

# OPTIMIERUNG VON TRINKWASSERKRAFTWERKEN

## VERBESSERUNG DER WIRTSCHAFTLICHKEIT – OHNE KOMPROMISSE

Die Gewinnung von elektrischer Energie in der Wasserversorgung kann einen bedeutenden wirtschaftlichen Faktor für die Versorgungen darstellen. Durch die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) wurden etliche Projekte seit 2009 wirtschaftlich interessant und umgesetzt. Damit das volle Potenzial aus diesen Kraftwerken ausgeschöpft wird, müssen bei der Planung die Anlagen optimal ausgelegt werden. Um die Stromproduktion zu steigern, können diverse Optimierungen auch noch später vorgenommen werden.

*Volker Dölitzsch,\* Betriebsleiter Wasserversorgung Gemeindeverband Blattenheid (WGB)*

### RÉSUMÉ

#### CENTRALES HYDRAULIQUES D'EAU POTABLE – AMÉLIORATION DE LA RENTABILITÉ SANS COMPROMIS

La production d'énergie électrique dans l'approvisionnement en eau peut représenter un facteur économique significatif. La rétribution à prix coûtant (RPC) a permis depuis 2009 à de nombreux projets de présenter un intérêt économique et d'être mis en œuvre. Afin que tout le potentiel de ces centrales soit utilisé, les installations doivent être parfaitement dimensionnées pendant la planification. Et différentes optimisations peuvent être effectuées par la suite pour améliorer la production de courant.

Grâce à la topographie de la Suisse, de nombreuses installations de distribution d'eau peuvent recueillir une grande partie de leur eau des sources de l'espace préalpin et alpin. Ces sources sont souvent situées au-dessus des zones de consommation et peuvent donc être utilisées pour la production d'énergie. Détruite dans des chambres de rupture de pression, l'énergie n'est ensuite plus disponible – alors qu'avec la technique actuelle, il est possible d'utiliser des génératrices asynchrones simples et demandant peu d'entretien pour produire du courant sur ces sites. Mais il est indispensable de bien planifier les installations dès le début afin de pouvoir utiliser au mieux le potentiel de ces centrales. Outre le dimensionnement adéquat de la turbine, celui de la conduite de refoulement est souvent essentiel lui aussi. Un diamètre trop petit entraîne de trop grandes vitesses d'écoulement qui se répercutent de manière disproportionnée sur

### STROM AUS TRINKWASSER SEIT 100 JAHREN

Die Wasserversorgung Gemeindeverband Blattenheid (WGB) versorgt über 23 000 Menschen in 18 Verbandsgemeinden westlich von Thun mit frischem Trinkwasser. Fast 90% des kalziumarmen und weichen Wassers stammen aus verschiedenen Quellen auf über 1400 m ü. M. Durch eine 300 mm dicke und 3000 m lange Stahl-Druckleitung gelangt das Quellwasser zum 580 Meter tiefergelegenen Kraftwerk in Blumenstein.



Fig. 1 Das Kraftwerk in Blumenstein

\* Kontakt: [v.doelitzsch@blattenheid.ch](mailto:v.doelitzsch@blattenheid.ch)

In der WGB hat die Stromproduktion eine lang Tradition: Bereits 1918 ging das Kraftwerk in Blumenstein mit einer Pelton-Turbine von 370 PS und einem Synchrongenerator von 330kVA bei 4000 Volt in Betrieb und versorgte die Gemeinde mit Elektrizität. Nach mehreren Ausbautappen produziert diese Anlage heute ca.3,5GWh/a. Die maximale Leistung beträgt 690 kW bei einem Volumenfluss von 9500l/min und einem Druck von ca. 51 bar (Fig. 1). Nach der Turbinierung gelangt das Wasser zum Reservoir Blumenstein, wo es mittels UV-Licht desinfiziert wird, bevor es zu den Haushalten gelangt.

**UNGENUTZTES POTENZIAL ERKENNEN UND ERSCHLIESSEN**

Überschüssiger Druck wurde im letzten Jahrhundert oft in Druckbrecherschächten abgebaut. Heute gilt es, diese Energie zu nutzen, statt zu vernichten. Stehen Erneuerungen von Druckleitungen an, muss das Potenzial zur Energiegewinnung geprüft werden.

Mit der fortschreitenden Technologie in der Wasserkraft kamen auch kleine Turbinen auf den Markt. Weil aber die Rendite oft nicht gewährleistet war, scheiterte manch ein Projekt bereits auf

politischer Ebene. Die Einführung der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) im Jahr 2008 eröffnete den Kleinwasserkraftwerken neue Möglichkeiten. Auch die WGB konnte dadurch ihr ungenutztes Potenzial erschliessen und vier weitere Ausbaustufen zur Energiegewinnung aus Trinkwasser wirtschaftlich und politisch umsetzen: die Kraftwerke Schneeweid und Oberstocken sowie die Kraftwerke Blattenheid und Thierachern (Fig. 2, Tab. 1). Nach einer zweijährigen Planungsphase konnten die vier Pelton-Turbinen 2012 und 2013 in Betrieb genommen werden.

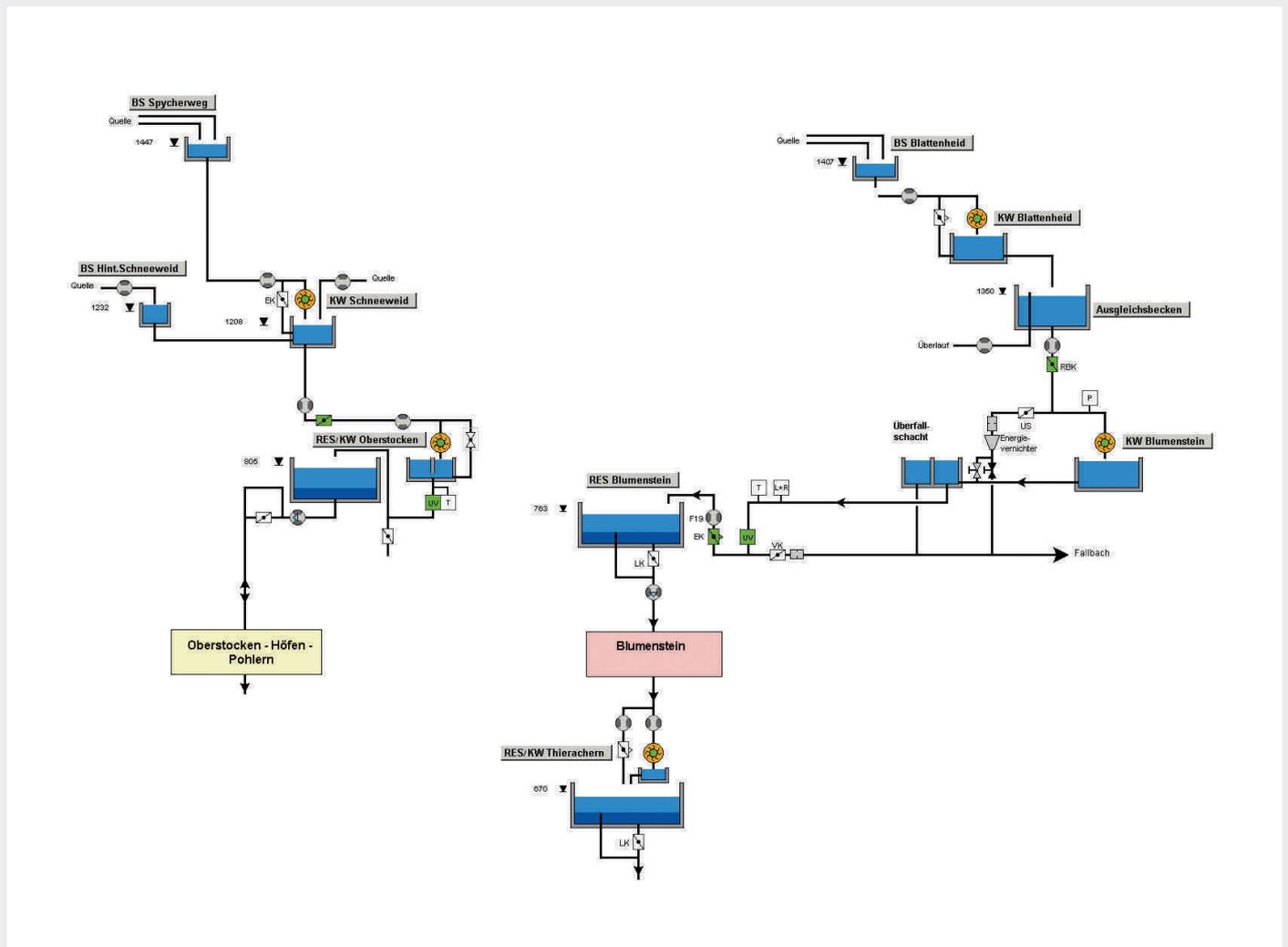


Fig. 2 Neue Kraftwerke Schneeweid, Oberstocken, Blattenheid und Thierachern anstelle von Druckbrecherschächten, KW Blumenstein bestehend

Kraftwerk		Blumenstein	Oberstocken	Schneeweid	Blattenheid	Thierachern	Total
Erbaut/Erneuert	Jahr	1918/1990	2012	2012	2012	2013	
Nenngefälle brutto/netto	m	576/510	403/389	239/232	61/59	93/65	
Ausbauwassermenge	l/min	9500	1800	720	16 980	4200	
Elektrische Leistung	kW	690	95	23	130	37	975
Jährliche Energieproduktion	GWh	3,5	0,45	0,14	0,43	0,16	4,68

Tab. 1 Übersicht der Trinkwasserkraftwerke der WGB



Fig. 3 Pelton-Turbine im Kraftwerk Blattenheid mit Schauglas



Fig. 4 Einzug der PE-Druckleitung in die 265 m lange Bohrung für das Kraftwerk Oberstocken

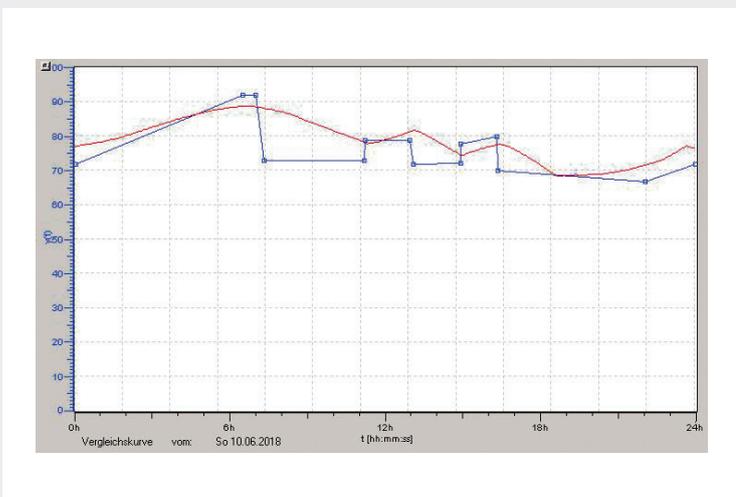


Fig. 5 Reservoirbewirtschaftung durch Sollwertvorgabe (blaue Linie): Dadurch ist eine zeitlich gesteuerte Nachspeisung möglich (rote Linie = Ist-Wert).

Die vier neuen Kraftwerke haben gesamthaft eine Leistung von 285 kW, wobei das grösste Kraftwerk (KW Blattenheid) bei 16 980 l/min und einem Druck von 6 bar eine maximale Leistung von 130 kW erzeugt (Fig. 3). Die Vergütungen, für die in das Versorgungsnetz eingespeisene Energie, betragen während 25 Jahren zwischen 20 und 28 Rp. pro Kilowattstunde.

Die Verlegung der Druckleitung für das Kraftwerk in Oberstocken war eine besondere Herausforderung. Das Gelände von der Schneeweid (unterhalb des Stockhorns) bis zum Hölloch ist sehr steil und steinschlaggefährdet (Fig. 4). Deshalb wurde beschlossen, dieses Teilstück mit dem sogenannten Horizontalspülbohrverfahren zu erstellen. Zuerst wurde auf einem 265 m langen und fast 45° steilen Teilstück ein Loch gebohrt (Durchmesser 300 mm), um das PE-Rohr in zwei Stücken von oben einzuziehen. Die notwendigen Signalkabelverbindungen (LWL) wurden zum Teil in dem alten Trasse verlegt. Zum Abtransport der Energie mussten auch eine neue Trafostation (16 kV) errichtet werden. Eine in der Nachbarschaft gelegene Alp konnte gleichzeitig auch an das Stromnetz angeschlossen werden.

## OPTIMIERUNGEN BEI DER WASSERVERTEILUNG

### BEWIRTSCHAFTUNG RESERVOIRE

Grössere Wasserversorgungen verfügen heute meist über ein Prozessleitsystem (PLS). In diesem kann die Nachspeisung der Reservoirs durch Bewirtschaftungskennlinien vorgegeben werden. Üblicherweise werden die Füllstände der Reservoirs tagsüber abgesenkt und nachts wieder gefüllt, um vom niedrigeren Wasserverbrauch und Stromtarif (wenn gepumpt werden muss) profitieren zu können. Muss die Nachspeisung auch tagsüber erfolgen, kann es sinnvoll sein, die Nachspeisungen zu staffeln, um den Druckverlust in der Druckleitung zu verringern, falls eine Turbine an derselben Leitung angeschlossen ist. Denn der Druckverlust nimmt im Quadrat mit der Strömungsgeschwindigkeit zu (s. auch *Druckberechnungsformel* S. 32).

Bei der WGB werden die Reservoirs Seftigen und Herbligen über eine Zulaufklappe nachgespeist. Da die Reservoirkapazität nicht ausreicht, um das Reservoir nur nachts zu füllen, muss auch tagsüber ein Zulauf zum Reservoir stattfinden. An derselben Leitung befindet sich auch das Kraftwerk in Thierachern. Bei der Nachspeisung der Reservoirs Seftigen und Herbligen erhöht sich der Druckverlust auf der 3000 Meter langen Verbindungsleitung (DN 300) vom Reservoir Blumenstein her. Als Folge davon muss die Turbine im KW Thierachern die Zulaufmenge und somit auch die Leistung drosseln, damit der Druckverlust in der Transportleitung nicht zu gross und der erforderliche Minimaldruck von 6 bar vor der Pelton-Turbine nicht unterschritten wird. Bei einem Unterschreiten des Minimaldruckes besteht zudem die Gefahr von Kavitation an den Turbinenschaukeln. Diesem Problem kann begegnet werden, indem die Nachspeisung der Reservoirs gestaffelt erfolgt. Im PLS kann dies mittels der Bewirtschaftung (Sollwertkennlinie) gesteuert werden (Fig. 5). Die Nachspeisung erfolgt hier tagsüber zwischen 11 und 13 Uhr sowie zwischen 15 und 16.30 Uhr. Das an derselben Leitung angeschlossene zweite Reservoir wird somit ausserhalb dieser Zeiten nachgespeist.

### LENKUNG DER WASSERVERTEILUNG

Das Quellwasser aus Blumenstein wird vor der Turbine im KW Thierachern über ein Druckhalteventil zur Nachspeisung des

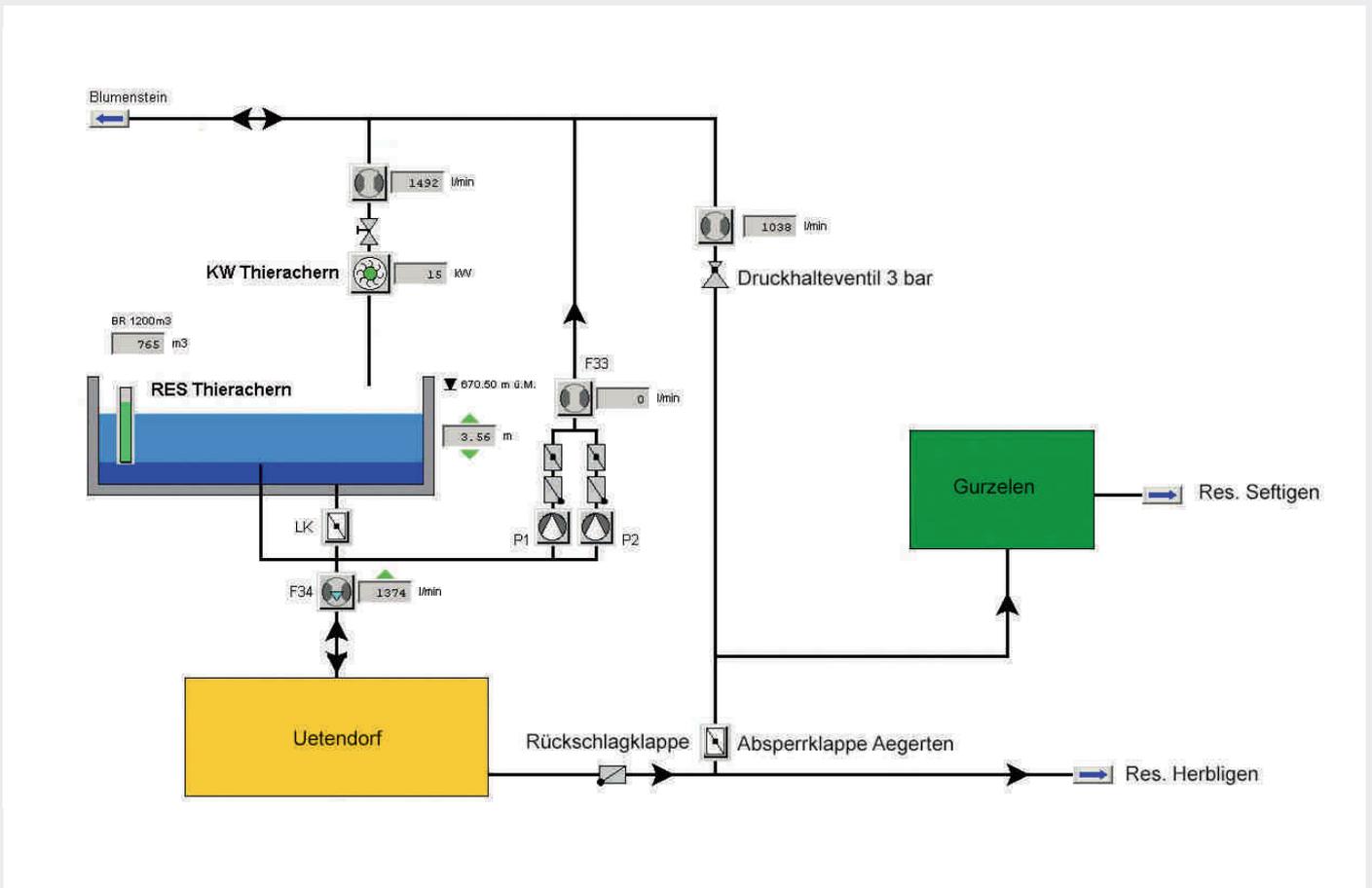


Fig. 6 Lenkung der Wasserverteilung beim KW Thierachern

Reservoirs Herbligen über die «Abspercklappe Aegerten» geführt (Fig. 6). Bis zu 1300l/min gehen so ungenutzt an der Turbine vorbei.

Um die Energiegewinnung im KW Thierachern zu steigern, wurde der Trennschieber durch eine Rückschlagklappe bei der Verbindungsleitung Uetendorf–Herbligen eingebaut. Dadurch kann bei geschlossener «Abspercklappe Aegerten» nun ca. 50% oder 650l/min in Richtung des Reservoirs in Herbligen gelangen, welches aber aus dem Reservoir Thierachern kommt und bereits zur Stromproduktion genutzt wurde. Dadurch konnte die Stromproduktion nennenswert gesteigert werden.

**PLANUNG: AUSBAU DER DRUCKLEITUNG**

Um den Druckhöhenverlust (oder vereinfacht Druckverlust genannt) durch hohe Strömungsgeschwindigkeiten zu verringern, kann es sinnvoll sein, bei einer Erneuerung der Druckleitung auf den nächstgrösseren Durchmesser zu gehen. Dies ist bereits bei der Projektierung zu berechnen.

Mit dem Bau des Kraftwerks in Thierachern war 2012 auch die leckanfällige

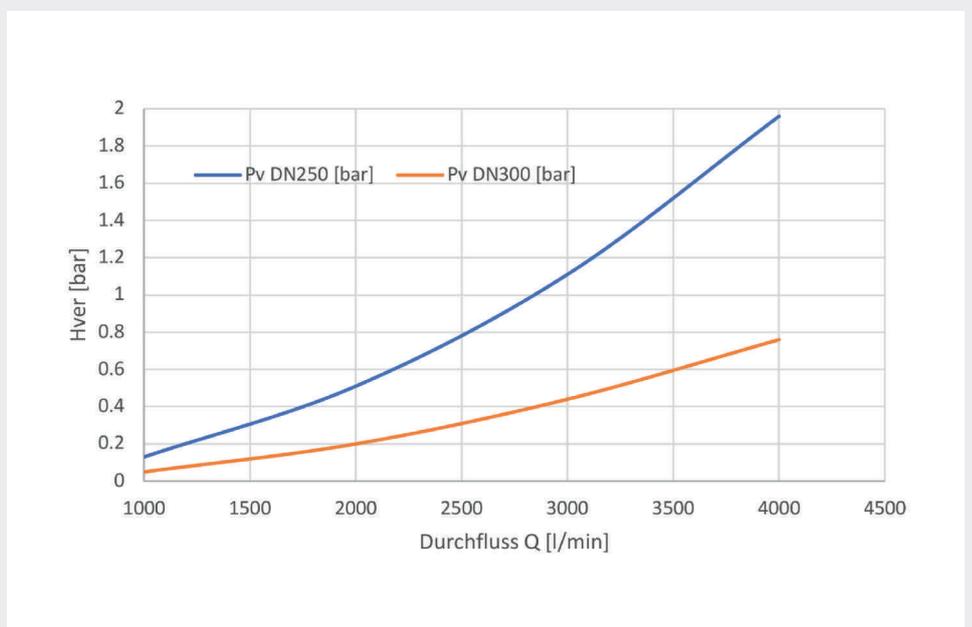


Fig. 7 Auswirkung des Leitungsdurchmessers auf den Druckverlust

95-jährige Transportleitung zum Reservoir Thierachern zu erneuern. Für das 2500 Meter lange Teilstück von Blumenstein nach Thierachern standen im Vorprojekt die Durchmesser DN 250 und DN300 zur Auswahl. Fig. 7 zeigt die Auswirkung des Leitungsdurchmessers auf

den Druckverlust beim KW Thierachern: Bei maximalem Durchfluss von 4000 l/min reduziert sich der Druckverlust  $H_{ver}$  bei der Verwendung eines Leitungsdurchmessers von DN 300 anstelle von DN 250 um 1,2 bar und bei 2000l/min um ca. 0,3 bar.

Druckhöhenverlust berechnet nach der Manning Strickler-Formel

$$H_{\text{Ver}} = 4^{10/3} \cdot Q^2 \cdot \frac{L}{\pi^2 \cdot k^2 \cdot D_{\text{Rohr}}^{16/3}}$$

Hierfür gilt:

- L = Länge der Zuleitung (Ausgangshöhe bis Turbine) [m]  
 k = Rohrreibungskoeffizient nach Strickler  $\left[ \frac{\text{m}^{1/3}}{\text{s}} \right] \approx 100$   
 D<sub>Rohr</sub> = Durchmesser Rohr [m]

Die Druckabnahme ist also proportional zur durchströmten Leitungslänge *L* und proportional mit dem Quadrat des Volumensstroms *Q*. Der grosse Einfluss des Leitungsquerschnittes wird durch die Proportionalität zu «D-16/3» in der Formel dargestellt.<sup>1</sup>

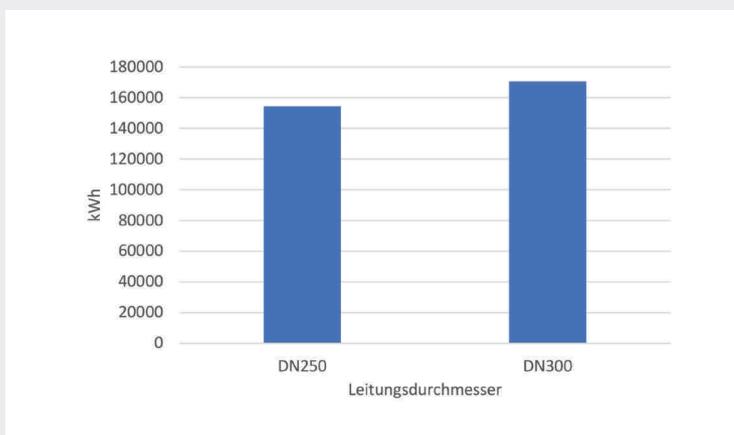


Fig. 8 Auswirkung des Leitungsdurchmessers auf die Energieproduktion

Bei einem Leitungskaliber DN 300 (anstelle DN 250) kann durchschnittlich der Druckverlust um 0,5 bar gegenüber DN 250 reduziert werden. Bei einem durchschnittlichen Volumenstrom von 2800 l/min und einem Druck von 6,3 bar beträgt die Jahresproduktion 170 000 kWh (Fig. 8) und damit ca. 16 000 kWh mehr als bei der kleineren Leitung DN 250.<sup>1</sup>

Formel für die Elektrizitätsproduktion bei bestehender Druckleitung

$$e_{\text{Pot}} [\text{kWh/a}] = \eta_{\text{TG}} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot Q \cdot (H_{\text{brutto}} - H_{\text{Ver}}) \cdot 8760 \text{ h/a}$$

Hierfür gilt:

- $\eta_{\text{TG}}$  = Gesamtwirkungsgrad (Turbine und Generator)  $\approx 0,7$  bis  $0,75$   
 Q = Volumenstrom  $[\text{m}^3/\text{s}]$   
 H<sub>brutto</sub> = Bruttonutzgefälle [m] (entspricht der geodätischen Druckhöhe H<sub>geo</sub>)  
 H<sub>Ver</sub> = Druckhöhenverluste (Rohrreibungsverluste) [m]

<sup>1</sup> Quelle: Bundesamt für Energie BFE und SVGW (2004): Energie in der Wasserversorgung, S. 147

Bei einer Vergütung von 25 Rp./kWh betragen die Mehreinnahmen über 4000 Franken pro Jahr. Die Mehrkosten der duktilen DN 300-Gussleitung betragen ca. 80 Fr./m gegenüber DN 250. Bei einer Leitungslänge von 2500 Meter betragen die Mehrkosten 200 000 Franken. Ohne Berücksichtigung der Zinsen würden sich die zusätzlichen Kosten der grösseren Leitung nach 50 Jahren amortisiert haben, also ungefähr nach der halben Lebensdauer der Wasserleitung. Daneben profitiert auch die Wasserversorgung von einer leistungsfähigeren Transportleitung und ist auch für zukünftige Erweiterungen gut gerüstet. Aus diesen Gründen wurde schlussendlich die grössere Leitung DN 300 gebaut, die positiven Erfahrungen der ersten fünf Betriebsjahre haben diesen Entscheid auch bestätigt.

## FAZIT

Dank der Topographie der Schweiz können viele Wasserversorgungen im voralpinen und alpinen Raum einen grossen Teil ihres Wassers aus Quellen beziehen. Diese liegen oft höher als die Verbrauchszonen und können somit zur Energieproduktion genutzt werden. Früher wurde oft beim Bau der Anlagen das Energiepotenzial des Wassers nicht zur Stromproduktion genutzt, da diese Anlagen damals zu aufwendig waren. Die Energie wurde in Druckbrecherschächten vernichtet und stand anschliessend nicht mehr zur Verfügung. Mit der heutigen Technik ist es dagegen möglich, unterhaltsarme und einfache Asynchrongeneratoren zur Stromgewinnung an diesen Orten einzusetzen. Dabei gilt es, von Anfang an die Anlagen gut zu planen, um das Potenzial dieser Kraftwerke optimal auszuschöpfen. Entscheidend ist neben der richtigen Auslegung der Turbine auch oftmals die Dimensionierung der Druckleitung. Ein zu kleiner Durchmesser führt zu hohen Fliessgeschwindigkeiten, die sich dann überproportional auf den Druckverlust in der Zuleitung zum Kraftwerk auswirken. Werden Turbinen zwischen zwei Reservoiren im Versorgungsnetz eingebaut, sind die über Jahre hinweg bewährten Bewirtschaftungen der Reservoirs zu überprüfen und gegebenenfalls zu optimieren. Kleine Anpassungen im Verteilnetz können erhebliche Auswirkungen auf die Stromproduktion haben. Die strategische Planung in Bezug auf Netzerweiterungen und Erneuerungen (Generelle Wasserversorgungsplanung) sollte auch den Aspekt des möglichen Einsatzes von Turbinen zur Stromgewinnung berücksichtigen. Mit den auf dem Markt bereits erhältlichen Kleinstturbinen bis zu 10 kW eröffnen sich auch in Zukunft neue Möglichkeiten, saubere Energie aus Trinkwasser zu gewinnen.

## > SUITE DU RÉSUMÉ

la perte de pression dans l'alimentation de la centrale. Si les turbines sont installées entre deux réservoirs du réseau d'alimentation, il faut vérifier et optimiser l'exploitation judicieuse des réservoirs au fil des années. De petites modifications du réseau d'alimentation peuvent avoir des effets considérables sur la production de courant. Lors de la planification stratégique des développements et rénovations du réseau (planification générale de l'installation d'approvisionnement), il faut étudier l'utilisation de turbines pour produire du courant. Déjà disponibles sur le marché, les plus petites turbines, d'une capacité max. de 10 kW, offrent de nouvelles possibilités permettant de produire de l'énergie propre à partir d'eau potable.