



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

GEMEINDE TOMILS (GR)

NEUBAU TRINKWASSERKRAFTWERK

Bauprojekt

Ausgearbeitet durch

Norman Gadiant, Entegra AG

Oberalpstrasse 28, 7000 Chur, norman.gadiant@entegra.ch, www.entegra.ch

Ivo Scherrer, Entegra AG

Oberalpstrasse 28, 7000 Chur, ivo.scherrer@entegra.ch, www.entegra.ch



Programm
Kleinwasserkraftwerke
www.kleinwasserkraft.ch

Impressum

Datum: Oktober 2008

Unterstützt vom Bundesamt für Energie

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittingen

Postadresse: CH-3003 Bern

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

www.bfe.admin.ch

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



Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	4
1.1 Hauptdaten des Projektes.....	4
1.2 Investitionskosten	4
1.3 Schlussfolgerung und Empfehlung	4
1.4 Weiteres Vorgehen	4
2. Ausgangslage.....	5
2.1 Vorgeschichte	5
2.2 Weiteres Vorgehen	5
2.3 Planungsgrundlagen	5
2.4 Planungsgrundsätze	6
3. Randbedingungen	6
3.1 Sanierung Wasserversorgung Trans	6
4. Wasserdargebot, Wasserbedarf und Ausbaupotential	7
4.1 Wasserdargebot.....	7
4.2 Wasserbedarf Gemeinde Tomils	9
4.3 Ausbaupotential	10
5. Rechtliche Situation.....	10
6. Beschrieb der geplanten Anlagen Transportleitung und TWKW Tomils.....	11
6.1 Übersicht und hydraulisches Schema	11
6.2 Bestimmung der Ausbauwassermenge	13
6.3 Komponenten des Wasserkraftwerkes	13
6.3.1 Reservoir Trans	13
6.3.2 Transport- und Druckleitung	13
6.3.3 Maschinenschacht	14
6.3.4 Elektro-Mechanische Ausrüstung	15
6.3.5 Zufahrt und Energieableitung	17
6.4 Energieausbeute.....	17
7. Baukosten und Wirtschaftlichkeit	18
7.1 Baukosten	18
7.2 Berechnung der Stromgestehungskosten	19



1. Zusammenfassung

1.1 Hauptdaten des Projektes

Elektrische Nennleistung	34 kW
Ausbauwassermenge	9 l/s
Bruttofallhöhe	530 m
Jährliche Produktionserwartung	144'000 kWh
Gestehungskosten (gemäss kEV)	26.6 Rp./kWh
Kostendeckende Einspeisevergütung (kEV)	27.2 Rp./kWh

1.2 Investitionskosten

Gesamtkosten	669'000 CHF
Projekt Neubau Transportleitung	255'000 CHF
Projekt Neubau Trinkwasserkraftwerk	414'000 CHF

1.3 Schlussfolgerung und Empfehlung

Mit dem Bau der Transportleitung zwischen den Reservoirs Trans und Rofna in Tomils wird der Überlauf des Reservoir Trans der Wasserversorgung Tomils zugeführt. Damit lässt sich der Anteil Quellwasserzuläufe mit natürlichem Gefälle in der Trinkwasserversorgung Tomils um rund das Dreifache steigern. Die Quellwasserpumpwerke Plaun Graund und Er Miur müssen – in einem durchschnittlichen hydrologischen Jahr – nur noch während rund drei Monaten ergänzend betrieben werden.

Aufgrund des vorliegenden Berichtes zeigt sich, dass das Projekt Neubau Trinkwasserkraftwerk Tomils technisch möglich ist. Sofern die kostendeckende Einspeisevergütung zugesichert wird, scheint ein wirtschaftlicher Betrieb der Anlage gewährleistet. Mit der Realisierung einer Trinkwasserkraftwerk-anlage kann – durch die Nutzung der potentiellen Energie des für die Trinkwasserversorgung ohnehin benötigten Wassers – hochwertige erneuerbare Energie erzeugt werden.

Aus diesen Gründen empfehlen wir, das Projekt Neubau Transportleitung und Trinkwasserkraftwerk Tomils weiterzuverfolgen.

1.4 Weiteres Vorgehen

Zur Sicherung des Einspeisetarifs (kEV) sollte in einem ersten Schritt die Anmeldung für die kostendeckende Einspeisevergütung an die Swissgrid erfolgen.

Anschliessend schlagen wir der Gemeinde Tomils die Fertigstellung des Bauprojektes (Neubau Transportleitung und Trinkwasserkraftwerk) mit der Erstellung von Plänen (Situation, Maschinenschacht, Details) und der anschliessenden Ausschreibung der Bauarbeiten vor. Parallel dazu sollten Offerten zur elektro-mechanischen Ausrüstung eingeholt werden.



2. Ausgangslage

2.1 Vorgeschichte

Die Gemeinde Tomils (GR) liegt an der östlichen Talseite des Domleschg auf ca. 800 m ü. M. Eine Fusion mit den Gemeinden Tomils und Scheid ist beschlossen und wird voraussichtlich im Jahre 2009 durchgeführt.

Der Wasserbedarf der Gemeinde Tomils wird grösstenteils durch das Quellwasserpumpwerk Plaun Grund gedeckt. Eine sichere und energie-unabhängige Versorgung des Dorfes mit Quellwasser wäre wünschenswert. Aus diesen Gründen ist im Zusammenhang mit der Sanierung der Quelfassungen und der Quellableitungen (Quellen Aua Freda, Bles Aulta und Nurseala) sowie der Realisierung des Trinkwasserkraftwerkes Trans vorgesehen, den Überlauf des Reservoir Trans mittels Transportleitung ins Reservoir Rofna (Tomils) zu bringen. In diesem Zusammenhang ist eine energetische Nutzung des Wasserkraftpotentials zu prüfen.

Am 3. Juli 2008 fand eine Besprechung im Gemeindehaus Tomils statt. Die Teilnehmer waren: Johann Felix Schütz (Gemeindepräsident Tomils), Gieri Luzi (projektierender Ingenieur Wasserversorgung) sowie Norman Gadiant (Entegra Wasserkraft AG).

2.2 Weiteres Vorgehen

Anlässlich der Besprechung wurde vereinbart, ein Projekt Neubau Transportleitung und Trinkwasserkraftwerk Tomils auszuarbeiten. Der Teil Wasserversorgung wird durch das Ingenieurbüro Gieri Luzi, Summaprada bearbeitet und für das Projekt Trinkwasserkraftwerk ist das Büro Entegra Wasserkraft AG, Chur verantwortlich.

2.3 Planungsgrundlagen

Die folgenden Planungsgrundlagen wurden verwendet:

- [1] *B. Jörg, Ingenieur HTL: **Wasserversorgung Tomils, Qualitätssicherung**, Chur, Oktober 2004*
- [2] *Gieri Luzi, Ingenieurbüro für Kulturtechnik: **Wasserversorgung Trans und Tomils, Projektstudie**, Summaprada, Oktober 2005*
- [3] *Brunnenmeister Gemeinde Trans: **Wasserversorgung Trans, Quellschüttungsmessungen**, Trans, Stand Januar 2008*
- [4] *Marugg + Bruni AG, dipl. Ingenieure ETH: **Energetische Nutzung Wasserversorgung, Grobanalyse**, Chur, November 2006*
- [5] *Entegra Wasserkraft AG: **Neubau Trinkwasserkraftwerk Trans, Grobanalyse**, Chur, Juni 2008*
- [6] *Gieri Luzi, Ingenieurbüro für Kulturtechnik: **Projekt Sanierung Wasserversorgung Trans**, Summaprada, Juni 2008*
- [7] *Gieri Luzi, Ingenieurbüro für Kulturtechnik: **Geländeaufnahmen Trasse Transportleitung**, Summaprada, August 2008*
- [8] *Entegra Wasserkraft AG: **Quellschüttungsmessungen Bles Aulta und Nurseala**, August 2008*



2.4 Planungsgrundsätze

Bei der Planung der Anlagen wurden die folgenden Grundsätze angewendet:

- Die dauernde, sichere Versorgung der Gemeinden Tomils und Trans mit Trink- und Löschwasser hat in allen Fällen Vorrang vor der Stromproduktion eines in das Wasserversorgungssystem integrierten Kleinwasserkraftwerks.
- 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 die Ausführung.
- Die elektrische Anbindung des Trinkwasserkraftwerkes an das Niederspannungsnetz in der Gemeinde Tomils darf keinen besonderen technischen Aufwand erfordern und darf insgesamt den Versorgungsbetrieb nicht unangemessen belasten (Blindstrom, Oberwellen).

3. Randbedingungen

3.1 Sanierung Wasserversorgung Trans

Als Grundlage liegen die Projekte Sanierung der Wasserversorgung und Neubau Trinkwasserkraftwerk Trans [5] vor. In der folgenden Abbildung sind die betroffenen Anlagen der Wasserversorgung Trans dargestellt (Projekt in roter Farbe).

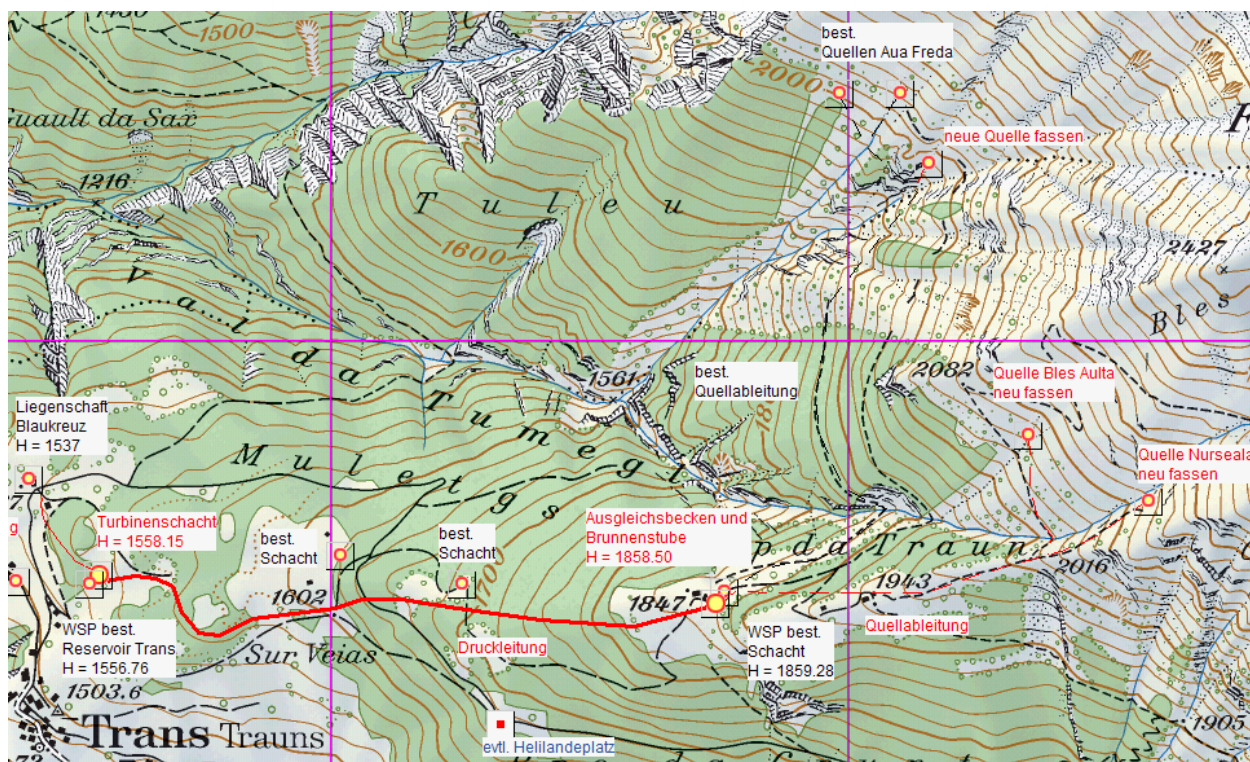


Abbildung 1: Übersicht über die Anlagen gemäss Projekt Sanierung Wasserversorgung und TWKW Trans



4. Wasserdargebot, Wasserbedarf und Ausbaupotential

4.1 Wasserdargebot

Der Zulauf und der Überlauf des Reservoirs Trans wurde während eines Jahres durch den Brunnenmeister der Gemeinde Trans im Einlaufschacht vor und im Überlaufschacht nach dem Reservoir gemessen [3]. Während des Jahres 2007 wurden monatlich 1 bis 2 Messungen durchgeführt. Der Verbrauch der Gemeinde Trans ergibt sich aus der Differenz Zulauf minus Überlauf. Der gemessene Verbrauch August bis Oktober war unrealistisch hoch. Die Wassermessungen dieser Monate wurden jeweils um die Mittagszeit oder am späten Nachmittag durchgeführt. Dies sind in Dörfern Zeiten mit Spitzenverbrauch und entsprechen nicht den Tagesmittelwerten. Statt den gemessenen Werten wurden daher von Gieri Luzi im Rahmen der Projektstudie [2] ermittelte Verbrauchszahlen eingesetzt.

Die Resultate der Wassermengenumessungen liegen in der folgenden Tabelle bei:

Tabelle 1: Tagesmittelwerte Wassermengen Reservoir Trans

Schüttungen	Zulauf Reservoir	Zulauf Reservoir	Verbrauch Trans	Überlauf Reservoir
Datum:	Q (l/min)	Q (l/s)	Q (l/s)	Q (l/s)
15.01.2007	159.0	2.7	1.2	1.5
31.01.2007	140.0	2.3	1.4	0.9
19.02.2007	124.5	2.1	1.1	1.0
07.03.2007	131.6	2.2	1.0	1.2
22.03.2007	166.5	2.8	1.3	1.5
05.04.2007	171.3	2.9	1.2	1.7
25.04.2007	284.5	4.7	1.1	3.6
21.05.2007	339.2	5.7	1.6	4.1
05.06.2007	452.3	7.5	1.4	6.1
18.06.2007	519.0	8.7	1.8	6.9
24.07.2007	420.0	7.0	1.8	5.2
22.08.2007	452.3	7.5	1.7	5.8
15.09.2007	441.0	7.4	1.7	5.7
10.10.2007	452.3	7.5	1.7	5.8
31.10.2007	410.2	6.8	1.7	5.1
14.11.2007	332.8	5.5	1.4	4.1
29.11.2007	289.2	4.8	1.6	3.2
19.12.2007	202.8	3.4	1.2	2.2
03.01.2008	186.7	3.1	1.2	1.9
Legende:				
	1.2	gemessene Wassermengen		
	1.7	berechnete Wassermengen		



Das Jahr 2007 kann bezüglich Jahresniederschlag in der Region Mittelbünden als Durchschnittsjahr bezeichnet werden. Dies ist anhand der nachfolgenden Grafik der Niederschlagsmessungen der Messstation Chur ersichtlich.

Niederschlagsmessungen

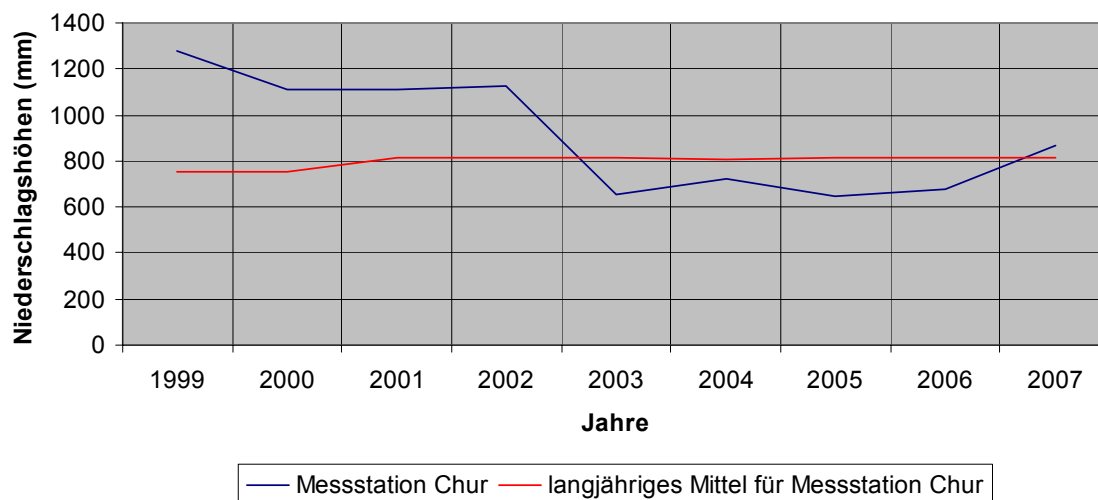


Abbildung 2: Niederschlagshöhen über die letzten Jahre, für die Messstation Chur

Es ist zu erwarten, dass durch eine Optimierung des Verbrauches auf der Strecke (Schwimmerventile bei Weidebrunnen), mit dem Fassen einer neuen Quelle im Gebiet Aua Freda, der Sanierung der Quelfassungen Bles Aulta und Nurseala sowie dem Neubau der Reservoirzuleitung Trans, die Wassermengen leicht erhöht werden können.

Die Schüttungen der neu gefassten Quelle im Gebiet Aua Freda schätzen wir auf 10 bis 30 l/min (0.2 bis 0.5 l/s).

Aufgrund der Sanierung der Quelfassungen Bles Aulta und Nurseala und durch die Minimierung der Wasserverluste durch den Ersatz der 60 Jahre alten Eternitleitung rechnen wir zusätzlich mit 10 bis 40 l/min (0.2 bis 0.7 l/s). Diese Annahme wird durch Beobachtungen und Messungen der Quellschüttungen im August 2008 [8] bestätigt.

Wassermengen vor Reservoir Trans (Grundlage Messung 2007)

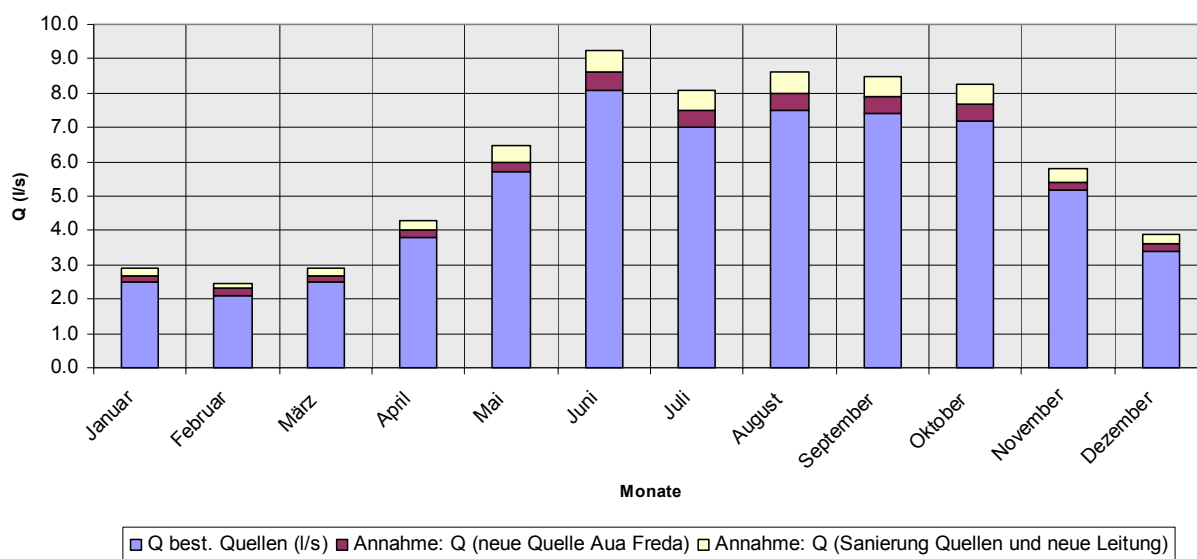


Abbildung 3: Ganglinie Zulauf Reservoir Trans

Im Zusammenhang mit der Nutzung des Überlaufes Reservoir Trans als Trinkwasser und zur Ener-



gieerzeugung ist es sinnvoll, die Dorfbrunnen in Trans bezüglich Wasserverbrauch zu optimieren. Die dem vorliegenden Projekt zugrundegelegten Wassermengen sind in folgender Grafik dargestellt:

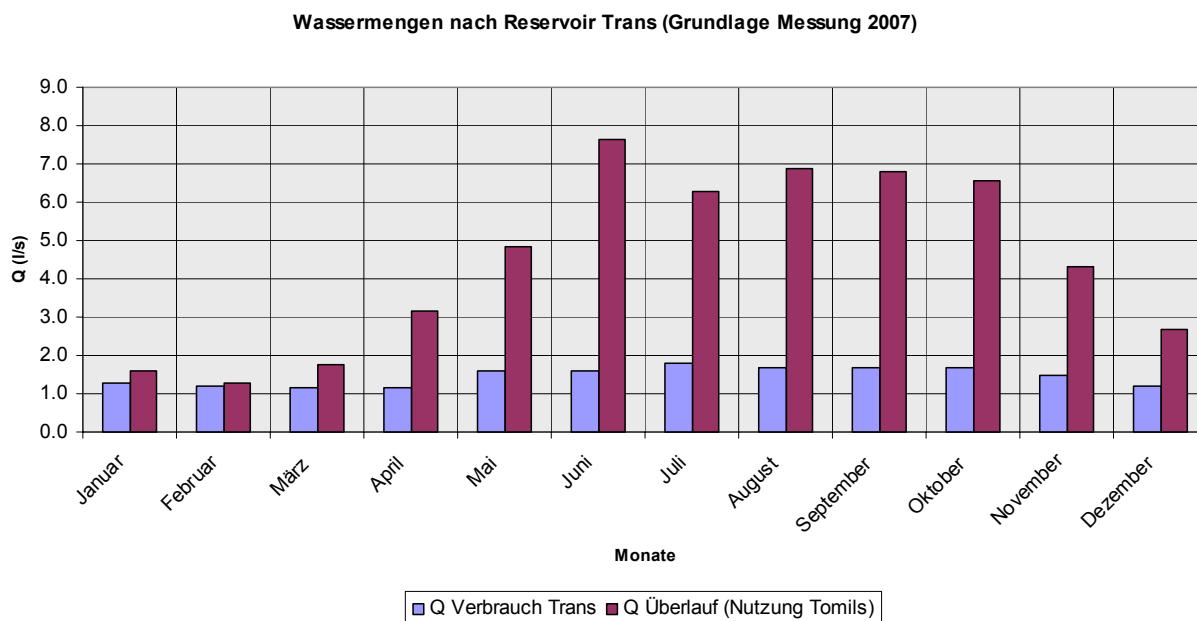


Abbildung 4: Ganglinien Verbrauch Dorf Trans und Überlauf Reservoir Trans

4.2 Wasserbedarf Gemeinde Tomils

In der Schweiz rechnet man mit einem durchschnittlichen spezifischen Wasserverbrauch von 450 bis 550 l/d und Einwohner (inkl. Industrie und Gewerbe). Die Gemeinde Tomils hat rund 360 Einwohner. Bei einem Wasserverbrauch von 550 l/d*E – was für ländliche Gemeinden üblich ist – und einem Netzverlust von 10% ergibt sich ein **mittlerer Wasserbedarf** von rund **220 m³/d** (2.5 l/s).

Sofern Messungen und Aufzeichnungen des Wasserbedarfs der Gemeinde Tomils vorliegen, sollte unsere Abschätzung mit diesen Werten verglichen werden.

Gemäss den Aufzeichnungen von Ing. B. Jörg [1] betragen die Zuläufe der Quellen Auetta, Fontanas, Valar, Sez, Rofna und Überlauf der Quellen Hunziker rund 35 – 140 l/min (0.6 – 2.3 l/s). Für die Quellen Fontaneus, welche das Quellwasser-Pumpwerk Plaun Grund speisen, wurden Schüttungen von 130 – 300 l/min (2.2 – 5 l/s) aufgezeichnet (siehe Abbildung 7).

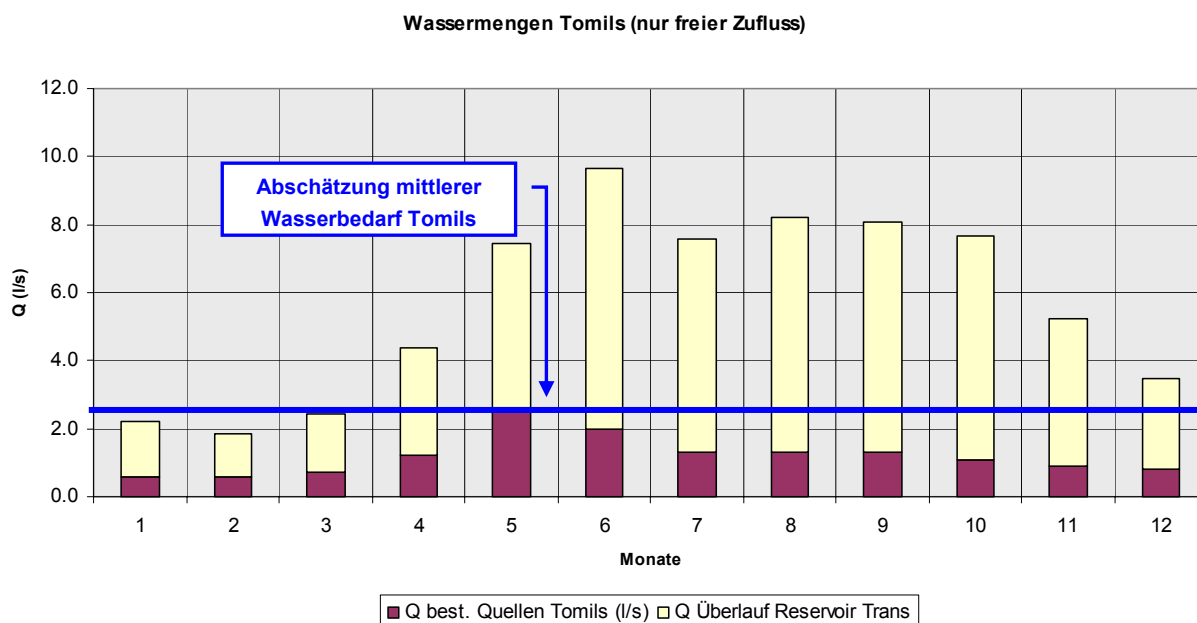


Abbildung 5: Ganglinien Quellen Tomils mit Überlauf Reservoir Trans (Projekt), Bedarf Tomils



Aufgrund unserer Abschätzung – dargestellt in der obenstehenden Grafik – zeigt sich, dass bei einer Realisierung der Transportleitung Reservoir Trans – Reservoir Rofna die Quellwasserzuläufe mit natürlichem Gefälle, einen Bedarf von rund 2.5 - 3 l/s während rund 9 Monaten im Jahr decken oder übertreffen. Eine Unterstützung der Trinkwasserversorgung des Dorfes Tomils durch die Stufenpumpwerke und die Quellen Fontaneus, ist in einem durchschnittlichen hydrologischen Jahr nur noch in den schüttungsarmen Wintermonaten notwendig.

Entgegen dem heutigen Zustand kann die Abhängigkeit von den Quellen Fontaneus, welche im Landwirtschaftsgebiet, sowie nahe der Strasse liegen, reduziert werden. Ebenso können die Pumpkosten gesenkt und die energie-unabhängige Notwasserversorgung des Dorfes massiv verbessert werden.

4.3 Ausbaupotential

Das Wasserkraftpotential ergibt sich aus dem Höhenunterschied zwischen dem Reservoir Trans und dem Reservoir Rofna in Tomils. Das Wasserkraftpotential errechnet sich wie folgt:

Tabelle 2: Wasserkraftpotential

	Meereshöhe	Bruttogefälle
Potential: Reservoir Trans	1556.75 m ü.M.	ca. 530.0 m (Leitung: PE 125/110.2mm, 200m und Guss duktil DN 100, 1090m)
bis Reservoir Rofna	1024.00 m ü.M.	

Unter der Annahme, dass die Wasserkraftanlage auf 9l/s ausgelegt wird, ergibt sich bei ca. 29m Reibungs- und anderen Druckverlusten das folgende Wasserkraftpotential:

- Potential: Nettogefälle $H_n = 501$ m, $Q = 9.0$ l/s, $P_{\text{elektrisch}} = 34.0$ kW

5. Rechtliche Situation

Eine Wasserrechtskonzession für die Wasserkraftnutzung ist nicht zu beantragen, da es sich um eine Nebennutzung der Wasserversorgung handelt. Die rechtlichen Vereinbarungen für die Übernahme des Trinkwassers der Gemeinde Trans durch die Gemeinde Tomils vor der Gemeindefusion ist noch abzuklären.



6. Beschrieb der geplanten Anlagen Transportleitung und TWKW Tomils

6.1 Übersicht und hydraulisches Schema

Der Wasserstand im Reservoir Trans wird permanent überwacht und die Düsennadel / Durchflussmenge der Turbine so angepasst, dass der Wasserspiegel annähernd konstant bleibt. Bei einem erhöhten Bedarf des Dorfes Trans sinkt der Pegel und die Düse der Turbine schliesst sich automatisch. Somit kann gewährleistet werden, dass nur der Überlauf des Reservoir Trans via Druck- und Transportleitung ins Reservoir Rofna gelangt.

Das Kraftwerk produziert im Normalfall im Netzverbund. Sobald eine Netzstörung auftritt, wird die Anlage sofort vom Netz getrennt.

Das Wasser für die Trinkwasserversorgung der Gemeinde Tomils wird nach der Turbine ins Reservoir Rofna abgegeben. In Notfällen, bei Revisionen oder bei Netzausfall gelangt das Wasser über einen By-Pass parallel zur Turbine direkt in das Reservoir.



Abbildung 6: Gesamtanordnung der vorgeschlagenen Anlage



6.2 Bestimmung der Ausbauwassermenge

Die Ausbauwassermenge wird mit 9 l/s festgelegt. Damit wäre die Turbine, bezogen auf die Monatsmittel ($Q_m \max = 7.6 \text{ l/s}$), leicht überdimensioniert. Im Tagesverlauf werden jedoch höhere Überläufe (Nacht) erwartet, welche mit der gewählten Ausbauwassermenge genutzt werden können. Die minimal nutzbare Wassermenge für kleine eindüsige Peltonmaschinen liegt bei rund 20% der Ausbauwassermenge (1.8 l/s).

Der minimale Überlauf des Reservoir Trans mit 1.3 l/s liegt bei rund 15 % der Ausbauwassermenge. Um einen guten Wirkungsgrad bei den kleinen Wassermengen zu erreichen, ist ein intermittierender Betrieb, mit einem Teil der Brauchreserve Reservoir Trans als Speicherbecken, sinnvoll. Dies wurde bei der Energieberechnung zugrunde gelegt, ist aber auf jeden Fall mit der Gemeinde abzusprechen.

6.3 Komponenten des Wasserkraftwerkes

6.3.1 Reservoir Trans

Das bestehende Reservoir Trans wird als Ausgleichsbecken genutzt und ist mit einer Brauchreserve von 50 m^3 bezüglich Volumen, freier Wasseroberfläche und Überdeckung des Seihers der Druckleitung mehr als genügend. Zur Regelung der Turbine ist lediglich das Anbringen einer Drucksonde vorzusehen. Es ist vorgesehen, die Leitung bis zum Dorf Trans als Druckleitung und Versorgungsleitung zu kombinieren.

Folgende Anpassungen und Ergänzungen im Reservoir Trans sind vorzusehen:

- Anbringen eines Seihers mit 8mm Lochdurchmesser, damit die Peltondüse nie verstopft und Druckstöße erzeugt.
- Platzierung der eingetauchten Drucksonde (mit Überspannungsschutz) zur Turbinenregelung

6.3.2 Transport- und Druckleitung

Bis zum Dorf Trans ist vorgesehen, die Versorgungsleitung Trans und die Transport- und Druckleitung zu kombinieren. Die bestehende Versorgungsleitung des Dorfes ist ca. 60 Jahre alt und hat das Ende ihrer Lebensdauer beinahe erreicht. Da für die Energieversorgung des Reservoirs Trans und für das Signalkabel ohnehin ein Graben zu erstellen ist, wird diese Leitung sinnvollerweise ersetzt.

Im oberen Bereich werden aus wirtschaftlichen Gründen und aufgrund des geringen Gewichtes Leitungen aus PE (Polyethylen) 125/110.2mm mit Nenndruck PN 10 vorgesehen. Im unteren Bereich schlagen wir - damit im steilen, felsigen und unzugänglichen Bereich zur Grabenauffüllung kein teures Fremdmaterial zugeführt werden muss, sowie aufgrund der hohen Innendrucke - Gussrohre DN 100 mit Steckmuffen schubgesichert und mit Zementmörtelumhüllung vor.





Abbildung 8: *Grobe Linienführung Druckleitung*

Die Druckleitung wird eingegraben und hat eine Gesamtlänge von ca. 1290 m. Um ein ausschweimen der Leitung zu verhindern werden im steilen Bereich (bis 90 % Neigung) Betonriegel vorgesehen.

Bei Volllast (Ausbauwassermenge 9 l/s) und den gewählten Leitungsdurchmessern betragen die Druckverluste ca. 29 m.

6.3.3 Maschinenschacht

Die Gefälls- und Durchflussverhältnisse ($H_{\text{netto}} = 501\text{m}$, $Q_A = 9\text{ l/s}$) weisen eindeutig auf die Wahl einer Freistrahlturbine des Typs Pelton hin. Da Freistrahlturbinen einen freien Unterwasserspiegel verlangen (Lauftrad nicht in Wasser eingetaucht, kein Gegendruck), muss der Maschinensatz wesentlich über dem maximalen Reservoirfüllstand eingebaut werden. Die Anordnung einer konventionellen Peltonmaschine ist im bestehenden Reservoir Rofna aufgrund der geringen Höhe zwischen Wasserspiegel und UK Decke (1.2 m) innerhalb des Reservoirgebäudes nicht möglich.

Als Alternativvariante könnte eine Gegendruck-Peltonmaschine direkt im Trockenraum des Reservoirs vorgesehen werden. Die Gegendruck-Peltonmaschine kann im Gegensatz zur konventionellen Peltonmaschine im geschlossenen System eingebaut werden, womit auf den Bau eines Turbinenschachtes verzichtet werden kann. Aufgrund von Erfahrungswerten wissen wir jedoch, dass der Mehrpreis für die Gegendruck-Peltonmaschine die Kosten für die Erstellung eines Maschinenschachtes übersteigt. Bezüglich Betrieb und Unterhalt sehen wir ebenfalls Nachteile gegenüber einer mechanisch sehr einfach aufgebauten Peltonmaschine.

Ebenfalls erachten wir es als sinnvoll, aus Gründen der Qualitätssicherung der Wasserversorgung, die Energieerzeugung und die Trinkwasserversorgung räumlich zu trennen.

Daher schlagen wir vor, einen separaten Maschinenraum zu erstellen. Der Maschinenraum kann auf dem Reservoir oder möglichst nahe zum Reservoir unterirdisch in einem erdüberdeckten Ortbetonschacht mit abschliessbarem Einstiegsdeckel angeordnet werden. Der Unterwasserspiegel der Peltonmaschine hat ca. 1.5 m über dem maximalen Wasserspiegel des Reservoirs zu liegen. Die Anordnung und Lage des Maschinenraumes ist noch mit der Gemeinde Tomils festzulegen.



Das Turbinenhaus kann aus Ort beton oder als vorfabrizierter Schacht gebaut werden. Erst nach der Ausschreibung der Arbeiten kann die kostengünstigste Variante bestimmt werden. Das vorliegende Projekt rechnet mit einem Ortbetonschacht.

Die Innenabmessungen des erdüberdeckten Maschinenschachtes sind wie folgt:

- Länge 3.20m
- Breite 2.40m
- Höhe 2.40m

Der Einstieg in den Maschinenschacht erfolgt über einen Brunnendeckel DN 800 mit Filter. Eine Montage- und Revisionsöffnung mit Abdeckplatten aus Beton (System Kabelschacht) wird vorgesehen. Die Deckenplatte des Schachtes, inkl. Abdeckplatten der Revisionsöffnung, wird mit Bitumenbahnen abgedichtet und mit 30cm Erdreich überdeckt. Wird ein Ausbau des Maschinensatzes notwendig, kann das Erdreich abgedeckt, die Bitumenbahnen aufgeschnitten und die Abdeckplatten entfernt werden. Die Bitumenbahnen können nach Einbau der Maschine durch z.B. einen Dachdecker wieder ergänzt und verschweisst werden.



Abbildung 9: Platz bei best. Reservoir Rofna

6.3.4 Elektro-Mechanische Ausrüstung

Mit den vorliegenden Leitungsdurchmessern und der Ausbauwassermenge von 9 l/s betragen die maximalen Verluste ca. 29 m (5.5 % der Bruttofallhöhe).

Der Maschinensatz des Trinkwasserkraftwerks wird auf die folgenden Daten ausgelegt:

- Bruttofallhöhe: $H_b = 530 \text{ m}$
- Nettofallhöhe: $H_n = 501 \text{ m}$
- Nenndurchfluss: $Q_A = 9 \text{ l/s}$

Mit diesen Ausgangsdaten bietet sich eine klassische, eindüsige Peltonturbine mit direkt-gekoppeltem



Asynchrongenerator an.

Die Turbine muss im Notfall automatisch durch einen Strahlablenker vom Wasserstrahl abgetrennt werden. Um die Druckstossbelastung minimal zu halten, wird anschliessend die Düse der Turbine automatisch mit einer festgelegten Schliesszeit geschlossen ($T_{s,0} \geq 20$ s).

Um die Versorgung des Dorfes mit Trinkwasser zu sichern, die Betriebskosten tief zu halten und eine optimale Ausnutzung zu gewähren, ist eine automatische Regelung des Durchflusses mit einer ständigen Überwachung des Wasserspiegels im Reservoir Trans vorgesehen. Die Signalübertragung zwischen Turbinenkammer und Reservoir Trans erfolgt über ein parallel zur Druckleitung verlegtes Signalkabel. In Notsituationen muss die Anlage vollautomatisch vom Netz getrennt werden.



Abbildung 10: Beispiel für kleine Pelton turbine (horizontalachsig) mit Generator für Trinkwasserkraftwerk

Die technischen Daten der gewählten Turbine sind wie folgt:

- Typ Pelton, eindüsig
- Laufraddurchmesser ca. 600mm (je nach Hersteller)
- Becherbreite ca. 35mm
- Düsendurchmesser ca. 11mm
- Drehzahl 1530 U/min (für Direktantrieb des Generators)
- Anschlussflansch DN 80

Die Maschine wird aus rostfreiem Material hergestellt und enthält alle für den Einbau in der Trinkwasserversorgung benötigten Zusatzeinrichtungen wie vom Gehäuse und Kondenswasser getrennte Lagerböcke, umlaufende Rinne zur Aufnahme und Ableitung von Kondenswasser, Lager für biologisch abbaubares Fett, Entlüftung des Turbinengehäuses mit Anschluss an Filter im Brunnendeckel, etc.

Das hydraulische Schema der Anlage ist in Abbildung 7 dargestellt.



6.3.5 Zufahrt und Energieableitung

Der projektierte Maschinenschacht beim Reservoir Rofna ist erschlossen mit einem befahrbaren Feldweg (Zufahrt Hof Mos). Die Zufahrtsmöglichkeit ist immer gewährleistet.

Die Einspeisung der elektrischen Energie kann voraussichtlich direkt beim Reservoir Rofna ins Niederspannungsnetz der Gemeinde Tomils erfolgen.

6.4 Energieausbeute

Für die gewählte Ausbauwassermenge $Q_A = 9 \text{ l/s}$ wurde die Energieausbeute unter den folgenden Annahmen gerechnet:

Turbinenwirkungsgrade

bei Q_A :	82%
75% von Q_A :	81%
50% von Q_A :	81%
25% von Q_A :	80%

Generatorwirkungsgrade

bei P_{mech} :	93%
75% von P_{mech} :	93%
50% von P_{mech} :	92%
25% von P_{mech} :	91%

Betriebsausfall während durchschnittlich 7 Tagen im Jahr für Reparatur und Reinigungsarbeiten.

Mit den in Abschnitt 4.1 zugrunde gelegten Wasserdargebot ergibt sich ein Jahresenergieertrag von rund 144'000kWh.

Zum Vergleich: Ein Haushalt mit Eigenheim verbraucht im schweizerischen Durchschnitt ca. 4000 bis 5000 kWh / Jahr an elektrischer Energie. Die Anlage kann also den Bedarf an elektrischer Energie von ca. 35 Haushalten decken. Diese doch beachtliche erneuerbare Energiemenge kann ohne jeglichen zusätzlichen Eingriff in die Umwelt erzeugt werden. Ohne die Nutzung in einer Kleinwasserkraftanlage müsste diese Energie in entsprechenden Einrichtungen wie Druckbrecherschächten vernichtet werden.



7. Baukosten und Wirtschaftlichkeit

7.1 Baukosten

Der Kostenvoranschlag wurde auf der Grundlage von Unternehmerofferten aus ähnlichen Projekten sowie aufgrund von Erfahrungswerten vorgenommen.

Für den Kostenteiler Transportleitung und Trinkwasserkraftwerk werden sämtliche Mehrkosten für den Bau einer Druckleitung dem Trinkwasserkraftwerk zugeschlagen. Als Basiskosten für die Transportleitung sind wir von einer Leitung PE 110/90.0, Nenndruck 16 bar mit Steckmuffen schubgesichert, ausgegangen.

Die Projektkosten werden wie folgt geschätzt (Genauigkeit gemäss SIA, Bauprojekt $\pm 10\%$):

Tabelle 3: Kostenvoranschlag Gesamtprojekt

Zusammenstellung Total		
A	Transport- und Druckleitung	302'000
B	Turbinenschacht	30'000
C	Elektromechanische Ausrüstung	215'000
D	Projektplanung, Ausschreibung, Bauleitung	75'000
Total Projekt inkl. 10% Unvorhergesehenes [CHF]		622'000
MWSt. 7.6%		47'272
Total Projekt inkl. MWSt. (gerundet)		669'000

Tabelle 4: Kostenvoranschlag Anteil Transportleitung

Zusammenstellung		
A	Anteil Transportleitung	207'000
D	Projektplanung, Ausschreibung, Bauleitung	30'000
Total Projekt inkl. 10% Unvorhergesehenes [CHF]		237'000
MWSt. 7.6%		18'012
Total Projekt Transportleitung inkl. MWSt. (gerundet)		255'000

Tabelle 5: Kostenvoranschlag Anteil Trinkwasserkraftwerk

Zusammenstellung		
A	Anteil Druckleitung	95'000
B	Turbinenschacht	30'000
C	Elektromechanische Ausrüstung	215'000
D	Projektplanung, Ausschreibung, Bauleitung	45'000
Total Projekt inkl. 10% Unvorhergesehenes [CHF]		385'000
MWSt. 7.6%		29'260
Total Projekt Trinkwasserkraftwerk inkl. MWSt. (gerundet)		414'000



7.2 Berechnung der Stromgestehungskosten

Die folgenden Parameter werden zur Berechnung der Stromgestehungskosten gewählt:

- Kalkulatorischer Zinssatz $i = 5\%$
- Kalkulatorische Nutzungsdauer $n = 25$ Jahre

Die kalkulatorische Nutzungsdauer wird hier nicht wie üblich mit der effektiven Nutzungsdauer der verschiedenen Anlagenkomponenten berechnet, die bei Bauwerken wie Ausgleichsbecken, Druckleitung und Maschinenhaus 40 Jahre und mehr beträgt. Die Nutzungsdauer von 25 Jahren ergibt sich aus den neuen Energie- und Stromversorgungsgesetzen und der in den entsprechenden Verordnungen definierten Berechnung der Einspeisevergütung. Die berechneten Stromgestehungskosten stellen daher nur die Vergleichsgrundlage zu den kostendeckenden Einspeisevergütungen her.

Die Betriebs- und Unterhaltskosten wurden aufgrund von eigenen Aufwandschätzungen in die Berechnung eingeführt. Dabei wurden für Reparaturen und Revisionen die folgenden jährlichen Kosten eingesetzt (ausgedrückt in % der Investitionskosten der entsprechenden Bauteile):

- Elektromechanik 1.5%
- Druckleitung 1.0%
- Bau 0.5%

Damit lassen sich die jährlichen Kosten für Betrieb und Unterhalt der 34kW-Anlage zu rund CHF 9'000.- berechnen.

Aus der Annuität der Investitionen und den Betriebs- und Unterhaltskosten lassen sich bei einer Jahresproduktion von 144'000kWh Gestehungskosten von Rp. 26.6/kWh berechnen.

Der Bundesrat hat die neue Stromversorgungsverordnung und die revidierte Energieverordnung am 14. März 2008 verabschiedet. Die beiden Verordnungen konkretisieren die Umsetzung der gesetzlichen Bestimmungen für die Strommarktöffnung für Grossverbraucher sowie die Einführung der kostendeckenden Einspeisevergütung per 1. Januar 2009.

Die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) wurde gemäss der revidierten Energieverordnung ermittelt und beträgt für die vorliegende Anlage ca. Rp. 27.2/kWh.

