

Nachdruck aus:

Wasserkraft & Energie
Nr. 1/2007
Verlag Moritz Schäfer
Paulinenstraße 43
32756 Detmold

Anfahren einer geheberten Turbine

– bis die Luft raus ist!

O. Mitterfelner, Forstinning



Anfahren einer geheberten Turbine

– bis die Luft raus ist!

Bei modernen Kaplanturbinen wird bei niedrigen Stauhöhen der Leitapparat teilweise oder sogar ganz oberhalb des Wasserspiegels angeordnet, um das Fundament nicht so tief bauen zu müssen und um das Saugrohr strömungstechnisch günstig ausbilden zu können.

Man spricht von geheberten Anlagen, wenn der Leitapparat oberhalb des Wasserspiegels angeordnet ist, und das Wasser also zuerst „nach oben“ fließen muss, um in die Turbine zu gelangen. In Abb. 1 ist eine teilgeheberte Anlage zu sehen, der Leitapparat liegt teilweise oberhalb des normalen Pegels. Hier ist der Zustand eingezeichnet, dass der Pegel in der Turbinenkammer gleich dem Pegel Oberwasser entspricht.

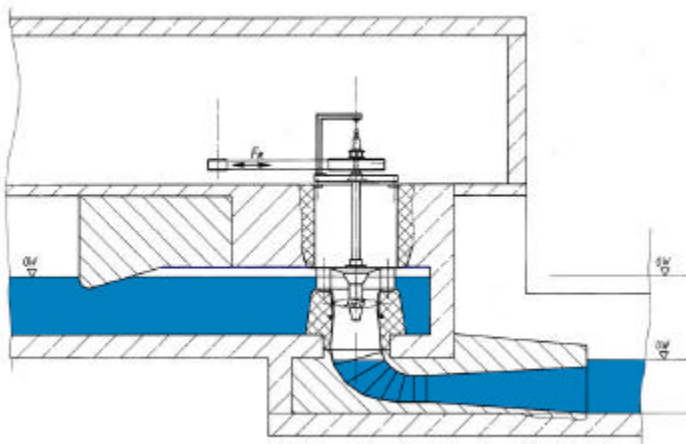


Abb.1: Teilgeheberte Anlage (Fa. Gugler Hydro Energy, Niederrannan / Österreich)

Der Leitapparat ist 40 cm hoch und im normalen Betrieb wird die Luft aus der Turbinenkammer über den Leitapparat ins Unterwasser mitgerissen. Der Pegel in der Turbinenkammer steht dann höher, und füllt diese bis oben Oberkante Leitapparat aus (im Bild mit der dunkelblauen Linie markiert). Voraussetzung ist, dass eine geschlossene Turbinenkammer und eine Wellendichtung den Lufteintritt verhindern. Die Fallhöhe und die Leistung wird durch die gehoberte Ausführung natürlich nicht größer.

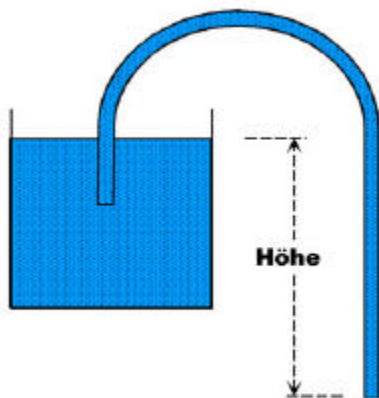


Abb.2: Prinzip des Saug-Hebers

Das gleiche Prinzip wird bei einem Saug-Heber verwendet, um z. B. aus einem Weinfass über einen Schlauch den Inhalt abzusaugen (Abb. 2). Man spricht auch vom „hebern“ oder „schlauchen“. Dazu saugt man die Flüssigkeit mit dem Mund an, bis sie über den Rand kommt und im Schlauch tiefer als der Flüssigkeitsspiegel im Gefäß ist. Die Schwerkraft im tieferen Teil des Schlauches „hebt“ den Wein über die Kante des Weinfasses. Ebenso verwendet man dieses Prinzip, um z. B. ein Aquarium zu entleeren, oder Benzin aus einem Tank anzusaugen. Die Höhe des oberen Teils ist – bis zu gewissen Grenzen - dabei nicht von Bedeutung, wichtig ist nur die Höhendifferenz.

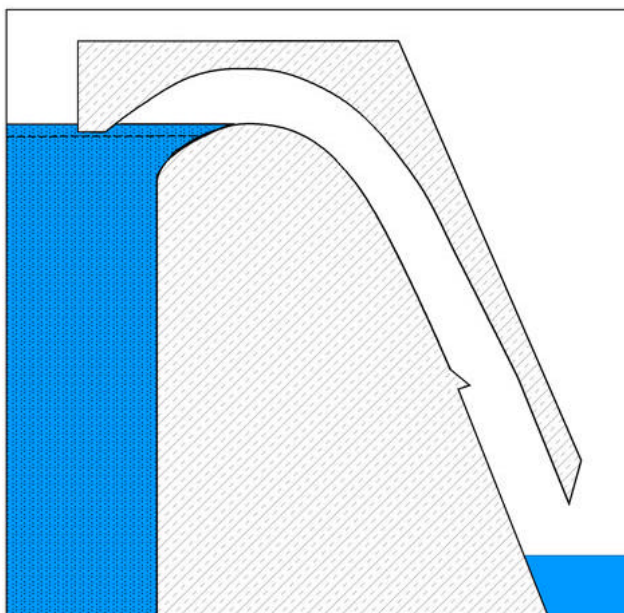


Abb.3: Gehebertes Wehr

Interessant ist auch der Einsatz eines gehebtes Wehrs (Abb. 3). Auf der linken Seite ist der Oberwasserspiegel dargestellt. Sobald er noch etwas ansteigt, wird die Wehrkrone überströmt, und bei genügender Wassermenge springt der Heber an, er reißt die Luft mit, was durch die Stufe im unteren Bereich begünstigt wird. Das Wasser wird sehr schnell abgesaugt, etwa entsprechend einer gleich großen Öffnung am unteren Ende des Wehres. Der Oberwasserspiegel wird rasch sinken. Sobald die gestrichelte Linie unterschritten wird, gelangt Luft in den Heber und die Funktion wird damit gestoppt. Da diese gehebten Wehre einen sehr starken Schwall erzeugen, führt man am Scheitelpunkt Luft über ein Drosselventil zu, um die „brutale“ Wirkung etwas abzuschwächen.

Ganz alltäglich wird das Heber- Prinzip in vielen Waschmaschinen angewandt, für das Einbringen des flüssigen Weichspülers. Das Fach wird bis zu einer Markierung, die die unter die Grenze des Hebers darstellt, mit dem Weichspüler aufgefüllt. Sobald der Weichspüler benötigt wird, öffnet sich ein Ventil und das Fach wird weiter mit Wasser gefüllt, der Heber „springt an“ und saugt den Weichspüler über die Kante in die Trommel der Waschmaschine.

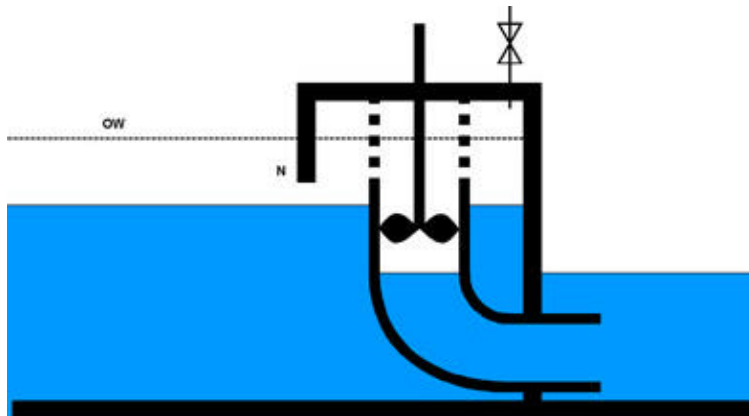


Abb.4: Prinzipdarstellung einer gehebten Turbine

Abb. 4 ist die Prinzipdarstellung einer teilgehebten Anlage. Der Leitapparat hat in der Vertikalen eine lichte Öffnung von 40 cm, wovon bei normalem Oberwasserpegel nur 20 cm im Wasser liegen, im Bild angedeutet durch die gestrichelte Linie. Die Nase „N“ soll das Einströmen von Luft verhindern, auch wenn der Rechen teilweise verlegt ist und der Pegel nach dem Rechen niedriger ist. Diese Nase ragt in dem Beispiel ca. 20 cm in das Oberwasser. Insbesondere bei Anlagen mit überströmter Spülrinne kann diese Nase konstruktionsbedingt sehr tief in das Oberwasser reichen.

Zurück zur Luft: Wenn die Anlage abgeschaltet wird und der Oberwasserpegel unter die Nase „N“ abfällt, gelangt Luft in die Kammer und der Pegel in der Kammer fällt entsprechend dem Oberwasserpegel. Im Saugrohr fällt der Pegel auf Unterwasser. Die schematische Darstellung zeigt den Oberwasserpegel auf der linken Seite, die Turbinenkammer mit Nase, den Propeller, darüber den Leitapparat, und das Saugrohr, das in das Unterwasser führt.

Wenn man jetzt die Turbine wieder anfahren möchte, so wird man den Oberwasserpegel durch Schließen der Schleuse wieder auf normalen oder sogar erhöhten Pegel bringen. In der Kammer bleibt aber, bedingt durch die Nase „N“,

weiter Luft, und auch im Saugrohr! (Abb. 5). Man beachte, dass der Propeller sich in der Luft befindet.

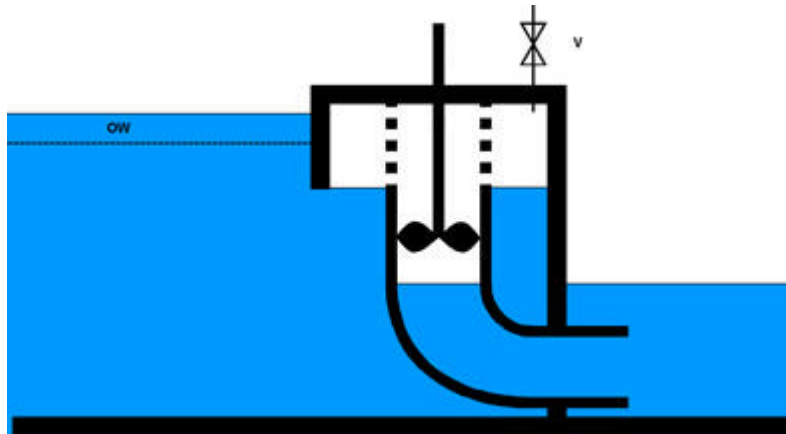


Abb.5: Luft in der Turbinenkammer

Hier etwas Theorie, die aber gern übersprungen werden kann:

Um diesen Zustand zu berechnen, wird das Gesetz von [Boyle-Mariotte](#), auch Boyle-Mariottesches Gesetz verwendet. Es sagt aus, dass der Druck „idealer“ Gase bei gleichbleibender Temperatur und gleichbleibender Gasmenge [umgekehrt proportional](#) zum Volumen ist. Oder anders gesagt: Druck mal Volumen sind konstant. Erhöht man den Druck auf ein Gaspaket, zieht sich dieses folglich zusammen. Dieses Gesetz wurde kurz hintereinander und unabhängig von zwei Physikern entdeckt, dem Engländer Robert Boyle (1662) und dem Franzosen Edme Mariotte (1676).

Die Gleichung lautet:

$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$. Wobei $p_1 \cdot V_1$ der Druck mal Volumen in der drucklosen Kammer ist, und $p_2 \cdot V_2$ der Druck mal Volumen unter Einwirkung des aufgestauten Wassers ist. Das Volumen V ergibt sich aus $x \cdot y \cdot h$. Da bei senkrechten Wänden x und y gleich sind, bleibt die Höhe h , und man kann die Formel umformen:

$p_1 \cdot h_1 = p_2 \cdot h_2$, oder umgestellt:

$h_2 = (p_1 \cdot h_1) / p_2$, oder $p_1 / p_2 \cdot h_1$

10 Meter Wassersäule entsprechen 1 bar, 40 cm entsprechen also 0,04 bar, 10,40 m also 1,04 bar. Der Luftdruck auf Meereshöhe ist 1 bar. Die Höhe der Luft in der Kammer beträgt in dem Beispiel 40cm Näherungsweise ergibt sich also folgende Rechnung:

$h_2 = 1 / 1,04 \cdot 40 = 38,5 \text{ cm}$

Zurück zur Praxis:

Nach diesem Beispiel ist der Wasserspiegel außen 40 cm angestiegen, in der Kammer aber nur ca. 1,5 cm. Der Leitapparat wird also in einer Höhe von nur 1,5 cm überströmt. Das ist sicher zu wenig, um die Turbine anlaufen zu lassen.

Für diesen Fall ist ein Ventil „V“ vorgesehen, um die Luft ablassen zu können. Die Luft in der Kammer wird herausgedrückt; der Pegel in der Kammer wird nach dem Gesetz der kommunizierenden Röhren genauso hoch stehen, wie der Oberwasserpegel. (Abb. 6). Meist wird das Ventil von Hand betätigt, in seltenen Fällen auch über einen Stellmotor, damit auch ein automatisches Anfahren möglich ist. Möglicherweise könnte man auch ein Rückschlagventil verwenden.

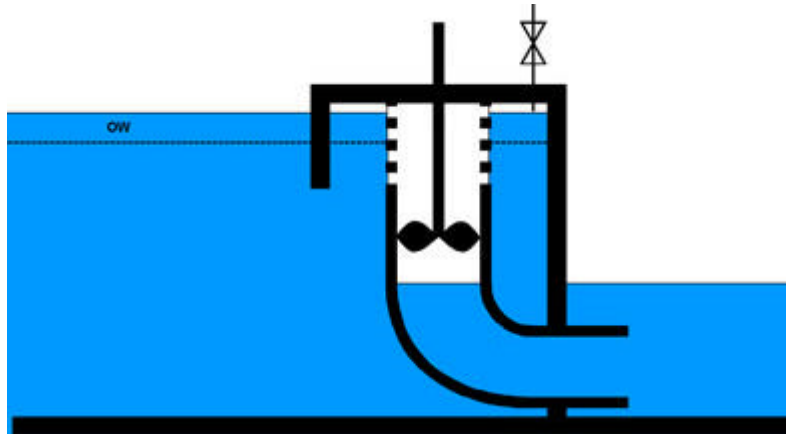


Abb.6: Die Luft wird mitgerissen

Für eine konkrete Anlage sollte man wissen um wie viele Zentimeter diese hebert ist um alle Luft aus der Turbinenkammer drücken zu können.

Man wird zum Anfahren jetzt den Leitapparat öffnen, die Turbine kommt auf Drehzahl und die noch vorhandene Luft wird vom Wasserstrom mitgerissen und erscheint im Unterwasser. Die Luftblasen steigen dabei im Wasser etwa mit 0,5 m/s auf, abhängig von der Größe der Luftblasen. Wenn der Querschnitt des Saugrohrs an der senkrechten Stelle z. B. 1,5 m² beträgt, so müssen ca. 0,75 m³/s Wasser fließen, um die Luftblasen mitzureißen, und aus dem Saugrohr zu befördern.

Betrachtet man den Leitapparat als kreisförmigen Überfall, so kann man überschlagsmäßig die Wassermenge nach der Formel am freien (vollkommenen) Überfall von Poleni berechnen.

$$Q = 2 / 3 * u * b * (2 * g *) 0,5 * h 1,5$$

Dazu ist die Länge des Überfalls (b) und die Höhe des Wassers (h) über dem Überfall notwendig.

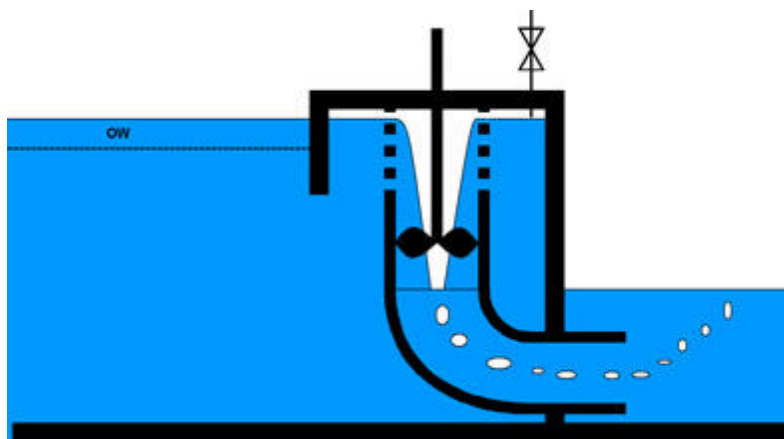


Abb.7: Die Luft wird mitgerissen

Bei einem Durchmesser von 1,12 m ergibt sich ein Umfang von 3,5 m. Vernachlässigt man den Strömungswiderstand durch den Leitapparat, so muss entsprechend der Formel von [POLENI](#) über eine gut ausgerundete Kante von 3,5 m Länge das Wasser mit einer Höhe von ca. 25 cm strömen, damit die oben genannte Wassermenge erreicht wird. Die untere Kante des Leitapparates muss in diesem Beispiel also mindestens 25 cm überströmt werden.

In der Praxis werden beim Anfahren einer geheberten, doppelt geregelten Kaplan-turbine verschiedenen Möglichkeiten angewendet. Das Laufrad wird zuerst wenig, z. B. 20%, geöffnet, also der Propeller flach gestellt, der Leitapparat wird anschließend geöffnet, die Turbine auf Nenndrehzahl gebracht, die restliche Luft wird mitgerissen und der normale luftlose Zustand in der Turbinenkammer ist wieder hergestellt (Abb. 8).

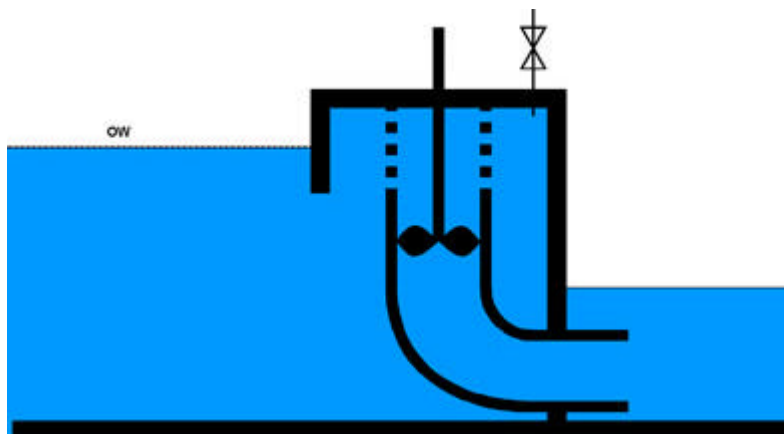


Abb.8: Normalzustand ohne Luft in

der Turbinenkammer

Manche Anlagen werden auch gestartet, indem das Laufrad auf volle Öffnung gebracht wird, also ganz steil gestellt wird. Anschließend wird – wie schon beschrieben – der Leitapparat geöffnet und die Turbine auf normale Drehzahl gebracht. Welches Verfahren besser geeignet ist hängt von den baulichen Gegebenheiten ab, z. B. ob eine Einlaufspirale vorhanden ist, und sollte am besten getestet werden.

Nur bei kleinen Anlagen kann man auch folgendes Verfahren anwenden, unter der Voraussetzung, dass der Propeller sich nicht im Unterwasser befindet: Das Laufrad

wird leicht geöffnet, ca. 20%. Der Hauptschütz wird eingeschaltet, so dass der Generator als Motor läuft, und wie bei einem Spülvorgang die Turbine antreibt. Bevor die Rückstromüberwachung auslöst, muss der Leitapparat auf ca. 50% geöffnet werden. Das Wasser strömt auf den Propeller, die Luft wird nach unten herausgedrückt, und der Wasserdruck erzeugt Leistung.

Welches Verfahren sinnvollerweise und ohne die Gefahr von Beschädigung angewendet werden kann, ist von den technischen Gegebenheiten abhängig.

Bei voll geheberten Anlagen, bei denen also der Leitapparat ganz oberhalb des Oberwasserpegels liegt, kann auch dieses Verfahren nicht immer den gewünschten Erfolg bringen. Voll geheberte Anlagen werden nur bei sehr niedrigen Stauhöhen unter 1,80 Meter angewendet, siehe Abb. 9. Bei solchen Anlagen kann man die Luft nicht mehr aus der Kammer drücken, sondern muss sie absaugen und damit den Pegel in der Kammer anheben, was durch eine Luftpumpe erfolgen kann. Der benötigte Luftdruck ist dabei recht gering, er entspricht in dem Beispiel nur etwa 180 cm Wassersäule. Bei diesen voll geheberten Anlagen verzichtet man meist auf den Leitapparat, es ist nur das Laufrad verstellbar. Zum Abschalten wird einfach ein Luftventil geöffnet, der Pegel fällt unterhalb die Unterkante Turbineneintritt, und die Turbine ist ohne Leistung.

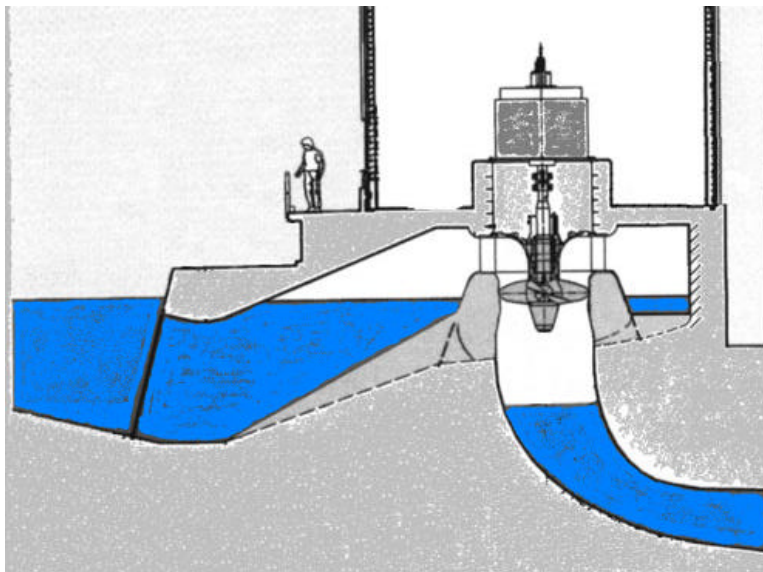


Abb.9: Vollgeheberte Anlage

Für Kaplan-Turbinen sind teilgeheberte Anlagen bei niedrigen Stauhöhen sinnvoll, um Kosten zu sparen und ein strömungstechnisch günstiges Saugrohr realisieren zu können. Das untere Führungslager liegt nicht im Wasser, und hat dadurch wahrscheinlich eine höhere Lebensdauer. Da kein Überdruck an der Turbinenwelle herrscht, kann auch kein Leckwasser eindringen. Allerdings sind beim Anfahren einige Punkte zu beachten, die an Hand der Bilder leicht verständlich sind.

www.srw-hydro.de