

DURCH SIMULATIONEN ZU KONFIGURATIONEN – OPTIMIERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ VON PUMPEN

Im Rahmen eines Forschungsprojekts haben Studierende der Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW mithilfe verschiedener Simulationen die optimale Pumpenkonfiguration der Pumpstation «Wollishofen» ermittelt. Durch die Verminderung der Pumpen-Schaltzyklen könnte der Energieverbrauch und die Zuverlässigkeit verbessert werden. Nach Auswertung der Ergebnisse legte das Projektteam einen Vorschlag zum Umbau der Pumpstation vor.

Herbert Hirsiger, Grundfos Pumpen AG*

Roger Küenzi, ERZ, Entsorgung und Recycling Zürich

Klaus Eisele, Fachhochschule für Technik FHNW

In der Siedlungswasserwirtschaft werden sowohl das Frischwasser als auch das Abwasser durch Pumpen gefördert. Sie sind das Herzstück einer jeden Wasserversorgung und kommen in fast allen Gemeinden zum Einsatz. Mit mehr als 90% des gesamten Energieverbrauchs einer Wasserversorgung, die auf ihren Antrieb entfallen, sind Pumpensysteme allerdings auch die grössten Energieverbraucher. Ihr Stromverbrauch macht ca. 92% der Jahreskosten aus, wobei die Wartungskosten mit 2% und Kapitalkosten mit 6% im Vergleich dazu sehr gering sind. Ähnlich sieht es bei der Abwasserentsorgung aus. Somit ergibt es sowohl energie- als auch kostenmässig Sinn, eine Reduktion des Stromverbrauchs anzustreben. Dies war auch Grundidee der Fachhochschule Nordwestschweiz für ein Studienobjekt. Ziel war es, das energieoptimale Abwasserpumpwerk zu erarbeiten.

RÉSUMÉ

Dans la gestion des eaux urbaines, les pompes servent à extraire aussi bien l'eau douce que l'eau usée. Elles constituent la base de tout approvisionnement en eau et sont utilisées dans presque toutes les communes. Toutefois, leur fonctionnement représentant 90% de l'ensemble de la consommation d'énergie de l'approvisionnement en eau, elles sont également les plus gros consommateurs d'énergie. La consommation d'électricité des pompes représente environ 92% des coûts annuels. En comparaison, les coûts de maintenance de 2% et les coûts de capital de 6% sont très faibles. Il est donc judicieux, aussi bien sur le plan énergétique que des coûts, de rechercher une réduction de la consommation d'électricité. C'était également l'idée de base de la Haute école spécialisée du Nord-Ouest de la Suisse pour un objet d'étude. L'objectif était de développer des stations de pompage des eaux usées efficaces sur le plan énergétique. Dans ce but, l'équipe de projet a déterminé la configuration optimale des pompes de la station de pompage «Wollishofen» à l'aide de différentes simulations. La réduction des cycles de commutation pourrait améliorer la consommation d'énergie et la fiabilité. Après évaluation de toutes les simulations, l'équipe de projet a pu présenter une proposition pour la transformation de la station de pompage.

AUSGANGSSITUATION

Für das Forschungsprojekt der FHNW wurde die Pumpstation «Wollishofen» ausgewählt (Fig. 1 und 2). Sie gehört zum Klärwerk Werdhölzli und wird vom ERZ, Entsorgung und Recycling Zürich betrieben. ERZ ist Teil des Tiefbau- und Entsorgungsdepartments der Stadt Zürich mit diversen Aufgabenbereichen. Eine dieser Aufgaben ist das Aufbereiten und Abführen des anfallenden Abwassers (Regen- und Haushaltsabwasser). Um diese Aufgabe durchführen zu können, hat ERZ im gesamten Stadtbereich Zürich Pumpstationen errichtet. Eine davon ist die Pumpstation «Wollishofen».

Ziel des Projektes war es, eine Pumpenkonfiguration zu erarbeiten, die einen möglichst fehlerfreien Betrieb bei gleichzeitig optimaler Energieausnutzung gewährleistet. Die Bedingung für die Pumpenauslegung war, dass die sehr stark variierenden Zuläufe von Regenwasser und von Haushaltsabwasser sicher bewältigt werden können. Als zweite Bedingung stand der möglichst störungsfreie Betrieb im Fokus. Der Betrieb eines Abwasserpumpwerkes, das aus mehreren Pumpen besteht, ist ein sehr komplexer Prozess mit zahlreichen Ein- und Ausschaltvorgängen. Diese erhöhen das Ausfallrisiko.

Auch die Fliessgeschwindigkeit des Abwassers in den Abflussrohren nimmt Einfluss auf das Gesamtsystem und den Energieverbrauch. Ist sie zu gering, besteht die Gefahr, dass Verunreinigungen in den Abwasserrohren absinken, sich ablagern und schliesslich zu Verstopfungen der Rohre führen können. Wird die Strömungsgeschwindigkeit in den Rohren zu gross, ergibt sich ein sehr hoher Energieverbrauch und Pumpenverschleiss. Aus diesem Grund lag die Priorität darin, die Zuverlässigkeit des Abwassersystems bei der Optimierung des Energieverbrauchs möglichst hoch zu halten.

Derzeit werden auf der Pumpstation «Wollishofen» vier identische Abwasserpumpen eingesetzt. Pro Jahr fördern sie ca. 1,6 Mio. m³ Abwasser zur Kläranlage Werdhölzli. Das Abwasser läuft durch vier Rohre in ein Sammelbecken. Von dort aus wird es auf die vier Pumpen verteilt. Zwei Druckrohre fördern das Medium zur Kläranlage. Während Trockenphasen betragen die

* Kontakt: hhirsiger@grundfos.com

Abwasserzuläufe zwischen 40 und 80l/s. Durchschnittlich 20 Mal pro Jahr fallen in der Pumpstation durch Regenfälle bis zu 900l/s an, in Extremfällen bis 8000l/s.

Die bislang eingesetzten Pumpen wurden für eine Förderhöhe von 28 m und einer Fördermenge von 260l/s ausgelegt. Jedes Aggregat hat eine Motorleistung von 110kW bei einer Drehzahl von 1450 U/min. Die Mindestfördermenge (auch 10-Jahres-Niederschlagsmenge genannt) wird von der Stadt Zürich vorgegeben, sie beträgt für «Wollishofen» 750l/s. Dieser vorgegebene Wert kann von drei Abwasserpumpen bewältigt werden. Die vierte Einheit ist als Reserve definiert, sie stellt bei Ausfall oder im Servicefall den Betrieb sicher.

Durch vorangegangene Projektarbeiten wurde ermittelt, dass jede Pumpe jährlich 4900 Ein- bzw. Ausschaltvorgänge durchläuft [1]. Die Betriebszeit aller Pumpen beträgt ca. 460 Stunden, einhergehend mit einem Energieverbrauch von 47,7 MWh. Die gemessene Fließgeschwindigkeit am Pumpenausstritt beträgt 3,9 m/s. (Das BFE empfiehlt für Abwasserleitungen ab 200 mm Durchmesser eine Fließgeschwindigkeit von 1,0 bis 1,5 m/s.) Diese Rahmenbedingungen werden als Parameter in die Simulation eingegeben.

SIMULATION VERSCHIEDENER PUMPENKONFIGURATIONEN

Für die Simulation des dynamischen Verhaltens der Pumpstation wurde ein *Matlab*-Programm erstellt. Dieses Programm berechnet alle Zustände der Pumpstation für ein vorgegebenes ZulaufszENARIO mit allen Randbedingungen (Fig. 3). Daraus ergeben sich die summierten Zustände der Pumpstation. Dies sind die Laufzeiten und Stillstandzeiten aller Pumpen, der gesamte Energieverbrauch und zur Kontrolle das abgepumpte Abwasservolumen. Werden unterschiedliche Pumpenkonfigurationen gerechnet, kann durch den Vergleich der Ergebnisse die energieoptimale Konfiguration bestimmt werden [3].

Für die Simulation sind verschiedene Parameter festzulegen: Die Hauptparameter sind die Anzahl der Pumpen und deren Baugrößen sowie die Nenndrehzahlen (diese wurden auf 1450 U/min festgelegt). Weitere Faktoren sind die örtlichen Baugesamtheiten wie zum Beispiel die Sammelbecken und die Rohrleitungen.

Als Eingangsgröße werden aktuelle ZulaufszENARIEN der Pumpstation Wollishofen, die auf Messdaten des Betreibers beruhen, verwendet. Da für dieses Projekt die Berechnung eines Jahreszenarios viel zu aufwendig ist, wird ein typischer Ausschnitt von 200 h verwendet. Pumpenkennlinien, Motorwirkungsgrade und Anlaufverluste werden von den momentan in «Wollishofen» eingebauten Pumpen übernommen [2].



Fig. 1 Pumpstation Wollishofen / Station de pompage de Wollishofen

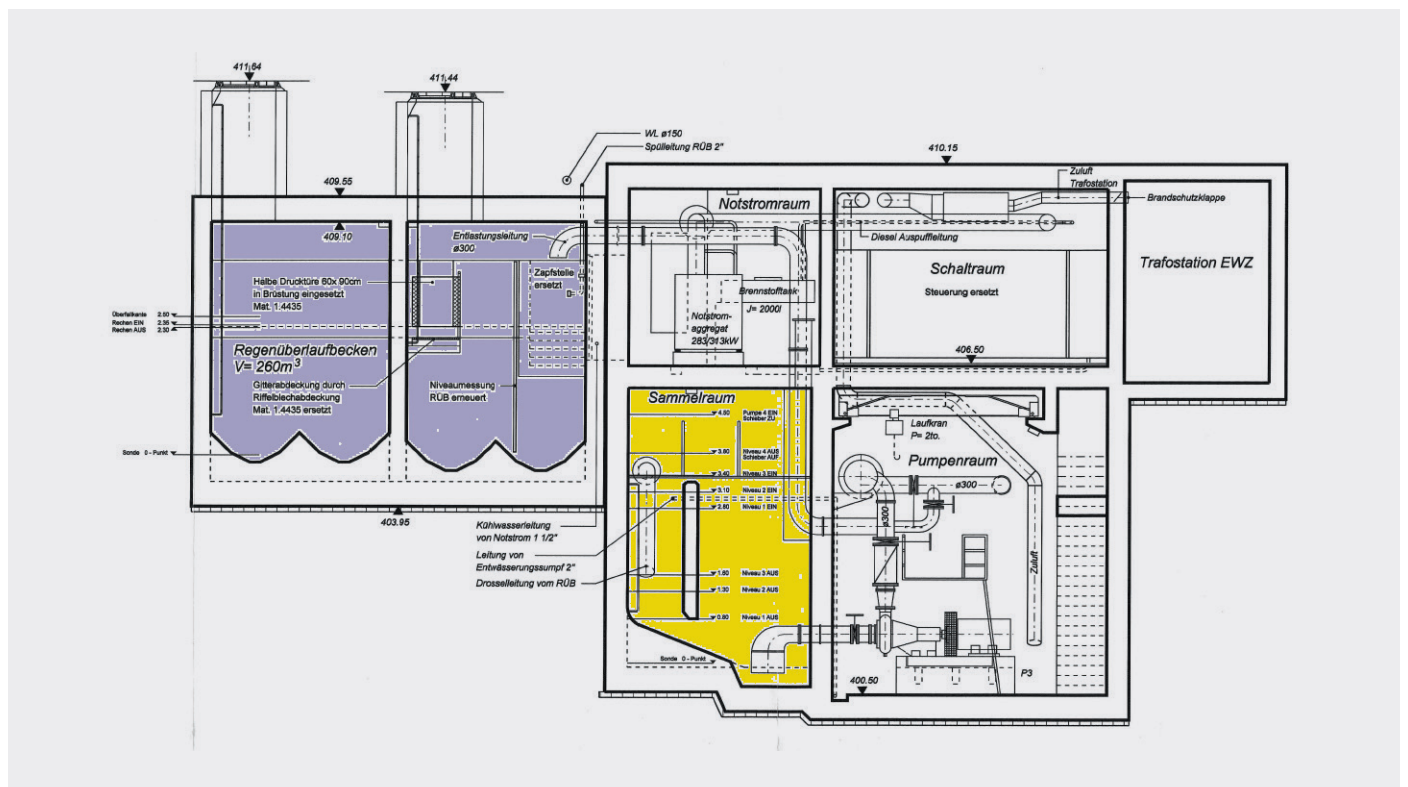


Fig. 2 Plan des Pumpwerks Wollishofen / Plan de la station de pompage de Wollishofen

(Quelle: ERZ)

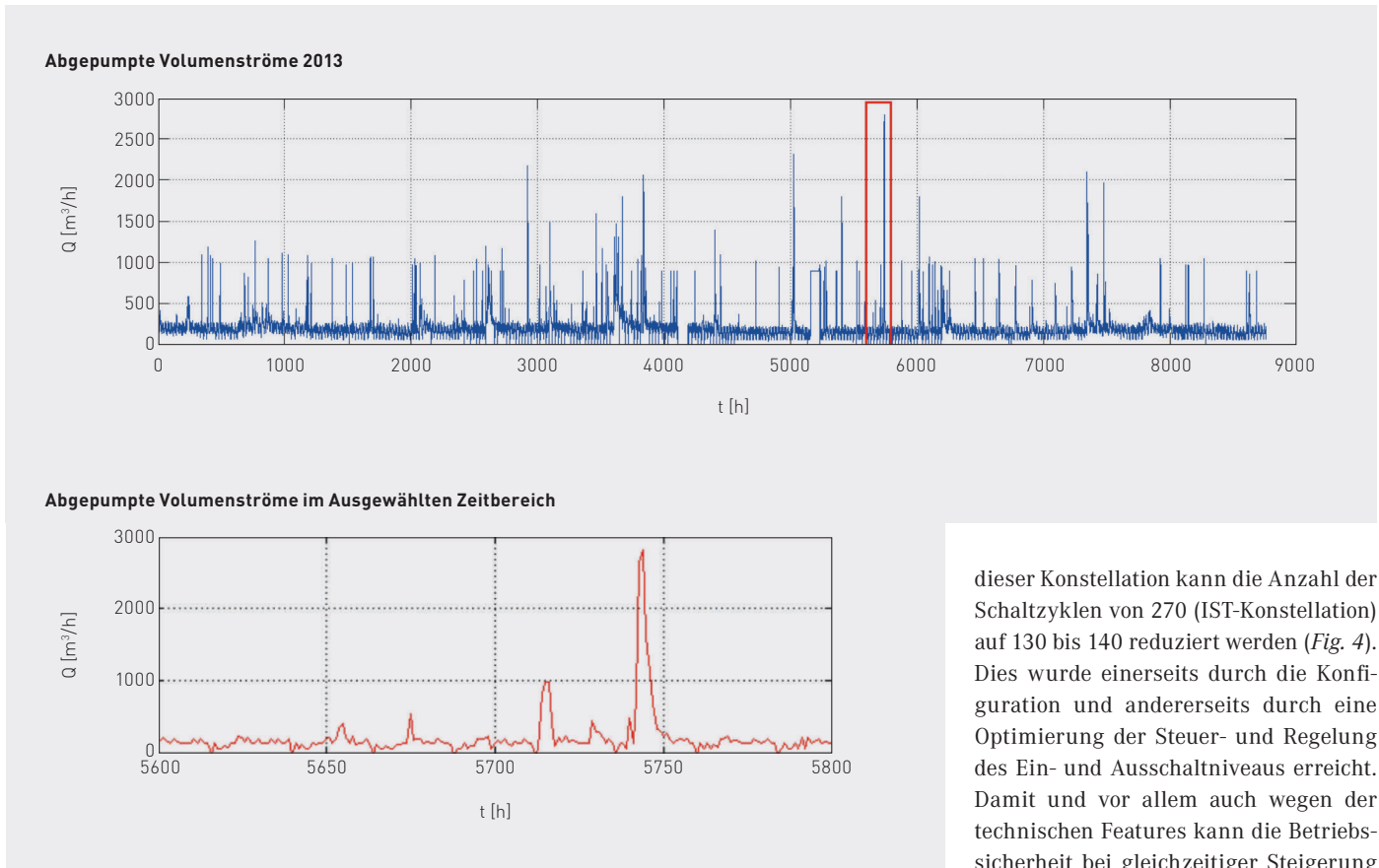


Fig. 3 Abgepumpte Volumenströme Pumpwerk «Wollishofen» und Berechnungsszenario [3]
Débits volumétriques pompés de la station de pompage « Wollishofen » et modèle de calcul [3]

dieser Konstellation kann die Anzahl der Schaltzyklen von 270 (IST-Konstellation) auf 130 bis 140 reduziert werden (Fig. 4). Dies wurde einerseits durch die Konfiguration und andererseits durch eine Optimierung der Steuer- und Regelung des Ein- und Ausschalt-niveaus erreicht. Damit und vor allem auch wegen der technischen Features kann die Betriebssicherheit bei gleichzeitiger Steigerung der Energieeffizienz erhöht werden.

Das Ergebnis dieses Forschungsprojektes bildet eine Entscheidungsgrundlage für geplante Umbaumaßnahmen an der Pumpstation «Wollishofen» und für weitere Projekte.

Um eine Optimierung der vorhandenen Pumpenkonfiguration zu erreichen, werden moderne Pumpen der Baureihe S des Unternehmens Grundfos in die Simulation aufgenommen. Die Pumpen dieser Baureihe verfügen über eine Reihe von Alleinstellungsmerkmalen, die ihren Einsatz gerade in «kritischen» Anwendungen finden. Wenn es um den Energieverbrauch geht, hat vor allem die Hydraulik hierauf einen erheblichen Einfluss. Die Baureihe S kann mit verschiedenen Laufradtypen ausgerüstet werden.

ERGEBNIS DER SIMULATION

Als wichtigstes Ergebnis wurde festgestellt, dass die vorhandene Pumpenkonstellation sowohl von der Betriebssicherheit als auch bezüglich der Energieeffizienz verbesserungswürdig ist. Zudem ergab die Simulation, dass eine Pumpenkonstellation mit verschiedenen grossen Pumpen zu einem zuverlässigeren Betrieb führt als die drei 250-l/s-Abwasserpumpen der Pumpstation.

Empfohlen werden drei Pumpen der Baureihe S mit 77,6, 190 und 492l/s. Mit

RUNDUM GELUNGEN

Diese Arbeit war für die beteiligten Studierenden des Studienganges «Energie- und Umwelttechnik» sehr lehrreich und praxisbezogen. Durch die dynamische Simulation der Pumpstation mit einem realen, zufälligen Zulaufscenario ergaben sich die Verbesserungsvorschläge. Somit wurde die grundsätzliche Vorge-

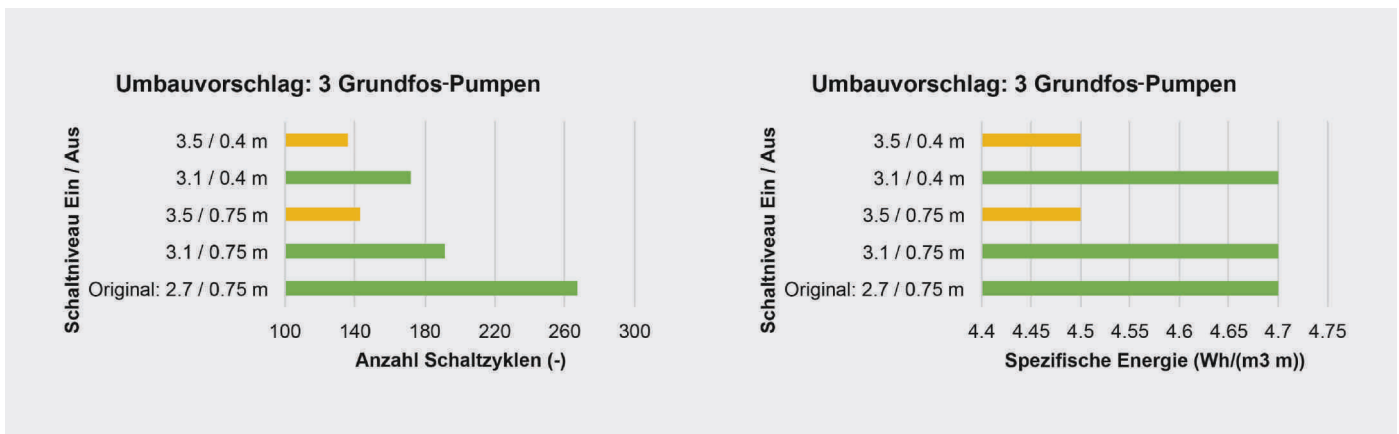


Fig. 4 Ergebnisse der dynamischen Pumpwerksimulation [3] / Résultats de la simulation dynamique de la station de pompage [3]

hensweise bei Energieoptimierungen hinterfragt und aus der Praxis bestätigt. Das Forschungsvorhaben wurde in erster Linie durch das Interesse und die Unterstützung des Betreibers ERZ ermöglicht. Die für die Arbeit benötigten Unterlagen wurden bereitgestellt und der Zugang zu den für die Messungen relevanten Anlagen ermöglicht. Das Betreiber-Know-how konnte so bei den Simulationen und bei der Formulierung der Randbedingungen berücksichtigt werden.

Die Dozenten der Fachhochschule Nordwestschweiz bildeten aus den interessierten Studierenden ein Team und begleiteten dieses auch während des gesamten Zeitraumes des Forschungsprojektes. Damit war das Forschungsergebnis prüffähig bewertbar.

Das Fachpersonal des Unternehmens Grundfos Pumpen AG stand für alle Fragen zur Pumpentechnik zur Verfügung. Anfallende Kosten wurden von der ERZ und von Grundfos gemeinsam übernommen. Die anfängliche Skepsis, dass derartige Projekte den Arbeiten von Ingenieur- und Planungsbüros zuwiderlaufen, hat sich hingegen nicht bestätigt. Im Gegenteil, es stellte sich heraus, dass gerade von dieser Seite eine Fülle unterstützender Beiträge für die beteiligten Studierende zur Verfügung gestellt wurden. Damit kann dieses Forschungsvorhaben als rundum gelungen bezeichnet werden.

LINK ZUM PROJEKTPOSTER

www.fhnw.ch/technik/bachelor/energietechnik/studium/studierendenprojekte/projektbeispiele

DANK

Besonderer Dank gilt allen beteiligten Studierenden, die während ihrer Bachelorausbildung im Studiengang Energie und Umwelttechnik viel Energie und Zeit für diese Studierendenprojekte aufgewendet haben. Insbesondere gilt der Dank Frau A. Roth und den Herren M. Bossert, T. Rüggeberg und Y. Sigrist für die Erstellung des Programmes und der Analyse der Simulationsergebnisse.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Davatz, S. et al. (2013): *Energieanalyse von Abwasserpumpen*, Projekt 10049, unpubliziert, internes Dokument FHNW-Hochschule für Technik, Windisch
- [2] Birkenstock, S. et al. (2014): *Energieeffizienz von Abwasserpumpen*, Projekt 10054, unpubliziert, internes Dokument FHNW-Hochschule für Technik, Windisch
- [3] Bossert, M. et al. (2015): *Dimensionierung der Pumpstation Wollishofen*, Projekt 10073, unpubliziert, internes Dokument FHNW-Hochschule für Technik, Windisch



membratec.ch
la pureté de l'eau

3960 Sierre • Wasseraufbereitung • 027 456 86 30