

# Forschungsprogramm «Pumpencheck»

Vorgehen zur Energiekostenoptimierung

Ernst A. Müller



## Programme de recherche «Guide des pompes»

### Optimisation des coûts énergétiques

Les pompes sont le cœur du réseau d'eau potable. Elles représentent une part non négligeable à la consommation d'énergie globale d'un tel réseau. Il y a donc lieu d'étudier leur optimisation énergétique, au plus tard avant de les remplacer. C'est dans cette optique que l'OFEN a lancé un programme de recherche dont le but est de développer une méthode pratique pour permettre à l'exploitant d'évaluer rapidement et facilement les pompes qui présentent le plus grand potentiel d'économie. Il peut se baser sur le «Guide des pompes», approche méthodologique lui permettant de déterminer la solution techniquement et économiquement optimale pour chaque pompe examinée. Il s'agit de rappeler dans cet article la quote-part des pompes à la demande énergétique globale et de présenter le bilan intermédiaire du programme de recherche «Guide des pompes».

## «Pump Check» Research Programme

### Procedure for Energy Cost Optimisation

The pumps are at the heart of any water supply. As their operation is very energy-intensive, the question arises already with existing pumps, or at the latest when they need to be replaced due to their age, how the electricity consumption can be optimised. For this purpose, the Federal Energy Agency develops in a research programme a viable method which enables an operator to use a «rough check» to rapidly and easily assess for which pumps major savings potential need to be anticipated. By the subsequent use of a «fine check» on these pumps, it is then possible to determine the optimum technical and commercial solution. This article provides an overview of the energetic significance of the pumps and an interim result of the «Pump Check» research programme.

**Die Pumpen sind das Herz einer jeder Wasserversorgung. Da ihr Betrieb sehr energieintensiv ist, stellt sich bereits bei den bestehenden Pumpen bzw. spätestens beim altersbedingten Ersatz die Frage, wie der Stromverbrauch optimiert werden kann. Zu diesem Zweck soll in einem Forschungsprogramm des Bundesamts für Energie eine praktikable Methode entwickelt werden, mit der ein Betreiber mit einem «Grobcheck» rasch und einfach abschätzen kann, bei welchen Pumpen grössere Einsparpotenziale zu erwarten sind, um mit einem «Feincheck» an diesen Pumpen die optimale technische und wirtschaftliche Lösung ermitteln zu können. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die energetische Bedeutung der Pumpen und eine Zwischenbilanz des Forschungsprogramms «Pumpencheck».**

## 1. Einleitung

Mehr als 90% des gesamten Stromverbrauches einer Wasserversorgung entfallen auf die Pumpen. Die *Potenziale* sind gross, deshalb lohnen sich bei den Pumpen weitere Untersuchungen besonders. Dabei soll aber die *gesamte Energieoptimierung* im Auge behalten werden. Denn die Wasserversorgungen können ihren Strombezug auf zwei Ebenen senken, durch

- *Energieeffizienz* (Sparen) und
- *Energieproduktion* (Trinkwasserkraftwerke).

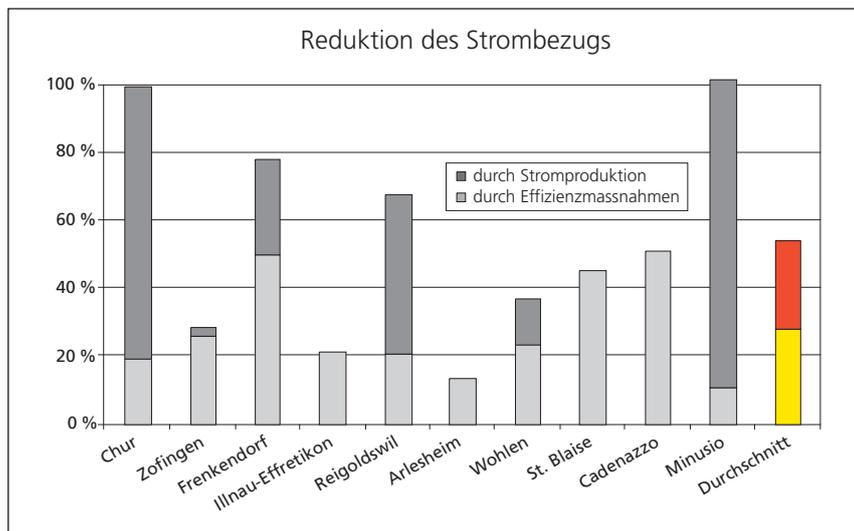


Abb. 1 Energiepotenziale: Mit Energieeffizienz und Energieproduktion Stromkosten halbieren (Auswertung von zehn Feinanalysen verschiedener Wasserversorgungen in der Schweiz [1]).

Bei gegebenen geografischen Verhältnissen kann das Gefälle genutzt und mit einer *Turbine* Strom erzeugt werden. Dies ist bereits ab einer Höhendifferenz von z. B. 30 m und einer Wassermenge von 500 Litern pro Minute möglich und mit der *kostendeckenden Einspeisevergütung* (KEV, zur Zeit ausgeschöpft) sogar häufig wirtschaftlich. Der Stromverbrauch kann aber auch durch Spar-

massnahmen gesenkt werden. Deshalb ist es naheliegend, dass zunächst einmal die grössten Stromverbraucher, nämlich die Pumpen, genauer unter die Lupe genommen werden. Daneben gibt es eine ganze Reihe von weiteren Massnahmen, insbesondere bei den Nebenanlagen und der Wasseraufbereitung. Eine Auswertung von zehn systematischen *Untersuchungen* an Schwei-

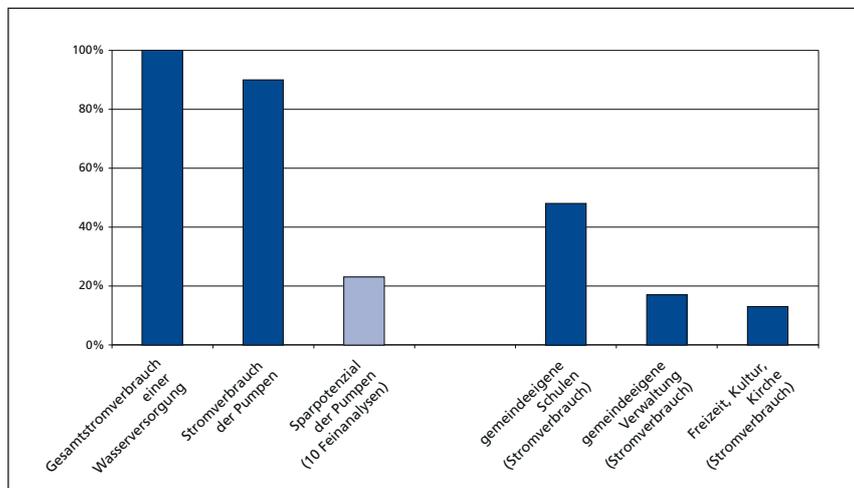


Abb. 2 Energiepotenziale bei den Pumpen von Wasserversorgungen im Vergleich zum Stromverbrauch von gemeindeeigenen Gebäuden (abgeleitet aus [1 und 2]).

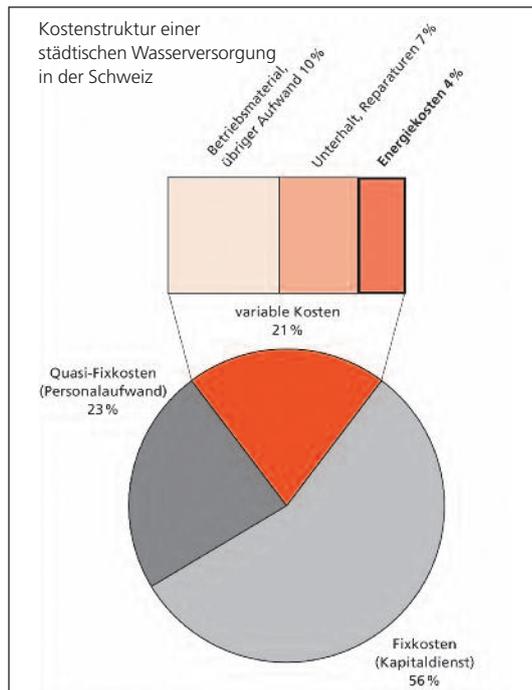


Abb. 3 Energie – ein zunehmender Kostenfaktor bei den Wasserversorgungen [1].

zer Wasserversorgungen zeigt, dass der Stromkonsum im Mittel um mehr als 50% gesenkt werden kann (Abb. 1). Insgesamt sind die Massnahmenpakete auch wirtschaftlich lohnend, das heisst, der Aufwand der Kapitalkosten für die Investitionen sowie Wartung/Unterhalt sind kleiner als die Energiekosteneinsparungen. Die Energiereduktion teilt sich etwa zur Hälfte auf den Beitrag der Stromproduktion, die andere Hälfte auf Effizienzmassnahmen auf. Die Einsparungen alleine aus den Effizienzmassnahmen schwanken bei den einzelnen Wasserversorgungen zwischen 15% und 50% vom gesamten Stromverbrauch. Davon wiederum steuern vier Fünftel die Massnahmen bei den Pumpen bei, sowohl durch Steigerung der *Effizienz* der Pumpen wie auch durch Vermeidung bzw. *Optimierung* des Pumpenbetriebes. Im Mittel liegen bei den zehn Wasserversorgungen die *Einsparungen* im Pumpenbereich bei 23% vom gesamten Stromverbrauch. Das sind beachtliche Energiepotenziale, denn diese Einsparung ist grösser als der Stromverbrauch von allen Verwaltungsgebäuden einer Gemeinde oder wesentlich grösser als der Verbrauch von allen Kirchen, Kultur- und Freizeitgebäuden einer Kommune (Abb. 2).

Die *Energiekosten* einer Wasserversorgung scheinen auf den ersten Blick mit einem Anteil von 4% an den Gesamtkosten bescheiden zu

sein. Wenn aber Sparmöglichkeiten auf einer Anlage gesucht werden, so kann der Hebel nicht bei den Fixkosten (Kapitalkosten) oder Quasi-Fixkosten (Personalkosten) angesetzt werden, sondern es müssen Möglichkeiten bei den beeinflussbaren, also den *variablen Kosten* gesucht werden. Und bei diesen nehmen die Energiekosten mit 21% einen beachtlichen Anteil ein (Abb. 3). So betrachtet können die Energiemassnahmen aufgrund der durchgeführten Reihenuntersuchungen mit einem Potenzial von über 50% doch einen grossen Anteil zur Reduktion bei den variablen Kosten beitragen, nämlich 10% Einsparungen; die Hälfte davon bei den Pumpen. Selbst wenn auf der anderen Seite zusätzliche Aufwendungen bei den Kapitalkosten zu verbuchen sind, kann gemäss den Resultaten der Feinanalysen doch insgesamt eine Kosteneinsparung erzielt werden.

## 2. Pumpen

### 2.1 Stromkosten

Bei den zehn untersuchten Wasserversorgungen nehmen die Pumpen im Mittel mehr als 90% des gesamten Stromverbrauches ein. Dabei sticht ein Merkmal besonders hervor: Die Kosten für den Strombezug fallen derart ins Gewicht, dass sie über die Lebensdauer betrachtet die Investitionen um ein Vielfaches übertreffen. An den gesamten Kosten der Pumpe nehmen die Stromkosten mehr als 90% ein, die *Investitionen* sind hingegen im Vergleich dazu mit 6% marginal (Abb. 4). Bei der Wahl einer

Pumpe können also die Anschaffungskosten mehr oder weniger vernachlässigt werden; die Stromkosten sind zehn- bis zwanzigmal höher. Für eine wirtschaftliche Lösung ist deshalb entscheidend, dass eine sorgfältige Dimensionierung und Auswahl der Pumpen mit entsprechend hohen Wirkungsgraden vorgenommen wird. Die Zeiten, als der Brunnenmeister auf dem Typenschild der alten Pumpen nachschaute und wieder das gleiche Aggregat bestellte, sind endgültig vorbei; bei einem Pumpenersatz ist ein genaueres *Auswahlverfahren* nötig. Selbst bei bestehenden Pumpen, die nicht im optimalen Wirkungsgradbereich betrieben werden können, macht sich ein frühzeitiger Austausch rasch bezahlt (Abb. 5).

### 2.2 Optimierung

Bereits *kleine Pumpen* mit wenigen Kilowatt Leistung weisen rasch einen jährlichen Stromverbrauch von 10000 kWh auf. Bei einer Lebensdauer von 15 Jahren und Tarifen von 15 Rp. pro kWh belaufen sich die

Energiekosten auf rund 20000 Franken. *Grosse Pumpen* können Energiekosten von Millionen von Franken verursachen.

Deshalb lohnt es sich, den Stromverbrauch bzw. die Energiepotenziale von allen bestehenden Pumpen systematisch zu untersuchen und beim Ersatz der Pumpen einen entsprechenden Aufwand für die energetische/wirtschaftliche Optimierung zu investieren. Dabei darf sich die Betrachtung aber nicht alleine auf die Pumpen beschränken, sondern das gesamte System, d.h. auch die vorgelagerten Prozesse, ist zu berücksichtigen (Tab. 1).

Was gemeinhin als Pumpe bezeichnet wird, sind in Wirklichkeit Systeme aus verschiedenen Einzelkomponenten – sogenannte *Prozessketten* (Abb. 6). Es geht darum, energieeffiziente Einzelkomponenten von Motor über Antrieb und Pumpe auszuwählen (Infos zu energieeffizienten Motoren: [www.topmotors.ch](http://www.topmotors.ch)). Dabei müssen aber auch die Komponenten aufeinander abgestimmt

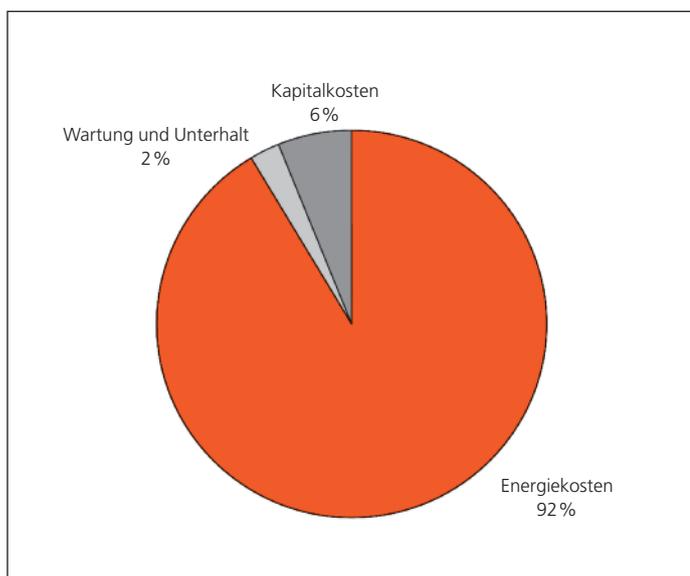


Abb. 4 Stromverbrauch dominiert bei den Jahreskosten von Pumpen (Beispiel Bohrlochpumpe [1]).

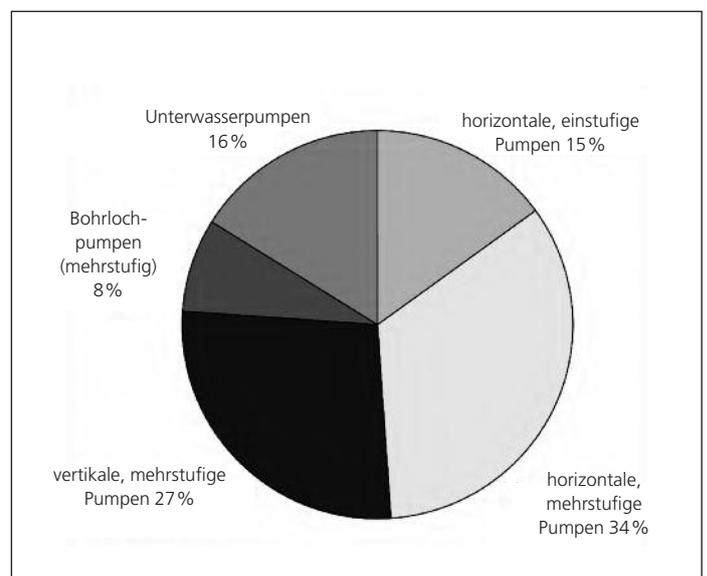


Abb. 5 Anteil der Pumpenbauarten bei den Wasserversorgungen in der Schweiz nach Stückzahlen. (Quelle: Hängy AG aus [1])

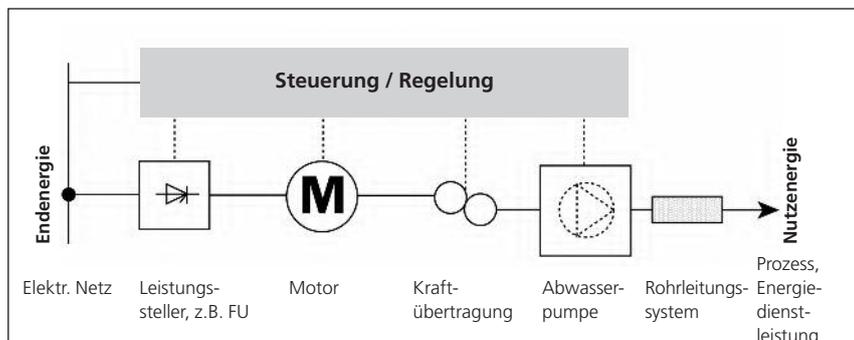


Abb. 6 Prozesskette eines Antriebssystems am Beispiel einer Abwasserpumpe [5].

werden, um das Gesamtsystem zu optimieren.

### 3. «Pumpencheck»

Dass die Pumpen auf den Wasserversorgungen über grosse Energiepotenziale verfügen, ist unbestritten. Energieeinsparungen von 15–25% durch einen optimalen Pumpenersatz sind durchaus gängig. Nur werden diese Potenziale bisher noch kaum systematisch ermittelt und umgesetzt. Gründe dafür sind unter anderem, dass ein effizientes Vorgehen und praktikable Arbeitsinstrumente dazu fehlen. Es existieren zwar komplexe EDV-Programme wie z. B. OPAL, das im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE) entwickelt wurde [7]. Diese sind aber nicht auf das Gesamtsystem der Pumpen auf Wasserversorgungen abgestimmt und für die Planer des Wasserfaches kaum anwendbar. Aus diesem Grunde hat das BFE einem Team von Fachleuten den Auftrag für ein Forschungsvorhaben unter dem Arbeitstitel «Analyse und Vorgehen zur energetischen Optimierung von Pumpen bei Wasserversorgungen» erteilt. Das Projekt wurde im letzten Herbst gestartet und endet Anfang 2011.

#### Projektziel

- Entwicklung eines *systematischen Vorgehens*

- Realisierung eines *optimalen Pumpenersatzes* an Anlagen
- Durchführung eines *Messprogramm* mit einem Vergleich vorher und nachher
- Messung der erreichten *Energieeinsparungen*

In einer Anleitung für Betreiber und Planer soll das Vorgehen dargestellt, die Demonstrationsprojekte aufgezeigt und Arbeitsinstrumente entwickelt und für Anwender über EnergieSchweiz und die Fachverbände zugänglich gemacht werden.

#### Zusammenarbeit

Die Arbeiten werden unter Leitung von *Beat Kobel* durch Vertreter von verschiedenen Kreisen durchgeführt. Beteiligt sind unter anderem:

- Wasserversorgungen (Durchführung konkreter Projekte):
  - *Lausanne*
  - *Uzwil*
  - *Sils i.E.*
  - *Worben*
  - *Buchs*
- Zwei Pumpenhersteller
- Hochschule: *Prof. Dr. Th. Staubli, Hochschule Luzern in Horw*
- Motoren- und EDV-Spezialisten
- EnergieSchweiz, Marktbearbeiter

#### Arbeitsschritte

- I. Vorgehen und Messkonzept entwickeln
- II. Anschrift und Auswahl von geeigneten Wasserversorgungen
- III. Durchführung Messung (IST) an drei bis vier Objekten
- IV. Entwicklung «Grobcheck» zur Ermittlung von Potenzialen und Handlungsbedarf sowie Entscheidungskriterien, ob sich Feincheck lohnt
- V. Durchführung «Feincheck», d.h. Ermittlung der Energiepotenziale, der optimalen energetischen und wirtschaftlichen sowie betrieblichen Lösung
- VI. Realisierung Massnahmen, d.h. Ersatz der alten durch optimale Pumpen oder gegebenenfalls auch nur kleinere betriebliche Vorkehrungen
- VII. Durchführung Messprogramm als Erfolgskontrolle an den ausgeführten Sanierungen
- VIII. Erstellung einer Anleitung zum Vorgehen und Entwicklung der Arbeitsinstrumente für Grob- und Feincheck und Darstellung der Demonstrationsprojekte

In einem weiteren Schritt sollen die Anleitung und die Arbeitsinstrumente durch «EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen» verbreitet und den Planern und Wasserversorgungen zugänglich gemacht werden. Dabei wird die Möglichkeit geprüft, ob der Grobcheck auch interaktiv über das *Internet* möglich ist und ob den Planern bzw. Betreibern eine Auswertung dazu geliefert werden kann.

<b>Pumpenbetrieb vermeiden</b>
– möglichst viel frei zufließendes Quellwasser nutzen – Heberleitungen verwenden
<b>Bedarf der Pumpen reduzieren</b>
– Reservoir optimal dimensionieren und bewirtschaften – Wasserverluste systematisch senken – effiziente Wassernutzung bei den Verbrauchern fördern
<b>Leistung der Pumpen minimieren</b>
– Netzdruck minimieren – Netzwidestand bzw. Reibungsverluste im Netz senken – Betriebszeiten der verschiedenen Pumpen optimal wählen
<b>Wirkungsgrad der Pumpen maximieren</b>
– Pumpen richtig dimensionieren – Pumpen mit hohen Wirkungsgraden wählen – Motoren hoher Effizienzklasse wählen (E3) – Pumpen kombinieren (Einzel- bzw. Parallelbetrieb) – Pumpen regelmässig warten und unterhalten – Pumpen zeitgerecht sanieren oder ersetzen

Tab. 1 Gesamtheitliche Betrachtung bei Pumpenoptimierung [1].

<b>Typ und Bauweise der Pumpe (Datenschild etc.)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Typ der Pumpe (trocken, Unterwasser)</li> <li>– Stufenzahl bei Hochdruckpumpen (ein- oder mehrstufig)</li> <li>– Fabrikat / Hersteller</li> <li>– Seriennummer</li> </ul>
<b>Auslegungsdaten (Datenschild)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fördermenge</li> <li>– Förderhöhe</li> <li>– Nennleistung (mechanisch) Motor:</li> <li>– Nennzahl Motor</li> <li>– Wirkungsgrad Motor bei Nennbelastung</li> <li>– Nennstrom Motor</li> <li>– <math>\cos \varphi</math> bei Nennbelastung</li> <li>– Nennspannung Motor</li> </ul>
<b>Betriebsstunden pro Jahr</b> (ablesen von Zählern)
<b>Strompreise</b> (ablesen von Stromrechnung)
<b>Messung Betriebspunkt</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– effektiver Volumenstrom</li> <li>– Förderhöhe gemessen</li> <li>– Strom Phase 1, 2 und 3</li> </ul>

Tab. 2 Datengrundlagen für Grobcheck zur Berechnung der Energiepotenziale einer Pumpe.

<b>Effektiver Volumenstrom <math>Q_{eff}</math></b>
<b>Manometrische Förderhöhe <math>\Delta p</math></b>
<b>Spannung U</b>
<b>Isolationswiderstand Motor</b>
<b>Stromstärke</b>
<b><math>\cos \varphi</math></b>
<b>Kennlinie (mind. 3 Punkte)</b>
<b>Mechanischer Zustand</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vibration</li> <li>– Ausrichtung</li> <li>– Kavitation</li> <li>– Wälzlagerzustand</li> <li>– Dichtungen</li> <li>– allgemeiner Zustand</li> <li>– Dokumentation</li> </ul>

Tab. 3 Minimale Datengrundlagen für den Feincheck.

### 3.1 Vorgehen

#### Grobcheck

Zunächst stellt sich für einen Betreiber die Frage, über welche *Potenziale* die einzelnen Pumpen verfügen und bei welchen sich eine detaillierte Analyse lohnt. Um diese Frage beantworten zu können, wird in der Forschungsarbeit ein Grobcheck entwickelt. Dieser Grobcheck soll möglichst einfach und rasch durchgeführt werden können. Er stützt sich deshalb auf *Datengrundlagen* ab, welche auf den Wasserversorgungen bereits verfügbar sind oder einfach erhoben werden können. In diesem ersten Schritt wird vorerst nur die Pumpe betrachtet; im Feincheck wird das *gesamte System*

beurteilt. Dementsprechend können die Potenziale schlussendlich durchaus grösser sein als im Grobcheck abgeschätzt.

Aufgrund der Angaben in *Tabelle 2* kann mit dem Grobcheck das Energiepotenzial der Pumpe im Vergleich zu einer optimierten Lösung ermittelt werden. Um zu klären, ob sich eine vertiefte Untersuchung, also ein Feincheck, lohnt, sind neben dem Energiepotenzial *weitere Faktoren* entscheidend, u.a.:

- Wie alt ist die Pumpe?
- In welchem Zustand ist die Pumpe?
- Muss die Pumpe ohnehin ersetzt werden?
- Treten betriebliche oder sonstige Probleme auf?
- Sind beim Antrieb Optimierungspotenziale zu erkennen?
- Sind beim Gesamtsystem Optimierungspotenziale zu erkennen?
- Wie hoch sind die Stromtarife (Rp./kWh)?

Aus dem Energiesparpotenzial oder noch besser den finanziellen Einsparpotenzialen über die Lebensdauer einer neuen Pumpe sowie dem Handlungsbedarf aufgrund der qualitativen Faktoren kann beurteilt werden, ob sich bei einer Pumpe bzw. bei welcher Pumpe des gesamten Parkes ein Feincheck lohnt.

#### Feincheck

Mit dem Feincheck werden dann die Energiepotenziale des Gesamtsystems detaillierter analysiert, es werden eine optimale Lösung ermittelt und zusätzlich auch die Kosten und die Wirtschaftlichkeit dieser Lösungen berechnet.

Der Feincheck ist ein Arbeitsinstrument zur genauen Analyse einer Optimierung von bestehenden oder einer optimalen neuen Pumpe bzw. des Gesamtsystems. Der Feincheck

ist damit ein interessantes Arbeitsinstrument für Fachleute, sei es für Planer oder für qualifiziertes eigenes Fachpersonal einer Wasserversorgung. Der Feincheck liefert die Grundlagen, damit der Betreiber entscheiden kann, ob er eine Pumpe ersetzen und eine Planung durchführen soll.

Einerseits wird mit dem Feincheck der Stromverbrauch minimiert. Andererseits wird aber auch die Wirtschaftlichkeit berücksichtigt, wobei selbstverständlich nicht nur die Investitionen bzw. Kapitalkosten, sondern insbesondere die Kosten für den Stromverbrauch und für Wartung/Unterhalt über die Lebensdauer der Pumpe berücksichtigt werden. An erster Stelle steht aber immer die vorgegebene Aufgabe, eine bestimmte Wassermenge mit ihrem Tages- und Jahresgang sicher und zuverlässig von A nach B zu bringen (*Tab. 3*).

### 3.2 Erste Resultate

Betreiber von Wasserversorgungen wurden im Zuge einer SVGW-Umfrage und an der Brunnenmeistertagung angefragt, ob sie an der Aktion «Pumpencheck» mitmachen möchten. Zahlreiche Betreiber haben sich gemeldet, sechs davon hatten die Mitarbeit zugesichert und entsprechende Unterlagen zugestellt. So konnten für insgesamt 23 Pumpen die *theoretischen Potenziale* berechnet werden. Diese liegen zwischen 0 und 26%. Aufgrund zusätzlicher qualitativer Angaben wurde der Handlungsbedarf abgeschätzt und eine *Prioritätenliste* erstellt.

Bei *fünf Wasserversorgungen* wird nun ein Feincheck gestartet. Erst werden die bisherigen Angaben überprüft und die notwendigen Messungen durchgeführt. Aufgrund der Messergebnisse und der gesammelten Erfahrungen von

Das **Handbuch** «Energie in der Wasserversorgung» vermittelt das Fachwissen und Praxistipps zur Energieoptimierung. Behandelt werden nicht nur die Bereiche der Sparmassnahmen bei den Pumpen, der Wasseraufbereitung, der Verminderung der Wasserverluste, der eigenen Betriebs- und Verwaltungsgebäude oder des Lastmanagements. Es werden auch die Möglichkeiten zur Stromproduktion mit Trinkwasserkraftwerken und eine – sinnvolle – Wärmegewinnung aus dem Wassernetz zur Beheizung von Gebäuden mittels Wärmepumpen aufgezeigt. Das Handbuch ist für die Wasserversorgungen ein umfassender Ratgeber zum Energiethema und ein Planungshilfsmittel für Ingenieure.

Das Handbuch kann von Wasserversorgungen und Planern in der Schweiz in begrenzter Anzahl kostenlos bezogen werden; Wasserversorgungen oder Planer aus dem Ausland können das Handbuch gegen Zahlung der Versandkosten erhalten.

Bezug: [mueller@infrastrukturanlagen.ch](mailto:mueller@infrastrukturanlagen.ch) oder Fax +41 (0)44 226 30 99 bei EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen.

den verschiedenen Seiten wird das Vorgehen nochmals überprüft und allenfalls angepasst und die Arbeitsinstrumente für den Grob- und Feincheck entwickelt.

Im Herbst 2009 sind *erste Resultate* des Feinchecks an diesen konkreten Objekten zu erwarten und werden in einem *Zwischenbericht* zusammengefasst. Der Pumpenersatz soll bis in einem Jahr vollzogen sein, so dass die Messresultate Ende nächsten Jahres zu erwarten sind.

#### 4. Fazit

Mit dem Einbezug von Herstellern, Spezialisten, Hochschule sowie Planern und Betreibern aus dem Wasserfach konnte mit verschiedenen beteiligten Kreisen ein intensiver *Erfahrungsaustausch* aufgebaut werden, was auch eine gegenseitige Vertiefung des Know-hows ermöglichte. Da die beteiligten Her-

steller zu den Schweizer Marktführern gehören, kann sichergestellt werden, dass die Forschungsergebnisse direkt einfließen und in der Praxis zu Energieeinsparungen führen. Durch den Einbezug von EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen soll gewährleistet werden, dass diese neuen Arbeitsinstrumente bei den Planern und Betreibern durch ein *neutrales Kompetenzzentrum* verbreitet werden können. Nicht nur die Arbeitsinstrumente Grob- und Feincheck, sondern auch entsprechende Beratungen und Schulungen, damit die grossen Energiepotenziale auch umgesetzt werden können, sollen angeboten werden.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Schmid, F.; Kilchmann, T.; Kamm, U.; Kobel, B.; Müller, E.A. et al. (2004): Handbuch «Energie in der Wasserversorgung», Ratgeber zur Energiekosten- und Betriebsoptimierung, EnergieSchweiz und SVGW, Bern/Zürich.

- [2] Müller, E.A.; Kobel, B.; Marugg, R. (2003): Energie in Wasserversorgungen – Betriebskostenoptimierung mit Grob- und Feinanalysen, EnergieSchweiz und SVGW, Bern/Zürich (zu beziehen bei [www.svgw.ch](http://www.svgw.ch)).
- [3] Müller, E.A.; Kempf, St.; Kobel, B. (2002): Betriebskostenoptimierung mit systematischer Energieoptimierung – Am Beispiel der Wasserversorgung Frenkendorf, in gwa 6/02, Zürich.
- [4] Müller, E.A. (2008): Stromproduktion mit Trinkwasserkraftwerken, Wasserfachtagung des SVGW, Biel.
- [5] Müller, E.A.; Kobel, B.; Schmid, F. (2008): Handbuch «Energie in ARA», Bundesamt für Energie, VSA, Zürich.
- [6] Baumann, R. (2009): Vorgehen beim Pumpenersatz zur Optimierung der Wirkungsgrade und Senkung der Kosten, VTA-Aktuell, Schlieren.
- [7] Tanner, R. (2003): OPAL-Erweiterung mit Lüfter- und Pumpensystemen, Bundesamt für Energie, Bern/Basel.
- [8] Plath, M.; Wichmann, K. (2009): Energetische Bewertung der Wassergewinnung und Wasseraufbereitung, energie/wasserpraxis 4/09, Bonn.
- [9] Schmid, F. (2008): Ökostrom aus Trinkwasser, in Bulletin SEV/AES 2/2008, Zürich

#### Keywords

Kostenoptimierung – Energieeffizienz – Ersatzstrategien – Pumpencheck

#### Adresse der Autoren

Ernst A. Müller  
Leiter EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen  
Gessnerallee 38a  
CH-8001 Zürich  
Tel. +41 (0)44 226 30 90  
Fax +41 (0)44 226 30 99  
[mueller@infrastrukturanlagen.ch](mailto:mueller@infrastrukturanlagen.ch)  
[www.infrastrukturanlagen.ch](http://www.infrastrukturanlagen.ch)

Beat Kobel  
[beat.kobel@rysering.ch](mailto:beat.kobel@rysering.ch)

Yann Roth  
[yann.roth@rysering.ch](mailto:yann.roth@rysering.ch)

Ryser Ingenieure AG  
Engestrasse 9  
CH-3000 Bern 9  
Tel. +41 (0)31 569 03 03  
Fax +41 (0)31 569 03 04

