



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

# GEMEINDE PEIST (GR)

## NEUBAU WASSERKRAFTWERK FARBTOBEL

### Konzessionsprojekt

Ausgearbeitet durch

**Ivo Scherrer, Entegra Wasserkraft AG**

Oberalpstrasse 28, 7000 Chur, ivo.scherrer@entegra.ch, [www.entegra.ch](http://www.entegra.ch)

**Norman Gadiant, Entegra Wasserkraft AG**

Oberalpstrasse 28, 7000 Chur, norman.gadiant@entegra.ch, [www.entegra.ch](http://www.entegra.ch)



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

## **Impressum**

Datum: 23. Dezember 2009

### **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](http://www.bfe.admin.ch)

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



## **INHALT**

<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>5</b>
1.1	Hauptdaten des Projekts	5
1.2	Gesamtbeurteilung	5
<b>2</b>	<b>AUSGANGSLAGE</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>PLANUNGSGRUNDLAGEN</b>	<b>6</b>
3.1	Projektspezifische Grundlagen	6
3.2	Plangrundlagen	6
3.3	Gesetzliche Grundlagen	6
<b>4</b>	<b>WASSERDARLEHEN UND GEWÄSSERZUSTAND</b>	<b>7</b>
5.1	Hydrologie	7
5.2	Hochwasserabschätzung	10
5.3	Gewässerökologie	11
<b>5</b>	<b>RAHMENBEDINGUNGEN UND PROJEKTZIELE</b>	<b>14</b>
5.1	Trägerschaft	14
5.2	Rechtliche Situation	14
5.3	Ausbauziele	14
<b>6</b>	<b>ANLAGEKONZEPT</b>	<b>15</b>
6.1	Ausbauwassermenge	15
6.2	Kraftwerkskonzept	16
6.3	Sicherheit	17
<b>7</b>	<b>PROJEKTBECHRIEB</b>	<b>18</b>
7.1	<b>Bauliche Komponenten</b>	<b>18</b>
7.1.1	Wasserrfassung und Sandfang	18
7.1.2	Druckleitung	20
7.1.3	Maschinenhaus	23
7.1.4	Elektrotechnische Ausrüstung	24
7.1.5	Zufahrt	25
7.1.6	Wasserrückgabe	25
7.1.7	Energieableitung	25
7.1.8	Wasserversorgung und Abwasser	25
7.2	<b>Jahresproduktion</b>	<b>26</b>
7.3	<b>Betrieb</b>	<b>27</b>
7.4	<b>Umweltbelange</b>	<b>28</b>
7.4.1	Restwasser	28
7.4.2	Geschwemmsel	28



7.4.3	Geschiebe	28
7.4.4	Gewässervernetzung	28
7.4.5	Natur- und Landschaftsschutz	28
7.4.6	Ersatzmassnahmen	28
<b>7.5</b>	<b>Wirtschaftlichkeitsanalyse</b>	<b>29</b>
7.5.1	Investitionskosten	29
7.5.2	Betriebs- und Unterhaltskosten	29
7.5.3	Parameter der Wirtschaftlichkeitsanalyse	29
7.5.4	Kostendeckende Einspeisevergütung und Gestehungskosten	30



## 1 ZUSAMMENFASSUNG

### 1.1 Hauptdaten des Projekts

Einzugsgebiet	3.1 km <sup>2</sup>
Ausbauwassermenge	150 l/s
Volllasttage	55 Tage
Restwassermenge	25 bis 50 l/s
Bruttofallhöhe	210 m
Druckleitung: Länge	1150 m
Druckleitung: Durchmesser	300 / 350 mm
Elektrische Nennleistung	250 kW
Jährliche Produktionserwartung	800'000 kWh
Investitionskosten (KV)	1.76 Mio. CHF
Verhältnis Investitionskosten / Jahresenergie	2.20 CHF/kWh

### 1.2 Gesamtbeurteilung

Der vorliegende Bericht zum Konzessionsprojekt zeigt auf, dass mit dem Projekt Wasserkraftwerk Farbtobel eine nachhaltige und auch wirtschaftlich attraktive Energieproduktion möglich wird.

Der Bauherrschaft kann ein sowohl technisch attraktives wie auch ökologisch verträgliches Kraftwerk unterbreitet werden.

## 2 AUSGANGSLAGE

Der Farbtobelbach, welcher auf Territorialgebiet der Gemeinde Peist liegt, ist ein kleines Fließgewässer mit Wildbachcharakter. Der Bach entspringt unterhalb des Cunggel (2413 m ü. M.) und mündet südlich von Peist in die Plessur (1090 m ü. M.).

Zwischen der technisch möglichen Fassungsstelle östlich des Dorfes Peist und der Mündung in den Hinterrhein weist das Farbtobel ein beachtliches Wasserkraftpotential auf. Das vorliegende Projekt Wasserkraftwerk Farbtobel beabsichtigt, dieses Potential zu nutzen.

Als Trägerschaft des Projekts wird voraussichtlich eine AG mit den beiden Partnern Gemeinde Peist und Entegra Wasserkraft AG gegründet.



### **3 PLANUNGSGRUNDLAGEN**

#### **3.1 Projektspezifische Grundlagen**

- [1] **Vorstudie Neubau TWKW Tarnatel und KWKW Farbtobel**, *Entegra*, Chur, *Oktober 2007*
- [2] **Kraftwerk Farbtobel, Restwasserbericht (Entwurf)**, *Ecowert*, Domat/Ems, *Mai 2009*

#### **3.2 Plangrundlagen**

- Übersichtsplan 1:10'000, Amt für Landwirtschaft, Strukturverbesserungen und Vermessung
- Landeskarte der Schweiz 1:25'000
- Natur- und Landschaftsinventare
- Grundbuchdaten der Gemeinde Peist
- Zonenplan der Gemeinde Peist

#### **3.3 Gesetzliche Grundlagen**

Zur Anwendung kommen die Schweizerischen und die Bündner Gesetze und deren Verordnungen, namentlich das:

- Bundesgesetz über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte (WRG; SR 721.80)
- Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (GSchG; SR 814.20)
- Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz (NHG; SR 451)
- Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG; SR 814.01)
- Energiegesetz (EnG; SR 730.0)
- Bundesgesetz über die Stromversorgung (StromVG; SR 734.7)
- Wasserrechtsgesetz des Kantons Graubündens (BWRG; BR 810.100 )
- Kantonales Umweltschutzgesetz (KUSG; BR 820.100)



## 4 WASSERDARGEBOT UND GEWÄSSERZUSTAND

### 5.1 Hydrologie

Das Farbtobel entspringt am Fuss des Cunggel (2413 m ü. M.), dem höchsten Punkt des Einzugsgebietes. Die gesamte Einzugsgebietsfläche des Farbtobelbachs bis zur Mündung in die Plessur umfasst total ca. 4.2 km<sup>2</sup>, bis zur vorgesehenen Fassung ca. 3.1 km<sup>2</sup>. Die mittlere Höhe des Einzugsgebietes beträgt ca. 2'000 m ü. M. Das Abflussregime entspricht dem nival-alpinen Typ.

Im März 2008 wurde im Farbtobel auf 1'335 m ü. M. durch die Firma ecowert eine kontinuierlich messende Pegel- und Temperatursonde installiert. Die Messungen wurden bis im April 2009 aufgezeichnet.

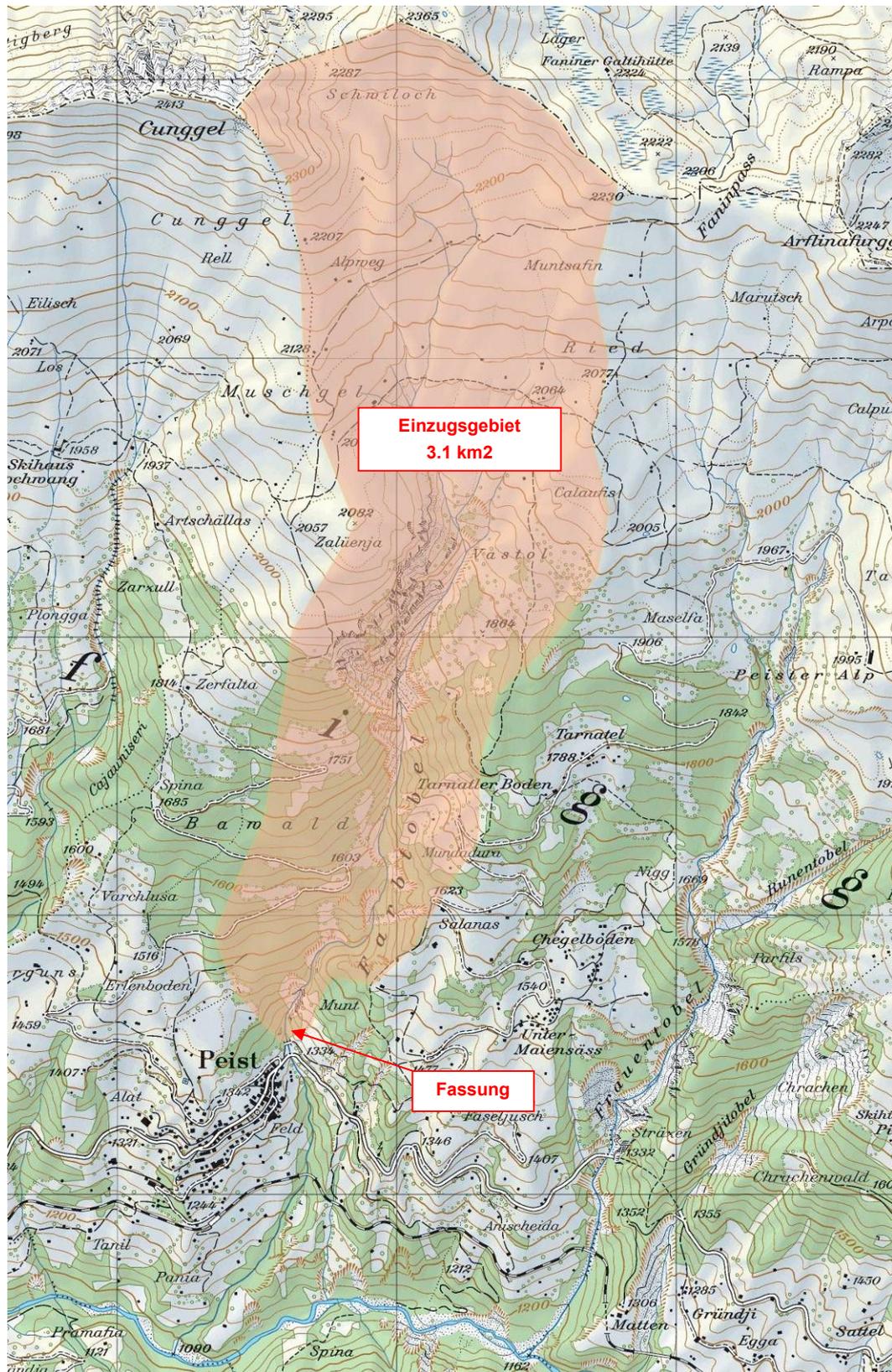
Während dieser Zeit wurden diverse Abflussmessungen (Salzverdünnungsmethode) bei der Pegelmessstelle und im Mündungsbereich durchgeführt.

Mit diesen Daten konnte eine Pegel-Abfluss-Beziehung hergeleitet werden, welche wiederum mit den Abflussdaten der während der Messperiode erhobenen Abflussdaten des BAFU der Bäche Plessur und Dischmabach verglichen wurden.

Aufgrund der Ergebnisse dieser Auswertungen wurde auf der Basis der erhobenen Daten eine Dauerabflusskurve (Bild 2) für ein Mitteljahr (Farbtobel, Fassungsstandort Kote 1335 m ü. M.) erstellt. Die Dauerabflusskurve zeigt folgende Charakteristik:

- $Q_{55} = 198$  l/s (durchschnittlich an 55 Tagen im Jahr erreicht oder überschritten)
- $Q_{91} = 145$  l/s
- $Q_{137} = 84$  l/s
- $Q_{182} = 59$  l/s
- $Q_{347} = 30$  l/s (zur Bestimmung der min. Restwassermenge)

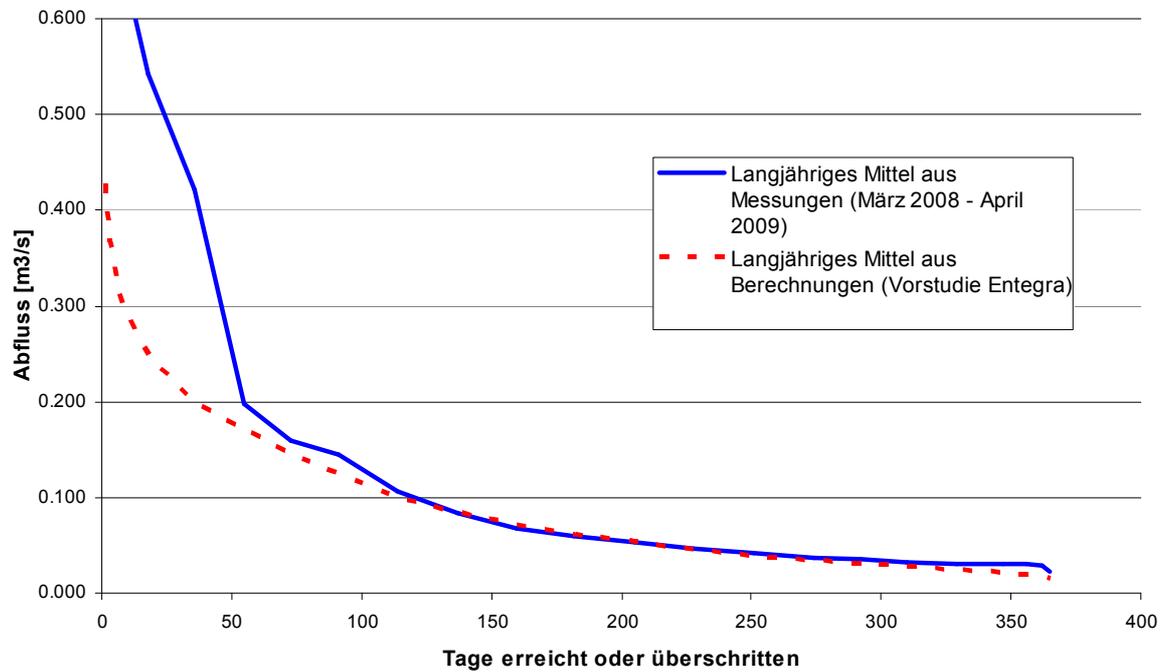




**Bild 1:** Einzugsgebiet des Farbtobels für den vorgesehenen Fassungsstandort



Dauerkurve Farbtobel



**Bild 2:** Dauerabflusskurve des Farbtobels am Fassungsstandort, 1335 m ü.M. (Ref. [2]).  
Kurve blau langjähriges Mittel aus Messung, Kurve rot hergeleitet durch Entegra im Rahmen der Vorstudie

Das Jahresmittel des gesamten Abflusses beträgt durchschnittlich 133 l/s und die mittlere spezifische Abflusspende beträgt 43 l/skm<sup>2</sup>. Gemäss hydrologischem Atlas der Schweiz liegt die durchschnittliche Abflusspende für das betrachtete Einzugsgebiet bei 25 - 30 l/s.

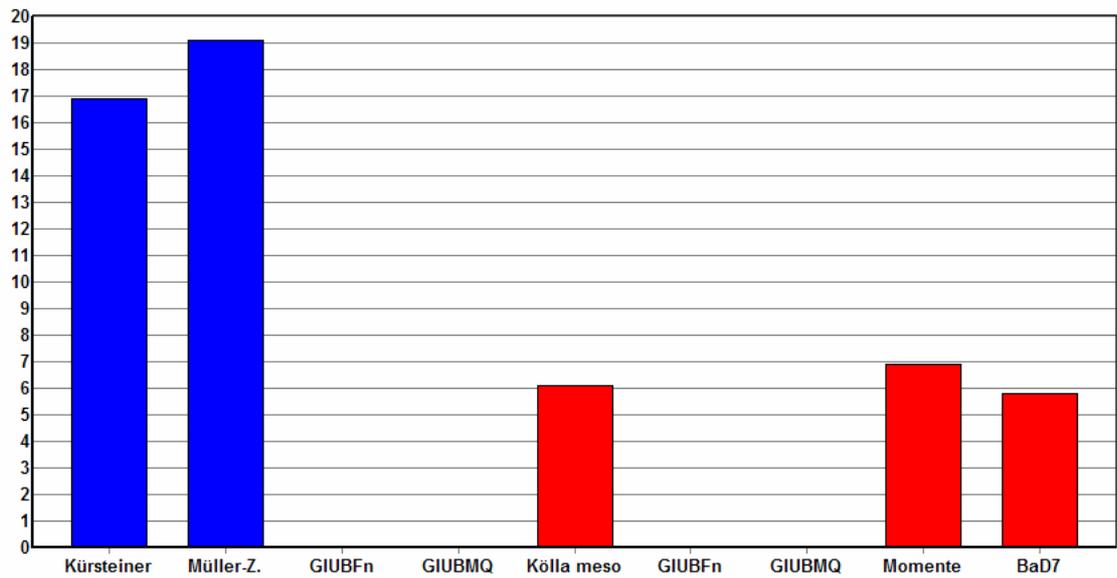
Für weitere Erläuterungen zum Wasserdargebot siehe Ref. [2].



## 5.2 Hochwasserabschätzung

Für die Dimensionierung der Wehr- und Fassungsanlagen sind die Hochwasserabflüsse des Farbtobels erforderlich.

Die Hochwasserabflüsse lassen sich für mittelgrosse Einzugsgebiete der Schweiz mit dem Programm HQx meso abschätzen. Das vorliegende Einzugsgebiet hat eine Fläche von rund 3.1 km<sup>2</sup>. Entsprechend muss von einem kleinen Einzugsgebiet gesprochen werden und nicht alle aufgeführten Berechnungsmethoden sind für eine Hochwasserabschätzung geeignet.



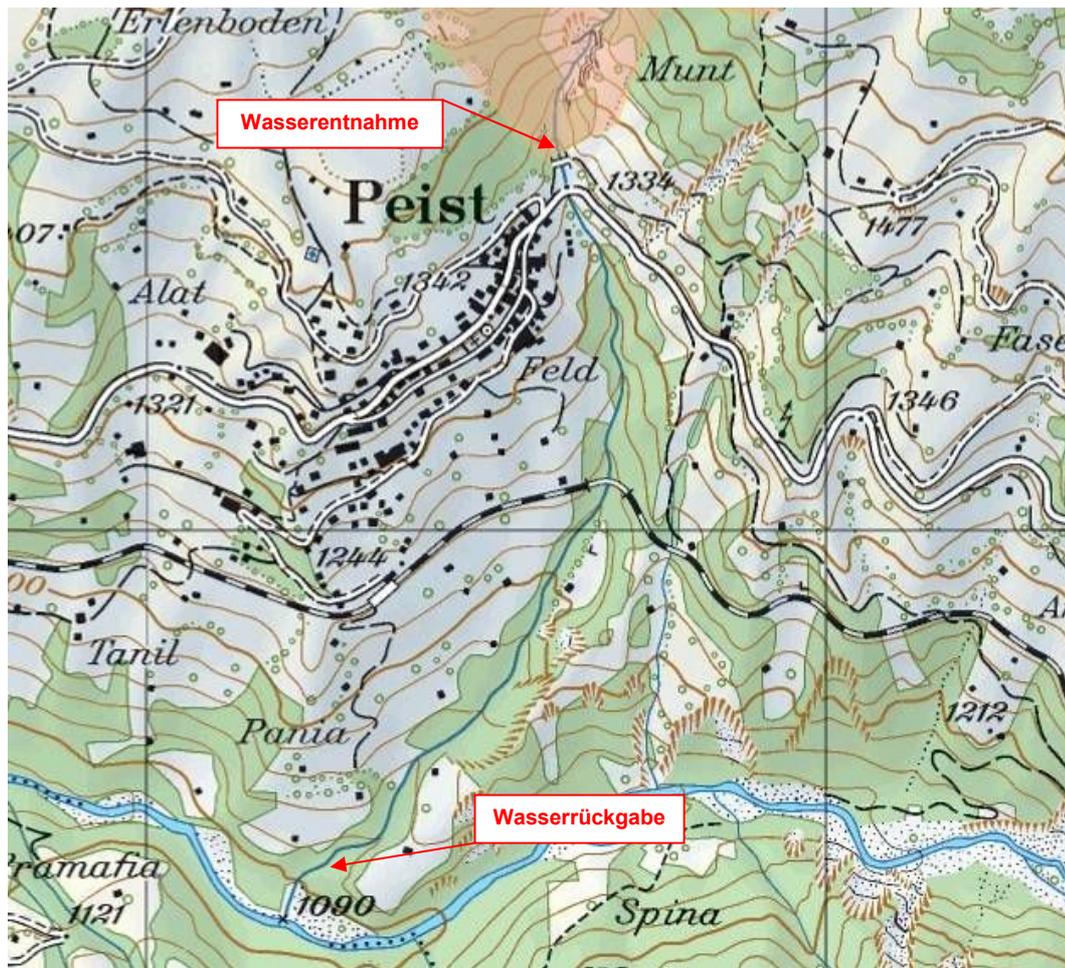
**Bild 3:** Resultate diverser Berechnungsmethoden mit dem Programm HQx meso, Höchst-hochwasser = blau, HQ100 = rot

Im Rahmen des Bauprojektes schlagen wir vor, die Bemessungsgrössen aufgrund der Mittelwerte der ausgewählten und dargestellten Berechnungsmethoden festzulegen:

- Fassung 1335 m ü. M. HQ<sub>100</sub> = 6.5 m<sup>3</sup>/s (Dimensionierungshochwasser für Wehr und Wasserfassung)
- Fassung 1335 m ü. M. HHQ = 20 m<sup>3</sup>/s (Sicherheitshochwasser für Wehr und Wasserfassung)



### 5.3 Gewässerökologie



**Bild 4:** Betroffener Gewässerabschnitt (Restwasserstrecke)

Oberhalb der Fassungsstelle fliesst das Gewässer in einem unverbauten Bachbett. Im oberen Bereich der Restwasserstrecke hingegen sind zahlreiche Verbauungen vorzufinden. Dies sind einerseits die Brückenpfeiler eines Wanderwegs, der Kantonsstrasse sowie der Rhätischen Bahn. Andererseits ist der Farbtobelbach mit zahlreichen, bis zu 3 m hohen Sohlschwellen verbaut. Im Gegensatz dazu stellt sich das Bachbett im Bereich der Auen (unterer Abschnitt) wiederum natürlich dar.





**Bild 5:** Farbtobel mit zahlreichen Sohlschwellen (Blick bachaufwärts ab Brücke RhB)

Gemäss Fischgewässerregister des Amtes für Jagd und Fischerei gilt das Farbtobel nicht als Fischgewässer. Aufgrund künstlicher Sohlschwellen sowie natürlicher Wanderhindernisse im Bereich der vorgesehenen Restwasserstrecke ist die Fischgängigkeit und somit eine natürliche Besiedelung des Farbtobels durch Fische ausgeschlossen.

Der Farbtobelbach weist als stark geschiebeführender Gebirgsbach eine bescheidene Benthosbesiedlung auf. Im Unterlauf nimmt die Besiedlung aufgrund natürlicher und vermutlich auch anthropogen bedingter Anreicherung durch organische Substanz leicht zu.

Durch seine Eigenschaft als ganzjährig wasserführendes Gewässer ist eine Restwasserdotierung gemäss Gewässerschutzgesetz (GSchG) erforderlich.

Beim Farbtobelbach bei der geplanten Fassungsstelle beträgt die Abflussmenge  $Q_{347}$  rund 30 l/s. Die Mindestrestwassermenge gemäss Art. 31 Abs. 1 GSchG soll somit 50 l/s betragen.

Gemäss Art. 32 GSchG kann bei Nichtfischgewässern die Mindestrestwassermenge bis zu einer Restwasserführung von 35 Prozent der Abflussmenge  $Q_{347}$  angesetzt werden. Der Farbtobelbach gilt als Nichtfischgewässer. Die Mindestdotierwassermenge könnte somit auf rund 10 l/s herabgesetzt werden. Aus gewässerökologischer Sicht wird dies jedoch nicht empfohlen, da diese geringe Abflussmenge leicht gefrieren kann und Versickerungsverluste nicht ausgeschlossen werden können.

Es wird empfohlen, die Mindestdotierwassermenge im Winter auf 25 l/s anzusetzen. Dies entspricht in etwa der minimal auftretenden Abflussmenge im Farbtobelbach. Bei einer dauernden Restwasserführung von unter 25 l/s ist das Risiko hoch, die Lebensgemeinschaft im Bach ernsthaft zu gefährden.

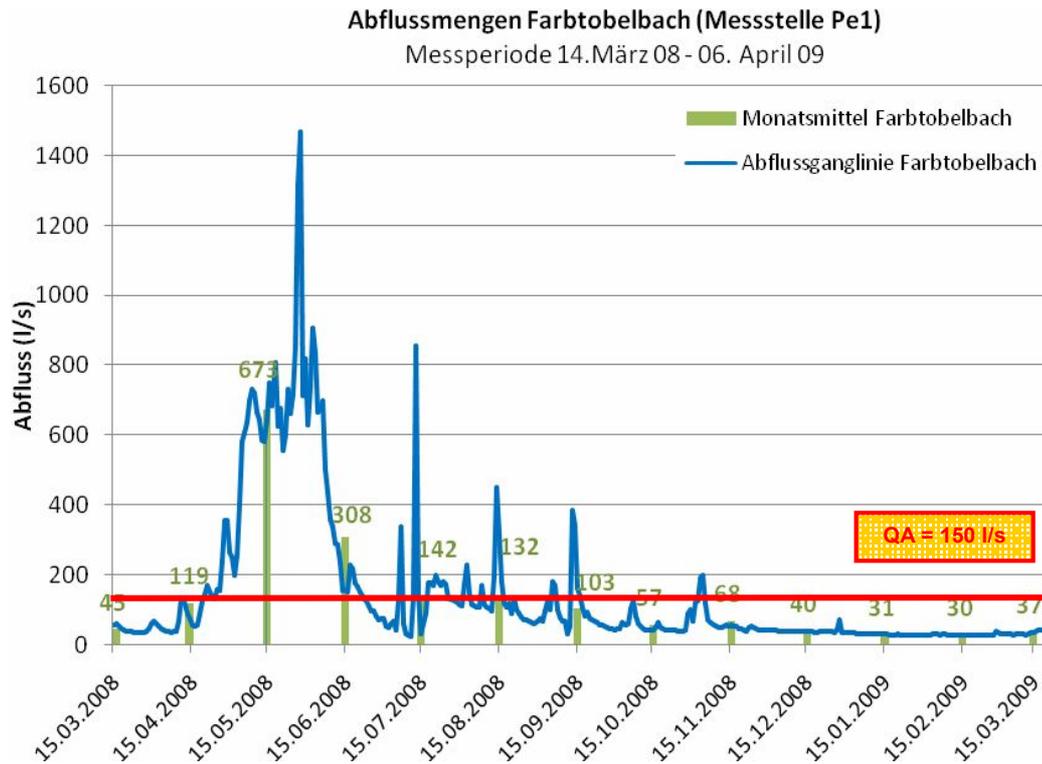
Weitere Informationen können dem Restwasserbericht entnommen (Ref. [2]) werden.



Die Verfasser des Restwasserberichtes schlagen folgende Dotierwassermengen vor, welche vom Projektverfasser übernommen werden:

- September – April: 25 l/s
- Mai – August: 50 l/s

Die Ausbauwassermenge (max. Entnahmemenge) des projektierten Kraftwerkes liegt bei 150 l/s. Somit treten vorwiegend in den Monaten Mai und Juni aufgrund der Schneeschmelze grosse Fassungsüberläufe auf (siehe nachfolgende Abbildung 6 und Abbildung 2), ebenso während Hochwasserereignissen im Sommer. Eine ausreichende Dynamik im Bach kann somit gewährleistet werden.



**Bild 6:** Abflüsse im Messjahr (Quelle [2])



## **5 RAHMENBEDINGUNGEN UND PROJEKTZIELE**

### **5.1 Trägerschaft**

Es wird eine Partnerschaft zwischen der Gemeinde Peist und der Entegra Wasserkraft AG angestrebt.

Die Konzessionserteilung an die Trägerschaft des Projektes Wasserkraftwerk Farbtobel durch die Gemeindeversammlung ist noch ausstehend.

### **5.2 Rechtliche Situation**

Für den Farbtobelbach bestehen keine Wasserrechte und eine neue Wasserrechtskonzession für das Projekt muss vom Regierungsrat des Kantons Graubünden genehmigt werden. Dabei müssen sämtliche Bewilligungsschritte durchlaufen werden.

Eine Wasserentnahme wird vom Kanton grundsätzlich erlaubt, und zwar für jene Zeitperioden, in denen die natürlichen Abflüsse über der geforderten Restwassermenge liegen.

Das Vorhaben erfordert keine Durchführung einer formellen Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP), da die installierte Leistung unterhalb dem dafür vorgesehenen Anlagenwert von 3 MW liegt.

### **5.3 Ausbauziele**

Das Wasserkraftpotential des Farbtobels soll durch eine ökologisch verträgliche und wirtschaftlich attraktive Wasserkraftanlage nachhaltig genutzt werden. Es wird eine optimale Nutzung des zur Verfügung stehenden Wasserkraftpotentials angestrebt, mit dem Ziel, die Jahresenergie zu maximieren.

Eine unterbrechungsfreie Leistungsabgabe ist nicht zu garantieren, d.h., das Kraftwerk kann im Winter bei geringen Wassermengen und bei Revisionsarbeiten ausser Betrieb genommen werden.

Eine Umlagerung der Produktion in die Hochtarifzeiten mittels eines Tagesspeichers ist nicht vorzusehen, da die kostendeckende Einspeisevergütung weder Hoch- und Niedertarife noch Tarifunterschiede zwischen Winter und Sommer kennt.

Es wird eine unbemannte, fernüberwachte Bedienung angestrebt.

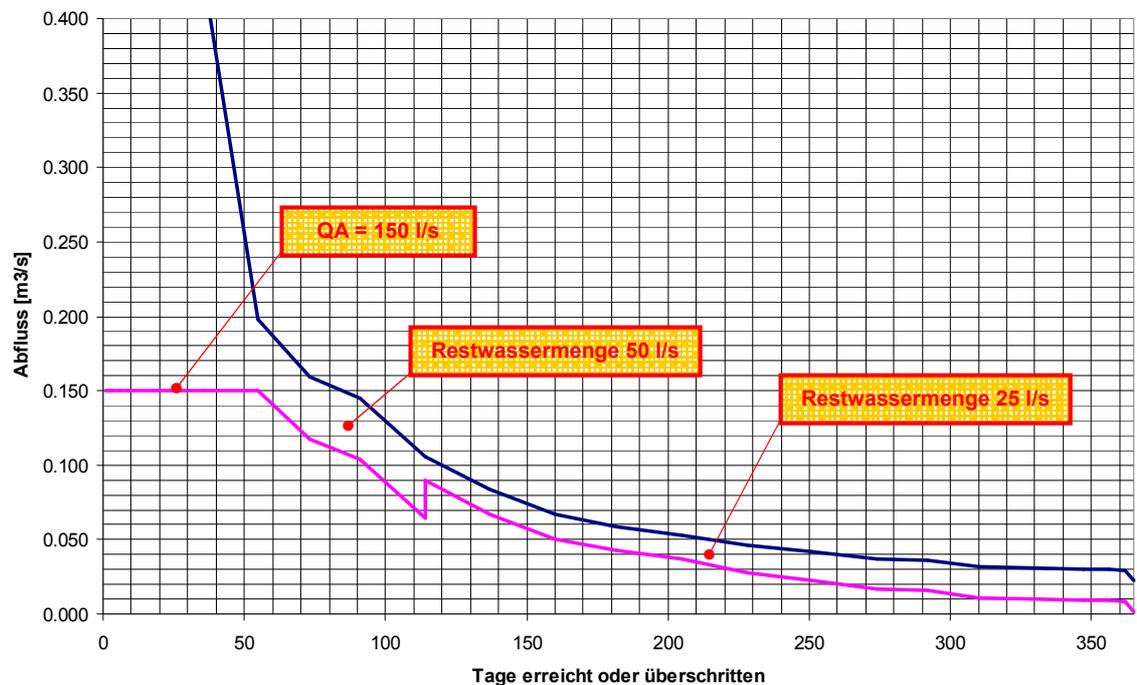


## 6 ANLAGEKONZEPT

### 6.1 Ausbauwassermenge

Erfahrungen aus Laufwasserkraftwerksprojekten in der Schweiz zeigen, dass eine Ausbauwassermenge, die an 50 bis 70 Tagen in einem durchschnittlichen hydrologischen Jahr zur Verfügung steht, zu einer optimalen Ausnutzung des Wasserdargebots führt.

Für das Wasserkraftwerk Farbtobel wird eine **Ausbauwassermenge von 150 l/s** beantragt, welche an einem hydrologischen Durchschnittsjahr an 55 Tagen pro Jahr zur Verfügung steht. Die relativ hohe Ausbauwassermenge wurde gewählt um das anfallende Wasser während der Schneeschmelze möglichst optimal zu nutzen.



**Bild 8:** Verfügbarkeit der Ausbauwassermenge von 150 l/s

Das Jahresmittel der genutzten Wassermenge beträgt rund 62 l/s. Dies entspricht rund 47% des Jahresmittels des gesamten Abflusses von durchschnittlich 133 l/s. Im genutzten Wasserdargebot enthalten die Überläufe der Wasserversorgung mit 10 – 4 l/s.



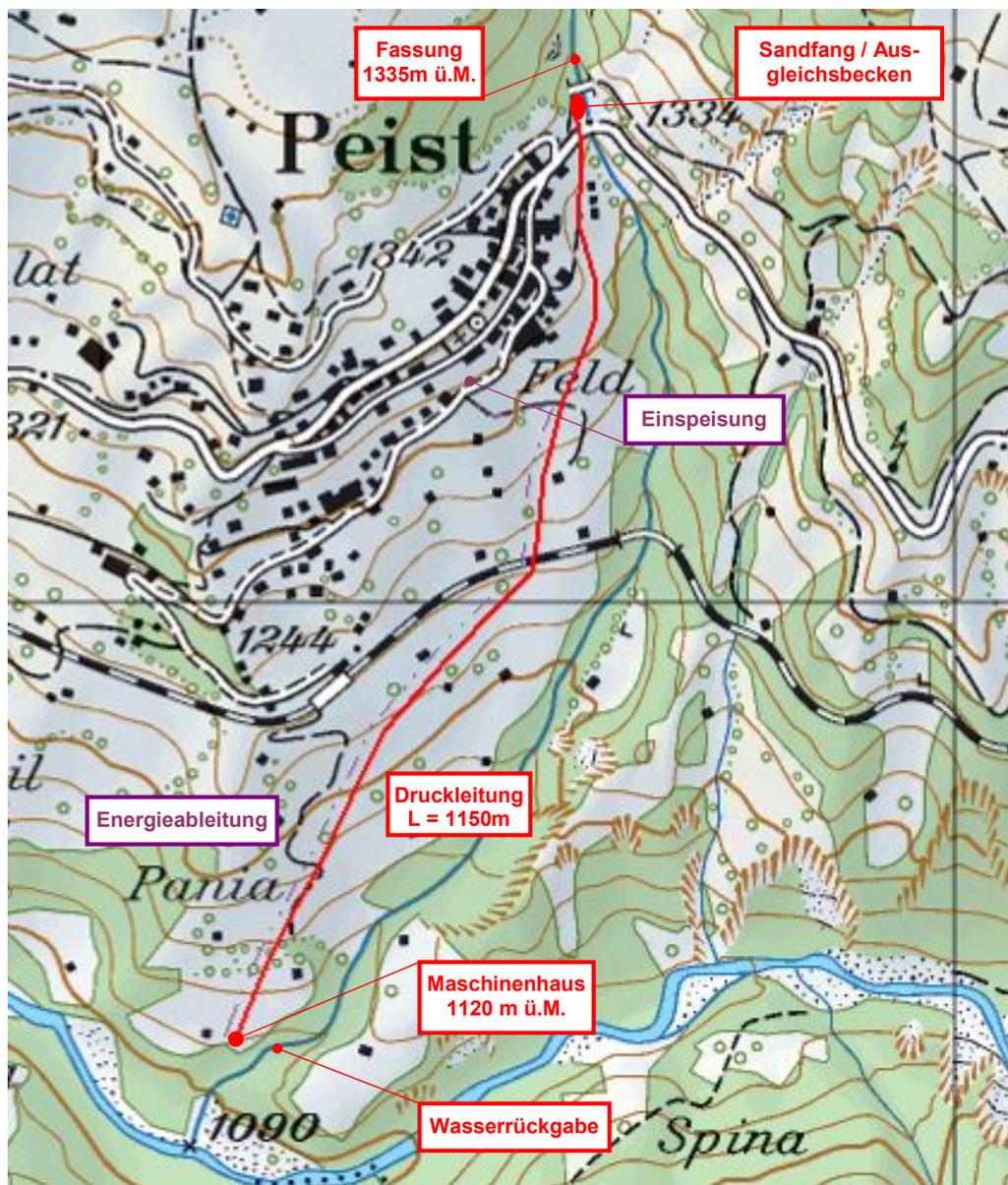
## 6.2 Kraftwerkskonzept

Beim KWKW Farbtobel handelt es sich um eine klassische Hochdruck-Ausleitungsanlage mit Wasserfassung, Sandfang/Ausgleichsbecken, erdverlegter Druckleitung und Zentrale. Die Anlage wird als Laufkraftwerk betrieben, d.h. es ist kein Wasserrückhalt mit Speicherbewirtschaftung vorgesehen.

Der Standort der Fassung wird durch das tiefe Tobel oberhalb der Farbtobelbrücke, einen möglichst idealen Standort für Sandfang / Ausgleichsbecken sowie ein maximales Bruttogefälle bestimmt. Direkt oberhalb der Fussgängerbrücke über das Farbtobel befindet sich eine Stelle, welche sich als Fassungsstandort aufdrängt. Das Fassungsbauwerk liegt auf rund 1'335 m ü. M., ist als Tirolerwehr ausgebildet und mit einem Kies- und Sandfang ausgerüstet.

Über eine erdverlegte Druckleitung wird das Wasser der Kraftwerkszentrale zugeführt, die möglichst nahe an der Plessur liegen soll, damit eine maximale Bruttofallhöhe erreicht wird. Als Standort empfiehlt sich das Gebiet Pania (ca. 1'120 m ü. M.). Die Höhendifferenz zwischen dem Fassungsstandort und dem Standort Maschinenhaus beträgt rund 215 m.

Die Einspeisung der produzierten Energie erfolgt voraussichtlich ins Mittelspannungsnetz der Gemeinde Peist.



**Bild 9:** Gesamtanordnung Kleinwasserkraftwerk Farbtobel



### 6.3 Sicherheit

Bei der Wasserfassung handelt es sich um ein festes Tirolerwehr (Sohlenentnahme). Das Bauwerk wird auf das Bemessungshochwasser  $HQ_{100} = 6.5 \text{ m}^3/\text{s}$  (im statistischen Mittel mindestens 1 Mal in 100 Jahren erreicht) ausgelegt. Das HHQ (statistisches Höchsthochwasser) wurde als aussergewöhnliche Einwirkung ebenfalls berücksichtigt und dient dem Nachweis der Standsicherheit des Wehres.

Bei der hydraulischen Bemessung wird ein minimales Freibord zum HHQ von 1.0 m angestrebt. Der Tragsicherheitsnachweis (Stabilitätsnachweis) wird nach den SIA-Normen (260, 261 und 267) geführt. HHQ als Leiteinwirkung wird als aussergewöhnliche Bemessungssituation ebenfalls berücksichtigt.

Bei schnell ansteigenden Hochwasserabflüssen wird der Kraftwerksbetrieb eingestellt und das Tirolerwehr wird durch die gesamte anfallende Wassermenge überströmt. Der Geschiebetrieb erfolgt ebenfalls über das Wehr. Hydraulisch bedeutet dies ein Bachverhalten wie ohne Wehr.

Das Speichervolumen im Kies- und Sandfang beträgt rund  $50 \text{ m}^3$ . Dieses Bauwerk wird ebenfalls nach den SIA-Normen ausgelegt.

Das grösste Sicherheitsrisiko trägt der Triebwasserweg (Druckleitung), dies insbesondere, da der Abschnitt Müli bis Burg (rund 350 m) Tendenz zum Kriechen hat (Gefahrenzone 2). Das in diesem Abschnitt gewählte Druckrohrsystem ist in der Lage, aufgrund der Steckmuffen und duktiler Materialeigenschaften, grössere Verformungen aufzunehmen.

Die Druckleitung wird ausserdem mit einer Rohrbruchsicherung ausgerüstet, welche ohne Fremdenergie über eine Abschlusseinrichtung die Druckleitung sicher und schnell abschliesst. Somit könnte beim Bersten der Leitung lediglich das Leitungsvolumen ausfliessen. Im Gebiet Burg wären dies maximal  $25 \text{ m}^3$ , im Bereich der Zentrale rund  $105 \text{ m}^3$  Wasser. Druckleitung und Zentrale liegen nicht im Siedlungsgebiet. Entsprechend sind die Sicherheitsrisiken für die Menschen gering.

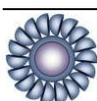
Die durch einen allfälligen Rohrbruch frei werdende Energie kann in der Natur punktuell Schäden anrichten (z.B. Überschwemmung, im schlimmsten Fall Erosionen mit oberflächlichem Hangrutsch). Solche Schäden können jedoch mit verhältnismässig geringem Aufwand behoben werden.

Die Kraftwerkszentrale wird nach dem Stand der Technik geplant und gebaut. Das sichere Funktionieren, insbesondere aber der Brandschutz, ist somit gewährleistet. Für das Layout der Kraftwerkszentrale, die Beschaffung der Kraftwerksausrüstung und den Betrieb gelten die Richtlinien der Eidgenössischen Kommission für Arbeitssicherheit (EKAS); die sicherheitstechnische Konformität ist somit gewährleistet.

Der Einsatz von toxischen Stoffen, die bei ausserordentlichen Ereignissen in die Natur gelangen könnten, reduziert sich auf wenige Liter Schmieröl und Reinigungsflüssigkeiten. Die in der Störfallverordnung definierten Mengen werden nicht erreicht, die Unterstellung der Anlage unter diese Verordnung ist somit nicht gegeben. Ölhydraulische Anlagen im gewässernahen Umfeld werden mit biologisch abbaubaren Hydraulikölen und Wannen ausgerüstet.

Das Kraftwerk ist ferngesteuert und -überwacht. Notabschaltungen am Triebwassersystem oder in der Zentrale können nur durch einen Handeingriff vor Ort rückgängig gemacht werden und erfordern somit eine visuelle Kontrolle durch das Betriebspersonal.

Durch Vandalismus könnte an der Anlage beträchtlicher Sachschaden angerichtet werden, ein erhöhtes Gefahrenpotential für den Menschen entsteht aber nicht.



## 7 PROJEKTBSCHRIEB

### 7.1 Bauliche Komponenten

#### 7.1.1 Wasserfassung und Sandfang

Planskizze; Beilage 2

Der Standort der Fassung wird bestimmt durch:

- Zugänglichkeit und Möglichkeit zur Ausleitung des Wassers aus dem Bach
- Geeigneter Standort Sandfang im Bereich best. Parkplatz
- Minimal erforderliches Gefälle des Zulaufkanales zum Entsander
- Maximales Bruttogefälle

Oberhalb der alten Brücke des Fussweges über das Farbtobel ist eine Sohlenentnahme mit Tirolerwehr vorgesehen. Weiter Oberhalb ist, aufgrund des tiefen Tobels, die Ausleitung des Wassers aus dem Bach mit vertretbarem Aufwand nicht möglich.

Das Farbtobel ist ein typischer Wildbach mit grossem Geschiebeanfall. An der vorgesehenen Fassungsstelle beträgt das Bachgefälle rund 17% und das Wehr kann optimal in den Fels eingebunden werden. Aufgrund dieser Randbedingungen bietet sich als Fassung ein Tirolerwehr an.

Beim Tirolerwehr wird ein Teil des Wehrrückens als Rechen ausgebildet, welcher einen seitwärts abgehenden Kanal überdeckt. Die Rechenöffnung ist auf den Bemessungsabfluss der Fassung ausgelegt. Bringt der Wildbach weniger Wasser, so fällt dieses durch den Rechen in den Kanal. Bringt er mehr, so wird der Überschuss ins Unterwasser entlastet. Die Aufgabe des Rechens ist es, Geschiebe und Geschwemmsel ins Unterwasser weiterzuleiten. Aufgrund des grossen Bachgefälles wird ein optimaler Weitertransport des Geschiebes nach der Fassung ermöglicht.

Da der Fischeaufstieg aufgrund zahlreicher Abstürze und Sohlschwellen ohnehin nicht möglich ist, ist eine Fischeaufstiegshilfe am Wehr nicht vorgesehen.



**Bild 10:** Standort Fassung (Blick ab Fussgängerbrücke)



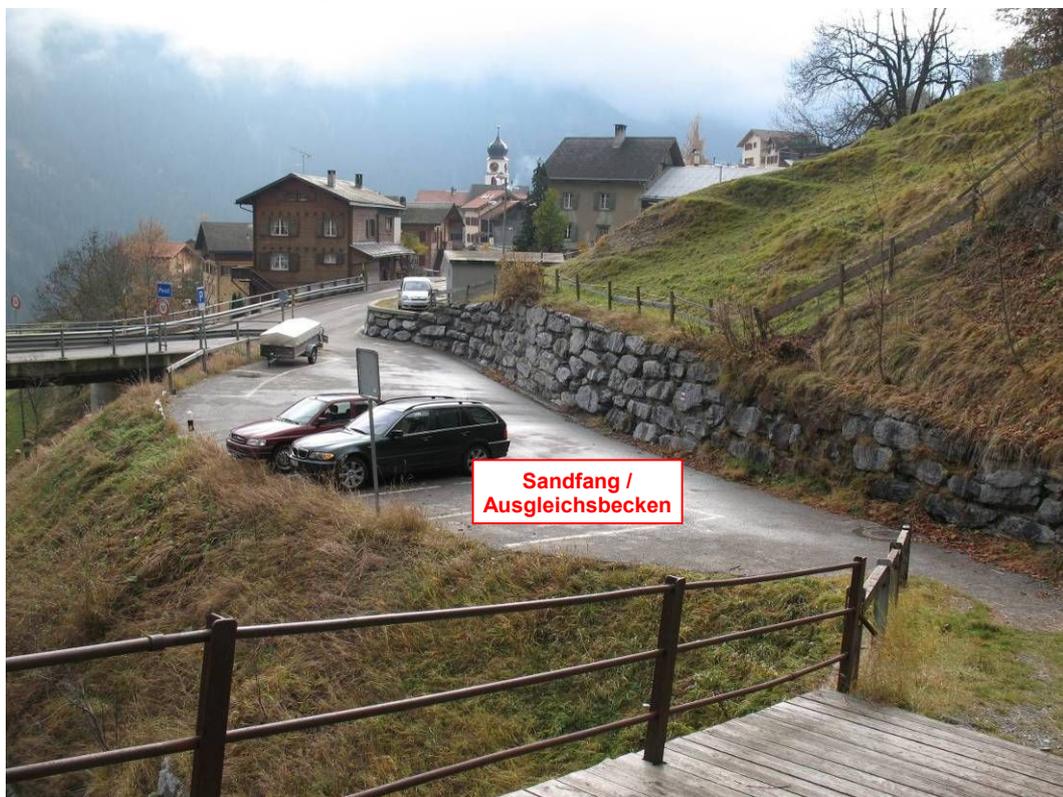
Die Wasserfassung wird auf eine Dimensionierungswassermenge von  $Q_{\text{dim}} = 180 \text{ l/s}$  ausgelegt. Ab der Fassung wird das entnommene Wasser in natürlichem Gefälle via Zulaufkanal dem Entsander zugeführt.

Die Entsanderanlage wird auf eine Ausbauwassermenge von  $150 \text{ l/s}$  und ein abzusetzendes Grenzkorn von  $d_{\text{Grenz}}=0.2 \text{ mm}$  ausgelegt. Die Anlage wird mit einer befahrbaren Betonplatte überdeckt, und kann somit vollständig in den bestehenden Parkplatz integriert werden.

Der für die Ausfällung des Grenzkorns erforderliche Langsandfang mit einer Beckenabmessung von  $1.4 \text{ m}$  Breite und  $12 \text{ m}$  Länge soll jedoch ohne Betriebsunterbruch, d.h., ohne Entleerung gespült werden können. Dazu wird z.B. das System HSR eingesetzt, welches in der Hochschule Rapperswil entwickelt und in verschiedenen Anlagen erfolgreich angewendet worden ist. Der Spülkanal führt direkt zum Farbtobel.

Nach dem Entsanderüberfall wird der Überlauf der Wasserversorgung Peist dem Nutzwasser aus dem Farbtobel zugeführt.

Anschliessend folgt eine Apparatekammer mit der Sicherheitsdrosselklappe für den schnellen Abschluss der Druckleitung nach einem Rohrbruch.



**Bild 11:** Standort Sandfang / Ausgleichsbecken

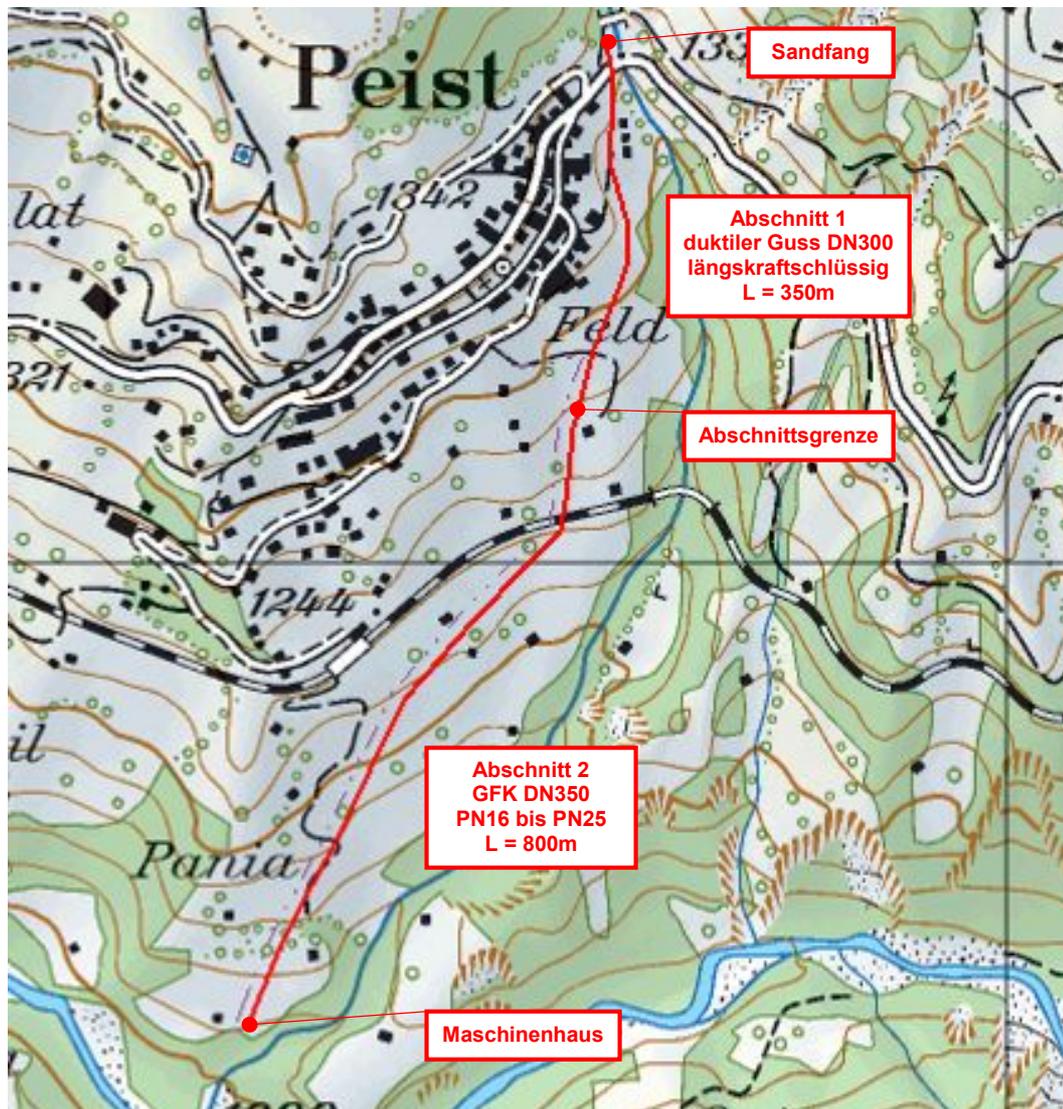


### 7.1.2 Druckleitung

Aus wirtschaftlichen Gründen kann der Bau eines Stollens als Triebwasserweg ausgeschlossen werden. Bei der vorliegenden kleinen Ausbauwassermenge würde der Ausbruchquerschnitt nicht aus hydraulischen Überlegungen sondern aus rein ausführungstechnischen Gesichtspunkten bestimmt (min. Durchmesser 2.5 m, um den Stollen wirtschaftlich auffahren zu können). Der Stollen wäre im Verhältnis zu seinem Zweck des Wassertransports viel zu gross und damit zu kostenintensiv.

Mögliche Lösungen der Leitungsführung konzentrieren sich deshalb auf die bezüglich geologischen Risiken, sowie wirtschaftlichen Gesichtspunkten, optimalste Anordnung einer erdüberdeckten Druckleitung.

Die optimale Leitungsführung ergibt sich aufgrund des gewählten Fassungsstandortes sowie geografischer / geologischer Randbedingungen und ist im nachfolgenden Bild dargestellt.



**Bild 12:** Leitungsführung und Abschnitte

Die gesamte Druckleitung wird erdverlegt. Die Erdüberdeckung im Weid- und Wiesland beträgt im Minimum 60 cm. Eine Überdeckung auf Frosttiefe ist nicht erforderlich, da die Leitung nur im leeren Zustand längere Zeit stillgelegt wird.

Der Abschnitt 1 liegt in einem Hang mit Tendenz zum Kriechen und ist entsprechend der Gefahrenzone 2 zugewiesen. Das Leitungssystem muss geeignet sein, Kriechbewegungen des Untergrunds quer und längs zur Rohrachse aufzunehmen.

Diese Anforderungen werden durch ein Rohrsystem aus duktilem Guss mit Steckmuffen erfüllt. Das Material duktiler Guss kann duktile Dehnungen bis 10% (Bruchdehnung) aufnehmen. Im



Weiteren können die Steckmuffen, je nach System, bis 10° (wurde durch Hersteller geprüft) ausgelenkt werden, ohne dass die Dichtigkeit beeinträchtigt wird. Aufgrund der Steckmuffenverbindungen kann die Linienführung noch während der Bauausführung im Bereich der zulässigen Muffenauslenkungen (max. 5°) dem Rohrgraben angepasst werden.

Um teure Transporte von Rohrbettungsmaterial (Kiessand) zu vermeiden, kann der äussere Korrosionsschutz des Rohres mit einem mechanischen Schutz (Zementmörtelumhüllung bzw. Felsschutzmatte) versehen werden.

Aus besagten Gründen wird für den Abschnitt 1 als Druckrohrmaterial eine duktile Gussleitung mit Innenbeschichtung (Zementauskleidung oder PUR) und Korrosionsschutz aussen (Verzinkung) mit mechanischer Schutzschicht (Zementmörtelumhüllung oder Felsschutzmatte) eingesetzt. Die Verbindung der Steckmuffen wird längskraftschlüssig vorgeschlagen.

Ankerblöcke aus Beton werden nicht notwendig. Die Umlenkräfte aus Wasserdruck werden von den längskraftschlüssigen Muffenverbindungen übernommen. Damit die Schubsicherungen optimal gereckt werden können, sollen die Rohre von oben nach unten verlegt werden.

Die Abschnittslänge Abschnitt 1 beträgt rund 350 m. Der Durchmesser wird Nennweite DN 300 (innen) gewählt.



**Bild 13:** Abschnitt 1 im Gebiet Müli unmittelbar unter Kantonsstrasse. Im Bereich der Gebäude zwischen Trasse und Farbtobel wurden früher eine Mühle sowie eine Sägerei mittels Wasserkraft betrieben.

Der Abschnitt 2 ist bezüglich Geologie unproblematisch und die Zugänglichkeit entlang des Grabens ist gewährleistet.

Aus wirtschaftlichen Gründen schlagen wir ein Druckrohr aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) vor.

GFK Rohre sind in Kiessand zu betten und zu verfüllen. Die Rohrverbindungen sind nicht längskraftschlüssig. Entsprechend werden bei Richtungsänderungen Widerlager aus Beton vorgesehen. Aufgrund der Druckstufe, der kleinen Richtungsänderungen und des relativ kleinen Rohrdurchmessers sind geringe Abmessungen für Betonwiderlager notwendig.

Die Vorteile des vorgeschlagen Druckleitungssystems sind:

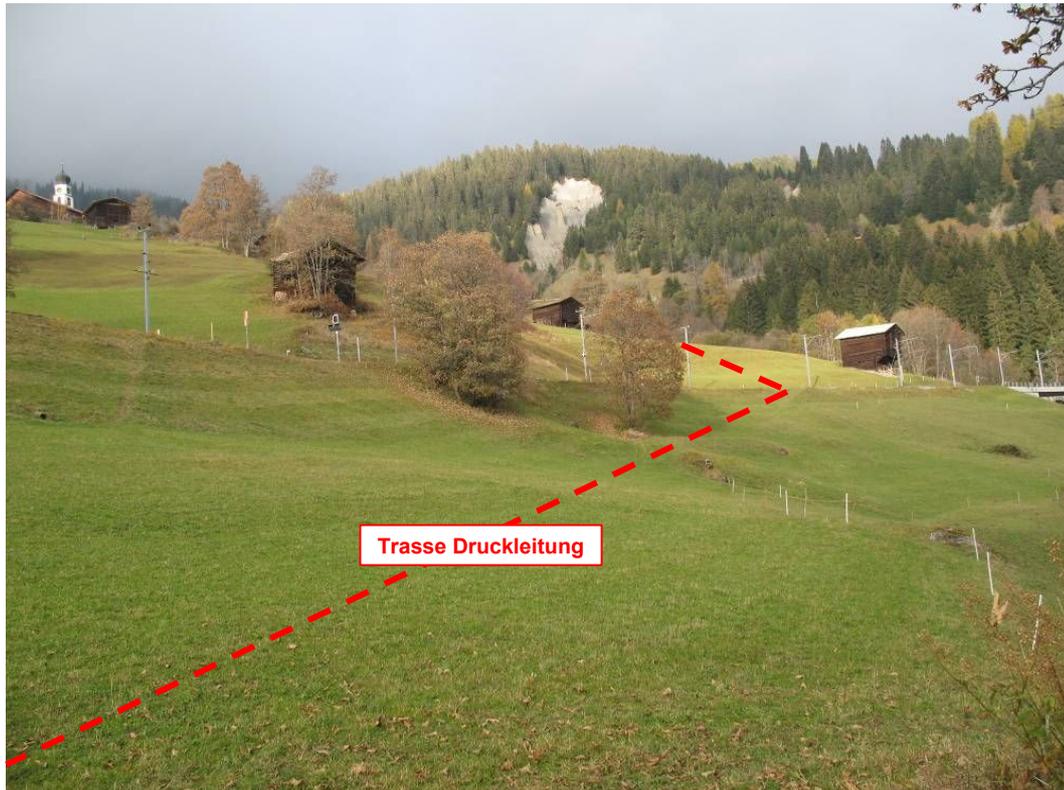
- Bei den vorliegenden Dimensionen und Druckstufen sind GFK Rohre wirtschaftlich attraktiv.



- Die Materialtransporte (Kiessand für Bettung und Beton für Widerlager) sind aufgrund der guten Zugänglichkeit relativ einfach und die Kosten für die Materiallieferung sollten entsprechen günstig ausfallen.
- GFK Rohre können durch den Baumeister, welcher die Grabarbeiten ausführt, verlegt werden.

Die GFK-Leitung wird entsprechend dem Systemdruck abgestuft. Die Druckstufen betragen voraussichtlich Nenndruck PN 16 und PN 25. Weitere Abstufungen (PN 10, PN 20) werden im Rahmen der Submission geprüft.

Die Abschnittslänge Abschnitt 2 beträgt rund 800 m. Der Durchmesser wird Nennweite DN 350 (innen) gewählt.



**Bild 14:** Abschnitt 2 ; typisches Gelände im Bereich Trasse der Druckleitung. Hier mit Blick Richtung Feld. In Bildmitte die Geleise der RhB.

Mit dem gewählten Druckrohrsystem müssen bei Vollast Leitungsverluste von ca. 5.5% der Druckhöhe in Kauf genommen werden. Dabei wird sowohl für die Abschnitte duktiler Guss sowie GFK mit einer globalen Rauigkeit (äquivalente Sandrauigkeit)  $k_s=0.4$  mm gerechnet.

Um die spätere Wartung und Inspektion der Druckleitung zu gewährleisten, werden in einem maximalen Abstand von 500 m Schächte und Kontrollöffnungen vorgesehen.

Im Graben der Druckleitung werden zwei Kabelschutzrohre mit Kabeln für die Signalübertragung der Steuerung und die Energieableitung (ab Zentrale bis Burg) verlegt. Alle rund 500 m oder bei markanten Richtungsänderungen werden Kabelzugschächte erstellt.



### 7.1.3 Maschinenhaus

Die Kraftwerkzentrale im Gebiet Pania wird auf 1123 m ü.M. (Maschinenachse) erstellt

Das kubische Bauwerk wird als Betonkonstruktion mit Flachdach konzipiert und wird mit Erdreich an zwei Seiten angeschüttet. Die sichtbaren Fassadenteile werden mit Holz verkleidet. Das Flachdach wird begrünt und das Bauwerk wird sich nach der Fertigstellung unauffällig in die Landschaft integrieren.

Die Abmessungen betragen 6.5 m x 7 m im Grundriss. Die Peltonturbine mit Generator wird zentral im Maschinenhaus angeordnet, die Schaltschränke für Regelung, Steuerung, Messung, Netzanbindung sowie der Transformator werden an den Aussenwänden aufgestellt.

Die Montage der Anlage wird voraussichtlich über eine grosszügig dimensionierte Zugangstüre und mit einem an der Decke des Maschinenhauses fahrbaren Laufkrans (Elektrokettenzug mit Laufkatze an Monorail) vorgenommen. Im Zusammenhang mit der Projektierung der Zufahrtsstrasse (Melioration) wird der Ein- und Ausbau des Maschinensatzes mittels Autokran über eine mit einem Betondeckel verschliessbare Dachöffnung geprüft.



**Bild 15:** Vorgesehener Standort Maschinenhaus im Gebiet Pania



### 7.1.4 Elektrotechnische Ausrüstung

Der Maschinensatz des Wasserkraftwerks wird auf die folgenden Daten ausgelegt:

- Bruttofallhöhe:  $H_b = 210 \text{ m}$
- Nettofallhöhe:  $H_n = 199 \text{ m}$
- Nenndurchfluss:  $Q_A = 150 \text{ l/s}$

Hier bietet sich eine klassische Pelton turbine mit direkt-gekoppeltem Synchrongenerator an. Die Pelton turbine lässt sich bei variablem Durchfluss optimal regulieren und weist auch bei geringen Durchflüssen (bis 15 % Nenndurchfluss) relativ gute Wirkungsgrade auf.

Die Hauptdaten des Maschinensatzes werden wie folgt geschätzt:

- Turbinentyp: Pelton, zweidüsig, horizontal-achsig
- Durchmesser des Laufrades: ca. 470 mm
- Drehzahl Turbine:  $1500 \text{ min}^{-1}$
- Generatortyp: Synchrongenerator (direkt-gekoppelt)
- Nennleistung Generator: 250 kW

Die komplette Maschinengruppe besteht aus einem Abschlussorgan (Kugelhahn), der Turbine mit voraussichtlich zwei Düsen für die optimale Verarbeitung des Wassers, einem Synchrongenerator und der Steuerung mit den Regel-, Schutz- und Überwachungseinrichtungen.



**Bild 16:** Beispiel einer Kleinwasserkraftanlage mit 2-düsig horizontalachsigen Peltonmaschinen mit Synchrongeneratoren

Die Generatorspannung von 0.42 kV wird mit einem Blocktransformator auf die erforderliche Spannungsebene transformiert und dem Mittelspannungsnetz zugeführt.

Die Kühlung des Generators und des Trafos erfolgt mit Aussenluft über Zu- und Abluftöffnungen, die aus Lärmschutzgründen auf der dem Bach zugewandten Maschinenhausseite angeordnet werden. Mit dieser einfachen, kostengünstigen Bauweise muss jedoch bei bestimmten Witterungsverhältnissen mit Bildung von Kondenswasser auf den Druckleitungs- und Turbinenteilen gerechnet werden, welches sauber abgeführt werden muss.

Um die Unterhaltskosten tief zu halten und eine optimale Ausnutzung zu gewähren ist eine automatische Regelung des Durchflusses vorgesehen. Die Signalübertragung zwischen Maschi-



nenhaus und Ausgleichsbecken erfolgt über ein parallel zur Druckleitung verlegtes Signalkabel. In Notsituationen muss die Anlage vollautomatisch vom Netz getrennt werden.

### **7.1.5 Zufahrt**

Die Zufahrt zur Zentrale wird im Zusammenhang mit der laufenden Gesamtmelioration St. Peter-Pagig / Peist erstellt. Von April bis Ende November wird die Zufahrt zum Maschinenhaus in einem normalen Jahr auch mit Lastwagen möglich sein. Während der Wintersaison ist mit einer geschlossenen Schneedecke zu rechnen. Der Zugang zu Fuss ist immer möglich. In dringenden Notfällen kann die Zufahrtsstrasse auch im Winter geräumt werden.

Die Fassung mit Sandfang liegt unmittelbar an der Kantonsstrasse. Der Zugang ist jederzeit gewährleistet.

### **7.1.6 Wasserrückgabe**

Die Rückgabe des turbinierten Wassers erfolgt über einen gedeckten Unterwasserkanal. Das Wasser wird ca. auf Kote 1110 m ü.M. dem Farbtobel zugeführt (siehe Bild 9).

### **7.1.7 Energieableitung**

Die Generatorspannung von 0.42kV wird mit einem Transformator auf Mittelspannung transformiert.

Die Energieableitung erfolgt über ein Mittelspannungs-Erdkabel welches im Graben der Druckleitung verlegt wird. Die Einspeisung erfolgt in einen Trafo der Gemeinde Peist. Die Einspeisung muss bezüglich Spannungsniveau und Übergabepunkt mit der Gemeinde besprochen werden (siehe Bild 9).

### **7.1.8 Wasserversorgung und Abwasser**

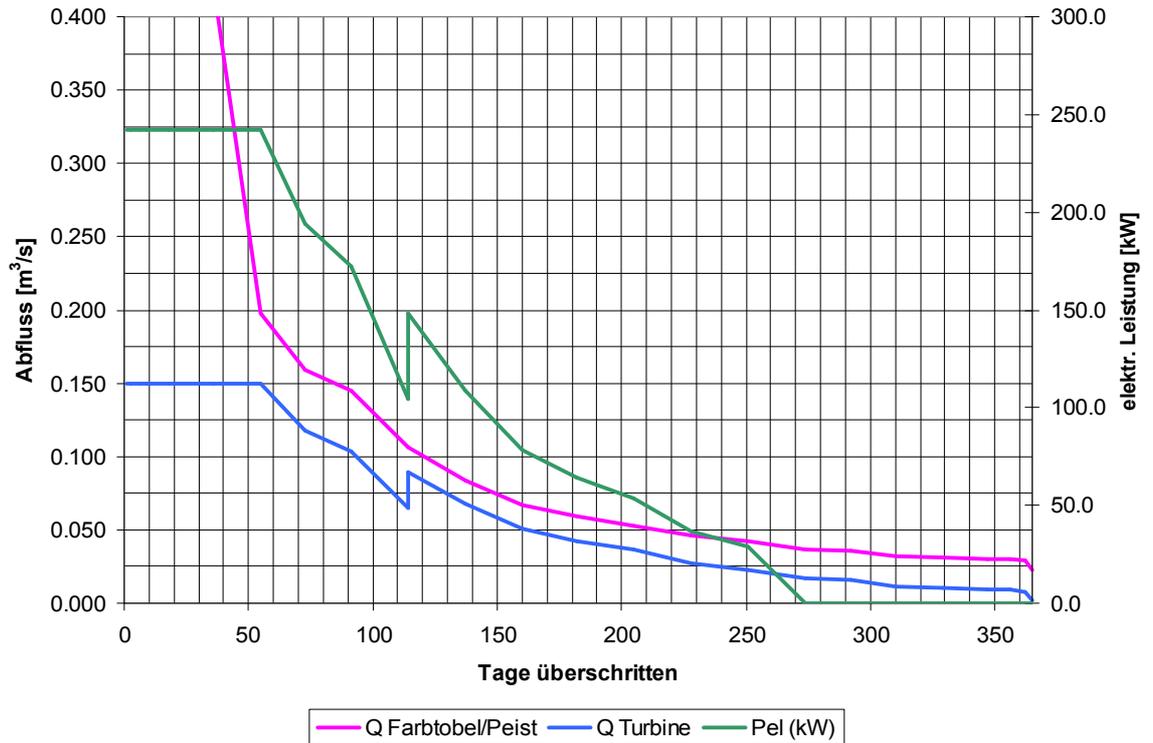
Es ist nicht vorgesehen, die Anlage mit Trinkwasser zu versorgen. Nassräume sind ebenfalls nicht vorgesehen. Dies, da das Betriebspersonal jeweils nur für kurze Rundgänge vor Ort ist. Entsprechend fällt kein Abwasser an. Für Reinigungszwecke am Triebwasserweg und im Aussenbereich ist ein Wasserabgang mit Druckreduzierventil ab Druckleitung vorgesehen. Schmutz, Öllecks und Fettaustritte werden ohne Wasser gereinigt und vorschriftsmässig entsorgt.



## 7.2 Jahresproduktion

Aufgrund des Wasserdargebotes und der vorgeschlagenen Restwassermenge lässt sich eine **Jahresproduktion von 800'000 kWh** berechnen. Die Anlage muss wegen ungenügender Wasserführung des Farbtobels durchschnittlich an rund 90 Tagen im Jahr (vorwiegend im Winter) abgestellt werden. Zusätzlich wurde ein Betriebsausfall von ca. 1 Woche während Hochwasser und Reparaturen eingerechnet.

### Leistungsplan KW Farbtobel



**Bild 17:** Leistungsplan des Kraftwerks Tambobach



### 7.3 Betrieb

Das Kraftwerk kann vor Ort oder via Leitsystem von fern betrieben werden. Alle Anlageteile werden automatisch gesteuert; der Turbinendurchfluss wird automatisch geregelt. Bei Störungen erfolgt eine automatische Abschaltung und Wiedereinschaltung, sobald die Störung nicht mehr ansteht.

Die Anlage wird grundsätzlich in der Betriebsart „Niveaubetrieb“ gefahren, d.h., der Turbinenregler arbeitet mit einer vorgegebenen Sollgrösse für den Wasserstand im Oberwasserbecken / Sandfang. Dies bedeutet die kontinuierliche Abarbeitung des anfallenden Wassers (Laufkraftwerk). Das Wasserniveau im Ausgleichsbecken bleibt konstant und die Turbine verarbeitet das Wasser bis zur Ausbauwassermenge mittels Regulierung der Düsennadelstellung / Durchflussmenge. Der Pegel wird mittels einer Pegelsonde überwacht. Übersteigt die Wasserfracht im Bach die Ausbauwassermenge steigt der Wasserspiegel in der Fassung an, das überschüssige Wasser überströmt das Wehr und fliesst auf natürlichem Wege ab.

Sinkt die verfügbare Wassermenge unter die minimale Betriebswassermenge der Turbine (rund 12% der Ausbauwassermenge bei zweidüsigen Pelton turbinen) wird die Anlage automatisch abgeschaltet. Bleibt das Wasserdargebot im Winter über längere Zeit unter dem Minimalwert, ist die Anlage manuell auszuschalten und die Leitung zu entleeren.

Beim vorliegenden Betrieb (Laufkraftwerk) entsteht kein Schwall / Sunk.



## **7.4 Umweltbelange**

### **7.4.1 Restwasser**

Ausführungen zum Restwasser können dem Restwasserbericht (Ref. [2]) entnommen werden.

### **7.4.2 Geschwemmsel**

Das Geschwemmsel wird über den Rechen des Tirolerwehrs in die Restwasserstrecke weitergeleitet. Damit wird dem Farbtobel keine Biomasse entzogen, die für die Nahrungskette und Habitaterhaltung der Gewässerfauna wichtig ist.

### **7.4.3 Geschiebe**

Das anfallende Geschiebe wird anfänglich den kleinen Stauraum oberhalb des Wehres auffüllen. Bei zunehmenden Abflüssen wird es über das Tirolerwehr ins Unterwasser abgegeben. Die Wasserentnahme für die Wasserkraftanlage ist zu gering, als dass das Geschiebe während Hochwasserereignissen unterhalb des Wehres liegen bliebe und nicht kontinuierlich weitergeleitet würde.

### **7.4.4 Gewässervernetzung**

Ausführungen zur Gewässervernetzung können dem Restwasserbericht (Ref. [2]) entnommen werden.

### **7.4.5 Natur- und Landschaftsschutz**

Der Fassungsstandort befindet sich in einem tiefen Tobel. Entsprechend sind Wehr und Fassungsbauwerk von ausserhalb kaum sichtbar. Kies- und Sandfang werden überdeckt und liegen unter dem bestehenden Parkplatz.

Das gesamte Triebwassersystem wird erdverlegt.

Das Maschinenhaus ist teilweise erdüberdeckt, wobei die sichtbaren Fassadenteile mit Holz verkleidet werden. Das Flachdach wird begrünt. Das Bauwerk wird sich nach der Fertigstellung unauffällig in die Landschaft eingliedern. Die Lärmimmissionen werden dank der gewählten Betonkonstruktion und der Lüftungsöffnungen gegen den Bach im Bereich der gesetzlichen Vorgaben bleiben.

### **7.4.6 Ersatzmassnahmen**

Das Projekt erfordert Ersatzmassnahmen für die Eingriffe in die Vegetation, Landschaft und den Gewässerlebensraum. Diese sind wo immer möglich und sinnvoll innerhalb des Projektperimeters zu leisten. Im Rahmen des Bauprojektes werden entsprechende Massnahmen vorgeschlagen.



## 7.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

### 7.5.1 Investitionskosten

Die Projektkosten werden wie folgt veranschlagt (Genauigkeit gemäss SIA,  $\pm 15\%$ ):

#### Zusammenstellung

A	Fassung	116'000
B	Sandfang / Ausgleichsbecken	178'000
C	Druckleitung L=1150m	607'000
D	Maschinenhaus	125'000
E	Elektro-mech. Ausrüstung u. Energieableitung	455'000
F	Gebühren für Durchleitungsrechte und Ernteausschlag	25'000
G	Leistungen Externe (Geometer, Geologe usw.)	15'000
H	Projektentwicklung, Vertragliches und Finanzierung	30'000
I	Projektplanung, Bewilligungsverfahren, Ausschreibung, Bauleitung	210'000
Total Projekt inkl. 10% Unvorhergesehenes [CHF]		<b>1'761'000</b>
MWSt. 7.6%		133'836
<b>Total Projekt inkl. MWSt. (gerundet)</b>		<b>1'895'000</b>

**Bild 18:** Kostenvoranschlag

### 7.5.2 Betriebs- und Unterhaltskosten

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%
- Bau 0.5%
- Stahlwasserbau inkl. Druckleitung 1.0%

Damit lassen sich die jährlichen Kosten für Betrieb und Unterhalt der 250 kW-Anlage zu rund CHF 35'000.- berechnen.

### 7.5.3 Parameter der Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die folgenden Parameter werden zur Berechnung der Stromgestehungskosten gewählt:

- Kalkulatorischer Zinssatz  $i = 5\%$
- Kalkulatorische Nutzungsdauer  $n = 25$  Jahre (KEV-Laufzeit)

Die kalkulatorische Nutzungsdauer wird hier nicht wie üblich mit der effektiven Nutzungsdauer der verschiedenen Anlagekomponenten berechnet, die bei Bauwerken wie Wehrschwelle und Maschinenhaus 50 Jahre und mehr beträgt. Die Nutzungsdauer von 25 Jahren ergibt sich aus den Grundlagen des Energie- und Stromversorgungsgesetzes und den in den entsprechenden Verordnungen definierten Berechnungen der Einspeisevergütung. Diese Berechnung der Stromgestehungskosten stellt lediglich die Vergleichsgrundlage zur kostendeckenden Einspeisevergütung dar.



#### **7.5.4 Kostendeckende Einspeisevergütung und Gestehungskosten**

Aus der Annuität der Investitionen und den Betriebs- und Unterhaltskosten lassen sich bei einer voraussichtlichen Jahresproduktion von 800'000 kWh Gestehungskosten von rund 20.0 Rp./kWh (exkl. MWST) berechnen.

Die Anlage Kraftwerk Farbtobel wurde für die kostendeckende Einspeisevergütung angemeldet und von Swissgrid mittels positivem Bescheid bestätigt. Für das KW Farbtobel kann anhand der vorliegenden Daten ein mittlerer Vergütungssatz von 21.5 Rp./kWh (exkl. MWSt.) berechnet werden.

Mit dieser Ausgangslage kann der Bauherrschaft ein sowohl aus wirtschaftlicher wie auch technischer Sicht attraktives Projekt präsentiert werden.

Chur, Februar 2010

**entegra**ag  
wasserkraft

**Ivo Scherrer**



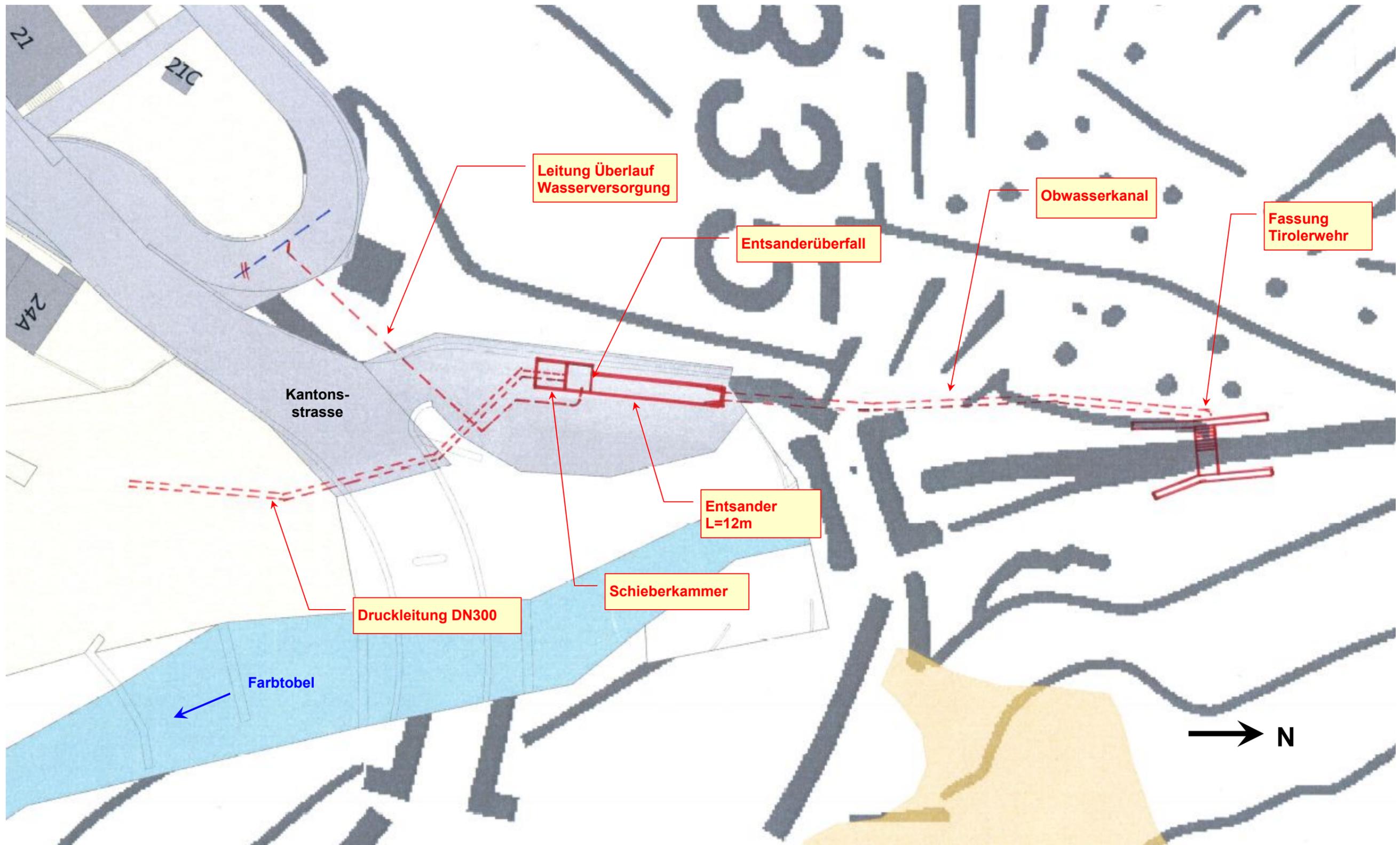
**Norman Gadiant**

Beilagen:

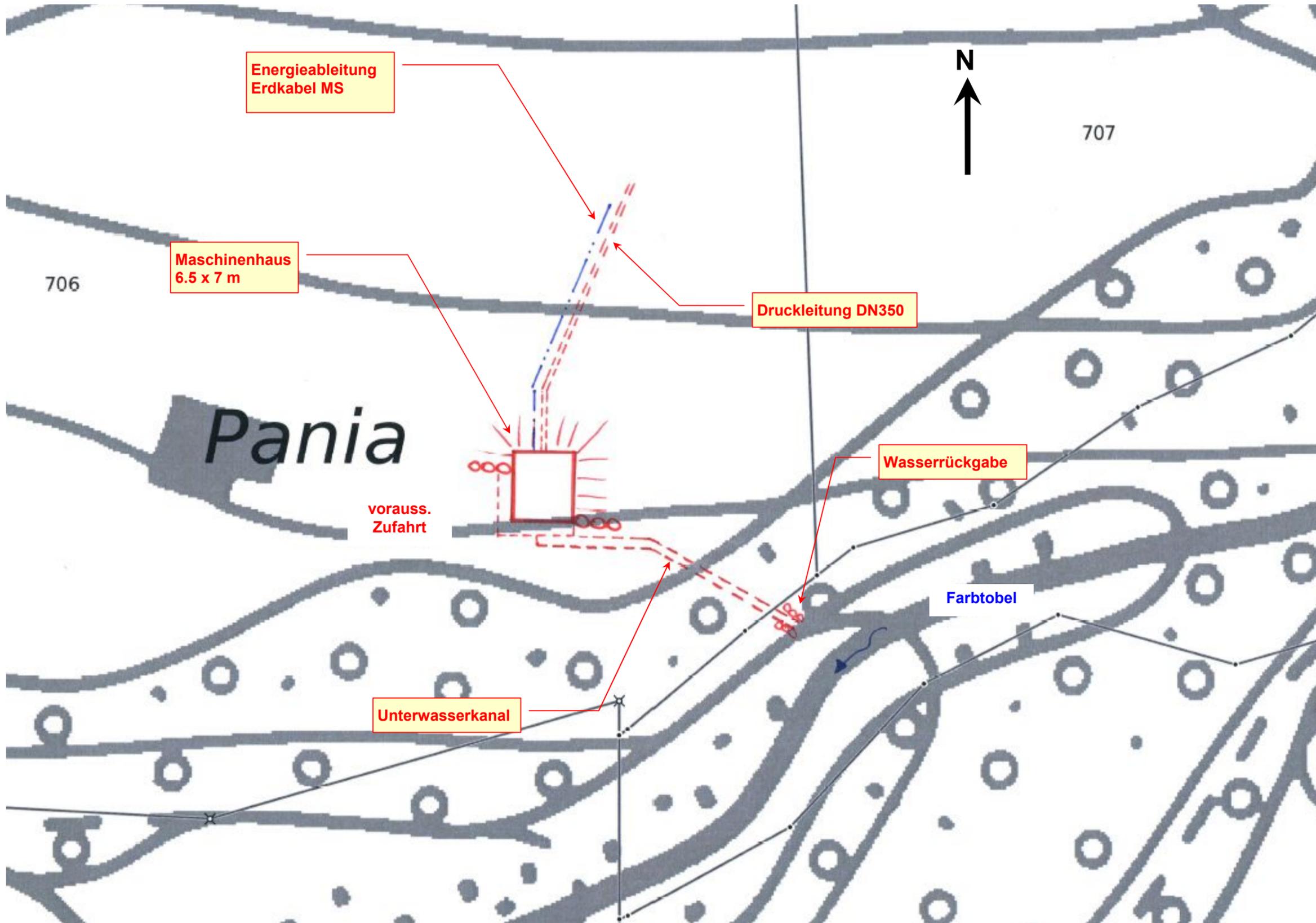
1. Situation Fassung
2. Situation Maschinenhaus
3. schematische Darstellung Kraftwerk



Planbeilage 1: Wasserfassung mit Sandfang, Situation

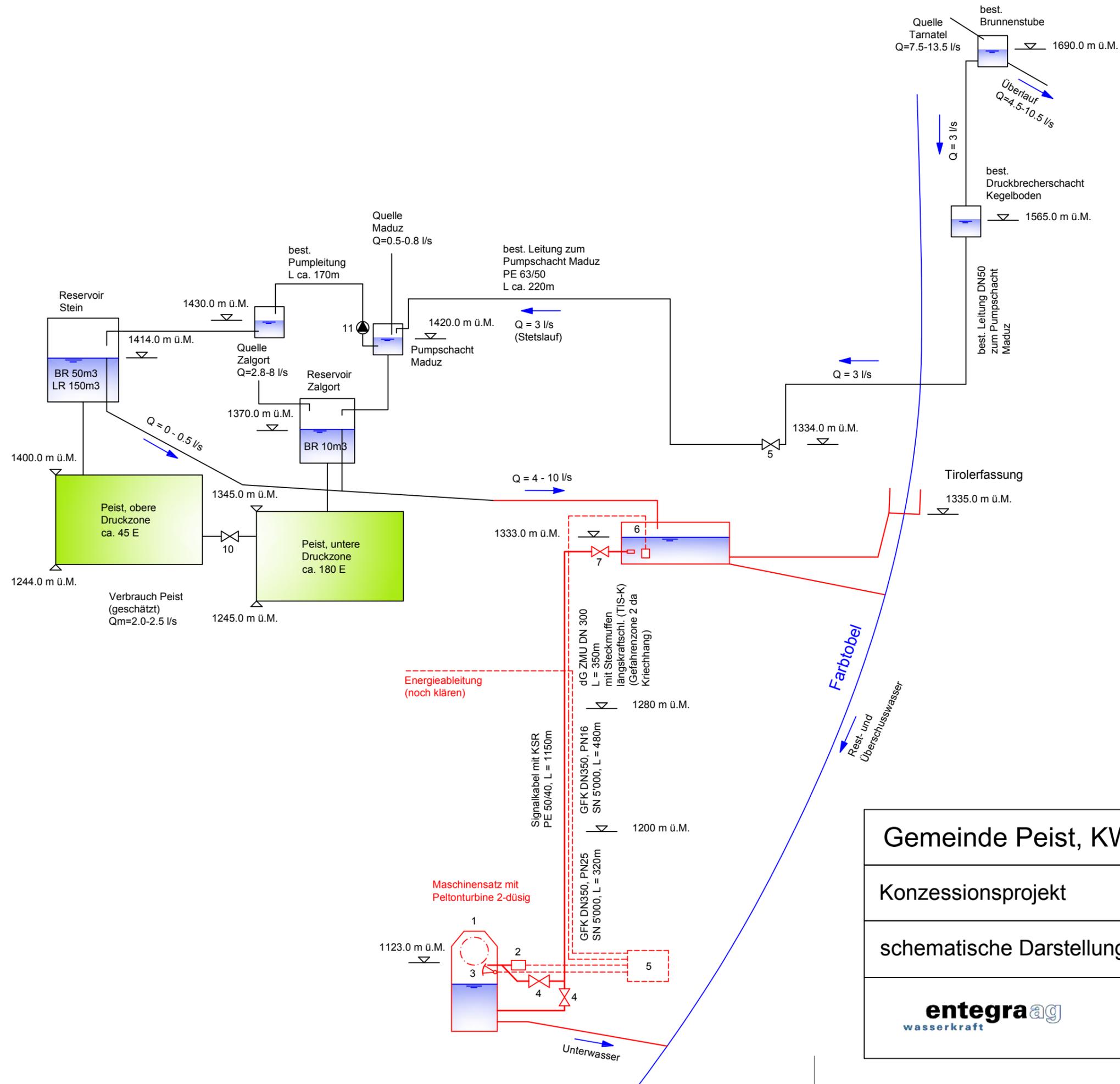


Planbeilage 2: Maschinenhaus, Situation



### Legende:

1	Pelton-Turbine 2-düsig mit Synchrongenerator
2	Regelarmatur mit autom. Antrieb
3	Strahlablenker mit autom. Rückstellung
4	Absperrorgane
5	Steuer- und Regeleinheit
6	Niveaumessung
7	Rohrbruchklappe, hydraulisch betätigt
10	Klappe, maschinell bet. im Brandfall
11	Pumpe



<b>Gemeinde Peist, KW Farbtobel</b>				
<b>Konzessionsprojekt</b>	Massstab:	Projektiert:	NG	16.06.09
	Format:	Gezeichnet:	NG	16.06.09
<b>schematische Darstellung</b>	A3	Geprüft:	IS	
				Plan Nr.: <b>7016.0A</b> rev.: 10.02.10
Entegra Wasserkraft AG Oberalpstrasse 28 7000 Chur 081 250 60 36				