

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT
INSTITUT UMWELT UND NATÜRLICHE RESSOURCEN

Grobanalyse

Trinkwasserkraftwerk Glarus Süd



Projekt Anlageprojektierung

6. Semester

Von

**Katharina Appoloni, Ricardo Bandli, Roland Hübscher
und Daniel Schneider**

Bachelorstudiengang 2008

24.6.2011

Studienrichtung Umweltingenieurwesen

Fachkorrektorin:

Dr. Marina Escala

ZHAW Fachstelle Erneuerbare Energien

Wichtiger Hinweis

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich *nicht* um eine offizielle Studie der ZHAW Wädenswil, sondern um eine Studentenarbeit. Dieser Bericht wurde durch eine Gruppe von Studentinnen und Studenten im 6. Semester Umweltingenieurwesen, Vertiefungsrichtung „Nachwachsende Rohstoffe und Erneuerbare Energien“ an der ZHAW Wädenswil im Rahmen des Studiums erstellt.

Die Arbeit wurde durch eine Fachperson betreut und bewertet, allfällige Mängel sind aber nicht nachträglich korrigiert worden. Vor einer weiteren Verwendung dieser Resultate wird deshalb eine Rücksprache mit der Betreuerin bzw. dem Betreuer an der ZHAW Wädenswil empfohlen.

Wädenswil, 24. Juni 2011

Jürg Rohrer, Dozent für Erneuerbare Energien

Juerg.rohrer (at) zhaw.ch Tel. 058 934 54 33

<http://www.iunr.zhaw.ch/de/science/iunr/studium.html>

Zusammenfassung

Anstehende Bauarbeiten bei der Trinkwasserversorgung der Dörfer Schwanden und Sool (Gemeinde Glarus Süd) gaben den Anstoss die Möglichkeiten einer energetischen Nutzung des Trinkwassers zu prüfen. Trinkwasserkraftwerke bieten eine verhältnismässig kostengünstige und nachhaltige Möglichkeit Wasser energetisch zu nutzen, da die benötigte Infrastruktur (z.B. Druckleitungen) oftmals vorhanden ist und die Umwelt kaum beeinträchtigt wird. Darüber hinaus ergibt sich eine sinnvolle Zusatznutzung von Trinkwasser, wobei die Trinkwasserversorgung unter hygienisch einwandfreien Bedingungen stets erste Priorität hat.

Die vorliegende Grobanalyse zeigt, dass zwei mögliche Turbinen-Standorte in einer Detailstudie genauer betrachtet werden sollten.

Turbinierung Au

Elektrische Nennleistung	16.7 kW
Ausbauwassermenge	23 l/s
Nettofallhöhe	103 m
Jährliche Produktionserwartung	75'000 kWh
Gestehungskosten	21 Rp./kWh
Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV)	27 Rp./kWh
Investitionskosten	186'000 CHF

Turbinierung Soolsteg

Elektrische Nennleistung	20.1 kW
Ausbauwassermenge	23 l/s
Nettofallhöhe	105 m
Jährliche Produktionserwartung	91'000 kWh
Gestehungskosten	38 Rp./kWh
Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV)	27 Rp./kWh
Investitionskosten	388'000 CHF

Bei den aufgeführten Daten handelt es sich bezüglich Energiegewinnung und Gestehungskosten um ein mögliches Szenario. Für einen definitiven Entscheid sind aber weitere Messungen bezüglich der effektiven Wassermengen und Durchlaufschwankungen unabdingbar. In Abhängigkeit der Durchflusskonstanz und der möglichen Betriebsstunden der Turbine ist die eine oder die andere Variante zu favorisieren. Denn obwohl bei der oben aufgeführten Auflistung die Turbinierung in Au eindeutig besser auszufallen scheint, schneidet die Turbinierung in Soolsteg bereits ab einem relativen Durchfluss kleiner als 0.85 besser ab. Darüber hinaus liegen die Gestehungskosten bei einem konstantem Durchfluss ab 5'800 Betriebsstunden unter der Vergütung der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV). Dementsprechend kann die Anlage in diesem Fall auch wirtschaftlich betrieben werden.

Aufgrund der momentan unvollständigen Datengrundlage empfiehlt es sich beide Varianten weiterhin in Betracht zu ziehen und sich aufgrund neu erhobener Messdaten zu entscheiden.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	- 2 -
Inhaltsverzeichnis	- 3 -
1. Ausgangslage	- 4 -
1.1 Wasserfassungen.....	- 5 -
1.2 Verteilschächte.....	- 8 -
1.3 Leitungssystem.....	- 8 -
1.4 Druckzonen	- 9 -
1.5 Wasserbedarf	- 10 -
1.6 Rechtliche Situation.....	- 10 -
2. Projektvarianten	- 11 -
2.1 Vorgehen.....	- 11 -
2.2 Turbinierung Au.....	- 12 -
2.3 Turbinierung Soolsteg.....	- 14 -
2.3.1 Rohrleitungen	- 16 -
2.4 Wirtschaftlichkeit.....	- 17 -
2.4.1 Investitionskostenschätzung und Betriebskosten.....	- 17 -
2.4.2 Stromproduktion	- 19 -
2.4.3 Finanzierung / Rückvergütung	- 19 -
2.4.4 Gestehungskosten in Abhängigkeit von Betriebsstunden.....	- 20 -
2.4.5 Gestehungskosten in Abhängigkeit vom relativen Durchfluss	- 21 -
3. Weiteres Vorgehen	- 23 -
Quellenverzeichnis	- 24 -
Anhang	- 25 -
Ausgeschlossene Varianten	- 25 -

1. Ausgangslage

Die Dörfer Sool und Schwanden befinden sich im Kanton Glarus (Abbildung 1) und gehören seit der Fusion im Jahr 2011 zur Gemeinde Glarus Süd. Mit der vorliegenden Grobanalyse soll untersucht werden, ob und wo sich eine energetische Nutzung im Trinkwassernetz des Dorfes Schwanden eignen würde.

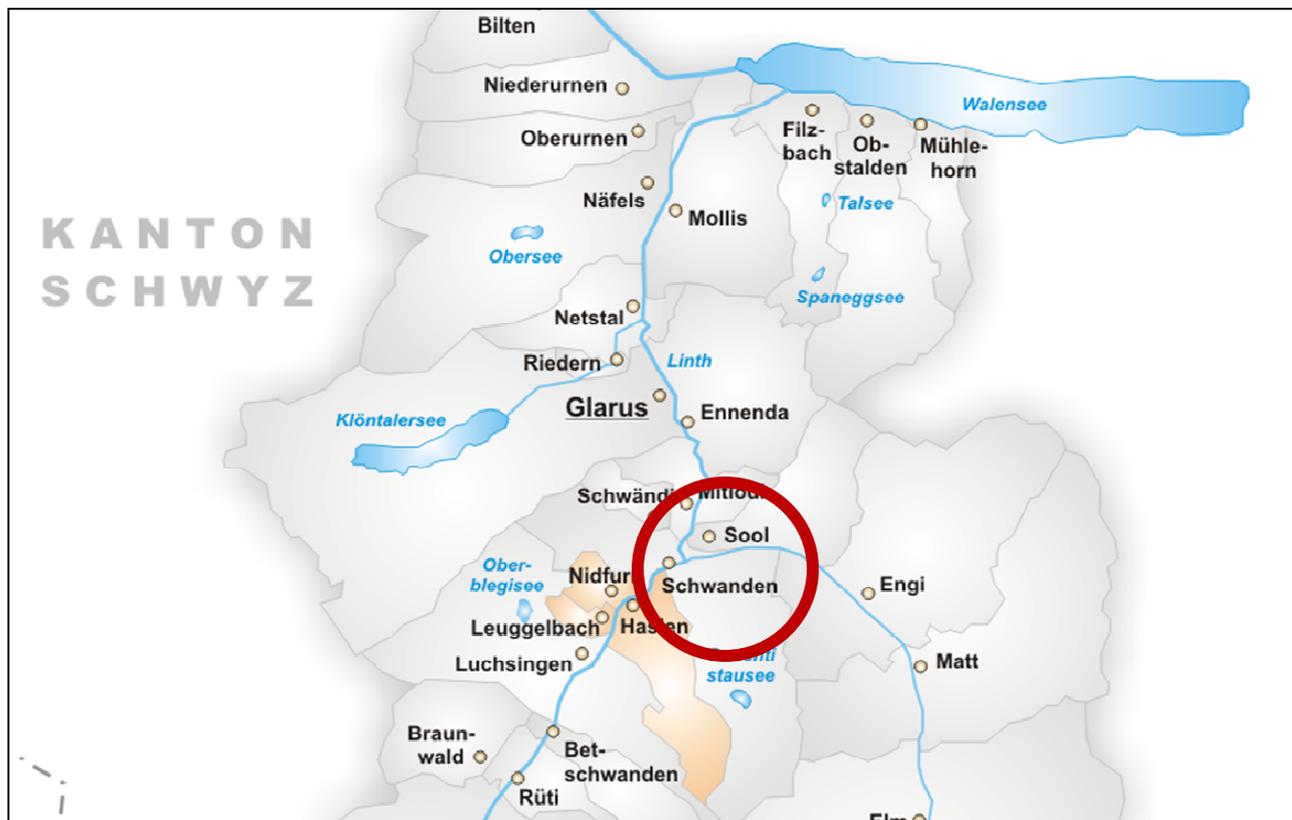


Abbildung 1: Übersichtskarte zu den Dörfern Schwanden und Sool (Bildquelle: Wikipedia)

Als Planungsgrundlagen für das folgende Konzept zur Trinkwassernutzung dienen:

- Projektierte Bauvorhaben der Variantenstudie des Bauingenieur-Büros Raymann AG (Glarus) zum Thema `Vordere Warthstaldenquelle Verbindung zum Ortsnetz` (2002)
- Informationen zum Trinkwassernetz Schwanden beziehungsweise zu den Quelfassungen Warthstalden von J. Tschudi, Wasserchef Glarus Süd.

Die Variantenstudie des Bauingenieur-Büros Raymann AG befasst sich mit einer Teilerneuerung des bestehenden Trinkwasser-Leitungssystems. Aufgrund von Hangrutschungen soll ein Teil der Infrastruktur verlegt bzw. neu erstellt werden. Im folgenden Bericht wird unter Berücksichtigung der projektierten Vorhaben die heutigen Gegebenheiten bezüglich Wasserfassung und dazugehöriger Infrastruktur dargelegt. Zum besseren Verständnis der lokalen Situation zeigt die Abbildung 2 eine grobe Übersichtskarte.

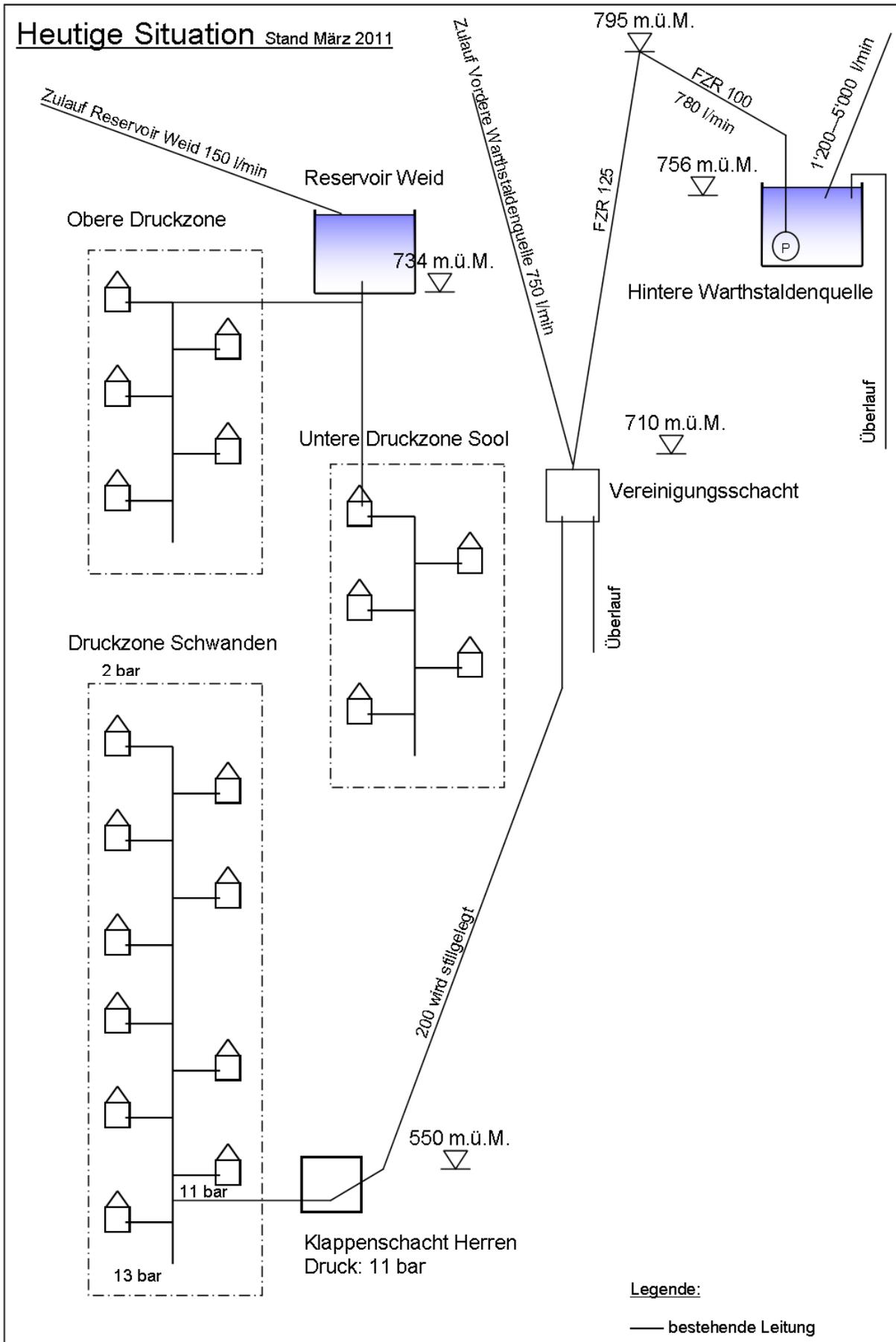


Abbildung 3: Hydraulisches Schema zur heutigen Situation

Hintere Warthstaldenquelle

Die Hintere Warthstaldenquelle liegt auf ca. 750 m ü. M. im hinteren Bereich des Sernftals (Abbildung 2). Der Zufluss schwankt stark zwischen 1'200 bis 5'000 l/min. Gemäss Herrn Tschudi, Wasserchef des Kantons Glarus, kann mit einem Mittel von 3'500 l/min gerechnet werden. Der als Quellfassung dienende Pumpschacht hat ein Volumen von ca. 26 m³. Allfälliges überschüssiges Wasser fliesst via Überlauf durch ein offenes Gerinne in die Sernf.

Vordere Warthstaldenquelle

Die Vordere Warthstaldenquelle liegt weiter vorne im Tal und liefert durchschnittlich ca. 2'300 l/min. Davon fliessen relativ kontinuierlich etwa 760 l/min zum 50 m tiefer gelegenen Vereinigungsschacht, wo sich die Quellströme der Vorderen und Hinteren Warthstaldenquelle vereinigen. Dieser Vereinigungsschacht liegt heute unter der Hauptstrasse. Dies ist aus hygienischer Sicht allerdings suboptimal. Aus diesem Grund soll der Schacht aufgehoben bzw. verlegt werden. Projektiert ist eine Brunnstube direkt bei der Vorderen Warthstaldenquelle mit Trübungsmessung und UV-Anlage. Diese Brunnstube dient ebenfalls als neuer Vereinigungsschacht der Vorderen mit der Hinteren Warthstaldenquelle.

Einige monatliche Messdaten aus den Jahren 1994 - 1996 (Messungen: J. Tschudi) geben Aufschluss über den jährlichen Zulauf der beiden Warthstaldenquellen. Diagramm 1 zeigt einerseits den durchschnittlichen Zulauf der vereinten Quellen im Jahresverlauf mit Standardabweichung. Da für den Monat Januar zu wenig Datensätze für eine Varianzberechnung vorliegen, konnte für diesen Monat keine Standardabweichung gebildet werden. Mithilfe der Standardabweichung ist zu erkennen, dass die Zulauf-Summe besonders während den Sommermonaten starke Schwankungen aufweist. Zurzeit wird das Quellwasser, das nicht für die Trinkwassernutzung verwendet wird per Überlauf in die Sernf geleitet.

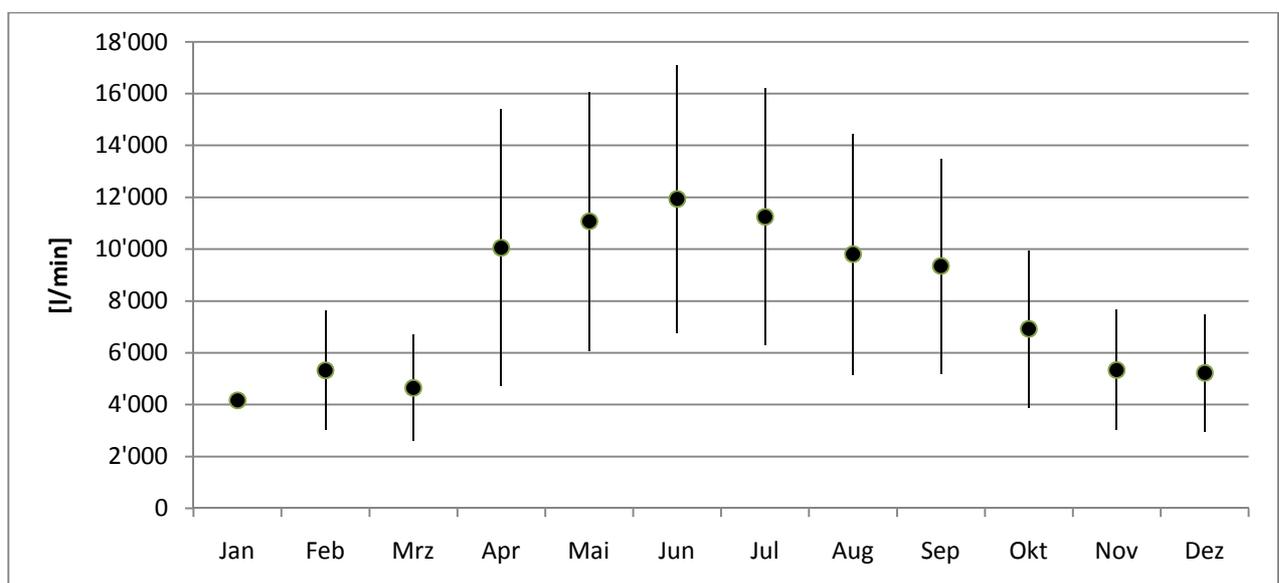


Diagramm 1: Durchschnittliche Quellzuläufe der Hinteren und Vorderen Warthstaldenquelle im Jahresverlauf

Soolerquelle

Die Soolerquelle fliesst durch offene Stollen in das Reservoir Weid auf 734 m ü. M. und versorgt zurzeit die Druckzonen Obere und Untere Sool. Das Reservoir besitzt ein Volumen von 300 m³, wovon die Hälfte als Löschwasserreserve vorgesehen ist. Aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung im Gebiet der Quelfassung und der schlechten Filterwirkung der Karstzuleiter gibt es bei der Verwendung des Zulaufes als Trinkwasser hygienische Bedenken. Vor diesem Hintergrund soll die Soolerquelle zukünftig nicht mehr als Trinkwasser genutzt werden. Es ist geplant anstelle der Versorgung durch die Soolerquelle, das Reservoir Weid mit Quellwasser aus der Vorderen und Hinteren Warthstaldenquelle zu speisen.

Grundwasserpumpwerk Wyden

Das Grundwasserpumpwerk Wyden liegt auf rund 500 m ü. M. Das Pumpwerk dient zur Sicherung der Trinkwasserversorgung der Druckzone Schwanden und steuert unter normalen Bedingungen nur einen marginalen Anteil zur Versorgung bei. Da sich das Grundwasserpumpwerk am tiefsten Punkt des Verteilernetzes befindet, muss ein Druck von 13 bar aufgebaut werden, um das Wasser ins Netz einzuspeisen.

1.2 Verteilschächte

Da der momentane Verlauf der Leitungen durch Hangrutschung gefährdet ist, muss die alte Verbindung vom Vereinigungsschacht bei der Vorderen Warthstaldenquelle nach Schwanden in absehbarer Zeit erneuert bzw. verlagert werden. Die Neuprojektierung der Leitung umfasst zwei neue Verteilschächte: Soolsteg und Au.

Verteilschacht Soolsteg (projektiert)

Der geplante Verteilschacht Soolsteg liegt auf 590 m ü. M. Die Projektierung sieht vor, dass an diesem Punkt einerseits der Wasserdruck für die Trinkwasserzone Schwanden von 16 auf 5 bar reduziert wird, andererseits soll von dort zukünftig die benötigte Trinkwassermenge von 150 l/min in das Reservoir Weid geleitet werden (ohne Druckreduktion).

Verteilschacht Au (projektiert)

Der geplante Verteilschacht Au liegt auf etwa 540 m ü. M. und soll als Mess- und Klappenschacht dienen. Am Standort werden 11 bar Druckaufbau benötigt, um die Zone Schwanden zu versorgen.

1.3 Leitungssystem

Das Leitungssystem des Trinkwassernetzes besteht aus mehreren Abschnitten, die im Folgenden näher beschrieben werden.

Verbindung Hintere Warthstaldenquelle - Vordere Warthstaldenquelle

Aufgrund der topographischen Gegebenheiten muss das Wasser der Hinteren Warthstaldenquelle vom Pumpschacht auf 795 m ü. M. hoch gepumpt werden, bevor es durch eine 125 mm Zementfaserleitung (ZFL) ins Ausgleichsbecken der Vorderen Warthstaldenquelle fliesst. Zu diesem Zweck sind im Pumpschacht der Hintere Warthstaldenquelle zwei Pumpen installiert. Die beiden Pumpen laufen alternierend und fördern jeweils 760 l/min durch ein 100 mm ZFL auf die genannte Höhe.

Verbindung Vordere Warthstaldenquelle - Verteilschacht Soolsteg

Die 120 Höhenmeter zwischen der Vorderen Warthstaldenquelle und dem Verteilschacht Soolsteg sind mit einer 200 mm ZFL verbunden. Dieser Leitungsabschnitt führt durchschnittlich 1'530 l/min und weist eine ungefähre Länge von 1'500 m auf.

Verbindung Verteilschacht Soolsteg – Verteilschacht Au

Die beiden Verteilschächte sind heute mit einer 200 mm Zementfaserleitung verbunden. Diese Leitung soll zukünftig aufgehoben und ersetzt werden. Für die neuen Leitungen bestehen unterschiedliche Verlegungsrouten. Zum jetzigen Zeitpunkt steht der Entscheid über den definitiven Verlauf noch aus. Auch diese Leitung wird eine ungefähre Länge von 1'500 m aufweisen.

1.4 Druckzonen

Im betrachteten Gebiet gibt es drei verschiedene Druckzonen: Obere Sool, Untere Sool und Schwanden.

Obere Sool

Der tiefste Punkt der Druckzone Obere Sool liegt auf 600 m ü. M., wobei sich das Druckzonengebiet über 100 Höhenmeter verteilt. Die Druckzone wird zurzeit durch das Reservoir Weid gespeist. Wie bereits erwähnt, soll das Reservoir Weid zukünftig von der Vorderen und Hinteren Warthstaldenquelle versorgt werden. Vom Abzweigungspunkt am Soolsteg werden 16 bar benötigt, um zum Reservoir Weid zu gelangen. Ab diesem Punkt bleiben die Druckverhältnisse bestehend wie zuvor.

Untere Sool

Die Druckzone Untere Sool liegt zwischen 550 und gut 600 m ü. M. Die Druckzone wird durch das Reservoir Weid über die Druckzone Obere Sool gespeist. Dazwischen ist ein Druckreduzierungsventil installiert. Wie die Druckzone Obere Sool wird auch die Untere Sool zukünftig über die Warthstaldenquellen versorgt. Auch hier bleiben die Druckverhältnisse ab dem Reservoir Weid erhalten.

Schwanden

Schwanden ist mit Abstand die Grösste der aufgeführten Druckzonen. Ihr tiefster Punkt liegt beim Grundwasserpumpwerk Wyden, wo das Wasser mit 13 bar eingepresst wird. Im obersten Bereich der Zone sind noch 2 bar Druck vorhanden. Wo der Druck für den Privathaushalt zu gross ist, sind Druckreduzierungsventile installiert.

1.5 Wasserbedarf

Der Verbrauch von Schwanden wird erst seit kurzem gemessen und liegt bei ca. 1'800 – 2'000 m³/d. In Sool liegt der Verbrauch bei ca. 200 m³/d. Daten zu Tagesverlauf und Bedarfschwankungen sind zurzeit nicht verfügbar. Ebenfalls ist der Beitrag des Grundwasserpumpwerks Wyden unklar.

1.6 Rechtliche Situation

Träger der geplanten Wasserkraftanlage ist die Gemeinde Glarus Süd. Eine Konzession für die Entnahme des Trinkwassers liegt vor. Eine Wasserrechtskonzession für die Wasserkraftnutzung ist nicht zu beantragen, da es sich um eine Nebennutzung der Wasserversorgung handelt.

2. Projektvarianten

2.1 Vorgehen

Zur Evaluierung realistischer Projektvarianten wurden in einem ersten Schritt alle theoretisch möglichen Optionen für eine energetische Nutzung des Trinkwassernetzes Schwanden erhoben. Dabei sind als mögliche Turbinierungsstandorte die Talsohle der Hinteren und Vorderen Warthstaldenquelle, die Verteilschächte Soolsteg und Au und die Reservoirs Weid und Bühlegg erfasst worden. Für alle Möglichkeiten wurde unter Berücksichtigung von Nett Höh e, verschiedenen Durchflussraten, Volllaststunden und Wirkungsgrad der technisch sinnvoll einsetzbaren Turbinen eine Hochrechnung der erwarteten Energieproduktion durchgeführt. Darüber hinaus wurde insbesondere das Potenzial bei einer Erhöhung der Durchflussmenge betrachtet. Nach Ausschluss von energetisch unrentablen oder aus standort-praktischer Sicht problematischen Projektoptionen konnten die selektierten Varianten unter Einbezug detaillierter technischer Faktoren und Kostenhochrechnungen fortlaufend verfeinert und mithilfe der Gesteinskosten beurteilt werden. Zwei Varianten die Turbinierung in Au und Soolsteg wurden bis zum Schluss weiter verfolgt und werden im Folgenden genauer betrachtet. Ein Überblick der wichtigsten ausgeschlossenen Varianten ist im Anhang zu finden.

2.2 Turbinierung Au

Diese Variante sieht eine Wasserführung von 1'530 l/min (bestehende Durchflussmenge) aus der Brunnstube bei der Vorderen Warthstaldenquelle durch die bestehende Wasserleitung nach Soolsteg vor (siehe Abbildung 5). Am Verteilschacht Soolsteg werden 150 l/min Trinkwasser für das Reservoir Weid abgezweigt, welches für die Druckzone Sool vorgesehen ist. Das nach der Variantenstudie Raymann AG geplante Druckreduzierungsventil für die Druckzone Schwanden wird hinfällig. Um die Höhenverluste der nach Au führenden Wasserleitung zu reduzieren, empfiehlt es sich, anders als in der Projektierung vorgesehen, eine Druckleitung mit 300 mm Durchmesser (statt 200 mm) einzusetzen.

Am Standort Au kann die Wassermenge von 1'380 l/min (entsprechen 23 l/s) durch eine rückwärtslaufende Kreiselpumpe (RLPT) turbiniert werden. Da die

rückwärtslaufende Kreiselpumpe einen Gegendruck bis zu 15 bar aufbauen kann, ist sie fähig am Einspeiseort den benötigten Gegendruck von 11 bar für das Trinkwassernetz Schwanden aufzubringen (Häny, 2010). Dabei nutzt sie zur Energieerzeugung die Druckdifferenz zwischen der zur Verfügung stehenden 20 bar und dem Bedarf der Druckzone Schwanden.

Vorteil

Statt die benötigte Druckreduzierung mit einem Ventil zu erreichen, wird dies mit einer energiegewinnenden RLPT bewerkstelligt. Diese besitzt einen kleinen Raumbedarf und kann relativ kostengünstig installiert werden. Da sich der geplante Verteilschacht Au in der Nähe des Energiewerks befindet, kann die Anbindung an das Stromnetz mit wenig Aufwand bewerkstelligt werden. Diese Variante hat das Potential relativ tiefe Gestehungskosten zu erzielen.

Einsatzkriterium

Die rückwärtslaufende Kreiselpumpe ist auf einen konstanten Wasserdurchsatz angewiesen, da bei inkonstantem Durchfluss ihre Effizienz rasch stark abnimmt (Häny, 2010).



Abbildung 4: Rückwärtslaufende Kreiselpumpe (Häny, 2010)

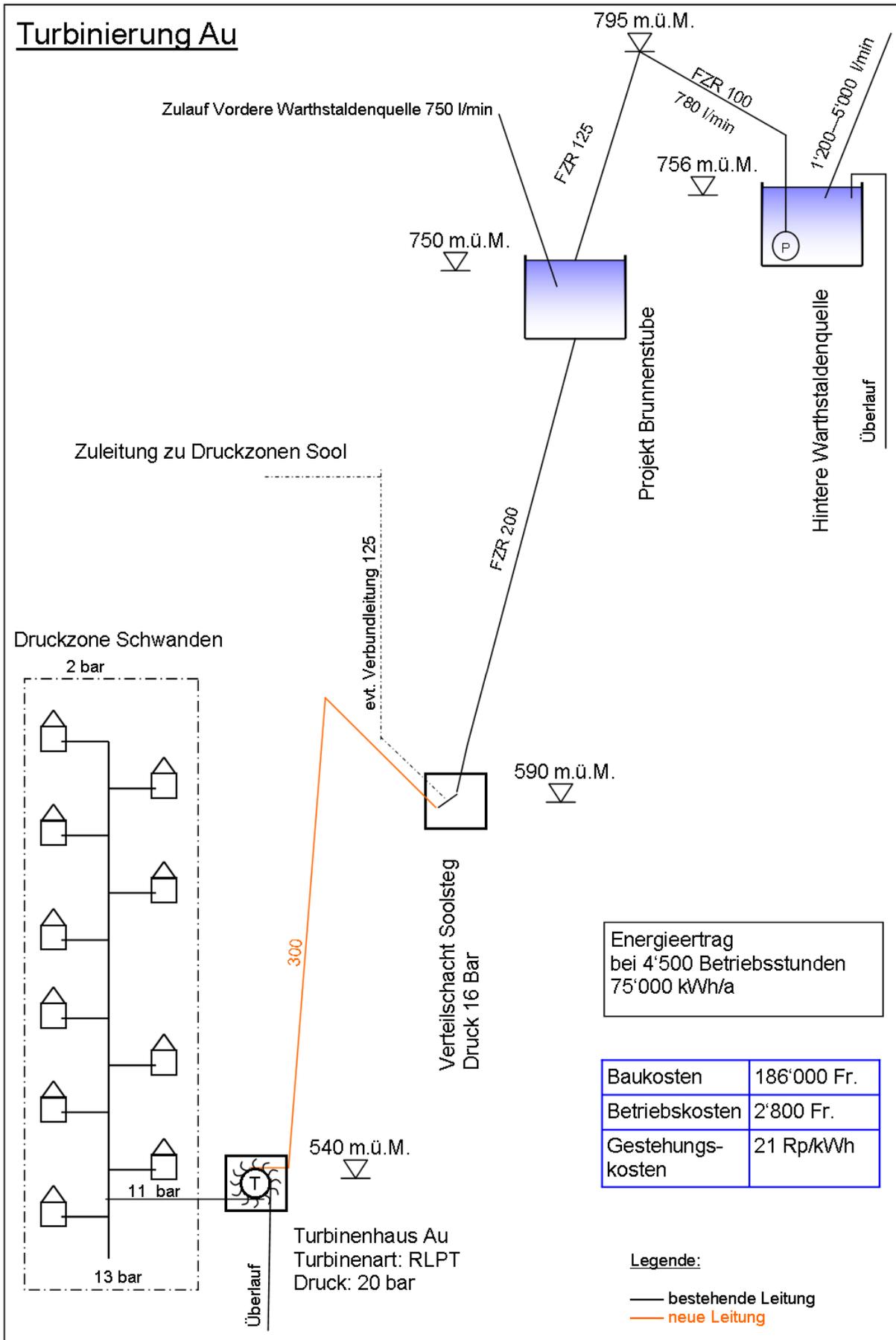


Abbildung 5: Hydraulisches Schema zu „Turbinierung Au“

2.3 Turbinierung Soolsteg

Die Wasserführung von der Hinteren Warthstaldenquelle bis Soolsteg verläuft analog zur vorhergehenden Variante (Turbinierung Au) durch die bestehenden Leitungen. Nach der Abführung des Sooler-Trinkwassers können 1'380 l/min (23 l/s) im Verteilschacht Soolsteg durch eine Gegendruckpeltonturbine geleitet werden (Abbildung 7). Dabei kann folglich auf das projektierte Druckreduzierungsventil verzichtet werden. Das Trinkwasser wird anschliessend mit einem Druck von gut 5 bar



Abbildung 6: Gegendruckpeltonturbine (Häny, 2010)

in die Zuleitung eingespeist. Da eine Gegendruckpeltonturbine bis zu 10 bar Gegendruck aufbauen kann, ist sie für diese Situation gut geeignet. Um im Verteilschacht Au den benötigten Druck zu sichern, sollte der nachfolgende Leitungsabschnitt bis Au einen Durchmesser von 300 mm aufweisen.

Um im Verteilschacht Au den benötigten Druck zu sichern, sollte der nachfolgende Leitungsabschnitt bis Au einen Durchmesser von 300 mm aufweisen.

Vorteil

Die Gegendruckpeltonturbine arbeitet mit einem hohen Wirkungsgrad von bis zu 92 %. Dieser bleibt über das gesamte Leistungsband hoch (Häny, 2011). Dies macht sich in dieser Variante mit einem Energieertrag von 91'000 kWh/a bemerkbar. Dieser Wert liegt gut 17 % über dem Ertrag der RLPT am Standort Au bei gleich hohem Wasserdurchfluss.

Einsatzkriterium

Im Gegensatz zur Variante Au ist die Turbinierung Soolsteg dann zu favorisieren, wenn ein variabler Durchsatz am Turbinierungspunkt vorliegt, da dieser Turbinentyp unempfindlicher auf Durchlaufschwankungen reagiert.

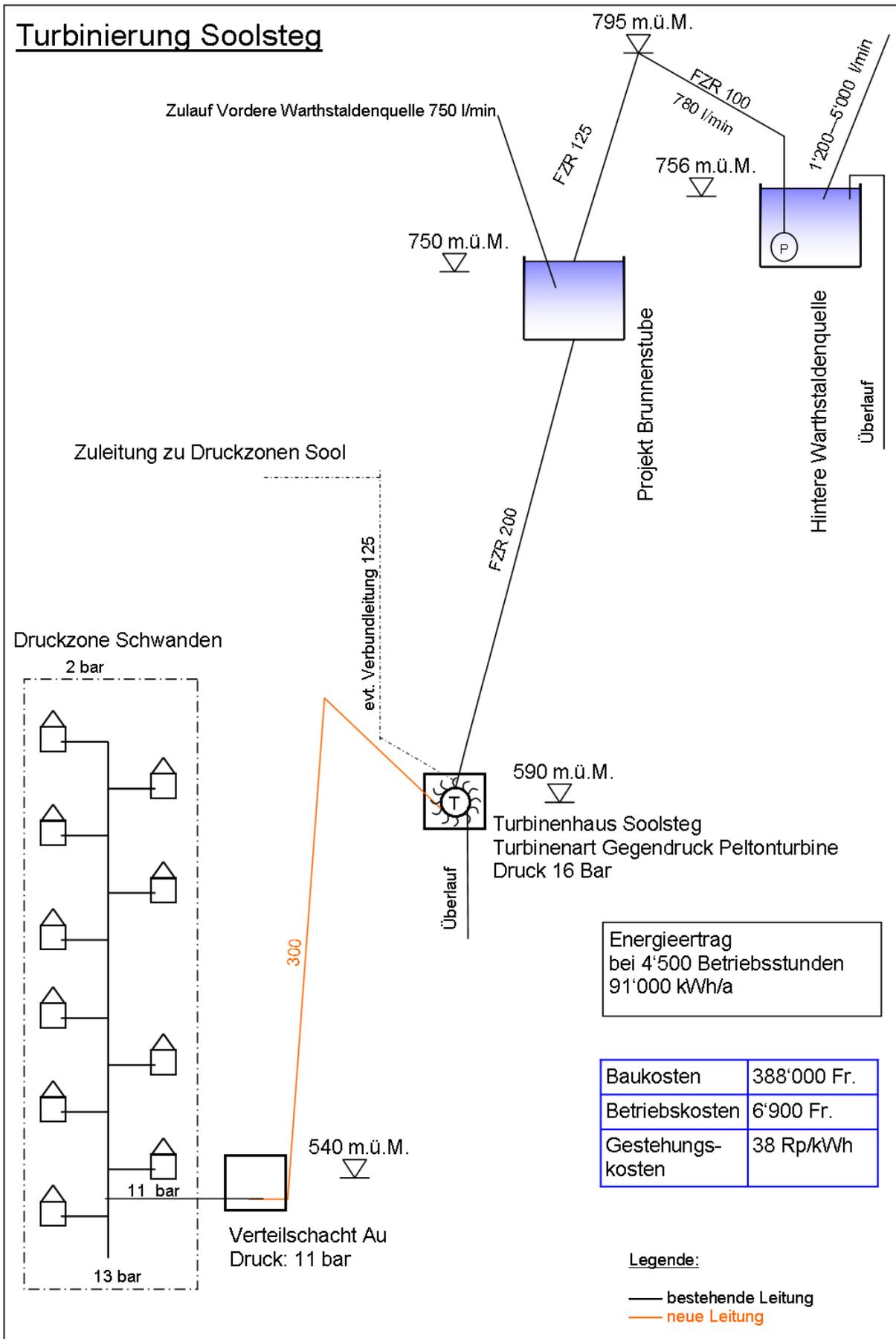


Abbildung 7: Hydraulisches Schema zu „Turbinierung Soolsteg“

2.3.1 Rohrleitungen

Ein wichtiger Bestandteil bei der Planung eines Trinkwasserkraftwerks ist die richtige Dimensionierung und Auswahl der wasserzuführenden Druckrohrleitungen. Eine im Innendurchmesser zu klein dimensionierte Leitung führt durch die entstehende Reibung zu hohen Druckverlusten und schmälert so die potenzielle Energieausbeute. Zu gross dimensionierte Leitungen führen aufgrund der höheren Beschaffungskosten zu höheren Gesamtkosten des Projekts. Ein weiterer Faktor ist der in der Leitung entstehende Druck. Dieser bestimmt wiederum die Materialauswahl für die Druckrohrleitung. (European Small Hydropower Association, 2010)

Aus Kostengründen soll für ein Trinkwasserkraftwerk möglichst bereits vorhandene Infrastruktur genutzt werden. Die Variantenstudie der Rayman AG enthält eine Projektierung des Leitungsabschnittes vom Verteilschacht Soolsteg bis zum Verteilschacht Au. Da dieser Abschnitt aufgrund von instabilem Gelände auf jeden Fall neu verlegt werden muss folgt im Weiteren ein kurzer Beschrieb des betreffenden Leitungsabschnittes bezüglich einer optimalen Energiegewinnung an den aufgezeigten Turbinierungsstandorten. Die übrige Infrastruktur wird wie bestehend verwendet. Sollten jedoch andere Abschnitte der Leitungsinfrastruktur einer Erneuerung unterzogen werden, ist es sinnvoll auch dort Anpassungen beim Durchmesser vorzunehmen.

Turbinierung Au

Bei der neu projektierten Druckleitung vom Soolstegschacht zum Turbinenhaus Au sind die Druckverhältnisse ein bestimmendes Kriterium für die Auswahl der Druckleitung. Am unteren Ende herrscht ein Druck von 20 bar. Dieser kann von einer glasfaserverstärkten Kunststoffleitung (GFK) bewältigt werden. GFK Rohre zeichnen sich durch geringe Beschaffungskosten, einfache Verlegung geringe Rauheitswerte und lange Haltbarkeit aus. (HOBAS, 2011) Die in der Variantenstudie der Raymann AG ausgewählten Leitungen mit dem Durchmesser von 200 mm reichen für die anfallende Wassermenge zwar aus, doch kann der Druckverlust mit einer Vergrößerung des Durchmessers auf 300 mm verringert werden. Darüber hinaus sollte in Betracht gezogen werden, dass falls in Zukunft eine grössere Wassermenge von den Warthstaldenquellen energetisch genutzt werden möchte, der Durchmesser unumgänglich auf 300 mm vergrössert werden muss, da ansonsten die Druckverluste zu hoch sind. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, anstelle des projektierten Durchmessers eine Leitung mit grösserem Innendurchmesser von 300 mm zu verlegen.

Turbinierung Soolsteg

Für die Turbinierung in Soolsteg allein, ist der nachfolgende Leitungsabschnitt weniger relevant. Jedoch muss am Einspeisepunkt ins Trinkwassernetz Schwanden der Druck von 11 bar garantiert werden. Sind die Druckverluste auf der Leitung nach der Turbinierung hoch, darf weniger Druck für die Turbinierung verwendet werden. Aus diesem Grund ist es wichtig, Druck-

verluste auch auf der nachfolgenden Leitung gering zu halten. Darüber hinaus ist der anfallende Druck nach der Turbinierung zwar geringer, als wenn erst beim Verteilschacht Au turbiniert wird, doch bietet sich auch für diese Situation die Verlegung eine GFK Leitung aufgrund der oben beschriebenen Eigenschaften an. (HOBAS, 2011)

2.4 Wirtschaftlichkeit

Die Kostenabschätzungen für die aufgeführten Varianten (Turbinierung Au und Soolsteg) basieren auf Vergleichsprojekten aus Tomils (GR), Weesen (SG) und Rüti (GL) sowie auf unverbindlichen Mitteilungen der Häny AG. Alle Geldwerte sind in CHF angegeben. Als Ausgangslage für die folgenden Berechnungen dient ein konstanter Durchfluss von 23 l/s sowie Turbinen-Betriebsstunden von 4'500 Stunden. Die Kostenbestimmung der Investitions- sowie Betriebskosten liegt in einem Rahmen von $\pm 20\%$. Da zurzeit keine Daten zu Durchflussschwankungen und Durchlaufdauer bestehen, ist die folgende Wirtschaftlichkeitsrechnung als ein mögliches Szenario zu verstehen. Eine Veränderung der genannten Parameter kann jedoch eine starke Abweichung der energetischen sowie monetären Werte bedeuten. Aus diesem Grund folgen nach der Betrachtung der Investitions- und Betriebskosten sowie Stromproduktion Ausführungen zur Wirtschaftlichkeitsgrenze in Abhängigkeit der Parameter Durchfluss und Betriebsstunden.

2.4.1 Investitionskostenschätzung und Betriebskosten

Die Kostenschätzung der Kraftwerksausrüstung beinhaltet sowohl die Kosten für die Maschinen inkl. Transport und Montage sowie alle für den Anschluss notwendigen Modifikationen an der geplanten Druckleitung. Hinzu kommen bauliche Anpassungen im Turbinenhaus sowie Fundament- und Grundplatten, die für den Einbau der Turbine notwendig sind. Für die bestehenden oder projektierten Zuleitungen werden keine Kosten aufgeführt, da die primäre Funktion des Leitungssystems die Trinkwasserversorgung beinhaltet und somit die Energiegewinnung nur eine Nebennutzung darstellt. Basierend auf dem Vergleichsprojekt Tomils (GR) und Erfahrungen der Häny AG würden sich die Kosten für eine glasfaserverstärkte Kunststoff-Leitung (GFK) mit einem Durchmesser von 300 mm um den Betrag von CHF 600 pro Meter Leitung inkl. Verlegung bewegen.

Die Investitionen für die Turbinierung in Au belaufen sich auf 186'000 CHF inkl. MwSt. Eine Turbinierung in Soolsteg würde mit 388'000 CHF inkl. MwSt. massiv teurer ausfallen (siehe Tabelle 1), wobei die Mehrkosten auf die verschiedenen Turbinensysteme zurückzuführen sind. Die Netzanschlüsse werden als bestehend vorausgesetzt.

Tabelle 1: Investitionskostenschätzung in CHF (In Anlehnung an Referenzprojekte in Tomils (GL) und Rüti (GL))

Investitionskosten	Turbinierung Au	Turbinierung Soolsteg
Transport - und Druckleitungen (300 mm)	0.00	0.00
Turbinenschacht	30'000.00	30'000.00
Turbine, Steuerung, Bypassverrohrung, Armaturen	110'000.00	297'000.00
Elektriker	10'000.00	10'000.00
Projektplanung, Ausschreibung, Bauleitung	22'000.00	22'000.00
Total Projekt inkl. 10% Unvorhergesehenes	<u>172'000.00</u>	<u>359'000.00</u>
MwSt. 8%	14'000.00	29'000.00
Total Projekt inkl. MwSt.	<u>186'000.00</u>	<u>388'000.00</u>

Aufgrund von moderner Kontroll- und Steuerungstechnologie kann das Trinkwasserkraftwerk ohne zusätzlichen Personalaufwand betrieben werden. Betriebspersonal wird nur bei Störungen oder Defekten sowie für die Wartung benötigt.

In Anlehnung an das Referenzprojekt in Tomils (GR) leiten sich die Betriebskosten von den Investitionskosten ab. Der Aufwand für Reparaturen und Revisionen fliesst prozentual in die jährlichen Kosten ein. Für die elektromechanischen Bestandteile wie Steuerung und Armaturen beträgt der Prozentsatz 1.5%, für die Druckleitungen 1.0% und für die baulichen Komponenten 0.5%. Die Betriebskosten werden mit 2'800 CHF bei der Turbinierung in Au, respektive mit 6'900 CHF bei der Turbinierung in Soolsteg als relativ gering eingeschätzt (siehe Tabelle 2). Hierbei wirkt es sich auf die Kosten positiv aus, dass der Unterhalt der Druckleitungen der Trinkwasserversorgung zugesprochen werden kann.

Tabelle 2: Betriebskostenschätzung in CHF

Betriebskosten	Turbinierung Au	Turbinierung Soolsteg
Elektromechanik	1'700.00	4'500.00
Druckleitung	0.00	0.00
Bau	900.00	1'900.00
Total Projekt inkl. 10% Unvorhergesehenes	<u>2'600.00</u>	<u>6'400.00</u>
MwSt. 8%	200.00	500.00
Total Projekt inkl. MwSt.	<u>2'800.00</u>	<u>6'900.00</u>

2.4.2 Stromproduktion

Für die berechneten Szenarien wird eine durchschnittliche jährliche Energieproduktion von 75'000 kWh bei einer Turbinierung in Au und 91'000 kWh bei einer Turbinierung in Soolsteg erwartet (siehe Tabelle 3). Wie bereits erwähnt, basieren diese Werte auf der Annahme, dass von der Turbine jährlich 4'500 Betriebsstunden geleistet werden und es sich um einen konstanten Durchfluss von 23 l/s handelt. Bei den 4'500 Betriebsstunden handelt es sich um einen europäischen Durchschnittswert. Dieser kann, wie Beispiele anderer Trinkwasserkraftwerke zeigen, im Extremfall halb bzw. fast doppelt so hoch ausfallen (European Small Hydropower Association, 2010). Darüber hinaus ist die Effizienz der Turbine stark von der Konstanz des Durchflusses abhängig. Je nachdem wie stark Durchflussschwankungen auftreten, reagieren die beiden ausgewählten Turbinentypen unterschiedlich. Aufgrund der fehlenden Datengrundlage konnten diese Parameter nicht genauer berücksichtigt werden. Die aufgeführten Werte sind zu diesem Zeitpunkt als Richtwerte zu verstehen.

Tabelle 3: Stromproduktion

Stromproduktion	Turbinierung Au	Turbinierung Soolsteg
Durchflussmenge [l/s]	23	23
Nettofallhöhe [m]	103	105
Effizienz Turbine	0.72	0.85
Leistung [kW]	16.7	20.1
Betriebsstunden [h]	4'500	4'500
Durchschnittliche Energiemenge pro Jahr [kWh/a]	75'000	91'000

2.4.3 Finanzierung / Rückvergütung

Für die vorliegende Wirtschaftlichkeitsrechnung wird aus den geschätzten Kosten und Erträgen die Annuität berechnet. Dies ist eine Möglichkeit die Stromgestehungskosten zu eruieren. Dabei wird der Kapitalwert der Investition auf die Nutzungsdauer verteilt. Für die Berechnung wird von einem Kalkulationssatz von 5 % (3,5 % real, 1.5 % Inflation) und einer Nutzungsdauer von 25 Jahren ausgegangen, da für diese Zeitdauer die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) garantiert ist. Betreffend die Vergütung wurde gemäss dem Tarifrechner für Kleinwasserkraft-Anlagen mit einer KEV von 27 Rp./kWh gerechnet (Tabelle 4). Bei der Anmeldung für die KEV ist zu berücksichtigen, dass mit einer längeren Wartefrist gerechnet werden muss, bis das Projekt einen positiven Bescheid erhält. Eine allfällige Zertifizierung des Stromes und der Verkauf über

eine Ökostrombörse bringt zwar einen höheren Ertrag als die Einspeisung zum Strommarktpreis, doch liegt der Betrag noch immer unter der KEV.

Bei einem Szenario mit konstantem Durchfluss von 23 l/s und 4'500 Betriebsstunden scheint ein wirtschaftlicher Betrieb nur bei der Variante Turbinierung in Au möglich. Da jedoch wie bereits erwähnt, die Wirtschaftlichkeit stark von den Parametern Durchfluss und Betriebsstunden abhängt, wird in den Kapiteln 2.4.4 und 2.4.5 dieser Zusammenhang dargestellt und genauer erläutert.

Tabelle 4: Wirtschaftlichkeitsrechnung (Methode in Anlehnung an Referenzprojekt in Weesen (SG))

Wirtschaftlichkeit	Turbinierung Au	Turbinierung Soolsteg
Investitionskosten	186'000.00	388'000.00
Annuität	13'100.00	27'400.00
Betriebs- und Unterhaltskosten	2'800.00	6'800.00
Total Jahreskosten	15'900.00	34'200.00
Jährliche Energieproduktion [kWh]	75'000	91'000
Stromgestehungskosten [CHF/kWh]	0.21	0.38
KEV (Tarifrechner für Kleinwasserkraft-Anlagen)	0.27	0.27
Jahresertrag	20'200.00	24'500.00

2.4.4 Gestehungskosten in Abhängigkeit von Betriebsstunden

Wie bereits erwähnt hängen die Gestehungskosten einerseits von den Betriebsstunden und andererseits vom relativen Durchfluss ab. Diagramm 2 zeigt den Zusammenhang von Gestehungskosten in Abhängigkeit der Betriebsstunden. Aus diesem Diagramm ist ersichtlich, dass ein wirtschaftlicher Einsatz bei beiden Turbinierungssystemen möglich ist. Die Wirtschaftlichkeit wird bei einem konstanten Durchfluss von 23 l/s und einem entsprechenden Wirkungsgrad von 72 % mit der rückwärtslaufenden Kreiselpumpe (Turbinierung in Au) bereits bei 3'200 Betriebsstunden pro Jahr erreicht. Hingegen muss die Gegendruckpeltonturbine (Turbinierung in Soolsteg) mit einem Wirkungsgrad von 85 % bereits rund 5'800 Stunden pro Jahr in Betrieb sein, damit die Gestehungskosten durch die KEV gedeckt werden. Dies ebenfalls bei konstantem Durchfluss von 23 l/s.

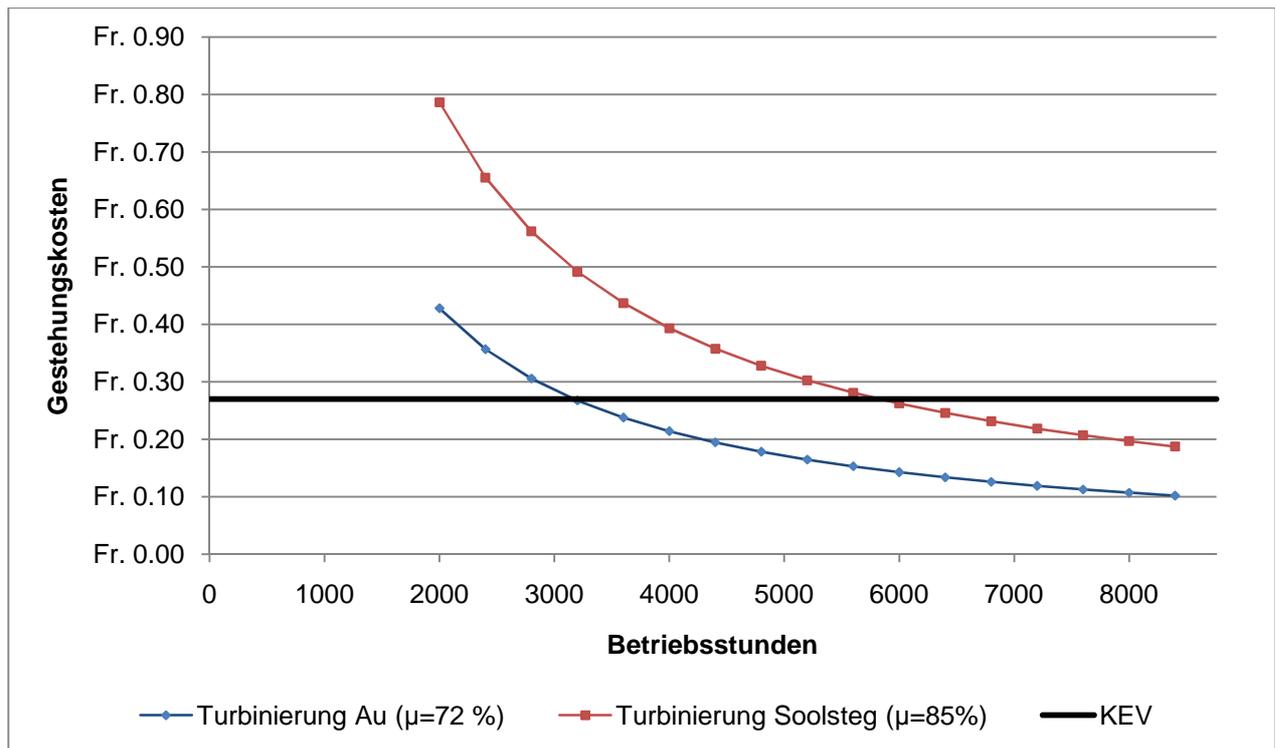


Diagramm 2: Gestehungskosten in Abhängigkeit der Betriebsstunden bei konstantem Durchfluss von 23 l/s

2.4.5 Gestehungskosten in Abhängigkeit vom relativen Durchfluss

Der Zusammenhang von Gestehungskosten und relativem Durchfluss wird in Diagramm 3 aufgezeigt. Ein relativer Durchfluss von eins bedeutet, dass es sich um einen konstanten Durchfluss handelt. Bei zunehmenden Schwankungen wird der relative Durchsatz kleiner, da der Anteil des konstanten Flusses am Gesamtfluss kleiner wird.

Die Veranschaulichung basiert auf der Annahme, dass die Turbinen 4'500 Betriebsstunden aufweisen. Bei der RLPT (Turbinierung Au) wurde ein maximaler Wirkungsgrad von 80 %, bei der Gegendruckpeltonturbine (Turbinierung Soolsteg) einer von 92 % angenommen. Diese Wirkungsgrade werden bei einem relativen Durchsatz von eins (konstanter Durchfluss) erreicht. Ist der relative Durchfluss kleiner als eins, das heisst weist Schwankungen auf, nimmt der Wirkungsgrad entsprechend ab.

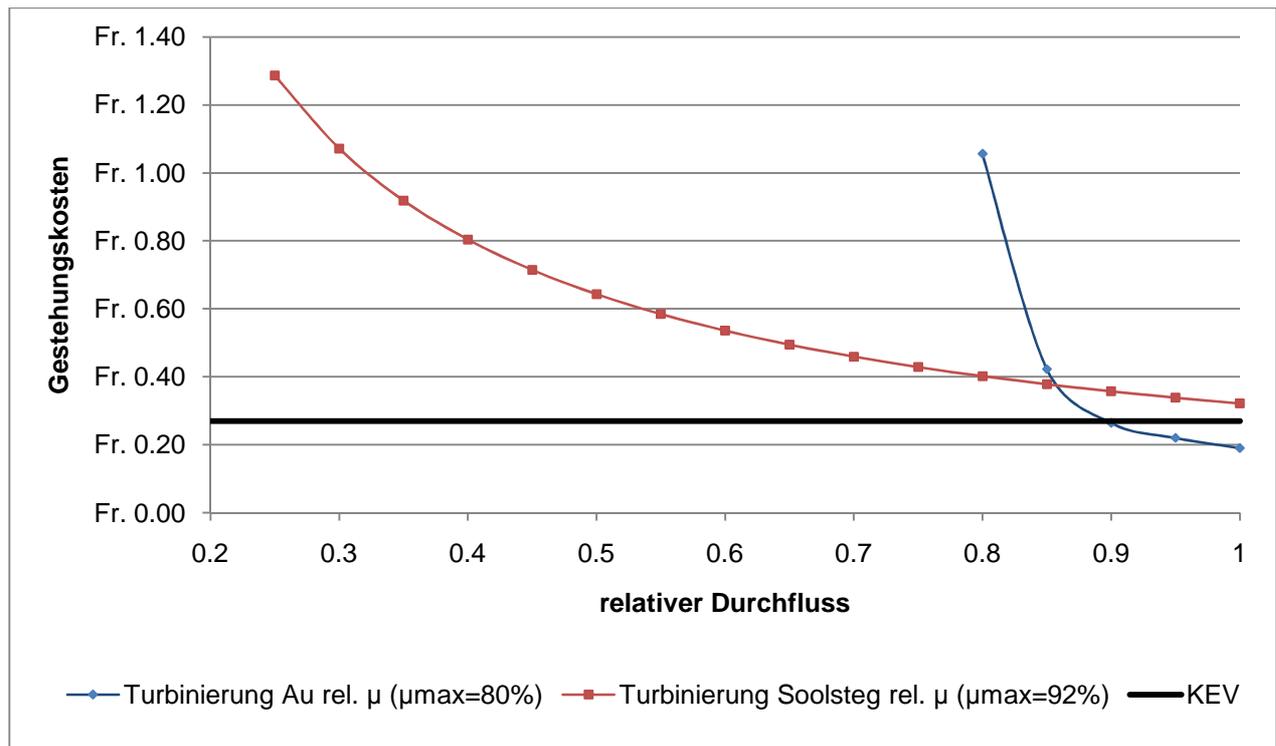


Diagramm 3: Gestehungskosten in Abhängigkeit vom relativen Durchfluss bei 4'500 Betriebsstunden

Aus dem Diagramm 3 ist ersichtlich, dass die Gestehungskosten bei der rückwärtslaufenden Kreiselpumpe (Turbinierung Au) stark ansteigen, wenn der Durchfluss inkonstant wird. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Wirkungsgrad einer RLPT auch schon bei leicht inkonstanten Verhältnissen markant abnimmt. Die Gegendruckpeltonturbine hingegen ist weit unempfindlicher gegenüber Schwankungen, was sich im abgeschwächten Wirkungsgradverlust abzeichnet. Das Diagramm zeigt des Weiteren, dass die Gegendruckpeltonturbine bereits ab einem relativen Durchfluss von 0.85 der rückwärtslaufenden Kreiselpumpe überlegen ist.

Ein Erhöhen der Betriebsstunden bewirkt, dass die Gestehungskosten sinken das heisst, die Graphen beider Turbinentypen verschieben sich vertikal nach unten. Dies bedeutet, dass bei höheren Betriebsstunden die KEV-Grenze eher unterschritten wird. Dementsprechend ist die Gegendruckpeltonturbine der rückwärtslaufenden Kreiselpumpe bereits ab 5'800 Betriebsstunden und einem relativen Durchfluss von 0.85 wirtschaftlich überlegen.

3. Weiteres Vorgehen

Die in diesem Projektbericht dargestellten Varianten stützen sich auf die momentan zur Verfügung stehenden Daten. Da die Wirtschaftlichkeit stark von Durchfluss und Betriebsstunden der Turbine abhängen wird für die definitive Eruiierung der optimalsten Lösung empfohlen, detailliertere Datenerhebungen durchzuführen:

- Täglicher Verbrauch von Trinkwasser in den Drucknetzen Schwanden und Sool. Dabei sollten die Menge und zeitbezogenen Schwankungen der Zuflüsse erfasst werden. Dies kann am einfachsten mit Durchflussmessungen an den Verteilschächten Soolsteg und Au durchgeführt werden.
- Messungen von Tageszufluss der Vorderen Warthstaldenquelle. Die bis jetzt erhobenen Daten beziehen sich auf monatliche Messungen aus den Jahren 1994 - 1996. Es wird empfohlen, an der Vorderen Warthstaldenquelle Durchfluss-Messungen durchzuführen.

Die Kombination dieser Datensätze gibt Aufschluss über einen konstanten oder variablen Durchsatz an den projektierten Turbinierungsstandorten. Je nach Datengrundlage wird die Variante Au (konstanter Durchsatz / rückwärtslaufende Kreiselpumpe) oder Variante Soolsteg (variabler Durchsatz / Gegendruckpeltonturbine) favorisiert. Aus diesem Grund lautet die Empfehlung zu diesem Zeitpunkt beide Varianten weiterhin in Betracht zu ziehen und erst basierend auf neu erhobenen Daten eine Entscheidung zu fällen.

Quellenverzeichnis

- Baumann-hydraulische-Systeme (2007): Grobanalyse zur optimalen Nutzung von vorhandenen Energiepotenzialen, Wasserversorgung Rüti. Zürich.
- Baumann, R. (2011): unverbindliche Mitteilungen
- entec AG (2006): Machbarkeitsstudie Trinkwasserkraftwerk Waldrüti, Weesen.
- Entegra AG, (2008): Gemeinde Tomils (GR) Neubau Trinkwasserkraftwerk.
- European Small Hydropower Association, (2010): Energy recovery in existing infrastructures with small hydropower plants. Switzerland Montcherand.
- Häny AG (2010): Energie aus Trinkwasser, Skript ZHAW IUNR UI08 4.Semester
- HOBAS Pressure pipes, www.hobas.com (abgerufen 18.5.2011)
- Implenia AG (2011): unverbindliche Mitteilungen
- Tschudi, J. (2011): Wasserchef Glarus Süd, mündliche Mitteilungen
- Quaschnig, V.(2009): Regenerative Energiesystem, 6. Auflage Hanser Verlag, München.

Referenzprojekte

- Rüti: Baumann-hydraulische-Systeme (2007): Grobanalyse zur optimalen Nutzung von vorhandenen Energiepotenzialen, Wasserversorgung Rüti. Zürich.
- Tomils: Entegra AG, (2008): Gemeinde Tomils (GR) Neubau Trinkwasserkraftwerk.
- Weesen: entec AG (2006): Machbarkeitsstudie Trinkwasserkraftwerk Waldrüti, Weesen.

Anhang

Ausgeschlossene Varianten

Während der Aufnahmephase des Projekts wurde eine Varianten-Matrix mit möglichen Standorten zur Turbinierung, Umlenkungen der Wasserleitungen oder Erhöhungen von Wassermengen im Wassernetz Schwanden / Sool erstellt. Dies erlaubte Faktoren zu kombinieren und einen ersten Überblick der möglichen Energieerträge und Kosten zu schaffen. Dieser Abschnitt fasst die wichtigsten Erkenntnisse der ersten und zweiten Evaluierung zusammen und begründet kurz, warum die Varianten als ungeeignet eingestuft wurden.

- **Erhöhung Wasserdurchfluss**

Die Grundidee dieser Variante war, das vorhandene Potenzial der Hinteren Warthstaldenquelle besser zu nutzen und eine grössere Wassermenge mit einem Stollen zur Vorderen Warthstaldenquelle zu leiten. Diese Idee wurde relativ detailliert ausgearbeitet und erfährt dementsprechend einen ausführlicheren Beschrieb als die übrigen ausgeschlossenen Varianten. Die Stollen-Variante wurde wie folgt definiert und untersucht:

Die Hintere Warthstaldenquelle führt nach Angaben einer 3-jährigen Untersuchung (1994 - 1996) im monatlichen Mittel gut 3'500 l/min. Dieses Wasser könnte theoretisch zur Erhöhung der Trinkwasserversorgung in Schwanden und zur Energiegewinnung genutzt werden. Um dieses Wasser zu transportieren, wäre allerdings eine Erweiterung des Leitungsdurchmessers notwendig. Wie erwähnt, wird von der Hinteren Warthstaldenquelle das Wasser aus topographischen Gründen zuerst ein Stück hoch gepumpt, bevor es in den Vereinigungsschacht bei der Vorderen Warthstaldenquelle gelangt. Eine Erhöhung der zu pumpenden Wassermenge würde eine höhere Pumpleistung und damit einen höheren Energieaufwand mit sich ziehen. Als Alternative könnte die Wasserabführung jedoch mit einem ca. 0.63 km langen Stollen und einer 1 km langen oberirdischen Leitung bewerkstelligt werden (Abbildung 8). Mit dem Zufluss der Vorderen Warthstaldenquelle würden ca. 4'250 l/min gefasst werden und über eine neu zu erstellende 300 mm Durchmesser Druckleitung nach Soolsteg geleitet. Die für die Druckzone Sool benötigten 150 l/min würden am Verteilschacht Soolsteg abgezweigt werden. Durch die neu erstellte 300 mm Röhre führt das Wasser nach Au. An diesem Standort würden eine RLPT und eine Pelton turbine installiert. Die rückwärtslaufende Kreiselpumpe könnte konstant mit der für das Trinkwassernetz Schwanden benötigter Menge (1'380 l/min) betrieben werden, was eine hohen Wirkungsgrad garantiert. Die nicht für das Trinkwasser benötigte Menge könnte durch eine Pelton turbine genutzt werden und anschliessend druckfrei in den Überlauf geleitet werden. Die Kombination der beiden Turbinentypen verspricht eine sehr hohe Energieausbeute.

Nach einer unverbindlichen Grobrechnung eines schweizerischen Bauunternehmens würden die Baukosten für das Mikrotunneling gut 2.75 Mio. CHF betragen (siehe Abbildung 9). Diese einmalige Investition wäre unter Umständen vertretbar, wenn eine Funktionssicherheit des Stollens über mehrere Jahrzehnte bestehen würde. Da der Hang jedoch rutschgefährdet ist (Tschudi, 2011), steigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Stollen innerhalb absehbarer Zeit durch innere Gesteins-Verschiebungen funktionsuntüchtig wird. Da dieses Risiko nicht tragbar erscheint, wurde diese Variante verworfen.

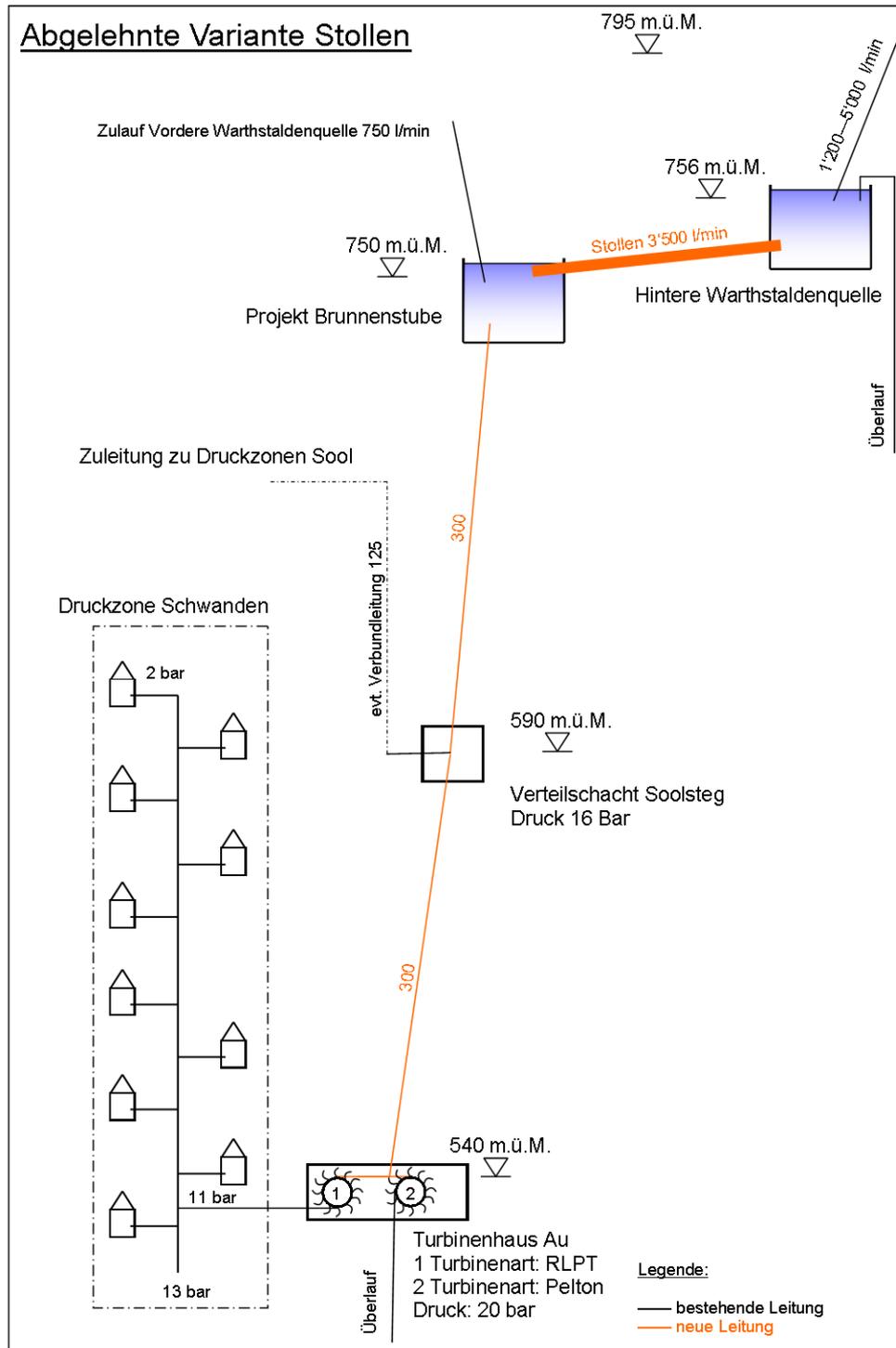


Abbildung 8: Hydraulisches Schema zu „Erhöhung Wasserdurchfluss mit Stollen“

Stollen Sernftal (Schwanden/ Engi)

grobe Kostenabschätzung

Begehbarer Stollen mit Betonschalen ausgekleidet. Innendurchmesser 1200. Wirtschaftlicher wäre sicher Tagbauweise oder sogar Rohrverlegung auf OK-Terrain! Aufgrund der Länge von 630m kommt ebenfalls ein günstiger Pressrohrvortrieb nicht in Frage.

Schätzung der Kosten unter zur Hilfenahme der Referenzblätter Microtunnelling Implenia Bau AG und Brunner Erben. Aufgrund der besseren Geologischen Bedingungen, den besseren Platzverhältnissen und der minderen zulässigen Qualitätsansprüchen konnten die Durchschnittsrate noch nach unten angepasst werden.

Referenzobjekt	d [mm]	Länge [m]	Bemerkung	Geologie	Kosten [CHF]	nicht zuberücksichtigende Kosten (Schätzung) [CHF]	Kosten/m' [CHF]
1 Binder-/Dammstrasse, Zollikon	1200	260	Radius 500m inkl. 2 Pressvortriebe 260m/ Werkleitungsbau		2'500'000	1'400'000	4230.8
2 Kanalsanierung Steidlerstrasse, Wohlen	1200		keine Längenangabe		1'247'000		
3 Bahnhofstrasse Effretikon	1200	362	3 Zwischenpress-Stationen/ Radius 220m/ 0.8% Gefälle bis 15 Gefälle/ 2x Radius 150m/ 10 Kontrollschächte/ inkl. 30m	Moräneschichtenwenig tonigen Silt und Sand mit wechselnden Anteilen Kies Steine und Blöcke/ wassergesättigte siltig-sandige Schwemmschichten	2'500'000		6906.1
4 Haldenstrasse/ Weinbergfussweg, Zürich	1200	310	Ortbetonkanal, offene Bauweise inkl. 2 Vereinigungsbauwerke, Sanierung 100m Wasserleitung,	Moräne, verwitterte- und unverwitterte Molasse	2'500'000	600'000	6129.0
5 Kanalerneuerung Schaffhauserstrasse, Zürich	1200	102	Strassenbau und Schächte	Lockermaterial	1'387'000	800'000	5754.9
6 Bahnhofstrasse - Bahnhofplatz-Nafag, Gossau SG	1200	230	75m+ 155m Horizontal und gerade/ inkl. Vereinigungsbauwerke, Strassenbau	grobkornigen, sehr durchlässigen Fluvioglazialschotter/ undurchlässiger Ton	1'500'000	200'000	5652.2
						Minimaler Wert	4230.8
						Maximaler Wert	6906.1
						relative Abweichung min/max	-63%
						Durschschnittliche Kosten pro Laufmeter	5734.6

Schätzung Kosten	d [mm]	Länge [m]	Faktor für Einfachere Bauausführung	Faktor für besseres Gestein	Grundeter Schätzwert	Kosten/m' [CHF]
Stollen Sernftal (Schwanden/ Engi)	1200	630	0.95 0.5% Gefälle mit mehreren Zwischenangriffen	0.8 Flysch, Granit, Verrucano	2'750'000	5734.6

Abbildung 9: Kostenabschätzung Stollenbau

- **Überlauf-Turbinierung unterhalb der Warthstaldenquellen**

Bei der Hinteren sowie Vorderen Warthstaldenquelle unterschreitet die Bruttohöhe in Kombination mit den berechneten Wassermengen den sinnvollen Einsatzbereich von Pelton-turbinen deutlich. Da zur Erstellung und Unterhalt eines Turbinenhauses im rutschgefährdeten Gelände (Tschudi, 2011) einen erheblichen Aufwand betrieben werden müsste, wird vom Einsatz einer RLPT ebenfalls abgeraten.

- **Erhöhung Durchfluss Hinterer Warthstaldenquelle mit bestehender Wasserleitung**

Aktuell wird das Wasser der Hinteren Warthstaldenquelle durch zwei alternierend arbeitenden Pumpen (Tschudi, 2011) auf 795 m ü. M. gefördert, bevor es in das 45 m tiefer liegende Vereinigungsschacht bei der Vorderen Warthstaldenquelle gelangt. Wird dieses Wasser energetisch genutzt, entsteht durch die zuvor benötigte Pumpleistung ein Energie-Nettoverlust von 23 % (Quaschnig, 2009). Daher sollte über die Pumpen nur die Wassermenge gefördert werden, die zur Trinkwassernutzung benötigt wird.

- **Einsatz Pelton-turbine in Soolsteg und Au bei bestehender Wasserführung**

Bei der Pelton-turbine fliesst das genutzte Wasser druckfrei ab. Daher könnte an den zwei Standorten das Überlaufwasser turbiniert werden, wobei die aktuell in Soolsteg und Au durchgeführte Wassermenge dafür unzureichend ist.

- **Einsatz Gegendruckpelton in Au**

Im unteren Höhenbereich des Wassernetzes Schwanden wird ein Druck von 11 bar benötigt (Tschudi, 2011). Da mit Gegendruckpelton-turbinen einen maximalen Gegendruck von nur 10 bar (Baumann, 2010) erzeugt werden kann, würde diese Variante die Versorgungssicherheit im höher gelegenen Wassernetzbereich gefährden, da am Einspeisepunkt 11 bar aufgebracht werden müssen.

- **Einsatz einer rückwärtslaufenden Kreiselpumpe in Au bei erhöhtem Wasserdurchlauf**

Die RLPT erzielt bei dieser Variante zwar einen hohen energetischen Output, jedoch müsste zur Erhaltung des Gegendrucks das gesamte Turbinenwasser (ca. 4'000 l/min) in das Trinkwassernetz eingespeist werden. Die durch die hohe Wassermenge und folgenden kleinen Rohrdurchmessern (200 mm) erzeugten Leistungsverluste senken den Gesamtwirkungsgrad erheblich.

- **Turbinierung des Wassers aus der Weidquelle**

Der für das Reservoir Weid nicht mehr benötigte Zufluss (150 l/min) der Sooler Quelle reicht für eine sinnvolle energetische Verwendung nicht aus.