



Kleine Kaplanturbinen bei niedrigen Fallhöhen

Neuerungen bei kleinen Kaplanturbinen im Bereich niedriger Fallhöhen

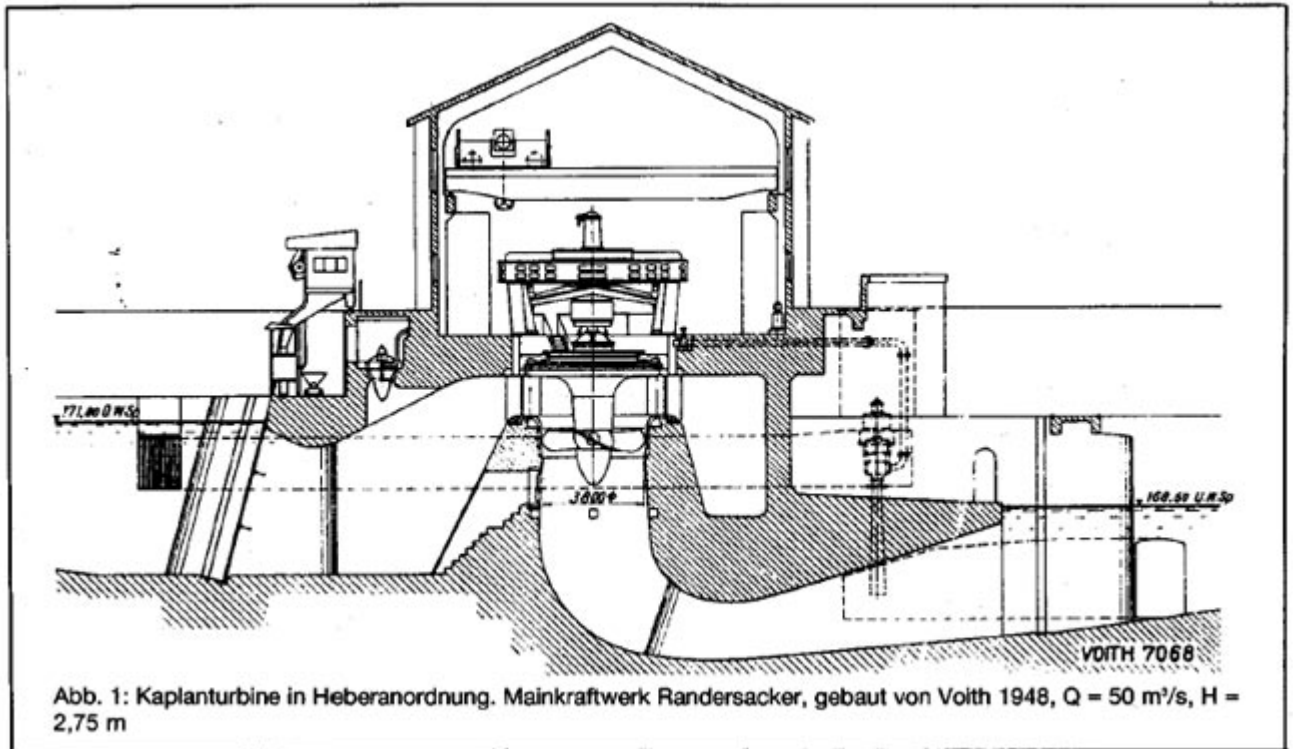
Im Niederdruckbereich werden bei größeren Anlagen heutzutage überwiegend Kaplan und Kaplanrohrturbinen eingesetzt. Als Gründe hierfür sind vor allem zu nennen:

- Bei gegebenen Bauwerksabmessungen größter Durchfluß aller Turbinenarten.
- Hervorragende Wirkungsgrade auch im Teillastbereich durch Doppelregulierung.
- Höchste Drehzahl bei gegebener Fallhöhe und Durchfluß.

Auch im Klein- und Kleinstwasserkraftbereich befindet sich die Kaplan turbine auf dem Vormarsch. Als wichtiger Grund dafür ist auch zu nennen, daß man in der Regel mit einer einzigen Kaplan turbine einen stark wechselnden Zufluß effektiver nutzen kann als z. B. mit zwei Francis turbinen in der klassischen 2/3 1/3 Aufteilung. Dabei werden in zunehmender Zahl auch für kleinere Wasserkräfte doppelt geregelte Kaplan turbinen verwendet, wo bisher Francis oder Durchströmturbinen als die einzig wirtschaftliche Lösung angesehen wurden. Um auch hier eine möglichst kostengünstige, kompakte und funktionssichere Variante anbieten zu können, genügt es jedoch nicht, die Konstruktionen bewährter Großanlagen einfach herunter zu skalieren oder Francis Technologie zu kopieren. In diesem Beitrag wird gezeigt, wie eine solche Turbine aussehen sollte und was bei der Planung der Anlage zu beachten ist.

Bei Kaplan turbinen kann die Einbauhöhe über dem Unterwasser, im folgenden Saughöhe HS genannt (siehe Abb. 8), in weiten Grenzen variiert und z. B. baulichen Erfordernissen angepaßt werden, ohne dabei energetische Einbußen hinnehmen zu müssen. Die Saughöhe wird lediglich dadurch begrenzt, daß sich bei fortschreitendem Druckabfall im strömenden Wasser Dampfblasen bilden, die sowohl den Wirkungsgrad senken als auch materialzerstörend wirken. Diesen Vorgang nennt man Kavitation.

Große Kaplan turbinen sind häufig mit Rücksicht auf den sonst noch größeren Sohlaushub so hoch eingebaut, daß in regelmäßigen Abständen das abgetragene Material durch Auftragschweißen ersetzt werden muß. Kleinturbinen werden grundsätzlich für kavitationsfreien Betrieb ausgelegt. Da aber auch hier der Sohlaushub bezahlt werden muß, lohnt es sich, über die sogenannte Heberanordnung nachzudenken, die sich bei Großturbinen schon seit Jahrzehnten bestens bewährt hat (Abb. 1).



1. Heberbauweise

Von Heberbauweise spricht man, wenn der Leitapparat sich ganz (vollgehebert) oder teilweise (teilgehebert) über dem Oberwasserspiegel befindet. Die teilgeheberte Maschine ist, da sie selbsttätig anläuft, für die Kleinwasserkraft vorzuziehen. Außer dem schon erwähnten geringeren Sohlaushub, der kostenmäßig durch Abstützungs- und Abspundungsmaßnahmen zu Buche schlägt, bietet die Heberbauweise folgende entscheidende Vorteile gegenüber der althergebrachten Schachtbauweise (Abb. 4a):

Saugrohrgestaltung

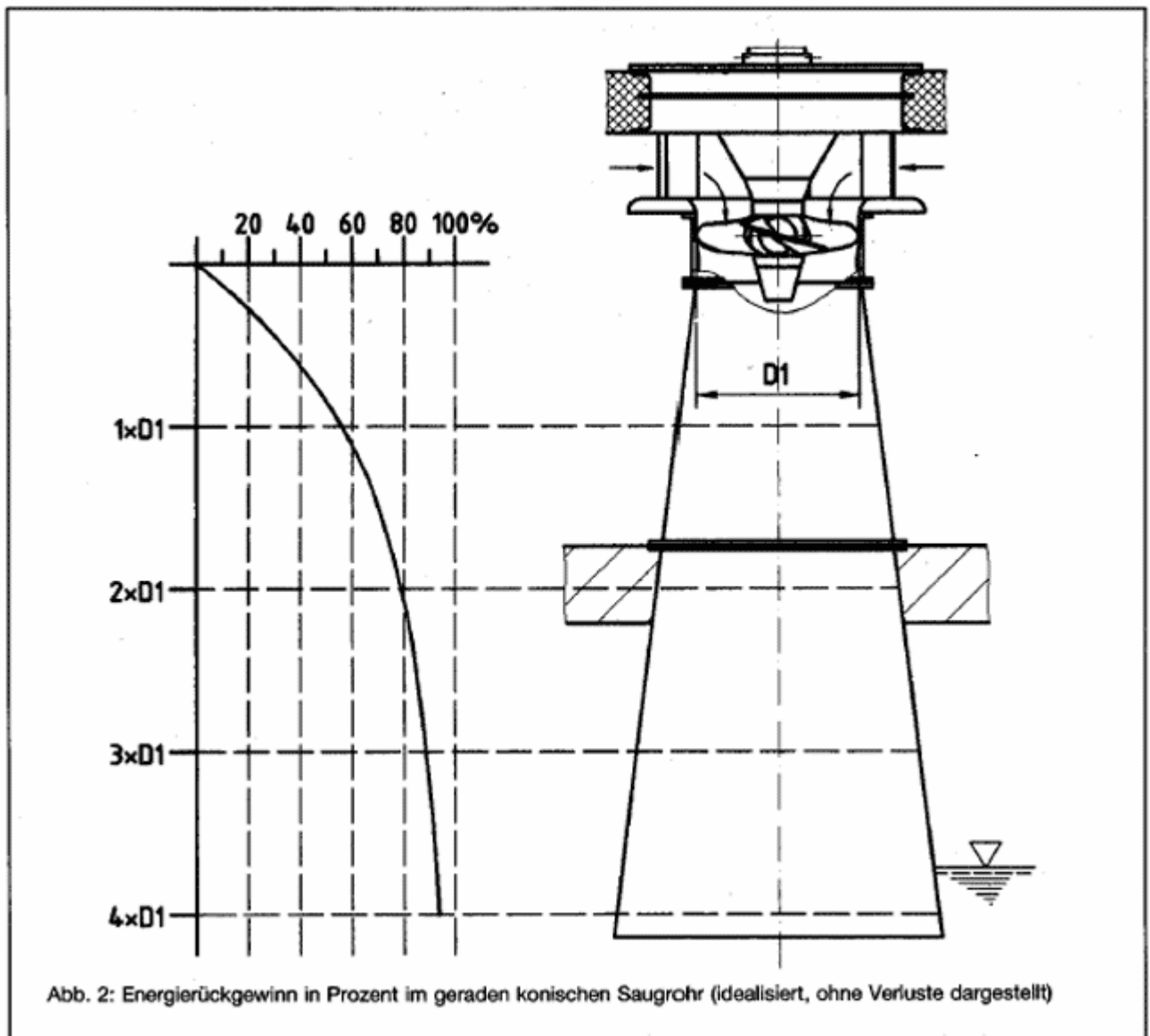
Das gerade, konische Saugrohr bietet mit Abstand den günstigsten Energierückgewinn von allen Saugrohrarten. Sollte ein Krümmer erforderlich sein, wird man danach trachten, zwischen Laufrohr und Krümmer ein möglichst langes, gerades und konisch erweitertes Rohrstück einzusetzen. Da der größte Teil der Geschwindigkeitsenergie am Anfang des Saugrohres zurückgewonnen wird (Abb. 2), kommt dem energetisch schlechteren, nachgeschalteten Krümmer dann in bezug auf den gewünschten Energierückgewinn eine untergeordnete Rolle zu.

Anschrift:
HSI HYDRO ENGINEERING GmbH
Hauptstrasse 48
54497 Morbach - Gonzerath

Kontakt:
Tel.: +49 (0) 6533-95818-0
Fax: +49 (0) 6533-95818-10
E-Mail: info@hsihydro.de
Internet: www.hsihydro.de

Geschäftsführer:
Peter Marx
Handelsregister:
Amtsgericht Wittlich HRB 40467
Ust - IdNr.: DE 113 558 318
Steuernummer: 43/678/0023/4

Bankverbindung:
Raiffeisenbank Rodenbach
BLZ: 506 636 99
Kto. - Nr.: 63193
IBAN: DE 68 5066 3699
BIC / SWIFT: GENODEF 1 RDB



Daß dennoch häufig Kaplan turbinen unten in den Schacht gesetzt werden, rührt von der fälschlichen Annahme her, daß ein Saugrohrkonzept, das bei Francisturbinen keine Nachteile zeigte, auch für Kaplan turbinen geeignet sein müßte. Dabei wird vergessen, daß eine Kaplan turbinen mit ihrer hohen Laufradabströmungsgeschwindigkeit auf ein schlechtes Saugrohr ungleich empfindlicher reagiert als jeder andere Turbinentyp (Abb. 3).

Wollte man bei einer unten in den Schacht gesetzten Kaplan turbinen noch ein gutes Saugrohr realisieren, so wäre man zu einem Tiefbau gemäß Abb. 4a genötigt. Dabei soll nochmals erwähnt werden, der zu treibende Aufwand mit Abstützung der untergrabenen Wände, Baugrubenabsicherung und Wasserhaltung kommt den Betreiber teuer zu stehen. Dies wäre bei entsprechender Turbinenanordnung vermeidbar.

Außenregulierung

Bei Anordnung der Maschine direkt unter der Decke bietet es sich an, den Reguliermechanismus des Leitrades auf den Turbinendeckel zu legen (Abb. 7). Da hier alle Gelenke im Trockenen liegen und bei Bedarf leicht ausgetauscht werden können, kann von einem langen, störungsfreien Betrieb ausgegangen werden. Die bei kleinen Kaplanturbinen ohnehin nicht allzu großen Stellkräfte werden auf diese Art so weit verringert, daß der Einsatz von ölhydraulischen Steilantrieben erst bei größeren Fallhöhen und Laufradgrößen nötig wird. Bis zu etwa einem Meter Laufraddurchmesser scheint es in jedem Fall geboten, elektrische Stelltriebe zu verwenden.

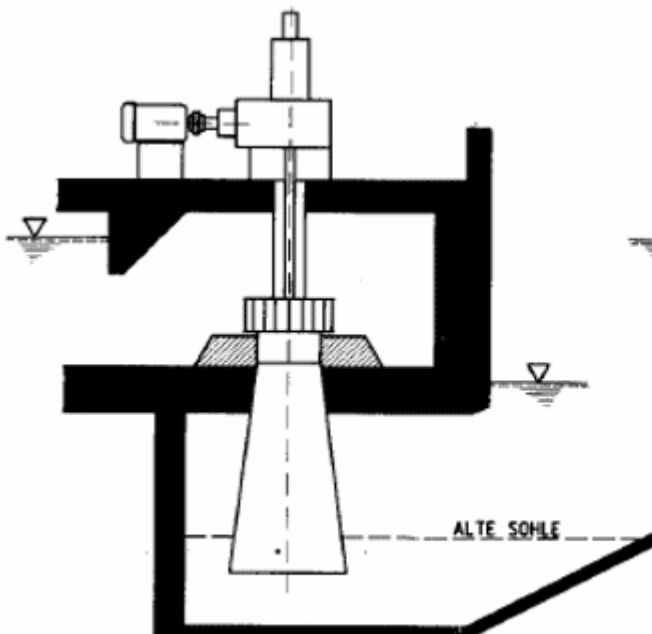
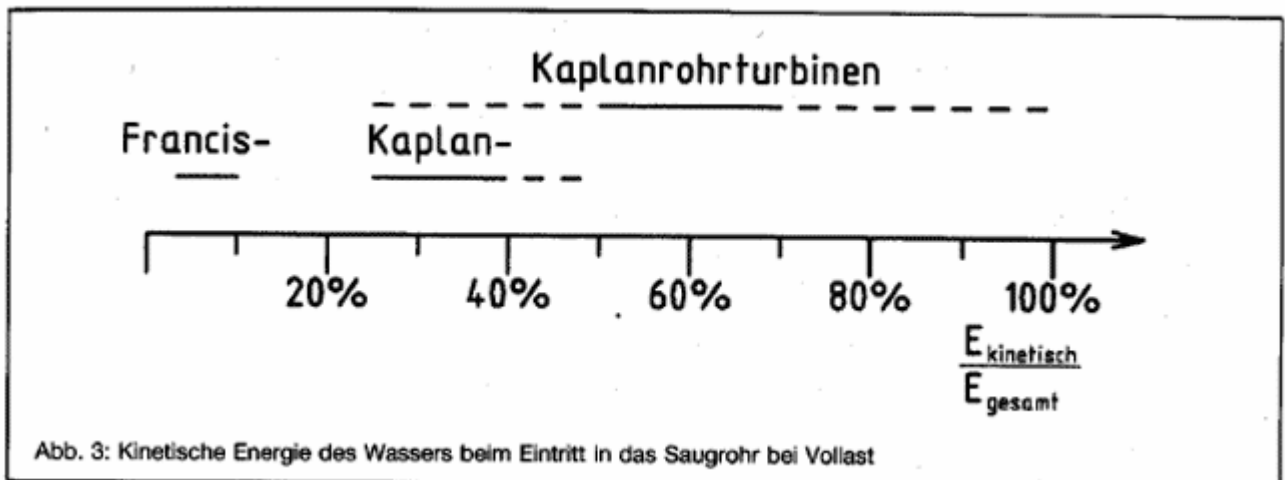


Abb. 4a: Negativbeispiel einer ausgeführten Anlage: Kaplanmaschine nichtgehebert, innenreguliert mit langer Welle, Kegelfradgetriebe

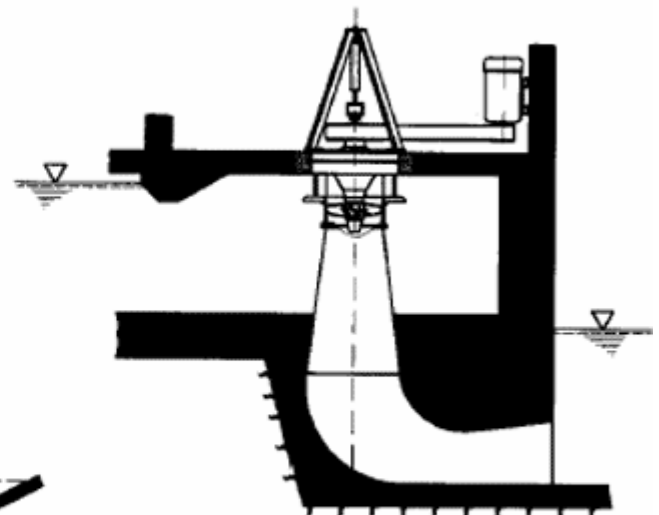


Abb. 4b: Alternative mit geheberter Kaplanmaschine: kein zusätzlicher Erdaushub, kein Antasten der alten Sohle

Abdichtung

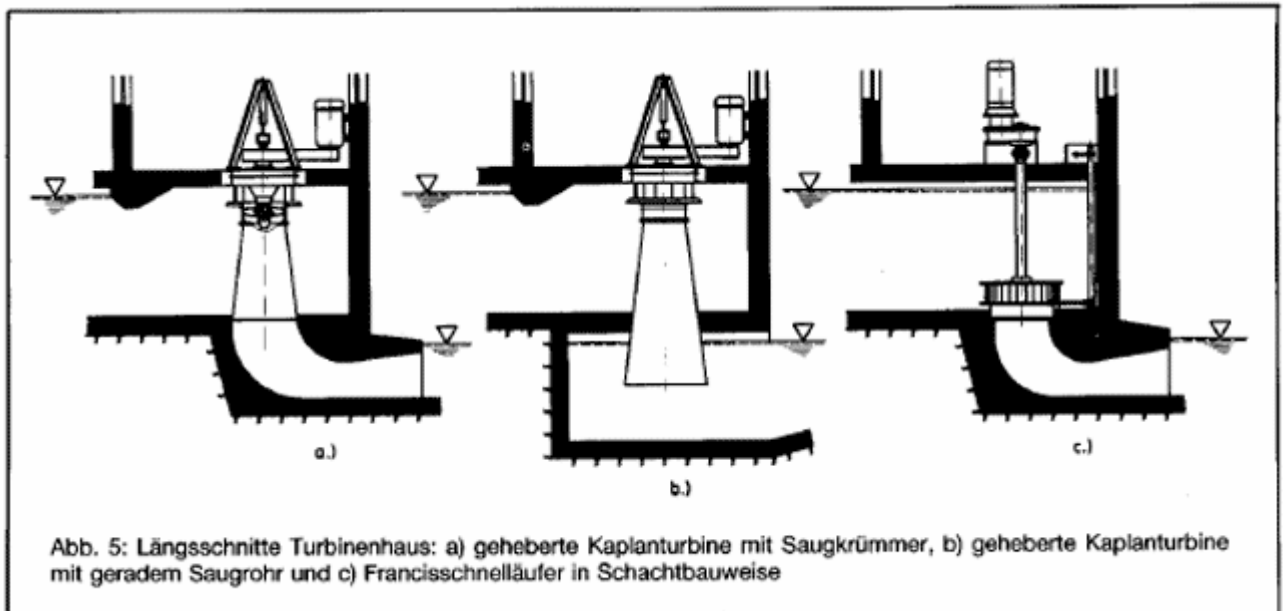
Grundsätzlich ist eine Abdichtung der Welle gegen Unterdruck, wie im vorliegenden Fall, immer besser zu beherrschen als gegen Überdruck. Gründe dafür sind:

- kein Eindringen von Betriebswasser in die Dichtung, daher weniger Verschleiß,
- geringere Gefährdung der Lager bei schadhafter Dichtung.

Damit sind die wichtigsten Voraussetzungen für den problemlosen Einsatz fettgeschmierter Wälzlager mit ihren bekannten Vorteilen gegeben.

1.4 Kompakte Bauweise, modularer Aufbau

Durch die Anordnung direkt unter der Decke wird die eigentliche Maschine sehr kompakt (Abb. 5a und 5b). Die Anpassung an ein vorhandenes Gebäude erfolgt in der Regel ausschließlich über die Variation der Saugrohlänge. Die Turbine kann als standardisiertes, komplett werksmontiertes Aggregat angeliefert und auf das bereits einbetonierte Saugrohr aufgesetzt werden. Nach dem Vergießen des Mauerringes im Deckenausschnitt werden nur noch der Flachriemen aufgelegt und die Stellmotoren angeschlossen. Abgesehen von dem dadurch wesentlich geringeren Montageaufwand kann man auf diese Art sicher sein, daß keine montagebedingten Verunreinigungen oder Beschädigungen an den empfindlichen Teilen der Turbine (Lagerung, Wellendichtung, Flügelkopf, Laufradsteuerung) auftreten können. Durch den modularen Aufbau einer solchen Maschine sind alle Komponenten leicht zugänglich. So können z.B. verschlissene Dichtungen schnell ausgetauscht werden, ohne die ganze Maschine zerlegen zu müssen.



Einbau in eine alte Kammer

Beim Ersatz einer alten Turbine zeichnet sich das beschriebene Konzept vor allem durch seine Anpassungsfähigkeit an vorhandene Baulichkeiten aus. Im Gegensatz zu anderen Lösungen kann die vorhandene Turbinenkammer meist mit nur geringen Veränderungen beibehalten werden.



2. Drehzahlübersetzung

Bei kleinen Kaplan turbinen ist der moderne Hochleistungs Flachriementrieb zur Drehzahlübersetzung aus mehreren Gründen die beste Lösung.

2.1 Einstufig

Bei sonst gleichen Bedingungen liegt die Drehzahl der Kaplan turbine zwei bis dreimal so hoch wie bei Francisturbinen und etwa vier bis fünfmal so hoch wie bei Durchströmturbinen. Daher kommt man, zumindest bei kleinen Maschinen, mit nur einer Übersetzungsstufe und entsprechend kleinen Riemenscheiben aus.

2.2 Anschaffungskosten

Zur Realisierung eines Flachriementriebes werden entsprechend stark bemessene Lagerungen vorausgesetzt neben den ohnehin vorhandenen Maschinenkomponenten nur wenige zusätzliche Bauteile benötigt. Sowohl Riemenscheiben als auch der Riemen selbst sind Standardteile. Eine einfache Möglichkeit der Laufradverstellung bei kleinen Kaplan turbinen geht von der Verfügbarkeit des freien Wellenendes aus. Hier wird über ein Axiallager die zur Verstellung der Laufradflügel nötige Kraft eingeleitet. Bei Verwendung eines Riemetriebes ist dies kein Problem. Ein aufgesetztes Zahnradgetriebe bietet diese Möglichkeit nur in Sonderausführung.

2.3 Laufende Kosten

Die einzige Wartungsarbeit besteht im Sauberhalten der Riemenoberfläche. Das geschieht durch gelegentliches Abreiben mit einem Tuch. Da sowohl die Generator als auch die Turbinenlager mit Fett geschmiert werden, entfällt jeglicher Umgang mit Schmierölen. Der Flachriemen als einziges Verschleißteil kann bei entsprechender Bemessung leicht zehn bis fünfzehn Jahre im Dauerbetrieb laufen.

2.4 Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad eines modernen Flachriementriebes mit einer Übersetzungsstufe liegt gemäß den Untersuchungen verschiedener unabhängiger Institute (z. B. Institut für Maschinenelemente TH Aachen, 1989) bei mindestens 98% und ist damit ebenso hoch oder höher als bei guten Zahnradgetrieben.

2.5 Drehzahlanpassung

Sollte es, z. B. wegen geänderter Fallhöhe, wünschenswert erscheinen, die Turbinendrehzahl nachträglich zu ändern, so ist dies ohne großen Aufwand durch Austausch der kleineren Riemenscheibe möglich.

3. Turbinenauswahl

Eine überschlägige Turbinenauswahl kann nach Abb. 8 vorgenommen werden. Die auf Abb. 6 rechts zu sehende kleinere Maschine wird bis zu einem Laufraddurchmesser von 90 cm hergestellt. Die größeren Turbinen entsprechen in ihrer Ausführung der in Abb. 6 links abgebildeten Maschine. Bei Fallhöhen über etwa 4 m muß man von der gehebten Bauweise abgehen, weil kavitationsfreier Betrieb auch bei Vollast der Turbine gewährleistet sein muß. Zwar wird auch hier die Maschine zur Ausnutzung der aufgezählten Vorteile in die Kammerdecke eingebaut, jedoch befindet sich der Oberwasserspiegel über der Kammerdecke.

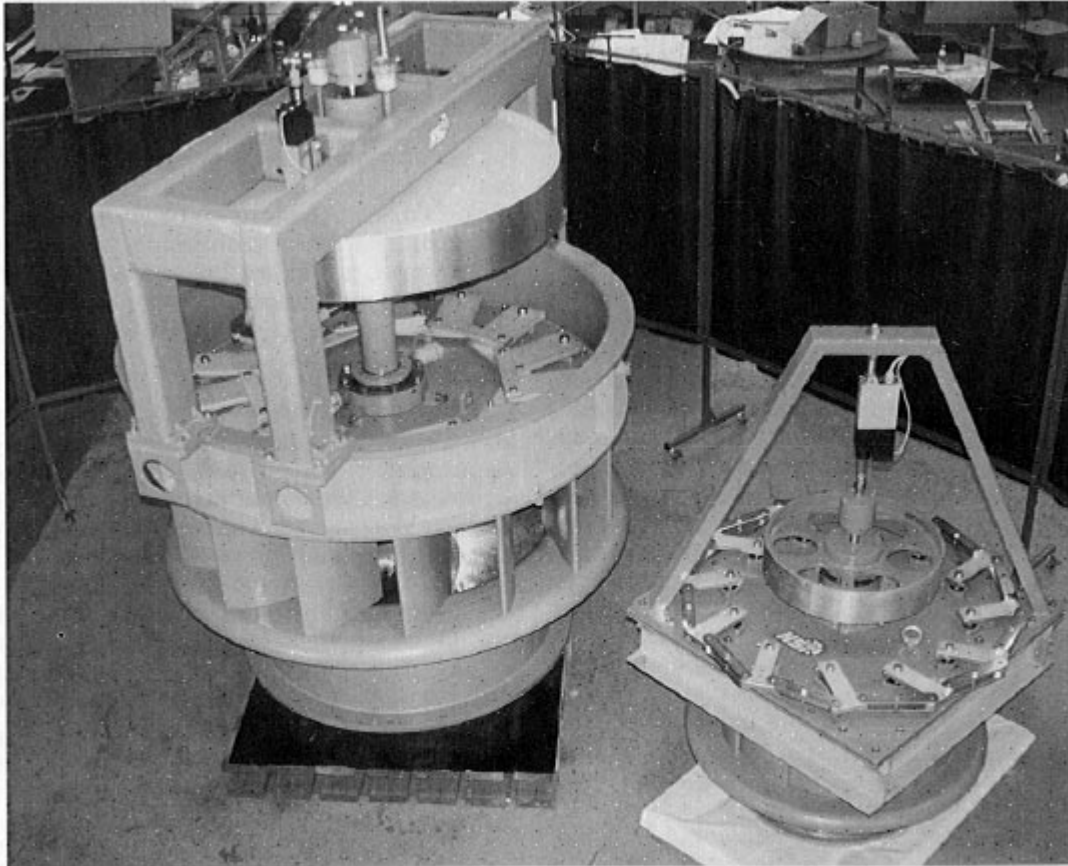


Abb. 6: Kaplan-turbinen in Kompaktausführung

Werkbild HSI



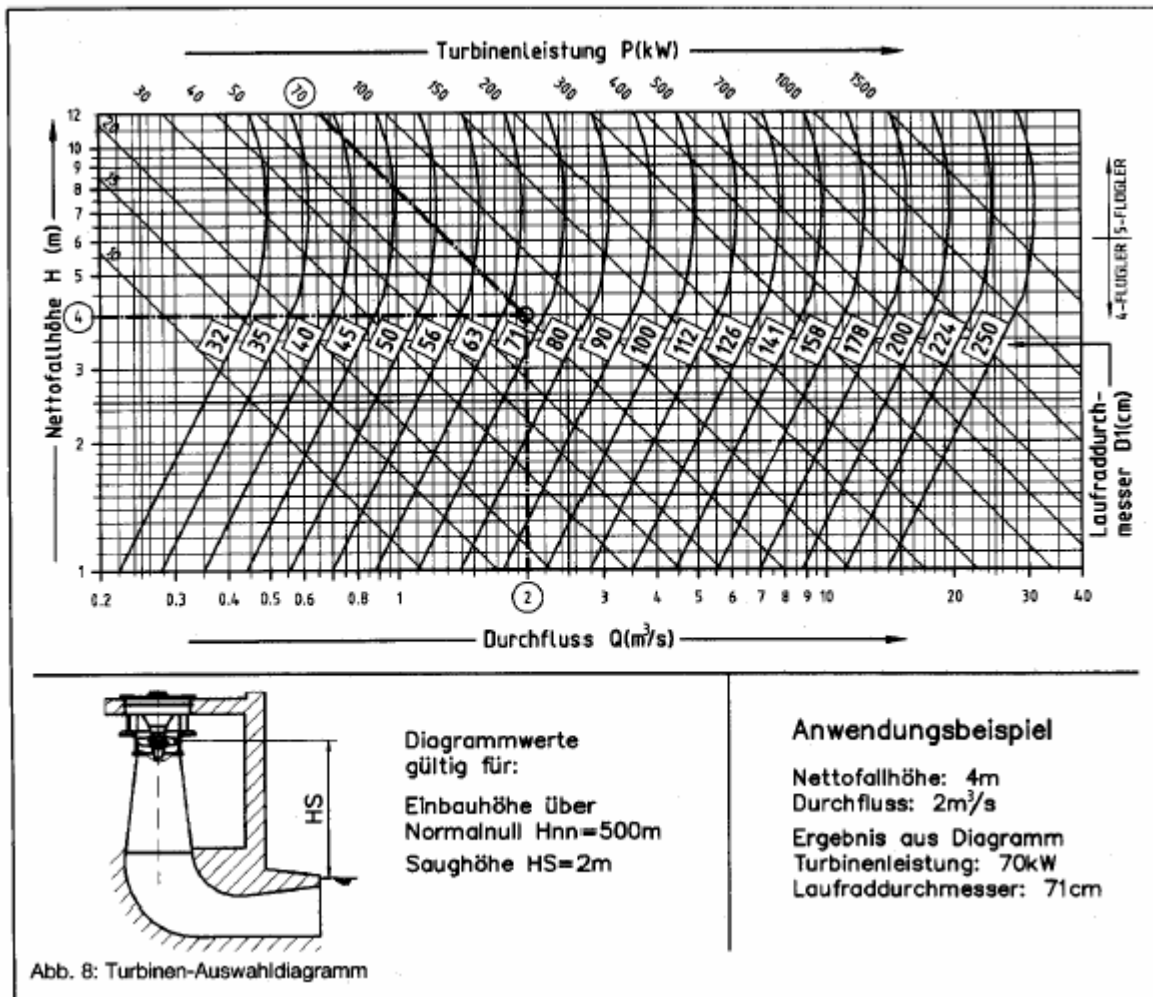
Abb. 7: Maschinenraum des Wasserkraftwerkes Schmütz, Mengen (H = 2,6 m, P = 30 kW)

Anschrift:
HSI HYDRO ENGINEERING GmbH
Hauptstrasse 48
54497 Morbach - Gonzerath

Kontakt:
Tel.: +49 (0) 6533-95818-0
Fax: +49 (0) 6533-95818-10
E-Mail: info@hsihydro.de
Internet: www.hsihydro.de

Geschäftsführer:
Peter Marx
Handelsregister:
Amtsgericht Wittlich HRB 40467
Ust - IdNr.: DE 113 558 318
Steuernummer: 43/678/0023/4

Bankverbindung:
Raiffeisenbank Rodenbach
BLZ: 506 636 99
Kto. - Nr.: 63193
IBAN: DE 68 5066 3699
BIC / SWIFT: GENODEF 1 RDB



4. Betrieb

4.1 Anfahren

Zum ersten Anfahren muß das unter der Heberdecke befindliche Luftpolster durch ein Ventil so weit entlassen werden, daß der Wasserspiegel in der Kammer etwa 5 cm über die Unterkante der Leitschaufeln reicht. Die Turbine wird ganz normal durch Öffnen des Leitapparates in Betrieb gesetzt. Die noch unter der Heberdecke verbliebene Luft wird durch die Turbine abgesaugt. Wird die Maschine abgestellt, die Kammer aber nicht entleert, kann ohne Verzögerung wieder angefahren werden, da der Wasserspiegel immer noch bis an die Kammerdecke reicht.

4.2 Spülvorgang

Ein Problem, mit dem es vor allem kleine Francis- und Kaplan turbinen zu tun haben, ist die Verstopfung zur Laubzeit. Kaplan turbinen werden zur Behebung dieses Problem es mit automatischen Spülprogrammen ausgestattet. Dabei schwenken die Laufschaufeln nacheinander in beide Extremstellungen, während das Leitrad leicht geöffnet bleibt. Bei einfach regulierten Kaplan turbinen ist dieses Verfahren weniger effektiv und verbraucht mehr Wasser, da hier der Leitapparat stets voll geöffnet bleibt.



Kleine Kaplan turbinen müssen konsequent auf möglichst geringen Wartungsaufwand hin konstruiert werden. Hierzu gehören u. a. folgende Merkmale:

- von außen zugängliche, selbstschmierende, wartungsfreie Lager an der Leitradregulierung,
- in der Seeschiffahrt erprobter Anstrich auf PU Basis,
- Wellenlager fettgeschmiert,
- kein Ölwechsel, da kompletter Maschinensatz ohne Öl,
- leichte Zugänglichkeit aller Baugruppen,
- Leitschaufelzapfen aus Chromstahl mit Bruchsicherung der Leitschaufeln durch Klemmhebel.

5. Schlußbetrachtung

Unbestreitbar sind derzeit Kaplan Rohrturbinen in ihren verschiedenen Bauformen sehr in Mode. Der konventionellen Kaplan turbine gebührt allerdings sicher ebensoviel Aufmerksamkeit. Gerade im Kleinwasserkraftsektor, wo oft auf vorhandene Bauwerke Rücksicht genommen werden muß, stellt sie häufig die sinnvollere Alternative dar. Die Kosten für eine Kaplan turbine liegen in jedem Fall um etwa 15% unter denen einer entsprechenden Rohrturbine. Im Hinblick auf die Einfachheit ihres Aufbaus und ihre Wartungsfreundlichkeit ist die beschriebene Lösung jeder Rohrturbine überlegen.