

Talsperren - kleine Wasserkraftanlagen -

Von: Helmut Erdmannsdörfer, Betriebswirt, Ossberger GmbH + Co, D-91781 Weissenburg/Bay.

- Einleitung
- Turbinentypen für Anlagen kleiner Leistung
- Beispiele
 - *Schluchsee*
 - *Western Dan*
 - *Markersbach*
 - *Rothsee*
 - *Monte Casale*
 - *La Reforma*
- Schluss

Einleitung

Als Schüler besuchte ich zu Beginn der 60iger Jahre den Flughafen in Frankfurt. Eine aufregende Fahrt, die Lufthansa hatte die Möglichkeit eröffnet, ein Flugzeug zu betreten. Es war aber etwas anderes, was in der Erinnerung haften blieb: Es ist das Bild eines Radfahrers, der über das Vorfeld strampelt. Dieses Bild steht mir vor Augen, wenn es um das Thema Talsperren und kleine Wasserkraftanlagen geht.

Talsperren, richtig grosse Talsperren und kleine Wasserkraftanlage, das ist wie Radfahren auf dem Flughafen. Und es gibt sie, die Radfahrer auf dem Flughafen. Und es gibt sie, die kleinen Wasserkraftanlagen an Talsperren. Für besondere Aufgaben ist ein angepasster Ansatz die bessere Lösung.

Turbinentypen für Anlagen kleiner Leistung

Die Auswahl der Turbinentypen ist relativ einfach. Als Mittel stehen die bekannten Hüllkurven der verschiedenen Turbinen zur Verfügung. Prinzipiell eignen sich alle klassischen Turbinentypen auch für kleine Ausbauleistungen. Sollte es jedoch wegen der Vorgaben der Wasserwirtschaft zu Schwankungen des Wasserdargebotes kommen, sind die im Grosskraftwerksbau verwendeten Turbinentypen benachteiligt.

Der Spitzenwirkungsgrad von Schnellläufern liegt bei ca. $\frac{3}{4}$ Turbinenöffnung, bei halber Turbinenöffnung fällt der Wert auf unter 80 %. Langsamläufer erreichen keine Spitzenwirkungsgrade. Statt dessen weisen sie, von voller bis teilweiser Beaufschlagung, eine flache Wirkungsgradkurve auf.

Bei Anlagen, die in der Wasserwirtschaft treiben, wird erwartet, daß alle Turbinenhersteller um eine Verbesserung ihrer Produkte bemüht sind, um schwankende Wassermengen über die Konstruktion auszugleichen. Beispiele für solche Bemühungen sind nachstehend aufgeführt:

- ◆ Francis-Turbinen werden angeboten mit einfachem oder doppeltem Laufrad mittlerer spezifischer Drehzahl, vorausgesetzt, die Zusatzkosten erlauben solch eine Auslegung.
- ◆ Bei der Kaplan-Turbine wird der Wirkungsgrad verbessert durch verstellbare Lauf- und Leitrad-schaufeln. An höheren Dämmen kann aber u.U. der Einsatz einer Kaplan-Turbine nicht praktikabel sein. Wie allgemein bekannt ist dieses System besonders für niedrige Fallhöhen und grosse Wassermengen entwickelt worden.
- ◆ Die Ossberger®-Turbine (Durchström-, bzw. BANKI- oder Michell-Turbine) in Zweizellenbauweise weist einen guten Wirkungsgrad auf zwischen 1/1 bis 1/6 Beaufschlagung. Der flache Wirkungsgrad und der kavitationsfreie Betrieb auch mit Wassermengen $< 1/6$ der Ausbauwassermenge lassen dieses System für wasserwirtschaftliche Aufgaben an Dämmen besonders gut geeignet erscheinen.
- ◆ Pelton-Räder können mit mehreren Düsen gebaut werden, der Arbeitsbereich, der so erreicht wird, erlaubt Durchflußschwankungen zwischen 1/1 und ca. 1/6 der Nennwassermenge. Die Notwendigkeit mehrerer Düsen hat aber höhere Investitionskosten zur Folge.

Aus diesen Gründen soll die Ossberger®-Turbine (weitere Namen unter denen dieses System in der Fachliteratur Eingang gefunden hat, wurden bereits erwähnt) im Vordergrund der weiteren Betrachtungen stehen.

Die im Jahre 1903 von A. G. M. Michell erfundene Wasserturbine ist der Vorläufer der Durchströmturbine. Der deutsche Ingenieur Fritz Ossberger trat in Verbindung mit dem australischen Erfindergenie, über dessen Arbeiten er gelesen hatte. Zwischen beiden Männern entstand schnell eine Zusammenarbeit; gemeinsam entwickelten sie die neue Wasserturbine. Für die neue "Freistrahlturbine" wurde das deutsche Reichspatent Nr. 361 593 erteilt. Das war die Geburtsstunde der Ossberger®-Turbine.

Nahezu parallel wurde ein Patent erteilt für die Turbine des ungarischen Prof. Donat Banki. Aufgrund einer Reihe von Veröffentlichungen erlangte sie zwischen 1917 und 1919 einen grossen Bekanntheitsgrad. Das ist der Grund, warum dieses Turbinensystem in manchen Teilen der Welt weiterhin als Banki-Turbine bezeichnet wird.

Dem Ossberger-Familienbetrieb ist es zu verdanken, daß die Forschungs- und Entwicklungsarbeit aus mehr als neunzig Jahren eine solch einfache und wirksame Turbine hervorgebracht hat.

Bei der OSSBERGER-Turbine handelt es sich um eine radial- und teilbeaufschlagte Freistrahlturbine. Ihrer spezifischen Drehzahl nach gehört sie zu den Langsamläufern. Die Leitschaufeln verleihen dem Wasserstrahl einen rechteckigen Querschnitt. Der Durchfluß erfolgt durch den Schaufelring des zylindrischen Laufrades, zuerst von außen nach innen, und nach Passieren des Laufradinneren von innen nach außen.

Neben der flexiblen Turbine ist eine geeignete Steuerung oder Regelung nötig. Bei der Kombination kleine Wasserkraftanlage und Talsperren stehen die wasserwirtschaftliche Aufgabe fast immer im Vordergrund. Diese Aufgaben sind im wesentlichen gekennzeichnet:

- a) Die Wasserwirtschaft stellt ein Signal zur Verfügung. Dieses Signal repräsentiert die abzugebende Wassermenge und die Turbine ist abgestimmt auf dieses Signal zu fahren. Hintergrund sind übergeordnete wasserwirtschaftliche Belange.
- b) Die Abflusswassermenge ist konstant zu halten, der Oberwasserspiegel ändert sich. Dies kann entweder mittels induktivem Durchflussmesser oder Konstanthaltung des Unterwasserspiegels erreicht werden.

- c) Die Anlage arbeitet im Inselbetrieb. Steht aufgrund der Signale nach a) oder b) mehr Wasser zur Verfügung, als für die momentane Energieerzeugung erforderlich ist, so wird dies über einen vom Turbinenregler angesteuerten by-pass abgeführt.

Beispiele:

An einigen ausgeführten Anlagen soll die praktische Anwendung kleiner Wasserkraftanlagen an typischen Staustufen mit größeren Dämmen exemplarisch vorgestellt werden:

Schluchsee:

Bekannt als eines der größten Pumpspeicherwerke in Deutschland. Aufgabe ist es, die dem Unterbecken natürlich zufließende Wassermenge zeitgleich in das ursprüngliche Flussbett zurückzugeben. Der Wasserspiegel im Unterbecken ist der Oberwasserspiegel für die Anlage und unterliegt erheblichen Schwankungen.

Daten:

Nennfallhöhe:	H_N	=	30 m
Nenndurchfluss	Q_N	=	4 m ³ /s
minimale Betriebsfallhöhe	H_{min}	=	16 m
maximale Betriebsfallhöhe	H_{max}	=	36 m

Bei einer Nennleistung von 1 135kW ist eine mittlere Jahresleistung von ca. 3,8 Millionen kWh zu erwarten.

Western Dan

Dieses Projekt im Nahen Osten wurde mit zwei Ossberger®-Turbinen ausgerüstet. Es ist integriert in ein Bewässerungssystem. Die für die Energieerzeugung verfügbare Wassermenge hat sich den Belangen der Bewässerung unterzuordnen. Nach dem Abzweig zum Kraftwerk befindet sich eine Druckmessung. Vom Bewässerungssystem wird der Soll-Druck vorgegeben. Der Turbinenregler steuert den Turbinendurchfluß zur Einhaltung des Soll-Drucks.

Daten:

Nennfallhöhe	H_N	=	50 m
Nenndurchfluss	Q_N	=	2 x 2,75 m ³
max. Leistung	P_N	=	2 x 1 092 kW

Markersbach

Als Unterbecken für ein weiteres Pumpspeicherkraftwerk dient das natürliche Tal der Grossen Mittweida. Auch hier muss die Wasserabgabe dem Zufluss zeitgleich entsprechen; dies bei einer Mindestabgabe von 0,2 m³/s.

Daten:

Nennfallhöhe	H_N	=	29 m
Nenndurchfluss	Q_N	=	0,6 m ³ /s
Durchflussbereich	Q	=	0,2 – 1,0 m ³ /s
minimale Betriebsfallhöhe	H_{min}	=	23 m
maximale Betriebsfallhöhe	H_{max}	=	43 m

Der Betreiber berichtet in einem Beitrag in der Zeitschrift "Wassertriebwerk" über Messungen des Turbinenwirkungsgrades. Das Ergebnis waren durchgängig 85 % für einen Durchflussbereich von 0,17 – 1,0 m³/s.

Rothsee

Bayern ist reich an Wasserressourcen. Diese sind jedoch, je nach Region, sehr unterschiedlich verteilt.

Südbayern (= Einzugsgebiet der Donau) erfreut sich reicher Wasservorkommen. Nordbayern, d.h. Franken (= Einzugsgebiet von Regnitz und Main), kann auf lediglich ein Drittel aller Wasserreserven in Bayern zurückgreifen. Um die Entwicklung dieser Gebiete voranzutreiben war es daher notwendig, die in Franken bestehenden wasserwirtschaftlichen Hindernisse zu reduzieren. Dies sollte durch die Schaffung eines überregionalen Wasserausgleichs zwischen den Einzugsgebieten von Donau und Main erreicht werden.

Ziel der „Donau-Main-Überleitung“ ist die Steigerung der Wassermenge in der Rednitz unterhalb von Nürnberg von ca. 12 m³/Sek. in der Trockenzeit bis zu maximal 27 m³/Sek. mittels Wasserzuführung.

Dies wird erreicht durch das Zusammenspiel zweier unabhängiger Systeme:

- Der Kanal-Überleitung und
- der Brombach-Überleitung.

Die Kanal-Überleitung kann bei diesem wasserwirtschaftlichen Projekt als „Hauptwasserleitung“ betrachtet werden. Wasser aus Donau bzw. Altmühl wird durch den Rhein-Main-Donau-Kanal von Kelheim/Dietfurt zum Rothsee bei Hilpoltstein gepumpt. Von dort wird es je nach Bedarf den weiter abwärts gelegenen Seen und Flüssen zugeleitet.

Zur Nutzung der aus der Überleitung von Wasser aus dem Rothsee zu den tiefer gelegenen Gewässern erhaltenen Energie wurde ein Kraftwerk erstellt.

Mehr als 60 % der Jahresabflußmenge aus dem Rothsee kann für die Stromerzeugung mittels zweier Turbineneinheiten genutzt werden – eine S-Turbine und eine Ossberger®-Turbine. Größere Durchflußmengen von bis zu 15 m³/Sek., die während langanhaltender Trockenzeiten im Regnitz-Main-Gebiet benötigt werden, können mittels zusätzlicher konischer Strahlventile erreicht werden, die sich ebenfalls im Krafthaus befinden.

Bei der Hauptturbine handelt es sich um eine patentierte S-Turbine, System Ossberger, speziell konzipiert für den Betrieb am Rothsee. Um die Baukosten für Krafthaus und Turbine niedrig zu halten, war es notwendig, den Betriebspunkt der Turbine ohne bemerkenswerte Wirkungsgradverluste abzuändern. Aus diesem Grund wurde die "Geometrie" der Turbine geändert und ein Laufrad mit nur vier Schaufeln gewählt statt eines kostspieligeren mit sechs Schaufeln. Der Probelauf des Kraftwerks Rothsee erfolgte im November 1994 und rechtfertigte vollkommen die durchgeführte Planung.

Bei der kleinen Maschine handelt es sich um eine Ossberger®-Turbine. Sie dient, als passende Ergänzung zur S-Turbine, hauptsächlich zur energetischen Nutzung der Mindestabflußmenge aus dem Rothsee.

Turbinendaten:	S-Turbine	Durchström-Turbine
Max. Durchflußmenge	5,0 m ³ /Sek.	1,0 m ³ /Sek.
Max. Leistung	628 kW	122 kW
Nettofallhöhe	14,4 m	14,4 m
Durchschnittliche Jahresleistung	1,6 Millionen kWh	400 000 kWh

Monte Casale

Acquedotto della Romagna ist ein breit angelegtes Wasserleitungssystem zum Auffangen, Sammeln, Speichern und Verteilen von Wasser, als Trinkwasser und zu anderen Zwecken, in mehr als 40 Gemeinden in der Riviera Romagnola (Italien) und der Republik San Marino. Von Anfang an war das System so konzipiert, daß es von der günstigen Geländesituation profitieren sollte, wobei das Wasser

den ganzen Weg vom Auffangbecken zum Endverbraucher lediglich mittels der Schwerkraft zurücklegt, um schließlich 900 000 Einwohner (und im Sommer mehrere Millionen Touristen) mit Qualitätstrinkwasser zu versorgen.

Aus mehreren Bächen in der Gebirgsregion zwischen Ravenna und Florenz wird Wasser entnommen und im Ridracolibecken (Speichervolumen 30 Mm³) gesammelt. Dieses wird durch einen bogenförmigen Betondamm gebildet mit 430 m Breite und mehr als 100 m Höhe. Von Anfang an war dieser Damm als Vielzweckbauwerk errichtet worden zur Speicherung von Wasser sowohl für den Gebrauch an der Wasserleitung als auch für die Energieerzeugung, als auch zur Abarbeitung von Spitzenwassermengen während Zeiten überschüssigen Wassers. Die erste Staustufe, die von diesem Wasserspeicher profitiert ist ausgerüstet mit einem 8 MW-Wasserkraftwerk.

Fast die ganze Wassermenge wird zu der Staustufe Monte Casale geleitet, die mitten im Einzugsgebiet gelegen ist. Der verbleibende Druck unterhalb der Rohrleitung hängt hauptsächlich von der Durchflußmenge ab, aufgrund des vorherrschenden Einflusses der Reibungsverluste im Rohr. Seit frühen Testläufen hat sich die Hauptrohrleitung als sehr empfindlich gegenüber wechselnden Durchflußmengen erwiesen, dies aufgrund von Problemen wie z.B. ihrer extremen Länge und des kleinen Durchmessers, minimaler Wandstärke des Stahlrohres und möglicher Quellen von entlang der Rohrleitung umgelenkten Druckwellen.

Das neue Wasserkraftwerk in Monte Casale war konzipiert worden im Hinblick auf die Bereitstellung einer sicheren, nicht verlustbringenden Vorrichtung zur Durchflußregulierung, so daß die oben geschilderten Probleme zuverlässig und dauerhaft gelöst werden sollten. Zu diesem Zweck wurde eine Ossberger®-Turbine gewählt.

Die Turbine, eingebaut oberhalb der Energievernichtung, wird durch eine neue By-pass-Rohrleitung gespeist.

Die wesentlichen Vorteile der gewählten Lösung:

- Die Wasserqualität wird nicht beeinträchtigt: Alle Teile der Turbine, die mit Wasser in Berührung kommen, sind aus rostfreiem Stahl; alle anderen Metallkomponenten (Rohre, Ventile usw.) bestehen aus Materialien, die nachweislich die Trinkwasservorschriften erfüllen. Turbinenwellenlager sind außerhalb des Turbinengehäuses montiert, in zu großem Abstand, als daß sie mit Wasser in Berührung kommen könnten. Die Klappenlager bestehen aus wartungsfreien, selbstschmierenden Materialien.
- OSSBERGER GmbH + Co brachten eine besondere Turbinenauslegung zur Anwendung: Modellversuche an werkseigenen Testvorrichtungen bestätigten, daß die gewählte Geometrie auch im ungünstigsten Fall einen Fließgradient von weniger als 0,2 m³/Sek. über 75 Sekunden gewährleistete, d.h. Netzabschaltung bei Maximalleistung.
- Die Turbine nutzt den gesamten Durchflußbereich zwischen 0 und 2,5 m³/Sek.
- Das Regelsystem hält die vom Wasserbedarf bestimmte Durchflußmenge auf dem Sollwert. Die Stromerzeugung erfolgt ausschließlich im Netzparallelbetrieb.

La Reforma:

Das Wasserversorgungssystem La Reforma, das eine Wasserfiltrieranlage mit einer Kapazität von 1 m³/Sek. einschließt, war vorgesehen als Zusatzeinrichtung zur vorhandenen Macro-Infrastruktur von Santiago de Cali (1 800 000 Einwohner) in Kolumbien, Südamerika. Nach Fertigstellung des Wasserversorgungssystems wurde lediglich ein Kleinwasserkraftwerk (15 A) direkt vor dem Zwischentank als Pilotprojekt für ähnliche Anwendungen eingebaut.

Im Hinblick auf die max. Wassermenge von 0,3 m³/Sek., die für die „Línea Nápoles“ zur Verfügung steht und das vorhandene Nettogefälle von 70,4 Metern ist eine Leistung von 169 kW an der Turbinenwelle zu erwarten. Da der Energiebedarf der Wasserfiltrieranlage tagsüber nur 25 kW und nachts 30 kW beträgt, wurde die Energieübertragung für zwei verschiedene Betriebsarten ausgelegt:

- A. Parallelbetrieb des Kleinwasserkraftwerkes mit dem öffentlichen Netz, d.h. Energieeinspeisung ins Netz.
- B. Inselbetrieb der Kleinwasserkraftanlage bei Netzausfall.

Der benötigte Frischwasserzufluß zur Stadt darf nicht unterbrochen werden durch den Turbinenlauf bzw. Energiebedarf während des Inselbetriebs. Die Wasserversorgung genießt absoluten Vorrang und muß jederzeit gesichert sein. Im Insel-Betrieb richtet sich die turbinierete Wassermenge nach dem Energiebedarf. Um die Abflußmenge zu garantieren, die durch die Wasserwirtschaft gefordert wird, ist ein By-Pass neben der Turbine installiert. Die Aufgabe ist folgendermaßen definiert:

$$Q_{\text{Nennwert}} \text{ minus } Q_{\text{Turbine}} = Q_{\text{By-pass}}$$

Zur Erfüllung dieser Gleichung wurde ein Ringkolbenschieber der Fa. Erhard Armaturen eingesetzt.

Projektkosten insgesamt :	US \$ 584 000
Kosten pro eingebautem kW in US \$	US \$ 3 456 / kW
Einschließlich : Auslegung, Maschinenbau, Arbeitskräfte, Materialien, Geräte, Transformator, elektrische Leitung, Eingangsfeld zu Wasseraufbereitungsanlage, Fernsteuerung	
Amortisierungszeit der Investitionskosten :	7- 8 Jahre

... Bringen Sie Strom zum Fließen,
auch mit kleinen Wasserkräften ...

Schluss

Ossberger baut die „Fahrräder“. Wenn Sie also bei Ihrem nächsten Flug einen Radfahrer auf dem Flughafen sehen, lachen Sie nicht, denken Sie an kleine Wasserkraftanlagen an Talsperren. Es gibt sie, die Fälle, wo so etwas Sinn macht.

Literatur

- (1) Gundo Klebsattel, Klaus Schneider und Dieter Wirth.: Bau einer Kleinwasserkraftanlage mit Durchströmturbine an der Wehratalsperre. In: Wasserwirtschaft April/2000, Seite 192 – 196
- (2) Werner Wuntke.: Die 250-kW-Kleinwasserkraftanlage des Pumpspeicherkraftwerkes Markersbach. In: Wasserkraft & Energie 4/95, Seite 26 – 30
- (3) Trögl H. und Erdmannsdorfer H.: The franconian lake district. Session C: Hydroenergia 99, Wien 1999
- (4) Axel Slognat.: Wasserkraftanlage für ein bestehendes Wasserversorgungssystem. In: Wasserkraft & Energie 3/1998

- (5) Michelangelo Amato, Piero Flamigni, Guido Govi und Helmut Erdmannsdörfer.: From Energy Dissipation to Energy Production in Aqueducts. Small Hydro Lisbon 2000, Seite 99 – 112
- (6) Veröffentlichungen und Werksbilder des Hauses Ossberger

Anschrift des Verfassers:
 Helmut Erdmannsdörfer
 Kaufmännischer Leiter Turbinen
 OSSBERGER GmbH + Co
 Postfach 425
 91773 Weissenburg/Bay.

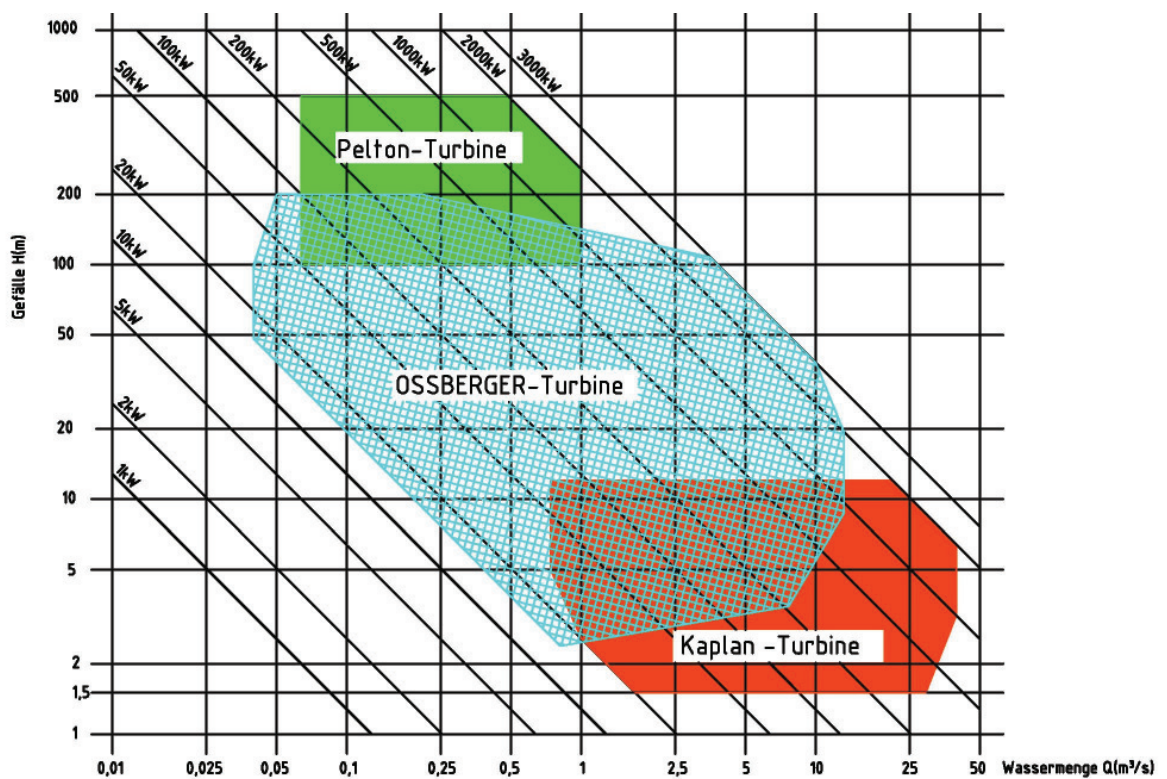


Bild 1 Hüllkurve

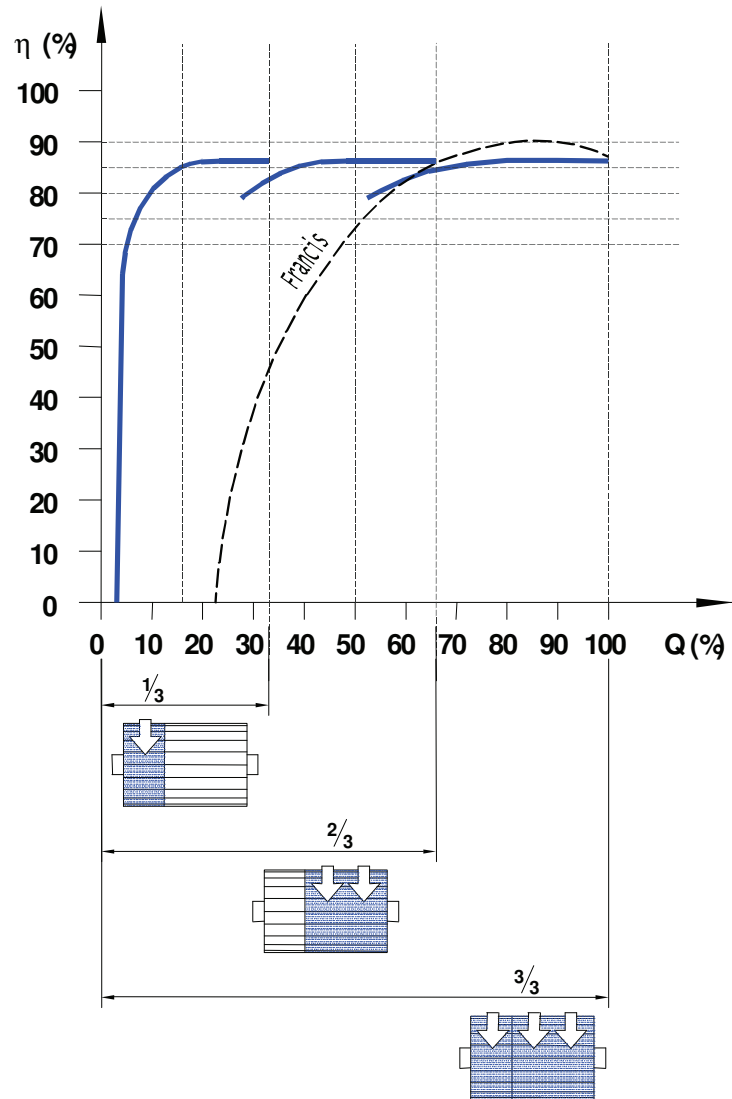


Bild 2 Wirkungsgradkurve einer Ossberger®-Turbine

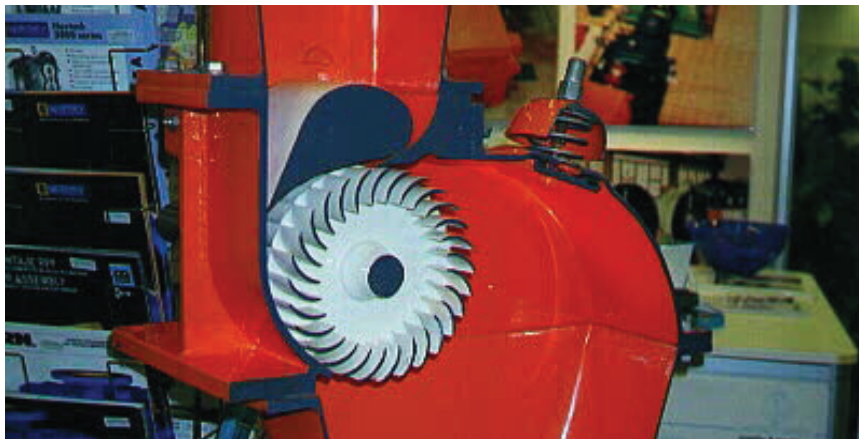


Bild 3 Modell einer Ossberger®-Turbine

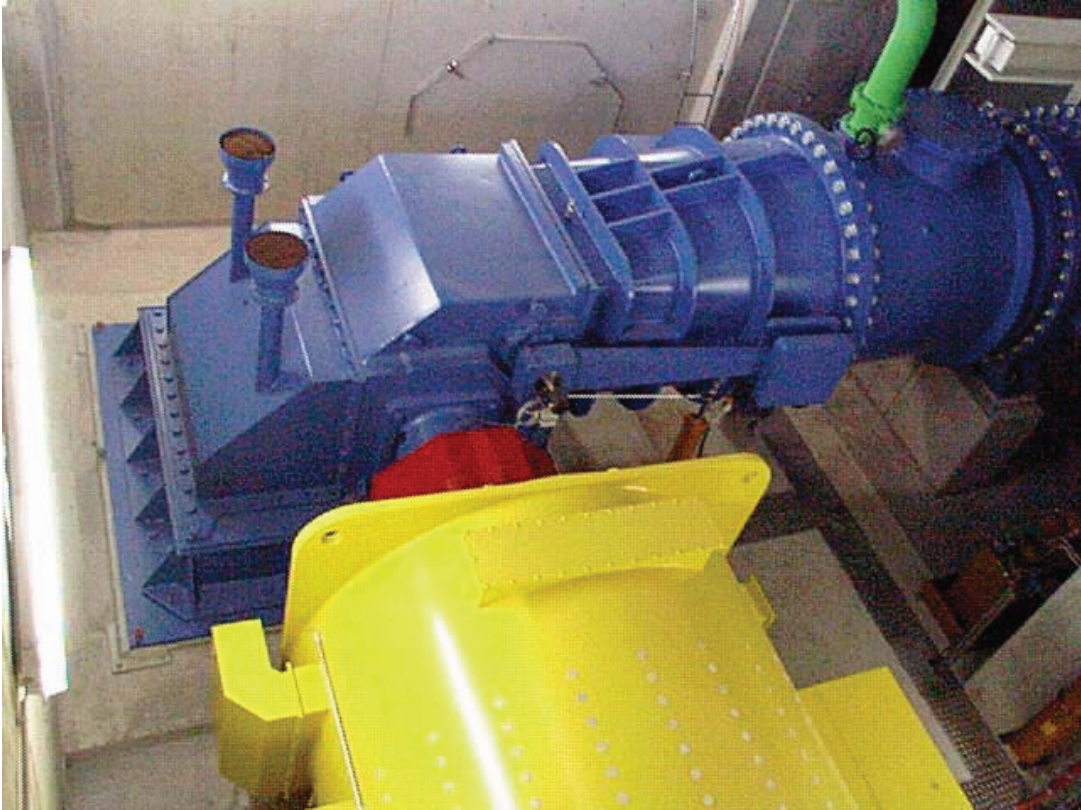


Bild 4 Anlage Schluchsee – mit einer installierten Leistung von 1 135 kW wird eine mittlere Jahresarbeit von 3,8 GWh erwartet

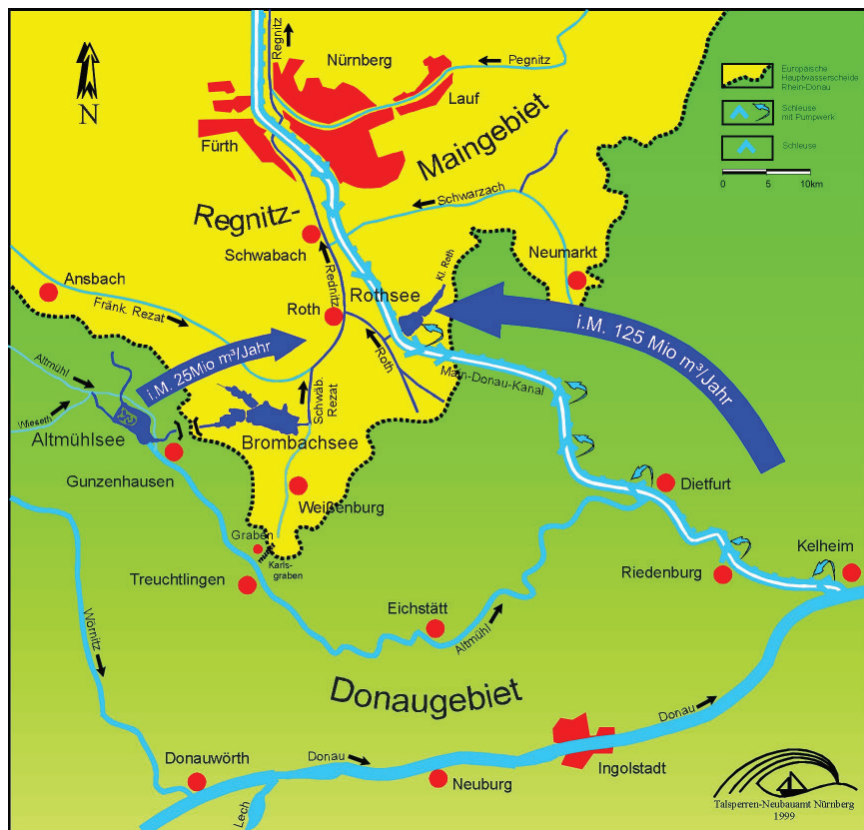


Bild 5 Überleitungssystem



Bild 6 S-Turbine am Rothsee

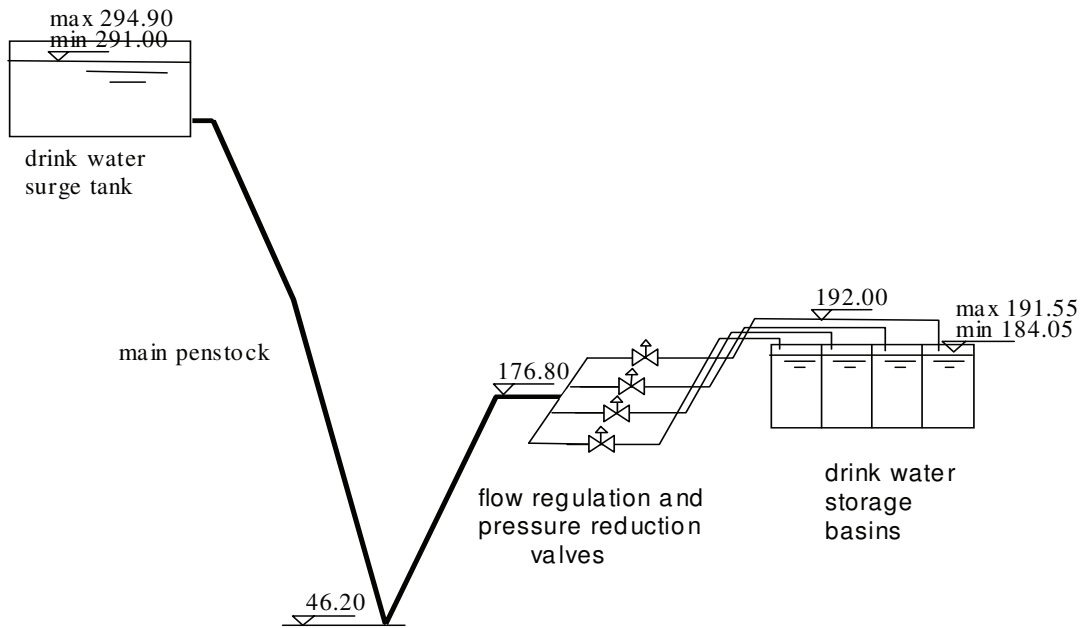


Bild 7 Monte Casale – Hydraulische Situation



Bild 8 Laufwerk für Monte Casale – Abnahmetest

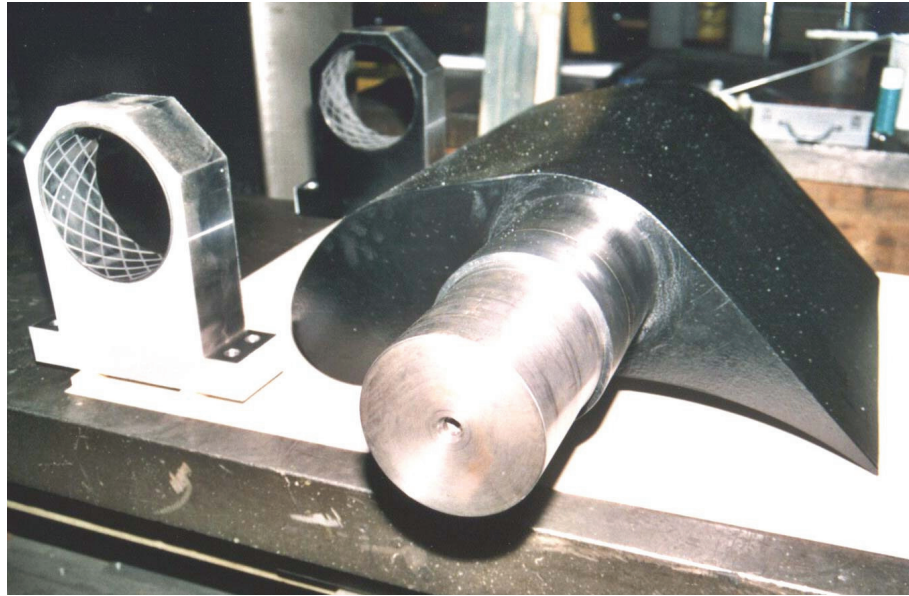


Bild 9 Leitschaufel mit wartungsfreien Lagern

SMALL HYDRO POWER STATION LA REFORMA
SANTIAGO DE CALI - COLOMBIA

HYDRAULIC SCHEME

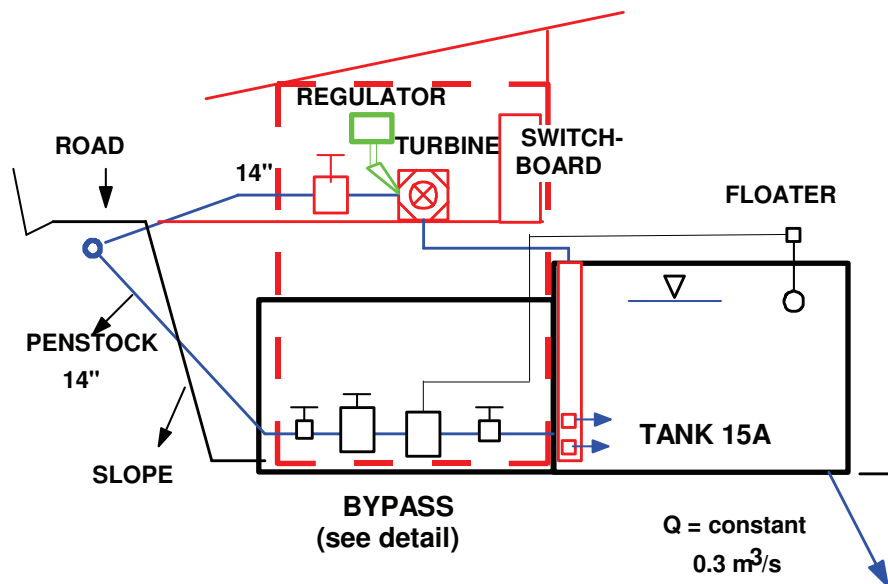


Bild 10 La Reforma - Hydraulische Situation