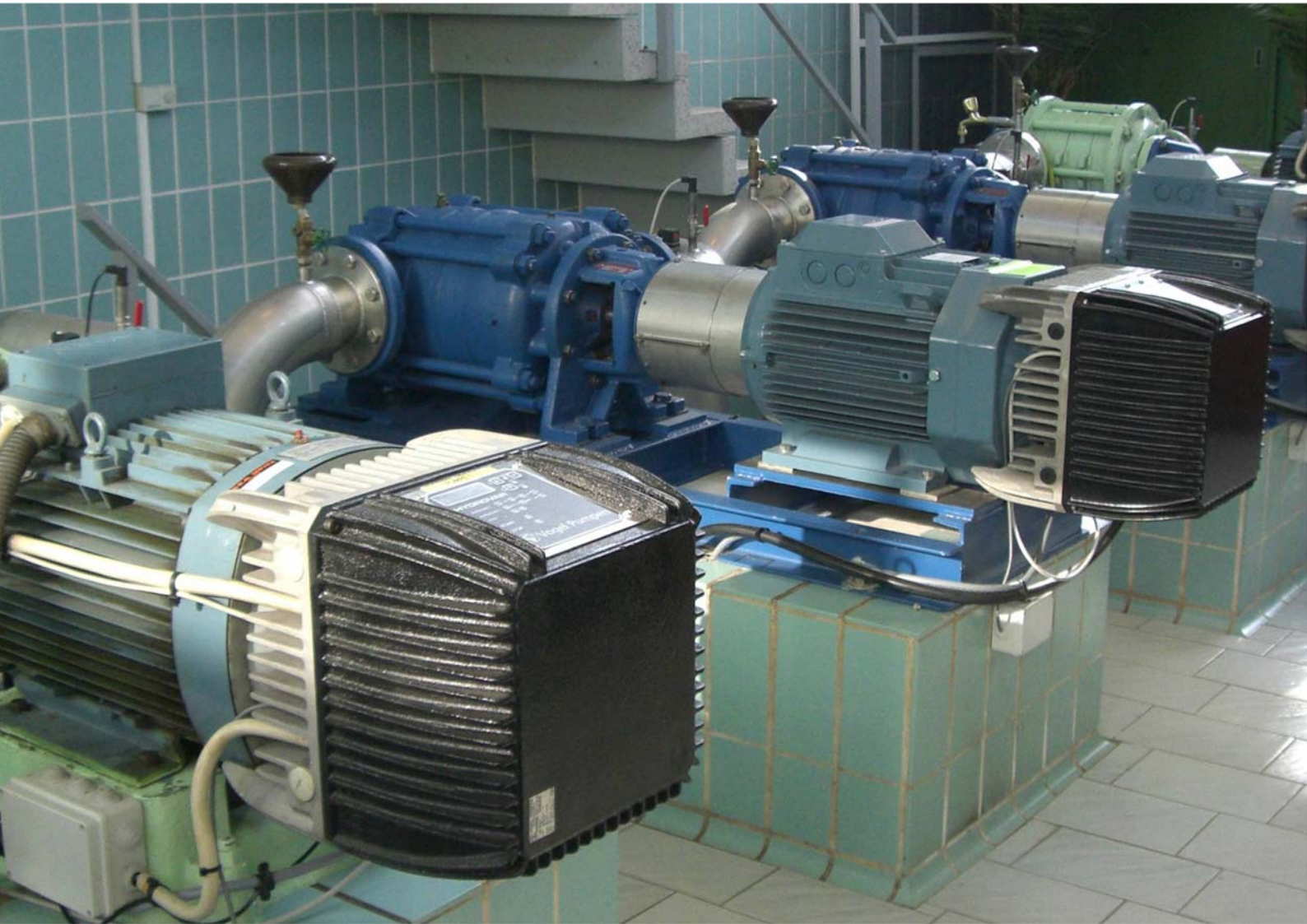


# Endbericht

Erstellung eines Leitfadens 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

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Zusammenfassung .....   | 9  |
| 2     | Projektziel und Projektablauf .....                                     | 14 |
| 2.1   | Projektziel .....   | 14 |
| 2.2   | Projektablauf .....   | 14 |
| 2.2.1 | Workshops und Präsentationen .....                                      | 14 |
| 3     | Grundlagen für die Datenerhebung und Analysen (AP2) .....               | 15 |
| 3.1   | Auswertung bereits vorhandener Daten .....                              | 15 |
| 3.2   | Auswertung von internationaler Literatur und Erfahrungen .....          | 16 |
| 3.3   | Maßnahmen zur Optimierung der Energienutzung .....                      | 16 |
| 3.3.1 | Aufbereitung und Desinfektion .....                                     | 16 |
| 3.3.2 | Pumpen .....  | 17 |
| 3.3.3 | Trinkwasserkraftwerke .....   | 17 |
| 3.3.4 | Wärmenutzung .....  | 17 |
| 3.3.5 | Systematische Übersicht über Maßnahmen .....                            | 18 |
| 3.4   | Beurteilungskriterien für die Energienutzung .....                      | 30 |
| 3.4.1 | Aufbereitung und Desinfektion .....                                     | 30 |
| 3.4.2 | Pumpen .....  | 30 |
| 3.4.3 | Trinkwasserkraftwerke .....   | 31 |
| 3.5   | Zu erhebende Daten .....  | 31 |
| 3.5.1 | Grobanalysen (siehe AP4) .....  | 31 |
| 3.5.2 | Detailanalysen von Einzelmaßnahmen (siehe AP3) .....                    | 34 |
| 3.6   | Wasserversorger für die Datenerhebung .....                             | 37 |
| 4     | Grobanalysen bei den untersuchten Wasserversorgern (AP4) .....          | 38 |
| 4.1   | Berechnungen .....  | 38 |
| 4.1.1 | Aufbereitung und Desinfektion .....                                     | 38 |
| 4.1.2 | Pumpwerke/Drucksteigerungsanlagen .....                                 | 38 |
| 4.1.3 | Trinkwasserkraftwerke .....   | 39 |
| 4.2   | Energieverbrauch der untersuchten Wasserversorger .....                 | 44 |
| 4.2.1 | Gesamtstromverbrauch .....  | 45 |
| 4.2.2 | Aufbereitung und Desinfektion .....                                     | 47 |
| 4.2.3 | Pumpwerke/Drucksteigerungsanlagen .....                                 | 47 |
| 4.2.4 | Stromverbrauch durch Wasserverluste .....                               | 48 |
| 4.3   | Stromproduktion mit Trinkwasserkraftwerken .....                        | 49 |
| 4.3.1 | Übersicht über die Trinkwasserkraftwerk Szenarien .....                 | 49 |
| 5     | Detailanalysen von Maßnahmen bei einzelnen Wasserversorgern (AP3) ..... | 51 |
| 5.1   | Aufbereitung und Desinfektion .....                                     | 51 |
| 5.1.1 | Biologische Nitratentfernungsanlage .....                               | 51 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.2   | Pumpen .....   | 53 |
| 5.2.1 | Bestimmung des optimalen Wirkungsgrads für einzelne Pumpen .....   | 53 |
| 5.2.2 | Ermittlung des vorhandenen Gesamtwirkungsgrads eines Pumpwerks mit Hilfe von Stundenwerten von Wasserzählern, Druckaufnehmern und Pegelmessungen ..... | 59 |
| 5.2.3 | Ermittlung des vorhandenen Gesamtwirkungsgrads eines Brunnens mit Hilfe von Messwerten des Förderstroms, Druckaufnehmern und Pegelmessungen .....      | 68 |
| 5.2.4 | Pumpenmessung .....  | 69 |
| 5.3   | Trinkwasserkraftwerke .....  | 79 |
| 5.4   | Wärmenutzung .....   | 80 |
| 5.4.1 | Energiebilanz bei der Wärmenutzung aus Trinkwasser .....   | 81 |
| 5.4.2 | Anlage zur Wärmegewinnung aus dem Trinkwasserversorgungsnetz .....   | 81 |
| 6     | Ermittlung von Richtwerten .....   | 84 |
| 6.1   | Aufbereitung und Desinfektion .....  | 84 |
| 6.2   | Pumpen .....   | 85 |
| 6.2.1 | Leistung und Wirkungsgrad von Pumpen .....   | 85 |
| 6.2.2 | Angaben aus der Literatur zum Wirkungsgrad von Pumpenanlagen .....   | 87 |
| 6.2.3 | Bestimmung von Vergleichswerten für Wirkungsgrade von Pumpenanlagen in Abhängigkeit der Pumpenleistung .....   | 88 |
| 6.3   | Trinkwasserkraftwerke .....  | 96 |
| 6.3.1 | Wirkungsgrad und Einsatzmöglichkeit der wichtigsten Turbinenarten für Trinkwasserkraftwerke .....  | 96 |
| 6.3.2 | Abschätzung des Potentials nach Bundesamt für Energie und SVGW (2004) .....  | 97 |
| 6.3.3 | Investitionskosten für die elektromaschinelle Ausrüstung .....   | 97 |
| 6.4   | Wärmenutzung .....   | 98 |
| 7     | Literatur .....  | 99 |

## Anhänge

|  |     |
|--|-----|
| Anhang A. Grobanalyse: Stromverbrauch .....                  | 101 |
| Anhang B. Grobanalyse: Szenarien Trinkwasserkraftwerke ..... | 141 |
| Anhang C. Förderung von Wasserkraftwerken .....              | 173 |
| Anhang D. Datengrundlagen für die Annahmen .....             | 174 |

## Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1. Übersicht über den Projektablauf .....   | 14 |
| Abbildung 2. Systematik zur Einteilung der Maßnahmen zur Energieoptimierung mit einem Beispiel einer Einzelmaßnahme ..... | 18 |
| Abbildung 3. Übersicht über die Ziele in den jeweiligen Bereichen .....   | 18 |
| Abbildung 4. Moody-Diagramm der hydraulischen Berechnung der Szenarien für Trinkwasserkraftwerke .....                    | 41 |
| Abbildung 5. Spezifischer Gesamtstromverbrauch (kWh/m <sup>3</sup> Systemeinspeisung) .....                               | 45 |

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 6. Stromverbrauch nach Bereichen.....  | 46 |
| Abbildung 7. Spezifischer Stromverbrauch der UV-Anlagen (kWh/m <sup>3</sup> ) .....  | 47 |
| Abbildung 8. Aus der Datenerhebung berechnete Gesamtwirkungsgrade von 115 Pumpwerken nach Leistungsklassen.....  | 48 |
| Abbildung 9. Gegenüberstellung der Trinkwasserkraftwerkszenarien (Quadrate) und der aufgenommenen bestehenden Trinkwasserkraftwerke (Dreiecke) nach mittlerem Durchfluss und Bruttofallhöhe. Die blaue Kurve stellt den Schwellenwert der Jahresproduktion von 25.000 kWh als untere Grenze der wirtschaftlichen Durchführbarkeit dar..... | 50 |
| Abbildung 10. Gesetzliche Obergrenze für die Investitionszuschüsse für Klein- und mittlere Wasserkraft (Energie-Control Austria, 2010) .....   | 51 |
| Abbildung 11. Anlagenschema der biologischen Nitratentfernungsanlage.....  | 52 |
| Abbildung 12. Vorhandener und optimaler Gesamtwirkungsgrad der Pumpwerke. Basierend auf der vom Bundesamt für Energie vorgeschlagenen Methode (Infrawatt).....   | 54 |
| Abbildung 13. Stromeinsparpotential bei den einzelnen Pumpwerken in kWh. Basierend auf der vom Bundesamt für Energie vorgeschlagenen Methode (Infrawatt).....  | 55 |
| Abbildung 14. Vorhandener und optimaler Gesamtwirkungsgrad der Pumpwerke. Berechnung mit Hilfe einer Pumpenauswahlsoftware. ....   | 57 |
| Abbildung 15. Stromeinsparpotential bei den einzelnen Pumpwerken in kWh. Berechnung mit Hilfe einer Pumpenauswahlsoftware. ....  | 58 |
| Abbildung 16. Hydraulisches Schema der Anlage .....  | 60 |
| Abbildung 17. PW N 1: P1 und P2 .....  | 62 |
| Abbildung 18. PW N 1: P3.....  | 62 |
| Abbildung 19. PW N 1: P4.....  | 63 |
| Abbildung 20. PW N 2: P1 bis P6.....   | 63 |
| Abbildung 21. DST N: DST P1, DST P2, DST P10 bis DST P12 .....   | 64 |
| Abbildung 22. DST N: P7 bis P9 .....   | 64 |
| Abbildung 23. Aufteilung der hydraulischen Energie (theoretisch notwendigen Pumpenergie bei 100% Wirkungsgrad) auf die einzelnen Pumpwerke.....  | 65 |
| Abbildung 24. Darstellung des vorhandenen Gesamtwirkungsgrads von PW N 1, PW N 2 und DST N mit Vergleichswerten. ....  | 68 |
| Abbildung 25. Hydraulisches Schema der Anlage mit den erforderlichen Daten zur Beurteilung der Brunnenpumpen.....  | 69 |
| Abbildung 26: Ermittelter Gesamtwirkungsgrad und optimal möglicher Wirkungsgrad der Pumpenaggregate.....   | 72 |
| Abbildung 27: Berechnete Stromverbräuche auf Basis des ermittelten und optimalen Gesamtwirkungsgrads.....  | 72 |
| Abbildung 28: Ermittelter Gesamtwirkungsgrad und optimal möglicher Wirkungsgrad der Pumpenaggregate.....   | 75 |
| Abbildung 29: Berechnete Stromverbräuche auf Basis des ermittelten und optimalen Gesamtwirkungsgrads.....  | 75 |
| Abbildung 30. Vergleich des vorhandenen und optimalen Wirkungsgrads der Pumpen.....  | 78 |
| Abbildung 31. Vergleich des vorhandenen und optimalen Stromverbrauchs der Pumpen .....   | 79 |
| Abbildung 32. Schema der Anlage zur Gewinnung thermischer Energie aus dem Trinkwasserversorgungsnetz (DVGW - Forschungsstelle TUHH, 2008).....   | 83 |
| Abbildung 33. Spezifische Stromverbräuche bei Wasseraufbereitungs- bzw. Desinfektionsverfahren (Bundesamt für Energie und SVGW, 2004; DVGW, 2010b; Mutschmann & Stimmelmayer, 2011) .....  | 85 |
| Abbildung 34. Erreichbarer Wirkungsgrad einstufiger, einströmiger Spiralgehäusepumpen .....  | 87 |
| Abbildung 35. Hydraulische Auslegungsdaten Förderhöhe H und Durchfluss Q der Pumpen zur Ermittlung eines optimalen Wirkungsgradbereiches .....   | 88 |
| Abbildung 36. Pumpenwirkungsgrad für trocken aufgestellte Kreiselpumpen in Abhängigkeit der Wellenleistung .....   | 89 |

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 37. Pumpenwirkungsgrad für Unterwasserpumpen in Abhängigkeit der Wellenleistung ....  | 90 |
| Abbildung 38. Wirkungsgrad (Pumpe und Motor) für trocken aufgestellte Kreiselpumpen in Abhängigkeit der Wellenleistung .....  | 91 |
| Abbildung 39. Wirkungsgrade (Pumpe und Motor) für Unterwasserpumpen in Abhängigkeit der Wellenleistung .....  | 91 |
| Abbildung 40. Wirkungsgrad (Pumpe und Motor) für trocken aufgestellte Kreiselpumpen nach Leistungsklasse .....  | 92 |
| Abbildung 41. Wirkungsgrad (Pumpe und Motor) für Unterwasserpumpen nach Leistungsklasse .....   | 93 |
| Abbildung 42. Vergleichswerte für Gesamtwirkungsgrade von trocken aufgestellten Kreiselpumpen. Der Gesamtwirkungsgrad berücksichtigt den Motorwirkungsgrad, Pumpenwirkungsgrad sowie Wärmeverluste am Stromkabel von 2% und mechanische Verluste an der Kupplung zwischen Motor und Pumpe von 1%. ..... | 95 |
| Abbildung 43. Vergleichswerte für Gesamtwirkungsgrade von Unterwasserpumpen. Der Gesamtwirkungsgrad berücksichtigt den Motorwirkungsgrad, Pumpenwirkungsgrad sowie Wärmeverluste am Stromkabel von 2% und mechanische Verluste an der Kupplung zwischen Motor und Pumpe von 1%. .....                   | 96 |
| Abbildung 44. Gesamtkosten der elektromaschinellen Ausrüstung bei einer Pumpe als Turbine (PAT), Stand 2011 (Quelle: Fa. Abel Pumpen & Turbinen GmbH) .....   | 98 |

## Tabellenverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Tabelle 1. Übersicht über vorhandene Daten.....  | 15 |
| Tabelle 2. Übersicht über mögliche Maßnahmen zur Energieeinsparung und Energiegewinnung .....  | 19 |
| Tabelle 3. Übersicht über die im Rahmen der "Grobanalyse" erhobenen Daten.....   | 32 |
| Tabelle 4. Übersicht über die für die Pumpenuntersuchung erhobenen/gemessenen Daten .....  | 35 |
| Tabelle 5. Übersicht über die zu bestehenden Trinkwasserkraftwerken erhobenen Daten .....  | 36 |
| Tabelle 6. Übersicht über die Grob- und Detailanalysen .....   | 37 |
| Tabelle 7. Annahmen für die Amortisationszeit.....   | 44 |
| Tabelle 8. Übersicht über die untersuchten Wasserversorger .....   | 45 |
| Tabelle 9. Stromverbrauch durch Wasserverluste .....   | 49 |
| Tabelle 10. Stromverbrauch der Anlage und des Brunnens .....   | 52 |
| Tabelle 11. Auslegungsdaten der Pumpen .....   | 53 |
| Tabelle 12. Vorhandener und optimaler Wirkungsgrad. Basierend auf der vom Bundesamt für Energie vorgeschlagenen Methode (Infrawatt).....   | 54 |
| Tabelle 13. Vorhandener und optimierter Stromverbrauch sowie Stromeinsparpotential. Basierend auf der vom Bundesamt für Energie vorgeschlagenen Methode (Infrawatt).....                         | 55 |
| Tabelle 14. Vorhandener und optimaler Wirkungsgrad. Berechnung mit Hilfe einer Pumpenauswahlsoftware. ....   | 56 |
| Tabelle 15. Vorhandener und optimierter Stromverbrauch sowie Stromeinsparpotential. Berechnung mit Hilfe einer Pumpenauswahlsoftware. ....   | 57 |
| Tabelle 16. Vergleich der mit den verschiedenen Methoden berechneten Einsparpotentiale.....  | 58 |
| Tabelle 17. Systemaufstellung zur Beurteilung der Pumpeneffizienz.....   | 61 |
| Tabelle 18. Auswertung für das betrachtete Pumpwerk für das Monat Juli 2010.....   | 67 |
| Tabelle 19. Gewichtete Leistung der Pumpen .....   | 67 |
| Tabelle 20: Auslegungsdaten der Pumpen .....   | 71 |
| Tabelle 21: Ergebnisse der Pumpenmessung .....   | 71 |
| Tabelle 22: Pumpenwirkungsgrad im Betriebspunkt und im Optimalpunkt entsprechend der vom Hersteller angegebenen Kennlinie, Vergleich der Gesamtwirkungsgrade aus der Kennlinie und Messung ..... | 73 |
| Tabelle 23: Auslegungsdaten der Pumpen .....   | 74 |
| Tabelle 24: Ergebnisse der Pumpenmessung .....   | 74 |

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 25: Auslegungsdaten der Pumpen .....  | 76 |
| Tabelle 26: Ergebnisse der Pumpenmessung .....  | 76 |
| Tabelle 27: Finanzieller und zeitlicher Aufwand für die durchgeführten Messungen.....   | 76 |
| Tabelle 28: Auslegungsdaten und Jahresbetriebsstunden der Pumpen .....  | 77 |
| Tabelle 29: Mittelwerte der Messungen .....   | 77 |
| Tabelle 30: Gesamtwirkungsgrad und Einsparpotential der Netzpumpen .....  | 78 |
| Tabelle 31: Übersicht über die in Österreich aufgenommenen bestehenden Trinkwasserkraftwerke..  | 80 |
| Tabelle 32: Mittelwerte der Angaben aus Studien, Normen, Fachliteratur etc. zum Wasserverbrauch in der EU im Haushalt (Universität für Bodenkultur - SIG, 2010).....  | 81 |
| Tabelle 33: Vom Bundesamt für Energie und SVGW (2004) angegebene Richt- und Zielwerte zur Energieeffizienz von Pumpen.....  | 88 |
| Tabelle 34: Wirkungsgrade (Pumpe und Motor) für trocken aufgestellte Kreiselpumpen nach Leistungsklasse .....   | 93 |
| Tabelle 35: Wirkungsgrade (Pumpe und Motor) für Unterwasserpumpen nach Leistungsklasse .....  | 93 |
| Tabelle 36: Gesamtwirkungsgrade für trocken aufgestellte Kreiselpumpen nach Leistungsklasse .....   | 94 |
| Tabelle 37: Gesamtwirkungsgrade für Unterwasserpumpen nach Leistungsklasse .....  | 94 |
| Tabelle 38: Vergleichswerte für erreichbare Gesamtwirkungsgrade bei Kreiselpumpen nach Leistungsklasse und Pumpenaufstellung. Die angegebenen Gesamtwirkungsgrade entsprechen jeweils dem unteren Quartil jeder Klasse..... | 94 |
| Tabelle 39: Definition der Grenzwerte für Gesamtwirkungsgrade, unter welchen eine weitere Untersuchung zu empfehlen ist. Die Grenzwerte sind für Kreiselpumpen je nach Leistung und Pumpenaufstellung definiert.....        | 94 |



# 1 Zusammenfassung

## Zielsetzung und Leitfadenaufbau:

Ziel des Leitfadens ist die systematische Energieeinsparung und die Identifizierung von Stromproduktionspotentialen bei Wasserversorgungsanlagen. 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).

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 zur Energieeinsparung aus gesamtwirtschaftlicher Sicht und zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes sinnvoll.

Mit dem Leitfaden kann 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. Dabei müssen zumindest 80 % des Stromverbrauchs aller Pumpen durch Beurteilung von einzelnen Pumpenanlagen nachgewiesen werden. 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:

- Schritt 1: Feststellung des IST-Zustands
- Schritt 2: Abweichungsanalyse
- Schritt 3: Beurteilung Gesamtsystem und Maßnahmen

Die Durchführung dieser Schritte zur Analyse und Beurteilung des energetischen Zustands erfolgt mit Hilfe der bereitgestellten Excel-Datei *Leitfaden.xls*. In dieser Datei werden die gesamten Daten zusammengestellt und ausgewertet.

## Projekttablauf:

Zur Ermittlung der Kriterien und zugehörigen Richtwerte für den Leitfaden wurden Analysen der Energienutzung und Optimierungspotentiale bei 30 österreichischen Wasserversorgern durchgeführt. Einerseits wurden dazu Analysen des energetischen IST-Zustands von österreichischen Wasserversorgern durchgeführt ("Grobanalysen"), um eine Grundlage für die Ermittlung der Richtwerte zu erzielen. Andererseits wurden anhand von detaillierten Analysen ("Detailanalysen") Möglichkeiten zur Beurteilung der Energieeffizienz, die Ermittlung von Richtwerten und Maßnahmen zur Energieeinsparung untersucht. Während der Datenerhebungen konnte auch auf die Verfügbarkeit der notwendigen Daten in der Praxis geschlossen werden, die bei der Erstellung des Leitfadens berücksichtigt wurde.

Im Rahmen des Projekts wurden 3 Workshops mit Vertretern des Lebensministeriums, der KPC, der Länder, von Wasserversorgungsunternehmen und BOKU-SIG durchgeführt. Die Teilnahme der verschiedenen Interessensvertreter sollte eine bestmögliche praktische Umsetzbarkeit des zu entwickelten Leitfadens ermöglichen.

## Energieverbrauch österreichischer Wasserversorger

Abbildung 1 zeigt den Gesamtstromverbrauch der Wasserversorger bezogen auf die Systemeinspeisung (kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung). Zum Vergleich: Ein spezifischer Stromverbrauch

von 1 kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung bedeutet, dass eine Person durch einen täglichen Wasserverbrauch von 120 Litern in einem Jahr einen Stromverbrauch von 43,8 kWh verursacht. Das entspricht einer Brenndauer einer 10 W Energiesparlampe von 4.380 Stunden.

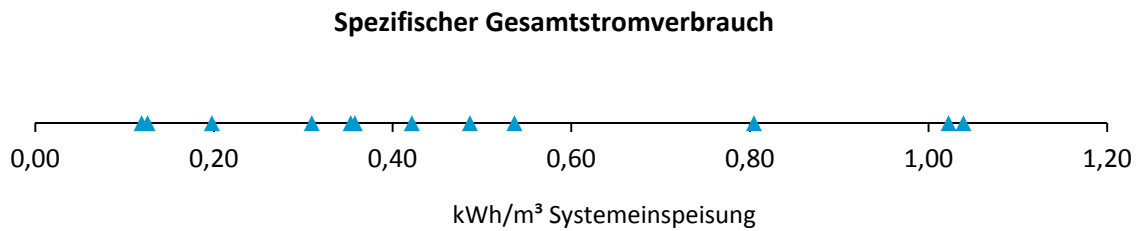


Abbildung 1: Spezifischer Gesamtstromverbrauch (kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung)

Abbildung 2 zeigt den Energieverbrauch der Wasserversorger aufgeteilt nach folgenden Bereichen:

- Aufbereitung und Desinfektion
- Pumpen: Brunnen, Pumpwerke, Drucksteigerungsanlagen (DSA)
- Speicherbauwerke
- Sonstige Stromverbraucher (z.B. Bürogebäude, Lagergebäude, Rohrbruchsicherungen)

Grundlage für die Abbildung sind die Stromverbräuche von 13 Wasserversorgern mit einem Gesamtstromverbrauch von 8.931.000kWh/a. Bei dieser Aufteilung wurde der gesamte Stromverbrauch eines Gebäudes bzw. einer Anlage einem dieser Bereiche zugeordnet.

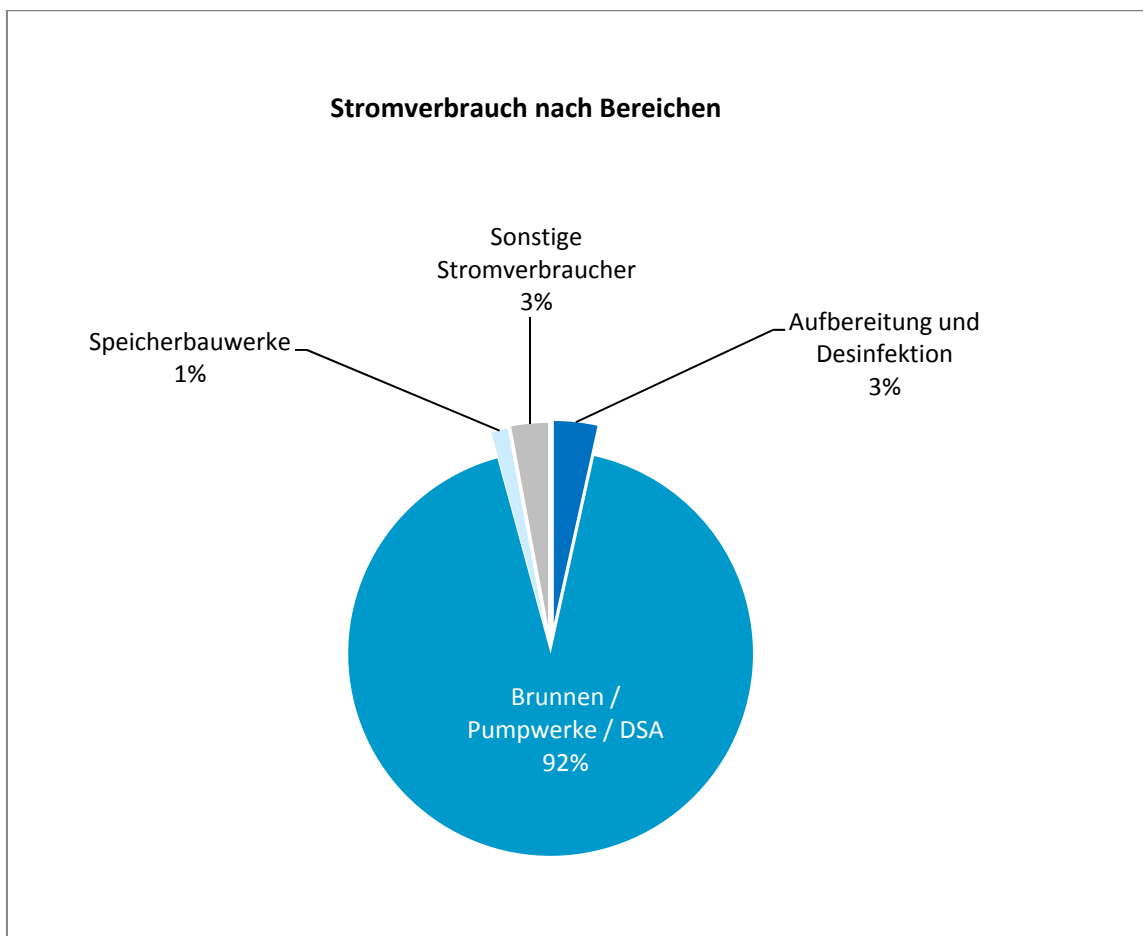


Abbildung 2: Stromverbrauch nach Bereichen

Wie Abbildung 2 zeigt, fällt der Großteil des Stromverbrauchs der Wasserversorger auf den Pumpenbetrieb zur Gewinnung und Verteilung des Wassers. Der Schwerpunkt der Maßnahmen zur Energieeinsparung sollte deshalb hier gesetzt werden. Der Stromverbrauch von Pumpwerken und Drucksteigerungsanlagen wird dabei von den topographischen Verhältnissen des Quell- und Versorgungsgebiets bestimmt. Wasserversorger, die einen großen Teil des Wassers von hoch liegenden Quellen beziehen und nur kleine Höhenunterschiede innerhalb des Versorgungsgebietes überwinden müssen, brauchen nur sehr wenig Pumpenergie. Je höher die zu überwinden Höhen und Entfernungen sind, desto größer ist die aufzubringende Pumpenergie. Deshalb ergibt sich ein großer Schwankungsbereich beim spezifischen Gesamtstromverbrauch der verschiedenen Wasserversorger (Abbildung 1). Aufgrund dieser unterschiedlichen Situationen lassen spezifische Stromverbrauchswerte pro  $\text{m}^3$  keine Aussage über die Energieeffizienz zu. Dafür müssen jedenfalls die zu pumpenden Wassermengen in Verbindung mit den zugehörigen Pumphöhen berücksichtigt werden.

Neben der Auswahl, dem Management und der Wartung der Pumpen wird der Stromverbrauch auch durch die Druckhöhenverluste im Netz bestimmt. Diese sollten bei einer Beurteilung der Energieeffizienz ebenfalls berücksichtigt werden.

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht kommt noch hinzu, dass über die Lebenszeit von Pumpen der Stromverbrauch einen großen Teil der Kosten im Vergleich zu den Investitions- und Unterhaltskosten ausmacht. Daher sollte der Stromverbrauch besonders bei der Pumpenauswahl berücksichtigt werden.

Die verschiedenen Aufbereitungsverfahren haben eine große Bandbreite von spezifischen Stromverbräuchen und müssen individuell betrachtet und beurteilt werden. Deshalb wurden im Rahmen der Grobanalyse wegen ihres verbreiteten Einsatzes nur Stromverbräuche von UV-Anlagen aufgenommen.

Abbildung 3 zeigt den spezifischen Stromverbrauch von 11 UV-Anlagen in  $\text{kWh}/\text{m}^3$ . Der plausible Wertebereich liegt zwischen 0,008 und 0,020  $\text{kWh}/\text{m}^3$ . Bis auf zwei Werte liegen alle aufgenommenen spezifischen Stromverbräuche außerhalb dieses Bereiches. Dies ist auf die ungenaue Abschätzung bei der Ermittlung des Stromverbrauchs der UV-Anlagen zurückzuführen. Aufgrund des geringen spezifischen Stromverbrauchs und der hygienischen Notwendigkeit von UV-Anlagen sind jedoch nur geringe Einsparungspotentiale im Vergleich zum Pumpenstromverbrauch vorhanden.

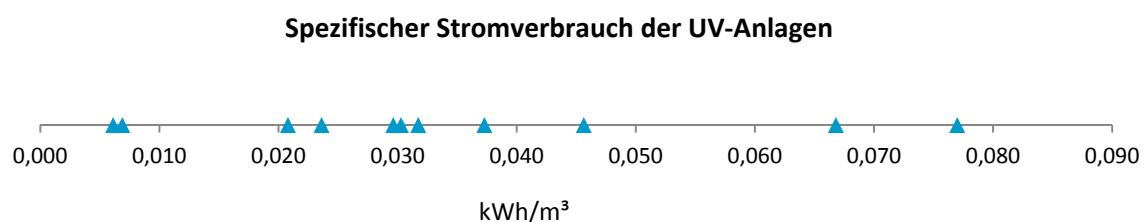


Abbildung 3: Spezifischer Stromverbrauch der UV-Anlagen ( $\text{kWh}/\text{m}^3$ )

Abbildung 4 zeigt eine Übersicht über spezifische Stromverbräuche bei Wasseraufbereitungs- bzw. Desinfektionsverfahren.

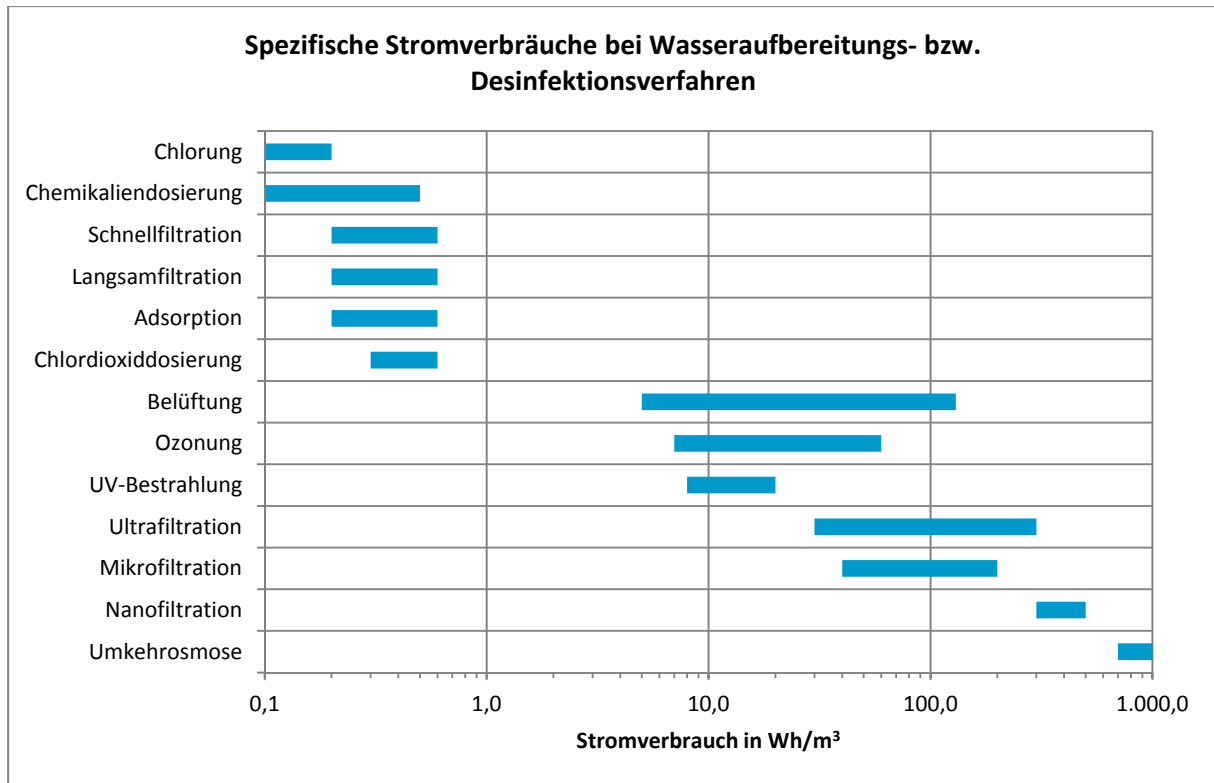


Abbildung 4: Spezifische Stromverbräuche bei Wasseraufbereitungs- bzw. Desinfektionsverfahren

### Beurteilung von Pumpenaggregaten:

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten zur Feststellung des energetischen IST-Zustands von Pumpenaggregaten (Brunnen, Pumpwerke, Drucksteigerungsanlagen). Einerseits mit Hilfe vorhandener 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.

Für Pumpenanlagen werden in Abhängigkeit der Pumpenleistung jeweils für trocken aufgestellte Kreiselpumpen und für Unterwasserpumpen im Leitfaden Richtwerte für den Gesamtwirkungsgrad  $\eta_g$  angegeben (Abbildung 5 und Abbildung 6). 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 Wirkungsgradbereich, 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 5 und Abbildung 6 zeigen die Einteilung der Wirkungsbereiche für trocken aufgestellte Kreiselpumpen und Unterwasserpumpen.

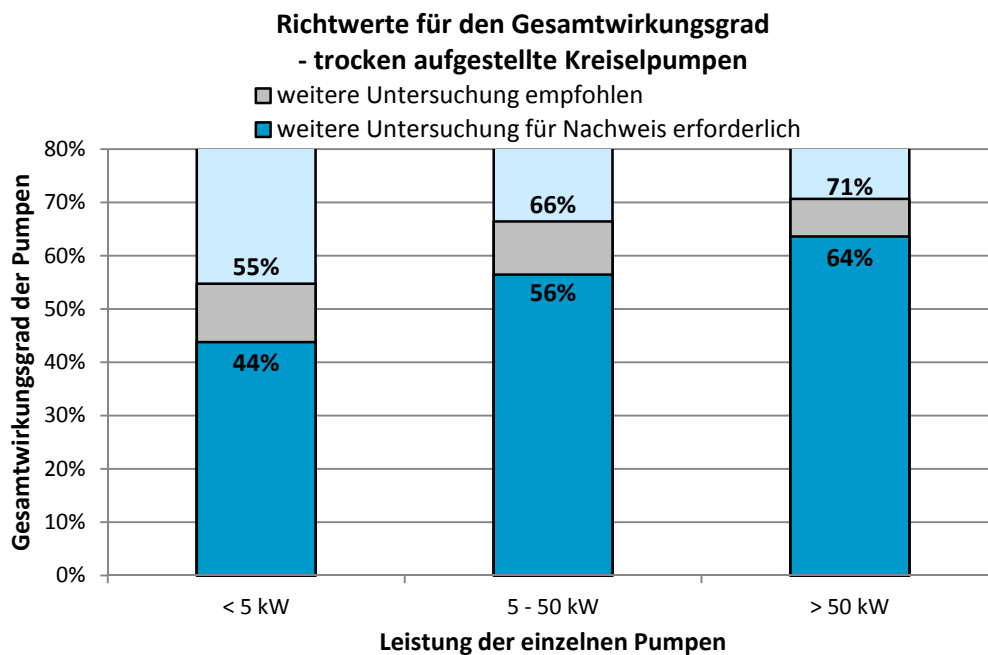


Abbildung 5: Richtwerte für Gesamtwirkungsgrade (Motor und Pumpe) von trocken aufgestellten Kreiselpumpen.

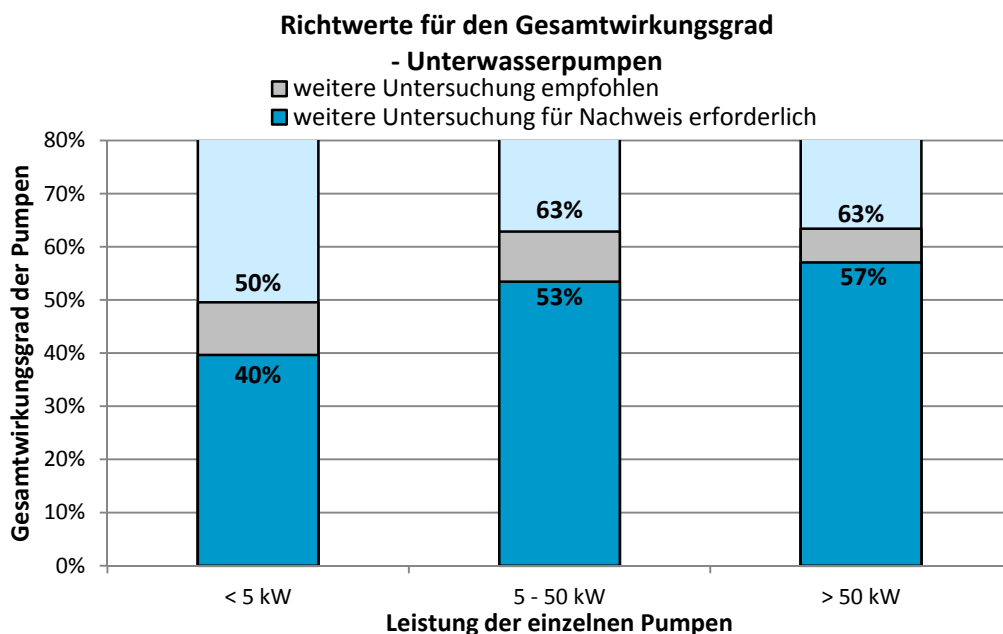


Abbildung 6: Richtwerte für Gesamtwirkungsgrade (Motor und Pumpe) von Unterwasserpumpen..



## 2 Projektziel und Projektablauf

### 2.1 Projektziel

Ziel des Projekts war die Erstellung eines Leitfadens, mit dem jeder Wasserversorger seinen energetischen Zustand, vorhandene Optimierungspotentiale der Energienutzung und Potentiale zur Stromerzeugung identifizieren kann. Der Leitfaden dient als Handlungsanleitung, um den energetischen IST-Zustand einer Wasserversorgung anhand von möglichst einfach ermittelbaren Kriterien festzustellen. Durch Vergleich mit den im Leitfaden angegebenen Richtwerten erfolgt die Beurteilung des Optimierungspotentials.

### 2.2 Projektablauf

Zur Ermittlung der Kriterien und zugehörigen Richtwerte für den Leitfaden wurden Analysen der Energienutzung und Optimierungspotentiale bei österreichischen Wasserversorgern durchgeführt. Einerseits wurden dazu Analysen des energetischen IST-Zustands von österreichischen Wasserversorgern durchgeführt ("Grobanalysen"), um eine Grundlage für die Ermittlung der Richtwerte zu erzielen. Andererseits wurden anhand von detaillierten Analysen ("Detailanalysen") Möglichkeiten zur Beurteilung der Energieeffizienz, die Ermittlung von Richtwerten und Maßnahmen zur Energieeinsparung untersucht. Während der Datenerhebungen konnte auch auf die Verfügbarkeit der notwendigen Daten in der Praxis geschlossen werden, die bei der Erstellung des Leitfadens berücksichtigt wurde. Abbildung 1 zeigt eine vereinfachte Übersicht über den Projektablauf.

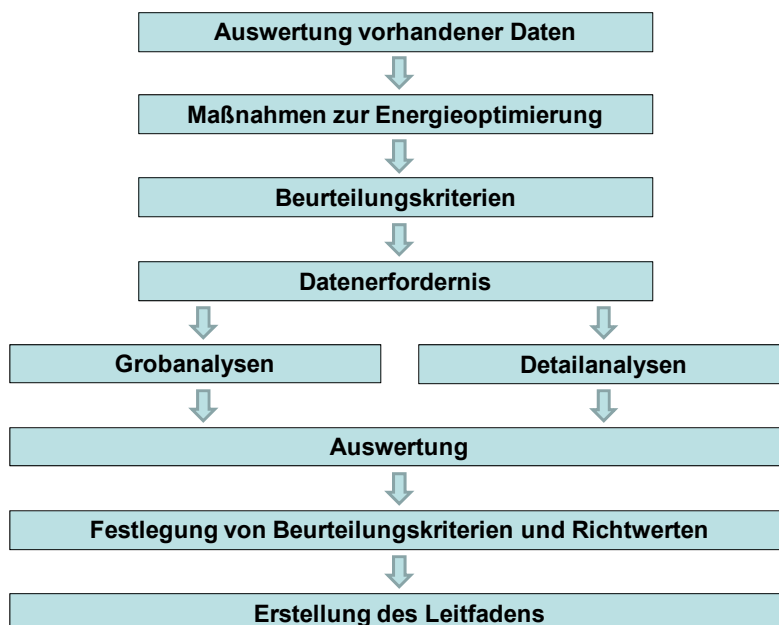


Abbildung 1. Übersicht über den Projektablauf

#### 2.2.1 Workshops und Präsentationen

Im Rahmen des Projekts wurden 3 Workshops (Teilnehmer: Lebensministerium, KPC, Ländervertreter, Wasserversorgungsunternehmen, BOKU-SIG) sowie eine Präsentation beim Arbeitskreis "Bund-Länder" abgehalten. Die Teilnahme der verschiedenen Interessensvertreter sollte eine bestmögliche praktische Umsetzbarkeit des zu entwickelten Leitfadens ermöglichen.

## 3 Grundlagen für die Datenerhebung und Analysen (AP2)

### 3.1 Auswertung bereits vorhandener Daten

Folgende Datensätze wurden bezüglich der Auswertbarkeit hinsichtlich Energieeffizienz bei Wasserversorgern untersucht:

- ÖVGW DW1 Daten – alt (1959-2000)
- ÖVGW DW1 Daten – neu (ab 2000)
- ÖVGW Benchmarking Stufe B

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die in diesen Datensätzen erhobenen und für Energieeffizienz relevanten Kennzahlen.

Tabelle 1. Übersicht über vorhandene Daten

| Bereich                            | Kennzahl                  | ÖVGW DW1 Daten alt (1959-2000)                           | ÖVGW DW1 Daten neu (ab 2000) | ÖVGW Benchmarking                             |
|------------------------------------|---------------------------|--|------------------------------|---|
| Wasseraufbringung und Wasserbilanz | Quellwasser               | 1000m <sup>3</sup><br>%                                  | 1000m <sup>3</sup><br>%      | %   |
|                                    | Grundwasser               | 1000m <sup>3</sup><br>%                                  | 1000m <sup>3</sup><br>%      | %   |
|                                    | Oberflächenwasser         | 1000m <sup>3</sup><br>%                                  | 1000m <sup>3</sup><br>%      | %   |
|                                    | Systemeinspeisung         |  |                              | m <sup>3</sup>                                |
|                                    | gesamte Wasserabgabe      | 1000 m <sup>3</sup>                                      | 1000 m <sup>3</sup>          | m <sup>3</sup>                                |
|                                    | reale Wasserverluste      | 1000 m <sup>3</sup>                                      | 1000 m <sup>3</sup>          | m <sup>3</sup><br>m <sup>3</sup> /HA/d<br>ILI |
| Anlagenstand                       | Anzahl der Pumpwerke      | Anzahl   | Anzahl                       | Anzahl  |
|                                    | Leistung der Pumpen       | m <sup>3</sup> /h (*)                                    | m <sup>3</sup> /h (*)        | kW  |
|                                    | Anzahl der Brunnen vert.  | Anzahl   | Anzahl                       | Anzahl  |
|                                    | Anzahl der Brunnen hor.   | Anzahl   | Anzahl                       | Anzahl  |
| Pumpwerkseinsatz - Stromverbrauch  | Dauer                     | h<br>% (*)   |                              |   |
|                                    | Arbeit                    | kWh/1000m <sup>3</sup> bzw.<br>kWh/100m <sup>3</sup> (*) |                              |   |
|                                    | Arbeit spez.              | <b>kWh/mt (*)</b>  |                              |   |
|                                    | durchschnittliche Hubhöhe |  |                              | m   |
| Stromverbrauch                     | Stromverbrauch gesamt     |  |                              | kWh/a   |
|                                    | Aufwendungen für Energie  |  |                              | EUR/a<br>Anteil an lauf. Aufw.                |

\* im Fall des Vorliegens dieser Kennzahlen wurden diese meist für das gesamte Wasserversorgungssystem angegeben und nur vereinzelt getrennt für die einzelnen Pumpwerke

Zur Beurteilung der Energieeffizienz sind Energieverbrauchszahlen mit Bezug auf die geleistete Arbeit erforderlich. Nur die Kennzahl "Arbeit" für den Stromverbrauch der Pumpwerke in kWh/mt (entspricht kWh/m/1000m<sup>3</sup>) erfüllt diese Voraussetzung. Die Datenlieferung zu dieser Kennzahl war jedoch sehr lückenhaft und erfolgte außerdem nur in einzelnen Fällen getrennt für einzelne Pumpwerke. Seit 2000 wurde diese nicht mehr im Rahmen der ÖVGW DW1 erhoben. Aus diesen Gründen wurden die Auswertungen dieser Kennzahl aus der alten ÖVGW DW1 nicht als Grundlage für den Leitfaden berücksichtigt.

### 3.2 Auswertung von internationaler Literatur und Erfahrungen

In der Schweiz und Deutschland wurden vom Bundesamt für Energie und SVGW (2002, 2004), vom Verein Infracatt<sup>1</sup> ([www.infracatt.ch](http://www.infracatt.ch)) und dem DVGW (2010b) Handbücher/Handlungsanleitungen zum Thema Energieeffizienz und -einsparung herausgegeben, die neben der unter Abschnitt 7 angeführten Literatur als Grundlage für diese Studie dienen.

Es wurden Kontakte zum DVGW wie auch deutschen Wasserversorgern hergestellt, um deren Erfahrungen mit Maßnahmen zur Energieoptimierung im Rahmen der Leitfadenerstellung zu nutzen. Folgende Veranstaltungen im Ausland wurden im Rahmen des Projekts besucht:

- Ausbildungs-Seminar: Energieeffiziente Pumpen auf Wasserversorgungen (Ausbildungszentrum SVGW Schwerzenbach, Schweiz, 15.06.2011)
- Wasser Berlin International – Fachmesse, Kongress, Publikumsschau (Berlin, Deutschland, 02. bis 05.05.2011)
- IWW-Innovationstag mit begleitender Fachausstellung „Wasser und Energie: Effizienz ist mehr als Stromsparen“ (Mülheim an der Ruhr, Deutschland, 05.07.2011)
- SIWA Stuttgart, 26. Trinkwasserkolloquium: Wasserversorgung und Energie - Nutzungskonflikte; Management und Technik zur Optimierung der Energieeffizienz (16.02.2012)

### 3.3 Maßnahmen zur Optimierung der Energienutzung

Der unmittelbare Nutzen von Energieoptimierungsmaßnahmen für den Betreiber ist eine Senkung der Betriebskosten. Während in der Wasserversorgung bei Investitionen und Kapitalkosten kaum Einsparungen möglich sind, kann eine Betriebskostensenkung durch Energieoptimierungsmaßnahmen ohne nachteilige Folgen auf Versorgungssicherheit, Trinkwasserqualität und Betrieb erreicht werden. Neben der Kostensenkung für den Betreiber, führt die Senkung des Energiebezugs zu einer Umweltentlastung und Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. Darüber hinaus kann durch Trinkwasserkraftwerke das vorhandene Energiepotential zur Stromproduktion genutzt werden und damit der Ökostromanteil gesteigert werden. Sowohl die Senkung des Energiebezugs wie auch die Energieproduktion führen zu einer Steigerung der Unabhängigkeit und Versorgungssicherheit.

#### 3.3.1 Aufbereitung und Desinfektion

Der Energieverbrauch für die Aufbereitung und Desinfektion hängt vorwiegend vom angewendeten Verfahren ab. Grundsätzlich sollte geprüft werden, ob Aufbereitungsaufwand vermieden werden kann, vor allem durch die maximale Nutzung von Ressourcen, die wenig Aufbereitung erfordern. In Tabelle 2 sind Maßnahmen zur energetischen Optimierung für die verschiedenen Aufbereitungsverfahren zusammengestellt.

---

<sup>1</sup> Verein für die Energienutzung aus Abwasser, Abfall, Abwärme und Trinkwasser

### 3.3.2 Pumpen

Die größten Energieverbraucher in der Wasserversorgung sind Pumpen. In Tabelle 2 unter "Wasserförderung – Effizient Pumpen" sind Maßnahmen zur Reduktion des Stromverbrauchs von Pumpen zusammengestellt. Neben den Maßnahmen um effizient zu Pumpen spielt für den Pumpenstromverbrauch auch die Förderhöhe  $H$  (Summe aus geodätischer Förderhöhe und Reibungsverluste) eine große Rolle. Maßnahmen zur Minimierung der Förderhöhe durch Optimierung des Rohrnetzes sind in Tabelle 2 unter "Wasserförderung – Rohrnetz optimieren" zusammengestellt. Schließlich verursachen zu große Wasserverluste einen vermeidbaren Stromverbrauch, insbesondere wenn Wasser über große Höhen gepumpt werden oder aufbereitet werden muss.

### 3.3.3 Trinkwasserkraftwerke

Trinkwasserkraftwerke wandeln die überschüssige Energie des Wassers, die durch geodätische Höhenunterschiede in der Wasserversorgungsanlage bedingt ist, in Strom um. Geeignete Standorte für Trinkwasserkraftwerke finden sich nicht nur im Gebirge, wo zwischen Quellwasserfassung und Trinkwasserbehälter große Höhenunterschiede vorkommen, sondern auch in niedrigeren Lagen. Beispielsweise bereits 50 m Druckhöhe und 500 l/min Wassermenge können für eine wirtschaftliche Stromproduktion ausreichen. Neben Quellwasserleitungen können Turbinen auch in Verbindungsleitungen zwischen Trinkwasserbehältern und unterschiedlichen Druckzonen angeordnet werden. Sowohl in der Schweiz (Bundesamt für Energie und SVGW, 2004) wie auch in Österreich werden Trinkwasserkraftwerke seit langem erfolgreich eingesetzt.

Es steht außer Frage, dass die Versorgungssicherheit mit einwandfreiem Trinkwasser gegenüber der Stromproduktion Vorrang hat. Um die hygienischen Bestimmungen zu gewährleisten, ist darauf zu achten, dass nur trinkwassertaugliche Materialien zum Einsatz kommen. Fachgerecht geplante und ausgeführte Trinkwasserkraftwerke beeinträchtigen die Wasserversorgung in keiner Art und Weise. Für den Fall einer Betriebsunterbrechung sollte das Trinkwasserkraftwerk über einen Bypass verfügen. Da die Trinkwasserversorgung absoluten Vorrang hat, muss sichergestellt sein, dass beim Ausfall von Turbine oder Generator die Druckminderung etwa über ein Druckreduzierungsventil durchgeführt werden kann.

Zu den Anlagenteilen eines Trinkwasserkraftwerks gehören Druckleitung, Krafthaus, Turbine, Generator<sup>2</sup>, Transformator<sup>3</sup> und Blindleistungskompensation<sup>4</sup>.

### 3.3.4 Wärmenutzung

Die in Roh- und Trinkwasser vorhandene Wärmemenge kann zur Beheizung von Gebäuden genutzt werden. Einer Wasserfassung bzw. einer Wasserleitung wird zu diesem Zweck mittels Wärmepumpe Energie entzogen. In der Schweiz sowie auch in Deutschland stehen mehrere solcher Anlagen in Betrieb, die die angeschlossenen Gebäude mit Heizwärme versorgen. Zusätzlich ist eine konventionelle Öl- oder Gasheizung installiert, die die Spitzendeckung an den kältesten Tagen übernimmt und in Notfällen zugeschaltet werden kann. Interessant ist hierbei die Finanzierung über Contracting, bei der der Contractor (z.B. ein Energieunternehmen) die Finanzierung, Bau und Betrieb der Anlage übernimmt (Bundesamt für Energie und SVGW, 2004). Anlagen zur Wärmenutzung können unter gewissen Voraussetzungen auch für Kühlzwecke in Gebäuden genutzt werden. Dies

---

<sup>2</sup> Man unterscheidet Synchron- und Asynchrongeneratoren. Synchrongeneratoren werden bei Kraftwerken mit höherer Leistung eingesetzt werden. Sie müssen mechanisch hochgefahren und mit der Frequenz des Drehfeldes synchronisiert werden, brauchen eine Drehzahlregelung, sind teurer und wartungsintensiver als Asynchrongeneratoren, stabilisieren die Netzfrequenz und sind daher für Inselbetrieb geeignet. Asynchrongeneratoren werden besonders bei Wasserkraftwerken < 150 kW eingesetzt, sind billiger, einfacher und wartungsärmer. Es ist keine Netzsynchronisation erforderlich, ein Inselbetrieb ist jedoch problematisch (Institut für Wasserwirtschaft, 2009).

<sup>3</sup> Der Transformator dient zur Anpassung der Wechselspannung zwischen verschiedenen Spannungsebenen. Die Umspannung auf eine höhere Netzebene erfolgt zumeist am Netzanschlusspunkt.

<sup>4</sup> Insbesondere bei Asynchrongeneratoren ist nach Absprache mit dem Energieversorger eine Blindleistungskompensation vorzusehen.

führt jedoch zu einer Erwärmung des Trinkwassers, welche hinsichtlich der Wasserqualität grundsätzlich unerwünscht ist.

### 3.3.5 Systematische Übersicht über Maßnahmen

Tabelle 2 zeigt eine systematische Übersicht über mögliche Maßnahmen zur Einsparung von Energie und zur Energiegewinnung in der Wasserversorgung. Die Übersicht folgt einer dreiteiligen Systematik mit den Kategorien Bereich, Ziel und Einzelmaßnahmen (siehe Abbildung 2). Abbildung 3 zeigt eine Übersicht über die Ziele in den jeweiligen Bereichen. Grundlage für die Erstellung der Tabelle waren Unterlagen des Bundesamts für Energie und SVGW (2002, 2004), des DVGW (2010b) und des Vereins Infracwatt ([www.infracwatt.ch](http://www.infracwatt.ch)).

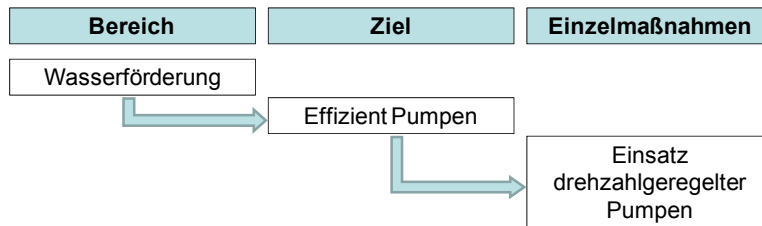


Abbildung 2. Systematik zur Einteilung der Maßnahmen zur Energieoptimierung mit einem Beispiel einer Einzelmaßnahme

| Ziel der Maßnahmen | Wassergewinnung  |
|--------------------|--|
|                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Möglichkeiten der Wassergewinnung mit geringem Energieaufwand nutzen</li> <li>Hohe Ergiebigkeit der Brunnen gewährleisten</li> <li>Angepasste Brunnenbewirtschaftung</li> <li>Druckverluste minimieren</li> </ul> |
| Ziel der Maßnahmen | Wasseraufbereitung   |
|                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vermeidung von Aufbereitungsaufwand</li> <li>Effiziente Steuerung und Regelung</li> <li>Aufbereitungsverfahren optimieren</li> </ul>  |
| Ziel der Maßnahmen | Wasserspeicherung  |
|                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Maximale Nutzung von frei zufließendem Quellwasser</li> <li>Vergleichmäßigung des Betriebes aller Wasserversorgungsanlagen</li> <li>Verluste minimieren</li> </ul>  |
| Ziel der Maßnahmen | Wasserrförderung   |
|                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Effizient pumpen</li> <li>Rohrnetz optimieren</li> <li>Wasserverluste minimieren</li> </ul>   |
| Ziel der Maßnahmen | Energiegewinnung   |
|                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hydraulische Energie nutzen</li> <li>Wärmenergie nutzen</li> </ul>  |
| Ziel der Maßnahmen | Sonstige Einsparungspotentiale   |
|                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Energiesparen in Betriebsgebäuden</li> </ul>  |

Abbildung 3. Übersicht über die Ziele in den jeweiligen Bereichen





Tabelle 2. Übersicht über mögliche Maßnahmen zur Energieeinsparung und Energiegewinnung.

| Ziel  | Maßnahmen  | Rahmenbedingungen   |
|---|--|---|
| <b>Wassergewinnung</b>  |  |   |
| Möglichkeiten der Wassergewinnung mit geringem Energieaufwand nutzen  | Nutzung von frei zufließendem <b>Quellwasser</b> maximieren. Überlauf minimieren.  | Betrachtung bestehender Quelfassungen   |
|   |  | Betrachtung noch nicht gefasster Quelfassungen  |
|   |  | Untersuchung ob stillgelegte Quelfassungen reaktiviert werden können  |
|   | Einsatz von <b>Heberleitungen</b>  | Geschickte Unterteilung des Versorgungsgebietes in Druckzonen   |
| Kooperation von benachbarten Wasserversorgern, um überschüssiges Quellwasser zu beziehen bzw. abzugeben   |  | Sinnvoll wenn in Summe die benötigte Förderenergie bzw. Energiekosten eingespart werden können  |
| Einsatz von <b>Horizontal- statt Vertikalfilterbrunnen</b> betrachten, da sich durch die geringere Absenkung bei Horizontalfilterbrunnen eine geringere Förderhöhe ergibt |  | Nur möglich wenn geringe Höhenunterschiede zu überwinden sind und genügend große Fallhöhe zur Verfügung steht   |
|   |  | Bei Neuplanung: Wasserqualität, hydrologische Bedingungen und Betriebskosten beachten   |
| Hohe Ergiebigkeit der Brunnen gewährleisten und Wasserspiegelabsenkung minimieren   | <b>Brunnenalterung vorbeugen</b>   | Bei Umgestaltung bestehender Anlagen: Prüfen, ob Umstellung auf Horizontalfilterbrunnen wirtschaftlich (im Normalfall erst bei Erweiterung bzw. Erneuerung) |
|   |  | Filterrohre mit geringem Filterwiderstand (möglichst viele kleine Filtereintrittsöffnungen, die gleichmäßig über die Filterfläche verteilt sind)            |
|   |  | Prüfung eines möglichen Einsatzes von Wickeldrahtfiltern  |
|   |  | Gleichmäßiger Betrieb von Brunnen   |
|   | <b>Brunnenregenerierung</b>  | Regenerierung gemäß DVGW W 130 (A)  |
| Angepasste Brunnenbewirtschaftung   | Brunnen sollen <b>gut aufeinander abgestimmt</b> werden, sodass es zu keiner bzw. nur geringer gegenseitiger Beeinflussung kommt                                   |   |
|   | Wasserförderung möglichst <b>konstant</b> bei niedriger Fließgeschwindigkeit halten  |   |
|   | Brunnen mit dem <b>niedrigsten spezifischen Energiebedarf</b> [kWh/m <sup>3</sup> ] bzw. der geringsten Absenkung identifizieren und priorisieren                  |   |
|   | Einsatz <b>drehzahl geregelter Brunnenpumpen</b> prüfen (zur Vergleichmäßigung der Förderung, Schonung des Brunnenmaterials und Optimierung der Rohwasserqualität) |   |
|   | Je nach Flurabstand können <b>trocken aufgestellte Kreiselpumpen</b> eingesetzt werden (besserer Wirkungsgrad als Unterwassermotorpumpen)                          |   |
|   | Entnahmemenge auf <b>Maximalfördermenge</b> beschränken, um die Wasserspiegelabsenkung zu beschränken. Eine größere Anzahl von Brunnen kann Vorteile bringen.      |   |
|   | Regenerierung bereits bei 10% bis 20% Leistungsrückgang des Brunnens bzw. Messung des Druckverlustes im Filterkies   |   |
| Druckverluste minimieren  | <b>Effizienter Einsatz von Rückschlagventilen</b>  | Bis ca. 6 m Saughöhe können trocken aufgestellte Kreiselpumpen eingesetzt werden, die einen besseren Wirkungsgrad als Unterwassermotorpumpen haben          |
|   |  | Wenn zwei Rückschlagventile im Einsatz sind, kann eines eingespart werden   |
|   |  | Ein mögliches Risiko durch den Ausbau ist abzuschätzen  |
|   | Einsatz von strömungsgünstigeren Bauformen prüfen  |   |

| Wasseraufbereitung                  |   |  |   |
|-------------------------------------|---|--|---|
| Vermeidung von Aufbereitungsaufwand | Priorität für die <b>Wasservorkommen</b> , die am <b>wenigsten Aufbereitung erfordern</b> .<br>Bei der Nutzung von Oberflächenwasser Betrachtung des Energieeinsparpotentials durch Uferfiltration oder künstliche Grundwasseranreicherung  |  | Vergleich der Energieeinsparung bei der Aufbereitung mit dem Energiemehraufwand zur Wassererfassung   |
|                                     | <b>Berücksichtigung des Energieverbrauchs</b> bei der Auswahl von Aufbereitungsverfahren bei Neubau, Sanierung bzw. Ausbau der Aufbereitungsanlage.   |  | Insbesondere Membranfiltration, aber auch Ozonung, UV-Bestrahlung und Belüftung sind energieaufwendig. Die Auswahl wird massgeblich durch Rohwasserqualität, Anforderungen an die TW-Qualität, Betriebssicherheit, Ausbaubarkeit, Auslastungsgrad sowie Adaptierbarkeit bestimmt. |
| Effiziente Steuerung und Regelung   | Verfahrenstechnisch und energetische Optimierung der Wasseraufbereitung durch <b>Vergleichmäßigung der Rohwasserqualität durch drehzahleregelten Pumpenbetrieb</b>  |  |   |
|                                     | Optimierung bestehender Aufbereitungsanlagen durch <b>Parallelschaltung</b> (z.B. Strahler bei UV-Anlage werden bei stark schwankendem Rohwasseranfall ein bzw. ausgeschaltet)  |  | Bei Filtern nicht zu empfehlen, weil die Außerbetriebnahme und das Anfahren zu betrieblichen Problemen führen kann  |
|                                     | <b>Regelung nach Kenngröße:</b> 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 |  |   |
| Aktivkohleadsorption                | Bei der <b>Planung</b> einer Adsorptionsanlage <b>mithilfe von Versuchen</b> die geeignetste Aktivkohle auswählen   |  |   |
|                                     | <b>Kontinuierlichen Betrieb</b> anstreben wegen (wenn auch nur minimaler) Energieeinsparungen und verbesserten Wasserqualität   |  | Aktivkohlefilter lassen sich nur beschränkt energetisch optimieren. Der Energieaufwand dieser Anlagen ist klein.  |
|                                     | Betrachtung der Varianten (1) betriebsinterne Reaktivierungsanlage und (2) externe Regeneration bzw. Kauf von neuer Aktivkohle  |  | Betriebsinterne Reaktivierungsanlage erst ab Aktivkohlemenge von 500 t/a sinnvoll   |
|                                     | <b>Abwärme</b> von Regenerations- bzw. Reaktivierungsanlagen bei anderen Prozessen <b>nutzen</b>  |  | Bei Betriebsinterner Regeneration/Reaktivierung   |
|                                     | Für die Erzeugung von Wasserdampf zur betriebsinternen Reaktivierung der Kohle ist eine <b>Kraft-Wärme-Kopplungsanlage zur Dampferzeugung</b> anstatt eines konventionellen Dampfkessels sinnvoll   |  |   |
|                                     | <b>Maximale Filterlaufzeit ausnützen</b> bevor Regenerierung/Reaktivierung ausgeführt wird  |  |   |
| Belüftung                           | Einsatz von <b>Kaskaden- bzw. Wellbahnbelüftern</b> mit niedrigem Energieverbrauch  |  | Sofern das Ergebnis einer solchen Belüftung ausreicht   |
|                                     | <b>Nutzung keramischer Belüftungselemente</b> , um möglichst feinblasigen Lufteintrag zu erreichen  |  |   |
|                                     | <b>Anpassung des Luftstroms</b> an den Durchfluss durch Drehzahlregelung des Gebläses (Drosselung des Luftvolumenstroms ist energetisch eher nachteilig)  |  | Bei schwankendem Durchfluss   |
|                                     | <b>Anpassung des Luftstroms</b> an den Sauerstoffgehalt im Wasser   |  |   |



|  |   |   |
|--|---|---|
| Chemikalienlagerung                      | Prüfung ob (1) Isolierung der Lagertanks und einzelner Anlagenteile oder (2) die Unterbringung in in einem wärmetechnisch isolierten und beheizbarem Raum günstiger   |   |
|  | Falls Medienleitungen mit erforderlichen Mindesttemperaturen außerhalb beheizter Gebäude geführt werden, sollten vorgefertigte Doppelrohrsysteme mit integrierter Begleitheizung und Wärmeisolierung bevorzugt werden |   |
|  | Prüfung ob <b>Beheizung</b> der Lagerräume bzw. Lagertanks <b>durch Abwärme von Motoren</b> möglich ist   |   |
|  | Gegenüberstellung der <b>Kosten von 50%iger</b> und denen von <b>30%iger Natronlauge</b> , da bei 30%iger die Kosten für Zusatzheizung und Isolierung entfallen   |   |
| Chlorung                                 | <b>Heizung optimieren</b>   | Erforderliche Mindesttemperaturen nicht unterschreiten  |
|  | <b>Be- und Entlüftungsöffnungen</b> von Chlorgasräumen auf das sicherheitstechnisch erforderliche Mindestmaß <b>beschränken</b>   |   |
| Flockung                                 | <b>Gesamtprozess</b> (Flockung + Sedimentation/Flotation/Filtration) durch Auswahl der Kombinationen mit dem niedrigstem spez. Energieverbrauch energetisch <b>optimieren</b>   | Der energetische Aufwand des Gesamtprozesses ist stark von der Kombination abhängig. Z.B. ist ein größerer Flockendurchmesser bei der Sedimentation notwendig und daher größerer Energieaufwand durch längere Rührzeiten. |
|  | Die Art und Kombination der <b>Flockungsmittel und Flockungshilfsmittel</b> kann die Menge des anfallenden Schlammes und den damit notwendigen Energieaufwand für Schlammbehandlung beeinflussen                      |   |
|  | <b>Abstimmung</b> der Menge an <b>dosierten Mitteln</b> auf die <b>Rohwassermenge</b>   |   |
|  | Prüfen, ob <b>mehrstufige Flockungsreaktoren</b> einsetzbar, da hier der erforderliche Energieeintrag je nach Bedarf abgestuft werden kann  |   |
|  | Prüfen, ob <b>Rührer eingespart</b> werden können und die Durchmischung mittels statischer Systeme (durchströmte Kammern mit hydraulisch wirksamen Einbauten) oder Rohre erfolgen kann                                |   |
| Flotation                                | <b>Prüfen, ob</b> eine <b>Flockung</b> mit anschließender <b>Sedimentation günstiger</b> ist  |   |
|  | Optimierung der eingesetzten <b>Kompressoren, Gebläse und Ventilatoren</b> (siehe eigener Punkt)  |   |
| Langsamfiltration                        | Anstreben eines möglichst <b>kontinuierlichen Betriebes</b>   |   |
| Mechanische Vorreinigung (Siebe, Rechen) | <b>Differenzdruckgesteuerte</b> statt zeitgesteuerter <b>Reinigung</b> des Rechens zur Vermeidung unnötiger Reinigungsvorgänge  |   |

Aufbereitungsverfahren optimieren

|   |  |  |
|---|--|--|
| Membranverfahren  | <p><b>Abwägung ob</b> Membranverfahren <b>notwendig</b>, ob der Aufwand für Bau und Betrieb wirtschaftlich ist und welche Anforderungen gestellt werden</p>  | Bei der Auswahl des Aufbereitungsverfahrens in der Planungsphase   |
|   | Bau einer <b>Pilotanlage</b> zur Festlegung des <b>optimalen Membrantyps bzw. Membranmaterials</b> für das vorliegende Rohwasser   | Bei der Planung der Membrananlage  |
|   | Prüfen, ob <b>Dead-End-Flow</b> statt Cross-Flow mit <b>weniger Energieaufwand</b> verbunden ist   |  |
|   | Druck aus bestehenden <b>Höhendifferenzen nutzen</b>   |  |
|   | <p><b>Fouling</b> durch Vorreinigung und chemische Vorbehandlung verringern</p> <p><b>Scaling</b> durch regelmäßiges Spülen verringern</p> <p>Optimierung der <b>Spülintervalle</b></p>  | Betrieb der Anlage   |
|   | Prüfen der Möglichkeit, die <b>Spülwassermenge durch Zugabe von Chemikalien zu reduzieren</b> . Die Chemikalienwahl hängt von der Rohwasserqualität ab. Abwägung der Kosten für Chemikalien gegenüber den Energieeinsparung beim Spülen. |  |
|   | Ozonung  | Prüfen, ob der Energieverbrauch bei der <b>Kombination von Ozonung mit UV-Bestrahlung</b> geringer ist als der von der reinen Ozonung  |
| <b>Abwärme:</b> Nutzung der Abwärme aus der Ozonerzeugung zur thermischen <b>Regenerierung</b> des Adsorptionsmittels für die Lufttrocknung   |  | Ozonerzeugung aus Luft, die vorher mit einem Adsorptionsmittel getrocknet wird   |
| <b>Abwärme:</b> Nutzung der Abwärme aus der Ozonerzeugung zur Aufheizung der ozonhaltigen Abgase zur thermischen bzw. katalytischen <b>Ozonentfernung</b>   |  |  |
| <b>Abwärme:</b> Nutzung der Abwärme aus der Ozonerzeugung zur <b>Beheizung bzw. Wasseraufbereitung</b> mittels Wärmepumpen  |  |  |
| <b>Lufttrocknung:</b> Zur energiesparenden Trocknung können <b>Molekularsiebe</b> bzw. bei größeren Leistungen Kombination aus Molekularsieben und <b>Silicagel</b> eingesetzt werden                           |  | Ozonerzeugung aus Luft, die vorher getrocknet wird   |
| <b>Lufttrocknung:</b> Einsatz einer <b>kältetechnische Luftentfeuchtung</b> vor der adsorptiven Trocknung   |  | Ozonerzeugung aus Luft, die vorher getrocknet wird   |
| <b>Lufttrocknung: Regenerationsintervall optimieren</b> (abhängig von Taupunkt oder regelmäßiger Zeitintervall). Regenerationsdauer optimieren (möglichst kurz, sobald Feuchtigkeit komplett ausgetrieben ist). |  | Ozonerzeugung aus Luft, die vorher getrocknet wird   |
| <b>Ozonerzeugung: Ozonkonzentration</b> im Ozon-Gas-Gemisch <b>erhöhen</b> und dadurch die notwendige einzubringende Gasmenge (Einbringungsenergie) klein halten  |  | Gesamtbetrachtung wieviel Energie für (Ozon-) Erzeugung mehr aufgewendet werden muss und wieviel beim Eintrag des Gases eingespart wird  |
| <b>Ozonerzeugung: Ozon aus Sauerstoff</b> herstellen, da bei Herstellung aus Luft fast doppelt so viel Energie benötigt wird  |  | Gesamtbetrachtung notwendig, da auch die Herstellung von Sauerstoff aus Luft Energie benötigt  |
| <b>Ozonerzeugung:</b> Bei Herstellung des Ozons aus Sauerstoff, kann durch die <b>Zugabe</b> einer geringen Menge <b>Stickstoff</b> zum Rohgas ein besserer Wirkungsgrad erreicht werden                        |  | Ozonerzeugung aus Sauerstoff   |
| <b>Ozonerzeugung:</b> Wahl eines <b>energiesparenden</b> Verfahrens für die <b>Begasung</b> , bei dem ein Gesamtwirkungsgrad von >90% erreicht wird   |  | Bei großen Gasmengen (d.h. bei der Herstellung von Ozon aus Luft) eignet sich z.B. die <b>Kerzenbegasung</b>   |
| <b>Restozongehalt im Wasser:</b> Regelung der Ozonzugabe mittels <b>Messung des Restozongehalts</b> im Wasser. Dadurch kann die Ozondosierung auf das nötige Minimum eingestellt werden.                        |  | Bei Anlagen, bei denen der Gasdurchsatz schwer variierbar ist (z.B. Kerzenbegasung), sollten mehrere Begasungsstrecken eingebaut werden, damit Strecken entsprechend zu- oder abgeschaltet werden können |
| <b>Restozongehalt in der Luft:</b> Prüfung, welche Art der <b>Abgasreinigung (thermisch oder katalytisch)</b> günstiger ist   |  | Die katalytische Ozonentfernung benötigt niedrigere Temperaturen als die thermische, allerdings sind die Investitionskosten hoch   |



|                   |  |  |
|-------------------|--|--|
|                   | <p><b>Restozongehalt in der Luft:</b> Nutzung der <b>Abwärme</b> der Ozonherstellung für die <b>Abgasreinigung</b></p>   |  |
|                   | <p><b>Weitergehende Oxidation mit UV:</b> durch Kombination der Ozonung mit UV-Bestrahlung kann die Oxidation verbessert und der Gesamtenergieverbrauch evtl. reduziert werden</p>                                     |  |
| Schlammbehandlung | <p><b>Vermeidung von Rückständen</b> aus der Wasseraufbereitung zur Energieverbrauchs- bzw. Kostensenkung (siehe DVGW-Arbeitsblatt W 221-3)</p>  |  |
|                   | <p><b>Volumenverminderung:</b> sinnvolle <b>Reihenfolge der Verfahren</b> (Sedimentation/Eindickung - maschinelle Entwässerung - thermische Trocknung)</p>   |  |
|                   | <p><b>Volumenverminderung:</b> Nutzung <b>natürlicher Entwässerungsverfahren:</b> Schwerkraft (Drainage, Eindickung), Sonne &amp; Wind (Verdunstung) oder Frosteinwirkung</p>  | <p>Diese Verfahren sind zeitaufwändig und beanspruchen große Flächen</p>                                       |
|                   | <p><b>Volumenverminderung:</b> <b>Auswahl</b> der Entwässerungsverfahrens <b>auf Grund von Versuchen</b>, in denen auch jahreszeitliche Schwankungen zu berücksichtigen sind (siehe DVGW-Arbeitsblatt W 221-2 (A))</p> |  |
| Schnellfiltration | <p>Grundsätzlich ist ein <b>kontinuierlicher Betrieb</b> hinsichtlich der Wasserqualität anzustreben</p>   |  |
|                   | <p><b>Auswahl des Verfahrens:</b> <b>Mehrschichtfilter</b> bieten gegenüber <b>Einschichtfiltern</b> <b>Energieeinsparungspotential</b> (Tiefenfiltration, geringere Druckverlust und größere Rückspülintervalle)</p>  |  |
|                   | <p><b>Filterauslegung mittels halbtechnischer Versuche</b>, da Bemessungsgleichungen für Filter keine guten Ergebnisse liefern</p>   |  |
|                   | <p><b>Filterspülung:</b> Optimierung der <b>Spüldauer</b>, insbesondere in der letzten Phase (Klarspülen) wird im allgemeinen zu lange gespült</p>   | <p>Die Ermittlung der Parameter (z.B. Resttrübung) sollte in enger Zusammenarbeit mit einem Labor erfolgen</p> |
|                   | <p><b>Filterspülung: Kontinuierlicher Filterbetrieb</b>, um große Spülintervalle zu erzielen. Spülung nach einem bestimmten Wasserdurchsatz und/oder nach Anstieg des Differenzdruckes auf einen bestimmten Wert.</p>  |  |
| Sedimentation     | <p>Anpassung der Sedimentation an die Betriebsverhältnisse, insbesondere im Zusammenspiel mit der Flockung</p>   |  |
|                   | <p>Zeitlich <b>optimale</b> und effektive <b>Schlammräumung</b>. Schlammabzug erst bei Erreichung eines bestimmten Schlammniveaus.</p>   |  |



|  |  |   |   |
|--|--|---|---|
|  | UV-Bestrahlung                         | <b>Ablagerungen:</b> Neben der mechanischen Reinigung von Zeit zu Zeit eine <b>chemische Reinigung</b> anwenden   |   |
|  |  | <b>Ablagerungen:</b> Bei Werten oberhalb 50% der genannten chemischen Parameter sollten <b>Pilotversuche mit einem Demonstrationsgerät</b> durchgeführt werden, um festzustellen, in welchem Ausmaß <b>Ablagerungen</b> entstehen und ob sie mit den angebotenen Reinigungsverfahren beherrscht werden können | Folgende Werte sollten eingehalten werden, um Ablagerungen zu vermeiden:<br>Ca-abschiedekapazität bei Betriebstemp. ≤ 10 mg/l<br>Eisengehalt (Fe <sub>ges</sub> ) ≤ 50 µg/l<br>Mangangehalt ≤ 20 µg/l |
|  |  | <b>Ablagerungen:</b> Durch den Einsatz von <b>Niederdruckstrahlern statt Mitteldruckstrahlern</b> können Calcitabscheidungen verhindert werden (weil es aufgrund der niedrigeren Leistungsdichte zu einer niedrigeren Grenzschichttemperatur und damit zu einer geringeren Abscheidung kommt)                 |   |
|  |  | <b>Durchflussschwankungen:</b> UV-Anlagen können für <b>mehrere Auslegungspunkte</b> zertifiziert werden und so entsprechend des Durchflusses geschaltet werden   |   |
|  |  | <b>Durchflussschwankungen:</b> Dimmen der UV-Strahler (prüfen, ob energetisch sinnvoll)   |   |
|  |  | <b>Durchflussschwankungen:</b> <b>Ausschalten einer Desinfektionsstrecke</b>  |   |
|  | Kompressoren, Gebläse und Ventilatoren | Bei der <b>Auslegung</b> je nach vorliegendem Fall eine entsprechende Auswahl eines <b>zentralen oder dezentralen Systems</b> treffen   |   |
|  |  | Anstreben einer <b>hohen Auslastung</b> . Betragen die Laststunden weniger als die Hälfte der Betriebsstunden, ist zu prüfen, ob beim Ersatz die Anlage durch eine besser ausgelegte ersetzt werden kann.   |   |
|  |  | Bei einem zeitlich <b>unterschiedlichen Druckluftbedarf</b> Einsatz einer <b>Drehzahlregelung</b> und Prüfen des Einsatzes von <b>Druckluftspeichern</b>  |   |
|  |  | Optimierung des <b>Leitungsdurchmessers</b> und der <b>Rohrführung</b>  |   |
|  |  | Prüfen der Möglichkeit zur <b>Nutzung der Abwärme</b> von Kompressoren  |   |
|  |  | Je <b>kälter</b> die <b>Ansaugluft</b> , desto höher ist der Wirkungsgrad des Kompressors   |   |
|  |  | <b>Instandhaltung:</b> Anpassung der Ventilöffnungsdauer (eine kürzere Zeit ist oft ebenfalls ausreichend)  |   |
| <b>Instandhaltung:</b> Ausreichende Schmierung mit vom Hersteller vorgeschriebenen Schmierölen               |  |   |   |
| <b>Instandhaltung:</b> Reinigung und Austausch von verschmutzten Saugfiltern birgt auch Energiesparpotential |  |   |   |
| <b>Instandhaltung:</b> Regelmäßiger Tausch der Druckfilter   |  |   |   |
| <b>Instandhaltung:</b> Regelmäßige Instandhaltung der Rohrleitungen  |  |   |   |



| Wasserspeicherung |  |   |  |  |
|-------------------|--|---|--|--|
| Wasserspeicherung | Maximale Nutzung von frei zufließendem Quellwasser in Kombination mit Grundwasserförderung | <b>Überlauf von frei zufließendem Quellwasser vermeiden</b> | Optimalen Ausschaltzeitpunkt für Pumpen aufgrund von Reservoirvolumen, Quellwasserschüttung und Verbrauchscharakteristik ermitteln                                       | Angaben über Quellwasserschüttung und Verbrauchscharakteristik notwendig |
|                   | Vergleichmäßigkeit des Betriebes aller Wasserversorgungsanlagen                            | <b>Maximale Nutzung des Betriebspeichervolumens</b>         | Untersuchung und Bewertung jedes einzelnen Behälters, wobei erhoben wird, wie das Speichervolumen ausgenutzt wird und welche Bewirtschaftungsszenarien noch möglich sind |  |
|                   | Verluste minimieren  | Behältereinlauf optimieren                                  | Überprüfung des Drucks am Behältereinlauf und gegebenenfalls <b>Vermeidung von unnötig hohem Druck</b> (z.B. durch Einsatz kleinerer Pumpen)                             |  |

| Wasserförderung   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| Effizient pumpen  | Pumpen richtig dimensionieren   | Pumpen sein so auszuwählen, dass sich im Zusammenspiel mit der Anlage Betriebszustände ergeben, die möglichst im <b>Wirkungsgradoptimum</b> liegen. <b>Sicherheitszuschläge</b> sind im Sinne eines energieeffizienten Betriebes zu <b>vermeiden</b> .             |   |
|   |   | Standardisierte Kreiselpumpen können vom Hersteller mit <b>unterschiedlich großen Laufrädern</b> angeboten werden. Dies ermöglicht die <b>Pumpenkennlinie</b> in gewissen Grenzen bei nur leicht verändertem Wirkungsgrad der Anlagenkennlinie <b>anzupassen</b> . |   |
|   |   | Bei der Dimensionierung sind Ausführungen mit einer <b>spezifischen Drehzahl von 30 min<sup>-1</sup> bis 60 min<sup>-1</sup></b> zu bevorzugen   |   |
|   |   | Für Pumpen mit großen Förderströmen kann eine <b>mehrflutige Bauweise</b> von Vorteil sein   |   |
|   |   | Für Pumpen mit großen Förderhöhen kann eine <b>mehrstufige Bauweise</b> von Vorteil sein   |   |
|   |   | <b>Rohrleitungsführung vor der Pumpe richtig</b> ausführen   | Ungestörter, gerader Rohrleitungsabschnitt stromauf des Saugstutzens der Pumpe von mindestens 5xD. Möglichst glatte Rohrleitungs-Innenflächen. Ausreichend große Rohrleitungsquerschnitte. Beschränkung von Armaturen, Krümmer etx. auf das technisch Notwendige. Raumkrümmer in unmittelbarer Nähe zum Pumpeneintritt vermeiden. |
|   | Pumpen optimieren   | <b>Unnötige Pumpen stilllegen:</b> Wenn mit Überkapazität gearbeitet wird, weil die Förderströme schwanken, kann die Anzahl der im Betrieb befindlichen Pumpen durch den Einbau von Druckschaltern geregelt werden   |   |
|   |   | <b>Kleine Zusatzpumpen verwenden</b> zur Lieferung des Hochdruck-Fördervolumens zu einem bestimmten Verbraucher  | Nur sinnvoll, wenn die Energieeinsparung bei der Hauptpumpe größer ist als der zusätzliche Energieverbrauch durch den im allgemeinen schlechteren Wirkungsgrad der kleinen Zusatzpumpe  |
|   |   | <b>Laufräder austauschen oder abdrehen</b> zur Korrektur (kostengünstigen) Korrektur von überdimensionierten Pumpen  | Die Förderhöhe kann durch Ändern des Pumpenraddurchmessers (Austausch oder Abdrehen) um 10% bis 50% verringert werden   |
|   |   | <b>Pumpen gezielt</b> auf Parallel- oder Einzelbetrieb <b>auslegen</b>   |   |
|   |   | Bei <b>Parallelbetrieb</b> Pumpen mit <b>flacher Wirkungsgradkennlinie</b> einsetzen   | Nur sinnvoll, wenn große Lastschwankungen auftreten, eine flache Netzkennlinie vorliegt und die eingesetzten Pumpen über einen breiten Förderbereich einen hohen Wirkungsgrad haben   |
|   |   | <b>Einsatz drehzahl geregelter Pumpen:</b> insbesondere bei verbrauchsbedingt großen Druckschwankungen sowie langen Transportleitungen (große dynamische Leistungsverluste im Verhältnis zum geodätischen Druck)   | Entscheidung, ob durch den Einsatz drehzahl geregelter Pumpen Energie eingespart werden kann, sollte nur auf Basis einer Bedarfsanalyse (anhand theoretisch durch Simulation oder praktisch durch Messungen ermittelter Lastprofile) erfolgen   |
|   |   | Gegebenenfalls <b>Ersatz von 2 parallel</b> betriebenen Pumpen <b>durch eine drehzahl geregelte Pumpe</b>  |   |
|   |   | <b>Betrieb der Pumpen im Wirkungsgradoptimum</b> z.B. durch Vergleichmäßigung der Fördermenge  |   |
| <b>Ersatz alter Pumpen</b> unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten abwägen. Insbesondere bei <b>überdimensionierten Pumpen</b> interessant. | Arbeitet die Pumpe noch nahe ihres optimalen Betriebspunktes?<br>Entspricht der Wirkungsgrad noch den Herstellerangaben?<br>Wirkungsgrad im Vergleich zum erreichbaren Wirkungsgrad nach aktuellem Stand der Technik? |  |   |



Wasserrförderung

|                     |   |  |  |
|---------------------|---|--|--|
| Wasserrförderung    |   | <p><b>Behebung von Spannungsschwankungen:</b> gerade in abgelegenen Regionen kann es zu Spannungsschwankungen in der Stromversorgung kommen. Bei großen Pumpen kann der Mehrverbrauch der Elektrizität so groß sein, dass es sich lohnt, mit dem Energieversorger nach Lösungen zu suchen</p>  |  |
|                     |   | <p><b>Pumpen mit niedrigem spezifischen Energieverbrauch</b> (<math>\text{kWh/m}^3/\text{m}</math>) <b>zuerst schalten</b></p>   |  |
|                     |   | <p>Zu pumpende Wassermenge über eine größere Zeitspanne mit <b>niedrigerer Fließgeschwindigkeit pumpen</b></p>   | Hygienische Probleme bei langsameren Fließgeschwindigkeiten berücksichtigen  |
|                     | Pumpen instandhalten  | <p><b>Verschlossene Spaltringe</b> gegen solche mit Originalabmessungen <b>austauschen</b></p>   | Wenn die interne Leckage durch übermäßiges Spiel zunimmt, sinken Pumpleistung und Wirkungsgrad                       |
|                     |   | <p>Stark <b>korrodierte</b> bzw. verkrustete <b>Bauteiloberflächen</b>, die überströmt werden, <b>instandsetzen</b></p>  |  |
|                     |   | <p><b>Beschichtungsverfahren</b> für die Verbesserung der <b>Oberflächengüte von Pumpgehäusen</b>, um den Wirkungsgrad zu verbessern/wiederherzustellen</p>  |  |
|                     |   | <p><b>Umrüstung</b> der Wellendichtung von einer Stopfbuchspackung auf <b>eine moderne Gleitringdichtung</b></p>   |  |
|                     |   | <p><b>Störungen am Laufrad beheben</b></p>   |  |
|                     |   | <p><b>Austauschen von defekten Wälzlagern</b></p>  |  |
|                     |   | <p><b>Schmierung und Feinabstimmung des Motors</b></p>   |  |
|                     | <p><b>Neuanschaffung eines hocheffizienter Motors statt Motorreparatur:</b> im Fall der Reparatur sollte eine Garantie für den Wirkungsgrad verlangt werden</p> | Nennenswertes Einsparpotential insbesondere bei Drehstrom-Asynchronmotoren mit kleiner Leistung (<10 kW)   |  |
| Rohrnetz optimieren | Drosseleinrichtungen entfernen  | <p>Drosseleinrichtungen <b>ausbauen</b> und Einsatz einer <b>Drehzahlregelung</b> bei den Pumpen</p>   |  |
|                     |   | <p>Prüfung des möglichen Einsatzes einer <b>Energierückgewinnung</b></p>   |  |
|                     | Einzelwiderstände (Rohreinbauten, Armaturen) minimieren   | <p>Möglichst <b>gestreckte Rohrleitungsführung</b> anstreben. Vorzugsweise <b>magnetisch-induktive Wasserzähler</b> und nur unbedingt erforderliche Armaturen einbauen.</p>  |  |
|                     |   | <p><b>Nicht notwendige Armaturen ausbauen</b></p>  |  |
|                     |   | <p>Einbau von <b>verlustärmeren Armaturen</b>. Bei Kauf auf hydraulisch optimale Armaturen achten.</p>   |  |
|                     | Fließgeschwindigkeit reduzieren   | <p><b>In Wasserwerken, Pumpwerken</b> etc. Leitungen mit <b>größeren Durchmessern</b> einbauen</p>   |  |
|                     |   | <p><b>Vergleichmäßigung der Fördermenge</b> über den Tag zur Reduktion der Fließgeschwindigkeit in allen Leitungen</p>   |  |
|                     |   | <p><b>Beim Neubau</b> von Wasserversorgungsleitungen sind die <b>Leitungsdurchmesser</b> so zu wählen, dass eine <b>niedrige Fließgeschwindigkeit</b> vorhanden ist, die aus hygienischen Gründen nicht bedenklich ist. Betrachtung der Gesamtkosten aus Energiekosten und mit der Rohrnenweite ansteigenden Investitionskosten.</p> | Mehrkosten durch größere Nennweiten und Anforderungen an Trinkwasserhygiene bezüglich Verweilzeiten berücksichtigen  |
|                     |   | <p><b>Bei bestehenden Wasserversorgungsnetz</b>, bei dem kein Neubau notwendig ist, ist es <b>wirtschaftlich nicht möglich</b>, die Fließgeschwindigkeit durch den <b>Ersatz der vorhandenen Leitungen</b> zu senken.</p>  |  |
|                     |   | <p>Der <b>Bau von Ringschlüssen</b> kann zur Reduktion von dynamischen Druckverlusten führen, wenn die Leitungen unterschiedlich stark belastet werden</p>   | Bei Bau eines Ringschlusses ist z.B. mit einer Netzsimulation zu prüfen, ob es zu hygienischen Problemen kommen kann |

|                           |   |   |  |
|---------------------------|---|---|--|
|                           | Rohrtauglichkeit minimieren   | <b>Reinigung</b> der Rohrleitungen (Wasser-, Luft-Wasser-Spülung, Molche)   |  |
|                           |   | <b>Zementmörtelauskleidung</b> der Leitungen  | Eine Auskleidung führt jedoch zu einer geringen Querschnittsverringering und einem geringen Anstieg der Fließgeschwindigkeit |
|                           |   | Bei entsprechendem Alter der Leitungen und keiner Verbesserung der Reinigung, <b>Austausch der Leitungen</b>  | Wirtschaftlichkeit betrachten  |
|                           | Unterteilung in Druckzonen  | <b>Unterteilung in Druckzonen</b> bei entsprechender topographischen Situation des Versorgungssystems   |  |
|                           |   | Durch Unterteilung in Druckzonen, <b>Quellen direkt einleiten</b><br><b>Eigene Druckerhöhungsanlage</b> falls nur <b>punktuell</b> notwendig, z.B. Hochhäuser |  |
| Wasserverluste minimieren | Entsprechendes <b>Wasserverlustmanagement</b> (Wasserbilanz, Wasserverlustkennzahlen, Rohrnetzüberwachung, Lecksuche) |   |  |
|                           | <b>Reduktion des Netzdrucks</b> zur Reduktion der Wasserverluste  |   |  |
|                           | <b>Regelmäßige Instandhaltung</b> der Anlagen, <b>Sanierungsstrategie</b> zur Erneuerung des Leitungsnetzes           |   |  |
|                           | Sachgerechte <b>Werkstoffauswahl</b> , Verbindungstechnik und wirksamer Korrosionsschutz                              |   |  |
|                           | Beseitigen von <b>Wasserverlusten an Armaturen</b> mit undichtem Abschluss  |   |  |

|                         |   |   |   |   |
|-------------------------|---|---|---|---|
| <b>Energiegewinnung</b> |   |   |   |   |
| <b>Energiegewinnung</b> | Hydraulische Energie nutzen   | Neubau von Trinkwasserkraftwerken prüfen      | Am Einlauf in einen <b>Wasserbehälter</b><br><b>Zwischen 2 Druckzonen</b><br>Beim Abbau von Druck aus geodätischer Höhe aufgrund von <b>hohen Fassungen</b> | Kosten-Nutzen-Analyse der Varianten notwendig   |
|                         |   | Optimierung bestehender Trinkwasserkraftwerke | Eine <b>Laufdradanpassung</b> kann zu einer Verbesserung führen   | Bei geringeren Wirkungsgraden ist zunächst der Grund dafür zu ermitteln. Vergleich der Auslegungsdaten und mit aktuellem Betrieb. |
|                         | Eine <b>Anpassung der Betriebsweise</b> kann die Auslastung und die an der Turbine anliegenden <b>Verhältnisse (Druck und Durchfluss)</b> verändern           |   |   |   |
|                         | Ist die Turbine für die vorhandene Betriebsweise nicht geeignet, ist es evtl. besser, eine <b>passende Turbine einzubauen (Wirtschaftlichkeit prüfen)</b>     |   |   |   |
|                         | Mit einem <b>Frequenzumrichter</b> kann die vorhandene Turbine an die <b>neuen Verhältnisse (Druck und Durchfluss)</b> angepasst werden                       |   |   |   |
|                         | Ist die <b>Turbine zu klein</b> ausgelegt, kann es sinnvoll sein, einen Teilstrom über den <b>Bypass</b> zu leiten und so die Turbine im Optimum zu betreiben |   |   |   |
|                         | <b>Umbau von Stopfbuchsen auf Gleitringdichtung</b><br>Bei einer <b>Reinvestition</b> , Einbau eines <b>energieeffizienten Generators</b>                     |   |   |   |
|                         | Wärmenergie nutzen  | Nutzung von Abwärme (z.B. der Pumpen)         |   |   |
|                         |   | Einsatz von Wärmepumpen                       |   |   |



| Sonstige Einsparungspotentiale |                                   |   |   |  |
|--------------------------------|-----------------------------------|---|---|--|
| Sonstige Einsparungspotentiale | Energiesparen in Betriebsgebäuden | <p><b>Automatische Hauptschalter installieren</b>, mit denen bei Verlassen des Gebäudes alle nicht für den Betrieb erforderlichen Stromverbraucher ausgeschaltet werden</p> | Verbindung mit der Alarmanlage sinnvoll   |  |
|                                |                                   | <p>Beheizung und Warmwasserbereitung optimieren</p>   | <p>Einsatz von <b>Frostschutzwächtern bzw. Rohrbegleitheizungen</b>, die ein Einfrieren der Leitungen verhindern. Es muss dann nicht mehr der gesamte Raum zwingend geheizt werden.</p> <p><b>Heizkörper mit</b> (evtl. programmierbaren) <b>Thermostatventilen</b> ausstatten</p> <p><b>Heizungsanlagen</b> regelmäßig <b>warten</b></p> <p><b>Heizung bedarfsgerecht regeln</b> (Absenkung der Heizung bei Verlassen des Gebäudes sowie Nachtabsenkung)</p> <p>Prüfen, ob <b>Elektroheizungen</b> vorhanden sind und <b>ersetzt</b> werden können</p> <p>Nutzung der <b>Abwärme von Antriebsmotoren</b> zur Heizungsunterstützung</p> <p><b>Wirkungsgraderhöhung der bestehenden Heizung</b> durch besseren Brenner bzw. Wärmedämmung von Speicher und Verteilanlagen</p> <p>Eventuell <b>dezentrale Gasheizgeräte</b> vorziehen, wenn mit den Heizungsrohren weite Strecken zurückgelegt werden müssen</p> <p>Nutzung <b>regenerierbarer Energien</b> in Betracht ziehen (Sonnenkollektoren und Solarzellen)</p> <p><b>Umwälzpumpen mit hohem Wirkungsgrad</b> wählen und in die Heizungsregelung miteinbinden, sodass sie nur bei Bedarf betrieben werden</p> |  |
|                                |                                   |   | <p><b>Wassersparende Armaturen</b> um Warmwasser zu sparen</p>  |  |
|                                |                                   | Beleuchtung optimieren  | <p><b>Helligkeit überprüfen</b> und eventuell Leuchtmittel außer Betrieb nehmen</p> <p>Optimierung der <b>Tageslichtnutzung</b></p>   |  |
|                                |                                   |   | <p>Einsatz von <b>energetisch günstigen Leuchtmitteln</b> (handelsübliche Energiesparlampen, Natriumdampflampen, LEDs)</p>  |  |
|                                |                                   |   | <p><b>Bewegungsmelder</b> in wenig genutzten Räumen einsetzen</p>   | Einsatz von Bewegungsmeldern in viel genutzten Räumen mit Leuchtstofflampen ist nicht sinnvoll, da bei jeder Einschaltung viel Energie verbraucht wird |
|                                |                                   |   | <p><b>Leuchtstofflampen mit elektrischen Vorschaltgeräten</b> einsetzen</p>   |  |
|                                |                                   | Belüftung optimieren  | <p><b>Eintragung von Luft mit geringer Luftfeuchte:</b> Luftfeuchte reduzieren mittels Zuluftführung durch einen Wasserbehälter, um so Luftfeuchte bereits in der Zuluftleitung zu kondensieren und abzuführen</p>  |  |
|                                |                                   |   | <p>Einsatz von <b>Motoren</b> in der Lüftung mit hohem <b>Wirkungsgrad. Leitungsführung</b> optimieren.</p>   |  |
|                                |                                   |   | <p>Einsatz von <b>dezentralen Luftwärmetauschern</b> anstelle von Fenstern (Oberlichtern)</p>   |  |
|                                |                                   | Entfeuchtung minimieren   | <p>Gute <b>Isolierung der Außenwände</b> und damit die Anhebung der Oberflächentemperatur der Innenwände führt dazu, dass die Luft weniger entfeuchtet werden muss</p>  |  |
|                                |                                   |   | <p><b>Isolierung der "kalten" Rohrleitungen</b> und Oberflächen. Sind keine "kalten" Oberflächen mehr vorhanden, muss die Luft nicht so stark entfeuchtet werden</p>  |  |
|                                |                                   |   | <p><b>Vermeidung des Austausches</b> der kalten Innenluft mit wärmerer (=feuchterer) Außenluft (Türen gleich schließen, Fenster und Türen luftdicht)</p>  |  |



|  |                         |  |  |
|--|-------------------------|--|--|
|  | Entfeuchtung optimieren | Regelmäßige <b>Instandhaltung</b> , regelmäßiger Wechsel des Filters                           |  |
|  |                         | <b>Steuerung</b> des Luftentfeuchters mittels <b>Hydrostat</b>                                 |  |
|  |                         | <b>Aufstellung</b> des Luftentfeuchters <b>nahe bei den feuchteempfindlichen Anlagenteilen</b> |  |
|  | Gebäudehülle            | <b>Ausreichende Dämmung</b> zur Minimierung des Tauwasserniederschlags                         |  |

| Verbraucher |                      |   |  |
|-------------|----------------------|---|--|
| Verbraucher | Verbrauch reduzieren | Effiziente Armaturen und Geräte einsetzen       |  |
|             |                      | Reparatur von tropfenden Armaturen und Leckagen |  |
|             |                      | Substitution von Trinkwasser durch Brauchwasser |  |

### 3.4 Beurteilungskriterien für die Energienutzung

Die Beurteilungskriterien sollten nach Möglichkeit auf Basis der Werte von Wasserzähler, Stromzähler und Manometer nach Möglichkeit über ein gesamtes Kalenderjahr berechnet werden. Für folgende Bereiche wurden im Vorfeld der Datenerhebung Beurteilungskriterien festgelegt, die auch als Grundlage für die Festlegung der zu erhebenden Daten herangezogen wurden:

- Aufbereitung und Desinfektion
- Pumpen
- Trinkwasserkraftwerke

#### 3.4.1 Aufbereitung und Desinfektion

##### 3.4.1.1 UV-Desinfektion

Spezifischer Stromverbrauch der UV-Anlage in kWh/m<sup>3</sup>

#### 3.4.2 Pumpen

##### 3.4.2.1 Pumpeneffizienz $e_{pump}$

$$e_{pump} = \frac{E_{gem}}{E_{theor}} \tag{3-1}$$

mit  $e_{pump}$  ... Pumpeneffizienz [-]

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

$E_{theor}$  ... theoretisch notwendige Pumpenergie [kWh]

##### 3.4.2.2 Gesamtwirkungsgrad des Pumpenaggregates $\eta_g$

$$\eta_g = \frac{E_{theor}}{E_{gem}} \tag{3-2}$$

mit  $\eta_g$  ... Gesamtwirkungsgrad des Pumpenaggregates [-]

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

$E_{theor}$  ... theoretisch notwendige Pumpenergie [kWh]

##### 3.4.2.3 Normierter spezifischer Stromverbrauch der Pumpen $E_{norm}$

$$E_{norm} = \frac{E_{gem} \cdot 100}{V \cdot H_A} \tag{3-3}$$

mit  $E_{norm}$  ... normierter spezifischer Stromverbrauch [kWh/(m<sup>3</sup> · 100m)]

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

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

$H_A$  ... Förderhöhe [m]

#### 3.4.2.4 Druckenergiehöhenverlust $\sum h_v$

Bei der Beurteilung des Druckenergiehöhenverlusts muss die Leitungslänge mit berücksichtigt werden.

$$\sum h_v = H_A - H_{geo} \quad (3-4)$$

mit  $\sum h_v$  ... Summe der Druckenergiehöhenverluste [m]

$H_A$  ... Förderhöhe [m]

$H_{geo}$  ... geodätische Höhendifferenz der Behälterwasserspiegel [m]

### 3.4.3 Trinkwasserkraftwerke

#### 3.4.3.1 Stromproduktionspotential = Regelarbeitsvermögen RAV

$$RAV = P \cdot \text{Volllaststunden pro Jahr} \quad (3-5)$$

mit  $RAV$  ... Regelarbeitsvermögen [kWh/a]

$P$  ... Leistung [kW]

#### 3.4.3.2 Genutztes Stromproduktionspotential (%)

$$\text{Genutztes Stromproduktionspotential} = \frac{\text{vorhandene Stromproduktion}}{\text{Stromproduktionspotential}} \quad (3-6)$$

## 3.5 Zu erhebende Daten

### 3.5.1 Grobanalysen (siehe AP4)

#### 3.5.1.1 Erhebungsdatei

Tabelle 3 zeigt eine Übersicht über die bei den 25 Wasserversorgern erhobenen Daten, welche in folgende Bereiche gegliedert sind:

- Betriebsdaten
- Aufbereitung und Desinfektion
- Pumpen: Brunnen, Pumpwerke, Drucksteigerungsanlagen (DSA)
- Trinkwasserkraftwerke:
  - Stromproduktionspotential bei Quellwasserleitungen bzw. zwischen Behältern
  - Stromproduktionspotential zwischen Druckzonen
- Speicherbauwerke
- Sonstige Stromverbraucher (z.B. Verbraucher in Speicherbauwerken, Bürogebäuden, Lagergebäuden, Rohrbruchsicherungen)

Die Erhebung erfolgte mit Hilfe einer Erhebungsdatei, die von den Wasserversorgern unterstützt durch Betriebsbesuche, Telefonate und Emails ausgefüllt wurde.

Tabelle 3. Übersicht über die im Rahmen der "Grobanalyse" erhobenen Daten

|   | Daten                                    | Kommentar |
|---|--|-----------|
| <b>Betriebsdaten</b>  | Adresse                                  |           |
|   | Anlagenbetreiber                         |           |
|   | Eigentümer                               |           |
|   | Kontaktperson für Datenerhebung          |           |
|   | Telefon                                  |           |
|   | Mobil                                    |           |
|   | Email                                    |           |
|   | Versorgte EW                             |           |
|   | Strombezug (kWh/a)                       |           |
|   | Stromverbrauch gesamt (kWh/a)            |           |
|   | Stromabgabe ans Netz (kWh/a)             |           |
|   | Stromproduktion gesamt (kWh/a)           |           |
|   | Laufende Aufwendungen (EUR/a)            |           |
|   | Aufwendungen für Strombezug (EUR/a)      |           |
|   | Erträge aus Stromabgabe ans Netz (EUR/a) |           |
|   | Systemeinspeisung (m <sup>3</sup> /a)    |           |
|   | Reale Verluste m <sup>3</sup> /a         |           |
|   | Wasserverlustrate (%)                    |           |
|   | Gesamtleitungslänge (km)                 |           |
|   | Anzahl der Anschlussleitungen (Stk.)     |           |
| Durchschn. Länge der Anschlussleitungen auf Privatgrund (m) |  |           |
| Durchschn. Versorgungsdruck (m)                             |  |           |
| <b>Aufbereitung &amp; Desinfektion</b>                      | Art der Aufbereitung/Desinfektion        |           |
|   | Stromverbraucher Beschreibung            |           |
|   | Leistung (kW)                            |           |
|   | Menge (m <sup>3</sup> /a)                |           |
|   | Stromverbrauch (kWh/a)                   |           |

|                                    | Daten                                      | Kommentar   |                      |
|------------------------------------|--|---|----------------------|
| Pumpwerke/Drucksteigerungsanlagen  | Pumpenanzahl                               |   |                      |
|                                    | Pumpenregelung                             | Drehzahlregelung<br>ungeregelt                                |                      |
|                                    | Leistung kW                                |   |                      |
|                                    | Förderung in                               | Behälter<br>Gegenbehälter<br>Aufb./Desinf.<br>direkt ins Netz |                      |
|                                    | Gepumpte Wassermenge (m <sup>3</sup> /a)   |   |                      |
|                                    | Druck: saugseitig (bar)                    |   |                      |
|                                    | Druck: druckseitig (bar)                   |   |                      |
|                                    | Höhendifferenz der WSP (m)                 |   |                      |
|                                    | Leitungslänge (m)                          | falls direkt zu einem Behälter<br>gefördert wird              |                      |
|                                    | DN mm                                      |   |                      |
|                                    | Leitungsmaterial                           |   |                      |
|                                    | Stromverbrauch der Pumpen (kWh/a)          |   |                      |
|                                    | Stromverbrauch übriger Verbraucher (kWh/a) | falls ermittelbar   |                      |
|                                    | Trinkwasserkraftwerke                      | Quellwasserleitungen<br>bzw. Behälter                         | Leistung (kW)        |
| Durchfluss (m <sup>3</sup> /a)     |  |   |                      |
| Leitungslänge (m)                  |  |   |                      |
| DN (mm)                            |  |   |                      |
| Leitungsmaterial                   |  |   |                      |
| mittlere Fallhöhe (m)              |  |   |                      |
| bestehende Stromproduktion (kWh/a) |  | bei bestehendem TWKW  |                      |
| zwischen Druckzonen                |  | Leistung (kW)   | bei bestehendem TWKW |
|                                    |  | Durchfluss (m <sup>3</sup> /a)                                |                      |
|                                    |  | Leitungslänge (m)   |                      |
|                                    |  | DN (mm)   |                      |
|                                    |  | mittlere Druckreduktion (bar)                                 |                      |
|                                    | bestehende Stromproduktion (kWh/a)         | bei bestehendem TWKW  |                      |
| Speicherbauwerke                   | Stromverbraucher Beschreibung              |   |                      |
|                                    | Leistung (kW)                              |   |                      |
|                                    | Stromverbrauch (kWh/a)                     |   |                      |
| Sonstige                           | Stromverbraucher Beschreibung              |   |                      |
|                                    | Leistung (kW)                              |   |                      |
|                                    | Stromverbrauch (kWh/a)                     |   |                      |

### 3.5.1.2 Trinkwasserkraftwerke

Einige Wasserversorger benötigen aufgrund der günstigen Topographie keine Pumpen und nutzen ausschließlich frei zufließendes Quellwasser. In diesen Fällen wird, abgesehen für eine UV-Desinfektion, oftmals kaum Strom verbraucht. Bei derartigen Situationen wurden jeweils individuell für die ermittelten potentiellen Standorte Szenarien für die Stromproduktion mit Trinkwasserkraftwerken erstellt und beurteilt. Grundsätzlich waren hierfür folgende Informationen notwendig:

#### **Bruttofallhöhe**

- Geodätischer Höhenunterschied zwischen Quellsammelschacht und Behälter bzw. zwischen zwei Behältern
- Druckunterschied zwischen Druckzonen

#### **Bemessungsdurchfluss**

- Quellen: Konsenswassermenge bzw. Schüttung und deren zeitlicher Verlauf
- Im Netz: Durchfluss und zeitlicher Verlauf

#### **Länge, Durchmesser und Material der Falleitung**

Länge und Durchmesser der Falleitung vom Einlaufbauwerk bis zum Turbinenstandort.

#### **Netzanbindung**

Entfernung zum nächstgelegenen Anschlusspunkt für die Stromeinspeisung.

#### **Kosten für die Falleitung**

Kosten für die zusätzlich für die Stromproduktion zu errichtenden Rohrleitungen bzw. für den Mehraufwand bei den Rohrleitungen, der aufgrund der Stromproduktion gegenüber der reinen Trinkwassernutzung entsteht (größere Durchmesser, höhere Druckstufen etc.).

#### **Sonstige Investitionskosten**

Eventuell notwendige Errichtung eines Turbinenhauses und Adaptierungen.

## 3.5.2 Detailanalysen von Einzelmaßnahmen (siehe AP3)

### 3.5.2.1 Aufbereitung und Desinfektion

Die zu erhebenden Daten wurden je nach Verfahren individuell festgelegt (siehe Abschnitt 5.1).

### 3.5.2.2 Pumpen

Die Untersuchung einzelner Pumpen basiert auf der vom Bundesamt für Energie BFE (2011) vorgestellten Methode. Dazu müssen die Daten auf den Motoren- und Pumpendatenschildern abgelesen und Messungen zur manometrischen Förderhöhe, zur geförderten Wassermenge und zur Stromaufnahme des Motors durchgeführt werden. In Tabelle 4 sind die zu ermittelnden Daten zusammengestellt.

Tabelle 4. Übersicht über die für die Pumpenuntersuchung erhobenen/gemessenen Daten

| Daten bzw. Messwerte  |  |
|-----------------------|--|
| Allgemein             | Pumpwerkstandort                                 |
|                       | Pumpenbezeichnung                                |
|                       | Stromverbrauch (kWh/a)                           |
|                       | Geförderte Wassermenge (m <sup>3</sup> /a)       |
| Auslegungsdaten Pumpe | Fabrikat / Hersteller                            |
|                       | Seriennummer                                     |
|                       | Typ  |
|                       | Trockenaufgestellt oder Unterwasserpumpe         |
|                       | Stufenanzahl bei Hochdruckpumpen oder einstufig  |
|                       | Auslegung Fördermenge Pumpe (l/s)                |
|                       | Auslegung Förderhöhe Pumpe (m)                   |
| Auslegungsdaten Motor | Fabrikat / Hersteller                            |
|                       | Seriennummer                                     |
|                       | Typ  |
|                       | Nennleistung (mech.) Motor (kW)                  |
|                       | Nennzahl Motor (1/min)                           |
|                       | Wirkungsgrad Motor bei Nennbelastung oder        |
|                       | cos φ bei Nennbelastung                          |
|                       | Nennstrom Motor (A)                              |
|                       | Nennspannung Motor (V)                           |
| Messungen Pumpe       | effektiver Volumenstrom (l/s)                    |
|                       | Förderhöhe gemessen (m)                          |
| Strommessung          | Ist eine Blindstromkompensation vorhanden?       |
|                       | Ist ein Frequenzumrichter eingeschaltet?         |
|                       | wenn ja, auf welche Frequenz ist er eingestellt? |
|                       | Strom auf allen 3 Phasen (A)                     |

### 3.5.2.3 Trinkwasserkraftwerke

Tabelle 5 zeigt eine Übersicht der Daten, die bei bestehenden Trinkwasserkraftwerken erhoben wurden.



Tabelle 5. Übersicht über die zu bestehenden Trinkwasserkraftwerken erhobenen Daten

|                             | Daten  | Einheit           |
|-----------------------------|--|-------------------|
| <b>Anlagendaten</b>         | Art der Turbine                                      | -                 |
|                             | Baujahr  | -                 |
|                             | mittlere geodätische Fallhöhe                        | m                 |
|                             | Bemessungsdurchfluss                                 | l/s               |
|                             | Turbinenleistung                                     | kw                |
|                             | Wirkungsgrad Turbine                                 | -                 |
|                             | Wirkungsgrad Generator                               | -                 |
|                             | Wirkungsgrad sonstiger                               | -                 |
|                             | Rohrleitungslänge der Falleitung                     | m                 |
|                             | Rohrleitungsdurchmesser der Falleitung               | mm                |
|                             | Rohrmaterial der Falleitung                          | -                 |
|                             | Platzbedarf Turbine bzw.                             | m <sup>2</sup>    |
|                             | Größe Turbinenhaus                                   | m <sup>3</sup>    |
|                             | <b>Strom-<br/>produktion</b>                         | Energieproduktion |
| Betriebstage                |  | d/a               |
| <b>Investitionskosten</b>   | Gesamtkosten für TWKW                                | EUR               |
|                             | maschinelle Ausrüstung                               | EUR               |
|                             | elektrische Ausrüstung                               | EUR               |
|                             | Turbinenhaus   | EUR               |
|                             | Rohrleitung (Falleitung)                             | EUR               |
|                             | Stromleitung bis Einspeisung                         | EUR/m             |
|                             | Planungskosten                                       | EUR               |
|                             | sonstige Investitionskosten:                         | EUR               |
| <b>Betriebs-<br/>kosten</b> | laufende Kosten im Betrieb (Wartung, Instandhaltung) | EUR/a             |
| <b>Erlöse</b>               | Einspeistarif  | EUR/kWh           |
|                             | Wie lange ist der Einspeistarif garantiert?          | a                 |
|                             | kalkulierte wirtschaftliche Nutzungsdauer            | a                 |
|                             | kalkulierte Reinvestitionsrate                       | %/a               |
|                             | Amortisationsdauer                                   | a                 |

### 3.5.2.4 Wärmenutzung

Die Wärmenutzung wurde anhand einer vorhandenen Anlage bei einem Trinkwasserversorger in Deutschland analysiert und beschrieben. Relevante Betriebserfahrungen wurden zusammengestellt.

### 3.6 Wasserversorger für die Datenerhebung

Im Rahmen des Projekts wurden 25 Grobanalysen und >10 Detailanalysen durchgeführt. Die einzelnen Wasserversorger wurden so ausgewählt, dass alle Maßnahmen (Aufbereitung und Desinfektion, Pumpeneffizienz, Trinkwasserkraftwerke bei Quellen und zwischen Druckzonen, Wärmenutzung) abgedeckt werden können. Tabelle 6 zeigt eine Übersicht über die bei den Wasserversorgern durchgeführten Grob- und Detailanalysen.

Tabelle 6. Übersicht über die Grob- und Detailanalysen

| Wasserversorger | BL | Grobanalyse    |      | Detailanalyse                   |
|-----------------|----|----------------|------|---------------------------------|
|                 |    | Erhebungsdatei | TWKW |                                 |
| WVU 1           | ST | x              |      | ➤ Optimaler Wirkungsgrad Pumpen |
| WVU 2           | ST | x              | x    |                                 |
| WVU 3           | ST | x              | x    | ➤ Gesamtwirkungsgrad Brunnen    |
| WVU 4           | ST | x              | x    |                                 |
| WVU 5           | ST | x              |      |                                 |
| WVU 6           | T  |                | x    | ➤ TWKW Detailausarbeitung       |
| WVU 7           | K  | x              |      | ➤ TWKW Feasibility Study        |
| WVU 8           | ST |                |      | keine Datenlieferung            |
| WVU 9           | OÖ | x              |      | ➤ TWKW Kostenschätzung          |
| WVU 10          | V  | x              |      | ➤ Pumpenmessung                 |
| WVU 11          | V  | x              |      | ➤ Optimaler Wirkungsgrad Pumpen |
| WVU 12          | T  |                | x    |                                 |
| WVU 13          | V  | x              |      |                                 |
| WVU 14          | T  |                |      | keine Datenlieferung            |
| WVU 15          | T  |                | x    |                                 |
| WVU 16          | V  | x              | x    |                                 |
| WVU 17          | T  |                | x    |                                 |
| WVU 18          | ST |                | x    |                                 |
| WVU 19          | OÖ |                | x    |                                 |
| WVU 20          | OÖ | x              |      | ➤ Pumpenmessung                 |
| WVU 21          | T  |                | x    |                                 |
| WVU 22          | T  |                |      | ➤ Pumpenmessung                 |
| WVU 23          | OÖ | x              |      | ➤ Pumpenmessung                 |
| WVU 24          | OÖ |                | x    |                                 |
| WVU 25          | V  |                |      | keine Datenlieferung            |
| WVU 26          | B  |                |      | ➤ Gesamtwirkungsgrad Pumpwerk   |
| WVU 27          | S  |                |      | ➤ TWKW                          |
| WVU 28          | S  |                |      | ➤ TWKW                          |
| WVU 29          | T  |                |      | ➤ TWKW                          |
| WVU 30          | K  |                |      | ➤ TWKW                          |
| WVU 31          | K  |                |      | ➤ TWKW                          |
| WVU 32          |    |                |      | ➤ Wärmenutzung                  |
| WVU 33          |    |                |      | keine Datenlieferung            |
| WVU 34          | N  |                |      | ➤ Aufbereitung                  |
| WVU 35          | B  |                |      | ➤ Aufbereitung                  |

## 4 Grobanalysen bei den untersuchten Wasserversorgern (AP4)

Ziel der Grobanalysen ist die Ermittlung des energetischen IST-Zustands der untersuchten Wasserversorger. Aufgrund der angetroffenen Datenverfügbarkeit und Probleme bei der Datenlieferung kann auf die Datenverfügbarkeit in der Praxis geschlossen werden, welche ein wichtiger Faktor bei der Erstellung des Leitfadens ist. Des Weiteren dienen die Auswertungen der Grobanalyse zur Ermittlung der Richtwerte.

### 4.1 Berechnungen

Mit den erhobenen Daten (siehe Abschnitt 3.5.1) wurden die nachfolgend angeführten Berechnungen durchgeführt. Die Berechnungen basieren auf Mutschmann & Stimmelmayer (2011), Gülich (2010), DVGW (2010c) und Bundesamt für Energie und SVGW (2004). Datengrundlagen, die neben den eigenen Datenerhebungen verwendet wurden, um die Annahmen für die Berechnungen festzulegen, sind im *Anhang D. Datengrundlagen für die Annahmen* angeführt.

#### 4.1.1 Aufbereitung und Desinfektion

##### 4.1.1.1 Spezifischer Stromverbrauch der Aufbereitung/Desinfektion $E_{spez}$

$$E_{spez} = \frac{E_{gem}}{V} \quad (4-1)$$

mit  $E_{spez}$  ... spezifischer Stromverbrauch [ $kWh/m^3$ ]

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

$V$  ... Aufbereitetes/desinfiziertes Volumen im betrachteten Zeitraum [ $m^3$ ]

#### 4.1.2 Pumpwerke/Drucksteigerungsanlagen

##### 4.1.2.1 Förderhöhe $H_A$

$$H_A = \frac{(p_d - p_s) \cdot 10^5}{\rho \cdot g} \quad (4-2)$$

mit  $H_A$  ... Förderhöhe [ $m$ ]

$p_d$  ... Manometeranzeige druckseitig [ $bar$ ]

$p_s$  ... Manometeranzeige saugseitig [ $bar$ ]

$\rho$  ... Dichte des Wassers [ $kg/m^3$ ]

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

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

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

##### 4.1.2.2 Druckenergiehöhenverlust $\sum h_v$

$$\sum h_v = H_A - H_{geo} \quad (4-3)$$

mit  $\sum h_v$  ... Summe der Druckenergiehöhenverluste [ $m$ ]

$H_A$  ... Förderhöhe [ $m$ ]

$H_{geo}$  ... geodätische Höhendifferenz der Behälterwasserspiegel [ $m$ ]

##### 4.1.2.3 Druckenergiehöhenverlust $\sum h_v$ pro km Leitungslänge

$$\sum h_v \text{ pro km} = \frac{1000 \cdot \sum h_v}{l} \quad (4-4)$$

mit  $\sum h_v$  ... Summe der Druckenergiehöhenverluste [ $m$ ]

$l$  ... Leitungslänge [m]

#### 4.1.2.4 Hydraulische Energie $E_{hydr}$

$$E_{hydr} = \frac{V \cdot H_A \cdot \rho \cdot g}{10^3 \cdot 3600} \quad (4-5)$$

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

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

$H_A$  ... Förderhöhe [m]

$\rho$  ... Dichte des Wassers [ $kg/m^3$ ]

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

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

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

#### 4.1.2.5 Pumpeneffizienz $e_{pump}$

$$e_{pump} = \frac{E_{gem}}{E_{hydr}} \quad (4-6)$$

mit  $e_{pump}$  ... Pumpeneffizienz [-]

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

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

#### 4.1.2.6 Spezifischer Stromverbrauch der Pumpen $E_{spez}$

$$E_{spez} = \frac{E_{gem}}{V} \quad (4-7)$$

mit  $E_{spez}$  ... spezifischer Stromverbrauch [kWh/ $m^3$ ]

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

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

#### 4.1.2.7 Normierter spezifischer Stromverbrauch der Pumpen $E_{norm}$

$$E_{norm} = \frac{E_{gem} \cdot 100}{V \cdot H_A} \quad (4-8)$$

mit  $E_{norm}$  ... normierter spezifischer Stromverbrauch [kWh/( $m^3 \cdot 100m$ )]

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

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

$H_A$  ... Förderhöhe [m]

#### 4.1.2.8 Gesamtwirkungsgrad des Pumpenaggregates $\eta_g$

$$\eta_g = \frac{E_{hydr}}{E_{gem}} \quad (4-9)$$

mit  $\eta_g$  ... Gesamtwirkungsgrad des Pumpenaggregates [-]

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

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

### 4.1.3 Trinkwasserkraftwerke

Auf Basis der aufgenommenen Daten wurde jeweils individuell für die ermittelten potentiellen Standorte Szenarien für die Stromproduktion mit Trinkwasserkraftwerken erstellt und beurteilt.

Die Berechnungen basieren auf Mutschmann & Stimmelmayer (2011), Giesecke & Mosonyi (2009), European Small Hydropower Association (2004), Bundesamt für Energie und SVGW (2004) und Bundesamt für Energie BFE (1995).

#### 4.1.3.1 [IN] Bruttofallhöhe H

Die Bruttofallhöhe (m) entspricht dem geodätischen Höhenunterschied zwischen dem Oberwasserspiegel beim Einlaufbauwerk (z.B. Quellschacht) und dem Unterwasserspiegel beim Turbinenstandort.

#### 4.1.3.2 [IN] Bemessungsdurchfluss Q (l/s)

Der Bemessungsdurchfluss ist die Wassermenge, auf welche die Anlage bemessen wird.

#### 4.1.3.3 [IN] Länge der Falleitung L (m)

Länge der Falleitung vom Einlaufbauwerk zur Turbine.

#### 4.1.3.4 [IN] Durchmesser der Falleitung d (mm)

Durchmesser der Falleitung.

#### 4.1.3.5 [OUT] Rohrquerschnitt A

$$A = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi \quad (4-10)$$

mit  $A$  ... Rohrquerschnitt [ $m^2$ ]  
 $d$  ... Durchmesser der Falleitung [ $m$ ]

#### 4.1.3.6 [OUT] Fließgeschwindigkeit v

$$v = \frac{Q}{A} \quad (4-11)$$

mit  $v$  ... Fließgeschwindigkeit [ $m/s$ ]  
 $Q$  ... Ausbaudurchfluss [ $m^3/s$ ]  
 $A$  ... Rohrquerschnitt [ $m^2$ ]

#### 4.1.3.7 [OUT] Hydraulische Verluste $h_v$

Die hydraulischen Verluste setzen sich aus örtlichen Verlusten (Verengungen, Aufweitungen, Krümmungen, Verzweigungen etc.) und kontinuierlichen Reibungsverlusten zusammen. Die hydraulischen Verluste nehmen mit dem Quadrat der Fließgeschwindigkeit zu. Die Berechnung der kontinuierlichen Druckhöhenverluste erfolgt mit der Formel nach Darcy-Weißbach. Die örtlichen Verluste werden für die Abschätzung vernachlässigt.

##### 4.1.3.7.1 [OUT] Reynoldszahl Re

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (4-12)$$

mit  $Re$  ... Reynoldszahl [-]  
 $v$  ... Fließgeschwindigkeit [ $m/s$ ]  
 $d$  ... Rohrdurchmesser [ $mm$ ]  
 $\nu$  ... kinematische Viskosität  $\left[\frac{m^2}{s}\right]$

|                               |                            |
|-------------------------------|----------------------------|
| $\nu$ (für $T = 10^\circ C$ ) | $1,14 \cdot 10^{-6} m^2/s$ |
|-------------------------------|----------------------------|

##### 4.1.3.7.2 [OUT] Reibungsbeiwert $\lambda$

Die Szenarien befinden sich alle im Übergangsbereich (siehe Abbildung 4).

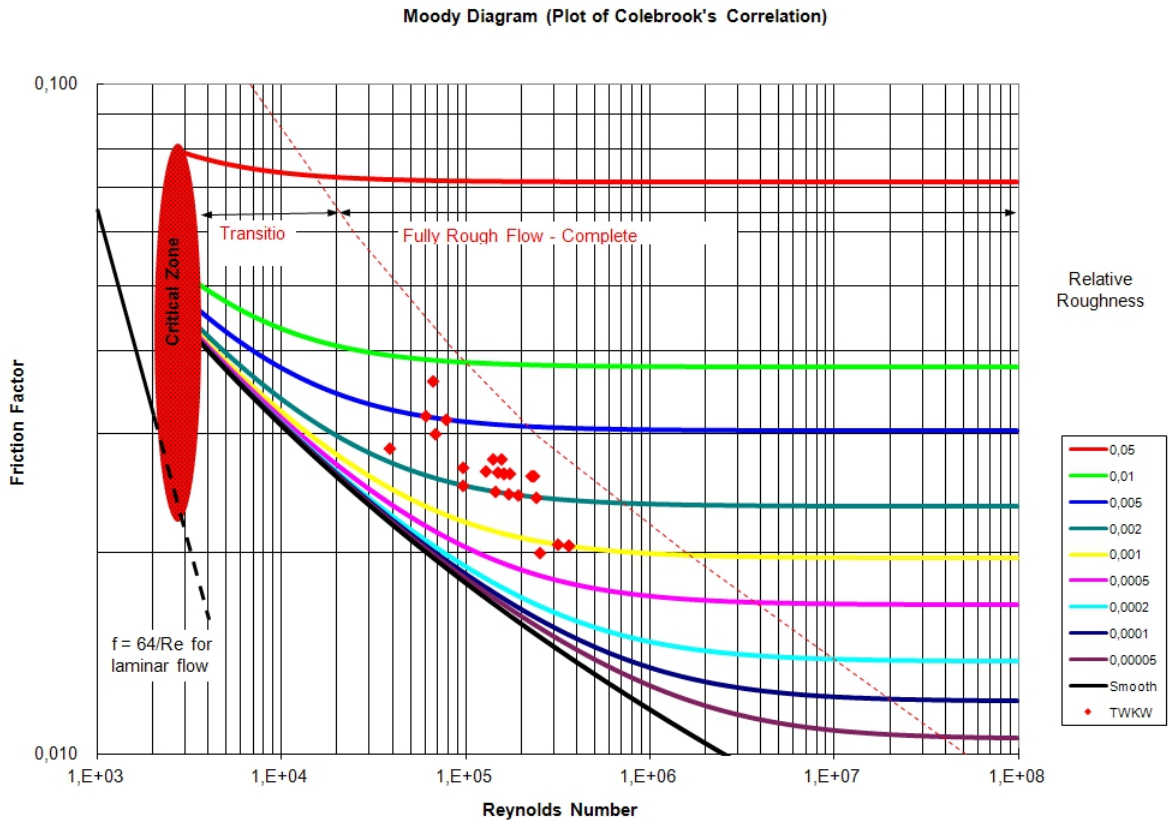


Abbildung 4. Moody-Diagramm der hydraulischen Berechnung der Szenarien für Trinkwasserkraftwerke

Iterative Ermittlung nach Prandtl-Colebrook für den Übergangsbereich:

$$\frac{1}{\lambda} = -2 \cdot \lg \left( \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 \cdot d} \right) \quad (4-13)$$

- mit  $Re$  ... Reynoldszahl [-]
- $d$  ... Rohrdurchmesser [m]
- $\lambda$  ... Reibungsbeiwert [-]
- $k$  ... betriebliche Rauigkeit [m]

|     |        |
|-----|--------|
| $k$ | 0,4 mm |
|-----|--------|

#### 4.1.3.7.3 [OUT] Rohrreibungsgefälle I

Ermittlung nach Darcy-Weisbach:

$$I = \lambda \cdot \frac{v^2}{d \cdot 2 \cdot g} \quad (4-14)$$

- mit  $I$  ... Rohrreibungsgefälle [-]
- $\lambda$  ... Reibungsbeiwert [-]
- $v$  ... Fließgeschwindigkeit [m/s]
- $d$  ... Rohrdurchmesser [m]
- $g$  ... Erdbeschleunigung [m/s<sup>2</sup>]

|     |                       |
|-----|-----------------------|
| $g$ | 9,81 m/s <sup>2</sup> |
|-----|-----------------------|

#### 4.1.3.7.4 [OUT] Rohrreibungsgefälle I

Alternative Berechnung nach Hazen-Williams:



$$I = \left( \frac{v}{0,355 \cdot C_{hw} \cdot d^{0,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}} \quad (4-15)$$

mit  $v$  ... Fließgeschwindigkeit [m/s]  
 $d$  ... Rohrdurchmesser [m]  
 $I$  ... Rohrreibungsgefälle [m]  
 $C_{hw}$  ... Hazen – Williams Faktor [–]

#### 4.1.3.7.5 [OUT] Druckverlusthöhe $h_v$

$$h_v = I \cdot L \quad (4-16)$$

mit  $h_v$  ... Druckverlusthöhe [m]  
 $I$  ... Rohrreibungsgefälle [–]  
 $L$  ... Rohrlänge [m]

#### 4.1.3.8 [OUT] Nettofallhöhe $h_n$

$$h_n = H - h_v \quad (4-17)$$

mit  $H$  ... Bruttofallhöhe [m]  
 $h_n$  ... Nettofallhöhe [m]  
 $h_v$  ... Druckverlusthöhe [m]

#### 4.1.3.9 [RW] Gesamtwirkungsgrad $\eta_{ges}$

Der Gesamtwirkungsgrad setzt sich aus den Einzelwirkungsgraden für Turbine, Generator, Getriebe (falls vorhanden) und Transformator zusammen.

#### 4.1.3.10 [OUT] Leistung $P$

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot h_n \cdot \eta_{ges}}{1000} \quad (4-18)$$

mit  $P$  ... Leistung [kW]  
 $\rho$  ... Dichte des Wassers [ $kg/m^3$ ]  
 $g$  ... Erdbeschleunigung [ $m/s^2$ ]  
 $Q$  ... Ausbaudurchfluss [ $m^3/s$ ]  
 $h_n$  ... Nettofallhöhe [m]  
 $\eta_{ges}$  ... Gesamtwirkungsgrad [–]

#### 4.1.3.11 [OUT] Regelarbeitsvermögen RAV

Die Berechnung des Regelarbeitsvermögens erfolgt unter Annahme einer Anzahl theoretischer Volllaststunden pro Jahr. Bei Bemessung auf die Konsenswassermenge können 330 Volllasttage (7.920 Volllaststunden) pro Jahr angenommen werden (Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau (IWHW), 2009). Gegebenenfalls wurden bei vorhandenen Schüttungsmessungen die Volllaststunden auf Basis dieser Messungen festgelegt. Bei der Nutzung des Durchflusses zwischen Druckzonen wurde hierfür der Verlauf des Durchflusses zu Grunde gelegt.

$$RAV = P \cdot \text{Volllaststunden pro Jahr} \quad (4-19)$$

mit  $RAV$  ... Regelarbeitsvermögen [kWh/a]  
 $P$  ... Leistung [kW]

|   |           |
|---|-----------|
| Volllaststunden pro Jahr bei Bemessung auf Konsenswassermenge | 7.920 h/a |
|---|-----------|

#### 4.1.3.12 [RW] Investitionskosten I

Die Kosten für die maschinelle und elektrotechnische Ausrüstung stammen von einem entsprechenden Anbieter. Dabei wurden Asynchrongeneratoren und eine Spannungsebene von 400V (kein zusätzlicher Trafo erforderlich) angenommen.

|  |  |
|--|--|
| Turbinenhaus   | 330 EUR/m <sup>3</sup>                               |
| Stromleitung bis Anschlusspunkt( pro Laufmeter für Material und Verlegung) | 75 EUR/m   |
| Planungskosten   | 10% der Baukosten ohne elektromaschinelle Ausrüstung |
| Unvorhergesehenes  | 3% der gesamten Baukosten                            |

#### 4.1.3.13 [RW] Betriebskosten B

Im Regelfall treten durch die energetische Nutzung keine zusätzlichen Betriebskosten auf. Laut Literatur können jedoch jährliche Betriebskosten von bis zu 3% der gesamten Investitionskosten anfallen. Für die Berechnung wurden keine zusätzlichen Betriebskosten angesetzt.

#### 4.1.3.14 [OUT] Jahreserlös JE

$$\text{Jahreserlös} = \text{RAV} \cdot \text{Einspeistarif} \quad (4-20)$$

mit Jahreserlös in EUR/a

RAV ... Regelarbeitsvermögen [kWh/a]

|               |                |
|---------------|----------------|
| Einspeistarif | 0,0568 EUR/kWh |
|---------------|----------------|

#### 4.1.3.15 [OUT] Kennzahlen: Investitionskosten

$$\text{Investitionskosten in EUR pro installiertem kW} = \frac{P}{I} \quad (4-21)$$

mit  $P$  ... Leistung [kW]

$I$  ... Investitionskosten [EUR]

$$\text{Investitionskosten in EUR pro jährlich produzierter kWh} = \frac{P}{\text{RAV}} \quad (4-22)$$

mit  $P$  ... Leistung [kW]

RAV ... Regelarbeitsvermögen [kWh/a]

#### 4.1.3.16 [OUT] Statische Amortisationszeit

Ermittlung nach European Small Hydropower Association (2004). Die statische Berechnung der Amortisationszeit berücksichtigt jedoch nicht den möglichen Ertrag, der bei einer alternativen Investition verdient werden könnte.

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{I}{\text{Netto Jahreseinkommen}} \quad (4-23)$$

mit Amortisationszeit in Jahren

$I$  ... Investitionskosten [EUR]

Netto Jahreseinkommen in EUR/a

$$\text{Netto Jahreseinkommen} = \text{Jahreserlös} - B \quad (4-24)$$

mit Netto Jahreseinkommen in EUR/a

*Jahreserlös in EUR/a*

*B ... jährliche Betriebskosten [EUR/a]*

#### 4.1.3.17 Energiegestehungskosten R

Ermittlung nach Bundesamt für Energie BFE (1995):

$$K = I \cdot ANF \quad (4-25)$$

mit *K ... jährliche Kapitalkosten [EUR/a]*

*I ... Investitionskosten [EUR]*

*ANF ... Annuitätsfaktor [-]*

$$ANF = \frac{q^n \cdot 1}{q^n - 1} \quad (4-26)$$

mit *ANF ... Annuitätsfaktor [-]*

*q = 1 + i*

*i ... Zinssatz*

*n ... Nutzungsdauer [a]*

$$G = K + B \quad (4-27)$$

mit *G ... jährliche Gesamtkosten [EUR/a]*

*K ... jährliche Kapitalkosten [EUR/a]*

*B ... jährliche Betriebskosten [EUR/a]*

$$R = \frac{G}{RAV} \quad (4-28)$$

mit *R ... Energiegestehungskosten [EUR/kWh]*

*G ... jährliche Gesamtkosten [EUR/a]*

*RAV ... Regelarbeitsvermögen [kWh/a]*

Der Annuitätsfaktor für Investitionen wird durch die Amortisationszeit und den Kalkulationszinssatz bestimmt. Die Amortisationszeiten wurden entsprechend Tabelle 7 festgelegt.

Tabelle 7. Annahmen für die Amortisationszeit

|  | Amortisationszeit in Jahren |
|--|-----------------------------|
| Elektromaschinelle Ausrüstung, Stromleitung und sonstige Baukosten | 30                          |
| Turbinenhaus und Fallleitung                                       | 50                          |
| Planungskosten & Unvorhergesehenes                                 | 30                          |

Für die Berechnungen wurde ein Realzins von 3,5 % angenommen.

## 4.2 Energieverbrauch der untersuchten Wasserversorger

Die folgenden Auswertungen basieren auf den Erhebungsdateien, mit denen die Datenerhebung zum Stromverbrauch bei den einzelnen Wasserversorgern erfolgte. Tabelle 8 zeigt eine Übersicht über die Wasserversorger. Die individuellen Auswertungen der Grobanalyse sind in *Anhang A. Grobanalyse: Stromverbrauch* zusammengestellt.

Tabelle 8. Übersicht über die untersuchten Wasserversorger

| Wasserversorger | Systemeinspeisung<br>in m <sup>3</sup> | Versorgte<br>Einwohner | Stromverbrauch<br>Gesamtsumme<br>in kWh/a |
|-----------------|--|------------------------|---|
| WVU 10          | 491.165                                | 8.200                  | 263.408                                   |
| WVU 13          | 1.162.916                              | 17.000                 | 359.798                                   |
| WVU 11          | 504.926                                | 9.800                  | 180.549                                   |
| WVU 7           | 5.500.000                              | 55.800                 | 1.086.912                                 |
| WVU 3           | 627.936                                | 6.750                  | 305.487                                   |
| WVU 4           | 447.448                                | 4.800                  | 56.154                                    |
| WVU 1           | 1.750.627                              | 22.500                 | 617.745                                   |
| WVU 16          | 3.244.171                              | 46.000                 | 385.462                                   |
| WVU 20          | 407.800                                | 8.000                  | 171.868                                   |
| WVU 23          | 38.500                                 | 800                    | 19.438                                    |
| WVU 9           | 2.440.363                              | 53.000                 | 2.566.468                                 |
| WVU 5           | 333.075                                | 5.000                  | 267.936                                   |
| WVU 2           | 2.591.654                              | 66.687                 | 2.649.707                                 |

#### 4.2.1 Gesamtstromverbrauch

Abbildung 5 zeigt den Gesamtstromverbrauch der Wasserversorger bezogen auf die Systemeinspeisung (kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung). Zum Vergleich: Ein spezifischer Stromverbrauch von 1 kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung bedeutet, dass eine Person durch einen täglichen Wasserverbrauch von 120 Litern in einem Jahr einen Stromverbrauch von 43,8 kWh verursacht. Das entspricht einer Brenndauer einer 10 W Energiesparlampe von 4.380 Stunden.

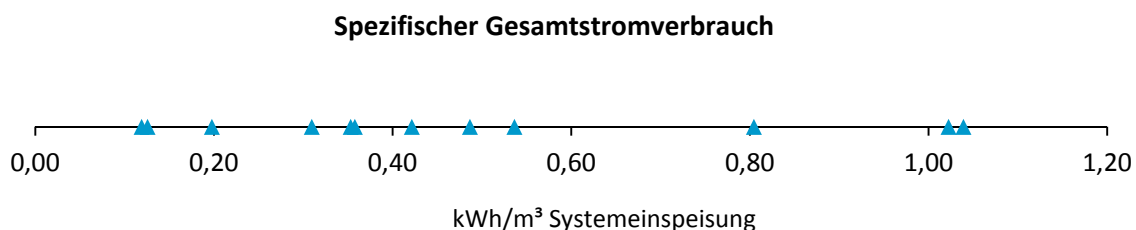
Abbildung 5. Spezifischer Gesamtstromverbrauch (kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung)

Abbildung 6 zeigt den Energieverbrauch der Wasserversorger aufgeteilt nach folgenden Bereichen:

- Aufbereitung und Desinfektion
- Pumpen: Brunnen, Pumpwerke, Drucksteigerungsanlagen (DSA)
- Speicherbauwerke
- Sonstige Stromverbraucher (z.B. Bürogebäude, Lagergebäude, Rohrbruchsicherungen)

Bei dieser Aufteilung wurde der gesamte Stromverbrauch eines Gebäudes bzw. einer Anlage einem dieser Bereiche zugeordnet. Zum Beispiel gehören alle Stromverbraucher eines Pumpwerks (inkl. Beleuchtung etc.) zum Bereich Pumpen. Wenn jedoch in einem Gebäude bzw. einer Anlage mehrere Bereiche (z.B. Pumpen sowie Aufbereitung und Desinfektion) abgedeckt werden, wurde der Stromverbrauch dieser Anlage entsprechend auf diese Bereiche aufgeteilt.

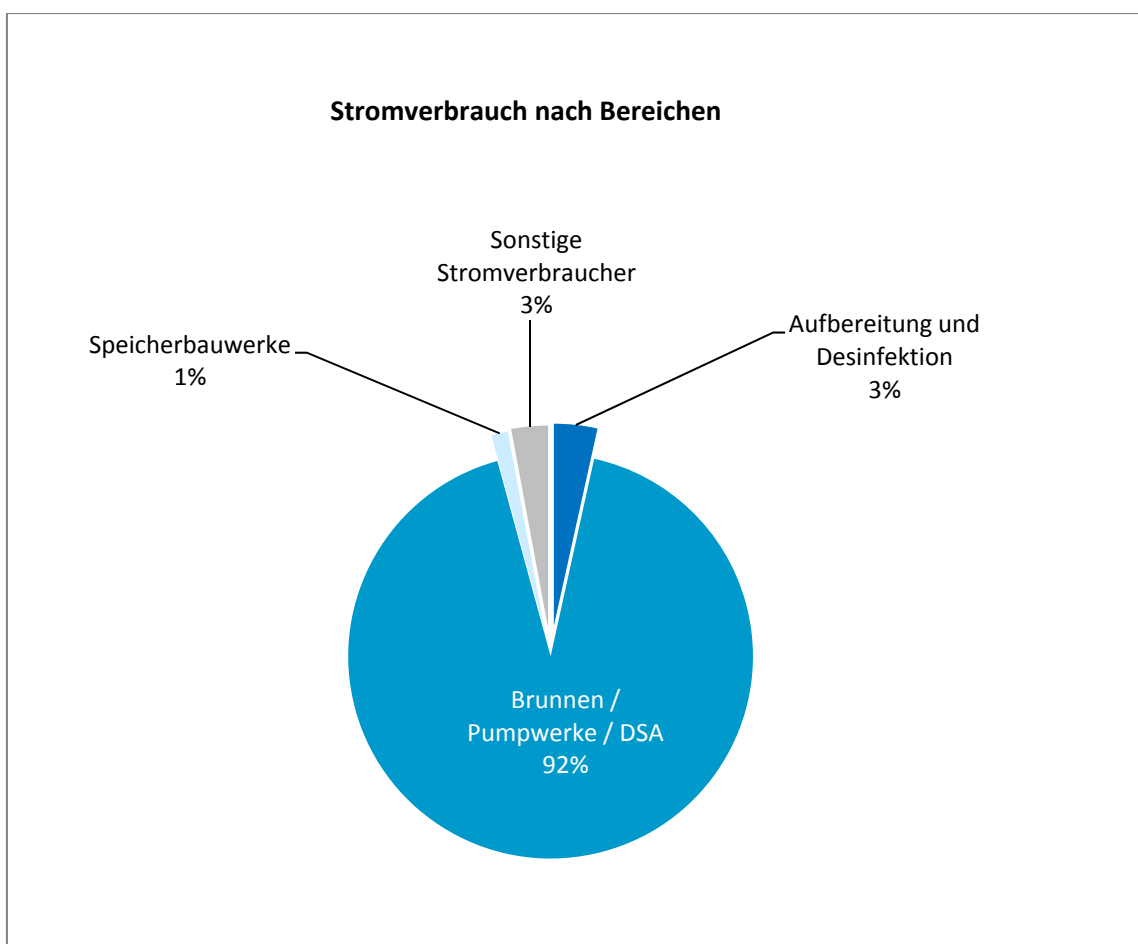


Abbildung 6. Stromverbrauch nach Bereichen

Wie Abbildung 6 zeigt, fällt der Großteil des Stromverbrauchs der Wasserversorger auf den Pumpenbetrieb zur Gewinnung und Verteilung des Wassers. Der Schwerpunkt der Maßnahmen zur Energieeinsparung sollte deshalb hier gesetzt werden. Diese Schlussfolgerung wurde ebenfalls in der Schweiz (Bundesamt für Energie und SVGW, 2004) wie auch in Deutschland gezogen (DVGW, 2010b).

Der Stromverbrauch von Pumpwerken und Drucksteigerungsanlagen wird dabei von den topographischen Verhältnissen des Quell- und Versorgungsgebiets bestimmt. Wasserversorger, die einen großen Teil des Wassers von hoch liegenden Quellen beziehen und nur kleine Höhenunterschiede innerhalb des Versorgungsgebietes überwinden müssen, brauchen nur sehr wenig Pumpenergie. Je höher die zu überwinden Höhen und Entfernungen sind, desto größer ist die aufzubringende Pumpenergie. Deshalb ergibt sich ein großer Schwankungsbereich beim spezifischen Gesamtstromverbrauch der verschiedenen Wasserversorger (Abbildung 5). Aufgrund dieser unterschiedlichen Situationen lassen spezifische Stromverbrauchswerte pro m<sup>3</sup> keine Aussage über die Energieeffizienz zu. Dafür müssen jedenfalls die zu pumpenden Wassermengen in Verbindung mit den zugehörigen Pumphöhen berücksichtigt werden.

Neben der Auswahl, dem Management und der Wartung der Pumpen wird der Stromverbrauch auch durch die Druckhöhenverluste im Netz bestimmt. Diese sollten bei einer Beurteilung der Energieeffizienz ebenfalls berücksichtigt werden.

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht kommt noch hinzu, dass über die Lebenszeit von Pumpen der Stromverbrauch einen großen Teil der Kosten im Vergleich zu den Investitions- und Unterhaltskosten ausmacht. Daher sollte der Stromverbrauch besonders berücksichtigt werden.

## 4.2.2 Aufbereitung und Desinfektion

Die verschiedenen Aufbereitungsverfahren haben eine große Bandbreite von spezifischen Stromverbräuchen (siehe auch Abbildung 33 in Abschnitt 6.1) und müssen individuell betrachtet und beurteilt werden. Deshalb wurden im Rahmen der Grobanalyse wegen ihres verbreiteten Einsatzes nur Stromverbräuche von UV-Anlagen aufgenommen.

### 4.2.2.1 UV-Anlagen

Abbildung 7 zeigt den spezifischen Stromverbrauch von 11 UV-Anlagen in kWh/m<sup>3</sup>. Der plausible Wertebereich liegt zwischen 0,008 und 0,020 kWh/ m<sup>3</sup> (Bundesamt für Energie und SVGW, 2004; DVGW, 2010b). Bis auf zwei Werte liegen alle aufgenommen spezifischen Stromverbräuche außerhalb dieses Bereiches. Dies ist auf die ungenaue Abschätzung bei der Ermittlung des Stromverbrauchs der UV-Anlagen zurückzuführen. Aufgrund des geringen spezifischen Stromverbrauchs und der hygienischen Notwendigkeit von UV-Anlagen sind hier keine sinnvollen Einsparungspotentiale im Vergleich zum Pumpenstromverbrauch vorhanden.

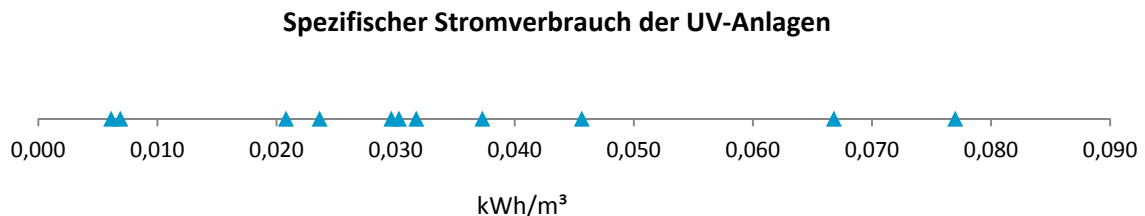


Abbildung 7. Spezifischer Stromverbrauch der UV-Anlagen (kWh/m<sup>3</sup>)

## 4.2.3 Pumpwerke/Drucksteigerungsanlagen

Abbildung 8 zeigt die berechneten Gesamtwirkungsgrade von 115 Pumpwerken (sowohl Einzelpumpen wie auch mehrere Pumpen) nach folgenden Leistungsklassen (Bundesamt für Energie und SVGW, 2004):

- Pumpen < 5kW (n = 32)
- Pumpen mit 5 – 50 kW (n = 79)
- Pumpen > 50 kW (n = 4)

*Erklärung der Box-Plot-Darstellung:*

Die blaue Box stellt dabei den Anteil der Einzelwerte dar, die zwischen 25% und 75% (= mittlerer Teil aller nach ihrer Größe sortierten Einzelwerte) der Werte liegen (25% = unterer Rand der Box; 75% = oberer Rand der Box). Der schwarze Strich innerhalb der Box stellt den Median dar (mittlerer Wert der sortierten und in zwei Hälften geteilten Einzelwerte). Die an die Box angehängten schwarzen T-Enden stellen den Minimal und den Maximalwert, die schwarzen runden Kreise die sogenannten Ausreißer nach oben oder nach unten dar.



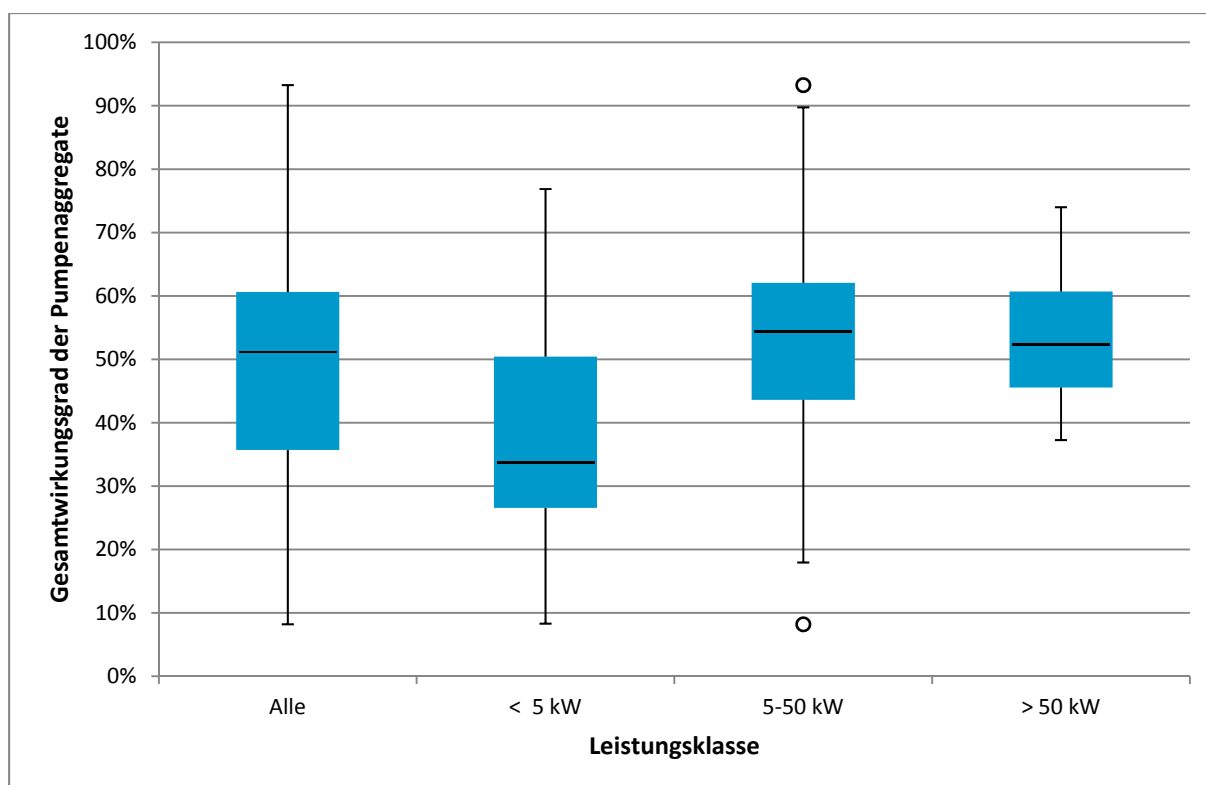


Abbildung 8. Aus der Datenerhebung berechnete Gesamtwirkungsgrade von 115 Pumpwerken nach Leistungsklassen

Die Gesamtwirkungsgrade wurden als Verhältnis der hydraulischen Energie (aus Förderhöhe und Fördermenge) zum Stromverbrauch berechnet. Unplausible Gesamtwirkungsgrade in Abbildung 8 ergeben sich aufgrund von fehlerhaften Angaben der Förderhöhe. Dies tritt insbesondere bei Netzpumpen mit schwankenden Druckverhältnissen auf, die bei unterschiedlichen Betriebspunkten laufen. In diesen Fällen muss für eine Beurteilung eine kontinuierliche Druckmessung erfolgen.

#### 4.2.4 Stromverbrauch durch Wasserverluste

Eine Reduktion von vermeidbaren realen Wasserverlusten führt direkt zu einer Reduktion des Stromverbrauchs von Pumpen sowie Aufbereitungs- und Desinfektionsanlagen. Tabelle 9 zeigt eine Übersicht über den durch Wasserverluste verursachten Stromverbrauch bei den untersuchten Wasserversorgern.

Tabelle 9. Stromverbrauch durch Wasserverluste

| Wasserversoger        | Stromverbrauch Aufb. & Desinfektion + Pumpen |   | Reale Verluste in % der System-einspeisung | Stromverbrauch durch reale Verluste in kWh/a |
|-----------------------|--|---|--|--|
|                       | in kWh                                       | in kWh/m <sup>3</sup> Systemeinspeisung |  |  |
| WVU 10                | 249.085                                      | 0,51                                    | 7%   | 16.513                                       |
| WVU 13                | 359.798                                      | 0,31                                    | 9%   | 34.073                                       |
| WVU 11                | 164.870                                      | 0,33                                    | 6%   | 10.087                                       |
| WVU 7                 | 924.826                                      | 0,17                                    | 16%  | 150.501                                      |
| WVU 3                 | 202.129                                      | 0,32                                    | 18%  | 35.710                                       |
| WVU 4                 | 32.467                                       | 0,07                                    | 16%  | 5.173  |
| WVU 1                 | 596.098                                      | 0,34                                    | 15%  | 86.585                                       |
| WVU 16                | 266.956                                      | 0,08                                    | 11%  | 29.452                                       |
| WVU 20                | 168.288                                      | 0,41                                    | 5%   | 8.253  |
| WVU 23                | 17.828                                       | 0,46                                    |  | 0  |
| WVU 9                 | 2.533.564                                    | 1,04                                    | 0%   | 6.631  |
| WVU 5                 | 267.732                                      | 0,80                                    | 9%   | 24.918                                       |
| WVU 2                 | 2.522.673                                    | 0,97                                    | 5%   | 121.695                                      |
| <b>Gesamtergebnis</b> | <b>8.306.314</b>                             |   | <b>7%</b>                                  | <b>529.592</b>                               |

## 4.3 Stromproduktion mit Trinkwasserkraftwerken

Die einzelnen Szenarien für die Trinkwasserkraftwerke sind im Detail in *Anhang B. Grobanalyse: Szenarien Trinkwasserkraftwerke* beschrieben.

### 4.3.1 Übersicht über die Trinkwasserkraftwerk Szenarien

Abbildung 9 zeigt eine Gegenüberstellung der Trinkwasserkraftwerkszenarien und der aufgenommenen bestehenden Trinkwasserkraftwerke. Einige der Trinkwasserkraftwerkszenarien weisen ähnliche Potentiale (Durchfluss und Bruttofallhöhe) wie bereits bestehende Trinkwasserkraftwerke auf.

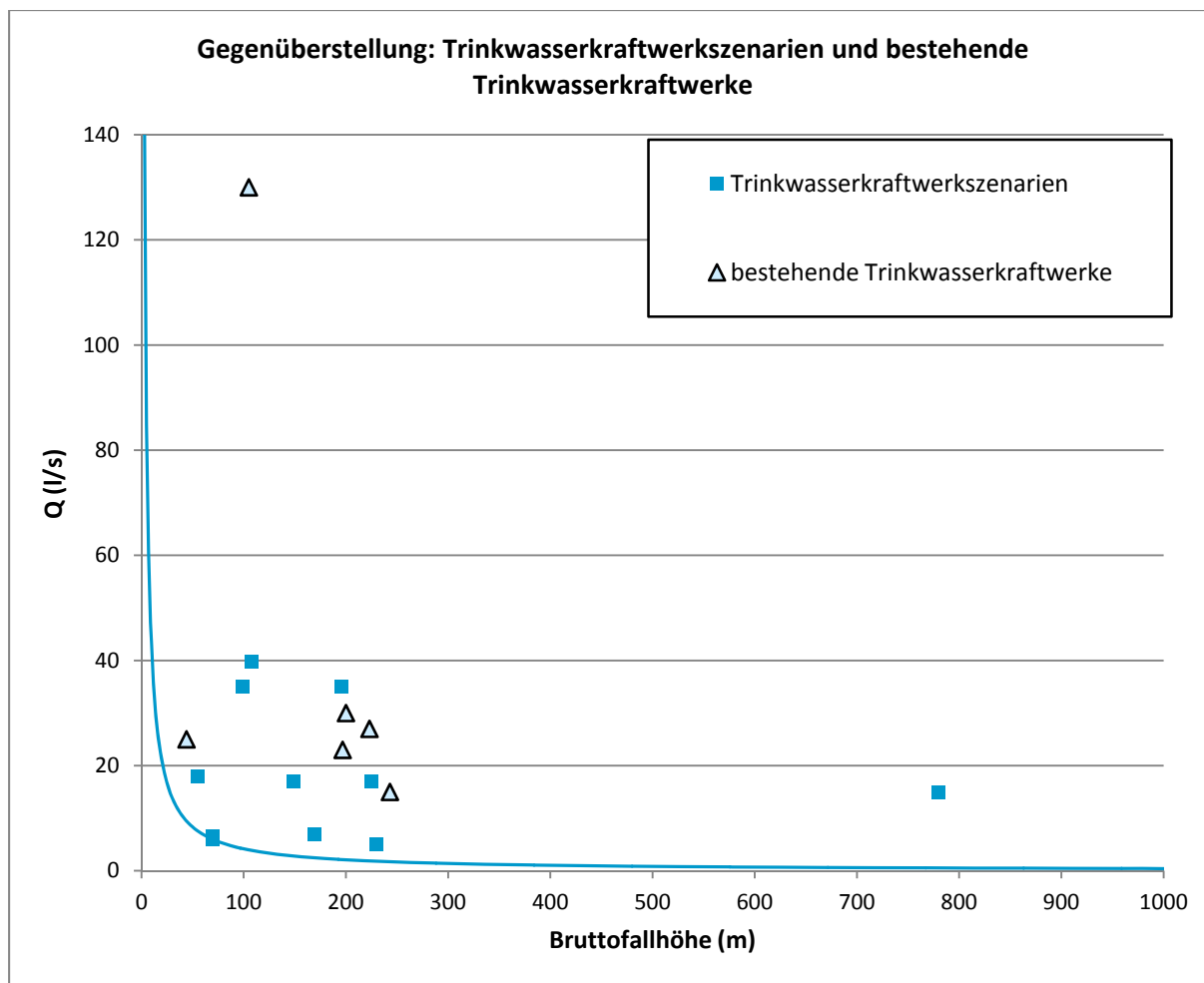


Abbildung 9. Gegenüberstellung der Trinkwasserkraftwerkszenarien (Quadrate) und der aufgenommenen bestehenden Trinkwasserkraftwerke (Dreiecke) nach mittlerem Durchfluss und Bruttofallhöhe. Die blaue Kurve stellt den Schwellenwert der Jahresproduktion von 25.000 kWh als untere Grenze der wirtschaftlichen Durchführbarkeit dar.

Aufgrund der Einflussfaktoren, die maßgeblich die Investitionskosten und damit die Wirtschaftlichkeit eines Trinkwasserkraftwerks bestimmen (DVGW, 2010b), müssen die Gegebenheiten in den einzelnen Szenarien im Detail betrachtet werden:

#### **Falleitung**

Können die vorhandenen Rohrleitungen verwendet werden und sind diese ausreichend druckfest (Ruhezustand zuzüglich Druckstöße)? Welche Mehrkosten entstehen durch die Anpassung der Rohrleitungen bzw. durch die Neuverlegung (hier sind nur die Mehrkosten für die druckfeste Auslegung zu berücksichtigen)?

#### **Stromleitung zur Einspeisung**

Ist eine Anschlussmöglichkeit zur Stromeinspeisung in der Nähe des geplanten Turbinenstandorts vorhanden? Wie lange ist die zu verlegende Stromleitung?

#### **Aufstellung der Turbine**

Ist ausreichend Platz für die Aufstellung der Turbine in bestehenden Räumlichkeiten vorhanden oder ist ein neues Bauwerk erforderlich? Mit welchen Kosten ist für die Adaptierung bzw. für den Neubau von Räumlichkeiten zu rechnen?

Wenn die vorhandenen Leitungen und Gebäude genutzt werden können, kann ein Trinkwasserkraftwerk mit relativ geringem Kostenaufwand errichtet werden.

Die Stromproduktion aus Trinkwasser verursacht in der Regel keine zusätzliche Umweltbelastung, da meistens nur kleine bzw. keine weiteren Eingriffe in die Natur notwendig sind (Bundesamt für Energie und SVGW, 2004; Pap, 2008). Der produzierte Strom kann entweder durch den Wasserversorger selbst genutzt werden oder als Ökostrom verkauft werden.

#### 4.3.1.1 Förderung von Klein- und mittleren Wasserkraftanlagen

Klein- und mittlere Wasserkraftanlagen werden über die OeMAG im Rahmen der verfügbaren Budgetmittel mittels Investitionszuschüssen gefördert (Energie-Control Austria, 2010). Für detailliertere Angaben zu der Förderung siehe *Anhang C. Förderung von Wasserkraftwerken*.

| Größe der Anlage                            | Förderobergrenze Investitionszuschuss         |
|---|---|
| Kleinwasserkraft Engpassleistung von 500 kW | Max. 30 %, max. 1.500 Euro/kW                 |
| Kleinwasserkraft Engpassleistung von 2 MW   | Max. 20 %, max. 1.000 Euro/kW                 |
| Kleinwasserkraft Engpassleistung von 10 MW  | Max. 10 %, max. 400 Euro/kW                   |
| Mittlere Wasserkraft                        | Max. 10 %, max. 400 Euro/kW, max. 6 Mio. Euro |

Abbildung 10. Gesetzliche Obergrenze für die Investitionszuschüsse für Klein- und mittlere Wasserkraft (Energie-Control Austria, 2010)

## 5 Detailanalysen von Maßnahmen bei einzelnen Wasserversorgern (AP3)

Da der Großteil des Stromverbrauchs von Wasserversorgern auf den Pumpenbetrieb zur Gewinnung und Verteilung des Wassers fällt, wurde der Schwerpunkt bei den Detailanalysen auf die Pumpen gelegt. Aufgrund der topographischen Lage besteht außerdem bei vielen Wasserwerken in Österreich ein Potential zur Stromproduktion mittels Trinkwasserkraftwerken, welches im Rahmen der Detailanalysen ebenfalls schwerpunktmäßig betrachtet wurde.

### 5.1 Aufbereitung und Desinfektion

Aus der Literatur wurden in Abschnitt 6.1 spezifische Stromverbräuche bei Wasseraufbereitungs- bzw. Desinfektionsverfahren zusammengestellt. Zur Betrachtung von gebräuchlichen Aufbereitungssystemen wie Schnellfiltern wurde im Rahmen der Detailanalyse beispielhaft eine biologische Nitratentfernungsanlage betrachtet.

#### 5.1.1 Biologische Nitratentfernungsanlage

##### 5.1.1.1 Beschreibung der Anlage

- Nennleistung der Anlage: 50 l/s
- Reduktion von Grundwasser mit max. 65 mg/l auf unter 10 mg/l
- Betrieb mit Einspeisung seit 1999

Das Rohwasser weist eine durchschnittliche Nitratkonzentration von etwa 50 mg/l auf. Diese wird mit der Anlage auf etwa 5 bis 10 mg/l reduziert. Abbildung 11 zeigt das Anlagenschema der biologischen Nitratentfernungsanlage.

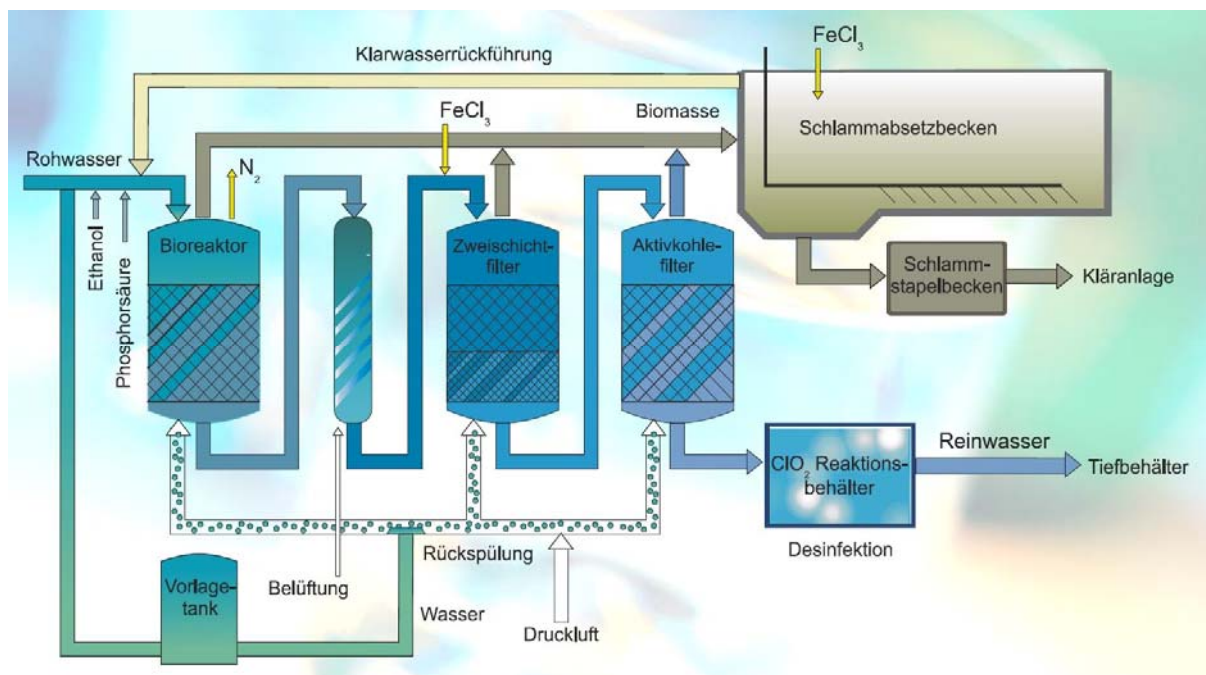


Abbildung 11. Anlagenschema der biologischen Nitratentfernungsanlage

Die Anlage ist zweistraßig konzipiert. In den Zulauf des Festbett-Bioreaktors erfolgt eine Nährstoffdosierung (Ethanol und Phosphorsäure). Der Bioreaktor ist ein abwärtsdurchströmter Druckbehälter mit Voraktivat als Trägermaterial für die denitrifizierenden Bakterien. Der Ablauf des Bioreaktors wird zur Anhebung des Sauerstoffgehalts in einer Blasensäule belüftet. Die durch die Bakterienausschwemmung aus dem Bioreaktor verursachte geringe Trübung wird unter Zuhilfenahme eines Flockungsmittels im Mehrschichtfilter entfernt. Der Aktivkohlefilter dient als Sicherheitsmaßnahme. Zur Desinfektion wird Chlordioxyd verwendet. Das Rückspülwasser aus Bioreaktor und Mehrschichtfilter wird in einem Schlamm-Absetzbecken abgesetzt, das Klarwasser in den Produktionsprozess zurückgeleitet und der Schlamm mittels einer Pumpleitung zur Kläranlage gepumpt.

### 5.1.1.2 Stromverbrauch

Tabelle 10 zeigt den Stromverbrauch der Nitratentfernungsanlage und des Brunnens. Für die Nitratentfernungsanlage ergibt sich ein spezifischer Stromverbrauch von 160 Wh/m<sup>3</sup>. Dieser Wert gilt für die Gesamtanlage und setzt sich aus den einzelnen Anlagenteilen (Schnellfilter, Dosierpumpen, Belüftung, Aktivkohlefilter, Betriebsgebäude etc.) zusammen.

Tabelle 10. Stromverbrauch der Anlage und des Brunnens

|                                   | Stromverbrauch |                       |
|-----------------------------------|----------------|-----------------------|
|                                   | in kWh/a       | in kWh/m <sup>3</sup> |
| <b>Brunnen (RohwasserBrunnen)</b> | 408.807        | 0,31                  |
| <b>Nitratentfernungsanlage</b>    | 212.500        | 0,16                  |

Abbildung 33 in Abschnitt 6.1 zeigt eine Übersicht über spezifische Stromverbräuche bei Wasseraufbereitungs- bzw. Desinfektionsverfahren, die aus Literaturangaben stammt. Hier wird ersichtlich, dass generell die Belüftung mit dem mehr als dem zehnfachen spezifischen Stromverbrauch gegenüber Filtern oder Chemikaliendosierung einen verhältnismäßig großen Stromverbraucher darstellt.

## 5.2 Pumpen

### 5.2.1 Bestimmung des optimalen Wirkungsgrads für einzelne Pumpen

Zur Bestimmung des optimalen Wirkungsgrades von einzelnen Pumpen bzw. Pumpengruppen wurden deren Auslegungsdaten erhoben. Der daraus bestimmte optimale Gesamtwirkungsgrad wurde mit dem aus der Grobanalyse ermittelten vorhandenen Gesamtwirkungsgrad verglichen, um so ein Stromeinsparpotential abschätzen zu können. Der Berechnungsvorgang wird im Folgenden anhand des Fallbeispiels von WVU 01 beschrieben.

Tabelle 11 zeigt die Auslegungsdaten der Pumpen von WVU 01. Die Angegebenen Werte für H und Q entsprechen der Förderhöhe und dem Durchfluss, auf den die Pumpen ausgelegt wurden. Bei einigen Pumpen wurden diese Werte nicht erfasst ("n.e."). In diesen Fällen wurde mit dem in der Grobanalyse erfassten Förderhöhe H und der angegebenen Leistung auf den Förderstrom Q zurückgerechnet.

Tabelle 11. Auslegungsdaten der Pumpen

| Name der Anlage | Anzahl Pumpen | Leistung (kW) | H (m) | Q (l/s) | Aufstellung | Anzahl der Stufen | Nenn-drehzahl Motor (1/min) |
|-----------------|---------------|---------------|-------|---------|-------------|-------------------|-----------------------------|
| Brunnenanlage H | 4             | 45,0          | 90    | je 35   | UWP         | 6                 | 2865                        |
| Brunnenanlage S | 1             | 11,0          | 90    | 8,3     | UWP         | 8                 | 2840                        |
| DS Le           | 1             | 1,2           | n.e.  |         | trocken     | 6                 |                             |
| DS B            | 2             | 3,0           | n.e.  |         | trocken     | 13                | 2850                        |
| DS P 1          | 2             | 7,5           | 157   | 1,7     | trocken     | 6                 | 2930                        |
| DS P 2          | 2             | 4,0           | n.e.  |         | trocken     | 13                | 2870                        |
| DS P 3          | 2             | 2,2           | n.e.  |         | trocken     | 10                | 2820                        |
| DS E            | 2             | 1,2           | n.e.  |         | trocken     | 5                 | 2790                        |
| DS S            | 1             | 4,0           | n.e.  |         | trocken     | 9                 | 2870                        |
| DS L            | 2             | 1,7           | n.e.  |         | trocken     | 6                 | 2790                        |
| DS B-O          | 2             | 15,0          | 210   | 3       | trocken     | 9                 | 2930                        |
| DS A.-P-S       | 2             | 11,0          | n.e.  |         | UWP         |                   |                             |

#### 5.2.1.1 Berechnung nach der vom Bundesamt für Energie vorgeschlagenen Methode (Infrawatt)

Mit den Daten aus Tabelle 11 wurde mit Hilfe der vom Bundesamt für Energie BFE (2011) bereitgestellten Tabellenblättern die optimalen Wirkungsgrade für Pumpe, Motor und Gesamtsystem (Motor und Pumpe) ermittelt. Diese optimalen Wirkungsgrade werden für eine Pumpe-Motor Kombination mit den gleichen Auslegungsdaten (Förderhöhe H, Förderstrom Q, Aufstellung trocken oder Unterwasserpumpe (UWP), Stufenanzahl, Nenndrehzahl Motor) ermittelt. In Tabelle 12 werden diese Werte mit dem aus der Grobanalyse ermittelten vorhandenen Gesamtwirkungsgrad verglichen. Abbildung 12 stellt den Vergleich zwischen vorhandenem (blau) und optimalem (rosa) Gesamtwirkungsgrad für jedes einzelne Pumpwerk grafisch dar.

Tabelle 12. Vorhandener und optimaler Wirkungsgrad. Basierend auf der vom Bundesamt für Energie vorgeschlagenen Methode (Infrawatt)

| Name der Anlage | Vorhandener Wirkungsgrad Gesamt | Optimaler Wirkungsgrad Pumpe | Optimaler Wirkungsgrad Motor | Optimaler Wirkungsgrad Gesamt | Wirkungsgrad-differenz [%-Punkte] |
|-----------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Brunnenanlage H | 52%                             | 82%                          | 89%                          | 73%                           | 21%                               |
| Brunnenanlage S | 51%                             | 83%                          | 88%                          | 73%                           | 22%                               |
| DS Le           | 9%                              | 79%                          | 83%                          | 66%                           | 57%                               |
| DS B            | 49%                             | 67%                          | 87%                          | 58%                           | 9%                                |
| DS P 1          | 31%                             | 69%                          | 88%                          | 61%                           | 29%                               |
| DS P 2          | 29%                             | 81%                          | 88%                          | 71%                           | 42%                               |
| DS P 3          | 23%                             | 74%                          | 86%                          | 64%                           | 40%                               |
| DS E            | 22%                             | 69%                          | 83%                          | 57%                           | 35%                               |
| DS S            | 28%                             | 82%                          | 88%                          | 72%                           | 44%                               |
| DS L            | 27%                             | 69%                          | 85%                          | 59%                           | 32%                               |
| DS B-O          | 18%                             | 62%                          | 91%                          | 56%                           | 38%                               |
| DS A.-P-S       | 56%                             | 83%                          | 88%                          | 73%                           | 17%                               |

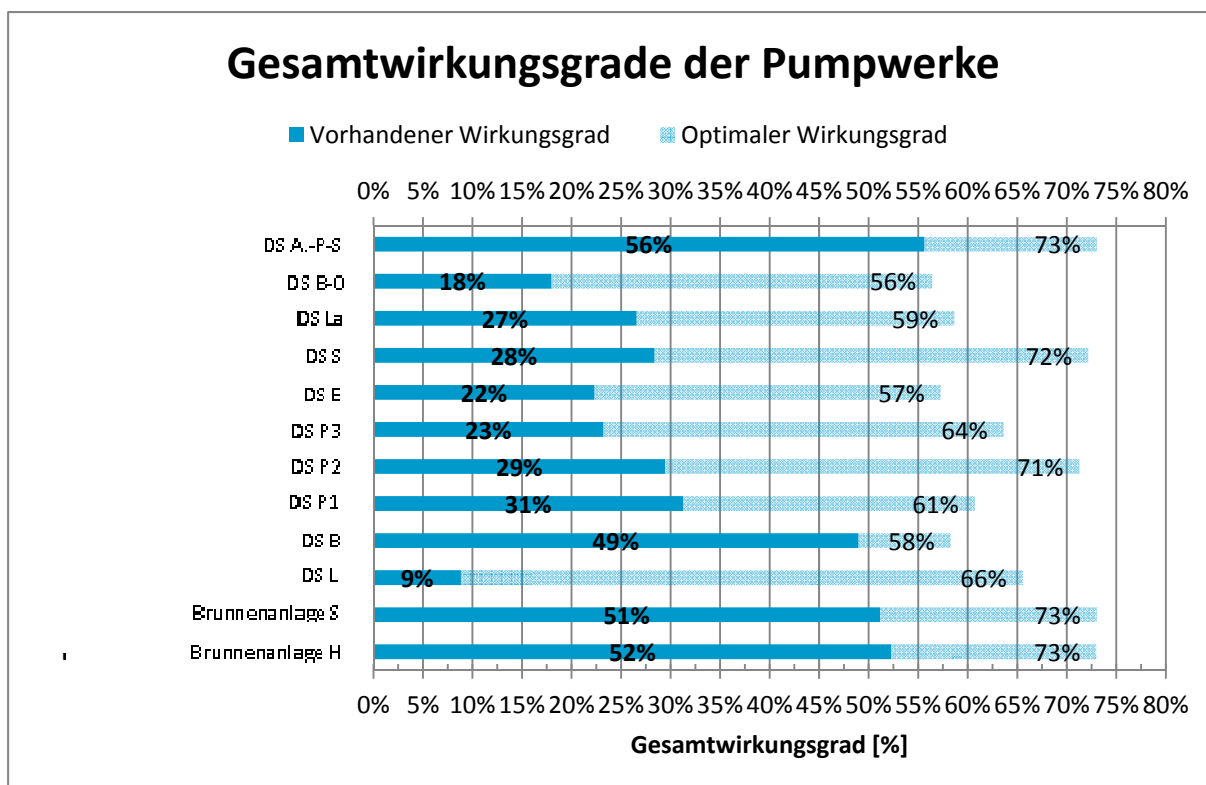


Abbildung 12. Vorhandener und optimaler Gesamtwirkungsgrad der Pumpwerke. Basierend auf der vom Bundesamt für Energie vorgeschlagenen Methode (Infrawatt)

Aus der Differenz zwischen vorhandenen und optimierten Werten wurde ein Energieeinsparpotential für jedes einzelne Pumpwerk berechnet (siehe Tabelle 13). Die Brunnenanlage Hafendorf ist die Anlage mit dem größten Stromverbrauch, daher liegt dort das absolut größte Einsparpotential. Abbildung 13 zeigt das errechnete Einsparpotential bei jedem Pumpwerk.

Tabelle 13. Vorhandener und optimierter Stromverbrauch sowie Stromeinsparpotential. Basierend auf der vom Bundesamt für Energie vorgeschlagenen Methode (Infrawatt).

| Name der Anlage | Stromverbrauch vorhanden [kWh/a] | Wirkarbeit [kWh/a] | Stromverbrauch optimal [kWh/a] | Einsparpotential [kWh] | Einsparpotential [%] |
|-----------------|----------------------------------|--------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------|
| Brunnenanlage H | 501.840                          | 262.360            | 359.496                        | 142.344                | 28%                  |
| Brunnenanlage S | 9.918                            | 5.072              | 6.944                          | 2.974                  | 30%                  |
| DS Le           | 1.164                            | 103                | 157                            | 1.007                  | 87%                  |
| DS B            | 5.482                            | 2.684              | 4.604                          | 878                    | 16%                  |
| DS P 1          | 3.522                            | 1.101              | 1.813                          | 1.709                  | 49%                  |
| DS P 2          | 1.886                            | 556                | 779                            | 1.107                  | 59%                  |
| DS P 3          | 1.915                            | 444                | 698                            | 1.217                  | 64%                  |
| DS E            | 747                              | 167                | 291                            | 456                    | 61%                  |
| DS S            | 235                              | 67                 | 92                             | 143                    | 61%                  |
| DS L            | 843                              | 224                | 382                            | 461                    | 55%                  |
| DS B-O          | 3.722                            | 668                | 1.185                          | 2.537                  | 68%                  |
| DS A.-P-S       | 39.918                           | 22.204             | 30.400                         | 9.518                  | 24%                  |
| <b>Summe</b>    | <b>571.192</b>                   | <b>295.649</b>     | <b>406.841</b>                 | <b>164.351</b>         | <b>29%</b>           |

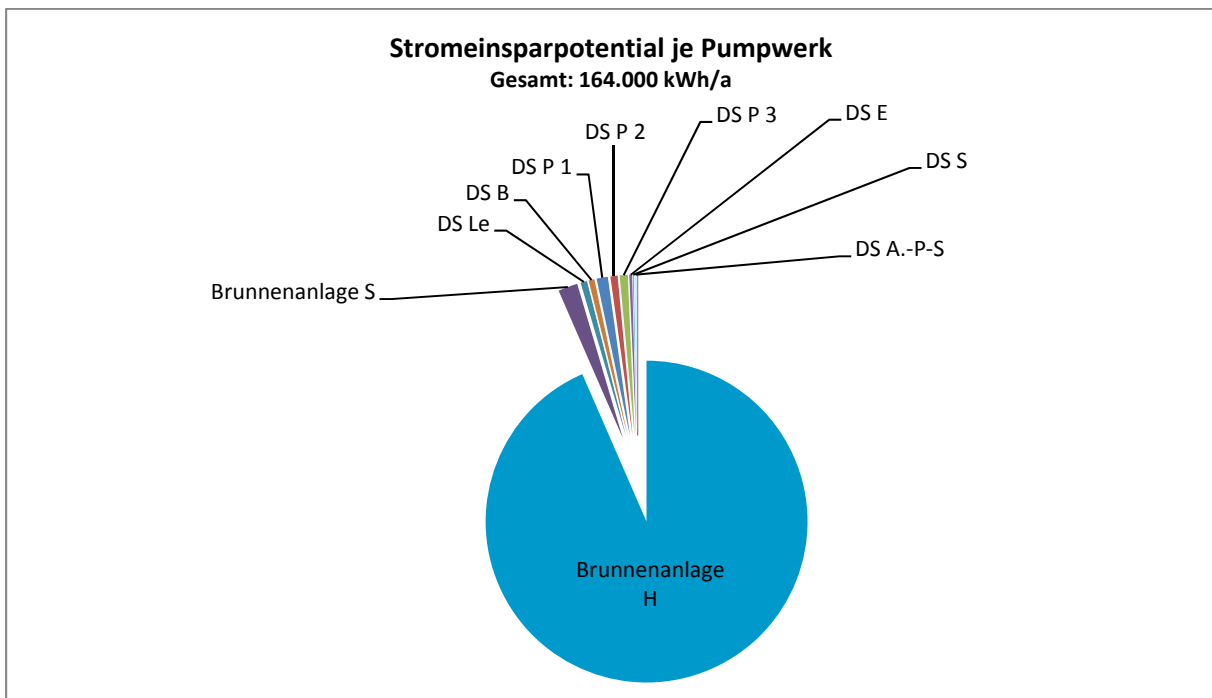


Abbildung 13. Stromeinsparpotential bei den einzelnen Pumpwerken in kWh. Basierend auf der vom Bundesamt für Energie vorgeschlagenen Methode (Infrawatt).

In Summe beträgt dieses ca. 164.000 kWh pro Jahr, was einer Reduktion des Stromverbrauches der Pumpwerke um 29% entsprechen würde.



### 5.2.1.2 Berechnung mit Hilfe einer Pumpenauswahlsoftware

Diese optimalen Wirkungsgrade für die Pumpen wurden auf Basis der Auslegungsdaten (H, Q, Aufstellung trocken oder UWP) mit Hilfe der Auswahlsoftware ITT Vogel Select (ITT Water & Wastewater, 2011) ermittelt. Die Motorwirkungsgrade wurden aus Abschnitt 5.2.1.1 übernommen. In Tabelle 14 werden die so ermittelten Gesamtwirkungsgrade wiederum mit den aus der Grobanalyse ermittelten vorhandenen Gesamtwirkungsgraden verglichen. Abbildung 14 stellt den Vergleich zwischen vorhandenem (blau) und optimalem (rosa) Gesamtwirkungsgrad für jedes einzelne Pumpwerk grafisch dar.

Tabelle 14. Vorhandener und optimaler Wirkungsgrad. Berechnung mit Hilfe einer Pumpenauswahlsoftware.

| Name der Anlage | Vorhandener Wirkungsgrad Gesamt | Optimaler Wirkungsgrad Pumpe | Optimaler Wirkungsgrad Motor | Optimaler Wirkungsgrad Gesamt | Wirkungsgrad-differenz [%-Punkte] |
|-----------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Brunnenanlage H | 52%                             | 82%                          | 89%                          | 73%                           | 20%                               |
| Brunnenanlage S | 51%                             | 76%                          | 88%                          | 67%                           | 16%                               |
| DS Le           | 9%                              | 73%                          | 83%                          | 61%                           | 52%                               |
| DS B            | 49%                             | 69%                          | 87%                          | 60%                           | 11%                               |
| DS P 1          | 31%                             | 69%                          | 88%                          | 60%                           | 29%                               |
| DS P 2          | 29%                             | 72%                          | 88%                          | 64%                           | 34%                               |
| DS P 3          | 23%                             | 70%                          | 86%                          | 60%                           | 37%                               |
| DS E            | 22%                             | 72%                          | 83%                          | 59%                           | 37%                               |
| DS S            | 28%                             | 79%                          | 88%                          | 70%                           | 41%                               |
| DS L            | 27%                             | 71%                          | 85%                          | 60%                           | 33%                               |
| DS B-O          | 18%                             | 70%                          | 91%                          | 64%                           | 46%                               |
| DS A.-P-S       | 56%                             | 78%                          | 88%                          | 68%                           | 13%                               |

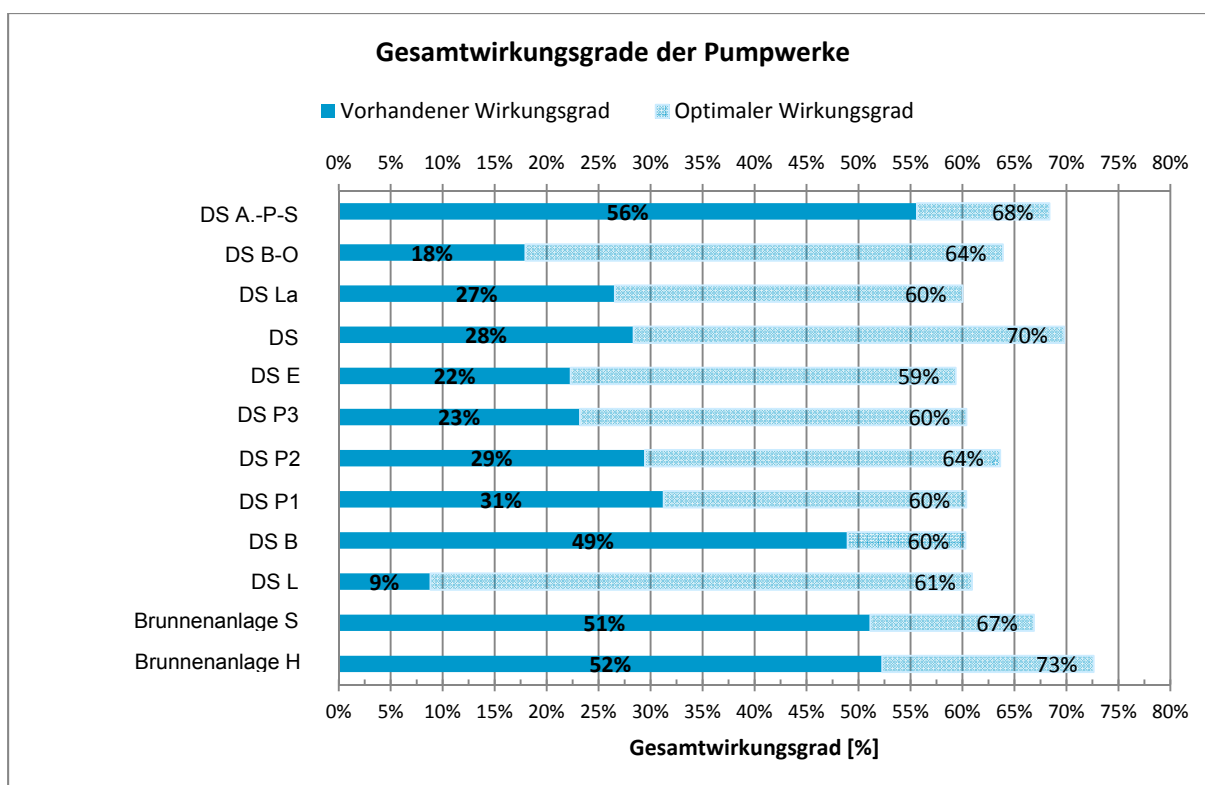


Abbildung 14. Vorhandener und optimaler Gesamtwirkungsgrad der Pumpwerke. Berechnung mit Hilfe einer Pumpenauswahlsoftware.

Tabelle 15 und Abbildung 15 zeigen das berechnete Energieeinsparpotential für jedes einzelne Pumpwerk.

Tabelle 15. Vorhandener und optimierter Stromverbrauch sowie Stromeinsparpotential. Berechnung mit Hilfe einer Pumpenauswahlsoftware.

| Name der Anlage | Stromverbrauch vorhanden [kWh/a] | Wirkarbeit [kWh/a] | Stromverbrauch optimal [kWh/a] | Einsparpotential [kWh] | Einsparpotential [%] |
|-----------------|----------------------------------|--------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------|
| Brunnenanlage H | 501.840                          | 262.360            | 361.258                        | 140.582                | <b>28%</b>           |
| Brunnenanlage S | 9.918                            | 5.072              | 7.583                          | 2.335                  | <b>24%</b>           |
| DS Le           | 1.164                            | 103                | 169                            | 995                    | <b>86%</b>           |
| DS B            | 5.482                            | 2.684              | 4.451                          | 1.031                  | <b>19%</b>           |
| DS P 1          | 3.522                            | 1.101              | 1.824                          | 1.698                  | <b>48%</b>           |
| DS P 2          | 1.886                            | 556                | 873                            | 1.013                  | <b>54%</b>           |
| DS P 3          | 1.915                            | 444                | 736                            | 1.179                  | <b>62%</b>           |
| DS E            | 747                              | 167                | 281                            | 466                    | <b>62%</b>           |
| DS S            | 235                              | 67                 | 96                             | 139                    | <b>59%</b>           |
| DS L            | 843                              | 224                | 373                            | 470                    | <b>56%</b>           |
| DS B-O          | 3.722                            | 668                | 1.046                          | 2.676                  | <b>72%</b>           |
| DS A.-P-S       | 39.918                           | 22.204             | 32.474                         | 7.444                  | <b>19%</b>           |
| <b>Summe</b>    | <b>571.192</b>                   | <b>295.649</b>     | <b>411.163</b>                 | <b>160.029</b>         | <b>28%</b>           |

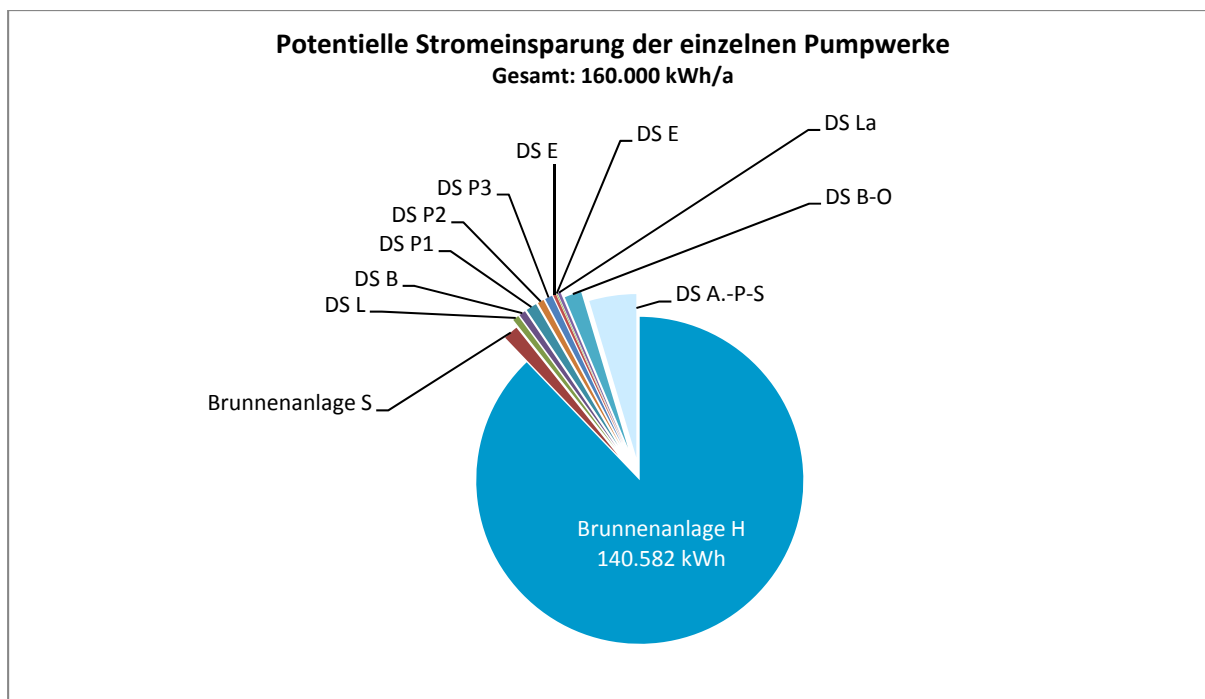


Abbildung 15. Stromeinsparpotential bei den einzelnen Pumpwerken in kWh. Berechnung mit Hilfe einer Pumpenauswahlsoftware.

In Summe beträgt dieses ca. 160.000 kWh pro Jahr, was einer Reduktion des Stromverbrauches der Pumpwerke um 28% entsprechen würde.

### 5.2.1.3 Vergleich der Methoden

Tabelle 16 zeigt die in den Abschnitt 5.2.1.1 und Abschnitt 5.2.1.2 berechneten Einsparpotentiale und die Abweichung dieser Werte voneinander.

Tabelle 16. Vergleich der mit den verschiedenen Methoden berechneten Einsparpotentiale.

| Name der Anlage | Einsparpotential in kWh ermittelt basierend auf |                       | Abweichung in % |
|-----------------|---|-----------------------|-----------------|
|                 | Infrawatt                                       | Pumpenauswahlsoftware |                 |
| Brunnenanlage H | 142.344   | 140.582               | -1%             |
| Brunnenanlage S | 2.974   | 2.335                 | -22%            |
| DS Le           | 1.007   | 995                   | -1%             |
| DS B            | 878   | 1.031                 | 17%             |
| DS P 1          | 1.709   | 1.698                 | -1%             |
| DS P 2          | 1.107   | 1.013                 | -8%             |
| DS P 3          | 1.217   | 1.179                 | -3%             |
| DS E            | 456   | 466                   | 2%              |
| DS S            | 143   | 139                   | -2%             |
| DS L            | 461   | 470                   | 2%              |
| DS B-O          | 2.537   | 2.676                 | 5%              |
| DS A.-P-S       | 9.518   | 7.444                 | -22%            |
| <b>Summe</b>    | <b>164.351</b>                                  | <b>160.029</b>        | <b>-3%</b>      |

Die Ermittlung der optimalen Wirkungsgrade und der daraus folgenden Einsparpotentiale auf Basis der vom Bundesamt für Energie vorgeschlagenen Methode (Infrawatt) und der Pumpenauswahlsoftware liefern in Summe fast den gleichen Wert (Abweichung 3%). Bei vereinzelt Pumpen/Pumpengruppen (Brunnenanlage S, DS B, DS A.-P-S) ist die Abweichung größer als 15%. Solche Abweichungen sind deshalb möglich, da die mit der Pumpenauswahlsoftware ermittelten Pumpenwirkungsgrade von den in der Datenbank liegenden Pumpenkennlinien abhängig sind und manche Auslegungsfälle besser oder schlechter getroffen werden.

Die größte Unsicherheit bei der Berechnung des Einsparpotentials ist die Bestimmung des vorhandenen Gesamtwirkungsgrads, zu dessen Ermittlung die manometrische Förderhöhe und die Fördermenge der Pumpen notwendig sind. Im vorliegenden Fall wurden die vom Wasserversorger angegebenen mittleren Werte für die Förderhöhe zur Berechnung verwendet. Falls die manometrische Förderhöhe relativ konstant ist (z.B. beim Pumpen in einen Behälter mit konstanter Fördermenge), kann eine mittlere Förderhöhe für die Berechnung angenommen werden. Bei schwankender manometrischer Förderhöhe (z.B. beim Pumpen ins Netz) sollte jedoch der zeitliche Verlauf der Förderhöhe und Fördermenge erfasst und für die Berechnung verwendet werden. Ein Fehler in der Ermittlung der mittleren Förderhöhe wirkt sich direkt proportional auf die Höhe des berechneten Gesamtwirkungsgrads aus. Um diese Unsicherheit zu beseitigen, sollten zumindest bei den großen Stromverbrauchern die Druckverhältnisse genauer erfasst werden, um eine verlässlichere Aussage zu treffen zu können.

## **5.2.2 Ermittlung des vorhandenen Gesamtwirkungsgrads eines Pumpwerks mit Hilfe von Stundenwerten von Wasserzählern, Druckaufnehmern und Pegelmessungen**

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:

- hydraulisches Schema der Anlage
- geodätische Höhen der Druckaufnehmer
- geodätische Höhen der Behältersohlen
- geodätische Höhen der Brunnensohlen
- Stundenwerte der Wasserzähler
- Stundenwerte der Druckaufnehmer
- Stundenwerte der Pegelmessungen
- Stromverbrauch laut Stromzähler

Abbildung 16 zeigt das hydraulische Schema der betrachteten Anlage.

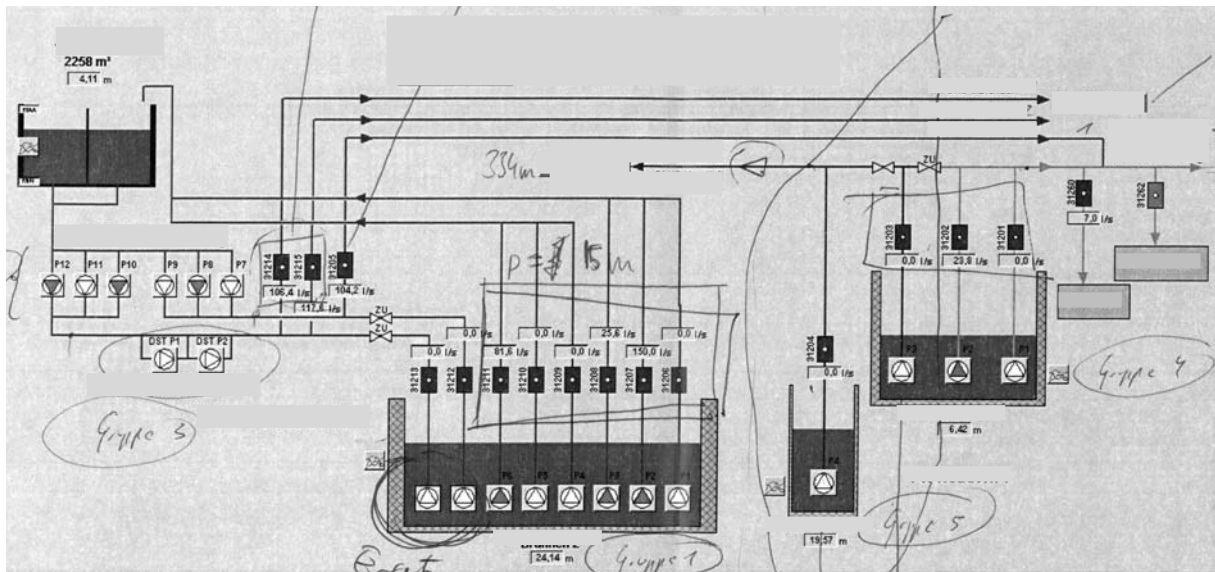


Abbildung 16. Hydraulisches Schema der Anlage

Im ersten Schritt wurde eine Übersicht über das hydraulische System und die vorhandenen Wasserzähler und Druckaufnehmer erstellt. Zur Übersicht gehören auch die geodätischen Höhen der Druckaufnehmer und die Nullpunkte der Wasserstandsmessungen in den Behältern bzw. Pegeln in den Brunnen. Ziel der Systemaufstellung ist es, jeder Pumpe bzw. Pumpengruppe eine Pumpe bzw. Pumpengruppe einen Wasserzähler und einen Druckaufnehmer (bei Förderung ins Netz) oder statischen Druck (bei Förderung in einen Behälter) zuzuordnen.

Tabelle 17 zeigt das aufgestellte System zur Ermittlung des Gesamtwirkungsgrads des Pumpwerks. Pumpen, die einer Gruppe zusammengefasst werden, müssen den gleichen Druckverhältnissen unterliegen. Für jede Pumpe werden folgende Zuordnungen festgelegt:

- Bezeichnung des Wasserzählers
- Ermittlung des Drucks: statisch oder mit Druckaufnehmer
- Unterer WSP
- Oberer WSP (bei Förderung in Behälter)
- Geodätische Höhe des Druckaufnehmers (bei Förderung ins Netz)

Tabelle 17. Systemaufstellung zur Beurteilung der Pumpeneffizienz

| Bezeichnung laut hydraulischem Schema | Pumpe        | Wasserzähler | Ermittlung Druck (Druckaufnehmer oder stat.Druck) | Unterer WSP | Oberer WSP | Geod.Höhe Druckaufnehmer (m) | Sohle unterer WSP (m) | Sohle oberer WSP (m) |                  |               |          |          |        |        |
|---------------------------------------|--------------|--------------|---|-------------|------------|------------------------------|-----------------------|----------------------|------------------|---------------|----------|----------|--------|--------|
| DST N                                 | DST RI M     | P12          | Druck Ri M  | TB N        | ins Netz   | 269,00                       | 267,50                | x                    |                  |               |          |          |        |        |
|                                       |              | P11          |   |             |            |                              |                       |                      |                  |               |          |          |        |        |
|                                       |              | P10          |   |             |            |                              |                       |                      | 31214 +<br>31215 |               |          |          |        |        |
|                                       | DST RI GHB M | DST P1       |   |             |            |                              |                       |                      |                  |               |          |          |        |        |
|                                       |              | DST P2       |   |             |            |                              |                       |                      |                  |               |          |          |        |        |
|                                       | DST RI Ma    | P9           |   |             |            |                              |                       |                      | 31205            | Druck Ri Ma   | TB N     | ins Netz | 269,00 | 267,50 |
| PW N 2                                | Brunnen 2    | P8           | statischer Druck                                  | Brunnen N 2 | TB N       | x                            | 231,08                | 267,50               |                  |               |          |          |        |        |
|                                       |              | P7           |   |             |            |                              |                       |                      |                  |               |          |          |        |        |
|                                       |              | P6           |   |             |            |                              |                       |                      | 31211            |               |          |          |        |        |
|                                       |              | P5           |   |             |            |                              |                       |                      | 31210            |               |          |          |        |        |
|                                       |              | P4           |   |             |            |                              |                       |                      | 31209            |               |          |          |        |        |
|                                       |              | P3           |   |             |            |                              |                       |                      | 31208            |               |          |          |        |        |
| PW N 1                                | R-brunnen    | P2           | Druck Ri GHB M                                    | Brunnen N 1 | ins Netz   | 268,00                       | 250,52                | x                    |                  |               |          |          |        |        |
|                                       |              | P1           |   |             |            |                              |                       |                      | 31206            |               |          |          |        |        |
|                                       | P4           | 31204        |   |             |            |                              |                       |                      | Druck Ri HB N    | Br N 1/ R-br. | ins Netz | 268,00   | 238,00 | x      |
|                                       | P3           | 31203        |   |             |            |                              |                       |                      |                  |               |          |          |        |        |
|                                       | Brunnen 1    | P2           |   |             |            |                              |                       |                      | 31202            |               |          |          |        |        |
|                                       | P1           | 31201        |   |             |            |                              |                       |                      |                  |               |          |          |        |        |

Abbildung 17 bis Abbildung 22 zeigen die entsprechenden schematischen Darstellungen mit geodätischen Höhen für die einzelnen Pumpen bzw. Pumpengruppen. Q bezeichnet die Wasserzähler zur Bestimmung des geförderten Volumens V in den einzelnen Zeitintervallen und M die Druckaufnehmer zur Bestimmung der Förderhöhe H. In runden Klammern sind jeweils die Bezeichnungen bzw. Nummern der einzelnen Wasserzähler und Druckaufnehmer angeführt.

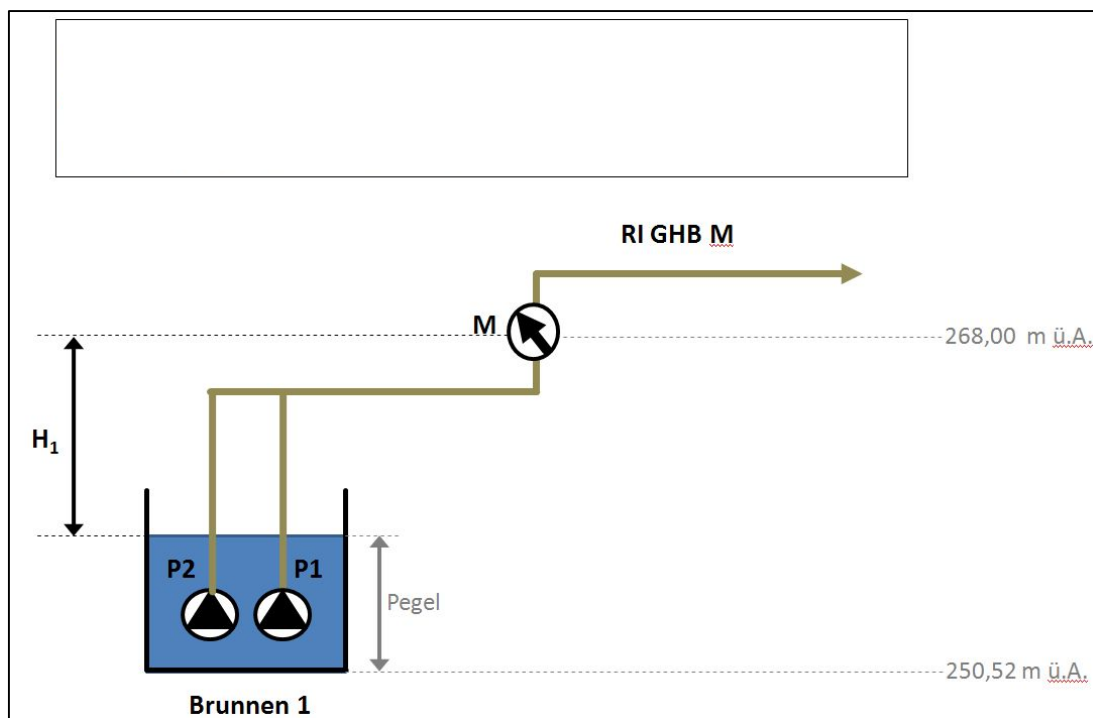


Abbildung 17. PW N 1: P1 und P2

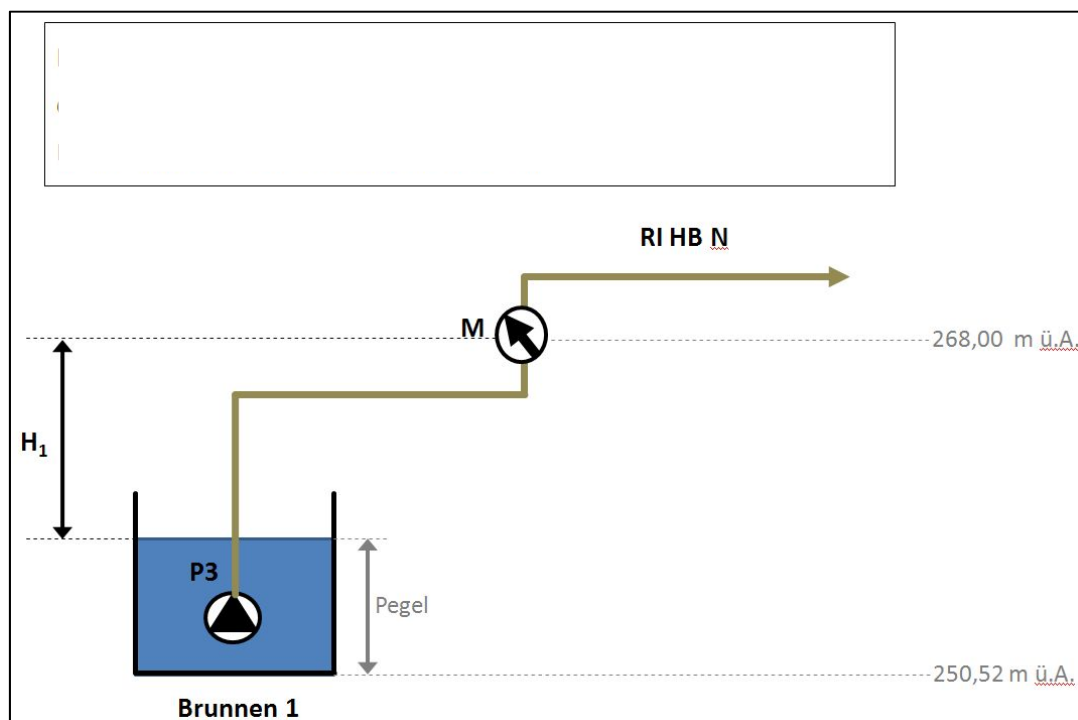


Abbildung 18. PW N 1: P3

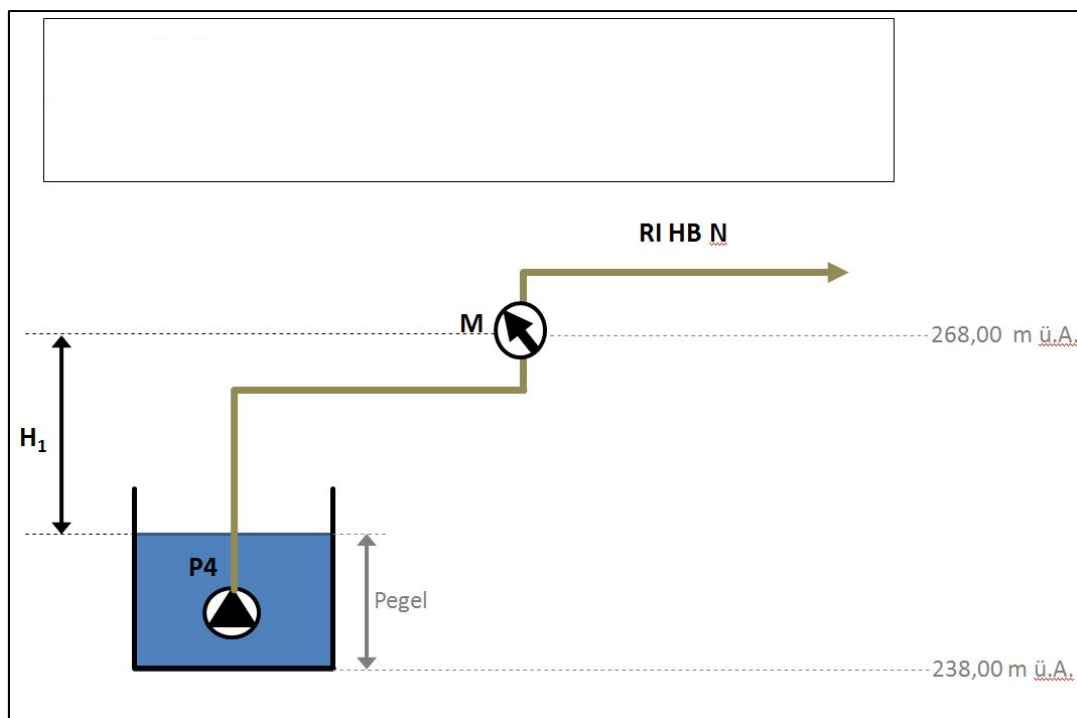


Abbildung 19. PW N 1: P4

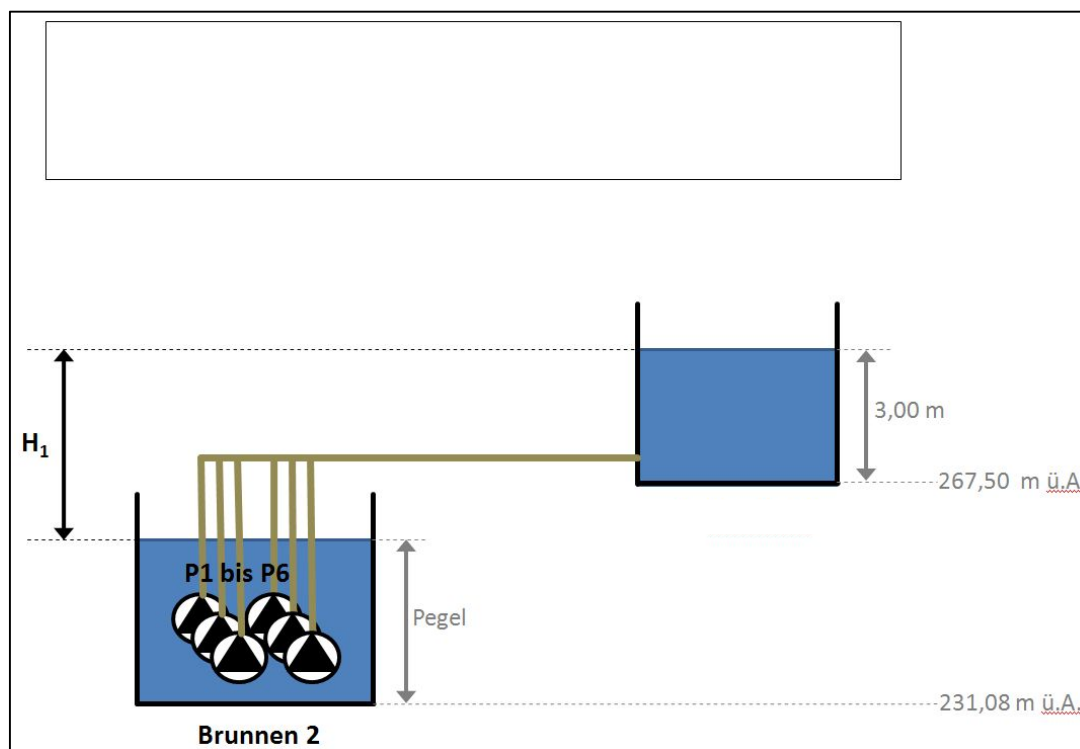


Abbildung 20. PW N 2: P1 bis P6



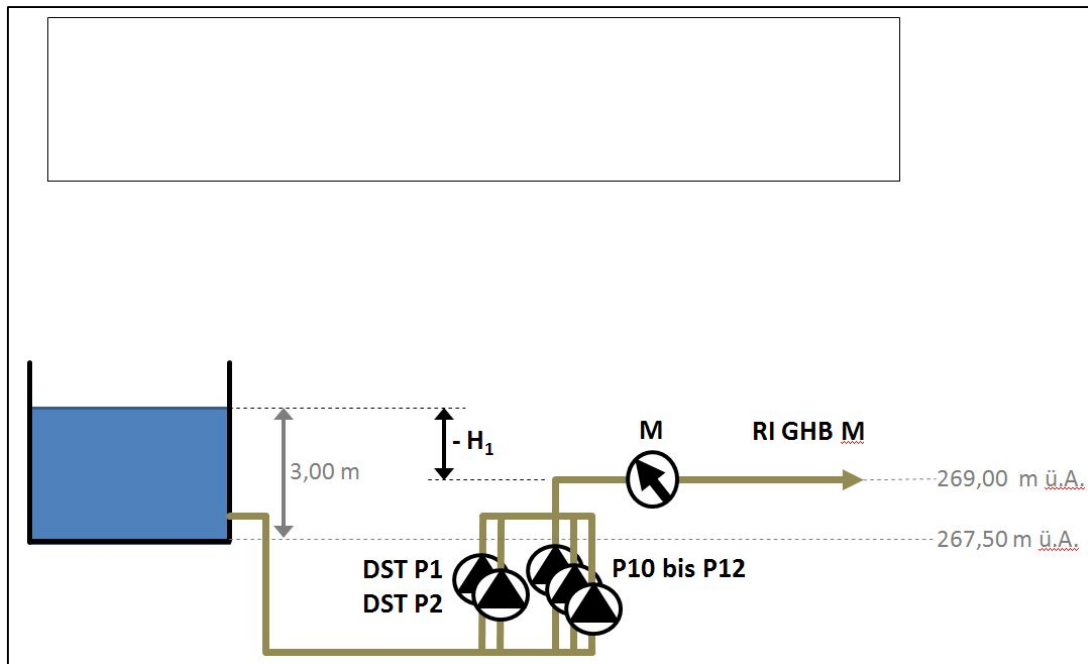


Abbildung 21. DST N: DST P1, DST P2, DST P10 bis DST P12

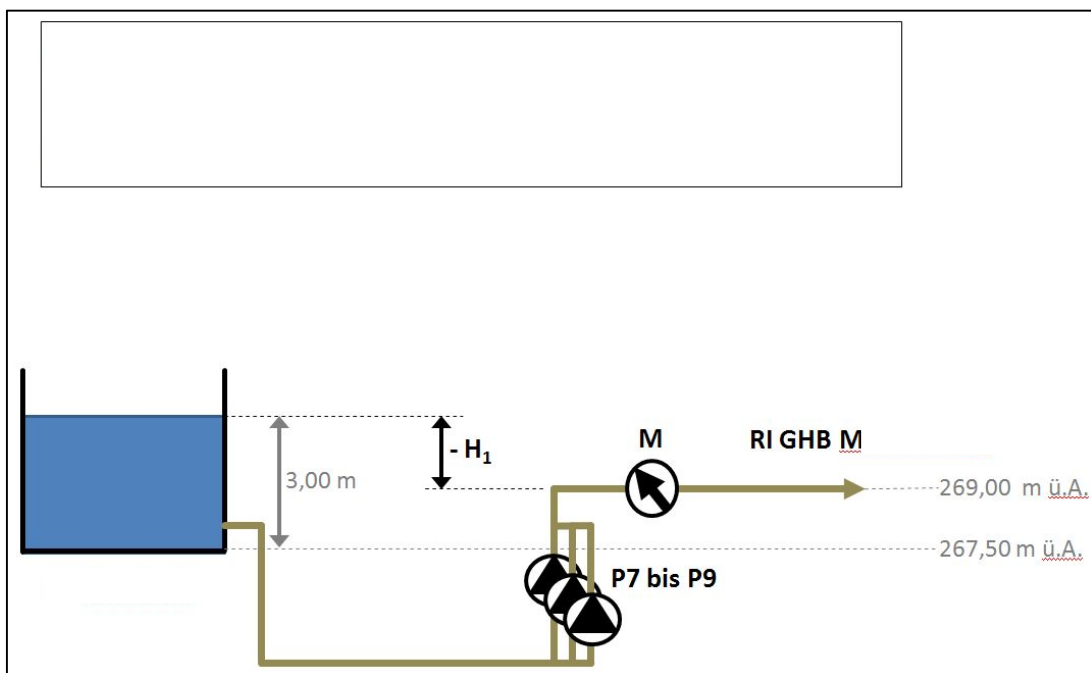


Abbildung 22. DST N: P7 bis P9

### 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. Der Wasserspiegel des Behälters TB N wurde als konstant mit 3 m angenommen. Bei den Berechnungen wurden die Druckverluste in der Leitung vom Brunnen/Behälter bis zum Druckaufnehmer vernachlässigt. Die Berechnung erfolgte beispielhaft für das Monat Juli 2010, für welches der Stromverbrauch laut Stromzähler 264.780 kWh betrug.

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:

$$E_{hydr} = \frac{\rho \cdot g \cdot \sum_{p=1}^k \sum_{i=1}^n (H_{pi} \cdot V_{pi})}{10^3 \cdot 3600} \quad (5-1)$$

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  $i$  [m<sup>3</sup>]

$n$  ... Anzahl der Zeitintervalle  $i$

$k$  ... Anzahl der Pumpen bzw. Pumpengruppen  $p$

$\rho$  ... Dichte des Wassers [kg/m<sup>3</sup>]

$g$  ... Erdbeschleunigung [m/s<sup>2</sup>]

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

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

Abbildung 23 zeigt die Aufteilung der hydraulischen Energie und damit eine Aufteilung der zu verrichtenden Arbeit auf die einzelnen Pumpwerke. Damit kann auch eine grobe Abschätzung der Aufteilung des tatsächlichen Stromverbrauchs auf die einzelnen Pumpwerke erfolgen.

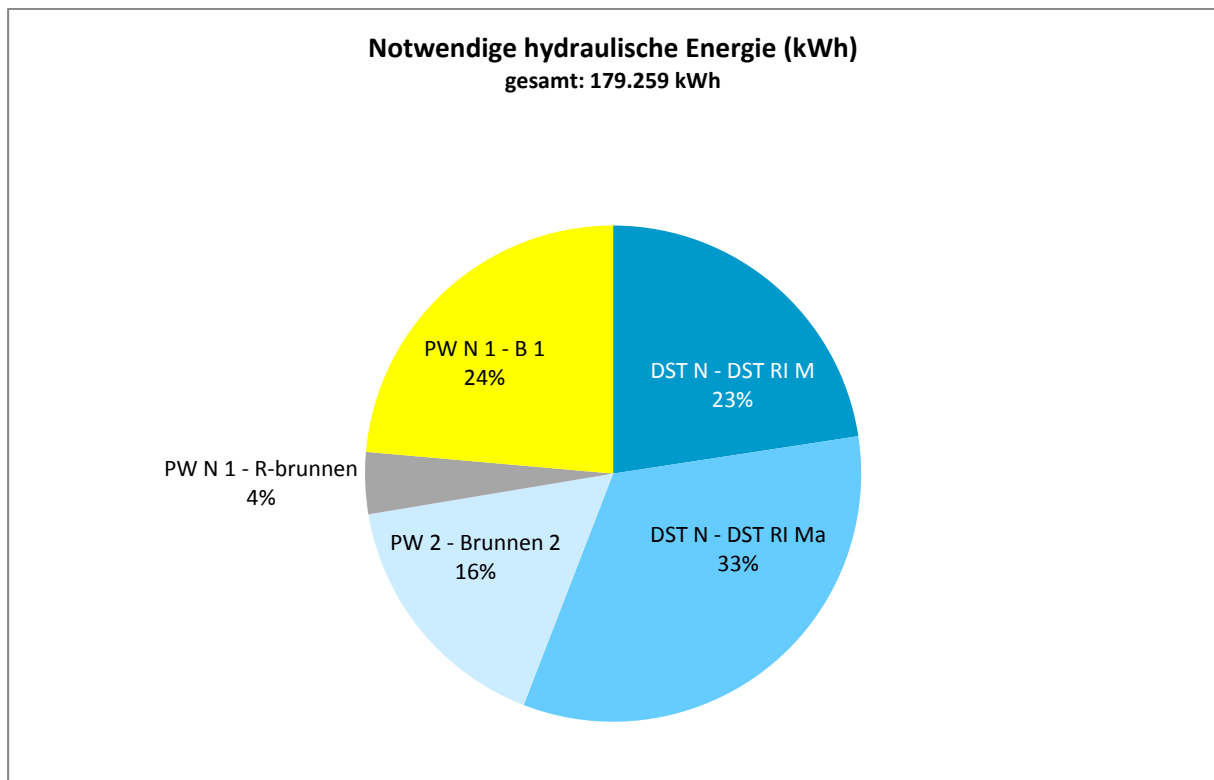


Abbildung 23. Aufteilung der hydraulischen Energie (theoretisch notwendigen Pumpenergie bei 100% Wirkungsgrad) auf die einzelnen Pumpwerke

Der normierte spezifische Stromverbrauch der Pumpen berechnet sich zu:

$$E_{norm} = \frac{E_{gem} \cdot 100}{\sum_{p=1}^k \sum_{i=1}^n (H_{pi} \cdot V_{pi})} \quad (5-2)$$

- mit  $E_{norm}$  ... normierter spezifischer Stromverbrauch [ $kWh/(m^3 \cdot 100m)$ ]  
 $E_{gem}$  ... Stromverbrauch im betrachteten Zeitraum [ $kWh$ ]  
 $H_{pi}$  ... Förderhöhe der Pumpe/Pumpengruppe  $p$  im Zeitintervall  $i$  [ $m$ ]  
 $V_{pi}$  ... Fördervolumen der Pumpe/Pumpengruppe  $p$  im Zeitintervall  $i$  [ $m^3$ ]  
 $n$  ... Anzahl der Zeitintervalle  $i$   
 $k$  ... Anzahl der Pumpen bzw. Pumpengruppen  $p$

Den Gesamtwirkungsgrad erhält man schließlich durch:

$$\eta_g = \frac{E_{hydr}}{E_{gem}} \quad (5-3)$$

- mit  $\eta_g$  ... Gesamtwirkungsgrad des Pumpenaggregates [-]  
 $E_{gem}$  ... Stromverbrauch im betrachteten Zeitraum [ $kWh$ ]  
 $E_{hydr}$  ... hydraulische Energie [ $kWh$ ]

Tabelle 18 zeigt die Auswertungen für das betrachtete Pumpwerk für das Monat Juli 2010.

Tabelle 18. Auswertung für das betrachtete Pumpwerk für das Monat Juli 2010

| Bezeichnung laut hydraulischem Schema |              | Fördervolumen Summe (m <sup>3</sup> ) | H*V (m <sup>3</sup> *m) | Notwendige hydraulische Energie (kWh) | Gesamtwirkungsgrad (%) |
|---------------------------------------|--------------|---------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| DST N                                 | DST RI M     | 340.465                               | 14.861.906              | 40.487                                | <b>68%</b>             |
|                                       | DST RI GHB M |                                       |                         |                                       |                        |
|                                       | DST RI Ma    | 343.288                               | 21.906.449              | 59.677                                |                        |
| PW N 2                                | Brunnen 2    | 826.961                               | 10.855.771              | 29.573                                |                        |
|                                       | R-brunnen    | 33.019                                | 2.647.340               | 7.212                                 |                        |
| PW N 1                                | Brunnen 1    | 19.157                                | 1.525.647               | 4.156                                 |                        |
|                                       |              | 198.217                               | 14.005.645              | 38.154                                |                        |
|                                       |              |                                       | 1.761.107               | 65.802.758                            | 179.259                |

Der vorhandene Gesamtwirkungsgrad von PW N 1, PW N 2 und DST N beträgt 68 %. Die Vergleichswerte zur Beurteilung des Gesamtwirkungsgrads sind je nach Leistung der Pumpen festgelegt. Daher ist die mittlere gewichtete Leistung der Pumpen zu ermitteln. Für die Pumpen P7 bis P12 in DST N lagen keine Angaben zur Leistung vor. Diese wurde deshalb auf Basis der Nennförderhöhe und Nennförderleistung abgeschätzt. Zur Gewichtung der Pumpenleistungen wurde die hydraulische Energie verwendet (siehe Tabelle 19).

Tabelle 19. Gewichtete Leistung der Pumpen

| Bezeichnung laut hydraulischem Schema | notwendige hydraulisch Energie (kWh) | gewichtete mittlere Leistung der Pumpen (kW) |
|---------------------------------------|--------------------------------------|--|
| <b>DST N</b>                          | 100.164                              | 56%  |
| <b>PW N 2</b>                         | 79.095                               | 44%  |
| <b>PW N 1</b>                         |                                      |  |

Die gewichtete mittlere Leistung liegt sowohl für die trocken aufgestellten Pumpen wie für die Unterwasserpumpen bei über 50 kW. Somit beträgt der Vergleichswert für erreichbare

Gesamtwirkungsgrade 71 % für trocken aufgestellte Pumpen (DST N) bzw. bei 63 % für Unterwasserpumpen (PW N 1 und PW N 2). Der mit der notwendigen hydraulischen Energie gewichtete Mittelwert der beiden Vergleichswerte beträgt 67 %. Der vorhandene Gesamtwirkungsgrad von 68 % liegt daher innerhalb der üblichen Bandbreite der Gesamtwirkungsgrade von Pumpenaggregaten (siehe Abbildung 24).

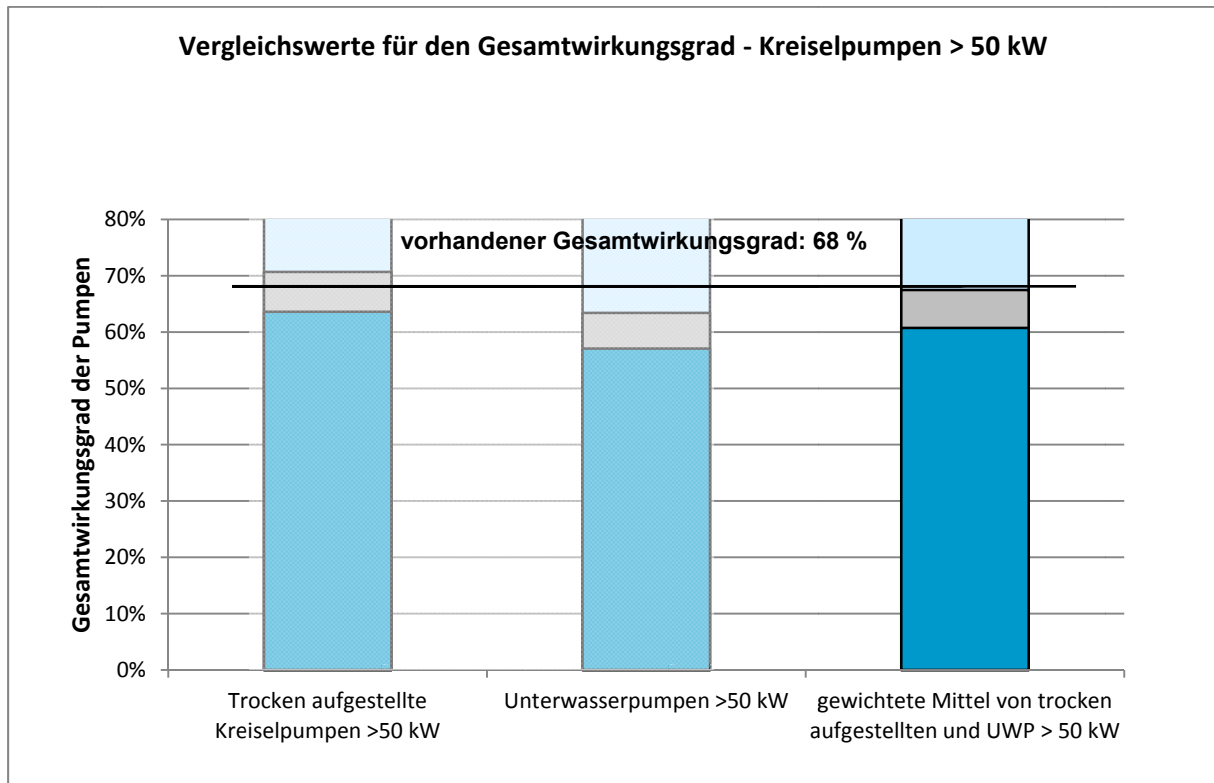


Abbildung 24. Darstellung des vorhandenen Gesamtwirkungsgrads von PW N 1, PW N 2 und DST N mit Vergleichswerten.

Eine getrennte Beurteilung der einzelnen Pumpen bzw. Pumpengruppen ist mit dieser Methode jedoch nur möglich, wenn jeweils eigene Stromzähler vorhanden sind. Als Alternative dazu wäre eine kurzzeitige Strommessung an den einzelnen Pumpen mit einer Stromzange möglich. Dadurch könnte eine Aussage über die Gesamtwirkungsgrade der einzelnen Pumpen bzw. Pumpengruppen abgeleitet werden.

### 5.2.3 Ermittlung des vorhandenen Gesamtwirkungsgrads eines Brunnens mit Hilfe von Messwerten des Förderstroms, Druckaufnehmern und Pegelmessungen

Analog zu der Vorgehensweise in Abschnitt 5.2.2 soll die Ermittlung des Gesamtwirkungsgrads der Brunnenpumpen des Brunnens erfolgen. In diesem Fall ist jedoch problematisch, dass Messwerte des Förderstroms sowie der aufgenommenen Leistung der Pumpe nur in 15-Minuten-Intervallen vorhanden sind. Aus diesen Messwerten kann durch Integration über die Zeit die Fördermenge und der Stromverbrauch grob errechnet werden. Da der Verlauf der Messwerte innerhalb der 15-Minuten-Intervalle jedoch nicht bekannt ist, ergibt sich aus dieser Abschätzung ein derartig großer Fehler, dass aus dieser Berechnung keine aussagekräftige Beurteilung möglich ist. Trotzdem wurde die Berechnung durchgeführt.

#### Schritt 1: Systemaufstellung

Folgende Datengrundlagen wurden für die Auswertung herangezogen:

- hydraulisches Schema der Anlage
- geodätische Höhe des Druckaufnehmers

- Messwerte Förderstrom in 15-Minuten-Intervallen
- Manometerwerte in 15-Minuten-Intervallen
- Pegelwerte des Brunnens in 15-Minuten-Intervallen
- Messwerte der Pumpenleistung in 15-Minuten-Intervallen

Abbildung 25 zeigt das hydraulische Schema der betrachteten Anlage.

### Tiefbrunnen: P1 und P2

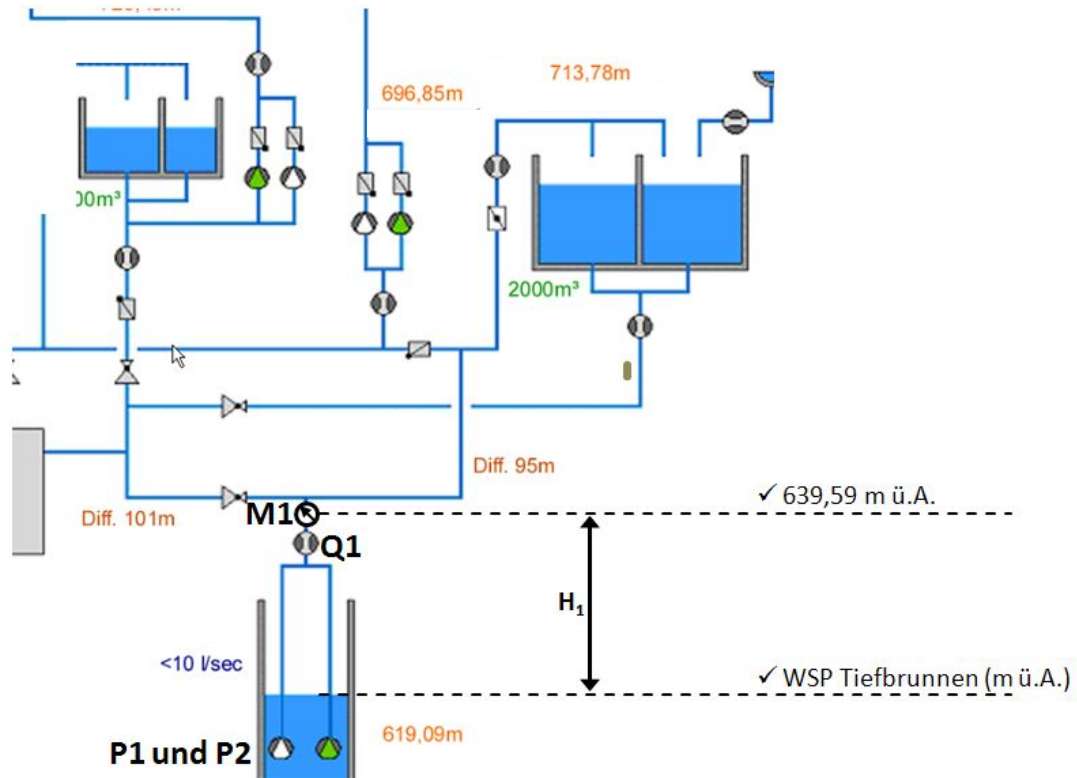


Abbildung 25. Hydraulisches Schema der Anlage mit den erforderlichen Daten zur Beurteilung der Brunnenpumpen

#### Schritt 2: Berechnung

Für die Brunnenpumpen wurde die Förderhöhe  $H$  in jedem Zeitintervall ermittelt. Bei den Berechnungen wurden die Druckverluste in der Leitung vom Brunnen bis zum Manometer vernachlässigt. Die Messwerte des Förderstroms und der aufgenommenen Leistung der Pumpe wurden über die Zeit integriert, um die Fördermenge und den Stromverbrauch zu erhalten. Die Berechnung erfolgte beispielhaft für den Zeitraum von 24.11.2011 um 12:00:00 bis 01.12.2011 um 11:45. Die Berechnung erfolgt anhand der in Abschnitt 5.2.2 angegebenen Gleichungen.

Aus dem Verhältnis der hydraulischen Energie zum Stromverbrauch ergibt sich ein Gesamtwirkungsgrad der beiden Brunnenpumpen von 102%. Dieser unplausible Wert ergibt sich aus dem oben erläuterten Fehler durch die Integration der Messwerte über die 15-Minuten-Intervalle und was damit keiner kontinuierlichen Aufzeichnung entspricht.

#### 5.2.4 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:

$$P_{hydr} = \frac{Q \cdot H_A \cdot \rho \cdot g}{10^6} \quad (5-4)$$

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

$Q$  ... Förderstrom [l/s]

$H_A$  ... Förderhöhe [m]

$\rho$  ... Dichte des Wassers [kg/m<sup>3</sup>]

$g$  ... Erdbeschleunigung [m/s<sup>2</sup>]

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

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

Ergebnis der Pumpenmessung ist der Gesamtwirkungsgrad des Pumpenaggregats:

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

mit  $\eta_g$  ... Gesamtwirkungsgrad des Pumpenaggregates [-]

$P_{elektr}$  ... Wirkleistung gemessen [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 Steuerschrank abgelesen oder mit einer Strommesszange gemessen.

### 5.2.4.1 Ermittlung des Gesamtwirkungsgrads von Pumpenaggregaten durch eine Messung der Phasenströme (Stromzange)

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;](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 außerdem für das Pumpenaggregat ein optimaler Wirkungsgrad ermittelt. Dieser wird als möglicher Wirkungsgrad bei Neuanschaffung von Pumpe und Motor für denselben Betriebspunkt ermittelt. Liegt aus dieser näherungsweise Berechnung bezogen auf den IST-Zustand ein Einsparungspotential von mehr als 10 % vor, so wird eine weitergehende Untersuchung der Pumpen empfohlen. Die Durchführung und Auswertung der Phasenstrommessung zur Pumpenbeurteilung wird im Folgenden anhand von mehreren Fallbeispielen gezeigt.

## 5.2.4.1.1 Pumpenbeurteilung WVU 20

Tabelle 20 zeigt die Auslegungsdaten der Pumpen.

Tabelle 20: Auslegungsdaten der Pumpen

|        | Nennleistung<br>in kW | Auslegung<br>Fördermenge in<br>l/s | Auslegung<br>Förderhöhe in<br>m | Aufstellun<br>g | Förderung<br>in |
|--------|-----------------------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|
| W P 1  | 3,0                   | 2,0                                | 83,0                            | UWP             | Behälter        |
| W P 2  | 3,0                   | 2,0                                | 83,0                            | UWP             | Behälter        |
| W P 4  | 4,0                   | 2,0                                | 113,0                           | UWP             | Netz            |
| W P 5  | 4,0                   | 1,7                                | 122,0                           | UWP             | Netz            |
| We P 1 | 3,0                   | 2,0                                | 83,0                            | UWP             | Behälter        |
| We P 2 | 3,0                   | 2,0                                | 83,0                            | UWP             | Behälter        |
| We P 3 | 3,0                   | 2,0                                | 83,0                            | UWP             | Behälter        |
| Wi P 1 | 5,5                   | 5,6                                | 60,0                            | UWP             | Netz            |
| Wi P 2 | 5,5                   | 5,6                                | 60,0                            | UWP             | Netz            |
| Wi P 3 | 5,5                   | 5,6                                | 60,0                            | UWP             | Netz            |

Tabelle 21 zeigt die Ergebnisse der Messungen des Förderstroms Q, der Förderhöhe H, der daraus berechneten hydraulischen Leistung  $P_{\text{hydr}}$  und der aus der Phasenstrommessung ermittelten elektrischen Leistung  $P_{\text{elektr}}$ .

Tabelle 21: Ergebnisse der Pumpenmessung

|        | Förderstrom<br>in l/s | Förderhöhe<br>in m | $P_{\text{hydr}}$<br>in kW | $P_{\text{elektr}}$<br>in kW |
|--------|-----------------------|--------------------|----------------------------|------------------------------|
| W P 1  | 3,18                  | 51,95              | 1,62                       | 4,06                         |
| W P 2  | 2,92                  | 51,95              | 1,49                       | 4,08                         |
| W P 4  | 2,75                  | 80,10              | 2,16                       | 5,10                         |
| W P 5  | 2,83                  | 80,30              | 2,23                       | 4,73                         |
| We P 1 | 3,20                  | 52,30              | 1,64                       | 4,83                         |
| We P 2 | 3,00                  | 52,30              | 1,54                       | 4,43                         |
| We P 3 | 2,30                  | 58,40              | 1,32                       | 3,28                         |
| Wi P 1 | 7,37                  | 35,56              | 2,57                       | 6,96                         |
| Wi P 2 | 9,58                  | 32,50              | 3,05                       | 5,76                         |
| Wi P 3 | 9,29                  | 33,52              | 3,05                       | 5,49                         |

In Abbildung 26 werden die ermittelten Gesamtwirkungsgrade optimal möglichen Wirkungsgraden gegenübergestellt.



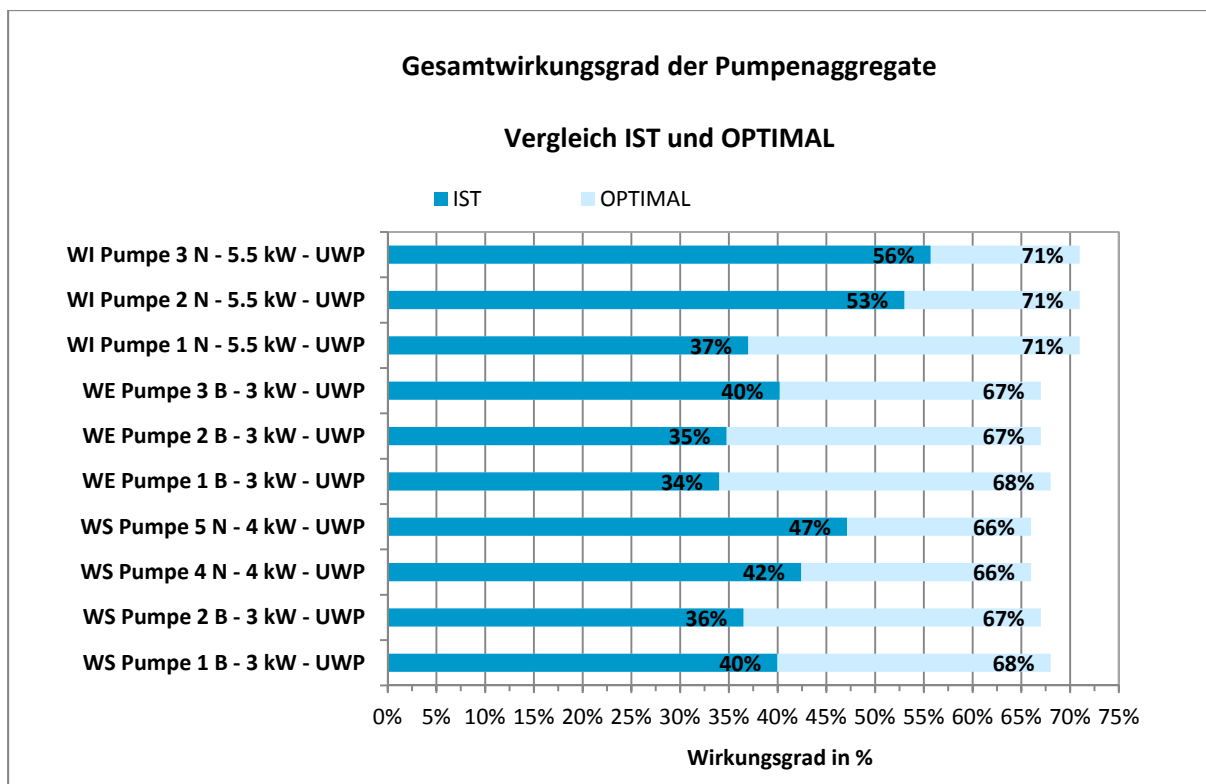


Abbildung 26: Ermittelter Gesamtwirkungsgrad und optimal möglicher Wirkungsgrad der Pumpenaggregate

Abbildung 27 zeigt die berechneten Stromverbräuche auf Basis des ermittelten und optimalen Gesamtwirkungsgrads. Beide Abbildungen stellen eine Hilfestellung zur Prioritätenreihung dar.

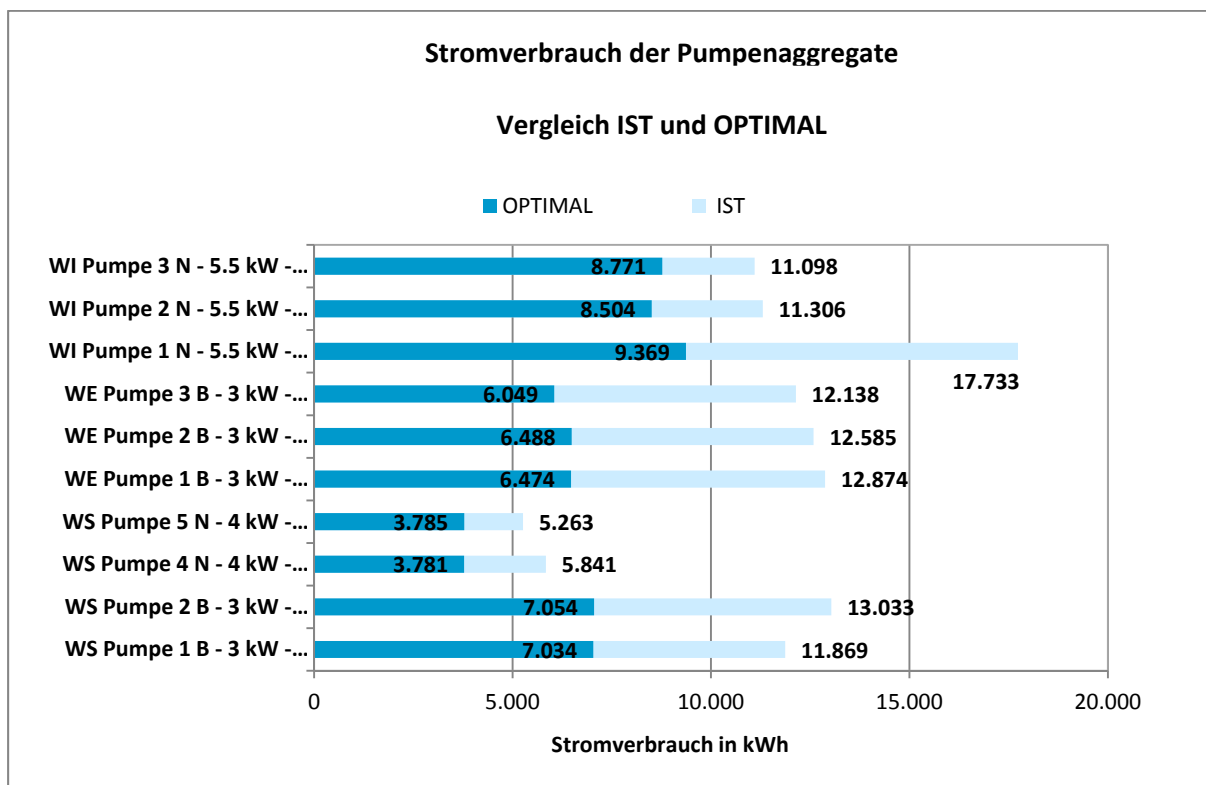


Abbildung 27: Berechnete Stromverbräuche auf Basis des ermittelten und optimalen Gesamtwirkungsgrads

In Tabelle 22 sind der Pumpenwirkungsgrad im Betriebspunkt und im Optimalpunkt entsprechend der vom Hersteller angegebenen Kennlinie angegeben. Der Pumpenwirkungsgrad im Betriebspunkt wurde auf Basis der Förderhöhe in Tabelle 21 bestimmt. Die Motorenwirkungsgrade stammen entweder direkt vom Typenschild oder aus den Motorendatenblättern. Durch Multiplikation der Wirkungsgrade der Pumpe und des Motors erhält man unter Vernachlässigung übriger Verluste den Gesamtwirkungsgrad des Pumpenaggregats, der sich bei einer neu installierten Anlage an diesem Betriebspunkt einstellt. Der Vergleich dieses Werts mit dem durch Messung ermittelten Gesamtwirkungsgrads dient für zwei Überlegungen. Erstens der Überprüfung der Plausibilität der Messungen. So liegt zum Beispiel der durch Messung ermittelte Gesamtwirkungsgrad dreier Pumpenaggregate (Welserstraße P1, Welsersstraße P5, Winden P3) knapp über dem mit der Kennlinie ermittelten Gesamtwirkungsgrad, was an Ungenauigkeiten der Messungen oder der näherungsweise Ermittlung der Wirkleistung über die Phasenstrommessung liegt. Zweitens können Alterungserscheinungen identifiziert werden. Beispielsweise liegt der durch Messung ermittelte Gesamtwirkungsgrad des Pumpenaggregats Wi P1 deutlich unter dem Gesamtwirkungsgrad der entsprechenden Anlage im Neuzustand, was auf Alterungserscheinungen hinweist. Außerdem zeigt der Vergleich der Wirkungsgrade der Pumpen im Betriebspunkt und im Optimalpunkt das Potential der Wirkungsgradsteigerung durch nähere Auslegung am Optimalpunkt.

Tabelle 22: Pumpenwirkungsgrad im Betriebspunkt und im Optimalpunkt entsprechend der vom Hersteller angegebenen Kennlinie, Vergleich der Gesamtwirkungsgrade aus der Kennlinie und Messung

| Wirkungsgrade in %                   |                           |                  |       |                            |                       |
|--------------------------------------|---------------------------|------------------|-------|----------------------------|-----------------------|
| laut Pumpenkennlinie bzw. Datenblatt |                           |                  |       |                            | Messung               |
|                                      | PUMPE<br>im Betriebspunkt | PUMPE<br>Optimal | MOTOR | GESAMT<br>im Betriebspunkt | GESAMT<br>lt. Messung |
| W P 1                                | 51                        | 61               | 77    | 39                         | 40                    |
| W P 2                                | 51                        | 61               | 77    | 39                         | 36                    |
| W P 4                                | 56                        | 61               | 76    | 43                         | 42                    |
| W P 5                                | 56                        | 61               | 76    | 43                         | 47                    |
| We P 1                               | 51                        | 61               | 77    | 39                         | 34                    |
| We P 2                               | 51                        | 61               | 77    | 39                         | 35                    |
| We P 3                               | 55                        | 61               | 76    | 42                         | 40                    |
| Wi P 1                               | 73                        | 75               | 74    | 54                         | 37                    |
| Wi P 2                               | 70                        | 75               | 76    | 53                         | 53                    |
| Wi P 3                               | 72                        | 75               | 74    | 53                         | 56                    |

#### 5.2.4.1.2 Pumpenbeurteilung WVU 22

Tabelle 23 zeigt die Auslegungsdaten der Pumpen.

Tabelle 23: Auslegungsdaten der Pumpen

|         | Nennleistung<br>in kW | Auslegung<br>Fördermenge in l/s | Auslegung<br>Förderhöhe in<br>m | Aufstellung | Förderung in |
|---------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------|--------------|
| B P 1   | 160                   | 17,5                            | 490,0                           | trocken     | Behälter     |
| B P 2   | 160                   | 17,5                            | 490,0                           | trocken     | Behälter     |
| S 1P 1  | 75                    | 17,5                            | 235,0                           | trocken     | Behälter     |
| S 1P 2  | 75                    | 17,5                            | 236,0                           | trocken     | Behälter     |
| S 2 P 1 | 15                    | 17,5                            | 40,0                            | trocken     | Behälter     |
| S 2 P 2 | 15                    | 17,5                            | 40,0                            | trocken     | Behälter     |

Tabelle 24 zeigt die Ergebnisse der Messungen des Förderstroms Q, der Förderhöhe H, der daraus berechneten hydraulischen Leistung  $P_{hydr}$  und der aus der Phasenstrommessung ermittelten elektrischen Leistung  $P_{elektr}$ .

Tabelle 24: Ergebnisse der Pumpenmessung

|         | Förderstrom<br>in l/s | Förderhöhe<br>in m | $P_{hydr}$<br>in kW | $P_{elektr}$<br>in kW |
|---------|-----------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|
| B P 1   | 20,63                 | 490,70             | 99,31               | 163,00                |
| B P 2   | 21,53                 | 495,50             | 104,65              | 164,90                |
| S 1P 1  | 16,48                 | 228,10             | 36,88               | 72,30                 |
| S 1P 2  | 16,51                 | 228,00             | 36,93               | 71,20                 |
| S 2 P 1 | 11,10                 | 42,80              | 4,66                | 8,50                  |
| S 2 P 2 | 11,00                 | 42,60              | 4,60                | 8,50                  |

In Abbildung 28 werden die ermittelten Gesamtwirkungsgrade optimal möglichen Wirkungsgraden gegenübergestellt.

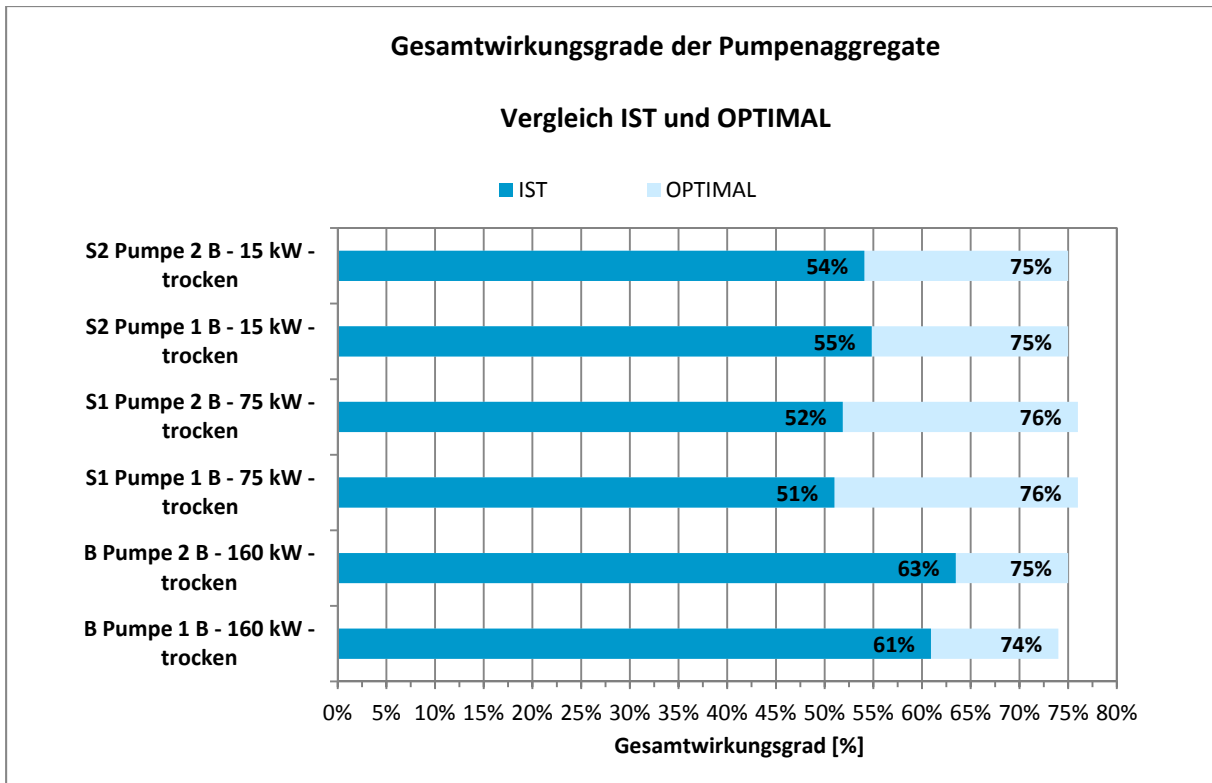


Abbildung 28: Ermittelter Gesamtwirkungsgrad und optimal möglicher Wirkungsgrad der Pumpenaggregate

Abbildung 29 zeigt die berechneten Stromverbräuche auf Basis des ermittelten und optimalen Gesamtwirkungsgrads. Beide Abbildungen stellen eine Hilfestellung zur Prioritätenreihung dar.

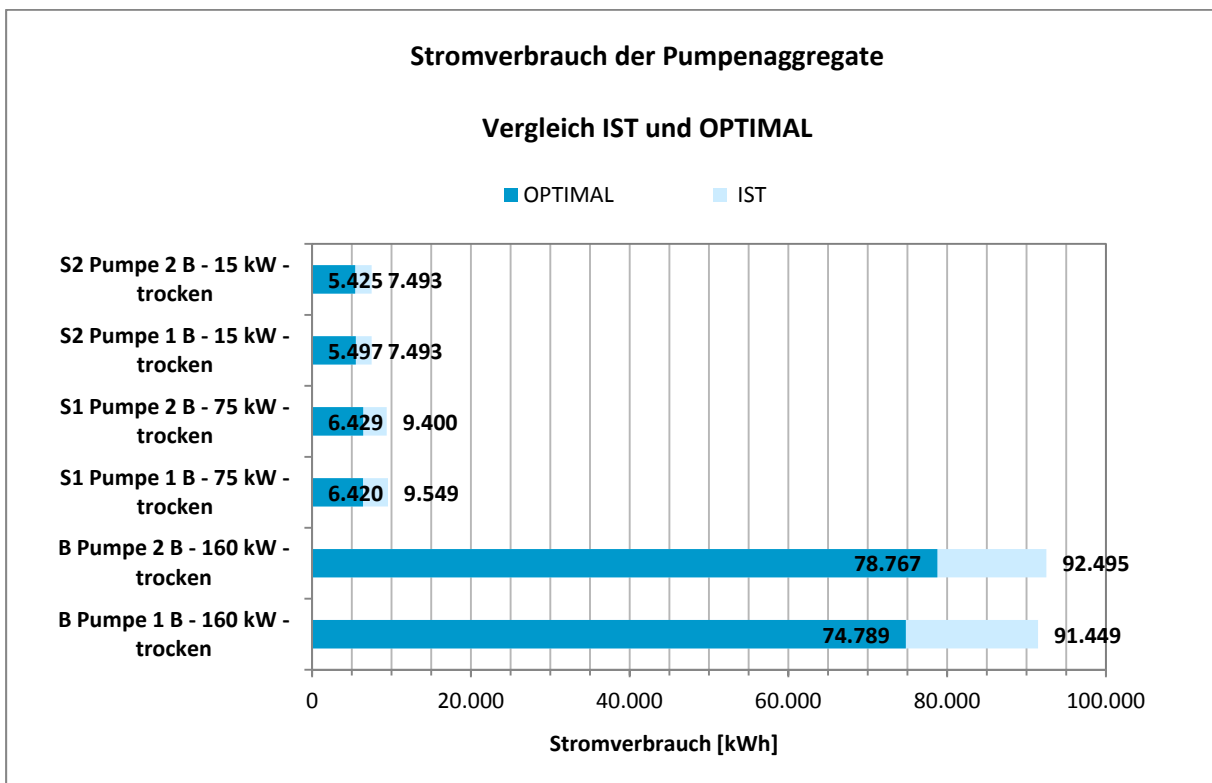


Abbildung 29: Berechnete Stromverbräuche auf Basis des ermittelten und optimalen Gesamtwirkungsgrads

### 5.2.4.1.3 Pumpenbeurteilung WVU 23

Hier wurde die Messung der Phasenströme an einer einzelnen Pumpe durchgeführt. Tabelle 25 zeigt die Auslegungsdaten der Pumpen.

Tabelle 25: Auslegungsdaten der Pumpen

|               | Nennleistung<br>in kW | Auslegung<br>Fördermenge in l/s | Auslegung<br>Förderhöhe in<br>m | Aufstellung | Förderung in |
|---------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------|--------------|
| Hauptpumpe TB | 4                     | nicht bekannt                   | nicht bekannt                   | trocken     | Behälter     |

Tabelle 26 zeigt die Ergebnisse der Messungen des Förderstroms Q, der Förderhöhe H, der daraus berechneten hydraulischen Leistung  $P_{\text{hydr}}$  und der aus der Phasenstrommessung ermittelten elektrischen Leistung  $P_{\text{elektr}}$ .

Tabelle 26: Ergebnisse der Pumpenmessung

|               | Förderstrom<br>in l/s | Förderhöhe<br>in m | $P_{\text{hydr}}$<br>in kW | $P_{\text{elektr}}$<br>in kW |
|---------------|-----------------------|--------------------|----------------------------|------------------------------|
| Hauptpumpe TB | 3,19                  | 72,56              | 2,3                        | 4,7                          |

Aus der Messung ergibt sich ein Gesamtwirkungsgrad des Pumpenaggregats von 49 %. Dem gegenüber steht ein optimaler Gesamtwirkungsgrad von 68 %.

### 5.2.4.2 Ermittlung des Gesamtwirkungsgrads von Pumpenaggregaten durch eine Leistungsmessung

Die erforderlichen Messungen wurden von der Firma Siemens durchgeführt. Dabei wurden bei jeder der 5 Netzpumpen des Reinwasserpumpwerks jeweils zu 3 Zeitpunkten Leistungsmessungen vor und nach dem Frequenzumformer (FU) durchgeführt. Da bei der Messung nach dem FU alle elektrischen Messgrößen stark schwankten, wurden für die Berechnung ausschließlich die Ergebnisse der Messung vor dem FU verwendet. Der Wirkungsgrad schließt somit auch im Sinne des Gesamtwirkungsgrads des Pumpenaggregats den Verlust durch den FU ein. Der FU war dabei auf 50 Hz eingestellt. Die Leistungsmessung lieferte getrennte Werte für die Wirkleistung, Blindleistung und Scheinleistung. Für die Ermittlung des Wirkungsgrades der Pumpenaggregate ist ausschließlich die Wirkleistung von Interesse, da nur sie zur Verrichtung der Arbeit beiträgt. An jedem der Zeitpunkte wurden auch eine Durchflussmessung (IDM SITRANS FM Magflow MAG 6000) und eine Druckmessung nach der Pumpe (Hand-Held Druckmessgerät Typ CPH6200-S1) gemacht. Die Druckmessung erfolgte ca. 0,8 m über dem Wasserspiegel des Behälters. Tabelle 27 zeigt eine Übersicht über den finanziellen und zeitlichen Aufwand für die durchgeführten Messungen.

Tabelle 27. Finanzieller und zeitlicher Aufwand für die durchgeführten Messungen

|  | Aufwand          |
|--|------------------|
| Externe Kosten für die Messung                     | 900 EUR          |
| Eigenleistung                                      | 520 EUR          |
| Fremdwasser  | 80 EUR           |
| <b>Summe</b>                                       | <b>1.500 EUR</b> |
| Zeitaufwand für die Messungen inkl. Auf- und Abbau | ca. 7 Stunden    |

Tabelle 28 zeigt die Auslegungsdaten und aufgezeichneten Jahresbetriebsstunden der untersuchten Pumpen.

Tabelle 28. Auslegungsdaten und Jahresbetriebsstunden der Pumpen

|                    | Nennleistung Motor<br>in kW | Jahresbetriebs-<br>stunden | Auslegung<br>Fördermenge<br>in l/s | Auslegung<br>Förderhöhe in<br>m |
|--------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Netzpumpe 1</b> | 11                          | 2.744                      | 12,5                               | 55,5                            |
| <b>Netzpumpe 2</b> | 11                          | 2.744                      | 12,5                               | 55,5                            |
| <b>Netzpumpe 3</b> | 30                          | 2.744                      | 25,0                               | 70,0                            |
| <b>Netzpumpe 4</b> | 30                          | 2.744                      | 25,0                               | 70,0                            |
| <b>Netzpumpe 5</b> | 30                          | 2.744                      | 25,0                               | 70,0                            |

Die Berechnung der notwendigen hydraulischen Leistung  $P_{\text{hydr}}$  (aus Druck und Förderstrom) und der nachfolgenden Berechnung des Gesamtwirkungsgrads (mit der gemessenen Wirkleistung  $P_{\text{elektr}}$ ) erfolgte für jede Netzpumpe für 3 gemessene Zeitpunkte. Tabelle 29 zeigt die daraus berechneten Mittelwerte für jede der 5 Netzpumpen.

Tabelle 29. Mittelwerte der Messungen

|                    | Förder-<br>strom<br>in l/s | Druck<br>gemessen in m | Höhenunterschied<br>WSP - Manometer<br>in m | Förder-<br>höhe<br>in m | $P_{\text{hydr}}$<br>in kW | $P_{\text{elektr}}$<br>in kW |
|--------------------|----------------------------|------------------------|---|-------------------------|----------------------------|------------------------------|
| <b>Netzpumpe 1</b> | 14,28                      | 45,2                   | 0,8   | 45,9                    | 6,4                        | 11,8                         |
| <b>Netzpumpe 2</b> | 14,16                      | 46,2                   | 0,8   | 46,9                    | 6,5                        | 14,6                         |
| <b>Netzpumpe 3</b> | 22,86                      | 48,1                   | 0,8   | 48,9                    | 11,0                       | 22,4                         |
| <b>Netzpumpe 4</b> | 23,62                      | 48,3                   | 0,8   | 49,1                    | 11,4                       | 22,9                         |
| <b>Netzpumpe 5</b> | 23,08                      | 48,8                   | 0,8   | 49,6                    | 11,2                       | 22,3                         |

Der optimale Gesamtwirkungsgrad wurde mit Hilfe der vom Bundesamt für Energie BFE (2011) bereitgestellten Tabellenblättern berechnet (siehe auch Abschnitt 5.2.1.1). Tabelle 30, Abbildung 30 und Abbildung 31 zeigen den vorhandenen und optimalen Gesamtwirkungsgrad sowie das daraus abgeleitete Einsparpotential für jede der Netzpumpen. Der berechneten Stromverbräuche (IST und OPTIMAL) basieren auf der Annahme, dass die Pumpen während der angegebenen Jahresbetriebsstunden mit 50 Hz laufen. Das angegebene Einsparpotential ergibt sich aus der Differenz der Stromverbräuche zwischen IST und OPTIMAL, das Einsparpotential in EUR basiert auf den angegebenen Stromkosten von 0,105 EUR/kWh.

Tabelle 30. Gesamtwirkungsgrad und Einsparpotential der Netzpumpen

|             | Gesamtwirkungsgrad in % |         | Stromverbrauch in kWh/a |         | Einsparpotential |          |              |
|-------------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|------------------|----------|--------------|
|             | IST                     | OPTIMAL | IST                     | OPTIMAL | in kWh/a         | in EUR/a | in % von IST |
| Netzpumpe 1 | 54%                     | 65%     | 32.465                  | 27.045  | 5.420            | 569      | 17%          |
| Netzpumpe 2 | 45%                     | 65%     | 40.147                  | 27.414  | 12.732           | 1.337    | 32%          |
| Netzpumpe 3 | 49%                     | 70%     | 61.546                  | 43.005  | 18.541           | 1.947    | 30%          |
| Netzpumpe 4 | 50%                     | 72%     | 62.826                  | 43.104  | 19.722           | 2.071    | 31%          |
| Netzpumpe 5 | 50%                     | 70%     | 61.180                  | 44.001  | 17.180           | 1.804    | 28%          |

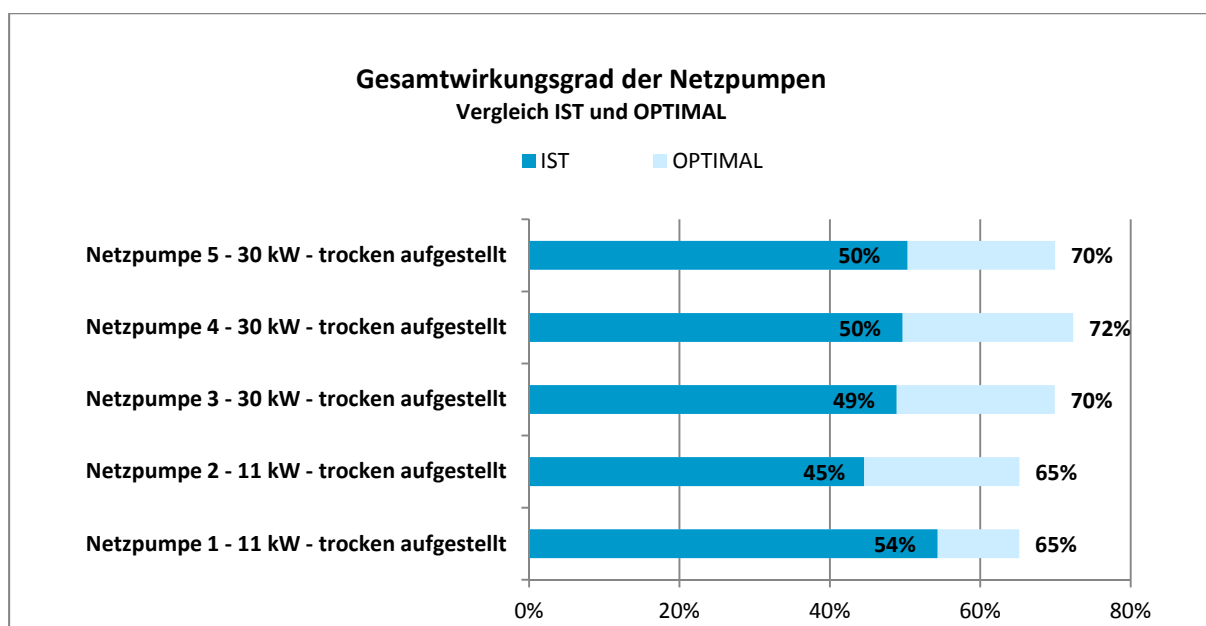


Abbildung 30. Vergleich des vorhandenen und optimalen Wirkungsgrads der Pumpen

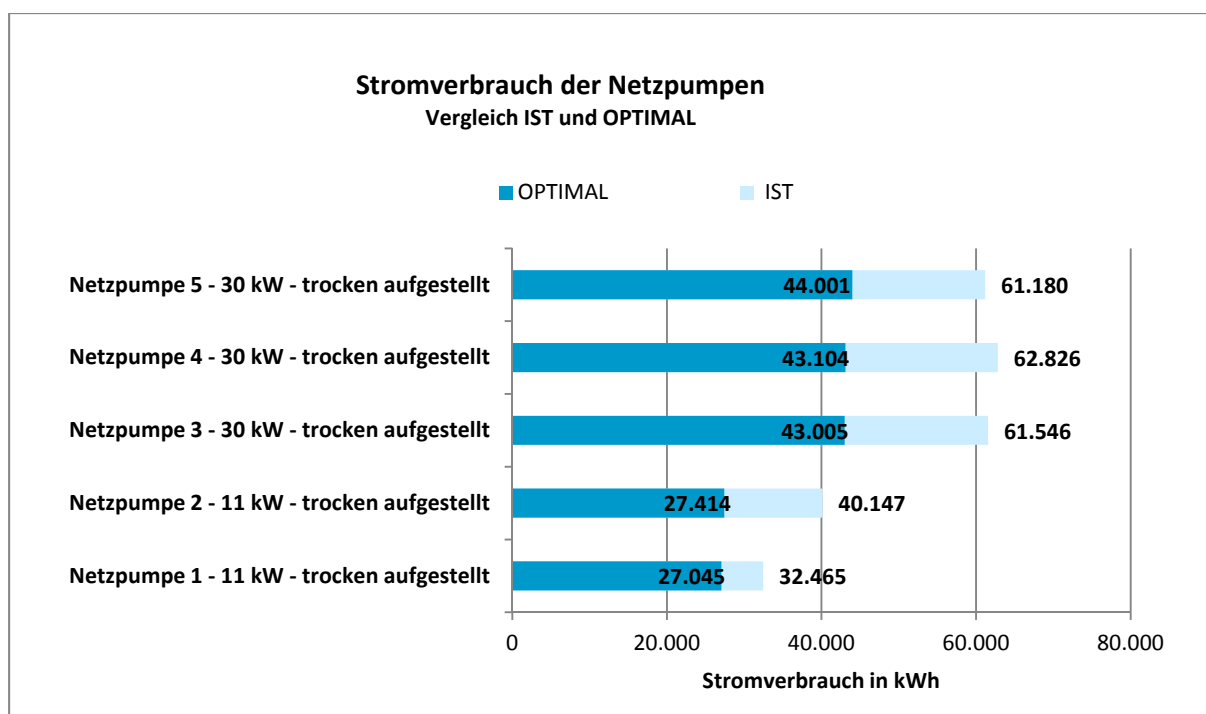


Abbildung 31. Vergleich des vorhandenen und optimalen Stromverbrauchs der Pumpen

### 5.3 Trinkwasserkraftwerke

Tabelle 31 zeigt eine Übersicht der wichtigsten Kennzahlen der im Rahmen der Studie aufgenommenen bestehenden Trinkwasserkraftwerke in Österreich.



Tabelle 31. Übersicht über die in Österreich aufgenommenen bestehenden Trinkwasserkraftwerke

|   | Einheit        | WVU 27  | WVU 28      | WVU 29 I | WVU 29 II | WVU 31   | WVU 30       |
|---|----------------|---------|-------------|----------|-----------|----------|--------------|
| <b>Anlagendaten</b>                     |                |         |             |          |           |          |              |
| Art der Turbine                         | -              | PAT*    | Pelton      | Pelton   | Pelton    | Pelton   | Pelton       |
| Baujahr                                 | -              | 2010    | 2011        | 2006     | 2006      | 2005     | 1990         |
| Bruttofallhöhe                          | m              | 44      | 105         | 223      | 243       | 200      | 197          |
| Bemessungsdurchfluss                    | l/s            | 25      | 130         | 27       | 15        | 30 l/s   | 23           |
| Turbinenleistung                        | kW             | 7       | 93          | 42       | 30        | 41       | 30           |
| Wirkungsgrad Turbine                    | %              | 46      | 63          | 88       | 88        | 82       | 85-87        |
| Wirkungsgrad Generator                  | -              | 75      | 100         | 94       | 94        | 82       |              |
| Länge Falleitung                        | m              | 550     | 10.900      | 1.091    | 2.270     | 1.006    | 1.500        |
| DN Falleitung                           | mm             | 150     | 40          | 150      | 150       | 200      | 150          |
| Rohrmaterial                            | -              | PVC     | Guss        | Stahl    | Guss      | GGG-VRS  | Guß          |
| Größe Turbinenhaus                      | m <sup>2</sup> |         |             | 12       | 20        | 24       |              |
| <b>Stromproduktion</b>                  |                |         |             |          |           |          |              |
| Regelarbeitsvermögen                    | kWh/Jahr       | 40.000  | 810.000     | 320.000  | 170.000   | 268.697  | 140.000      |
| Betriebstage                            | Tage/Jahr      | 365     | 365         | 365      | 365       | 360      | 322          |
| <b>Investitionskosten</b>               |                |         |             |          |           |          |              |
| Gesamte Investitionskosten              | EUR            | 45.000  | 430.000     | 350.000  | 210.000   | 334.707  | 1,1 Mio ATS  |
| maschinelle Ausrüstung                  | EUR            |         |             | 47.000   | 50.000    | 126.964  | 0,6 Mio ATS  |
| elektrische Ausrüstung                  | EUR            |         |             | 43.000   | 43.000    |          | 0,2 Mio ATS  |
| Turbinenhaus                            | EUR            | Bestand |             | 30.000   | 45.000    | 103.126  | 0,1 Mio ATS  |
| Falleitung                              | EUR            | Bestand | Bestand     | 155.000  | 7.000     | 15.696   |              |
| Stromleitung bis Einspeisung            | EUR/m          | 5       | 44          | 50       | 50        | 13.629   | 0,1 Mio ATS  |
| Planungskosten                          | EUR            |         |             | 30.000   | 30.000    | 70.442   | 0,1 Mio ATS  |
| sonstige Investitionskosten             | EUR            |         |             | 10.000   | 5.000     | 4.851    |              |
| <b>Betriebskosten</b>                   |                |         |             |          |           |          |              |
| laufende Kosten im Betrieb              | EUR/Jahr       |         |             | 1.500    | 1.500     | 200      | 0,03 Mio ATS |
| <b>Erlöse</b>                           |                |         |             |          |           |          |              |
| Einspeistarif                           | EUR/kWh        | 0,0521  | 0,058       | 0,0625   | 0,0625    | 0,0625   |              |
| Wie lange ist Tarif garantiert?         | Jahr           | 2014    | 2011 (Juli) |          |           | 10 Jahre |              |
| Amortisationsdauer                      | Jahr           |         | ca. 15      | 25       | 25        | ca. 23   |              |
| <b>Kennzahlen Investitionskosten</b>    |                |         |             |          |           |          |              |
| Investitionskosten pro kW               | EUR/kW         | 6.716   | 4.624       | 8.333    | 7.000     | 8.164    | 36.000 ATS   |
| Investitionskosten pro jährl. prod. kWh | EUR/kWh        | 1,13    | 0,53        | 1,09     | 1,24      | 1,25     | 7,86 ATS     |

\* PAT = Pumpe als Turbine

## 5.4 Wärmenutzung

Während die thermische Energienutzung aus Trinkwasser vom Bundesamt für Energie und SVGW anhand von Praxisbeispielen als mögliche Maßnahme zur Beheizung von Gebäuden genannt wird (2004), lehnt der DVGW solche Anlagen ab (DVGW, 2010a). Die hierfür genannten Gründe sind der

fragliche ökologische Nutzen (Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen), die hygienische Gefährdung durch derartige Anlagen sowie der Grundsatz, dass Trinkwasser möglichst naturbelassen sein soll. Trotzdem sind in Deutschland Anlagen zur Wärmeengewinnung aus Trinkwasser im Einsatz.

Die Nutzung von Wärmepumpen zur Kühlung von Gebäuden ist aufgrund der Erwärmung des Trinkwassers und damit aus Gründen der hygienisch-mikrobiologischen Problematik wie auch der Kundenakzeptanz problematisch. Diese Sichtweise wurde auch von den Wasserversorgern in den Workshops geteilt.

### 5.4.1 Energiebilanz bei der Wärmenutzung aus Trinkwasser

Die Jahresarbeitszahl (JAZ) einer Wärmepumpe bezeichnet das Verhältnis der abgegebenen Jahresnutzwärme zur gesamten von der Wärmepumpe aufgenommenen elektrischen Energie (Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2007). Bei der aufgenommenen elektrischen Energie muss jedoch der Primärenergiebedarf berücksichtigt werden. Daher gilt eine Wärmepumpe generell erst ab einer JAZ > 3 als energieeffizient. Beim Einsatz von Wärmepumpen zum Wärmeentzug aus dem Wasser und nachfolgender Nutzung als Trinkwasser muss außerdem noch die Energie berücksichtigt werden, die der Kunde bei der Erwärmung des Trinkwassers zusätzlich wegen der vorhergehenden Abkühlung aufwenden muss. Eine Erwärmung ist vor allem für den Wasserverbrauch in der Dusche/Badewanne notwendig (siehe Tabelle 32), der im Mittel in der EU 35 % des pro-Kopf Verbrauchs im Haushalt ausmacht (Universität für Bodenkultur - SIG, 2010). Tritt keine bzw. nur eine sehr geringe Wiedererwärmung des Wassers aufgrund der Umgebungstemperatur auf dem Weg von der Wärmepumpe bis zum Verbraucher auf, so muss die Energie, die zur Erwärmung um die zusätzliche Temperaturdifferenz beim Wasser notwendig ist, bei der Beurteilung der Wärmepumpe berücksichtigt werden. Damit wäre eine noch höhere JAZ notwendig, um einen volkswirtschaftlich und hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Emissionen sinnvollen Wärmepumpeneinsatz im Trinkwasserversorgungsnetz zu gewährleisten.

Tabelle 32. Mittelwerte der Angaben aus Studien, Normen, Fachliteratur etc. zum Wasserverbrauch in der EU im Haushalt (Universität für Bodenkultur - SIG, 2010).

|                     | Wasserverbrauch in l/(Person*Tag) | Wasserverbrauch in % |
|---------------------|-----------------------------------|----------------------|
| WC                  | 32                                | 24%                  |
| Duschen/Badewanne   | 47                                | 35%                  |
| Waschmaschine       | 18                                | 13%                  |
| Wasserhahn Küche    | 12                                | 9%                   |
| Wasserhahn Bad      | 13                                | 10%                  |
| Geschirrspüler      | 7                                 | 5%                   |
| sonstiger Verbrauch | 6                                 | 4%                   |
| <b>Summe</b>        | <b>135</b>                        | <b>100%</b>          |

### 5.4.2 Anlage zur Wärmeengewinnung aus dem Trinkwasserversorgungsnetz

Die Möglichkeit der Wärmeengewinnung aus dem Trinkwasserversorgungsnetz wird anhand einer in Betrieb befindlichen Anlage beim Wasserverband Süderdithmarschen in Deutschland beschrieben (DVGW - Forschungsstelle TUHH, 2008). Die hierfür verwendeten Unterlagen und Erfahrungen mit den Anlagen stammen von DI Michael Plath (DVGW) und DI Sven Röttger (Wasserverband Süderdithmarschen).

#### 5.4.2.1 Beschreibung der Funktionsweise der Anlage

Die vorhandene thermische Energie des Wassers in bestehenden Leitungen wird genutzt indem das Wasser dem Versorgungsnetz entnommen und nach dem Energieentzug wieder zugeführt wird (siehe

Abbildung 32). Dazu wird das Trinkwasser, das eine Temperatur von ca. 10° C hat, mit einer Umwälzpumpe durch einen ersten Plattenwärmetauscher (WT) geleitet. Die Flüssigkeit im Zwischenkreislauf, ein Frostschutzmittel-Wasser-Gemisch, erwärmt sich. Hierbei werden dem Trinkwasser zwischen 2 und 3 °C Wärme entzogen. Der Wärmepumpenkreislauf (WP), der mit dem Kältemittel Honeywell, Produktname: R-407C gefüllt ist, entzieht dann in einem zweiten Plattenwärmetauscher dem Zwischenkreislauf die vorher aus dem Trinkwasser entnommene thermische Energie. Das Kältemittel wird erwärmt und wie bei kommerziellen Wärmepumpen angesaugt, verdichtet und dem Verflüssiger zugeführt. Die Verflüssigungswärme wird im Verflüssiger dann an ein Fluid, z.B. an einen Warmwasserkreis oder an die Raumluft abgegeben.

Das abgekühlte Trinkwasser wird wieder dem Versorgungsnetz zugeführt. Dieser Anschluss liegt an einer anderen Leitung des Versorgungsnetzes als der Hausanschluss. So kann dasselbe Wasser nicht erneut über die Hausanschlussleitung entnommen werden und es entsteht kein Kreislauf, in dem das Wasser immer weiter abgekühlt wird. Die Trinkwasserleitungen im Haus sind zu isolieren um die Erwärmung des Trinkwassers in der Leitung zu verringern.

### 5.4.2.2 Steuerung und Sensoren

#### 5.4.2.2.1 Trinkwasserleitung

Das Trinkwasser wird vor dem Wasserzähler (WZt) der Hausanschlussleitung aus der Leitung entnommen und die entnommene Menge durch einen separaten Wasserzähler (WZw) erfasst. In die Trinkwasserleitung der Anlage zur Wärmenutzung ist ein elektronischer Drucksensor (DS) eingebaut, der auslöst, sobald ein Druck kleiner 1,5 bar (=Mindestversorgungsdruck) vorliegt. Beim Auslösen des Drucksensors (DS) wird die Wärmepumpe ausgeschaltet und die Magnetventile (MV) (stromlos geschlossen) schließen. Nach 10 Minuten wird die Anlage wieder angefahren. Sollte dann wieder ausreichend Druck vorliegen, geht die Anlage wieder in den normalen Betrieb. Mit dieser Steuerung wird gewährleistet, dass ein ausreichend großer Durchfluss vorhanden ist. Die Temperatursonden (TS1 und TS2) sind nur bei der dargestellten Muster- und Testanlage vorhanden und werden in weitere Anlagen nicht eingebaut.

#### 5.4.2.2.2 Zwischenkreislauf

Der Zwischenkreislauf ist ein geschlossener Kreislauf, das Fluid zirkuliert mit Hilfe einer Umwälzpumpe. In Fließrichtung nach dem Wärmetauscher ist eine zweite Drucksonde (DS) angeordnet. Diese löst aus, sobald im Zwischenkreislauf ein Druck größer 1,5 bar vorliegt. Bei Auslösen werden die Pumpen ausgeschaltet und die Magnetventile (stromlos geschlossen) geschlossen. Der Zwischenkreislauf wird mit einem Druck von 1,0 bar betrieben. Der Druck im Zwischenkreislauf wird nur größer 1,5 bar, wenn im ersten Plattenwärmetauscher eine Undichtigkeit vorhanden ist und somit der Druck des Trinkwasserversorgungsnetzes (in diesem Fall ca. 5,0 bar, Mindestversorgungsdruck ist 1,5 bar) auf den Zwischenkreislauf übertragen wird. In Betrieb genommen werden darf die Anlage nach dem Auslösen des Drucksensors im Zwischenkreislauf nur durch das Wasserversorgungsunternehmen oder durch vom Wasserversorgungsunternehmen berechtigten Unternehmen. Gewährleistet wird dies durch einen Sicherheitsschalter der nur mit dem entsprechenden Schlüssel entriegelt werden kann. Mit dieser Schaltung wird bei korrektem Betrieb ausgeschlossen, dass das Frostschutzmittel-Wasser-Gemisch in das Trinkwasserversorgungsnetz gelangt.

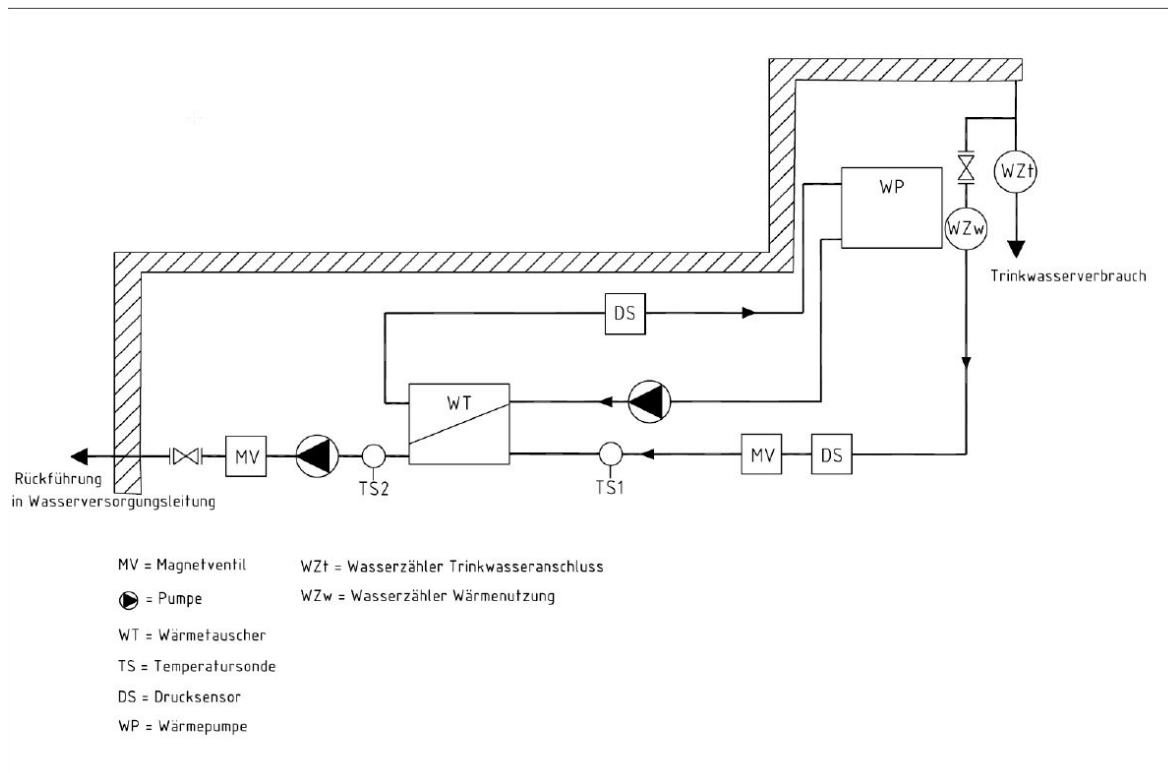


Abbildung 32. Schema der Anlage zur Gewinnung thermischer Energie aus dem Trinkwasserversorgungsnetz (DVGW - Forschungsstelle TUHH, 2008)

### 5.4.2.3 Frostschutzmittel-Wasser-Gemisch im Zwischenkreislauf

Im Zwischenkreislauf der Musteranlage zur Gewinnung thermischer Energie aus dem Trinkwasserversorgungsnetz befinden sich 4 Liter des Frostschutzmittel-Wasser-Gemisches. Die Konzentration des Gemisches liegt bei 50 Vol.-%. Auf Grund der Sicherheitsmaßnahmen ist es bei korrektem Betrieb ausgeschlossen, dass das Frostschutzmittel-Wasser-Gemisch in das Trinkwasserversorgungsnetz gelangt. Das Frostschutzmittel wird für den unwahrscheinlichen Fall, dass auf Grund eines Defektes doch ein Teil des Gemisches in das Versorgungsnetz gelangt, kurz bewertet: Der Hauptbestandteil des Frostschutzmittel 1,2-Propandiol ist laut Sicherheitsdatenblatt nicht gesundheitsschädlich, die letale Dosis liegt sehr hoch und kann bei der geringen Menge im Zwischenkreislauf und der zu erwartenden Durchmischung im Versorgungsnetz nicht erreicht werden. Die Weiteren Komponenten sind nur in geringen Mengen vorhanden und die letalen Dosen liegen hoch, so dass auf Grund der geringen Menge im Zwischenkreislauf und der zu erwartenden Durchmischung im Versorgungsnetz keine Gefahr ausgeht. Die Kolonienzahl in der vorhandenen Flüssigkeit im Zwischenkreislauf war 0 KbE/ml (22°C aerob, 36°C aerob und 36°C anaerob, nach DIN EN ISO 6222), es ist auf Grund des Frostschutzmittels auch keine Verkeimung zu erwarten.

### 5.4.2.4 Betrachtung des Einflusses auf die Temperatur des Trinkwassers

#### 5.4.2.4.1 Erwärmung des Trinkwassers bei Stillstand der Wärmepumpe

Für diese Betrachtung wurden Temperatursonden (TS1 und TS2) vor und hinter dem ersten Wärmetauscher (WT) installiert. Da das Wasser in der Trinkwasserleitung stagniert, wenn die Wärmepumpe nicht in Betrieb ist, steigt die Temperatur des Wassers, zumeist Nachts an. Die Stagnation des Wassers in der Zeit von 0:00 Uhr bis 6:00 Uhr führte an einem der Tage im März zu einer Erhöhung der Temperatur des Wassers auf fast 24° C (und im Mittel auf eine Erhöhung auf 19° C). Im Sommer sind längere Stagnationszeiten und höhere Temperaturen zu erwarten. Auf Grund der Stagnation und der Temperaturerhöhung kann es in der Leitung zu einer Keimvermehrung kommen.

Um eine zu lange Stagnation zu verhindern, wird die Umwälzpumpe im Trinkwasserkreislauf alle 2 Stunden für 5 Minuten in Betrieb genommen.

#### 5.4.2.4.2 *Abkühlung des Trinkwassers bei Betrieb der Wärmepumpe*

Durch den Wärmeentzug kommt es zu einer Abkühlung des Trinkwassers. Die Anlage wird mit einer Durchfluss von ca. 3 m<sup>3</sup>/h betrieben, in der Hauptleitung in die das Wasser zurückgeleitet wird beträgt der Durchfluss 4 m<sup>3</sup>/h, somit wird sich nach der Durchmischung eine Temperatur um ca. 1,5° C niedriger als vor der Abkühlung einstellen. Dies stellt die maximale Abkühlung nach Durchmischung dar, da die Wärmepumpe nicht dauernd in Betrieb ist und es daher zu einer weiteren Durchmischung im Rohrnetz kommt. Trotz der Mischung des abgekühlten Wassers mit dem Wasser im Versorgungsnetz erhalten einige Abnehmer ein kälteres Wasser. Die Anzahl der Nutzer von thermischer Energie aus dem Trinkwasserversorgungsnetz muss aus diesem Grund beschränkt bleiben. Das Wasser im Versorgungsnetz würde sonst zu kalt werden und andere Nutzer müssten für die Erwärmung des Wassers einen größeren Aufwand betreiben.

Durch die Abkühlung des Trinkwassers kann es zu einem Anstieg der Calcitlösekapazität kommen. Die Veränderung der Calcitlösekapazität ist daher zu prüfen.

#### 5.4.2.4.3 *Wiedererwärmung des Trinkwassers nach dem Wärmeentzug*

Es kann bei einer fast 100 Meter langen Rohrleitung im Erdreich davon ausgegangen werden, dass es zu einer, wenn auch nur leichten, Wiedererwärmung des im Wärmetauscher abgekühlten Wassers kommt. Die Geschwindigkeit des Wassers in der Leitung liegt bei ca. 0,5 m/s, somit ist das Wasser in der 100 m langen Rohrleitung nur fast 3,5 Minuten unterwegs. Diese kurze Aufenthaltszeit des Wassers in der Rohrleitung und die geringe Oberfläche der Rohrleitung lassen vermutlich die Wiedererwärmung gering ausfallen. Die Temperatureinflüsse auf die Trinkwasserversorgung werden in einer weitergehenden Studie vom Institut für Siedlungswasserbau weiter untersucht.

## 6 Ermittlung von Richtwerten

Die Ermittlung der Richtwerte erfolgt auf Basis von Erfahrungs- und Literaturwerten, theoretischen Betrachtungen und der Auswertung der Grob- (AP4) und Detailanalysen (AP3).

### 6.1 Aufbereitung und Desinfektion

Abbildung 33 zeigt eine Übersicht über spezifische Stromverbräuche bei Wasseraufbereitungs- bzw. Desinfektionsverfahren.

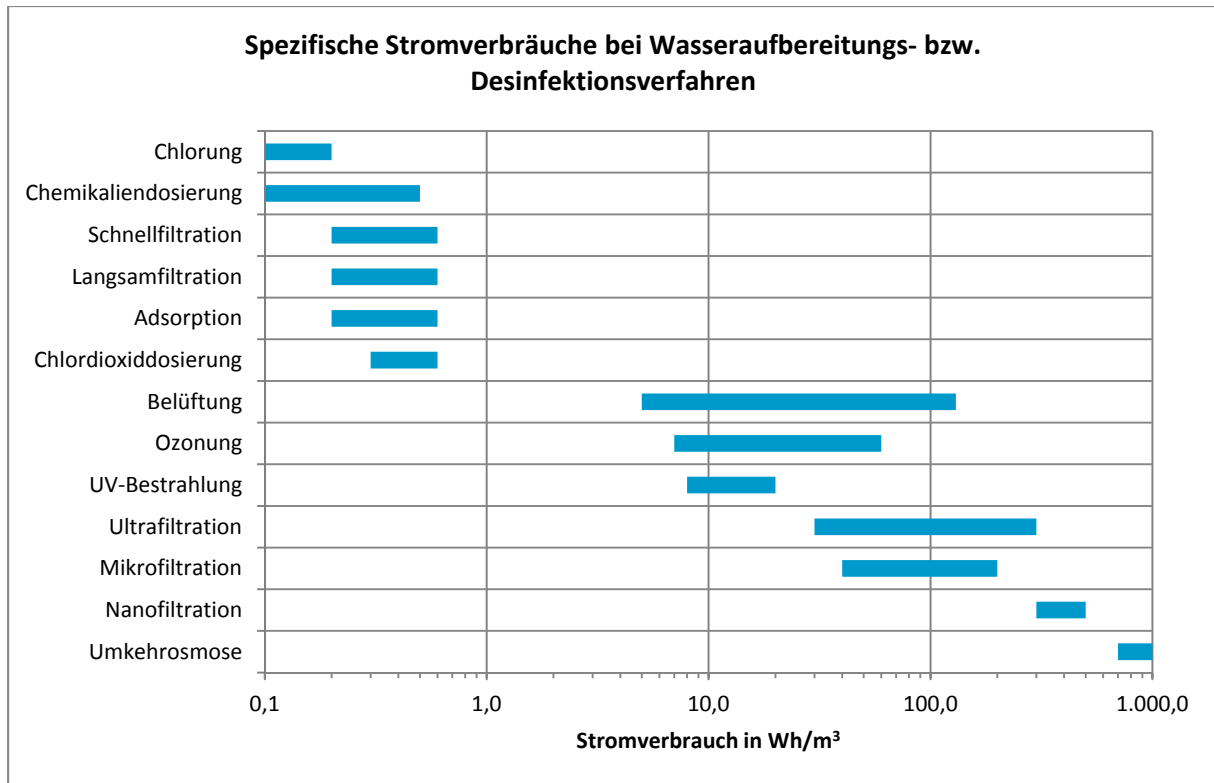


Abbildung 33. Spezifische Stromverbräuche bei Wasseraufbereitungs- bzw. Desinfektionsverfahren (Bundesamt für Energie und SVGW, 2004; DVGW, 2010b; Mutschmann & Stimmelmayer, 2011)

- UV-Desinfektion von Quellwasser (UV-Transmission 40%): 12 bis 20 Wh/m<sup>3</sup>
- UV-Desinfektion von Grundwasser (UV-Transmission 60%): 8 bis 15 Wh/m<sup>3</sup> (Bundesamt für Energie und SVGW, 2004)
- Ozonung: 7 Wh/m<sup>3</sup> (0,5 g O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>) bis 60 Wh/m<sup>3</sup> (2,5 g O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>) (Bundesamt für Energie und SVGW, 2004, p. 109)

## 6.2 Pumpen

Die Zusammenstellung der nachfolgenden Formelgrundlagen basiert auf Mutschmann & Stimmelmayer (2011) und ITT Water & Wastewater (2008).

### 6.2.1 Leistung und Wirkungsgrad von Pumpen

#### Leistung von Pumpen

Die Förderleistung  $P$  einer Pumpe berechnet sich zu

$$P = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \quad (6-1)$$

mit  $P$  ... Förderleistung [W]

$\rho$  ... Dichte des Wassers [kg/m<sup>3</sup>]

$g$  ... Erdbeschleunigung [m/s<sup>2</sup>]

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

$H$  ... Förderhöhe [m]

$Q$  ... Durchsatz [m<sup>3</sup>/s]

Der Leistungsbedarf eines Pumpenaggregates  $P_e$  ist

$$P_e = \frac{P}{\eta_g} \quad (6-2)$$

mit  $P_e$  ... Leistungsbedarf eines Pumpenaggregates [kW]

$P$  ... Förderleistung [kW]

$\eta_g$  ... Gesamtwirkungsgrad [–]

### Wirkungsgrad von Pumpenaggregaten

Der Gesamtwirkungsgrad eines Pumpenaggregats  $\eta_g$  setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

$$\eta_g = \eta_{Kabel} \cdot \eta_{FU} \cdot \eta_{Motor} \cdot \eta_{Kupplung} \cdot \eta_{Pumpe} \quad (6-3)$$

mit  $\eta_g$  ... Gesamtwirkungsgrad [–]

$\eta_{Kabel}$  ... Wärmeverluste Stromkabel [–]

$\eta_{FU}$  ... Wärmeverluste Leitungselektronik [–]

$\eta_{Motor}$  ... Motorwirkungsgrad [–]

$\eta_{Kupplung}$  ... Mechanische Verluste der Kupplung zwischen Motor und Pumpe [–]

$\eta_{Pumpe}$  ... Pumpenwirkungsgrad [–]

Die größten Verluste entstehen an der Pumpe und dem Motor. Der Gesamtwirkungsgrad  $\eta_g$  wird daher maßgeblich durch den Pumpenwirkungsgrad  $\eta_{Pumpe}$  und den Motorwirkungsgrad  $\eta_{Motor}$  bestimmt. Der Pumpenwirkungsgrad  $\eta_{Pumpe}$  ist das Verhältnis zwischen abgegebener Förderleistung  $P$  und der von der Pumpenwelle aufgenommenen Leistung, der sogenannten Wellenleistung  $P_2$ :

$$\eta_{Pumpe} = \frac{P}{P_2} \quad (6-4)$$

mit  $\eta_{Pumpe}$  ... Pumpenwirkungsgrad [–]

$P$  ... Förderleistung [kW]

$P_2$  ... Wellenleistung [kW]

Die mechanischen Verluste der Pumpe lassen sich in innere und äußer Verluste unterteilen. Die äußeren Verluste entstehen durch Reibung in den Lagern des Rotors und an den Wellenabdichtungen. Sie sind gegenüber den inneren Verlusten vernachlässigbar. Die inneren Verluste entstehen durch (Bundesamt für Energie und SVGW, 2004):

- Leckströme zwischen der Druck- und Saugseite am Laufrad und zwischen den Wellenabdichtungen
- Reibungsverluste und durch
- falsche An- und Abströmverhältnisse, auch "Stoßverluste" genannt (diese ändern sich stark mit dem Fördervolumen)

Der Motorenwirkungsgrad  $\eta_{Motor}$  ist das Verhältnis zwischen der elektrischen Leistungsaufnahme des Motors  $P_1$  und der an der Motorwelle abgegebenen Leistung, der Wellenleistung  $P_2$

$$\eta_{Motor} = \frac{P_1}{P_2} \quad (6-5)$$

mit  $\eta_{Pumpe}$  ... Pumpenwirkungsgrad [–]

$P_1$  ... Leistungsaufnahme des Motors [kW]

$P_2$  ... Wellenleistung [kW]

Die Verluste am Motor entstehen vorwiegend durch elektrische Verluste (Magnetisierungsstrom, Eisenverluste) und in geringem Ausmaß durch mechanische Verluste (Lagerreibung, Ventilationsverluste) (Bundesamt für Energie und SVGW, 2004).

### Leistungsangabe bei Pumpenaggregaten

Die elektrische Leistungsaufnahme des Motors  $P_1$  wird angegeben, wenn Pumpe und Antriebsmotor eine in sich gekapselte Einheit bilden wie bei den sogenannten Nassläuferpumpen. Hier ist es sogar üblich, auf dem Typenschild der Pumpen beide Werte  $P_1$  und  $P_2$  anzugeben. Für Aggregate, bei denen Pumpe und Motor über Kupplung oder starre Wellenverbindung gekoppelt sind, also bei den Trockenläuferpumpen, wird die erforderliche Wellenleistung  $P_2$  angegeben. Das ist bei diesen



Pumpenbauformen deshalb erforderlich, da die unterschiedlichsten Motorausführungen - angefangen beim IEC-Normmotor bis zum Spezialmotor - mit ihren verschiedenen Leistungsaufnahmen und Wirkungsgraden an die Pumpe angebaut werden (ITT Water & Wastewater, 2008).

### 6.2.2 Angaben aus der Literatur zum Wirkungsgrad von Pumpenanlagen

Laut Mutschmann & Stimmelmayer (2011) liegt der Gesamtwirkungsgrad  $\eta_g$  bei heutigen Pumpenanlagen zwischen 0,6 und 0,8. Der Wirkungsgrad der Pumpen  $\eta_{Pumpe}$  bewegt sich zwischen 0,7 und 0,9.

Die Europäische Kommission hat einen Leitfaden mit optimalen Wirkungsgradkurven (European Commission - JRC, 2004) herausgegeben. Die dem Leitfaden zugrunde liegenden Überlegungen sind in Tanner (2004) dargestellt. Das verwendete Beurteilungsverfahren ermöglicht die Ermittlung eines Soll-Pumpenwirkungsgrades für bestimmte Pumpentypen anhand von Förderhöhe, Förderstrom und Drehzahl. Der in Abbildung 34 ablesbare Wirkungsgrad muss noch mit dem Korrekturfaktor  $C'$  vermindert werden, um den Soll-Pumpenwirkungsgrad der untersuchten Pumpe zu erhalten.

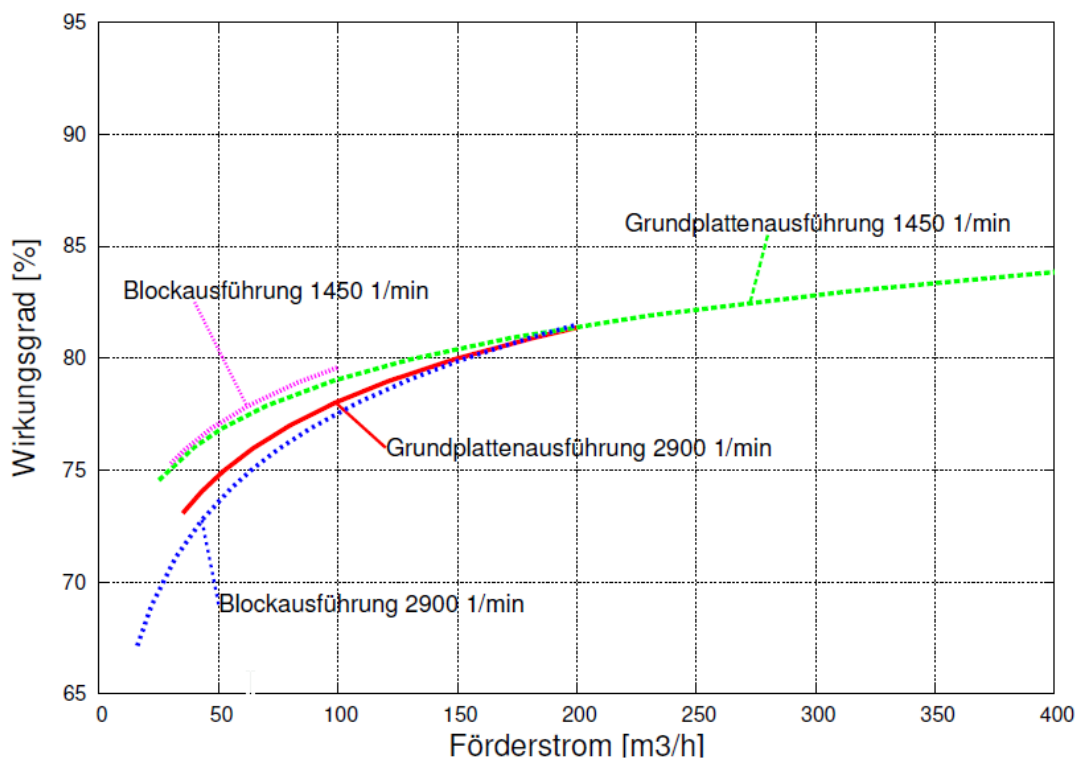


Abbildung 34. Erreichbarer Wirkungsgrad einstufiger, einströmiger Spiralgehäusepumpen

$$C' = 48 \cdot \left[ \log_{10} \left( 2650 \cdot \frac{H^{0,75}}{n \cdot Q^{0,5}} \right) \right]^2 \quad (6-6)$$

mit  $C'$  ... Korrekturfaktor [%]  
 $H$  ... Förderhöhe [m]  
 $n$  ... Drehzahl [1/min]  
 $Q$  ... Förderstrom [m<sup>3</sup>/h]

Dieses Beurteilungsverfahren ist jedoch ausschließlich für einstufige Kreiselpumpen gültig. Da in der Wasserversorgung auch oftmals mehrstufige Kreiselpumpen verwendet werden, können aus dem Leitfaden keine allgemeinen Richtwerte für Wirkungsgrade von Kreiselpumpen abgeleitet werden.



Das Bundesamt für Energie und SVGW (2004) gibt Vergleichswerte für die Pumpeneffizienz von Netzpumpen für drei Leistungsklassen an. Dabei wird zwischen Richtwerten und Zielwerten unterschieden. Wenn Richtwerte im Ist-Zustand nicht erfüllt werden, so sind möglichst rasch Optimierungsmaßnahmen zu ermitteln und umzusetzen. Zielwerte sollen im Rahmen einer ganzheitlichen Optimierung langfristig erreichbar sein (siehe Tabelle 33).

Tabelle 33. Vom Bundesamt für Energie und SVGW (2004) angegebene Richt- und Zielwerte zur Energieeffizienz von Pumpen

|           |                                   | < 5 kW | 5 - 50 kW | > 50 kW |
|-----------|-----------------------------------|--------|-----------|---------|
| Zielwert  | Pumpeneffizienz $e_{\text{pump}}$ | 1,80   | 1,55      | 1,45    |
|           | Gesamtwirkungsgrad $\eta_g$       | 56%    | 65%       | 69%     |
| Richtwert | Pumpeneffizienz $e_{\text{pump}}$ | 2,25   | 1,80      | 1,60    |
|           | Gesamtwirkungsgrad $\eta_g$       | 44%    | 56%       | 63%     |

In Abschnitt 6.2.3 werden Vergleichswerte für Wirkungsgrade von Pumpenanlagen getrennt für trocken aufgestellte Pumpen und Unterwasserpumpen basierend auf aktuellen Pumpen und Motoren ermittelt.

### 6.2.3 Bestimmung von Vergleichswerten für Wirkungsgrade von Pumpenanlagen in Abhängigkeit der Pumpenleistung

Die Bestimmung von Vergleichswerten basiert auf einer Stichprobe ( $n = 147$ ) von optimalen Pumpen- und Motorenwirkungsgraden. Dazu wurde eine Pumpenauswahl für eine Reihe von verschiedenen hydraulischen Auslegungssituationen (verschiedene Kombinationen von Durchfluss und Förderhöhe, siehe Abbildung 35) durchgeführt.

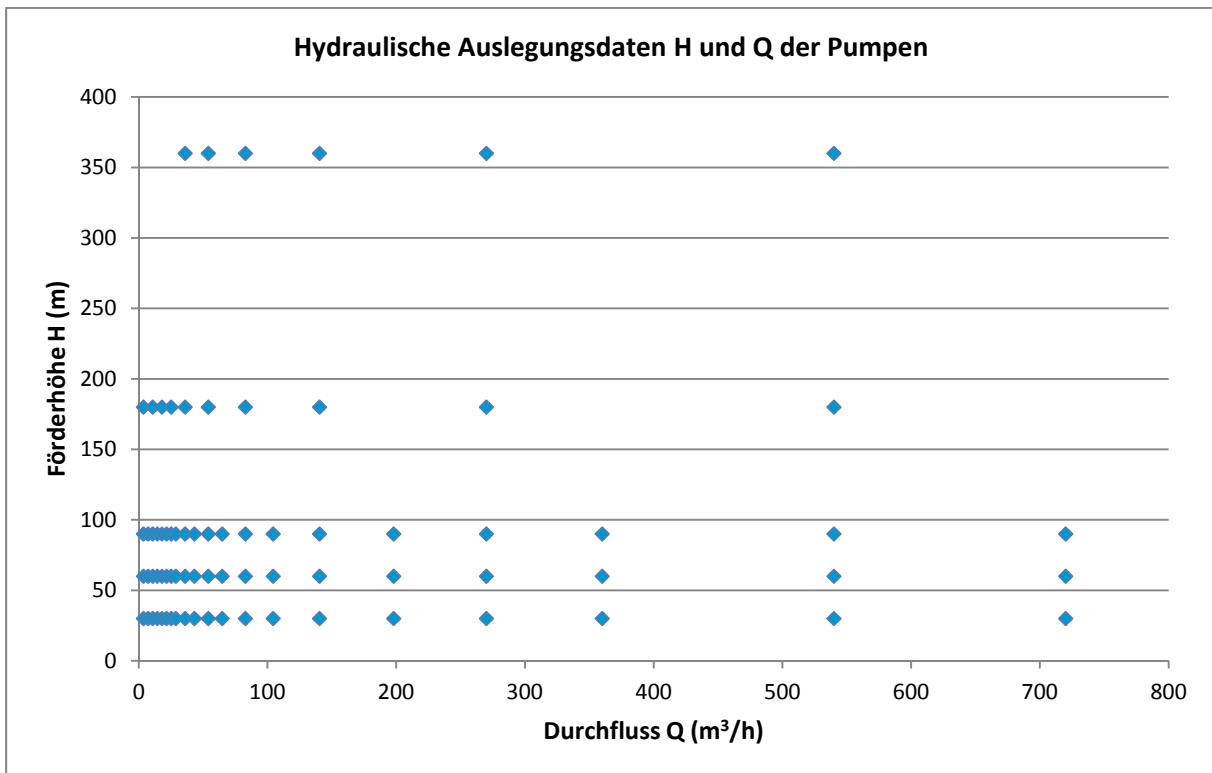


Abbildung 35. Hydraulische Auslegungsdaten Förderhöhe H und Durchfluss Q der Pumpen zur Ermittlung eines optimalen Wirkungsgradbereiches

Die Pumpenauswahl wurde mit Hilfe der Auswahlsoftware ITT Vogel Select (ITT Water & Wastewater, 2008) getrennt für trocken aufgestellte Pumpen und für Unterwasserpumpen durchgeführt. Bei geringen Durchflüssen erfolgte dabei die Auswahl von seriell, bei hohen Durchflüssen von parallel geschalteten Pumpen. Die mit diesen Auslegungsdaten ausgewählten Pumpen zeigen folgende Zusammenhänge zwischen Wellenleistung an der Pumpe und Pumpenwirkungsgrad, jeweils getrennt für trocken aufgestellte Pumpen (siehe Abbildung 36) und Unterwasserpumpen (siehe Abbildung 37). Bei allen Pumpen handelt es sich ausschließlich um Kreiselpumpen.

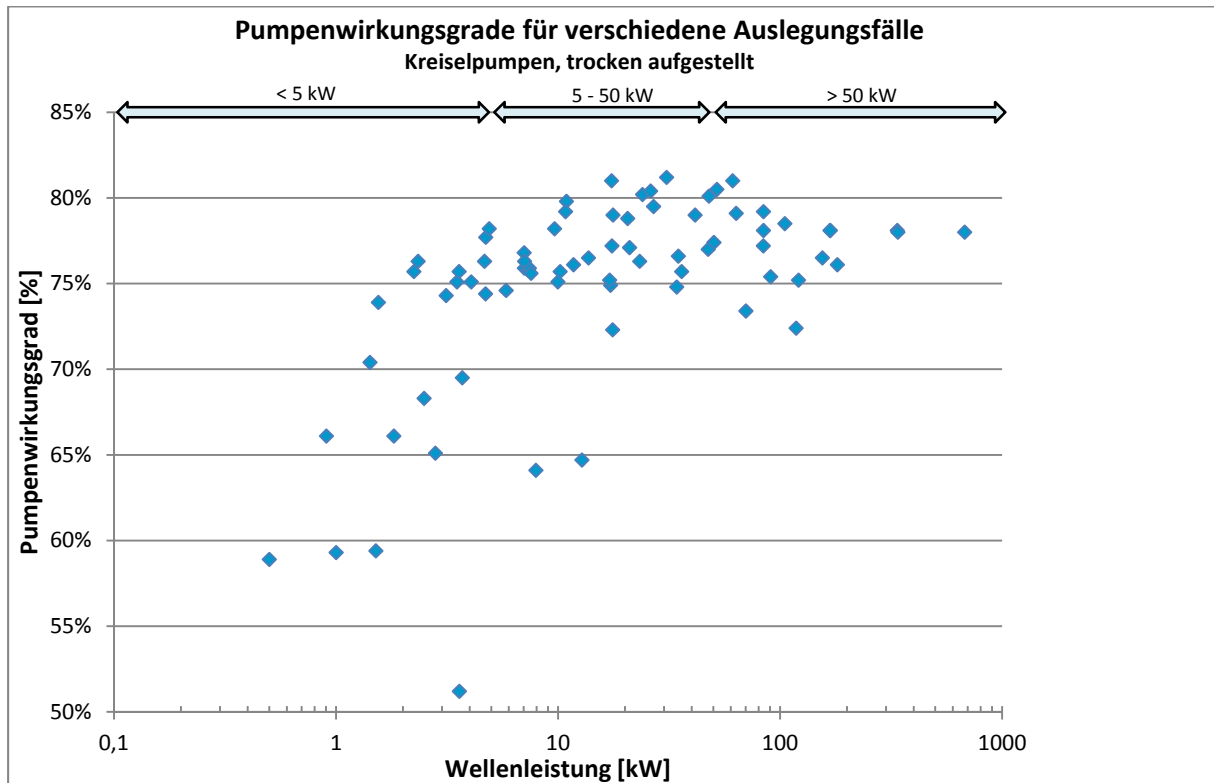


Abbildung 36. Pumpenwirkungsgrad für trocken aufgestellte Kreiselpumpen in Abhängigkeit der Wellenleistung

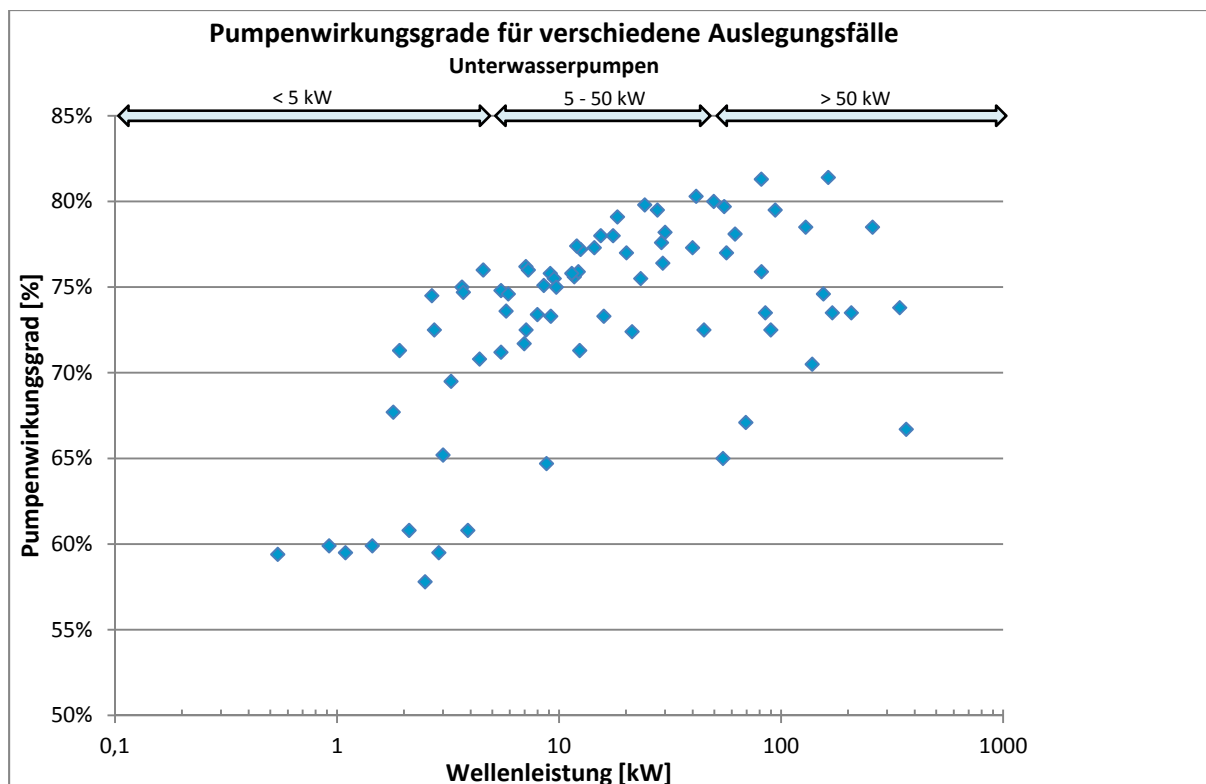


Abbildung 37. Pumpenwirkungsgrad für Unterwasserpumpen in Abhängigkeit der Wellenleistung

Die zu den einzelnen Auslegungsfällen zugehörigen Motorenwirkungsgrade wurden einer Zusammenstellung vom Bundesamt für Energie BFE (2011) entnommen. Diese liefert eine Übersicht über Motorenwirkungsgrade in Abhängigkeit der Leistung, wiederum getrennt für trocken aufgestellte Pumpen und Unterwasserpumpen. Die Wirkungsgrade der Motoren für trocken aufgestellte Pumpen entsprechen dabei den Effizienzklassen IE3. Die Wirkungsgrade der Motoren für Unterwasserpumpen sind empirischer Herkunft<sup>5</sup>. Mit diesen Motorwirkungsgraden wurde der Wirkungsgrad der Kombination Pumpe und Motor für jeden der Auslegungsfälle bestimmt (siehe Abbildung 38 und Abbildung 39).

<sup>5</sup> Motoren, die ganz in eine Flüssigkeit eingetaucht betrieben werden, sind von den gesetzlichen Anforderungen der Verordnung (EG) Nr. 640/2009 der Kommission vom 22. Juli 2009 zu den Effizienzklassen ausgenommen.

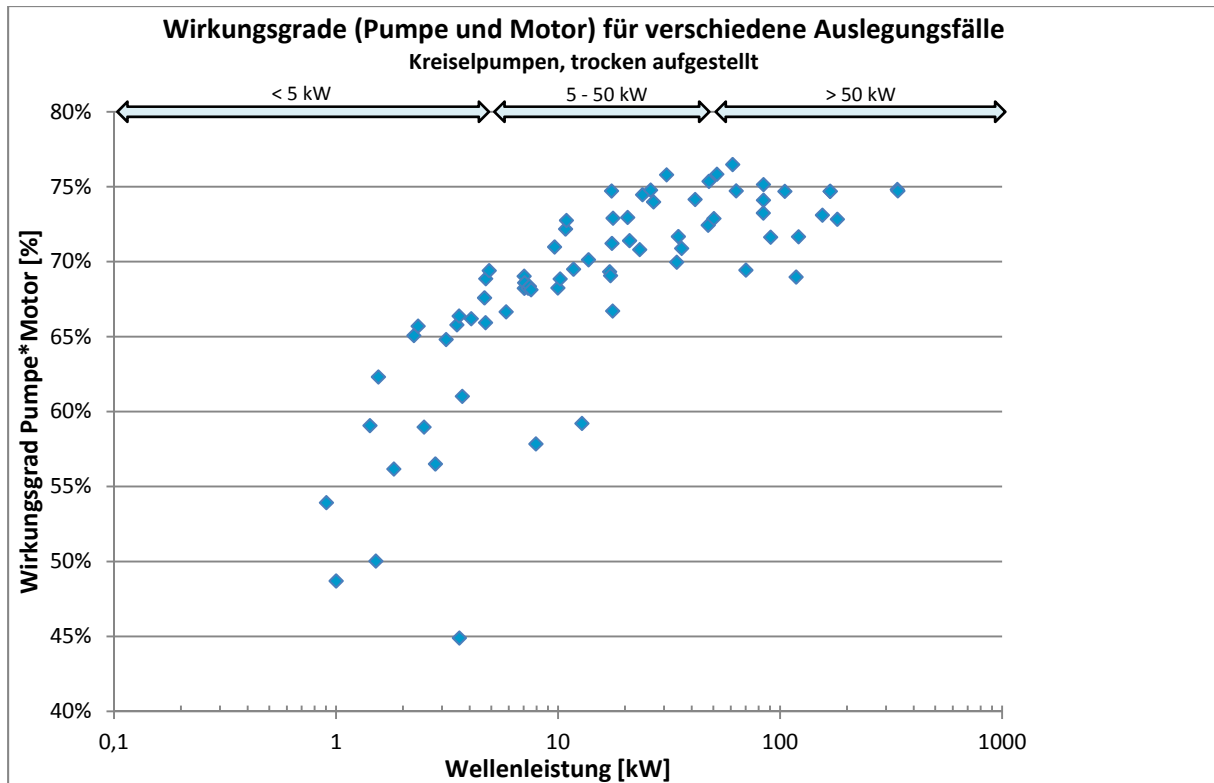


Abbildung 38. Wirkungsgrad (Pumpe und Motor) für trocken aufgestellte Kreiselpumpen in Abhängigkeit der Wellenleistung

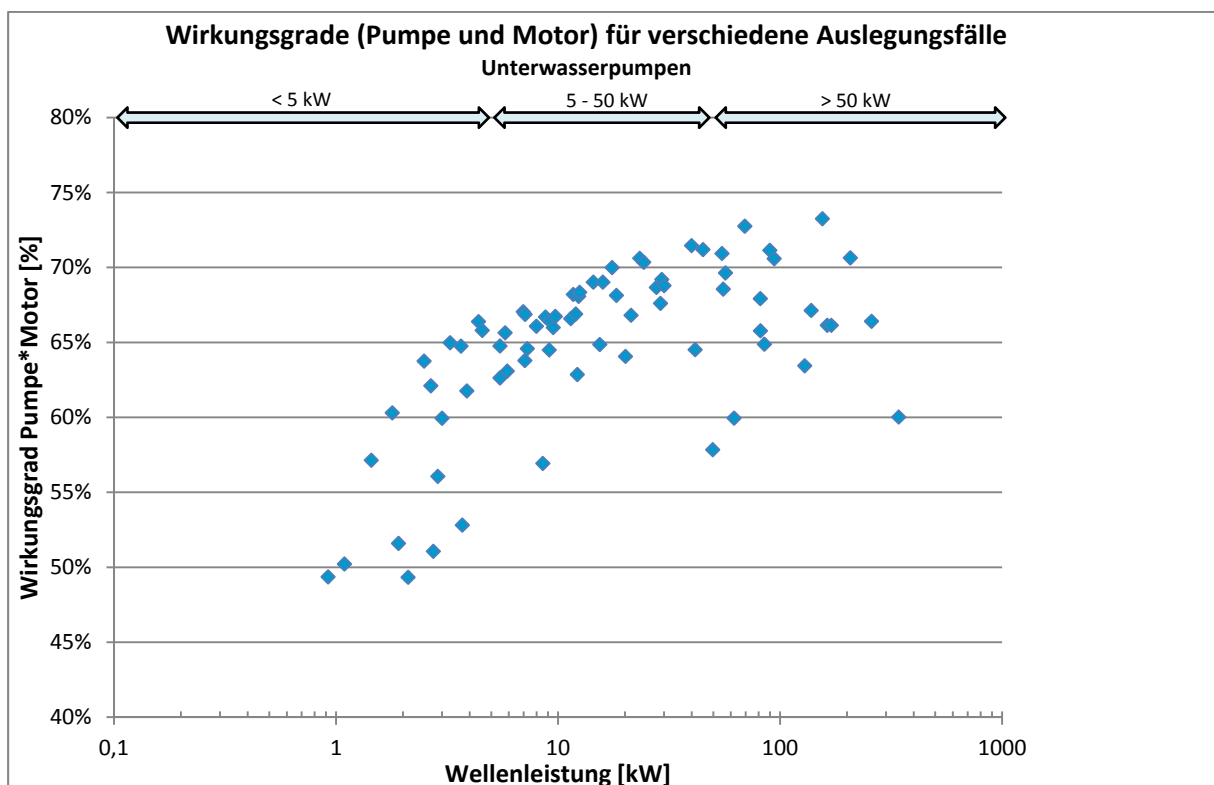


Abbildung 39. Wirkungsgrade (Pumpe und Motor) für Unterwasserpumpen in Abhängigkeit der Wellenleistung

Zur Ermittlung eines "optimalen" Wirkungsgradbereiches als Vergleichswert wurden die Wirkungsgrade nach der Wellenleistung in drei Klassen aufgeteilt (<5 kW, 5-50 kW und >50 kW). Diese Klasseneinteilung entspricht auch der Einteilung, die bei der Angabe von Richtwerten und

Zielwerten zur Pumpeneffizienz vom Bundesamt für Energie und SVGW (2004) getroffen wurde. Abbildung 40 und Abbildung 41 zeigen Boxplots der Wirkungsgrade (Pumpe und Motor) für die drei Leistungsklassen, jeweils für trocken aufgestellte Pumpen und Unterwasserpumpen.

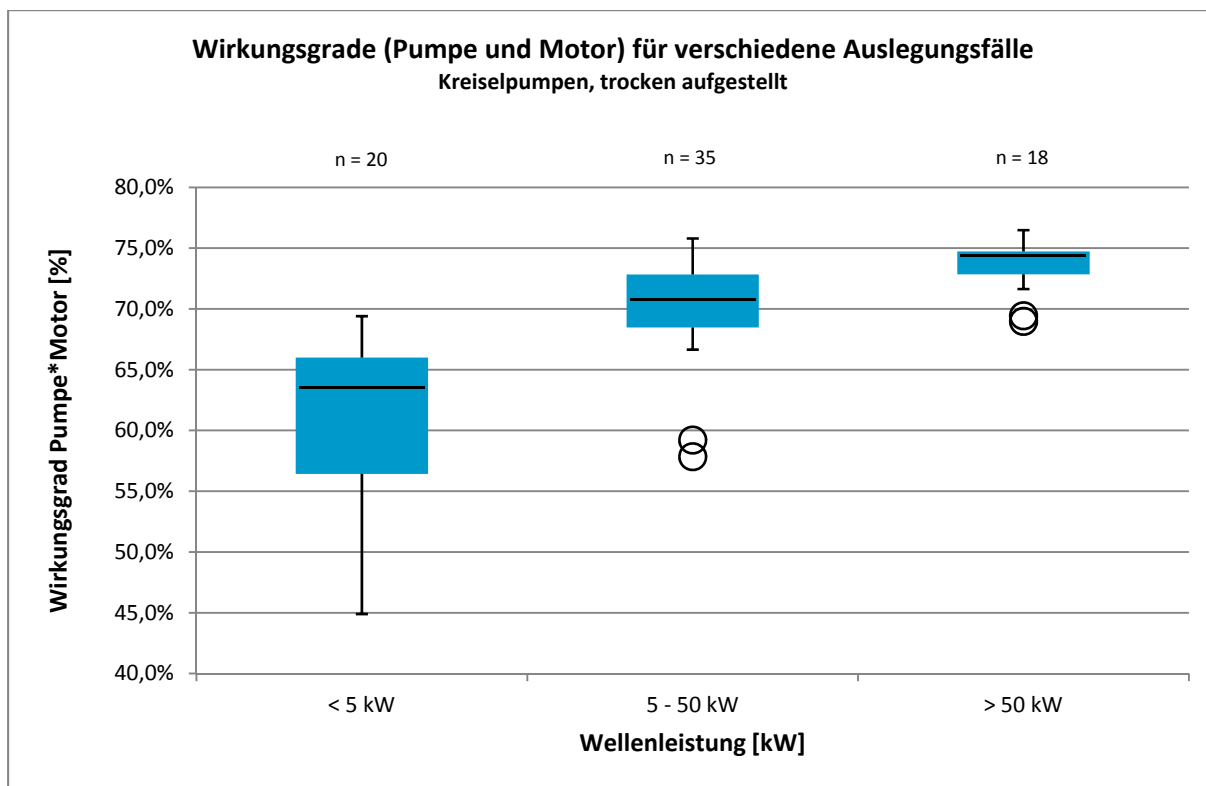


Abbildung 40. Wirkungsgrad (Pumpe und Motor) für trocken aufgestellte Kreiselpumpen nach Leistungsklasse

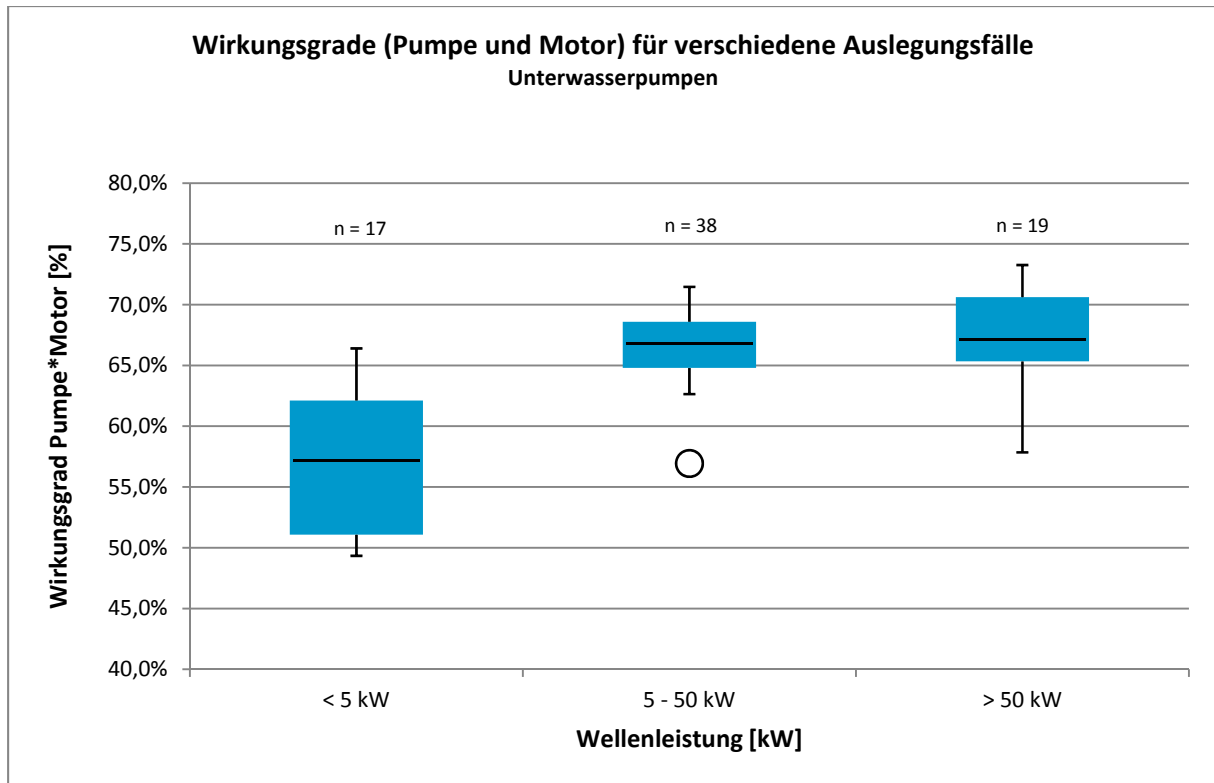


Abbildung 41. Wirkungsgrad (Pumpe und Motor) für Unterwasserpumpen nach Leistungsklasse

In Tabelle 34 und Tabelle 35 sind die beiden Quartile und der Median der Wirkungsgrade (Pumpe und Motor) für die drei Leistungsklassen, jeweils für trocken aufgestellte Pumpen und Unterwasserpumpen, zusammengestellt.

Tabelle 34. Wirkungsgrade (Pumpe und Motor) für trocken aufgestellte Kreiselpumpen nach Leistungsklasse

|                                     |                 | < 5 kW | 5 - 50 kW | > 50 kW |
|-------------------------------------|-----------------|--------|-----------|---------|
| Anzahl n                            |                 | 20     | 35        | 18      |
| <b>Wirkungsgrad<br/>Motor*Pumpe</b> | Unteres Quartil | 56%    | 68%       | 73%     |
|                                     | Median          | 64%    | 71%       | 74%     |
|                                     | Oberes Quartil  | 66%    | 73%       | 75%     |

Tabelle 35. Wirkungsgrade (Pumpe und Motor) für Unterwasserpumpen nach Leistungsklasse

|                                     |                 | < 5 kW | 5 - 50 kW | > 50 kW |
|-------------------------------------|-----------------|--------|-----------|---------|
| Anzahl n                            |                 | 17     | 38        | 19      |
| <b>Wirkungsgrad<br/>Motor*Pumpe</b> | Unteres Quartil | 51%    | 65%       | 65%     |
|                                     | Median          | 57%    | 67%       | 67%     |
|                                     | Oberes Quartil  | 62%    | 69%       | 71%     |

Zur Ermittlung der entsprechenden Gesamtwirkungsgrade  $\eta_g$  wurde für die Höhe der Wärmeverluste am Stromkabel  $\eta_{\text{Kabel}}$  2% und für die mechanischen Verluste an der Kupplung zwischen Motor und Pumpe  $\eta_{\text{Kupplung}}$  1% angenommen. Es wurde kein Verlust durch einen Frequenzumformer  $\eta_{\text{FU}}$  angesetzt. In Tabelle 36 und Tabelle 37 sind die Gesamtwirkungsgrade  $\eta_g$  zusammengestellt.

Tabelle 36. Gesamtwirkungsgrade für trocken aufgestellte Kreiselpumpen nach Leistungsklasse

|                                 |                 | < 5 kW | 5 - 50 kW | > 50 kW |
|---------------------------------|-----------------|--------|-----------|---------|
|                                 | Anzahl n        | 20     | 35        | 18      |
| <b>Gesamt-<br/>wirkungsgrad</b> | Unteres Quartil | 55%    | 66%       | 71%     |
|                                 | Median          | 62%    | 69%       | 72%     |
|                                 | Oberes Quartil  | 64%    | 71%       | 72%     |

Tabelle 37. Gesamtwirkungsgrade für Unterwasserpumpen nach Leistungsklasse

|                                 |                 | < 5 kW | 5 - 50 kW | > 50 kW |
|---------------------------------|-----------------|--------|-----------|---------|
|                                 | Anzahl n        | 17     | 38        | 19      |
| <b>Gesamt-<br/>wirkungsgrad</b> | Unteres Quartil | 50%    | 63%       | 63%     |
|                                 | Median          | 55%    | 65%       | 65%     |
|                                 | Oberes Quartil  | 60%    | 67%       | 69%     |

Als Vergleichswert für erreichbare Wirkungsgrade von Pumpe und Motor wurde das untere Quartil gewählt, über welchem 75% der Wirkungsgrade in der jeweiligen Leistungsklasse liegen (siehe Tabelle 38).

Tabelle 38. Vergleichswerte für erreichbare Gesamtwirkungsgrade bei Kreiselpumpen nach Leistungsklasse und Pumpenaufstellung. Die angegebenen Gesamtwirkungsgrade entsprechen jeweils dem unteren Quartil jeder Klasse.

|   | < 5 kW | 5 - 50 kW | > 50 kW |
|---|--------|-----------|---------|
| <b>Trocken aufgestellte Kreiselpumpen</b> | 55%    | 66%       | 71%     |
| <b>Unterwasserpumpen</b>                  | 50%    | 63%       | 63%     |

Ein Gesamtwirkungsgrad, der unter diesen Vergleichswerten liegt, muss nicht in jedem Fall auf nicht optimal laufende Pumpen hinweisen, da sich per Definition 25% der Gesamtwirkungsgrade in jeder Klasse unter dem unteren Quartil befinden. Um von diesen Vergleichswerten einen Grenzwert abzuleiten, unter welchem eine weitere Untersuchung der Pumpen notwendig ist, wurde je nach Leistungsklasse ein minimales Stromeinsparpotential durch Effizienzsteigerung von 20%, 15% bzw. 10% festgelegt (siehe Tabelle 39).

Tabelle 39. Definition der Grenzwerte für Gesamtwirkungsgrade, unter welchen eine weitere Untersuchung zu empfehlen ist. Die Grenzwerte sind für Kreiselpumpen je nach Leistung und Pumpenaufstellung definiert.

|   | < 5 kW     | 5 - 50 kW  | > 50 kW    |
|---|------------|------------|------------|
| Stromeinsparpotential                     | 20%        | 15%        | 10%        |
| <b>Trocken aufgestellte Kreiselpumpen</b> | <b>44%</b> | <b>56%</b> | <b>64%</b> |
| <b>Unterwasserpumpen</b>                  | <b>40%</b> | <b>53%</b> | <b>57%</b> |

Für den Leitfaden ergeben sich daraus folgende Zusammenhänge:

**Eine weitere Untersuchung der Pumpen ist erforderlich**

Liegt der Gesamtwirkungsgrad im unteren Wirkungsgradbereich, der nach oben hin durch die Grenzwerte aus Tabelle 39 begrenzt ist, ist eine weitere Untersuchung der Pumpen erforderlich. In diesem Fall liegt ein minimales Stromeinsparpotential von 20 % (< 5 kW), 15 % (5 – 50 kW) oder 10 % (> 50 kW) zu den Vergleichswerten für erreichbare Gesamtwirkungsgrade (untere Quartile) aus Tabelle 38 vor.

### **Eine weitere Untersuchung der Pumpen wird empfohlen**

Liegt der Gesamtwirkungsgrad im mittleren Wirkungsbereich (über den Grenzwerten aus Tabelle 39 und unter den Vergleichswerten für erreichbare Gesamtwirkungsgrade aus Tabelle 38), dann wird eine weitere Untersuchung empfohlen. Ob ein Stromeinsparpotential vorhanden ist und wie groß dieses ist, hängt von der jeweiligen Situation ab. Dies liegt auch an der Herleitung der Vergleichswerte für erreichbare Gesamtwirkungsgrade als unteres Quartil der untersuchten Stichprobe.

### **Übliche Bandbreite des Gesamtwirkungsgrads von Pumpenaggregaten**

Der Bereich über den Vergleichswerten für erreichbare Gesamtwirkungsgrade aus Tabelle 38 ist die übliche Bandbreite des Gesamtwirkungsgrads von Pumpenaggregaten. Liegt der vorhandene Gesamtwirkungsgrad in diesem Bereich, kann eine weitere Untersuchung der Pumpen 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 42 und Abbildung 43 zeigen die Einteilung der Wirkungsbereiche für trocken aufgestellte Kreiselpumpen und Unterwasserpumpen.

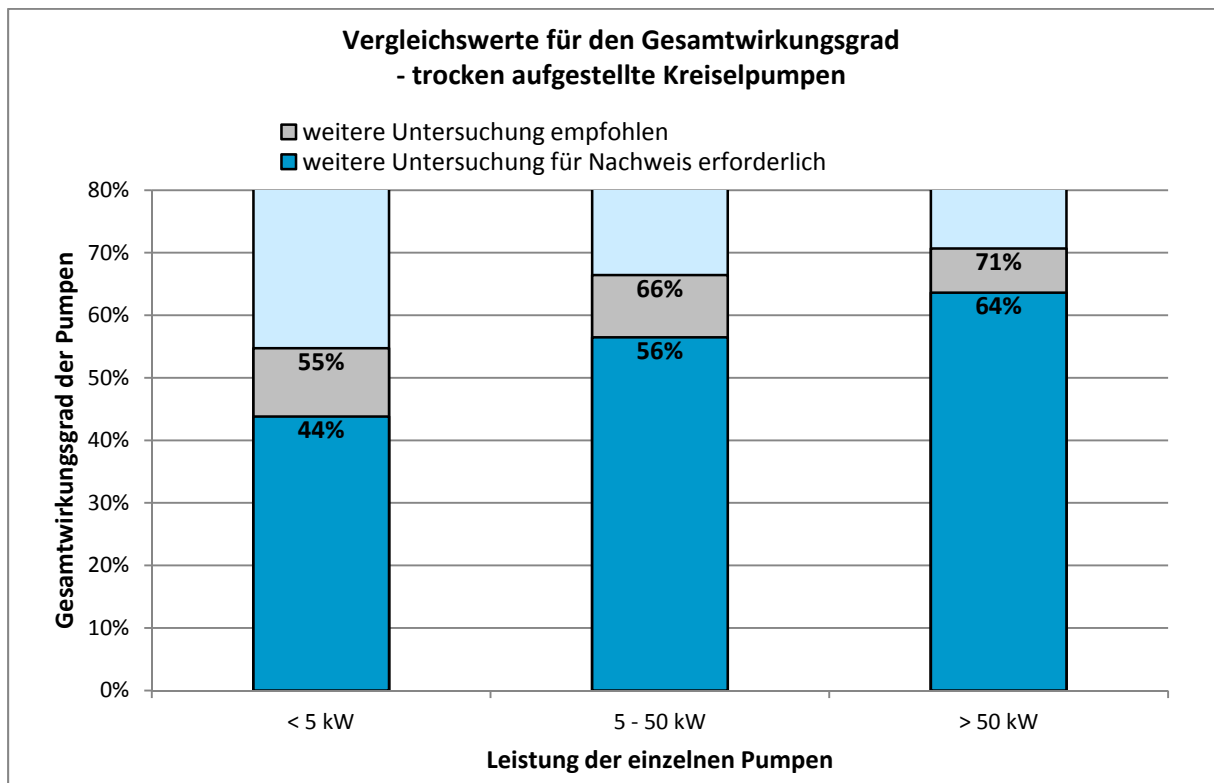


Abbildung 42. Vergleichswerte für Gesamtwirkungsgrade von trocken aufgestellten Kreiselpumpen. Der Gesamtwirkungsgrad berücksichtigt den Motorwirkungsgrad, Pumpenwirkungsgrad sowie Wärmeverluste am Stromkabel von 2% und mechanische Verluste an der Kupplung zwischen Motor und Pumpe von 1%.



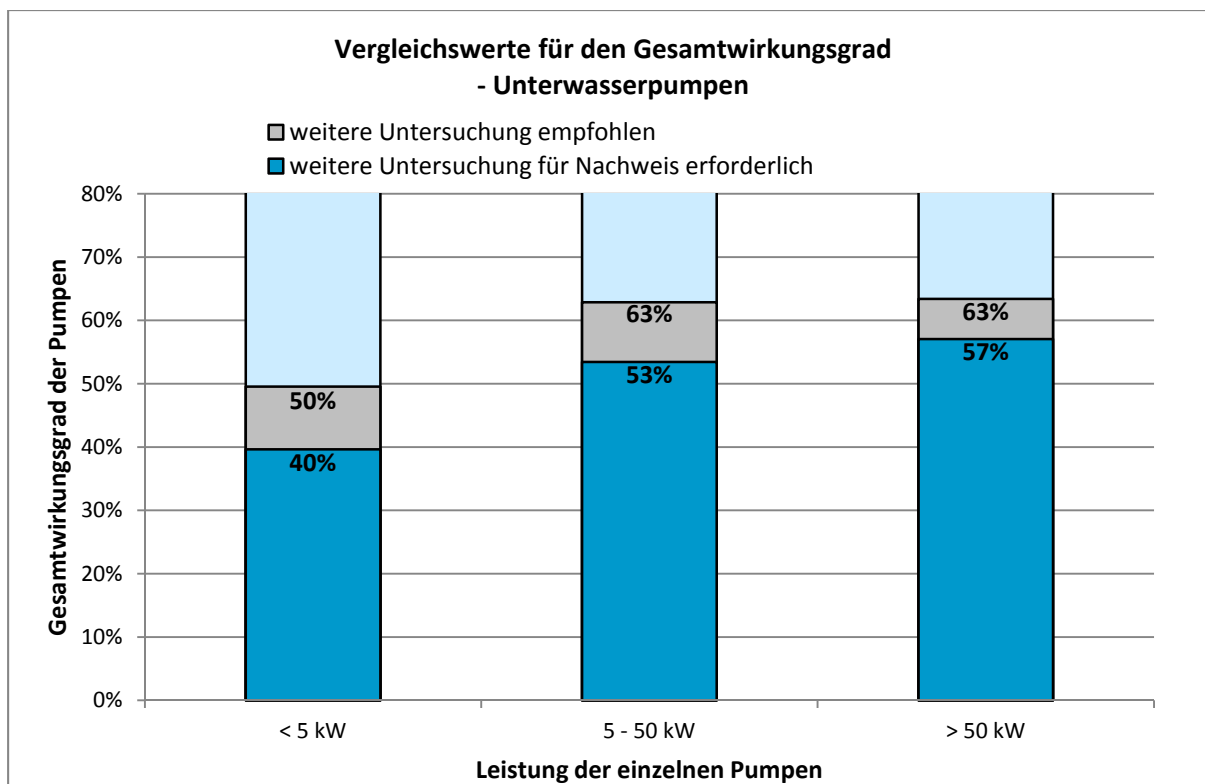


Abbildung 43. Vergleichswerte für Gesamtwirkungsgrade von Unterwasserpumpen. Der Gesamtwirkungsgrad berücksichtigt den Motorwirkungsgrad, Pumpenwirkungsgrad sowie Wärmeverluste am Stromkabel von 2% und mechanische Verluste an der Kupplung zwischen Motor und Pumpe von 1%.

## 6.3 Trinkwasserkraftwerke

### 6.3.1 Wirkungsgrad und Einsatzmöglichkeit der wichtigsten Turbinenarten für Trinkwasserkraftwerke

Neben der nutzbaren Fallhöhe und der nutzbaren Wassermenge spielt auch der zeitliche Verlauf des Durchflusses eine große Rolle für die Stromproduktion bei Trinkwasserkraftwerken. Bei schwankendem Durchsatz fällt der Wirkungsgrad je nach Turbinenart unterschiedlich stark ab.

#### **Pelton-turbine**

Die klassische Pelton-turbine erreicht hohe Wirkungsgrade im Volllast- wie auch im Teillastbetrieb. Der Durchsatz kann durch Verstellung der Düsen-nadel angepasst werden. Das Wasser muss nach der Turbine drucklos einem darunter liegenden Behälter zugeführt werden, weshalb die Turbine oberhalb des Trinkwasserbehälters angeordnet werden muss. Außerdem kann das Trinkwasser daher nicht direkt nach der Turbinierung einer hygienischen Behandlung zugeführt werden (Abel GmbH, n.d.).

- Wirkungsgrad: 85 bis 92%
- Gegendruck: kein Gegendruck möglich
- variabler Durchsatz
- Lebensdauer: 40 Jahre und mehr
- Leistungsspektrum: 1 kW bis 2 MW

#### **Gegendruck Pelton-turbine (GDPT)**

Im Gegensatz zur klassischen Pelton-turbine verfügt die GDPT nicht über einen freien Auslauf des turbinieren Wassers, sondern ist in einem geschlossenen System eingebaut, in welchem mittels eines Kompressors ein Druckluftpolster aufgebaut wird. Das Trinkwasser verlässt die GDPT mit der erforderlichen Restenergie, die dem Druck des Druckluftpolsters entspricht. Somit kann die GDPT im

Rohrkeller eines Hochbehälters eingebaut werden und im Anschluss eine Wasserbehandlung angeordnet werden (Abel GmbH, n.d.).

- Wirkungsgrad: 85 bis 91%
- Gegendruck: bis 10 bar
- variabler Durchsatz

### **Rückwärtslaufende Kreiselpumpe**

Die rückwärtslaufende Kreiselpumpe stellt den vergleichsweise kostengünstigsten Turbinentyp dar. Sie kann bereits ab einer Höhendifferenz von 20 m eingesetzt werden. Die Pumpe wird im Turbinenbetrieb vom Druckstutzen zum Saugstutzen durchströmt. Vorteil dieser Lösung ist, dass am Austritt des turbinieren Wassers ein Gegendruck aufgebaut werden kann. Außerdem sind für die Wartung keine spezifischen Fachkenntnisse nötig. Nachteil dieser Lösung ist einerseits der niedrige Wirkungsgrad und andererseits, dass der Betrieb bei schwankendem Durchsatz nicht möglich ist. Dies hat zur Folge, dass diese Technologie im Schwallbetrieb eingesetzt werden muss. Der Vorlaufbehälter, aus der die Turbine das Wasser bezieht, muss so dimensioniert werden, dass die maximal zulässige Anzahl an Ein- und Ausschaltungen der Anlage nicht überschritten wird (Abel GmbH, n.d.).

- Wirkungsgrad: 60 bis 85%
- Gegendruck: bis 25 bar
- konstanter Durchsatz
- Lebensdauer: je nach Ausführung 25 bis 35 Jahre
- Leistungsspektrum: 1 kW bis 500 kW (Bundesamt für Energie und SVGW, 2004)

### **6.3.2 Abschätzung des Potentials nach Bundesamt für Energie und SVGW (2004)**

Laut Bundesamt für Energie und SVGW (2004) können rückwärtslaufende Pumpen bereits ab einer jährlichen Stromproduktion von 25.000 kWh sinnvoll sein, wenn ein Reservoir für regelmäßigen Zufluss sorgt. Ab 75.000 kWh Jahresproduktion können auch Pelton-turbinen wirtschaftlich betrieben werden. Die Abschätzung der jährlichen Stromproduktion erfolgt mit der Faustformel:

$$E = Q \cdot H_{brutto} \quad (6-7)$$

mit  $E$  ... jährliche Stromproduktion [kWh/a]

$Q$  ... mittlere jährlicher Durchfluss [l/min]

$H_{brutto}$  ... Bruttofallhöhe (geodätische Höhendifferenz [m])

Der Faustformel liegen ein Wirkungsgrad für Turbine und Generator von 75% und Reibungsverluste von 7% zugrunde.

### **6.3.3 Investitionskosten für die elektromaschinelle Ausrüstung**

Die Gesamtkosten für die elektromaschinelle Ausrüstung werden in erster Näherung in Abhängigkeit der Leistung abgeschätzt (siehe Abbildung 44). Für die erste Näherung werden hier die Kosten basierend auf einer Pumpe als Turbine (PAT) angesetzt.

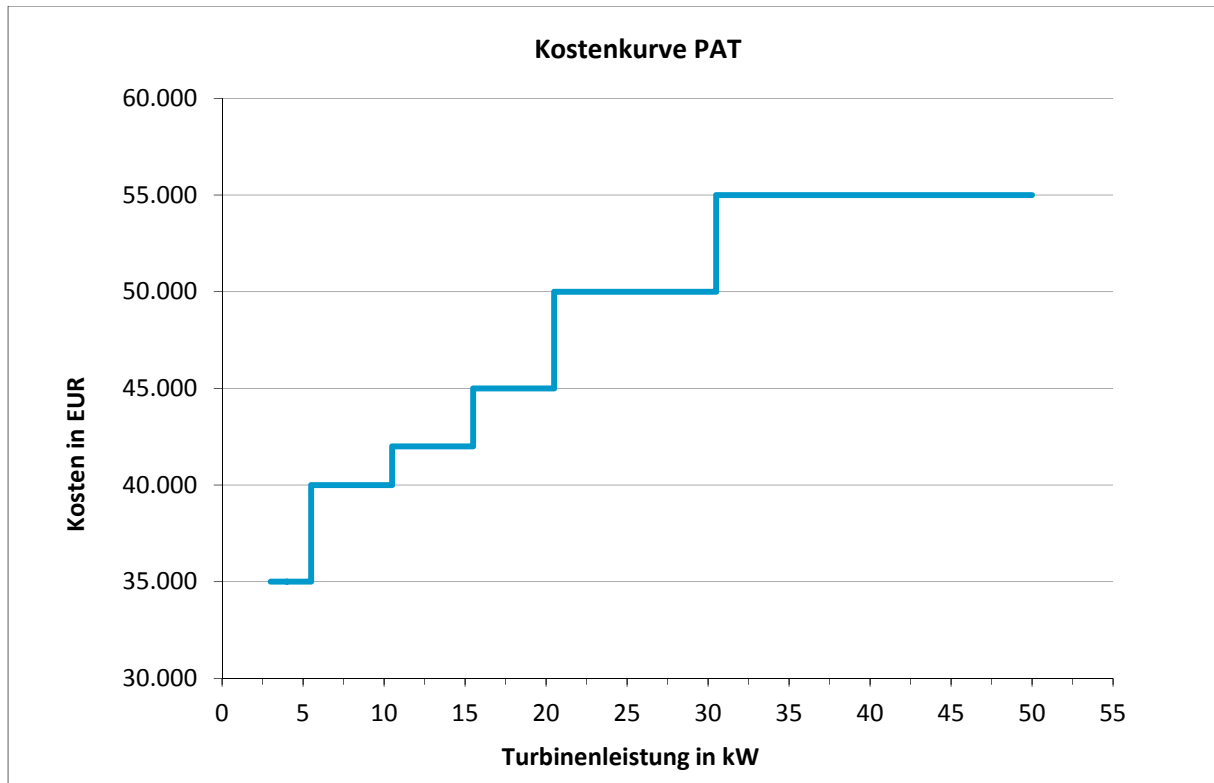


Abbildung 44. Gesamtkosten der elektromaschinellen Ausrüstung bei einer Pumpe als Turbine (PAT), Stand 2011 (Quelle: Fa. Abel Pumpen & Turbinen GmbH)

## 6.4 Wärmenutzung

Voraussetzungen für die Wärmenutzung laut Bundesamt für Energie und SVGW (2004):

### Wasserdargebot

- Wasser wird nicht aufwendig gepumpt und aufbereitet
- entsprechend großer nutzbarer Durchfluss vorhanden:  $Q_{\min} = 200 \text{ l/min}$  (reicht für ein Gebäude mit Wärmeleistungsbedarf von  $150 \text{ kW} = 40$  Wohneinheiten mit 100 Einwohnern)
- kontinuierlicher Wasserfluss vorhanden (periodisches Wasserangebot ist nicht nutzbar)

### Wärmeabnehmer

- kein Fernwärmegebiet, keine Gebäude mit bestehenden alternativen Heizanlagen
- normale oder tiefe Vorlauftemperaturen ( $30^\circ\text{C}$  bis  $50^\circ\text{C}$ )
- große Wärmeabnehmer: als untere ökonomische Grenze gilt ein Wärmeleistungsbedarf von  $150 \text{ kW}$  (z.B. Schule, Heime, Dienstleistungsbauten oder Neubaugebiete)
- maximale Entfernung zwischen Wasserleitung und Wärmeabnehmer:  $0,5 \text{ m}$  (Verbindungsleitung in bebautem Gebiet) bis  $1 \text{ m}$  (Verbindungsleitung in unbebautem Gebiet) je  $\text{kW}$  Wärmeleistungsbedarf

## 7 Literatur

- Abel GmbH. (n.d.). *Trinkwasser – Energie*. Retrieved 25 July, 2011, from [http://abel-pumpen.at/download/energie\\_aus\\_trink\\_und\\_abwasser.pdf](http://abel-pumpen.at/download/energie_aus_trink_und_abwasser.pdf)
- BGBl 2011/25. 2011 Ökostromverordnung - ÖSVO 2011.
- Bundesamt für Energie BFE. (1995). *Wahl, Dimensionierung und Abnahme einer Kleinturbine - Kleinwasserkraftwerke*. Retrieved from [http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de\\_93803341\\_1.PDF&endung=Wahl,%20Dimensionierung%20und%20Abnahme%20einer%20Kleinturbine%20-%20Kleinwasserkraftwerke](http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_93803341_1.PDF&endung=Wahl,%20Dimensionierung%20und%20Abnahme%20einer%20Kleinturbine%20-%20Kleinwasserkraftwerke)
- Bundesamt für Energie BFE. (2011). *Analyse und Vorgehen zur energetischen Optimierung von Pumpen bei Wasserversorgungen*. Retrieved 10 August, 2011, from <http://www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file=000000010605.pdf&name=000000290390>
- Bundesamt für Energie und SVGW. 2002 *Energie in Wasserversorgungen - Betriebskostenoptimierung mit Grob- und Feinanalysen*.
- Bundesamt für Energie und SVGW. 2004 *Energie in der Wasserversorgung - Ratgeber zur Energiekosten- und Betriebsoptimierung*.
- Deutsche Energie-Agentur GmbH. (2007). *Wärme aus Erneuerbaren Energien. Kosten sparen – Wohnwert steigern – Umwelt schonen*. Retrieved 23 November, 2011, from <http://www.dena.de/>
- DVGW - Forschungsstelle TUHH. 2008 *Wissenschaftlich Untersuchung zum Projekt: Thermischer Energie aus dem Trinkwasserversorgungsnetz (Untersuchungsbericht Entwurf 13.05.2008)*.
- DVGW. 2010a DVGW-Information: "Thermische Energienutzung aus Trinkwasser". *DVGW energie wasser praxis*, 12/2010, 84-86.
- DVGW. 2010b *DVGW-Information: Wasser Nr. 77 Handbuch Energieeffizienz/Energieeinsparung in der Wasserversorgung*. DVGW, DBU, Bonn und Osnabrück.
- DVGW. 2010c *Technische Regel - Arbeitsblatt: W 610 (A) Pumpensysteme in der Trinkwasserversorgung*. DVGW, Bonn.
- Energie-Control Austria. (2010). *Voraussetzungen für die Förderung einer Ökostromanlage*. Retrieved 1 July, 2011, from [http://www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/oeko-energie/dokumente/pdfs/leitfaden%20foerderung%20oekostromanlagen%20stand%20maerz%202010\\_1.pdf](http://www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/oeko-energie/dokumente/pdfs/leitfaden%20foerderung%20oekostromanlagen%20stand%20maerz%202010_1.pdf)
- Energie-Control Austria. (n.d.). *Entwicklung der geförderten Einspeisetarife für Ökostrom und des Marktpreises von 2003*. Retrieved 16 September, 2011, from <http://e-control.at/de/industrie/oeko-energie/oekostrommarkt/marktpreise-gem-paragraph-20>
- Enselin, A. (2003). *Leitfaden zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Energiesparinvestitionen im Gebäudebestand*. Retrieved 23 August, 2011, from [http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/klima\\_altbau/leitfaden\\_wirtschaftlichkeit.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/leitfaden_wirtschaftlichkeit.pdf)
- European Central Bank. (2011). *Euro area (changing composition) - Money Market - Euribor 3-month - Historical close, average of observations through period - Euro*. Retrieved 22 August, 2011, from [http://sdw.ecb.europa.eu/quickview.do?SERIES\\_KEY=143.FM.A.U2.EUR.RT.MM.EURIBOR3MD.HSTA](http://sdw.ecb.europa.eu/quickview.do?SERIES_KEY=143.FM.A.U2.EUR.RT.MM.EURIBOR3MD.HSTA)
- European Commission - JRC. (2004). *European Guide to Pump efficiency for Single Stage Centrifugal Pumps*. Retrieved 17 January, 2011, from [http://www.europump.org/p226/files/EU\\_pumpguide\\_final.pdf](http://www.europump.org/p226/files/EU_pumpguide_final.pdf)
- European Small Hydropower Association. 2004 *Handbuch zur Planung und Errichtung von Kleinwasserkraftwerken*.
- Giesecke, J., & Mosonyi, E. 2009 *Wasserkraftanlagen. Planung, Bau und Betrieb*. Springer, Berlin Heidelberg.
- Gülich, J. F. 2010 *Kreiselpumpen. Handbuch für Entwicklung, Anlagenplanung und Betrieb*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau (IWHW). 2009 *Wasserkraftpotentialstudie Land Salzburg*. Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau (IWHW), Universität für Bodenkultur Wien, Wien.
- ITT Water & Wastewater. 2008 *Vogel Select - Selection Program*, Stockerau.
- ITT Water & Wastewater. 2011 *Vogel Select - Selection Program*, Stockerau.
- Moser, H. 2010 *Potentiale von Trinkwasserkraftwerken im Land Salzburg: Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau (IWHW)*.
- Mutschmann, J., & Stimmelmayer, F. 2011 *Taschenbuch der Wasserversorgung*. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden.

- Pap, E. J. 2008 Trinkwasserkraftwerke. *ÖVGW Forum Gas Wasser Wärme*, 4/2008, 6-8.
- Statistik Austria. (2011). *Verbraucherpreisindizes*. Retrieved 28 August, 2011, from [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/preise/verbraucherpreisindex\\_vpi\\_hvpi/zeitreihen\\_und\\_verkettungen/index.html#index2](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/preise/verbraucherpreisindex_vpi_hvpi/zeitreihen_und_verkettungen/index.html#index2)
- Tanner, R. (2004). *Die Bestimmung des Energiesparpotentials bei Pumpen*. Retrieved 14 March, 2011, from <http://www.semafor.ch/service/mcp-r/EnergiesparpotentialBeiPumpen.pdf>
- Universität für Bodenkultur - SIG. (2010). *Wasserverbrauch und Wasserbedarf - Teil 1: Literaturstudie zum Wasserverbrauch - Einflussfaktoren, Entwicklung und Prognosen*. Retrieved 22 November, 2011, from [http://www.lebensministerium.at/publikationen/wasser/wasserwirtschaft\\_wasserpolitik/wasserverbrauch\\_und\\_wasserbedarf.html](http://www.lebensministerium.at/publikationen/wasser/wasserwirtschaft_wasserpolitik/wasserverbrauch_und_wasserbedarf.html)
- Verordnung (EG) Nr. 640/2009 der Kommission vom 22. Juli 2009.

## Anhang A. Grobanalyse: Stromverbrauch

### 1 WVU 10

#### 1.1 Überblick über den Stromverbrauch

Der **Gesamtstromverbrauch bezogen auf die Systemeinspeisung** (spezifischer Gesamtstromverbrauch in kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) beträgt **0,54 kWh/m<sup>3</sup>**. Zum Vergleich: Abbildung 1 zeigt diese Kennzahl bei 12 Wasserversorgungsunternehmen. Ein spezifischer Gesamtstromverbrauch von 1 kWh/m<sup>3</sup> bedeutet, dass eine Person durch einen täglichen Wasserverbrauch von 120 Litern in einem Jahr einen Stromverbrauch von 43,8 kWh verursacht. Das entspricht einer Brenndauer einer 10 W Energiesparlampe von 4.380 Stunden.

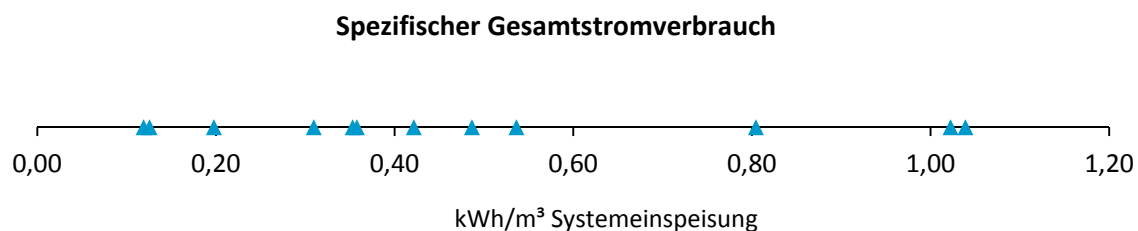


Abbildung 1. Spezifischer Gesamtstromverbrauch (kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) von 12 österreichischen Wasserversorgungsunternehmen

Abbildung 2 zeigt den Stromverbrauch aufgeteilt nach folgenden Bereichen:

- Aufbereitung und Desinfektion
- Pumpen: Brunnen, Pumpwerke, Drucksteigerungsanlagen (DSA)
- Speicherbauwerke
- Sonstige Stromverbraucher (z.B. Bürogebäude, Lagergebäude, Rohrbruchsicherungen)

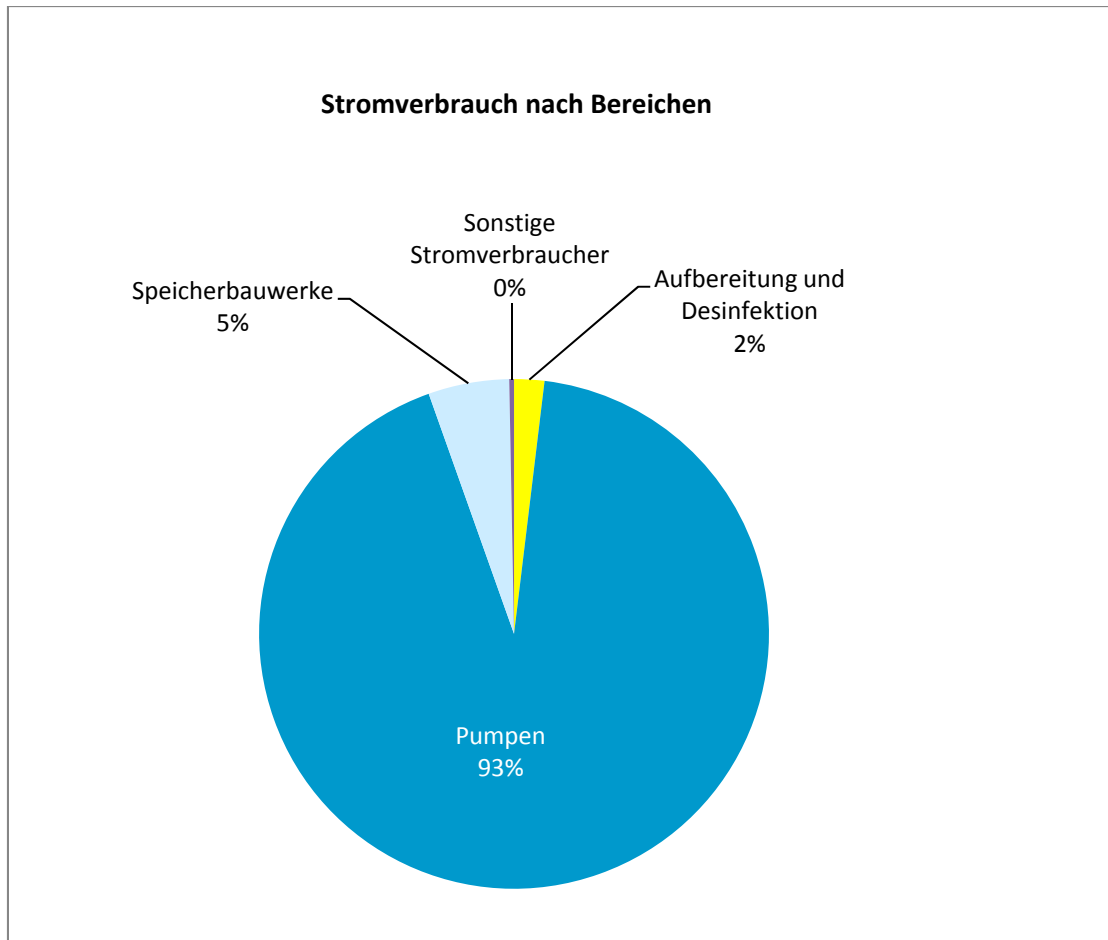


Abbildung 2. Stromverbrauch nach Bereichen

Der Gesamtstromverbrauch wurde auf Basis der aufgezeichneten Betriebsstunden und der Nennleistung der Stromverbraucher für das Jahr 2010 aufgeteilt.

## 1.2 Stromverbrauch der Pumpen

### 1.2.1 Stromverbrauch und Gesamtwirkungsgrad

Tabelle 1 zeigt die erhobenen Daten zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie (aus Förderhöhe und Fördermenge) zum Stromverbrauch. Unplausible Gesamtwirkungsgrade ergeben sich aufgrund von ungenauen bzw. fehlerhaften Angaben der Förderhöhe. Dies gilt insbesondere für Netzpumpen mit schwankenden Druckverhältnissen. In solchen Fällen muss für eine Beurteilung der Pumpen eine kontinuierliche Erfassung von Druck und Wasserzählerstand erfolgen. Eine Anleitung für eine derartige Pumpenbeurteilung bietet der "Leitfaden zur Optimierung der Energienutzung bei Wasserversorgungsanlagen", der vom Lebensministerium zur Verfügung gestellt wird.

Tabelle 1. Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie zum Stromverbrauch

| Name der Anlage    | Pumpenanzahl | Aufstellung | mittlere Leistung in kW | Fördermenge in m <sup>3</sup> /a | Förderhöhe in m | Stromverbrauch in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |
|--------------------|--------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| Brunnen 2 (VFB)    | 1            | UWP         | 7,5                     | 86.278                           | 6               | 8.355                   | 18%                     |
| Brunnen 3 (VFB)    | 2            | UWP         | 5,5                     | 94.306                           | 7               | 6.594                   | 28%                     |
| Brunnen 4 (HFB)    | 3            | UWP         | 11,0                    | 300.994                          | 5               | 21.246                  | 18%                     |
| Zwischenpumpwerk   | 2            | trocken     | 11,0                    | 481.578                          | 2               | 41.130                  | 8%                      |
| Reinwasserpumpwerk | 5            | trocken     | 22,4                    | 474.210                          | 51              | 160.696                 | 41%                     |

Tabelle 2 zeigt den Vergleich des so berechneten Gesamtwirkungsgrads mit den entsprechenden Richtwerten. Die angegebenen Richtwerte für den Gesamtwirkungsgrad von Pumpenaggregaten sind abhängig von der Pumpenaufstellung (trocken aufgestellt oder Unterwasserpumpen) und der Nennleistung. Außerdem ist der Stromverbrauch der Pumpenanlagen grafisch dargestellt.

Tabelle 2. Pumpenanlagen: Stromverbrauch, berechneter Gesamtwirkungsgrad und Vergleich mit Richtwerten

| Name der Anlage    | Stromverbrauch in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |           |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|
|                    |                         | Ist                     | Richtwert |
| Brunnen 2 (VFB)    | 8.355                   | 18%                     | 53%       |
| Brunnen 3 (VFB)    | 6.594                   | 28%                     | 53%       |
| Brunnen 4 (HFB)    | 21.246                  | 18%                     | 53%       |
| Zwischenpumpwerk   | 41.130                  | 8%                      | 56%       |
| Reinwasserpumpwerk | 160.696                 | 41%                     | 56%       |

(blauer Balken stellt die Stromverbräuche in Bezug zum Gesamtstromverbrauch dar)

### 1.2.2 Stromverbrauch durch Wasserverluste

Tabelle 3 zeigt den Stromverbrauch, der durch Wasserverluste verursacht wird. Eine Reduktion von vermeidbaren realen Wasserverlusten führt direkt zu einer Reduktion des Stromverbrauchs von Pumpen sowie Aufbereitungs- und Desinfektionsanlagen.

Tabelle 3. Stromverbrauch durch Wasserverluste

|  |               |
|--|---------------|
| <b>Stromverbrauch durch Aufbereitung &amp; Desinfektion und Pumpen</b> |               |
| in kWh/a   | 249.085       |
| in kWh/m <sup>3</sup> Systemeinspeisung                                | 0,51          |
| <b>Reale Verluste</b>  |               |
| in %   | 7%            |
| in m <sup>3</sup> /a   | 32.562        |
| <b>Stromverbrauch durch reale Verluste in kWh/a</b>                    | <b>16.513</b> |



## 2 WVU 13

### 2.1 Überblick über den Stromverbrauch

Der **Gesamtstromverbrauch bezogen auf die Systemeinspeisung** (spezifischer Gesamtstromverbrauch in kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) beträgt **0,31 kWh/m<sup>3</sup>**. Zum Vergleich: Abbildung 1 zeigt diese Kennzahl bei 12 Wasserversorgungsunternehmen. Ein spezifischer Gesamtstromverbrauch von 1 kWh/m<sup>3</sup> bedeutet, dass eine Person durch einen täglichen Wasserverbrauch von 120 Litern in einem Jahr einen Stromverbrauch von 43,8 kWh verursacht. Das entspricht einer Brenndauer einer 10 W Energiesparlampe von 4.380 Stunden.

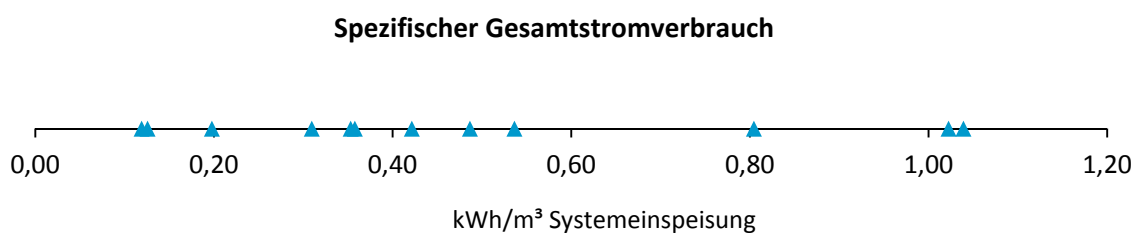


Abbildung 1. Spezifischer Gesamtstromverbrauch (kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) von 12 österreichischen Wasserversorgungsunternehmen

Dieser Gesamtstromverbrauch wird überwiegend durch Pumpen verursacht.

### 2.2 Stromverbrauch der Pumpen

Der Gesamtstromverbrauch wurde auf Basis der aufgezeichneten Betriebsstunden und der Nennleistung der Stromverbraucher für das Jahr 2009 aufgeteilt.

#### 2.2.1 Stromverbrauch und Gesamtwirkungsgrad

Tabelle 1 zeigt die erhobenen Daten zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie (aus Förderhöhe und Fördermenge) zum Stromverbrauch. Unplausible Gesamtwirkungsgrade ergeben sich aufgrund von ungenauen bzw. fehlerhaften Angaben der Förderhöhe. Dies gilt insbesondere für Netzpumpen mit schwankenden Druckverhältnissen. In solchen Fällen muss für eine Beurteilung der Pumpen eine kontinuierliche Erfassung von Druck und Wasserzählerstand erfolgen. Eine Anleitung für eine derartige Pumpenbeurteilung bietet der "Leitfaden zur Optimierung der Energienutzung bei Wasserversorgungsanlagen", der vom Lebensministerium zur Verfügung gestellt wird.

Tabelle 1. Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie zum Stromverbrauch

| Name der Anlage | Pumpenanzahl | Aufstellung | mittlere Leistung in kW | Fördermenge in m <sup>3</sup> /a | Förderhöhe in m | Stromverbrauch in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |
|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| Pumpwerk 1      | 1            | UWP         | 18,5                    | 458.996                          | 51              | 116.408                 | 55%                     |
| Pumpwerk 3      | 3            | trocken     | 37,0                    | 399                              | 56              | 116                     | 53%                     |
| Pumpwerk 3      | 2            | trocken     | 45,0                    | 703.521                          | 56              | 204.377                 | 53%                     |
| Pumpwerk 3      | 3            | UWP         | 15,0                    | 703.920                          | 16              | 38.897                  | 80%                     |

Tabelle 2 zeigt den Vergleich des so berechneten Gesamtwirkungsgrads mit den entsprechenden Richtwerten. Die angegebenen Richtwerte für den Gesamtwirkungsgrad von Pumpenaggregaten sind abhängig von der Pumpenaufstellung (trocken aufgestellt oder Unterwasserpumpen) und der Nennleistung. Außerdem ist der Stromverbrauch der Pumpenanlagen grafisch dargestellt.

Tabelle 2. Pumpenanlagen: Stromverbrauch, berechneter Gesamtwirkungsgrad und Vergleich mit Richtwerten

| Name der Anlage | Stromverbrauch in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |           |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------|
|                 |                         | Ist                     | Richtwert |
| Pumpwerk 1      | 116.408                 | 55%                     | 53%       |
| Pumpwerk 3      | 116                     | 53%                     | 56%       |
| Pumpwerk 3      | 204.377                 | 53%                     | 56%       |
| Pumpwerk 3      | 38.897                  | 80%                     | 53%       |

### 2.2.2 Stromverbrauch durch Wasserverluste

Tabelle 3 zeigt den Stromverbrauch, der durch Wasserverluste verursacht wird. Eine Reduktion von vermeidbaren realen Wasserverlusten führt direkt zu einer Reduktion des Stromverbrauchs von Pumpen sowie Aufbereitungs- und Desinfektionsanlagen.

Tabelle 3. Stromverbrauch durch Wasserverluste

| Stromverbrauch durch Aufbereitung & Desinfektion und Pumpen |               |
|---|---------------|
| in kWh/a  | 359.798       |
| in kWh/m <sup>3</sup> Systemeinspeisung                     | 0,31          |
| Reale Verluste  |               |
| in %  | 9%            |
| in m <sup>3</sup> /a  | 110.128       |
| <b>Stromverbrauch durch reale Verluste in kWh/a</b>         | <b>34.073</b> |

## 3 WVU 11

### 3.1 Überblick über den Stromverbrauch

Der **Gesamtstromverbrauch bezogen auf die Systemeinspeisung** (spezifischer Gesamtstromverbrauch in kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) beträgt **0,36 kWh/m<sup>3</sup>**. Zum Vergleich: Abbildung 1 zeigt diese Kennzahl bei 12 Wasserversorgungsunternehmen. Ein spezifischer Gesamtstromverbrauch von 1 kWh/m<sup>3</sup> bedeutet, dass eine Person durch einen täglichen Wasserverbrauch von 120 Litern in einem Jahr einen Stromverbrauch von 43,8 kWh verursacht. Das entspricht einer Brenndauer einer 10 W Energiesparlampe von 4.380 Stunden.

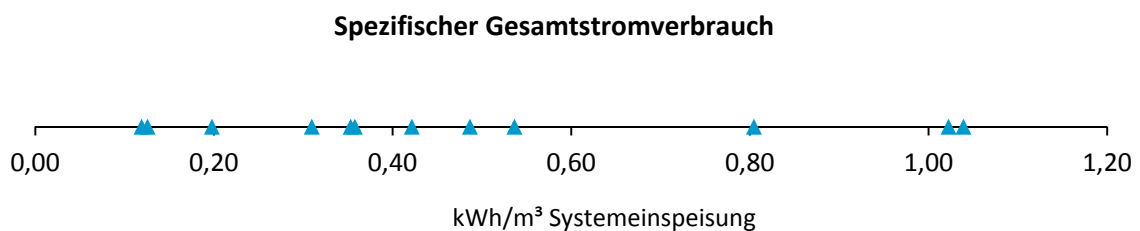


Abbildung 1. Spezifischer Gesamtstromverbrauch (kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) von 12 österreichischen Wasserversorgungsunternehmen

Abbildung 2 zeigt den Stromverbrauch aufgeteilt nach folgenden Bereichen:

- Aufbereitung und Desinfektion
- Pumpen: Brunnen, Pumpwerke, Drucksteigerungsanlagen (DSA)
- Speicherbauwerke
- Sonstige Stromverbraucher (z.B. Bürogebäude, Lagergebäude, Rohrbruchsicherungen)

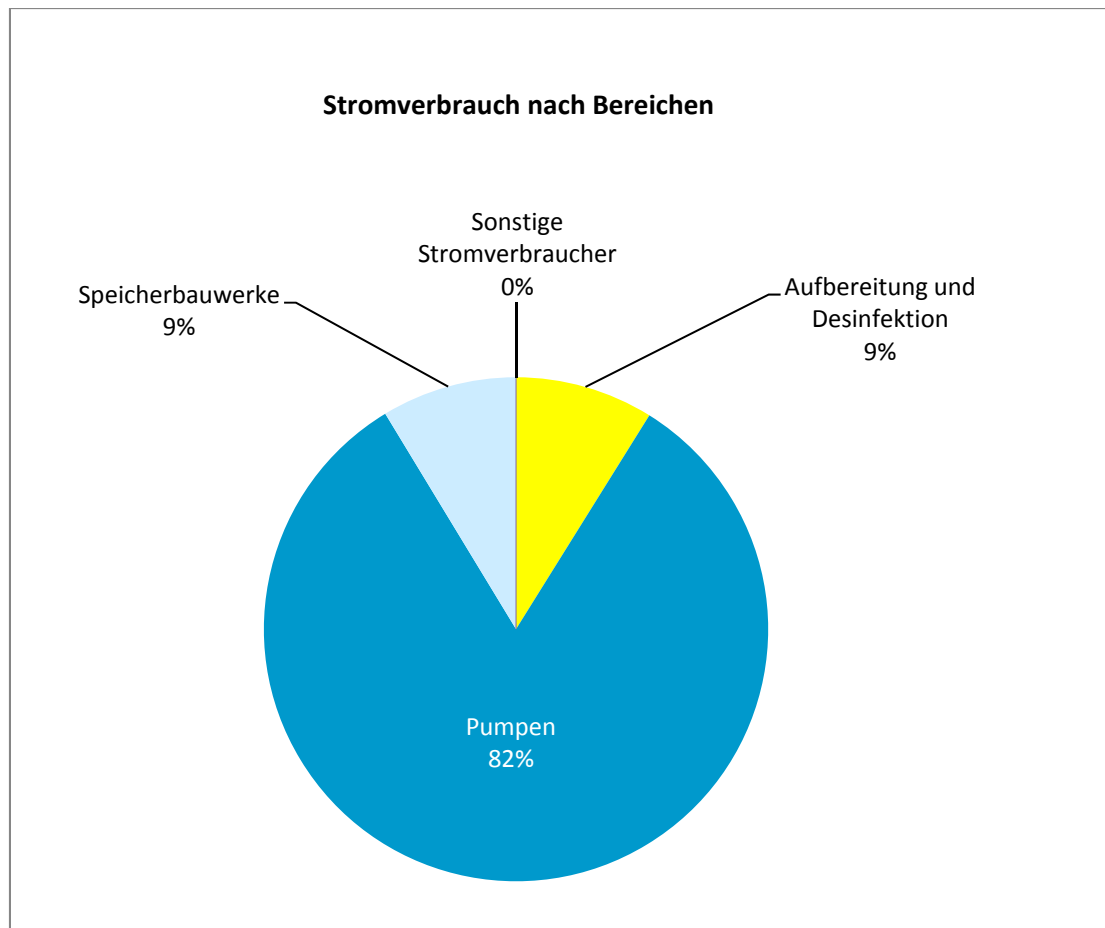


Abbildung 2. Stromverbrauch nach Bereichen

Der Gesamtstromverbrauch wurde auf Basis der aufgezeichneten Betriebsstunden und der Nennleistung der Stromverbraucher für das Jahr 2009 aufgeteilt.

## 3.2 Stromverbrauch der Pumpen

### 3.2.1 Stromverbrauch und Gesamtwirkungsgrad

Tabelle 1 zeigt die erhobenen Daten zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie (aus Förderhöhe und Fördermenge) zum Stromverbrauch. Unplausible Gesamtwirkungsgrade ergeben sich aufgrund von ungenauen bzw. fehlerhaften Angaben der Förderhöhe. Dies gilt insbesondere für Netzpumpen mit schwankenden Druckverhältnissen. In solchen Fällen muss für eine Beurteilung der Pumpen eine kontinuierliche Erfassung von Druck und Wasserzählerstand erfolgen. Eine Anleitung für eine derartige Pumpenbeurteilung bietet der "Leitfaden zur Optimierung der Energienutzung bei Wasserversorgungsanlagen", der vom Lebensministerium zur Verfügung gestellt wird.

Tabelle 1. Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie zum Stromverbrauch

| Name der Anlage | Pumpenanzahl | Aufstellung | mittlere Leistung in kW | Fördermenge in m <sup>3</sup> /a | Förderhöhe in m | Stromverbrauch in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |
|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| Wasserwerk      | 3            | UWP         | 13,0                    | 504.926                          | n.v.            | 17.507                  |                         |
| Netzpumpwerk    | 4            | trocken     | 30,0                    | 504.926                          | 46              | 130.465                 | 48%                     |

Tabelle 2 zeigt den Vergleich des so berechneten Gesamtwirkungsgrads mit den entsprechenden Richtwerten. Die angegebenen Richtwerte für den Gesamtwirkungsgrad von Pumpenaggregaten sind abhängig von der Pumpenaufstellung (trocken aufgestellt oder Unterwasserpumpen) und der Nennleistung. Außerdem ist der Stromverbrauch der Pumpenanlagen grafisch dargestellt.

Tabelle 2. Pumpenanlagen: Stromverbrauch, berechneter Gesamtwirkungsgrad und Vergleich mit Richtwerten

| Name der Anlage | Stromverbrauch<br>in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |           |
|-----------------|----------------------------|-------------------------|-----------|
|                 |                            | Ist                     | Richtwert |
| Wasserwerk      | 17.507                     |                         | 53%       |
| Netzpumpwerk    | 130.465                    | 48%                     | 56%       |

### 3.2.2 Stromverbrauch durch Wasserverluste

Tabelle 3 zeigt den Stromverbrauch, der durch Wasserverluste verursacht wird. Eine Reduktion von vermeidbaren realen Wasserverlusten führt direkt zu einer Reduktion des Stromverbrauchs von Pumpen sowie Aufbereitungs- und Desinfektionsanlagen.

Tabelle 3. Stromverbrauch durch Wasserverluste

|  |               |
|--|---------------|
| <b>Stromverbrauch durch Aufbereitung &amp; Desinfektion und Pumpen</b> |               |
| in kWh/a   | 164.870       |
| in kWh/m <sup>3</sup> Systemeinspeisung                                | 0,33          |
| <b>Reale Verluste</b>  |               |
| in %   | 6%            |
| in m <sup>3</sup> /a   | 30.893        |
| <b>Stromverbrauch durch reale Verluste in kWh/a</b>                    | <b>10.087</b> |

## 4 WVU 07

### 4.1 Überblick über den Stromverbrauch

Der **Gesamtstromverbrauch bezogen auf die Systemeinspeisung** (spezifischer Gesamtstromverbrauch in kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) beträgt **0,20 kWh/m<sup>3</sup>**. Zum Vergleich: Abbildung 1 zeigt diese Kennzahl bei 12 Wasserversorgungsunternehmen. Ein spezifischer Gesamtstromverbrauch von 1 kWh/m<sup>3</sup> bedeutet, dass eine Person durch einen täglichen Wasserverbrauch von 120 Litern in einem Jahr einen Stromverbrauch von 43,8 kWh verursacht. Das entspricht einer Brenndauer einer 10 W Energiesparlampe von 4.380 Stunden.

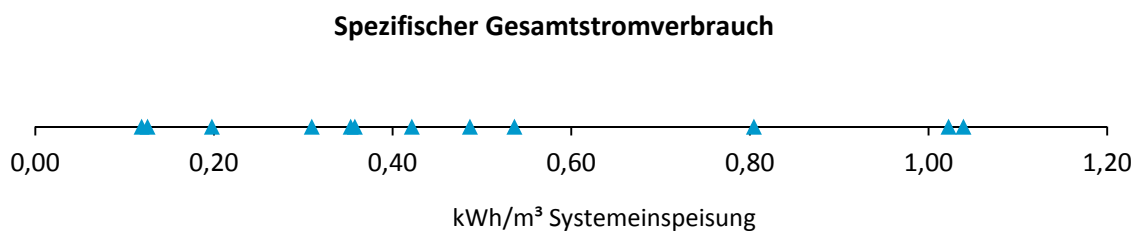


Abbildung 1. Spezifischer Gesamtstromverbrauch (kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) von 12 österreichischen Wasserversorgungsunternehmen

Abbildung 2 zeigt den Stromverbrauch aufgeteilt nach folgenden Bereichen:

- Aufbereitung und Desinfektion
- Pumpen: Brunnen, Pumpwerke, Drucksteigerungsanlagen (DSA)
- Speicherbauwerke
- Sonstige Stromverbraucher (z.B. Bürogebäude, Lagergebäude, Rohrbruchsicherungen)

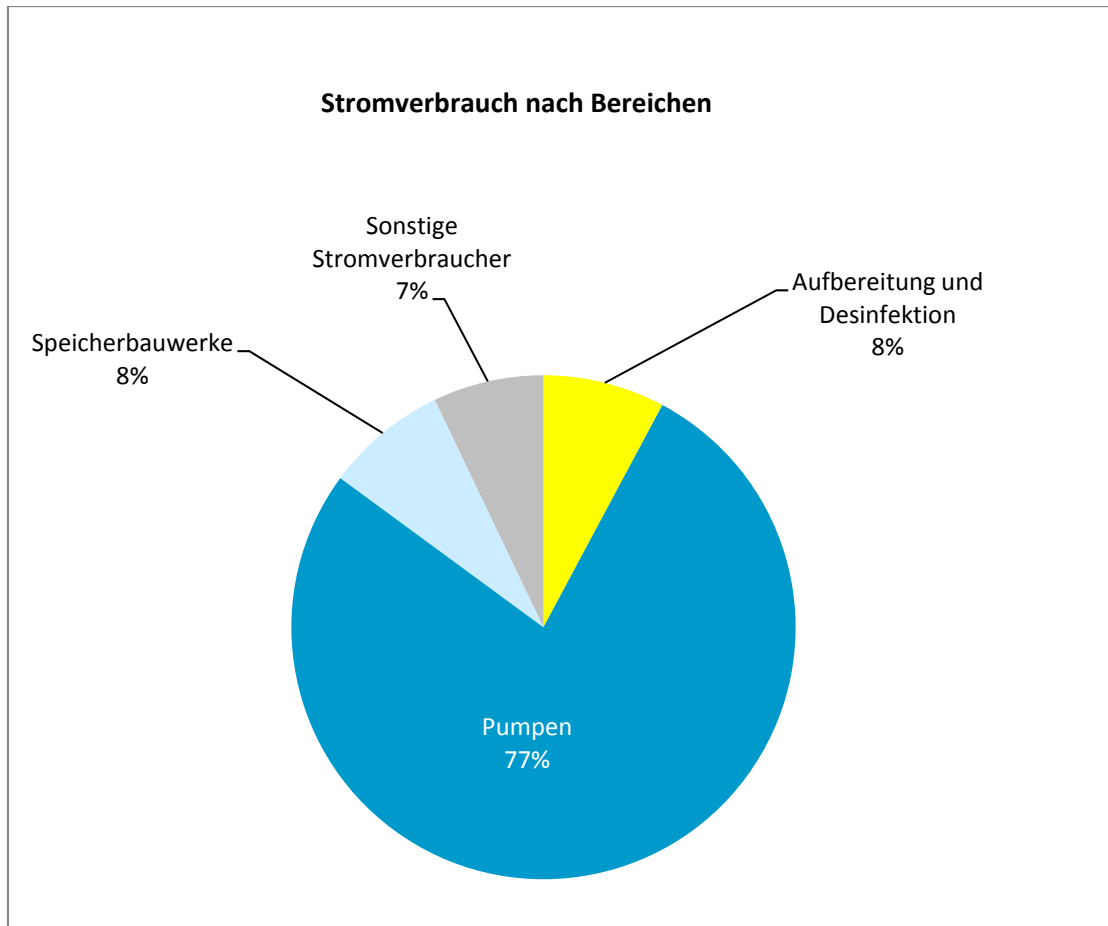


Abbildung 2. Stromverbrauch nach Bereichen

Die Berechnungen basieren auf Daten des Jahres 2009.

## 4.2 Stromverbrauch der Pumpen

### 4.2.1 Stromverbrauch und Gesamtwirkungsgrad

Tabelle 1 zeigt die erhobenen Daten zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie (aus Förderhöhe und Fördermenge) zum Stromverbrauch. Unplausible Gesamtwirkungsgrade ergeben sich aufgrund von ungenauen bzw. fehlerhaften Angaben der Förderhöhe. Dies gilt insbesondere für Netzpumpen mit schwankenden Druckverhältnissen. In solchen Fällen muss für eine Beurteilung der Pumpen eine kontinuierliche Erfassung von Druck und Wasserzählerstand erfolgen. Eine Anleitung für eine derartige Pumpenbeurteilung bietet der "Leitfaden zur Optimierung der Energienutzung bei Wasserversorgungsanlagen", der vom Lebensministerium zur Verfügung gestellt wird.

Tabelle 1. Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie zum Stromverbrauch

| Name der Anlage    | Pumpenanzahl | Aufstellung | mittlere Leistung in kW | Fördermenge in m <sup>3</sup> /a | Förderhöhe in m | Stromverbrauch in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |
|--------------------|--------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| GWG U              | 3            | UWP         | 110,0                   | 1.086.192                        | 65              | 399.702                 | 48%                     |
| PW O-F             | 4            | trocken     | 22,0                    | 439.320                          | 75              | 149.160                 | 61%                     |
| PW S-J             | 2            | trocken     | 7,5                     | 68.594                           | 55              | 29.546                  | 35%                     |
| PW K               | 2            | trocken     | 7,5                     | 69.921                           | 82              | 30.415                  | 51%                     |
| PW O               | 2            | trocken     | 2,2                     | 4.159                            | 94              | 4.001                   | 27%                     |
| DEA G              | 1            | trocken     | 2,2                     | 9.670                            | 28              | 7.643                   | 9%                      |
| PW M               | 2            | trocken     | 5,5                     | 66.189                           | 60              | 26.268                  | 41%                     |
| PW U               | 2            | trocken     | 2,2                     | 12.914                           | 117             | 17.986                  | 23%                     |
| PW B               | 2            | trocken     | 2,2                     | 4.616                            | 145             | 18.310                  | 10%                     |
| Pumpwerk S-M (GM3) | 5            | UWP         | 52,4                    | 299.021                          | 69              | 151.550                 | 37%                     |

Tabelle 2 zeigt den Vergleich des so berechneten Gesamtwirkungsgrads mit den entsprechenden Richtwerten. Die angegebenen Richtwerte für den Gesamtwirkungsgrad von Pumpenaggregaten sind abhängig von der Pumpenaufstellung (trocken aufgestellt oder Unterwasserpumpen) und der Nennleistung. Außerdem ist der Stromverbrauch der Pumpenanlagen grafisch dargestellt.

Tabelle 2. Pumpenanlagen: Stromverbrauch, berechneter Gesamtwirkungsgrad und Vergleich mit Richtwerten

| Name der Anlage    | Stromverbrauch in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |           |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|
|                    |                         | Ist                     | Richtwert |
| GWG U              | 399.702                 | 48%                     | 57%       |
| PW O-F             | 149.160                 | 61%                     | 56%       |
| PW S-J             | 29.546                  | 35%                     | 56%       |
| PW K               | 30.415                  | 51%                     | 56%       |
| PW O               | 4.001                   | 27%                     | 44%       |
| DEA G              | 7.643                   | 9%                      | 44%       |
| PW M               | 26.268                  | 41%                     | 56%       |
| PW U               | 17.986                  | 23%                     | 44%       |
| PW B               | 18.310                  | 10%                     | 44%       |
| Pumpwerk S-M (GM3) | 151.550                 | 37%                     | 57%       |

#### 4.2.2 Stromverbrauch durch Wasserverluste

Tabelle 3 zeigt den Stromverbrauch, der durch Wasserverluste verursacht wird. Eine Reduktion von vermeidbaren realen Wasserverlusten führt direkt zu einer Reduktion des Stromverbrauchs von Pumpen sowie Aufbereitungs- und Desinfektionsanlagen.



Tabelle 3. Stromverbrauch durch Wasserverluste

| <b>Stromverbrauch durch Aufbereitung &amp; Desinfektion und Pumpen</b> |                |
|--|----------------|
| in kWh/a   | 924.826        |
| in kWh/m <sup>3</sup> Systemeinspeisung                                | 0,17           |
| <b>Reale Verluste</b>  |                |
| in %   | 16%            |
| in m <sup>3</sup> /a   | 895.038        |
| <b>Stromverbrauch durch reale Verluste in kWh/a</b>                    | <b>150.501</b> |

## 5 WVU 03

### 5.1 Überblick über den Stromverbrauch

Der **Gesamtstromverbrauch bezogen auf die Systemeinspeisung** (spezifischer Gesamtstromverbrauch in kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) beträgt **0,49 kWh/m<sup>3</sup>**. Zum Vergleich: Abbildung 1 zeigt diese Kennzahl bei 12 Wasserversorgungsunternehmen. Ein spezifischer Gesamtstromverbrauch von 1 kWh/m<sup>3</sup> bedeutet, dass eine Person durch einen täglichen Wasserverbrauch von 120 Litern in einem Jahr einen Stromverbrauch von 43,8 kWh verursacht. Das entspricht einer Brenndauer einer 10 W Energiesparlampe von 4.380 Stunden.

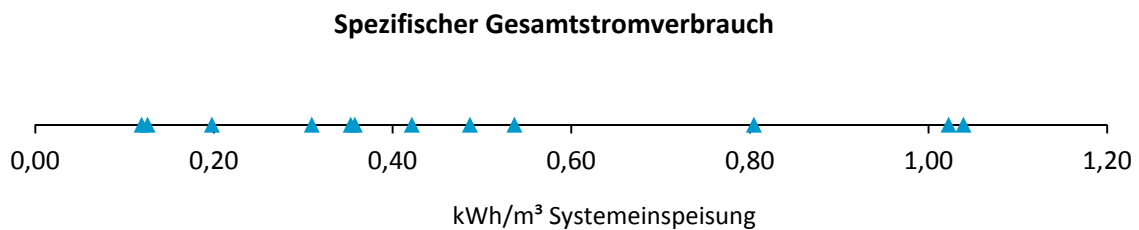


Abbildung 1. Spezifischer Gesamtstromverbrauch (kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) von 12 österreichischen Wasserversorgungsunternehmen

Dieser Gesamtstromverbrauch wird überwiegend durch Pumpen verursacht. Die Berechnungen basieren auf Daten des Jahres 2009.

### 5.2 Stromverbrauch der Pumpen

#### 5.2.1 Stromverbrauch und Gesamtwirkungsgrad

Tabelle 1 zeigt die erhobenen Daten zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie (aus Förderhöhe und Fördermenge) zum Stromverbrauch. Unplausible Gesamtwirkungsgrade ergeben sich aufgrund von ungenauen bzw. fehlerhaften Angaben der Förderhöhe. Dies gilt insbesondere für Netzpumpen mit schwankenden Druckverhältnissen. In solchen Fällen muss für eine Beurteilung der Pumpen eine kontinuierliche Erfassung von Druck und Wasserzählerstand erfolgen. Eine Anleitung für eine derartige Pumpenbeurteilung bietet der "Leitfaden zur Optimierung der Energienutzung bei Wasserversorgungsanlagen", der vom Lebensministerium zur Verfügung gestellt wird.

Im vorliegenden Fall wurde die Förderhöhe des Tiefbrunnens als erste Näherung aus aufgezeichneten Werten im Zeitraum 24.11.2011 um 12:00:00 bis 01.12.2011 um 11:45 gemittelt. Für diese Mittelung wurden nur Manometerwerte verwendet, bei denen zeitgleich auch ein Durchfluss aufgetreten ist (Mittelwert: 94,4 m).

Tabelle 1. Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie zum Stromverbrauch

| Name der Anlage | Pumpenanzahl | Aufstellung | mittlere Leistung in kW | Fördermenge in m <sup>3</sup> /a | Förderhöhe in m | Stromverbrauch in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |
|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| HB B            | 2            | trocken     | 14,0                    | 15.670                           | 138             | 9.874                   | 60%                     |
| DS P            | 2            | trocken     | 13,0                    | 15.345                           | 158             | 17.791                  | 37%                     |
| DS T            | 1            | trocken     | 4,0                     | n.v.                             | 71              | 2.862                   |                         |
| Tiefbrunnen     | 2            | UWP         | 33,6                    | 517.758                          | 94              | 171.602                 | 78%                     |

Tabelle 2 zeigt den Vergleich des so berechneten Gesamtwirkungsgrads mit den entsprechenden Richtwerten. Die angegebenen Richtwerte für den Gesamtwirkungsgrad von Pumpenaggregaten sind abhängig von der Pumpenaufstellung (trocken aufgestellt oder Unterwasserpumpen) und der Nennleistung. Außerdem ist der Stromverbrauch der Pumpenanlagen grafisch dargestellt.

Tabelle 2. Pumpenanlagen: Stromverbrauch, berechneter Gesamtwirkungsgrad und Vergleich mit Richtwerten

| Name der Anlage | Stromverbrauch in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |           |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------|
|                 |                         | Ist                     | Richtwert |
| HB B            | 9.874                   | 60%                     | 56%       |
| DS P            | 17.791                  | 37%                     | 56%       |
| DS T            | 2.862                   |                         | 44%       |
| Tiefbrunnen     | 171.602                 | 78%                     | 53%       |

### 5.2.2 Stromverbrauch durch Wasserverluste

Tabelle 3 zeigt den Stromverbrauch, der durch Wasserverluste verursacht wird. Eine Reduktion von vermeidbaren realen Wasserverlusten führt direkt zu einer Reduktion des Stromverbrauchs von Pumpen sowie Aufbereitungs- und Desinfektionsanlagen.

Tabelle 3. Stromverbrauch durch Wasserverluste

| Stromverbrauch durch Aufbereitung & Desinfektion und Pumpen |               |
|---|---------------|
| in kWh/a  | 202.129       |
| in kWh/m <sup>3</sup> Systemeinspeisung                     | 0,32          |
| Reale Verluste  |               |
| in %  | 18%           |
| in m <sup>3</sup> /a  | 110.936       |
| <b>Stromverbrauch durch reale Verluste in kWh/a</b>         | <b>35.710</b> |

## 6 WVU 04

### 6.1 Überblick über den Stromverbrauch

Der **Gesamtstromverbrauch bezogen auf die Systemeinspeisung** (spezifischer Gesamtstromverbrauch in kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) beträgt **0,13 kWh/m<sup>3</sup>**. Zum Vergleich: Abbildung 1 zeigt diese Kennzahl bei 12 Wasserversorgungsunternehmen. Ein spezifischer Gesamtstromverbrauch von 1 kWh/m<sup>3</sup> bedeutet, dass eine Person durch einen täglichen Wasserverbrauch von 120 Litern in einem Jahr einen Stromverbrauch von 43,8 kWh verursacht. Das entspricht einer Brenndauer einer 10 W Energiesparlampe von 4.380 Stunden.

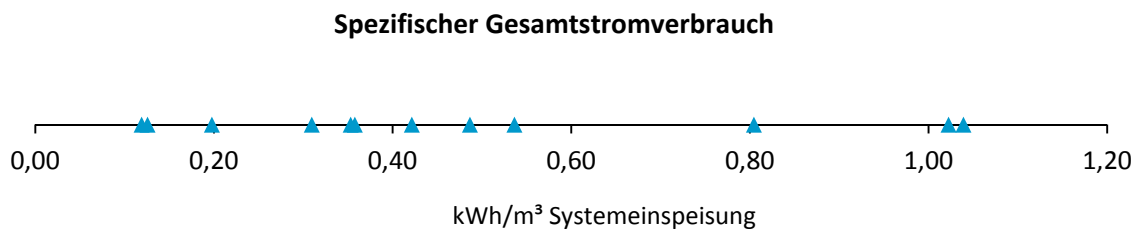


Abbildung 1. Spezifischer Gesamtstromverbrauch (kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) von 12 österreichischen Wasserversorgungsunternehmen

Dieser Gesamtstromverbrauch wird überwiegend durch Pumpen verursacht. Die Berechnungen basieren auf Daten des Jahres 2009 (Stromverbrauch im Zeitraum 2010-01 bis 2010-07).

### 6.2 Stromverbrauch der Pumpen

#### 6.2.1 Stromverbrauch und Gesamtwirkungsgrad

Tabelle 1 zeigt die erhobenen Daten zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie (aus Förderhöhe und Fördermenge) zum Stromverbrauch. Unplausible Gesamtwirkungsgrade ergeben sich aufgrund von ungenauen bzw. fehlerhaften Angaben der Förderhöhe. Dies gilt insbesondere für Netzpumpen mit schwankenden Druckverhältnissen. In solchen Fällen muss für eine Beurteilung der Pumpen eine kontinuierliche Erfassung von Druck und Wasserzählerstand erfolgen. Eine Anleitung für eine derartige Pumpenbeurteilung bietet der "Leitfaden zur Optimierung der Energienutzung bei Wasserversorgungsanlagen", der vom Lebensministerium zur Verfügung gestellt wird.

Tabelle 1. Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie zum Stromverbrauch

| Name der Anlage | Pumpenanzahl | Aufstellung | mittlere Leistung in kW | Fördermenge in m <sup>3</sup> /a | Förderhöhe in m | Stromverbrauch in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |
|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| TB M            | 3            | trocken     | 22,0                    | 67.988                           | 51              | 26.493                  | 36%                     |
| HB S            | 2            | trocken     | 15,0                    | n.v.                             | 83              | 5.252                   |                         |
| DEA C           | 2            | trocken     | 5,5                     | 0                                | 22              | 423                     |                         |

Tabelle 2 zeigt den Vergleich des so berechneten Gesamtwirkungsgrads mit den entsprechenden Richtwerten. Die angegebenen Richtwerte für den Gesamtwirkungsgrad von Pumpenaggregaten sind

abhängig von der Pumpenaufstellung (trocken aufgestellt oder Unterwasserpumpen) und der Nennleistung. Außerdem ist der Stromverbrauch der Pumpenanlagen grafisch dargestellt.

Tabelle 2. Pumpenanlagen: Stromverbrauch, berechneter Gesamtwirkungsgrad und Vergleich mit Richtwerten

| Name der Anlage | Stromverbrauch<br>in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |           |
|-----------------|----------------------------|-------------------------|-----------|
|                 |                            | Ist                     | Richtwert |
| TB M            | 26.493                     | 36%                     | 56%       |
| HB S            | 5.252                      |                         | 56%       |
| DEA C           | 423                        |                         | 56%       |

### 6.2.2 Stromverbrauch durch Wasserverluste

Tabelle 3 zeigt den Stromverbrauch, der durch Wasserverluste verursacht wird. Eine Reduktion von vermeidbaren realen Wasserverlusten führt direkt zu einer Reduktion des Stromverbrauchs von Pumpen sowie Aufbereitungs- und Desinfektionsanlagen.

Tabelle 3. Stromverbrauch durch Wasserverluste

|  |              |
|--|--------------|
| <b>Stromverbrauch durch Aufbereitung &amp; Desinfektion und Pumpen</b> |              |
| in kWh/a   | 32.467       |
| in kWh/m <sup>3</sup> Systemeinspeisung                                | 0,07         |
| <b>Reale Verluste</b>  |              |
| in %   | 16%          |
| in m <sup>3</sup> /a   | 71.291       |
| <b>Stromverbrauch durch reale Verluste in kWh/a</b>                    | <b>5.173</b> |

## 7 WVU 01

### 7.1 Überblick über den Stromverbrauch

Der **Gesamtstromverbrauch bezogen auf die Systemeinspeisung** (spezifischer Gesamtstromverbrauch in kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) beträgt **0,35 kWh/m<sup>3</sup>**. Zum Vergleich: Abbildung 1 zeigt diese Kennzahl bei 12 Wasserversorgungsunternehmen. Ein spezifischer Gesamtstromverbrauch von 1 kWh/m<sup>3</sup> bedeutet, dass eine Person durch einen täglichen Wasserverbrauch von 120 Litern in einem Jahr einen Stromverbrauch von 43,8 kWh verursacht. Das entspricht einer Brenndauer einer 10 W Energiesparlampe von 4.380 Stunden.

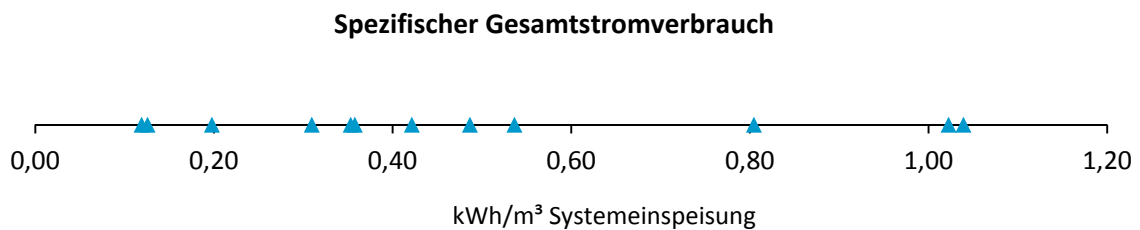


Abbildung 1. Spezifischer Gesamtstromverbrauch (kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) von 12 österreichischen Wasserversorgungsunternehmen

Abbildung 2 zeigt den Stromverbrauch aufgeteilt nach folgenden Bereichen:

- Aufbereitung und Desinfektion
- Pumpen: Brunnen, Pumpwerke, Drucksteigerungsanlagen (DSA)
- Speicherbauwerke
- Sonstige Stromverbraucher (z.B. Bürogebäude, Lagergebäude, Rohrbruchsicherungen)

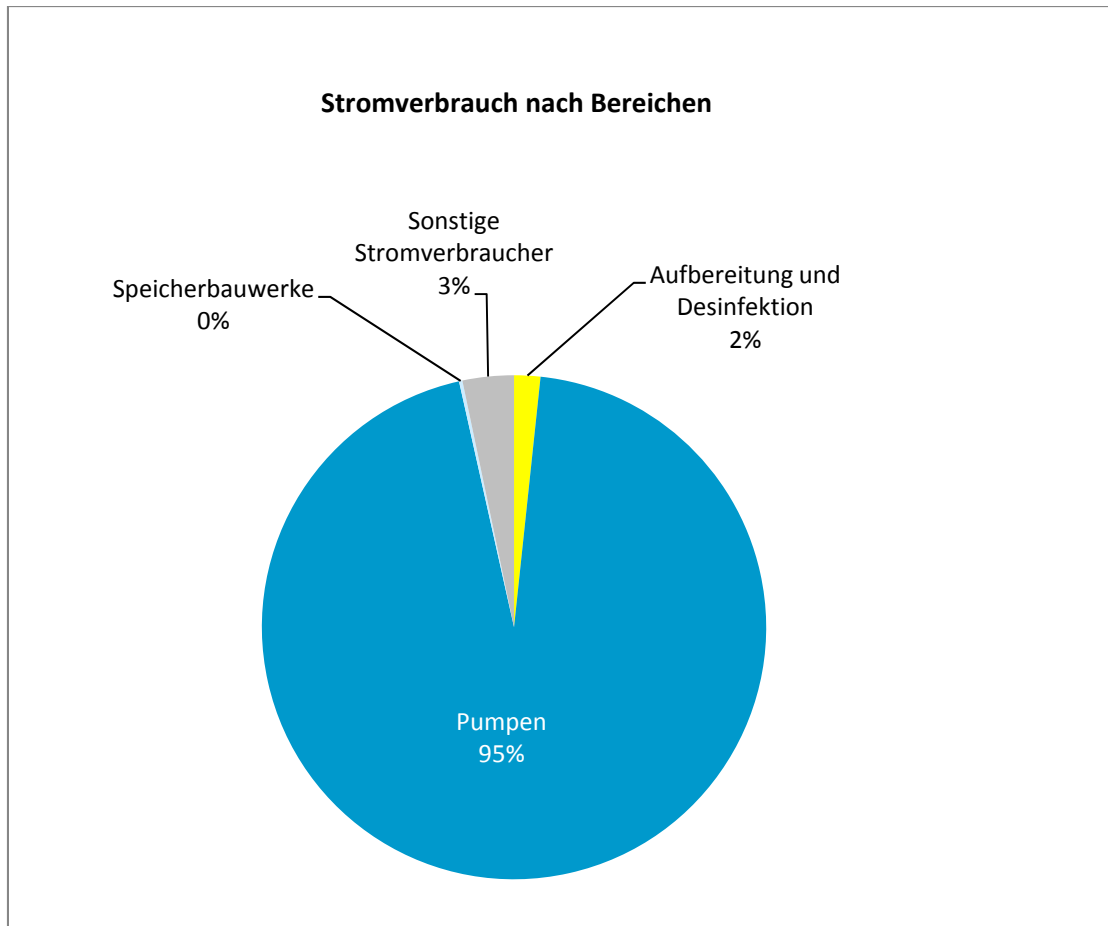


Abbildung 2. Stromverbrauch nach Bereichen

Die Berechnungen basieren auf Daten des Jahres 2010.

## 7.2 Stromverbrauch der Pumpen

### 7.2.1 Stromverbrauch und Gesamtwirkungsgrad

Tabelle 1 zeigt die erhobenen Daten zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie (aus Förderhöhe und Fördermenge) zum Stromverbrauch. Unplausible Gesamtwirkungsgrade ergeben sich aufgrund von ungenauen bzw. fehlerhaften Angaben der Förderhöhe. Dies gilt insbesondere für Netzpumpen mit schwankenden Druckverhältnissen. In solchen Fällen muss für eine Beurteilung der Pumpen eine kontinuierliche Erfassung von Druck und Wasserzählerstand erfolgen. Eine Anleitung für eine derartige Pumpenbeurteilung bietet der "Leitfaden zur Optimierung der Energienutzung bei Wasserversorgungsanlagen", der vom Lebensministerium zur Verfügung gestellt wird.

Tabelle 1. Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie zum Stromverbrauch

| Name der Anlage | Pumpenanzahl | Aufstellung | mittlere Leistung in kW | Fördermenge in m <sup>3</sup> /a | Förderhöhe in m | Stromverbrauch in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |
|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| Brunnenanlage H | 4            | UWP         | 45,0                    | 1.259.328                        | 76              | 501.840                 | 52%                     |
| Brunnenanlage S | 1            | UWP         | 18,0                    | 22.822                           | 82              | 9.918                   | 51%                     |
| DS L            | 1            | trocken     | 1,2                     | 881                              | 43              | 1.164                   | 9%                      |
| DS B            | 1            | trocken     | 3,0                     | 8.401                            | 117             | 5.482                   | 49%                     |
| DS P 1          | 1            | trocken     | 7,5                     | 3.049                            | 133             | 3.522                   | 31%                     |
| DS P 2          | 1            | trocken     | 4,0                     | 2.500                            | 82              | 1.886                   | 29%                     |
| DS P 3          | 1            | trocken     | 2,2                     | 2.000                            | 82              | 1.915                   | 23%                     |
| DS E            | 1            | trocken     | 1,2                     | 1.200                            | 51              | 747                     | 22%                     |
| DS S            | 1            | trocken     | 4,0                     | 400                              | 61              | 235                     | 28%                     |
| DS La           | 1            | trocken     | 1,7                     | 1.300                            | 63              | 843                     | 27%                     |
| DS B-O          | 1            | trocken     | 15,0                    | 1.203                            | 204             | 3.722                   | 18%                     |
| DS A.-P-S       | 1            | trocken     | 11,0                    | 79.935                           | 102             | 39.918                  | 56%                     |

Tabelle 2 zeigt den Vergleich des so berechneten Gesamtwirkungsgrads mit den entsprechenden Richtwerten. Die angegebenen Richtwerte für den Gesamtwirkungsgrad von Pumpenaggregaten sind abhängig von der Pumpenaufstellung (trocken aufgestellt oder Unterwasserpumpen) und der Nennleistung. Außerdem ist der Stromverbrauch der Pumpenanlagen grafisch dargestellt.

Tabelle 2. Pumpenanlagen: Stromverbrauch, berechneter Gesamtwirkungsgrad und Vergleich mit Richtwerten

| Name der Anlage | Stromverbrauch in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |           |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------|
|                 |                         | Ist                     | Richtwert |
| Brunnenanlage H | 501.840                 | 52%                     | 53%       |
| Brunnenanlage S | 9.918                   | 51%                     | 53%       |
| DS L            | 1.164                   | 9%                      | 44%       |
| DC B            | 5.482                   | 49%                     | 44%       |
| DS P 1          | 3.522                   | 31%                     | 56%       |
| DS P 2          | 1.886                   | 29%                     | 44%       |
| DS P 3          | 1.915                   | 23%                     | 44%       |
| DS E            | 747                     | 22%                     | 44%       |
| DS S            | 235                     | 28%                     | 44%       |
| DS La           | 843                     | 27%                     | 44%       |
| DS B-O          | 3.722                   | 18%                     | 56%       |
| DS A.-P-S       | 39.918                  | 56%                     | 56%       |

## 7.2.2 Stromverbrauch durch Wasserverluste

Tabelle 3 zeigt den Stromverbrauch, der durch Wasserverluste verursacht wird. Eine Reduktion von vermeidbaren realen Wasserverlusten führt direkt zu einer Reduktion des Stromverbrauchs von Pumpen sowie Aufbereitungs- und Desinfektionsanlagen.



Tabelle 3. Stromverbrauch durch Wasserverluste

| <b>Stromverbrauch durch Aufbereitung &amp; Desinfektion und Pumpen</b> |               |
|--|---------------|
| in kWh/a   | 596.098       |
| in kWh/m <sup>3</sup> Systemeinspeisung                                | 0,34          |
| <b>Reale Verluste</b>  |               |
| in %   | 15%           |
| in m <sup>3</sup> /a   | 254.285       |
| <b>Stromverbrauch durch reale Verluste in kWh/a</b>                    | <b>86.585</b> |

## 8 WVU 16

### 8.1 Überblick über den Stromverbrauch

Der **Gesamtstromverbrauch bezogen auf die Systemeinspeisung** (spezifischer Gesamtstromverbrauch in kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) beträgt **0,12 kWh/m<sup>3</sup>**. Zum Vergleich: Abbildung 1 zeigt diese Kennzahl bei 12 Wasserversorgungsunternehmen. Ein spezifischer Gesamtstromverbrauch von 1 kWh/m<sup>3</sup> bedeutet, dass eine Person durch einen täglichen Wasserverbrauch von 120 Litern in einem Jahr einen Stromverbrauch von 43,8 kWh verursacht. Das entspricht einer Brenndauer einer 10 W Energiesparlampe von 4.380 Stunden.

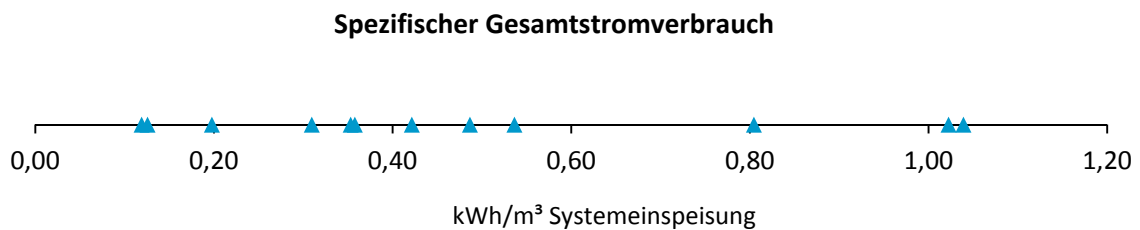


Abbildung 1. Spezifischer Gesamtstromverbrauch (kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) von 12 österreichischen Wasserversorgungsunternehmen

Abbildung 2 zeigt den Stromverbrauch aufgeteilt nach folgenden Bereichen:

- Aufbereitung und Desinfektion
- Pumpen: Brunnen, Pumpwerke, Drucksteigerungsanlagen (DSA)
- Speicherbauwerke
- Sonstige Stromverbraucher (z.B. Bürogebäude, Lagergebäude, Rohrbruchsicherungen)

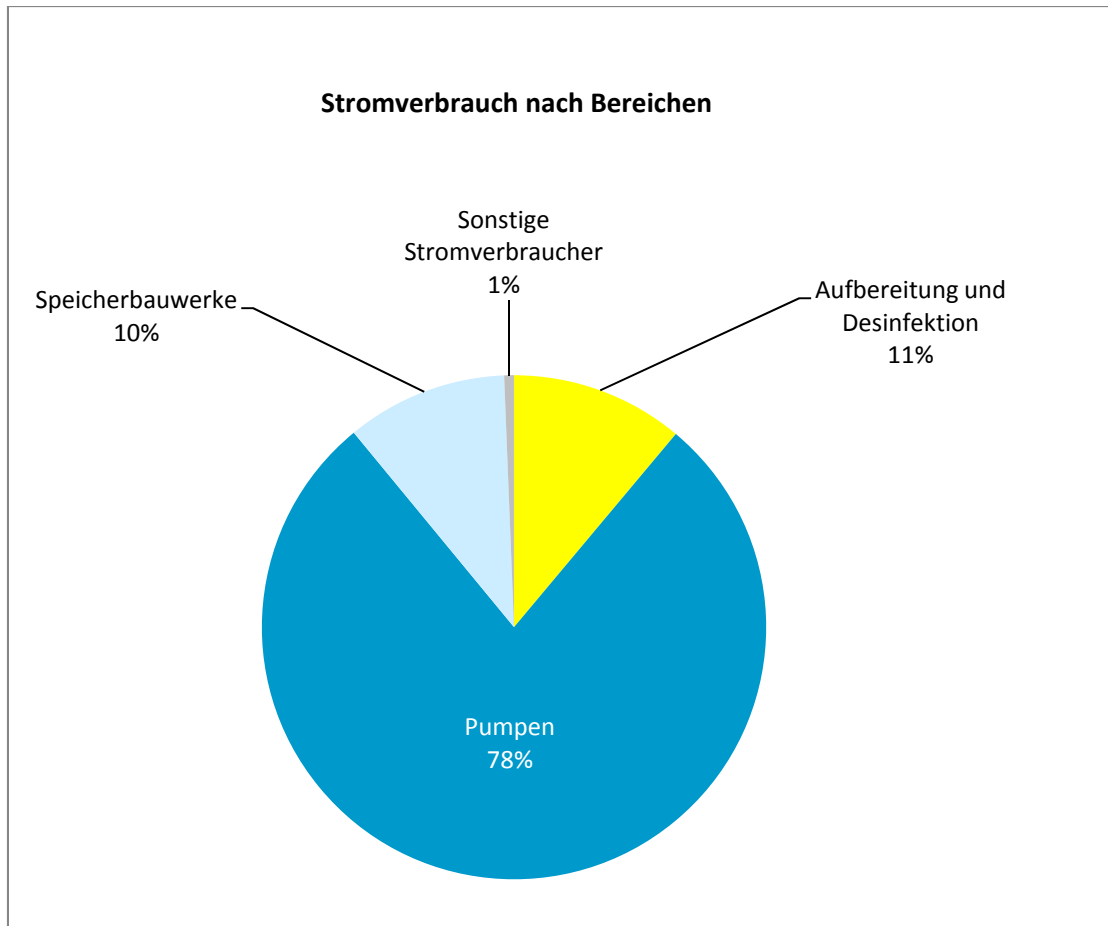


Abbildung 2. Stromverbrauch nach Bereichen

Die Berechnungen basieren auf Daten des Jahres 2009.

## 8.2 Stromverbrauch der Pumpen

### 8.2.1 Stromverbrauch und Gesamtwirkungsgrad

Tabelle 1 zeigt die erhobenen Daten zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie (aus Förderhöhe und Fördermenge) zum Stromverbrauch. Unplausible Gesamtwirkungsgrade ergeben sich aufgrund von ungenauen bzw. fehlerhaften Angaben der Förderhöhe. Dies gilt insbesondere für Netzpumpen mit schwankenden Druckverhältnissen. In solchen Fällen muss für eine Beurteilung der Pumpen eine kontinuierliche Erfassung von Druck und Wasserzählerstand erfolgen. Eine Anleitung für eine derartige Pumpenbeurteilung bietet der "Leitfaden zur Optimierung der Energienutzung bei Wasserversorgungsanlagen", der vom Lebensministerium zur Verfügung gestellt wird.

Tabelle 1. Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie zum Stromverbrauch

| Name der Anlage | Pumpenanzahl | Aufstellung | mittlere Leistung in kW | Fördermenge in m <sup>3</sup> /a | Förderhöhe in m | Stromverbrauch in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |
|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| FA-F            | 2            | trocken     | 4,4                     | 28.390                           | 50              | 7.649                   | 51%                     |
| PW-K            | 3            | UWP         | 18,5                    | 424.253                          | 77              | 156.632                 | 57%                     |
| PW-G            | 2            | trocken     | 7,5                     | 1.974                            | 69              | 635                     | 59%                     |
| PW-B            | 2            | trocken     | 9,0                     | 3.289                            | 56              | 860                     | 58%                     |
| PW-Ka           | 2            | trocken     | 4,9                     | 12                               | 36              | 4                       | 29%                     |
| PW-E            | 3            | UWP         | 23,3                    | n.v.                             | 77              | n.v.                    |                         |
| PW-T            | 2            | trocken     | 22,0                    | 8.590                            | 111             | 5.845                   | 44%                     |
| HB-W            | 2            | trocken     | 15,0                    | 21.240                           | 41              | 5.051                   | 47%                     |
| HB-Wä           | 2            | trocken     | 18,5                    | 41.129                           | 55              | 17.290                  | 36%                     |
| HB-B            | 2            | trocken     | 15,0                    | 42.613                           | 41              | 10.832                  | 44%                     |
| HB-E            | 2            | trocken     | 7,5                     | 32.736                           | 74              | 17.443                  | 38%                     |
| HB-Bu           | 2            | trocken     | 22,0                    | 19.989                           | 132             | 11.407                  | 63%                     |
| HB-K            | 2            | trocken     | 7,7                     | 65                               | 91              | 30                      | 54%                     |

Tabelle 2 zeigt den Vergleich des so berechneten Gesamtwirkungsgrads mit den entsprechenden Richtwerten. Die angegebenen Richtwerte für den Gesamtwirkungsgrad von Pumpenaggregaten sind abhängig von der Pumpenaufstellung (trocken aufgestellt oder Unterwasserpumpen) und der Nennleistung. Außerdem ist der Stromverbrauch der Pumpenanlagen grafisch dargestellt.

Tabelle 2. Pumpenanlagen: Stromverbrauch, berechneter Gesamtwirkungsgrad und Vergleich mit Richtwerten

| Name der Anlage | Stromverbrauch in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |           |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------|
|                 |                         | Ist                     | Richtwert |
| FA-F            | 7.649                   | 51%                     | 44%       |
| PW-K            | 156.632                 | 57%                     | 53%       |
| PW-G            | 635                     | 59%                     | 56%       |
| PW-B            | 860                     | 58%                     | 56%       |
| PW-Ka           | 4                       | 29%                     | 44%       |
| PW-E            | n.v.                    |                         | 53%       |
| PW-T            | 5.845                   | 44%                     | 56%       |
| HB-W            | 5.051                   | 47%                     | 56%       |
| HB-Wä           | 17.290                  | 36%                     | 56%       |
| HB-B            | 10.832                  | 44%                     | 56%       |
| HB-E            | 17.443                  | 38%                     | 56%       |
| HB-Bu           | 11.407                  | 63%                     | 56%       |
| HB-K            | 30                      | 54%                     | 56%       |

### 8.2.2 Stromverbrauch durch Wasserverluste

Tabelle 3 zeigt den Stromverbrauch, der durch Wasserverluste verursacht wird. Eine Reduktion von vermeidbaren realen Wasserverlusten führt direkt zu einer Reduktion des Stromverbrauchs von Pumpen sowie Aufbereitungs- und Desinfektionsanlagen.

Tabelle 3. Stromverbrauch durch Wasserverluste

| <b>Stromverbrauch durch Aufbereitung &amp; Desinfektion und Pumpen</b> |               |
|--|---------------|
| in kWh/a   | 266.956       |
| in kWh/m3 Systemeinspeisung  | 0,08          |
| <b>Reale Verluste</b>  |               |
| in %   | 11%           |
| in m3/a  | 357.915       |
| <b>Stromverbrauch durch reale Verluste in kWh/a</b>                    | <b>29.452</b> |

## 9 WVU 20

### 9.1 Überblick über den Stromverbrauch

Der **Gesamtstromverbrauch bezogen auf die Systemeinspeisung** (spezifischer Gesamtstromverbrauch in kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) beträgt **0,42 kWh/m<sup>3</sup>**. Zum Vergleich: Abbildung 1 zeigt diese Kennzahl bei 12 Wasserversorgungsunternehmen. Ein spezifischer Gesamtstromverbrauch von 1 kWh/m<sup>3</sup> bedeutet, dass eine Person durch einen täglichen Wasserverbrauch von 120 Litern in einem Jahr einen Stromverbrauch von 43,8 kWh verursacht. Das entspricht einer Brenndauer einer 10 W Energiesparlampe von 4.380 Stunden.

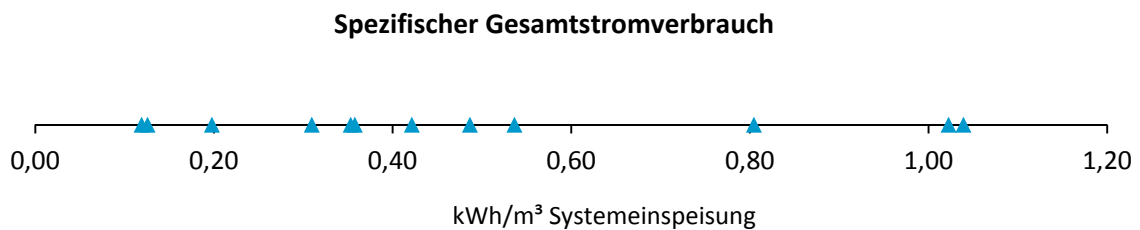


Abbildung 1. Spezifischer Gesamtstromverbrauch (kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) von 12 österreichischen Wasserversorgungsunternehmen

Abbildung 2 zeigt den Stromverbrauch aufgeteilt nach folgenden Bereichen:

- Aufbereitung und Desinfektion
- Pumpen: Brunnen, Pumpwerke, Drucksteigerungsanlagen (DSA)
- Speicherbauwerke
- Sonstige Stromverbraucher (z.B. Bürogebäude, Lagergebäude, Rohrbruchsicherungen)

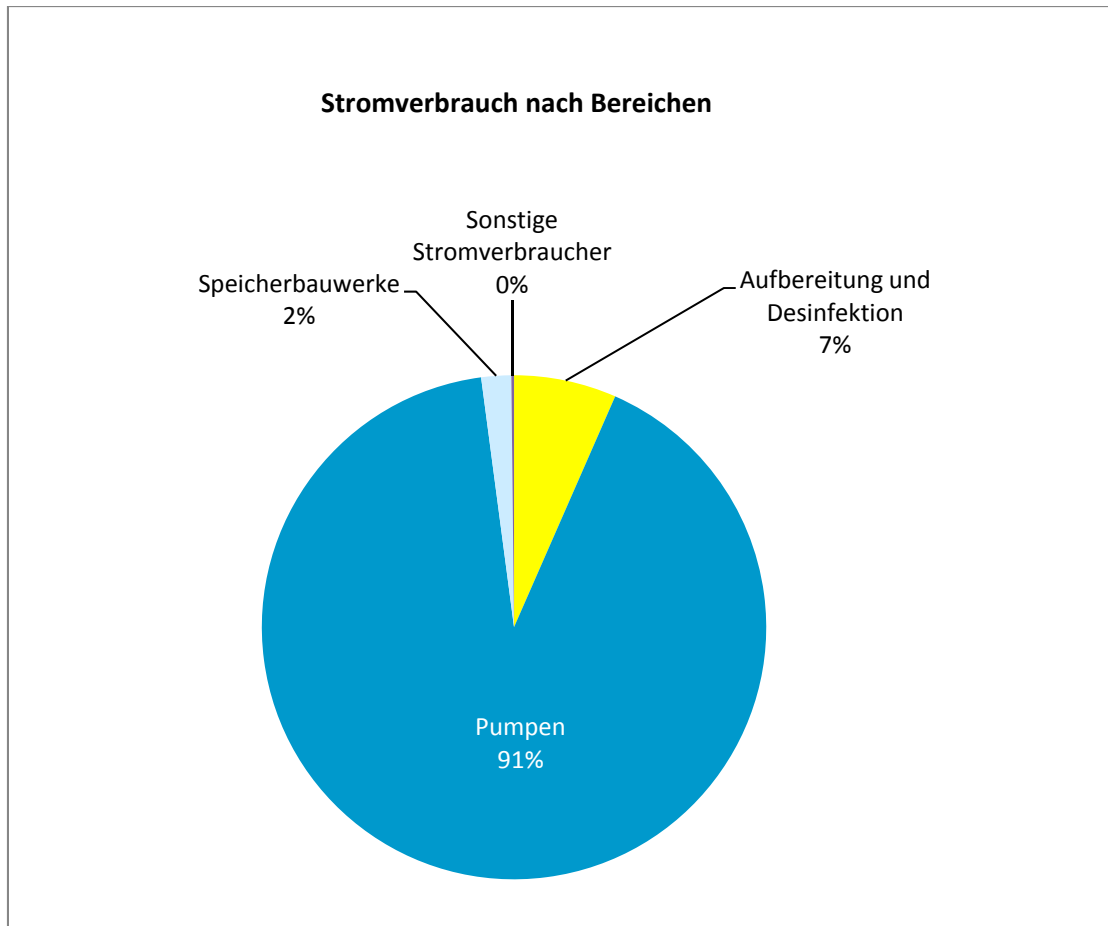


Abbildung 2. Stromverbrauch nach Bereichen

Die Berechnungen basieren auf Daten des Jahres 2010.

## 9.2 Stromverbrauch der Pumpen

### 9.2.1 Stromverbrauch und Gesamtwirkungsgrad

Tabelle 1 zeigt die erhobenen Daten zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie (aus Förderhöhe und Fördermenge) zum Stromverbrauch. Unplausible Gesamtwirkungsgrade ergeben sich aufgrund von ungenauen bzw. fehlerhaften Angaben der Förderhöhe. Dies gilt insbesondere für Netzpumpen mit schwankenden Druckverhältnissen. In solchen Fällen muss für eine Beurteilung der Pumpen eine kontinuierliche Erfassung von Druck und Wasserzählerstand erfolgen. Eine Anleitung für eine derartige Pumpenbeurteilung bietet der "Leitfaden zur Optimierung der Energienutzung bei Wasserversorgungsanlagen", der vom Lebensministerium zur Verfügung gestellt wird.

Tabelle 1. Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie zum Stromverbrauch

| Name der Anlage           | Pumpen-<br>anzahl | Auf-<br>stellung | mittlere<br>Leistung<br>in kW | Förder-<br>menge in<br>m <sup>3</sup> /a | Förder-<br>höhe<br>in m | Strom-<br>verbrauch<br>in kWh/a | Gesamt-<br>wirkungsgrad<br>in % |
|---------------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|--|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Brunnen I - W             | 3                 | UWP              | 4,0                           | 104.479                                  | 51                      | 40.000                          | 36%                             |
| Brunnen I - W DS          | 2                 | UWP              | 4,0                           | 22.694                                   | 82                      | 10.000                          | 50%                             |
| Brunnen II-W              | 3                 | UWP              | 2,7                           | 92.076                                   | 46                      | 35.500                          | 32%                             |
| Brunnen III- W            | 3                 | UWP              | 5,5                           | 178.864                                  | 22                      | 34.280                          | 32%                             |
| Brunnen III- W            | 2                 | UWP              | 2,2                           | 3.228                                    | 71                      | 2.000                           | 31%                             |
| Brunnen IV- Brunnenfeld J | 4                 | UWP              | 2,3                           | 9.686                                    | 45                      | 14.246                          | 8%                              |
| Hochbehälter II- G        | 2                 | trocken          | 2,2                           | 13.510                                   | 47                      | 5.110                           | 34%                             |
| Hochbehälter II-J         | 2                 | trocken          | 4,7                           | 28.097                                   | 43                      | 12.094                          | 27%                             |
| Drucksteigerung K         | 2                 | trocken          | 2,2                           | 4.388                                    | 81                      | 2.958                           | 33%                             |

Tabelle 2 zeigt den Vergleich des so berechneten Gesamtwirkungsgrads mit den entsprechenden Richtwerten. Die angegebenen Richtwerte für den Gesamtwirkungsgrad von Pumpenaggregaten sind abhängig von der Pumpenaufstellung (trocken aufgestellt oder Unterwasserpumpen) und der Nennleistung. Außerdem ist der Stromverbrauch der Pumpenanlagen grafisch dargestellt.

Tabelle 2. Pumpenanlagen: Stromverbrauch, berechneter Gesamtwirkungsgrad und Vergleich mit Richtwerten

| Name der Anlage           | Stromverbrauch<br>in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |           |
|---------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------|
|                           |                            | Ist                     | Richtwert |
| Brunnen I - W             | 40.000                     | 36%                     | 40%       |
| Brunnen I - W DS          | 10.000                     | 50%                     | 40%       |
| Brunnen II-W              | 35.500                     | 32%                     | 40%       |
| Brunnen III- W            | 34.280                     | 32%                     | 53%       |
| Brunnen III- W            | 2.000                      | 31%                     | 40%       |
| Brunnen IV- Brunnenfeld J | 14.246                     | 8%                      | 40%       |
| Hochbehälter II- G        | 5.110                      | 34%                     | 44%       |
| Hochbehälter II-J         | 12.094                     | 27%                     | 44%       |
| Drucksteigerung K         | 2.958                      | 33%                     | 44%       |

### 9.2.2 Stromverbrauch durch Wasserverluste

Tabelle 3 zeigt den Stromverbrauch, der durch Wasserverluste verursacht wird. Eine Reduktion von vermeidbaren realen Wasserverlusten führt direkt zu einer Reduktion des Stromverbrauchs von Pumpen sowie Aufbereitungs- und Desinfektionsanlagen.



Tabelle 3. Stromverbrauch durch Wasserverluste

| <b>Stromverbrauch durch Aufbereitung &amp; Desinfektion und Pumpen</b> |              |
|--|--------------|
| in kWh/a   | 168.288      |
| in kWh/m <sup>3</sup> Systemeinspeisung                                | 0,41         |
| <b>Reale Verluste</b>  |              |
| in %   | 5%           |
| in m <sup>3</sup> /a   | 20.000       |
| <b>Stromverbrauch durch reale Verluste in kWh/a</b>                    | <b>8.253</b> |

## 10 WVU 23

### 10.1 Stromverbrauch der Pumpen

#### 10.1.1 Stromverbrauch und Gesamtwirkungsgrad

Tabelle 1 zeigt die erhobenen Daten zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie (aus Förderhöhe und Fördermenge) zum Stromverbrauch. Unplausible Gesamtwirkungsgrade ergeben sich aufgrund von ungenauen bzw. fehlerhaften Angaben der Förderhöhe. Dies gilt insbesondere für Netzpumpen mit schwankenden Druckverhältnissen. In solchen Fällen muss für eine Beurteilung der Pumpen eine kontinuierliche Erfassung von Druck und Wasserzählerstand erfolgen. Eine Anleitung für eine derartige Pumpenbeurteilung bietet der "Leitfaden zur Optimierung der Energienutzung bei Wasserversorgungsanlagen", der vom Lebensministerium zur Verfügung gestellt wird.

Die Berechnungen basieren auf Daten im Zeitraum 04/2010 - 04/2011. Im vorliegenden Fall wurden bei der Hauptpumpe im Tiefbehälter der Förderström, das Fördervolumen und die Phasenströme im Betriebspunkt bei 50 Hz gemessen (siehe Auswertung Pumpenmessung). Diese Höhe wurde auch für die Betrachtung des gesamten Zeitraumes von einem Jahr in Tabelle 1 angesetzt. Dadurch ergibt sich wahrscheinlich eine Überschätzung der Förderhöhe und somit ein zu hoher Gesamtwirkungsgrad.

Tabelle 1. Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie zum Stromverbrauch

| Name der Anlage  | Pumpenanzahl | Aufstellung | mittlere Leistung in kW | Fördermenge in m <sup>3</sup> /a | Förderhöhe in m | Stromverbrauch in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |
|------------------|--------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| Brunnen K        | 1            | UWP         |                         | n.v.                             | n.v.            | 4.249                   |                         |
| Brunnen S        | 1            | UWP         | 2,2                     | 1.622                            | n.v.            | 1.738                   |                         |
| Brunnen TB (III) | 1            | UWP         | 0,8                     | n.v.                             | n.v.            | 737                     |                         |
| Tiefbehälter     | 1            | trocken     | 4,0                     | 38.500                           | 73              | 11.104                  | 69%                     |

Tabelle 2 zeigt den Vergleich des so berechneten Gesamtwirkungsgrads mit den entsprechenden Richtwerten. Die angegebenen Richtwerte für den Gesamtwirkungsgrad von Pumpenaggregaten sind abhängig von der Pumpenaufstellung (trocken aufgestellt oder Unterwasserpumpen) und der Nennleistung. Außerdem ist der Stromverbrauch der Pumpenanlagen grafisch dargestellt.

Tabelle 2. Pumpenanlagen: Stromverbrauch, berechneter Gesamtwirkungsgrad und Vergleich mit Richtwerten

| Name der Anlage  | Stromverbrauch in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |           |
|------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|
|                  |                         | Ist                     | Richtwert |
| Brunnen K        | 4.249                   |                         | 40%       |
| Brunnen S        | 1.738                   |                         | 40%       |
| Brunnen TB (III) | 737                     |                         | 40%       |
| Tiefbehälter     | 11.104                  | 69%                     | 44%       |

## 11 WVU 09

### 11.1 Überblick über den Stromverbrauch

Der **Gesamtstromverbrauch bezogen auf die Systemeinspeisung** (spezifischer Gesamtstromverbrauch in kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) beträgt **1,04 kWh/m<sup>3</sup>**. Zum Vergleich: Abbildung 1 zeigt diese Kennzahl bei 12 Wasserversorgungsunternehmen. Ein spezifischer Gesamtstromverbrauch von 1 kWh/m<sup>3</sup> bedeutet, dass eine Person durch einen täglichen Wasserverbrauch von 120 Litern in einem Jahr einen Stromverbrauch von 43,8 kWh verursacht. Das entspricht einer Brenndauer einer 10 W Energiesparlampe von 4.380 Stunden.

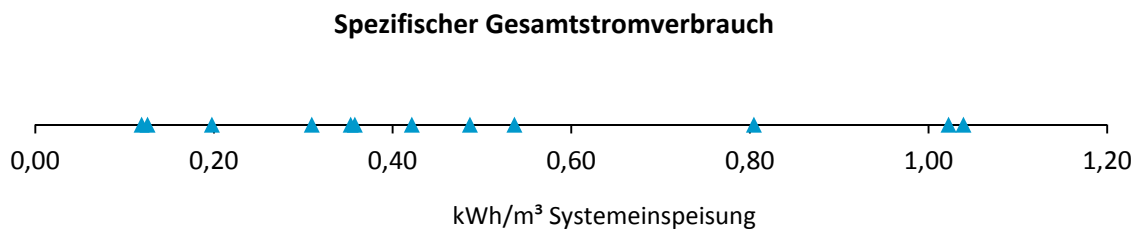


Abbildung 1. Spezifischer Gesamtstromverbrauch (kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) von 12 österreichischen Wasserversorgungsunternehmen

Abbildung 2 zeigt den Stromverbrauch aufgeteilt nach folgenden Bereichen:

- Aufbereitung und Desinfektion
- Pumpen: Brunnen, Pumpwerke, Drucksteigerungsanlagen (DSA)
- Speicherbauwerke
- Sonstige Stromverbraucher (z.B. Bürogebäude, Lagergebäude, Rohrbruchsicherungen)

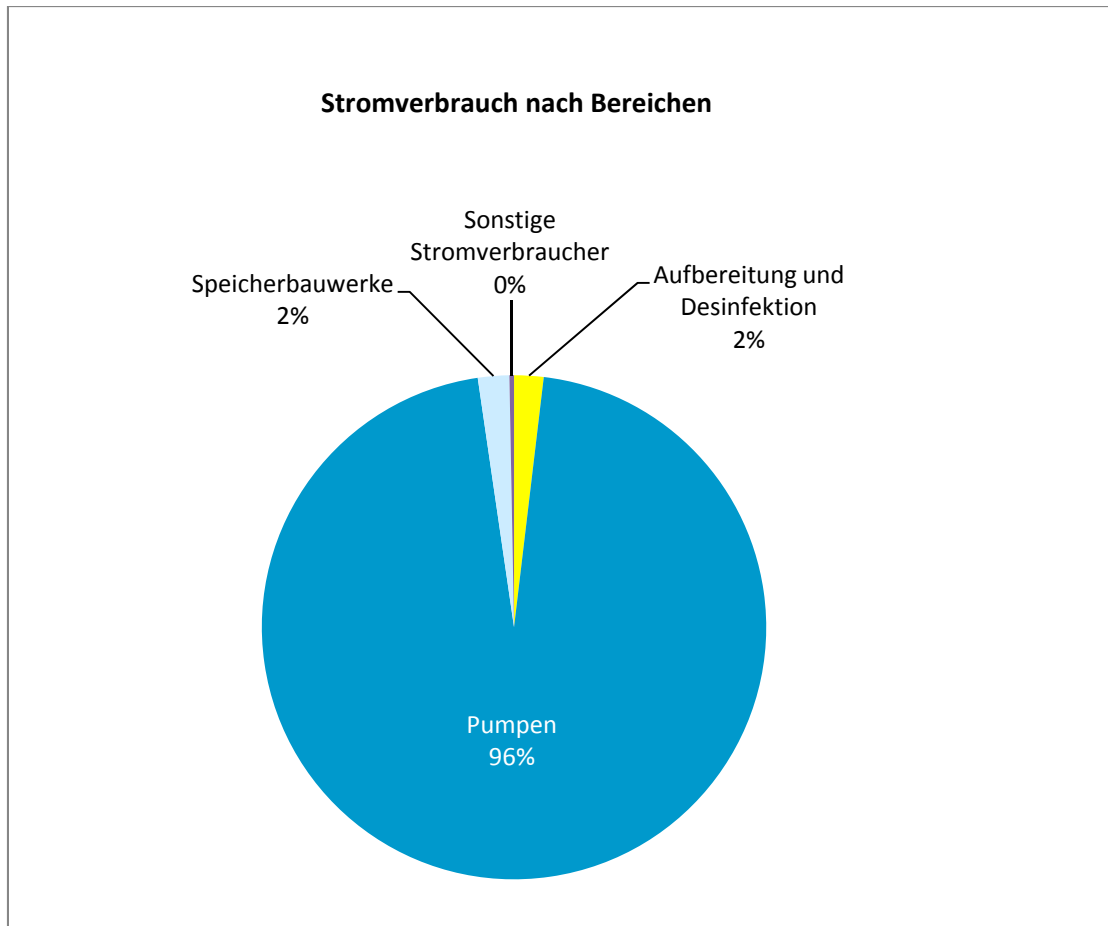


Abbildung 2. Stromverbrauch nach Bereichen

Die Berechnungen basieren auf Daten des Jahres 2010.

## 11.2 Stromverbrauch der Pumpen

### 11.2.1 Stromverbrauch und Gesamtwirkungsgrad

Tabelle 1 zeigt die erhobenen Daten zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie (aus Förderhöhe und Fördermenge) zum Stromverbrauch. Unplausible Gesamtwirkungsgrade ergeben sich aufgrund von ungenauen bzw. fehlerhaften Angaben der Förderhöhe. Dies gilt insbesondere für Netzpumpen mit schwankenden Druckverhältnissen. In solchen Fällen muss für eine Beurteilung der Pumpen eine kontinuierliche Erfassung von Druck und Wasserzählerstand erfolgen. Eine Anleitung für eine derartige Pumpenbeurteilung bietet der "Leitfaden zur Optimierung der Energienutzung bei Wasserversorgungsanlagen", der vom Lebensministerium zur Verfügung gestellt wird.

Tabelle 1. Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie zum Stromverbrauch

| Name der Anlage | Pumpenanzahl | Aufstellung | mittlere Leistung in kW | Fördermenge in m <sup>3</sup> /a | Förderhöhe in m | Stromverbrauch in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |
|-----------------|--------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| Z1              | 1            | UWP         | 22,0                    | 54.279                           | 79              | 21.562                  | 54%                     |
| Z2              | 1            | UWP         | 18,5                    | 457.952                          | 77              | 169.812                 | 57%                     |
| Z3              | 1            | UWP         | 37,0                    | 60.782                           | 77              | 30.173                  | 43%                     |
| Z4              | 1            | UWP         | 45,0                    | 49.658                           | 80              | 23.241                  | 46%                     |
| Z5              | 1            | UWP         | 45,0                    | 44.789                           | 80              | 19.311                  | 50%                     |
| Sch             | 7            |             |                         | 1.431.628                        | 97              | 371.228                 | 102%                    |
| Ob              | 5            | trocken     | 59,8                    | 878.836                          | 147             | 625.628                 | 56%                     |
| P               | 3            | trocken     | 25,0                    | 535.500                          | 72              | 169.008                 | 62%                     |
| A               | 6            | trocken     | 8,6                     | 265.987                          | 61              | 75.590                  | 59%                     |
| N               | 2            | trocken     | 14,8                    | 134.255                          | 74              | 44.657                  | 61%                     |
| R               | 5            | UWP         | 32,6                    | 320.066                          | 146             | 208.332                 | 61%                     |
| M               | 3            | trocken     | 55,0                    | 245.891                          | 134             | 121.294                 | 74%                     |
| G               | 3            | trocken     | 35,0                    | 180.579                          | 131             | 93.685                  | 69%                     |
| Gö              | 3            | trocken     | 37,5                    | 437.757                          | 152             | 282.391                 | 64%                     |
| O               | 3            | trocken     | 27,0                    | 432.291                          | 110             | 191.790                 | 68%                     |
| Mo              | 2            | UWP         | 14,8                    | 27.530                           | 122             | 16.783                  | 55%                     |
| I               | 3            | UWP         | 6,3                     | 34.125                           | 35              | 5.880                   | 55%                     |

Tabelle 2 zeigt den Vergleich des so berechneten Gesamtwirkungsgrads mit den entsprechenden Richtwerten. Die angegebenen Richtwerte für den Gesamtwirkungsgrad von Pumpenaggregaten sind abhängig von der Pumpenaufstellung (trocken aufgestellt oder Unterwasserpumpen) und der Nennleistung. Außerdem ist der Stromverbrauch der Pumpenanlagen grafisch dargestellt.

Tabelle 2. Pumpenanlagen: Stromverbrauch, berechneter Gesamtwirkungsgrad und Vergleich mit Richtwerten

| Name der Anlage | Stromverbrauch<br>in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |           |
|-----------------|----------------------------|-------------------------|-----------|
|                 |                            | Ist                     | Richtwert |
| Z1              | 21.562                     | 54%                     | 53%       |
| Z2              | 169.812                    | 57%                     | 53%       |
| Z3              | 30.173                     | 43%                     | 53%       |
| Z4              | 23.241                     | 46%                     | 53%       |
| Z5              | 19.311                     | 50%                     | 53%       |
| Sch             | 371.228                    | 102%                    | 44%       |
| Ob              | 625.628                    | 56%                     | 64%       |
| P               | 169.008                    | 62%                     | 56%       |
| A               | 75.590                     | 59%                     | 56%       |
| N               | 44.657                     | 61%                     | 56%       |
| R               | 208.332                    | 61%                     | 53%       |
| M               | 121.294                    | 74%                     | 64%       |
| G               | 93.685                     | 69%                     | 56%       |
| Gö              | 282.391                    | 64%                     | 56%       |
| O               | 191.790                    | 68%                     | 56%       |
| Mo              | 16.783                     | 55%                     | 53%       |
| I               | 5.880                      | 55%                     | 53%       |

### 11.2.2 Stromverbrauch durch Wasserverluste

Tabelle 3 zeigt den Stromverbrauch, der durch Wasserverluste verursacht wird. Eine Reduktion von vermeidbaren realen Wasserverlusten führt direkt zu einer Reduktion des Stromverbrauchs von Pumpen sowie Aufbereitungs- und Desinfektionsanlagen.

Tabelle 3. Stromverbrauch durch Wasserverluste

|  |              |
|--|--------------|
| <b>Stromverbrauch durch Aufbereitung &amp; Desinfektion und Pumpen</b> |              |
| in kWh/a   | 2.533.564    |
| in kWh/m <sup>3</sup> Systemeinspeisung                                | 1,04         |
| <b>Reale Verluste</b>  |              |
| in %   | 0%           |
| in m <sup>3</sup> /a   | 6.387        |
| <b>Stromverbrauch durch reale Verluste in kWh/a</b>                    | <b>6.631</b> |

## 12 WVU 05

### 12.1 Überblick über den Stromverbrauch

Der **Gesamtstromverbrauch bezogen auf die Systemeinspeisung** (spezifischer Gesamtstromverbrauch in kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) beträgt **0,80 kWh/m<sup>3</sup>**. Zum Vergleich: Abbildung 1 zeigt diese Kennzahl bei 12 Wasserversorgungsunternehmen. Ein spezifischer Gesamtstromverbrauch von 1 kWh/m<sup>3</sup> bedeutet, dass eine Person durch einen täglichen Wasserverbrauch von 120 Litern in einem Jahr einen Stromverbrauch von 43,8 kWh verursacht. Das entspricht einer Brenndauer einer 10 W Energiesparlampe von 4.380 Stunden.

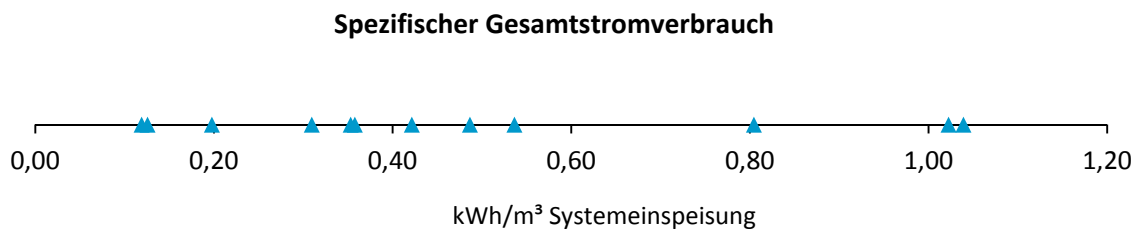


Abbildung 1. Spezifischer Gesamtstromverbrauch (kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) von 12 österreichischen Wasserversorgungsunternehmen

Dieser Gesamtstromverbrauch wird überwiegend durch Pumpen verursacht. Die Berechnungen basieren auf Daten des Jahres 2010.

### 12.2 Stromverbrauch der Pumpen

#### 12.2.1 Stromverbrauch und Gesamtwirkungsgrad

Tabelle 1 zeigt die erhobenen Daten zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie (aus Förderhöhe und Fördermenge) zum Stromverbrauch. Unplausible Gesamtwirkungsgrade ergeben sich aufgrund von ungenauen bzw. fehlerhaften Angaben der Förderhöhe. Dies gilt insbesondere für Netzpumpen mit schwankenden Druckverhältnissen. In solchen Fällen muss für eine Beurteilung der Pumpen eine kontinuierliche Erfassung von Druck und Wasserzählerstand erfolgen. Eine Anleitung für eine derartige Pumpenbeurteilung bietet der "Leitfaden zur Optimierung der Energienutzung bei Wasserversorgungsanlagen", der vom Lebensministerium zur Verfügung gestellt wird.

Der Stromverbrauch der Rohwasser- und Reinwasserpumpen in der zentralen Pumpstation werden nicht getrennt erfasst. Deshalb ist hier mit dieser Methode eine Beurteilung der Pumpen nicht möglich.

Tabelle 1. Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie zum Stromverbrauch

| Name der Anlage                      | Pumpen-<br>anzahl | Auf-<br>stellung | mittlere<br>Leistung<br>in kW | Förder-<br>menge<br>in m <sup>3</sup> /a | Förder-<br>höhe<br>in m | Strom-<br>verbrauch<br>in kWh/a | Gesamt-<br>wirkungsgrad<br>in % |
|--------------------------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|--|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| HB 1                                 | 2                 | trocken          | 11,0                          | 213.758                                  | 53                      | 34.403                          | 90%                             |
| HB 2                                 | 2                 | trocken          | 7,5                           | 116.514                                  | 53                      | 43.363                          | 39%                             |
| HB 3: DS W                           | 1                 | trocken          | 3,0                           | 15.724                                   | 53                      | 1.085                           | 209%                            |
| DS F(Druckhalteanlage)               | 1                 | trocken          | 1,1                           | 1.614                                    | 53                      | 653                             | 36%                             |
| DS K                                 | 1                 | trocken          | 1,1                           | 1.075                                    | 53                      | 713                             | 22%                             |
| DS S-J                               | 2                 | trocken          | 3,0                           | 17.423                                   | 53                      | 5.007                           | 50%                             |
| DS T Druchsteigerungsanl.            | 2                 | trocken          | 4,0                           | 12.555                                   | 53                      | 4.242                           | 43%                             |
| Zentrale Pumpstation (Brunnenpumpen) | 8                 | UWP              | 2,0                           | 236.687                                  |                         | 178.266                         |                                 |

Tabelle 2 zeigt den Vergleich des so berechneten Gesamtwirkungsgrads mit den entsprechenden Richtwerten. Die angegebenen Richtwerte für den Gesamtwirkungsgrad von Pumpenaggregaten sind abhängig von der Pumpenaufstellung (trocken aufgestellt oder Unterwasserpumpen) und der Nennleistung. Außerdem ist der Stromverbrauch der Pumpenanlagen grafisch dargestellt.

Tabelle 2. Pumpenanlagen: Stromverbrauch, berechneter Gesamtwirkungsgrad und Vergleich mit Richtwerten

| Name der Anlage                      | Stromverbrauch<br>in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |           |
|--------------------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------|
|                                      |                            | Ist                     | Richtwert |
| HB 1                                 | 34.403                     | 90%                     | 56%       |
| HB 2                                 | 43.363                     | 39%                     | 56%       |
| HB 3: DS W                           | 1.085                      | 209%                    | 44%       |
| DS F(Druckhalteanlage)               | 653                        | 36%                     | 44%       |
| DS K                                 | 713                        | 22%                     | 44%       |
| DS S-J                               | 5.007                      | 50%                     | 44%       |
| DS T Druchsteigerungsanl.            | 4.242                      | 43%                     | 44%       |
| Zentrale Pumpstation (Brunnenpumpen) | 178.266                    |                         | 40%       |

### 12.2.2 Stromverbrauch durch Wasserverluste

Tabelle 3 zeigt den Stromverbrauch, der durch Wasserverluste verursacht wird. Eine Reduktion von vermeidbaren realen Wasserverlusten führt direkt zu einer Reduktion des Stromverbrauchs von Pumpen sowie Aufbereitungs- und Desinfektionsanlagen.

Tabelle 3. Stromverbrauch durch Wasserverluste

| Stromverbrauch durch Aufbereitung & Desinfektion und Pumpen |               |
|---|---------------|
| in kWh/a  | 267.732       |
| in kWh/m <sup>3</sup> Systemeinspeisung                     | 0,80          |
| Reale Verluste  |               |
| in %  | 9%            |
| in m <sup>3</sup> /a  | 31.000        |
| <b>Stromverbrauch durch reale Verluste in kWh/a</b>         | <b>24.918</b> |



## 13 WVU 02

### 13.1 Überblick über den Stromverbrauch

Der **Gesamtstromverbrauch bezogen auf die Systemeinspeisung** (spezifischer Gesamtstromverbrauch in kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) beträgt **1,02 kWh/m<sup>3</sup>**. Zum Vergleich: Abbildung 1 zeigt diese Kennzahl bei 12 Wasserversorgungsunternehmen. Ein spezifischer Gesamtstromverbrauch von 1 kWh/m<sup>3</sup> bedeutet, dass eine Person durch einen täglichen Wasserverbrauch von 120 Litern in einem Jahr einen Stromverbrauch von 43,8 kWh verursacht. Das entspricht einer Brenndauer einer 10 W Energiesparlampe von 4.380 Stunden.

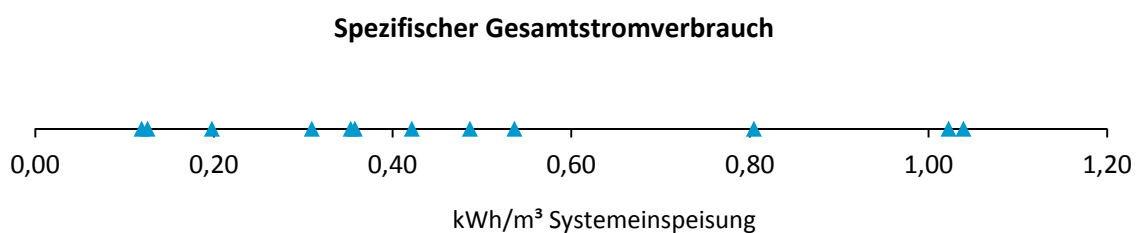


Abbildung 1. Spezifischer Gesamtstromverbrauch (kWh/m<sup>3</sup> Systemeinspeisung) von 12 österreichischen Wasserversorgungsunternehmen

Abbildung 2 zeigt den Stromverbrauch aufgeteilt nach folgenden Bereichen:

- Aufbereitung und Desinfektion
- Pumpen: Brunnen, Pumpwerke, Drucksteigerungsanlagen (DSA)
- Speicherbauwerke
- Sonstige Stromverbraucher (z.B. Bürogebäude, Lagergebäude, Rohrbruchsicherungen)

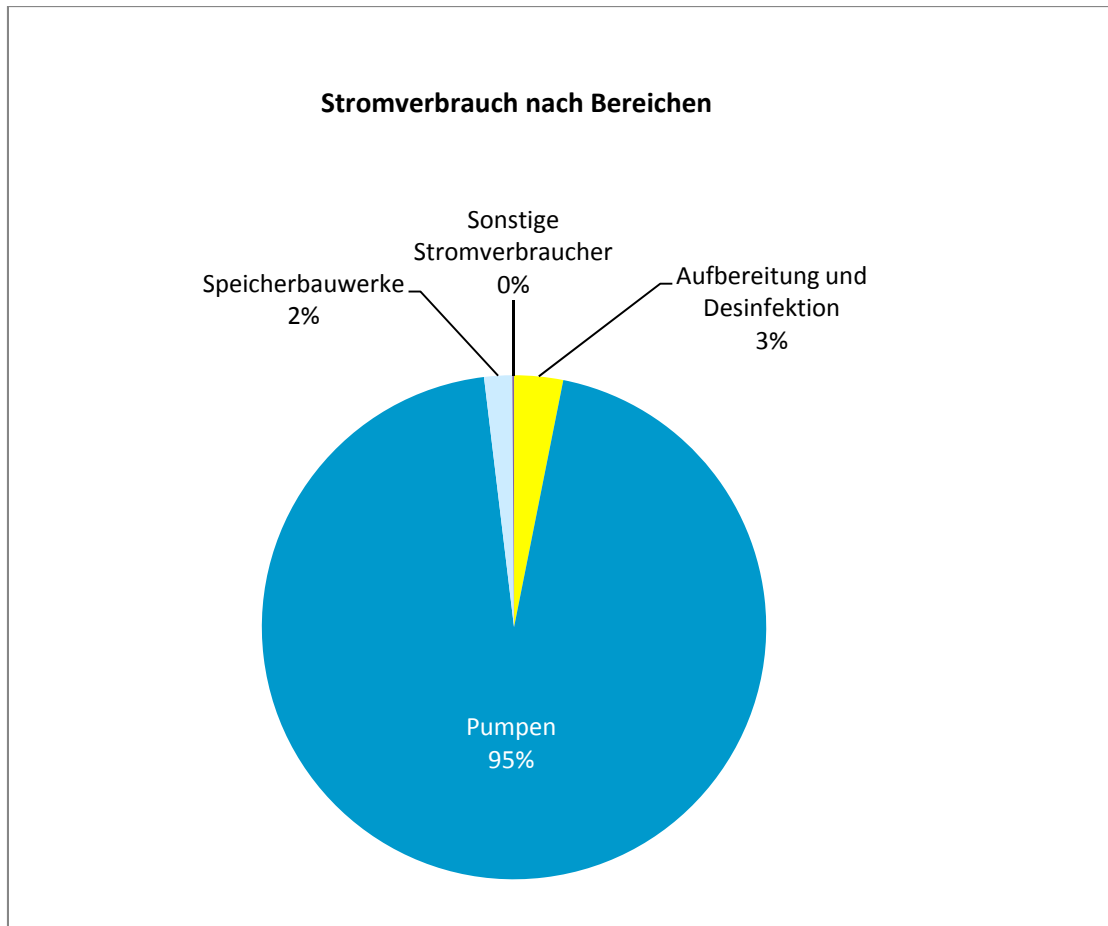


Abbildung 2. Stromverbrauch nach Bereichen

Die Berechnungen basieren auf Daten des Jahres 2009.

## 13.2 Stromverbrauch der Pumpen

### 13.2.1 Stromverbrauch und Gesamtwirkungsgrad

Tabelle 1 zeigt die erhobenen Daten zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie (aus Förderhöhe und Fördermenge) zum Stromverbrauch. Unplausible Gesamtwirkungsgrade ergeben sich aufgrund von ungenauen bzw. fehlerhaften Angaben der Förderhöhe. Dies gilt insbesondere für Netzpumpen mit schwankenden Druckverhältnissen. In solchen Fällen muss für eine Beurteilung der Pumpen eine kontinuierliche Erfassung von Druck und Wasserzählerstand erfolgen. Eine Anleitung für eine derartige Pumpenbeurteilung bietet der "Leitfaden zur Optimierung der Energienutzung bei Wasserversorgungsanlagen", der vom Lebensministerium zur Verfügung gestellt wird.

*Tabelle 1. Berechnung des Gesamtwirkungsgrads der Pumpenaggregate als Verhältnis der hydraulischen Energie zum Stromverbrauch*

| Name der Anlage     | Pumpenanzahl | Aufstellung | mittlere Leistung in kW | Fördermenge in m <sup>3</sup> /a | Förderhöhe in m | Stromverbrauch in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |
|---------------------|--------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| Br. G               | 3            | UWP         | 4,0                     | 680.678                          | 36              | 100.233                 | 66%                     |
| Br. M               | 2            | UWP         | 15,0                    | 295.055                          | 92              | 130.033                 | 57%                     |
| Br. F1              | 1            | UWP         | 3,0                     | 181.687                          | 22              | 14.445                  | 77%                     |
| Br. F2              | 1            | UWP         | 6,0                     | 325.684                          | 22              | 31.226                  | 64%                     |
| Br. D1              | 1            | UWP         | 6,0                     | 72.202                           | 25              | 7.681                   | 65%                     |
| Br. D2              | 1            | UWP         | 11,0                    | 529.717                          | 38              | 61.874                  | 88%                     |
| Br. Gi              | 5            | UWP         | 8,2                     | 120.273                          | 71              | 36.228                  | 65%                     |
| Br. Ga              | 2            | UWP         | 6,0                     | 58.095                           | 51              | 11.700                  | 69%                     |
| ZPW I               | 7            | trocken     | 19,4                    | 529.147                          | 56              | 129.500                 | 62%                     |
| ZPW II              | 7            | trocken     | 22,4                    | 1.567.653                        | 92              | 584.174                 | 67%                     |
| ZPW III             | 5            | trocken     | 14,4                    | 18.614                           | 87              | 8.070                   | 54%                     |
| ZPW IV              | 2            | trocken     | 3,0                     | 70.619                           | 56              | 16.791                  | 64%                     |
| ZPW V               | 4            | trocken     | 13,3                    | 117.798                          | 112             | 60.201                  | 60%                     |
| ZPW VI              | 2            | trocken     | 11,0                    | 61.387                           | 87              | 23.341                  | 62%                     |
| ZPW VII             | 5            | trocken     | 7,7                     | 51.797                           | 138             | 30.769                  | 63%                     |
| ZPW VIII            | 2            | trocken     | 11,4                    | 29.949                           | 138             | 21.821                  | 51%                     |
| ZPW IX              | 2            | trocken     | 11,4                    | 18.671                           | 173             | 16.273                  | 54%                     |
| PW H/S              | 4            | trocken     | 9,3                     | 96.367                           | 97              | 49.253                  | 52%                     |
| PW L                | 2            | trocken     | 5,5                     | 25.088                           | 127             | 15.930                  | 55%                     |
| PW P                | 3            | trocken     | 8,1                     | 32.072                           | 56              | 8.681                   | 56%                     |
| PW HB A             | 4            | trocken     | 4,5                     | 81.176                           | 61              | 25.421                  | 53%                     |
| PW B                | 2            | trocken     | 7,5                     | 43.673                           | 92              | 19.787                  | 55%                     |
| PW D                | 1            | trocken     | 4,0                     | 10.930                           | 122             | 8.168                   | 45%                     |
| PW T                | 4            | trocken     | 6,1                     | 27.800                           | 122             | 19.544                  | 47%                     |
| PW W                | 2            | trocken     | 22,0                    | 8.000                            | 61              | 1.585                   | 84%                     |
| PW O                | 3            | trocken     | 11,0                    | 12.281                           | 143             | 15.356                  | 31%                     |
| PW A                | 2            | trocken     | 7,5                     | 7.000                            | 20              | 417                     | 93%                     |
| PW HB S-M.          | 2            | trocken     | 5,5                     | 17.137                           | 104             | 15.906                  | 31%                     |
| PW HB G             | 4            | trocken     | 6,6                     | 45.200                           | 103             | 22.433                  | 57%                     |
| PW D                | 4            | trocken     | 30,0                    | 1.094.724                        | 112             | 513.991                 | 65%                     |
| PW HB G             | 3            | trocken     | 7,5                     | 52.540                           | 71              | 20.477                  | 50%                     |
| PW AL B             | 2            | trocken     | 4,0                     | 53.739                           | 38              | 8.073                   | 68%                     |
| PW Sch              | 3            | trocken     | 5,5                     | n.v.                             | 102             | 966                     | 0%                      |
| HB BG               | 2            | trocken     | 4,0                     | 6.234                            | 82              | 3.187                   | 43%                     |
| TB G                | 2            | trocken     | 30,0                    | 494.109                          | 105             | 284.145                 | 50%                     |
| Förderung Brunnen G | 2            | trocken     | 8,0                     | 58.095                           | 122             | 53.484                  | 36%                     |
| Förderung Brunnen G | 2            | trocken     | 13,0                    | 120.275                          | 98              | 51.658                  | 62%                     |

Tabelle 2 zeigt den Vergleich des so berechneten Gesamtwirkungsgrads mit den entsprechenden Richtwerten. Die angegebenen Richtwerte für den Gesamtwirkungsgrad von Pumpenaggregaten sind

abhängig von der Pumpenaufstellung (trocken aufgestellt oder Unterwasserpumpen) und der Nennleistung. Außerdem ist der Stromverbrauch der Pumpenanlagen grafisch dargestellt.

Tabelle 2. Pumpenanlagen: Stromverbrauch, berechneter Gesamtwirkungsgrad und Vergleich mit Richtwerten

| Name der Anlage     | Stromverbrauch<br>in kWh/a | Gesamtwirkungsgrad in % |           |
|---------------------|----------------------------|-------------------------|-----------|
|                     |                            | Ist                     | Richtwert |
| Br. G               | 100.233                    | 66%                     | 40%       |
| Br. M               | 130.033                    | 57%                     | 53%       |
| Br. F1              | 14.445                     | 77%                     | 40%       |
| Br. F2              | 31.226                     | 64%                     | 53%       |
| Br. D1              | 7.681                      | 65%                     | 53%       |
| Br. D2              | 61.874                     | 88%                     | 53%       |
| Br. Gi              | 36.228                     | 65%                     | 53%       |
| Br. Ga              | 11.700                     | 69%                     | 53%       |
| ZPW I               | 129.500                    | 62%                     | 56%       |
| ZPW II              | 584.174                    | 67%                     | 56%       |
| ZPW III             | 8.070                      | 54%                     | 56%       |
| ZPW IV              | 16.791                     | 64%                     | 44%       |
| ZPW V               | 60.201                     | 60%                     | 56%       |
| ZPW VI              | 23.341                     | 62%                     | 56%       |
| ZPW VII             | 30.769                     | 63%                     | 56%       |
| ZPW VIII            | 21.821                     | 51%                     | 56%       |
| ZPW IX              | 16.273                     | 54%                     | 56%       |
| PW H/S              | 49.253                     | 52%                     | 56%       |
| PW L                | 15.930                     | 55%                     | 56%       |
| PW P                | 8.681                      | 56%                     | 56%       |
| PW HB A             | 25.421                     | 53%                     | 44%       |
| PW B                | 19.787                     | 55%                     | 56%       |
| PW D                | 8.168                      | 45%                     | 44%       |
| PW T                | 19.544                     | 47%                     | 56%       |
| PW W                | 1.585                      | 84%                     | 56%       |
| PW O                | 15.356                     | 31%                     | 56%       |
| PW A                | 417                        | 93%                     | 56%       |
| PW HB S-M.          | 15.906                     | 31%                     | 56%       |
| PW HB G             | 22.433                     | 57%                     | 56%       |
| PW D                | 513.991                    | 65%                     | 56%       |
| PW HB G             | 20.477                     | 50%                     | 56%       |
| PW AL B             | 8.073                      | 68%                     | 44%       |
| PW Sch              | 966                        |                         | 56%       |
| HB BG               | 3.187                      | 43%                     | 44%       |
| TB G                | 284.145                    | 50%                     | 56%       |
| Förderung Brunnen G | 53.484                     | 36%                     | 56%       |
| Förderung Brunnen G | 51.658                     | 62%                     | 56%       |

### 13.2.2 Stromverbrauch durch Wasserverluste

Tabelle 3 zeigt den Stromverbrauch, der durch Wasserverluste verursacht wird. Eine Reduktion von vermeidbaren realen Wasserverlusten führt direkt zu einer Reduktion des Stromverbrauchs von Pumpen sowie Aufbereitungs- und Desinfektionsanlagen.

Tabelle 3. Stromverbrauch durch Wasserverluste

| <b>Stromverbrauch durch Aufbereitung &amp; Desinfektion und Pumpen</b> |                |
|--|----------------|
| in kWh/a   | 2.522.673      |
| in kWh/m <sup>3</sup> Systemeinspeisung                                | 0,97           |
| <b>Reale Verluste</b>  |                |
| in %   | 5%             |
| in m <sup>3</sup> /a   | 125.023        |
| <b>Stromverbrauch durch reale Verluste in kWh/a</b>                    | <b>121.695</b> |

## Anhang B. Grobanalyse: Szenarien Trinkwasserkraftwerke

### 1 WVU 12 - TWKW - V1

#### 1.1 Erhobene Daten- Anforderungen

##### 1.1.1 Beschreibung

Falleitung von HB V bis HB NEU. Bestehende Leitung wird verwendet (siehe Abbildung 1).

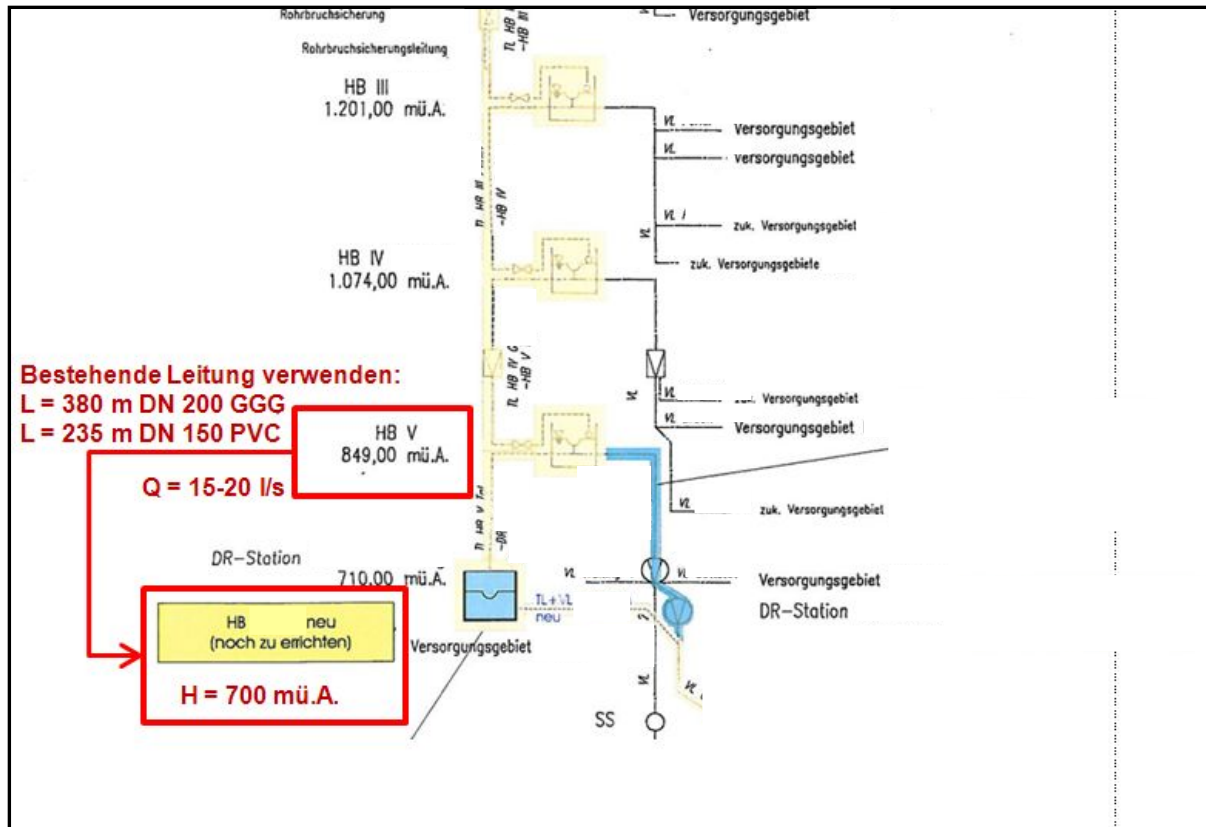


Abbildung 1. Hydraulisches Schema der Variante 1

##### 1.1.2 Durchfluss

- Q = 15 – 20 l/s, Annahme für Abschätzung: Q durchschnittlich 17 l/s
- Ableitung von Überwasser bei HB NEU ist möglich.

##### 1.1.3 Fallhöhe

HB NEU nicht im TIRIS auffindbar

- Bruttofallhöhe laut Schema: 849-700 = 149 m

##### 1.1.4 Rohrleitung

Bestehende Leitung verwenden:

- L = 380 m DN 200 GGG
- L = 235 m DN 150 PVC
- Druckverlustberechnung mit Rohrrauigkeit  $k = 0,4$  mm

##### 1.1.5 Turbinenaufstellung

- Turbinenaufstellung erfolgt im HB

- Wasserabführung drucklos
- Variante mit Gegendruck ebenfalls betrachten

### 1.1.6 Einspeisung

- Bei Einspeisung in 400 V Netz mit Asynchrongenerator ist Netz nur 6 m Luftlinie vom Gebäude weg

## 1.2 Anlagendaten

- Auslegungsdaten
  - Peltonturbine
  - Bruttofallhöhe H = 149 m
  - **Bemessungsdurchfluss** **Q = 20 l/s**
  - Falleitung 1 L = 380 m DN 200 GGG
  - Falleitung 2 L = 235 m DN 150 PVC
- Hydraulische Verluste
  - Druckverlusthöhe gesamt: 3,69 m
  - **Nettofallhöhe:** **145,31 m**
- Leistung und Wirkungsgrad
  - Wirkungsgrad Turbine 0,88
  - Wirkungsgrad Getriebe 1
  - Wirkungsgrad Generator 0,92
  - Wirkungsgrad Trafo 1
  - **Gesamtwirkungsgrad** **0,81**
  - **Leistung** **23 kW**

## 1.3 Regelarbeitsvermögen

- Angenommene Volllaststunden 7.344 h/a
- **Regelarbeitsvermögen RAV** **169.514 kWh/a**

## 1.4 Investitionskosten

### Baukosten

- Turbine und Steuerung (EM Ausrüstung) 120.000 €
- Stromleitung bis Anschlusspunkt
  - Stromleitung mit Verlegekosten 75 €/m
  - Stromleitung Länge 10 m
  - Stromleitung Summe 750 €
- **Summe Baukosten** **120.750€**

### Planungskosten

- rd. 10% der Baukosten ohne elektromaschineller Ausrüstung
- Planungskosten 75 €

### Unvorhergesehenes

- 3% der Gesamtkosten
- Unvorhergesehenes 3.623 €

### Summe

- **Investitionskosten** **124.448 €**

## 1.5 Erlöse

- Einspeistarif 0,0568 €/kWh
- **Jahreserlös** **9.628 €/a**

## 1.6 Wirtschaftlichkeit

- Kennzahlen Investitionskosten
  - Pro kW 5.392 €/kW
  - Pro jährlich produzierter kWh 0,72 €/kWh
- Energiegestehungskosten

- Realzinssatz (teuerungsbereinigt) 3,45 %
- Energiegestehungskosten 0,040 €/ kWh
- Amortisationszeit
  - Amortisationszeit rd. 17,5 Jahre
  - Barwert nach 30 Jahren 53.791 €

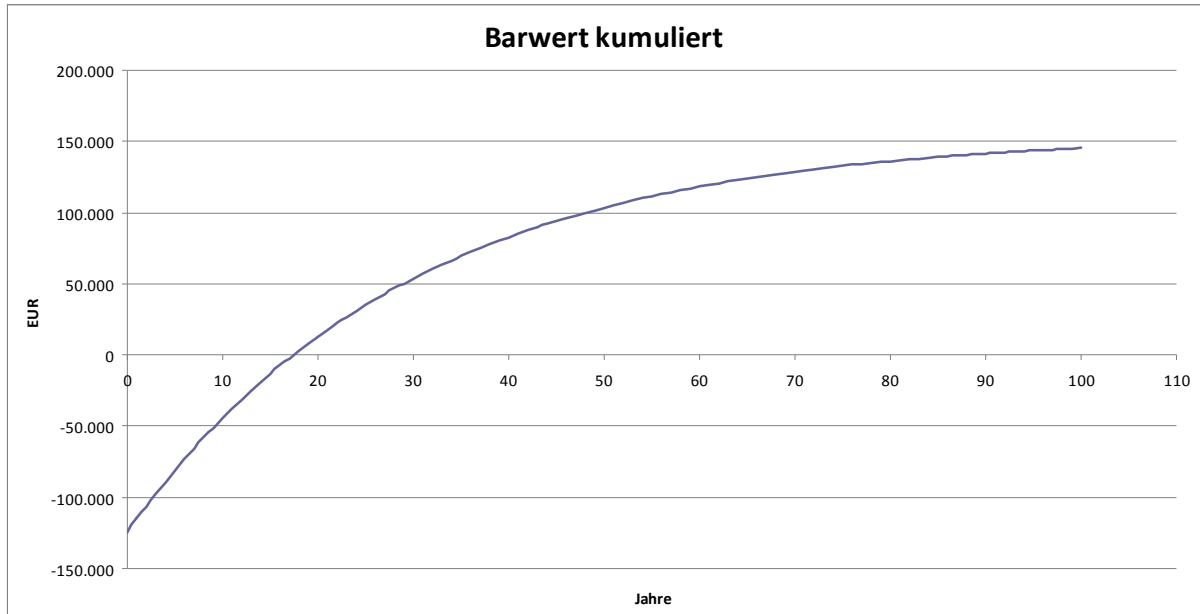


Abbildung 2. kumulierter Barwert und Amortisationszeit

## 1.7 Empfehlung

Aus den Ergebnissen der Voruntersuchung ist eine detailliertere Betrachtung mit Berücksichtigung der örtlichen Rahmenbedingungen sinnvoll.



## 2 WVU 12 - TWKW - V2

### 2.1 Erhobene Daten- Anforderungen

#### 2.1.1 Beschreibung

Falleitung von HB IV bis HB V. Die Leitung ab der DR-Station müsste voraussichtlich mit einer Leitung höherer Druckstufe ersetzt werden (siehe Abbildung 3).

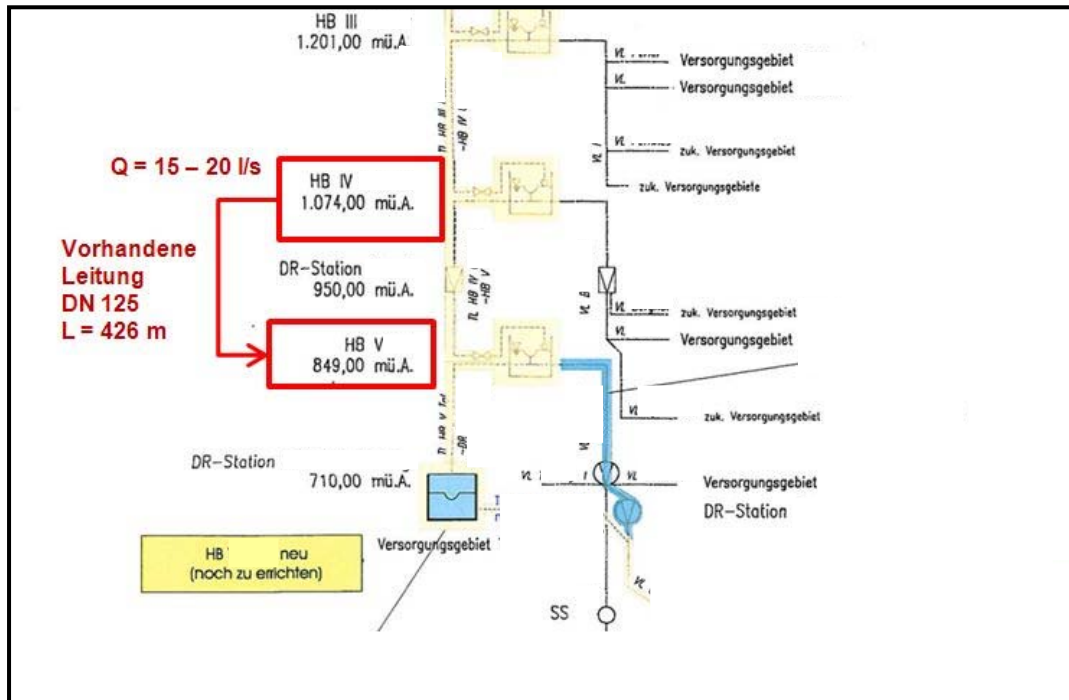


Abbildung 3. Hydraulisches Schema der Variante 2

#### 2.1.2 Durchfluss

- $Q = 15 - 20 \text{ l/s}$ , Annahme für Abschätzung:  $Q$  durchschnittlich  $17 \text{ l/s}$

#### 2.1.3 Fallhöhe

- Bruttofallhöhe:  $1074 - 849 \text{ m} = 225 \text{ m}$

#### 2.1.4 Rohrleitung

- $L_{\text{gesamt}} = 426 \text{ m}$
- Rohrleitung nach der DR-Station muss ersetzt werden  $L = 208 \text{ m}$
- Erfahrungswert Kosten für Rohrleitung DN 150 pro Laufmeter (Material und Verlegung) 150 bis 200 EUR/lfm

#### 2.1.5 Turbinenaufstellung

- Turbinenaufstellung erfolgt in einem neu zu errichtenden Krafthaus
- Wasserabführung drucklos

#### 2.1.6 Einspeisung

- Einspeisepunkt in unmittelbarer Nähe

### 2.2 Anlagendaten

- Auslegungsdaten
  - Pelton turbine

|   |                             |                   |
|---|-----------------------------|-------------------|
| ○ | Bruttofallhöhe              | H = 225 m         |
| ○ | <b>Bemessungsdurchfluss</b> | <b>Q = 20 l/s</b> |
| ○ | Falleitung                  | L = 426 m DN 125  |
| ➤ | Hydraulische Verluste       |                   |
| ○ | Druckverlusthöhe gesamt     | 12,67 m           |
| ○ | <b>Nettofallhöhe:</b>       | <b>212,33 m</b>   |
| ➤ | Leistung und Wirkungsgrad   |                   |
| ○ | Wirkungsgrad Turbine        | 0,88              |
| ○ | Wirkungsgrad Getriebe       | 1                 |
| ○ | Wirkungsgrad Generator      | 0,92              |
| ○ | Wirkungsgrad Trafo          | 1                 |
| ○ | <b>Gesamtwirkungsgrad</b>   | <b>0,81</b>       |
| ○ | <b>Leistung</b>             | <b>34 kW</b>      |

## 2.3 Regelarbeitsvermögen

|   |                                 |                      |
|---|---------------------------------|----------------------|
| ➤ | Angenommene Volllaststunden     | 7.344 h/a            |
| ➤ | <b>Regelarbeitsvermögen RAV</b> | <b>247.698 kWh/a</b> |

## 2.4 Investitionskosten

### Baukosten

|   |   |                 |
|---|---|-----------------|
| ➤ | Turbine und Steuerung (EM Ausrüstung)               | 130.000 €       |
| ➤ | Turbinenhaus  | 20.000 €        |
| ➤ | Falleitung (Mehrkosten gegenüber reiner TW Nutzung) |                 |
| ○ | Falleitung mit Verlegekosten                        | 200 €/m         |
| ○ | Falleitung Länge                                    | 208 m           |
| ○ | Falleitung Summe                                    | 41.600 €        |
| ➤ | Stromleitung bis Anschlusspunkt                     |                 |
| ○ | Stromleitung mit Verlegekosten                      | 75 €/m          |
| ○ | Stromleitung Länge                                  | 20 m            |
| ○ | Stromleitung Summe                                  | 2.500 €         |
| ➤ | <b>Summe Baukosten</b>                              | <b>193.100€</b> |

### Planungskosten

|   |   |         |
|---|---|---------|
| ➤ | rd. 10% der Baukosten ohne elektromaschineller Ausrüstung |         |
| ➤ | Planungskosten  | 6.310 € |

### Unvorhergesehenes

|   |                     |         |
|---|---------------------|---------|
| ➤ | 3% der Gesamtkosten |         |
| ➤ | Unvorhergesehenes   | 5.793 € |

### Summe

|   |                           |                  |
|---|---------------------------|------------------|
| ➤ | <b>Investitionskosten</b> | <b>205.203 €</b> |
|---|---------------------------|------------------|

## 2.5 Erlöse

|   |                    |                   |
|---|--------------------|-------------------|
| ➤ | Einspeistarif      | 0,0568 €/kWh      |
| ➤ | <b>Jahreserlös</b> | <b>14.069 €/a</b> |

## 2.6 Wirtschaftlichkeit

|   |                                   |                |
|---|-----------------------------------|----------------|
| ➤ | Kennzahlen Investitionskosten     |                |
| ○ | Pro kW                            | 6.084 €/kW     |
| ○ | Pro jährlich produzierter kWh     | 0,83 €/kWh     |
| ➤ | Energiegestehungskosten           |                |
| ○ | Realzinssatz (teuerungsbereinigt) | 3,45 %         |
| ○ | Energiegestehungskosten           | 0,042 €/ kWh   |
| ➤ | Amortisationszeit                 |                |
| ○ | Amortisationszeit                 | rd. 20,5 Jahre |
| ○ | Barwert nach 30 Jahren            | 55.245 €       |

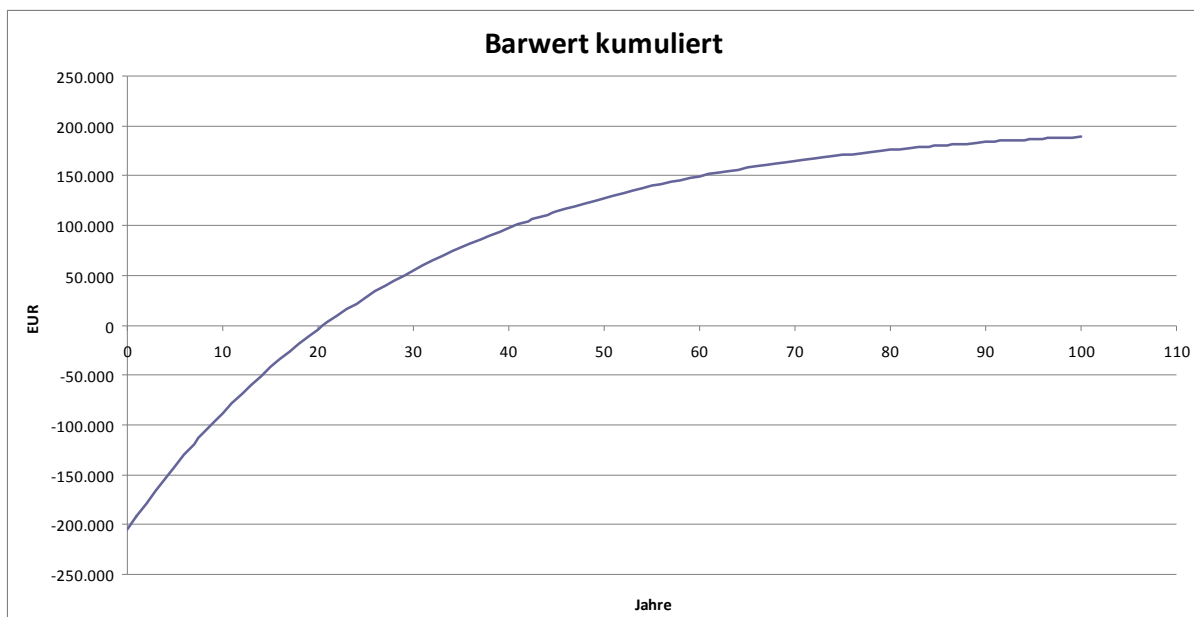


Abbildung 4. kumulierter Barwert und Amortisationszeit

## 2.7 Empfehlung

Aus den Ergebnissen der Voruntersuchung ist eine detailliertere Betrachtung mit Berücksichtigung der örtlichen Rahmenbedingungen sinnvoll.

## 3 WVU 12 - TWKW - V3

### 3.1 Erhobene Daten- Anforderungen

#### 3.1.1 Beschreibung

Falleitung von Quellsammelschacht Z + P-quellen bis HB B muss neu errichtet werden (derzeit Freispiegelleitung DN 80 sanierungsbedürftig).

#### **Z-quellen 1+2 (aus TIRIS)**

anonymisiert

#### **HB (nicht im TIRIS)**

- Quellsammelschacht = ca. 1500m
- HB = ca. 700m

#### 3.1.2 Durchfluss

- Q im Sommer = 20 l/s, Q Mindestwassermenge = 5 l/s, Q letzte Messung(Juni/Juli) = 11 l/s
- Annahme für Berechnung: 7 Monate 5 l/s , 5 Monate 11 l/s = 8 l/s im Durchschnitt

#### 3.1.3 Fallhöhe

- Bruttofallhöhe vom Quellsammelschacht zu HB (TIRIS) = 780 m

#### 3.1.4 Rohrleitung

- Länge = 1800 m, neu zu verlegen
- Erfahrungswert Kosten für Rohrleitung DN 150 pro Laufmeter (Material und Verlegung) 150 bis 200 EUR/lm

#### 3.1.5 Turbinenaufstellung

- Krafthaus muss errichtet werden
- Variante mit Gegendruck ebenfalls betrachten

#### 3.1.6 Einspeisung

- Niederspannungsnetz in der Nähe, Entfernung bis 100 m auch Hochspannung.

#### 3.1.7 Anmerkung

- Mehrkosten der Druckleitung für das TWKW gegenüber der Sanierung der Freispiegelleitung ausständig

### 3.2 Anlagendaten

Aufgrund der hohen Förderhöhe und des relativ kleinen Durchflusses ist ein Schwallbetrieb vorzusehen. Dieser Betrieb macht jedoch zusätzliches Behältervolumen (u.a. Vorlaufbehälter) erforderlich und muss mit der Trinkwasserversorgung vereinbar sein.

- Auslegungsdaten
  - Peltonturbine/ Schwallbetrieb
  - Bruttofallhöhe H = 780 m
  - **Bemessungsdurchfluss** **Q = 20 l/s**
  - Falleitung L = 1.800 m DN 150 GGG
- Hydraulische Verluste
  - Druckverlusthöhe gesamt 20,69 m
  - **Nettofallhöhe** **759,31 m**
- Leistung und Wirkungsgrad
  - Wirkungsgrad Turbine 0,88
  - Wirkungsgrad Getriebe 1
  - Wirkungsgrad Generator 0,92
  - Wirkungsgrad Trafo 1
  - **Gesamtwirkungsgrad** **0,81**

- Leistung **121 kW**

### 3.3 Regelarbeitsvermögen

- Angenommene Volllaststunden 3.240 h/a
- **Regelarbeitsvermögen RAV 390.782 kWh/a**

### 3.4 Investitionskosten

#### Baukosten

Die Kosten für das für den Schwallbetrieb notwendige zusätzliche Behältervolumen sind nicht berücksichtigt. Es wurden die gesamten Verlegekosten für die Falleitung einberechnet und nicht nur die Mehrkosten für energetische Nutzung.

- Turbine und Steuerung (EM Ausrüstung) 220.000 €
- Turbinenhaus 40.000 €
- Falleitung
  - Falleitung mit Verlegekosten 200 €/m
  - Falleitung Länge 1.800 m
  - Falleitung Summe 360.000 €
- Stromleitung bis Anschlusspunkt
  - Stromleitung mit Verlegekosten 75 €/m
  - Stromleitung Länge 20 m
  - Stromleitung Summe 2.500 €
- **Summe Baukosten 621.500 €**

#### Planungskosten

- rd. 10% der Baukosten ohne elektromaschineller Ausrüstung
- Planungskosten 40.150 €

#### Unvorhergesehenes

- 3% der Gesamtkosten
- Unvorhergesehenes 18.645 €

#### Summe

- **Investitionskosten 680.295 €**

### 3.5 Erlöse

- Einspeistarif 0,0568 €/kWh
- **Jahreserlös 22.196 €/a**

### 3.6 Wirtschaftlichkeit

- Kennzahlen Investitionskosten
  - Pro kW 5.640 €/kW
  - Pro jährlich produzierter kWh 1,74 €/kWh
- Energiegestehungskosten
  - Realzinssatz (steuerungsbereinigt) 3,45 %
  - Energiegestehungskosten 0,082 €/ kWh
- Amortisationszeit
  - Amortisationszeit > 30 Jahre

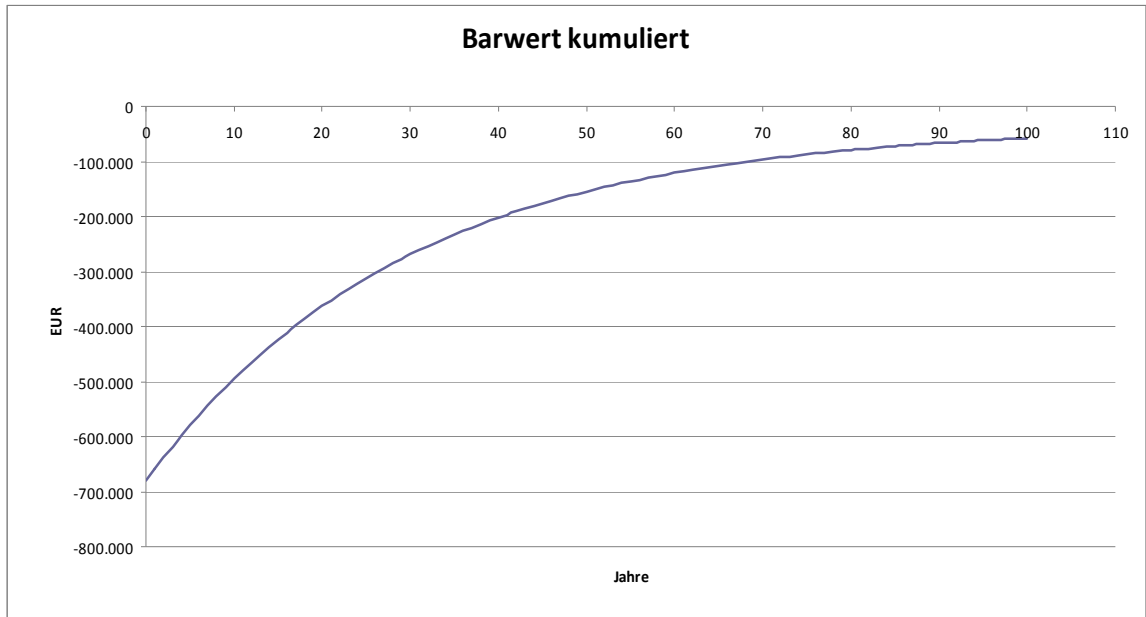


Abbildung 5. kumulierter Barwert und Amortisationszeit

### 3.7 Empfehlung

Aufgrund der hohen Investitionskosten für die Falleitung sollten nur die Mehrkosten für den Ausbau der Druckleitung zur energetischen Nutzung betrachtet werden. Jedoch ist eine detailliertere Betrachtung auch unter Annahme von Mehrkosten von 50 €/m gegenüber der reinen Sanierung nur bedingt sinnvoll:

- Amortisationszeit basierend nur auf Mehrkosten für Falleitung von 50 €/m
  - Amortisationszeit 26 Jahre
  - Barwert nach 30 Jahren 35.701 €

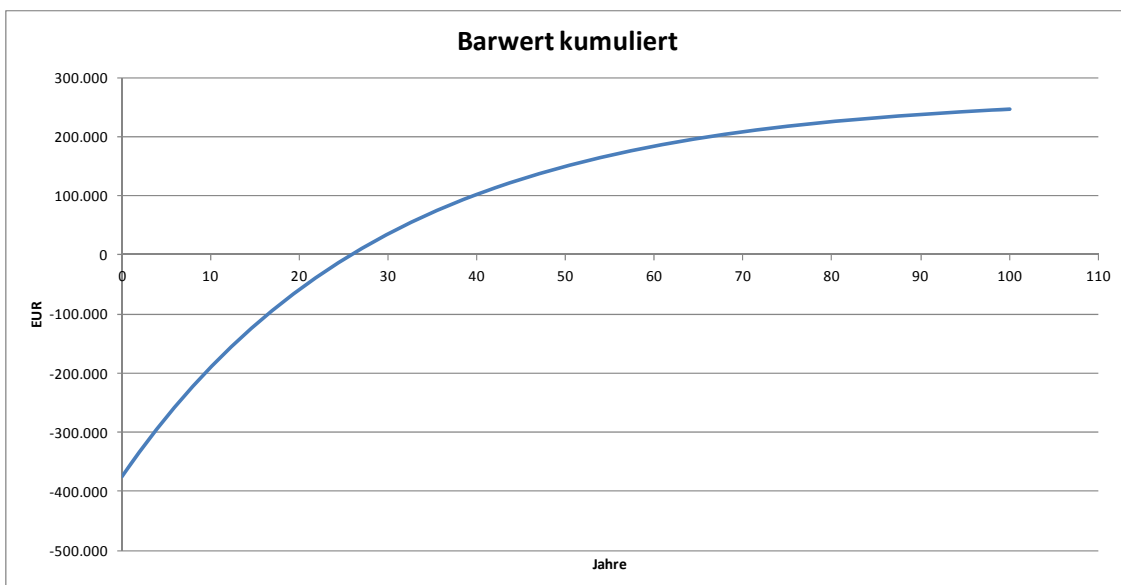


Abbildung 6. kumulierter Barwert und Amortisationszeit

## 4 WVU 15 - TWKW - DR2 - DR3

### 4.1 Erhobene Daten- Anforderungen

#### 4.1.1 Beschreibung

Falleitung von DR2 bis DR3 (siehe Abbildung 7). Bei DR3 erfolgt der Druckabbau durch eine Turbine, die im neu zu errichtenden HB mit eingeplant wird.

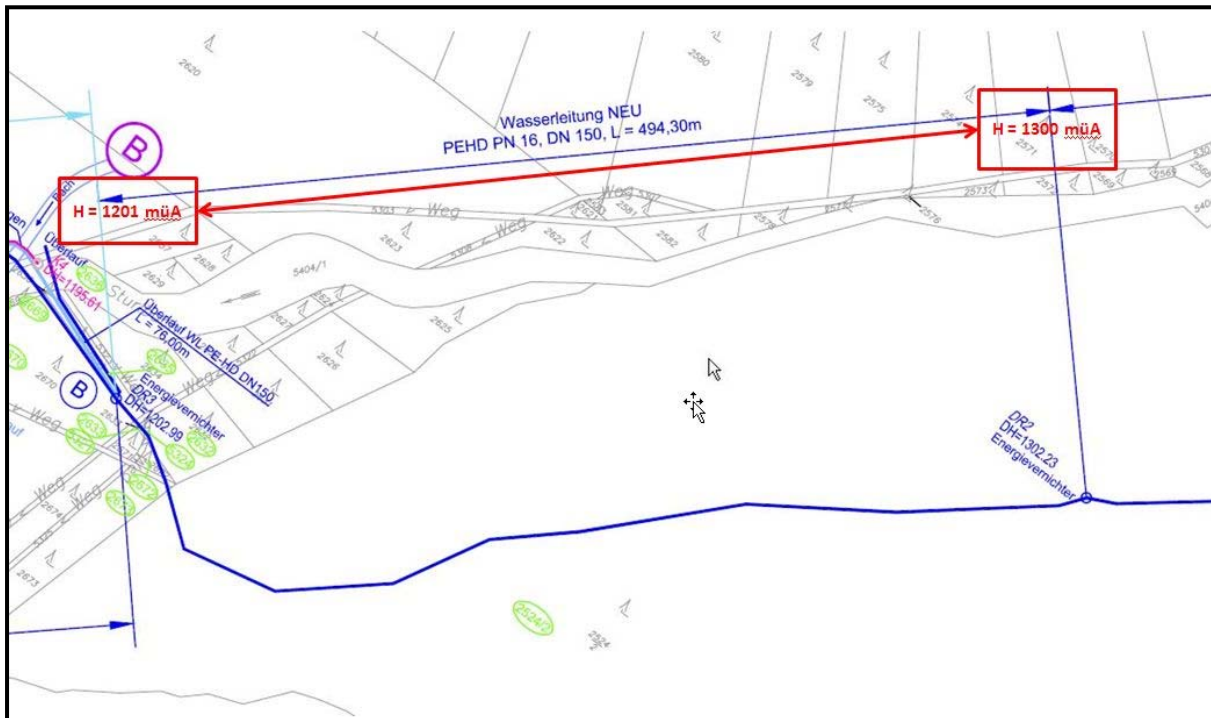


Abbildung 7. TWKW Variante DR2 - DR3

#### 4.1.2 Durchfluss

- wird durch den Durchmesser begrenzt und nicht durch Schüttung
- Ableitung von Überwasser nach Turbinierung möglich (in Bach)
- Annahme 35 l/s

#### 4.1.3 Fallhöhe

- Bruttofallhöhe = 1300 - 1201 = 99 m

#### 4.1.4 Rohrleitung

- L = 494,3 m DN150 PEHD PN16

#### 4.1.5 Turbinenaufstellung

- Im neu zu errichtenden HB bei DR3
- Wasserabführung drucklos

#### 4.1.6 Einspeisung

- Stromabnehmer: TIWAG
- HB 200m von Stromleitung weg

### 4.2 Anlagendaten

- Auslegungsdaten

|                               |                       |
|-------------------------------|-----------------------|
| ○ PAT- Pumpe als Turbine      |                       |
| ○ Bruttofallhöhe              | H = 99 m              |
| ○ <b>Bemessungsdurchfluss</b> | <b>Q = 35 l/s</b>     |
| ○ Falleitung                  | L = 494 m DN 150 PEHD |
| ➤ Hydraulische Verluste       |                       |
| ○ Druckverlusthöhe gesamt     | 17,10 m               |
| ○ <b>Nettofallhöhe</b>        | <b>81,90 m</b>        |
| ➤ Leistung und Wirkungsgrad   |                       |
| ○ Wirkungsgrad Turbine        | 0,7                   |
| ○ Wirkungsgrad Getriebe       | 1                     |
| ○ Wirkungsgrad Generator      | 0,9                   |
| ○ Wirkungsgrad Trafo          | 1                     |
| ○ <b>Gesamtwirkungsgrad</b>   | <b>0,63</b>           |
| ○ <b>Leistung</b>             | <b>18 kW</b>          |

### 4.3 Regelarbeitsvermögen

|                                   |                      |
|-----------------------------------|----------------------|
| ➤ Angenommene Volllaststunden     | 8.640 h/a            |
| ➤ <b>Regelarbeitsvermögen RAV</b> | <b>153.068 kWh/a</b> |

### 4.4 Investitionskosten

#### Baukosten

|   |                |
|---|----------------|
| ➤ Turbine und Steuerung (EM Ausrüstung) | 50.000 €       |
| ➤ Stromleitung bis Anschlusspunkt       |                |
| ○ Stromleitung mit Verlegekosten        | 75 €/m         |
| ○ Stromleitung Länge                    | 200 m          |
| ○ Stromleitung Summe                    | 15.00 €        |
| ➤ <b>Summe Baukosten</b>                | <b>65.000€</b> |

#### Planungskosten

|   |         |
|---|---------|
| ➤ rd. 10% der Baukosten ohne elektromaschineller Ausrüstung |         |
| ➤ Planungskosten  | 1.500 € |

#### Unvorhergesehenes

|                       |         |
|-----------------------|---------|
| ➤ 3% der Gesamtkosten |         |
| ➤ Unvorhergesehenes   | 1.950 € |

#### Summe

|                             |                 |
|-----------------------------|-----------------|
| ➤ <b>Investitionskosten</b> | <b>68.450 €</b> |
|-----------------------------|-----------------|

### 4.5 Erlöse

|                      |                  |
|----------------------|------------------|
| ➤ Einspeistarif      | 0,0568 €/kWh     |
| ➤ <b>Jahreserlös</b> | <b>8.694 €/a</b> |

### 4.6 Wirtschaftlichkeit

|                                      |               |
|--------------------------------------|---------------|
| ➤ Kennzahlen Investitionskosten      |               |
| ○ Pro kW                             | 3.864 €/kW    |
| ○ Pro jährlich produzierter kWh      | 0,45 €/kWh    |
| ➤ Energiegestehungskosten            |               |
| ○ Realzinssatz (steuerungsbereinigt) | 3,45 %        |
| ○ Energiegestehungskosten            | 0,024 €/ kWh  |
| ➤ Amortisationszeit                  |               |
| ○ Amortisationszeit                  | rd. 9,5 Jahre |
| ○ Barwert nach 30 Jahren             | 92.496 €      |



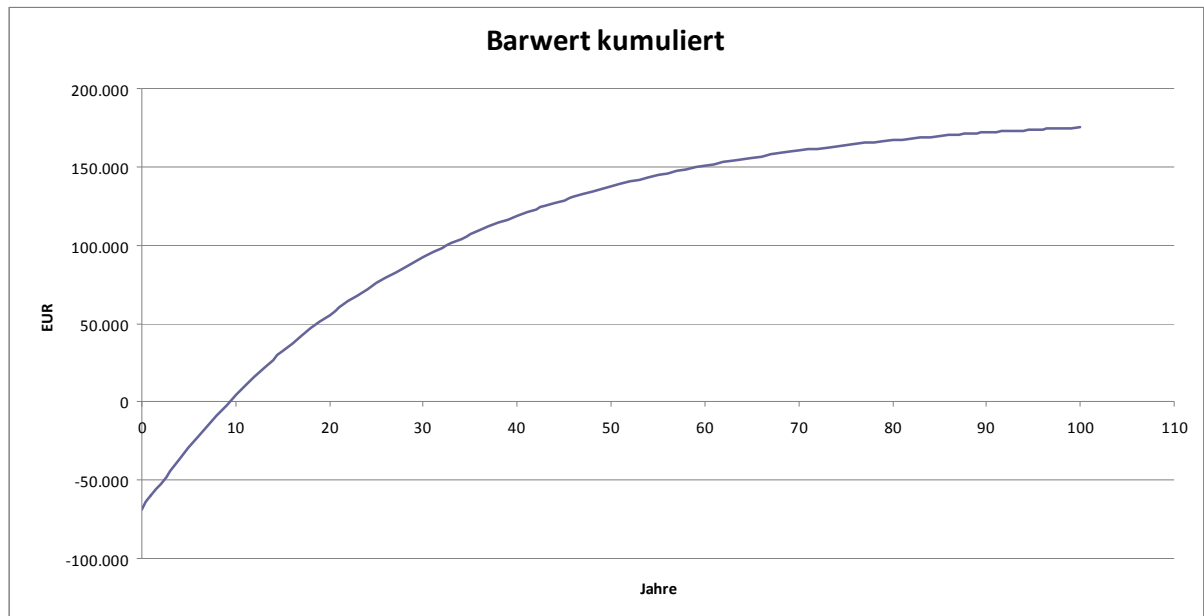


Abbildung 8. kumulierter Barwert und Amortisationszeit

## 4.7 Empfehlung

Aus den Ergebnissen der Voruntersuchung ist eine detailliertere Betrachtung mit Berücksichtigung der örtlichen Rahmenbedingungen sinnvoll.

## 5 WVU 16 – TWKW F

### 5.1 Erhobene Daten- Anforderungen TWKW-F

#### 5.1.1 Beschreibung

#### 5.1.2 Beschreibung

Falleitung von Quellsammelschacht zu HB. Eine Erhöhung des Durchmessers auf DN 200 ist ohnehin geplant. Die Leitung der Quelfassung B-quelle ist in diesem Szenario nicht betrachtet worden und müsste gesondert betrachtet werden.

#### 5.1.3 Durchfluss

- Schüttungsmenge: = 1.255.580 m<sup>3</sup>/a, Annahme eines mittleren Durchflusses von 40 l/s
- min. 27 l/s (2004), max. 90 l/s (geschätzt), siehe Abbildung 9
- keine Angaben zum Konsens im Bescheid
- Überlauf kann dem Gewässer beim HB zurückgeführt werden

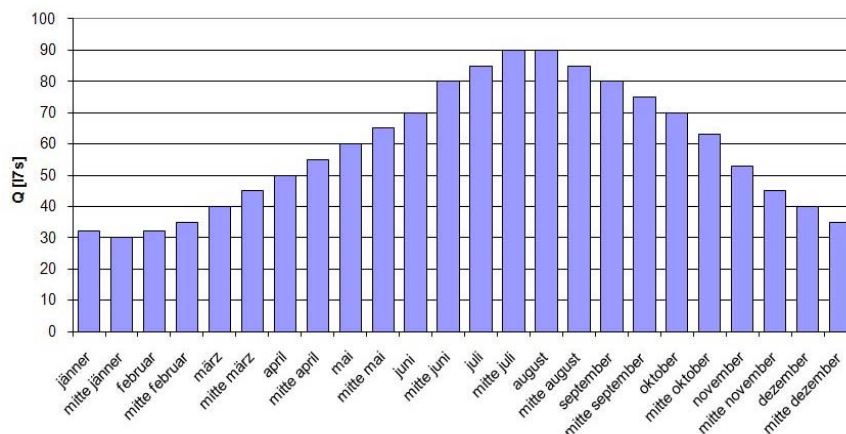


Abbildung 9. Verlauf der Quellschüttung

#### 5.1.4 Fallhöhe

- Quellsammelschacht S-quelle = 706 müA
- HB = 598 müA
- Bruttofallhöhe = 108 m

#### 5.1.5 Rohrleitung

- Länge = 4.295 m gesamt DN 200
- Länge Stollen = 220 m DN 150

#### 5.1.6 Turbinenaufstellung

- Evtl. muss ein Krafthaus errichtet werden
- Wasserabführung drucklos

#### 5.1.7 Einspeisung

- Stromleitung in der Nähe vorhanden

#### 5.1.8 Anmerkung

- Abschätzung ohne Stomanbindung
- Kostenschätzung derzeit mit 50 EUR/m Mehrkosten bei Verwendung von DN200 statt DN150 bei der Rehabilitation auf einer Länge von 2375 m

## 5.2 Anlagendaten

|                               |                   |
|-------------------------------|-------------------|
| ➤ Auslegungsdaten             |                   |
| ○ Peltonturbine               |                   |
| ○ Bruttofallhöhe              | H = 108 m         |
| ○ <b>Bemessungsdurchfluss</b> | <b>Q = 40 l/s</b> |
| ○ Falleitung                  | L = 4075 m DN 200 |
| ○ Falleitung (Stollen)        | L = 220 m DN 150  |
| ➤ Hydraulische Verluste       |                   |
| ○ Druckverlusthöhe gesamt     | 50,39 m           |
| ○ <b>Nettofallhöhe</b>        | <b>57,61 m</b>    |
| ➤ Leistung und Wirkungsgrad   |                   |
| ○ Wirkungsgrad Turbine        | 0,88              |
| ○ Wirkungsgrad Getriebe       | 1                 |
| ○ Wirkungsgrad Generator      | 0,92              |
| ○ Wirkungsgrad Trafo          | 1                 |
| ○ <b>Gesamtwirkungsgrad</b>   | <b>0,81</b>       |
| ○ <b>Leistung</b>             | <b>18 kW</b>      |

## 5.3 Regelarbeitsvermögen

|                                   |                      |
|-----------------------------------|----------------------|
| ➤ Angenommene Volllaststunden     | 7.776 h/a            |
| ➤ <b>Regelarbeitsvermögen RAV</b> | <b>141.664 kWh/a</b> |

## 5.4 Investitionskosten

### Baukosten

|   |                  |
|---|------------------|
| ➤ Turbine und Steuerung (EM Ausrüstung) | 140.000 €        |
| ➤ Turbinenhaus                          | 30.000 €         |
| ➤ Falleitung                            |                  |
| ○ Falleitung mit Verlegekosten          | 50 €/m           |
| ○ Falleitung Länge                      | 2.375 m          |
| ○ Falleitung Summe                      | 118.750 €        |
| ➤ <b>Summe Baukosten</b>                | <b>288.750 €</b> |

### Planungskosten

|   |          |
|---|----------|
| ➤ rd. 10% der Baukosten ohne elektromaschineller Ausrüstung |          |
| ➤ Planungskosten  | 14.875 € |

### Unvorhergesehenes

|                       |         |
|-----------------------|---------|
| ➤ 3% der Gesamtkosten |         |
| ➤ Unvorhergesehenes   | 8.663 € |

### Summe

|                             |                  |
|-----------------------------|------------------|
| ➤ <b>Investitionskosten</b> | <b>312.288 €</b> |
|-----------------------------|------------------|

## 5.5 Erlöse

|                      |                  |
|----------------------|------------------|
| ➤ Einspeistarif      | 0,0568 €/kWh     |
| ➤ <b>Jahreserlös</b> | <b>8.046 €/a</b> |

## 5.6 Wirtschaftlichkeit

|                                     |              |
|-------------------------------------|--------------|
| ➤ Kennzahlen Investitionskosten     |              |
| ○ Pro kW                            | 17.142 €/kW  |
| ○ Pro jährlich produzierter kWh     | 2,20 €/kWh   |
| ➤ Energiegestehungskosten           |              |
| ○ Realzinssatz (teuerungsbereinigt) | 3,45 %       |
| ○ Energiegestehungskosten           | 0,107 €/ kWh |
| ➤ Amortisationszeit                 |              |
| ○ Amortisationszeit                 | > 30 Jahre   |

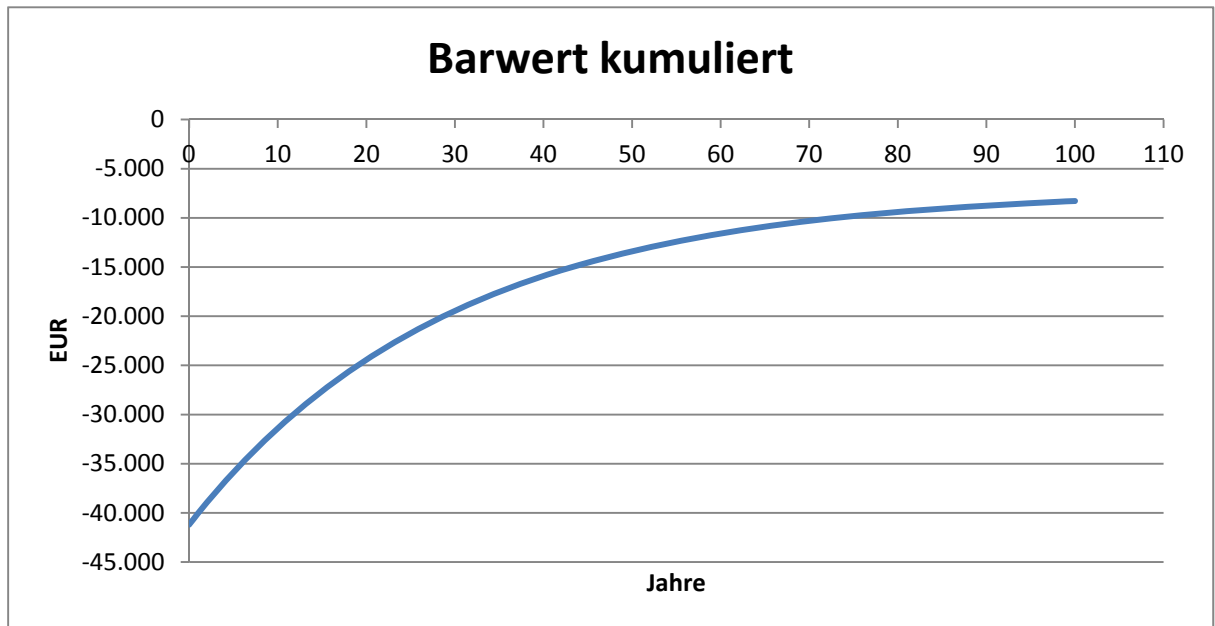


Abbildung 10. kumulierter Barwert und Amortisationszeit

## 5.7 Empfehlung

Unter den derzeitigen Annahmen der Voruntersuchung ist eine detailliertere Betrachtung nicht zu empfehlen.

# 6 WVU 16 - TWKW DR Überlaufleitung HB

## 6.1 Erhobene Daten- Anforderungen TWKW

### 6.1.1 Beschreibung

Überlauf vom Behälter I zum Behälter III

### 6.1.2 Durchfluss

- Durchfluss wird ca. stündlich unterbrochen → eignet sich nicht für eine PAT (Pumpe als Turbine)

## 7 WVU 17 - TWKW Variante 1

### 7.1 Erhobene Daten- Anforderungen

#### 7.1.1 Beschreibung

Falleitung von U-W-quellen 1-4 (1030m) zu Quellsammelschacht Hb-quelle (800m). Die bestehende Rohrleitung wird ersetzt (siehe Abbildung 11).

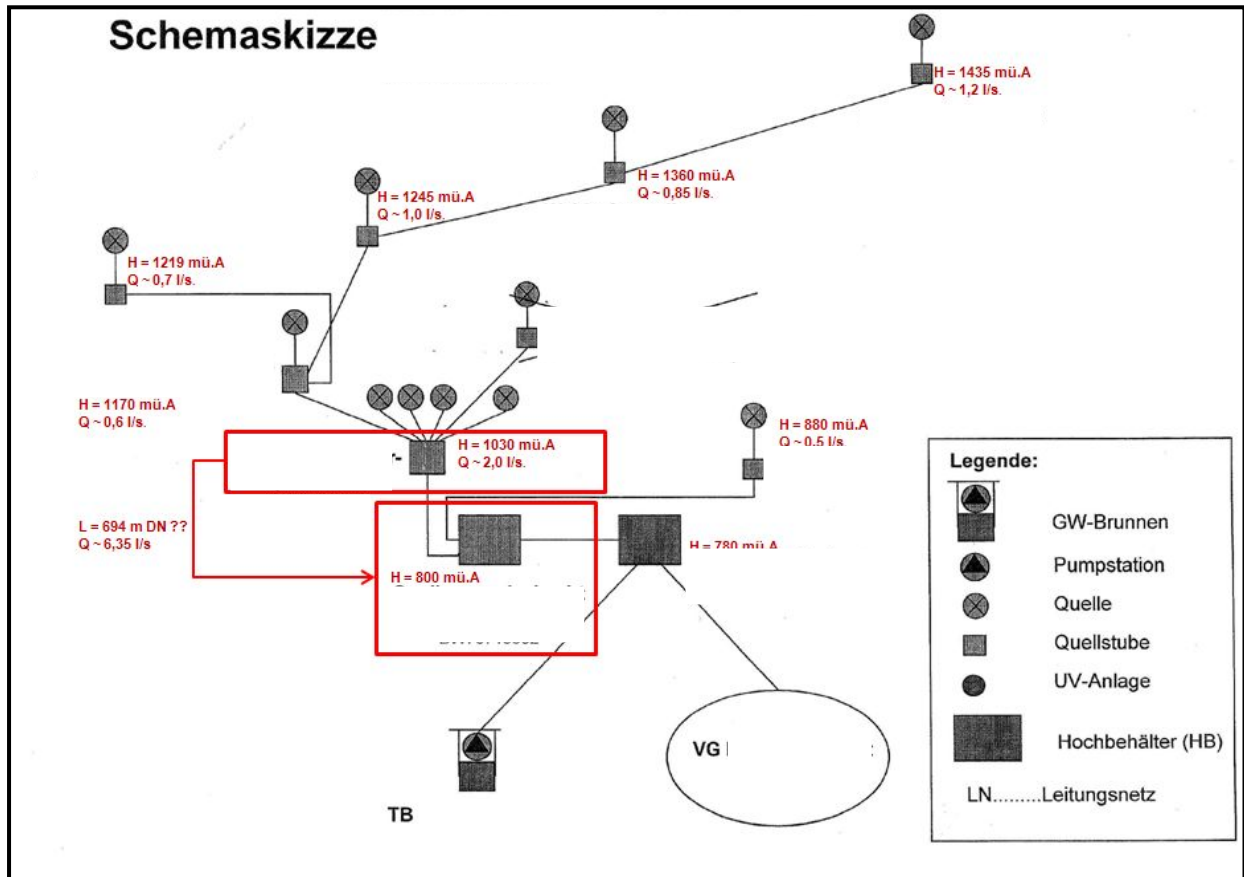


Abbildung 11. Trinkwasserkraftwerk Variante 1

#### 7.1.2 Durchfluss

- Q aufsummiert = 4,5 (min) - 6 (max) l/s, Annahme eines mittleren Durchflusses von 5 l/s
- Ableitung von Überwasser bei Quellsammelschacht Hb-quelle problemlos möglich

#### 7.1.3 Fallhöhe

- Bruttofallhöhe = 1030 – 800 = 230 m

#### 7.1.4 Rohrleitung

- L = ca. 2000 m
- DN schwankt, min. Durchmesser = 2"
- Leitung wird bei Erneuerung ersetzt durch DN80 PE, Mehrkosten gegenüber 2 Zoll angenommen mit 15 EUR/m

#### 7.1.5 Turbinenaufstellung

- Errichtung eines Krafthauses notwendig



### **7.1.6 Einspeisung**

- Stromabnehmer: TIWAG
- HB ca. 100 m entfernt hat Strom

## **7.2 Empfehlung**

Derzeit ist für diese Auslegungsdaten laut Herstellerangaben keine Turbine verfügbar.

## 8 WVU 02 - Druckreduzierung

### 8.1 Erhobene Daten- Anforderungen

#### 8.1.1 Beschreibung

Ersatz einer Druckreduktion durch eine Turbine.

#### 8.1.2 Durchfluss

- 6 l/s kontinuierlich

#### 8.1.3 Fallhöhe

- Druckreduzierung von 16 auf 9 bar

#### 8.1.4 Rohrleitung

- DN 150 (Edelstahlrohre 154x2 mm)

#### 8.1.5 Turbinenaufstellung

- Platz für Aufstellung der Turbine vorhanden, Gegendruck von 9 bar erforderlich

#### 8.1.6 Einspeisung

- Stromabnehmer:

#### 8.1.7 Anmerkungen

- Abschätzung ohne Anbindung zur Stromeinspeisung

### 8.2 Anlagendaten

- Auslegungsdaten
  - PAT- Pumpe als Turbine
  - **Nettofallhöhe** **H = 70 m**
  - **Bemessungsdurchfluss** **Q = 6 l/s**
  - Leitung DN 150 154x2 mm
- Leistung und Wirkungsgrad
  - Wirkungsgrad Turbine 0,65
  - Wirkungsgrad Getriebe 1
  - Wirkungsgrad Generator 0,9
  - Wirkungsgrad Trafo 1
  - **Gesamtwirkungsgrad** **0,59**
  - **Leistung** **2,4 kW**

### 8.3 Regelarbeitsvermögen

- Angenommene Volllaststunden 8.640 h/a
- **Regelarbeitsvermögen RAV** **20.825 kWh/a**

### 8.4 Investitionskosten

#### Baukosten

- Turbine und Steuerung (EM Ausrüstung) 40.000 €
- **Summe Baukosten** **40.000€**

#### Unvorhergesehenes

- 3% der Gesamtkosten
- Unvorhergesehenes 1.200 €

#### Summe

- Investitionskosten 41.200 €

## 8.5 Erlöse

- Einspeistarif 0,0568 €/kWh
- Jahreserlös **1.183 €/a**

## 8.6 Wirtschaftlichkeit

- Kennzahlen Investitionskosten
  - Pro kW 17.093 €/kW
  - Pro jährlich produzierter kWh 1,98 €/kWh
- Energiegestehungskosten
  - Realzinssatz (teuerungsbereinigt) 3,45 %
  - Energiegestehungskosten 0,107 €/ kWh
- Amortisationszeit
  - Amortisationszeit > 30 Jahre

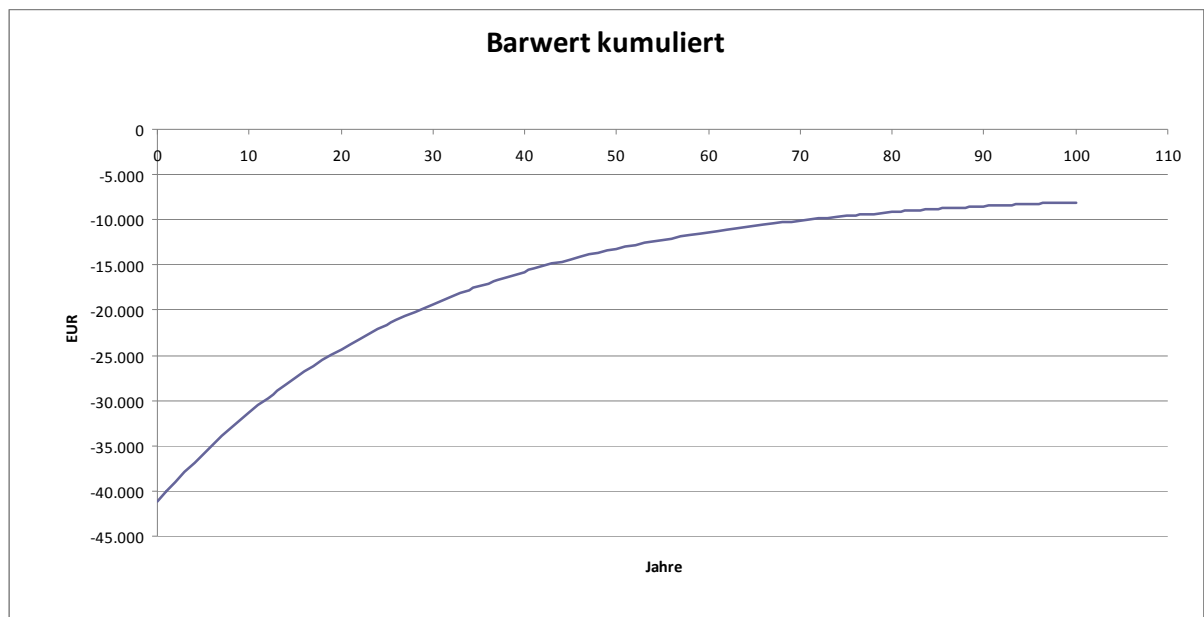


Abbildung 12. kumulierter Barwert und Amortisationszeit

## 8.7 Empfehlung

Unter den derzeitigen Annahmen der Voruntersuchung ist eine detailliertere Betrachtung nicht zu empfehlen.



## 9 WVU 3- TWKW Rk-quelle

### 9.1 Erhobene Daten- Anforderungen

#### 9.1.1 Beschreibung

Falleitung zwischen Quellschacht Rk-quelle und Unterbrecherschacht, die bestehende Rohrleitung wird genutzt (siehe Abbildung 13).

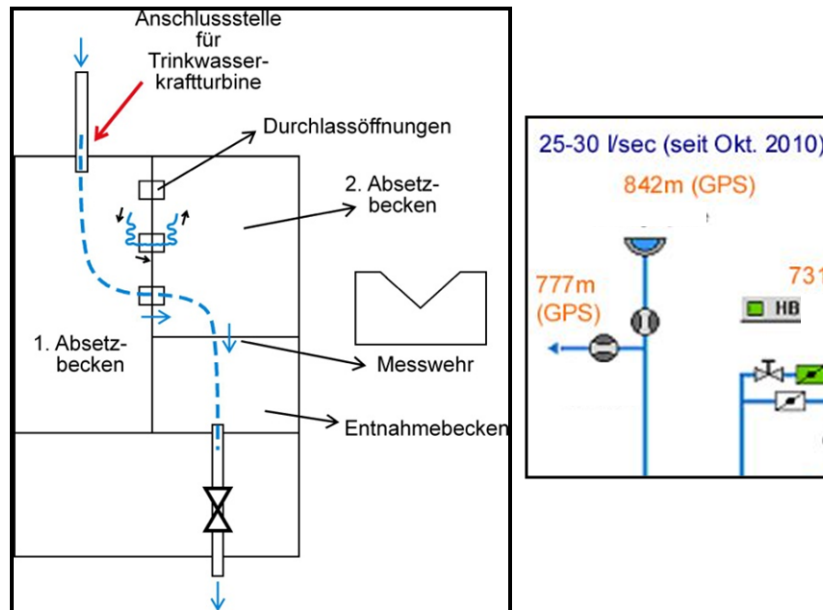


Abbildung 13. Vorgeschlagene Situierung der Turbine, Falleitung zwischen Quellschacht Rk-quelle und Unterbrecherschacht

#### Rk-Quelle (Daten aus digitaler Atlas Steiermark)

##### Unterbrecherschacht

- nicht im digitalen Atlas Steiermark

#### 9.1.2 Durchfluss

- Schüttungsmessung beim Unterbrecherschacht zwischen 24 und 30 l/s (siehe Abbildung 14)
- bestes Verhältnis zwischen  $Q$  und  $h_v$  für Energiegewinnung bei DN125 ergibt 18 l/s (als kontinuierlich vorhanden angenommen)

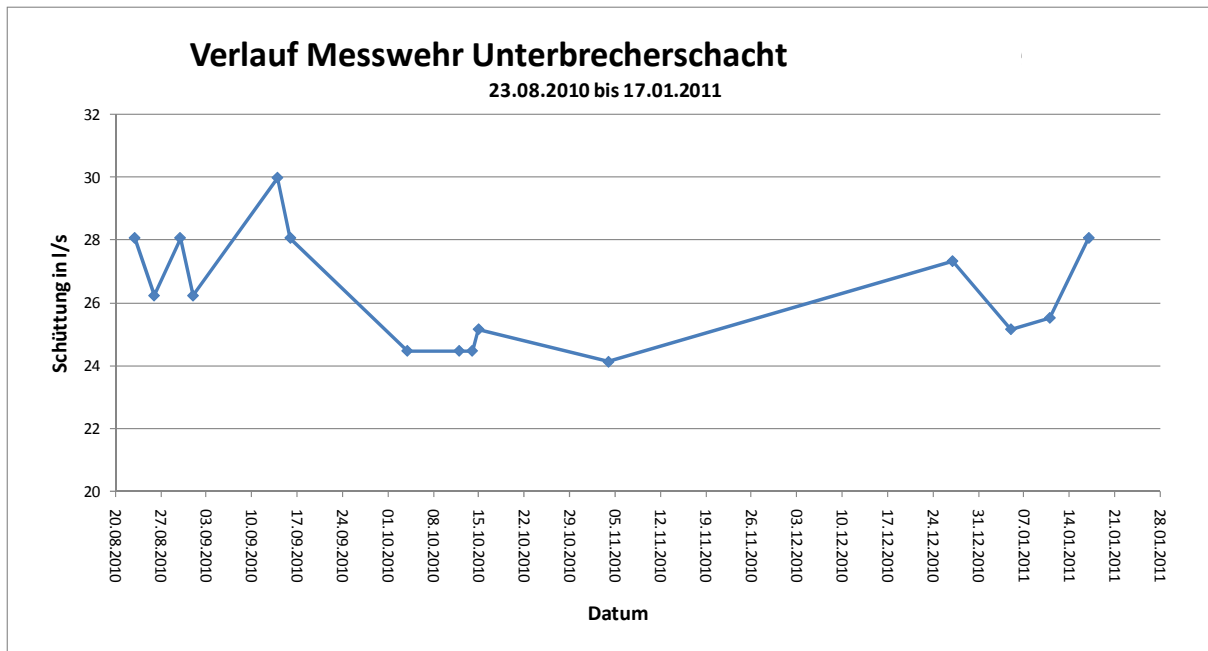


Abbildung 14. Schüttungsmessung beim Unterbrecherschacht

### 9.1.3 Fallhöhe

- Rk-Quelle: 832 m (BEV DGM)
- Unterbrecherschacht: 777 m, gemessen mit GPS (Abgabe Unterbrecherschacht: 763,95 m)
- Bruttofallhöhe: 832 – 777 m = 55

### 9.1.4 Rohrleitung

Die bestehende Rohrleitung wird genutzt:

- Länge zwischen Quelle und Unterbrecherschacht 697,43 m
- Grauguss DN 125

### 9.1.5 Turbinenaufstellung

- Ein Kraffhaus für die Turbine muss errichtet werden
- Wasserabführung drucklos

### 9.1.6 Einspeisung

- Stromabnehmer. STEWEAG
- Entfernung zu Stromeinspeisepunkt nicht bekannt

### 9.1.7 Anmerkungen

- Abschätzung ohne Anbindung zur Stromeinspeisung

## 9.2 Anlagendaten

- Auslegungsdaten
  - PAT- Pumpe als Turbine
  - Bruttofallhöhe **H = 55 m**
  - **Bemessungsdurchfluss** **Q = 18 l/s**
  - Falleitung **L = 697 m DN 125 GGG**
- Hydraulische Verluste
  - Druckverlusthöhe gesamt **16,85 m**
  - **Nettofallhöhe** **38,15 m**
- Leistung und Wirkungsgrad
  - Wirkungsgrad Turbine **0,7**
  - Wirkungsgrad Getriebe **1**
  - Wirkungsgrad Generator **0,9**
  - Wirkungsgrad Trafo **1**
  - **Gesamtwirkungsgrad** **0,63**

- Leistung 4 kW

### 9.3 Regelarbeitsvermögen

- Angenommene Volllaststunden 8.640 h/a
- **Regelarbeitsvermögen RAV** **36.669 kWh/a**

### 9.4 Investitionskosten

#### Baukosten

- Turbine und Steuerung (EM Ausrüstung) 40.000 €
- Turbinenhaus 20.000 €
- **Summe Baukosten** **60.000 €**

#### Planungskosten

- rd. 10% der Baukosten ohne elektromaschineller Ausrüstung
- Planungskosten 2.000 €

#### Unvorhergesehenes

- 3% der Gesamtkosten
- Unvorhergesehenes 1.800 €

#### Summe

- **Investitionskosten** **63.800 €**

### 9.5 Erlöse

- Einspeistarif 0,0568 €/kWh
- **Jahreserlös** **2.083 €/a**

### 9.6 Wirtschaftlichkeit

- Kennzahlen Investitionskosten
  - Pro kW 15.032 €/kW
  - Pro jährlich produzierter kWh 1,74 €/kWh
- Energiegestehungskosten
  - Realzinssatz (steuerungsbereinigt) 3,45 %
  - Energiegestehungskosten 0,088 €/ kWh
- Amortisationszeit
  - Amortisationszeit > 30 Jahre

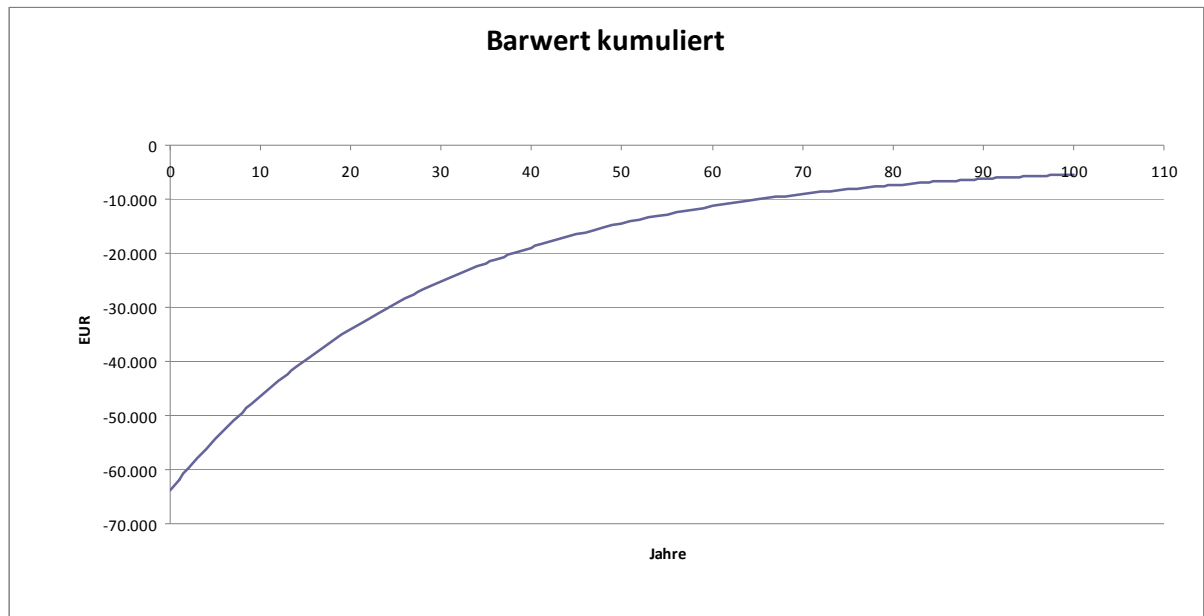


Abbildung 15. kumulierter Barwert und Amortisationszeit

## 9.7 Empfehlung

Unter den derzeitigen Annahmen der Voruntersuchung ist eine detailliertere Betrachtung nicht zu empfehlen.

## 10 WVU 4 - TWKW W-quelle

### 10.1 Erhobene Daten- Anforderungen

#### 10.1.1 Beschreibung

Falleitung zwischen Quellstube W-quelle und HB G. Bei dieser Variante wird eine Turbine beim HB G errichtet. Die UV-Anlage sollte bei dieser Variante nach dem HB angeordnet werden, einerseits damit nur das als Trinkwasser genutzte Wasser desinfiziert wird, andererseits weil diese dem Druck nicht standhalten würde. Abbildung 16 zeigt eine schematische Darstellung der derzeitigen Situation und der untersuchten TWKW Variante.

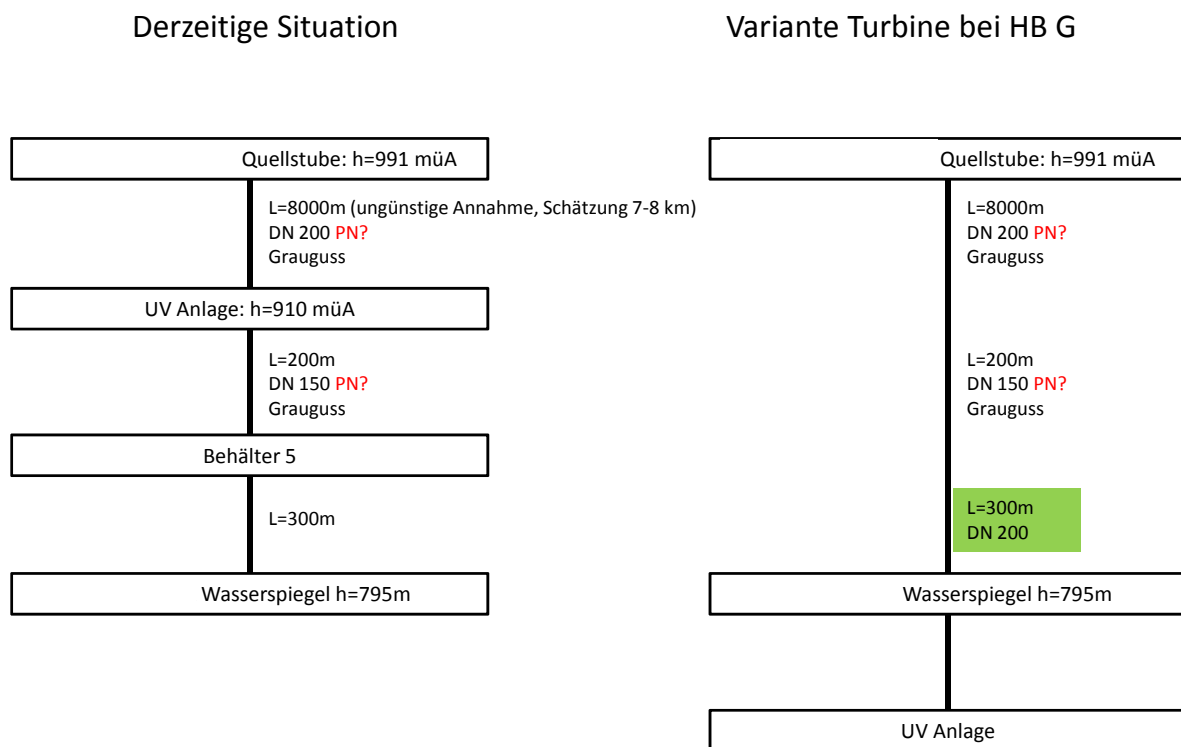


Abbildung 16. Schematische Darstellung der derzeitigen Situation und der untersuchten TWKW Variante

#### W-quelle (Daten aus Digitaler Atlas Steiermark)

anonymisiert

#### Hochbehälter (G) (Daten aus Digitaler Atlas Steiermark)

anonymisiert

#### 10.1.2 Durchfluss

- Konsensmenge: 35 l/s, immer vorhanden (rechtliche Klärung nötig, da das Wasserrecht die Entnahmemenge auf die für die TW-Versorgung notwendige Menge beschränkt)
- Die gesamte Menge könnte kontinuierlich zur Energieproduktion genutzt werden, die für die TW-Versorgung nicht benötigte Menge kann beim Behälter abgeleitet werden (offenes Gerinne und Ablaufleitung vorhanden)

#### 10.1.3 Fallhöhe

- Quellstube: +991 müA (aus Digitaler Atlas Steiermark)
- HB G Wasserspiegel: 795,13 müA (aus Hydraulikübersicht)
- Bruttofallhöhe: 991 – 795,13 = 196 m

### 10.1.4 Rohrleitung

- Luftlinie zwischen HB Gg und W-quelle: 3600 m (aus Digitaler Atlas Steiermark)
- Verlege- und Materialkosten Rohrleitung DN 200 GGG = ca. 200 EUR/m (bei Asphaltbereich)
- Behältergruppe/Behälter 5 auslassen und stattdessen eine direkte Leitung mit L= 8500 m. Dafür sind 300 m DN200 GGG neu zu verlegen.

### 10.1.5 Turbinenaufstellung

- Aufstellung im Schacht des HB möglich
- UV Anlage nach dem Behälter situiert

### 10.1.6 Einspeisung

- Stromabnehmer: Energie Steiermark STEWEAG
- Stromleitung bei HB G vorhanden.

### 10.1.7 Anmerkungen

- Abschätzung ohne Kosten für die Versetzung der UV-Anlage

## 10.2 Anlagendaten

- Auslegungsdaten
  - GDPT- Gegendruckpeltonturbine
  - Bruttofallhöhe H = 196 m
  - **Bemessungsdurchfluss** **Q = 35 l/s**
  - Falleitung 1 L = 8.000 m DN 200 GGG
  - Falleitung 2 L = 200 m DN 150 GGG
  - Falleitung 3 L = 300 m DN 200 GGG (Neubau)
- Hydraulische Verluste
  - Druckverlusthöhe gesamt 71,08 m
  - **Nettofallhöhe** **124,92 m**
- Leistung und Wirkungsgrad
  - Wirkungsgrad Turbine 0,89
  - Wirkungsgrad Getriebe 1
  - Wirkungsgrad Generator 0,93
  - Wirkungsgrad Trafo 1
  - **Gesamtwirkungsgrad** **0,83**
  - **Leistung** **36 kW**

## 10.3 Regelarbeitsvermögen

- Angenommene Volllaststunden 7.920 h/a
- **Regelarbeitsvermögen RAV** **281.162 kWh/a**

## 10.4 Investitionskosten

### Baukosten

- Turbine und Steuerung (EM Ausrüstung) 170.000 €
- Falleitung (Mehrkosten ggü. reiner TW Nutzung)
  - Falleitung mit Verlegekosten 200 €/m
  - Falleitung Länge 300 m
  - Falleitung Summe 60.000 €
- Stromleitung bis Anschlusspunkt
  - Stromleitung mit Verlegekosten 75 €/m
  - Stromleitung Länge 50 m
  - Stromleitung Summe 3.750 €
- **Summe Baukosten** **233.750€**

### Planungskosten

- rd. 10% der Baukosten ohne elektromaschinellem Ausrüstung
- Planungskosten 6.375 €

### Unvorhergesehenes

- 3% der Gesamtkosten

➤ Unvorhergesehenes 7.013 €

**Summe**

➤ **Investitionskosten 247.138 €**

**10.5 Erlöse**

➤ Einspeistarif 0,0568 €/kWh

➤ **Jahreserlös 15.970 €/a**

**10.6 Wirtschaftlichkeit**

- Kennzahlen Investitionskosten
  - Pro kW 6.962 €/kW
  - Pro jährlich produzierter kWh 0,88 €/kWh
- Energiegestehungskosten
  - Realzinssatz (teuerungsbereinigt) 3,45 %
  - Energiegestehungskosten 0,045 €/ kWh
- Amortisationszeit
  - Amortisationszeit rd. 22,5 Jahre
  - Barwert nach 30 Jahren 48.497 €

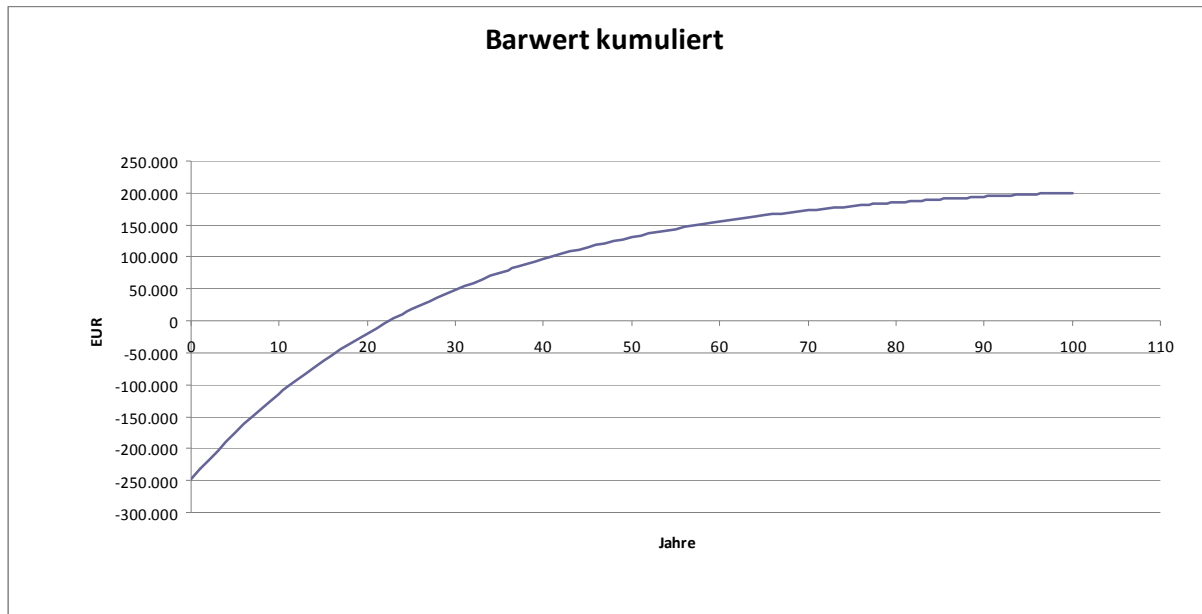


Abbildung 17. kumulierter Barwert und Amortisationszeit

**10.7 Empfehlung**

Aus den Ergebnissen der Voruntersuchung ist eine detailliertere Betrachtung mit Berücksichtigung der örtlichen Rahmenbedingungen sinnvoll.



# 11 WVU 21 - TWKW HB

## 11.1 Erhobene Daten- Anforderungen

### 11.1.1 Beschreibung

Einlauf bei Übergang Freispiegelstollen zu Anschlussleitung DN 100 für HB Durchfluss

- Konsensmenge: 7 l/s, kontinuierlich
- Konsens vor der Abzweigung in der DN350 Leitung beträgt 40 l/s

### 11.1.2 Fallhöhe

- Übergang Freispiegelstollen zu Anschlussleitung DN 100 für HB: 1140 müA
- Abzweigung: 1085 müA
- HB: 971 müA
- Bruttofallhöhe: 1140 – 971 = 169 m

### 11.1.3 Rohrleitung

- 1. Teil (vor Abzweigung): L= 350 m DN350, 40 l/s, hv vernachlässigbar
- 2. Teil (nach Abzweigung): L= 1050 m DN100, 7 l/s
- Material GGG

### 11.1.4 Turbinenaufstellung

- Aufstellung in vorhandenem Behälter

### 11.1.5 Einspeisung

- Stromabnehmer: TIWAG
- Hochbehälter an das TIWAG-Netz angeschlossen. Somit kann die erzeugte Energie voraussichtlich direkt beim Hochbehälter eingespeist werden.

## 11.2 Anlagendaten

- Auslegungsdaten
  - Pelton turbine
  - Bruttofallhöhe H = 169 m
  - **Bemessungsdurchfluss** **Q = 7 l/s**
  - Falleitung L = 1.050 m DN 100 GGG
- Hydraulische Verluste
  - Druckverlusthöhe gesamt 12,73 m
  - **Nettofallhöhe** **156,27 m**
- Leistung und Wirkungsgrad
  - Wirkungsgrad Turbine 0,88
  - Wirkungsgrad Getriebe 1
  - Wirkungsgrad Generator 0,92
  - Wirkungsgrad Trafo 1
  - **Gesamtwirkungsgrad** **0,81**
  - **Leistung** **8,7 kW**

## 11.3 Regelarbeitsvermögen

- Angenommene Volllaststunden 7.920 h/a
- **Regelarbeitsvermögen RAV** **68.806 kWh/a**

## 11.4 Investitionskosten

### Baukosten

- Turbine und Steuerung (EM Ausrüstung) 100.000 €
- Stromleitung bis Anschlusspunkt
  - Stromleitung mit Verlegekosten 75 €/m
  - Stromleitung Länge 10 m



- Stromleitung Summe 750 €
- **Summe Baukosten** 100.750 €

**Planungskosten**

- rd. 10% der Baukosten ohne elektromaschineller Ausrüstung
- Planungskosten 75 €

**Unvorhergesehenes**

- 3% der Gesamtkosten
- Unvorhergesehenes 3.023 €

**Summe**

- **Investitionskosten** 103.848 €

**11.5 Erlöse**

- Einspeistarif 0,0568 €/kWh
- **Jahreserlös** 3.908 €/a

**11.6 Wirtschaftlichkeit**

- Kennzahlen Investitionskosten
  - Pro kW 11.953 €/kW
  - Pro jährlich produzierter kWh 1,51 €/kWh
- Energiegestehungskosten
  - Realzinssatz (teuerungsbereinigt) 3,45 %
  - Energiegestehungskosten 0,082 €/ kWh
- Amortisationszeit
  - Amortisationszeit rd. 74 Jahre

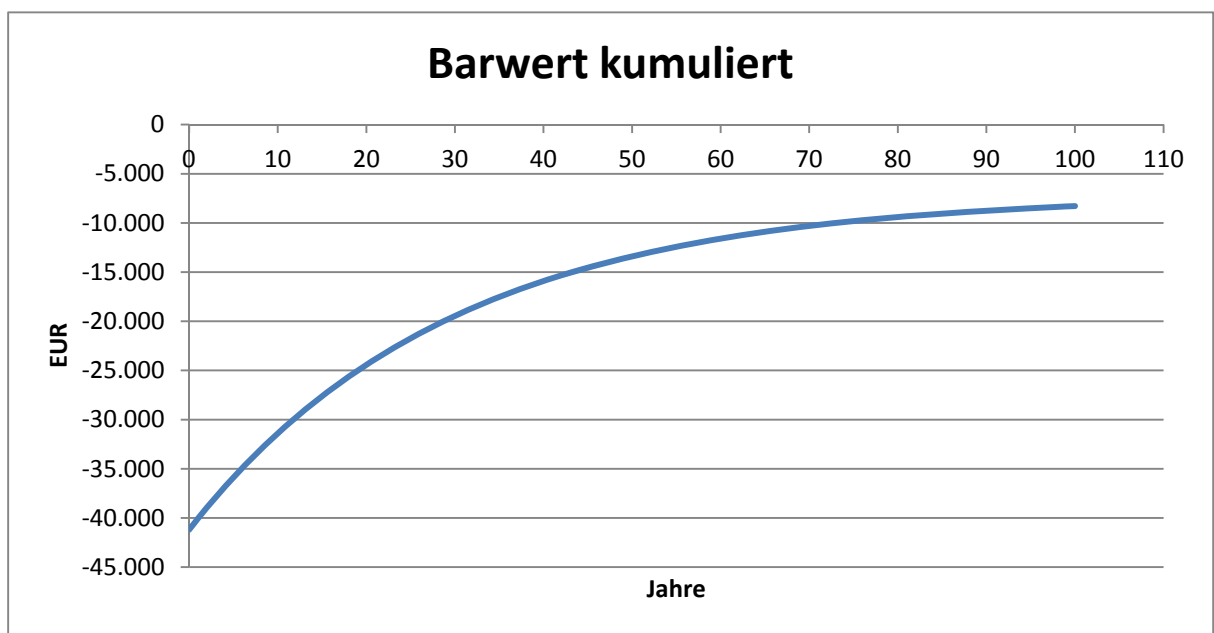


Abbildung 18. kumulierter Barwert und Amortisationszeit

**11.7 Empfehlung**

Unter den derzeitigen Annahmen der Voruntersuchung ist eine detailliertere Betrachtung nicht zu empfehlen.



## 12 WVU 19 - Quelle H + P

### 12.1 Erhobene Daten- Anforderungen

#### 12.1.1 Beschreibung

Ersatz der Druckreduktion durch Turbine (Quellen H und P). Nutzung der bestehenden Leitung. Die gesamte Wassermenge wird turbinert. Die Überwassermenge wird ausgeleitet. Die für die Trinkwasserversorgung notwendige Wassermenge wird in der UV-Anlage desinfiziert und in den neuen Behälter geleitet.

#### 12.1.2 Durchfluss

- Quelle H = 3,5 l/s und Quelle P = 3 l/s bei höchstem Verbrauch, Konsens liegt höher

#### 12.1.3 Fallhöhe

- vorhandener Druck: 7 bar

#### 12.1.4 Rohrleitung

- DN 80 PE

#### 12.1.5 Turbinenaufstellung

- Berechnung unter Annahme, dass Turbine in altem Behälter Platz hat

#### 12.1.6 Einspeisung

- Entfernung zu Einspeisepunkt nicht bekannt

#### 12.1.7 Anmerkungen

- Kostenschätzung ohne Kosten für Systemumbau (versetzen der UV-Anlage usw.) und Stromanbindung

### 12.2 Anlagendaten

- Auslegungsdaten
  - PAT - Pumpe als Turbine
  - **Bemessungsdurchfluss** **Q = 6,5 l/s**
  - **Nettofallhöhe** **70 m**
- Leistung und Wirkungsgrad
  - Wirkungsgrad Turbine 0,65
  - Wirkungsgrad Getriebe 1
  - Wirkungsgrad Generator 0,9
  - Wirkungsgrad Trafo 1
  - **Gesamtwirkungsgrad** **0,59**
  - **Leistung** **2,6 kW**

### 12.3 Regelarbeitsvermögen

- Angenommene Volllaststunden 7.920 h/a
- **Regelarbeitsvermögen RAV** **20.681 kWh/a**

### 12.4 Investitionskosten

#### Baukosten

- Turbine und Steuerung (EM Ausrüstung) 40.000 €
- **Summe Baukosten** **40.000 €**

#### Unvorhergesehenes

- 3% der Gesamtkosten
- Unvorhergesehenes 1.200 €

**Summe**

➤ Investitionskosten **41.200 €**

**12.5 Erlöse**

➤ Einspeistarif 0,0568 €/kWh  
 ➤ Jahreserlös **1.175 €/a**

**12.6 Wirtschaftlichkeit**

➤ Kennzahlen Investitionskosten  
     ○ Pro kW 15.778 €/kW  
     ○ Pro jährlich produzierter kWh 1,99 €/kWh  
 ➤ Energiegestehungskosten  
     ○ Realzinssatz (teuerungsbereinigt) 3,45 %  
     ○ Energiegestehungskosten 0,108 €/ kWh  
 ➤ Amortisationszeit  
     ○ Amortisationszeit > 30 Jahre

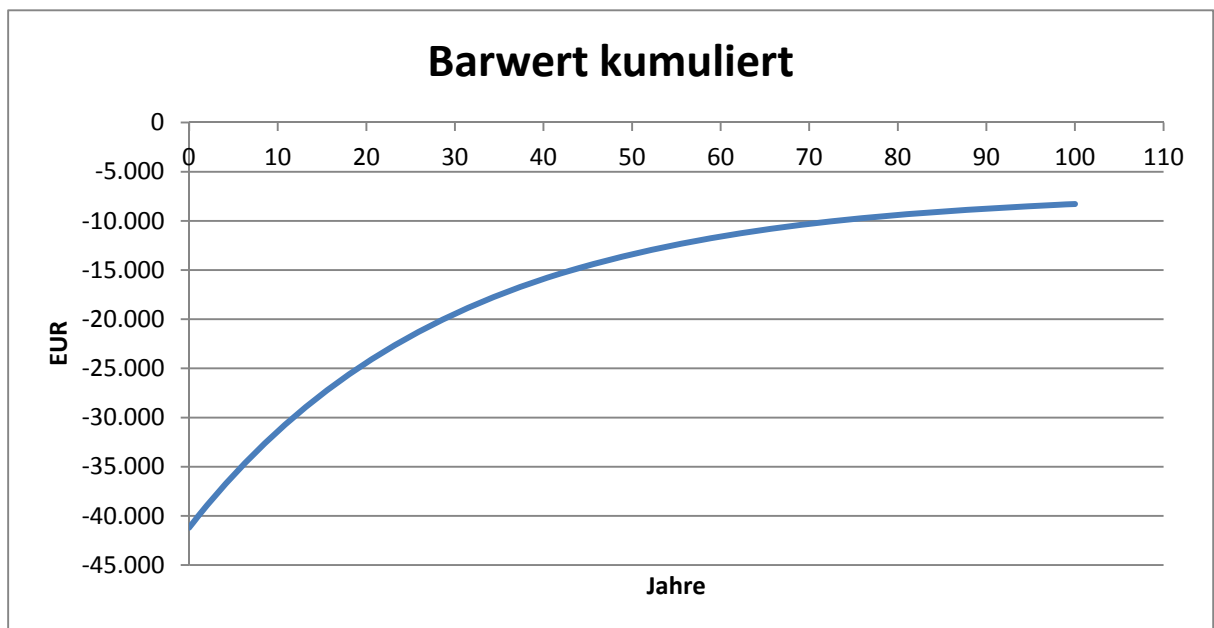


Abbildung 19. kumulierter Barwert und Amortisationszeit

**12.7 Empfehlung**

Unter den derzeitigen Annahmen der Voruntersuchung ist eine detailliertere Betrachtung nicht zu empfehlen.



## 13 WVU 24 - TWKW V1

### 13.1 Erhobene Daten- Anforderungen

#### 13.1.1 Beschreibung

2 Quellgebiete (3+2 Quellen) -> 1 Sammelschacht; Konsens ca. 3,7 l/s, Druckunterbrecherschacht mit 12 bar gemessen, ca. 0,5 bar für UV-Anlage nötig -> Durchs Versorgungsnetz in HB, von dort weiter ins Versorgungsnetz

#### 13.1.2 Durchfluss/Quellschüttung

- 3,5 l/s stehen konstant zur Verfügung (auch im heurigen sehr trockenen Jahr, 1 Quelle kann bei Bedarf zugeschalten werden)

#### 13.1.3 Fallhöhe

- Quellsammelschacht bis Druckunterbrecherschacht 12 bar gemessen

#### 13.1.4 Rohrleitung

- 2" PE-Schlauch

#### 13.1.5 Turbinenaufstellung

- Platz im Druckunterbrecherschacht vorhanden (ca. 3x2,5m)

#### 13.1.6 Einspeisung

- Niederspannungsnetz in der Nähe, Freileitung von Energie AG direkt auf anderer Straßenseite ca. 5-10m

#### 13.1.7 Anmerkung

- keine Zusatzkosten; Turbine kann direkt eingebaut werden

### 13.2 Empfehlungen

Für die Auslegungsdaten ( $Q = 3,5 \text{ l/s}$  und  $H = 120 \text{ m}$ ) kommt nur eine Peltonturbine in Frage, welche in dieser kleinen Ausführung derzeit nicht wirtschaftlich einsetzbar ist. Eine PAT (Pumpe als Turbine) kann hier nur im Schwallbetrieb eingesetzt sein, was bei einer primären Nutzung des Wassers zur Trinkwasserversorgung in diesem Fall schwierig möglich ist.

## 14 WVU 18 - TWKW

### 14.1 Erhobene Daten- Anforderungen

#### 14.1.1 Beschreibung

Kurzschluss des Druckunterbrecherschachts und damit Nutzung der Fallhöhe zwischen G-quelle (871 m) und Schacht bei der I-quelle (797 m) (siehe Abbildung 20).

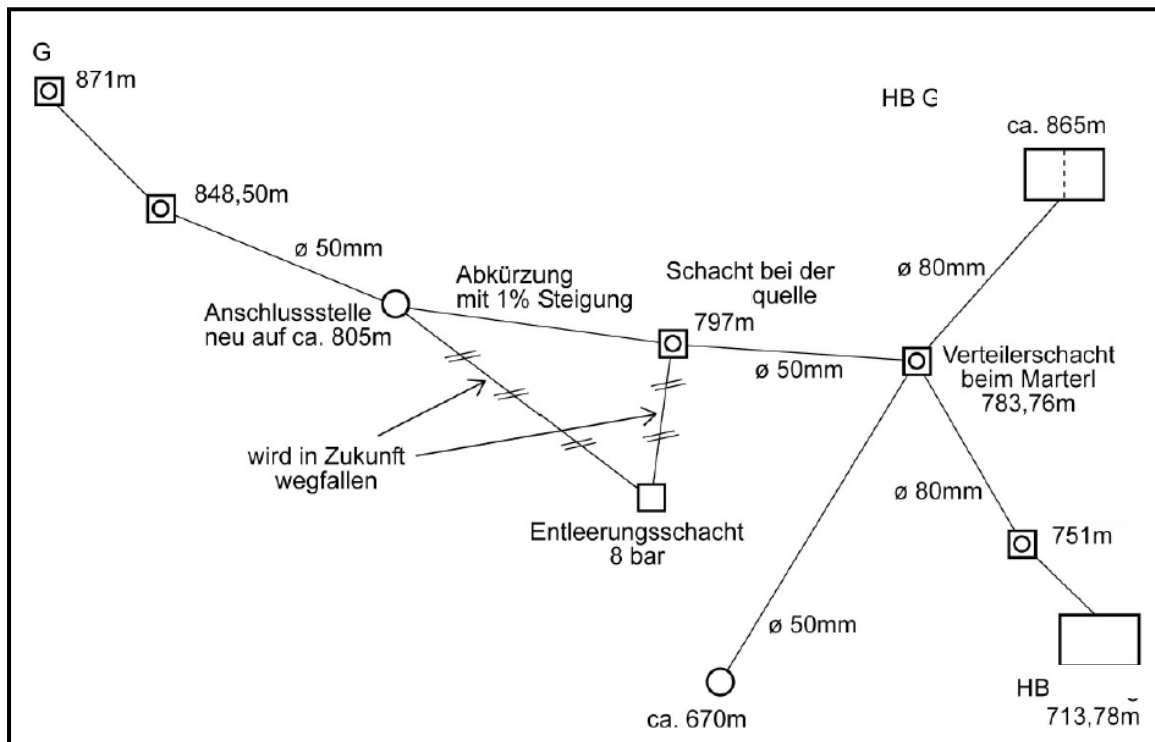


Abbildung 20. TWKW G-Quelle

#### 14.1.2 Durchfluss/Quellschüttung

- zwischen 2,5 l/s und 3,5 l/s

#### 14.1.3 Fallhöhe

- Bruttofallhöhe =  $871 - 797 = 74$  m

#### 14.1.4 Rohrleitung

- DN 50

### 14.2 Empfehlungen

Aufgrund des sehr geringen Durchflusses und der geringen Fallhöhe ist eine energetische Nutzung mit einem Trinkwasserkraftwerk derzeit wirtschaftlich nicht möglich.

## Anhang C. Förderung von Wasserkraftwerken

### Förderung mittels Investitionszuschuss aus Bundesfördermitteln über die OeMAG (Kleine und Mittlere Wasserkraft)

Klein- und mittlere Wasserkraftanlagen werden über die OeMAG im Rahmen der verfügbaren Budgetmittel mittels Investitionszuschüssen gefördert. Ihr Ansprechpartner ist die OeMAG (Abwicklungsstelle für Ökostrom AG), Tel.Nr. 05 787 66-10. Auf der Webpage [www.oem-ag.at](http://www.oem-ag.at) unter dem Menüpunkt Investitionsförderung sind die Anforderungen dargestellt. Sie finden hier ebenso die erforderlichen Formulare zum Download. Die Investitionszuschüsse für Klein- und mittlere Wasserkraft unterliegen einer gesetzlichen Obergrenze laut Tabelle 1 (Voraussetzung: Förderung für einen wirtschaftlichen Betrieb erforderlich).

Tabelle 1. Förderobergrenzen (Energie-Control Austria, 2010)

| Größe der Anlage                            | Förderobergrenze Investitionszuschuss         |
|---|---|
| Kleinwasserkraft Engpassleistung von 500 kW | Max. 30 %, max. 1.500 Euro/kW                 |
| Kleinwasserkraft Engpassleistung von 2 MW   | Max. 20 %, max. 1.000 Euro/kW                 |
| Kleinwasserkraft Engpassleistung von 10 MW  | Max. 10 %, max. 400 Euro/kW                   |
| Mittlere Wasserkraft                        | Max. 10 %, max. 400 Euro/kW, max. 6 Mio. Euro |

Die Berechnung des Investitionsvolumens der jeweiligen Anlage unterliegt gesetzlichen Bestimmungen. Wenden Sie diesbezüglich bitte direkt an die OeMAG. Für Kleinwasserkraftanlagen, die bis 31.12.2014 in Betrieb genommen werden, steht ein akkumuliertes Volumen an Investitionszuschüssen in Höhe von insgesamt 75 Millionen Euro zur Verfügung. Für mittlere Wasserkraftanlagen, deren Baubeginn zwischen 1.7.2006 und 31.12.2013 liegt und die bis 31.12.2014 in Betrieb genommen werden, steht ein Höchstbetrag von insgesamt 50 Millionen Euro zur Verfügung (Energie-Control Austria, 2010).

## Anhang D. Datengrundlagen für die Annahmen

---

Dieser Anhang ist eine Zusammenstellung der Datengrundlagen, die neben den eigenen Datenerhebungen verwendet wurden, um die Annahmen für die Berechnungen in Grob- und Detailanalysen festzulegen.

# 1 Trinkwasserkraftwerke

## 1.1 Investitions- und Betriebskosten

### 1.1.1 Investitionskosten

Tabelle 1 zeigt Annahmen für Investitionskosten für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Trinkwasserkraftwerken aus verschiedenen Quellen.

Tabelle 1. Beispiele für angenommene Investitionskosten für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Trinkwasserkraftwerken

| Anlagenteil  | Investitionskosten     | Quelle  |
|--|------------------------|---|
| Pelton turbine inkl. Lieferung, Montage und elektrotechnische Ausrüstung   | 3.123 EUR/kW           | Institut für Wasserwirtschaft (2009, p. 68)   |
| Turbine 56 kW und Steuerung  | 3.400 EUR/kW           | WVU 07, Trinkwasserkraftwerke, 2008   |
| Turbine 61 kW und Steuerung  | 3.200 EUR/kW           | WVU 07, Trinkwasserkraftwerke, 2008   |
| Turbine 66 kW und Steuerung  | 3.000 EUR/kW           | WVU 07, Trinkwasserkraftwerke, 2008   |
| Rückwärtslaufende Pumpturbine inkl. Lieferung, Montage und elektrotechnische Ausrüstung                                | 2.604 EUR/kW           | Institut für Wasserwirtschaft (2009, p. 68)   |
| Rückwärtslaufende Pumpturbine (23,2 kW) inkl. Lieferung, Montage und elektrotechnische Ausrüstung                      | 2.862 EUR/kW           | WVU 9, Kostenschätzung Turbineneinbau   |
| Transformator pauschal   | 5.000 EUR              | Institut für Wasserwirtschaft (2009, p. 69)   |
| Umbau bzw. Adaptierung der Bauwerke pauschal   | 7.000 EUR              | Institut für Wasserwirtschaft (2009, p. 68)   |
| Adaptierung Pumpensockel für rückwärtslaufende Pumpturbine (23,2 kW), Abnahmeprüfung, Dokumentation und Inbetriebnahme | 1.100 EUR              | WVU 9, Kostenschätzung Turbineneinbau   |
| Krafthaus 5x8x3 m, Ausgleichsbecken 40 m <sup>3</sup>  | 300 EUR/m <sup>3</sup> | WVU 07, Trinkwasserkraftwerke, 2008   |
| Stromleitung   | 80 EUR/m               | Institut für Wasserwirtschaft (2009, p. 69)   |
| Stromleitung   | 75 EUR/m               | Potentialstudie Druckminderanlage BOKU-SIG - 2010   |
| Unvorhergesehene Ausgaben  | 10% der Gesamtkosten   | WVU 07, Trinkwasserkraftwerke, 2008   |
| Unvorhergesehene Ausgaben  | 10% der Gesamtkosten   | Beilage A Wissenschaftliche Studie Trinkwasserkraftwerk, Univ-Doz DI Dr. Alfons Sillaber - 2003 |
| Unvorhergesehene Ausgaben  | 10% der Gesamtkosten   | DVGW (2010b, p. 112)  |
| Unvorhergesehene Ausgaben (für Kleinwasserkraftwerke)  | 3% der Gesamtkosten    | European Small Hydropower Association (2004)  |

### 1.1.2 Betriebskosten

Im Regelfall treten durch die energetische Nutzung keine zusätzlichen Betriebskosten auf. Laut Literatur können jedoch jährliche Betriebskosten von bis zu 3% der gesamten Investitionskosten anfallen. Tabelle 2 zeigt Annahmen für Betriebskosten für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Wasserkraftanlagen und Trinkwasserkraftwerken aus unterschiedlichen Quellen.



Tabelle 2. Beispiele für angenommene Betriebskosten für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Trinkwasserkraftwerken

| Annahmen für Betriebskosten   | Quelle                                    |
|---|---|
| 3 % der gesamten Investitionskosten   | DVGW (2010b, p. 112)                      |
| ca. 3 % der gesamten Investitionskosten   | WVU 30 - Erhebungsbogen EU Projekt - 1998 |
| Für Turbinen und elektrische Anlagenteile: 3 - 6% der Investitionskosten für die betreffenden Anlagenteile                    | Bundesamt für Energie BFE (1995)          |
| Für Wehre, Wasserfassungen und Druckleitungen: 1,2 - 1,6 % der Investitionskosten für die betreffenden Anlagenteile           | Bundesamt für Energie BFE (1995)          |
| Für Maschinenhaus und Nebenanlagen: 0,4 – 0,6 % der Investitionskosten für die betreffenden Anlagenteile                      | Bundesamt für Energie BFE (1995)          |
| Für Wasserzins, Steuern, Versicherungen, Administration: 0,8 - 1,5 % der Investitionskosten für die betreffenden Anlagenteile | Bundesamt für Energie BFE (1995)          |

## 1.2 Zinsen

Für die Bestimmung des Kalkulationszinssatzes ist die Art der Finanzierung ausschlaggebend (Enselin, 2003).

1. Vollständige Eigenfinanzierung: Der Kalkulationszinssatz soll den Verzicht auf eine entgangene Alternativanlage widerspiegeln. Er ist definiert als Zinssatz einer risikofreien Kapitalanlage.
2. Vollständige Fremdfinanzierung: Der Kalkulationszinssatz soll die Zinsbelastung durch die Kreditaufnahme abbilden. Er ist definiert als Zinssatz des aufgenommenen Kredits.
3. Mischfinanzierung: Der Kalkulationszinssatz kann als das gewichtete arithmetische Mittel aus Eigen- und Fremdkapitalzinssatz angenommen werden.

Bei der Berechnung der Energiegestehungskosten wird von einer vollständigen Fremdfinanzierung ausgegangen. Die Betrachtung erfolgt außerdem inflationsbereinigt (Realzins). Der Realzins ergibt sich näherungsweise zu

$$\text{Realzins} \approx \text{Nominalzins} - \text{Inflation} \quad (1-1)$$

|             |      |
|-------------|------|
| Nominalzins | 5%   |
| Inflation   | 1,5% |
| Realzins    | 3,5% |

### 1.2.1 Nominalzins

Der European Interbank Offered Rate (EURIBOR) ist der Zinssatz für Termingelder im Zwischenbankengeschäft und ist die Grundlage für die Berechnung von Kreditzinsen. Diese ergeben sich auf Grundlage des EURIBOR und einem Aufschlag. Der Nominalzins wurde auf Basis der Entwicklung des EURIBOR (siehe Abbildung 1) und nach Rücksprache mit einer Bank mit 5% angenommen.

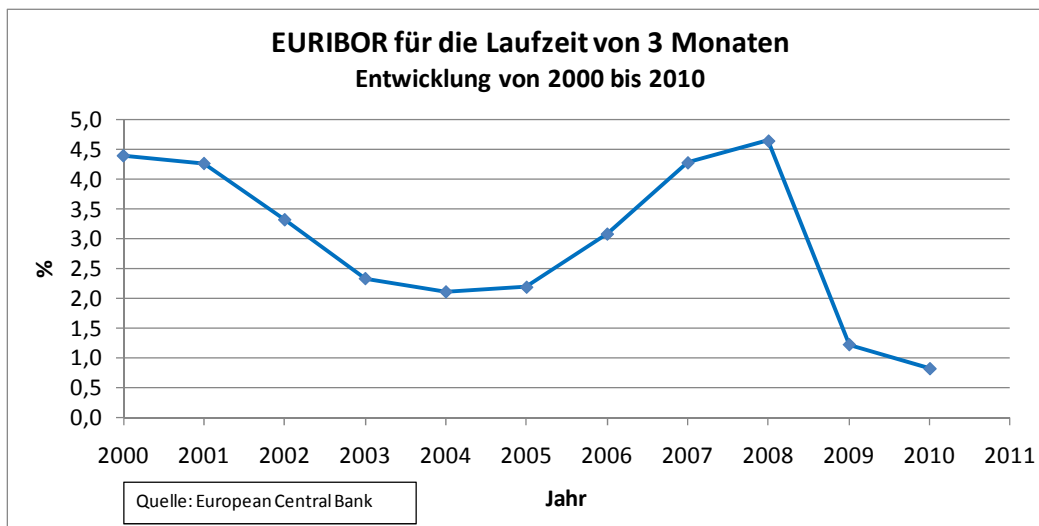


Abbildung 1. EURIBOR für die Laufzeit von 3 Monaten von 2000 bis 2010 (European Central Bank, 2011)

### 1.2.2 Inflation

Abbildung 2 zeigt die historische Jahresinflation in Österreich von 2000 bis 2010. Die Inflationsrate wurde für die Berechnungen mit 1,5% angenommen.

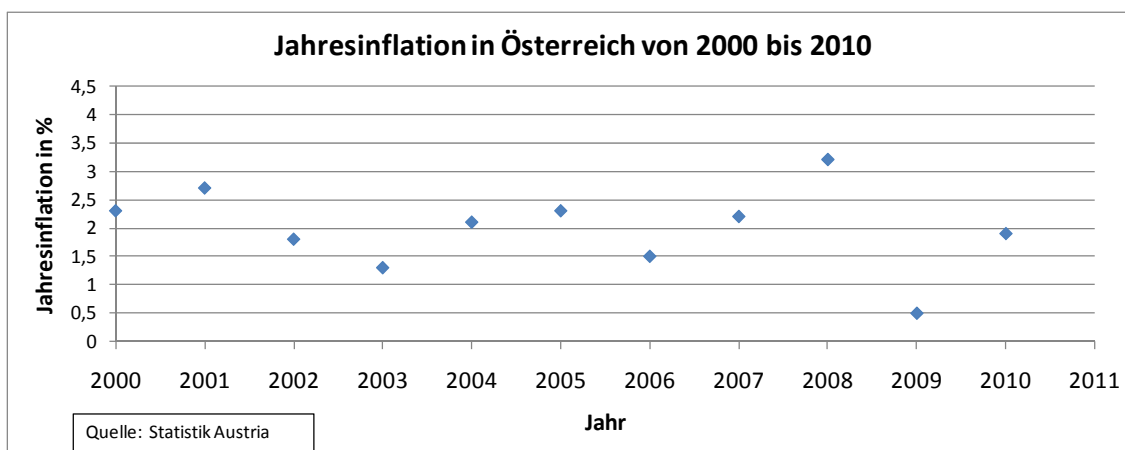


Abbildung 2. Jahresinflation in Österreich von 2000 bis 2010 (Statistik Austria, 2011)

### 1.2.3 Realzins

Der Realzins ergibt sich aus dem Nominalzins und der Inflation zu 3,5% ( $5\% - 1,5\% = 3,5\%$ ). Zum Vergleich sind in Tabelle 3 Annahmen für Zinsen für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Trinkwasserkraftwerken aus verschiedenen Quellen angegeben.

Tabelle 3. Beispiele für angenommene Zinsen für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Trinkwasserkraftwerken

|                    | Wert  | Quelle                                      |
|--------------------|-------|---|
| <b>Realzins</b>    | 3 %   | DVGW (2010b, p. 112)                        |
| <b>Nominalzins</b> | 4,5 % | Institut für Wasserwirtschaft (2009, p. 71) |

## 1.3 Wirkungsgrad und Nutzungsdauer

### 1.3.1 Wirkungsgrad

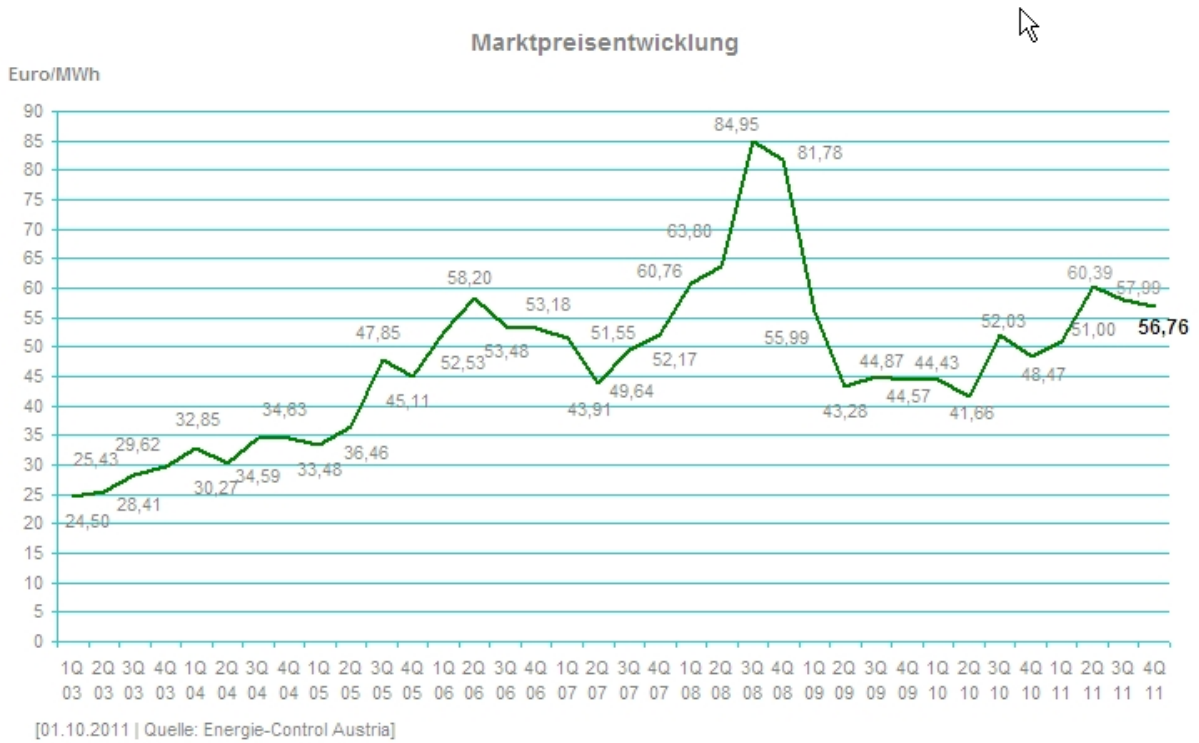
Tabelle 4 zeigt eine Übersicht über angegebene Wirkungsgrade aus verschiedenen Quellen.

Tabelle 4. Angegebene Wirkungsgrade aus verschiedenen Quellen

|   | Wirkungsgrad | Quelle                                 |
|---|--------------|--|
| Pelton turbine  | 0,84 - 0,9   | Bundesamt für Energie BFE (1995)       |
| Pumpe im Turbinenbetrieb  | 0,75 - 0,9   | Bundesamt für Energie BFE (1995)       |
| Generator 1 bis 5 kW (bei Volllast, gilt bis Pel/Pelmax > 0,5)    | 0,80 - 0,85  | Bundesamt für Energie BFE (1995)       |
| Generator 5 bis 20 kW (bei Volllast, gilt bis Pel/Pelmax > 0,5)   | 0,85 - 0,90  | Bundesamt für Energie BFE (1995)       |
| Generator 20 bis 100 kW (bei Volllast, gilt bis Pel/Pelmax > 0,5) | 0,90 - 0,95  | Bundesamt für Energie BFE (1995)       |
| Generator >100 (bei Volllast, gilt bis Pel/Pelmax > 0,5)          | 0,95         | Bundesamt für Energie BFE (1995)       |
| Pelton turbine  | 0,9          | Moser (2010)                           |
| Generator   | 0,95         | Moser (2010)                           |
| Getriebe (bei Pelton meist nicht notwendig)                       | 0,93         | Moser (2010)                           |
| Trafo   | 0,95         | Moser (2010)                           |
| Gesamtwirkungsgrad der Anlage mit Pelton turbine                  | 0,76 - 0,81  | Moser (2010)                           |
| Gesamtwirkungsgrad der Anlage mit Pelton turbine                  | 0,8          | WVU 07, Trinkwasserkraftwerke, 2008    |
| Gesamtwirkungsgrad der Anlage mit rückwärtslaufender Pumpe        | 0,71         | WVU 09, Kostenschätzung Turbineneinbau |

## 1.4 Einspeistarif

Derzeit gibt es laut Ökostromverordnung 2011 (BGBl 2011/25) keinen fixierten Ökostromtarif für Wasserkraftwerke. Abbildung 3 zeigt die Marktpreientwicklung von 2003. Als Einspeistarif für den produzierten Strom wurde der durchschnittliche Marktpreis gem. § 20 Ökostromgesetz für das 4. Quartal 2011 von 0,0568 EUR/kWh für die Berechnungen angenommen.



Marktpreisentwicklung ab 2003

Abbildung 3. Entwicklung der geförderten Einspeisetarife für Ökostrom und des Marktpreises von 2003 bis 2008 (Energie-Control Austria, n.d.)



Die Initiative GENUSS REGION ÖSTERREICH hebt gezielt die Bedeutung regionaler Spezialitäten hervor.  
[www.genuss-region.at](http://www.genuss-region.at)



Österreichs erstes grünes Karriereportal für umweltfreundliche green jobs.  
[www.green-jobs.at](http://www.green-jobs.at)



[Lebensministerium.at](http://www.lebensministerium.at)

Informationen zu Landwirtschaft, Wald, Umwelt, Wasser und Lebensmittel.  
[www.lebensministerium.at](http://www.lebensministerium.at)



Das Österreichische Umweltzeichen ist Garant für umweltfreundliche Produkte und Dienstleistungen.  
[www.umweltzeichen.at](http://www.umweltzeichen.at)



Das erste Webportal für nachhaltigen Konsum in Österreich.  
[www.bewusstkaufen.at](http://www.bewusstkaufen.at)



Das Internetportal der Österreichischen Nationalparks.  
[www.nationalparksaustria.at](http://www.nationalparksaustria.at)



Die Klimaschutzinitiative des Lebensministeriums für aktiven Klimaschutz.  
[www.klimaaktiv.at](http://www.klimaaktiv.at)



Die Kampagne vielfaltleben trägt bei, dass Österreich bei der Artenvielfalt zu den reichsten Ländern Europas gehört.  
[www.vielfaltleben.at](http://www.vielfaltleben.at)



Die Jugendplattform zur Bewusstseinsbildung rund ums Wasser.  
[www.generationblue.at](http://www.generationblue.at)



[www.mein-fussabdruck.at](http://www.mein-fussabdruck.at)

Der Ökologische Fußabdruck ist die einfachste Möglichkeit, die Zukunftsfähigkeit des eigenen Lebensstils zu testen. Errechnen Sie Ihren persönlichen Footprint.  
[www.mein-fussabdruck.at](http://www.mein-fussabdruck.at)

