



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

# MACHBARKEITSSTUDIE TRINKWASSERKRAFTWERK WALDRÜTI, WEESEN

## PROGRAMM KLEINWASSERKRAFTWERKE

### Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

**Sandra Schalkowski, entec AG**

Bahnhofstr. 4, 9000 St. Gallen, [sandra.schalkowski@entec.ch](mailto:sandra.schalkowski@entec.ch), <http://www.entec.ch>

**Martin Bölli, entec AG**

Bahnhofstr. 4, 9000 St. Gallen, [martin.boelli@entec.ch](mailto:martin.boelli@entec.ch), <http://www.entec.ch>



Programm  
Kleinwasserkraftwerke  
[www.kleinwasserkraft.ch](http://www.kleinwasserkraft.ch)

## **Impressum**

Datum: 21. August 2006

### **Unterstützt vom Bundesamt für Energie**

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

BFE-Bereichsleiter: [bruno.guggisberg@bfe.admin.ch](mailto:bruno.guggisberg@bfe.admin.ch)

Projektnummer: 101724

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.



## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	4
Abstract.....	4
1 Ausgangslage.....	5
1.1 Auftrag.....	5
1.2 Planungsunterlagen .....	5
1.3 Planungsgrundsätze.....	5
2 Projektdefinition .....	6
2.1 Das Wasserversorgungsnetz Weesen .....	6
2.2 Konzept des Trinkwasserkraftwerkes.....	8
2.3 Das Wasserkraftpotential in der Trinkwasserversorgung .....	10
2.4 Die Ausbauwassermenge .....	10
2.5 Komponenten des Wasserkraftwerkes.....	12
2.5.1 Reservoir Schwarzbergli.....	12
2.5.2 Druckleitung.....	13
2.5.3 Maschinensatz, hydraulisches Schema .....	13
2.5.4 Position des Maschinensatzes .....	13
2.5.5 Elektrische Anlage und Steuerung .....	15
2.6 Energieausbeute .....	16
3 Wirtschaftlichkeitsberechnung .....	18
3.1 Kostenschätzung für bauliche Anpassung .....	18
3.2 Kostenschätzung Kraftwerksausrüstung .....	18
3.3 Betriebs- und Unterhaltskosten .....	19
3.4 Energiegestehungskosten.....	20
3.4.1 Stromgestehungskosten.....	20
3.4.2 Ertrag.....	20
3.4.3 Sensitivitätsanalyse.....	21
4 Schlussfolgerung und Empfehlung.....	23



## Zusammenfassung

Die vorliegende Studie zeigt, dass die Nutzung des Energiepotenzials zwischen den Reservoiren Schwarzbergli und Waldrüti voraussichtlich wirtschaftlich betrieben werden kann, wenn das Potential des Reservoir Schwarzbergli entsprechend einer Studie aus dem Jahre 1999 genutzt wird. Die Gemeinde Weesen liess zu jener Zeit die Möglichkeit prüfen, ein Trinkwasserkraftwerk im Reservoir Schwarzbergli zu errichten. Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass es wirtschaftlich am sinnvollsten ist, wenn an den Druckbrecherschächten oberhalb des Reservoir Schwarzbergli kein Wasser mehr verworfen wird, sondern der gesamte Zufluss der Quellen Niederfidischen und Matt turbinert wird. Falls diese Variante zur Anwendung kommen sollte, könnte auch ein höherer Zulauf zum Reservoir Waldrüti geleitet werden. Somit wäre bei Investitionskosten von etwa 150'000 CHF für den Ausbau am Reservoir Waldrüti eine jährliche Produktion von etwa 100'000 kWh möglich. Folglich könnte mit Stromgestehungskosten von etwa 15 Rp/kWh gerechnet werden, was dazu führen würde, dass auch die Wasserkraftnutzung am Reservoir Waldrüti wirtschaftlich betrieben werden könnte.

Die vorliegende Studie ging jedoch von der Voraussetzung aus, dass der Zufluss zum Reservoir Waldrüti den heutigen Messdaten entspricht und nicht durch bauliche Massnahmen verändert wird. Es wurden zwei Variante – Energienutzung per Turbine bzw. per rückwärtslaufender Pumpe – untersucht. Mit dem gegebenen Zufluss und einem Höhenunterschied von 115 m kann im Schnitt von einem Energieertrag von 58'500 (Variante I, 9 kW) bzw. 40'900 kWh (Variante II, 6.3 kW) pro Jahr ausgegangen werden. Die Mehrkosten für die Energienutzung betragen 123'500 bzw. 93'700 CHF. Die Gestehungskosten belaufen sich somit auf etwa 22 bzw. 24 Rp/kWh. Dies ist zu hoch für einen wirtschaftlichen Betrieb, selbst wenn der Strom als Ökostrom verkauft werden kann.

Es wird empfohlen, die Machbarkeitsstudie aus dem Jahre 1999 unter diesen Aspekten erneut zu prüfen und bei einem positiven Ergebnis die neuen Voraussetzungen in die Planungen zum Ausbau des Reservoir Waldrüti einfließen zu lassen

## Abstract

The present report comes to the result that the exploitation of the energy potential between the reservoirs Schwarzbergli and Waldrüti is probably economically reasonable if the potential of the reservoir Schwarzbergli is exploited according to a study prepared in 1999. At that time, the municipality of Weesen commissioned a feasibility study to verify the hydropower potential of the reservoir Schwarzbergli. The study concluded that all the discharge of the springs Niederfidischen and Matt should be used for the energy production instead of abstracting water at the pressure release pits between the springs and the reservoir. If this alternative is realized, more water could also be diverted to the reservoir Waldrüti and the annual energy production could be increased to approx. 100'000 kWh. Since the initial cost would add up to approx. 150'000 CHF, the production cost would amount to approx. 15 Rp/kWh. This means that the energetic use of the potential of the reservoir Waldrüti could also be used economically.

The present report however is based on the assumption that the discharge at the reservoir Waldrüti corresponds to the present data and was not increased by structural measures. Two alternatives were examined – the energy production by turbine and by centrifugal pump. An annual average energy of 58'500 (alternative I, 9 KW) resp. 40'900 kWh (alternative II, 6.3 KW) could be produced with the given discharge and a gross fallhead of 115 m. The additional costs for the energy production in the reservoir amount to 123'500 resp. 93'700 CHF. Thus, the production costs add up to approximately 22 resp. 24 Rp/kWh. This is too much for an economical operation, even if it can be sold as green power.

The author recommends to re-examine the feasibility study of 1999 under these aspects. If the evaluation comes to a positive outcome, the result should be incorporated in the planning of the upgrading of the reservoir Waldrüti.



# 1 Ausgangslage

## 1.1 AUFTRAG

Im Jahre 1999 liess der Gemeinderat Weesen im Zuge von anstehenden Erneuerungen in der Wasserversorgung abklären, ob eine allfällige Nutzung des Energiepotentials im Abschnitt Mattgrümpel bis Reservoir Schwarzbergli / Oberfahren sinnvoll wäre. Die von der Entec AG erstellte Studie kam zu dem Schluss, dass die energetische Nutzung des Potentials wirtschaftlich sehr interessant ist.

Im Herbst 2006 sind Sanierungsarbeiten am unterliegenden Reservoir Waldrüti geplant. In diesem Zusammenhang wurde die Entec AG im Mai 2006 von der Gemeinde Weesen um ein Angebot für eine Machbarkeitsstudie zur Wasserkraftnutzung der Reservoirs Schwarzbergli bis Waldrüti gebeten.

Am 16. Mai 2006 erteilte der Gemeinderat der Entec AG den Auftrag gemäss Offerte zu erstellen (siehe Anlage 1). An die Auftragserteilung war die Bedingung gekoppelt, dass die Entec AG bei der Vorbereitung des Gesuchs auf Förderbeiträge des Bundesamts für Energie behilflich ist. Dem Gesuch wurde am 16.6.2006 stattgegeben, sodass alsdann mit der Ausarbeitung der Studie begonnen werden konnte.

## 1.2 PLANUNGSUNTERLAGEN

Die folgenden Unterlagen wurden bei der Erstellung der Machbarkeitsstudie verwendet:

- Raymann AG, Glarus: Generelles Wasserversorgungsprojekt 2005, Technischer Bericht
- Raymann AG, Glarus: Generelles Wasserversorgungsprojekt GWP 2006, Hydro-elektrisches Schema
- Raymann AG, Glarus: Generelles Wasserversorgungsprojekt GWP 2006, Situation 1:2'000
- Raymann AG, Glarus: Reservoir Waldrüti, Aufhebung altes Reservoir, Anpassung im neuen Reservoir, Situation 1:200
- Raymann AG, Glarus: Reservoir Waldrüti, Aufhebung altes Reservoir, Anpassung im neuen Reservoir, Grundrisse 1:20
- Raymann AG, Glarus: Reservoir Waldrüti, Aufhebung altes Reservoir, Anpassung im neuen Reservoir, Schnitte 1:20
- Raymann AG, Glarus: Reservoir Waldrüti, Aufhebung altes Reservoir, Anpassung im neuen Reservoir, Grundplan Weesen
- Wasserversorgung Weesen: Zulauf Reservoir Waldrüti Januar 2004 – April 2006
- Entec AG: Machbarkeitsstudie Trinkwasserkraftwerk „Schwarzbergli / Unterfahren“, Januar 1999

## 1.3 PLANUNGSGRUNDSÄTZE

Bei der Planung des Trinkwasserkraftwerkes wurden die folgenden Grundsätze angewandt:

- Die dauernde sichere Versorgung der Gemeinde Weesen mit Trink- und Löschwasser hat in allen Fällen Vorrang vor der Stromproduktion eines in das Wasserversorgungssystem integrierten Kleinwasserkraftwerkes.
- Die Qualität des Trinkwassers darf durch die Turbinierung weder in physischer, chemischer noch mikro-biologischer Hinsicht verändert werden.
- Verstösse gegen die Grundsätze und das Regelwerk des Schweiz. Verbands des Gas- und Wasserfaches (SVGW) werden nicht zugelassen.
- Die Zustimmung des Kantonalen Labors (Kantonschemiker) und der Gebäudeversicherungsanstalt (GVA) zum Projekt eines Trinkwasserkraftwerkes ist Voraussetzung für eine weitere Bearbeitung.
- Die direkte elektrische Anbindung des Trinkwasserkraftwerkes an das Niederspannungsnetz des gemeindeeigenen EWs darf keinen besonderen technischen Aufwand erfordern und darf insgesamt den Versorgungsbetrieb nicht unangemessen belasten.



## 2 Projektdefinition

### 2.1 DAS WASSERVERSORGUNGSNETZ WEESEN

Der Trinkwasserbedarf der Gemeinde Weesen wird grösstenteils von den Quellen Unterfidersch (1'160 m ü.M.) und Matt (1'090 m ü.M.) gedeckt. Diese speisen in das Reservoir Schwarzbergli (658 m ü.M.) ein, welches bisher eine Löschreserve von 18 m<sup>3</sup> aufweist. Das Speichervolumen des bisherigen Reservoir Schwarzbergli ist jedoch ungenügend, sodass es in Zukunft auf ein Volumen von 200 m<sup>3</sup> Brauchreserve plus 150 m<sup>3</sup> Löschreserve ausgebaut werden soll. Zudem sollen auch die Wohnzonen Schlifeli und Autis an das Reservoir angeschlossen werden.

Ab dem Reservoir Schwarzbergli wird das Wasser in das Reservoir Waldrüti (543 m ü.M.) geleitet. Für das Reservoir steht jedoch nicht die gesamte Wassermenge, die in Schwarzbergli vorhanden ist, zur Verfügung, da zwischen den Reservoiren bereits sieben Endverbraucher angeschlossen sind und zeitweise Teile des Zuflusses verworfen werden. Zudem muss der zukünftige Verbrauch der Wohnzonen Schlifeli und Autis abgezogen werden.

Das Reservoir Waldrüti erhält zusätzlich Wasser aus der Quelle Gillihaus (564 m ü.M.). Da diese jedoch nur eine geringe Schüttung aufweist und über eine separate Leitung in das Reservoir einspeist, ist sie für die Energiegewinnung nicht von Bedeutung.

Vom Reservoir Waldrüti aus fliesst das Wasser in das Reservoir Waid (492 m ü.M.) und von dort aus zu weiteren Verbrauchern.





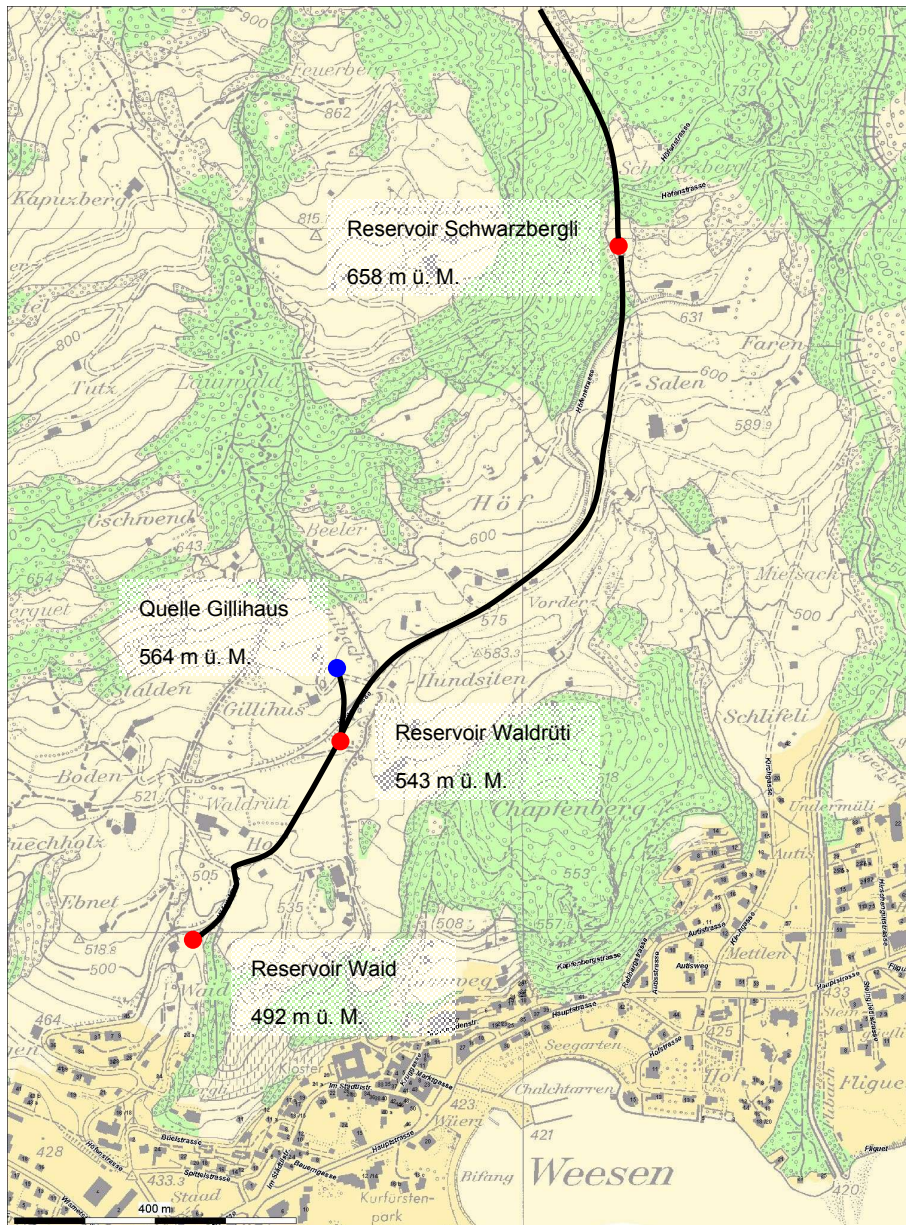


Abb. 1: Wasserversorgungsnetz Weesen

Die gemeindeeigene Wasserversorgung ist in drei Druckzonen aufgeteilt; die Druckzonen Schwarzbergli, Waldrüti und Waid/Fli. Sobald die Wohnzonen Schlifeli und Autis an das Reservoir Schwarzbergli angeschlossen werden, entsteht zusätzlich die Reduzierte Druckzone Schwarzbergli.

Der mittlere Tagesverbrauch der Gemeinde Weesen liegt bei ca. 580 m<sup>3</sup> (24 m<sup>3</sup>/h). In Spitzenzeiten (üblicherweise 17.00 – 18.00 Uhr) steigt dieser Wert auf etwa 50 m<sup>3</sup>/h, in der Nacht sinkt er auf etwa 10 m<sup>3</sup>/h<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> aus: Generelles Wasserversorgungsprojekt 2005, Technischer Bericht, Raymann AG, November 2005



Der mittlere Ertrag von 1'600 m<sup>3</sup>/d der Quellen Unterfidersch, Matt und Gillihaus reicht gut aus, um den mittleren Tagesbedarf von Weesen zu decken. In sehr trockenen Zeiten (z.B. Sommer 2003) kann dieser Wert jedoch auf 275 m<sup>3</sup>/d fallen und ist somit nicht mehr ausreichend. Sollten solche Engpässe auftreten, so kann die Gemeinde Weesen zusätzlich auf Wasser der Gemeinde Niederurnen zurückgreifen.

Zusätzlich zu trockenen Jahren können jedoch auch Starkregenereignisse einen Bezug von Wasser aus anderen Gemeinden notwendig machen, da dann ein Grossteil des Quellwassers aufgrund von Trübung verworfen werden muss.

## **2.2 KONZEPT DES TRINKWASSERKRAFTWERKES**

Die Firma Raymann AG erstellte 2005 ein Generelles Wasserversorgungsprojekt (GWP) für die Gemeinde Weesen. Das GWP ist für die Projektierung neuer Anlagen, Anlagenerweiterung sowie Sanierung im Versorgungsnetz und an bestehenden Anlagen notwendig und stellt die optimale Nutzung der Reservoirs dar. Die Studie zeigte auf, dass das Reservoir Schwarzbergli über keine ausreichende Löschreserve verfügt und somit neu gebaut werden muss. Zudem soll das Reservoir Waldrüti modernisiert werden.

Bisher fliesst das Wasser des Reservoirs Schwarzbergli wie auch das Wasser der Quelle Gillihaus in das alte Reservoir Waldrüti. Von dort aus läuft es über eine UV-Anlage in die beiden Kammern des Reservoir Waldrüti. Sind die Kammern oder das alte Reservoir Waldrüti voll, so wird das Überschusswasser über die Kammern in den Lauibach abgeschlagen. Von den Kammern des Reservoirs fliesst das Wasser zu den Verbrauchern der Druckzone Waldrüti.

Überschüssiges Wasser kann auch über eine Pumpleitung von der Kammer West zurück ins Reservoir Schwarzbergli gepumpt werden.

Die Planung des GWP sieht folgendes vor: Das alte Reservoir Waldrüti wird aufgelöst. Das Wasser, das vom Reservoir Schwarzbergli zuläuft, fliesst direkt ins Reservoir Waldrüti. Das Durchlaufen der UV-Anlage ist nicht mehr notwendig, da das Wasser bereits im Zulauf des Reservoir Schwarzbergli entkeimt wird. Der Verwurf der Wassermengen, die das Reservoir Schwarzbergli verlassen, findet erst im Reservoir Waldrüti statt und nicht wie bisher im alten Reservoir Waldrüti. Somit steht einer potentiellen Energiegewinnungsanlage mehr Wasser zur Verfügung als heute gemessen wird.

Das Wasser der Quelle Gillihaus läuft weiterhin durch die bestehende UV-Anlage. Auch dieses Wasser läuft direkt den Kammern des Reservoirs zu bzw. wird in den Lauibach verworfen oder abgeschlagen.

Auch die geplanten Umbauarbeiten am Reservoir Schwarzbergli haben einen Einfluss auf die potentielle Energiegewinnung. Das alte Reservoir soll aufgehoben und mit einer Brauch- und Löschreserve neu aufgebaut werden. Zudem sollen die Wohnzonen Schlifeli und Autis an das Reservoir angeschlossen werden. Dies hat Einwirkungen auf die potentielle Wasserkraftnutzung am Reservoir Waldrüti, da dort dann weniger Wasser zur Turbinierung zur Verfügung steht.





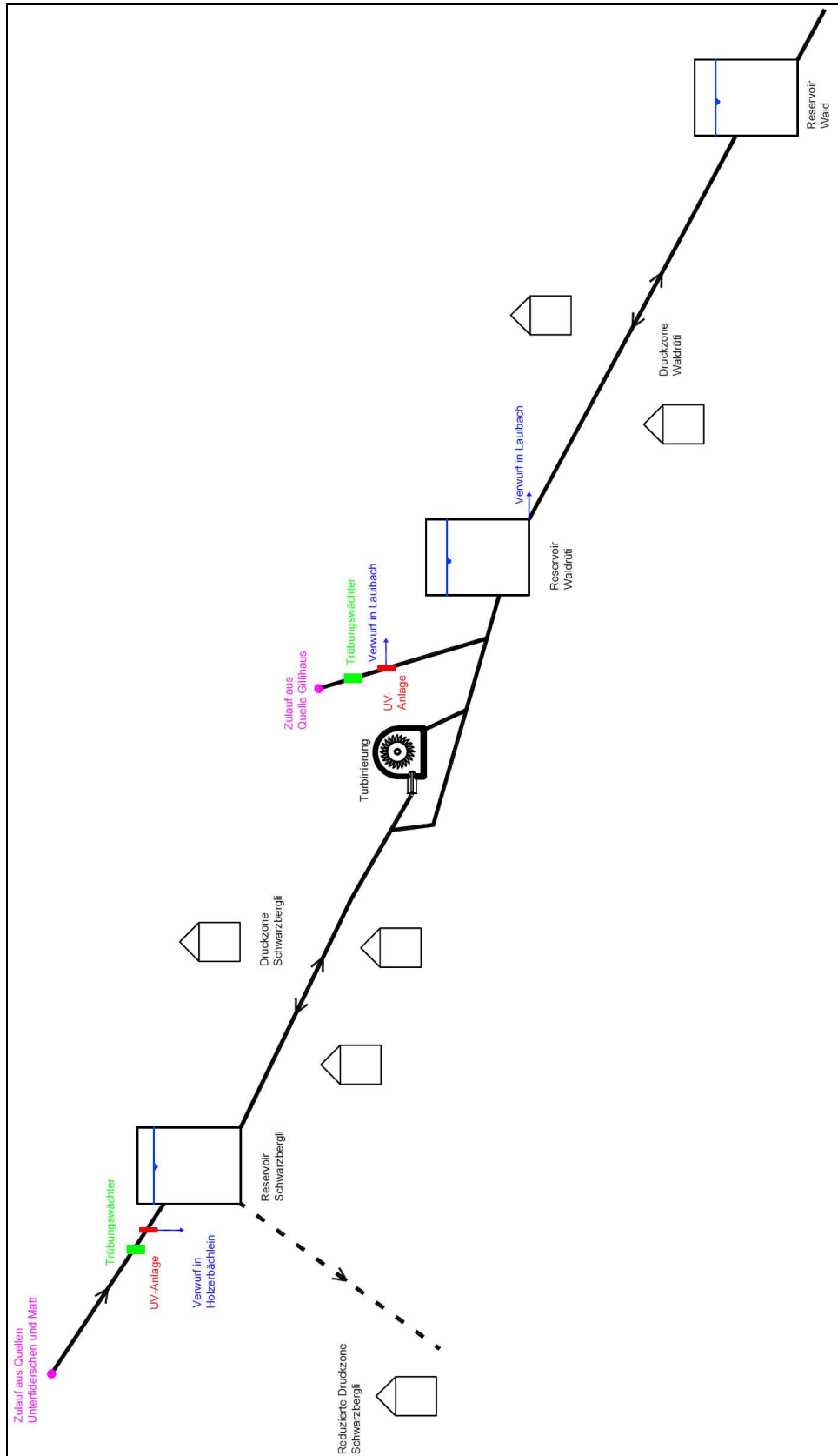


Abb. 2: Hydraulisches Schema Wasserversorgungsnetz Weesen



### 2.3 DAS WASSERKRAFTPOTENTIAL IN DER TRINKWASSERVERSORGUNG

Das Wasserkraftpotential der Trinkwasserversorgung Weesen ergibt sich aus dem Höhenunterschied der beiden Reservoirs Schwarzbergli und Waldrüti. Es errechnet sich wie folgt:

Reservoir Schwarzbergli 658 m ü. M.

Reservoir Waldrüti 543 m ü. M.

**Bruttogefälle 115 m**

In der Rohrleitung wie auch an Verschlüssen und Querschnitts- und Richtungsänderungen entstehen Druckverluste. Diese führen bei den bestehenden Leitungen und einem Durchfluss von 13 l/s dazu, dass das Bruttogefälle um etwa 22 % reduziert wird und sich somit eine **Nettofallhöhe von etwa 94 m** ergibt. Diese Höhe kann energetisch genutzt werden.

### 2.4 DIE AUSBAUWASSERMENGE

Die Ausbauwassermenge kann nicht exakt bestimmt werden, da es momentan noch keine Messungen gibt, mit der die potentielle Wassermenge für das Kraftwerk bestimmt wird.

Es liegen jedoch Zuflusswerte oberhalb des Reservoirs Schwarzbergli (siehe Abb. 3) bzw. oberhalb des Reservoirs Waldrüti vor.

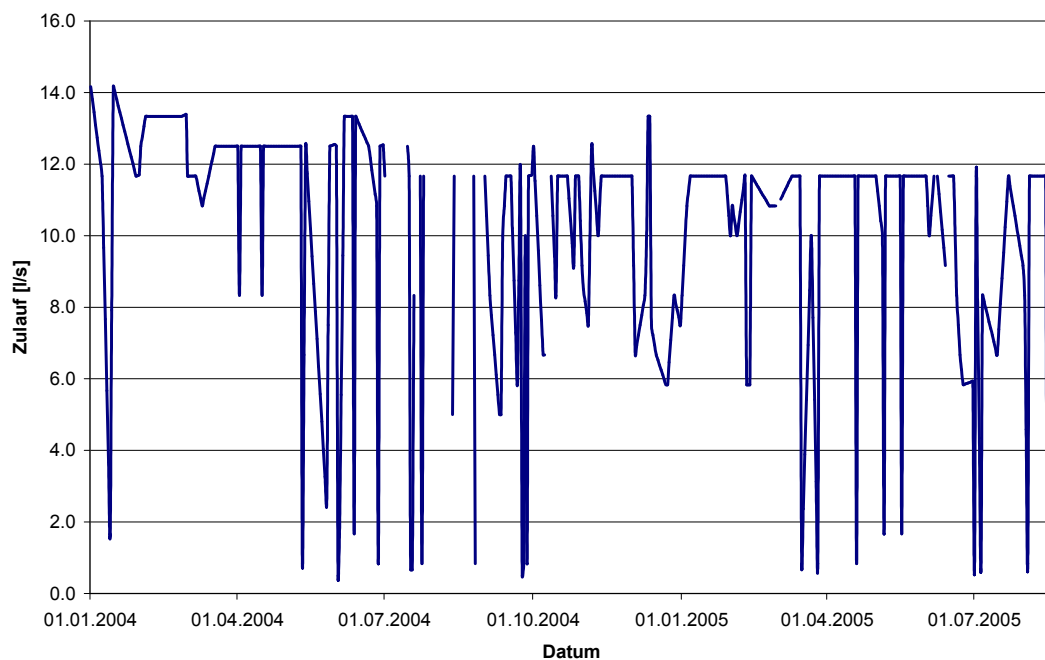


Abb. 3: Zufluss am Reservoir Schwarzbergli

Problematisch hierbei sind zwei Punkte: Die Messungen umfassen nur einen Zeitraum von wenigen Monaten. Dies ist nicht ausreichend für die genaue Bestimmung der Ausbauwassermenge.

Zudem muss der Verwurf am Reservoir Schwarzbergli und am alten Reservoir Waldrüti von diesen Daten noch abgezogen werden. In Schwarzbergli wird das Wasser verworfen, sobald Trübungen im Wasser auftreten. Der Verwurf am alten Reservoir Waldrüti geschieht, falls das Reservoir Waldrüti bereits voll ist und noch Wasser vom Reservoir Schwarzbergli zuläuft. Diese Wassermenge wird in



Zukunft zur Turbinierung zur Verfügung stehen, da der Verwurf dann erst im Reservoir Waldrüti geschehen wird. Somit sind auch die heutigen Abflussmessungen am Reservoir Waldrüti nicht für die Bestimmung der Ausbauwassermenge geeignet.

Zur Bestimmung der Zuflussmenge für die Energiegewinnung wird von einer Annäherung aufgrund von Erfahrungswerten ausgegangen. Es wird angenommen, dass für die zukünftige Wasserkraftnutzung der Zufluss zum Reservoir Schwarzbergli minus der Entnahme in der Druckzone Schwarzbergli (etwa  $5 \text{ m}^3/\text{d} \sim 0.058 \text{ l/s}$ ) und dem Verbrauch der Wohnzonen Schlifeli und Autis zur Verfügung steht. Es ist zu erwarten, dass in etwa 5-10 Jahren ca. 160 Einwohner in diesem Bereich angeschlossen werden. Mit einem Verbrauch von im Mittel  $160 \text{ l}/(\text{EW} \cdot \text{d})$  ergibt sich somit eine durchschnittliche Ableitung vom Reservoir Schwarzbergli von  $18 \text{ l/min}$  bzw.  $0.3 \text{ l/s}$ .

Der Verwurf im Reservoir Schwarzbergli geschieht an etwa 48 Tagen pro Jahr (hauptsächlich zwischen April und Oktober), dann fliesst dem Reservoir Waldrüti kein Wasser zu. Somit ist an diesen Tagen keine Energiegewinnung möglich. Diese Fehlbeträge werden im Kap. 2.6 mit eingerechnet.

Abb. 4 stellt den Zulauf zum Reservoir Schwarzbergli sowie die Entnahme für die Verbraucher dar.

Die Daten der Abbildung stimmen nicht genau mit denen der Abb. 3 überein. Die Messwerte aus Abb. 3 weisen einige Punkte auf, an denen der Zufluss von einem Tag auf den nächsten um etwa 90 % abfällt. Dies ist bei einem Zufluss von Quellen sehr unwahrscheinlich und ist vermutlich auf einen Messfehler zurückzuführen. Somit wurden diese Werte nicht in Abb. 4 übernommen.

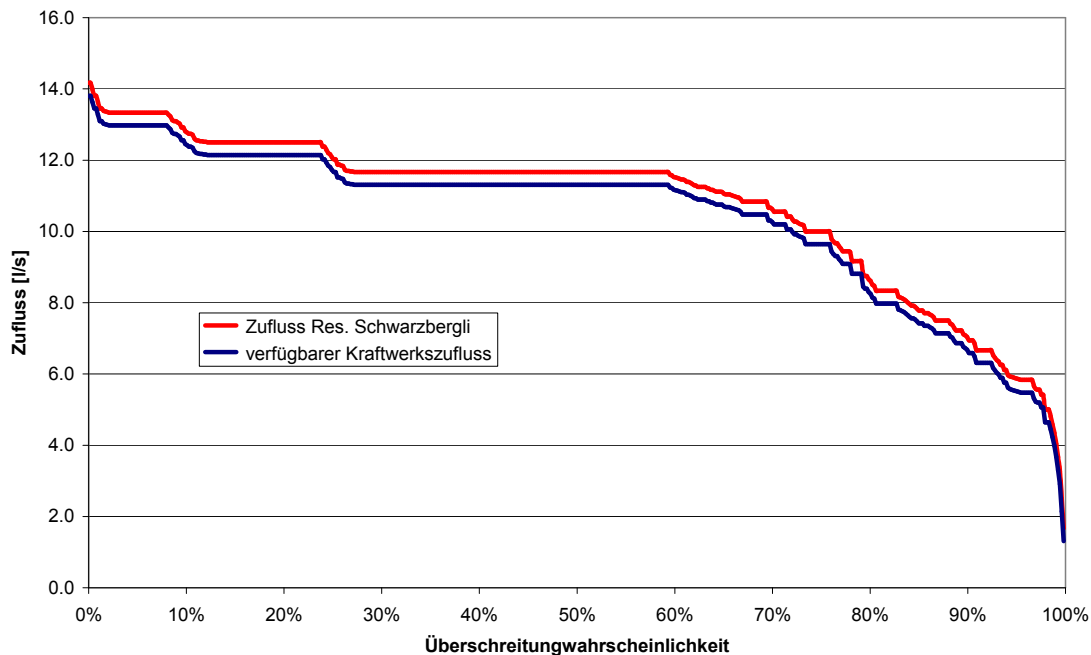


Abb. 4: Überschreitungswahrscheinlichkeit am Reservoir Schwarzbergli

Kleinwasserkraftanlagen, die an ein grösseres Elektrizitätsnetz angeschlossen sind, werden in der Regel auf eine Abflussmenge ausgelegt, die während 100 Tagen im Jahr (bzw. 27 %) erreicht oder überschritten wird (100-Tage Regel). Gemäß dieser Regel liegt die Ausbauwassermenge des Trinkwasserkraftwerkes Waldrüti bei ca.  $11.3 \text{ l/s}$  bzw. knapp  $680 \text{ l/min}$ .

Da bei der Energiegewinnung mittels **Turbinen** der maximale Wirkungsgrad meist nicht bei 100 % der Ausbauwassermenge sondern etwas niedriger liegt und die Quellschüttung solch konstante Werte aufweist, kann die Ausbauwassermenge jedoch hierfür auf etwa **13 l/s** bzw. **780 l/min** erhöht werden.



Sollte jedoch eine **Pumpe** zur Energiegewinnung genutzt werden, so sollte die Ausbauwassermenge bei **11.3 l/s** belassen werden, da Pumpen ihren maximalen Wirkungsgrad bei 100 % Beaufschlagung haben.

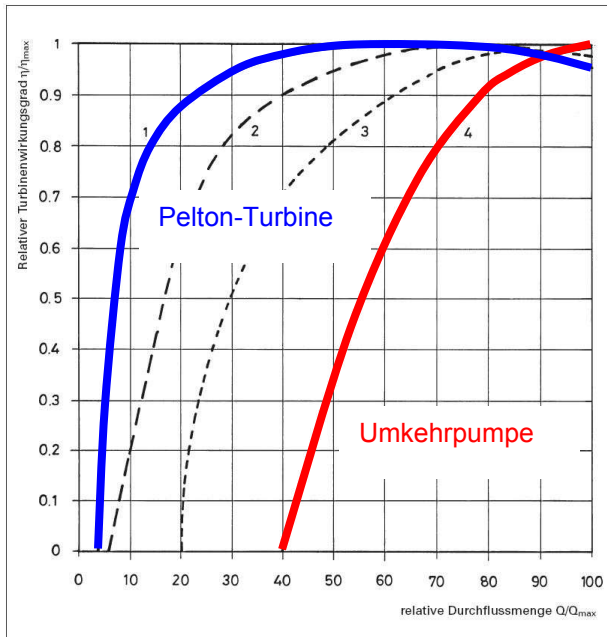


Abb. 5: Verlauf des Wirkungsgrades verschiedener Turbinentypen

## 2.5 KOMPONENTEN DES WASSERKRAFTWERKES

### 2.5.1 Reservoir Schwarzbergli

Die Planungen, das Reservoir Schwarzbergli für die Anforderungen der Trinkwasserversorgung zu erweitern, sollten auch allfällige Bedingungen der Wasserkraft mit einschliessen.

Das Reservoir muss groß genug sein, um allfällige Druckstöße, die durch das rasche Öffnen und Schliessen der Absperrorgane entstehen, schadlos abgeführt werden können. Das notwendige Volumen kann für kleine Kraftwerke nach einer Faustformel berechnet werden. Es soll einem Wasserdurchsatz bei 30 Sekunden Turbinenbetrieb (Vollast) entsprechen.

$$V_D = 30 \text{ s} \cdot Q_D = 30 \text{ s} \cdot 13 \text{ l/s} = 390 \text{ l} = 0.39 \text{ m}^3$$

Es ist notwendig, dass diese Volumen ohne grosse Wasserspiegelschwankungen ( $< 0.1 \text{ m}$ ) erreicht wird, daher muss die Oberfläche des Beckens möglichst groß sein. Die minimale Oberfläche des Ausgleichbeckens bestimmt sich somit zu:

$$A_D = V_D / \Delta h_{\max} = 0.39 / 0.1 = 3.9 \text{ m}^2$$

Die Gefahr des Druckstosses kann bei Pelton-Turbinen zudem durch Einbau eines Strahlablenkers bzw. einer Düsenadelregulierung gebannt werden.

Um das Kraftwerk im intermittierenden Betrieb laufen lassen zu können, sollte die minimale Betriebszeit zwischen zwei Schaltzyklen 15 Minuten nicht unterschreiten. Somit ergäbe sich ein Volumen von

$$V_I = Q_D \cdot t = 780 \text{ l/min} \cdot 15 \text{ min} = 11'700 \text{ l} = 11.7 \text{ m}^3$$



Das Reservoir Schwarzbergli soll mit einer Brauchreserve von 200 m<sup>3</sup> ausgestattet werden. Somit kann das Kraftwerk problemlos intermittierend gefahren werden.

### 2.5.2 Druckleitung

Das Reservoir Schwarzbergli ist über eine Druckleitung mit einer Länge von 887 m mit dem Reservoir Waldrüti verbunden. Somit ergibt sich ein Gefälle von etwa 13 %.

Das Wasser wird ab dem Reservoir Schwarzbergli über eine Länge von 271 m durch eine Leitung PE 110 / 96.8 mm, 10 bar geleitet. Im unteren Bereich weist die Leitung auf einer Länge von 616 m die folgenden Charakteristiken auf: PE 160 / 130.8 mm, 16 bar.

Für die Wasserkraftnutzung müssen ausserhalb des Reservoirs Waldrüti keine Modifikationen an den bestehenden Druckleitungen durchgeführt werden.

### 2.5.3 Maschinensatz, hydraulisches Schema

Mit dem gegebenen Durchfluss und der Fallhöhe kommen für den Maschinensatz zwei Varianten zur Energiegewinnung in Betracht. Üblicherweise würde man mit diesen Kennwerten eine Pelton-Turbine (**Variante I**) einsetzen, da sie über einen sehr hohen (84 – 90 %) und stabilen Wirkungsgrad verfügt (siehe Abb. 5).

Am Reservoir Waldrüti besteht jedoch bereits eine Pumpe mit der das Wasser zurück in das Reservoir Schwarzbergli gepumpt werden kann. Die Pumpe weist die folgenden Kennwerte auf:

Typ:	Häny SV 811
Frequenz:	50 Hz
Nennleistung:	5.5 kW
Leistungsfaktor cos $\varphi$ :	0.87
Drehzahl	2'900 min <sup>-1</sup>
Inbetriebnahme:	23.02.2000

Die Verwendung der Pumpe (**Variante II**) zur Energiegewinnung hat den Vorteil, dass es nur sehr geringe Kosten verursacht, da nur geringe Anpassungen gemacht werden müssen. Jedoch produziert solch eine Umkehrpumpe nur weniger Energie, da der Wirkungsgrad zwar bei Volllast relativ hoch liegt (75 – 90 %), bei Teillast jedoch sehr schnell abfällt (siehe Abb. 5).

Nach Aussagen der Häny AG wird eine energetische Nutzung der vorhandenen Pumpe nicht empfohlen, da noch keine zuverlässigen Daten hierzu aus Versuchen vorliegen. Jedoch können Pumpen anderer Bauart für die Energiegewinnung eingesetzt werden.

### 2.5.4 Position des Maschinensatzes

Die Wasserkraftnutzung soll möglichst einfach in die bestehende Planung integriert werden. Hierbei sind besonders die engen räumlichen Verhältnisse zu beachten.

#### **Variante I (Turbine):**

Bei einer Turbine muss mit einer Größenordnung von 800 mm (Ø) x 800 mm (h) gerechnet werden. Dies bedeutet, dass ein Einbau in den hinteren Schacht im Erdgeschoss nicht möglich ist. Somit bleibt als Turbinenstandort nur der Bereich zwischen der Einstiegsklappe West und dem Treppenschacht im Erdgeschoss.



Die Turbine kann an die Zuleitung vom Reservoir Schwarzbergli angeschlossen werden, bevor diese auf die Zuleitung der Gillihausquelle trifft. Hierfür wird der Krümmer hinter dem geplanten Druckhalteventil der Leitung aus dem Reservoir Schwarzbergli durch ein T-Stück DN 100 mit Schiebern (Combi III/3) ersetzt und eine zusätzliche Leitung installiert. Für die Turbinierung wird die Druckreduzierung und das Druckhalteventil geöffnet und durchströmt. Dies führt zwar zu zusätzlichen Druckverlusten, spart jedoch den Einbau eines Bypasses um die Turbine. Sollte die Turbine z. B. zur Revision von der Leitung genommen werden, so kann die Zuleitung zur Turbine mittels Schiebers geschlossen und das Wasser wie nach den Plänen des Generellen Wasserversorgungsprojektes (GWP) in die Reservoirs geleitet werden.

Von der Turbine wird das Wasser durch eine neu zu installierende Leitung DN 160 im Bereich des Treppenschachtes in das geplante Passrohr im Zwischengeschoss und von dort in die Kammern geleitet. Die neue Leitung wird mit einem Schieber versehen. Das T-Stück, das die bisherige Zuleitung mit den beiden Reservoirs verbindet, wird durch ein Kreuz-Stück (TT) DN 160 ersetzt, um dort die neue Leitung anzuschliessen. Um den Zulauf von Wasser von der Gillihausquelle zur Turbine zu unterbinden, wird die Zuleitung der Quelle mit einer Druckreduzierung ausgestattet.

Voraussichtlich muss die Position der Feuerwehroleitung im Erdgeschoss leicht angepasst werden, da sie sich mit der neu zu installierenden Leitung zur Turbine kreuzt. Dies sollte durch eine leichte Modifikation des GWP und ohne zusätzliche Kosten realisierbar sein.

Der Schaltschrank findet im Erdgeschoss keinen Platz mehr. Mit einer Größe von 1.0 m x 1.2 m x 0.3 m kann dieser jedoch an der südlichen Wand des Zwischengeschosses positioniert werden. Somit ist eine gute Erreichbarkeit gewährleistet und eine Modifikation der Planung für den Reservoir-Umbau nicht notwendig.

### **Variante II (Pumpe):**

Wie bereits in Kap. 0 erwähnt, kann die bestehende Pumpe nicht für die Energiegewinnung genutzt werden. Jedoch ist es möglich, eine Pumpe anderer Bauart dafür einzusetzen. Diese ist mit einer Größe von etwa 350 mm x 350 mm x 1250 mm entscheidend kleiner als die Turbine. Sie sollte an Stelle der alten Pumpe im Untergeschoss angebracht werden, was sehr kostengünstig ist, da das Podest der Pumpe bereits im Rahmen der Umbaumaßnahmen des Reservoirs installiert wird. Die Zuleitungen der alten Pumpe bleiben wie geplant bestehen. Jedoch wird im oberen Bereich der Leitung ein Schieber angebracht, um die Leitung z.B. zur Revision der Pumpe von der Zuleitung vom Reservoir Schwarzbergli trennen zu können.

Zudem wird eine weitere Leitung zwischen der Pumpe und dem Passrohr im Zwischengeschoss installiert, um das Wasser wieder in die Reservoirkammern zu leiten. Auch diese kann durch einen Schieber verschlossen werden.

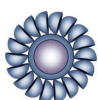
Das T-Stück, das die bisherige Zuleitung mit den beiden Reservoirs verbindet, wird durch ein Kreuz-Stück (TT) DN 160 ersetzt, um dort die neue Leitung anzuschliessen. Hierbei ist zudem ein Reduzierstück 160 / 63 notwendig, um die neu zu installierende Leitung anzuschliessen.

Um den Zulauf von Wasser von der Gillihausquelle zur Turbine zu unterbinden, wird die Zuleitung der Quelle mit einer Druckreduzierung ausgestattet.

Der bisherige Zufluss über Druckreduzierung und Druckhalteventil dient als Bypass für die Pumpe. Der Zulauf der Quelle Gillihaus wie auch die Funktion der Pumpleitung zum Reservoir Schwarzbergli sind von der Energiegewinnung unbeeinflusst.

Die Pumpe steht tiefer als der Zulauf zu den Reservoirs. Dies ist besonders vorteilhaft, da durch den Gegendruck Kavitation verhindert werden kann. Das Wasser kann somit den Reservoirs störungsfrei zulaufen.

Der Schaltschrank kann im Erdgeschoss an der westlichen Wand angebracht werden.





### 2.5.5 Elektrische Anlage und Steuerung

Aufgrund der relativ geringen Energieproduktion wird ein relativ einfacher elektrischer Aufbau empfohlen, der jedoch auch bei Störungen jederzeit den sicheren Betrieb der Trinkwasserversorgung ermöglicht. Die aktuelle Steuerung der Trinkwasserversorgung bleibt im bisherigen Rahmen bestehen und verwaltet die Ansteuerung der verschiedenen Schiebern und Pumpen. Die Kraftwerks-Steuerung hingegen benötigt von der bestehenden Steuerung der Trinkwasserversorgung ein Signal, welches ihr mitteilt, wann das Wasser ins Reservoir Waldrüti zufliesst.

Da das Trinkwasserkraftwerk (TWKW) der Trinkwasserversorgung untergeordnet ist, entfällt eine Wasserstandsregelung des Reservoirs Schwarzbergli. Auch dies wird weiterhin durch die bestehende Steuerung der Trinkwasserversorgung erledigt. Das TWKW turbiniert einfach diejenige Wassermenge, welche vom Reservoir Schwarzbergli zum Reservoir Waldrüti zufliesst.

Für Anlagen mit relativer niedriger Leistung hat sich die Verwendung von Asynchron-Generatoren bewährt. Die produzierte Leistung dieser ist ungefähr gleich der Leistung, welche für den Pumpbetrieb nötig ist. Damit kann die Energie direkt in den vorhandenen Netzanschluss eingespeist werden. Die Blindleistung kann mittels Kompensationskondensatoren auf die Anforderungen des EWs angepasst werden.

Das Anwendungsdiagramm und ein Blockschaltbild für beide Varianten finden sich im Anlage 5.

#### **Variante I (Turbine):**

Mittels je eines elektrischen Aktuators kann der Strahlablenker eingefahren und die Düsennadel der Peltonturbine geöffnet werden. Ein dreiphasiger Asynchrongenerator ist direkt auf die Turbinenachse montiert und wird über einen Motorschalter ans Netz geschaltet. Ein digitaler Regler misst Drehzahl und Frequenz und regelt diese durch die Position der Düsennadel der Peltonturbine. Die Position des dazugehörigen Aktuators wird mittels eines Sensors der Steuerung mitgeteilt. Bei Lagern und Aktuatoren wird die Temperatur überwacht, um im Falle von Überhitzung die Turbine zu stoppen. Spannungen, Ströme und Frequenz werden laufend erfasst, um allfälliges Fehlverhalten sofort zu erkennen. Die Steuerung stellt das Zu- und Wegschalten vom Netz durch eine vollautomatische Synchronisationsfunktion sicher.

Wird die Wasserzufuhr ins Reservoir Waldrüti unterbrochen, wird erst der Strahlablenker ausgefahren und nach kurzer Verzögerung die Düsennadel geschlossen. Damit kann sichergestellt werden, dass keine Schwingungen aufgebaut werden, welche die Belastungsgrenze der Versorgungsleitung überlasten würden.

Bei Netzausfall oder Störungen wird der Generator vom Netz getrennt (Lastabwurf). Der Maschinensatz wird innert kürzester Zeit auf Durchgangsdrehzahl beschleunigt. Um ein Überhitzen der Lager zu verhindern und auch um die Weisungen des ESTI zu erfüllen, muss die Maschine gestoppt werden. Zuerst lenkt der Strahlablenker der Turbine das Wasser vom Peltonrad weg und der Maschinensatz läuft aus. Die Wasserzufuhr zum Reservoir bleibt aber erhalten. Bleibt das Netz zu lange weg (Akkumulatoren der USV leer), wird die Düsennadel mit Hilfe der USV langsam geschlossen. Dieser Vorgang ist aufgrund des weiter vorne in diesem Bericht beschriebenen Druckstossverhaltens nicht kritisch. Mittels einer integrierten Alarmierungsfunktion wird die Fehlfunktion dem Betriebswart mitgeteilt, damit dieser den Bypass manuell zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung öffnen kann.

#### **Variante II (Pumpe):**

Die elektrischen Anlagen sind bei der Variante II deutlich einfacher. Die Pumpenbetriebskennlinie ist produktionsseitig so auf die Systemkennlinie ausgelegt, dass keine Regelung erforderlich ist und sie somit automatisch in Ihren optimalen Betriebspunkt fällt. Das zufließende Wasser verschiebt den Betriebspunkt des Asynchron-Motors / -Generators so, dass Energie ins Netz eingespeist wird, sobald



der Motorschalter durch die Kraftwerkssteuerung geschlossen wird.

Wird der bergseitige Schieber geschlossen, wird dies der Kraftwerkssteuerung mitgeteilt, und diese schaltet den Generator wieder vom Netz, bevor er wieder in das Kennfeld des Motorenbetriebs fällt. Die Temperatur der Pumpe wird überwacht, um im Falle von Überhitzung die Last abzuwerfen. Spannungen, Ströme und Frequenz werden laufend erfasst, um allfälliges Fehlverhalten sofort erkennen zu können. Die Steuerung stellt das Zu- und Wegschalten vom Netz durch eine vollautomatische Synchronisationsfunktion sicher.

Bei Stromausfall oder Störungen wird eine auf dem Generator / Motor aufgesetzte Scheibenbremse aktiviert und bringt die Pumpenturbine zum Stillstand. Das Wasser fließt jedoch weiterhin durch die Pumpe hindurch, so dass die Trinkwasserversorgung stets gewährleistet ist. Bei längerem Stromausfall wird eine Alarmierung aktiviert, welche den Betriebswart auffordert, den Bypass zu aktivieren.

Um allfällige gegenseitige Beeinflussungen der beiden Steuerungen auszuschliessen, müssen beim Anschluss des Asynchronmotors eventuell noch Anpassungen vorgenommen werden. Diese werden als unkritisch betrachtet und erfordern Kenntnisse der Ansteuerung der bestehenden Steuerung. Diese Detailabklärungen sollten noch vor den Installationsarbeiten durchgeführt werden.

## 2.6 ENERGIEAUSBEUTE

Für die Kraftwerksausrüstung wurden Angebote von verschiedenen Herstellern (Pumpen und Turbinen) erbeten. Gefordert war ein Maschinensatz zur energetischen Nutzung der folgenden Kenndaten:

Variante I: Turbine	Variante II: Pumpe
- $Q_A = 13 \text{ l/s}$	- $Q_A = 11.3 \text{ l/s}$
- $H_{\text{netto}} = 94 \text{ m}$	- $H_{\text{netto}} = 99 \text{ m}$
- Parallelbetrieb mit dem öffentlichen Netz	

Die Hersteller lieferten folgende Angebote:

Hersteller	Maschinensatz	Leistung
1	eindüsige Wasserturbine PT 63V-1, Type Pelton, vertikale Wellenlage	$P_{\text{welle}} = 10.6 \text{ kW}$ $P_{\text{netz}} = 9.0 \text{ kW}$ $\eta_{\text{max}} \sim 89.6 \%$
	Drehstrom-Asynchrongenerator	
	Transport, Montage, Inbetriebnahme	
2	RLPT horizontal auf Grundplatte mit elastisch gekoppeltem Asynchrongenerator	$P_{\text{welle}} = 7.13 \text{ kW}$ $P_{\text{netz}} = 6.35 \text{ kW}$ $\eta_{\text{max}} \sim 65\%$
	RLPT vertikal aufgestellt mit direkt aufgebautem Asynchrongenerator	
	Vollautomatische Steuerung der Turbinenanlage	

Tab. 1: Angebote Pumpen / Turbinen

Die Energieausbeute hängt größtenteils vom Wirkungsgrad der Turbine / Pumpe ab. Bei der Jahresenergie ist zu beachten, dass an 48 Tagen pro Jahr dem Reservoir Waldrüti kein Wasser zuläuft (siehe Kap. 0), da es dann aufgrund von Trübung zum Verwurf am Reservoir Schwarzbergli kommt.

Revisionen etc. sollten an Tagen ohne Zulauf geschehen, somit muss hierfür mit keinem zusätzlichen Stillstand der Anlage gerechnet werden.



Bei einer Pelton-Turbine liegt der Wirkungsgrad bei einer Beaufschlagung von 40 – 100 % der Ausbauwassermenge bei etwa 90 %. Somit konnte die Ausbauwassermenge im gegebenen Fall auf etwa 13 l/s erhöht werden.

Bei der Umkehrpumpe liegt der Wirkungsgrad entscheidend tiefer und das Maximum wird nur bei einer Beaufschlagung von 100 % erreicht. Somit liegt sowohl die Leistung als auch der Energiegewinn niedriger.

Turbinenart	maximaler Wirkungsgrad	Ausbauwassermenge	Elektrische Leistung	Jahresenergie
Pelton	89.6 %	13 l/s	9.0 kW	58'500 kWh
Pumpe	65 %	11.3 l/s	6.3 kW	40'900 kWh

Tab. 2: Aufstellung produzierbare Jahresenergie

Die Jahresenergie wird bei Wasserkraftwerken oft noch in Sommer- und Winterenergie aufgeteilt, da hierfür ggf. unterschiedliche Tarife gelten. Beim vorliegenden Fall ist der Unterschied zwischen den beiden Jahreshälften (Sommer April – September, Winter Oktober - März) sehr hoch, da der Verwurf am Reservoir Schwarzbergli fast ausschliesslich in den Sommermonaten stattfindet.

Somit wird von einem Verwurf während 44 Tage in den Sommermonaten und nur 4 Tagen in den Wintermonaten ausgegangen.

Es ergeben sich folgenden Werte für die Energiegewinnung in Sommer und Winter:

Turbinenart	Energieproduktion	
	Sommer	Winter
Pelton	25'400 kWh	33'000 kWh
Pumpe	17'900 kWh	23'000 kWh

Tab. 3: Energieproduktion Sommer / Winter

In den Sommermonaten kann etwa 23 % weniger Energie gewonnen werden als im Winter.



### 3 Wirtschaftlichkeitsberechnung

#### 3.1 KOSTENSCHÄTZUNG FÜR BAULICHE ANPASSUNG

Die baulichen Anpassungen beschränken sich auf kleinere Arbeiten innerhalb des Reservoirs. Dieses beinhaltet Aussparungen sowie Fundament- und Grundplatten, die für den Einbau der Turbine / Pumpe notwendig sind.

An den bestehenden Zuleitungen wird nichts verändert, da davon ausgegangen werden kann, dass sie den Anforderungen der Wasserkraftnutzung genügen (siehe hierzu auch Kap. 2.5.1).

#### 3.2 KOSTENSCHÄTZUNG KRAFTWERKSAUSRÜSTUNG

Die Kostenschätzung der Kraftwerksausrüstung beinhalten sowohl die Kosten für die Maschinen inkl. Transport und Montage sowie alle für den Anschluss notwendigen Modifikationen an der geplanten Druckleitung.

Die angeschriebenen Hersteller lieferten folgende Angebote für die Maschinensätze (siehe Anlage 3):

Hersteller	Maschinensatz	Kosten (exkl. MwSt)
1	eindüsige Wasserturbine PT 63V-1, Type Pelton, vertikale Wellenlage	28'500 € [44'830 CHF]
	Drehstrom-Asynchrongenerator	2'350 € [3'700 CHF]
	Transport, Montage, Inbetriebnahme	4'100 € [6'450 CHF]
2	RLPT horizontal auf Grundplatte mit elastisch gekuppeltem Asynchron- generator	37'000 CHF
	RLPT vertikal aufgestellt mit direkt aufgebautem Asynchrongenerator	32'000 CHF
	Vollautomatische Steuerung der Turbinenanlage	27'000 CHF

Tab. 4: Angebote Pumpen / Turbinen



Die Investitionskosten für die beiden Varianten belaufen sich somit auf:

		<b>Variante I: Turbine</b>	<b>Variante II: Pumpe</b>
Installationen	CHF	2'000	2'000
Wasserhaltung	CHF	2'000	2'000
Umbau Reservoir Waldrüti	CHF	860	500
Elektro-mechanische Ausrüstung und Reservoirarmaturen	CHF	88'895	62'581
Planung, Projektierung, Bauleitung	CHF	21'000	21'000
Unvorhergesehenes, Aufrundung	CHF	8'745	5'619
<b>Total</b>	<b>CHF</b>	<b>123'500</b>	<b>93'700</b>

Tab. 5: Investitionskosten

Eine detaillierte Aufstellung der Kosten ist in Anlage 4 dargestellt.

### 3.3 BETRIEBS- UND UNTERHALTSKOSTEN

Dank Automatisierung kann das Trinkwasserkraftwerk ohne zusätzliches Personal betrieben werden. Nur bei länger andauernden Netzunterbrüchen oder bei Pannen am Kraftwerk selber ist ein Einsatz des Betriebspersonals oder des Brunnenmeisters notwendig.

Die Betriebs- und Unterhaltskosten beschränken sich deshalb auf die folgenden Ausgaben:

<b>Zweck</b>	<b>Variante I: Turbine</b>	<b>Variante II: Pumpe</b>
Betriebspersonal	720,- CHF	720,- CHF
Ersatzteile und Reparaturen elektro-mechanische Ausrüstung und Reservoirarmaturen	2'670,- CHF	1'880,- CHF
Versicherung Maschinensatz	360,- CHF	250,- CHF
Katastergebühren Kanton St. Gallen	55,- CHF	40,- CHF
Administration und Buchhaltung Kraftwerksbetreiber	900,- CHF	900,- CHF
<b>Total jährliche Betriebs- und Unterhaltskosten</b>	<b>4'705,- CHF</b>	<b>3'790,- CHF</b>

Tab. 6: Jährliche Betriebs- und Unterhaltskosten



Für Wasserkraftwerke < 1 MW wird seit 1997 kein Wasserzins mehr erhoben. Die Katastergebühren für die Anlage betragen laut „Gesetz über die Gewässernutzung“<sup>2</sup> 4,- CHF je Bruttopferdekraft bzw. etwa 6,- CHF je kW (1 PS = 0.735 kW).

Die genaue Auflistung der Kosten kann der Anlage 4 entnommen werden.

### 3.4 ENERGIEGESTEHUNGSKOSTEN

#### 3.4.1 Stromgestehungskosten

Die Stromgestehungskosten werden nach der Annuitätenmethode berechnet. Hierbei wird der Kapitalwert einer Investition auf die Nutzungsdauer verteilt, so dass die Zahlungsfolge aus Einzahlungen und Auszahlungen in die so genannte Annuität umgewandelt wird.

Es wird von einem Kalkulationssatz von 4.5 % (3 % real + 1.5 % Inflation) und einer Nutzungsdauer von 25 Jahren ausgegangen.

Somit ergibt die Annuität zu:

$$ANF = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0.045 \cdot (1+0.045)^{25}}{(1+0.045)^{25} - 1} = 0.0674$$

Hiermit stellen sich die Stromgestehungskosten wie folgt dar:

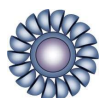
		<b>Variante I: Turbine</b>	<b>Variante II: Pumpe</b>
Investitionskosten	CHF	123'500	93'700
Kapitalkosten	CHF/a	8'330	6'320
Betriebs- und Unterhaltskosten	CHF/a	4'705	3'790
<b>Total Jahreskosten</b>	<b>CHF/a</b>	<b>13'035</b>	<b>10'110</b>
Jährliche Energieproduktion	kWh/a	58'500	40'900
<b>Stromgestehungskosten</b>	<b>CHF/kWh</b>	<b>0.22</b>	<b>0.25</b>

Tab. 7: Stromgestehungskosten

#### 3.4.2 Ertrag

Die Gemeinde Weesen bezieht ihren Strom zu einem durchschnittlichen Tarif von etwa 16 Rp/kWh. Wird dieser Wert nun den Stromgestehungskosten entgegengestellt, kann untersucht werden, wie viel die Gemeinde durch den Betrieb einer eigenen Anlage sparen kann.

<sup>2</sup> Gesetz über die Gewässernutzung, Stand Dez. 1960





Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich die Ersparnis resp. der jährliche Gewinn der Anlage zu:

	Variante I: Turbine	Variante II: Pumpe
Mittlere Ersparnis [CHF]	9'360	6'540
Gewinn pro Jahr [CHF]	- 3'685	- 3'570
Kosten-Nutzen-Verhältnis	1.39	1.54

Tab. 8: Jährlicher Ertrag durch Stromersparnis (16 Rp/kWh)

Sollte die Gemeinde den Strom verkaufen wollen, so kann üblicherweise ein Tarif von 15 Rp/kWh verlangt werden. Dieser Tarif reicht jedoch nicht aus, um die Jahreskosten bei der gegebenen Produktionsleistung zu decken.

Jedoch ist eine Erhöhung des Tarifes möglich, wenn der Strom als Ökostrom verkauft werden kann. Hierzu ist eine Zertifizierung nötig (z.B. naturemade star, TÜV). Der Strom kann dann zu einem Tarif von etwa 18 Rp/kWh verkauft werden.

Beim Verkauf als Ökostrom ergibt sich die Ersparnis resp. der jährliche Gewinn der Anlage zu:

	Variante I: Turbine	Variante II: Pumpe
Mittlerer Ertrag [CHF]	10'530	7'360
Gewinn pro Jahr [CHF]	- 2'515	- 2'750
Kosten-Nutzen-Verhältnis	1.24	1.37

Tab. 9: Jährlicher Ertrag bei Verkauf als Ökostrom (18 Rp/kWh)

### 3.4.3 Sensitivitätsanalyse

Die Kostenbestimmung der Investitionskosten liegt in einem Rahmen von  $\pm 20\%$ . In den folgenden Diagrammen ist das Verhältnis von Stromgestehungskosten und Ertrag (bei Verkauf als Ökostrom) zu den unterschiedlichen Investitionskosten dargestellt.



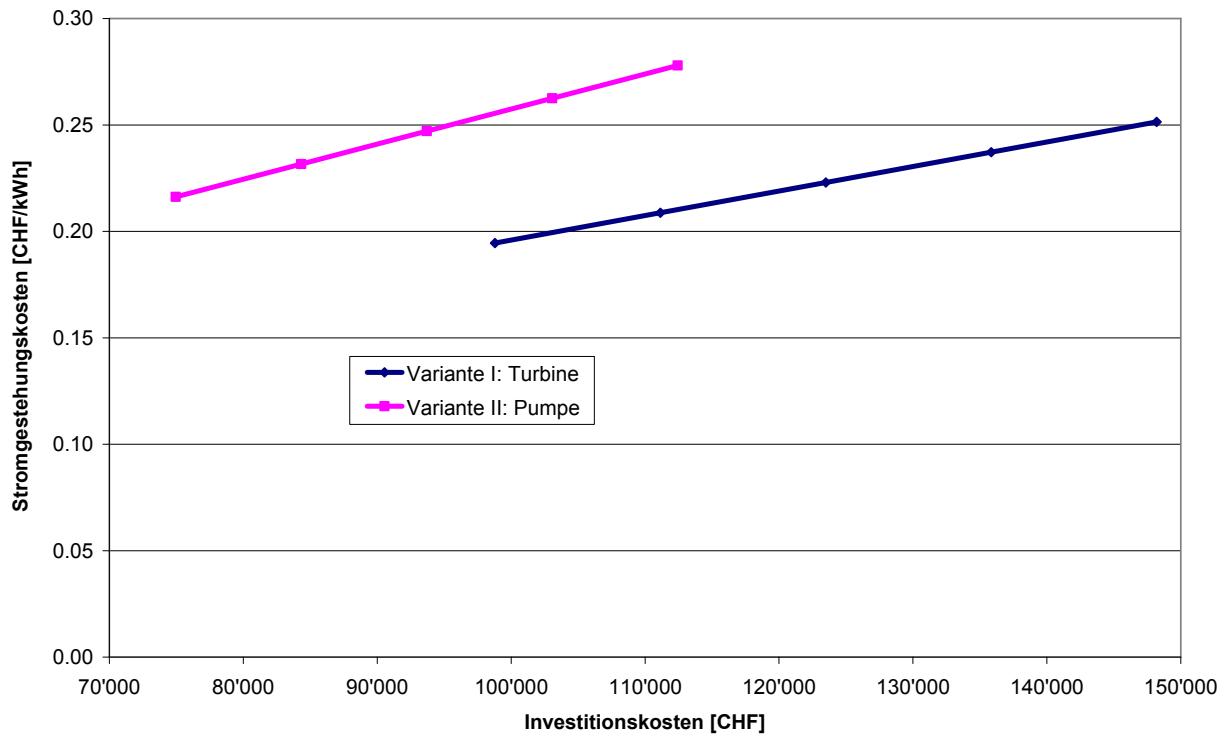


Abb. 6: Stromgestehungskosten

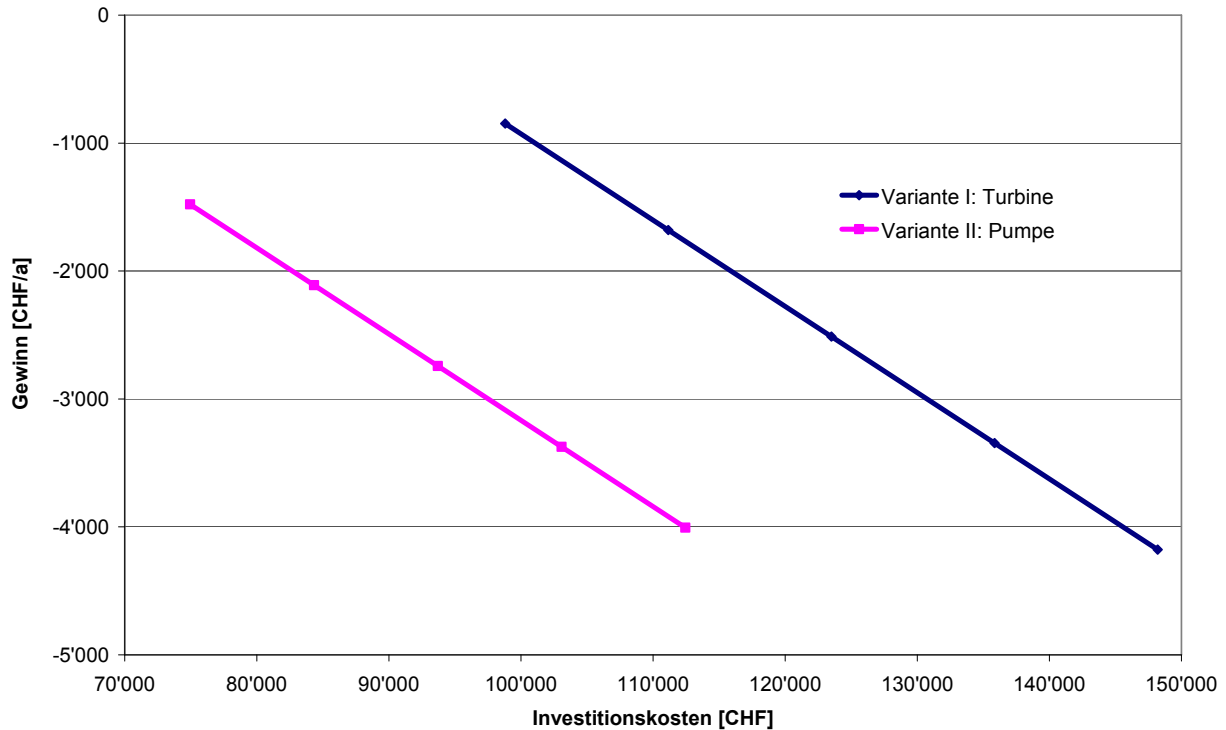


Abb. 7: Jährlicher Gewinn / Verlust bei Verkauf als Ökostrom



## 4 Schlussfolgerung und Empfehlung

Der Bericht zeigt, dass das Kraftwerk unter den gegebenen Voraussetzungen nicht wirtschaftlich betrieben werden kann.

Zwar bestehen die Zuleitungen bereits, sodass dort keine zusätzlichen Kosten entstehen, jedoch ist der Zufluss zum Reservoir sehr gering. Die geringe Leistung der Anlage führt zu verhältnismäßig hohen Investitionskosten. Auch der Anteil der Betriebs- und Unterhaltungskosten ist im Verhältnis sehr hoch.

Der Stillstand der Anlage an etwa 48 Tagen pro Jahr durch Verwurf im Reservoir Schwarzbergli wirkt sich zudem nachteilig auf die eh schon geringe Energieproduktion aus.

Auch dass die Verbraucher in der Reduzierten Druckzone Schwarzbergli in Zukunft dem Reservoir Schwarzbergli zusätzlich Wasser entziehen, hat nachteilige Auswirkungen auf die Energieproduktion in Waldrüti.

Ggf. ließen sich die Investitionskosten für Variante II (Pumpe) um einen geringen Betrag senken, falls ein Abnehmer für die nicht mehr benötigte Pumpe gefunden werden kann. Jedoch ist dies nach Aussage der Raymann AG nicht wahrscheinlich und würde zudem die Kosten nicht ausreichend senken, um die Anlage wirtschaftlich betreiben zu können.

Die energetische Nutzung des Reservoir Waldrüti ist aufgrund der geringen potentiellen Produktion somit nicht zweckmäßig.

Jedoch liesse sich für die Anlage unter anderen Voraussetzungen ggf. eine Wirtschaftlichkeit erzeugen.

Im Jahre 1999 wurde von der Gemeinde Weesen eine Machbarkeitsstudie über die Möglichkeit, ein Trinkwasserkraftwerk im Reservoir Schwarzbergli zu errichten, in Auftrag gegeben. Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass es wirtschaftlich am sinnvollsten ist, wenn an den Druckbrecherschächten oberhalb des Reservoir Schwarzbergli kein Wasser mehr verworfen wird, sondern der gesamte Zufluss der Quellen Niederfidlerschen und Matt turbinert wird.

Abb. 8 zeigt den Einfluss des Verwurfs an den Druckbrecherschächten auf den Zufluss zum Reservoir Schwarzbergli.



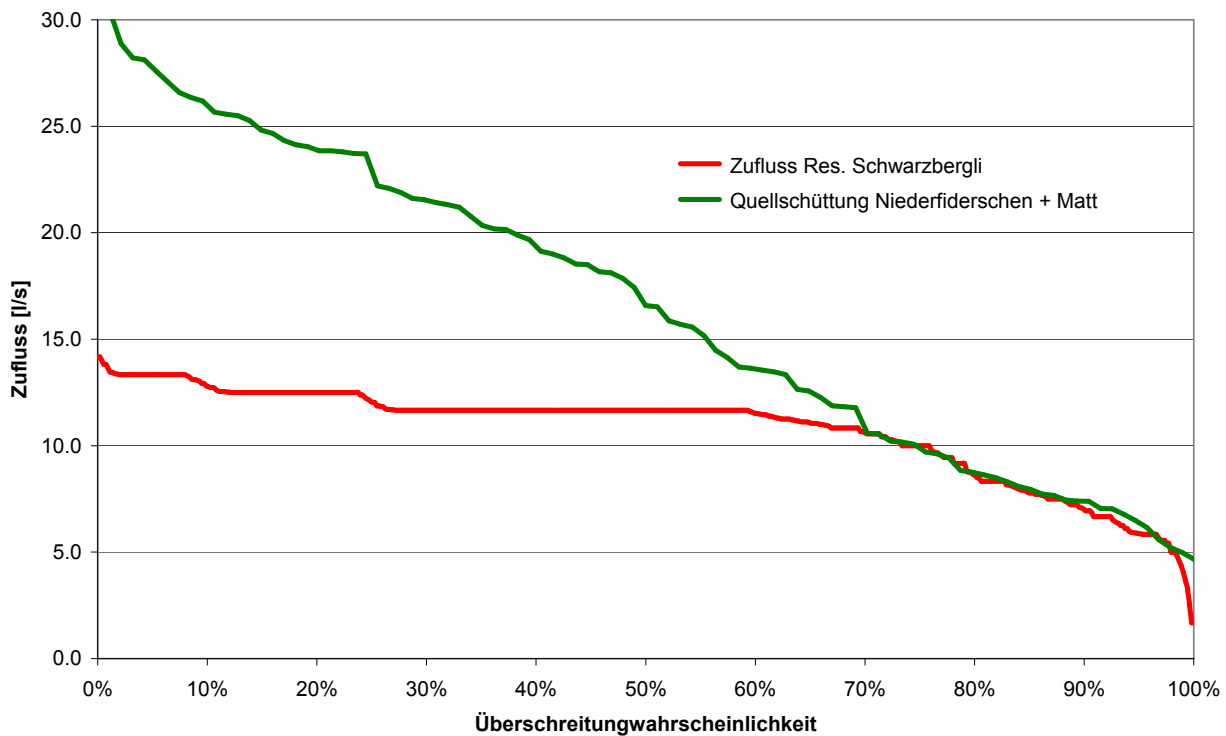


Abb. 8: Einfluss Verwurf Druckbrecherschächte auf Zulauf Reservoir Schwarzbergli

Sollte diese Ausbauvariante realisiert werden, so kann auch für das Reservoir Waldrüti von neuen Voraussetzungen ausgegangen werden. Die Ausbauwassermenge könnte auf etwa 21.7 l/s erhöht werden. Somit wäre mit einer Turbine eine jährlichen Energieausbeute von etwa 100'000 kWh möglich.

Für diese Variante wäre mit Investitionskosten von etwa 150'000 CHF zu rechnen. Hierin sind nicht nur die in dieser Studie genannten Komponenten für die Energiegewinnungen im Reservoir Waldrüti enthalten; die Investitionskosten beinhalten zudem die Mehrkosten für die Vergrößerung der Druckleitung zwischen den beiden Reservoiren. Die Druckleitung sollen im Rahmen des GWP neu verlegt werden, somit entstehen keine zusätzlichen Kosten für die Installation. Eine Vergrößerung der Leitungsdurchmesser ist jedoch notwendig, da mit den Vorgesehenen sehr hohe Reibungsverluste auftreten würden.

Unter den genannten Voraussetzungen könnte Energie mit Gestehungskosten von etwa 15 Rp/kWh produziert werden. Dies bedeutet, dass die Anlage wirtschaftlich betrieben werden könnte.

Da es sich bei den genannten Daten nur um Schätzungen handelt, müsste eine genauere Studie erstellt werden, um diese zu bestätigen. Hierfür wäre es jedoch notwendig, dass zuvor über das weitere Vorgehen bezüglich der Energienutzung am Reservoir Schwarzbergli entschieden wird. Zudem muss bestimmt werden, mit welchem Zufluss am Reservoir Waldrüti zu rechnen ist, falls die Druckbrecherschächte tatsächlich aufgehoben werden können. Selbstverständlich muss die Versorgung der angeschlossenen Verbraucher zwischen den Reservoiren Schwarzbergli und Waldrüti mit sauberem Wasser jederzeit gewährleistet sein. Nicht der gesamte Zulauf der einer Energiegewinnung am Reservoir Schwarzbergli zur Verfügung stehen würde, könnte auch ans Reservoir Waldrüti weitergeleitet werden. Es wird auch in Zukunft einen Verwurf am Reservoir Schwarzbergli geben.



Der Ausbau der Reservoirs zur Energienutzung sollte im Rahmen der Umbauarbeiten des GWP geschehen. Dies ist besonders wichtig, um die Kosten für die Verlegung der vergrößerten Druckleitungen gering zu halten.

Abschliessend kann festgehalten werden, dass die Energienutzung am Reservoir Waldrüti nur dann wirtschaftlich betrieben werden kann, wenn sie in Verbindung mit den Umbauarbeiten für das Trinkwasserkraftwerk Schwarzbergli und dem GWP geschieht.



# **Anlage 1**

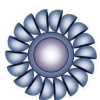
## **Auftragserteilung und Pflichtenheft**





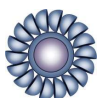
## **Anlage 2**

### **Ermittlung Jahresenergie**



## **Anlage 3**

### **Richtofferten Maschinensatz**



## **Anlage 4**

### **Ermittlung von Investitionskosten**



## **Anlage 5**

### **Anwendungsdiagramm und Blockschaltbild Steuerung**



## **Anlage 6**

### **Zeichnungen (schematisch)**

**Basierend auf den Zeichnungen**

***Aufhebung altes Reservoir, Anpassung neues Reservoir  
(8701.304 - 11, - 12)***

**Raymann AG, Glarus**

