

Einfache, robuste Technik

Autor(en): **Tannò, Gian-Andri**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **138 (2012)**

Heft 29-30: **Kleinwasserkraft**

PDF erstellt am: **26.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-283934>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

EINFACHE, ROBUSTE TECHNIK

Die Technik für die Nutzung der Kleinwasserkraft ist fast so anspruchsvoll wie jene grosser Kraftwerksanlagen. Im Vordergrund stehen die Steigerung der Effizienz und die Nutzung kleiner Potenziale unter grösstmöglicher Schonung von Natur und Landschaft. Dafür gibt es heute vielfältige Lösungen, die auch traditionelle Technologien einbeziehen.

Praktisch jede Wasserkraftanlage ist ein Unikat, das gilt für Kleinwasserkraftwerke nicht weniger als für grosse Anlagen. Grosse und kleine hydraulische Anlagen lassen sich aufgrund ihrer Merkmale und Funktionen nach verschiedenen Kriterien unterscheiden:

- Je nach dem genutzten Gefälle werden Wasserkraftanlagen generell in Nieder-, Mittel- und Hochdruckanlagen unterteilt. Anlagen mit sehr kleinem Gefälle, wie es für viele Kleinwasserkraftwerke typisch ist, werden auch als Niederdruckkraftwerke bezeichnet.
- Viele Wasserkraftanlagen können, im Gegensatz zu anderen Energieproduzenten, Wasser und damit potenzielle Energie auch über längere Zeiträume verlustfrei speichern. Je nachdem, ob ein Werk dazu eingerichtet ist oder ob es das zufließende Wasser laufend verarbeitet, wird zwischen Laufkraftwerken und Speicheranlagen unterschieden.
- Bei Ausleitanlagen wird ein Teil des zufließenden Wassers aus dem Flussgerinne in einen Kanal abgeleitet, turbinert und weiter flussabwärts ins Gewässer zurückgegeben; Wehranlagen hingegen stauen und nutzen den Wasserlauf in seinem ursprünglichen Gerinne, hier gibt es keine Ausleit- oder Restwasserstrecke.
- Für die Verbraucher bzw. Abnehmer von elektrischer Energie ist die Art der Energieabgabe eines Kleinkraftwerks relevant: Netzparallelanlagen sind in das übergeordnete Verbundnetz eingebunden und stehen mit diesem im permanenten Energieaustausch, was für die vergütete Abgabe von überschüssiger Energie ins Netz entscheidend ist. Einige Kleinwasserkraftwerke werden jedoch aus geografischen oder historischen Gründen als Inselkraftwerk ohne Verbindung zum Netz betrieben.
- Kleinwasserkraftanlagen sind häufig als Dotieranlagen in grössere Wasserkraftanlagen eingegliedert, um das für die Energiegewinnung «verlorene» Dotierwasser zu nutzen. Dieser in den Konzessionsbedingungen festgelegte Abfluss wird permanent ins Gerinne – beispielsweise am Fuss einer Staumauer – abgegeben.
- Aus höheren Lagen in Siedlungen zufließendes Trinkwasser – und in einzelnen Fällen auch Abwasser – wird ausschliesslich im Rahmen der Kleinwasserkraft genutzt. Bemerkenswert ist die Anlage der Stadt St. Gallen, die seit über 100 Jahren im Turbinenhaus an der Steinach mit Abwasser jährlich 1 GWh elektrische Energie produziert. Gegenwärtig ist eine neue Abwasserleitung zum Klärwerk am Bodensee im Bau, die den baldigen Ersatz der bestehenden Anlage durch ein leistungsfähigeres Abwasserkraftwerk ermöglicht.

TECHNIK: TRADITION UND INNOVATION

Kleine und grosse Wasserkraftwerke bestehen grundsätzlich aus den gleichen Grundkomponenten: Fassung, Triebwasserweg (Kanal, Stollen, Druckleitung), Zentrale, Netzeinspeisung mit Schalteinrichtungen sowie Einrichtungen zur Rückgabe des Wassers. Hohe Staumauern und ausgedehnte Stollensysteme kommen bei der Kleinwasserkraft (KWK) hingegen nicht vor. Ihre Komponenten sind meist kleiner und bautechnisch weniger anspruchsvoll. Zudem sind KWK-Anlagen im Netzparallelbetrieb nicht systemrelevant, ein Ausfall hat keine grösseren Konsequenzen für die Versorgungssicherheit. Dies erlaubt vor allem bei den elektrischen Einrichtungen technische Vereinfachungen.



01



02

KWK-Anlagen sind nicht einfach herunterskalierte Grosskraftwerke, sondern haben ihre eigenen Technologien. Einerseits können günstige Serienprodukte aus der Industrie eingesetzt werden, wie etwa Druckrohrsysteme und Armaturen aus der Trink- oder Abwassertechnik, was bei Grosskraftwerken kaum der Fall ist. Andererseits werden Komponenten wie beispielsweise Turbinenteile nach Baureihen und nicht massgeschneidert angefertigt. Gewisse Techniken, insbesondere bestimmte Turbinentypen oder die weiter unten erwähnten Coanda-Rechen, sind grundsätzlich nur für kleine Auslegungen geeignet.

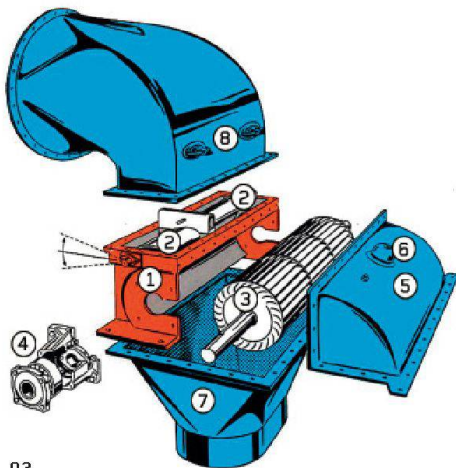
TURBINEN, SCHNECKEN UND WASSERRÄDER

Die in der Wasserkraftnutzung am weitesten verbreiteten Turbinentypen – Pelton-, Francis- und Kaplan- turbinen (inneres Titelbild, Abb. 4 + 5) – werden auch in der Kleinwasserkraftnutzung verwendet. Weitere Turbinentypen sind ausschliesslich für den KWK-Bereich ausgelegt:

- Durchströmturbinen (Abb. 3) sind in einem breiten Einsatzbereich verwendbar, einfach und robust gebaut und weisen einen konstanten Wirkungsgrad über einen breiten Lastbereich auf. Allerdings sind sie relativ voluminös und drehen langsam, sodass ein Getriebe für den Antrieb des Generators erforderlich sein kann.
- Diagonalturbinen (Deriazturbinen) sind eine Mischform aus Kaplan- und Francisturbine (Abb. 6). Im Gegensatz zu diesen sind sie doppelreguliert mit unabhängig verstellbaren Leit- und Laufradschaufeln. Das ermöglicht hohe Wirkungsgrade auch im Teillastbereich, was unter anderem bei geringem Wasserangebot wichtig ist.
- Rückwärts laufende Pumpen wirken als Turbinen. Ein anschauliches Beispiel sind die Wasserkraftschnecken (rückwärtslaufende Schneckenpumpe, Abb. 1). In derartige Anlagen werden Standardprodukte aus der Trinkwasser- und Klärtechnik eingesetzt.
- Die einem schräg gestellten Ventilator ähnlichen VLH-Turbinen (VLH = very low head; sehr kleines Gefälle) nutzen grosse Wassermengen bei geringsten Gefällen (Abb. 7). Typische Anwendungen sind bei Schleusen kleiner Schifffahrtskanäle zu finden.
- Vor allem für den Einbau in Kanälen eignen sich die «beweglichen Kraftwerke»: In einer kompakten Einheit sind der Einlaufrechen, eine gelenkig gelagerte Rohrturbine und eine Kammer für die elektrischen Einrichtungen zusammengefasst. Normalerweise sind diese kompakten Kraftwerke gleichzeitig über- und unterströmt. Durch Anheben des unteren

01 Schlauchwehr und Wasserkraftschnecke des Kleinwasserkraftwerks Hirschtal an der Suhre AG. Installierte Leistung 100 kW, Jahresproduktion 420 000 kWh, versorgt ca. 100 Haushalte (Fotos 1+2: Hannes Henz)

02 Das Wasserwirbelkraftwerk Schöffland an der Suhre AG ist das erste dieser Bauart in der Schweiz. Die Leistung beträgt 10–15 kW, was voraussichtlich die Versorgung einiger Haushalte ermöglicht



03

03 Aufbau einer zweizelligen Durchströmturbine:

1 Gehäuse, 2 Leitapparat, 3 Laufrad,
4 Hauptlager, 5 Eckkasten, 6 Belüftungsventil,
7 Saugrohr, 8 Übergangsstück

(Zeichnung: Ossberger GmbH + Co)

Teils erhöht sich die unterströmende Wassermenge, und Geschiebe, das bei KWK-Anlagen häufig ein Problem ist, kann das Kraftwerk leichter passieren.

- In Gravitationswirbelkraftwerken (Abb. 2) erzeugt tangential in ein Rundbecken strömendes Wasser (ähnlich wie beim Entleeren einer Badewanne) einen Wirbel, der über einen Rotor einen Generator antreibt. Die Anlagen sind einfach aufgebaut, ihre Wirkungsgrade sind allerdings noch relativ tief.

Neben weiteren, wenig verbreiteten Turbinentypen werden im aktuellen KWK-Bereich nicht zuletzt auch herkömmliche Wasserräder eingesetzt. Diese arbeiten, wie viele für die KWK-Nutzung geeignete moderne Turbinen, bei tiefen Drehzahlen, was für die Erzeugung elektrischer Energie mittels Generatoren eine ungünstige Voraussetzung ist.

TRANSMISSIONSRIEMEN UND PERMANENTGENERATOREN

Mit abnehmender Drehzahl nimmt die erforderliche Anzahl Polpaare eines Generators zu, was die Maschinen gross, schwer und teuer macht. Deshalb werden häufig Übersetzungsgetriebe für höhere Drehzahlen eingebaut (siehe inneres Titelbild). Für kleine Leistungen bis zu einigen hundert Kilowatt bewähren sich auch heute die altbekannten Transmissionsriemen zum Antrieb des Generators. Seit einigen Jahren werden bei langsam drehenden Turbinen ebenfalls die in Windkraftanlagen bewährten permanentmagneterregten Generatoren eingebaut (Abb. 3 im vorhergehenden Beitrag). Sie sind leise und effizient und haben einen geringen Kühlbedarf. Da bei diesen Maschinen weder Spannung noch Phasenwinkel verstellbar sind, benötigen sie jedoch stabile Netze für die Abgabe der Energie.

GUSSEISEN ODER KUNSTSTOFF ERSETZEN STAHLDRUCKLEITUNGEN

In kleinen Mittel- und Hochdruckanlagen gelangt das Triebwasser durch erdverlegte oder offen geführte Druckleitungen zu den Turbinen. Bei diesen Anlagekomponenten haben in den letzten Jahren neue konstruktive Lösungen und Werkstoffe die herkömmlichen Stahlrohre teilweise abgelöst. Letztere sind weiterhin die Standardlösung für grosse Leitungen mit hohen Drücken. Im KWK-Hochdruckbereich haben sich hingegen Steckmuffenrohre aus duktilem Gusseisen etabliert, bei denen längskraftschlüssige Rohrkupplungen den Verzicht auf Widerlager in den Knickpunkten ermöglichen. Bei mittleren Drücken und grösseren Durchmessern werden oft glasfaserverstärkte Kunststoffrohre (GFK) eingebaut. Selten und nur unter besonderen Bedingungen werden auch heute Holzdaubenrohre eingesetzt.

**TRINKWASSERKRAFTWERK
METTENTAL-SACHSELN OW**

Trinkwasserkraftwerke nutzen überschüssigen Druck in Trinkwassersystemen, wobei in der Regel die vorhandenen Leitungen genutzt werden und das Trinkwasser nach der Turbinierung ohne Qualitätseinbusse verwendbar ist. In seltenen Fällen wird in den Verwurf geleitetes Quell- oder Überschusswasser über separate Leitungen turbinieren. Trinkwasserkraftwerke können dank Synergien oft sehr günstig errichtet werden. Trinkwasserhygiene und Versorgungssicherheit haben dabei immer oberste Priorität. Im Hinblick auf einen eventuellen Ausfall der Turbinen müssen deshalb Bypass- und Energiedissipationseinrichtungen (zur Aufrechterhaltung der Versorgung) vorgesehen werden. Beim 2004 gebauten Trinkwasserkraftwerk Mettental-Sachseln wurden die in den 1930er-Jahren verlegten Eternitrohre von den auf 1500 m ü. M. gelegenen Quellen unterhalb der Mettentalalp zum Reservoir Obflue auf 575 m ü. M. samt den Druckbrechschächten durch eine durchgehende Druckleitung aus Duktulgussrohren ersetzt. Im neu erstellten Maschinenhaus steht eine Pelton-turbine,

in der bei einem Druck von 90 bar ein knapp 2 cm dicker Wasserstrahl mit fast 500 km/h auf die Becher des Pelton-Laufrads mit knapp 70 cm Durchmesser prallt und einen Synchrongenerator mit 300 kW Leistung antreibt. Damit erzeugt die Wasserversorgung jährlich über 1 GWh umweltfreundlichen Strom.

**NIEDERSTDRUCKKRAFTWERK ZWI-
SCHEN BRIENZER- UND THUNERSEE**

Da die hydraulische Leistung proportional zum Gefälle ist, weisen Niederdruckanlagen oft nur kleine Leistungen auf und fallen in die Kategorie Kleinwasserkraft. Die Durchflussmengen sind dabei beträchtlich, die Turbinen und übrigen wasserführenden Teile weisen grosse Querschnitte auf. Entsprechend den Wassermengen fallen oft grosse Frachten von Schwemmgut an, das von den Turbinen ferngehalten und entsorgt werden muss. Dazu kommt häufig noch der aufwendige Unterhalt langer Ober- und Unterwasserkanäle. Wegen dieser ungünstigen Voraussetzungen weisen Niederdruckanlagen die höchsten Gestehungskosten aus und werden heute in der Schweiz

nicht mehr von Grund auf neu gebaut. Modernisierungen oder Erweiterungen bestehender Anlagen werden jedoch häufig vorgenommen, wie im letzten Jahr an der Aare bei Unterseen zwischen Brienz- und Thunersee.

Nach 75 Betriebsjahren hatten die beiden Propellerturbinen des Kleinkraftwerks «Mühle Burgholz» das Ende ihrer technischen Lebensdauer erreicht. Während einer mehrmonatigen Umbauphase wurden sie durch zwei moderne, doppeltregulierte Kaplan-turbinen mit permanentmagneterregten Synchrongeneratoren ersetzt, die vollautomatisch und fernüberwacht gefahren werden. Gleichzeitig wurde die Rechenanlage erneuert und mit einem vollautomatischen Rechenreiniger ausgestattet, der rund um die Uhr das zum Teil sehr grobe Schwemmgut in eine Transportmulde befördert. Die Anwohner schätzen die langsam drehenden, leisen Maschinen, die jährlich 2,2 GWh sauberen Aarestrom produzieren. Bei gleicher Leistung von 300 kW wie das Hochdruck-Trinkwasserkraftwerk Mettental ist das Gefälle der Aare mit 1,8 m 500 Mal kleiner, die Ausbaumassermenge von 21 m³/s ist dafür 500 Mal grösser.



04



05



06



07



08



09

04 Laufrad der Pelton-turbine des Kleinkraftwerks Seealpee Wasserauen
(Fotos 4–6: ITECO)

05 Laufrad der Kaplan-turbine des Kleinkraftwerks Mühle Burgholz

06 Laufrad und Spiralgehäuse der Diagonal-turbine des Kleinkraftwerks Trümpfer

07 Versuchsanordnung einer VLH-Turbine (unter dem Wasserspiegel) bei Stillstand
(Foto: Stellba Hydro AG)

08 Detail eines Coanda-Rechens mit zurückgehaltenen Schwebeteilchen (Fotos 8+9: ITECO)

09 Fischschonende Rechenstäbe mit abgerundeten PE-Profilen als Kantenschutz vor dem Einbau

RECHEN, DIE FISCHE SCHONEN, UND FLEXIBLE WEHRE

Das Triebwasser von kleinen Mittel- und Hochdruckanlagen wird meist mit einer aus einem Wehr und einem Rechen bestehenden Wasserfassung aus einem Fließgewässer entnommen. Insbesondere die Rechen sind oft für Fische lebensgefährlich. Mit neuen, für Bewässerungsanlagen entwickelten Techniken können Wasserkraftwerke fisch- und unterhaltsfreundlicher ausgelegt werden.

Beim sogenannten Coanda-Rechen fließt das Wasser über horizontal angeordnete, scharfkantige Dreiecksleisten mit 1 mm Spaltweite, wobei Feststoffe grösstenteils ausgeschieden werden und die Fische über den Rechen gleiten (Abb. 8). Die Durchflussrate ist allerdings beschränkt, und die Rechen müssen vor grobem Geschiebetrieb geschützt werden. Auch konventionelle Rechen mit kleinen Stababständen halten Fische vom Triebwassersystem fern. Horizontal angeordnete Rechenstäbe sowie vorne abgerundete oder mit PE-Rundprofilen versehene Rechenstäbe reduzieren das Verletzungsrisiko der Fische ebenfalls (Abb. 9). Das im Rechen angesammelte Geschwemmel wird von einem Horizontalräumer zu einer Rinne befördert, die auch als Fischrutsche ausgebildet ist.

Aufbau und Gestaltung von Wehranlage hängen vom erforderlichen Aufstau, der Geometrie der Flusssohle sowie den Hochwasserabflussmengen ab. Wehre können auch bei Kleinwasserkraftwerken beträchtliche Dimensionen annehmen. Häufig regulieren Stahlklappen den Abfluss über das Wehr. Eine Alternative dazu sind Schlauchwehre, bei denen ein luft- oder wassergefüllter, bis drei Meter dicker Gummischlauch quer über das Gewässer auf einem Betonriegel befestigt wird (Abb. 1). Für das Passieren von Hochwasser oder Geschiebe entleert sich der Schlauch, der durch den Wasserdruck vor dem Wehr gesteuert wird, automatisch und gibt so den Durchflussquerschnitt frei.

Gian-Andri Tannò, dipl. Kulturing. ETHZ, ITECO Ingenieurunternehmung AG, gtanno@iteco.ch