# VTA-WASSERFACHTAGUNG 2008
## Referat von Peter Eichenberger

**Trinkwasserkraftwerke - Einsatzmöglichkeiten, Erfahrungen und Wirtschaftlichkeit mit der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV)**

### 1 Möglichkeiten der Energiegewinnung in der Wasserversorgung

Die Nutzung des Trinkwassers zur Stromproduktion, bevor es dem Konsum zugeführt wird, ist seit langem bekannt. Es ist die wohl umweltverträglichste Produktion von erneuerbarer Energie, die man sich vorstellen kann, da es sich um eine Nebennutzung der lebenswichtigen Wasserversorgung handelt und dabei weder Fliessgewässer noch Naturräume beeinträchtigt werden.

Obwohl schon viele Turbinen in den Trinkwasserversorgungen der Schweiz installiert worden sind, gegen 100 allein in den letzten 10 Jahren, so sind nach wie vor ungenutzte Potentiale vorhanden, die sich nicht zuletzt dank der neuen Regelung über die Vergütung des produzierten Stromes wirtschaftlich nutzen lassen.

#### 1.1 Druckreduktion zwischen Quelle und Reservoir

Die grössten Potentiale liegen im Berggebiet, wo die Trinkwasserversorgung vor allem durch Nutzung von Quellen sichergestellt wird (gesamtschweizerisch stammt 42% des Trinkwassers aus Quellen). Wenn die Quellen höher liegen als das Reservoir der Versorgung, werden üblicherweise Druckbrecherschächte oder Druckreduzierventile eingesetzt, um die Leitungen mit den üblichen Druckstufen bis PN16 (160 m Wassersäule) ausführen zu können (siehe Bild 1). Statt die Energie in den Druckbrechern zu vernichten, kann sie in mechanische und elektrische Energie umgewandelt und ins Stromnetz eingespeist werden.

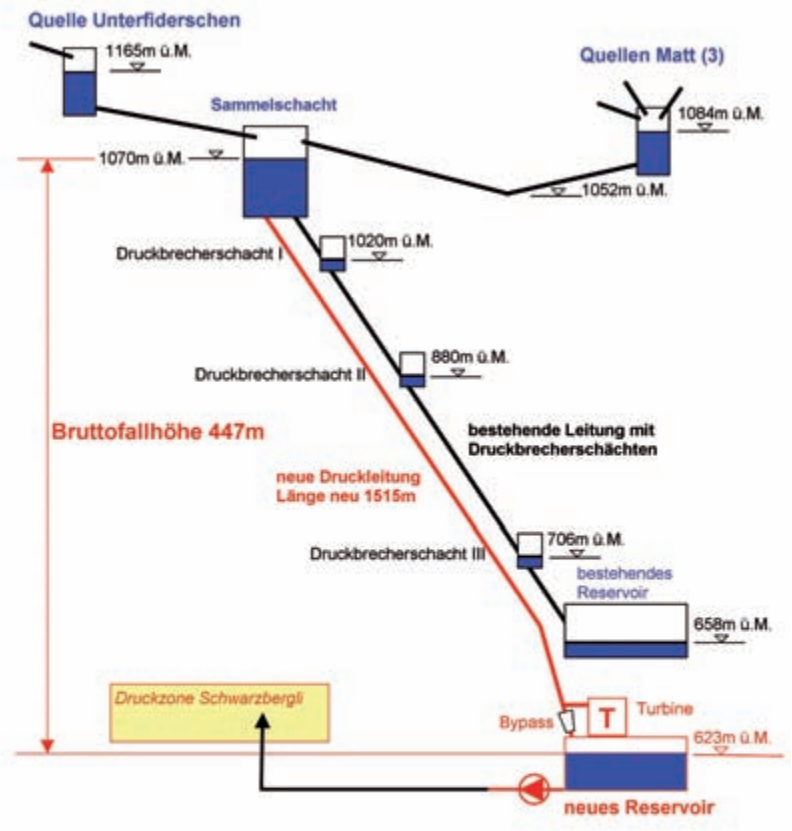


*Bild 1: Typische Situation einer Wasserversorgung mit hoch liegenden Quellen, die ein Dorf im Tal versorgen. Die ursprünglich in Druckbrecherschächten vernichtete Energie kann mittels einer Turbine (T) in Strom umgewandelt werden. Das Kraftwerksprojekt wird erst im Zuge der Erneuerung der Druckleitung und des Reservoirs umgesetzt.*

Dabei sind ein einfaches Kurzschliessen der Druckbrecherschächte sowie der Einsatz einer Turbine im Reservoir oft nicht ohne Ersatz der Leitungen möglich, weil:

a) die Leitungen zu geringe Druckstufen aufweisen (im Beispiel Bild 1 ergibt sich beim neuen Reservoir eine Druckstufe von >400 m Wassersäule)
b) die Kaliber zu gering sind. Für die reine Wasserversorgung wird ein Teil der Energie durch Reibung in kleinen Kalibern auf dem Fliessweg aufgebraucht. Dies ist der Energiegewinnung durch Turbinierung abträglich.

Eine kostendeckende Realisierung eines Trinkwasserkraftwerks ist in den meisten Fällen nur möglich, wenn die Druckleitung im Zuge von Sanierungen durch die Wasserversorgung ohnehin (teil-)erneuert werden muss.

Nutzbar sind solche Potentiale bei Fallhöhen ab ca. 30 m und Quellschüttungen ab ca. 250 l/min, was im schlechtesten Fall ca. 2 kW elektrische Leistung ergibt. Die kostendeckende Einspeisevergütung KEV gemäss neuer Energieverordnung EnV des Bundes hat die wirtschaftliche Nutzung auch dieser kleinsten Potentiale ermöglicht (mehr dazu in Kapitel 3), sofern günstige Bedingungen herrschen.

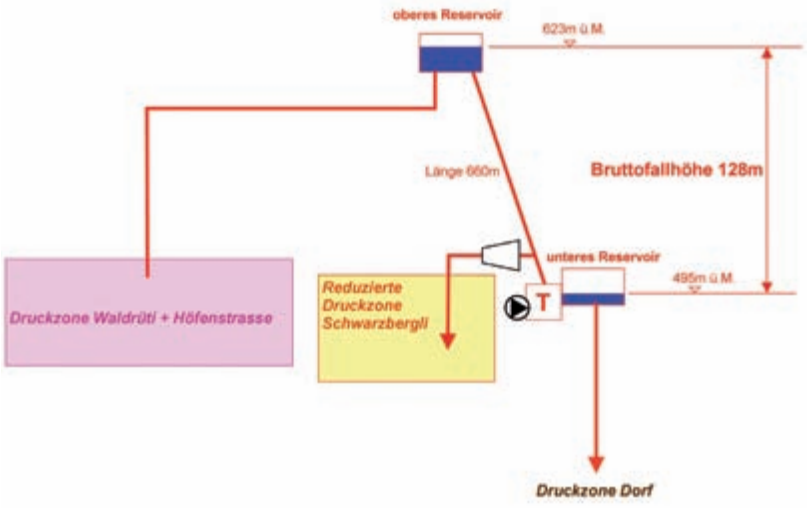


*BILD 2: Wassertransfer zwischen zwei Reservoiren einer Wasserversorgung. Einsatz einer Turbine (T) parallel zum geregelten Druckhalteventil, welches das Entleeren des oberen Reservoirs verhindert.*

**1.2 Druckreduktion zwischen zwei Druckzonen im Verteilnetz**

Weiteres Potential liegt zwischen zwei Druckzonen in einem Dorfnetz, welches am Hang liegt. Wenn Quellwasser vom Reservoir einer oberen Druckzone in die untere transferiert wird, kann im unteren Reservoir parallel zum gesteuerten Druckhalteventil eine Turbine eingesetzt werden (siehe Bild 2). Dies ist der Idealfall, da die Verbindungsleitungen meist genügend gross dimensioniert sind und ausser der Turbine mit Generator und Steuerung nichts weiter benötigt wird. Problematisch ist manchmal der Platzbedarf in einem bestehenden Reservoir, vor allem wenn dieses älteren Datums ist. Wohin mit der Turbine in einem engen Rohrkeller?

Da zur Sicherung der Versorgung in Notzeiten auch ein Transfer von Wasser vom unteren ins obere Reservoir nötig wird, installiert die Wasserversorgung nicht selten eine Pumpe im unteren Reservoir. Die Kombination der Turbine und der Pumpe in einer einzigen hydraulischen Maschine ist in vielen Fällen technisch machbar und ermöglicht so die Nutzung von weiteren Synergien zwischen dem Trinkwasserkraftwerk und der Wasserversorgung.

In hügeligen Gebieten befinden sich die Reservoire über den höchstgelegenen Verbrauchern. Zwischen einem solchen Reservoir und den tiefer liegenden Dorfzonen sind oft Druckreduzierventile vorhanden, die den Leitungsdruck auf das Niveau des Dorfnetzes bringen. Auch diese Druckreduktion kann mit einer Turbine bewerkstelligt werden. Hier braucht es jedoch eine Turbine, die unter dem Gegendruck des Dorfnetzes arbeiten kann, der zudem noch variiert (siehe Bild 3).

**1.3 Nutzung eines Reservoirüberlaufes**

Weiteres Potential liegt in der Nutzung des Reservoirüberlaufes, wenn die gefassten Quellen über längere Zeit den Bedarf des Versorgungsgebietes übersteigen. Meist wird man dann die Überlaufleitung nicht nur in den nächsten Bach leiten, sondern die Fallhöhe noch möglichst verlängern und das als Druckleitung ausgebildete Überlaufrohr in den tiefstmöglichen Vorfluter führen. Im Fall der Gemeinde Péry im Berner Jura nimmt man zum Reservoirüberlauf noch eine kleine Bachwasserfassung dazu, mit dem Resultat, dass man zwar 45 kW Leistung erzeugen kann, jedoch ein viel aufwändigeres und

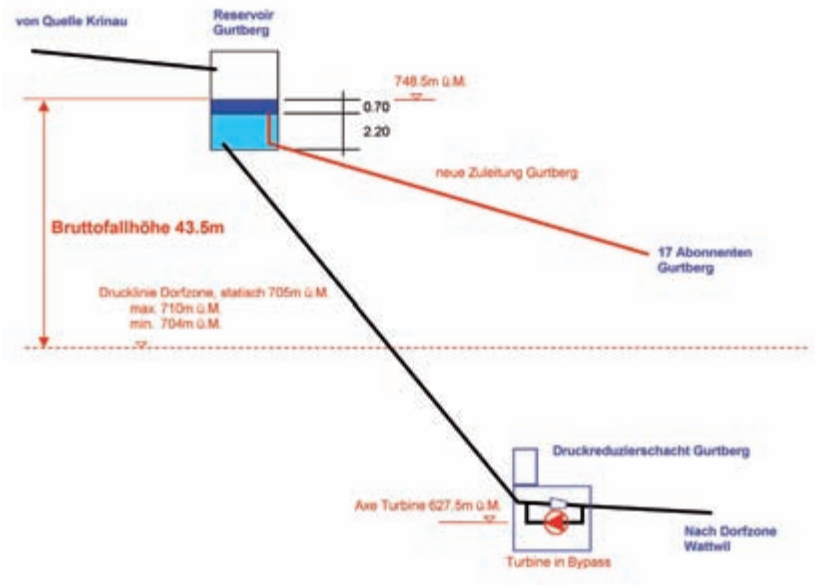


*Bild 3: Wasserzufluss von einem hoch liegenden Reservoir direkt in das Dorfnetz. Einsatz einer Turbine parallel zum Druckreduzierventil, welches unter dem Gegendruck des Dorfnetzes arbeitet; auch die Turbine muss unter dieser Bedingung funktionieren können.*

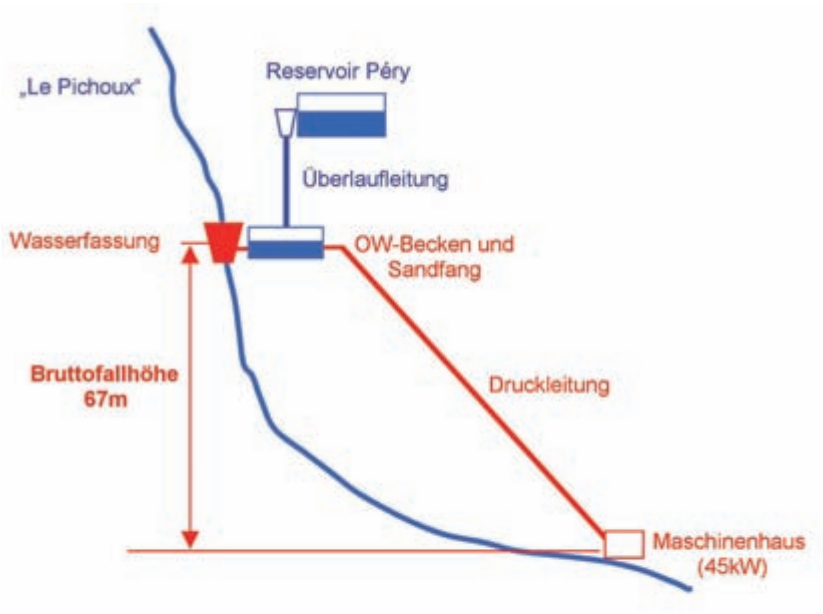


*Bild 4: Nutzung eines Reservoirüberlaufes mit zusätzlicher Bachfassung*

langwieriges Bewilligungsverfahren durchlaufen muss (Wasserrechtskonzession), welches einem gewissen Risiko von Einsprachen und grundsätzlicher Opposition gegen das Kraftwerk ausgesetzt ist.

### 1.4 Rückgewinnung von Pumpenergie

Auch wenn für die Wasserversorgung Grundwasser oder Seewasser gepumpt wird, gibt es manchmal die Möglichkeit einer Energiegewinnung. In grösseren Verbundsystemen wird das Trinkwasser in einen Kopfspeicher gepumpt und von dort gravitätisch den angeschlossenen Dörfern und Städten zugeleitet. Das imposanteste Beispiel ist die Bodensee-Wasserversorgung, die Pumpwasser vom Bodensee bis Stuttgart und darüber hinaus verteilt und dabei diverse Turbinenanlagen betreibt.

Zwischen Kopfspeicher und Verbrauchern gibt es in der Regel zwei Möglichkeiten der Energienutzung (siehe Bild 5). Anstelle von Druckreduzierstationen werden Turbinen eingesetzt:

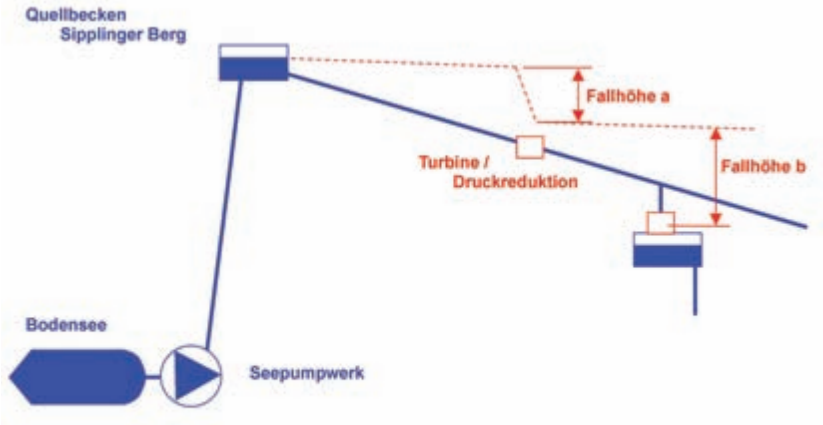


*Bild 5: Prinzip der Wasserkraftnutzung in Pumpsystemen am Beispiel der Bodensee-Wasserversorgung mit a) Turbine in Hauptleitung und b) Turbine in Reservoireinlauf (Nutzung der Restenergie)*

a) in der Hauptleitung, um den Leitungsdruck bei zunehmendem Höhenunterschied ab dem Kopfspeicher zu reduzieren, und
b) in Reservoireinläufen bei der Wasserverteilung in die angeschlossenen Gemeinden zur Nutzung der Restenergie.

## 2 Technik der Trinkwasserkraftwerke

### 2.1 Turbinen

Das Kernstück einer Trinkwasserkraftanlage ist die Turbine, die in vielen Fällen eine Pelton-Maschine mit dem bekannten Laufrad mit Bechern und rundum angeordneten Düsen ist. Je nach Fallhöhe und Durchflussmenge werden Pelton-Turbinen mit ein bis sechs Düsen ausgerüstet. Ein- und zweidüsige Maschinen können sowohl mit horizontaler als auch mit vertikaler Welle gebaut werden, drei- und mehrdüsige nur noch mit vertikaler Welle.

Typisch für Pelton-Maschinen ist der notwendige Überhang des Laufrades über dem Unterwasser, welcher verhindert, dass das Laufrad im Wasser watet. Das bedeutet für die Anwendung dieses Turbinentyps in der Trinkwasserversorgung, dass die Turbine über dem höchsten Reservoirspiegel, also im Zugangsgeschoss, angeordnet werden muss. Ist dort kein Platz und muss in den Rohrkeller ausgewichen werden, gibt es die Möglichkeit, mit einem Luftpolster den notwenigen Gegendruck zu schaffen, damit das Laufrad nicht ins Wasser eintaucht. Diese für Kleinturbinen neuartige und relativ aufwändige Konstruktion wird bisher nur von einem Hersteller kommerziell vertrieben und lässt sich nur bei Anlagen ab einer gewissen Leistung wirtschaftlich einsetzen.

*Bild 6: Typische Beispiele von Pelton-Turbinen: links horizontal-achsige (Quelle: J-M. Chapallaz, Baulmes) und rechts vertikal-achsige (Quelle: Zobo, Brienz)*

Alternativ muss ein separater Turbinenschacht ausserhalb des Reservoirs erstellt werden, um eine Pelton-Turbine mit normalem Laufrad-Überhang verwenden zu können.

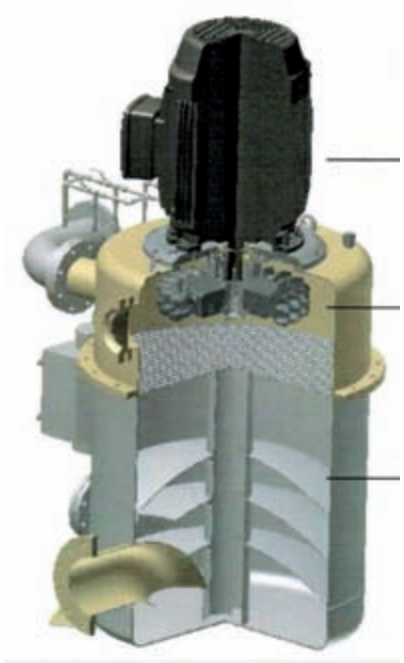

*Bild 7:Neuartige Gegendruck-Pelton-Turbine mit Luftpolster Kompressorbetrieb) über dem Unterwasserspiegel, damit das Pelton-Laufrad nicht im Wasser watet. (Quelle: Bluewater, Schafisheim)*

Eine Turbine, die mit Gegendruck arbeiten kann und damit im Rohrkeller eines Reservoirs oder in einem Druckreduzierschacht irgendwo im Wasserverteilsystem eingesetzt werden kann, besteht in Form einer Standard-Pumpe, die rückwärts als Turbine betrieben wird. Diese Umkehrpumpe als Turbine ist eine sehr kostengünstige Maschine, die jedoch nur einen Betriebspunkt hat: die Durchflussmenge kann nicht reguliert werden, so dass sie sich nur in Kombination mit einem relativ grossen Oberwasser- oder Speicherbecken und einem intermittierenden Betrieb als Trinkwasserturbine einsetzen lässt. Als weiterer Nachteil der Umkehrpumpe als Turbine kann der bei Netzausfall auftretende Druckstoss sein, der bei langen Leitungen und hohen Drücken rasch den zulässigen Druck der Rohrleitungen übersteigen kann. Eine Dämpfung kann ein angebautes Schwungrad bringen, welches das Hochlaufen der Maschine und die damit einhergehende Verzögerung des Durchflusses verlangsamt.

*Bild 8: Umkehrpumpe als Turbine in der Wasserversorgung von Morges (VD); man beachte das Schwungrad unter der Verschalung (rechts im Bild), welches die Druckstösse dämpfen hilft. (Quelle: J-M Chapallaz, Baulmes)*

Die Nachteile der Umkehrpumpe als Turbine können mit der so genannten PAT-Francis-Turbine eliminiert werden. An den Lagerblock einer Standard-Pumpe wird ein speziell gefertigtes Spiralgehäuse mit einem Leitapparat geflanscht. Dieser erlaubt eine Regelung des Durchflusses und ermöglicht damit der PAT-Francis die gleiche Flexibilität im Betrieb wie eine nach Auftrag gefertigte Turbine, jedoch zu einem günstigeren Preis.

### 2.2 Oberwasserbecken

Neben der Turbine mit Generator benötigt ein Trinkwasserkraftwerk oft auch noch ein neues Oberwasserbecken, sofern nicht aus einem bestehenden Reservoir heraus turbiniert werden kann. Beim Anfahren und bei der Regelung der Turbine muss eine bestimmte Wasserreserve vorhanden sein, die vom Oberwasserbecken ohne grosse Wasserspiegelschwankung in die Druckleitung abgegeben werden kann. Die normalen Brunnenstuben der Wasserversorgung sind dazu meistens zu klein. Als Faustformel gilt: erforderliches Wasservolumen entspricht 30 Sekunden Volllastbetrieb der Turbine. Dieses Volumen muss zwischen dem normalen Staupegel und dem minimalen Wasserstand über dem Druckleitungseinlauf vorhanden sein.

In der Schweiz werden vorgefertigte Schächte aus Polyethylen (HDPE) oder glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) verwendet, die schnell und dank ihres geringen Gewichts auch im Gebirge bei Quellfassungen eingesetzt werden können.

Diese Schächte, wie auch alle übrigen wasserberührten Komponenten und Materialien des Trinkwasserkraftwerks, benötigen eine Zertifizierung nach dem Schweizerischen Verein des Gas- und Wasserfaches SVGW. Nur wenige Anbieter von vorfabrizierten Kunststoff-Schächten haben sich bisher um diese Zulassung bemüht, so dass die Preise der zertifizierten Schächte recht hoch sind. Schon oft ging die Rentabilität eines kleinen Trinkwasserkraftwerks markant zurück,

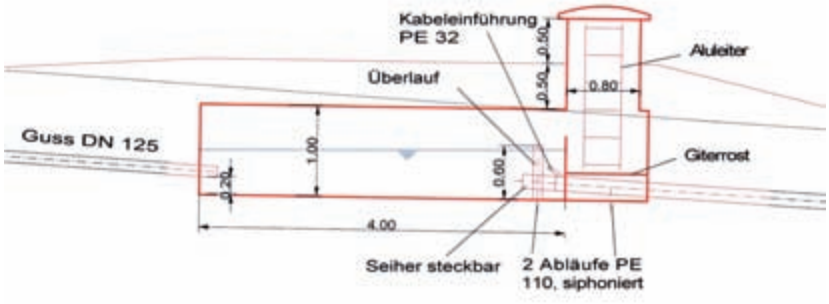


*Bild 9: Schnitt durch ein neu erstelltes Oberwasserbecken für ein Trinkwasserkraftwerk.*

wenn sich bei näherer Untersuchung herausstellte, dass neben der Turbinen-Generatoren-Einheit mit Steuerung auch noch ein neues Oberwasserbecken benötigt wird.

### 3 Neue Potentiale mit der kostendeckenden Einspeisevergütung KEV

Mit der Inkraftsetzung des neuen Stromversorgungsgesetzes im Jahr 2008 und parallel dazu den Änderungen im Energiegesetz und der Energieverordnung gelten ab Januar 2009 neue Einspeisevergütungen für den produzierten Strom aus Kleinwasserkraftanlagen bis 10 MW Leistung und anderen erneuerbaren Energietechnologien.
Die Höhe der Vergütung, die eine Kostendeckung ermöglichen soll, setzt sich bei der Wasserkraft inkl. der Trinkwasserkraftwerke aus drei Teilen zusammen:

- Grundvergütung, basierend auf der mittleren elektrischen Leistung
- Druckstufenbonus: eine geringe Fallhöhe ergibt grösseren Bonus, weil Niederdruckkraftwerke bei gleicher Leistung einen grösseren Wasserdurchsatz haben und damit teurer werden als Hochdruckanlagen
- Wasserbaubonus: werden lange Druckleitungen oder neue Turbinenschächte benötigt, wird eine zusätzliche Vergütung ausgeschüttet.

Die kostendeckende Einspeisevergütung KEV wird über 25 Jahre ausbezahlt, anschliessend wird das Trinkwasserkraftwerk zu den dannzumal geltenden Marktpreisen oder Ökostromtarifen produzieren müssen. Dementsprechend sollten die Investitionen in das Trinkwasserkraftwerk in 25 Jahren abgeschrieben sein, um keinem Risiko bezüglich der zukünftigen Entwicklung auf dem Strommarkt ausgesetzt zu sein.

Die gesamte Energieproduktion wird beim KEV zum Einheits-Tarif vergütet, d.h. es gelten keine Tag-Nacht oder Sommer-Winter-Tarifunterschiede. Damit werden auch Anlagen attraktiv und realisierungswürdig, deren Produktion vor allem im Frühling-Sommer anfällt und im Winter bei geringen Quellschüttungen sogar abgestellt werden müssen oder die einen Reservoirüberlauf nutzen, der vor allem nachts anspringt.

Mit der KEV lassen sich nun viele Potentiale in der Trinkwasserversorgung umsetzen, die mit der früheren 15-Räppler-Regelung nicht rentabel waren. Vergütungen von über Rp. 30/kWh sind jetzt möglich, so dass eine Kostendeckung unter günstigen Bedingungen schon bei Trinkwasserkraftwerken ab 2 kW gegeben ist.

Wie sich die einzelnen Vergütungen zusammensetzen, lässt sich am Beispiel des geplanten und 2009 zu realisierenden Trinkwasserkraftwerks der Bündner Gemeinde Trans mit 20 kW elektrischer Leistung bei 307 m Bruttofallhöhe darstellen:

- Grundvergütung (Rp. 25.4/kWh)
- Druckstufenbonus (307 m => Rp. 1.2/kWh)
- Wasserbaubonus (Anteil WSB 45% => Rp. 4.5/kWh)

Total Vergütung Rp. 31/kWh inkl. MwSt.

Der Wasserbaubonus in der KEV-Struktur ist bei Trinkwasserkraftwerken eher schwierig zu realisieren, weil die Kosten dieser Werke vor allem bei der Elektromechanik liegen (Bau/Wasserbau ist ja meistens durch die Wasserversorgung vorhanden). Diese spezielle Vergütung für Investitionen in den Bau/Wasserbau benachteiligt innovative Konzepte wie die teurere Gegendruck-Pelton, die Einsparungen auf der Bauseite ermöglicht (benötigt keinen separaten Turbinenschacht), was dadurch paradoxerweise mit einer reduzierten Einspeisevergütung bestraft wird, weil der Wasserbaubonus entfällt.

### 4 Contracting

Einige Wasserkraftpotentiale in der Wasserversorgung werden heute nicht genutzt, weil die Energieproduktion nicht zum Kerngeschäft einer Wasserversorgung gehört und keine Investitionen in Turbinenanlagen gesprochen werden können. Die Realisierung des Kraftwerks wird an private Investoren und Betreiberfirmen wie der Entegra oder an Elektritätswerke vergeben. Damit die Stromproduktion als reine Nebenutzung nicht in Konflikt mit der Wasserversorgung (WV) kommt, ist eine klare vertragliche Regelung zwischen dem Contracting-Unternehmen und der WV erforderlich.

# VTA-WASSERFACHTAGUNG 2008
## Referat von Peter Eichenberger

*Kleinstes Potential von rund 20'000 kWh Energieertrag pro Jahr (deckt Bedarf von 4 Haushalten) mit 2.5 kW elektrischer Leistung in einem Druckbrecherschacht der Dorfkorporation Wattwil. Das Kleinstprojekt mit einer Investitionssumme von rund CHF 60'000 kann dank der KEV umgesetzt werden. Anstelle der heutigen Pumpe rechts im Bild wird eine Umkehrpumpe als Turbine eingesetzt, die in Notsituationen auch wieder als Pumpe (mit Frequenzumrichter) betrieben werden kann.*

Aus der Erfahrung der Entegra sehen die Verantwortlichen der WV vor allem zwei Problemkreise, die geregelt werden müssen:

- Wie kann der Betrieb und der Unterhalt des Kraftwerks von der Wasserversorgung getrennt werden, so dass der Brunnenmeister nicht die Arbeit der Kraftwerkseigners macht, dieser aber die volle Stromvergütung einsteckt?
- Wie werden die Vertragspartner entschädigt, wenn wegen Unterhaltsarbeiten an der WV die Stromproduktion entfällt und umgekehrt, wenn wegen Turbinenreparaturen die Wasserversorgung ausfällt?

Im Konzept der Entegra wird der Brunnenmeister von Anfang an mit den Routinekontrollen der wasserbeaufschlagten Teile der Anlage beauftragt und entsprechend entschädigt. Für die gegenseitigen Entschädigungen bei Ausfall des Kraftwerks resp. der WV durch Verschulden der Vertragspartners werden konkrete Zahlen in den Vertrag aufgenommen (z.B. Ausfall der Wasserlieferung länger als 1 Woche ist entschädigungspflichtig). Es zeigt sich auch, dass mögliche Nutzungskonflikte bereits durch ein durchdachtes technisches Konzept elimiert werden können. So können Bypass-Leitungen und Absperrorgane an den richtigen Stellen einen ungehinderten Betrieb der WV ermöglichen, auch wenn die Turbine oder ihre Nebenanlagen ausgebaut und repariert werden müssen.

Der SVGW hat einen Vertragsentwurf für Contracting in der WV erarbeitet, den sowohl die WV selber als auch die Contracting-Unternehmen frei nutzen können. Damit ergibt sich eine gewisse Vereinheitlichung in den Vertragswerken und längerfristig eine Vertragssicherheit, so dass auf die Beauftragung von Juristen bei Projekten der Trinkwasserkraft in vielen Fällen verzichtet werden kann.

*Anschrift der Verfasser:*
*Peter Eichenberger*
*Entegra Wasserkraft AG*
*St. Leonhardstrasse 59,*
*CH-9000 St. Gallen*
*Oberalpstrasse 28, CH-7000 Chur*
*Tel. +41 71 228 10 20*
*www.entegra.ch*
*peter.eichenberger@entegra.ch*

**Entegra Wasserkraft AG**

Die Entegra mit Sitz in St. Gallen und einer Zweigstelle in Chur ist auf die Planung und den Bau von Kleinwasserkraftanlagen spezialisiert und besitzt und betreibt auch eigene kleinere Anlagen, davon drei im Trinkwasserbereich.
Die Wasserkraftingenieure der Entegra mit grosser Erfahrung im In- und Ausland bieten im Bereich Trinkwasserkraftwerke nicht nur die Gesamtplanung und Bauleitung an, sondern zeigen den Verantwortlichen der Wasserversorgung auch detailliert die Umsetzungsmöglichkeiten auf, und zwar von der Stromvermarktung bis zur Bildung von Trägerschaften oder Verträgen mit Contracting-Anbietern. Die Entegra selber ist bisher mit 2 Gemeinden Contracting-Verträge

*Ko-Autor:*
*Jean-Marc Chapallaz*
*JMC Engineering*
*Rue des Jaquettes,*
*CH-1446 Baulmes*
*Tel + Fax. +41 24 459 24 73*
*E-Mail: jmceng@bluewin.ch*

**JMC Engineering**

Die JMC-Enigeering, Inhaber J.-M. Chapallaz Ingenieur EPFL/SIA, befasst sich seit über 25 Jahren mit der Planung, Realisierung und Modernisierung von Kleinwasserkraftwerken, Wasserversorgungen sowie den Nebenanlagen von Grosskraftwerken. JMC Engineeering wird bei grösseren Projekten als Fachexperte beigezogen.
Neben seiner obengannten Tätigkeit entwickelt und konstruiert JMC-Engineering in Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten Turbinen im unteren Leistungsbereich (Pelton, regelbare Umkehrpumpen als Turbinen, Kaplan), Druckwasserantriebe für Sicherheitsklappen und Turbinensteuerungen, die sich seit Jahren in Kraftwerken und Trinkwassernetzen ausgezeichnet bewähren, sowie kundenspezifische Spezialprodukte im Trink- und Abwasserbereich.