „Bestandsanalyse“, „Datenaufnahme und Interpretation“, und „Feinanalyse“. In einem letzten Schritt werden die Optimierungsmaßnahmen umgesetzt.

Untersuchungsmethoden

Der Betrieb einer Wasseraufbereitungsanlage hat nach den *allgemein anerkannten Regeln der Technik* zu erfolgen. Durch die Verankerung dieser Begrifflichkeit in der Trinkwasserverordnung wird in der Wasseraufbereitung der Fokus insbesondere auf die Funktionalität der Aufbereitung und das Erreichen der gewünschten Qualitätsziele, weniger aber auf die Energieeffizienz gelegt. Da viele Wasseraufbereitungsanlagen im 20. Jahrhundert erbaut worden sind, finden sich vor allem in älteren Werken Aufbereitungsstufen, die nicht mehr dem *heutigen Stand der Technik* entsprechen. Besonders die Nutzung moderner Steuerungs- und Regelungssysteme, drehzahlvariabler Antriebe und moderner Pumpentechnik kann dabei helfen, die Energieeffizienz zu steigern.

Der Energiebedarf der Wasseraufbereitung ist häufig mittelbar (Betrieb der Aufbereitungsanlage mit dem Vordruck der Brunnenpumpen) und/oder unmittelbar bestimmt durch den Betrieb von Pumpen. Dennoch erschöpfen sich die Energieeinsparpotenziale der Wasseraufbereitung nicht bei der Wirkungsgradänderung von Pumpen oder Neuanschaffung von Motoren mit höchsten Energieeffizienzklassen. In vielen Fällen lassen sich durch Analyse des Gesamtsystems energieineffiziente Schwachstellen der Verfahrensführung erkennen. Eine solche Analyse kann über die Schritte in Abbildung 15 durchgeführt werden.

Beispiel

In der gesamtsystemischen Analyse wurden am Beispiel des Wasserwerks Erlenhagen folgende relevante Verbraucher identifiziert:

1. Druckfiltration
2. UV-Anlage
3. Mikrosiebanlage
4. Kalkwasserbereitungsanlage

Druckfiltration

Die Aufbereitung erfolgte bis zur Flockung über einen Hauptstrom. Danach teilte sich die Aufbereitung jedoch in zwei Teilströme zur offenen und zur geschlossenen Filtration. Die Energieanalyse ergab, dass für den Betrieb der geschlossenen Filterstufe von einer Druckerhöhungsanlage eine Förderhöhe von ca. 7 m

Bestandsanalyse

- Begehung der Aufbereitungsanlage
  - Vertiefung des Prozessverständnisses
  - Druck- und Höhenverluste in Rohrleitungssystemen (Engstellen, Drosselventile, Hochpunkte)
  - Betrieb und Steuerung von Pumpen
- Hydraulische Systemanalyse
- Auswertung Bestandsdaten (Drücke, geod. Höhen, elektr. Leistung, Wasserqualität etc.)
- Festlegung Untersuchungsprogramm

Datenaufnahme

- Messung bei verschiedenen typischen Aufbereitungsleistungen:
  - Drücke
  - elektr. Leistungsaufnahme
  - Wasserqualität
  - Bedarf an Aufbereitungsstoffen

Interpretation der Daten

- Erstellen von Energie-/Anlagenkennlinien
- Analyse der Regelalgorithmen für Drücke und Durchflüsse auf Schwachstellen
- Bewertung spez. Energiebedarfe einzelner Prozesse und des Gesamtprozesses bei typischen Aufbereitungsleistungen

Feinanalyse

- für relevante/auffällige Verbraucher:
  - Prüfen von Ursachen
  - Entwicklung kurz- bzw. langfristiger Optimierungsmöglichkeiten
  - Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Optimierung

- Umsetzung
- Erfolgskontrolle

aufgebracht wurde. Durch den höheren Wasserbedarf in der Vergangenheit war bisher der Betrieb der geschlossenen Filterstufe notwendig. Nach Optimierung wird der gesamte Volumenstrom heute über die offene Filterstufe geführt. Bei maximaler Aufbereitungsleistung von 1.224 m³/h erhöht sich dadurch die Filtergeschwindigkeit von 2,6 m/h auf 4,4 m/h, was verfahrenstechnisch problemlos möglich ist. Diese Optimierung bringt eine Energieeinsparung von ca. 45.000 kWh/a.

UV-Anlage

Eine starre UV-Desinfektionsanlage (18 kW) sorgt seit über 20 Jahren nach Eintritt des Rohwassers in das Wasserwerk für eine Desinfektion, um eine Verkeimung der nachfolgenden Filterstufen zu vermeiden. Die Messung der Leistungsaufnahme ergab einen mittleren spezifischen Energiebedarf von 22,3 Wh/m³. Laut Muschmann/Stimmelmeayr sollte dieser für vorbehandeltes Wasser zwischen 8-20 Wh/m³ liegen. Einsparpotentiale könnten sich hier verbergen.

Für die Optimierung der UV-Anlage gibt es grundsätzlich folgende Möglichkeiten:

- Anpassung der Leistungsaufnahme der UV-Strahler an die Aufbereitungsleistung im Bereich von 60 – 100 % mit entsprechenden Vorschaltgeräten (Energieeinsparung bis zu ca. 40 %)
- ggf. Verwendung von energetisch günstigeren Niederdruckstrahlern, d.h. eine Neuanschaffung der UV-Anlage prüfen

Abbildung 15: Herangehensweise zur energetischen Analyse einer Wasseraufbereitungsanlage

Mikrosiebanlage

Die Mikrosiebanlage ist der höchste Punkt der Aufbereitung. Nach einem technischen Defekt wurde diese fortan nur noch im Bypass umströmt, da keine unzulässige Belastung des Trinkwassers auftrat. Es zeigten sich daraufhin Verbesserungen in der Flockungsstufe durch das Verbleiben der partikulären Wasserinhaltsstoffe mit d > 15 µm. Eine Optimierung wird in Form einer gänzlichen Umgehung der Mikrosiebanlage realisiert, wodurch ca. 4 m Förderhöhe im Pumpwerk Genkel und damit ca. 127.000 kWh/a eingespart werden.

Kalkwasserbereitungsanlage

Durch die Messung der Leistungsaufnahme der dauerbetriebenen Kalkwasserbereitungsanlage wurde ein Energiebedarf von ca. 70.000 kWh/a (~ 0,010 kWh/m³ Rohwasser) festgestellt. Die aufgenommenen Daten zur Wasserqualität geben einen Hinweis darauf, dass ein Verzicht auf die Kalkwasserbereitungsanlage und eine Umstellung auf eine direkte Kalkmilchdosierung gegebenenfalls möglich ist. Eine entsprechende Detailprüfung wurde empfohlen.

Weiterführende Literatur:

- DVGW (2010): DVGW-Information Wasser Nr. 77 „Handbuch Energieeffizienz / Energieeinsparung in der Wasserversorgung. DVGW, Bonn
- Mutschmann, J., Stimmelmayr, F. (2014): Taschenbuch der Wasserversorgung. Springer Vieweg/Springer Fachmedien GmbH (16. Aufl.)
- Schweizerischer Verein des Gas und Wasserfaches (2014): „Energie in der Wasserversorgung – Ratgeber zur Energiekosten- und Betriebsoptimierung“; Zofinger Tagblatt AG, Zofingen.
- Trinkwasserverordnung 2016
- ENERWA Abschlussbericht
- ENERWA-Webtool „Optimierungsratgeber“ – Ratgeber zur energieeffizienten Wasseraufbereitung (www.enerwa.org)

Trinkwassertransport, -speicher & -verteilung

Welche Einsparpotenziale hinsichtlich Energiebedarf und Energiekosten bestehen in Trinkwassernetzen?

Durch eine optimierte Gestaltung der Druckzonen kann der Energiebedarf in einer Bandbreite von 10-60 % reduziert werden. Durch eine optimierte Betriebsweise der Pumpen und Nutzung der Speicherfunktion der Behälter können die Energiekosten und Stromnetzentgelte um bis zu 25 % reduziert werden.

Untersuchungsmethoden und Tools

Die Möglichkeiten der energetischen Optimierung in Trinkwassernetzen hängen von der anzutreffenden Konfiguration des Netzes bzw. der Druckzone ab. Hierbei müssen drei Fälle unterschieden werden (Abbildung 16):

Fall 1: „Von unten gespeist, ohne Netzgegenbehälter“:

In diesem Fall wird Energie für die Reinwasserpumpen benötigt und die Förderhöhe der Pumpen wird (neben den i. d. R. geringen Reibungsdruckverlusten) durch den am höchsten gelegenen Kunden bestimmt. Bei dieser Netz- bzw. Druckzonenkonfiguration kann der Energiebedarf durch eine Optimierung der Druckzonenschaltung erreicht werden.

Fall 2: „Von unten gespeist, mit Netzgegenbehälter“:

In diesem Fall wird ebenfalls Energie für die Reinwasserpumpen benötigt, die Förderhöhe der Pumpen wird hingegen durch die Höhenlage und den Füllstand des Behälters bestimmt. Bei dieser Netz- bzw. Druckzonenkonfiguration können die Energiekosten durch eine Optimierung der zeitlichen Fahrweise des Netzes an schwankende Spotmarktpreise und zeitabhängige Komponenten der Stromnetzentgelte reduziert werden.

Fall 3: „Von oben gespeist“:

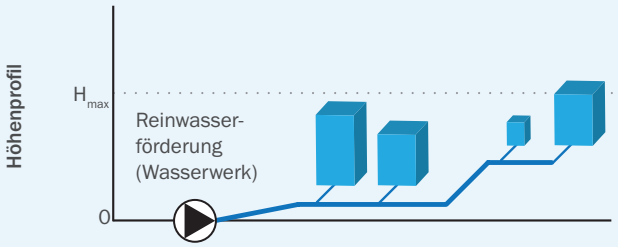
In diesem Fall wird eine Druckzone im freien Gefälle gespeist, so dass keine Energie in das System gesteckt werden muss oder vorab ein unvermeidbarer Energieeintrag zur Überwindung geodätischer Hochpunkte stattgefunden hat. Für solche Druckzonen kann eine Reduktion des Energiebedarfs durch die Installation von Turbinen erreicht werden, sofern lokale Drucküberschüsse bestehen.

Weitere energetische Optimierungsmöglichkeiten bestehen in der optimierten Auslegung der Pumpen sowie in der Reduktion der Fließwiderstände eines Netzes. Die optimierte Auslegung der Pumpen und die Installation von Frequenzumrichtern wurde im Forschungsvorhaben nicht betrachtet. Die Reduzierung der Fließwiderstände spielt in Trinkwassernetzen i. d. R. keine Rolle, da die Netze meist überdimensioniert sind und nur geringe Reibungsdruckverluste aufweisen.

Methodik Fall 1:

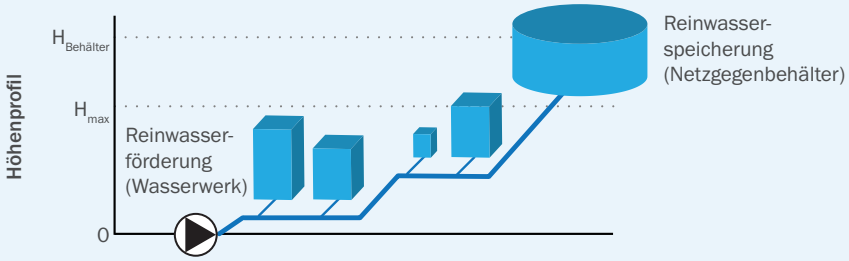
Für die optimierte Gestaltung der Druckzonen wurde das hauseigene Rohrnetzberechnungsprogramm ROKA³ um einen heuristischen Optimierungsalgorithmus erweitert, welcher die Kunden eines Trinkwassernetzes nach ihrer Höhenlage beurteilt. Ausgehend von den am höchsten gelegenen Kunden werden schrittweise eine oder mehrere neue Hochzonen eingerichtet und diese hoch gelegenen Kunden von dem Gesamtnetz in die neuen Hochzonen umgehängt. Hierdurch kann für einen Großteil der Kunden, welche in dem tiefer gelegenen Netzbereich angeschlossen sind und die daher einen geringeren Druckbedarf aufweisen, eine Absenkung der Förderhöhe erreicht werden. Damit wird die Förderhöhe für die Gesamtmenge eines Netzes deutlich reduziert und nur noch die Fördermenge für die Hochzonen auf das benötigte höhere Druckniveau gebracht.

Druckzonenklassifizierung Fall 1: „Von unten gespeist ohne Gegenbehälter“



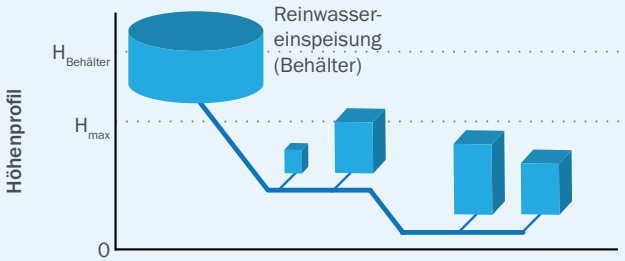
Optimierungsanzatz: Druckzonenoptimierung

Druckzonenklassifizierung Fall 2: „Von unten gespeist mit Gegenbehälter“



Optimierungsanzatz: Optimierung der Betriebsweise

Druckzonenklassifizierung Fall 3: „Von oben gespeist“



Optimierungsanzatz: Energierückgewinnung

Abbildung 16: Druckzonenklassifizierung

Methodik Fall 2:

Für die Minimierung der Energiekosten wurde ein Gemischt-Ganzzahliges Lineares Optimierungsmodell (GGLP) entwickelt, welches die Betriebsweise der Pumpen und die Nutzung des Behälters den volatilen Spotmarktpreisen anpasst. Darüber hinaus kann eine Verminderung der Stromnetzentgelte erreicht werden, sofern eine atypische Netznutzung (§19 (2) StromNEV) nachgewiesen werden kann. Das Verfahren optimiert den zeitlichen Einsatz der Pumpen unter den Randbedingungen, dass zu jeder Stunde des Jahres der Wasserbedarf gedeckt wird, die maximale Leistung der Pumpen eingehalten und das verfügbare Behältervolumen nicht überschritten wird. Das Netz wird durch eine vereinfachte Netzkennlinie abgebildet, welche den Druckverlust des Netzes hinreichend genau approximiert. Das Ergebnis ist ein stündlicher Netzfahrplan, welcher für jede Pumpe die Fördermenge und -höhe enthält.

Methodik Fall 3:

Die Installation von Turbinen zur Energierückgewinnung kann entweder an bestehenden Standorten von Druckminderungsventilen erfolgen oder durch die gezielte Identifikation möglicher Tiefzonen, welche heute hohe Drucküberschüsse aufweisen und zukünftig gezielt über eine Leitung mit einer Turbine versorgt werden. Die Installation von Turbinen zur Energierückgewinnung ist nur an Standorten mit möglichst hohem Durchfluss und möglichst großer Fallhöhe empfehlenswert und i. d. R. nur wirtschaftlich, wenn in unmittelbarer Nähe eine Anschlussmöglichkeit an das öffentliche Stromnetz besteht.

Potenziale und Beispiele

Die Druckzonenoptimierung hat durch die gezielte Einrichtung neuer Hochzonen in den untersuchten Netzen eine Reduktion des Energiebedarfs um 10 % bis 66 % ermöglicht. Inwieweit dieses energetische Einsparpotenzial auch wirtschaftlich nutzbar ist, ist durch die beteiligten Praxispartner im Rahmen einer Umsetzungsvorplanung zu evaluieren, da zur Versorgung der neuen Hochzonen zusätzliche Druckerhöhungsanlagen (DEA) installiert werden müssen. Nach einer Abschätzung der zu erwartenden Investitions- und Betriebskosten der zusätzlichen DEA kann entschieden werden, ob die Einsparung der Energiekosten höher oder niedriger ausfällt.

Durch die Optimierung des Pumpbetriebs durch Anpassung der Betriebsweise an schwankende Spotmarktpreise und zur Vermeidung eines hohen Strombezugs während der Hochlastzeitfenster des Stromnetzbetreibers konnte in den untersuchten Netzen eine Einsparung der gesamten Strombezugskosten um ca. 25 % im Vergleich zu der Ist-Fahrweise erreicht werden. Ein Großteil der Einsparung (ca. 20 Prozentpunkte) entfällt hierbei auf die Reduktion der Stromnetzentgelte durch die atypische Netznutzung. Die reinen Energiekosten (ohne Netzentgelte, Steuern und Abgaben) können auch bei vollständigem Bezug am Spotmarkt lediglich um ca. 5 % gesenkt werden, da zum einen die Schwankungen am Spotmarkt zu gering sind, zum anderen die reinen Energiekosten lediglich etwa 20-25 % der gesamten Strombezugskosten ausmachen. Abbildung 16 vergleicht für eines der untersuchten Netze die optimierte Fahrweise mit der Ist-Fahrweise.

Der Austausch von Druckminderungsventilen durch Turbinen könnte in einem der Netze den Strombezug um bis zu ca. 300 MWh jährlich verringern. Allerdings wird hiervon voraussichtlich nur ein Teil umgesetzt werden können, da an den Standorten mit relativ geringem Durchfluss die Turbinen i. d. R. nicht wirtschaftlich installiert werden können.

Weiterführende Literatur:

- ENERWA-Webtool „Wasserverteilung“ – Energetische Optimierung der Wasserverteilung (www.enerwa.org)

Energie-Management im Verbund

Überlauf der Möhnetalsperre (Foto/Videoarchiv Ruhrverband)

Ist eine übergeordnete Optimierung von Talsperre – Aufbereitung – Verteilung möglich?

Eine übergeordnete Optimierung des Verbundsystems ist möglich, wobei die Priorität in der Optimierung der Systeme aufeinander abgestimmt werden muss. Dies bedarf einer komplexen integralen Analyse mit Hilfe von Software, die Vorarbeiten, vor allem im Bereich Verteilung, zwingend voraussetzt.

Untersuchungsmethoden und Tools

In einem ersten Schritt müssen die drei Teilsysteme Talsperren, Aufbereitung, Verteilung in Einzelbetrachtungen analysiert und danach vereinfacht werden. Die Einzelanalysen stellen eine notwendige Voruntersuchung dar. Einen besonderen Stellenwert hat die Analyse des Verteilnetzes. Dort ist eine für das Verteilnetz typische Kennlinie zu ermitteln, die Durchfluss mit Energie verknüpft. Dazu sind Berechnungen des Verteilnetzes mit unterschiedlichen Durchflüssen erforderlich. Die resultierende Kennlinie hat zum Ziel, das Verhalten des Verteilnetzes in Bezug auf Energie auf eine simple Übertragungsfunktion zu reduzieren. Übertragungsfunktionen sind funktionale Beziehungen, die einen Durchfluss in das Teilsystem mit dem resultierenden Energiebedarf bzw. Energieerzeugung koppeln. Dabei müssen die Übertragungsfunktionen so ausgelegt sein, dass unmögliche Anforderungen oder nicht plausible physikalische Randbedingungen klar erkannt und als „keine Lösung“ identifizierbar sind. Wichtig ist, dass dies zeitschrittbezogen geschieht, d.h. für einen Zeitschritt von einer Stunde der Energiebedarf/die Energieerzeugung des Teilsystems per Übertragungsfunktion zurückgegeben wird. Abgesehen vom Teilsystem Verteilnetz ist dies für die Talsperre und die Aufbereitung so nicht erforderlich, da beide Teilsysteme direkt gekoppelt werden könnten. Voraussetzung dafür ist die Anwendung einer Software zur Talsperrensimulation zusammen mit der Anwendung des Tools zur Energieoptimierung von Wasserwerken, welches in den vorherigen Kapiteln beschrieben wird. Ist die Kennlinie aus dem Verteilnetz ermittelt und Talsperre, Aufbereitung plus Kennlinie gekoppelt, können Szenarien simuliert werden, die als Ergebnis die Gesamtenergiebilanz ausgeben.

Für die Untersuchung der Verbundwirkung gibt es prinzipiell zwei Optionen, die bei Bedarf zu kombinieren sind:

a) Tagesgangbetrachtung, 24h

b) Betrachtung eines beliebigen Jahres in Stundenauflösung

Mit a) können Szenarien extrem schnell durchgeführt und optimiert werden. Mit b) lassen sich Volumina von eventuell benötigten Zwischenspeichern ermitteln. Für beide Optimierungsoptionen wird die sogenannte Evolutionsstrategie verwendet.

Potenziale und Beispiele

Für die Verbundbetrachtung (Abbildung 17) wurde das in gemeinsamer Arbeit entwickelte Tool zur energetischen Modellierung der Wasseraufbereitung mit vereinfachten Talsperrensystemen und Verteilnetzen gekoppelt.

Als Start für die Optimierung wurden die Szenarien aus den Teilsystemen Talsperre, Aufbereitung, Verteilung gewählt, die in Summe die höchsten Einsparungen ergaben. Dabei stellte sich ein, dass der optimierte Zustand für das Verteilnetz in Verbindung mit einer konstanten Abgabe aus der Talsperre und einem realen Tagesgang nachempfundenen Verlauf für die Aufbereitung die beste Lösung ergab.

Die Fortsetzung der Verbundbetrachtung bestand darin, beliebige Lastverschiebungen, d.h. Durchsätze als Tagesgangmuster, zu optimieren. Auch hier war das Ziel, höchste Einsparungen zu erzielen.

Dabei stellte sich ein, dass sich die Talsperrenabgabe einer konstanten Abgabe nähert, die Aufbereitung schwerpunktmäßig die Nachtstunden mehr ausnützt, d.h. höheren Durchsatz fährt und das Verteilnetz sehr nahe am eigenen Optimum betrieben wird.

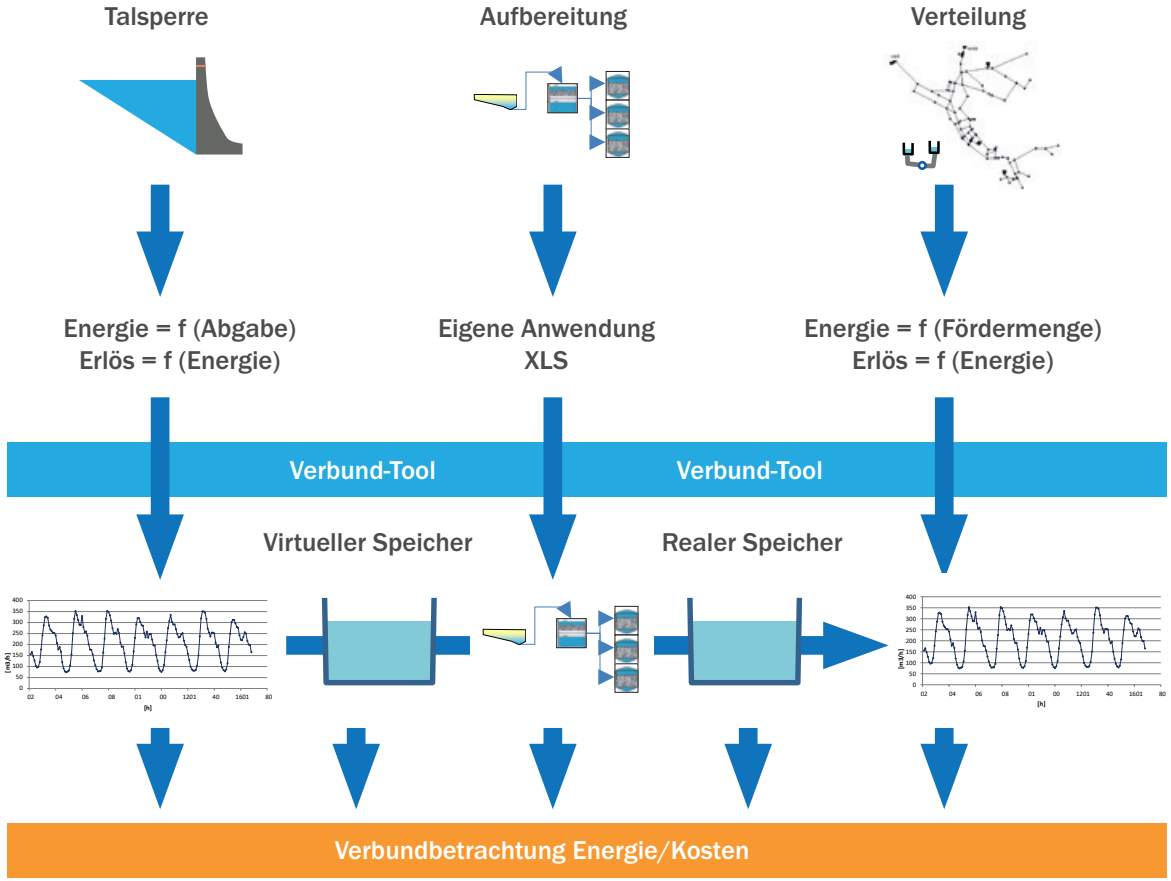


Abbildung 17: Verbundbetrachtung

Fazit:

Die Einsparpotenziale im Verteilungsnetz dominieren das Gesamtsystem Talsperre – Aufbereitung – Verteilnetz. Dadurch stellt sich als optimaler Verbundbetrieb heraus, dass das Gesamtsystem versuchen sollte, die Vorgaben aus dem Verteilungsnetz möglichst zu erfüllen. Damit kann im Verteilnetz das Potenzial an Einsparung maximiert werden, bei geringer Anpassung der Lastverschiebung in der Aufbereitung. Bei der Nutzung der Energiepotenziale der Talsperre muss damit differenziert werden zwischen der Abgabe in Unterwasser und der Abgabe zur Aufbereitung. Die Hebung der Energiepotenziale durch Dynamisierung ins Unterwasser bleibt von einer Verbundbetrachtung weitgehend unbeeinflusst. Die Abgabe zur Aufbereitung sollte jedoch konstant erfolgen. Eine energetische Nutzung dieses Teils der Wasserabgabe aus der Talsperre muss sich auf eine Optimierung der Turbinierung konzentrieren (Turbinenauswahl und Dimensionierung auf die spezifischen Kenngrößen für eine konstante Abgabe).

Bildnachweis

- S. 11 – Forschungsstelle Bürgerbeteiligung der Bergischen Universität Wuppertal, 2015
- S. 13 – Forschungsstelle Bürgerbeteiligung der Bergischen Universität Wuppertal, 2015
- S. 15 – FiW, 2014
- S. 17 – FiW, 2014
- S. 19 – FiW, 2014
- S. 21 – FiW, 2014
- S. 22 – FiW, 2014
- S. 25 – FiW, 2014
- S. 26 – FiW, 2014
- S. 31 – FiW, 2014
- S. 33 – Fotoarchiv RWW
- S. 36 – FiW, 2014
- S. 37 – Fotoarchiv WAG
- S. 39 – FiW, 2014
- S. 40 – FiW, 2014
- S. 41 – Fotoarchiv RWW
- S. 43 – Adobe Stock, pixel-kraft
- S. 45 – Adobe Stock, klick klick
- S. 46 – Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH
- S. 47 – Adobe Stock, ThomBal
- S. 49 – Foto/Videoarchiv Ruhrverband

www.bmbf.nawam-erwas.de