

Leitfaden

zur Optimierung der Energienutzung bei
Wasserversorgungsanlagen





Nachhaltig für Natur und Mensch / Sustainable for nature and mankind

Lebensqualität / Quality of life

Wir schaffen und sichern die Voraussetzungen für eine hohe Qualität des Lebens in Österreich /
We create and we assure the requirements for a high quality of life in Austria

Lebensgrundlagen / Bases of life

Wir stehen für versorgende Verwaltung und verantwortungsvolle Nutzung der Lebensgrundlagen Boden, Wasser, Luft, Energie und biologische Vielfalt. / *We stand for a preventive conservation as well as responsible use soil, water, air, energy and bioversity*

Lebensraum / Living environment

Wir setzen uns für eine umweltgerechte Entwicklung und den Schutz der Lebensräume in Stadt und Land ein. / *We support an environmentally friendly development and the protection of living environments in urban and rural areas.*

Lebensmittel / Food

Wir sorgen für die nachhaltige Produktion insbesondere sicherer und hochwertiger Lebensmittel und nachwachsender Rohstoffe. / *We ensure sustainable production in particular of safe and high-quality food as well as renewable resources*

Impressum

Medieninhaber, Herausgeber, Copyright:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft,
Sektion VII Wasser
Marxergasse 2, 1030 Wien

Alle Rechte vorbehalten

Gesamtkoordination:

DI Ernest Mayr
Universität für Bodenkultur Wien

AutorInnen:

DI Ernest Mayr
DDI Aditya Lukas
Priv.-Doz. DI Dr. Reinhard Perfler

Institut für Siedlungswasserbau,
Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz
Universität für Bodenkultur Wien

Der Leitfaden wurde in Zusammenarbeit mit 30 Wasserversorgern in ganz Österreich, dem Lebensministerium und Ländervertretern, der ÖVGW, OÖWasser und der Fa. Abel Pumpen & Turbinen GmbH erarbeitet und abgestimmt.

Wien, März 2012

Bildnachweis, Produktion und Druck:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier mit Pflanzenfarben.



Vorwort



Die langfristige und sichere Versorgung der Bevölkerung mit qualitativ hochwertigem Trinkwasser ist seit langem ein vorrangiges Ziel der österreichischen Wasserpolitik. In Österreich werden bereits mehr als 90 Prozent der Bevölkerung zentral über das öffentliche Wasserleitungsnetz versorgt. Das trägt wesentlich zur hohen Lebensqualität in unserem Land bei. Nun geht es darum, diese ausgezeichnete Situation auch für die Zukunft abzusichern.

Auch in einem wasserreichen Land wie Österreich mit hoher Versorgungssicherheit in den meisten Regionen ist es unbedingt erforderlich, sich mit zukünftigen Herausforderungen und sich ändernden und oft nicht beeinflussbaren Rahmenbedingungen frühzeitig auseinander zu setzen. Ein wichtiges Thema sind in diesem Zusammenhang sicherlich die Effizienzsteigerungen beim Energieeinsatz und die damit verbundenen Kosteneinsparungen. Uns ist es ein wichtiges Anliegen, möglichst alle Potenziale bei der Energieeffizienz der Anlagen aber auch bei der Erschließung sinnvoll nutzbarer erneuerbarer Energiequellen auszuschöpfen. Und das Gute dabei ist, dass es beispielsweise durch die Erzeugung von erneuerbarer Energie durch Trinkwasserkraftwerke in Kombination mit einer qualitativ hochwertigen Trinkwasserversorgung zu Synergien kommt: so können gleich mehrere Ziele wie etwa Klimaschutz und gleichzeitige Senkung der Betriebskosten erreicht werden.

Angesichts der komplexen Verfahrensabläufe auf Wasserversorgungsanlagen ist eine systematische Vorgangsweise bei der Energieoptimierung unerlässlich. Schließlich bin ich überzeugt, dass auch die Trinkwasserwirtschaft ihren Beitrag zum Klimaschutz und der Umsetzung der Energiestrategie leisten wird.

DI Niki Berlakovich

Umwelt- und Landwirtschaftsminister

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	5
Zielsetzungen	5
Aufbau des Leitfadens	5
Schritt 1: Feststellung des IST-Zustands.....	6
Schritt 2: Abweichungsanalyse.....	6
Schritt 3: Beurteilung Gesamtsystem und Maßnahmen.....	6
Analyse und Beurteilung des energetischen Zustands	7
1 Schritt 1: Feststellung des IST-Zustands.....	7
1.1 Übersicht über Stromverbrauch und Stromproduktion	7
1.2 IST-Zustand: Aufbereitung und Desinfektion.....	9
1.3 IST-Zustand: Pumpen.....	10
2 Schritt 2: Abweichungsanalyse.....	18
2.1 Abweichungsanalyse: Aufbereitung und Desinfektion	18
2.2 Abweichungsanalyse: Pumpen	19
2.3 Wasserverluste	22
2.4 Trinkwasserkraftwerke.....	22
2.5 Wärmenutzung	24
3 Schritt 3: Beurteilung Gesamtsystem und Maßnahmen.....	25
3.1 Beurteilung Gesamtsystem.....	25
3.2 Maßnahmen.....	25
Literatur.....	38
Anhang A.....	39

Einleitung

Zielsetzungen

Ziel des Leitfadens ist es, Potentiale zur Energieeinsparung und Stromproduktion bei Wasserversorgungsanlagen aufzuzeigen und mögliche Umsetzungsmaßnahmen zur Optimierung darzustellen. Energieeinsparung geschieht einerseits durch Steigerung der Energieeffizienz (z.B. Steigerung des Wirkungsgrads von Pumpen) und andererseits durch Verringerung des Energieverbrauchs (z.B. Reduzierung der mit Pumpen geförderten Wassermenge durch vermehrte Nutzung frei zufließenden Quellwassers).

Mit dem Leitfaden wird einerseits ein Überblick über den energetischen Zustand einzelner Wasserversorgungsanlagen und andererseits eine Beurteilung der Energieeffizienz des Gesamtsystems durchgeführt. Der unmittelbare Nutzen von Maßnahmen zur Optimierung der Energienutzung für den Betreiber ist eine Senkung der Betriebskosten und eine Reduktion des CO₂-Ausstoßes. Die Beurteilung der Energieeffizienz des gesamten Wasserversorgungssystems dient dem Fördergeber als Grundlage für die Vergabe von Förderungen.

Der Leitfaden dient als Handlungsanleitung, um den energetischen IST-Zustand einer Wasserversorgung anhand von möglichst einfach ermittelbaren Kennzahlen festzustellen. Durch Vergleich dieser Kennzahlen mit den im Leitfaden angegebenen Richtwerten (Abweichungsanalyse) erfolgt die Identifizierung von Energieeinsparungspotentialen. Mit Hilfe des Leitfadens können weiters Potentiale zur Stromerzeugung identifiziert werden. Der Nachweis einer ausreichenden Energieeffizienz des gesamten Wasserversorgungssystems (Beurteilung Gesamtsystem) erfolgt auf Basis der Pumpen, da die Aufbereitung und Desinfektion in der Trinkwasserversorgung dem Hauptziel der Sicherung der Wasserqualität dienen und im Vergleich zum Pumpen geringe spezifische Stromverbräuche verursachen.

Für alle Maßnahmen zur Energieeinsparung und Stromerzeugung ist sicherzustellen, dass sie sich nicht nachteilig auf die Versorgungssicherheit und Wasserqualität auswirken. Viele Maßnahmen sind nur im Rahmen von Rehabilitationen bzw. Erweiterungen für die Betreiber wirtschaftlich. Neben der Kostenreduktion für die Betreiber sind Maßnahmen aus gesamtwirtschaftlicher Sicht und zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes sinnvoll.

Aufbau des Leitfadens

Mit dem Leitfaden wird eine Beurteilung einzelner Wasserversorgungsanlagen und eine Beurteilung des Gesamtsystems durchgeführt werden. Bei der Einzelbeurteilung werden Kennzahlen für die einzelnen Anlagen ermittelt und mit Richtwerten verglichen. Als Grundlage für Förderungen ist die Beurteilung des Gesamtsystems durchzuführen. Zusätzlich zur Beurteilung wird am Ende des Leitfadens eine systematisierte Optimierung der Energienutzung in den einzelnen Bereichen der Wasserversorgung mit Hilfe eines Maßnahmenkatalogs unterstützt.

Die Analyse und Beurteilung des energetischen Zustands des Wasserversorgungssystems erfolgt in drei Schritten entsprechend Abbildung 1.

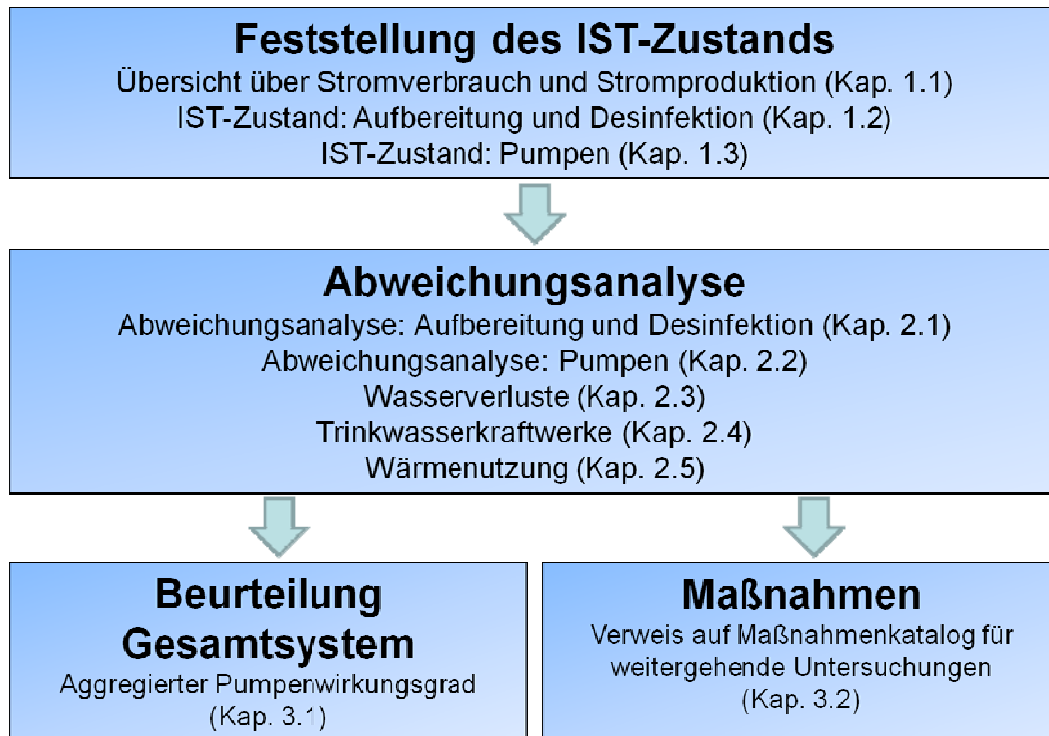


Abbildung 1. Aufbau des Leitfadens

Schritt 1: Feststellung des IST-Zustands

Im ersten Schritt erfolgt die Feststellung des IST-Zustands. Hierfür müssen Daten zu den einzelnen Anlagen erhoben werden. Grundsätzlich sind die Werte von Stromzählern, Wasserzählern, Manometern und Daten zu den Stromverbrauchern notwendig. Wichtig ist, dass die Werte von Zählern und Manometern für den gleichen Zeitraum verfügbar sind. Darüber hinaus können auch Strommessungen an einzelnen Verbrauchern zur Anwendung kommen. Aus diesen Daten können Kennzahlen ermittelt werden, die den energetischen IST-Zustand der einzelnen Anlagen beschreiben.

Schritt 2: Abweichungsanalyse

Im zweiten Schritt, der Abweichungsanalyse, werden Kennzahlen des IST-Zustands mit Richtwerten verglichen. Aus diesem Vergleich lassen sich Potentiale zur Energieeinsparung identifizieren. Somit kann eine Aussage getroffen werden, bei welchen Anlagen ein mögliches Optimierungspotential besteht. Außerdem werden Potentiale zur Stromproduktion ermittelt. Die Abweichungsanalyse dient zur Beurteilung auf Ebene einzelner Anlagen.

Schritt 3: Beurteilung Gesamtsystem und Maßnahmen

Der dritte Schritt besteht aus zwei Teilen:

Im ersten Teil erfolgt eine Beurteilung des Gesamtsystems auf Basis der Pumpenanlagen. Dafür werden die Pumpenwirkungsgrade der einzelnen Pumpenanlagen aggregiert. Als aggregierte Kennzahl für den Nachweis der Energieeffizienz des gesamten Wasserversorgungssystems wird dabei der Stromverbrauch der Pumpen herangezogen.

Im zweiten Teil wird anhand einer Checkliste auf mögliche Maßnahmen verwiesen. Je nach Rahmenbedingungen können daraus einzelne Maßnahmen ausgewählt und weiter untersucht werden.

Analyse und Beurteilung des energetischen Zustands

Die Durchführung der nachfolgenden Schritte erfolgt mit Hilfe der bereitgestellten Excel-Datei *Leitfaden.xls*. In dieser Datei werden die gesamten Daten zusammengestellt und ausgewertet. Die folgenden Kapitelüberschriften entsprechen den jeweiligen Tabellenblättern in *Leitfaden.xls*. Zusätzlich ist auch ein *Leitfaden_Beispiel.xls* mit Musterberechnungen bereitgestellt.

1 Schritt 1: Feststellung des IST-Zustands

In diesem Schritt wird zuerst eine Übersicht über Stromverbrauch und Stromproduktion der Wasserversorgung erstellt. Für diese Übersicht werden auch *sonstige Stromverbraucher* (z.B. in Speicherbauwerken, Bürogebäuden, Lagergebäuden, Rohrbruchsicherungen) zusammengestellt. Danach erfolgt die Erfassung des IST-Zustands der einzelnen Anlagen in den Bereichen *Aufbereitung und Desinfektion* sowie *Pumpen* (Brunnen, Pumpwerke, Drucksteigerungsanlagen).

1.1 Übersicht über Stromverbrauch und Stromproduktion

1.1.1 Allgemeine Betriebsdaten

Die allgemeinen Betriebsdaten werden in diesem Arbeitsschritt zusammengestellt. Der Energiebezug und die Energieabgabe in kWh werden für einen Abrechnungszeitraum angegeben. Die Systemeinspeisung und die realen Verluste in m³ müssen für denselben Zeitraum angegeben werden. Idealerweise ist der Zeitraum eines Abrechnungsjahres zu wählen.

Arbeitsschritte: Zusammenstellung der allgemeine Betriebsdaten

☞ Eintragen der allgemeinen Betriebsdaten in *Leitfaden.xls*. Die allgemeinen Betriebsdaten beziehen sich auf die gesamte Wasserversorgung:

- *Name des Wasserversorgungsunternehmens*
- *Adresse*
- *Kontaktperson für Datenerhebung*
- *Telefon*
- *Mobiltelefon*
- *Email*
- *Abrechnungszeitraum über ein Jahr für Energiebezug und -abgabe sowie Systemeinspeisung und reale Verluste*
- *Strombezug laut Rechnung in kWh/Jahr*
- *Aufwendungen für Strombezug in EUR/Jahr*
- *Stromproduktion in kWh/Jahr*
- *Stromabgabe ans Netz in kWh/Jahr*
- *Erträge aus Stromabgabe ans Netz in EUR/Jahr*
- *Systemeinspeisung m³/Jahr*
- *reale Verluste m³/Jahr*

1.1.2 Stromverbrauch nach Bereichen

Hier erfolgt die Ermittlung des Stromverbrauchs in den folgenden Bereichen der Wasserversorgung:

- *Aufbereitung und Desinfektion*
- *Pumpen (Brunnen, Pumpwerke, Drucksteigerungsanlagen)*
- *Sonstige Stromverbraucher (z.B. in Speicherbauwerken, Bürogebäuden, Lagergebäuden, Rohrbruchsicherungen)*

Zur Ermittlung des Stromverbrauchs in den einzelnen Bereichen der Wasserversorgung wird der gesamte Stromverbrauch eines Gebäudes bzw. einer Anlage einem dieser Bereiche zugeordnet. Zum Beispiel gehören alle Stromverbraucher eines Pumpwerks (inklusive Verbraucher wie z.B. Beleuchtung) zum Bereich *Pumpen*. Wenn jedoch in einem Gebäude bzw. einer Anlage mehrere Bereiche der Wasserversorgung (z.B. Pumpen sowie Aufbereitung und Desinfektion) abgedeckt werden, muss der Stromverbrauch dieser Anlage entsprechend auf diese Bereiche aufgeteilt werden.

Ergebnis ist ein Überblick des Stromverbrauchs nach Bereichen der Wasserversorgung für die Festlegung der Prioritäten zur weiteren Vorgehensweise. *Sonstige Stromverbraucher* dienen dabei als Hilfsgröße und werden im Leitfaden keiner weiteren Beurteilung unterzogen. Je nach Anteil der sonstigen Stromverbraucher am Gesamtstromverbrauch können diese jedoch durch die Betreiber weiter betrachtet werden (vgl. Kap. 3.2)

Arbeitsschritte: Ermittlung des Stromverbrauchs nach Bereichen

- ☞ Zusammenstellen aller Stromzählerdaten (Abrechnungszähler, Subzähler etc.) für den gewählten Zeitraum des Abrechnungsjahres.
- ☞ Wenn ein Stromzähler Stromverbraucher mehrerer Bereiche der Wasserversorgung erfasst (z.B. ein Stromzähler für ein Gebäude mit Netzpumpen, Aufbereitungs- und UV-Anlagen) muss der Stromverbrauch auf die entsprechenden Bereiche aufgeteilt werden. Diese Aufteilung kann mithilfe der Aufzeichnung von Betriebsstunden im betrachteten Zeitraum und der Nennleistung der Verbraucher erfolgen. In *Leitfaden.xls* in Blatt 1.2 kann mit Hilfe eines Hilfsrechners der Stromverbrauch je Aufbereitungsanlage abgeschätzt werden. Um den Fehler der Abschätzung so gering wie möglich zu halten sollten immer die kleineren Verbraucher abgeschätzt werden.
- ☞ Eintragen der Stromzählerdaten in *Leitfaden.xls*:
 - *Name der Anlage*
 - *Bezeichnung des Stromzählers*
 - *Laufende Nummer des Stromzählers (Wichtig für die Zuordnung von Pumpengruppen)*
 - *Stromverbrauch laut Stromzähler in kWh/Jahr*
 - *Aufteilung dieses Stromverbrauchs in kWh/Jahr zu den oben genannten Bereichen*
- ☞ Ergebnis: Darstellung in *Leitfaden.xls*: Blatt 1.1.2 *Stromverbrauch nach Bereichen*

Bereiche der Wasserversorgung	Stromverbrauch
Aufbereitung und Desinfektion	in kWh/Jahr
Pumpen	in kWh/Jahr
Sonstige Stromverbraucher	in kWh/Jahr
Gesamtstromverbrauch	in kWh/Jahr

1.1.3 Vorhandene Stromproduktion

Die Stromproduktion aller vorhandenen Anlagen ist ebenfalls für denselben Zeitraum eines Jahres zu erfassen.

Arbeitsschritte: Ermittlung der vorhandenen Stromproduktion

- ☞ Zusammenstellen aller Stromzählerdaten für die Stromproduktion des Abrechnungsjahres
- ☞ Eintragen der Stromzählerdaten in *Leitfaden.xls*:
 - *Name der Anlage*
 - *Stromproduktion laut Stromzähler in kWh/Jahr*

☞ Ergebnis: Darstellung in *Leitfaden.xls: Blatt 1.1.3 Vorhandene Stromproduktion*

Name der Anlage	Stromproduktion
Anlage 1	in kWh/Jahr
Anlage 2	in kWh/Jahr
Gesamte Stromproduktion	in kWh/Jahr

1.2 IST-Zustand: Aufbereitung und Desinfektion

Grundsätzliche haben Aufbereitungs- und Desinfektionsanlagen im Vergleich zum Pumpen (Brunnen, Pumpwerke, Drucksteigerungsanlagen) in Österreich erfahrungsgemäß einen sehr geringen spezifischen Stromverbrauch. Daher ist aus der Darstellung des Stromverbrauchs nach Bereichen (siehe Ergebnis Abschnitt 1.1.2) abzuschätzen, ob eine weitere Betrachtung sinnvoll ist.

Zur Feststellung des energetischen IST-Zustands von Aufbereitungs- und Desinfektionsanlagen wird der spezifische Stromverbrauch ermittelt. Dazu sind für jede Aufbereitungs- und Desinfektionsanlage der Stromverbrauch und die aufbereitete/desinfizierte Wassermenge in einem betrachteten Zeitraum notwendig. Der Zeitraum kann für jede Anlage je nach vorhandenen Daten gewählt werden, da er nur zur Beurteilung der einzelnen Anlage dient. Der Zeitraum sollte jedoch repräsentativ für den Normalbetrieb und im Idealfall wiederum ein Jahr sein. Für jede Anlage muss der Stromverbrauch für die Aufbereitung (z.B. Zwischen-, Dosier-, Rückspülpumpen und Kompressoren), der Stromverbrauch zur Desinfektion (z.B. UV-Anlage) und der Stromverbrauch der Pumpen zur Wassergewinnung- und -verteilung (z.B. Brunnen- und Netzpumpen) getrennt ermittelt werden. Dabei sind zwei Fälle zu unterscheiden:

- Im ersten Fall gibt es eigene Stromzähler (Anlagen- und Subzähler). Subzähler können auch temporär zur Ermittlung des Stromverbrauchs eingebaut werden.
- Im zweiten Fall müssen die Stromverbräuche für die Aufbereitung oder Desinfektionsanlage abgeschätzt werden. Bei UV-Anlagen kann eine Abschätzung des Stromverbrauchs auf Basis der Betriebsstunden und der Anlagendaten (Leistung) abgeschätzt werden. In *Leitfaden.xls* (Blatt 1.2) kann mit Hilfe eines Hilfsrechners der Stromverbrauch je Aufbereitungsanlage abgeschätzt werden.

Ergebnis ist der spezifische Stromverbrauch für jede Aufbereitungs- und Desinfektionsanlage.

$$E_{spez} = \frac{E_{gem}}{V} \quad (1)$$

mit E_{spez} ... spezifischer Stromverbrauch [kWh/m³]

E_{gem} ... Stromverbrauch im betrachteten Zeitraum [kWh]

V ... Aufbereitetes/desinfiziertes Volumen im betrachteten Zeitraum [m³]

Arbeitsschritte: Stromverbrauch – Aufbereitung und Desinfektion

- ☞ Bestimmung eines Zeitraums, in dem sowohl Wasserzählerdaten wie auch Stromzählerdaten für die Anlagen vorhanden sind. Für jede Anlage kann je nach vorhandenen Daten ein eigener Zeitraum gewählt werden. Der Zeitraum sollte repräsentativ für den Normalbetrieb und im Idealfall ein Jahr sein.
- ☞ Zusammenstellen der Stromzählerdaten für jede einzelne Aufbereitungs- bzw. Desinfektionsanlage für den gewählten Zeitraum bzw. Abschätzung des Stromverbrauchs auf Basis der Betriebsstunden und der Anlagendaten (Leistung)
- ☞ Zusammenstellen der Wasserzählerdaten (aufbereitete/desinfizierte Wassermenge) für jede einzelne Aufbereitungs- bzw. Desinfektionsanlage für den gewählten Zeitraum

☞ Eintragen der Daten in *Leitfaden.xls*:

- Name der Anlage
- Art der Aufbereitung/Desinfektion
- gewählter Zeitraum t (in Tagen)
- Stromverbrauch der Aufbereitungs- bzw. Desinfektionsanlage in kWh im gewählten Zeitraum
- Aufbereitete/desinfizierte Wassermenge in m^3 im gewählten Zeitraum t

☞ Ergebnis: Darstellung in *Leitfaden.xls*: Blatt 1.2 Aufbereitung und Desinfektion

Name der Anlage	spezifischer Stromverbrauch
Name Anlage 1	Wh/m ³
Name Anlage 2	Wh/m ³
Name Anlage 3	Wh/m ³

1.3 IST-Zustand: Pumpen

In *Leitfaden.xls* werden die Reibungsverluste in Rohrleitungen in den jeweiligen Blättern der Datenaufnahme zur Pumpenbeurteilung ermittelt und auch die zugehörigen Richtwerte hierfür angegeben (Blatt 1.3.2.1, 1.3.2.2 und 1.3.2.3). Zur besseren Erklärung werden die Reibungsverluste in Rohrleitungen im Folgenden Kapitel jedoch getrennt beschrieben.

1.3.1 Reibungsverluste in Rohrleitungen

Hohe Reibungsverluste in Rohrleitungen führen unabhängig vom Wirkungsgrad der Pumpenaggregate zu erhöhtem Stromverbrauch. Diese können durch ungünstige Armaturen und zu kleine Rohrdimensionierung verursacht werden. Bei einer Optimierung des Rohrnetzes bzw. der Pumpwerke müssen die Reibungsverluste hinsichtlich der derzeitigen bzw. zukünftigen Versorgungssituation berücksichtigt werden. Zur Feststellung der Reibungsverluste sind ein Manometer sowie die geodätischen Höhenverhältnisse bzw. der Zieldruck je Pumpengruppe erforderlich.

Ergebnis ist der Reibungsverlust, der in Bezug auf die Leitungslänge beurteilt werden kann.

Arbeitsschritte: Stromverbrauch – Reibungsverluste in Rohrleitungen

- ☞ Definieren von Pumpengruppen innerhalb von Brunnenanlagen, Pumpwerken und Drucksteigerungsanlagen: Pumpen, die in einer Gruppe zusammengefasst werden, müssen den gleichen Druckverhältnissen unterliegen.
- ☞ Ermittlung der geodätischen Höhe des Manometers für jede Pumpengruppe
- ☞ Bei Pumpen die in Behälter fördern: Ermittlung der mittleren geodätischen Höhe des Behälterwasserspiegels bzw. der Auslaufhöhe bei freiem Auslauf und der Leitungslänge zum Behälter
- ☞ Bei Netzpumpen: Ermittlung der geodätischen Höhe des kritischsten Punkts im betrachteten Netzabschnitt (hydraulisch ungünstigster Punkt dieses Netzabschnitts) und des mittleren Betriebsdrucks (Netzdruck) in diesem Punkt für jede Pumpengruppe sowie der Leitungslänge der kürzesten Verbindung zu diesem Punkt

Hinweis zur Ermittlung des kritischsten Punkts im Netzabschnitt:

Bei Netzabschnitten mit annähernd konstanten Höhenverhältnissen kann der entfernteste Punkt herangezogen werden. Bei größeren Höhenunterschieden im Netzabschnitt muss entschieden werden ob der höchste Punkt, der entfernteste Punkt bzw. die Kombination aus Höhe und Entfernung den ungünstigsten und damit kritischsten Punkt bildet (z.B. mittlere Höhe und weite Entfernung ergeben den

kritischsten Punkt). Bei ungleichmäßigem Verbrauch im Netzabschnitt mit einzelnen Großverbrauchern müssen diese bei der Auswahl berücksichtigt werden.

- ☞ Ablesen des Betriebsdrucks am Manometer bei jeder Pumpengruppe
- ☞ Eintragen der Daten in *Leitfaden.xls* zusätzlich zu den für die Pumpenbeurteilung notwendigen Daten je definierter Pumpengruppe:
 - in Blatt 1.3.2.1: Leitungslänge zum Behälter bzw. kritischsten Punkt in m; Netzdruck im kritischsten Punkt in m; geodätischen Höhenunterschied in m (Unterscheidung zw. Pumpen in einen Behälter und Pumpen ins Netz)
 - in Blatt 1.3.2.2: Leitungslänge zum Behälter bzw. kritischsten Punkt in m; geodätischer Höhenunterschied zwischen Wasserspiegel und kritischsten Punkt in m; Netzdruck im kritischsten Punkt in m; mittlere Förderhöhe über den betrachteten Zeitraum t
 - in Blatt 1.3.2.3: Leitungslänge zum Behälter bzw. kritischsten Punkt in m; Netzdruck im kritischsten Punkt in m; geodätischer Höhenunterschied zwischen unterem Wasserspiegel und kritischsten Punkt in m

☞ Ergebnis: Darstellung in *Leitfaden.xls*: Blatt 1.3.2.1, Blatt 1.3.2.2 und Blatt 1.3.2.3

Name der Anlage	Bezeichnung Pumpengruppe	Reibungsverluste
Anlage 1	Pumpengruppe 1	in m
Anlage 2	Pumpengruppe 1	in m
	Pumpengruppe 2	in m

1.3.2 Pumpenaggregate

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten zur Feststellung des energetischen IST-Zustands von Pumpenaggregaten (Brunnen, Pumpwerke, Drucksteigerungsanlagen). Einerseits mit Hilfe der nachfolgend vorgestellten Methode basierend auf vorhandenen Betriebsdaten und andererseits durch eine Pumpenmessung. Ist die Ermittlung des Stromverbrauchs der Pumpenaggregate, der geförderten Wassermenge oder der Förderhöhe in einem Zeitraum nicht möglich, ist die Pumpenmessung notwendig (siehe Abschnitt 1.3.2.3).

Der Gesamtwirkungsgrad der Pumpenaggregate kann aufgrund von vorhandenen Daten ermittelt werden. Die Ermittlung des Gesamtwirkungsgrads basiert dabei auf der Berechnung der hydraulischen Energie (theoretisch notwendigen Pumpenergie bei 100% Wirkungsgrad), die aufgrund von Förderhöhen und Fördervolumen berechnet werden kann. Durch Vergleich der notwendigen hydraulischen Energie mit dem tatsächlichen Stromverbrauch im betrachteten Zeitraum wird der Gesamtwirkungsgrad berechnet. Dazu sind für jede einzelne Anlage der Stromverbrauch der Pumpenaggregate, die geförderte Wassermenge und die Förderhöhe in einem betrachteten Zeitraum notwendig. Dieser Zeitraum sollte repräsentativ für den Normalbetrieb und im Idealfall ein Jahr sein.

Stromverbrauch der Pumpenaggregate

Der Stromverbrauch der Pumpenaggregate muss von den übrigen Verbrauchern getrennt ermittelt werden. Oft gibt es nur einen Stromzähler pro Anlage. Um in diesen Fällen den Stromverbrauch der Pumpenaggregate zu ermitteln, muss der Stromverbrauch übriger Verbraucher abgeschätzt und vom gezählten Stromverbrauch abgezogen werden. Die Abschätzung des Stromverbrauchs übriger Verbraucher kann auf Basis der Betriebsstunden und der Leistungsdaten erfolgen (in *Leitfaden.xls* kann hierfür der Hilfsrechner in Blatt 1.2 herangezogen werden). Um den Fehler der Abschätzung so gering wie möglich zu halten sollten immer die kleineren Verbraucher abgeschätzt werden.

Förderhöhe

Je nach Ermittlung der Förderhöhe sind zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Pumpengruppen mit annähernd konstanten Druckverhältnissen

Pumpen dieser Gruppe haben relativ konstante Förderhöhen. Dazu gehören z.B. Pumpen, die in Behälter fördern und druckgeregelt Pumpen (siehe Abbildung 2). Die Förderhöhe kann mit Hilfe eines Manometers (Förderhöhe = $H_1 + M$) ermittelt werden bzw. durch Berechnung der Reibungsverluste (Förderhöhe = $H + \text{Reibungsverluste}$). Dabei sind mittlere Wasserspiegelhöhen anzusetzen.

Pumpengruppen mit konstanten Druckverhältnissen

$$\text{Förderhöhe} = H_1 + M = H + \text{Reibungsverluste}$$

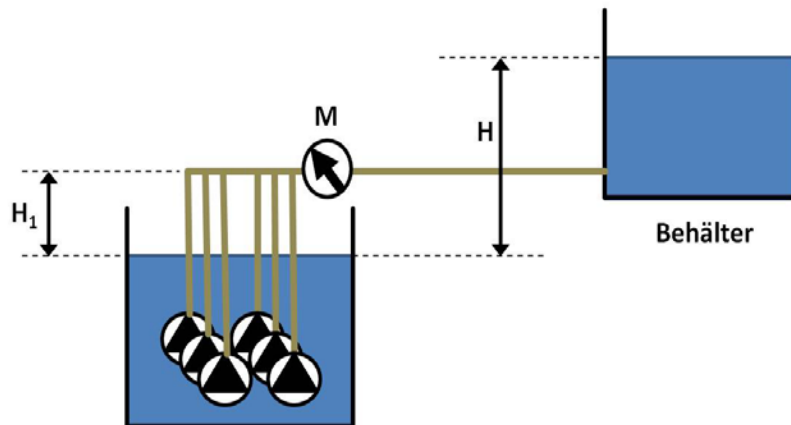


Abbildung 2. Pumpengruppen mit konstanten Druckverhältnissen

2. Pumpengruppen mit variablen Druckverhältnissen

Pumpen dieser Gruppe haben variable Förderhöhen. Dazu gehören z.B. Pumpen, die direkt ins Netz und durch das Netz in Gegenbehälter fördern (siehe Abbildung 3). Die Förderhöhe kann mit Hilfe eines druckseitigen Manometers (Förderhöhe = $H_1 + M_1$) oder mit Hilfe von saug- und druckseitigen Manometern (Förderhöhe = $M_1 + M_2 + H_2$) ermittelt werden. Da die Förderhöhe variiert, ist unbedingt eine kontinuierliche Aufzeichnung der Manometerwerte über den betrachteten Zeitraum notwendig.

Pumpengruppen mit variablen Druckverhältnissen

$$\text{Förderhöhe} = H_1 + M_1 = M_1 + M_2 + H_2$$

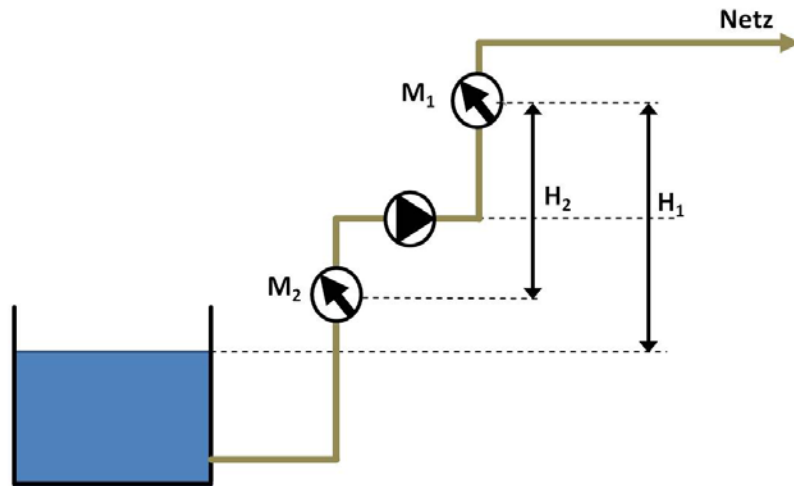


Abbildung 3. Pumpengruppen mit variablen Druckverhältnissen

Fördervolumen

Das Fördervolumen muss für die einzelnen Pumpengruppen im betrachteten Zeitraum mit Hilfe von Wasserzählern bzw. Durchflussmessern erfasst werden.

Ergebnis ist der Gesamtwirkungsgrad der Pumpenaggregate:

$$\eta_g = \frac{E_{hydr}}{E_{gem}} \quad (2)$$

mit η_g ... Gesamtwirkungsgrad der Pumpenaggregate [-]

E_{gem} ... Stromverbrauch im betrachteten Zeitraum [kWh]

E_{hydr} ... hydraulische Energie [kWh]

$$E_{hydr} = \frac{V \cdot H_A \cdot \rho \cdot g}{10^3 \cdot 3600} \quad (3)$$

mit E_{hydr} ... hydraulische Energie [kWh]

V ... Fördervolumen im betrachteten Zeitraum [m^3]

H_A ... Förderhöhe [m]

ρ ... Dichte des Wassers [kg/m^3]

g ... Erdbeschleunigung [m/s^2]

$\rho = 999,7 \text{ kg/m}^3$ (bei 10°C)

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

1.3.2.1 Pumpengruppen mit konstanten Druckverhältnissen

Arbeitsschritte: Stromverbrauch – Pumpengruppen mit konstanten Druckverhältnissen

- ☞ Definieren von Pumpengruppen innerhalb von Brunnenanlagen, Pumpwerken und Drucksteigerungsanlagen: Pumpen, die in einer Gruppe zusammengefasst werden, müssen den gleichen Druckverhältnissen unterliegen. Jeder dieser Pumpengruppen muss ein Wasserzähler zugeordnet werden. Jedoch können mehrere Pumpengruppen einem einzigen Stromzähler zugeordnet werden.
- ☞ Ermittlung der mittleren Leistung innerhalb jeder Pumpengruppe in kW
- ☞ Bestimmung eines Zeitraums, in dem sowohl Wasserzählerdaten wie auch Stromzählerdaten für die Pumpengruppen vorhanden sind. Für alle Pumpengruppen ist ein und derselbe Zeitraum zu wählen. Der Zeitraum sollte repräsentativ für den Normalbetrieb und im Idealfall ein Jahr sein. In *Leitfaden.xls* wird der Zeitraum (in Tagen) in Blatt 1.3.2.1 (Zelle I5) für alle Pumpengruppen festgelegt.
- ☞ Ermittlung der Förderhöhe für jede Pumpengruppe mit Hilfe der Manometerwerte, der geodätischen Höhen der Manometer und der mittleren Wasserspiegelhöhen entsprechend Abbildung 2. Wird die Förderhöhe ohne Manometer bestimmt, müssen die Reibungsverluste berücksichtigt werden.
- ☞ Ermittlung der geförderten Wassermenge für jede Pumpengruppe anhand von Wasserzählerdaten im gewählten Zeitraum.
- ☞ Zusammenstellung der Stromverbräuche laut Stromzähler im gewählten Zeitraum
- ☞ Eintragen der Daten in *Leitfaden.xls* in Blatt 1.3.2.1
 - *Name der Anlage*
 - *Bezeichnung der Pumpengruppe*
 - *Bezeichnung des Wasserzählers der Pumpengruppe*
 - *Bezeichnung des Stromzählers der Pumpengruppe*
 - *laufende Nummer des Stromzählers (Achtung: die einzelnen Pumpengruppen werden auf Basis dieser Nummer automatisch gewichtet und berechnet)*
 - *Mittlere Leistung der Pumpen in der Pumpengruppe in kW*
 - *Aufstellungsart der Pumpen in der Pumpengruppe*
 - *Gewählter Zeitraum t in Tagen*
 - *Förderhöhe (= $H_1 + M = H + \text{Reibungsverluste}$) in m*
 - *geförderte Wassermenge im gewählten Zeitraum in m³*
- ☞ Eintragen der Daten in *Leitfaden.xls* in Blatt 1.3.2
 - *Name der Anlage*
 - *Bezeichnung des Stromzählers*
 - *laufende Nummer des Stromzählers (Achtung: die einzelnen Pumpengruppen werden auf Basis dieser Nummer automatisch gewichtet und berechnet)*
 - *Stromverbrauch lt. Stromzähler im gewählten Zeitraum in kWh*

☞ Ergebnis: Darstellung in *Leitfaden.xls: Blatt 1.3.2 Pumpengruppen nach Stromzähler*

Name der Anlage	Bezeichnung Stromzähler	laufende Nr.	Stromverbrauch lt. Stromzähler	hydraulische Energie aller Pumpengruppen an diesem Stromzähler	Gesamtwirkungsgrad
Anlage 1	Stromzähler 1	1	kWh	in kWh	in %
Anlage 2	Stromzähler 1	2	kWh	in kWh	in %

1.3.2.2 Pumpengruppen mit variablen Druckverhältnissen

Da die Förderhöhe variiert, ist unbedingt eine kontinuierliche Aufzeichnung der Manometerwerte für jede Pumpengruppe über den betrachteten Zeitraum notwendig (z.B. 15-Minuten-Werte bzw. Stundenwerte). Wichtig ist dabei, dass es sich bei den Werten um das Wasservolumen (l oder m³) bzw. den Stromverbrauch (kWh) in den Zeitintervallen handelt und nicht um Momentanwerte des Durchflusses (l/s) oder der Leistung (kW) an bestimmten Zeitpunkten. Zur Ermittlung der hydraulischen Energie müssen für jede Pumpengruppe das Produkt aus Förderhöhe und Fördervolumen in jedem Messintervall berechnet werden und anschließend summiert werden. In Anhang A ist dazu ein Berechnungsbeispiel angegeben.

Arbeitsschritte: Stromverbrauch – Pumpengruppen mit variablen Druckverhältnissen

- ☞ Definieren von Pumpengruppen innerhalb von Brunnenanlagen, Pumpwerken und Drucksteigerungsanlagen: Pumpen, die in einer Gruppe zusammengefasst werden, müssen den gleichen Druckverhältnissen unterliegen. Jeder dieser Pumpengruppen muss ein Wasserzähler zugeordnet werden. Jedoch können mehrere Pumpengruppen einem einzigen Stromzähler zugeordnet werden.
- ☞ Ermittlung der mittleren Leistung innerhalb jeder Pumpengruppe in kW
- ☞ Bestimmung eines Zeitraums, in dem sowohl Wasserzählerdaten, Manometerdaten, wie auch Stromzählerdaten für die Pumpengruppen vorhanden sind. Für alle Pumpengruppen ist ein und derselbe Zeitraum zu wählen. Der Zeitraum sollte repräsentativ für den Normalbetrieb und im Idealfall ein Jahr sein. In *Leitfaden.xls* wird der Zeitraum (in Tagen) in Blatt 1.3.2.1 (Zelle I5) für alle Pumpengruppen festgelegt.
- ☞ Für jede Pumpengruppe müssen im gewählten Zeitraum die Förderhöhe und die geförderte Wassermenge in jedem Messintervall (z.B. 15-Minuten-Werte bzw. Stundenwerte) zusammengestellt werden. Die Ermittlung der Förderhöhen in jedem Messintervall erfolgt entsprechend Abbildung 3. Die hydraulische Energie ist das Produkt aus Förderhöhe und Fördervolumen in jedem Messintervall. Schließlich ist die Summe der hydraulischen Energien jedes einzelnen Messintervalls über den gesamten Zeitraum zu bilden. In Anhang A ist dazu ein Berechnungsbeispiel ausgeführt.
- ☞ Zusammenstellung der Stromverbräuche laut Stromzähler im gewählten Zeitraum
- ☞ Eintragen der Daten in *Leitfaden.xls* in Blatt 1.3.2.2:
 - *Name der Anlage*
 - *Bezeichnung der Pumpengruppe*
 - *Bezeichnung des Wasserzählers der Pumpengruppe*
 - *Bezeichnung des Stromzählers der Pumpengruppe*
 - *laufende Nummer des Stromzählers (Achtung: die einzelnen Pumpengruppen werden auf Basis dieser Nummer automatisch gewichtet und berechnet)*
 - *Mittlere Leistung der Pumpen in der Pumpengruppe in kW*
 - *Aufstellungsart der Pumpen in der Pumpengruppe*
 - *hydraulische Energie in kWh*

☞ Eintragen der Daten in *Leitfaden.xls* in Blatt 1.3.2

- *Name der Anlage*
- *Bezeichnung des Stromzählers*
- *laufende Nummer des Stromzählers (Achtung: die einzelnen Pumpengruppen werden auf Basis dieser Nummer automatisch gewichtet und berechnet)*
- *Stromverbrauch lt. Stromzähler im gewählten Zeitraum in kWh*

☞ Ergebnis: Darstellung in *Leitfaden.xls*: Blatt 1.3.2 Pumpengruppen nach Stromzähler

Name der Anlage	Bezeichnung Stromzähler	laufende Nr.	Stromverbrauch lt. Stromzähler	hydraulische Energie aller Pumpengruppen an diesem Stromzähler	Gesamtwirkungsgrad
Anlage 1	Stromzähler 1	1	kWh	in kWh	in %
Anlage 2	Stromzähler 1	2	kWh	in kWh	in %

1.3.2.3 Pumpenmessung

Der Gesamtwirkungsgrad eines Pumpenaggregates in einem Betriebspunkt wird auf Basis der Ermittlung der elektrischen Leistung sowie der Messung von Förderstrom und Förderhöhe berechnet. Der Gesamtwirkungsgrad ist dabei das Verhältnis zwischen der ermittelten elektrischen Wirkleistung und der für die Förderung des Wasservolumens notwendigen hydraulischen Leistung. Die notwendige hydraulische Leistung berechnet sich dabei aus der gemessenen Fördermenge und dem gemessenen Förderstrom:

$$P_{hydr} = \frac{Q \cdot H_A \cdot \rho \cdot g}{10^6} \quad (4)$$

mit P_{hydr} ... *notwendige hydraulische Leistung [kW]*

Q ... *Förderstrom [l/s]*

H_A ... *Förderhöhe [m]*

ρ ... *Dichte des Wassers [kg/m³]*

g ... *Erdbeschleunigung [m/s²]*

$\rho = 999,7 \text{ kg/m}^3$ (bei 10°C)

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Ergebnis der Pumpenmessung ist der Gesamtwirkungsgrad des Pumpenaggregats:

$$\eta_g = \frac{P_{hydr}}{P_{elektr}} \quad (5)$$

mit η_g ... *Gesamtwirkungsgrad des Pumpenaggregates [-]*

P_{elektr} ... *Wirkleistung [kW]*

P_{hydr} ... *notwendige hydraulische Leistung [kW]*

Zur Ermittlung der Wirkleistung gibt es mehrere Möglichkeiten: Einerseits mittels direkter Leistungsmessung, andererseits durch die näherungsweise Berechnung der Wirkleistung auf Basis der Messung der Phasenströme. Diese werden entweder am Schaltschrank abgelesen oder mit einer Strommesszange gemessen.

Leistungsmessung

Die Leistungsmessung wird im Normalfall durch externe Firmen mit entsprechenden Messgeräten durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Leistungsmessung muss auch eine Druck- und Durchflussmessung erfolgen.

Messung der Phasenströme

Die Wirkleistung wird näherungsweise auf Basis der gemessenen Phasenströme I_1 , I_2 und I_3 berechnet. Zum Zeitpunkt der Messung der Phasenströme muss auch eine Druck- und Durchflussmessung erfolgen. Außerdem sind die Auslegungsdaten des Motors (P_n , n_n , I_n , U_n , $\cos \varphi_n$) und der Pumpe (Q , H und Stufenanzahl der Pumpe) erforderlich.

Eine Anleitung für die Messung der Phasenströme, der Berechnung der Wirkleistung und des Gesamtwirkungsgrads eines Pumpenaggregats wird vom Bundesamt für Energie BFE (CH) als Excel-Datei „Analyse und Vorgehen zur energetischen Optimierung von Pumpen bei Wasserversorgungen; Pumpencheck“ zur Verfügung gestellt und ist unter folgendem Link abrufbar:

http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_878641760.xls&endung=Analyse%20und%20Vorgehen%20zur%20energetischen%20Optimierung%20von%20Pumpen%20bei%20Wasserversorgungen;

Aus den eingegebenen Daten wird in dieser Excel-Datei zusätzlich ein optimaler Wirkungsgrad ermittelt.

Arbeitsschritte: Eintragen der Ergebnisse der Pumpenmessung

- ☞ Durchführen der Pumpenmessung: Ermittlung der Wirkleistung in kW (Leistungsmessung oder Messung der Phasenströme), Messung des Förderstroms in l/s und der Förderhöhe in m
- ☞ Eintragen der Pumpendaten und der Ergebnisse der Pumpenmessung:
 - Name der Anlage
 - Bezeichnung der Pumpe
 - Datum der Pumpenmessung
 - Nennleistungen des Pumpenaggregats in kW
 - Betriebsstunden pro Jahr
 - Aufstellungsart der Pumpe
 - Wirkleistung aus der Pumpenmessung in kW
 - Förderstrom in l/s zum Zeitpunkt der Pumpenmessung
 - Förderhöhe in m zum Zeitpunkt der Pumpenmessung
 - Gesamtwirkungsgrad in %
- ☞ Ergebnis: Darstellung in *Leitfaden.xls*: Blatt 1.3.2.3 Pumpenmessung

Name der Anlage	Bezeichnung der Pumpe	Nennleistung	Gesamtwirkungsgrad
Anlage 1	Pumpe 1	in kW	in %
	Pumpe 2	in kW	in %
Anlage 2	Pumpe 1	in kW	in %

2 Schritt 2: Abweichungsanalyse

In der Datei *Leitfaden.xls* werden die Kennzahlen des IST-Zustands für jede einzelne Anlage aus dem ersten Schritt mit Richtwerten verglichen und dargestellt. Aus dieser Gegenüberstellung wird auf ein mögliches Einsparungspotential hingewiesen. Die Abweichungsanalyse dient zur Beurteilung einzelner Anlagen. Außerdem werden der Stromverbrauch aufgrund von Wasserverlusten und die Potentiale zur Stromproduktion ermittelt.

2.1 Abweichungsanalyse: Aufbereitung und Desinfektion

Die verschiedenen Aufbereitungsverfahren haben eine große Bandbreite von spezifischen Stromverbräuchen, die auch von der Rohwasserqualität abhängig ist. Bei der Aufbereitung und Desinfektion in der Trinkwasserversorgung stehen die Wasserqualität und die Betriebssicherheit im Vordergrund. Im Vergleich zum Pumpen werden geringe spezifische Stromverbräuche verursacht. Aus diesen Gründen stehen bei der Energieeinsparung die Aufbereitung und Desinfektion grundsätzlich nicht im Vordergrund.

Daher erfolgt im Rahmen des Leitfadens keine direkte Beurteilung der Energieeffizienz der Aufbereitung- und Desinfektionsanlagen. Trotzdem werden für einen Vergleich in Abbildung 4 spezifische Stromverbräuche bei Wasseraufbereitungs- bzw. Desinfektionsverfahren angegeben. Diese Werte sind Vergleichswerte für die jeweiligen einzelnen Anlagenteile. Die in *Leitfaden.xls* in Blatt 1.2 ermittelten spezifischen Stromverbräuche je Anlage können mit den in Abbildung 4 angegebenen spezifischen Stromverbräuchen verglichen werden. Der spezifische Stromverbrauch einer Gesamtanlage setzt sich aus den Verbräuchen einzelner Anlagenteile (z.B. Schnellfilter, Dosierpumpen, Belüftung, Betriebsgebäude etc.) zusammen.

Spezifische Stromverbräuche bei Wasseraufbereitungs- bzw. Desinfektionsverfahren

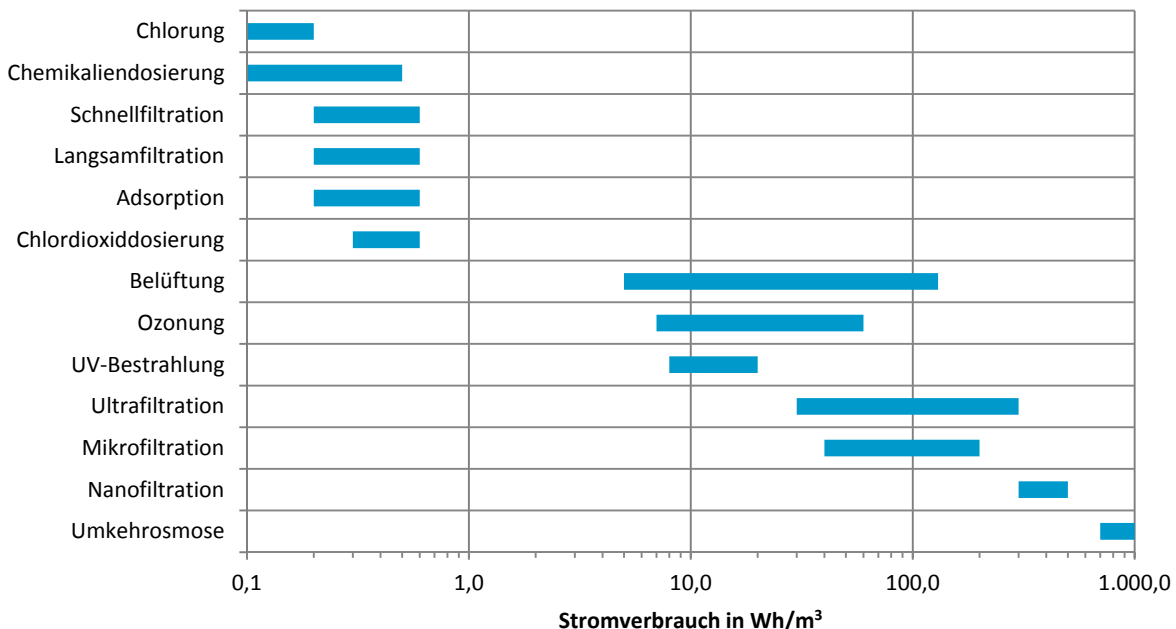


Abbildung 4. Spezifische Stromverbräuche bei Wasseraufbereitungs- bzw. Desinfektionsverfahren (Bundesamt für Energie und SVGW, 2004; DVGW, 2010; Mutschmann & Stimmelmayr, 2011)

2.2 Abweichungsanalyse: Pumpen

2.2.1 Reibungsverluste in Rohrleitungen

Für die Reibungsverluste werden (unter Annahme einer wirtschaftlichen Fließgeschwindigkeit von bis zu 1m/s) Richtwerte in Abhängigkeit der Leitungslänge angegeben (siehe Abbildung 5). Bei Netzpumpen wird als Leitungslänge die direkte Entfernung zum kritischsten Punkt im Netzabschnitt herangezogen. Bei großen Abweichungen von diesem Richtwertebereich sollten die Reibungsverluste mittels einer Rohrnetzrechnung ermittelt und beurteilt werden. Bei großen Reibungsverlusten sollten die Ursachen festgestellt werden und entsprechende Maßnahmen zur Reduktion der Reibungsverluste durchgeführt werden (siehe Abschnitt 3.2).

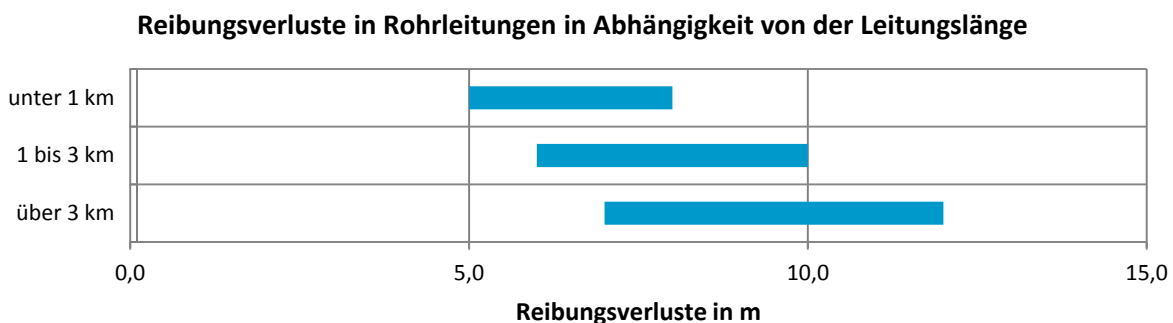


Abbildung 5. Reibungsverluste in Rohrleitungen in Abhängigkeit der Leitungslänge
(Bundesamt für Energie und SVGW, 2004)

Arbeitsschritte: Abweichungsanalyse – Reibungsverluste in Rohrleitungen

☞ In *Leitfaden.xls* werden in den Blättern 1.3.2.1, 1.3.2.2 und 1.3.2.3 für jede Pumpengruppe, wie in Abbildung 5 gruppiert in Abhängigkeit von der Leitungslänge, Richtwerte angegeben.

☞ Abweichungsanalyse: Darstellung in *Leitfaden.xls*: Blatt 1.3.2.1, Blatt 1.3.2.2 und Blatt 1.3.2.3

Name der Anlage	Bezeichnung Pumpengruppe	Reibungsverluste IST	Reibungsverluste Richtwert
Anlage 1	Pumpengruppe 1	in m	in m
Anlage 2	Pumpengruppe 1	in m	in m
	Pumpengruppe 2	in m	in m

2.2.2 Pumpenaggregate

Für Pumpenanlagen werden in Abhängigkeit der Pumpenleistung jeweils für trocken aufgestellte Kreiselpumpen und für Unterwasserpumpen Richtwerte für den Gesamtwirkungsgrad angegeben (Abbildung 6 und Abbildung 7). Diese Richtwerte sollen in einem ersten Schritt die grobe Beurteilung ermöglichen, ob eine weitere Untersuchung der Pumpeneffizienz zu empfehlen ist, oder ob die Pumpen in einem üblichen Wirkungsgradbereich laufen. Diese Beurteilung erfolgt auf Ebene einzelner Pumpengruppen. Zur Beurteilung von Anlagen, die aus mehreren unterschiedlichen Pumpengruppen bestehen, wird ein mittlerer gewichteter Wirkungsgradvergleich durchgeführt.

Eine weitere Untersuchung der Pumpen ist erforderlich (blauer Bereich)

Liegt der Gesamtwirkungsgrad im unteren Wirkungsgradbereich, ist eine weitere Untersuchung der Pumpen erforderlich. Da der optimale Gesamtwirkungsgrad von der Auslegungs- und Betriebssituation abhängig ist,

sollte im Rahmen der weiteren Untersuchung z.B. eine direkte Leistungsmessung zur Beurteilung der Pumpeneffizienz durchgeführt werden.

Eine weitere Untersuchung der Pumpen wird empfohlen (grauer Bereich)

Liegt der Gesamtwirkungsgrad im mittleren Wirkungsbereich, wird eine weitere Untersuchung empfohlen. Ob ein Stromeinsparpotential vorhanden ist und wie groß dieses ist, hängt von der jeweiligen Situation ab.

Übliche Bandbreite des Gesamtwirkungsgrads von Pumpenaggregaten (hellblauer Bereich)

Liegt der vorhandene Gesamtwirkungsgrad in diesem Bereich, muss grundsätzlich keine weitere Untersuchung durchgeführt werden. Eine weitere Untersuchung der Pumpen kann trotzdem sinnvoll sein. Dies gilt insbesondere für den Fall, dass der vorhandene Gesamtwirkungsgrad für eine große Anzahl von Pumpen bzw. Pumpengruppen aggregiert ermittelt wurde.

Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen die Einteilung der Wirkungsbereiche für trocken aufgestellte Kreiselpumpen und Unterwasserpumpen.

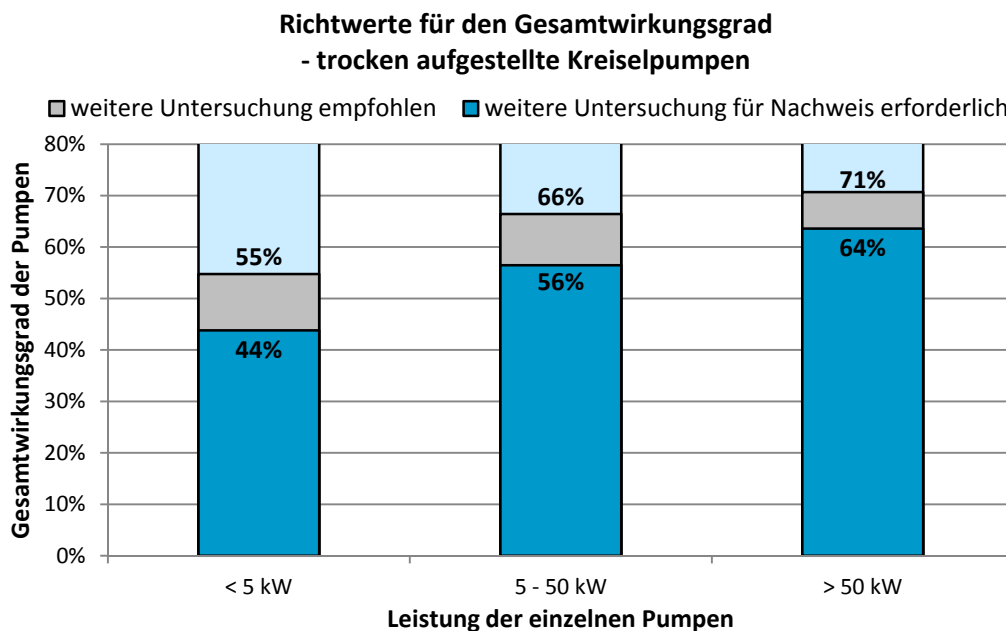


Abbildung 6. Richtwerte für Gesamtwirkungsgrade (Motor und Pumpe) von trocken aufgestellten Kreiselpumpen.

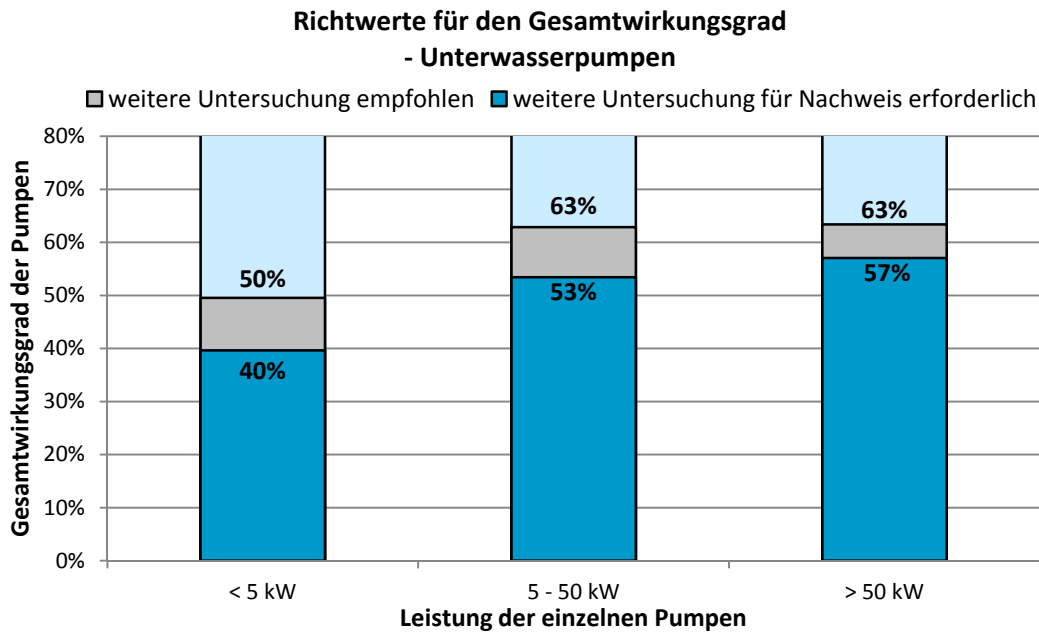


Abbildung 7. Richtwerte für Gesamtwirkungsgrade (Motor und Pumpe) von Unterwasserpumpen..

Arbeitsschritte: Abweichungsanalyse – Pumpen

- ☞ In *Leitfaden.xls* werden die Richtwerte für den Gesamtwirkungsgrad nach Stromzähler (Blatt 2.2.2 - auf Basis der Pumpengruppen bei konstanten und variablen Druckverhältnissen) und nach Pumpenmessung (Blatt 2.2.3) getrennt dargestellt.
- ☞ Für die Prioritätenreihung wird zusätzlich in Blatt 2.2.2 der *Stromverbrauch lt. Stromzähler im gewählten Zeitraum* und in Blatt 2.2.3 der *Stromverbrauch berechnet nach Betriebsstunden der Pumpe pro Jahr* dargestellt.
- ☞ Abweichungsanalyse: Darstellung in *Leitfaden.xls*: Blatt 2.2.2 und Blatt 2.2.3

Name der Anlage	laufende Nr. Stromzähler	Stromverbrauch	Gesamtwirkungsgrad IST	Gesamtwirkungsgrad RICHTWERT
Anlage 1	1	in kWh	in %	in %
Anlage 1	2	in kWh	in %	in %

2.3 Wasserverluste

Zu große Wasserverluste verursachen einen vermeidbaren Stromverbrauch, insbesondere wenn Wasser über große Höhen gepumpt werden oder aufbereitet werden muss. In diesem Schritt wird der Energieverbrauch aufgrund der Wasserverluste dargestellt. Eine Bewertung der Wasserverluste sollte nach ÖVGW W 63 *Wasserverluste in Trinkwasserversorgungssystemen* durchgeführt werden.

Arbeitsschritte: Wasserverluste

👉 Ergebnis: Darstellung in *Leitfaden.xls: Blatt 2.3 Wasserverluste*

Stromverbrauch Aufbereitung, Desinfektion und Pumpen	reale Wasserverluste	Stromverbrauch durch Wasserverluste
in kWh/m ³	in m ³ /Jahr	in kWh/Jahr

2.4 Trinkwasserkraftwerke

In diesem Schritt werden Potentiale zur Stromproduktion identifiziert. Dazu müssen die mögliche jährliche Stromproduktion und die relevanten Kosten abgeschätzt werden.

Ergebnis ist eine Empfehlung, ob eine detailliertere Betrachtung im Rahmen einer Vorstudie sinnvoll ist.

2.4.1 Abschätzung des Potentials zur Stromproduktion

Die mögliche Jahresstromproduktion wird aus der Wassermenge und der Bruttofallhöhe unter Annahme eines konstanten Durchflusses bei 330 Volllasttagen berechnet.

Wassermenge

Konsenswassermenge bzw. Schätzung der vorhandenen Wassermenge aufgrund von verfügbaren Unterlagen oder Messungen. Die turbinierete Wassermenge muss am Turbinenstandort abgeführt werden können. Die Nutzung von Wassermengen über der Konsenswassermenge muss im Vorhinein wasserrechtlich abgeklärt werden.

Bruttofallhöhe

Die Bruttofallhöhe ist der Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasserspiegel (z.B. Quellsammelschacht und Behälter). Bei Nutzung einer bestehenden Wasserleitung als Falleitung kann anstatt des Höhenunterschieds der statische Druck in der Leitung am potentiellen Turbinenstandort gemessen werden. Bei statischen Verhältnissen (stehendem Wasser) entspricht der Druck der Bruttofallhöhe.

2.4.2 Abschätzung der Investitionskosten auf Basis der örtlichen Situation

Folgende Gegebenheiten bestimmen maßgeblich die Investitionskosten und damit die Wirtschaftlichkeit eines Trinkwasserkraftwerks:

Falleitung

Können die vorhandenen Rohrleitungen ohne Adaptierung verwendet werden, entstehen keine Mehrkosten bei der Falleitung gegenüber der reinen Trinkwassernutzung. Mehrkosten entstehen durch die Anpassung der Rohrleitungen (druckfeste Auslegung) bzw. durch Neuverlegung. Hierbei müssen die Länge der zu adaptierenden oder neu zu verlegenden Falleitung und die Mehrkosten je Laufmeter gegenüber der reinen Trinkwassernutzung abgeschätzt werden.

Stromleitung zur Einspeisung

Die Anschlussmöglichkeit zur Stromeinspeisung muss in der Nähe des geplanten Turbinenstandorts vorhanden sein. Die Länge der Stromleitung muss abgeschätzt werden.

Elektromaschinelle Ausrüstung

Die Gesamtkosten für die elektromaschinelle Ausrüstung werden grob in Abhängigkeit der Leistung abgeschätzt (siehe Abbildung 8). Für die erste Näherung werden hier die Kosten basierend auf einer Pumpe als Turbine (PAT) angesetzt.

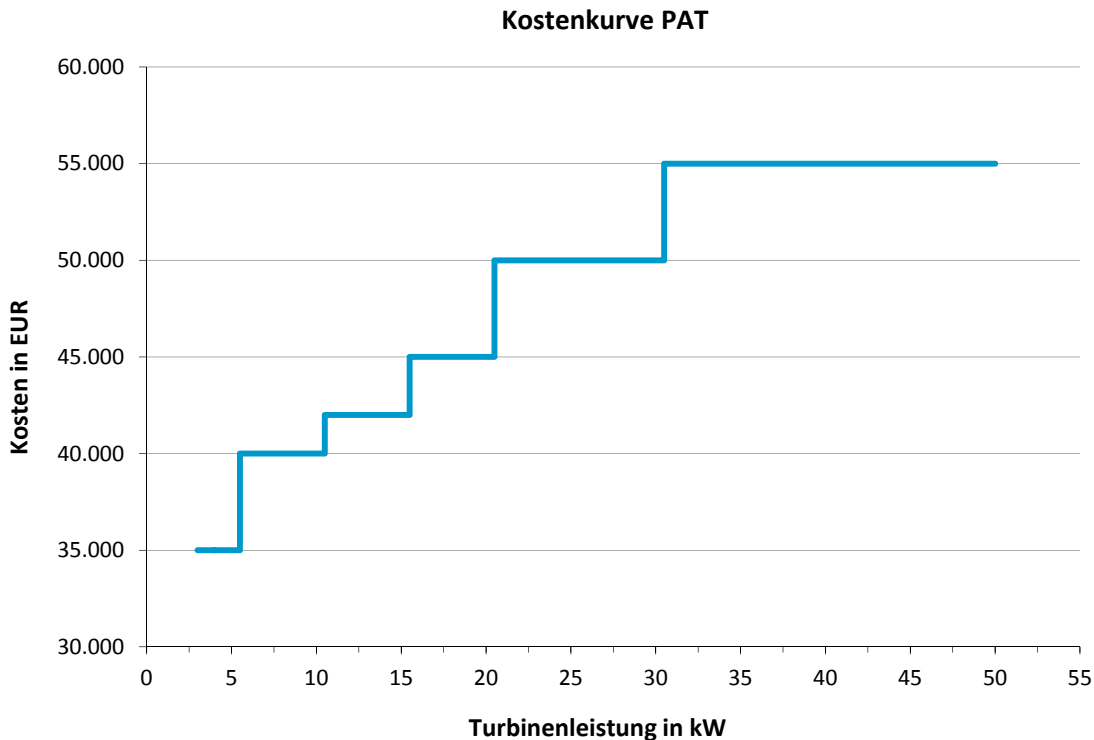


Abbildung 8. Gesamtkosten der elektromaschinellen Ausrüstung bei einer Pumpe als Turbine (PAT), Stand 2011
(Quelle: Fa. Abel Pumpen & Turbinen GmbH)

Aufstellung der Turbine

Ist ausreichend Platz für die Aufstellung der Turbine in bestehenden Räumlichkeiten vorhanden, entstehen keine Kosten für die Errichtung eines neuen Bauwerks. Die Kosten für die Adaptierung bestehender Räumlichkeiten bzw. für die Errichtung eines Turbinenhauses müssen abgeschätzt werden. Für die Abschätzung kann von einem Platzbedarf der Turbine (bei einer PAT mit einer Turbinenleistung bis ca. 50 kW) von ca. 2 m x 3 m ausgegangen werden.

Arbeitsschritte: Abschätzung des Potentials zur Stromproduktion

☞ Eintragen der Daten zur Abschätzung des Potentials zur Stromproduktion:

- Name der Variante TWKW
- nutzbare Wassermenge als Durchfluss in l/s
- Bruttofallhöhe in m
- Länge in m und Durchmesser DN der Falleitung
- Kosten der Adaptierung bzw. Neuverlegung der Falleitung in EUR/m
- Länge der zu verlegenden Stromleitung in m
- Kosten für die Adaptierung Räumlichkeiten bzw. Errichtung eines Turbinenhauses
- Gesamtkosten der elektromaschinellen Ausrüstung in Abhängigkeit der Leistung in EUR
- Erzielbarer Einspeistarif in EUR/kWh (entspricht Einkaufspreis bei Eigenverbrauch)

👉 Ergebnis: Darstellung in *Leitfaden.xls: Blatt 2.4 Trinkwasserkraftwerke*

Name der Variante	Leistung	Jahresstromproduktion	Investitionskosten	Erlöse	kumulierter Barwert nach 30 Jahren
TWKW 1	in kW	in kWh/Jahr	in EUR	in EUR/Jahr	in EUR
TWKW 2	in kW	in kWh/Jahr	in EUR	in EUR/Jahr	in EUR

👉 Wenn der Barwert nach 30 Jahren negativ ist, ist eine detailliertere Betrachtung nicht zu empfehlen. Bei einem positiven Barwert nach 30 Jahren ist je nach Höhe des Barwerts bzw. Länge der Amortisationszeit eine detailliertere Untersuchung sinnvoll.

2.5 Wärmenutzung

Die in Roh- und Trinkwasser vorhandene Wärmemenge kann zur Beheizung von Gebäuden genutzt werden. Einer Wasserleitung wird zu diesem Zweck mittels Wärmepumpe Energie entzogen. Einsatzmöglichkeiten können bei der Wassergewinnung, bei der Wasserverteilung und bei Trinkwasser-Installationen bestehen. Eine mögliche Wärmenutzung muss im Einzelfall untersucht werden. Mögliche Gefährdungen für die Wasserqualität (Sicherheitskreisläufe etc.) sind dabei zu berücksichtigen.

3 Schritt 3: Beurteilung Gesamtsystem und Maßnahmen

3.1 Beurteilung Gesamtsystem

Die Beurteilung des Gesamtsystems beruht auf dem Pumpenstromverbrauch. In diesem Schritt erfolgt die Beurteilung des Gesamtsystems durch Aggregation der Kennzahlen der einzelnen Pumpenanlagen mit Hilfe eines mittleren gewichteten Wirkungsgradvergleichs. Der Nachweis muss zumindest über 80 % des Stromverbrauchs aller Pumpen erfolgen.

Arbeitsschritte: Beurteilung Gesamtsystem – Pumpen

Ergebnis: Darstellung in *Leitfaden.xls: Blatt 3.1 Beurteilung Gesamtsystem Pumpen*

Art der Pumpenbeurteilung	Stromverbrauch pro Jahr	Gesamt-wirkungsgrad IST	Gesamt-wirkungsgrad RICHTWERT
Pumpengruppen	in kWh	in %	in %
Pumpenmessung	in kWh	in %	in %
GESAMTBEURTEILUNG	in kWh	in %	in %

3.2 Maßnahmen

Anhand der folgenden Checklisten wird auf weiterführende Maßnahmen verwiesen. Je nach Rahmenbedingungen können daraus einzelne mögliche Maßnahmen zur Energieeinsparung ausgewählt und weiter untersucht werden. Die folgenden Checklisten wurden auf Basis von folgender Literatur erstellt: Bundesamt für Energie und SVGW (2004), DVGW (2010) und Mutschmann & Stimmelmayer (2011). Mit Hilfe der Spalten *JA* und *NEIN* können zutreffende Maßnahmen markiert werden, die weiter untersucht werden sollten bzw. für das eigene Wasserversorgungssystem ausgeschlossen werden können.

Checklisten Wassergewinnung	JA	NEIN
Nutzung von frei zufließendem Quellwasser maximieren; Überlauf minimieren.		
Betrachtung bestehender Quellfassungen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Betrachtung noch nicht gefasster Quellfassungen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Untersuchung ob stillgelegte Quellfassungen reaktiviert werden können	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Geschickte Unterteilung des Versorgungsgebietes in Druckzonen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kooperation von benachbarten Wasserversorgern, um überschüssiges Quellwasser zu beziehen bzw. abzugeben	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Einsatz von Heberleitungen bzw. Horizontalfilterbrunnen	JA	NEIN
Heberleitungen zu tiefer liegendem Speicherbauwerk (Heberwerk hebt Wasser an die Oberfläche und dann Transport zu niedriger liegendem Speicherbauwerk/Pumpwerk)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Abwägung ob Einsatz von Horizontal- statt Vertikalfilterbrunnen, da sich durch die geringere Absenkung bei Horizontalfilterbrunnen eine geringere Förderhöhe ergibt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Brunnenalterung vorbeugen		
Filterrohre mit geringem Filterwiderstand (möglichst viele kleine Filtereintrittsöffnungen, die gleichmäßig über die Filterfläche verteilt sind) einbauen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prüfung eines möglichen Einsatzes von Wickeldrahtfiltern	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gleichmäßiger Betrieb von Brunnen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Brunnen entsprechend ihrer Auslegung betreiben und eine Überlastung vermeiden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vermeidung der Mischung von O_2^+ und NO_3^- -haltigen Wässern mit reduzierten Wässern im Brunnen (bzw. den Rohwasserleitungen), um Ablagerungen zu vermeiden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Brunnenregenerierung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Angepasste Brunnenbewirtschaftung		
Brunnen sollen gut aufeinander abgestimmt werden, sodass es zu keiner bzw. nur geringer gegenseitiger Beeinflussung kommt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wasserförderung möglichst konstant bei niedriger Fließgeschwindigkeit halten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Brunnen mit dem niedrigsten spezifischen Energiebedarf [kWh/m^3] bzw. der geringsten Absenkung identifizieren und priorisieren	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Einsatz drehzahl geregelter Brunnenpumpen prüfen (zur Vergleichsmäßigung der Förderung, Schonung des Brunnenmaterials und Optimierung der Rohwasserqualität)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je nach Flurabstand Einsatz von trocken aufgestellten Kreiselpumpen prüfen (besserer Wirkungsgrad als Unterwassermotorpumpen)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Entnahmemenge auf Maximalfördermenge limitieren, um die Wasserspiegelabsenkung zu beschränken. Eine größere Anzahl von Brunnen kann Vorteile bringen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Druckverluste minimieren - Effizienter Einsatz von Rückschlagventilen		
Wenn zwei Rückschlagventile im Einsatz sind, kann eines eingespart werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Einsatz von strömungsgünstigeren Bauformen prüfen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Checklisten Wasseraufbereitung	JA	NEIN
Vermeidung von Aufbereitungsaufwand		
Priorität für die Wasservorkommen, die am wenigsten Aufbereitung erfordern.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Berücksichtigung des Energieverbrauchs bei der Auswahl von Aufbereitungsverfahren bei Neubau, Sanierung bzw. Ausbau der Aufbereitungsanlage.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Effiziente Steuerung und Regelung		
Verfahrenstechnisch und energetische Optimierung der Wasseraufbereitung durch Vergleichsmäßigung der Rohwasserqualität durch drehzahlgeregelten Pumpenbetrieb	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Optimierung bestehender Aufbereitungsanlagen durch Parallelschaltung (z.B. Strahler bei UV-Anlage werden bei stark schwankendem Rohwasseranfall ein- bzw. ausgeschaltet)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Regelung nach Kenngröße: Bei der Ozonung, Injektion von Chlorgas, Chlordioxid oder Luft sowie der Dosierung von Chemikalien kann der Energieverbrauch durch Überwachung des behandelten Wassers mit einer Kenngröße optimiert werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aktivkohleadsorption		
Bei der Planung einer Adsorptionsanlage mithilfe von Versuchen die geeignetste Aktivkohle auswählen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kontinuierlichen Betrieb anstreben wegen (wenn auch nur minimaler) Energieeinsparungen und verbesserter Wasserqualität	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vergleich der Varianten (1) betriebsinterne Reaktivierungsanlage und (2) externe Regeneration bzw. Kauf von neuer Aktivkohle	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Abwärme von Regenerations- bzw. Reaktivierungsanlagen bei anderen Prozessen nutzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Für die Erzeugung von Wasserdampf zur betriebsinternen Reaktivierung der Kohle ist eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage zur Dampferzeugung anstatt eines konventionellen Dampfkessels sinnvoll	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maximale Filterlaufzeit ausnützen bevor Regenerierung/Reaktivierung ausgeführt wird	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Belüftung		
Einsatz von Kaskaden- bzw. Wellbahnbelüftern mit niedrigem Energieverbrauch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nutzung keramischer Belüftungselemente, um möglichst feinblasigen Lufteintrag zu erreichen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Anpassung des Luftstroms an den Durchfluss durch Drehzahlregelung des Gebläses (Drosselung des Luftvolumenstroms ist energetisch eher nachteilig)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Anpassung des Luftstroms an den Sauerstoffgehalt im Wasser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Schritt 3: Beurteilung Gesamtsystem und Maßnahmen

Chemikalienlagerung	JA	NEIN
Prüfung ob (1) Isolierung der Lagertanks und einzelner Anlagenteile oder (2) die Unterbringung in einem wärmetechnisch isolierten und beheizbaren Raum günstiger ist	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Falls Medienleitungen mit erforderlichen Mindesttemperaturen außerhalb beheizter Gebäude geführt werden, sollten vorgefertigte Doppelrohrsysteme mit integrierter Begleitheizung und Wärmeisolierung bevorzugt werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prüfung ob Beheizung der Lagerräume bzw. Lagertanks durch Abwärme von Motoren möglich ist	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gegenüberstellung der Kosten von 50%iger und 30%iger Natronlauge, da bei 30%iger die Kosten für Zusatzheizung und Isolierung entfallen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Chlorung		
Heizung optimieren; erforderliche Mindesttemperaturen nicht unterschreiten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Be- und Entlüftungsöffnungen von Chlorgasräumen auf das sicherheitstechnisch erforderliche Mindestmaß beschränken	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Flockung		
Gesamtprozess (Flockung + Sedimentation/Flotation/Filtration) durch Auswahl der Kombinationen mit dem niedrigstem spez. Energieverbrauch energetisch optimieren	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Art und Kombination der Flockungsmittel und Flockungshilfsmittel kann die Menge des anfallenden Schlammes und den damit notwendigen Energieaufwand für Schlammbehandlung beeinflussen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Abstimmung der Menge an dosierten Mitteln auf die Rohwassermenge	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prüfen, ob mehrstufige Flockungsreaktoren einsetzbar, da hier der erforderliche Energieeintrag je nach Bedarf abgestuft werden kann	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prüfen, ob Rührer eingespart werden können und die Durchmischung mittels statischer Systeme (durchströmte Kammern mit hydraulisch wirksamen Einbauten) oder Rohre erfolgen kann	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Flotation		
Prüfen, ob eine Flockung mit anschließender Sedimentation günstiger ist	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Optimierung der eingesetzten Kompressoren, Gebläse und Ventilatoren	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Langsamfiltration		
Anstreben eines möglichst kontinuierlichen Betriebes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



Membranverfahren	JA	NEIN
Abwägung ob Membranverfahren notwendig, ob der Aufwand für Bau und Betrieb wirtschaftlich ist und welche Anforderungen gestellt werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bau einer Pilotanlage zur Festlegung des optimalen Membrantyps bzw. Membranmaterials für das vorliegende Rohwasser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prüfen, ob Dead-End-Flow statt Cross-Flow mit weniger Energieaufwand verbunden ist	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Druck aus bestehenden Höhendifferenzen nutzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fouling durch Vorreinigung und chemische Vorbehandlung verringern	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Scaling durch regelmäßiges Spülen verringern	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Optimierung der Spülintervalle	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prüfen der Möglichkeit, die Spülwassermenge durch Zugabe von Chemikalien zu reduzieren. Die Chemikalienwahl hängt von der Rohwasserqualität ab. Abwägung der Kosten für Chemikalien gegenüber der Energieeinsparung beim Spülen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ozonung		
Prüfen, ob der Energieverbrauch bei der Kombination von Ozonung mit UV-Bestrahlung geringer ist als der von der reinen Ozonung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Abwärme: Nutzung der Abwärme aus der Ozonerzeugung zur thermischen Regenerierung des Adsorptionsmittels für die Lufttrocknung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Abwärme: Nutzung der Abwärme aus der Ozonerzeugung zur Aufheizung der ozonhaltigen Abgase zur thermischen bzw. katalytischen Ozonentfernung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Abwärme: Nutzung der Abwärme aus der Ozonerzeugung zur Beheizung bzw. Wasseraufbereitung mittels Wärmepumpen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lufttrocknung: Zur energiesparenden Trocknung können Molekularsiebe bzw. bei größeren Leistungen Kombination aus Molekularsieben und Silicagel eingesetzt werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lufttrocknung: Einsatz einer kältetechnische Luftentfeuchtung vor der adsorptiven Trocknung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lufttrocknung: Regenerationsintervall optimieren (abhängig von Taupunkt oder regelmäßiger Zeitintervall). Regenerationsdauer optimieren (möglichst kurz, sobald Feuchtigkeit komplett ausgetrieben ist).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ozonerzeugung: Ozonkonzentration im Ozon-Gas-Gemisch erhöhen und dadurch die notwendige einzubringende Gasmenge (Einbringungsenergie) klein halten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ozonerzeugung: Ozon aus Sauerstoff herstellen, da bei Herstellung aus Luft fast doppelt so viel Energie benötigt wird	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ozonerzeugung: Bei Herstellung des Ozons aus Sauerstoff, kann durch die Zugabe einer geringen Menge Stickstoff zum Rohgas ein besserer Wirkungsgrad erreicht werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ozonerzeugung: Wahl eines energiesparenden Verfahrens für die Begasung, bei dem ein Gesamtwirkungsgrad von >90% erreicht wird	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	JA	NEIN
Restozongehalt im Wasser: Regelung der Ozonzugabe mittels Messung des Restozongehalts im Wasser. Dadurch kann die Ozondosierung auf das nötige Minimum eingestellt werden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Restozongehalt in der Luft: Prüfung, welche Art der Abgasreinigung (thermisch oder katalytisch) günstiger ist	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Restozongehalt in der Luft: Nutzung der Abwärme der Ozonherstellung für die Abgasreinigung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Weitergehende Oxidation mit UV: durch Kombination der Ozonung mit UV-Bestrahlung kann die Oxidation verbessert und der Gesamtenergieverbrauch evtl. reduziert werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schlammbehandlung		
Vermeidung von Rückständen aus der Wasseraufbereitung zur Energieverbrauchs- bzw. Kostensenkung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Volumenverminderung: sinnvolle Reihenfolge der Verfahren (Sedimentation/Eindickung - maschinelle Entwässerung - thermische Trocknung)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Volumenverminderung: Nutzung natürlicher Entwässerungsverfahren: Schwerkraft (Drainage, Eindickung), Sonne & Wind (Verdunstung) oder Frosteinwirkung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Volumenverminderung: Auswahl der Entwässerungsverfahrens auf Grund von Versuchen, in denen auch jahreszeitliche Schwankungen zu berücksichtigen sind	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schnellfiltration		
Grundsätzlich ist ein kontinuierlicher Betrieb hinsichtlich der Wasserqualität anzustreben	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Auswahl des Verfahrens: Mehrschichtfilter bieten gegenüber Einschichtfiltern Energieeinsparungspotential (Tiefenfiltration, geringere Druckverlust und größere Rückspülintervalle)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Filterauslegung mittels Pilotversuchen um bessere Ergebnisse für die Bemessung zu erhalten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Filterspülung: Optimierung der Spüldauer (insbesondere in der letzten Phase (Klarspülen) wird im allgemeinen zu lange gespült)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Filterspülung: Kontinuierlicher Filterbetrieb, um große Spülintervalle zu erzielen. Spülung nach einem bestimmten Wasserdurchsatz und/oder nach Anstieg des Differenzdruckes auf einen bestimmten Wert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sedimentation		
Anpassung der Sedimentation an die Betriebsverhältnisse, insbesondere im Zusammenspiel mit der Flockung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zeitlich optimale und effektive Schlammräumung. Schlammabzug erst bei Erreichung eines bestimmten Schlammniveaus.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



UV-Bestrahlung	JA	NEIN
Ablagerungen: Neben der mechanischen Reinigung von Zeit zu Zeit eine chemische Reinigung anwenden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ablagerungen: Durchführung eines Pilotversuchs mit einem Demonstrationsgerät, um festzustellen, in welchem Ausmaß Ablagerungen entstehen und ob sie mit den angebotenen Reinigungsverfahren beherrscht werden können	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ablagerungen: Durch den Einsatz von Niederdruckstrahlern statt Mitteldruckstrahlern können Calcitabscheidungen verhindert werden (weil es aufgrund der niedrigeren Leistungsdichte zu einer niedrigeren Grenzschichttemperatur und damit zu einer geringeren Abscheidung kommt)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Durchflussschwankungen: UV-Anlagen können für mehrere Auslegungspunkte zertifiziert und so entsprechend des Durchflusses geschaltet werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Durchflussschwankungen: Dimmen der UV-Strahler (prüfen, ob energetisch sinnvoll)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Durchflussschwankungen: Ausschalten einer Desinfektionsstrecke	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kompressoren, Gebläse und Ventilatoren		
Für die Auslegung (je nach vorliegendem Fall) eine entsprechende Auswahl eines zentralen oder dezentralen Systems treffen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Anstreben einer hohen Auslastung. Betragen die Laststunden weniger als die Hälfte der Betriebsstunden, ist zu prüfen, ob beim Ersatz die Anlage durch eine besser ausgelegte ersetzt werden kann	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bei einem zeitlich unterschiedlichen Druckluftbedarf Einsatz einer Drehzahlregelung und Prüfen des Einsatzes von Druckluftspeichern	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Optimierung des Leitungsdurchmessers und der Rohrführung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prüfen der Möglichkeit zur Nutzung der Abwärme von Kompressoren	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Je kälter die Ansaugluft, desto höher ist der Wirkungsgrad des Kompressors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Instandhaltung: Anpassung der Ventilöffnungsdauer (eine kürzere Zeit ist oft ausreichend)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Instandhaltung: Ausreichende Schmierung mit vom Hersteller vorgeschriebenen Schmierölen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Instandhaltung: Reinigung und Austausch von verschmutzten Saugfiltern	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Instandhaltung: Regelmäßiger Tausch der Druckfilter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Instandhaltung: Regelmäßige Instandhaltung der Rohrleitungen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Checklisten Wasserspeicherung	JA	NEIN
Überlauf von frei zufließendem Quellwasser vermeiden		
Optimalen Ausschaltzeitpunkt für Pumpen aufgrund von Speichervolumen, Quellwasserschüttung und Verbrauchscharakteristik ermitteln	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maximale Nutzung des Betriebsspeichervolumen		
Untersuchung und Bewertung jedes einzelnen Behälters, wobei erhoben wird, wie das Speichervolumen ausgenutzt wird und welche Bewirtschaftungsszenarien noch möglich sind	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verluste minimieren; Behältereinlauf optimieren		
Überprüfung des Drucks am Behältereinlauf und gegebenenfalls Vermeidung von unnötig hohem Druck (z.B. durch Einsatz kleinerer Pumpen)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Checklisten Wasserförderung und -verteilung	JA	NEIN
Pumpen richtig dimensionieren		
Pumpen sind so auszuwählen, dass sich im Zusammenspiel mit der Anlage Betriebszustände ergeben, die möglichst im Wirkungsgradoptimum liegen. Sicherheitszuschläge sind im Sinne eines energieeffizienten Betriebes zu vermeiden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Standardisierte Kreiselpumpen können vom Hersteller mit unterschiedlich großen Laufrädern angeboten werden. Dies ermöglicht die Pumpenkennlinie in gewissen Grenzen bei nur leicht verändertem Wirkungsgrad der Anlagenkennlinie anzupassen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bei der Dimensionierung sind Ausführungen mit einer spezifischen Drehzahl von 30 bis 60 pro Minute zu bevorzugen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Für Pumpen mit großen Förderströmen kann eine mehrflutige Bauweise von Vorteil sein	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Für Pumpen mit großen Förderhöhen kann eine mehrstufige Bauweise von Vorteil sein	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rohrleitungsführung vor der Pumpe richtig ausführen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pumpen optimieren		
Unnötige Pumpen stilllegen: Wenn mit Überkapazität gearbeitet wird, weil die Förderströme schwanken, kann die Anzahl der im Betrieb befindlichen Pumpen durch den Einbau von Druckschaltern geregelt werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kleine Zusatzpumpen verwenden zur Lieferung des Hochdruck-Fördervolumens zu einem bestimmten Verbraucher	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Laufräder austauschen oder abdrehen zur Korrektur (kostengünstigen) Korrektur von überdimensionierten Pumpen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pumpen gezielt auf Parallel- oder Einzelbetrieb auslegen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bei Parallelbetrieb Pumpen mit flacher Wirkungsgradkennlinie einsetzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



	JA	NEIN
Einsatz drehzahl geregelter Pumpen: insbesondere bei verbrauchsbedingt großen Druckschwankungen sowie langen Transportleitungen (große dynamische Leistungsverluste im Verhältnis zum geodätischen Druck)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gegebenenfalls Ersatz von zwei parallel betriebenen Pumpen durch eine drehzahl geregelte Pumpe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Betrieb der Pumpen im Wirkungsgradoptimum z.B. durch Vergleichmäßigung der Fördermenge	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ersatz alter Pumpen unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten abwägen. Insbesondere bei überdimensionierten Pumpen interessant	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Behebung von Spannungsschwankungen in der Stromversorgung. Bei großen Pumpen kann der Mehrverbrauch der Elektrizität so groß sein, dass es sich lohnt, mit dem Energieversorger nach Lösungen zu suchen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pumpen mit niedrigem spezifischen Energieverbrauch (kWh/m ³ /m) zuerst schalten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zu pumpende Wassermenge über eine größere Zeitspanne mit niedrigerer Fließgeschwindigkeit pumpen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pumpen instandhalten		
Verschlossene Spaltringe gegen solche mit Originalabmessungen austauschen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Stark korrodierte bzw. verkrustete Bauteiloberflächen, die überströmt werden, instandsetzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Beschichtungsverfahren für die Verbesserung der Oberflächengüte von Pumpgehäusen, um den Wirkungsgrad zu verbessern/wiederherzustellen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Umrüstung der Wellendichtung von einer Stopfbuchspackung auf eine moderne Gleitringdichtung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Störungen am Laufrad beheben	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Austauschen von defekten Wälzlagern	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schmierung und Feinabstimmung des Motors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Neuanschaffung eines hocheffizienten Motors statt Motorreparatur: im Fall der Reparatur sollte eine Garantie für den Wirkungsgrad verlangt werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Drosseleinrichtungen entfernen		
Drosseleinrichtungen ausbauen und Einsatz einer Drehzahlregelung bei den Pumpen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prüfung des möglichen Einsatzes einer Energierückgewinnung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	JA	NEIN
Einzelwiderstände (Rohreinbauten, Armaturen) minimieren		
Möglichst gestreckte Rohrleitungsführung anstreben. Vorzugsweise magnetisch-induktive Wasserzähler und nur unbedingt erforderliche Armaturen einbauen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nicht notwendige Armaturen ausbauen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Einbau von verlustärmeren Armaturen. Bei Kauf auf hydraulisch optimale Armaturen achten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fließgeschwindigkeit reduzieren		
In Wasserwerken, Pumpwerken etc. Leitungen mit größeren Durchmessern einbauen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vergleichsmäßigung der Fördermenge über den Tag zur Reduktion der Fließgeschwindigkeit in allen Leitungen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Beim Neubau von Wasserversorgungsleitungen sind die Leitungsdurchmesser so zu wählen, dass eine niedrige Fließgeschwindigkeit vorhanden ist, die aus hygienischen Gründen nicht bedenklich ist. Betrachtung der Gesamtkosten aus Energiekosten und mit der Rohrnennweite ansteigenden Investitionskosten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Der Bau von Ringschlüssen kann zur Reduktion von dynamischen Druckverlusten führen, wenn die Leitungen unterschiedlich stark belastet werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Unterteilung in Druckzonen		
Unterteilung in Druckzonen bei entsprechender topographischen Situation des Versorgungssystems	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Durch Unterteilung in Druckzonen, direkte Quellwassernutzung prüfen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eigene Druckerhöhungsanlage falls nur punktuell notwendig, z.B. Hochhäuser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wasserverluste minimieren		
Entsprechendes Wasserverlustmanagement (Wasserbilanz, Wasserverlustkennzahlen, Rohrnetzüberwachung, Lecksuche) nach ÖVGW W 63	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reduktion des Netzdrucks zur Reduktion der Wasserverluste	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Regelmäßige Instandhaltung der Anlagen, Sanierungsstrategie zur Erneuerung des Leitungsnetzes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sachgerechte Werkstoffauswahl, Verbindungstechnik und wirksamer Korrosionsschutz	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Beseitigen von Wasserverlusten an Armaturen mit undichtem Abschluss	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Checklisten Energieproduktion	JA	NEIN
-------------------------------	----	------

Optimierung bestehender Trinkwasserkraftwerke

- | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|
| Eine mögliche Laufradanpassung prüfen | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Eine Anpassung der Betriebsweise kann die Auslastung und die an der Turbine anliegenden Verhältnisse (Druck und Durchfluss) verändern | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Ist die Turbine für die vorhandene Betriebsweise nicht geeignet, ist es evtl. besser, eine passende Turbine einzubauen (Wirtschaftlichkeit prüfen) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Mit einem Frequenzumrichter kann die vorhandene Turbine an die neuen Verhältnisse (Druck und Durchfluss) angepasst werden | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Ist die Turbine zu klein ausgelegt, kann es sinnvoll sein, einen Teilstrom über den Bypass zu leiten und so die Turbine im Optimum zu betreiben | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Umbau von Stopfbuchsen auf Gleitringdichtung | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Bei einer Reinvestition, Einbau eines energieeffizienten Generators | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Neubau von Trinkwasserkraftwerken prüfen

- | | | |
|---|-----------------------|-----------------------|
| Beim Zulauf bei einem Speicherbauwerk | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Zwischen 2 Druckzonen; Druckreduzierungen | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Beim Abbau von Druck aus geodätischer Höhe aufgrund von hohen Fassungen | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Wärmenergie nutzen

- | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Nutzung von Abwärme (z.B. der Pumpen) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Einsatz von Wärmepumpen | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Checklisten Sonstige Einsparpotentiale	JA	NEIN
--	----	------

Energiesparen in Betriebsgebäuden

- | | | |
|---|-----------------------|-----------------------|
| Automatische Hauptschalter installieren, mit denen bei Verlassen des Gebäudes alle nicht für den Betrieb erforderlichen Stromverbraucher ausgeschaltet werden | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
|---|-----------------------|-----------------------|

Beheizung und Warmwasserbereitung optimieren

- | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|
| Einsatz von Frostschutzwächtern bzw. Rohrbegleitheizungen, die ein Einfrieren der Leitungen verhindern | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Heizkörper mit (evtl. programmierbaren) Thermostatventilen ausstatten | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Heizungsanlagen regelmäßig warten | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Heizung bedarfsgerecht regeln (Absenkung der Heizung bei Verlassen des Gebäudes sowie Nachtabenkung) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Schritt 3: Beurteilung Gesamtsystem und Maßnahmen

	JA	NEIN
Prüfen, ob Elektroheizungen vorhanden sind und ersetzt werden können	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nutzung der Abwärme von Antriebsmotoren zur Heizungsunterstützung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wirkungsgraderhöhung der bestehenden Heizung durch besseren Brenner bzw. Wärmedämmung von Speicher und Verteilanlagen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eventuell dezentrale Gasheizgeräte vorziehen, wenn mit den Heizungsrohren weite Strecken zurückgelegt werden müssen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nutzung erneuerbarer Energien in Betracht ziehen (Sonnenenergienutzung)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Umwälzpumpen mit hohem Wirkungsgrad wählen und in die Heizungsreglung mit einbinden, sodass sie nur bei Bedarf betrieben werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wassersparende Armaturen um Warmwasser zu sparen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Beleuchtung optimieren		
Helligkeit überprüfen und eventuell Leuchtmittel außer Betrieb nehmen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Optimierung der Tageslichtnutzung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Einsatz von energetisch günstigen Leuchtmitteln (z.B. handelsübliche Energiesparlampen, LEDs)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bewegungsmelder in wenig genutzten Räumen einsetzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Leuchtstofflampen mit elektrischen Vorschaltgeräten einsetzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Belüftung optimieren		
Eintragung von Luft mit geringer Luftfeuchte: Luftfeuchte reduzieren mittels Zuluftführung durch einen Wasserbehälter, um so Luftfeuchte bereits in der Zuluftleitung zu kondensieren und abzuführen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Einsatz von Motoren in der Lüftung mit hohem Wirkungsgrad. Leitungsführung optimieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Einsatz von dezentralen Luftwärmetauschern anstelle von Fenstern (Oberlichtern)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Entfeuchtung minimieren bzw. optimieren		
Gute Isolierung der Außenwände und damit die Anhebung der Oberflächentemperatur der Innenwände führt dazu, dass die Luft weniger entfeuchtet werden muss	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Isolierung der "kalten" Rohrleitungen und Oberflächen. Sind keine "kalten" Oberflächen mehr vorhanden, muss die Luft nicht so stark entfeuchtet werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vermeidung des Austausches der kalten Innenluft mit wärmerer (=feuchterer) Außenluft (Türen gleich schließen, Fenster und Türen luftdicht)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



	JA	NEIN
Regelmäßige Instandhaltung, regelmäßiger Wechsel des Filters	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Steuerung des Luftentfeuchters mittels Hygrostat	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aufstellung des Luftentfeuchters nahe bei den feuchteempfindlichen Anlagenteilen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ausreichende Dämmung zur Minimierung des Tauwasserniederschlags	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Checklisten Verbraucher	JA	NEIN
Verbrauch reduzieren		
Effiziente Armaturen und Geräte einsetzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Literatur

- Bundesamt für Energie und SVGW. (2004). *Energie in der Wasserversorgung - Ratgeber zur Energiekosten- und Betriebsoptimierung*.
- DVGW. (2010). *DVGW-Information: Wasser Nr. 77 Handbuch Energieeffizienz/Energieeinsparung in der Wasserversorgung*. Bonn und Osnabrück: DVGW, DBU.
- Mutschmann, J., & Stimmelmayer, F. (2011). *Taschenbuch der Wasserversorgung*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.

Anhang A

Leitfaden_Beiispiel.xls

Anlage 1

Beispiel einer Berechnung der hydraulischen Energie bei einer Pumpengruppe mit variablen Druckverhältnissen (Förderung ins Netz):

Die Ermittlung des Gesamtwirkungsgrads der Anlage basiert auf der Berechnung der hydraulischen Energie (theoretisch notwendigen Pumpenergie bei 100% Wirkungsgrad), die aufgrund von Förderhöhen und Fördermengen berechnet werden kann. Durch Vergleich der notwendigen hydraulischen Energie mit dem tatsächlichen Stromverbrauch in dem betrachteten Zeitraum wird der Gesamtwirkungsgrad ermittelt.

Schritt 1: Systemaufstellung

Folgende Datengrundlagen wurden für die Auswertung herangezogen:

Anlagendaten:

- hydraulisches Schema der Anlage
- geodätische Höhe des Druckaufnehmers M
- geodätische Höhe der Behältersohle

Messwerte:

- Stundenwerte des Wasserzähler für P7, P8 und P9
- Stundenwerte des Druckaufnehmer M
- Stundenwerte des Behälterwasserspiegels

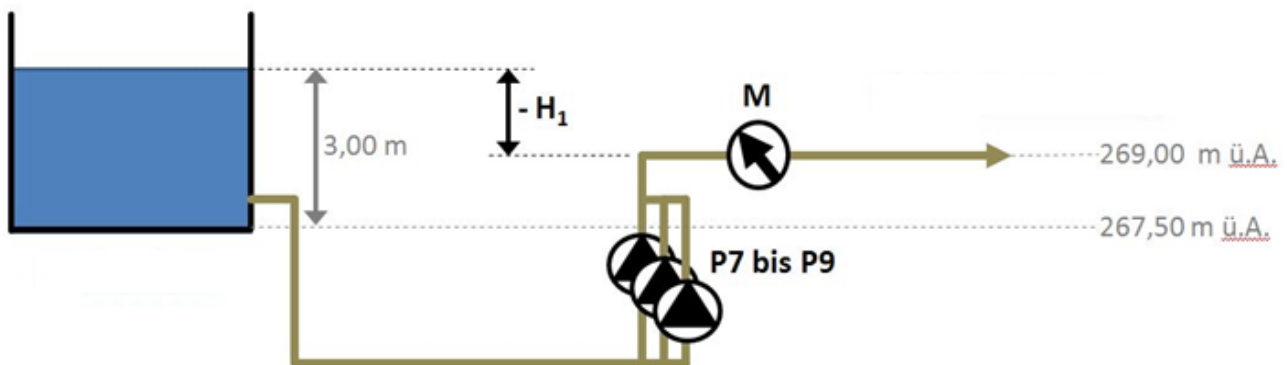


Abbildung 1. Schema der Pumpengruppe mit den Pumpen P7, P8 und P9

Schritt 2: Berechnung

Für jede Pumpe bzw. Pumpengruppe wurde die Förderhöhe H und das und Fördervolumen V in jedem Zeitintervall ermittelt. In dem betrachteten Fall waren Stundenwerte von Wasserzählern, Druckaufnehmern und Pegelmessungen vorhanden. Bei den Berechnungen wurden die Druckverluste in der Leitung vom Brunnen/Behälter bis zum Druckaufnehmer vernachlässigt.

Zur Ermittlung der hydraulischen Energie müssen für jede Pumpe bzw. Pumpengruppe das Produkt aus Förderhöhe H und Fördervolumen V in jedem Zeitintervall i berechnet werden und anschließend summiert werden. Dies wird für jede Pumpe bzw. Pumpengruppe p durchgeführt. Die hydraulische Energie erhält man dann zu:

$$E_{hydr} = \frac{\rho \cdot g \cdot \sum_{p=1}^k \sum_{i=1}^n (H_{pi} \cdot V_{pi})}{10^3 \cdot 3600}$$

mit E_{hydr} ... hydraulische Energie [kWh]

H_{pi} ... Förderhöhe der Pumpe/Pumpengruppe p im Zeitintervall i [m]

V_{pi} ... Fördervolumen der Pumpe/Pumpengruppe p im Zeitintervall i [m³]

n ... Anzahl der Zeitintervalle i

k ... Anzahl der Pumpen bzw. Pumpengruppen p

ρ ... Dichte des Wassers [kg/m³]

g ... Erdbeschleunigung [m/s²]

$\rho = 999,7 \text{ kg/m}^3$

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Tabelle 1 zeigt die Berechnung:

Zeit	Messwerte			Berechnete Werte			
	V	M	H _{Beh}	H _{Beh,geo} = 267,5 + H _{Beh}	H1 = 269,0 - H _{Beh,geo}	M x 10,2 + H1	H x V
	Wasserzähler (P7, P8, P9)	Druck-aufnehmer M	Behälter WSP	Behälter WSP ü.A.	H1	Förderhöhe H	
01.07.2010 00:00	522 m ³	7,33 bar	3,00 m	270,5 m	-1,5 m	73,3 m	38.247
01.07.2010 01:00	521 m ³	7,36 bar	3,00 m	270,5 m	-1,5 m	73,6 m	38.340
01.07.2010 02:00	521 m ³	7,35 bar	3,00 m	270,5 m	-1,5 m	73,5 m	38.274
01.07.2010 03:00	520 m ³	7,37 bar	3,00 m	270,5 m	-1,5 m	73,6 m	38.296
01.07.2010 04:00	521 m ³	7,37 bar	3,00 m	270,5 m	-1,5 m	73,7 m	38.400
01.07.2010 05:00	526 m ³	7,33 bar	3,00 m	270,5 m	-1,5 m	73,3 m	38.550
01.07.2010 06:00	538 m ³	7,28 bar	3,00 m	270,5 m	-1,5 m	72,8 m	39.140
01.07.2010 07:00	542 m ³	7,29 bar	3,00 m	270,5 m	-1,5 m	72,9 m	39.488
01.07.2010 08:00	536 m ³	7,29 bar	3,00 m	270,5 m	-1,5 m	72,9 m	39.055
01.07.2010 09:00	522 m ³	7,31 bar	3,00 m	270,5 m	-1,5 m	73,1 m	38.144
01.07.2010 10:00	519 m ³	7,34 bar	3,00 m	270,5 m	-1,5 m	73,4 m	38.084
Σ(H x V) = 424.018							

$$E_{hydr} = \frac{\rho \cdot g \cdot 424\,018}{10^3 \cdot 3600} = 1\,155 \text{ kWh}$$

Die hydraulische Energie für den Zeitraum von 01.07.2010 00:00 bis 01.07.2010 10:00 für die gesamte Pumpengruppe ist 1.155 kWh.

Anlage 2

Schritt 1: Systemaufstellung

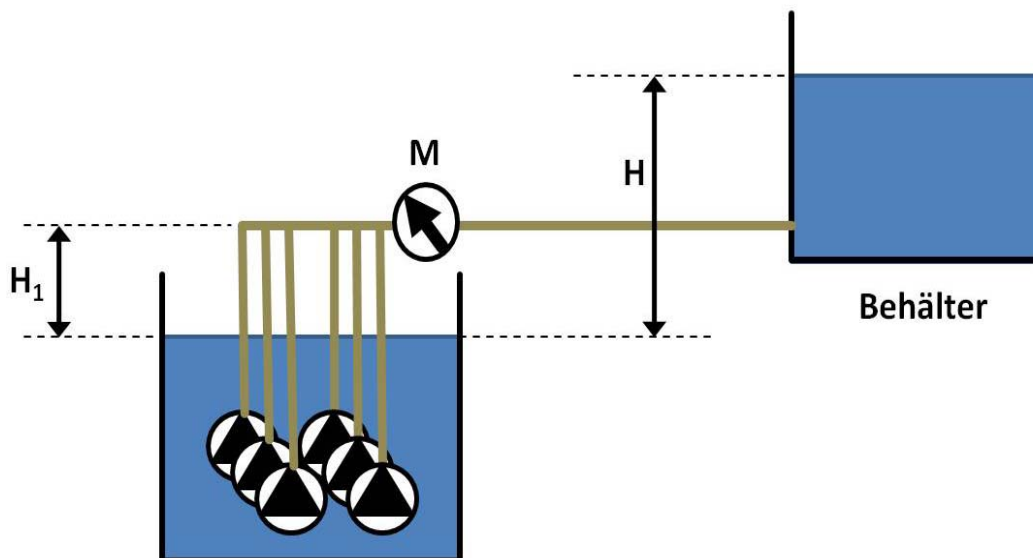
Folgende Datengrundlagen wurden für die Auswertung herangezogen:

Anlagendaten:

- hydraulisches Schema der Anlage
- geodätische Höhe des Druckaufnehmers M
- geodätische Höhe der Behältersohlen

Messwerte:

- geförderte Wassermenge im gewählten Zeitraum laut Wasserzähler: $V = 100.000 \text{ m}^3$
- mittlerer Druck im Druckaufnehmer M über den gewählten Zeitraum: $M = 55 \text{ m}$
- mittlere Behälterwasserspiegelhöhen über den gewählten Zeitraum



Schritt 2: Berechnung

$$H_1 = 1,3 \text{ m}$$

$$M = 55 \text{ m}$$

$$\text{Förderhöhe} = H_1 + M = 56,3 \text{ m}$$

Die hydraulische Energie für den gewählten Zeitraum für die gesamte Pumpengruppe ist 15.337 kWh.



Die Initiative GENUSS REGION ÖSTERREICH hebt gezielt die Bedeutung regionaler Spezialitäten hervor.
www.genuss-region.at



Österreichs erstes grünes Karriereportal für umweltfreundliche green jobs.
www.green-jobs.at



Informationen zu Landwirtschaft, Wald, Umwelt, Wasser und Lebensmittel.
www.lebensministerium.at



Das Österreichische Umweltzeichen ist Garant für umweltfreundliche Produkte und Dienstleistungen.
www.umweltzeichen.at



Das erste Webportal für nachhaltigen Konsum in Österreich.
www.bewusstkaufen.at



Das Internetportal der Österreichischen Nationalparks.
www.nationalparksaustria.at



Die Klimaschutzinitiative des Lebensministeriums für aktiven Klimaschutz.
www.klimaaktiv.at



Die Kampagne vielfaltleben trägt bei, dass Österreich bei der Artenvielfalt zu den reichsten Ländern Europas gehört.
www.vielfaltleben.at



Die Jugendplattform zur Bewusstseinsbildung rund ums Wasser.
www.generationblue.at



Der Ökologische Fußabdruck ist die einfachste Möglichkeit, die Zukunftsfähigkeit des eigenen Lebensstils zu testen. Errechnen Sie Ihren persönlichen Footprint.
www.mein-fussabdruck.at

