



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

# **ENERGETISCHE NUTZUNG DER TRINKWASSERVERSORGUNG**

## **VORSTUDIE ZUHANDEN DER GEMEINDE KIPPEL - LÖTSCHENTAL**

### **Schlussbericht**

Ausgearbeitet durch

**Ritz Christoph, Schnyder Ingenieure AG**  
Mutzenstrasse 9b, info@sing.ch, www.sing.ch

## **Impressum**

Datum: 19. Juni 2008

### **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

Projektnummer: 102053

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



## **Inhaltsverzeichnis**

Zusammenfassung .....	4
Ausgangslage .....	5
Grundlagendaten .....	5
Geographische Lage.....	5
Abflussganglinien / Abflussdauerkurven.....	6
Quellschüttung der Trinkwasserquellen .....	6
Variantenstudien .....	6
Energetische Nutzung der bestehenden Infrastruktur .....	7
Grobkostenschätzung Erneuerung Trinkwasserversorgung.....	8
Energetische Nutzung der Erneuerten Infrastruktur .....	9
Grobkonzept.....	10
Anlagenauslegung.....	11
Anlagenkonzept.....	12
Wirtschaftlichkeit .....	13
Empfehlungen .....	15
Anhang 1.....	16
Anhang 2.....	21
Anhang 3.....	22
Anhang 4.....	23
Anhang 5.....	27
Anhang 6.....	28
Anhang 7.....	29
Anhang 8.....	30
Anhang 10.....	31
Anhang 11.....	32



## Zusammenfassung

Im Rahmen einer Vorstudie für die Gemeinde Kippel wurden die technischen Eckdaten und die Wirtschaftlichkeit der Integration eines Kleinwasserkraftwerks in die bestehende Trinkwasserversorgung untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass die energetische Nutzung der bestehenden Infrastruktur nicht möglich und eine Erneuerung derselben aufgrund des Zustandes der Anlagen angebracht ist. Dazu wurde eine Grobkostenschätzung gemacht.

Unter der Voraussetzung, dass eine Erneuerung der bestehenden Trinkwasserversorgung durchgeführt wird, ist eine mögliche Variante zur deren energetischen Nutzung untersucht worden.

Die Kosten für die Erneuerung der Infrastruktur zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung der Gemeinde Kippel und die Kosten für die elektromechanische Einrichtung der Zentralen sind dabei streng getrennt worden. Nur so ist die Wirtschaftlichkeit für die energetische Nutzung des primären Trinkwassernetzes gegeben.

	Bestehende Infrastruktur		Erneuerte Infrastruktur	
Zentrale	Gibli	Riedbord	Gibli	Riedbord
Druckleitung DN [mm]	NA <sup>1</sup>	NA	DN200	DN150
Ausbauwassermenge [l/s]	NA	NA	21	21
Leistung ab Generator [kW]	NA	NA	23	20
Energieproduktion [kWh/a]	NA	NA	121'744	105'455
Investitionen [CHF]	NA	NA	166'774	150'670
Gestehungskosten [Rp./kWh]	NA	NA	15.36	16.02
Vergütung nach KEV [Rp./kWh]	NA	NA	25.82	26.56
<b>Jährlicher Gewinn [CHF/a]</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>12'733</b>	<b>11'113</b>

Tabelle 1: Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeit für die energetische Nutzung der Trinkwasserversorgung der Gemeinde Kippel (ohne Engelbrunnen)

Unter der Voraussetzung der kostendeckenden Einspeisevergütung KEV kann die Gemeinde Kippel aus der Energieproduktion jährlich einen wirtschaftlichen Gewinn in der Größenordnung von CHF 23'400 erwirtschaften (siehe Tabelle 1).

<sup>1</sup> nicht anwendbar



## Ausgangslage

Die im Lötschental gelegene Gemeinde Kippel verfügt über eine Trinkwasserversorgung mit einem primären Rohrleitungsnetz, welches in den Jahren 1967/68 projektiert und realisiert wurde. Dieses Netz ist in sanierungsbedürftigem Zustand.

Das bestehende primäre Rohrleitungsnetzes besteht aus drei Brunnstuben, einem Verteiler, zwei Druckbrechern und einem Reservoir. Die Brunnstuben sowie der Verteiler wird von den Gemeinden Ferden und Kippel gemeinsam genutzt. Ein Verteilschlüssel regelt die nutzbaren Wassermengen für jede Gemeinde.

Aufgrund der enormen Höhenunterschiede zwischen dem Verteiler und dem Reservoir Riedbord (etwa 300 Höhenmeter) wurden damals die Druckbrecher Bletschä und Gibli entlang der Leitungstrasse eingebaut. Dadurch konnten unter der Voraussetzung, dass die Leitungen nicht eingestaут werden, Röhren für einen maximalen Druck von 4 bar eingesetzt werden.

Für die Energiegewinnung ist gerade die Möglichkeit der Einstauung dieser Leitungen notwendig.

## Grundlagendaten

Zur Definition und Ausarbeitung von Varianten für die Nutzbarmachung des schlummernden Energypotentials im Trinkwassersystem der Gemeinde wurden folgende Informationen und Daten bei der Gemeinde eingefordert:

- Katasterpläne des Projektperimeters (Gebiet nördlich von Kippel)
- Topographische Pläne des Projektperimeters
- Messreihen bezüglich Wasserabfluss im Trinkwassersystem
- Übersichtspläne der Trinkwasserversorgung (Leitungssysteme mit Längsprofilen)
- Messreihen der Quellschüttungen der Quellen Engelbrunnen, Blackäbrunnen und Wengbrunnen, welche im Zusammenhang mit dem Bau des NEAT-Basistunnels durch die Geologengruppe Lötschberg-Basistunnel erhoben wurden.

## GEOGRAPHISCHE LAGE

Aus dem topographischen Kartenausschnitt Abbildung 1 ist der Verlauf des primären Rohrleitungsnetzes der Trinkwasserversorgung von Kippel ersichtlich. Der oberste Teil der Trinkwasserversorgung zwischen dem Engelbrunnen auf 1'977 müM und dem Verteiler Kippel – Ferden auf 1'773 müM ist gemeinsames Eigentum der Gemeinden Ferden und Kippel. Das bestehende Rohrleitungsnetz unterhalb des Verteilers in Richtung Druckbrecher Bletschä, ist alleiniges Eigentum der Gemeinde Kippel. Das im Verteiler verfügbare Wasser wird im Verhältnis 24:54 auf die beiden Gemeinden Ferden und Kippel aufgeteilt.

Das Wasser aus dem Engelbrunnen genügt während den Sommermonaten den Qualitätsanforderungen für Trinkwasser nicht. Darum wird das Wasser aus dem Engelbrunnen nur im Winter, wenn die Quellschüttung des Blackäbrunnens und des Wengbrunnens die geforderten Mengen nicht mehr liefern können, genutzt.



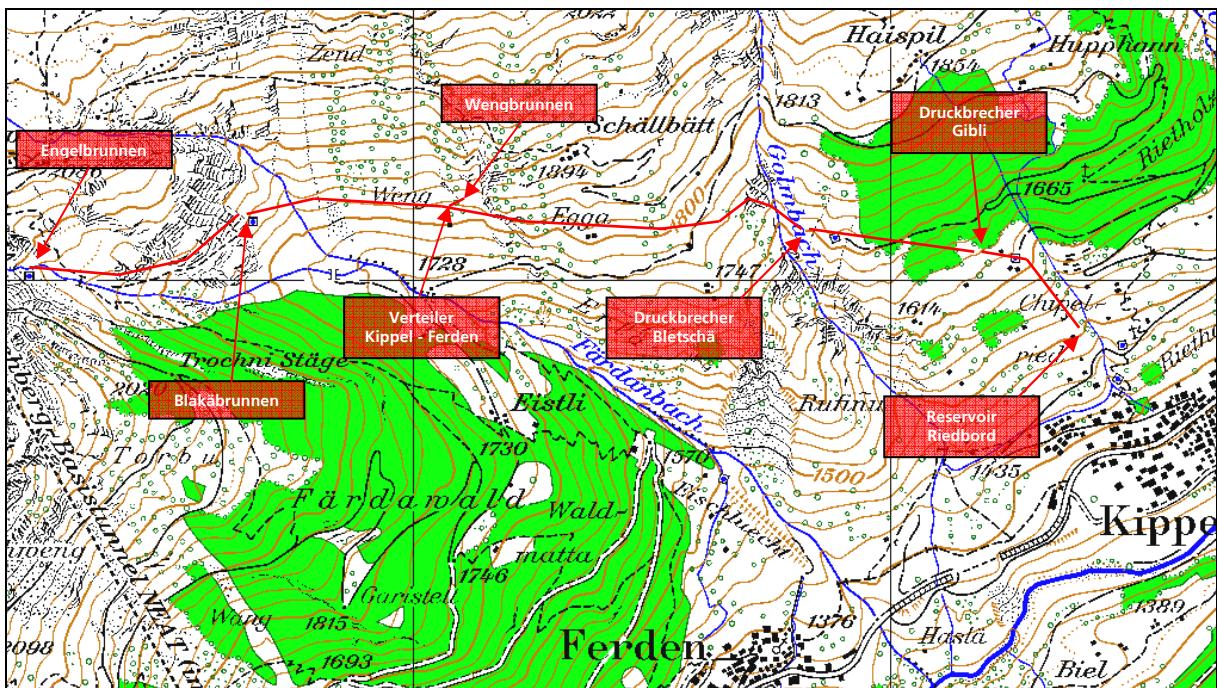


Abbildung 1: Nördliche Talflanke mit der Trinkwasserversorgung Kippel – Ferden

## ABFLUSSGANGLINIEN / ABFLUSSDAUERKURVEN

### Quellschüttung der Trinkwasserquellen

Abflussganglinien und Abflussdauerkurven für die zu untersuchenden Quellen basieren auf Messdaten, welche von der BLS-AlpTransit AG zwischen 1995 und 2005 im Zusammenhang mit dem Bau des Lötschberg-Basistunnels erhoben wurden. Die betroffenen Wasserquellen, welche von den Gemeinden Kippel und Ferden als Trinkwasserquellen genutzt werden, sind bei der BLS AlpTransit AG in einem Quellenregister gemäss der Tabelle 2 verzeichnet:

Quelle gemäss Gemeindeangaben	Quelle gemäss NEAT-Alptransit Verzeichnis
Engelsbrunnen <sup>2</sup>	FER 103
Blackäbrunnens	FER 101
Wengbrunnen	KIP 101

Tabelle 2: Quellbezeichnungen gemäss NEAT-Alptransit Verzeichnis

Die Abflussganglinien und -dauerkurven für die in Tabelle 2 erwähnten Quellen sind für die Jahre 2002 – 2004 in Anhang 1 dargestellt. Diese Abflussdauerkurven bilden die Grundlage zur Bestimmung der Ausbauwassermenge. Diese ist ein entscheidender Faktor bei der Auslegung von Stromerzeugungsanlage.

Da die Quellschüttung des Engelsbrunnens während der Sommermonate ein enormes Ausmass annimmt, war eine vernünftige Messung in diesen Perioden unmöglich. Die Qualität der Daten ist entsprechend niedrig. Die Daten des Engelsbrunnens werden aufgrund der Wasserqualität in der Studie nicht mit einbezogen und befinden sich lediglich der Vollständigkeit halber im Anhang 1.

## Variantenstudien

Die Sichtung der Planunterlagen und der Leitungsprofilpläne sowie die Abflussdauerkurven der Quel-

<sup>2</sup> Nur im Winter als Trinkwasserquelle genutzt



len bilden die Grundlage für die Festlegung von Varianten. Aufgrund der Eigentumsverhältnisse der bestehenden Trinkwasserversorgung ist für die Gemeinde Kippel eine energetische Nutzung des Trinkwassers ab dem Verteiler Kippel - Ferden auf 1'773 müM interessant. Aufgrund der moderaten, maximal möglichen Abflüsse aus den Brunnenstuben, welche durch die hydraulischen Bedingungen (kleine Rohrdurchmesser) gegeben sind, fallen beim Verteiler Ferden – Kippel auf 1'773 müM sowie dem Blackäbrunnen und dem Engelbrunnen entsprechende Überläufe an, welche dem Färdanbach zugeleitet werden.

Grundsätzlich ist die energetische Nutzung dieser Überläufe denkbar und technisch realisierbar. Für die Gemeinde Kippel kann sich daraus ein wirtschaftlich nicht unwesentlicher Mehrnutzen ihrer Infrastrukturanlagen ergeben. Die Dimensionierung des Vorfluters sowie des Überlaufkanal unterhalb des Reservoirs Riedbord sind entsprechend der zu erwartenden Wassermengen zu überprüfen.

## ENERGETISCHE NUTZUNG DER BESTEHENDEN INFRASTRUKTUR

Die bestehende Infrastruktur der Trinkwasserversorgung Kippel kann nicht ohne bauliche Anpassungen und Änderungen energetisch genutzt werden. Der Grund dafür liegt in der technischen Beschaffenheit der verbauten Rohrleitungen und dem bestehenden Anlagenkonzept. Da die Leitungsausflüsse in den Druckbrechern und im Reservoir frei sind (es gibt an den Einläufen zu diesen Gebäuden keine Armaturen oder anderweitige Absperrorgane), kann sich in den Leitungen kein Staudruck bilden, die Leitungen werden dadurch kaum auf Druck beansprucht. Daher sind diese in den Sechzigerjahren für einen maximalen Druck von 4 bar ausgelegt worden. Da die Höhendifferenz zwischen dem Druckbrecher „Gibli“ (1'614 müM) und dem Reservoir „Riedbord“ (1'475 müM) bereits 138.49 Meter beträgt, würde sich durch das Stauen des Wassers in der Röhre, was zur energetischen Nutzung unbedingt erforderlich ist, ein Staudruck von etwa 14 bar ergeben. Die eingebauten Rohrleitungen würden unter diesem Druck bersten. Dieselbe Problematik besteht zwischen dem Verteiler Ferden – Kippel (1'773 müM) und dem Druckbrecher „Gibli“ (1'614 müM) wo durch Stauen des Wassers beim Druckbrecher „Gibli“ ein hydrostatischer Druck von beinahe 16 bar in der Rohrleitung entstünde.

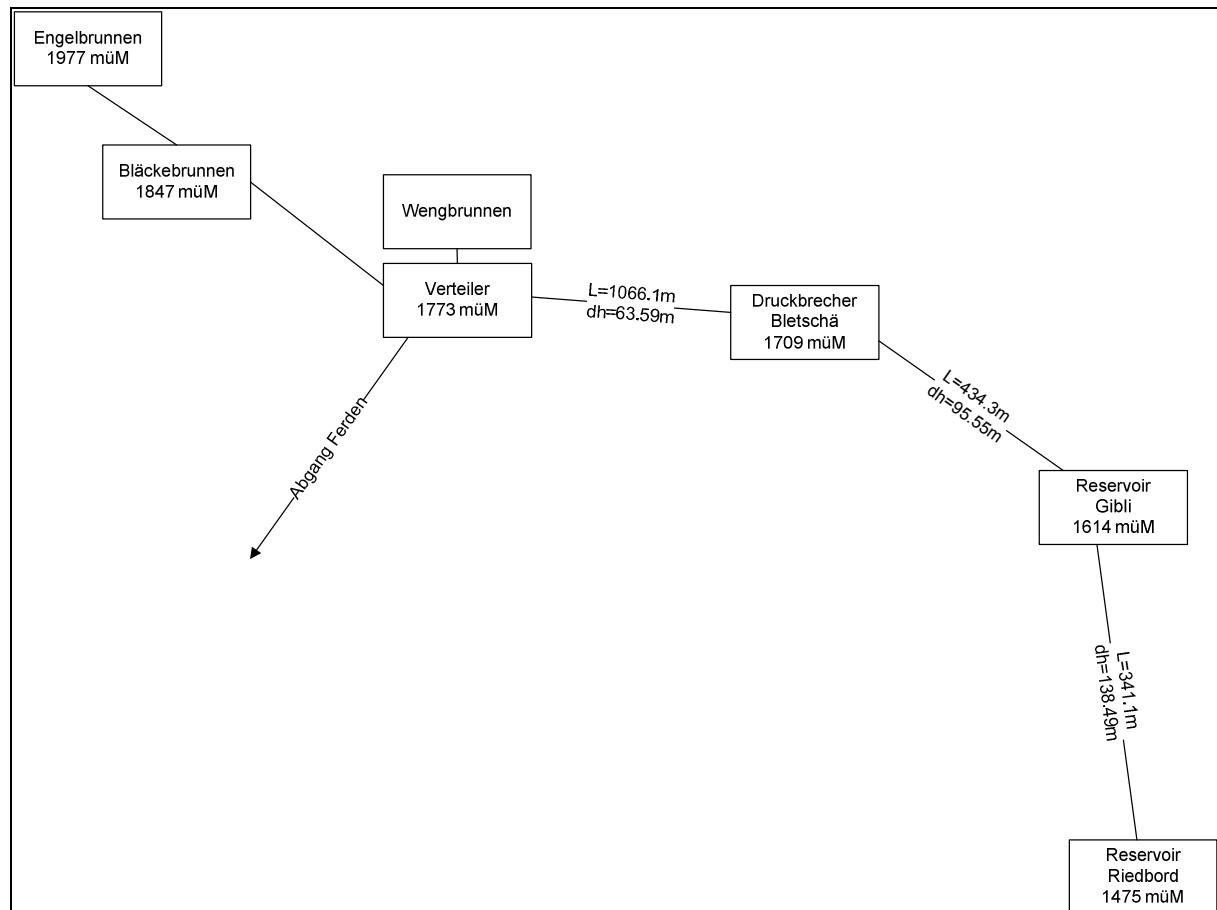


Abbildung 2: Bestehende Infrastruktur Trinkwasserversorgung Kippel



## **Eine energetische Nutzung der Trinkwasserversorgung ist ohne deren Sanierung / Erneuerung technisch nicht realisierbar und nicht sinnvoll.**

Aus den Entwürfen der Zonennutzungspläne der Gemeinde Kippel vom 24.3.06, welche durch die Architektur- und Raumplanungs AG ABW erstellt worden sind geht hervor, dass neu die Gegend „Chipelried“ (W2) zur Dorfzone, sowie „Chipelried“ (F2-West und F2-Ost) zur Ferienhauszone gehören werden. Da sich das Reservoir „Riedbord“ etwa auf Höhe der neuen Dorfzone resp. Ferienhauszone befindet, ist zur Gewährleistung der Wasserversorgung dieser Hochzonen der Bau eines neuen Reservoirs in der Gegend des heutigen Druckbrechers „Gibli“ unumgänglich. Diese Tatsache ist für den weiteren Verlauf der Studie von grösster Bedeutung und erlaubt in gewissem Sinn die getrennte Be- trachtung von Trinkwasserversorgung und Energiegewinnungsanlagen.

Die Nutzung des Wasservorkommens auf dem Bifig, sowie der Quelle(n) oberhalb der Gitzwanne sollte aufgrund der saisonal bedingten Trinkwasserknappheit, Zwecks Einspeisung in das bestehende Trinkwassernetz der Gemeinde Kippel, genauer untersucht werden. Gerade die Fassung des Wassers des Chastlerrabachs im Quellgebiet oberhalb der Gitzwanne könnte neben der Nutzung als Trinkwas- ser mit hoher Wahrscheinlichkeit energetisch, wirtschaftlich genutzt werden.

Das Wassers aus der Umgebung von Bifig könnte mit relativ geringem Aufwand in das bestehende Trinkwassernetz eingespeist werden, da vor einigen Jahren eine Rohrleitung vom Bifig bis vis-à-vis dem Dorf Kippel zu diesem Zweck verlegt wurde. Der Bau eines Reservoirs auf dem Bifig sowie eine Verbindungsleitung zwischen dem Ende der verlegten Leitung und der Dorfringleitung in der näheren Umgebung des Campingplatzes wären jedoch unumgänglich. Von einer energetischen Nutzung der Quellen auf dem Bifig ist aufgrund des geringen Wasservorkommens abzusehen.

### **Grobkostenschätzung Erneuerung Trinkwasserversorgung**

Die Grobkostenschätzung für die Erneuerung der Trinkwasserversorgung der Gemeinde Kippel zur Gewährleistung der Wasserversorgung der neuen Dorfhochzone sowie die Nutzung des Energiepotentials sieht die Sanierung, Teilsanierung oder den Ersatz von folgenden Anlagenkomponenten vor:

- Reservoir Riedbord (Sanierung und Erweiterung)
- Rohrleitung Riedbord – Gibli (Erneuerung)
- Druckbrecher Gibli (Umbau in ein Reservoir, Ersatz)
- Rohrleitung Gibli – Bletschä (Erneuerung)
- Druckbrecher Bletschä (Sanierung)
- Rohrleitung Bletschä – Verteiler Weng (Erneuerung)
- Verteiler Weng (Teilsanierung)

Eine Grobschätzung der anfallenden Kosten für die oben aufgeführten Posten ist aus Tabelle 3 und Tabelle 4 ersichtlich.

### *Druckleitungsbau*

Für die energetische Nutzung spielt der Nenndurchmesser der Druckleitung eine wichtige Rolle. Darum wird die Druckleitung im oberen Teil, d.h. zwischen dem Verteiler Ferden – Kippel mit einem Durchmesser von DN200 und im unteren Teil, zwischen Gibli und dem Reservoir Riedbord mit einem Durchmesser von DN150 realisiert. Die Druckverluste in den Röhren können damit in akzeptablen Grenzen (viel kleiner als 10%) gehalten werden.

Für den Druckleitungsbau wird ein Steckmuffenrohr aus duktilem Gusseisen der Druckklasse K9 mit Zementmörtelauskleidung innen und Flammverzinkung mit Faserzementmörtelbeschichtung inkl. Netzgewirk aussen verwendet. Als Schubsicherung wird eine Doppelkammer-Schubsicherung vom Typ BLS für TYTON-Steckmuffen eingesetzt.



	DN200 (Verteiler – Gibli)			DN150 (Gibli – Riedbord)		
Komponente	Anzahl	Kosten/Einheit	Kosten	Anzahl	Kosten/Einheit	Kosten
<b>Rohrleitungen</b>	1500m	114.-	171'000.-	350m	82.-	28'700.-
<b>Schubsicherungen</b>	255Stk.	10.-	2'550.-	70Stk.	9.-	630.-
<b>Dichtungen</b>	255Stk.	14.-	3'570.-	70Stk.	10.-	700.-
<b>Formstücke</b>	8Stk.	400.-	3'200.-	3Stk.	300.-	900.-
<b>Armaturen</b>	5Stk.	3'000.-	15'000.-	5Stk.	2'000.-	10'000.-
<b>Aushub/Rückbau</b>	1	100'000.-	100'000.-	1	30'000.-	30'000.-
<b>Investition</b>			<b>295'320.-</b>			<b>70'930.-</b>

Tabelle 3: Geschätzte Kosten für den Bau von Druckleitung(en)

#### Gebäude und Wasserbauten

Für das Reservoir Riedbord ist eine Komplettsanierung vorgesehen. Die Komplettsanierung beinhaltet unter anderem den Bau / Anbau eines Gebäudes für die Integration von elektromechanischen Komponenten welche für den Betrieb eines Kleinkraftwerks benötigt werden. Der Anhang 11 zeigt eine entsprechende Skizze.

Der Verteiler Ferden – Kippel wird im Rahmen der Erneuerung der Trinkwasserversorgung totalsaniert.

Der Druckbrecher Gibli wird abgerissen und durch ein Reservoir ersetzt. Das Reservoir wird so gebaut, dass eine elektromechanische Ausrüstung für den Betrieb eines Kleinwasserkraftwerks untergebracht werden kann. Eine entsprechende Skizze ist in Anhang 10 enthalten.

Der Druckbrecher Bletschä wird rohrleitungstechnisch kurzgeschlossen und dient bei der erneuerten Anlage nur noch als Zugangs- und Kontrollschacht.

Armaturen und Becken zur Druckminderung/Vernichtung werden nicht mehr benötigt. Allenfalls werden in diesen Bauten noch Abgänge mit Druckreduzierung für die Speisung von benachbarten Gebäuden vorgesehen.

Gebäude	Nötige Massnahmen	Geschätzte Kosten
Reservoir Riedbord	Sanierung/Erweiterung	180'000.-
Druckbrecher Gibli	Umbau zu Reservoir	295'000.-
Druckbrecher Bletschä	Teilsanierung	50'000.-
Verteiler Ferden – Kippel	Sanierung	173'000.-
<b>Investition</b>		<b>536'000.-</b>

Tabelle 4: Geschätzte Kosten für Gebäudesanierungen und Umbauarbeiten

Die Schätzung der Gesamtkosten zur Erneuerung der bestehenden Infrastruktur setzen sich aus den Kosten für die zwei Druckleitungsabschnitte gemäss Tabelle 3 sowie den Kosten für die Sanierung / Erneuerung der Gebäuden gemäss Tabelle 4 zusammen und belaufen sich demzufolge auf CHF 902'250. Eine detaillierte Kostenschätzung für wasserbauliche Massnahmen und Gebäudesanierungen sowie Umbauten und Erweiterungen ist in Anhang 4 enthalten.

Anfallende Kosten für die Einspeisung der Quellen aus der Nordflanke, gegenüber dem Dorf Kippel in die Dorfringleitung sind in dieser Schätzung nicht mit einbezogen.

#### ENERGETISCHE NUTZUNG DER ERNEUERTEN INFRASTRUKTUR

Die nachfolgende Variante zur Nutzung des Energiepotentials der Trinkwasserversorgung basieren



auf einer sanierten / erneuerten Trinkwasserversorgung gemäss vorangehender Beschreibung (siehe Abbildung 3).

Die Ausbauwassermenge wurde aufgrund der Abflussdauerkurven der Quellen Blackäbrunnen und Wengbrunnen und unter Berücksichtigung des Verhaltens der relativen Wirkungsgrade von Turbinen festgelegt.

Da das Wasser aus dem Engelsbrunnen zum heutigen Zeitpunkt nicht während dem ganzen Jahr ins Trinkwassernetz eingespeist werden darf, wurde diese „Quelle“ für die folgenden Betrachtungen nicht berücksichtigt. Sollte sich aufgrund laufender Abklärungen durch die Gemeinde Kippel herausstellen, dass wenigstens ein Teil des aus dem Engelsbrunnen anfallenden Wassers doch permanent ins Trinkwassernetz eingespeist werden kann, würde die Ausbauwassermenge für die Anlage erhöht werden. Die Leitungen sind für eine Ausbauwassermenge von 40 l/s (bei 8.3% Höhenverlust) zwischen dem Verteiler und Gibli sowie 35 l/s (bei 7.7% Höhenverlust) zwischen dem Gibli und dem Reservoir Riedbord für diesen Fall ausreichend.

### Grobkonzept

Das Trinkwasser wird im Verteiler Kippel – Feren in die Druckleitung eingeleitet und im Reservoir Gibli erstmals turbiniert. Das verbleibende Wasser aus dem Reservoir Gibli wird wieder in eine Druckleitung eingeleitet und der Zentrale Riedbord zugeführt, wo es ein zweites Mal turbiniert wird (siehe Abbildung 3). Zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung der Hoch- und Niederzone werden die Wasserstände in den beiden Reservoirs Gibli und Riedbord überwacht und die Kraftwerksanlagen entsprechend der verfügbaren Wassermassen gesteuert.

Die erzeugte elektrische Energie aus der Zentrale Gibli kann über einen Transformator und eine ca. 120 Meter lange, zu erstellende, bodenverlegte Hochspannungsleitung oberhalb Chipelried ins Netz eingespeist werden. Die Einspeisung der erzeugten Energie der Zentrale Riedbord kann mittels Transformator direkt bei der Zentrale erfolgen, da die Hochspannungsleitung, welche vom Schulhaus Kippel auf die Lauchernalp führt, in unmittelbarer Nähe zum Reservoir Riedbord verläuft.

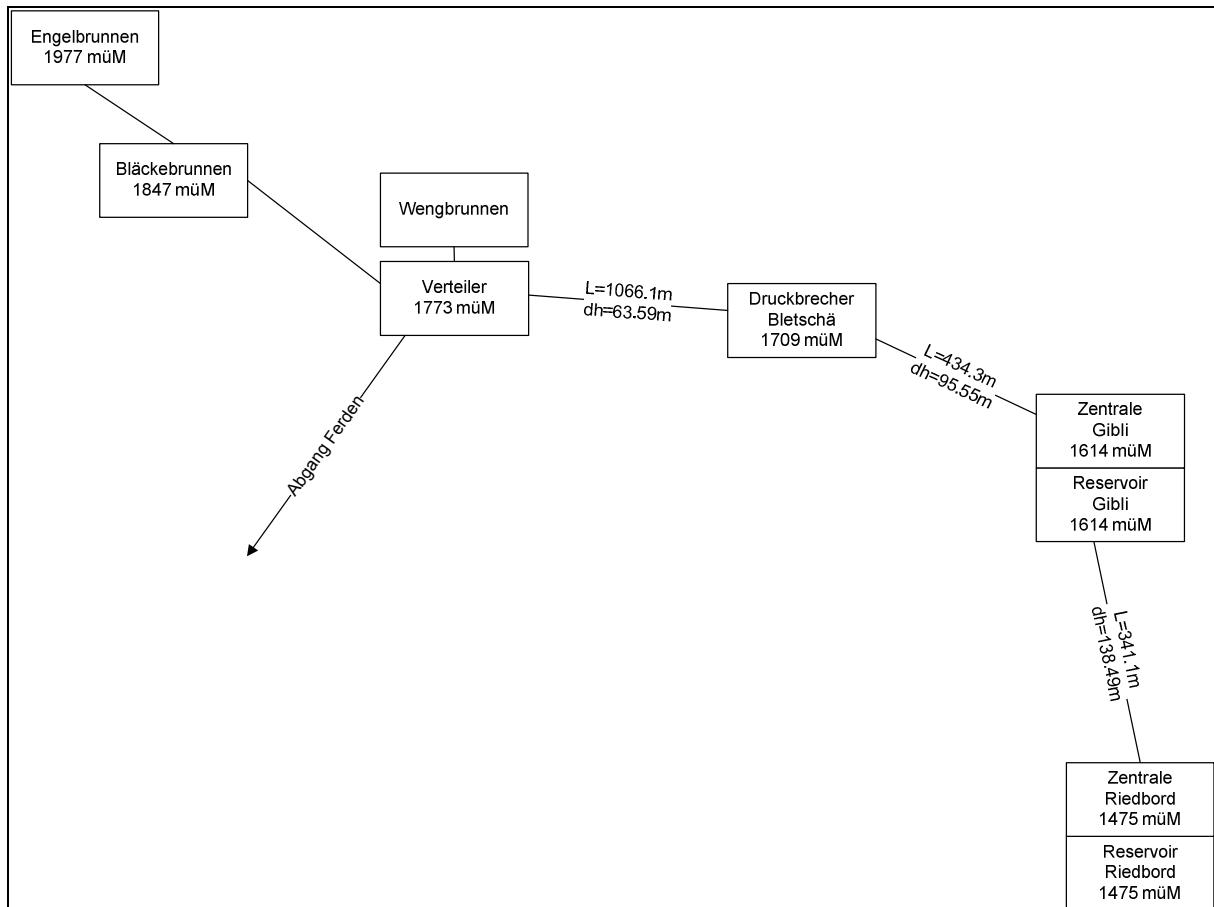


Abbildung 3: Erneuerte Infrastruktur Trinkwasserversorgung Kippel



## Anlagenauslegung

Ziel der Kraftwerksanlage ist die Maximierung der Energieproduktion. Die Ausbauwassermenge hängt in hohem Masse von der Charakteristik der Abflussdauerkurven des Weng- und des Blackäbrunnens (siehe Anhang 1) ab. Für Kraftwerksanlagen die im Netzparallelbetrieb arbeiten, wird die Ausbauwassermenge in der Regel zwischen  $Q_{95}$  und  $Q_{50}$  gewählt.

Um den Einfluss der Wassermenge auf den Turbinenwirkungsgrad über den gesamten Quellabflussbereich zu untersuchen, sind die minimale und maximale Abflussmenge, sowie  $Q_{91}$  ermittelt, und über die spezifischen Drehzahlen die zum Einsatz kommenden Turbinentypen für die Zentralen Gibli und Riedbord bestimmt worden.

Erhebungsjahr	$Q_1$ Wengbrunnen [l/min]	$Q_1$ Blackäbrunnen [l/min]	$Q_1$ Total [l/min]
2002	489.8	123.2	613.0
2003	545.1	118.7	663.8
2004	555.0	113.7	668.7
Jährlich Ø	530.0	118.5	<u>648.5</u>
Total: 78 Teile	530.0	118.5	648.5
Ferden: 24 Teile	163.1	36.5	199.6
<b>Kippel: 54 Teile</b>	<b>366.9</b>	<b>82.0</b>	<b><u>448.9</u></b>

Tabelle 5: Ermittlung von  $Q_{min}$

Erhebungsjahr	$Q_{91}$ Wengbrunnen [l/min]	$Q_{91}$ Blackäbrunnen [l/min]	$Q_{91}$ Total [l/min]
2002	1135.4	195.9	1331.1
2003	947.0	224.1	1171.1
2004	1063.0	274.2	1337.2
Jährlich Ø	1048.5	231.4	<u>1279.8</u>
Total: 78 Teile	1048.5	231.4	1279.8
Ferden: 24 Teile	322.6	71.2	393.8
<b>Kippel: 54 Teile</b>	<b>725.9</b>	<b>160.2</b>	<b><u>886.0</u></b>

Tabelle 6: Ermittlung von  $Q_{91}$

Erhebungsjahr	$Q_{365}$ Wengbrunnen [l/min]	$Q_{365}$ Blackäbrunnen [l/min]	$Q_{365}$ Total [l/min]
2002	1519.7	235.8	1755.5
2003	1742.0	314.8	2056.8
2004	1426.0	275.7	1701.7
Jährlich Ø	1562.5	275.4	<u>1837.9</u>
Total: 78 Teile	1562.5	275.4	1837.9
Ferden: 24 Teile	480.8	84.7	565.5
<b>Kippel: 54 Teile</b>	<b>1081.7</b>	<b>360.1</b>	<b><u>1441.8</u></b>

Tabelle 7: Ermittlung von  $Q_{max}$

Die für die Gemeinde Kippel nutzbaren Wassermengen bewegen sich von 7.5 l/s im Winter bis zu 21 l/s im Frühling und Frühsommer. Die relativen Durchflussmengen liegen damit bei 100 % für den maximalen Abfluss von 21 l/s und bei 35 % für den minimalen Abfluss von 7.5 l/s. Im Anhang 7 ist der



Zusammenhang zwischen relativer Abflussmenge und relativem Wirkungsgrad sowie der resultierende Arbeitsbereich für die berechneten Wassermengen für die Zentralen Gibli und Riedbord dargestellt.

Die Wahl des Turbinentyps für die Zentralen Gibli und Riedbord wurden über die spezifischen Drehzahlen  $n_s$  getroffen. Entsprechend dem Diagramm aus Anhang 8 fällt die Wahl für die ermittelten spezifischen Drehzahlen für beide Anlagen auf eine Peltonturbine. Dieser Turbinentyp verarbeitet Wassermengen bis etwa 10 % der Nennwassermenge wirtschaftlich. Aus Anhang 7 ist ersichtlich, dass der relative Wirkungsgrad dieses Turbinentyps bei der relativen Wassermenge von 35 % noch oberhalb von 95 % liegt. Die Ausbauwassermenge kann daher auf den maximalen Abfluss von 21 l/s liegen, ohne dass merkliche Einbussen des Gesamtwirkungsgrads der Anlage durch die minimal zur Verfügung stehende Wassermenge in Kauf genommen werden müssen.

	Zentrale Gibli	Zentrale Riedbord
<b>Berechnungsbasis</b>		
Druckleitungslänge [m]	1500.4	341.1
Druckleitungsdurchmesser [mm]	200	150
Stricklerfaktor	100	100
Ausbauwassermenge [l/s]	21	21
Geodätische Höhendifferenz [m]	159.09	138.49
Mittlerer Wirkungsgrad Turbine [%]	80	80
Mittlerer Wirkungsgrad Generator [%]	90	90
Maschinendrehzahl [ $\text{min}^{-1}$ ]	1500	1500
<b>Charakteristische, berechnete Größen der Energiegewinnungsanlagen</b>		
Fliessgeschwindigkeit in der Druckleitung [m/s]	0.668	1.188
Nettofallhöhe [m]	155.5	134.6
Höhenverluste [%]	2.3	2.8
Hydraulische Leistung [kW]	32.0	27.7
Mechanische Leistung [kW]	25.6	22.2
Spezifische Maschinendrehzahl $n_s$ [.]	15	16.7
Elektrische Leistung [kW]	23.0	20.0
Vollastäquivalent [Stunden]	5'280	5'280
Jahresproduktion [kWh]	121'744	105'455

Tabelle 8: Hydraulische und energetische Eckdaten

## Anlagenkonzept

### Hydro- und elektromechanische Ausrüstung

Um die Kosten für die hydro- und elektromechanischen Einrichtungen auf einem Minimum zu halten, sollen weitestgehend Standardkomponenten zum Einsatz gebracht werden. Für beide Zentralen ist der Einbau einer Peltonturbine mit vertikaler Achslage geplant. Die Maschinendrehzahl wurde auf  $1500 \text{ min}^{-1}$  festgelegt.

Die Turbinen sind mit je einer gesteuerten Düse versehen. Der Düsendurchmesser muss für die Ausbauwassermenge von 21 l/s bei 23 mm liegen. Es ist kein Strahlablenker vorgesehen. Die Turbinen sind direkt auf der Wellenverlängerung eines Asynchrongenerators gekoppelt, um die Transmissionsverluste so gering wie möglich und die Anlage so kompakt wie möglich zu halten. Um Elektrokorrosion am Übergang zwischen Turbinenrad und Generatorwelle zu vermeiden, ist eine Wellenverlängerung aus rostfreiem Material vorgesehen.

Bei einer Nenndrehzahl von  $1500 \text{ min}^{-1}$  müssen die Beaufschlagungskreise der Turbinen bei 340 mm für die Zentrale Gibli und bei 315 mm für die Zentrale Riedbord liegen. Jedes Turbinenrad enthält etwa 23 Becherschaufeln. Die Schaufelgeometrie ist in Anhang 5 und Anhang 6 berechnet worden. Alle



benetzten Systemkomponenten werden aus rostfreiem Stahl gefertigt. Anhang 10 und Anhang 11 zeigen die Reservoirs mit Zentralenanbau und die Anordnung der Systemkomponenten in den Räumlichkeiten.

Die Steuerung der Maschinen erfolgt über die verfügbare Wassermenge. Dazu wird für die Zentrale Gibli eine Wasserstandsmessung im Verteiler, für die Zentrale Riedbord im Reservoir Gibli eingebaut. Die Wasserstandsmessung erfolgt nach dem Prinzip der Sohlendruckmessung mittels standardisierter piezoelektrischer Drucktransmitter. Es wird immer die maximal zur Verfügung stehende Wassermenge turbiniert.

Es wird ein Drehstrom-Asynchrongenerator mit einer Nominalleistung von 30 kVA auf der Spannungsebene von 400 V eingesetzt. Die innere thermische Absicherung des Generators erfolgt über 5 in den Wicklungen untergebrachte PT-100 Temperatursensoren. Die erzeugte Energie wird über eine Netzparallel-Schaltanlage und einen Transformator 0.4 kV / 16 kV ins Verbundnetz eingespeist.

## **Wirtschaftlichkeit**

Die Kosten für die Erneuerung der Trinkwasserversorgung sind in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt. Die Investitionskostenschätzung enthält lediglich die Kosten für die elektromechanischen Anlagenteile zur Stromerzeugung, Netzanbindung und Steuerung sowie die Projektierungskosten und anfallende Gebühren.

### *Investitionskostenschätzung Zentrale Gibli*

In der Kostenschätzung für die Zentrale Gibli sind zur Erstellung der Druckleitung keine Kosten eingesetzt worden. Der bestehende Druckbrecher Gibli muss im Rahmen des Aufbaus der Infrastruktur für Chipelried durch ein Reservoir ersetzt werden. Innerhalb des Reservoirs kann mit einem finanziellen Mehraufwand von CHF 15'000 Platz zum Einbau der Elektromechanik und Steuerung eines Kleinwasserkraftwerks geschaffen werden.

	Kostenschätzung [CHF]	Anteil an Gesamtinvestition [%]
<b>Druckleitung</b>	0	0
<b>Gebäude und Wasserbauten</b>	15'000	9
<b>Elektromechanische Ausrüstung</b> (bestehend aus 1 und 3 aus Detailkostenschätzung)	110'700	66
<b>Netzanbindung</b> (bestehend aus 2 aus Detailkostenschätzung)	11'000	7
<b>Zwischensumme</b>	<b>136'700</b>	
<b>Reserven (10% auf Zwischensumme)</b>	13'670	8
<b>Projektierung und Gebühren (12% auf Zwischensumme)</b>	16'404	10
<b>Gesamtinvestitionskosten</b>	<b>166'774</b>	<b>100</b>

Tabelle 9: Grobkostenschätzung für Zentrale Gibli

### *Investitionskostenschätzung Zentrale Riedbord*

Die Kosten für die Sanierung des Reservoirs Riedbord sind gemäss Tabelle 4 mit CHF 180'000 veranschlagt. Die Kosten für den zur Unterbringung der elektromechanischen Einrichtung erforderlichen Anbau am Reservoir Riedbord sind in der Grobkostenschätzung mit CHF 15'000 berücksichtigt worden.



	Kostenschätzung [CHF]	Anteil an Gesamtinvestition [%]
<b>Druckleitung</b>	0	0
<b>Gebäude und Wasserbauten</b> (Anteil an Wasser- resp. Ingenieurbau Reservoir Riedbord)	15'000	10
<b>Elektromechanische Ausrüstung</b> (bestehend aus 1 und 3 aus Detailkostenschätzung)	106'200	70
<b>Netzanbindung</b> (bestehend aus 2 aus Detailkostenschätzung)	2'300	2
<b>Zwischensumme</b>	<b>123'500</b>	
<b>Reserven (10% auf Zwischensumme)</b>	12'350	8
<b>Projektierung und Gebühren (12% auf Zwischensumme)</b>	14'820	10
<b>Gesamtinvestitionskosten</b>	<b>150'670</b>	<b>100</b>

Tabelle 10: Grobkostenschätzung für Zentrale Riedbord

#### Investitionsrechnung

Die Investitionskosten- und Rentabilitätsberechnung der Anlage basiert auf einem statischen Annuitätenmodell mit fester Verzinsung von 5% über 25 Jahre. Die Vergütungen für produzierte Energie wurden mittels Online-Tarifrechner von Swissgrid kalkuliert. Die Werte sind unverbindlich.

	Zentrale Gibli	Zentrale Riedbord
<b>Kapitalkosten [CHF]</b>		
Gebäude u. Wasserbauten Amortisationszeitraum: 25 Jahre; Nettozinssatz: 5%	1'064	1'064
Elektromechanische Ausrüstung Amortisationszeitraum: 25 Jahre; Nettozinssatz: 5%	8'635	7'698
Projektierung und Gebühren Amortisationszeitraum: 25 Jahre; Nettozinssatz: 5%	1'164	1'052
Gesamtkapitalkosten [CHF]	10'863	9'814
<b>Betriebs- und Unterhaltskosten [CHF]</b>		
Turbinen u. el. Anlagenteile Jahreskostensatz: 2%	3'335	3'013
Druckleitungen Jahreskostensatz: 1.2%	2'000	1'808
Maschinenhaus u. Nebenanlagen Jahreskostensatz: 0.5%	834	753
Versicherungen u. Administration	1'668	1'507



Jahreskostensatz: 1.0%		
Gesamtbetriebs- und Unterhaltskosten [CHF]	7'837	7'081
<b>Jahresgesamtkosten und Energiegestehungspreis</b>		
Jahresgesamtkosten [CHF]	18'700	16'895
Energiegestehungspreis [Rp/kWh]	8.64	10.39
Verkaufspreis [Rp/kWh]	25.82	26.56
<b>Jährlicher Gewinn/Verlust [CHF]</b>	<b>12'733</b>	<b>11'113</b>

Tabelle 11: Wirtschaftlichkeit der energetischen Nutzung einer erneuerten Trinkwasserversorgung

Durch die energetische Nutzung der Trinkwasserinfrastruktur kann die Gemeinde Kippel unter der Voraussetzung der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) jährlich bis zu CHF 23'400 erwirtschaften.

Weitere Voraussetzungen sind:

- die Sanierung / Teilerneuerung des bestehenden primären Trinkwassernetzes, damit dieses zur Gewinnung von elektrischer Energie genutzt werden kann
- die anfallenden Kosten für die Sanierung resp. Erneuerung des primären Trinkwassernetzes dürfen nicht zu Lasten der Energiegewinnung berechnet werden

## EMPFEHLUNGEN

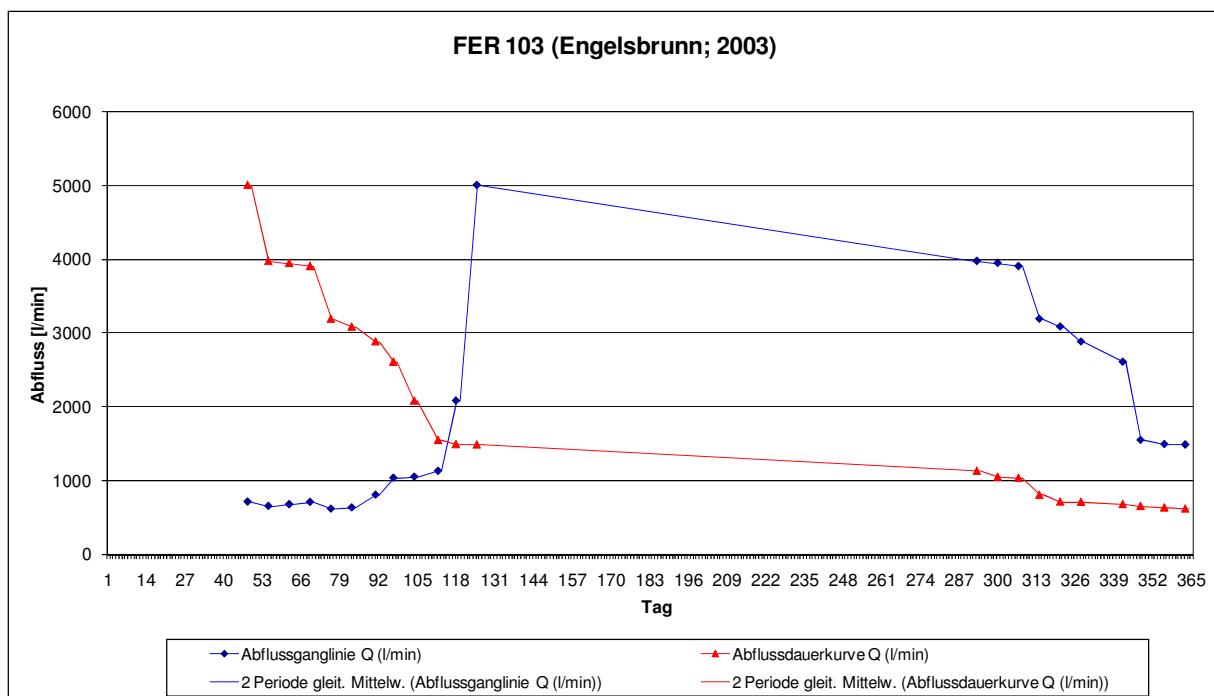
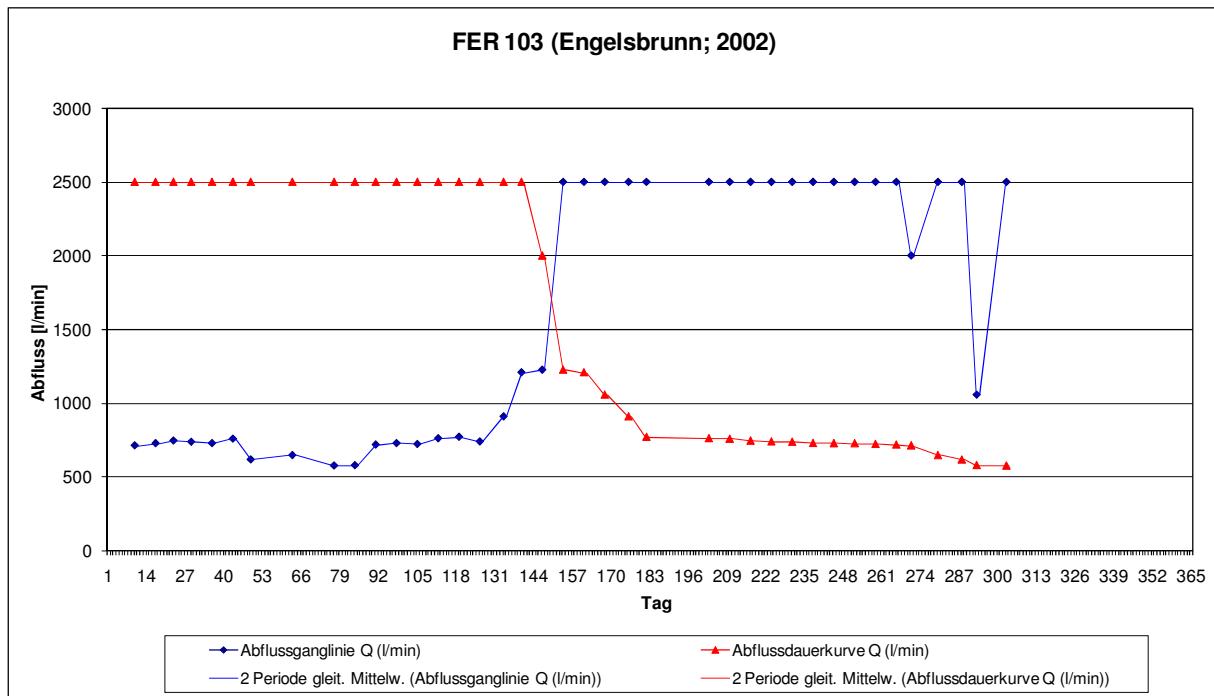
Da bei den bestehenden Trinkwasserinstallationen im Laufe der kommenden Jahre aufgrund ihres Zustandes und Alters Sanierungs- resp. Erneuerungsbedarf ansteht, sind weitere Abklärungen durch einen Bauingenieur zu tätigen. Insbesondere sind die Kosten für eine Erneuerung des primären Trinkwassernetzes zu eruieren. Dabei ist den Resultaten aus dieser Studie Rechnung zu tragen. Von besonderer Bedeutung sind die Rohrdurchmesser und die Druckklassen, damit das Leitungsnetz eingestaut werden kann. Diese Gesichtspunkte müssen in die Arbeit des Bauingenieurs dringend einbezogen werden.

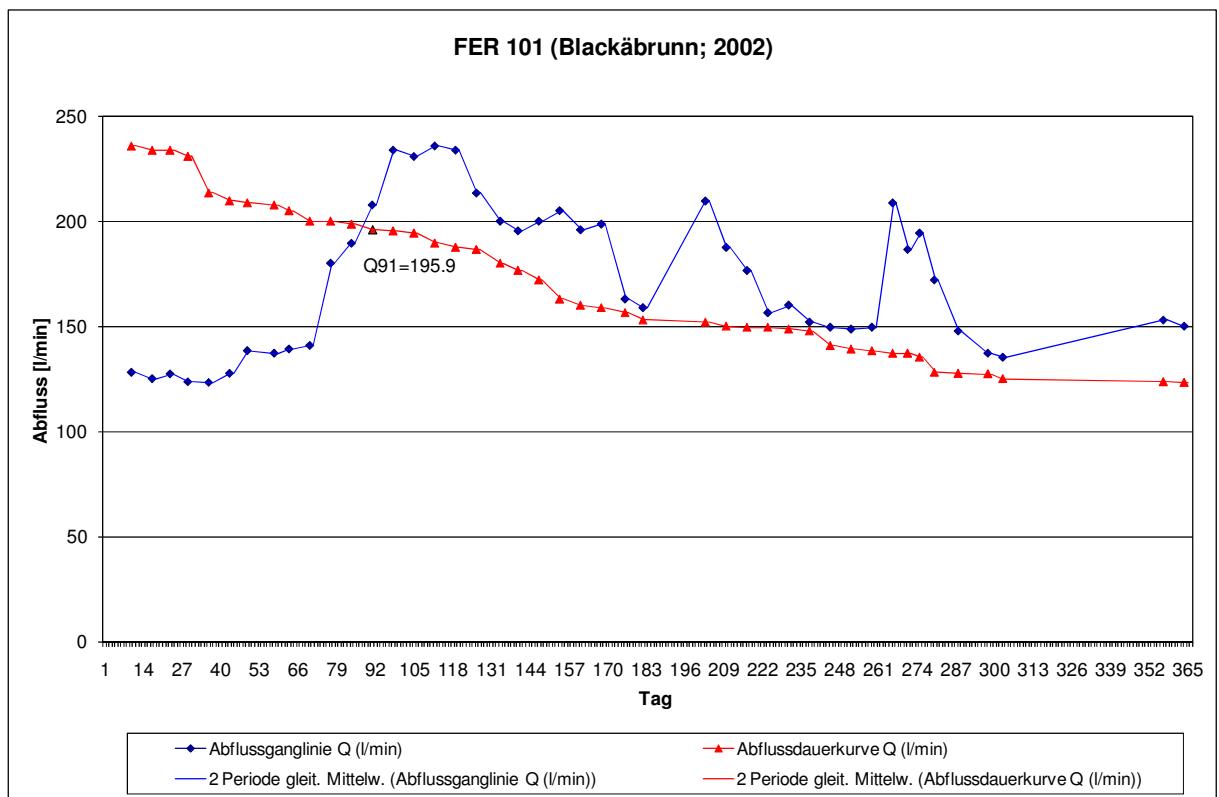
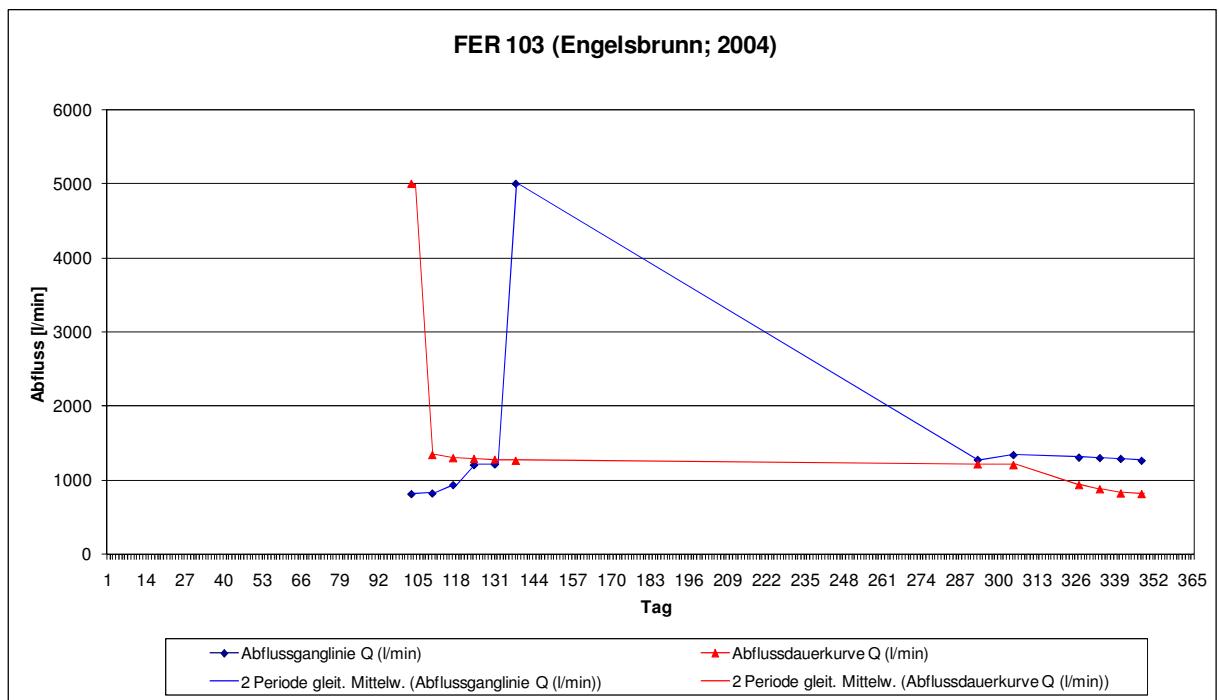
Die Anmeldung der Anlagen an die kostendeckende Einspeiseverordnung wird ebenfalls empfohlen. Diesbezüglich sind alle für den Anmeldeprozess relevanten Vollmachten und Dokumente bereitzustellen. Insbesondere sind betroffene Grundbesitzer über das Vorhaben zu informieren. Um einen reibungslosen Ablauf im Anmeldeverfahren zu gewährleisten ist ein Anschlussbegehren beim Betreiber des Mittelspannungsnetzes einzureichen. Dieses ist für eine Anmeldung zur KEV zwingend erforderlich und hat vor der Einreichung des Anmeldedossiers bei swissgrid zu erfolgen.

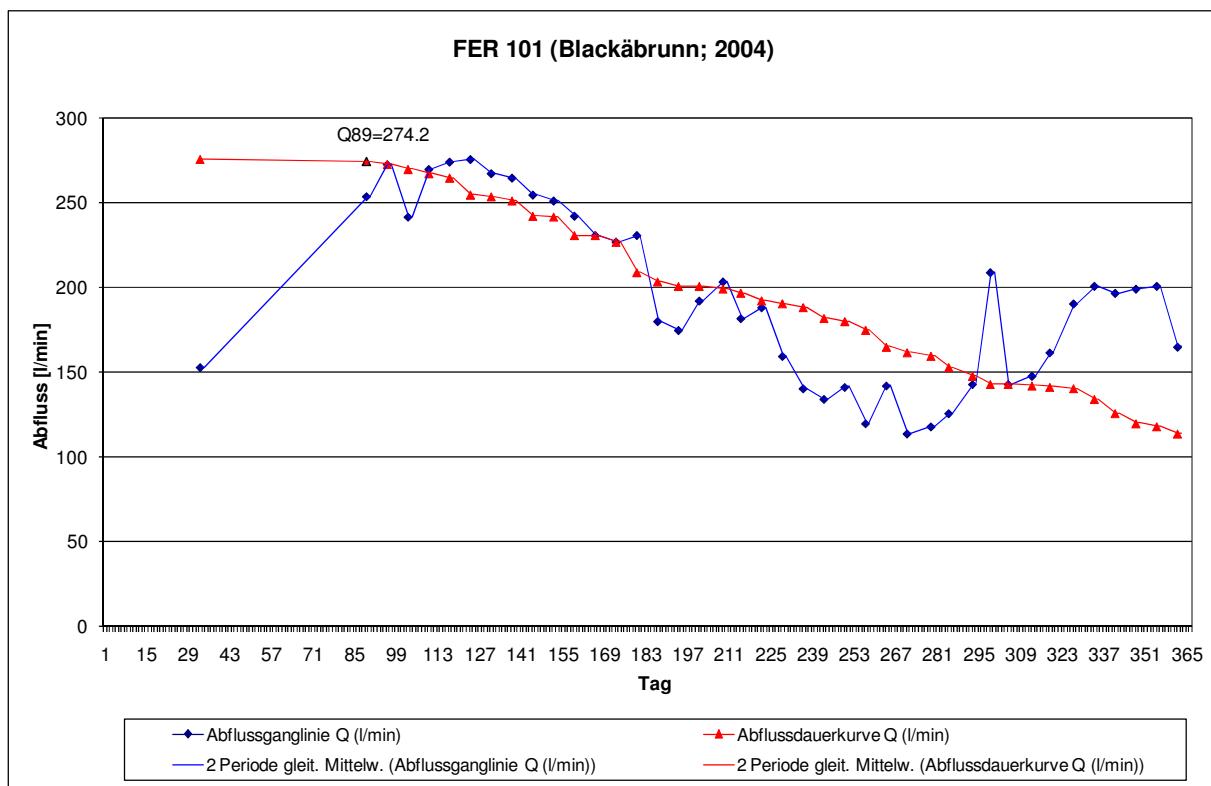
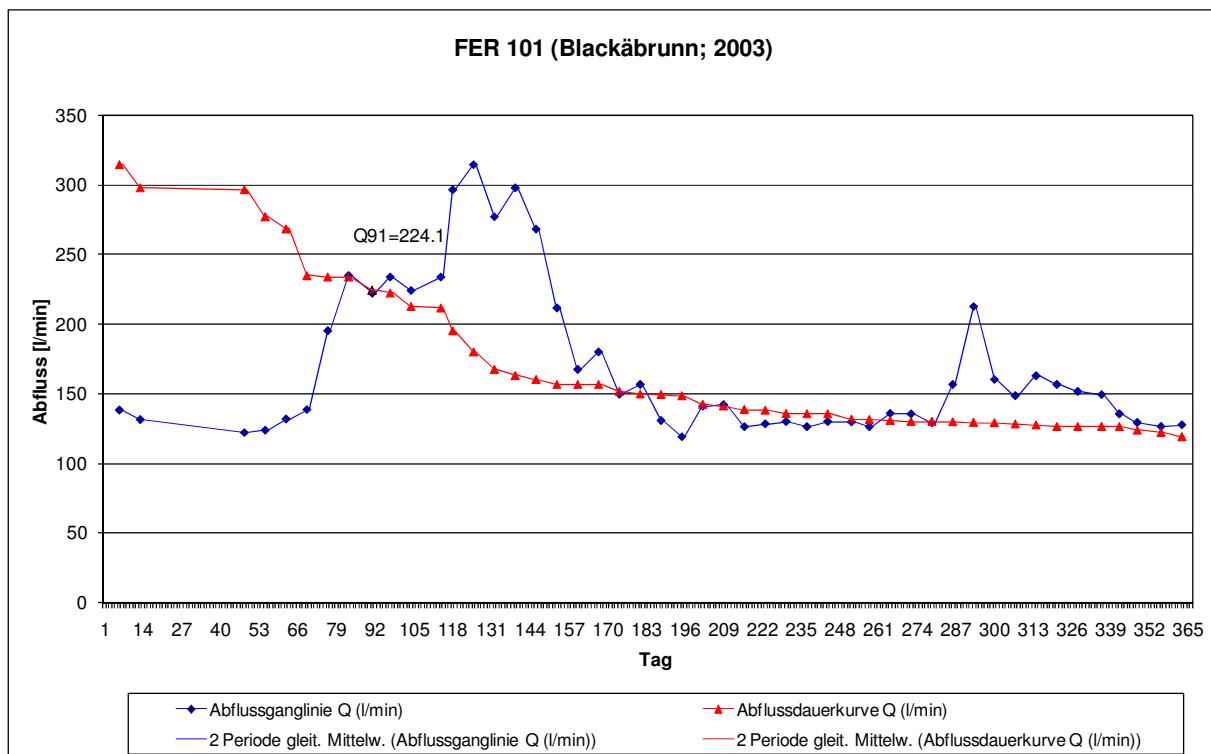


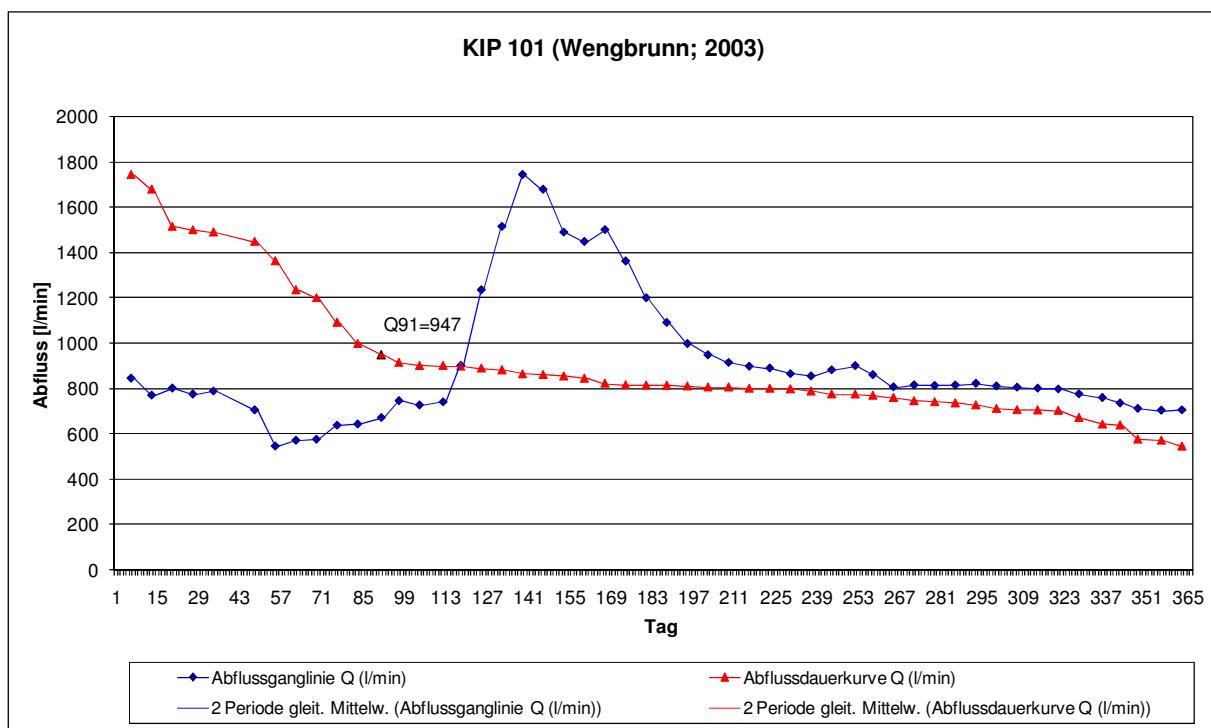
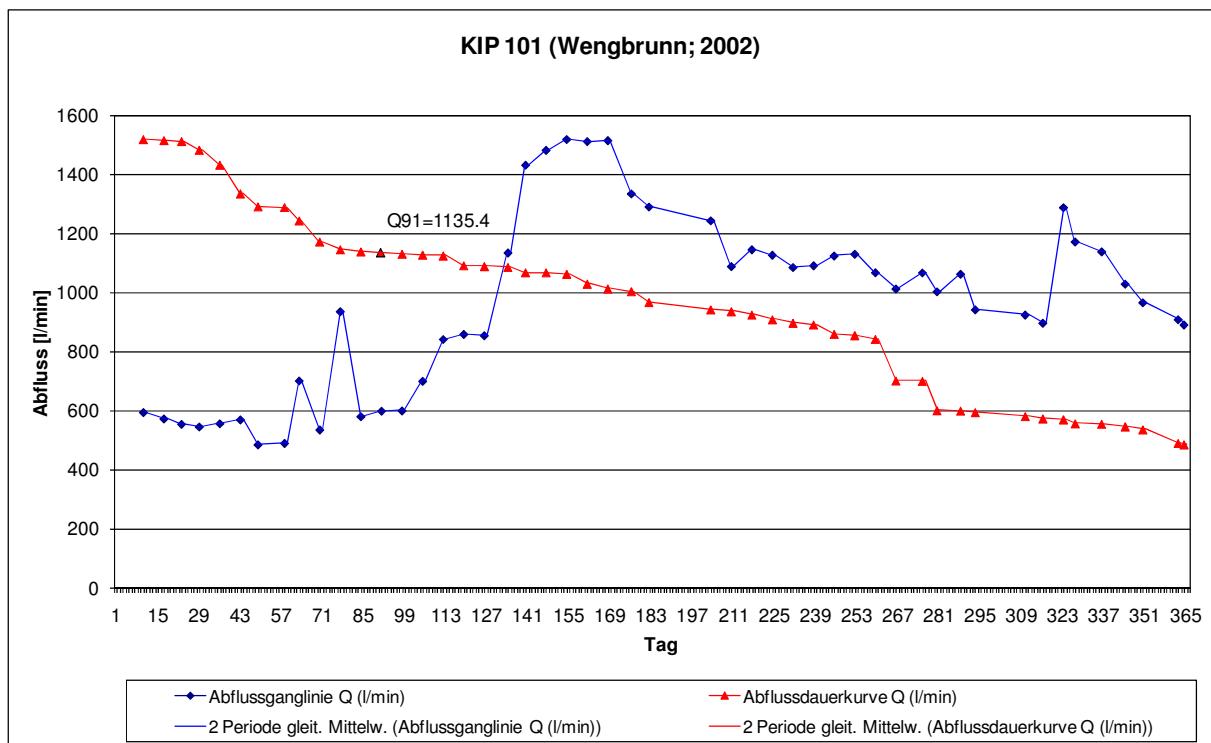
## Anhang 1

Abflussganglinie und Abflussdauerkurve des Engelsbrunnens, des Blackäbrunnens und des Wengbrunnens für die Jahre 2002 – 2004

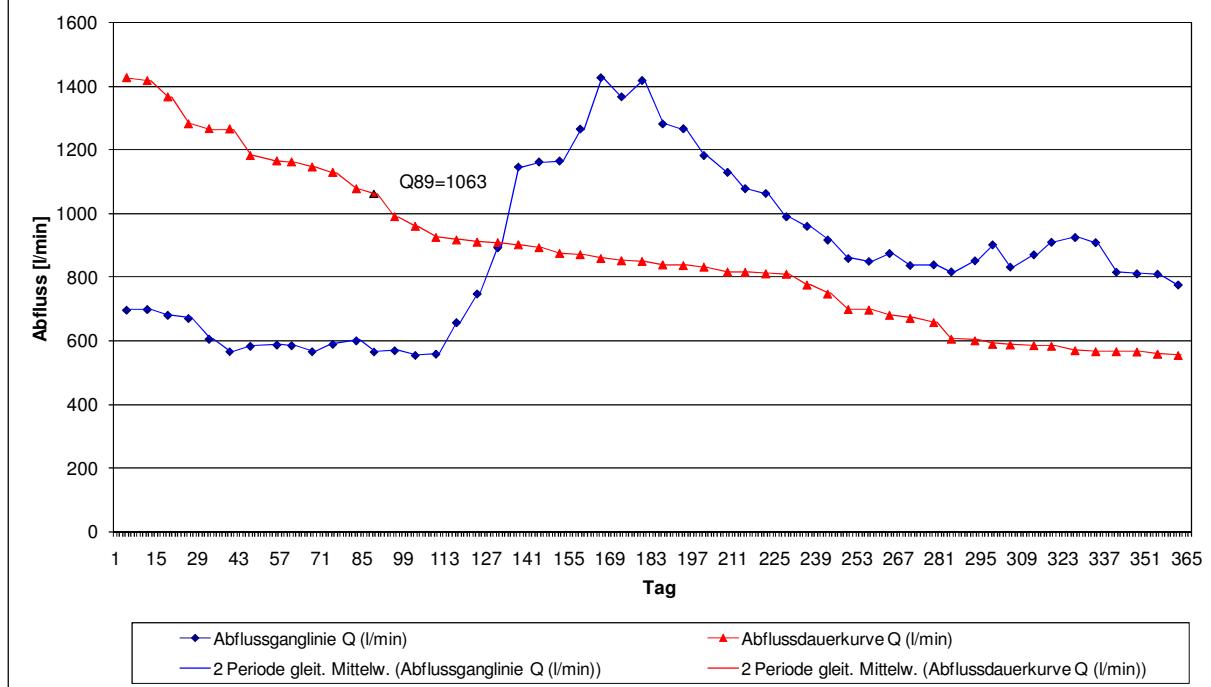








### KIP 101 (Wengbrunn; 2004)



## Anhang 2

Berechnungen der Einspeisevergütungen nach KEV<sup>3</sup> für die Zentralen Gibli

Die Einspeisevergütungen sind für die nominale Wassermenge von 21 l/s berechnet worden.

Parameter	Einheit	Gibli Q_nom	V2	V3	V4	V5	V6
Höhendifferenz	[m]	159					
Länge Druckleitung	[m]	1500					
Nennleistung	[kW]	23.0					
Jahresenergieproduktion	[kWh]	121'744					
Kostenanteil Wasserbau	[%]	0					
Äquivalente Leistung	[kW]	13.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Einspeisevergütung theoretisch	[Rp./kWh]	25.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Einspeisevergütung praktisch	[Rp./kWh]	<b>25.82</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

### Gibli Q\_nom

Leistung		Wasserbaubonus			Fallhöhenbonus		
Anteile [kW]	Vergütung [Rp.]	Anteile [kW]	Vergütung [Rp.]	Anteile [m]	Vergütung [Rp.]		
10.00	26.00	260.00	10.00	5.50	55.00	5.00	4.50
3.90	20.00	77.95	3.90	4.00	15.59	10.00	2.70
0.00	14.50	0.00	0.00	3.00	0.00	20.00	2.00
0.00	11.00	0.00	0.00	2.50	0.00	50.00	1.50
0.00	7.50	0.00				74.00	1.00
13.90	<b>24.32</b>	337.95	13.90	<b>5.08</b>	70.59	159.00	<b>1.50</b>
							238.50

<sup>3</sup> Kostendeckende Einspeisevergütung



### Anhang 3

Berechnungen der Einspeisevergütungen nach KEV<sup>4</sup> für die Zentralen Riedbord

Die Einspeisevergütung ist für die nominale Wassermenge von 21 l/s berechnet worden.

Parameter	Einheit	Riedbord Q_nom	V2	V3	V4	V5	V6
Höhendifferenz	[m]	139					
Länge Druckleitung	[m]	340					
Nennleistung	[kW]	20.0					
Jahresenergieproduktion	[kWh]	105'455					
Kostenanteil Wasserbau	[%]	0					
Äquivalente Leistung	[kW]	12.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Einspeisevergütung theoretisch	[Rp./kWh]	26.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Einspeisevergütung praktisch	[Rp./kWh]	<b>26.56</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

#### Riedbord Q\_nom

Leistung			Wasserbaubonus			Fallhöhenbonus		
Anteile [kW]	Vergütung [Rp.]	Anteile [kW]	Vergütung [Rp.]	Anteile [m]	Vergütung [Rp.]	Anteile [m]	Vergütung [Rp.]	Anteile [m]
10.00	26.00	260.00	10.00	5.50	55.00	5.00	4.50	22.50
2.04	20.00	40.76	2.04	4.00	8.15	10.00	2.70	27.00
0.00	14.50	0.00	0.00	3.00	0.00	20.00	2.00	40.00
0.00	11.00	0.00	0.00	2.50	0.00	50.00	1.50	75.00
0.00	7.50	0.00				54.00	1.00	54.00
12.04	<b>24.98</b>	300.76	12.04	<b>5.25</b>	63.15	139.00	<b>1.57</b>	218.50

<sup>4</sup> Kostendeckende Einspeisevergütung



## Anhang 4

### Grobkostenschätzung (detailliert)

Kostenschätzung Elektromechanik und Netzanbindung

Projekt KWKW Kippel (Trinkwasserversorgung)  
Anlage Zentrale Gibli

<b>1 Elektromechanische Ausrüstung Zentrale</b>		
Turbine und Düsenstöcke	38'000	
Hosenrohr und Armaturen	12'000	
Asynchrongenerator	6'500	
Steuer- und Schaltanlage	26'200	
Transformator 400V/20kV	10'000	
Engineering	5'000	
<b>Total elektromechanische Ausrüstung</b>	<b>97'700</b>	
Total Pos 1	97'700	
<b>2 Erdkabelleitung Zentrale - VK</b>		
2.1 Baumeisterarbeiten		Länge ca. 120m
Grabarbeiten, Aushub und Wiedereinfüllen	5'400	
Bauplatzinstallation (ca. 6%)	324	
<b>Total Baumeisterarbeiten</b>	<b>5'724</b>	
2.1 Elektroinstallationen		
Kabelschutzrohre 2x120m	500	
Mittelspannungskabel 3x1x50 / 6mm <sup>2</sup>	2'500	
Kableinzug	1'400	
Installationsarbeiten	700	
<b>Total Elektroinstallationen</b>	<b>5'100</b>	
Total Pos 2	10'824	
<b>3 Photovoltaische Anlage für Messwertübertragung von Verteiler zu Zentrale</b>		
Solargenerator 100W	2'500	
Umrichter 600VA	2'000	
Drahtloses Messwertübertragungssystem	2'500	
Installationsarbeiten	6'000	
<b>Total Elektroinstallationen</b>	<b>13'000</b>	
Total Pos 3	13'000	
<b>Zwischentotal</b>	<b>121'524</b>	
<b>6 Projekt und Unvorhergesehenes</b>		
Reserve von 10%	12'152	
Projektierung und Projektleitung 12%	14'583	
<b>Total Kostenschätzung exkl. MWSt</b>	<b>148'259</b>	
MWSt 7.6%	11'268	
<b>Total Kostenschätzung</b>	<b>159'527</b>	



Kostenschätzung Elektromechanik und Netzanbindung

Projekt KWKW Kippel (Trinkwasserversorgung)  
Anlage Zentrale Reservoir

<b>1 Elektromechanische Ausrüstung Zentrale</b>		
Turbine und Düsenstöcke	38'000	
Hosenrohr und Armaturen	12'000	
Asynchrongenerator	6'500	
Steuer- und Schaltanlage	26'200	
Transformator 400V/20kV	10'000	
Engineering	5'000	
<b>Total elektromechanische Ausrüstung</b>	<b>97'700</b>	
Total Pos 1	97'700	
<b>2 Erdkabelleitung Zentrale - VK</b>		Länge ca. 10m
Kabelschutzrohre 2x10m	400	
Mittelspannungskabel 3x1x50 / 6mm <sup>2</sup>	600	
Kabeleinzug	400	
Installationsarbeiten	900	
<b>Total Elektroinstallationen</b>	<b>2'300</b>	
Total Pos 2	2'300	
<b>3 Anlage für Messwertübertragung von Gibli zu Zentrale</b>		
Drahtloses Messwertübertragungssystem	2'500	
Installationsarbeiten	6'000	
<b>Total Elektroinstallationen</b>	<b>8'500</b>	
Total Pos 3	8'500	
<b>Zwischentotal</b>	<b>108'500</b>	
<b>4 Projekt und Unvorhergesehenes</b>		
Reserve von 10%	10'850	
Projektierung und Projektleitung 12%	13'020	
<b>Total Kostenschätzung exkl. MWSt</b>	<b>132'370</b>	
MWSt 7.6%	10'060	
<b>Total Kostenschätzung</b>	<b>142'430</b>	



Kostenschätzung Wasserbau

Projekt KWKW Kippel  
Anlage Trinkwasserversorgung

<b>1 Reservoir Riedbord</b>		
1.1 Baumeisterarbeiten	Erd- und Grabarbeiten Erschwernisse: Fels, Findlinge, Werksleitungen Beton- und Stahlbetonarbeiten Zentralengebäude (Anbau) Bauplatzinstallation (6%)	13'000 9'500 30'000 15'000 4'050
	<b>Total Baumeisterarbeiten</b>	<b>71'550</b>
1.2 Schlosserarbeiten	Schachtdeckungen Leitern, Gitter, etc.	2'500 4'500
	<b>Total Baumeisterarbeiten</b>	<b>7'000</b>
1.3 Sanitäranbeiten	Armaturen, Formstücke & Anschlüsse Verrohrung Wasserschütze, Spülstutzen, Überlauf und Entleerung Feuerpolizeiliche Massnahmen in Reservoir	67'000 10'600 9'800 14'000
	<b>Total Baumeisterarbeiten</b>	<b>101'400</b>
	<b>Total Pos 1</b>	<b>179'950</b>
<b>2 Druckbrecher Gibli</b>		
2.1 Baumeisterarbeiten	Erd- und Grabarbeiten Erschwernisse: Fels, Findlinge Abbruch und Transport Druckbrecher Beton- und Stahlbetonarbeiten Kulturerdarbeiten Bauplatzinstallation (6%)	35'200 15'000 15'000 61'000 6'000 7'572
	<b>Total Baumeisterarbeiten</b>	<b>139'772</b>
2.2 Schlosserarbeiten	Schachtdeckungen Leitern, Gitter, etc.	4'100 6'100
	<b>Total Baumeisterarbeiten</b>	<b>10'200</b>
2.3 Sanitäranbeiten	Armaturen, Formstücke & Anschlüsse Verrohrung Wasserschütze, Spülstutzen, Überlauf und Entleerung Feuerpolizeiliche Massnahmen in Reservoir	81'500 27'500 15'000 21'000
	<b>Total Baumeisterarbeiten</b>	<b>145'000</b>
	<b>Total Pos 2</b>	<b>294'972</b>
<b>3 Druckbrecher Bletschä</b>		
3.1 Baumeisterarbeiten	Erd- und Grabarbeiten Erschwernisse: Fels, Findlinge Beton- und Stahlbetonarbeiten Bauplatzinstallation (6%)	12'300 4'100 14'700 1'866
	<b>Total Baumeisterarbeiten</b>	<b>32'966</b>
3.2 Schlosserarbeiten	Diverse Arbeiten Roste, etc.	1'800 2'500
	<b>Total Baumeisterarbeiten</b>	<b>4'300</b>
3.3 Sanitäranbeiten	Armaturen, Formstücke & Anschlüsse	12'000
	<b>Total Baumeisterarbeiten</b>	<b>12'000</b>
	<b>Total Pos 3</b>	<b>49'266</b>
<b>4 Verteiler Ferden - Kippel</b>		
4.1 Baumeisterarbeiten	Erd- und Grabarbeiten Erschwernisse: Fels, Findlinge Beton- und Stahlbetonarbeiten Kulturerdarbeiten Blockwurfmauern Bauplatzinstallation (6%)	27'000 11'500 36'000 6'200 9'600 4'500
	<b>Total Baumeisterarbeiten</b>	<b>94'800</b>
4.2 Schlosserarbeiten	Diverse Arbeiten Gitter, Roste, etc.	5'800 3'300
	<b>Total Baumeisterarbeiten</b>	<b>9'100</b>
4.3 Sanitäranbeiten	Armaturen, Formstücke & Anschlüsse Verrohrung Wasserschütze, Spülstutzen, Überlauf und Entleerung	29'500 26'200 12'700
	<b>Total Baumeisterarbeiten</b>	<b>68'400</b>
	<b>Total Pos 4</b>	<b>172'300</b>
<b>Zwischentotal</b>		
		<b>696'488</b>



<b>6 Projekt und Unvorhergesehenes</b>		
Reserve von 10%		69'649
Projektierung und Projektleitung 12%		83'579
<b>Zwischentotal</b>	<b>849'715</b>	
MWSt 7.6%	64'578	
<b>Total Kostenschätzung</b>		<b>914'294</b>



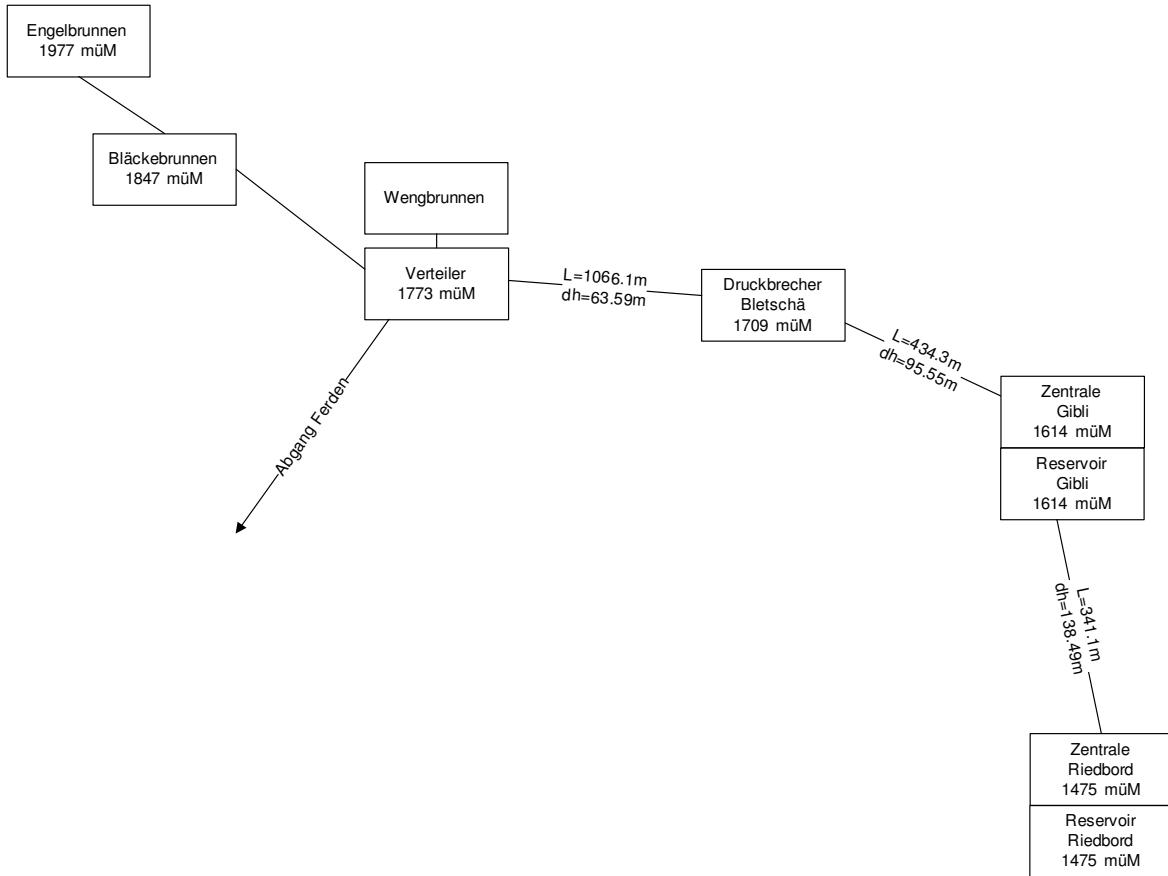
## **Anhang 5**

Berechnungen Zentrale Gibli  
(nominale Wassermenge von 21 l/s)



# KWKW Kippel (Trinkwasserturbinierung)

Verteiler 1'773 müM - Reservoir Gibli 1'614 müM



Zentrale Gibli (KEV)

Druckleitungsdurchmesser 200mm auf die ganze Länge

Ausbauwassermenge 21 l/s

Elektromechanische Ausrüstung, ohne DL und Gebäude

```
Clear["Global`*"]
```

```
1 := 1500.4
```

```
k := 100
```

```
g := 9.81
```

```
Q := 0.021
```

```
Hg := 159.09
```

```
di := 0.2
```

$\rho := 1000$

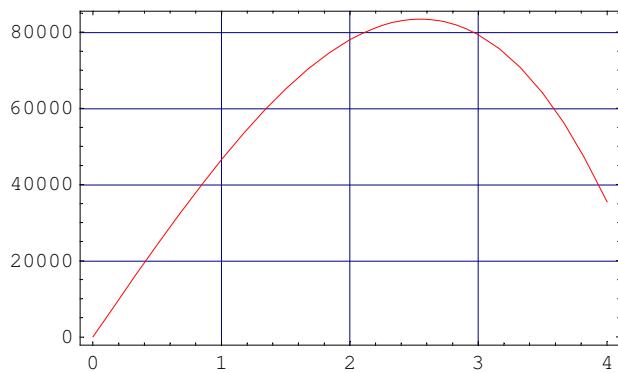
$\eta_t := 0.8$

$\eta_g := 0.90$

## Leistungskurve Druckleitung

$$P[v] := \frac{d_i^2 \pi}{4} v \rho g \left( H_g - \frac{4^{\frac{10}{3}}}{\pi^2} \frac{\left(\frac{d_i^2 \pi}{4} v\right)^2 1}{k^2 d_i^{\frac{16}{3}}} \right)$$

```
Plot[P[x], {x, 0, 4}, Frame → True,
GridLines → Automatic, PlotStyle → {RGBColor[1, 0, 0]}]
```



- Graphics -

Theoretisch

```
v_opt = Solve[D[P[v], v] == 0]
```

```
{ {v → -2.55155}, {v → 2.55155} }
```

$$Q_{opt} = \frac{d_i^2 \pi}{4} v /. v_{opt}[[2]]$$

0.0801593

```
P_hydr = P[v] / 1000 /. v_{opt}[[2]]
```

83.4016

Praktisch

### ■ Fluidgeschwindigkeit in [m/s]

$$v = \left( \frac{d_i^2 \pi}{4} \frac{1}{Q} \right)^{-1}$$

0.668451

## ■ Nettohöhe in [m]

$$hn = \left( H_g - \frac{4^{\frac{10}{3}}}{\pi^2} \cdot \frac{\left(\frac{d_i^2 \pi}{4} v\right)^2 1}{k^2 d_i^{\frac{16}{3}}} \right)$$

155.45

## ■ Verlusthöhe in [m]

$$hvm = H_g - hn$$

3.63959

## ■ Verlusthöhe in [%]

$$hvp = \frac{100 (H_g - hn)}{H_g}$$

2.28776

## ■ Leistung in [kW]

$$P_{hydr} = P[v] / 1000$$

32.0243

$$P_{mech} = P_{hydr} \eta_t$$

25.6195

$$P_{el} = P_{mech} \eta_g$$

23.0575

## ■ Elektrischen Energie [kWh] (5280h ist äquivalent mit 61% des Jahres unter Vollast)

$$En = P_{el} 5280$$

121744.

## Düsen und Turbine

$$kc := 0.98$$

$$ku := 0.48$$

$$n := 1$$

**ng := 1500**

**i := 1**

## Wasseraustrittsgeschwindigkeit

$$c1 = kc \sqrt{2 g hn}$$

54.1217

## Düsendurchmesser [mm]

$$d = 1000 \sqrt{\frac{4 Q}{n \pi c1}}$$

22.2269

## Geschwindigkeit am Beaufschlagungskreis [m/s]

$$u1 = ku \sqrt{2 g hn}$$

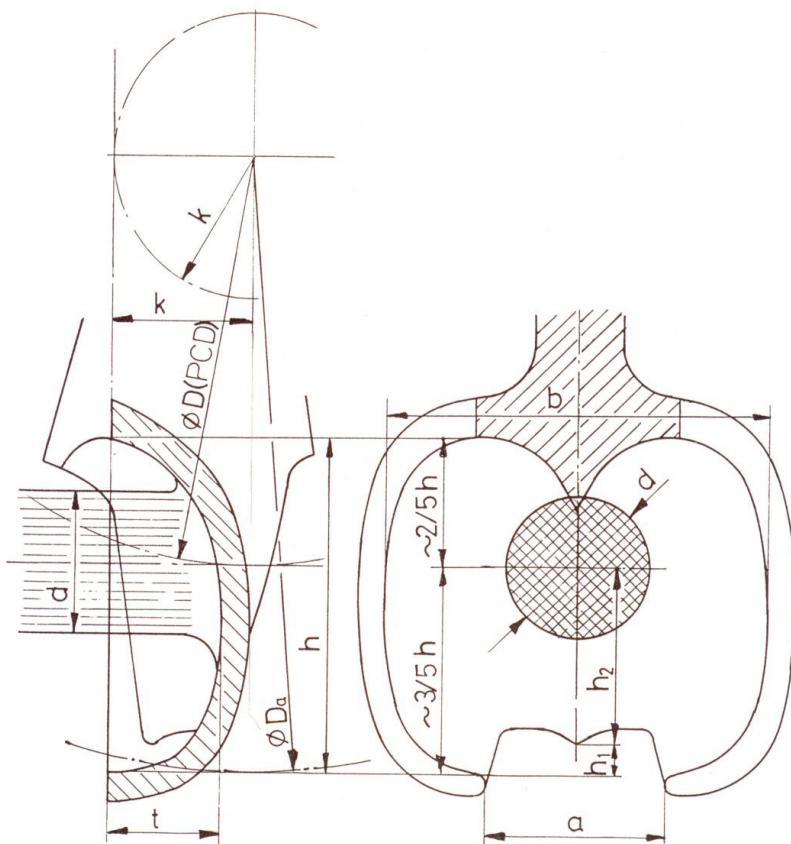
26.5086

## Beaufschlagungskreis [mm]

$$BAK = 1000 \frac{60 u1 i}{\pi ng}$$

337.518

## Schaufelgeometrie nach SKAT (alle Masse in mm)



$$hp = 2.5 d$$

55.5673

$$hp1 = 0.1 d$$

2.22269

$$hp2 = 1 d$$

22.2269

$$bp = 2.7 d$$

60.0126

$$tp = 0.9 d$$

20.0042

$$ap = 1.2 d$$

26.6723

## Anzahl Schaufeln nach SKAT

$$z = \frac{BAK \pi}{2 d} // \text{Ceiling}$$

24

## Schaufelaufteilung [°] nach SKAT

$$\frac{360}{z} // n$$

15.

## Investitionskosten

### Investitionskosten für Gebäude und Wasserbauten

Zentralengebäude: 15'000.-sFr.

Druckleitung: 0.-sFr.

**INV1 := 15000**

### Investitionskosten für elektromechanische Ausrüstung

Turbine, Generator, Steuerung, Schaltanlage, Netzanbindung: 121'700.- sFr.

**INV2 := 121700**

### Investitionskosten für Projektierung und Gebühren

**INV3 := 16404**

### Reserven

**INV4 = 0.1 (INV1 + INV2)**

13670.

### Gesamtinvestitionskosten

**INV = INV1 + INV2 + INV3 + INV4**

166774.

# Kapitalkosten

## Kapitalkosten für Gebäude und Wasserbauten

Amortisationszeit 25 Jahre (korrigierter Zinssatz 5%)

**z := 0.05**

**n := 25**

Investitionsanteil in %

$$\frac{\text{INV1} + \text{INV4}}{\text{INV}} * 100 // N$$

17.1909

$$A = \frac{z (1+z)^n}{(1+z)^n - 1} // N$$

0.0709525

$$K1 = A \text{ INV} \left( \frac{\text{INV1}}{\text{INV}} \right)$$

1064.29

## Kapitalkosten für elektromechanische Ausrüstung

Amortisationszeit 25 Jahre (korrigierter Zinssatz 5%)

**z := 0.05**

**n := 25**

Investitionsanteil in %

$$\frac{\text{INV2}}{\text{INV}} * 100 // N$$

72.973

$$A = \frac{z (1+z)^n}{(1+z)^n - 1} // N$$

0.0709525

$$K2 = A \text{ INV} \left( \frac{\text{INV2}}{\text{INV}} \right)$$

8634.91

## Projektierungskosten und Gebühren

Amortisationszeit 25 Jahre (korrigierter Zinssatz 5%)

**z := 0.05**

**n := 25**

$$\mathbf{A} = \frac{\mathbf{z} \cdot (1 + \mathbf{z})^n}{(1 + \mathbf{z})^n - 1} // \mathbf{N}$$

0.0709525

Investitionsanteil in %

$$\frac{\mathbf{INV3}}{\mathbf{INV}} * 100 // \mathbf{N}$$

9.83607

$$\mathbf{K3} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{INV} \left( \frac{\mathbf{INV3}}{\mathbf{INV}} \right)$$

1163.9

## Gesamtkapitalkosten

$$\mathbf{K} = \mathbf{K1} + \mathbf{K2} + \mathbf{K3}$$

10863.1

## Betriebs- und Unterhaltskosten

Turbine und elektrische Anlagenteile (Jahreskostensatz: 2%)

$$\mathbf{B1} = \mathbf{INV} 0.02$$

3335.48

Wehre Wasserfassungen und Druckleitungen (Jahreskostensatz: 1.2%)

$$\mathbf{B2} = \mathbf{INV} 0.012$$

2001.29

Maschinenräume und Nebenanlagen (Jahreskostensatz: 0.5%)

$$\mathbf{B3} = \mathbf{INV} 0.005$$

833.87

## Wasserzins, Steuern, Versicherungen und Administration (Jahreskostensatz: 1.0%)

**B4 = INV 0.01**

1667.74

## Gesamtbetriebs- und Unterhaltskosten

**B = B1 + B2 + B3 + B4**

7838.38

## Jahresgesamtkosten

**G = K1 + K2 + K3 + B**

18701.5

## Energiegestehungskosten

$$R = \frac{G}{En}$$

0.153614

## Ertrag / Verlust

**VP := 0.2582**

**EV = (VP - R) En**

12732.7

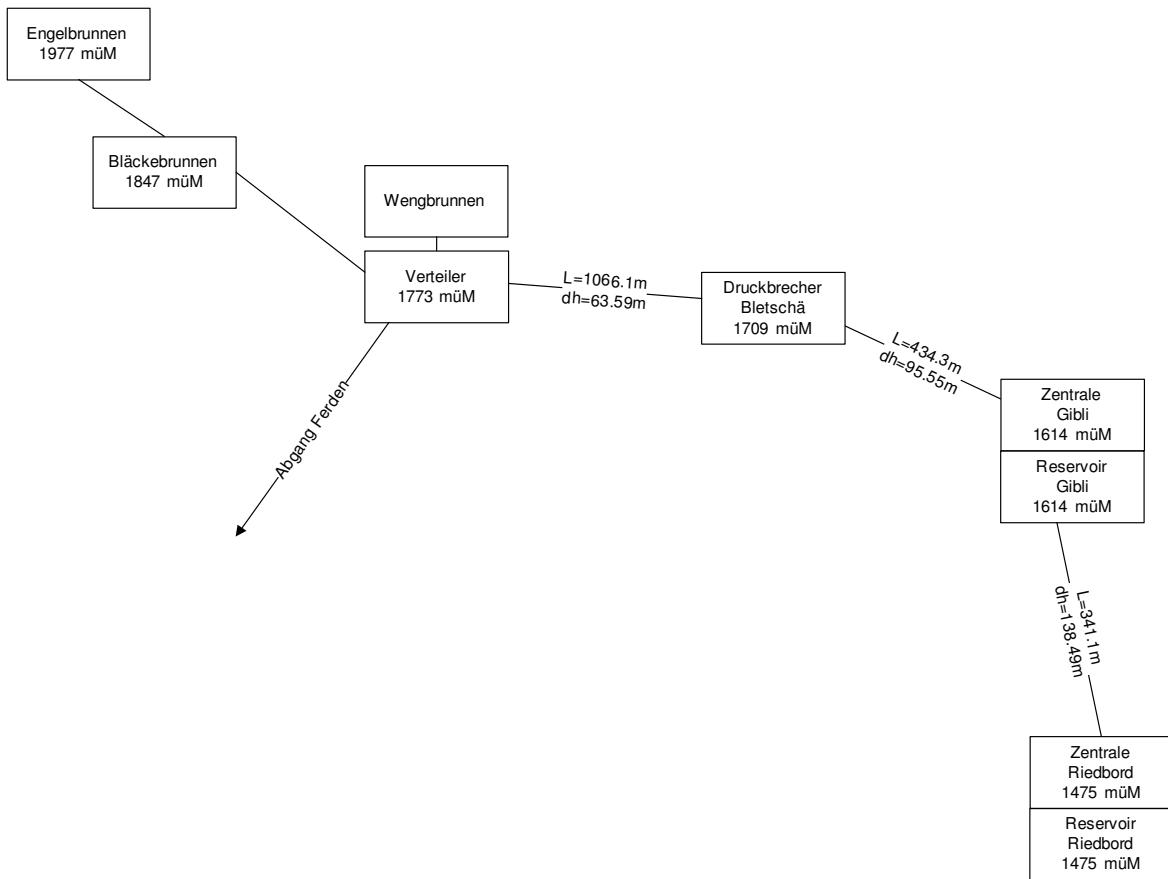
## **Anhang 6**

Berechnungen Zentrale Riedbord  
(nominale Wassermenge von 21 l/s)



# KWKW Kippel (Trinkwasserturbinierung)

Reservoir Gibli 1'614 müM - Reservoir Riedbord 1'475 müM



Zentrale Riedbord (KEV)

Druckleitungsdurchmesser 150mm auf die ganze Länge

Ausbauwassermenge 21 l/s

Elektromechanische Ausrüstung, ohne DL und Gebäude

```
Clear["Global`*"]
```

```
1 := 341.1
```

```
k := 100
```

```
g := 9.81
```

```
Q := 0.021
```

```
Hg := 138.49
```

```
di := 0.15
```

$\rho := 1000$

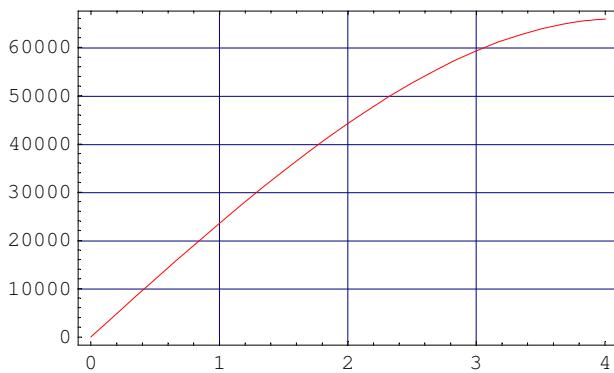
$\eta_t := 0.8$

$\eta_g := 0.9$

## Leistungskurve Druckleitung

$$P[v] := \frac{d_i^2 \pi}{4} v \rho g \left( H_g - \frac{4^{\frac{10}{3}}}{\pi^2} \frac{\left(\frac{d_i^2 \pi}{4} v\right)^2 1}{k^2 d_i^{\frac{16}{3}}} \right)$$

```
Plot[P[x], {x, 0, 4}, Frame → True,
GridLines → Automatic, PlotStyle → {RGBColor[1, 0, 0]}]
```



- Graphics -

Theoretisch

$v_{opt} = \text{Solve}[D[P[v], v] == 0]$

$\{ \{v \rightarrow -4.12156\}, \{v \rightarrow 4.12156\} \}$

$$Q_{opt} = \frac{d_i^2 \pi}{4} v / . v_{opt}[[2]]$$

0.072834

$$P_{hydr} = P[v] / 1000 / . v_{opt}[[2]]$$

65.9676

Praktisch

## ■ Fluidgeschwindigkeit in [m/s]

$$v = \left( \frac{d_i^2 \pi}{4} \frac{1}{Q} \right)^{-1}$$

1.18836

## ■ Nettohöhe in [m]

$$hn = \left( H_g - \frac{4^{\frac{10}{3}}}{\pi^2} \cdot \frac{\left(\frac{d_i^2 \pi}{4} v\right)^2 1}{k^2 d_i^{\frac{16}{3}}} \right)$$

134.652

## ■ Verlusthöhe in [m]

$$hvm = H_g - hn$$

3.83767

## ■ Verlusthöhe in [%]

$$hvp = \frac{100 (H_g - hn)}{H_g}$$

2.77108

## ■ Leistung in [kW]

$$P_{hydr} = P[v] / 1000$$

27.7397

$$P_{mech} = P_{hydr} \eta_t$$

22.1918

$$P_{el} = P_{mech} \eta_g$$

19.9726

## ■ Elektrischen Energie [kWh] (5280h ist äquivalent mit 61% des Jahres unter Volllast)

$$En = P_{el} 5280$$

105455.

## Düsen und Turbine

$$kc := 0.98$$

$$ku := 0.48$$

$$n := 1$$

**ng := 1500**

**i := 1**

## Wasseraustrittsgeschwindigkeit

$$c1 = kc \sqrt{2 g hn}$$

50.3712

## Düsendurchmesser [mm]

$$d = 1000 \sqrt{\frac{4 Q}{n \pi c1}}$$

23.0395

## Geschwindigkeit am Beaufschlagungskreis [m/s]

$$u1 = ku \sqrt{2 g hn}$$

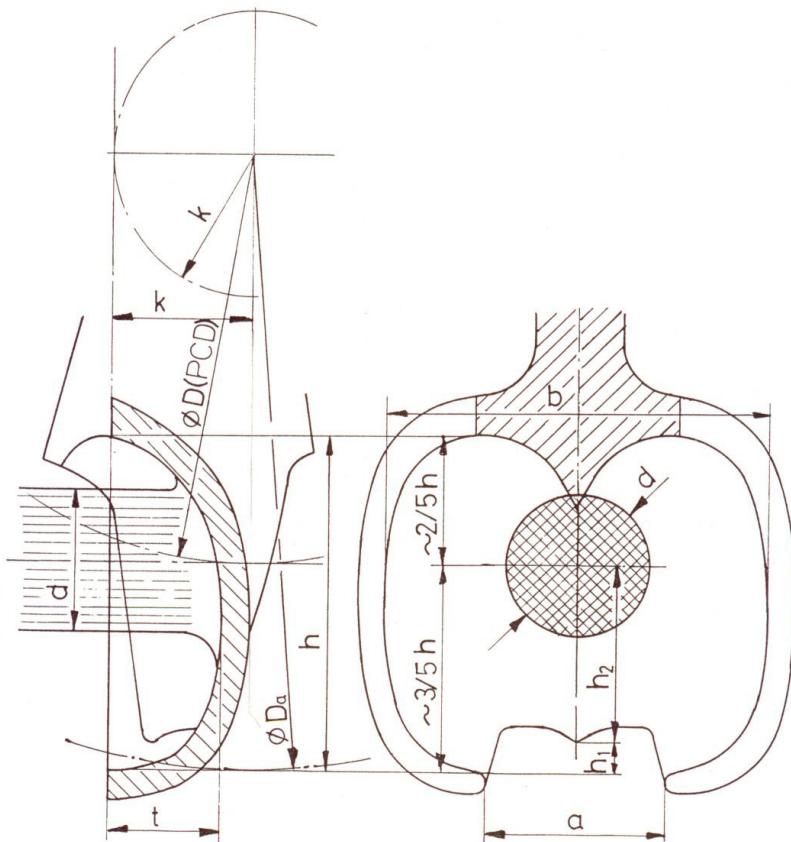
24.6716

## Beaufschlagungskreis [mm]

$$BAK = 1000 \frac{60 u1 i}{\pi ng}$$

314.129

## Schaufelgeometrie nach SKAT (alle Masse in mm)



$$hp = 2.5 d$$

57.5988

$$hp1 = 0.1 d$$

2.30395

$$hp2 = 1 d$$

23.0395

$$bp = 2.7 d$$

62.2067

$$tp = 0.9 d$$

20.7356

$$ap = 1.2 d$$

27.6474

## Anzahl Schaufeln nach SKAT

$$z = \frac{BAK \pi}{2 d} // \text{Ceiling}$$

22

## Schaufelaufteilung [°] nach SKAT

$$\frac{360}{z} // n$$

16.3636

## Investitionskosten

### Investitionskosten für Gebäude und Wasserbauten

Zentralengebäude: 15'000.-sFr.

Druckleitung: 0.-sFr.

**INV1 := 15000**

### Investitionskosten für elektromechanische Ausrüstung

Turbine, Generator, Steuerung, Schaltanlage, Netzanbindung: 108'500.- sFr.

**INV2 := 108500**

### Investitionskosten für Projektierung und Gebühren

**INV3 := 14820**

### Reserven

**INV4 = 0.1 (INV1 + INV2)**

12350.

## Gesamtinvestitionskosten

**INV = INV1 + INV2 + INV3 + INV4**

150670.

# Kapitalkosten

## Kapitalkosten für Gebäude und Wasserbauten

Amortisationszeit 25 Jahre (korrigierter Zinssatz 5%)

**z := 0.05**

**n := 25**

Investitionsanteil in %

$$\frac{\text{INV1} + \text{INV4}}{\text{INV}} * 100 // N$$

18.1523

$$A = \frac{z (1+z)^n}{(1+z)^n - 1} // N$$

0.0709525

$$K1 = A \text{ INV} \left( \frac{\text{INV1}}{\text{INV}} \right)$$

1064.29

## Kapitalkosten für elektromechanische Ausrüstung

Amortisationszeit 25 Jahre (korrigierter Zinssatz 5%)

**z := 0.05**

**n := 25**

Investitionsanteil in %

$$\frac{\text{INV2}}{\text{INV}} * 100 // N$$

72.0117

$$A = \frac{z (1+z)^n}{(1+z)^n - 1} // N$$

0.0709525

$$K2 = A \text{ INV} \left( \frac{\text{INV2}}{\text{INV}} \right)$$

7698.34

## Projektierungskosten und Gebühren

Amortisationszeit 25 Jahre (korrigierter Zinssatz 5%)

**z := 0.05**

**n := 25**

$$\mathbf{A} = \frac{\mathbf{z} \cdot (1 + \mathbf{z})^n}{(1 + \mathbf{z})^n - 1} // \mathbf{N}$$

0.0709525

Investitionsanteil in %

$$\frac{\mathbf{INV3}}{\mathbf{INV}} * 100 // \mathbf{N}$$

9.83607

$$\mathbf{K3} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{INV} \left( \frac{\mathbf{INV3}}{\mathbf{INV}} \right)$$

1051.52

## Gesamtkapitalkosten

$$\mathbf{K} = \mathbf{K1} + \mathbf{K2} + \mathbf{K3}$$

9814.14

## Betriebs- und Unterhaltskosten

Turbine und elektrische Anlagenteile (Jahreskostensatz: 2.0%)

$$\mathbf{B1} = \mathbf{INV} 0.02$$

3013.4

Wehre Wasserfassungen und Druckleitungen (Jahreskostensatz: 1.2%)

$$\mathbf{B2} = \mathbf{INV} 0.012$$

1808.04

Maschinenräume und Nebenanlagen (Jahreskostensatz: 0.5%)

$$\mathbf{B3} = \mathbf{INV} 0.005$$

753.35

## Wasserzins, Steuern, Versicherungen und Administration (Jahreskostensatz: 1.0%)

**B4 = INV 0.01**

1506.7

## Gesamtbetriebs- und Unterhaltskosten

**B = B1 + B2 + B3 + B4**

7081.49

## Jahresgesamtkosten

**G = K1 + K2 + K3 + B**

16895.6

## Energiegestehungskosten

$$R = \frac{G}{En}$$

0.160216

## Ertrag / Verlust

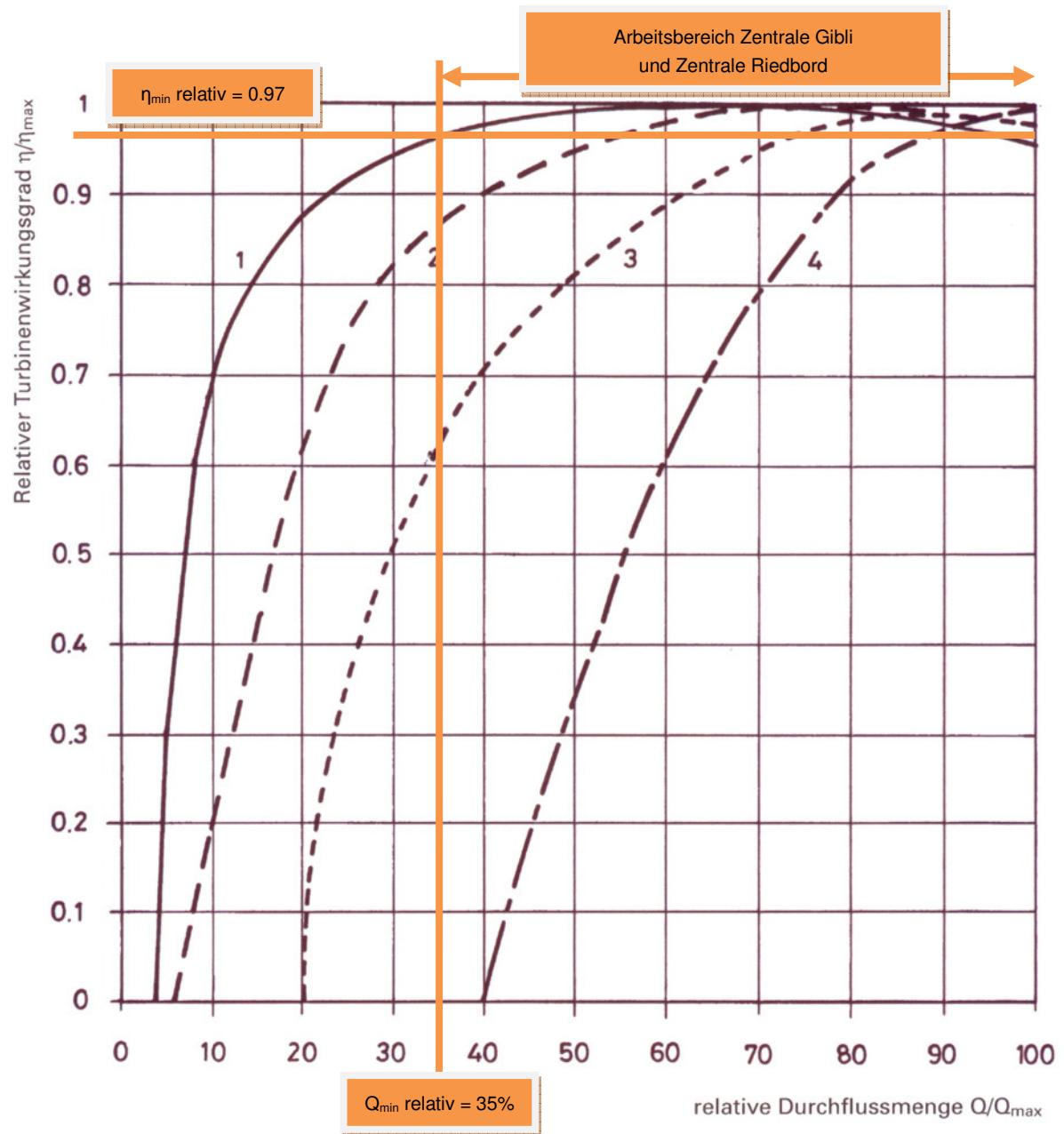
**VP := 0.2656**

**EV = (VP - R) En**

11113.3

## Anhang 7

Verlaufskurve des relativen Wirkungsgrads unterschiedlicher Turbinentypen in Abhängigkeit der verfügbaren Wassermenge



Kurve 1: Peltonturbine

Kurve 2: Kaplanturbine

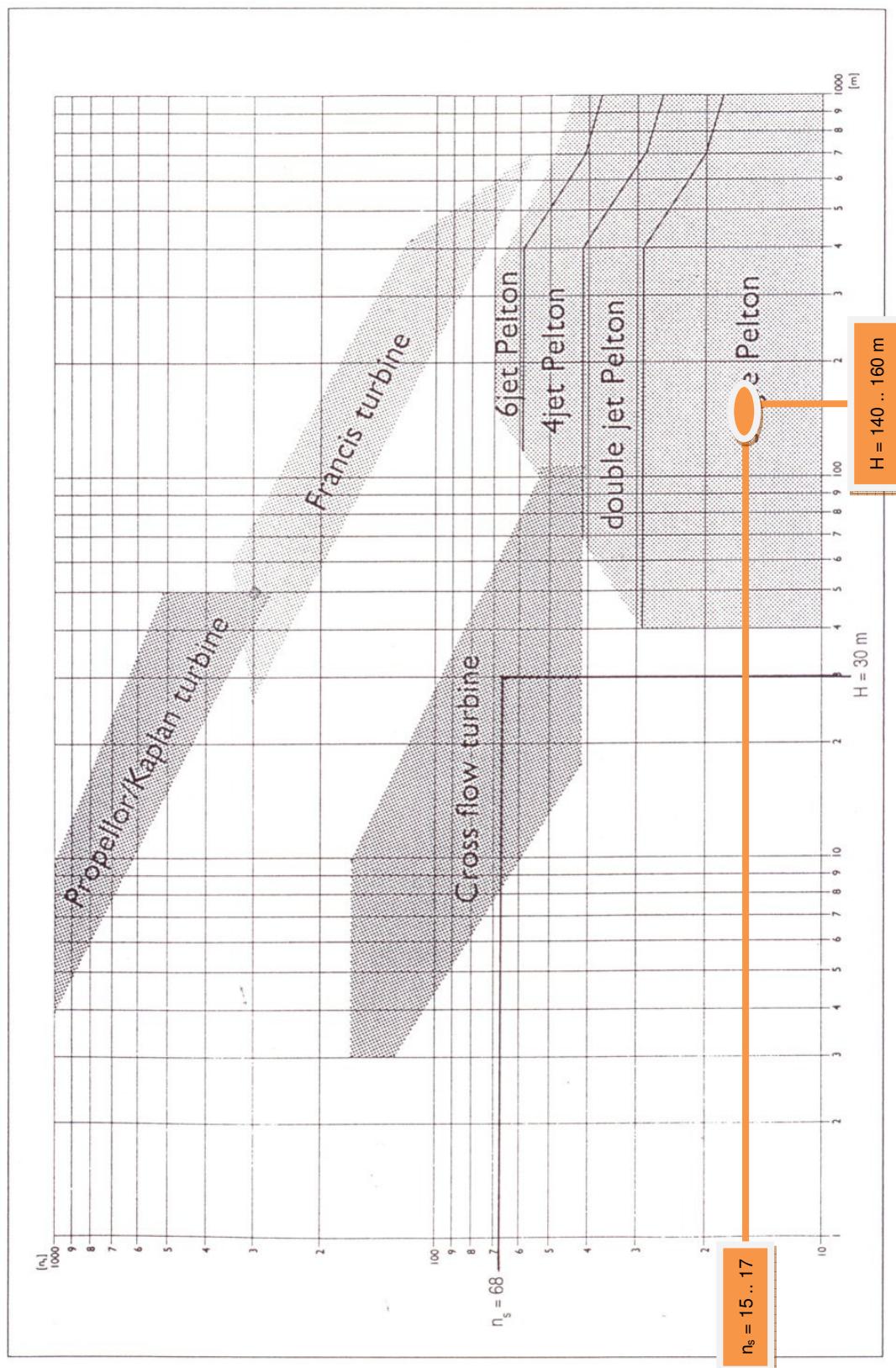
Kurve 3: Francisturbine

Kurve 4: Pumpe im Turbinenbetrieb



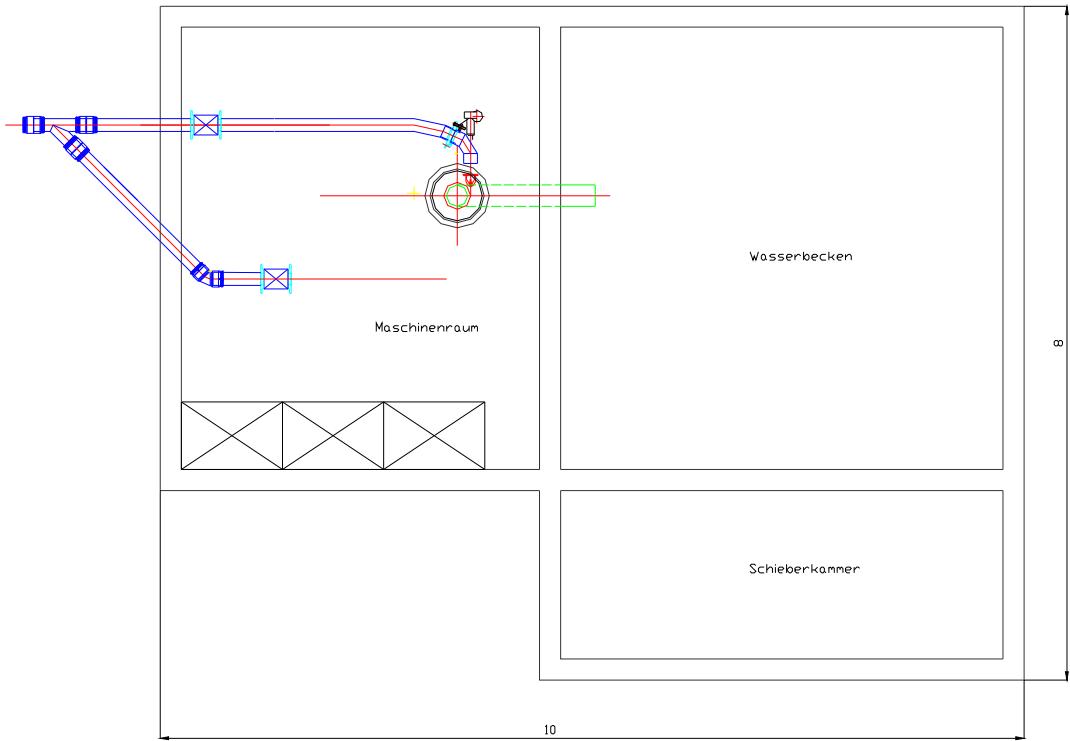
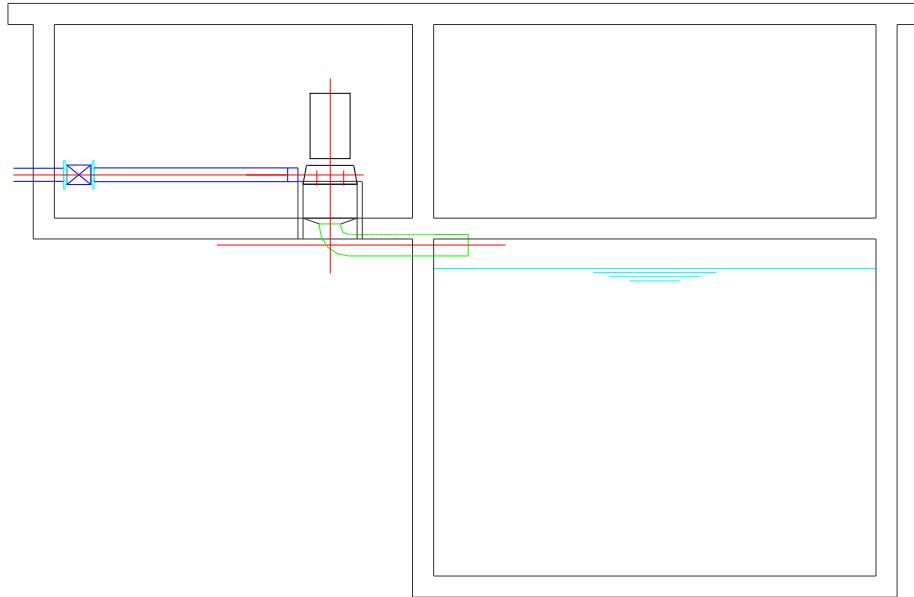
## Anhang 8

Diagramm zur Selektion des geeigneten Turbinentyps anhand der spezifischen Drehzahl  $n_s$



## Anhang 10

Massstäbliche Darstellung der Zentrale Gibli



## Anhang 11

Massstäbliche Darstellung der Zentrale Riedbord

