



GEMEINDE LANGNAU AM ALBIS

NEUBAU TRINKWASSERKRAFTWERK STRIEMPEL

Bauprojekt

Ausgearbeitet durch

Peter Eichenberger, Entegra AG

St. Leonhardstrasse 59, 9000 St. Gallen, peter.eichenberger@entegra.ch, www.entegra.ch

Norman Gadiant, Entegra AG

St. Leonhardstrasse 59, 9000 St. Gallen, norman.gadiant@entegra.ch, www.entegra.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 Projekts.....	4
1.2 Schlussfolgerung und Empfehlung	4
2. Ausgangslage.....	5
2.1 Vorgeschichte	5
2.2 Weiteres Vorgehen	5
2.3 Planungsgrundlagen	5
2.4 Planungsgrundsätze	6
3. Wasserdargebot und Ausbaupotential	6
3.1 Wasserdargebot.....	6
3.2 Ausbaupotential	6
3.3 Konzept des Trinkwasserkraftwerkes	8
3.4 Die Ausbauwassermenge	8
4. Rechtliche Situation, Trägerschaft und Randbedingungen.....	8
5. Beschrieb der geplanten Anlage TWKW Striempel	8
5.1 Übersicht.....	8
5.2 Komponenten des Wasserkraftwerkes	9
5.2.1 Brunnenstube Voigt	9
5.2.2 Druckleitung und Signalerdkabel	10
5.2.3 Maschinenschacht	10
5.2.4 Maschinensatz, hydraulisches Schema.....	12
5.2.5 Elektrische Anlage und Schaltschema	14
5.2.6 Steuerung, Regelung und Störungsmeldung.....	14
5.2.7 Trinkwasserkraftwerk im Inselbetrieb	15
5.3 Energieausbeute.....	16
6. Wirtschaftlichkeitsanalyse	17
6.1 Kostenschätzung	17
6.2 Berechnung der Stromgestehungskosten	18



1. Zusammenfassung

1.1 Hauptdaten des Projekts

Elektrische Nennleistung	11 kW
Ausbauwassermenge	12 l/s
Bruttofallhöhe	127 m
KV Investitionskosten	CHF 170'000
Jährliche Produktionserwartung	47'000 kWh
Gestehungskosten (i=5%, n=25 Jahre)	30 Rp./kWh
Kostendeckende Einspeisevergütung (kEV)	ca. 30 Rp./kWh

1.2 Schlussfolgerung und Empfehlung

Das vorliegende Bauprojekt zeigt, dass das Projekt Neubau Trinkwasserkraftwerk Striempel technisch machbar und als Zusatznutzung der Trinkwasserversorgung in Langnau a.A. sinnvoll ist. Sofern die kostendeckende Einspeisevergütung gemäss revidiertem Energiegesetz (EnG) und zugehörnder Verordnung (EnV) zugesichert wird, ist auch ein knapp wirtschaftlicher Betrieb der Anlage möglich.

Mit der Realisierung der projektierten Anlage kann durch die Nutzung der potentiellen Energie des für die Trinkwasserversorgung ohnehin ins Tal geleiteten Wassers hochwertige erneuerbare Energie erzeugt werden. Als Zusatznutzen wird die Notwasserversorgung der Gemeinde Langnau am Albis sichergestellt, indem der Betrieb der UV-Anlage auch bei Ausfall des öffentlichen Stromnetzes gewährleistet wird.

Aus diesen Gründen empfehlen wir, das Projekt Trinkwasserkraftwerk Stiempel weiterzuverfolgen.

In einem ersten Schritt hat die Anmeldung für die kostendeckende Einspeisevergütung (kEV) an die Swissgrid zu erfolgen.

Anschliessend kann die Ausführung des Projekts mit der Ausschreibung der Bauarbeiten und der elektro-mechanischen Ausrüstung in Angriff genommen werden.



2. Ausgangslage

2.1 Vorgeschichte

Das Wasserkraftpotential der Voigt Quellen am Mittel Albis in der Wasserversorgung der Gemeinde Langnau a.A. war seit geraumer Zeit bekannt. Bereits in den Jahren 1993 / 94 wurden entsprechende Studien erstellt. Im Jahre 1994 verfasste Herr Roland Gloor an der Ingenieurschule Zürich eine Diplomarbeit zum Thema, wobei verschiedene Kraftwerksanordnungen untersucht wurden und schliesslich ein 10kW-Kraftwerk beim Reservoir Striempel zur Empfehlung gelangte. Diese Kraftwerksvariante wurde anschliessend als Grundlage für die weitere Planung und den Ausbau der Wasserversorgung im Gebiet Striempel herangezogen.

Im Jahre 2003 wurde im Auftrag der Gemeinde Langnau a.A. eine Projektstudie (Ref. [7]) durch die Entec AG, St. Gallen erstellt. Das Projekt wurde damals zur Weiterbearbeitung empfohlen. Aufgrund der geringen ausgewiesenen Rendite wurde das Projekt durch die Gemeinde Langnau am Albis jedoch nicht weiterverfolgt.

Der Bundesrat hat nun die neue Stromversorgungsverordnung und die revidierte Energieverordnung verabschiedet. Die beiden Verordnungen konkretisieren die Umsetzung der gesetzlichen Bestimmungen für die Strommarktöffnung für Grossverbraucher sowie die Einführung einer kostendeckenden Einspeisevergütung (kEV) per 1. Januar 2009.

Durch diese kostendeckende Einspeisevergütung kann die wirtschaftliche Situation nun neu beurteilt werden.

2.2 Weiteres Vorgehen

Die Entegra Wasserkraft AG bekundet Interesse an der Nutzung des vorhandenen Wasserkraftpotentials und möchte, sofern ein wirtschaftlicher Betrieb der Anlage möglich wird, ein Trinkwasserkraftwerk realisieren. Die Gemeinde Langnau am Albis ist grundsätzlich mit einer entsprechenden Zusammenarbeit einverstanden.

Anhand des vorliegenden Berichtes wird die wirtschaftliche und technische Machbarkeit der Anlage nach aktuellem Wissensstand überprüft.

2.3 Planungsgrundlagen

Die folgenden Planungsgrundlagen wurden verwendet:

- [1] Frick & Partner Ingenieure ETH/SIA: Übersichtsplan der Wasserversorgung Langnau a. A., Situation 1:5000, Februar 2002
- [2] Planausschnitte der Sammelbrunnenstube Voigt, der Druckleitung Voigt - Striempel, des Entlüftungsschachtes beim Reservoir Striempel, 1996
- [3] Hubert Meier AG: Reservoir und Stufenpumpwerk Striempel II: Profile und Ansichten 1:100, 1986 und 1987
- [4] Brunnenmeister Stoll, Langnau: Monatliche Messungen der Quellschüttungen Forchholz / Voigt und Striempel für die Jahre 1999 bis 2002, vereinzelte Messungen der Quellschüttungen während der Jahre 2007 und 2008
- [5] Diplomarbeit Herr R. Gloor, Ingenieurschule Zürich, 1994
- [6] AWEL Kanton Zürich, Abfluss-Tagesmittel Türlensee für die Jahre 1992 bis 2000
- [7] Entec AG, St. Gallen: Projektstudie Trinkwasserkraftwerk Striempel, 2003



2.4 Planungsgrundsätze

Bei der Planung des Trinkwasserkraftwerkes wurden die folgenden Grundsätze angewendet:

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

3. Wasserdargebot und Ausbaupotential

3.1 Wasserdargebot

Die Ermittlung des Wasserdargebotes wurde im Bericht Projektstudie Trinkwasserkraftwerk Striempel Ref. [7] ausführlich beschrieben und kann an besagter Stelle nachgelesen werden.

Die nachfolgende Grafik zeigt die gemessenen Quellschüttungen (blaue Symbole) sowie die synthetische Dauerabflusskurve (violett), die aus der Korrelation mit Abflussmessungen des Türlersees konstruiert worden ist.

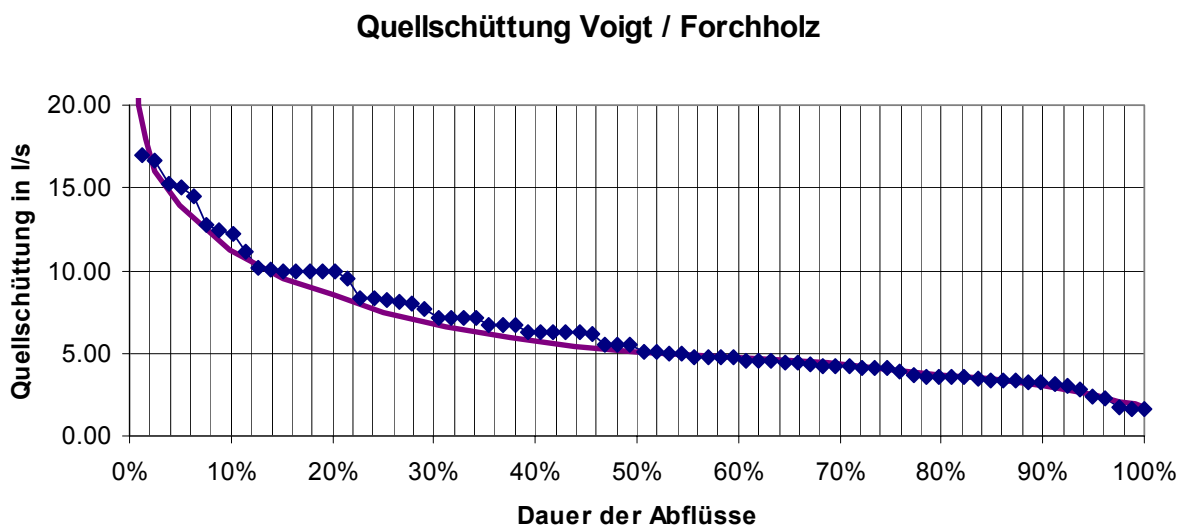


Bild 1: Gemessene Quellschüttung (blaue Symbole) der Voigt und Forchholz-Quellen (1988 bis 2002, sowie 2007 und 2008) sowie die synthetische Dauerabflusskurve (violett) aus Korrelation mit den Abflüssen am Türlensee.

Der mittlere Abfluss der Voigt- und Forchholzquellen beträgt rund 6.5 l/s; dieser ist an 90 Tagen im Jahr erreicht oder überschritten. Die Schüttungen variieren mit $Q_{\min} = 1.7$ l/s und $Q_{\max} = 17.0$ l/s (Verhältnis 1:10) sehr stark.

3.2 Ausbaupotential

Das Wasserkraftpotential der Quellen Voigt / Forchholz am Mittel Albis ergibt sich aus dem Höhenunterschied zwischen der Sammelbrunnenstube Voigt und dem Reservoir Striempel. Das Wasserkraft-



potential errechnet sich wie folgt:

Tabelle 1: Wasserkraftpotential in der Wasserversorgung Langnau

	Meereshöhe	Bruttogefälle
Potential: Sammelbrunnenstube Voigt bis Maschinenschacht bei Reser- voir Striempel	736.50 m ü.M. ca. 609.55 m ü.M.	127.0 m (Leitung PE 160/130.8mm, 580m, davon 548m bestehend und 32m neu)

Unter der Annahme, dass die Wasserkraftanlage auf 12l/s ausgelegt wird, ergibt sich bei ca. 4m Reibungs- und anderen Druckverlusten das folgende Wasserkraftpotential:

Nettogefälle $H_n = 122.5$ m, $Q = 12.0$ l/s, $P_{\text{elektrisch}} = 11.0$ kW



Bild 2: Luftbild mit Brunnstube Voigt, Druckleitung und Reservoir Striempel (rosa markiert ist die Albis-Pass-Strasse)



3. 3 Konzept des Trinkwasserkraftwerkes

Die Quellen Voigt und Forchholz nehmen eine wichtige Stellung in der Wasserversorgung der Gemeinde Langnau ein, da sie im Mittel rund 25% des Tagesbedarfs der Gemeinde decken können. Die Wasserkraftanlage muss so konzipiert werden, dass das gesamte Quellwasser in jedem Betriebszustand sicher in das Reservoir Striempel geleitet werden kann und nicht verworfen wird, auch nicht während Quellschüttungen, die wesentlich von der mittleren Wassermenge abweichen.

Da die Schüttung des Quellwassers mit $Q_{\min} = 1.7 \text{ l/s}$ ($147\text{m}^3/\text{Tag}$) und $Q_{\max} = \text{ca. } 17 \text{ l/s}$ ($1470\text{m}^3/\text{Tag}$) stark variiert, ist der effiziente Betrieb einer Wasserkraftanlage nicht einfach:

- Da die Brunnenstube keinerlei Speichervolumen besitzt, muss die gesamte anfallende Quellschüttung jederzeit unmittelbar ins Tal abgeleitet werden, um sie nicht verwerfen zu müssen. Ein intermittierendes Abarbeiten des Quellwassers bei optimalem Turbinenwirkungsgrad ist wegen des fehlenden Speichers nicht möglich.
- Eine Auslegung der Wasserkraftanlage auf die maximale Quellschüttung ist wirtschaftlich nicht sinnvoll, da dieser maximale Abfluss von ca. 17l/s im Durchschnitt nur während 5 Tagen im Jahr erreicht wird.
- Eine Auslegung auf $Q_{\text{turbine max}} = 12 \text{ l/s}$ (31 Tage im Jahr überschritten) erweist sich als wirtschaftlich (siehe auch unten).
- Sobald die anfallende Quellschüttung den maximalen Turbinendurchfluss von 12 l/s überschreitet, wird ein neu zu erstellender Bypass mit Regelventil zugeschaltet und so geregelt, dass weder Wasser verworfen wird noch der Druck in der Rohrleitung zusammenfällt.

Mit diesem Bau- und Betriebskonzept kann sichergestellt werden, dass die Voigt und Forchholzquellen trotz Wasserkraftanlage wie bisher vollständig genutzt werden können und keinerlei Wasserverlust auftritt.

3. 4 Die Ausbauwassermenge

Kleinwasserkraftanlagen, die an ein grösseres Elektrizitätsnetz angeschlossen sind, werden in der Regel auf eine Abflussmenge ausgelegt, die während 70 bis 80 Tagen im Jahr erreicht oder überschritten wird. Gemäss dieser Regel läge die Ausbauwassermenge des Trinkwasserkraftwerkes Langnau a.A. bei nur 8.5 l/s. Da jedoch die Druckleitung bereits bestehend ist und reichlich dimensioniert ist, kann für die vorgesehene Kleinanlage eine Erhöhung der Ausbauwassermenge ohne Einbussen in der Wirtschaftlichkeit ins Auge gefasst werden.

Sämtliche Komponenten des Kraftwerks und der hydraulischen Anlagen werden im Folgenden auf eine Ausbauwassermenge von 12 l/s ausgelegt.

4. Rechtliche Situation, Trägerschaft und Randbedingungen

Träger der geplanten Wasserkraftanlage ist die Entegra Wasserkraft AG, St. Gallen.

Eine Wasserrechtskonzession ist gemäss Abklärung mit den kantonalen Behörden nicht zu beantragen. Eine Konzession zu Gunsten der Gemeinde Langnau a. A. für die Entnahme des Trinkwassers liegt vor.

5. Beschrieb der geplanten Anlage TWKW Striempel

5.1 Übersicht

Das Kraftwerk produziert im Normalfall im Netzverbund. Sobald eine Netzstörung auftritt, wird das Kraftwerk sofort vom Netz getrennt. Um die Wasserentkeimung (UV-Anlage) im Reservoir Striempel ständig zu gewährleisten, soll die Anlage bei länger andauerndem Netzausfall im Inselbetrieb weiterbetrieben werden können. Diese zusätzliche Funktion wird durch die Wasserversorgung finanziert.



5.2 Komponenten des Wasserkraftwerkes

5.2.1 Brunnenstube Voigt

Das bestehende Sammelbecken in der Brunnstube Voigt sollte als Reguliervolumen für die Steuerung des Kraftwerks herangezogen werden können. Damit ein stabiles Regelverhalten der Wasserkraftanlage erzielt werden kann, sollte das Oberwasserbecken eine freie Wasseroberfläche von mind. 3.6m^2 aufweisen¹. Leider sind die bestehenden Abmessungen des Sammelbeckens mit nur $60\text{cm} \times 105\text{cm}$ ungenügend. Zudem weist die Druckleitung im obersten Teil nach dem Sammelbecken eine sehr flache Linienführung auf, was bei einer langen Druckleitung erfahrungsgemäss zu Betriebsproblemen führt (Unterdruck und Ablösen der Wassersäule bei Druckstössen).

Es muss deshalb ein zusätzliches Ausgleichsvolumen in einem neuen Schacht erstellt werden; dieser soll unmittelbar nach der bestehenden Brunnstube auf der alten Gussleitung zu liegen kommen. Es wird ein vorfabriziertes Rohr mit Einstiegschacht, Entlüftung und 4 Anschlüssen (Zulauf, Ablauf, 2 x Entleerung/Überlauf) aus Polyethylen (PE) gewählt, welches auf eine Kiessohle gestellt und erdüberdeckt wird.

Neben der regelungstechnisch bedingten freien Wasseroberfläche muss das zusätzliche Ausgleichsbecken die folgenden Funktionen erfüllen:

- Absetzbecken für Verunreinigungen (Fest- und Schwebstoffe)
- Aufnahme eines Seiher mit 8mm Lochdurchmesser, damit die Peltondüse (ca. 20mm Durchmesser bei voller Öffnung) nie verstopft und Druckstösse erzeugt².
- Genügende Überdeckung des Seiher der Druckleitung, so dass ein Ansaugen von Luft ausgeschlossen wird;
- Platzierung der eingetauchten Drucksonde (mit Überspannungsschutz) zur Turbinenregelung
- Um die Verschmutzung des Wassers durch herunterfallende Schmutzpartikel zu vermeiden, wird der Einstieg in das Ausgleichsbecken über einem Trockenstand angeordnet.

¹ Minimales Ausgleichsvolumen zur Dämpfung von Druckstössen im Druckrohr aufgrund von Betriebszustandsänderungen (Öffnen / Schliessen von Absperrorganen oder der Turbinendüsennadel). Für kleine Kraftwerke kann dieses Volumen nach folgender Faustregel bestimmt werden: Das Volumen soll einem Wasserdurchsatz bei 30 Sekunden Turbinenbetrieb (Vollast) entsprechen. Für die vorliegenden Verhältnisse also ca. $12\text{ l/s} \times 30\text{ Sekunden} = 360\text{ l}$ oder 0.36 m^3 . Wichtig ist nun, dass diese Volumen möglichst ohne grosse Wasserspiegelschwankungen ($<0.10\text{ m}$) erreicht wird, d.h. die Oberfläche des Beckens muss möglichst gross sein. Im vorliegenden Fall also mind. 3.6m^2 .

² Das bestehende Druckhalteventil wird nicht durch einen Seiher sondern durch einen Filter unmittelbar vor dem Ventil gegen Verunreinigungen geschützt. Wegen des hohen Druckverlusts ist ein Filter vor der Peltonmaschine ungeeignet.



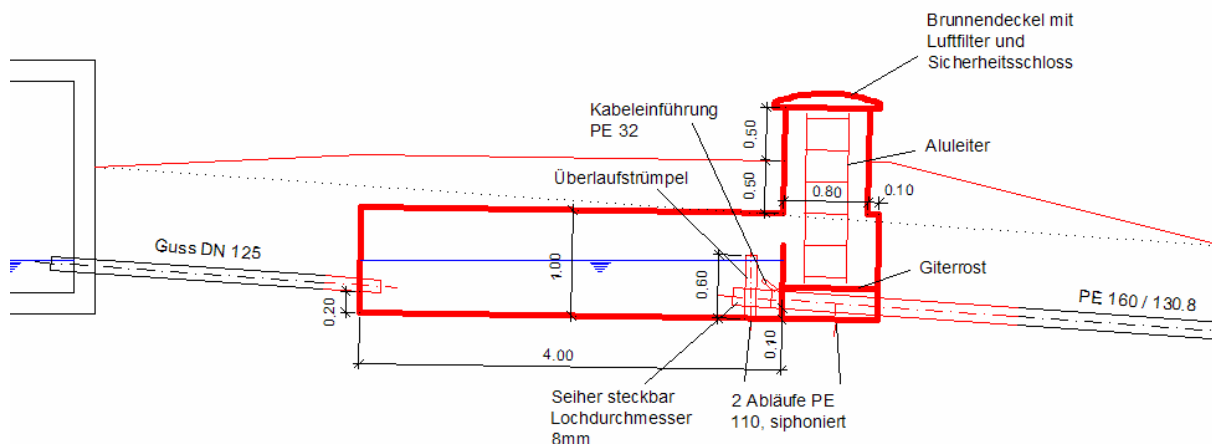


Bild 3: Vorgefertigtes Ausgleichsbecken bei der Brunnstube Voigt

Eine Baustellenzufahrt wird nicht benötigt, da nur mit leichten Baugeräten gearbeitet und ausserhalb der Vegetationszeit über die Wiese gefahren werden kann.

5.2.2 Druckleitung und Signalerdkabel

Die "Druckleitung" PE 160/130.8mm von der Brunnstube Voigt bis zum Druckhalteventil oberhalb des Reservoirs Striempel wurde in den Jahren 1995 und 1996. Ab dem bestehenden Schacht mit dem Druckhalteventil und dem projektierten Maschinenschacht ist ein zusätzliches Stück Druckleitung zu erstellen. Als Leitungsmaterial wird ebenfalls PE 160/130.8mm, PN 16 vorgesehen.

Zurzeit läuft die Leitung bei den vorherrschenden Quellzuflüssen im oberen flachen Teil der Leitung nicht unter Druck. Das Druckhalteventil ist nicht in der Lage, auf den Wasserspiegel des Überlaufes in der Brunnstube Voigt zu regeln, sondern hält den Spiegel auf einem tieferen Niveau irgendwo in der Leitung. Eine Entlüftung vor dem steilen Teil der Druckleitung durch den Wald entfernt die Luft im Wasser, die bei dieser Betriebsart unweigerlich aufgenommen wird.

Für den Betrieb der Wasserkraftanlage muss eine genauere Niveauregelung mit Hilfe einer Drucksonde im neu zu erstellenden Ausgleichsschacht bei der Brunnstube Voigt installiert werden. Für die Übertragung der Signale ist vorgesehen, ein Signalerdkabel in die bestehende Druckleitung einzuschwemmen. Da die maximalen Wassergeschwindigkeiten in der bestehenden Druckleitung bei 1.0m/s liegen, kann ein armiertes Signalerdkabel eingeschwemmt werden, welches auch nach vielen Betriebsjahren nicht durchgescheuert wird.

Ein Einschwemmen ist nur bis zur Abzweigung zum Reservoir Rengg notwendig. Nach der Ausführung des Kabels aus dem Rohr erfolgt eine Anbindung an das Kabelnetz der Wasserversorgung im Reservoir Rengg, von wo Adern der bestehenden Kabel zum Reservoir Striempel genutzt werden können. Die Verbindung zum Kraftwerk erfolgt über einen neuen Kabelstrang ab Reservoir Striempel, Länge 10m.

5.2.3 Maschinenschacht

Der bestehende Schacht mit dem Druckhalteventil beim Reservoir Striempel liegt auf einem privaten Grundstück, direkt hinter einem Wohnhaus. Dieser Schacht bleibt für die Unterbringung der Schieberarmatur der Quellzuleitung der Striempel Quellen erhalten.

Als Standort des Maschinenschachtes wird der Platz zwischen dem bestehenden Entlüftungsschacht (KS 1500) und dem Reservoir Striempel vorgeschlagen. Während des Baus des neuen Maschinenhauses muss die bestehende Quellzuleitung weiterhin betrieben werden können; es wird deshalb auf eine Integration des Entlüftungsschachtes in das neue Turbinenhaus verzichtet.



Die Gefälls- und Durchflussverhältnisse ($H_{\text{netto}} = 122.5\text{m}$, $Q_A = 12 \text{ l/s}$) 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 von 607.20m eingebaut werden. Dies umso mehr, da zwischen Turbine und Reservoir noch die Wasserentkeimung (UV-Anlage) mit Motorschieber und Kammerzulaufleitung mit individuellen Druckhöhenverlusten zu liegen kommen. Die Düse der Peltonmaschine wird deshalb auf eine Kote von 609.55m ü.M. gelegt. Der maximale Wasserspiegel im Turbinenschacht steigt auf 609.00m ü.M., d.h. 0.20m über den Überlauf im bestehenden Entlüftungsschacht. Diese Verhältnisse bestimmen weitgehend die Höhenlage und Gestaltung des Turbinenhauses.

Der Maschinensatz wird Lärmemissionen zwischen 85 und 90dB erzeugen. Die Anlage befindet sich in der Wohnzone 1.5 mit Lärmempfindlichkeitsstufe II. Gemäss Lärmschutzverordnung (LSV) sind die Planungswerte von 50dB (Tag) und 45dB (Nacht) an den Fassaden der angrenzenden Wohnhäuser einzuhalten. Entsprechende Schallschutzmassnahmen wie eine erdüberdeckte Betonkonstruktion und Isolation des Brunnendeckels werden vorgesehen.

Die Innenabmessungen des erdüberdeckten Turbinenhauses sind wie folgt:

- Länge 3.20m
- Breite 2.00m
- 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. Das Turbinenhaus kann aus Ortbeton oder als vorgefabrizierter Schacht gebaut werden. Erst nach der Ausschreibung der Arbeiten kann die kostengünstigste Variante bestimmt werden.

Die Deckenplatte des Schachtes, inkl. Abdeckplatten der Revisionsöffnung, wird mit Bitumenbahnen abgedichtet und mit 30cm Erdreich überdeckt. Sollte ein Ausbau des gesamten Maschinensatzes einmal notwendig werden, 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.



5.2.4 Maschinensatz, hydraulisches Schema

Die technischen Daten der gewählten Turbine sind wie folgt:

- Typ Pelton, eindüsig
- Laufraddurchmesser ca. 300mm (je nach Hersteller)
- Becherbreite ca. 63mm
- Düsendurchmesser ca. 20mm
- 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 auf der folgenden Seite dargestellt.

Das Maschinenhaus enthält die folgenden drei hydraulischen Anlageteile:

- Druckleitung PE DN 160 von Brunnstube / Ausgleichsbecken Voigt mit handbedienter Absperrklappe DN 100 (PN 16), mit welcher die Turbine für Revisionszwecke abgeschiebert werden kann. Der Durchfluss zur Peltonturbine wird mit einer verstellbaren Düsennadel geregelt (elektrischer Stellmotor), so dass das Niveau im Ausgleichsbecken konstant gehalten wird. Am tiefsten Punkt der Druckleitung im Turbinenhaus wird eine Entleerung 1,5" vorgesehen.
- Bypass mit dem bestehenden Druckhalteventil Typ Hawle DN 80 mit Absperrschieber und Filter. Diese drei Armaturen werden vom bestehenden Schacht in das neue Turbinenhaus transferiert. Das Druckhalteventil muss neu elektrisch angesteuert werden können, um bei Ausfall oder Vollast der Turbine den gesamten Quellzulauf zu sichern.

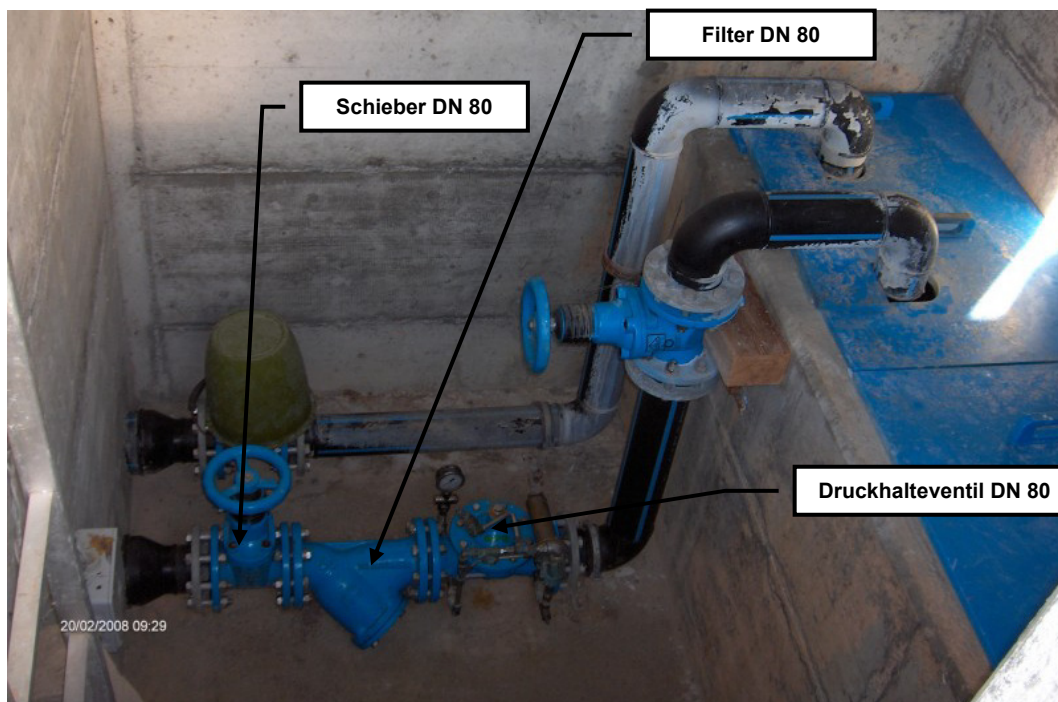


Bild 4: Best. Schacht oberhalb des Reservoirs. Im Vordergrund Druckleitung ab Brunnstube Voigt Quellen mit best. Druckhalteventil. Im Hintergrund Leitung ab Striempel Quellen



1	Quellzulaufe Voigt und Forchholz	8	Niveaumessung Voigt	15	Best. Steuereinheit
2	Sammel- & Ausgleichsbecken	9	Bypass-Ventil (best.) mit Handrad	16	Inhalt Reservoir Striempel 1300m ³
3	Pelton-Turbine	10	Druckhalteventil DN 80 mit Filter (best.) im Bypass; neu: angesteuert	17	Stufenpumpewerke 2 x 20.9kW (Albis), 2 x 9.5kW (Rengg), 2 x 5.6kW (Waldi)
4	Elektr. Stellmotor für Düsennadel	11	Überlauf (best.)		
5	Strahlableiter	12	-		
6	Klappe DN 100, PN 16 (neu)	13	Verwurfsklappe best.		
7	Steuer- und Regeleinheit	14	best. UV-Anlage (mit $Q_{max} = ca. 40$ l/s, Pel = 500W)		

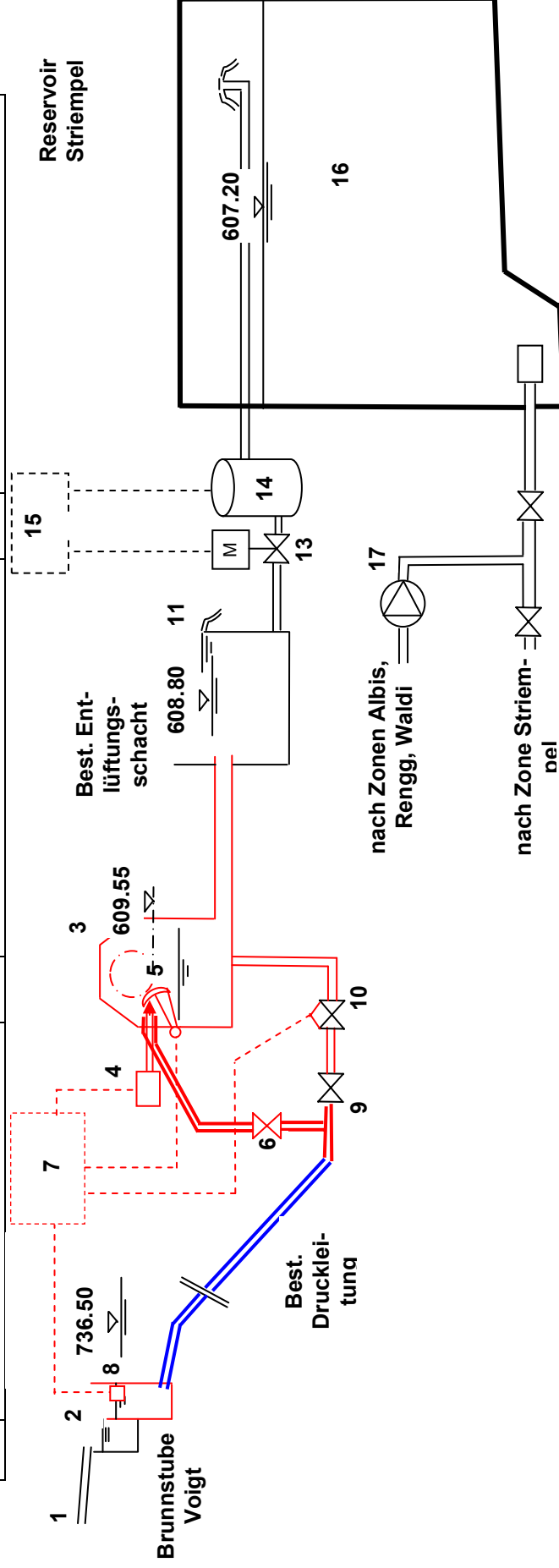


Bild 5: Hydraulisches Schema des vorgeschlagenen TWKW Striempel

5.2.5 Elektrische Anlage und Schaltschema

Aufgrund des vorgesehenen Inselbetriebs zur Aufrechterhaltung der UV-Anlage ist eine Synchron-Maschine zu empfehlen. Eine Asynchron-Maschine in dieser Leistungsklasse wäre preisgünstiger. Jedoch ist bei einem Asynchron-Generator die Regelung der Frequenz und der Ausgangsspannung problematischer.

5.2.6 Steuerung, Regelung und Störungsmeldung

Die Anlage wird für einen vollautomatischen Betrieb ausgelegt, d.h., nach einem Betriebsunterbruch (z.B. kurzzeitigem Netzausfall) schaltet sich die Anlage ohne Eingriffe von aussen wieder ans Netz. Die Steuerung und Regelung wird in einem Schaltschrank von HxBxT = ca. 2.00m x 0.85m x 0.5m untergebracht, welcher an der Wand des Turbinenschachtes aufgehängt wird. Eine eingebaute Heizung verhindert Kondenswasserbildung im Schrank. Die Anbindung des Kraftwerks an das Netz der EKZ geschieht im Reservoir Striempel. Die entsprechenden Einrichtungen können in einem freien Feld der vorhandenen Schaltschränke untergebracht werden.

Im Normalbetrieb wird der Wasserstand im Ausgleichsbecken Voigt gemessen und die Düsennadel / Durchflussmenge der Turbine so angepasst, dass der Wasserspiegel im Becken annähernd konstant bleibt.

Bei Netzausfall wird der Generator vom Netz getrennt (Lastabwurf). Der Maschinensatz wird innert kürzester Zeit auf Durchgangsdrehzahl beschleunigt. Anschliessend lenkt der Strahlableiter der Turbine das Wasser vom Peltonrad weg und der Maschinensatz läuft aus. Alternativ kann auf den Strahlableiter verzichtet werden, sofern die Konstruktion der gesamten Ausrüstung, insbesondere die Lager, während 48h Durchgangsdrehzahl nicht beeinträchtigt werden. Entsprechende Massnahmen sind vorzusehen.

Bleibt das Netz zu lange weg (>10min), wird die Düsennadel mit Hilfe einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV, Akkumulatoren) der Steuerung langsam geschlossen. Dieser Vorgang muss langsam erfolgen, um keine Druckstösse in der langen Druckleitung zu verursachen.

Die Wasserzufuhr zum Reservoir Striempel ist nun unterbrochen. Da ein Netzausfall auch nur zwischen Turbine und Anschluss ans EKZ-Netz bestehen könnte, wird der Bypass mit Druckhalteventil automatisch in Betrieb genommen und der Quellzulauf ist wie ohne Turbineninstallation ermöglicht. Wenn der Netzausfall auch das Reservoir Striempel betrifft, ist die Entkeimungsanlage auch ausser Betrieb und das Quellwasser wird über die Verwurfsklappe von der Reservoirkammer ferngehalten.

Notschlusskonzept: Bei Netzausfall, Kurzschluss oder Betätigung der NOT-AUS Taste erfolgt eine Notabschaltung: Unmittelbare Trennung vom Netz und raschest mögliches Schliessen der Turbine durch den notstromversorgten Stellmotor, bei verzögertem Öffnen des Bypasses.

Eine unzulässige Unterspannung der Notstromgruppe wird gemeldet und führt zu einer Stilllegung der Anlage. Fällt die Notstromversorgung aus anderen Gründen aus (Kabelbruch), so kann die Turbine nicht schliessen. Aufgrund des Ausfalls der Steuerung erfolgt eine sofortige Trennung vom Netz. Die Turbine geht auf (zulässige) Durchgangsdrehzahl. Gleichzeitig öffnet der Bypass aufgrund fehlender Magnetventilversorgung (Ventil stromlos offen).

Die vorgeschlagene Lösung im Bereich Steuerung und Regelung erfüllt trotz ihrer Einfachheit (nur ein elektrischer Stellmotor) alle Erfordernisse der Versorgungssicherheit für Trinkwasser und des elektrischen Schutzes.

Störungsmeldungen werden auf ein stationäres und/oder mobiles Telefon (Tele-Alarm) übertragen. Im Weiteren ist eine Fernüberwachung (via Telefonleitung oder Funkmodem) der Anlage vorgesehen.

5.2.7 Trinkwasserkraftwerk im Inselbetrieb

Das Trinkwasserkraftwerk soll im Notfall (Notwasserversorgung) für den Betrieb der UV-Anlage im Reservoir Striempel herangezogen werden. Entsprechend muss die Trinkwasserkraftanlage im Inselbetrieb die folgenden Verbraucher antreiben können:

- UV-Anlage (Durchsatz max. 42 l/s); Leistungsaufnahme 550W
- Verwurfsklappe mit Motorantrieb ca. 400W
- Notbeleuchtung Reservoir Striempel und Turbinenhaus, 50W

Die Trinkwasserkraftanlage muss deshalb im Inselbetrieb mindestens 1000W elektrische Leistung erzeugen. Dazu wäre eine Triebwassermenge von ca. $Q=1.5$ l/s erforderlich. Die minimal turbinierbare Wassermenge liegt jedoch bei ca. $Q=2.0$ l/s (17% von Q_A) und ist auch an einem trockenen Jahr während rund 350 Tagen vorhanden.

Die Umschaltung des Kraftwerks vom Netzparallelbetrieb auf Inselbetrieb soll manuell geschehen; d.h. bei einem Stromausfall braucht die Trinkwasserkraftanlage nicht unterbrechungsfrei den Betrieb der Entkeimungsanlage aufrechterhalten. Erst wenn der Brunnenmeister sieht, dass der Stromausfall wohl länger dauern wird, kann er die Trinkwasserkraftanlage im Inselbetrieb starten und die UV-Anlage (Verwurfsklappe) sowie die Notbeleuchtung im Reservoir Striempel für den Inselbetrieb umstellen. Zu diesem Zweck müssen die folgenden Anpassungen zu einer Anlage im Netzbetrieb vorgesehen werden:

- Verwendung eines Synchrongenerators von 15kVA, welcher im Inselbetrieb gefahren werden kann. Die Mehrkosten gegenüber der Standard-Asynchronmaschine werden auf Fr. 2200.- geschätzt³.
- Einbau einer Synchronisiereinheit, um den Synchrongenerator im Normalbetrieb ans EKZ-Netz zu bringen. Anpassung der Steuerung an die Zusatzfunktion Inselbetrieb; die Versorgung der Steuerung für den „black-start“ geschieht durch die USV. Die Mehrkosten betragen rund Fr. 9000.-.
- Einbau eines Ballasts von 1.7kW (Heizelemente), der für das Anfahren und den stabilen Betrieb der UV-Anlage und der Pumpe notwendig ist. Um ohne Ballast die richtige Drehzahl und Frequenz zu erzeugen, müsste die Wasserzufuhr zur Turbine so schnell angepasst werden, dass ein stabiler Turbinenbetrieb (ohne Einbau eines Schwungrades) nicht möglich wäre. Die Kosten für den Ballast werden auf Fr. 1400.- geschätzt.
- Anpassung der Verbraucher (UV-Anlage, Verwurfsklappe, Notbeleuchtung) auf eine manuelle Umschaltung auf Inselbetrieb inkl. Sperre, welche verhindert, dass bei Rückkehr des EKZ-Netzes eine ungewollte Zusammenschaltung erfolgt. Die Kosten für diese Anpassungsarbeiten werden auf Fr. 2500 geschätzt.
- Ein Betrieb der Fernwirkanlage der Wasserversorgung während Notwassersituationen ist nicht vorgesehen.

Insgesamt entstehen für die Zusatzfunktion „Inselbetrieb“ am Kraftwerk Mehrkosten von rund Fr. 12'600.-. Die Anpassung der Ausrüstung im Reservoir Striempel wird mit Fr. 2'500.- budgetiert.

³ In der Regel produziert ein Synchrongenerator dank seines besseren Wirkungsgrades mehr Energie als die Asynchronmaschine. Da bei den Kleinstanlagen die Verfügbarkeit von sehr effizienten Synchrongeneratoren gering ist (nur wenige Hersteller), wird im vorliegenden Fall keine Erhöhung der Jahresenergie in Rechnung gestellt.



5.3 Energieausbeute

Für die gewählte Ausbauwassermenge $Q_A = 12\text{l/s}$ wurde die Energieausbeute unter den folgenden Annahmen gerechnet:

Turbinenwirkungsgrade

bei Q_A :	81%
75% von Q_A :	80%
50% von Q_A :	79%
25% von Q_A :	78%

Generatorwirkungsgrade

bei P_{mech} :	92%
75% von P_{mech} :	92%
50% von P_{mech} :	91%
25% von P_{mech} :	90%

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

Mit den in Abschnitt 3.1 ausgewiesenen Quellergiebigkeiten (Dauerabflusskurve) ergibt sich ein Jahresenergieertrag von rund 47'000kWh.

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. 10 Haushalten decken. Diese doch beachtliche erneuerbare Energiemenge kann ohne jegliche Eingriffe in die Umwelt erzeugt werden. Ohne die Nutzung in einer Kleinwasserkraftanlage müsste diese Energie in entsprechenden Einrichtungen wie Druckreduzierventilen vernichtet werden.



6. Wirtschaftlichkeitsanalyse

6.1 Kostenschätzung

Die Kostenschätzung wurde auf der Grundlage von Richtpreisofferten für Rohrleitungen und Elektro-mechanik sowie aufgrund von Erfahrungswerten aus ähnlichen Projekten vorgenommen.

Der Kostenvoranschlag sieht wie folgt aus:

Tabelle 2:

Kostenvoranschlag

Datum: Sept. 08 / PE/NG

No.	NPK-Text (summarisch)	Einheit	Quantität	Einh.-Preis	Total
	Zusammenstellung der Kosten				
1	Installationen				5'000
2	Wasserhaltung				500
3	Ausgleichsbecken Voigt				16'593
4	Druckleitung und Steuerkabel				13'480
5	Turbinenhaus Striempel				24'978
6	Elektro-mechanische Ausrüstung und Reservoirarmaturen				83'346
7	Planung, Projektierung, Bauleitung				16'500
8	Unvorhergesehenes				8'020
	Total Kosten für Trinkwasserkraftwerk (11 kW), ohne MWSt. (gerundet)				170'000



6.2 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 50 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%
- Armaturen, Druckleitung 1.0%
- Bau 0.5%

Damit lassen sich die jährlichen Kosten für Betrieb und Unterhalt der 11kW-Anlage zu rund CHF 2'400.- berechnen.

Aus der Annuität der Investitionen und den Betriebs- und Unterhaltskosten lassen sich bei einer Jahresproduktion von 47'000kWh **Gestehungskosten von rund Rp. 30/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. 30/kWh**. Der tatsächliche Vergütungssatz wird durch die Swissgrid nach der KEV-Anmeldung bekannt gegeben resp. wird jeweils gemäss der tatsächlich produzierten Energie jährlich neu festgelegt.

Das Projekt ist damit knapp wirtschaftlich, da Gestehungskosten und Einspeisevergütung identisch sind.

