



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Jahresbericht 1. Dezember 2010

Pilotanlage Münster (VS) – Universalturbine für Wasserversorgungen

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Wasserkraft
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

stiftung revita, CH-4438 Langenbruck

Auftragnehmer:

stiftung revita
Schwengiweg 12
CH-4438 Langenbruck
www.revita.ch

Autoren:

Patrick Kamber, stiftung revita, patrick.kamber@revita.ch

BFE-Bereichsleiter: Dr. Michael Moser

BFE-Programmleiter: Dr. Klaus Jorde

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500398-01 / SI/500398

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Zusammenfassung

In Münster (VS) wird eine Universalturbine als Pilotanlage eingesetzt. Die Universalturbine ist eine modular aufgebaute Peltonturbine für Wasserversorgungen. Sie deckt den Leistungsbereich von 5.5 bis 55 kW ab und ist auch im Gegendruckbereich einsetzbar. Im Rahmen des Projekts Pilotanlage Münster soll der Dauerbetriebsnachweis der Universalturbine für diesen Standort erbracht werden. An diesem Standort wird die Turbineninstallation auch visualisiert, die Möglichkeiten der Universalturbine dargestellt und mit Versuchsturbinenwagen präsentiert. Zusätzlich werden im Projektrahmen die Gegendruckregelung für verschiedene Betriebsbedingungen sowie die Erstellung und Erhaltung des Druckluftpolsters für den Gegendruckbetrieb entwickelt und untersucht.

Für das Berichtsjahr sind in der Projekteingabe unter Meilensteine 2 die Ziele definiert worden. Einige wurden nur teilweise erreicht, andere dafür übertroffen. Aufgrund der starken Verzögerungen der baulichen Massnahmen in Münster wird die Pilotanlage erst in 2011 in Betrieb genommen. Dementsprechend mussten auch gewisse Untersuchungen auf 2011 verschoben werden.

Der Ist-Stand im Überblick:

- Die Visualisierung der Pilotanlage in Münster ist in Bezug auf die Plakate zu 70 % erledigt. Der Flyer „Universalturbine für Wasserversorgungen“ ist in deutscher und französischer Sprache gedruckt. Die Visualisierung wird in 2011 fertig gestellt.
- Der Versuchsturbinenwagen, der komplett gegendruckfähig ist, ist mitsamt neuen Leitvorrichtungen vollumfänglich fertig gestellt. Er eignet sich bestens zur Illustration der Gegendruckturbinierung.
- Die Gegendruckregelung für geschlossene Systeme konnte entwickelt werden und der Nachweis der Funktionstüchtigkeit wurde durch mehrere Messreihen auf dem Versuchsturbinenwagen erbracht.
- Teilergebnisse bezüglich Lufteintrag & Luftaustausch konnten erzielt werden. Der Nachweis des Einsatzes von Wasserstrahl-Gasverdichter in der Gegendruckregelung für geschlossene Systeme konnte erbracht werden. Die ausstehenden Ergebnisse müssen noch in 2011 erarbeitet werden.

In 2011 stehen noch die Fertigstellung der Visualisierung sowie die Untersuchungen zu Lufteintrag sowie Luftaustausch aus. Zudem muss der Dauerlauf der Pilotanlage in Münster nach der Inbetriebnahme begleitet werden.

Projektziele

Viele Wasserversorgungen für Trinkwasser, Wässerwasser, Berieselungen, Beschneiungsanlagen etc. beinhalten durch die Höhenunterschiede Energiepotenziale, von denen nur ein Teil für die Wasserversorgung genutzt werden kann. Der Rest wird heute meist mit Druckbrecherschächten und Druckreduzierventilen in nicht weiter nutzbare Wärme umgewandelt. Alleine im Trinkwasserbereich ist das Potenzial immens. Rund 40 % des schweizerischen Trinkwasserbedarfs, das sind 400 Millionen Kubikmeter jährlich, werden durch Quellfassungen gewonnen.

Die Universalturbine ist eine universell einsetzbare Turbine, die die ungenutzten Energien in Wasserversorgungen in elektrische Energie umwandelt. Die Turbine basiert auf dem Prinzip der Peltonturbine und deckt dank modularer Bauweise den Bereich von 5.5 bis 55 kW ab. Mit der Universalturbine werden Energiepotenziale auch im Gegendruck- und im kleinen Leistungsbereich effizient und wirtschaftlich genutzt.

In Münster werden aktuell eine Schmutzwasserquelle und eine Trinkwasserquelle auf ein und dieselbe Turbine geleitet. Die Turbine ist jedoch nicht im Stande, das ganze Jahr über die vorhandene Wassermenge abzuturbinieren. Aus diesem Grund wird zukünftig das Wasser der Trinkwasserquelle auf die Pilotanlage geleitet. Durch die Trennung der beiden Quellzuflüsse kann das Trinkwasser bei Bedarf als Notwasserversorgung der Region dienen.

Im Rahmen der Pilotanlage in Münster (VS) gibt es 4 eigentliche Themenschwerpunkte:

- Nachweis der Betriebstauglichkeit im Dauerbetrieb für diesen Standort.
- Untersuchung von verschiedenen Lufteintragsmöglichkeiten, Untersuchung von Wasserstrahl-Gasverdichtern im Speziellen.
- Simulation von Turbinenbetriebe an anderen Standorten und damit einhergehend Untersuchungen und Entwicklungen betreffend Gegendruckregelung.
- Visualisierungen und Informationen für Fachleute und Interessierte entsprechend Visualisierungskonzept.

Aus diesem Gesamtrahmen heraus wurden für das Jahr 2009 die folgenden Ziele definiert:

- Die Visualisierungsunterlagen für den Standort Münster sind erarbeitet.
- Die Versuchsturbine ist mit neuem Durchflussregler und passender Leitvorrichtung ausgerüstet, erste Tests sind erfolgt.
- Die Projektbeschreibungen für die FHNW betreffend Lufteintrag und Luftentzug sind erstellt.
- Das Konzept des Versuchsturbinenwagens ist definiert.

Für das Berichtsjahr 2010 kamen zusätzlich die folgenden Ziele dazu:

- Das Visualisierungskonzept in Münster ist umgesetzt worden.
- Die Entwicklung und die Umsetzung des Versuchsturbinenwagens sind abgeschlossen.
- Die Entwicklung und Erprobung der Gegendruckregelung ist an der Versuchsturbine erfolgt.
- Die Ergebnisse bezüglich Lufteintrag und Luftentzug sind vorliegend.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Visualisierung am Standort Münster

Mit der Visualisierung werden 2 Ziele angestrebt. Einerseits sollen die Einsatzmöglichkeiten und die Merkmale der Universalturbine dargestellt werden, und andererseits soll der Betrieb der Turbine am Standort Münster illustriert werden. Die Turbine wird im Verlaufe des nächsten Halbjahres fertig installiert. In diese Zeitspanne hinein fällt auch das Einrichten des Turbinenraumes mit den Komponenten der Visualisierung.

Komponenten der Visualisierung

1. Übersicht Gesamtanlage

Die Übersicht über die Gesamtanlage stellt mit einem Höhenprofil die Anlage in Münster dar. Das Anfertigen dieser Übersicht ist noch ausstehend.

2. Pilotanlage Universalturbine

Die Pilotanlage wird mit Schildern und technischen Angaben ergänzt. Die Schilder können erst nach fertig gestellter Montage und Inbetriebnahme der Anlage im Frühling 2011 angebracht werden.

3. Darstellung und Beschreibung der Funktionsweise

Das Schema der Universalturbine in Fig. 1 beinhaltet alle für die Funktion notwendigen Komponenten. Die einzelnen Komponenten sind über die Legende angeschrieben. Die Sensoren und Aktoren der Niveauregelung oder der Druckregelung sind ebenfalls dargestellt und beschrieben. Das Schema ist auf ein Plakat von der Grösse A0 gedruckt worden. Ein weiteres Plakat mit einer Funktionsbeschreibung der einzelnen Komponenten ist noch in Arbeit.

4. Schematische Darstellung verschiedener Anwendungen

Das Abturbanieren von Reservoirzuflüssen und Ortsnetzzuflüssen, das Abturbanieren von Druckreserven in geschlossenen Systemen und das Abturbanieren von Überläufen bilden die Hauptanwendungen der Universalturbine. Die Hauptanwendungen sind in Fig. 2 dargestellt. Dieses Schema ist auf ein Plakat von der Grösse A0 gedruckt worden.

Funktionsweise Universalturbine

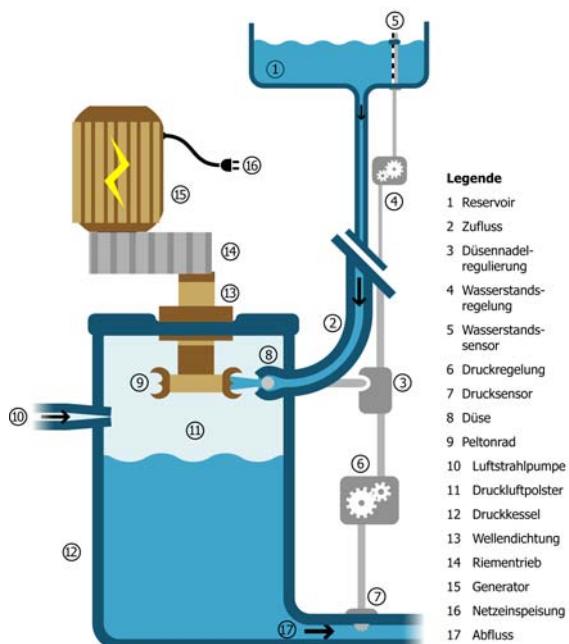


Fig. 1: Funktionsweise der Universalturbine

Anwendungen Universalturbine

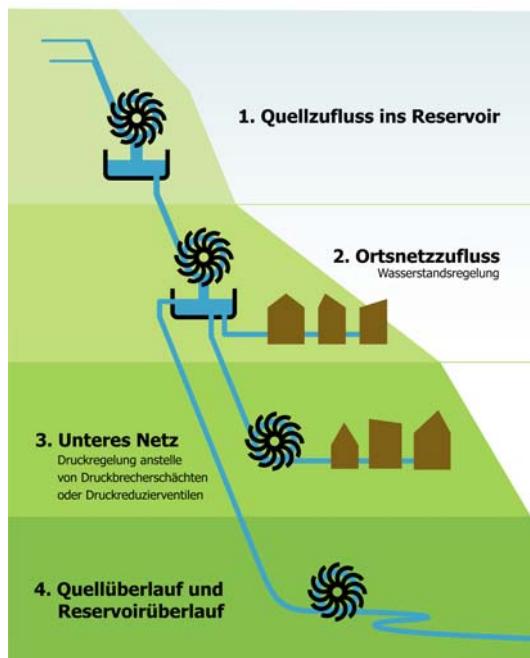


Fig. 2: Anwendungen der Universalturbine

5. Einsatzbereich der Universalturbine

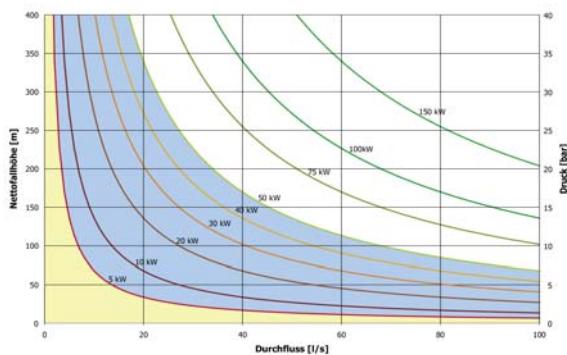
Die Universalturbine gibt es 1- bis 6-düsig und deckt den Leistungsbereich von 5 bis 50 kW ab. Der Einsatzbereich ist zusammen mit den technischen Daten in Fig. 3 dargestellt. Der Einsatzbereich ist auf ein Plakat der Grösse A0 gedruckt worden.



KÜFFER

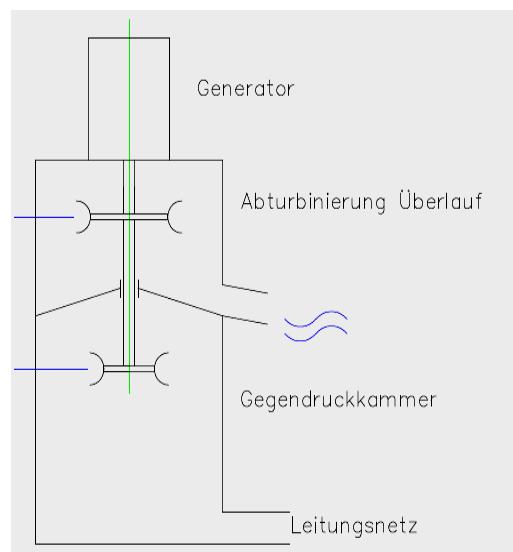
PTE
PRESSURE TO ENERGY

EINSATZBEREICH



TECHNISCHE DATEN

Eingangsdruck:	von 2 bis 50 bar
Ausgangsdruck (Gegendruck):	von 0 bis 6 bar
Durchfluss:	von 2 bis 80 Liter/Sekunde
Installierte Leistung:	von 5 bis 50 kW



UNIVERSALTURBINE FÜR WASSERVERSORGUNGEN

NWB
Netzwerk Wasser im Berggebiet

Fig. 3: Einsatzbereich der Universalturbine

Fig. 4: Schematische Darstellung einer Doppelkammerturbine

6. Forschungsschwerpunkte

Die Forschungsschwerpunkte konzentrieren sich auf die Zweikamerturbine (Fig. 4), die Gegendruckregelung, Lufteintrags- und Luftaustragsmöglichkeiten sowie konstruktiven Massnahmen zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Universalturbine. Ein entsprechendes Plakat ist zurzeit noch in Arbeit.

7./8. Versuchsturbine mit Gegendruckregelung / Modellturbine

Die Versuchsturbine wurde technisch wie auch optisch weiterentwickelt. Sie ist nun eine voll funktionstüchtige, gegendruckfähige Peltonturbine, die sich einerseits für die spezifische Weiterentwicklung von steuerungs- und turbinentechnischen Aspekten eignet und andererseits auch zur Demonstration und zum Näherbringen der Trinkwasserturbinierung verwendet werden kann. Einzelheiten sind weiter unten unter Versuchsturbinenwagen beschrieben.

9. Flyer „Universalturbine für Wasserversorgungen“

Zur Illustration der Trinkwasserturbinierung wurde der Flyer „Universalturbine für Wasserversorgungen“ erstellt. Er bietet auf 2 Seiten Informationen zum aktuellen Stand der Technik und zu den möglichen Einsatzgebieten einer Trinkwasserturbine. Der Flyer befindet sich in Anhang A.

Leitvorrichtung für Versuchsturbine

Vergangene Entwicklungen und Untersuchungen^[1] haben gezeigt, dass die Gegendruckregelungen auf Basis eines Proportionalventils oder eines unterlagerten Positionsreglers nicht befriedigend funktionieren. In beiden Fällen war das Schwingverhalten dieser hydraulischen oder pneumatisch-hydraulischen Systeme nicht genügend.

Da weiterhin nicht an der Notwendigkeit und am grossen Potenzial einer Gegendruckregelung gezweifelt wurde, wurden neue Wege gesucht. Dies hat zur Entwicklung eines mechanischen Düsenadelantriebes und einer elektronischen Gegendruckregelung geführt. Dazu wurde für die bereits bestehenden Düsen eine Antriebseinheit entwickelt (Fig. 5). Die neue Leitvorrichtung baut sehr kompakt und unterstützt den Leitgedanken, dass die Turbine auch in engen Druckbrecherschächten Platz finden muss. Sie ist mit einer ausgeklügelten Mechanik versehen, damit ein Blockieren der Düsenadel durch Gegenstände detektiert werden kann. Die Versuchsturbine wurde mit zwei solchen Leitvorrichtungen ausgerüstet.

Versuche mit den neuen Leitvorrichtungen haben gezeigt, dass sich die Öffnungsquerschnitte der Düsen genügend fein einstellen lassen, um die Gegendruckregelung zu ermöglichen.



Fig. 5: Die neue Leitvorrichtung.

Versuchsturbinenwagen

Ein Versuchsturbinenwagen, oder auch Modellturbinenwagen, ist in vielerlei Hinsicht gewinnbringend. Enthält er einen eigenen Wasserkreislauf, dann können mit ihm steuerungs- oder turbinentechnische Entwicklungsthemen autonom bearbeitet werden. Er kann aber auch zur Bekanntmachung der Trinkwasserturbinierung, mitsamt Gegendruckregelung an Messen, Ausstellungen und anderen PR Aktionen eingesetzt werden.

Ein Versuchsturbinenwagen ohne eigenen Wasserkreislauf bietet die Möglichkeit, an Standorten wie Münster mit einem enormen Wasserdargebot und einem Zuflussdruck von 22 bar, Versuche unter spezifischen Bedingungen zu fahren. Ausserdem können andere Standorte wie Bondo, an dem 11 bar Gegendruck nötig sind, simuliert werden. Dabei werden optimale Regelparameter der Gegendruckregelung gefunden, sowie die Auslegung von Wasserstrahl-Gasverdichtern überprüft.

Das Konzept des Versuchsturbinenwagens ermöglicht den autonomen Betrieb mit eigener Wasserversorgung wie auch den Versuchsbetrieb mit Fremdwasser. Dazu wurde die Modellturbine mit Steuerung auf einem ersten Wagen (in Fig. 5 links) angeordnet und der Wassertank mit Pumpe auf einem zweiten (in Fig. 5 rechts). Die beiden Wagen sind koppelbar. Die aufgebaute Modellturbine ist volumfähiglich gegendruckfähig. Eine Zeichnung mit Beschriftung der Hauptkomponenten befindet sich in Anhang C. Der Versuchsturbinenwagen ist zur Erfassung der hydraulischen und elektrischen Kenngrössen mit Sensoren und Messgeräten ausgerüstet. Anhang D informiert über den hydraulischen Aufbau des Versuchswagens. Die Steuerung der Modellturbine übernimmt eine Steuerung, die derjenigen der Universalturbine entspricht. Die Programme lassen sich direkt übertragen. Mit LabView wurde die Steuerung der Peripherie des Versuchswagens wie Pumpe und Abflussventil übernommen, die Kenngrössen der Modellturbine dargestellt sowie die Messdatenerfassung sämtlicher Grössen realisiert. Fig. 6 zeigt die LabView-Oberfläche.

Einige Merkmale des Versuchsturbinenwagens:

- Das Verhältnis der Abmasse der Modellturbine zur Universalturbine ist ein wenig kleiner als 1:2. Das Peltonrad hat einen Beaufschlagungskreisdurchmesser von 145 mm.
- Die Modellturbine ist 2-düsig ausgerüstet. Die Düsen und die Leitvorrichtungen entsprechen technisch der Ausrüstung der Universalturbine.
- Die Modellturbine ist mit allen Komponenten für den Gegendruckbetrieb ausgerüstet. Mit dem Versuchsturbinenwagen kann die Funktionsweise der Gegendruckregelung für geschlossene Systeme – dem Einsatz zwischen Reservoir und Verbraucher ohne Ausgleichsbecken – demonstriert werden.
- Die Modellturbine ist mit 2 Wasserstrahl-Gasverdichtern versehen. Die beiden Strahlpumpen lassen sich einzeln ansteuern.
- Die Modellturbine ist ausgelegt, um mit Zuflussdrücke bis 30 bar und Gegendrücke bis 16 bar umgehen zu können.
- Die Steuerung der Turbine übernimmt eine SPS von Crouzet. Die Peripherie wird via LabView bedient.
- Zu- und Abflussströme sowie Zu- und Abflussdrücke werden gemessen und mit einer Vielzahl weiterer Grössen visualisiert.
- Zur Sicherheit der Anlage öffnet ein Überströmventil bei Drücken von über 16 bar im Abfluss.

Fazit

Der Versuchsturbinenwagen eignet sich durch seinen modularen Aufbau, die gute Zugänglichkeit und den autonomen Betrieb sehr gut zur Weiterentwicklung der Universalturbine und deren Steuerung. Die LabView-Oberfläche ist zur Illustration der Gegendruckturbinierung geradezu ideal.



Fig. 5: Versuchsturbinenwagen mit Turbinenwagen links und Tankwagen rechts.

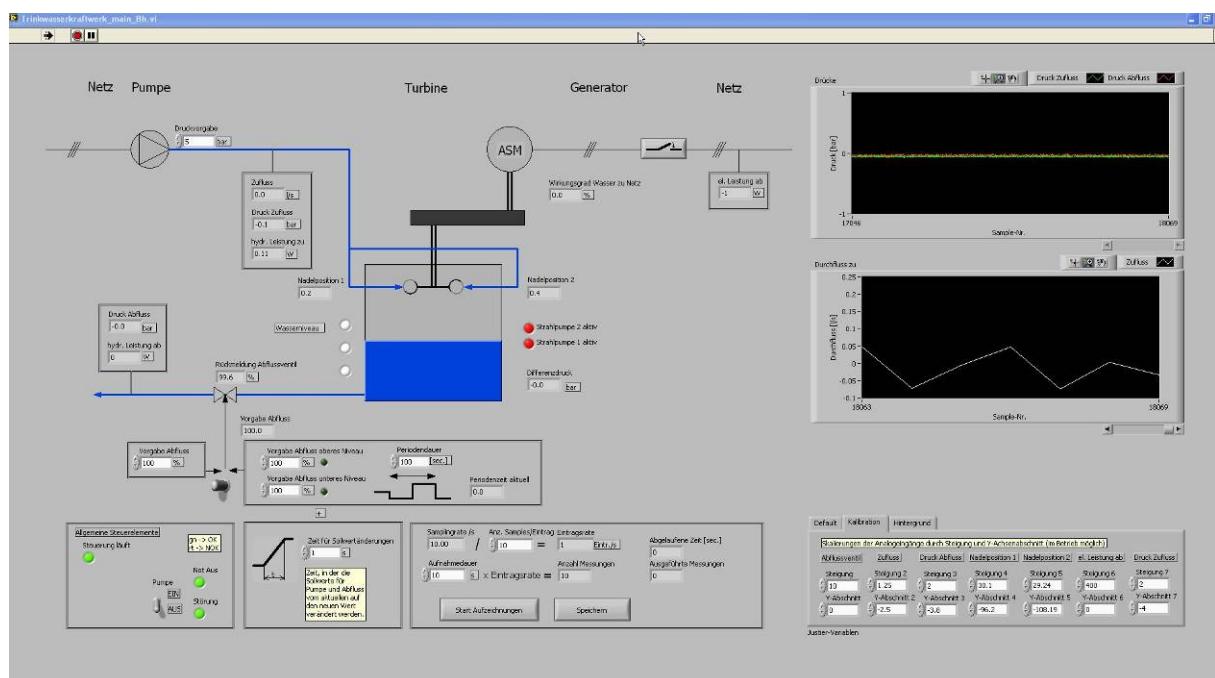


Fig. 6: LabView-Oberfläche Versuchsturbinenwagen.

Gegendruckregelung

Die Gegendruckregelung wurde mit einer SPS von Crouzet (Fig. 7) aufgebaut. Entwickelt wurde die Gegendruckregelung auf dem Versuchsturbinenwagen.

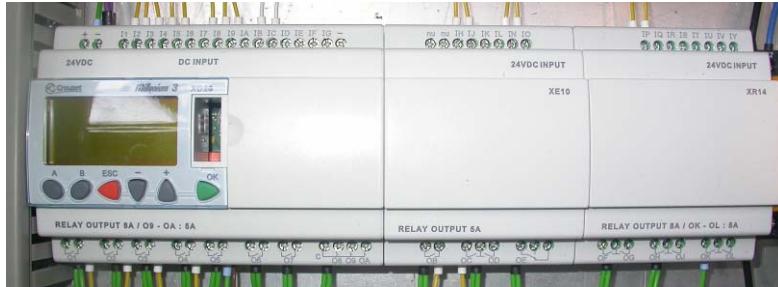


Fig. 7: Die Millenium 3 von Crouzet

Wenn die gegendruckfähige Universalturbine ein Druckreduzierventil zwischen Reservoir und Verbraucher ersetzen und die ungenutzte Druckenergie in elektrische Energie wandeln soll, werden an die Turbine und die Regelung spezielle Anforderungen gestellt. In dieser Situation befindet sich nach der Turbine kein Ausgleichsbecken mehr. Sprich, das Wasser, das die Turbine verlässt, wird ein paar hundert Meter weiter unten als Trinkwasser verwendet. Die Turbine muss bei dieser Anwendung im geschlossenen System mit Gegendruck – im Gegensatz zum offenen System mit Gegendruck, zum Beispiel dem überhöhten Reservoirreinlauf, bei dem sich der Reservoirreinlauf über der Turbine befindet und die Turbine das Wasser zum Reservoir hochpumpen muss – den Durchfluss nach dem Bedarf der Verbraucher regeln. Wird viel Wasser konsumiert, werden die Düsen stark geöffnet, bei kleinerem bis gar keinem Konsum, werden die Düsen nur wenig geöffnet oder sogar ganz geschlossen. Während dieses Regelvorgangs muss der Sekundärdruck nach der Turbine, den die Wasserversorgung für die Erreichung aller Wasserbezüger benötigt, aufrecht gehalten werden.

Der Sekundärdruck am Ausgang der Turbine wird erreicht, indem im Turbinenkessel ein Druckluftpolster aufgebaut wird. Das Druckluftpolster hält den Wasserstand im Kessel unterhalb des Peltonrades, verhindert also, dass die Turbine im Wasser dreht. Es dämpft durch die Komprimierbarkeit von Luft Druckschläge von der Druckleitung und setzt, das ist die wichtigste Eigenschaft, das abfliessende Wasser unter Druck, womit der benötigte Sekundärdruck vorhanden ist.

Das Druckluftpolster wird durch die Wasserstrahl-Gasverdichter erzeugt und aufrecht erhalten. Die Strahlpumpen saugen Luft an, komprimieren diese und bringen die Druckluft in das Kesselinnere.

Bei dieser Anwendung der Gegendruckregelung ist zu vermeiden, dass Luft mit dem abfliessenden Wasser mitgeht. Luftblasen in der Druckleitung erzeugen beim Bezüger Druckschläge. Aus diesem Grund regelt die Gegendruckregelung den Wasserstand im Kessel exakt auf eine definierte Höhe.

Zustände der Gegendruckregelung

Der Entwicklung der Gegendruckregelung für geschlossene Systeme wurde ein System von einer Gegendruckturbine mit einem Bypass, in dem sich ein Druckreduzierventil befindet, zugrunde gelegt. Das ist die Schulbuchanordnung, wie die Gegendruckturbine in geschlossenen Systemen eingesetzt werden wird. Für diese Konfiguration wurden drei prinzipielle Zustände definiert, die die Gegendrucksteuerung bedienen müssen:

- Herunterfahren der Turbine: Die Düsen schliessen langsam. Der Leitungsdruck in der Wasserleitung nach der Turbine sinkt unter den Normdruck, weil die Bezüger mehr Wasser brauchen als die Turbine durchlässt. Das Druckreduzierventil im Bypass

spricht bei einem Druck von rund 0.2 bar unter Normdruck an und übernimmt die Aufgabe des Zudosierens des Wassers. Die Düsen werden komplett geschlossen. Die Gegendruckregelung hält den Wasserstand im Kessel auf geforderter Höhe.

- Hochfahren der Turbine: Die Düsen öffnen langsam. Der Druck in der Wasserleitung steigt durch das zusätzliche Wasser der Turbine auf Normdruck an und das Druckreduzierventil schliesst. Die Gegendruckregelung regelt wieder den notwendigen Normdruck und hält den Wasserstand im Kessel auf gewünschter Höhe.
- Normalbetrieb: Die Gegendruckregelung hält den geforderten Normdruck in der Wasserleitung konstant, regelt den Wasserdurchfluss durch die Turbine nach Bedarf und hält den Wasserstand im Kessel, damit keine Luft ins Leitungsnetz entweicht und das Peltonrad nicht im Wasser dreht.

Messung Abflussvariation

Exemplarisch für alle Messungen und die Funktionsweise der Gegendruckregelung zeigt Fig. 8 eine Messung im Normalbetrieb, bei der die Abflussmenge über ein Abflussventil trapezförmig gesteigert und wieder verringert wird, und der Abflussdruck dabei konstant bei 1.5 bar gehalten wird:

- Bis Sekunde 100 läuft die Anlage konstant. Die Gegendruckregelung hält den Druck im Abfluss konstant bei 1.5 bar. Der Zuflussdruck, generiert durch die Pumpe, beträgt 10.3 bar. Eine Düse ist geschlossen, die andere ist rund 25 % (Wegprozente) geöffnet. Der Wasserstand im Kessel befindet sich auf dem Minimum. Das Abflussventil ist 30 % geöffnet, 1.3 l/s Wasser strömen durch die Turbine.
- Ab Sekunde 100 bis Sekunde 300 wird das Abflussventil kontinuierlich auf 100 % geöffnet. Der Abflussdruck wird konstant gehalten, die Düse öffnet stetig solange, bis sie 70 % (entspricht 95 % des maximalen Durchflusses) offen ist, dann wird der Düsendurchfluss aus Gründen des Wirkungsgrades auf beide Düsen verteilt. Der Wasserstand steigt dann über die erste Schwelle, über die zweite und ein Wasserstrahl-Gasverdichter wird zugeschaltet.
- Ab Sekunde 300 bis Sekunde 500 wird die Anlage bei voll geöffnetem Abflussventil betrieben. Der Abflussdruck wird weiter konstant gehalten. Der Durchfluss durch die Modellturbine beträgt rund 3.1 l/s. Der Generator der Modellturbine läuft in dieser Phase bei rund 1.3 kW (nicht in Diagramm ersichtlich). Der Wasserstand pendelt um die Mitte, eine Strahlpumpe ist konstant eingeschaltet.
- Ab Sekunde 500 wird das Abflussventil wieder langsam, bis zum Endwert von 30 %, geschlossen. Das Verhalten der Gegendruckregelung entspricht in etwa dem Anfang der Prozedur.

Fazit

Die verschiedensten Versuche bei unterschiedlichen Drücken und Durchflüssen haben gezeigt, dass die Gegendruckregelung einen hohen Reifegrad besitzt und nun in einer Pilotanlage eingesetzt werden kann.

Gegendruckregelung, Variation Abfluss

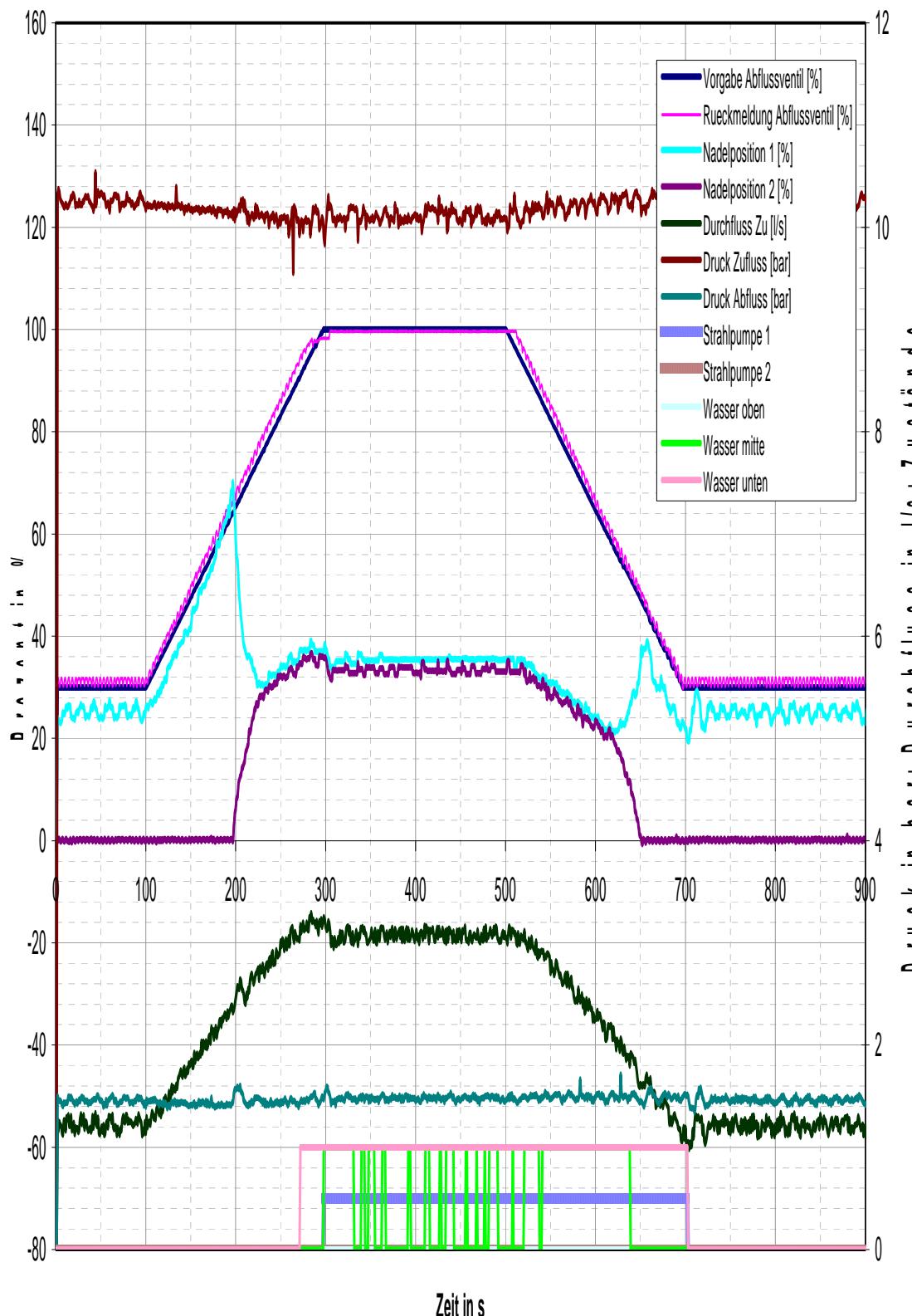


Fig. 8: Abflussvariation mit Gegendruckregelung

Lufteintrag und Luftaustrag

Beim Einsatz der Turbine im Gegendruckbereich wird Luft über das abfliessende Wasser ausgetragen. Die Luft ist dabei in Blasenform oder geht vollständig gelöst mit. Dies hat zwei unangenehme Nebeneffekte. Einerseits verringert sich dadurch das Luftpolster im Kessel. Das Luftpolster muss mit einem nicht unbedeutenden energetischen Aufwand wieder ergänzt werden. Andererseits gelangt durch den Luftaustrag unnötige Luft ins Leitungsnetz. Neben möglichen Luftblasen kann die im Wasser gelöste Luft bei weiterem Druckabfall ausgasen und ebenfalls Luftblasen bilden. Ansammlungen von Luftblasen ergeben beim Wasserbezug Leitungsschläge und werden als störend empfunden. Feine Luftblasen verursachen in gewissen Wasseraufbereitungsanlagen Fehldiagnosen und sind ebenfalls unerwünscht.

Bei Herrn Dr. Heiniger am Institut für Thermo- und Fluid-Engineering der FHNW ist die Problematik des Luftentzugs auf Interesse gestossen und es konnte eine Projektbeschreibung für Projektarbeiten / Bachelorthesis eingereicht werden. Ein Student der FHNW hatte sich für dieses Thema als Projektarbeit entschieden, konnte aber aus persönlichen Gründen die Arbeiten nicht durchführen. Für den Projektbeginn im März 2011 wird noch ein Student gesucht.

Frühere Untersuchungen^[2] haben gezeigt, dass bei einer Turbine im Gegendruckbereich betrieben, eine Luftmasse von bis zu $2.25 \cdot 10^{-5} \text{ kg}_{\text{Luft}}/(\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{bar})$ (entspricht der Sättigungsgrenze von Luft in Wasser) ausgetragen wird. Eigene Untersuchungen am Versuchsturbinenwagen haben diese Messresultate in Frage gestellt. Es wurde aber auch festgestellt, dass bei diesem Aufbau ein Eruieren der ausgetragenen Luftmenge schwierig ist, weil durch den geschlossenen Kreislauf immer dasselbe Wasser turbiniert wird und zum Teil auch Luftblasen aus dem Wassertank über die Pumpe wieder in den Turbinenkessel gelangen. Am Standort der Pilotanlage in Münster wurde deswegen speziell für die Versuche mit der Modellturbine eine Infrastruktur geschaffen, die die Modellturbine an die Druckleitung der Pilotanlage anschliessen lässt. Damit ist eine Versuchsumgebung geschaffen worden mit 22 bar Druck und gleichbleibender Wasserqualität. Im nächsten Halbjahr sind in Münster Messungen mit der Modellturbine bei verschiedenen Durchflüssen und Gegendrücken geplant.

Um die ausgetragene Luftmasse des Druckluftpolsters wieder zu ersetzen ist der Einsatz von Wasserstrahl-Gasverdichter eine interessante Methode, weil die Strahlpumpen, wie sie auch genannt werden, wenig anfällig auf Verschleiss sind. Die Schwierigkeit im Umgang mit Wasserstrahl-Gasverdichtern ist jedoch deren Auslegung um hohe Wirkungsgrade von 30% und mehr zu erhalten. Tiefe Wirkungsgrade fordern hohe hydraulische Verluste, da das Wasser für die Wasserstrahlverdichter nicht mehr zum Turbinieren verwendet werden kann. Anhand von früheren Untersuchungen^[2] wurden Wirkungsgradberechnungen durchgeführt, die zeigen, dass bei einem Gegendruck von 6 bar und beim Einsatz von Strahlpumpen mit einem Wirkungsgrad von lediglich 14% bis zu 10 % der zur Verfügung stehenden hydraulischen Leistung für die Aufrechterhaltung des Druckluftpolsters verwendet werden müssen (Blatt 7 der Präsentation im Anhang B).

Viel Wissen in der Auslegung von Wasserstrahlverdichtern hat wiederum das Institut Thermo- und Fluid-Engineering der FHNW um Herrn Dr. Heiniger. An seinem Institut wurde die Thematik mit der Präsentation im Anhang B vorgestellt. Herr Dr. Heiniger hat das Auslegen und das gemeinsame Ausmessen nach dem Bau von 2 Wasserstrahlverdichtern zu Assistentenansätzen angeboten. Von diesem Angebot wird für ein spezifisches Projekt Gebrauch gemacht.

Alternative Techniken für den Lufteintrag, zum Beispiel die Lufteinbringung über die Druckleitung, werden im nächsten Halbjahr auf der Modellturbine in Münster untersucht werden.

Wasserstrahl-Gasverdichter am Versuchsturbinenwagen

Für die Modellturbine wurden 2 Wasserstrahl-Gasverdichter mit einer Bohrung von je $D = 2.8$ mm und einer variablen Mischrohrlänge gebaut. In der Konfiguration in Fig. 9 sind sie bis zu Gegendrücken von 2.5 bar einsetzbar. Die Leistungsdaten von diesen Strahlpumpen wurden noch nicht aufgenommen.

Obwohl die Strahlpumpen neben Luft natürlich auch Wasser in den Kessel bringen, stellte das Einbinden der Strahlpumpen in die Gegendruckregelung keine grösseren Probleme dar. Die Wasserstandsregelung und die Druckregelung funktionieren bei verschiedenen Zuflussdrücken, Gegendrücken und Durchflüssen einwandfrei. Die Messungen (unter anderen Fig. 7) haben gezeigt, dass die Strahlpumpen für den Einsatz in Gegendruckregelungen für geschlossene Systeme geeignet sind.



Fig. 9: Wasserstrahl-Gasverdichter an der Modellturbine

Nationale Zusammenarbeit

Im Rahmen dieses Projekts besteht neben der Zusammenarbeit mit Lieferanten vor allem die Zusammenarbeit mit dem EW Obergoms. Das EWO ist der Käufer der Pilotanlage. Sie stellen ihre Infrastruktur für die Weiterentwicklung der Universalturbine zur Verfügung und geben das Turbinenhaus für die Visualisierung her. Das EWO hat speziell für die Versuche mit der Modellturbine die dafür benötigten Anschlüsse anfertigen lassen. Die Zusammenarbeit mit dem EWO ist vorbildlich. Wir erhalten für unser Vorhaben grosse Unterstützung.

Eine weitere Zusammenarbeit besteht mit dem Institut für Thermo- und Fluid-Engineering der FHNW unter Herrn Dr. Heiniger. Zur Zusammenarbeit in diesem Projekt kann aufgrund des bisherigen geringen Projektanteils noch nichts Charakterisierendes gesagt werden.

Bewertung 2009, 2010 sowie Ausblick 2011

Der Stand der Arbeiten ist in Anbetracht der definierten Meilensteine als zufriedenstellend zu bewerten und entspricht über weite Strecken dem vorgesehenen Terminplan.

- Die Visualisierung der Pilotanlage in Münster ist in Bezug auf die Plakate zu 70 % erledigt. Der Flyer „Universalturbine für Wasserversorgungen“ ist in deutscher und französischer Sprache gedruckt. Bis im Mai 2011 müssen die ausstehenden Plakate fertig sein, damit bis Mitte Sommer die Visualisierung eingerichtet werden kann.
- Der Versuchsturbinenwagen, der komplett gegendruckfähig ist, ist mitsamt neuen Leitvorrichtungen vollumfänglich fertig gestellt. Er eignet sich bestens zur Illustration der Gegendruckturbinierung.
- Die Gegendruckregelung für geschlossene Systeme konnte entwickelt werden und der Nachweis der Funktionstüchtigkeit wurde durch mehrere Messreihen auf dem Versuchsturbinenwagen erbracht.
- Teilergebnisse bezüglich Lufteintrag & Luftaustausch konnten erzielt werden. Der Nachweis des Einsatzes von Wasserstrahl-Gasverdichter in der Gegendruckregelung für geschlossene Systeme konnte erbracht werden. Die Zusammenarbeit mit der FHNW wurde aufgebaut. Die ausstehenden Ergebnisse müssen noch in 2011 erarbeitet werden.

In 2011 stehen also noch die Fertigstellung der Visualisierung sowie die Untersuchungen zu Lufteintrag sowie Luftaustausch aus. Zudem muss der Dauerlauf der Pilotanlage in Münster nach der Inbetriebnahme begleitet werden.

Referenzen

- [1] B. Schindelholz, stiftung revita: ***Universell einsetzbare Turbine für Wasserversorgungen (BFE-Projektnummer 102033/152529)***, Schlussbericht 20. März 2009.
- [2] Chr. Gmünder, FHNW: Energienutzung in geschlossenen Wasserversorgungssystemen, Diplomarbeit 1. Dezember 2005

Anhang A: Flyer „Universalturbine für Wasserversorgungen“

Flyer aussen:



Flyer innen:

Die P2E Universalturbine - Aus Druck wird Strom

Die stiftung revita hat mit Fachhochschulen und Industriepartnern die P2E Universalturbine entwickelt, die ungenutzte Energien in Wasserversorgungen in elektrische Energie umwandelt. Die Turbine basiert auf einer Pelzturbine und deckt den Bereich von 5.5 bis 55 kW ab. Mit der Universalturbine werden Energiepotenziale auch im Gegendruck- und im kleinen Leistungsbereich effizient und wirtschaftlich genutzt.

Die Stärken der P2E Universalturbine

Universelle Anwendung

Umfangreiche Berechnungen haben eine Turbine entwickeln lassen, die mit einer Baugröße die meisten Potentiale in Wasserversorgungen effizient nutzt. Mit der Düsenzahl wird die Turbine den standortspezifischen Abflussverhältnissen angepasst. Normgeneratoren ermöglichen zusammen mit einer einfachen Übersetzung die wirtschaftliche Anpassung an Leistung und Druckgefälle.

Gegendruckbereich

Ein Druckluftpolster im Turbinenkessel ermöglicht die Anwendung der Turbine im bisher nicht nutzbaren Gegendruckbereich. Mit dem Druckluftpolster wird gewährleistet, dass der Versorgungsdruck genügend ist. Die Universalturbine ersetzt dadurch Druckreduzierventile und stellt jeden gewünschten Versorgungsdruck bereit.

Wirtschaftlichkeit

Dank der einheitlichen Baugröße und des modularen Aufbaus kann die Turbine in Kleinserien hergestellt werden. Engineering- und Herstellkosten werden damit stark gesenkt. Zusammen mit der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) werden Trinkwasserkraftwerke bereits ab einer Leistung von 5.5 kW wirtschaftlich realisiert und betrieben.

Unser Leistungsangebot

- Grobanalysen und Vorstudien für Kleinwasserkraftwerke
- P2E Universalturbine
 - Beratung und Engineering
 - Herstellung
 - Steuerung
 - Installation und Inbetriebsetzung
- Beratung und Projektierung von Neubauten und Revitalisierungen
- Revisionen und Instandhaltungen von Kleinwasserkraftwerken
- Finanzierungs-, Contracting-Modelle

www.P2E.ch

Anwendungsgebiete

Die Universalturbine kann vielfältig angewendet werden. Ihre Hauptanwendungsmöglichkeiten sind:

- A Quellzufluss ins Reservoir
- B Reservoirzufluss mit Gegendruck bis 0.2 bar
- C Universalturbine anstelle Druckbrecherschacht
- D Universalturbine anstelle Druckreduzierventil mit Gegendruck bis 6 bar
- E Reservoirüberlauf

Einsatzbereich

Die Universalturbine deckt einen grossen Einsatzbereich ab:

Eingangsdruck: ab 3 bar
(≈ 0.1 * Nettofallhöhe)

Ausgangsdruck: von 0 bis 6 bar
(Gegendruck)

Durchfluss: ab 3 l/s

Leistung: von 5.5 bis 55 kW

Faustformel: Leistung [kW] \approx $0.075 \cdot \text{Durchfluss} [\text{l/s}] \cdot \text{Druckdifferenz} [\text{bar}]$

Funktionsweise

Die Universalturbine wird wasserstandsgeregt oder im Gegendruckbereich druckgeregelt.

1 Reservoir	10 Luftstrahlpumpe
2 Zufluss	11 Druckluftpolster
3 Düsenadregulierung	12 Druckkessel
4 Wasserstandssregelung	13 Wellendichtung
5 Wasserstandssensor	14 Rientrieb
6 Druckregelung	15 Generator
7 Drucksensor	16 Netzeinspeisung
8 Dose	17 Abfluss
9 Peltonrad	

Anhang B: Präsentation Strahlpumpe für Universalturbine bei FHNW

Schwengistrasse 12 CH-4438 Langenbruck Tel. +41 (0)62 387 31 21 info@revita.ch www.revita.ch



Wasserstrahl-Gasverdichter für die Universalturbine

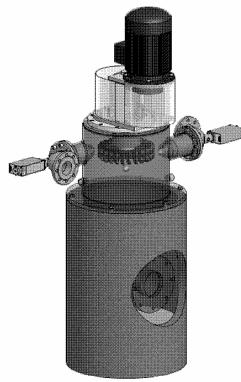
Kurzvorstellung bei
FHNW – Institut für Thermo und Fluid-Engineering

2. November 2009

1



Universalturbine für Wasserversorgungen



- Peltonturbine
- Universell für den Leistungsbereich von 5 – 55 kW
- 14 – 48 bar, 5 – 80 l/s
- 1 maximal 6 Düsen
- Gegendruckfähig durch Luftpolster

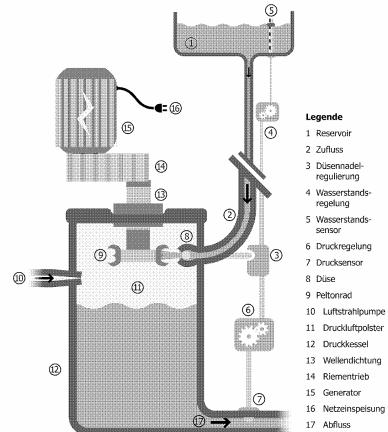
2. November 2009

2



Funktionsweise Universalturbine

Titel

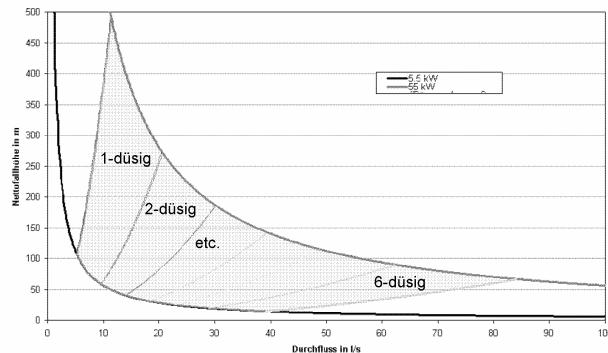


2. November 2009

3



Einsatzbereich der Universalturbine

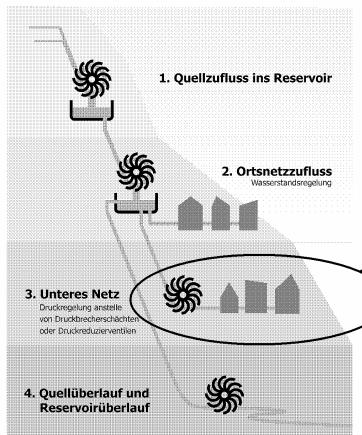


2. November 2009

5



Anwendungen Universalturbine



Anforderung für Gegendruck

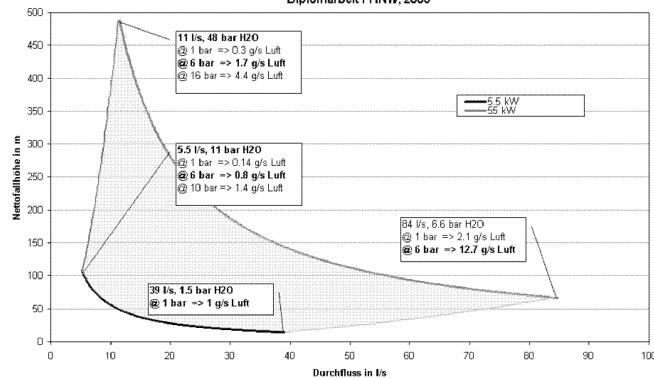
- Üblicherweise 4 - 6 bar für Ortsnetze
- 9 bar in besonderen Situationen
- Bis 16 bar bei Beschneiungsanlagen

2. November 2009

4

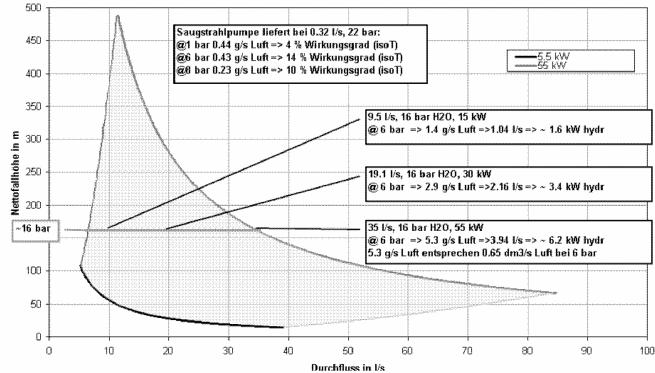


Ausgetragener Luftmassenstrom an Eckpunkten des Kennfeldes Diplomarbeit FHNW, 2005



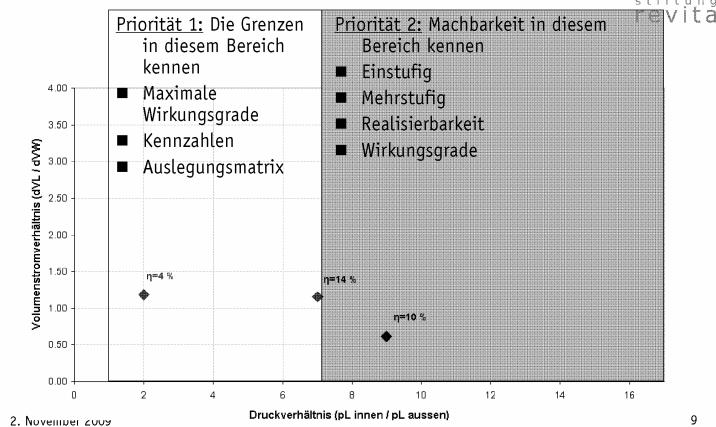
2. November 2009

6



2. November 2009

7

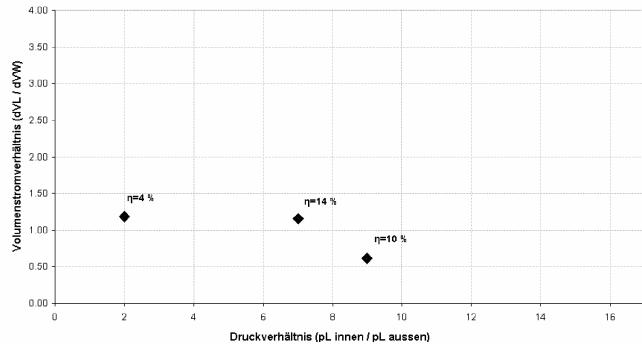


2. November 2009

9



Saugstrahlpumpe mit $D=3$ mm, $L=100$ konisch aufger. von 5.5 auf 6.5
Diplomarbeit FHNW, 2006



2. November 2009

8



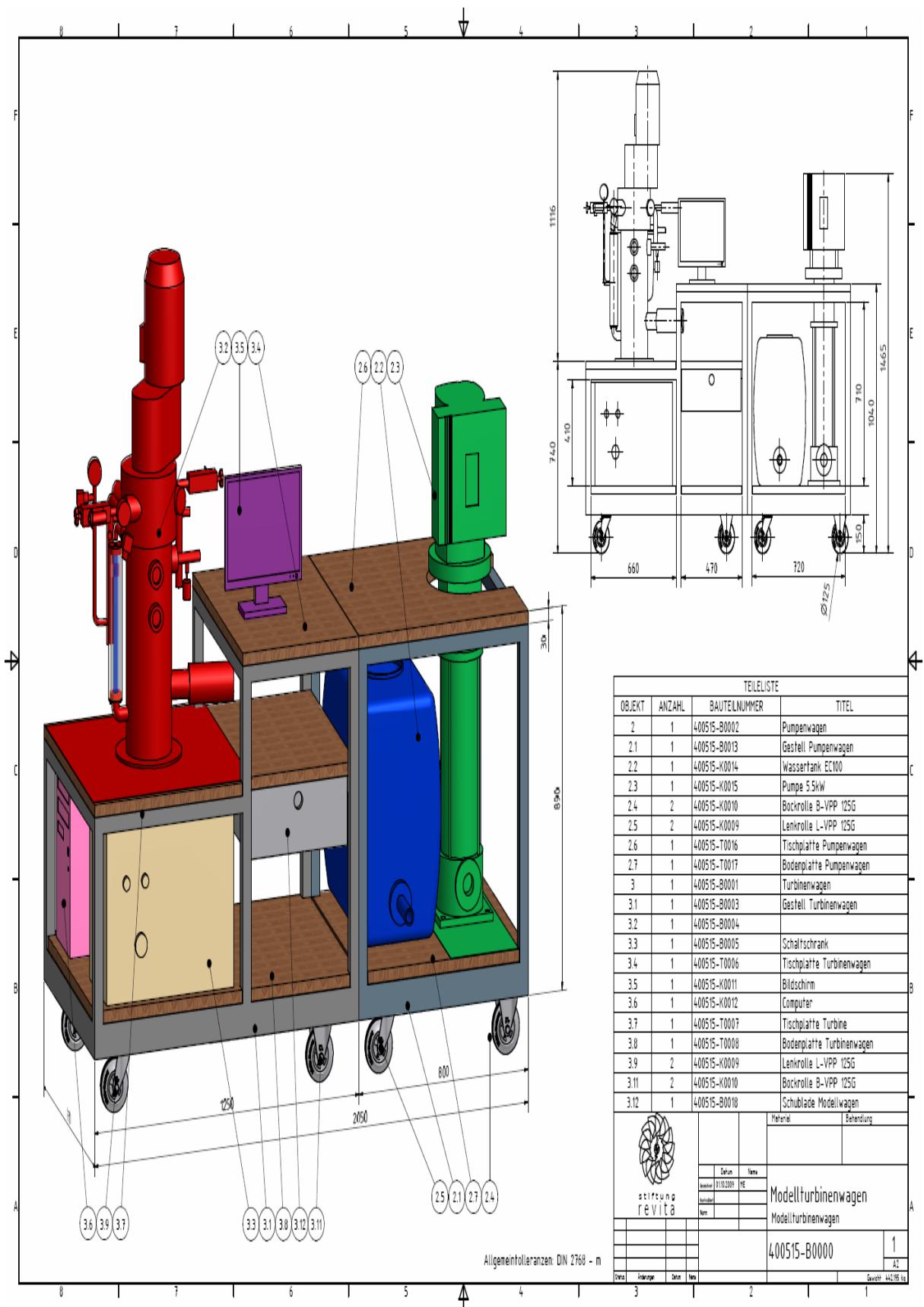
Herzlichen Dank für das Interesse!

stiftung revita

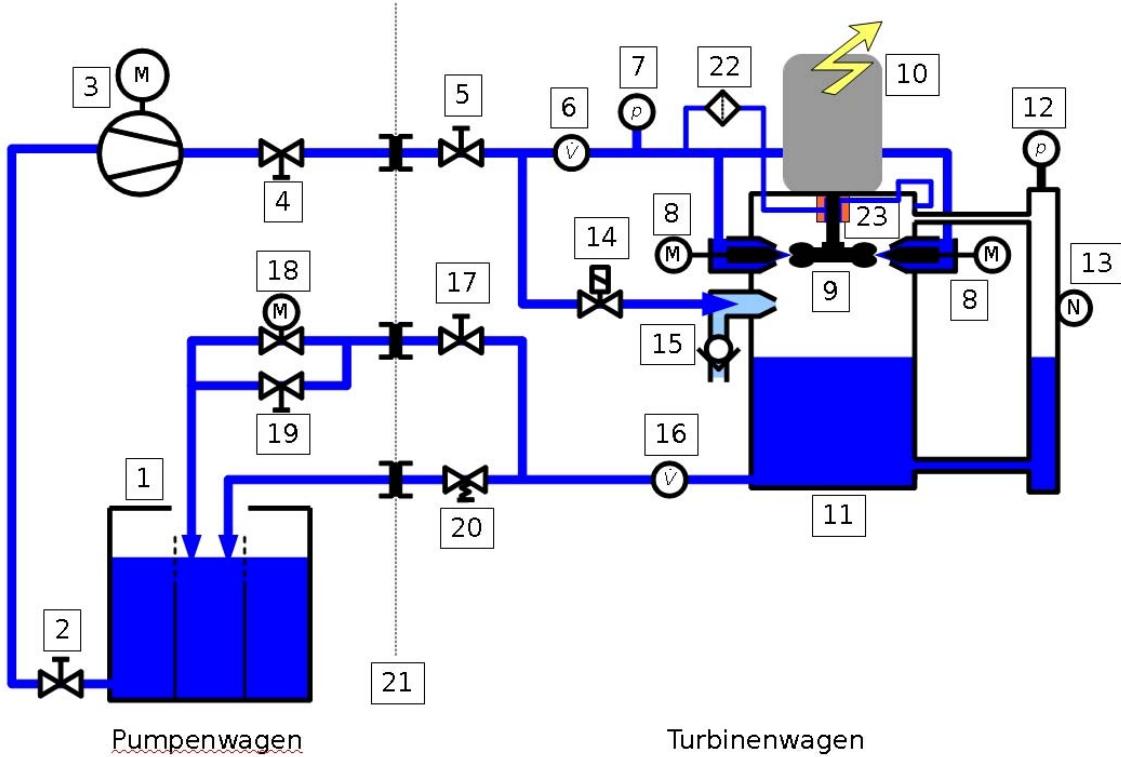
2. November 2009

10

Anhang C: Zeichnung Versuchsturbinenwagen



Anhang D: Hydraulikschema Versuchsturbinenwagen



Legende:

- | | | | |
|----|--|----|--|
| 1 | Wassertank 100l (1 ½“ Anschluss) | 13 | Füllstandssensor (Kapazitiv, Sn=15mm) |
| 2 | Kugelhahn 1 ½“ (nach Tank) | 14 | Magnetventile (für Strahlpumpen, 50bar, ½“ DN12, 33.3l/min bei 1bar, 24VDC) |
| 3 | Kreiselpumpe (5.5kW, 3.6l/s, 16bar) | 15 | 2x Strahlpumpen (für Druckluftkissen, je max. 20l/min, 1.93g(Luft)/s bei 8.5l/s) |
| 4 | Kugelhahn 1 ½“ (nach Pumpe) | 16 | Durchflussmesser Paddle-Wheel (Abfluss, 10bar / 25bar) |
| 5 | Kugelhahn 1 ½“ (Zulauf Turbinenwagen) | 17 | Kugelventil 2“ (Ablauf Turbinenwagen) |
| 6 | Durchflussmessung MID (Druckleitung, 1.5“, 40bar, 0.5 - 10l/s) | 18 | Stetiges Regelventil (2“, $\Delta p=6$ bar, PN16, Stellzeit 2s, 3.3l/s bei 1bar) |
| 7 | Druckmessung (Druckleitung, bis 30bar) | 19 | Kugelhahn 2“ (statt Regelventil) |
| 8 | Düse el. (Gegendruck geregelt) | 20 | Überströmventil 1“ (16bar, 9.3l/s) |
| 9 | Peltonrad (Kunststoffschäufeln, BAK Ø145) | 21 | Feuerwehrkupplungen zwischen Wagen |
| 10 | Generator mit Leistungsmessung und Netzeinspeisung (1,5kW, 400V, 4 Pol, 1500U/min (-> 2 Pol, 3000U/min)) | 22 | Schmutzfänger (für Wasserdichtung, 30bar, Maschenweite 0.18mmesch) |
| 11 | Turbinenkessel (Gegendruck, bis 16bar) | 23 | Wassergeschmierte Dichtung (Spaltmass einstellbar) |
| 12 | Druckmessung (Gegendruck, bis 16bar) | | |