

Kleinwasserkraft

Modul II Technische Aspekte



Auftraggeber

EnergieSchweiz, 3003 Bern

Auftragnehmer

Ingenieurgemeinschaft Hycon – Entegra
c/o HYCON GmbH, Obergasse 2, 8162 Steinmaur, www.hycon.ch – www.entegra.ch

Autor(en)

Thomas Gross, E-Mail thomas.gross@hycon.ch, +41 79 770 94 45

Mit fachlicher Unterstützung durch Mitarbeitende der Entegra Wasserkraft AG

Koordination der Gesamtdokumentation Kleinwasserkraft

Skat Consulting AG, www.skat.ch, +41 71 228 54 54

Dr. Hedi Feibel, Martin Bölli

Begleitpersonen

Benno Frauchiger und Regula Petersen, Bundesamt für Energie BFE

Überarbeitete Version vom Oktober 2020**Anmerkungen**

- Da sich die Rahmenbedingungen für die Kleinwasserkraft (wie auch die Internet-Links) regelmässig ändern, wird empfohlen auch die Website des BFE zu konsultieren.
- Begriffe für Personen und Personengruppen schliessen Frauen und Männer gleichermassen ein.

Inhaltsverzeichnis

1.	Grundlagen und Definitionen	6
1.1	Ziele der Gesamtdokumentation.....	6
1.2	Einführung	6
1.3	Die Prinzip der Wasserkraftnutzung.....	6
2.	Anlagekomponenten und -typen.....	8
2.1	Technologie der Kleinwasserkraftwerke.....	8
2.2	Anlageteile eines Kleinwasserkraftwerkes.....	10
2.3	Insel- und Netzbetrieb	22
2.4	Technische Innovationen	23
3.	Kleinwasserkraftwerke als Nebennutzungsanlagen.....	28
3.1	Energie in Trinkwasseranlagen.....	28
3.2	Energie in Abwasseranlagen	30
3.3	Energie in Beschneiungsanlagen.....	30
4.	Planung / Planungsprozess.....	31
4.1	Projekt-Life-Cycle und Planungsprozess	31
4.2	Planung der Anlage	34
4.3	Spezialfall bestehende Anlage	40
4.4	Ausschreibung, Lieferung, Abnahme und Inbetriebnahme.....	42
5.	Betrieb und Wartung	50
5.1	Praxis von Betrieb und Wartung	50
5.2	Arbeitssicherheit.....	52
5.3	Hochwasserschutz	53
6.	Technische Umsetzung ökologischer Massnahmen	54
6.1	Sedimentation und Schwemmgut.....	54
6.2	Fischgängigkeit.....	55
6.3	Schwall und Sunk	59
6.4	Restwasser	60
7.	Quellenverzeichnis	62

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1	Allgemeine Anordnung eines Kleinwasserkraftwerkes, [3]	8
Abbildung 2-2	Schema Ausleitkraftwerk, [4]	9
Abbildung 2-3	Schema Durchlaufkraftwerk, [4]	9
Abbildung 2-4	Seitenentnahme (links) mit beweglichem Segmentwehr	11
Abbildung 2-5	Tirolerwehr mit Fischaufstieg (rechtsufrig) und Spülschütz (linksufrig), [6]	11
Abbildung 2-6	Schlauchwehr KW Juramill, Laufen (Birs).....	11
Abbildung 2-7	Streichwehr zur Abflussregulierung	12
Abbildung 2-8	Horizontalrechen (links im Bild) beim KW Hämmerli.....	13
Abbildung 2-9	Prinzipskizze eines Coanda Rechens, [9]	13
Abbildung 2-10	Wirkungsprinzip eines Coanda Rechens, [9].....	13
Abbildung 2-11	Lochblechrechen mit kettengetriebenem Horizontalreiniger	14
Abbildung 2-12	Einlaufbauwerk mit Becken am Übergang von der Freispiegelleitung in eine Druckleitung, [8].....	15
Abbildung 2-13	Labyrinthwehr, [11]	15
Abbildung 2-14	Klaviertastenwehr, [11].....	15
Abbildung 2-15	Oberwasserbecken mit Klaviertastenwehr als Entlastungswehr	16
Abbildung 2-16	Die gebräuchlichsten Turbinentypen, [4].....	18
Abbildung 2-17	Modellierung der Strömung in einer Diagonal-Axialströmungsturbinen [12].....	18
Abbildung 2-18	Anwendungsbereich von Turbinen [13]	19
Abbildung 2-19	Wirkungsgrad in Funktion des Volumenstroms. (Normiert auf ein Maximum von 90%). [14]	20
Abbildung 2-20	Wasserkraftschnecke und Wasserrad	20
Abbildung 2-21	Prinzipschema eines Drehrohr-Doppelwasserkraftschnecke, [17].....	23
Abbildung 2-22	Prinzip der Regelernergie, [18]	24
Abbildung 2-23	Prinzipschema REVITA Gegendruckturbine, [20]	25
Abbildung 2-24	KWK-Zentrale Fällenden (CH) mit einer Pelton-Gegendruckturbine (17 kW) [21]	25
Abbildung 3-1	Integration eines Trinkwasserkraftwerks in die Verbindungsleitung zweier Reservoirs, [27].....	29
Abbildung 3-2	Nutzung des Quellwasserzuflusses zur Energiegewinnung, [27].....	29
Abbildung 3-3	Stromerzeugung am Druckbrecher zwischen zwei Zonen, [27]	29
Abbildung 3-4	Schema zur Nutzung von Abwässern zur Stromerzeugung, [26]	30
Abbildung 3-5	Schema einer in eine Beschneiungsanlage integrierte Wasserkraftanlage.....	30

Abbildung 4-1	Schlüsselressourcen eines KWK-Projekts, [31]	32
Abbildung 4-2	Relevante Themen bei der Planung eines Kleinwasserkraftwerkes.....	34
Abbildung 4-3	Ausschnitt Thur GIS Viewer "Grundkarte", [35].....	35
Abbildung 4-4	Ausschnitt Thur GIS Viewer "Grundkarte" - nur Höhenlinien, [35].....	35
Abbildung 4-5	Hydrograph und Dauerabflusskurve – vereinfacht aus Monatsmittelwerten abgeleitet (normalerweise werden Tagesmittelwerte verwendet).....	36
Abbildung 4-6	Hydrograph und Dauerabflusskurve für die Töss in Neftenbach 2015, [36]	36
Abbildung 4-7	Abflussregimes für fünf repräsentative Einzugsgebiete aus verschiedenen Regionen der Schweiz für die Periode 1984 bis 2005, [37]	37
Abbildung 4-8	Leistungsplan für ein Kraftwerk	38
Abbildung 4-9	Systematisierung von Projektleistungen, [51]	46
Abbildung 4-10	Kostengenaugigkeit, in Abhängigkeit der SIA Teilphase, [33].....	47
Abbildung 4-11	Ablauf nach Obligationenrecht [52]:	48
Abbildung 4-12	Ablauf nach SIA 118 [45].....	48
Abbildung 5-1	Fernwartung eines KWK	51
Abbildung 6-1	Umsetzung am KW Mühlau, [60].....	54
Abbildung 6-2	Technische Aufstiegsanlage mit aufeinanderfolgenden Becken, [65]	56
Abbildung 6-3	Untersuchung des Fischverhaltens vor einem horizontalen Stabgitter [66]	58
Abbildung 6-4	Horizontalrechen und Fischbypass am KW Hämmerli	58
Abbildung 6-5	Wichtige Kennwerte des Schwallbetriebes, dargestellt anhand der Abfluss- bzw. Pegelganglinie, [67].....	59
Abbildung 6-6	Schema einer Wasserkraftanlage mit Dotierkraftwerk in der Wehranlage	61

1. Grundlagen und Definitionen

1.1 Ziele der Gesamtdokumentation

Der Bund hat durch verschiedene seiner Ämter über Jahre Dokumentation zur und über die Kleinwasserkraftwerke erstellt. Die bekanntesten sind die PACER und die DIANE Publikationen, welche in den 90-er Jahren erstellt wurden. Eine Übersicht über dieses vielfältige Wissen zu erhalten ist schwierig, auch sind einzelne Themen mehrfach, andere gar nicht dokumentiert.

Ziel der neuen Gesamtdokumentation ist, einen Überblick über die bestehende Kleinwasserkraft-Literatur zu verschaffen, und für Detailfragen auf die passenden weiterführenden Dokumente zu verweisen.

1.2 Einführung

Im Rahmen der Gesamtdokumentation Kleinwasserkraft soll dieses Modul einen Überblick geben, wie in der Schweiz Kleinwasserkraftwerke hinsichtlich ihrer Technik und Technologie realisiert werden. Auf den nachfolgenden Seiten wird über alle Bereiche der Technik und entlang des Projekt-Lebenszyklus aufgezeigt, was es braucht, bis der Strom fließt.

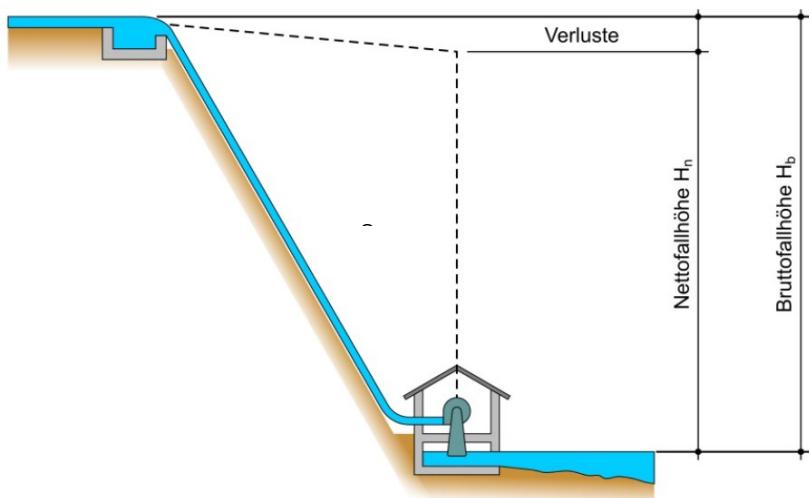
Diese Dokumentation ist jedoch kein "Kochbuch", um damit ein Kleinwasserkraftwerk zu planen. Hierzu gibt es bereits vielfältigste Literatur und fähige Fachleute in der Schweiz. Ziel der vorliegenden Publikation ist ein rascher Überblick über die gesamte Themenpalette und das einfache und zielgerichtete Auffinden weiterführender Literatur finden.

Modul I Überblick Kleinwasserkraft und Akteure

Website BFE → Themen → Wasserkraft [1]

BFE: Programm Kleinwasserkraftwerke [2]

1.3 Die Prinzip der Wasserkraftnutzung



Zur überschlagsmässigen Bestimmung der Leistung eines Wasserkraftwerkes gilt entsprechend:

$$P = Q \times H_b \times g \times \eta$$

P Leistung des Kraftwerks in kW

Q verfügbare Wassermenge in m³/s

H_b nutzbare Fallhöhe (Bruttofallhöhe) in m

g Erdbeschleunigung ($\approx 9.81 \text{ m/s}^2$)

η Koeffizient für den Wirkungsgrad (Leitungs-Verluste, Effizienz von Turbine und Generator, etc.)

Das Produkt $g \times \eta$ kann für eine erste Beurteilung mit einem Wert von 7 bis 8 angenommen werden.

2. Anlagekomponenten und -typen

2.1 Technologie der Kleinwasserkraftwerke

Das Grundschemata eines Wasserkraftwerkes ist für alle Wasserkraftanlagen bezüglich Funktion und Anordnung gleich. Kleinwasserkraftwerke werden jedoch pragmatischer geplant als Grosswasserkraftwerke: Das bedeutet, dass ein gut funktionierendes und kosteneffizientes Gesamtsystem wichtiger ist als die Optimierung einer einzelnen Komponente.



Abbildung 2-1 Allgemeine Anordnung eines Kleinwasserkraftwerkes, [3]

Das augenfälligste Unterscheidungsmerkmal von Kleinwasserkraftwerken ist die Typologie. Man unterscheidet dabei Durchlaufkraftwerke, Ausleitkraftwerke oder Nebennutzungsanlagen (siehe Kapitel 3 sowie [2]).

Ausleitkraftwerke

Ausleitkraftwerke entnehmen mittels eines Wehrs Wasser aus einem Fließgewässer. Über den Oberwasserkanal, Ausgleichsbecken und Druckleitung fließt das Wasser zur Turbine und anschliessend zurück in das Fließgewässer. Der Flussabschnitt zwischen Entnahme und Rückgabe des Wassers wird als Restwasserstrecke bezeichnet.

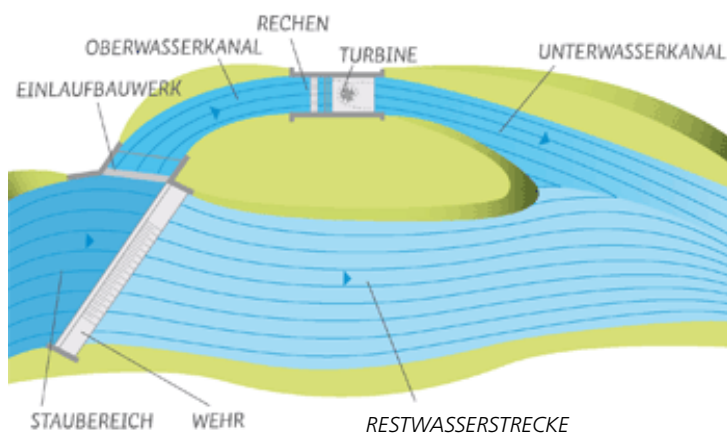


Abbildung 2-2 Schema Ausleitkraftwerk, [4]

Durchlaufkraftwerke

Durchlaufkraftwerke sind direkt in den Flusslauf gebaut und benötigen daher keine Ausleitstrecke. Durch den Wegfall der Restwasserstrecke entfällt somit auch die Restwasserproblematik. Auch wenn ein leichter Aufstau entsteht, handelt es sich nicht um Speicherkraftwerke, da das anfallende Wasser laufend turbinert wird.

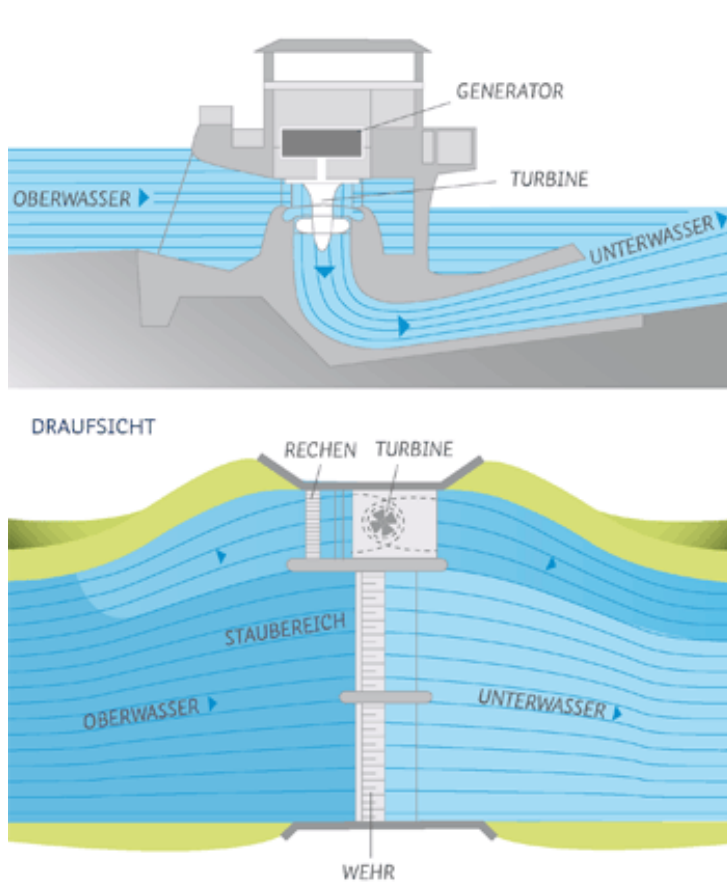


Abbildung 2-3 Schema Durchlaufkraftwerk, [4]

Nebennutzungen

Der Hauptzweck der Bauten ist ein anderer als die Energieerzeugung, beispielsweise Trinkwasserversorgung, Abwasserreinigung, Industrieanlagen oder die Beschneidung.

BFE: PACER - Einführung in Bau und Betrieb von Kleinstwasserkraftwerken [3]

BFE: Programm Kleinwasserkraftwerke → Kleinwasserkraft allgemein → Typologie [2]

Diverse Wasserkraftmanuals auf Energypedia [5]

2.2 Anlageteile eines Kleinwasserkraftwerkes

Die Dimensionierung der einzelnen Kleinwasserkraftkomponenten kann nicht direkt mit denjenigen von Grosskraftwerken verglichen werden. Bei Letzteren können Spezialisten viel Gewicht auf eine optimale Auslegung der einzelnen Komponenten legen; der dazu notwendige Aufwand für Planung und Dimensionierung ist zwar gross, angesichts der hohen Auswirkungen auf den zukünftigen Ertrag eines Grosskraftwerkes aber durchaus gerechtfertigt.

Im Gegensatz dazu sind bei Kleinwasserkraftwerken Generalisten mit einem guten Gesamtüberblick gefragt. Erfahrene Planer wissen, wo sich ein erhöhter Planungsaufwand am ehesten auszahlt, da ausgedehnte Studien zur Optimierung der Anlageteile nur begrenzt möglich sind. Eine ähnlich gute Wirtschaftlichkeit wie bei Grosskraftwerken lässt sich bei Kleinwasserkraftwerken durch den Einsatz von einfachen, aber wenig störanfälligen und unterhaltsfreundlichen Komponenten erreichen. Man wird deshalb für Maschinen und Anlageteile vorzugsweise auf bereits bewährte Technologien zurückgreifen.

Die wichtigsten Anforderungen, die es bei Kleinwasserkraftwerken anzustreben gilt, sind niedrige Investitions- und Betriebskosten, sowie eine sorgfältig in das Gewässer integrierte Anlage unter Berücksichtigung der Anliegen sämtlicher Interessengruppen.

2.2.1 Wasserbau / Stahlwasserbau

Wasserfassung

Wasserfassungen haben die Aufgabe, das für die Turbinierung benötigte Wasser dem Bach oder Fluss zu entnehmen. Dies geschieht in der Regel entweder durch eine Seitenentnahme oder eine Sohlentnahme (z.B. Tirolerwehr).

Die Seitenentnahme findet sich vorwiegend an Flüssen des höheren Mittellandes und des Voralpengebiets. Durch hydraulisch günstige Anordnung der Fassung (Aussenseite einer Flusskrümmung) kann vermieden werden, dass grosse Mengen an Geschiebe (vom Fluss in Sohlennähe mitgeführtes Gestein) in die Fassung gelangen und sich im Kanal ablagern.

Eine Seitenentnahme wird in Kombination mit einem festen oder beweglichen Wehr im Fluss gebaut. Dieses gewährleistet durch einen Aufstau des Wasserspiegels jene Oberwassertiefe, die unabhängig von der Wasserführung des Flusses die Entnahme der Betriebswassermenge des Kraftwerkes ermöglicht. Der Geschiebetrieb über das Wehr im Hauptgerinne sollte möglichst wenig beeinträchtigt werden.

Das Tirolerwehr hat sich vor allem für Fassungen an Bächen und kleineren Flüssen mit grösserem Gefälle (Mittel- und Hochdruckanlagen) und mässigem bis starkem Geschiebetrieb bewährt. Das Wasser wird über einen in der Sohle eingelassenen, geneigten Rechen aus Stäben oder über ein Lochblech entnommen, während das Geschiebe darüber hinweggeleitet.



Abbildung 2-4 Seitenentnahme (links) mit beweglichem Segmentwehr



Abbildung 2-5 Tirolerwehr mit Fischaufstieg (rechtsufrig) und Spülschütz (linksufrig), [6]

Als Alternativen zu herkömmlichen Stahlwasserbaukonstruktionen kommen vermehrt Schlauchwehre zum Einsatz. Ein Schlauchwehr besteht aus einer Gummi-Gewebe-Platte, die mit der betonierten Sohle des Wehrs so verschraubt ist, dass ein dichter Innenraum entsteht. Dieser Innenraum wird mit Wasser oder Luft gefüllt. Mit einer solchen Wassersperre kann das gewünschte Stauniveau durch Regulierung des Wasser- oder Luftdrucks mit grosser Genauigkeit eingestellt werden. Bei Hochwasser bewirkt der äussere Überdruck das Zusammenpressen des Schlauches, wodurch der Abflussquerschnitt und damit die Wassermenge um die Stauhöhe und den Überstau vergrössert wird. Der Innendruck im Schlauch wird durch die Ringspannung und das Gewicht des Schlauchmaterials bestimmt. Schlauchwehre weisen sowohl im Hinblick auf einen sicheren und wirtschaftlichen Betrieb als auch in Bezug auf wichtige Umweltfragen viele Vorteile auf. Zu nennen sind hierbei insbesondere die grosse Hochwassersicherheit, da ein Absenken keine Fremdenergie benötigt, die gute Geschiebegängigkeit, sowie die Fischgängigkeit für abwärtswandernde Fische im Falle überströmter Schlauchwehre.



Abbildung 2-6 Schlauchwehr KW Juramill, Laufen (Birs)

BFE: Vernachlässigte Technologien für Wasserfassungen
- Schlauchwehr und Lochblechrechen als Alternative [7]

Giesecke / Heimerl / Mosonyi: Wasserkraftanlagen [8]

Überfall- und Entlastungsbauwerke entlang des Oberwasserkanals resp. Triebwasserweges

Schwankungen im Abfluss können einfach und effizient mittels eines Überfalls geregelt werden. Dadurch wird im Normalbetrieb wie auch im Hochwasserfall sichergestellt, dass überschüssiges Wasser zu jeder Zeit kontrolliert abfließen kann.

Bei ausreichenden Platzverhältnissen kann im Anschluss und als Ergänzung zur Einlaufschütze der Abfluss mittels eines Streichwehrs geregelt werden. Dabei wird das Wehr parallel oder annähernd parallel zur Fließrichtung einer Ausleitung angeordnet und das Überschusswasser im Kanal gewissermassen seitlich abgeschält.



Abbildung 2-7 Streichwehr zur Abflussregulierung

Kies- / Sandfang

Das gefasste Wasser enthält immer auch Schwebstoffe (Schlamm) und feines Geschiebe (Sand / Steine). Ohne Kies- oder Sandfang würde sich dieses Material einerseits im Kanal ablagern und müsste periodisch entfernt werden, andererseits kann es auch zu höherem Abrieb an der Turbine führen. Daher wird meist kurz nach der Fassung ein Kies- oder Sandfang erstellt, mit der Möglichkeit diesen zu spülen und so das Geschiebe wieder dem natürlichen Gewässer zurückzugeben.

Ein Kiesfang kommt immer bei geschiebeführenden Gewässern zum Einsatz. Ein Sandfang wird ist in der Regel nur bei Hoch- und allenfalls Mitteldruckanlagen notwendig.

Rechenanlage

Die Rechenanlage soll Geschwemmsel (meist Blätter und Äste) und grobes Treibgut von Turbinen und Absperrorganen fernhalten, dienen jedoch auch dem Fischschutz. Die konventionellen Stabrechen werden dabei meistens automatisch von einem Rechenreiniger sauber gehalten. Das Geschwemmsel wird dabei entweder wieder ins Gewässer zurückgegeben (Spülvorgang) oder dann in einer Mulde zur Verwertung deponiert. Moderne Rechenanlagen verfügen heute meist über einen Horizontalrechen. Dies erhöht einerseits den Fischschutz (Teil des Konzeptes für den Fischabstieg), andererseits wird das Geschwemmsel am Ende des Rechens über einen Schütz ans Gewässer zurückgegeben.



Abbildung 2-8 Horizontalrechen (links im Bild) beim KW Hämmerli

Beispiel: Coanda Rechen [9]

Beim Coanda-Rechen wird der Wandhaftungseffekt, der sogenannte Coanda-Effekt, bei der gleichmässigen Überströmung eines abgerundeten Wehrkörpers ausgenützt und das Triebwasser über quer zu dessen Fliessrichtung angeordnete, filigrane Rechenstäbe entnommen. Die scharfkantigen Stäbe sind leicht schräg, wodurch das Stabprofil in das überfliessende Wasser hineinragt und beim Wasserstrom jeweils ein Teil abgeschert wird (aquashear). Durch den Coanda-Effekt folgt das strömende Wasser dem Stabprofil und fliesst in einen Sammelkanal, von wo es der Druckleitung zugeführt wird.

Der Coanda-Rechen hat geringe Spaltweiten von lediglich 0.2 mm bis 3.0 mm. Dadurch wird der grösste Anteil der Sedimente sowie das Geschwemmsel gar nicht mitgefasst und verbleibt im Bachbett. Zudem ist der Coanda-Rechen grösstenteils selbstreinigend, da das auf dem Rechen liegenbleibende Treibgut und Laub durch das Überschusswasser mitgerissen wird. Es kann somit fallweise auf eine Rechenreinigungsanlage verzichtet werden. Der Fischabstieg ist durch die geringen Spaltweiten ebenfalls problemlos möglich. Bei geschiebeführenden Flüssen muss der Coandarechen jedoch durch einen darüber gelagerten Grobrechen geschützt werden.

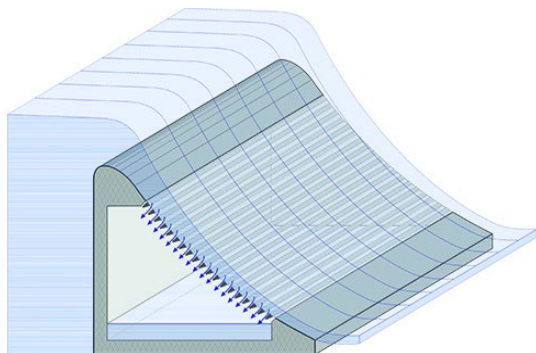


Abbildung 2-9 Prinzipskizze eines Coanda Rechens, [9]

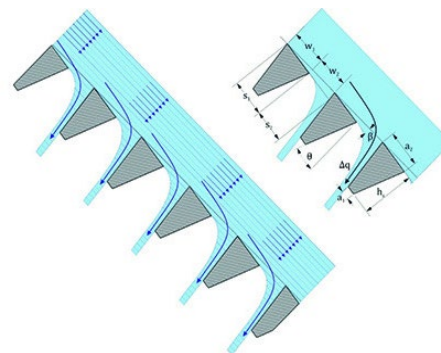


Abbildung 2-10 Wirkungsprinzip eines Coanda Rechens, [9]

Beispiel: Lochblechrechen

Lochblechrechen sind eigentlich seit langem eine bekannte und vor allem fischfreundliche Alternative zu den klassischen Stabrechen. So ist in den USA bereits seit den frühen 1980er Jahren der Lochblechrechen quasi die "state-of-the-Art"-Lösung für Kleinwasserkraftanlagen. Lochblechrechen, vor allem, wenn sie nicht frontal zur Strömung montiert werden, haben gute Eigenschaften zur Abweisung von Fischen und Geschwemmsel. Für Fische ist die Verletzungsgefahr am Rechen deutlich geringer als bei Stabrechen und sie können für den Abstieg dem Rechen entlangeleitet werden. Auch bezüglich Geschwemmsel bieten Lochblechrechen den Vorteil, dass dieses dem Gewässer nicht entnommen werden muss, sondern mittels eines Horizontalreingers zu einem Spülschütz geleitet und so dem Gewässer zurückgegeben werden kann.

Für Anlagen mit einem Durchfluss bis $10 \text{ m}^3/\text{s}$ wurden bislang gute Erfahrungen gemacht, womit sie für den Einsatz bei Kleinwasserkraftanlagen durchaus geeignet sind. Verwendet werden dabei handelsübliche Lochbleche aus möglichst korrosionsbeständigem Material mit einer Lochung von ca. 20-25 mm und einem Lochanteil von etwa 50 – 56%. Um nicht allzu grosse Verluste zu erhalten, sollte die Strömungsgeschwindigkeit in den Löchern ca. 0.6 m/s nicht überschreiten. Dies führt dazu, dass Lochblechrechen gegenüber Stabrechen ca. 20% grösser sind.



Abbildung 2-11 Lochblechrechen mit kettengetriebenem Horizontalreiniger

Hydro Review: Intake Screens for Small Hydro Plants [10]

Giesecke / Heimerl / Mosonyi: Wasserkraftanlagen [8]

BFE: Vernachlässigte Technologien für Wasserfassungen
- Schlauchwehr und Lochblechrechen als Alternative [7]

Triebwasserweg

Für die Zuführung des Triebwassers zur Zentrale als auch für die Ausleitung kommen in vielen Fällen auf Teilabschnitten oder über die gesamte Strecke Freispiegelleitungen zum Einsatz. Freispiegelleitungen verfügen über eine freie Wasserspiegeloberfläche, an welcher Atmosphärendruck herrscht. Sie können entweder als offenes Gerinne (Kanal) oder als teilgefüllter, geschlossener Querschnitt (Rohrleitung oder Stollen) ausgeführt werden.

Am Übergang zwischen der Freispiegelleitung und der Zentrale (bei Niederdruckanlagen), bzw. am Übergang zwischen Freispiegelleitung und Druckleitung (bei Mittel – und Hochdruckanlagen) wird ein weiteres Einlaufbauwerk mit Einlaufbecken erstellt. Dieses hat die Funktion, das herangeführte Triebwasser gleichmässig in die zur Zentrale führende Druckleitung überzuleiten. Gleichzeitig wirkt dieses Ausgleichsbecken – auch als Wasserschloss bezeichnet – als Dämpfung von Durchflussschwankungen bei kurzfristigen Lastwechseln der Turbine. An einem solchen Bauwerk muss überflüssiges Wasser über ein Entlastungsbauwerk abgeführt werden können. [8]

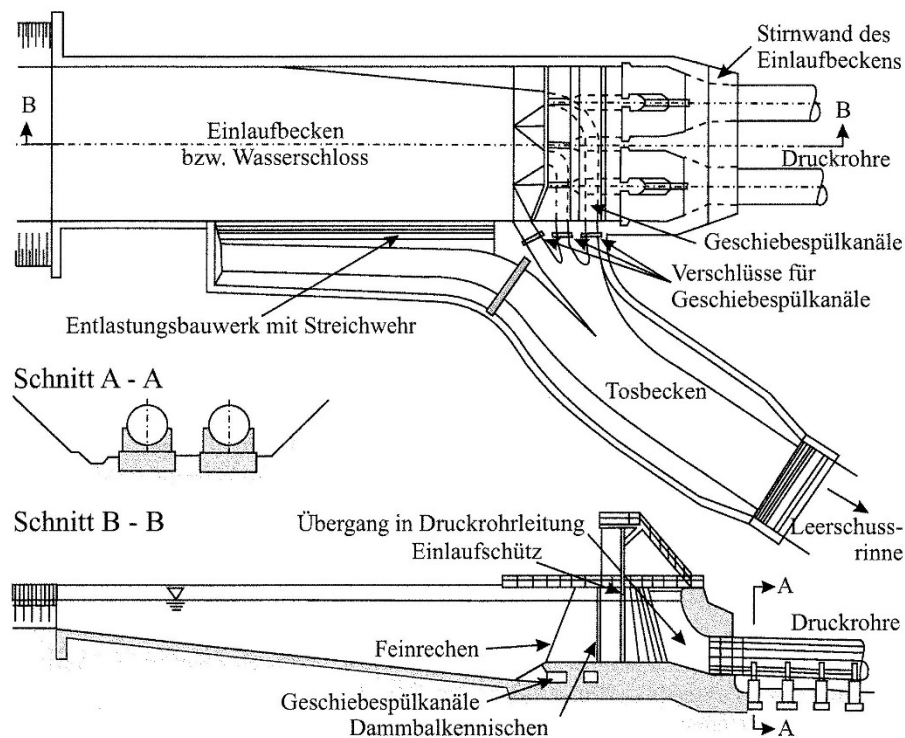


Abbildung 2-12 Einlaufbauwerk mit Becken am Übergang von der Freispiegelleitung in eine Druckleitung, [8]

Die Leistungsfähigkeit eines Entlastungsbauwerks wird wesentlich von der Überfalllänge des Wehrs beeinflusst. Eine Verlängerung der Krone hat eine Steigerung der Abflusskapazität zur Folge, ist aber auf Grund der örtlichen Randbedingungen oft nicht möglich. Mit Hilfe einer gekrümmten oder gefalteten Überfallkrone kann die Wehrlänge und folglich die Überfallkapazität bei gleichbleibender lichter Weite deutlich erhöht werden.

Entsprechend wurden das sogenannte Labyrinth-Wehr, und daraus abgeleitet das Klaviertastenwehr entwickelt.



Abbildung 2-13 Labyrinthwehr, [11]



Abbildung 2-14 Klaviertastenwehr, [11]

Das Klaviertastenwehr ist eine optimierte Form des Labyrinth-Wehrs. Der Unterschied zum Labyrinth-Wehr zeigt sich hierbei an den Front- und Rückwänden, die nicht vertikal ausgebildet sind, sondern sich zum Ober- und Unterwasser hin neigen. Es benötigt dadurch eine geringere Aufstandsfläche als das Labyrinth-Wehr und kann leichter in bestehende Strukturen integriert werden. Bei einem Notschluss des Maschinensatzes entsteht im Kanal ein Stauschwall. Diese Wassermenge muss möglichst entlastet werden können, ohne dass der Oberwasserkanal ausufern kann und ohne dass ein grösserer Sunk im Hauptgerinne entsteht. Hierzu werden meist Leerschuss-Schützen im Oberwasserbecken angeordnet, welche sich bei einem Notschluss der Maschine automatisch öffnen. Das Klaviertastenwehr eignet sich als betriebssichere Alternative dazu und kann auch bei engen Platzverhältnissen eingesetzt werden.



Abbildung 2-15 Oberwasserbecken mit Klaviertastenwehr als Entlastungswehr

Grundsätzliches Ziel einer Triebwasserleitung ist es, eine möglichst kurze Verbindung zwischen dem Entnahmebauwerk (bei Durchlaufkraftwerken) bzw. bei Ausleitkraftwerken dem Wasserschloss und der Zentrale zu schaffen. Bei letzterem kommen unter Druck stehende Rohrleitungen zum Einsatz. Die Druckleitung passt sich meist dem Gefälle des Geländes an und folgt deshalb im Längsschnitt einer geknickten Linie. Die Druckleitungen sind in der Regel aus Stahl, Guss, Beton, Kunststoff oder Glasfaser-verstärkten Kunststoffen. [8]

Giesecke / Heimerl / Mosonyi: Wasserkraftanlagen [8]

Fischauf- / abstiegshilfen

Um die Durchgängigkeit für Fische sicherzustellen bedarf es baulicher Massnahmen. Das Spektrum reicht dabei von einfachen Umgehungsgewässern bis hin zu Fischtreppen oder Fischschleusen. Bei der Beurteilung von Kraftwerksprojekten ist solchen Massnahmen insbesondere hinsichtlich eines ausreichenden Wasserdargebots Beachtung zu schenken, da ein Teil des Abflusses für Umgehungsgewässer u.ä. bereitgestellt werden muss. Zur Sicherstellung der Fischgängigkeit sind in Abhängigkeit der Anlagengestaltung Massnahmen bei der Entnahme, wie auch beim Kraftwerk (bei Ausleitkraftwerken) notwendig. Näheres dazu im Kapitel 6.2.

Restwasserdotierung

Um die natürlichen Funktionen eines Gewässers sicherzustellen, muss im bestehenden Flusslauf immer eine ausreichende Wassermenge verbleiben. Diese kann auf verschiedenste Weisen an der Entnahmestelle sichergestellt werden. Bei grösseren Anlagen kann das Restwasser durch das Wehr geleitet werden und vor dem Austritt in den Fluss turbinisiert werden. Dabei spricht man von einem Dotierkraftwerk. Siehe hierzu auch 6.4.

Geschiebedurchgängigkeit

Wehranlagen und Staustufen sind Barrieren für Geschiebe. Um den Geschiebehaushalt im gesamten Gewässer möglichst naturnah sicherzustellen, werden diverse Massnahmen getroffen, damit das Geschiebe und Schwemmgut am Kraftwerk vorbeigebracht werden kann. Näheres dazu in Kapitel 6.1.

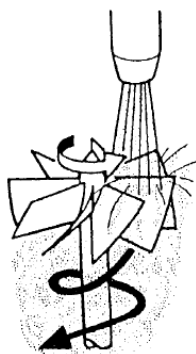
2.2.2 Elektro-mechanische Ausrüstung

Turbinen

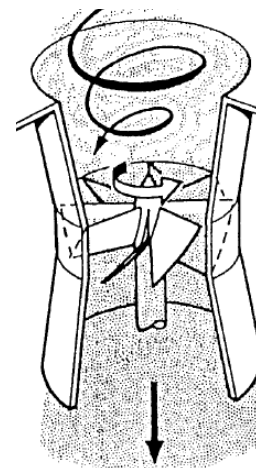
Bei den Turbinen wird zwischen Aktions- (Freistrah) und Reaktionsturbinen (Überdruck) unterschieden:

Die Aktionsturbinen (Pelton, Durchströmturbine) nutzen die kinetische Energie, sprich die Bewegungsenergie des Wassers. Der Energieaustausch zwischen dem Zufluss und den Laufradschaufeln erfolgt unter atmosphärischem Druck. Das Turbinenrad befindet sich oberhalb des Wasserspiegels und dreht sich in der Luft.

Reaktionsturbinen (Francis, Kaplan, Diagonal) nutzen die kinetische und auch die potentielle Energie des strömenden Wassers. Durch ihre Bauweise wird ein "Wirbel" erzeugt. Die Schaufeln der Turbine leiten den Wasserstrom parallel zur Drehachse um und wandeln somit die Energie des Wirbels in mechanische Arbeit um.



Aktionsturbine



Reaktionsturbine

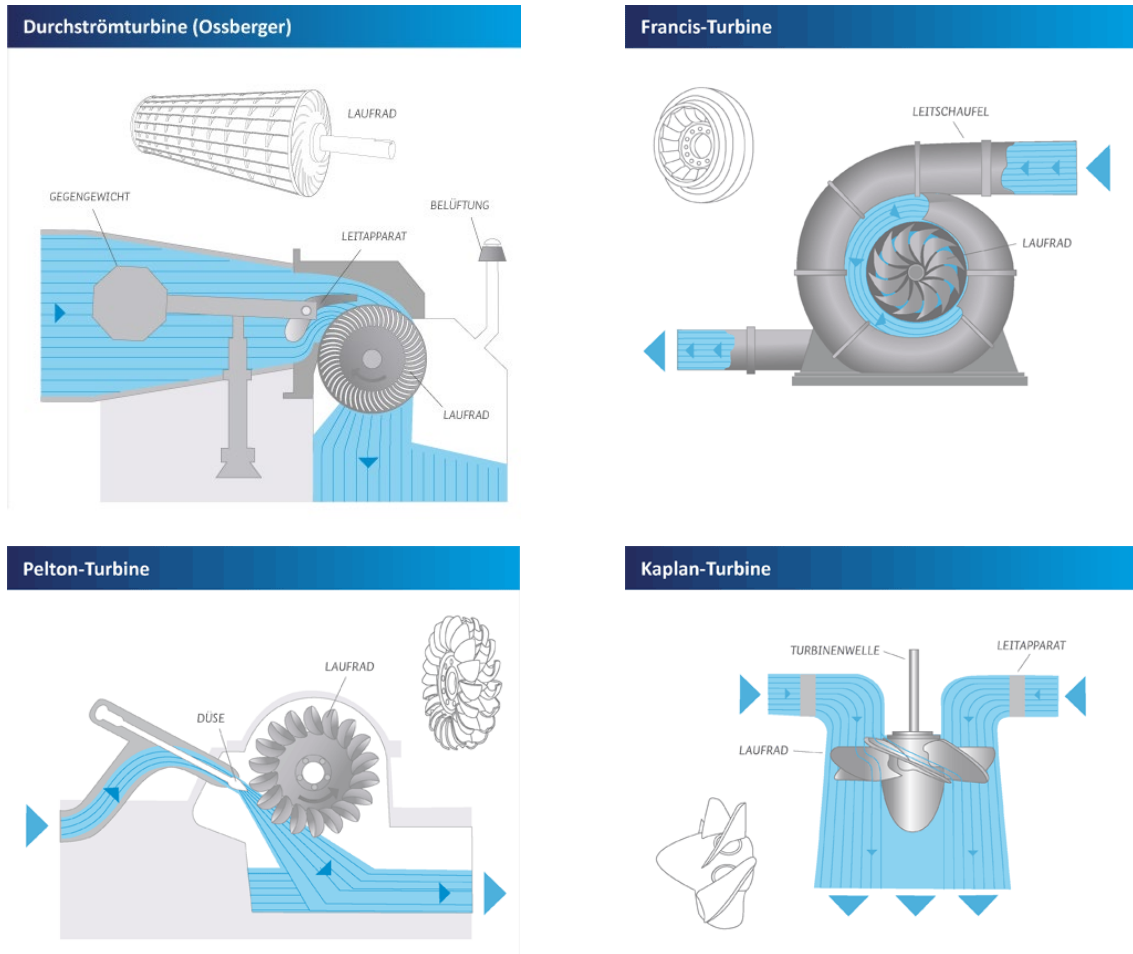


Abbildung 2-16 Die gebräuchlichsten Turbinentypen, [4]

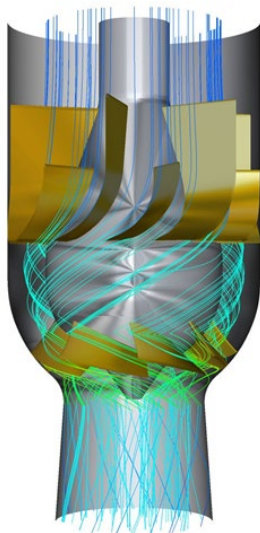


Abbildung 2-17 Modellierung der Strömung in einer Diagonal-Axialströmungsturbinen [12]

Die Auswahl einer geeigneten Turbine erfolgt anhand der Parameter Fallhöhe und Durchflussmenge. Dabei geben Diagramme wie das Nachfolgende einen ersten Hinweis.

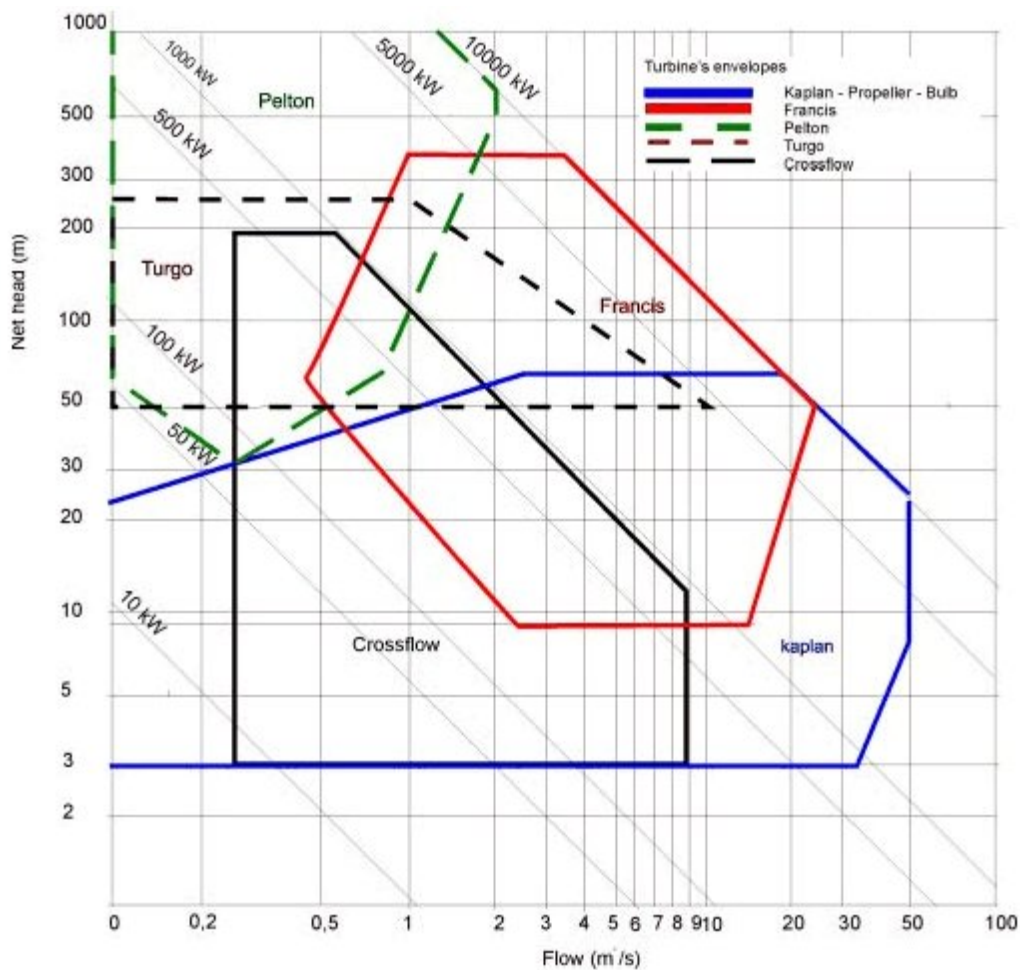


Abbildung 2-18 Anwendungsbereich von Turbinen [13]

Bei Kleinwasserkraftwerken ist oft das Verhalten bzw. die Effizienz der Turbinen bei Teillast relevant, d.h. wie effektiv arbeitet die Turbine, wenn nur ein Teil des Wassers verfügbar ist. Hier sind insbesondere Pelton- und Kaplanturbinen gefragt, wie untenstehende Graphik zeigt. Der maximale Wirkungsgrad von Francis- und Kaplanturbinen liegt bei 93%, die besten Peltonturbinen erreichen einen Wirkungsgrad von 91%. Durchströmturbinen verhalten sich ähnlich wie Francisturbinen, wobei ihr max. Wirkungsgrad bei ca. 85% liegt.

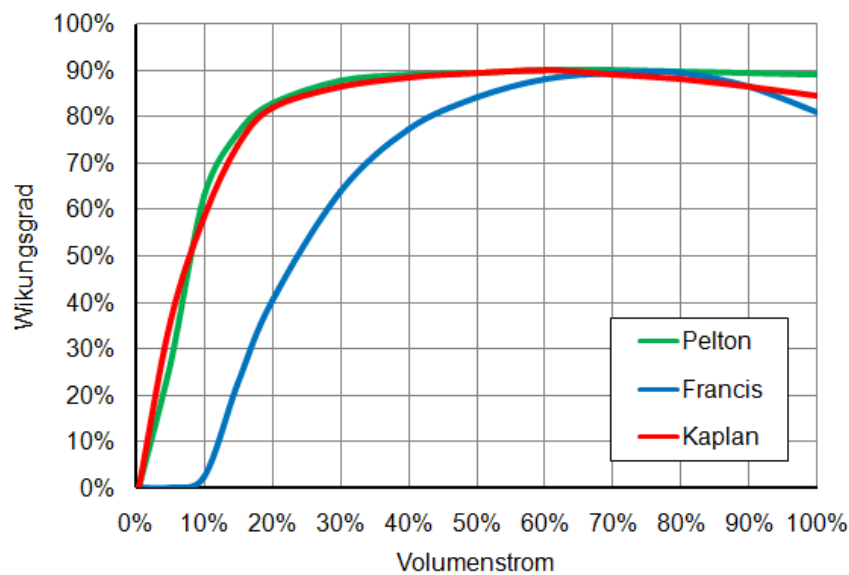


Abbildung 2-19 Wirkungsgrad in Funktion des Volumenstroms. (Normiert auf ein Maximum von 90%). [14]

In der ausschliesslichen Anwendung für Kleinstwasserkraftwerke kommen zudem noch Wasserräder und Wasserkraftschnecken zum Einsatz.

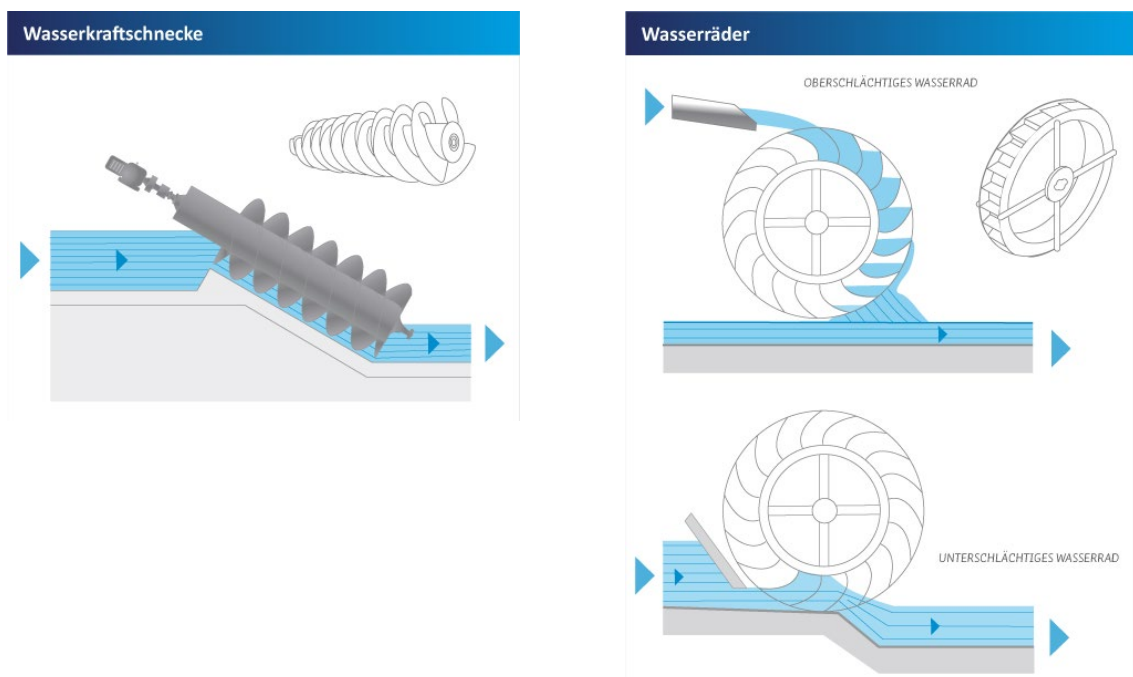


Abbildung 2-20 Wasserkraftschnecke und Wasserrad

Die Wasserkraftschnecke kann bei Wasserläufen mit geringen Wassermengen und geringen Höhenunterschieden (0,5 m – 10 m) zur Energiegewinnung genutzt werden. Infolge des Niveauunterschieds und der Schwerkraft setzt das eintretende Wasser die Schnecke in Gang und füllt die Wendelgänge. Durch die Schneckenrotation wird wiederum ein Stromgenerator angetrieben. Da die Steigung der Schnecke relativ gering ist, dreht sich die Schnecke verhältnismässig langsam. Ein Vorteil ist die Fischgängigkeit, da eine Wasserkraftschnecke für Fische passierbar ist.

Wasserräder sind die ältesten Wasserkraftmaschinen. Die Bewegung des fließenden Wassers versetzt das Rad in eine Rotationsbewegung. Je mehr und je schneller das Wasser fließt, desto mehr Energie kann dem Gewässer entnommen werden. Bei dem unterschlächtigen Wasserrad schlägt das Wasser im unteren Teil auf die Schaufel und dreht das Rad durch seinen Strömungsdruck. Beim überschlächtigen Wasserrad wird das Wasser durch eine Rinne oder ein Rohr geleitet und schlägt von oben auf das Rad. Heute sind für die wirtschaftliche Nutzung in der Regel die so genannten Zuppinger-Niederfälleräder und kleinere überschlächtige Wasserräder üblich, welche in Einzelfällen eine Alternative zu Turbinen sein können.

BFE: PACER - Wasserturbinen – Kleinwasserkraftwerke [3]

BFE: Pressemappe Kleinwasserkraft, ab S. 14 [15]

Generatoren

Es gibt zwei Typen von Generatoren – Synchron- und Asynchron-Generatoren. Die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale sind:

	Aufbau	Betrieb	Parallelbetrieb
Synchron-generator	Braucht Erregerenergie	- Drehzahl «synchron» zur Netzfrequenz - Hoher Wirkungsgrad (insbes. bei Teillast)	Muss mit dem Netz synchronisiert werden
Asynchron-generator	- Braucht keine Erregerenergie - Wartungsarm	- Drehzahl verschoben («asynchron») zum Netz - Schlechterer Wirkungsgrad bei Teillastbetrieb	- Wird durch das Netz synchronisiert - Gefahr der Überspannung bei überkompensierten induktiven Lasten am Netz

Mit Synchron-Generatoren kann man sowohl Insel-, als auch Netzparallelbetrieb fahren. Der Inselbetrieb von Asynchron-Generatoren ist relativ komplex.

BFE: PACER - Dimensionierung Kleinwasserkraftwerke. Generatoren und elektrische Installationen [3]

Steuerung

Mit der Steuerung bzw. dem Regelkreis wird in erster Linie das Ziel angestrebt, die Produktion zu optimieren und eine maximale Energieausbeute zu erzielen. Die entsprechenden Aufgaben der Regelung sind:

- Die Drehzahlregelung der Turbine;
- Die Leistungsregelung;
- Die Wasserstandsregelung, sowie
- Die Frequenzhaltung.

Die Steuerung überwacht dabei die gesamte Anlage. Um die Betriebs- und Unterhaltskosten tief zu halten, wird dabei versucht, Kleinwasserkraftanlagen möglichst "autonom" zu betreiben und im Bedarfsfall aus der Ferne auf diese zuzugreifen um steuernd eingreifen zu können (siehe auch Kapitel 5).

Der Regelkreis überwacht dabei die Wasserstände der Anlage oberhalb und unterhalb der Zentrale, die Leistung der Turbine sowie die Netzsynchronisation. Weitere Parameter werden je Anlage spezifiziert, welche ebenfalls überwacht werden müssen. Die Steuerung versucht dann im Rahmen

vordefinierter Bandbreiten je Parameter die Anlage nahe an einem optimalen Betriebspunkt zu betreiben. Erst wenn die Bandbreite verlassen wird, erfolgt eine Warnung an den Betreiber (z.B. mittels SMS-Alarm).

Da die Regelung heutzutage digital erfolgt, können parallel dazu auch die relevanten Daten aufgezeichnet werden und so für ein Monitoring oder Dokumentation verwendet werden.

Netzanschluss

Für den Netzanschluss sind weitere Elemente von Relevanz. Bei netzparallel betriebenen Kleinwasserkraftwerken kann z.T. der Strom in Niederspannung an den Netzbetreiber übergeben werden, so dass die Installation und Betrieb eines Transformators nicht in die Zuständigkeit des Kraftwerksbetreibers fällt (mit Auswirkungen auf die Investitions- und Gestehungskosten). Dennoch muss sichergestellt werden, dass eine Synchronisation des Kraftwerkes mit dem Netzwerk sichergestellt ist, und dass das Kraftwerk auch sicher vom Netz genommen werden kann (Netztrennung). Details werden dazu mit dem lokalen Netzbetreiber vereinbart. (siehe auch [16])

Website Swissgrid [16]

2.3 Insel- und Netzbetrieb

Unterschied zwischen Insel- und Netzparallelbetrieb

Inselbetrieb bedeutet die Versorgung eines kleinen Netzes (auch Minigrid genannt, meist nur ein oder wenige Gebäude) mit elektrischem Strom mit konstanter Spannung und Frequenz, ohne die Ankoppelung des Klein-Netzes an das Netz eines öffentlichen Elektrizitätsversorgungsunternehmens (EVU-Netz).

Einen derartigen Betrieb wird in der Regel mit einem Synchron-Generator realisiert. Zur Stabilisierung der Frequenz (Schwankungen entstehen durch Zu- und Abschaltungen von Verbrauchern) nutzt man rotierende Schwungmassen (Trägheitsmasse) oder elektrische Widerstände, die zu- und abgeschaltet werden. Ebenfalls kann der Durchfluss in den Regelkreis einbezogen werden.

Netzparallelbetrieb bedeutet, dass ein Einspeiser parallel mit dem EVU-Netz verbunden ist. Dieser Betrieb kann sowohl mit einem Synchron-Generator, als auch mit einem Asynchron-Generator realisiert werden. Vor der Netzkoppelung des Generators muss dieser erst "synchronisiert" werden. Im netzparallelen Betrieb hält das EVU-Netz die Frequenz stabil.

Die Unterschiede sind grob:

Netzparallelbetrieb	Inselbetrieb ("Minigrid")
• Maximale Ausnutzung des verfügbaren Potential und dadurch ein höherer Nutzungsgrad (Verhältnis von Vollaststunden zu Jahresstunden – 8'760 h); ➔ Anlage ist auf optimale Auslastung ausgelegt • Tiefere Gestehungskosten sowie vereinbarte Einspeisetarif mit EVU	• Tiefe Ausnutzung des verfügbaren Potentials bzw. tieferer Nutzungsgrad; ➔ Anlage ist auf Spitzenbelastung ausgelegt • Einspeisetarif ist abhängig von der Akzeptanz der Strombezüger • Kann selten unter rein wirtschaftlichen Aspekten umgesetzt werden ➔ braucht Fremdfinanzierung bzw. "A-fond-perdu"-Finanzierung

2.4 Technische Innovationen

2.4.1 Einleitung

Treiber im Bereich Forschung und Innovation sind einerseits Aspekte der Ökologie und Klimawandel, andererseits aber auch technische Innovation hin zu optimierten und standardisierten Anlagen oder Komponenten.

- Ökologie und Klimawandel
 - Veränderung des Wasserangebots auf Grund des Klimawandels;
 - Optimierungen der Produktion zur Vermeidung von Schwall / Sunk;
 - Verbesserung der Fischgängigkeit und Vernetzung;
 - Umgang mit dem Geschiebehaushalt in den Gewässern.
- Bau- und Materialtechnik
 - Optimierung von Komponenten (Turbinen, Rechenanlagen etc.);
 - Weiterentwicklung von Steuerungskomponenten für autonomen bzw. aus der Ferne gewarteten Betrieb;
 - Verbesserungen im Bereich der Druckrohre / Stollen;
 - Massnahmen zur Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades von Anlagen.

Basierend auf diesen Treibern finden verschieden Entwicklungen statt und werden neue Lösungen entworfen. In Kombination dieser Treiber werden dann "standardisierte" Komponenten gesucht, welche Antworten auf mehrere dieser Fragestellungen geben.

Ein mögliches Beispiel ist das Drehrohr-Doppelwasserkraftschnecke. Dabei handelt es sich um zwei in sich überlagerte archimedische Schnecken, welche so sowohl den Fischauf- wie -abstieg ermöglichen. Dadurch kann alles Wasser genutzt werden ohne dass ein Teil für einen Fischaufstieg reserviert werden muss. Zudem erlaubt es die Passage von Fischen in beide Richtungen. Somit entsteht ein ökologischer wie ökonomischer Mehrwert. Weitere Entwicklungen zur Fischgängigkeit sind auch in 6.2 gezeigt.

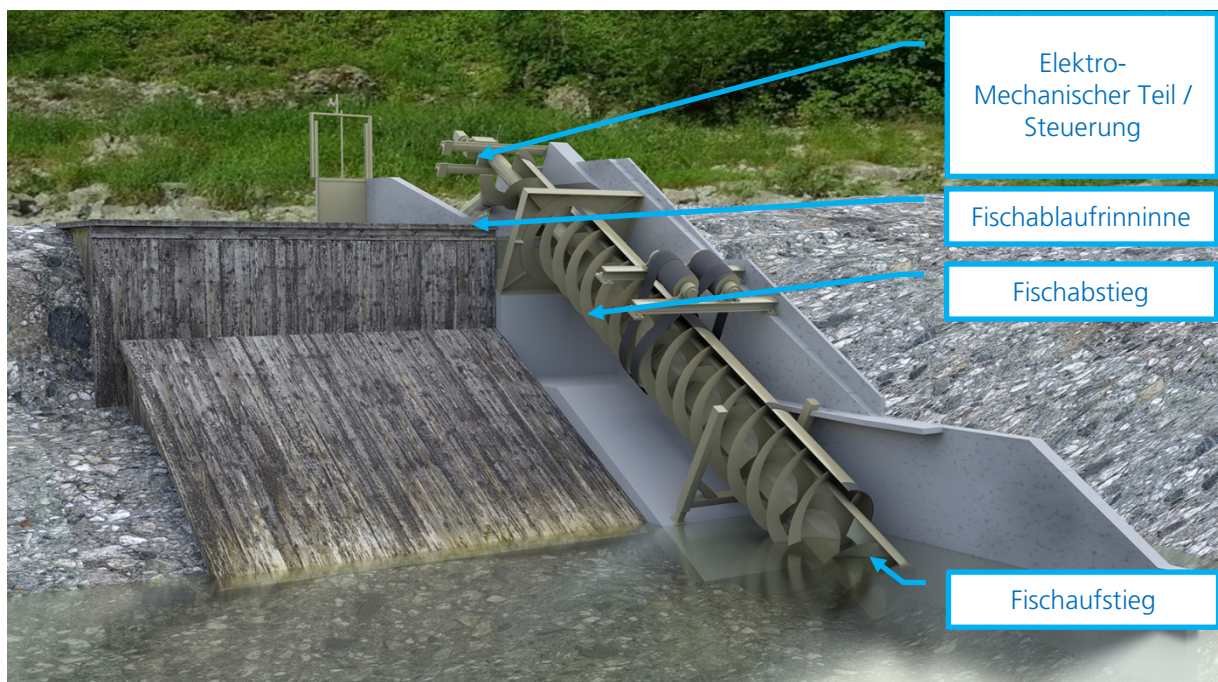


Abbildung 2-21 Prinzipschema eines Drehrohr-Doppelwasserkraftschnecke, [17]

Neuere Entwicklungen im Bereich Strommarkt haben einen Einfluss auf die Steuerung. Ein Beispiel hierfür ist der Trend zu "virtuellen Kraftwerken". Der Betreiber eines virtuellen Kraftwerkes verfügt über einen Pool von Kraftwerken welche gezielt und aus der Ferne gesteuert werden kann. Das virtuelle Kraftwerk bündelt nun die einzelnen kleinen Kraftwerke zu einem großen Kraftwerk. Der Betreiber des virtuellen Kraftwerks kann somit Regelenenergie bereitstellen, was einem einzelnen Anlagenbetreiber in den meisten Fällen so nicht möglich ist. Vergütet werden am Regelenenergiemarkt zwei Dinge: Erstens die reine Vorhaltung von Leistung (Leistungspreis) und zweitens die effektive Regelung der Anlage (Arbeitspreis). Ziel des Marktes mit Regelenenergie, das Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage sicherzustellen.

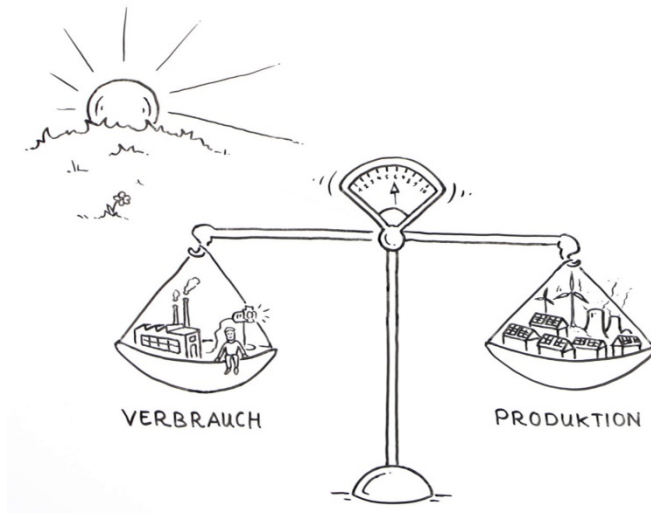


Abbildung 2-22 Prinzip der Regelenenergie, [18]

Neben ökologischen und ökonomischen Fortschritten, wird auch verwaltungsrechtlich versucht, die Prozesse zu standardisieren. Ein Beispiel ist die standardisierte Nachhaltigkeitsbeurteilung des Amtes für Umweltkoordination und Energie des Kantons Bern. Der Kanton Bern schafft damit ein Instrument zur einheitlichen Beurteilung umweltrelevanter Faktoren von Kleinwasserkraftwerken. [19]

Modul V

Zuletzt werden auch technisch innovative Ansätze entwickelt, um auch effiziente Anlagen bei bislang wenig günstigen Rahmenbedingungen ermöglichen zu können. Beispiele hierfür sind die Niederdruckanlagen (siehe 2.4.2). Technische Innovation ist auch bei Nebennutzungsanlagen ein Thema. Beispielhaft sei hier die Gegendruckturbine erwähnt. Wo herkömmliche Turbinen das Wasser nach der Turbinierung mit Umgebungsdruck wieder abgeben, kann mit einer Gegendruckturbine das Wasser mit erhöhtem Druck weitergeleitet werden. Damit verbreitert sich die Bandbreite an Anwendungen z.B. im Bereich von Trinkwasserversorgungen. Turbinen können dann auch unterhalb eines Zielreservoirs eingebaut werden, oder können Wasser direkt ins Netz einspeisen.

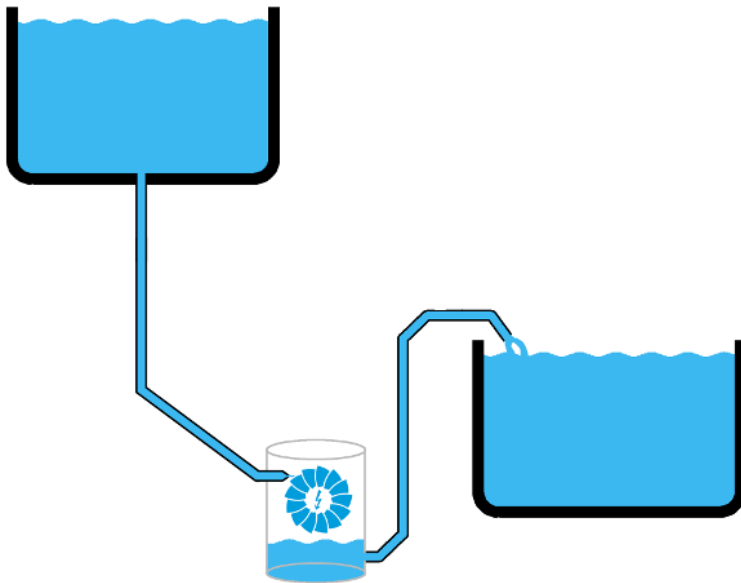


Abbildung 2-23 Prinzipschema REVITA Gegendruckturbine, [20]



Abbildung 2-24 KWK-Zentrale Fällenden (CH) mit einer Pelton-Gegendruckturbine (17 kW) [21]

Auf Stufe Bund wird Innovation im Bereich Wasserkraft ebenfalls vielseitig gefördert. Dies geschieht einerseits durch das Forschungsprogramm Wasserkraft des Bundesamtes für Energie, aber auch durch das Schweizer Kompetenzzentrum für Energieforschung.

Der Bund initiierte das Schweizer Kompetenzzentrum für Energieforschung – Strombereitstellung (SCCER-SoE, Swiss Competence Center for Energy Research – Supply of Electricity), welches Forschung in den Bereichen Geo-Energie und Wasserkraft betreibt. Dabei ist auch die Kleinwasserkraft ein Schwerpunkt.



Wichtige Themen bezüglich der Wasserkraft sind für das SCCER-SoE die Vorhersage der Wassermengen unter Berücksichtigung des Klimawandels, das Potenzial künftiger Gletscherseen, die optimale Sedimentbewirtschaftung und die Produktionsflexibilität von Wasserkraftanlagen. Dabei werden ökologische sowie sozioökonomische Rahmenbedingungen berücksichtigt. Einerseits wird eine Minimierung der negativen Auswirkungen auf die Umwelt angestrebt. Andererseits sollen die Auswirkungen aktueller und zukünftiger Markt- und Politikverhältnisse besser verstanden werden.

Website SCCER-SoE [22]

BFE: «Konzept der Energieforschung des Bundes 2017 – 2020» [23]

BFE: Forschungsprogramm Wasserkraft [23]

2.4.2 Beispiele aktueller Entwicklungen – Niederdruckanlagen

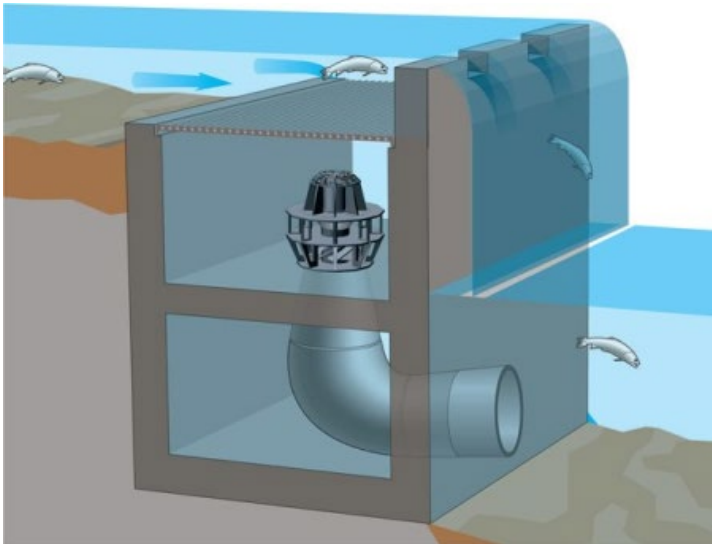
Ein aktuelles Feld von Forschung und Entwicklung sind Niederdruckanlagen. Hier liegt der Fokus oft auf Anlagen, welche im Fluss integriert oder überströmt werden können. Kombiniert werden diese Anlagen z.T. mit Turbinen neuester Generation, welche auch einen gefahrlosen Fischabstieg ermöglichen. Beispiele sind:

- Hydro-kinetisches Kraftwerk:



- Schachtkraftwerk: Die Wasserfassung wird von der horizontalen in die vertikale Ebene gelegt. Das Wasser strömt in die kistenförmige Anlage hinab und wird nicht mehr zum Ufer hin in ein Buchtenkraftwerk geleitet. Das Konzept funktioniert nur mit eingetauchten Maschinen wie der DIVE-Turbine, die unter Wasser arbeiten können – ein Maschinenhaus am Ufer wird überflüssig. Die Schächte mit den Unterwasserturbinen sollten dabei nicht am Ufer, sondern gegen die Flussmitte angelegt werden, damit die Rechenfläche von drei Seiten angeströmt

werden kann. Vorteile bietet das Konzept, da das Problem des Geschiebeeeinzugs in das Kraftwerk nicht besteht, weil die Wasserfassung nicht bis auf die Flusssohle reicht, sondern nahe an der Wasseroberfläche bleibt. Weiter wird mit einer Klappe im Wehr oberhalb des Kraftwerkschachts ermöglicht, dass ein kleiner Teil des Wassers durchfliessen kann und damit auch die Fische passieren können. Ausserdem verhindert diese Fliessbewegung die Wirbelbildung, die zu Wirkungsgradverlusten und erhöhtem Verschleiss beim Antrieb der Turbine führen würde. [24]



- Überströmbares / bewegliches Maschinenhaus: Dabei wird das Maschinenhaus beweglich im Gewässer integriert. Dadurch erhält man insbesondere bezogen auf den Geschiebedurchgang, der Geschwemmselweitergabe sowie den Fischabstieg ein optimiertes Kraftwerkslayout.



BFE: Evaluation von Ultra-Niederdruckkonzepten für Schweizer Flüsse [25]

3. Kleinwasserkraftwerke als Nebennutzungsanlagen

Überall wo Wasser gefördert oder verarbeitet wird, besteht theoretisch ein Potenzial einen Effizienzgewinn oder gar Energieproduktion zu realisieren. Zu untersuchen sind dabei Anlagen, in welchen Wasser über eine Freispiegel- oder Druckleitung in ein tiefergelegenes Reservoir oder Becken läuft, denn hier existiert eine gewisse ungenutzte potentielle Energie.

SHAPES: Energy recovery in existing infrastructures with small hydropower plants [26]

3.1 Energie in Trinkwasseranlagen

Trinkwasserversorgungen verfügen meist über die notwendige Infrastruktur für die Energieerzeugung. Für die Energieerzeugung kann dabei der "überschüssige" Druck verwendet werden. Turbinen können also z.B. beim Einlauf in ein Reservoir oder in einem Druckbrecherschacht integriert werden. Die Druckverhältnisse für den Netzbetrieb der Wasserversorgung dürfen aber nicht tangiert werden. Der Aufwand zur Realisierung ist gering, die ökologischen und wirtschaftlichen Vorteile liegen auf der Hand, denn Wasserkraftnutzung in Trinkwasseranlagen:

- schneidet in der Gesamtenergiebilanz sehr gut ab;
- stellt keinen Eingriff in die Natur dar;
- produziert kaum Emissionen und der Aufwand an grauer Energie ist gering;
- ermöglicht die Nutzung von Synergien
- Ermöglicht einfachen Betrieb, da kein Oberflächenwasser verwendet wird. Entsprechend ist Geschiebe und Schwemmgut kein Thema; ausserdem sind auch beim Betrieb und Unterhalt von Kraftwerk und Trinkwasserversorgung Synergien möglich, da keine eigenen Anlagen erstellt werden, sondern in bestehende integriert werden.
- ermöglicht generell eine hohe Lebensdauer (40+ Jahre) der Anlage.

Funktionsweise

In einer Trinkwasserversorgung kann immer dann (überschüssige) Energie genutzt werden, wo ungenutzter Druck vorhanden ist:

- Quellwasserleitungen: Das von höher gelegenen Quellen zufließende Wasser wird turbinert. Die Turbine übernimmt dabei zwei Aufgaben: Sie erzeugt Strom und ersetzt den normalerweise notwendigen Druckbrecherschacht.
- Verbindungsleitungen: Wo Wasserversorgungen über mehrere miteinander verbundene Reservoirs verfügen, kann an den Verbindungsleitungen Energie erzeugt werden. Die höher gelegenen Reservoirs bilden ein Stauvolumen, wodurch im "Abschöpfbetrieb" die tiefergelegenen Reservoirs gefüllt und dabei Strom erzeugt wird.
- Druckzonengrenzen: Wo Wasser von einer höheren in eine tiefere Druckzone abgegeben wird, muss der Druck gedrosselt werden. Anstelle von Ventilen kann in der Übergabestelle auch mit einer Turbine (oder rückwärtslaufenden Pumpe) Strom erzeugt werden.
- Überlaufmengen: Wo mehr Wasser gefasst wird, als im Netz verbraucht wird, kann dieses bei der Rückgabe ins Gewässer zur Stromerzeugung genutzt werden.

Trinkwasserkraftwerk zwischen zwei Reservoiren: Abschöpfungsbetrieb

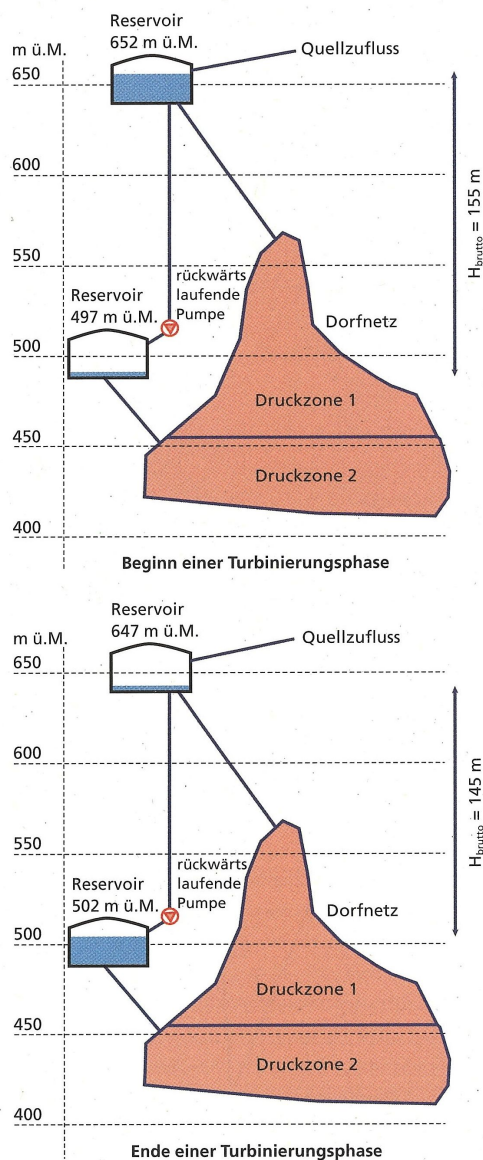


Abbildung 3-1 Integration eines Trinkwasserkraftwerks in die Verbindungsleitung zweier Reservoiren, [27]

Trinkwasserkraftwerk im Quellwasserzulauf eines Reservoirs

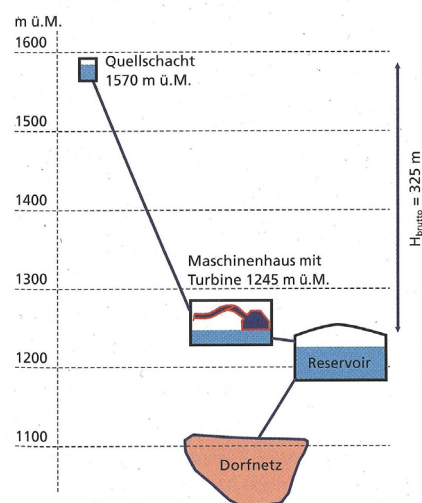


Abbildung 3-2 Nutzung des Quellwasserzulaufes zur Energiegewinnung, [27]

Trinkwasserkraftwerk zwischen zwei Druckzonen

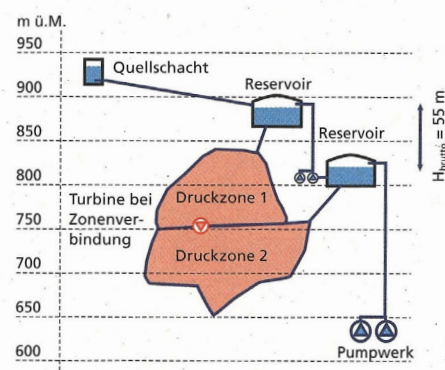


Abbildung 3-3 Stromerzeugung am Druckbrecher zwischen zwei Zonen, [27]

SVGW: Energie in der Wasserversorgung [27]

SVGW: Empfehlung zur Regelung des Contractings bei Trinkwasserkraftwerken [28]

BFE: DIANE – Trinkwasserkraftwerke – Technische Anlagendokumentation [29]

BFE: DIANE - Elektrizität aus Trinkwasser-Systemen [29]

3.2 Energie in Abwasseranlagen

In Abwasseranlagen kann wie bei allen Anlagen die Wassermenge und die bestehende Fallhöhe genutzt werden. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass Abwasser in hohem Masse Fremdkörper mitführen. Daher muss unterschieden werden, ob die Stromerzeugung mit dem Roh-Abwasser, also vor der Abwasseranlage oder mit aufbereitetem Wasser nach der Kläranlage geschehen soll. Der Unterschied dabei ist, dass bei der Verwendung von Roh-Abwässern zwingend eine Anlage zur Vorklärung mit Rechen- oder Siebreiniger dem Kraftwerk vorgeschaltet wird.

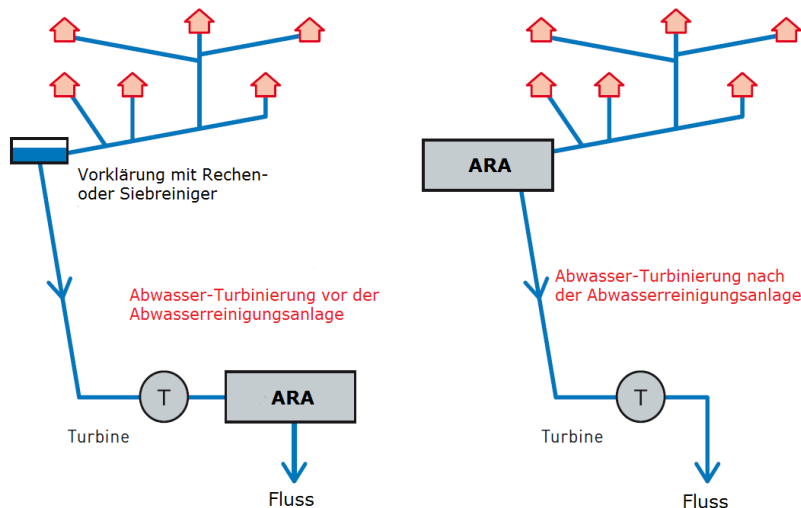
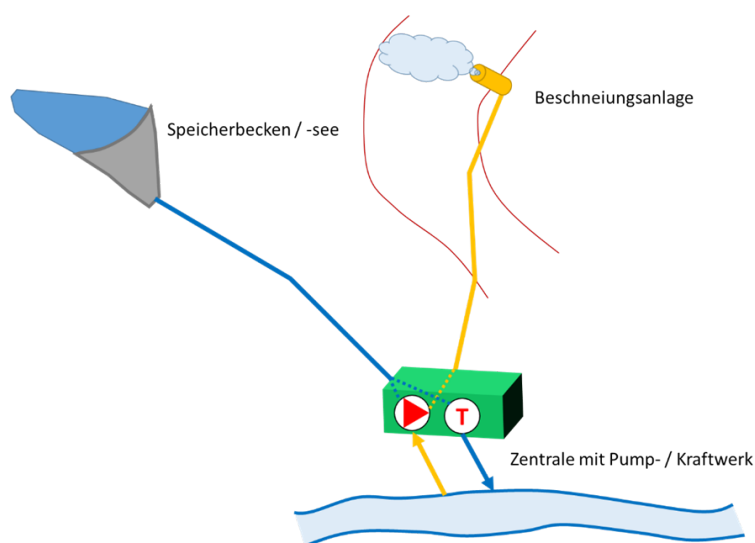


Abbildung 3-4 Schema zur Nutzung von Abwässern zur Stromerzeugung, [26]

Modul VI Beispiel 06

3.3 Energie in Beschneiungsanlagen



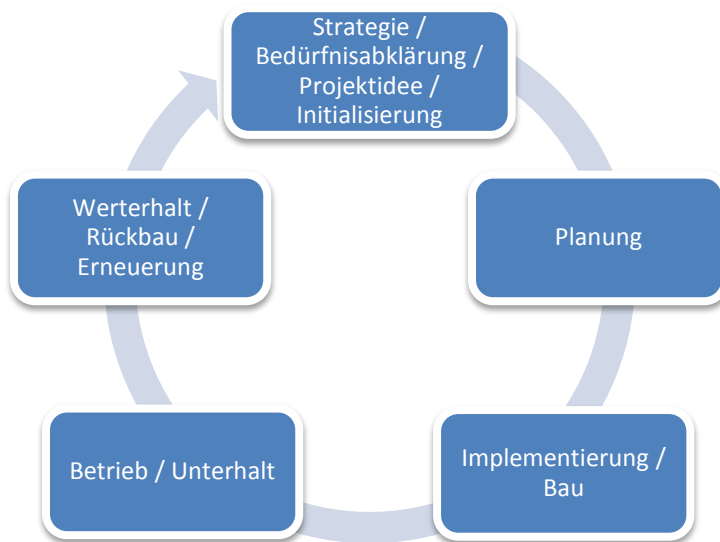
Energiegewinnung in Beschneiungsanlagen scheint auf den ersten Blick etwas ungewöhnlich. Dennoch werden im alpinen Raum Anlagen zur Schneeerzeugung erstellt, welche gleichzeitig ein vorhandenes Wasserkraftpotenzial nutzen können. Für Beschneiungsanlagen braucht es Wasserspeicher, Zentralen mit Pumpen und Druckleitungen. In solchen Anlagen wird in der Regel im Winter Wasser zu den Beschneiungsanlagen gepumpt. Im Sommer kann die Anlage zur Stromerzeugung genutzt werden, indem das Wasser über die vorhandene Leitung auf eine Turbine geleitet wird.

Abbildung 3-5 Schema einer in eine Beschneiungsanlage integrierte Wasserkraftanlage

4. Planung / Planungsprozess

4.1 Projekt-Life-Cycle und Planungsprozess

Ein Infrastrukturprojekt verläuft normalerweise in den unten dargestellten Phasen ab. Im Hinblick auf eine optimale Nutzung der Ressourcen (Zeit, Personal, Finanzen), ist ein Wasserkraftprojekt über seine gesamte Lebensdauer zu betrachten.



In der SIA Norm 112, 2014 werden die Phasen wie folgt beschrieben:

1 Strategische Planung	• 11 Bedürfnisformulierung, Lösungsstrategien
2 Vorstudien	• 21 Definition des Bauvorhabens, Machbarkeitsstudie • 22 Auswahlverfahren
3 Projektierung	• 31 Vorprojekt • 32 Bauprojekt • 33 Bewilligungsverfahren / Auflageprojekt
4 Ausschreibung	• 41 Ausschreibung, Offertvergleich, Vergabe
5 Realisierung	• 51 Ausführungsprojekt • 52 Ausführung • 53 Inbetriebnahme, Abschluss
6 Bewirtschaftung	• 61 Betrieb • 62 Überwachung / Überprüfung / Wartung • 63 Instandhaltung

SIA Norm 112 [30]

Um ein Projekt über die gesamte Lebensdauer erfolgreich betreiben zu können, sollten bereits zu Beginn tragfähige Strukturen aufgebaut werden, aber auch allgemeine betriebswirtschaftliche Fragen sind von Belang. Eine starke Trägerschaft mit genügend Eigenkapital ist eine unerlässliche Basis für die Finanzierung des Kraftwerkprojekts. Neben einer angemessenen Rendite möchten Kapitalgeber auch die Gewissheit haben, dass das Projekt plangemäss durchgeführt wird. Dazu sind neben den Managementfähigkeiten der Trägerschaft auch die Kompetenzen der Kooperationspartner (Planer, Spezialisten, Unternehmer etc.) massgebend. Zudem sollten klare Strukturen geschaffen werden, welche Rechte und Pflichten eindeutig den verschiedenen Beteiligten in der Trägerschaft und unter den Kooperationspartnern zuordnen. Zudem sollten geeignete Vertragsbedingungen dazu beitragen, dass alle auf den Erfolg des Projekts hinarbeiten.

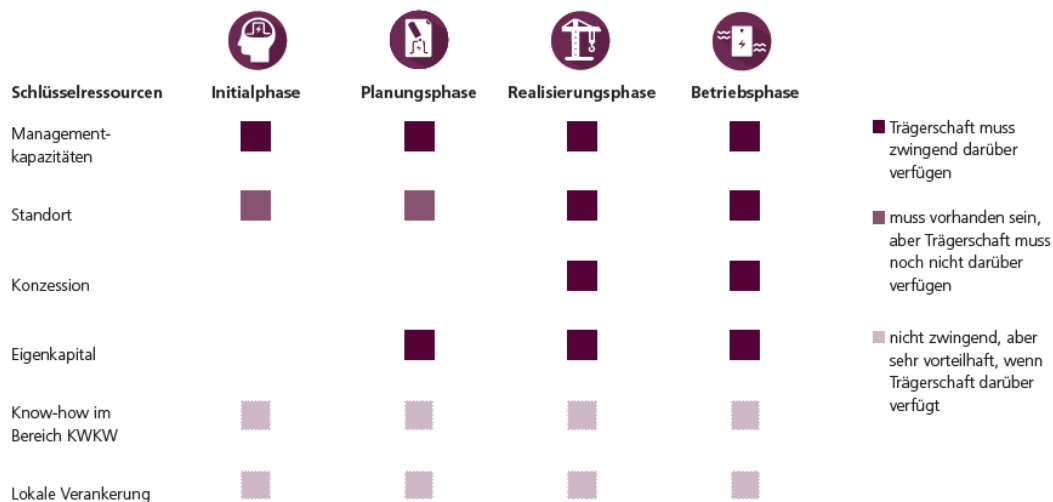


Abbildung 4-1 Schlüsselressourcen eines KWK-Projekts, [31]

HINWEIS: Die Abläufe zur Planung von KWK sind ausführlich in Handbuch Kleinwasserkraftwerke [32], sowie im Leitfaden für Bauherren [33] beschrieben. Nachfolgende Erläuterungen sind eine Synthese aus diesen Dokumenten, sowie wo nötig ergänzt um weitere Informationen.

Die Produkte der Planung eines Kleinwasserkraftwerkes sind bezogen auf die Planungsphasen [33]:

Phase (nach SIA)		Teilphase (nach SIA)		Typische KWK-spezifische Leistungen und Resultate	
1	Strategische Planung		Bedürfnisformulierung Lösungsstrategien	Masterplan oder Potentialstudie über ein grösseres Gebiet	
2	Vorstudie		Definition des Bauvorhabens, Machbarkeitsstudie Auswahlverfahren	Grobanalyse	
3	Projektierung	31	Vorprojekt	Grundlage für Konzessionsprojekt, oft in Verbindung mit Umweltuntersuchungen	bei kleinen oder einfachen Projekten sowie bei 1-stufigem Bewilligungsverfahren zusammen und abgekürzt
		32	Bauprojekt	i.d.R. Basis für das Baubewilligungsgesuch	
		33	Bewilligungsverfahren / Auflageprojekt	Baubewilligung	
4	Ausschreibung	41	Ausschreibung, Offertvergleich, Vergabeantrag		
5	Realisierung	51	Ausführungsprojekt		
		52	Ausführung		
		53	Inbetriebnahme, Abschluss	Abnahmen und Wirkungsgradmessungen der Turbine	
6	Bewirtschaftung	61	Betrieb		
		62	Überwachung / Überprüfung / Wartung		
		63	Instandhaltung		

4.1.1 Vorstudie

Mittels einer Grobanalyse sollen zu Beginn die wichtigsten Eckwerte eines Projektes beurteilt und mögliche "Killer-Kriterien" möglichst früh erkannt werden. Es geht darum, das Projekt grob zu skizzieren und zu bewerten. Der Bund unterstützt die Erstellung von Grobanalysen finanziell, schreibt dadurch aber auch die erwarteten Inhalte vor. Gemäss Merkblatt 3 "Minimalanforderungen an Vorstudien und Grobanalysen" [34] sind folgende Themen zu untersuchen:

- Situation (Ist-Zustand, allfällige bestehende Anlagen, Wasserdargebot (grob), rechtliche Situation)
- Technische Angaben (Netto- / Bruttofallhöhe, ungefähre Ausbauwassermenge und erwartete Produktionsmenge [kWh / Jahr])
- Umwelt (erste Aussagen zu Themen wie Fischgängigkeit, Geschwemmsel etc.)
- Wirtschaftlichkeit

Werden mit der Grobanalyse keine "Killer-Kriterien" erkannt, wird die Realisierbarkeit mittels einer Machbarkeitsstudie geprüft. Ziel der Machbarkeitsstudie ist es, mit einem "vernünftigen" Detaillierungsgrad ein Kraftwerksprojekt soweit voranzutreiben, dass die technische, rechtliche und wirtschaftliche Machbarkeit abschliessend beurteilt werden kann, ohne dass die Planungskosten astronomische Höhen erreichen. Die hierfür notwendige Planung sowie die thematischen Abhängigkeiten sind im untenstehenden Diagramm dargestellt.

4.1.2 Vorprojekt

Mit dem Vorprojekt wird ein technisch-wirtschaftlich grob optimiertes und bewilligungsfähiges Konzept erstellt. Im Rahmen des Vorprojektes wird ein Schwerpunkt auf Umweltaspekte als Grundlage für das Konzessionsprojekt gelegt.

Im Rahmen des Vorprojektes werden die Resultate der vorangehenden Phasen weiter konkretisiert, wobei in einem ersten Schritt oft Varianten- oder Teilvariantenvergleiche betrachtet werden. Gegen Ende der Vorprojektphase konzentriert man sich in der Regel auf die Bestlösung, welche soweit untersucht wird, dass eine Kostengenauigkeit von +/- 20% erreicht werden kann.

Parallel zu den technischen Abklärungen laufen mehrere Fachplanungen, allen voran die Umweltabklärungen, für welche jedoch die wichtigsten technischen Kenndaten benötigt werden. [33]

4.1.3 Konzessions- und Bauprojekt

Wird basierend auf der Machbarkeitsstudie und dem Vorprojekt entschieden, das Vorhaben weiter zu verfolgen, wird ein Konzessions- bzw. Bauprojekt erstellt. Hierbei werden alle Aspekte des Projektes untersucht und detailliert geplant. Details dazu sind ausführlich in [32] und [33] beschrieben.

BFE: Leitfaden Trägerschaft, Kooperationen und Finanzierung bei Kleinwasserkraftwerken [31]

BFE: Planung und Verfahren, Leitfaden für Bauherren [33]

BFE: Handbuch Kleinwasserkraftwerke [32]

4.2 Planung der Anlage

Die Planung eines Kleinwasserkraftwerkes folgt grob nachfolgenden Themen entlang:

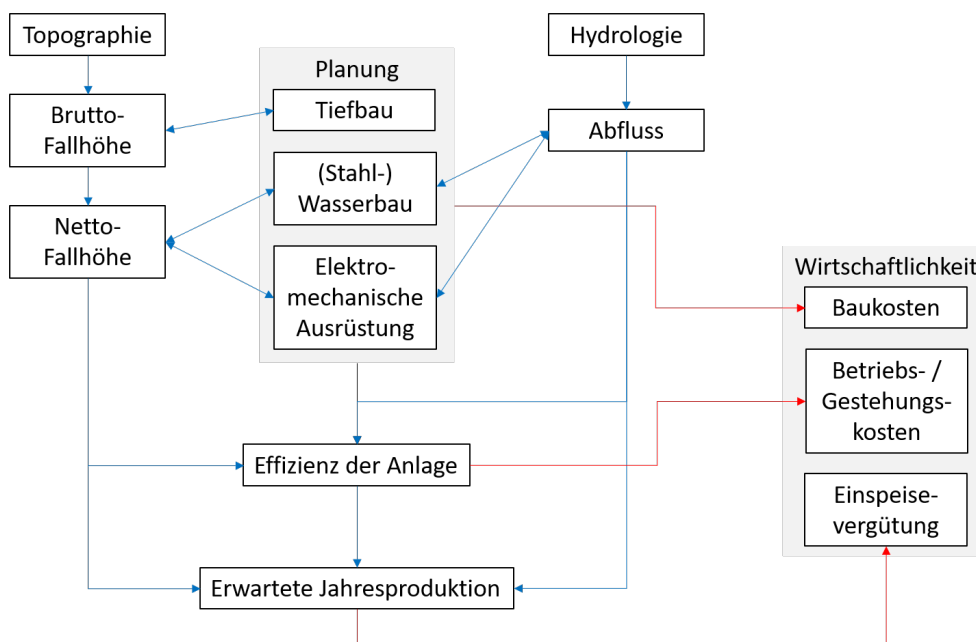


Abbildung 4-2 Relevante Themen bei der Planung eines Kleinwasserkraftwerkes

Topographie

Die Topographie beschreibt das Gelände. Hierfür verwendet man in einer ersten Phase frei verfügbare Daten wie Landeskarten oder Datensätze der kantonalen GIS-Fachstellen¹. Je nach Lage (Alpen / Voralpen / Mittelland) sollte die verwendete Karte 1-2m Konturlinien angeben, oder zumindest in dieser Genauigkeit ein Profil messen lassen. Hierzu eignen sich auch die oft verfügbaren DTM (Digitales Terrainmodell).

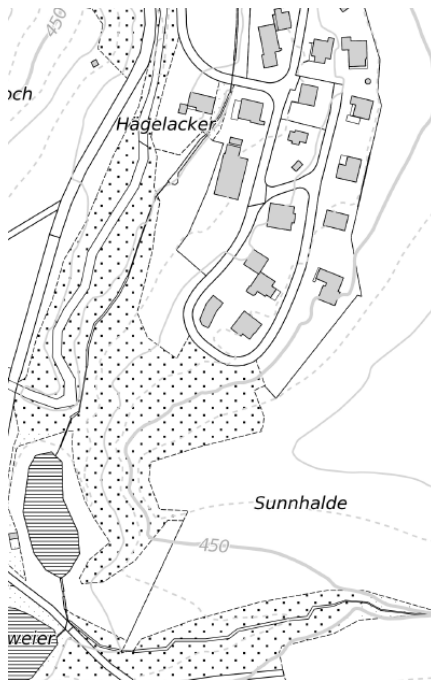


Abbildung 4-3 Ausschnitt Thur GIS Viewer "Grundkarte", [35]



Abbildung 4-4 Ausschnitt Thur GIS Viewer "Grundkarte" - nur Höhenlinien, [35]

Hydrologie

Unter dem Stichwort Hydrologie subsumieren sich alle abflussrelevanten Infos. Fragestellungen sind hierbei insbesondere die Form der sogenannten Dauerkurve, die auf der Basis von Tageswerten des Abflusses (über mehrere Jahre) erstellt wird, aber auch Einzelwerte wie maximaler (Hochwasser-) Abfluss oder minimaler Abfluss. Der minimale Abfluss ist dabei auch relevant im Hinblick auf die auszuscheidende Restwassermenge. Die hydrologischen Daten sind für viele Gewässer in der Schweiz vorhanden (kantonal und nationale Messstellen²). Die hydrologischen Jahrbücher beinhalten hierbei oft Daten für mehrere Jahre. Entsprechend lassen sich dann für ein Gewässer ein Hydrograph (Abflussganglinie) und daraus abgeleitet die Dauerabflusskurve ermitteln.

¹ Bund (Swisstopo): <http://map.geo.admin.ch>; die kantonalen Geoportale sind über <http://kkgeo.ch/geodatenangebot/kantonale-geoportale.html> zu finden

² Bundesamt für Umwelt: <http://www.bafu.admin.ch/wasser/13462/13494/15055/index.html?lang=de>

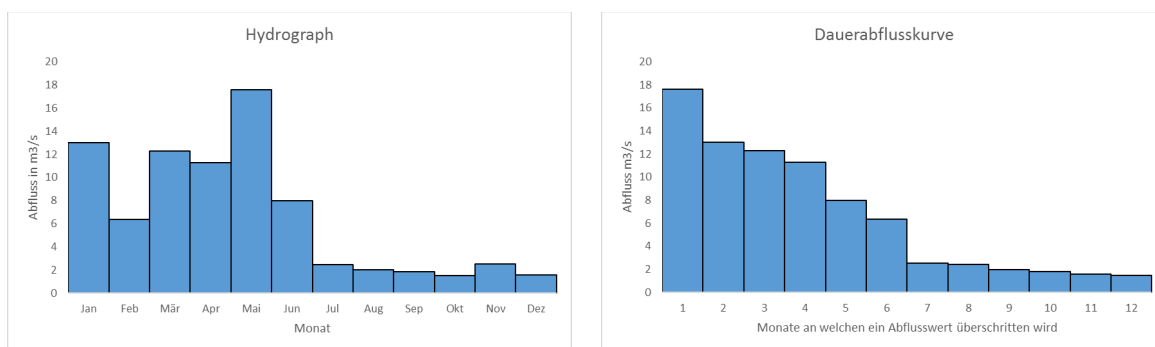


Abbildung 4-5 Hydrograph und Dauerabflusskurve – vereinfacht aus Monatsmittelwerten abgeleitet (normalerweise werden Tagesmittelwerte verwendet)

Für die effektive Ermittlung der Dauerabflusskurven werden Tagesmittelwerte verwendet. Am Beispiel der Töss (Messstelle Neftenbach, Jahr 2015) würden dann der Hydrograph sowie die Dauerabflusskurve wie folgt aussehen:

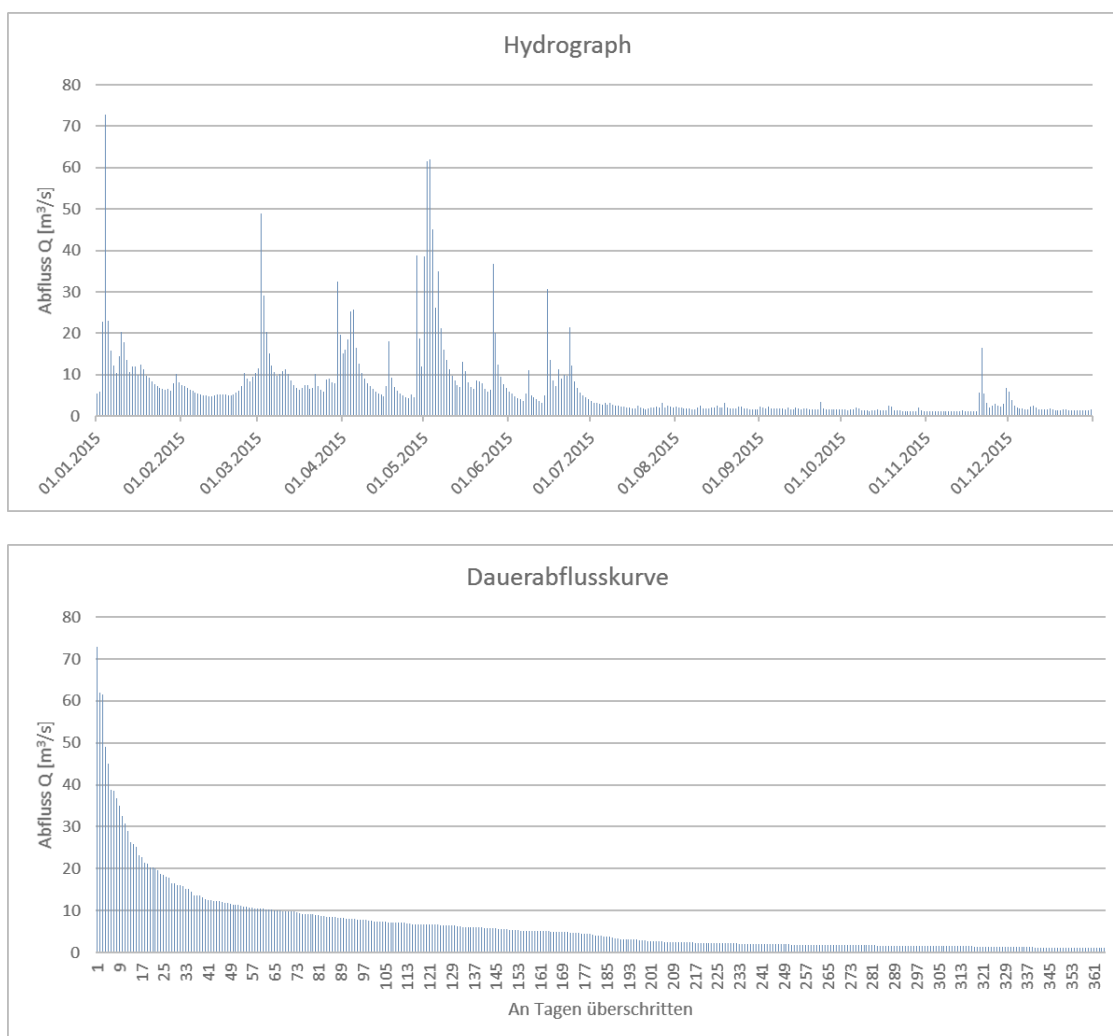


Abbildung 4-6 Hydrograph und Dauerabflusskurve für die Töss in Neftenbach 2015, [36]

Wo diese Daten nicht ausreichend vorhanden sind, können für erste Abschätzungen auch Daten benachbarter Einzugsgebiete (mit gemessenen hydrologischen Daten) genutzt werden und/oder Informationen aus dem hydrologischen Atlas der Schweiz. Für genauere Aussagen sind Messungen im Einzugsgebiet des geplanten Standorts vorzunehmen. Diese ermöglichen dann, durch rechnerische

Vergleiche mit benachbarten Einzugsgebieten, welche über mehrjährige Daten verfügen, eine Dauerkurve für den geplanten Standort zu erstellen. Es gilt dabei zu berücksichtigen, dass, falls das Projekt nach der Stufe Machbarkeit weitergeführt wird, die Bewilligungsbehörden langjährige Messreihen verlangen. Entsprechend ist ersichtlich, dass dann insbesondere der Zeitaufwand für diese Planungsphase deutlich länger wird, damit über den jahreszeitlichen Verlauf relevante hydrologische Daten erhoben werden können.

In den Fließgewässern der Schweiz fließt eine jahreszeitlich typische Menge an Wasser ab, in der Fachsprache „Regime“ genannt. Dieses ist von der Region, ihrer Höhenlage und Vergletscherung abhängig. Vergleichbare Abflussregimes lassen sich zu Typen gruppieren.

In der Schweiz spielt der vorläufige Rückhalt des Niederschlags in Form von Schnee oder Eis eine wichtige Rolle für die Abflussbildung in einem Einzugsgebiet. So führen die Schneeschmelze im Frühling und das schmelzende Gletschereis in den Sommermonaten zu den höchsten Abflüssen in den alpinen Flüssen. Im Jura trägt der als Schnee zwischengespeicherte Niederschlag nur wenig zum abfließenden Wasser bei, schmelzendes Eis kommt gar nicht vor. Im Mittelland fließt praktisch aller Niederschlag während des ganzen Jahres ziemlich direkt in die Flüsse weiter. Daraus ergeben sich verschiedene saisonale und regionale Verteilungen der Abflüsse und der Abflussspitzen. Es wird unterschieden zwischen durch Eisschmelze (glazial), durch Schneeschmelze (nival) oder durch Regen (pluvial) geprägte Regimes und deren Kombinationen. [37]

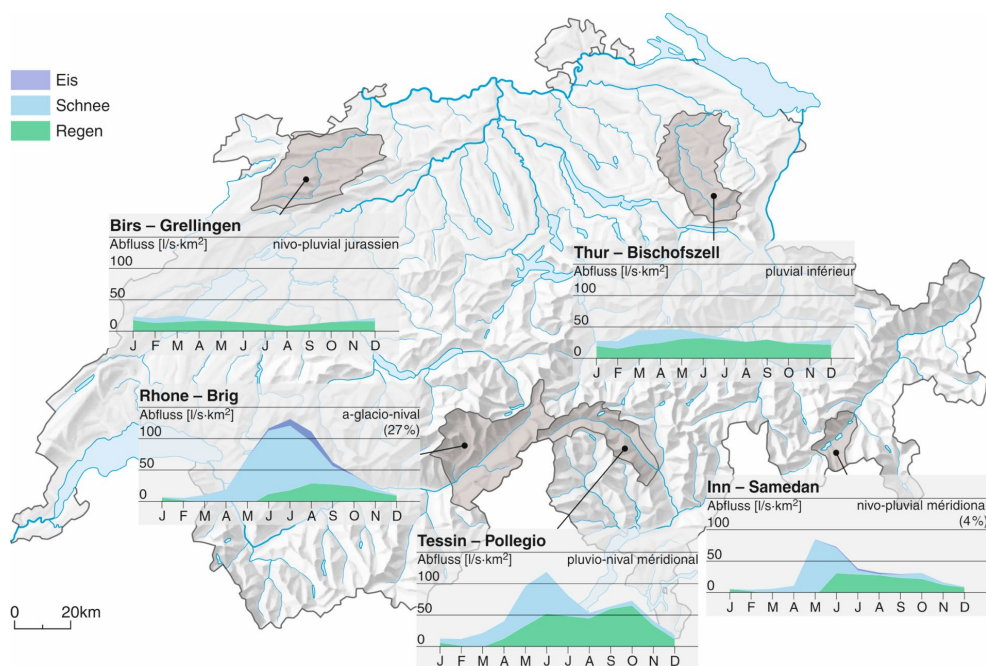


Abbildung 4-7 Abflussregimes für fünf repräsentative Einzugsgebiete aus verschiedenen Regionen der Schweiz für die Periode 1984 bis 2005, [37]

Eine genaue hydrologische Analyse ist entscheidend und wichtig, um aufbauend auf einer Dauerabflusskurve die Kennlinie des Kraftwerkes zu ermitteln. Die Dauerkurve zeigt auf, über welchen Zeitraum, welcher Abfluss zur Stromerzeugung genutzt werden kann und ist somit essenziell für die Planung einer Anlage.

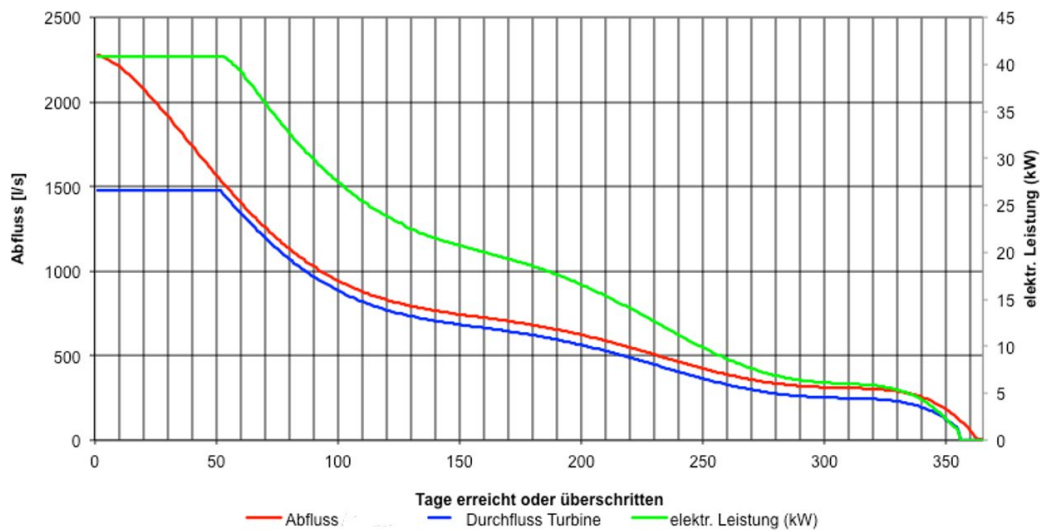


Abbildung 4-8 Leistungsplan für ein Kraftwerk

Geologie / Baugrund

An jedem Standort gibt es eine "hydraulisch" optimale Auslegung des Kraftwerkes. Jedoch kann dieser u.a. die Geologie oder der Baugrund entgegenstehen. Es gilt daher bereits früh abzuklären, welcher Baugrund zu erwarten ist. Eine geotechnische oder hydrogeologische Baugrundbeurteilung ist insbesondere dann angezeigt, wenn das Projekt

- sich in tektonisch anspruchsvollen Gebieten befindet (Alpenraum, Rutschgebieten etc.);
- sich in Gebieten mit setzungsempfindlichen Böden befindet;
- grössere (Spezial-) Tiefbauarbeiten umfasst;
- in der Nähe von bestehenden Gebäuden oder Infrastrukturanlagen befindet (ist z.T. zwingend gefordert -z.B in der Nähe zu Bahnanlagen);
- steile Hänge, Dämme oder Uferböschungen tangiert;
- oder auf ehemals gewerblich oder industriell genutzten Parzellen liegt und allfällige Altlasten vorhanden sein könnten.

Allfällige Altlasten können ein wichtiger Kostentreiber sein. Diese sind im Zuge von Bauprojekten zu sanieren oder können zumindest bei Aushubarbeiten zu hohen Mehrkosten führen. Weiter gilt abzuklären ob ggf. Grundwasserleiter oder Grundwasserschutzzonen das Projekt beeinträchtigen können. Die Mehrzahl dieser Angaben ist über die kantonalen Geoportale³ abrufbar.

Wasserbau

Im ersten Teil der Planung geht es darum, die Anlage grob zu konzipieren. In einer Projektskizze legt man, bezogen auf die gegebene Situation, sämtliche erforderlichen Anlageteile fest (siehe auch 2.2). Anschliessend werden die Anlageteile grob dimensioniert.

Im Zentrum stehen dabei folgende Punkte:

- Fassung: Lage und Art der Ausführung (Seitenentnahme, Sohlentnahme (z.B. Tirolerwehr), etc.)
- Triebwasserkanal. Lage und grobe Dimensionierung (nur Ausleitkraftwerke)
- Wasserschloss: Lage (nur Mittel- / Hochdruckanlagen)

³ Kantonalen Geoportale sind über <http://kkgeo.ch/geodatenangebot/kantonale-geoportale.html>

- Druckleitung: Dimension, Länge, Material (nur Ausleitkraftwerke)
- Zentrale: Lage
- Unterwasserkanal / Rückgabe: Lage und grobe Dimensionierung

Aus der Lage und Höhe von Fassung und Zentrale kann dann auch die Bruttofallhöhe ermittelt werden. Mit einer angenommenen Effizienz der gesamten Anlage (ca. 70...80%) und einem grob abgeschätzten verfügbaren Abfluss kann so die erwartete Leistung ermittelt werden.

Elektromechanische Anlageteile

Fallhöhe und Dauerabflusskurve engen den in Frage kommenden Turbinentyp bereits deutlich ein. (siehe auch 2.2.2). Bezüglich Generator wird normalerweise auf Standardlösungen für den jeweiligen Anwendungsfall gesetzt. Zu prüfen ist ausserdem, ob das Kraftwerk in ein bestehendes Verteilnetz integriert werden kann. Dabei ist der Netzanschlusspunkt relevant, bzw. die Distanz zwischen der Anlage und diesem Einspeisepunkt.

Ökologische Massnahmen

Meist kann bereits in einer frühen Phase abgeschätzt werden, ob und in welchem Umfang z.B. Massnahmen zur Verbesserung der Fischgängigkeit oder der Geschiebegängigkeit (bei bestehenden Anlagen) notwendig sind. Je nach Höhe der erforderlichen Zusatzinvestitionen, können sich solche Massnahmen entscheidend auf die Wirtschaftlichkeit einer Anlage auswirken.

Modul I

Wirtschaftlichkeit

Mit den definierten Grössenordnungen bzw. der Auslegung des Kraftwerks kann die mittlere Jahresproduktion berechnet werden (siehe auch Abbildung 4-8).

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden erstmals anhand der skizzierten Anlageteile die Baukosten abgeschätzt. Auf Stufe Vor- bzw. Machbarkeitsstudie wird eine Grobkostenschätzung der Investitionen mit einer Genauigkeit von +/- 25% erstellt. In der weiteren Projektentwicklung wird die Genauigkeit verfeinert, so dass im Rahmen des Bauprojektes eine Genauigkeit von +/- 10% erreicht werden sollte (siehe auch Abbildung 4-10).

Auf Grund von vergleichbaren Anlagen werden die Betriebs- und Unterhaltskosten abgeschätzt. Dazu gehören insbesondere Kapitalkosten, Abschreibungen, Unterhaltskosten (Material / Personal) und administrative Kosten, sowie Gebühren für die Wassernutzung. Auf der Einnahmeseite schlägt die Einspeisetarif zu Buche.

Exkurs: Wasserzins

Der Wasserzins ist jene Abgabe, die die Konzessionärin für die wirtschaftliche Ausnutzung der ihr durch die Konzession verliehenen Wasserkräfte zu entrichten hat. Er berechnet sich nach der Bruttoleistung des Kraftwerks. Kleinwasserkraftwerke mit einer Bruttoleistung von weniger als 1 MW sind von der Wasserzinspflicht befreit. Zwischen einer Bruttoleistung von 1MW bis 2 MW steigt der Höchstsatz für den Wasserzins linear bis auf den Maximalsatz an.

Modul III Wirtschaftlichkeit

BFE: Planung und Verfahren, Leitfaden für Bauherren [33]

Hydrologische Daten des BAFU und der Kantone [39]

Rechtliche Grundlagen → Siehe Modul IV

Harvey: Micro-hydro design manual [40]

Inversin: Micro-Hydropower Sourcebook [41]

Energie Schweiz: Handbuch Kleinwasserkraftwerke [32]

Landeskarten: <https://map.geo.admin.ch/>

Landeskarten und Luftbilder auf Web-GIS-Applikationen [42]

4.3 Spezialfall bestehende Anlage

In der Schweiz bestehen noch viele alte Anlagen, welche Potential zur Modernisierung oder Reaktivierung haben. Gleichzeitig sollte auch immer geprüft werden, ob die Möglichkeit zur Erweiterung besteht (Erhöhung der Fallhöhe, Erhöhung der Ausbauwassermenge – siehe unten). Für manche Kraftwerksbesitzer stellt sich diese Frage auch aufgrund veränderter rechtlicher Grundlagen (z.B. GSchG), wodurch sie plötzlich gezwungen sind, Massnahmen an ihren Kraftwerken zu tätigen.

Grundsätzlich muss unterschieden werden zwischen

- Modernisierung Verbesserungsmassnahmen an einer im Betrieb stehenden Anlage
- Erweiterung Erhöhung der Leistung / Produktion eines bestehenden Kraftwerks, in der Regel im Rahmen einer Modernisierung
- Reaktivierung Massnahmen an einer nicht im Betrieb stehenden Anlage (teils auch als Revitalisierung bezeichnet)

Bei einer bestehenden Anlage ist zu untersuchen, ob sie technisch zweckmässig und wirtschaftlich betreibbar ist, bzw. ob eine Investition in die Anlage gerechtfertigt ist. Hierzu sind folgende Indikatoren zu betrachten:

- Technische Zweckmässigkeit
 - Nutzungsrecht
 - Zustand
 - Ökologie
 - Alter (nur bei Modernisierung)
 - Unterhalt (nur bei Modernisierung)
- Wirtschaftlichkeit:
 - Gestehungskosten
 - Ausbaupotential
 - Restwassereinfluss

Ein Indiz können dabei auch Nutzungsdauern sein, welche grob wie folgt quantifiziert werden können:

Bauwerke / Wasserbauanlagen / Stahlwasserbau	40 – 80 Jahre
Turbinen / Generatoren	30 – 40 Jahre
Kraftwerksleittechnik / Steuerung	10 – 15 Jahre

BFE: DIANE 10 Nutzen statt Aufgeben [29]

Technische Zweckmässigkeit

Bei der Reaktivierung oder Modernisierung bestehender Anlagen muss das neue Projekt in eine bestehende Umgebung eingepasst werden. Oft handelt es sich hierbei um Kraftwerke in ehemaligen Industriearealen oder Mühlen, welche heute eine andere Nutzung aufweisen als zum Zeitpunkt des Baus des Kraftwerkes. Entsprechend kommen neue Anforderungen auf den Projektentwickler zu. Insbesondere können folgende Massnahmen hohe Anforderungen an ein Projekt stellen und auch massgeblich die Wirtschaftlichkeit beeinflussen:

- **Altlasten:**
Wird ein Kraftwerk im Umfeld eines ehemaligen Industrieareals reaktiviert oder modernisiert, so ist mit Altlasten zu rechnen. Der Aushub, die Behandlung und Entsorgung können kostspielig sein.
- **Denkmalpflege:**
Kraftwerke in alten Industriearealen können denkmalpflegerisch wertvoll sein. Es gilt bereits früh abzuklären, ob allfällige Auflagen bestehen. Sind denkmalpflegerische Interessen relevant, sind allenfalls auch Zuschüsse der Denkmalpflege an das Projekt möglich.
- **Lärm / Vibrationen:**
Wo früher produziert wurde und Maschinen im Dauerbetrieb liefen, stehen heute Wohn- und/oder Bürogebäude. Dies stellt erhöhte Anforderungen an ein Kraftwerk. So sollten z.B. weder Lärm noch Vibrationen übertragen werden.
- **Ökologie:**
Bei bestehenden Kraftwerken werden meist Massnahmen nötig sein zur Sanierung von Fischgängigkeit und zur Durchgängigkeit für Geschiebe und Geschwemmsel (siehe Kapitel 6).

Modul V

Wasserrecht

Wasserrechte regeln, wer die Wasserkraft an welchem Gewässerabschnitt für die Stromproduktion oder zum Betrieb von Mühlen und Sägereien nutzen darf. Die Nutzbarmachung der Wasserkräfte setzt eine Konzession voraus, die der Kanton, in gewissen Kantonen jedoch auch die Gemeinde (z.B. Graubünden), auf längstens 80 Jahre erteilt. Daneben gibt es noch etliche unbefristete Nutzungsrechte. Als Entgelt für die Nutzung der Ressource «Wasserkraft» schuldet die Konzessionärin dem Gewässereigentümer, also dem Kanton, den Wasserzins.

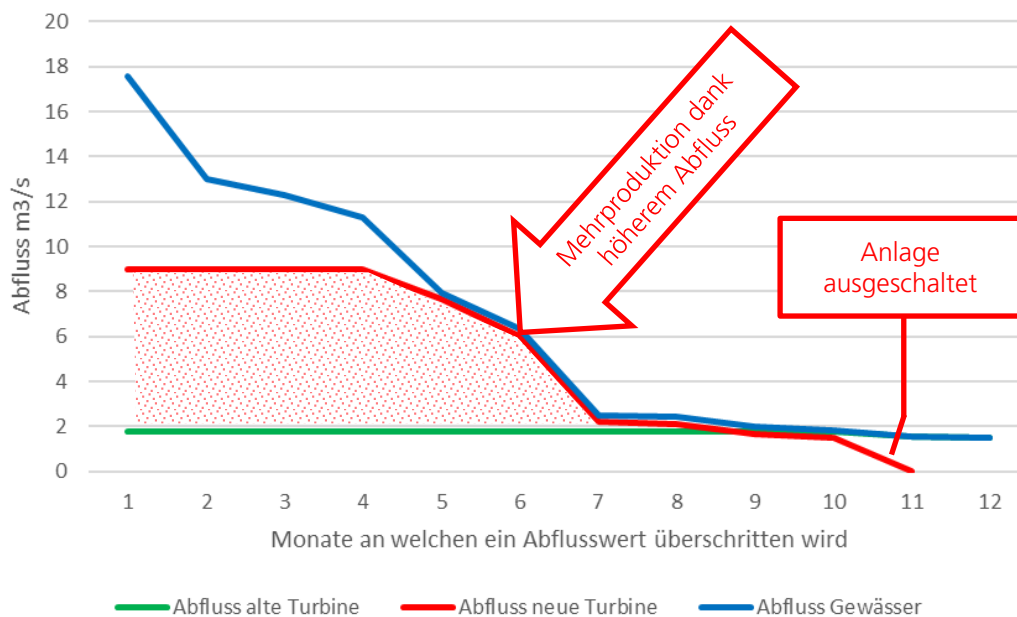
Werden bestehende Anlagen modernisiert, reaktiviert oder erweitert besteht in der Regel eine hohe Chance für eine Erneuerung der Konzession. Jedoch muss dann die Anlage auf den entsprechenden Stand der Technik gebracht und die gesetzlichen Anforderungen erfüllen.

Modul IV

Ausbaupotential

Wird eine Modernisierung, Erweiterung oder Rehabilitation geplant, ist das Ausbaupotential und damit auch die verfügbare Wassermenge (und verfügbare Fallhöhe) entscheidend für die künftige Produktion. Wo früher Restwasser oder Fischgängigkeit kein Thema waren, müssen heute solche Massnahmen getroffen werden, mit dem Effekt, dass weniger Wasser für die Produktion zur Verfügung steht.

Andererseits wurden früher Anlagen darauf ausgelegt, dass sie permanent produzieren können, dafür aber nur eine geringere Abflussmenge nutzten. Heute wird in Kauf genommen, dass eine Anlage vom Netz geht, weil zu wenig Wasser verfügbar ist, dafür in Zeiten mit viel Wasser, dieses dann auch grösstenteils turbinieren werden kann. Dadurch ergeben sich weniger Volllaststunden als früher aber dennoch eine höhere Produktion.



Modul III

4.4 Ausschreibung, Lieferung, Abnahme und Inbetriebnahme

4.4.1 Ausschreibung, Vergabe, Vertrag

Ausschreibung

Die öffentliche Hand, d.h. der Bund, die Kantone und Gemeinden, sowie andere Träger von Aufgaben der öffentlichen Hand haben dafür zu sorgen, dass Vorhaben "für umfangreiche öffentliche Einkäufe, Dienstleistungen und Bauten" amtlich publiziert werden. Das Bundesbeschaffungsrecht legt den möglichen Gegenstand einer öffentlichen Beschaffung (Art. 5 BöB) in Form von verschiedenen Auftragsstypen fest [43]. Das bedeutet, dass z.B. Energie- oder Wasserversorgungen, welche in öffentlicher Hand sind, Aufträge und Beschaffungen gemäss dem Submissionsgesetz abwickeln müssen.

Auf der anderen Seite können private Träger (natürliche wie juristische Personen) Beschaffungen und Vorhaben frei nach dem Obligationenrecht beschaffen.

Beschaffungen können tabellarisch wie folgt gegliedert werden (nach [44]):

		Beschaffungsformen			
		Lösungsorientierte Beschaffungsformen		Leistungsorientierte Beschaffungsformen	
		Wettbewerb	Studienauftrag	Leistungsangebote	
				Funktionale Leistungsangebote	Leistungsangebote über detailliertes Pflichtenheft
Verfahrensart	offen	X	-	X	X
	selektiv	X	X	X	X
	Einladung	X	X	X	X
	freihändig	Gewinner	Gewinner	X	X

Eine Beschaffung benötigt eine Ausschreibung. Unabhängig was beschafft werden soll, sollten einige Punkte beachtet werden. In Anlehnung an die SIA Norm 118 [45]:

- Durch die Ausschreibung richtet der Bauherr gleichzeitig an mehrere Unternehmer die Einladung, ihm auf Grund bestimmter Unterlagen ein Angebot für die Ausführung einer (Bau-) Arbeit einzureichen (Art. 4).
- Die Ausschreibung setzt ein hinreichend klares Projekt voraus (Art. 5).
- In der Ausschreibung gibt der Bauherr den Unternehmern die Anforderungen bekannt, die er an das Angebot stellt (Eingabefrist, verlangte Beilagen etc.). Der Bauherr soll aber auch alle Angaben vermitteln, damit die Unternehmer sich Klarheit über die Absicht verschaffen können (Art. 6).

Es liegt in der Natur der Sache, dass der Bauherr zu Beginn eines Projektes für die Beschaffung der notwendigen Planungsleistungen erst über grobe Grundlagen verfügt. Dennoch sollte er schon früh eine klare Vorstellung des zu erwartenden Endzustandes, die Finanzierung und den Zeitraum haben.

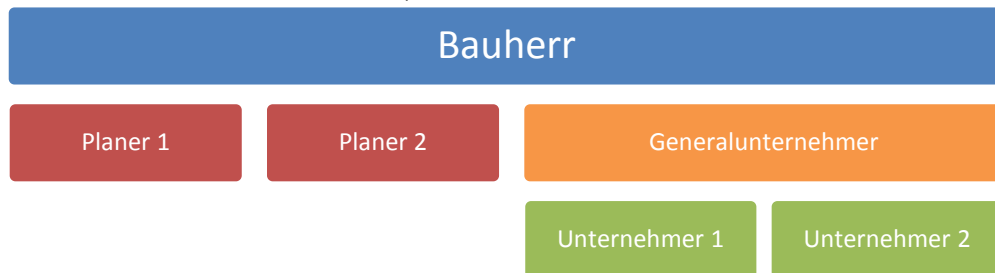
Organisation

Als Bauherr muss eine Projektorganisation gewählt werden, welche den eigenen Möglichkeiten, Neigungen und Erfahrungen entspricht. Dabei gibt es grundsätzlich drei Gestaltungsformen:

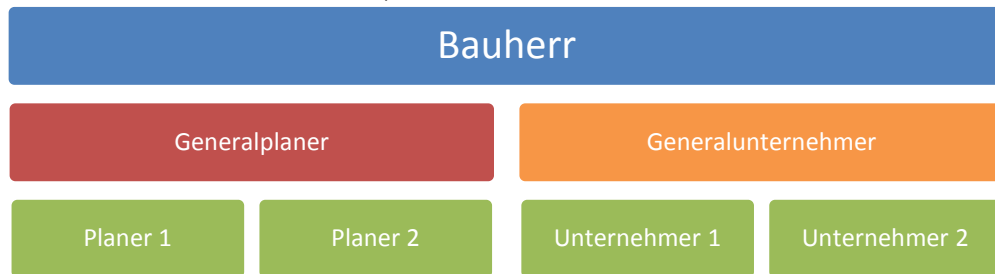
- Einzelverträge mit allen Beteiligten



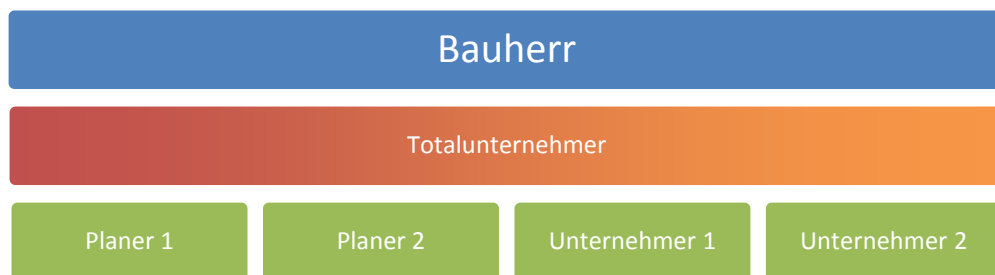
- Generalunternehmer ohne Generalplaner



- Generalunternehmer mit Generalplaner



- Totalunternehmer



Die Wahl der Projektorganisation ist in der Regel abhängig von:

- Der Erfahrung des Bauherrn;
- Der Komplexität des Projektes;
- Der Wirtschaftlichkeit (evtl. wird eine alternative Organisationsform von Unternehmern in der Submissionsphase als Option angeboten);
- Der Risikobeurteilung durch den Bauherrn.

Wird eine Organisationsform mit Einzelverträgen gewählt, so muss der Bauherr mit allen am Bau Beteiligten Verträge aushandeln und dies in der Umsetzung kontrollieren. Dafür gewinnt er an Handlungsfreiheit, da eine direkte Einflussnahme möglich ist. Als Gegenstück kann die Totalunternehmer-Lösung gesehen werden, bei der der Bauherr nur einen Projektpartner hat. Das vertragliche Netzwerk wird dabei auf einen einzigen Werkvertrag reduziert, dafür sinkt die Möglichkeit der Einflussnahme des Bauherrn auf einzelne Projektbeteiligte.

Vergabe und Vertrag

Zur Beurteilung von Offerten sollten nach Möglichkeit klar messbare Kriterien verwendet werden. Hierbei ist die Beurteilung nach dem Preis die einfachste. Wobei die billigste Lösung nicht immer die günstigste ist. Entsprechend sollten Erfahrung, Referenzen, Schlüsselpersonal etc. der Anbietenden beurteilt werden. Im Sinne von Transparenz sollten die Vergabekriterien bei der Ausschreibung bekannt gemacht werden.

Mit dem Zuschlag an einen Anbietenden (mündlich oder schriftlich) entsteht ein Vertragsverhältnis, welches dann mittels einer Vertragsurkunde konkretisiert werden kann.

Zu unterscheiden ist auch die Vertragsart. Bei Planungsleistungen liegt in der Regel ein Dienstleistungsvertrag vor (Auftragsverhältnis), für die Ausführung werden Werkverträge geschlossen. Die Unterscheidung ist insbesondere dann wichtig, wenn es um die Beurteilung der abgelieferten Leistung geht. Bei Dienstleistungsverträgen wird ausschliesslich eine Leistung, nicht jedoch ein Resultat geschuldet, wohingegen ein Unternehmer mit Werkvertrag für das Resultat haftbar ist (Mängelrechte).

In der Regel empfiehlt es sich, die SIA Normen 102ff für Planerleistungen sowie die SIA 118 für Werkverträge vertraglich zu vereinbaren (Ansonsten gelten die Bestimmungen gemäss Obligationenrecht).

BFE: Planung und Verfahren, Leitfaden für Bauherren [33]

BFE: Handbuch Kleinwasserkraftwerke [32]

Stöckli / Siegenthaler: die Planerverträge [46]

Spiess / Huser: Norm SIA 118 [47]

Gauch: Der Werkvertrag [48]

SIA Norm 118 [45]

SIA Norm 102 / 103 [49]

SIA Norm 112 [30]

Galli / Moser / Lang / Steiner. Praxis des öffentlichen Vergaberechts [43]

Stöckli / Beyeler: Das Vergaberecht der Schweiz [50]

Kurer / Quinto / Maffioletti (Hrsg.): Handbuch zum Bauwesen [44]

4.4.2 Bau

Der Bauprozess ist eine komplexe Abfolge von Projektleistungen, welche oft ineinandergreifen. Aus Sicht des Bauherrn sind dabei insbesondere die Kosten, die Qualität der Ausführung sowie die Projektlaufzeit wichtig. Die Grundlage hierfür wird durch Ausschreibung und Selektion der geeigneten Partner gelegt.

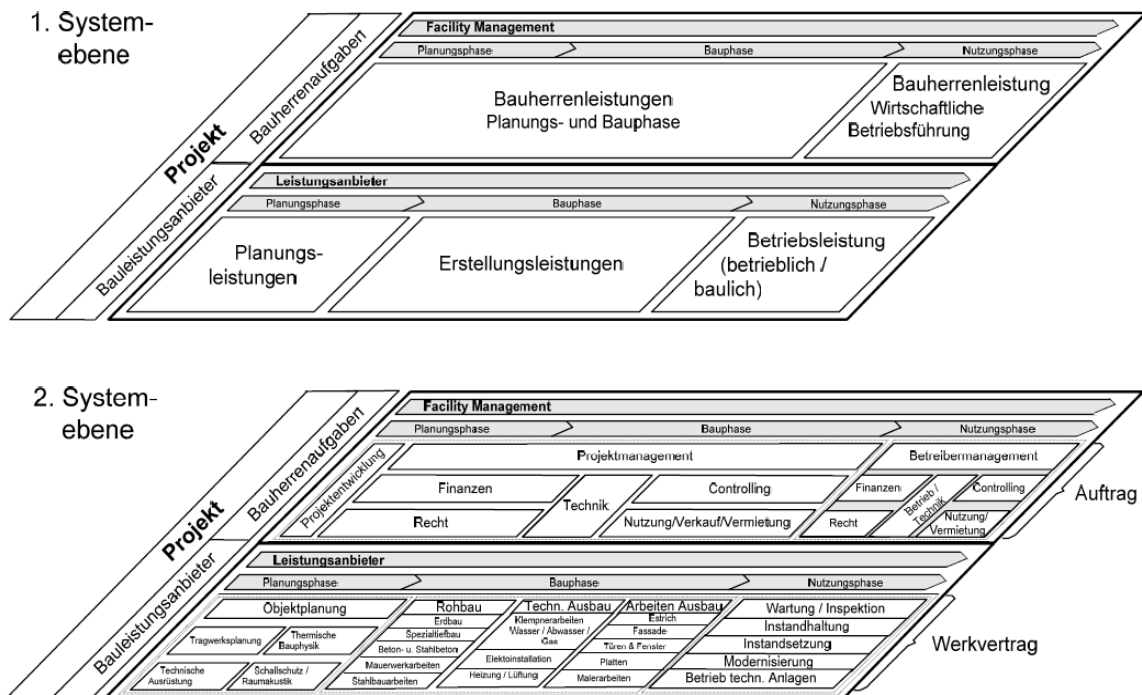


Abbildung 4-9 Systematisierung von Projektleistungen, [51]

Girmscheid: Skript Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus [51]

Verantwortlichkeiten

Im klassischen Fall wird der Bau im Dreieck *Bauherr – Planer – Unternehmer* ausgeführt. Dabei ist insbesondere auf einige rechtliche Punkte zu achten.

Der Bauherr

- ist zur Mitwirkung am Projekt verpflichtet, d.h. er muss zeitgerecht die notwendigen Entscheide fällen;
- muss die erbrachten Leistungen gemäss vertraglichen Vereinbarungen vergüten, d.h. er ist für die Finanzierung verantwortlich;
- muss die Planung und das Werk jeweils nach der Ausführung abnehmen.

Der Planer

- nimmt, da der Bauherr in der Regel wenig bis keine Erfahrung, hat eine besondere Stelle als Berater und Vertreter des Bauherrn ein. Dieses wichtige Vertrauensverhältnis wird auch in der Rechtsprechung immer wieder hervorgehoben;
- erbringt eine Dienstleistung und kein Werk. Entsprechend ist er dem Bauherrn nur eine Leistung schuldig (d.h. er muss nur nachweisen, dass er an einem Projekt gearbeitet hat), nicht aber ein Resultat (z.B. eine Anlage innerhalb der geforderten Zeit oder des Kostenrahmens fertigzustellen).

Der Unternehmer

- erstellt ein Werk, d.h. er ist verpflichtet im vertraglich vereinbarten Zeit- und Kostenrahmen ein Werk abzuliefern, das ohne Mangel ist. Ein Werk ist mangelhaft, wenn ihm eine bestimmte Eigenschaft fehlt, die es nach dem Werkvertrag haben sollte. Die Vertragsabweichung bilden den Werkmangel [48];

- kann, wenn während der Ausführung Änderungen am Projekt vorgenommen werden, oder Gegebenheiten von der Ausschreibung abweichen, eine Mehrvergütung sowie eine Anpassung der Zeitverhältnisse verlangen.

Gauch: Der Werkvertrag [48]

SIA 118 [45]

Stöckli / Siegenthaler: Die Planerverträge [46]

Terminplanung

Für ein Bauprojekt wird in der Regel ein Terminprogramm erstellt. Bei Kraftwerksprojekten sind hinsichtlich der zeitlichen Planung insbesondere zu beachten, dass

- Bewilligungsverfahren lange dauern können (6 – 12 Monate mindestens);
- Anlageteile wie z.B. Turbinen/Generatoren/Transformatoren haben relativ lange Lieferfristen (8 - 12 Monate, bei grösseren Anlagen länger);
- Arbeiten im Wasser dürfen zu gewissen Jahreszeiten (Schonzeiten) nicht ausgeführt werden;
- Bauarbeiten je nach Jahreszeit witterungsbedingt verzögert werden (Winter).

BFE: Planung und Verfahren, Leitfaden für Bauherren [33]

BFE: Handbuch Kleinwasserkraftwerke [32]

Kostenüberwachung

Baukostenabschätzung sowie die Kostenkontrolle sind schwierig und mit einer gewissen Ungenauigkeit:

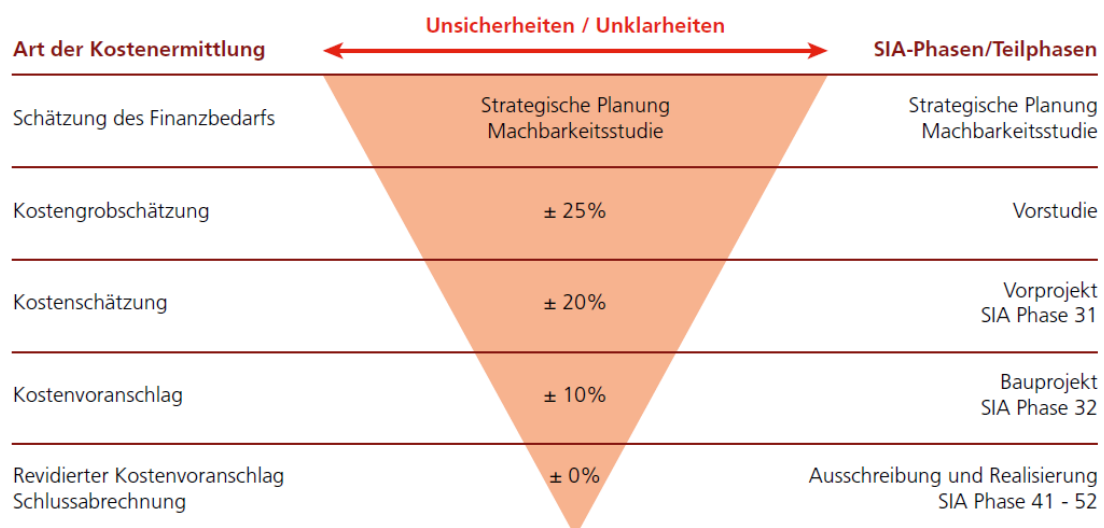


Abbildung 4-10 Kostengenauigkeit, in Abhängigkeit der SIA Teilphase, [33]

Der Planer ist im Rahmen der Kostenermittlung lediglich für die fachgerechte Erstellung einer Kostenprognose verantwortlich. Er kann jedoch nicht für eine fachgerecht erstellte, aber nicht eingetretene Prognose verantwortlich gemacht werden.

Während der Umsetzung ist der Planer jedoch verpflichtet, die Kosten ständig zu überprüfen und den Bauherrn rechtzeitig über die zu erwartenden Kosten zu informieren. Unterlässt der Planer diese Kontrolle kann er theoretisch hierfür haftbar gemacht werden.

Es empfiehlt sich jedoch, dass der Bauherr für die Kosten ein Kontrollsystem etabliert, und die Angaben vom Planer fallweise auf deren Plausibilität prüfen lässt.

BFE: Planung und Verfahren, Leitfaden für Bauherren [33]

Stöckli / Siegenthaler: Die Planerverträge [46]

4.4.3 Abnahme und Inbetriebnahme

Wird ein (Bau-) Werk vollendet, wird der Ersteller dem Besteller mitteilen, dass das Werk nun erstellt sei, und er (der Ersteller) nun seinen Teil des Vertrages erfüllt habe. Hier ist zu unterscheiden, ob dem Werkvertrag die SIA Norm 118 zu Grunde liegt, oder ob es sich um einen Werkvertrag nach Obligationenrecht handelt. Denn dies hat einen Einfluss auf den Prozess und die Fristen. Der Ablauf ist wie folgt:

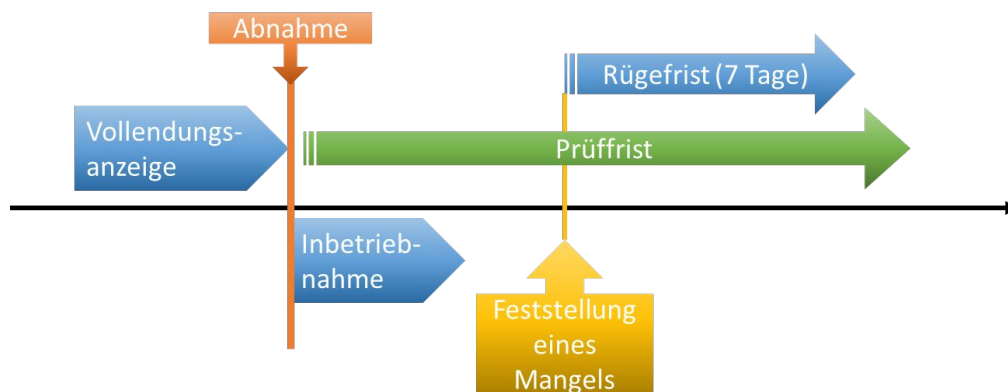


Abbildung 4-11 Ablauf nach Obligationenrecht [52]:

Nach:

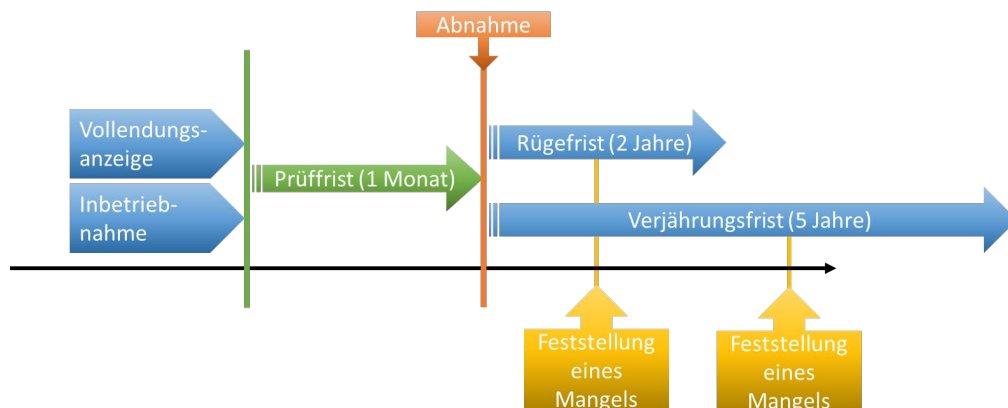


Abbildung 4-12 Ablauf nach SIA 118 [45]

Die Hauptunterschiede sind:

- Nach SIA 118 erfolgt nach der Vollendungsanzeige eine gemeinsame Prüfung innert Monatsfrist. Erst dann erfolgt die Abnahme.
- Nach SIA 118 kann ein festgestellter Mangel, welcher während der 2-jährigen Rügefrist entdeckt wird, irgendwann im Laufe der zwei Jahre ab Abnahme gerügt werden. Nach Ablauf der Rügefrist, aber noch während der Verjährungsfrist (5 Jahre) muss ein Mangel sofort (binnen 7 Tage) gerügt werden. Nach OR muss bereits ab der Abnahme ein Mangel sofort (binnen 7 Tage) gerügt werden.

Gauch. Der Werkvertrag [48]

SIA 118 [45]

Im ganzen Prozess zu beachten ist, dass die Abnahme ein rechtlich definierter Zeitpunkt ist, denn ab da laufen die Garantiefristen (Rüge- / Verjährungsfrist). Eine Abnahme hat gemeinsam zwischen Bauherr und Unternehmer zu erfolgen und sollte protokolliert werden.

Eine Anlage, Anlageteile oder Materialien können jedoch bereits vor der Abnahme Prüfungen unterzogen werden hinsichtlich geforderter Eigenschaften (Materialprüfungen beim Beton, Funktionsprüfungen etc.). Diese gehen zu Lasten der Bauherrschaft. Ebenfalls können vor der Abnahme Teile des Werkes in Betrieb genommen werden. Mit Inbetriebnahme gilt jedoch die Vollendung als angezeigt. Dies hat dann auch Auswirkungen hinsichtlich Verantwortung bei Schäden z.B. durch Naturgefahren. Mit der Inbetriebnahme geht das Risiko vom Unternehmer auf den Bauherrn über.

5. Betrieb und Wartung

5.1 Praxis von Betrieb und Wartung

Der Betrieb von Kleinwasserkraftanlagen wird geprägt durch folgende Faktoren:

- Wirtschaftlichkeit (Optimierung der Produktion gegenüber Betriebsaufwand);
- Umweltschutz / Gewässerschutz;
- Schutz vor Naturgefahren.

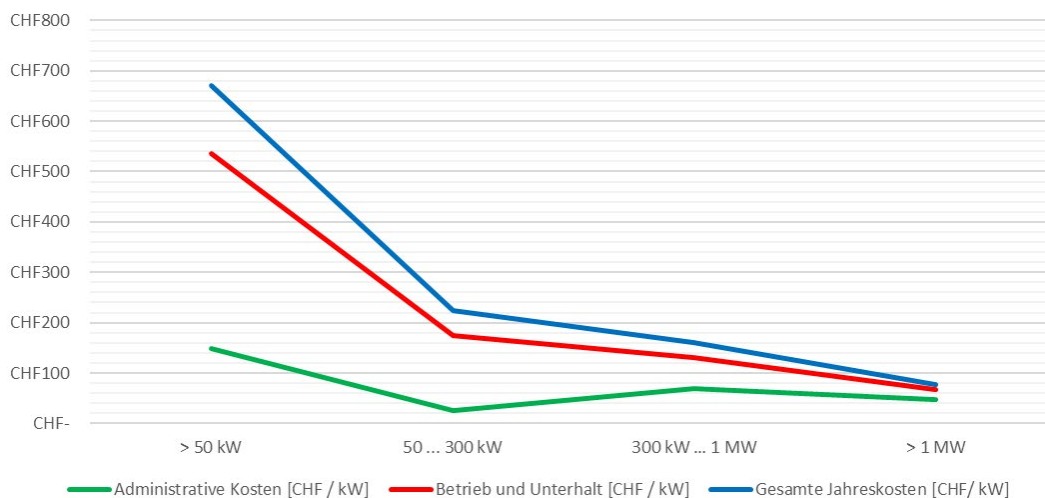
5.1.1 Betriebskonzept

Für jede Anlage wird ein Betriebskonzept erstellt. Ein Betriebskonzept beschreibt in der Regel in einem ersten Teil die Anlage und als zentrales Element die Beschreibung und Vorgaben für den Betrieb. Dabei wird folgendes geregelt:

- Organisation: Wer ist wofür zuständig und hat welche Aufgaben;
- Betriebliche Anweisungen im Normalbetrieb: Wer hat was, wann zu tun. Hierzu gehören auch Anweisungen für Wartung und Unterhalt. Grundlagen hierfür sind die Vorgaben der Hersteller und Systemlieferanten. Diese werden durch den Kraftwerksbesitzer im Einzelfall ergänzt.
- Betriebliche Anweisungen im ausserordentlichen Betrieb: Wie wird bei Störungen vorgefallen, wer hat welche Aufgaben und Kompetenzen. Hierbei werden die Abläufe für die wichtigsten Szenarien aufgezeigt.
- Sicherheitsanalyse: Dabei stehen insbesondere der Gewässerschutz und der Brandfall im Fokus. Weitere Gefahren sind im Einzelfall zu prüfen (z.B. Erdrutsche etc.).

5.1.2 Wirtschaftlichkeit

Im 2016 veröffentlichte der ISKB (heute Swiss Small Hydro) Umfrageresultate, welche die durchschnittlichen Betriebs- und Unterhaltskosten aufzeigt [53]. Darin ist klar ersichtlich, dass je kleiner die Anlage, desto höher die Kosten pro kW sind, bzw. dass Kraftwerke einen hohen Anteil an Fixkosten haben. 60% der Kleinwasserkraftwerke gehören zur Kategorie < 300 kW (siehe 1.2).



Graphik 5-1 Betriebs- und Unterhaltskosten, [53]

Die Betriebskosten sind massgeblich geprägt vom Personalaufwand, welcher ca. 70% der Kosten ausmacht. Entsprechend liegt der Fokus bei der Optimierung des Betriebsaufwandes auf folgenden Punkten:

- Installation von modernen, wartungsarmen Komponenten:
Moderne Anlagen sind in der Regel automatisch gesteuert und sehr wartungsarm. Die Wartung beschränkt sich auf die regelmässige Kontrolle und gelegentliches Reinigen aller Teile sowie dem Schmieren und Fetten beweglicher Teile. Dank der Automatisierung kann ein grosser Teil des Personalaufwandes reduziert werden.
- Steuerung der Anlage aus der Ferne
Oft dauern betriebsbedingte (keine Unterhaltsarbeiten) Tätigkeiten nur wenige Minuten, so dass die eigentliche An- und Abreisezeit oft grösser ist, als der Eingriff auf der Anlage. Mittels Fernwartung kann dieser Aufwand nahezu eliminiert werden.
- Kombination des Betriebes mehrerer nahe beieinanderliegender Anlagen:
Mit der betrieblichen Kombination kann die "unproduktive" Zeit (z.B. Reisezeit) auf ein Minimum reduziert, bzw. auf die verschiedenen Anlagen verteilt werden. Dadurch reduzieren sich die Kosten pro Anlage.
- Handwerkliche Fähigkeiten des Anlagewarts:
Ein handwerklich begabter Anlagewart kann einfache Arbeiten selbst ausführen und reduziert so die Kosten für Arbeiten Dritter, welche vielfach höher zu kalkulieren sind, als die internen Kosten eines Anlagewarts.

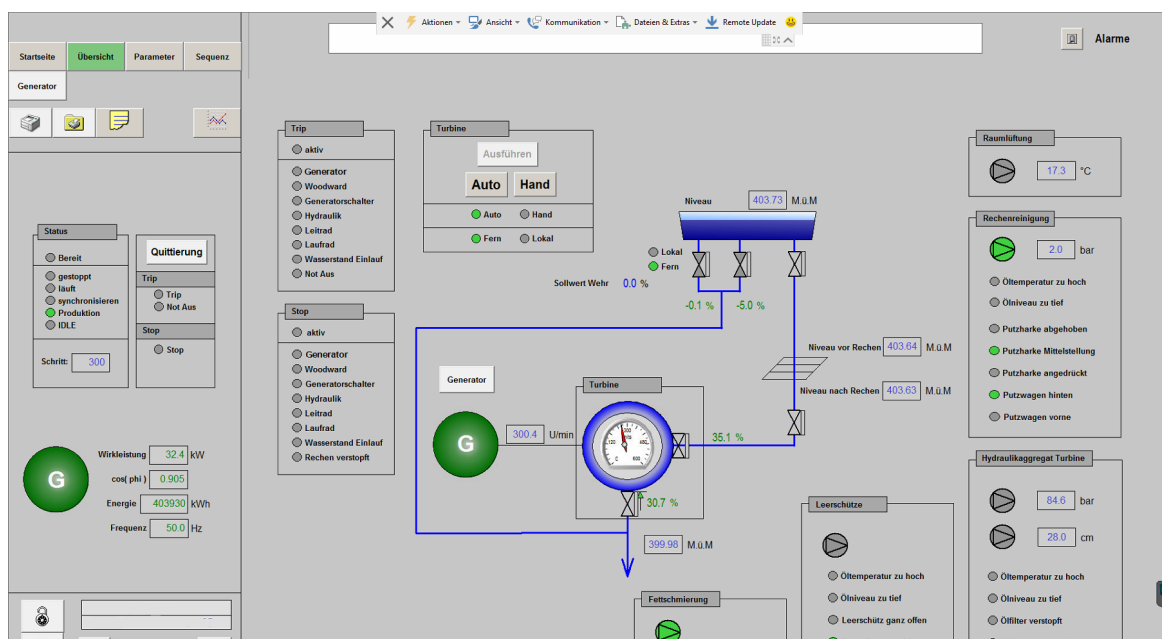


Abbildung 5-1 Fernwartung eines KWK

5.1.3 Umweltschutz

Hinsichtlich Umweltschutz sind beim Betrieb folgende Punkte relevant (siehe auch Kapitel 6 sowie Modul V):

- Gewässerschutz und Gewässerunterhalt:
Den Anlagebetreibern obliegt in der Regel die Unterhaltungspflicht für die Gewässer entlang der Konzessionsstrecke. Hier ist i.d.R. auf eine naturnahe Bewirtschaftung Wert zu legen. Ebenfalls ist betrieblich ein Gewässerschutz sicherzustellen, so dass insbes. auch in ausserordentlichen Lagen (z.B. Hochwasser) keine negativen Beeinträchtigungen auf Flora und Fauna bedingt durch das Kraftwerk zu erwarten sind.

- Fischgängigkeit – betrieblich ist sicherzustellen, dass Restwasserstrecken- und Fischpässe dauerhaft und ausreichend mit Wasser versorgt sind.
- Entsorgung des Treib-, Schwemm- und Rechenguts – wobei Geschwemmsel natürlichen Ursprungs dem Gewässer wieder zurückgegeben werden darf/muss.

Modul V.1

BFE: Handbuch Kleinwasserkraftwerke [32]

Rechtliche Grundlagen / Bundesgesetze (GSchG, BGF, USG, NHG) [52]

5.2 Arbeitssicherheit

Der Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz wird im Arbeitsgesetz in Artikel 6 geregelt. Die Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz konkretisiert diese Anforderung

Im Bereich Kleinwasserkraftwerke ist ein besonderes Augenmerk auf die Betriebswarte zu legen. Ist das Kraftwerk einmal in Betrieb, sind diese oftmals alleine tätig, was gewisse Risiken mit sich bringen kann.

Ein einfaches Hilfsmittel zur Beurteilung von Risiken ist die Anwendung einer Risikomatrix. Darin wird – und dies ist der limitierende Faktor – jedes Risiko für sich betrachtet beurteilt.

Wahrscheinlichkeit	hoch	4	5	6	7
	mittel	3	4	5	6
	gering	2	3	4	5
	sehr gering	1	2	3	4
		Leichte Verletzungen oder Erkrankungen	Mittelschwere Verletzungen oder Erkrankungen	Schwere Verletzungen oder Erkrankungen	Möglicher Tod, Katastrophe
Schadensausmass					

Für Arbeitsrisiken im grünen Bereich sind keine Massnahmen erforderlich, für solche im gelben sollten Massnahmen zur Reduzierung geprüft werden und diejenigen im roten Bereich müssen umgehend vermieden werden. Bei Kleinwasserkraftwerken ist das Hauptrisiko, dass der Anlagewart meist alleine arbeitet. Entsprechend ist im Rahmen der Beurteilung der Arbeitssicherheit auf Massnahmen zu achten, damit die Arbeiten ohne unnötiges Risiko ausgeführt werden können, bzw. dass in jedem Fall auch die Alarmierung sichergestellt ist. Wo nötig sollten Arbeiten zu zweit ausgeführt werden.

SUVA: sichere Kläranlagen [54]

SUVA: Checkliste: Allein arbeitende Personen [55]

SUVA: Acht lebenswichtige Regeln für die Instandhaltung [56]

5.3 Hochwasserschutz

Kleinwasserkraftwerke haben im Betrieb nur beschränkt Möglichkeiten, einen Beitrag zum Hochwasserschutz zu leisten. Moderne Laufkraftwerke können mit automatisch gesteuerten, beweglichen Wehranlagen im Nahbereich Hochwasser-Auswirkungen abfedern. Zudem wird im Rahmen einer Modernisierung die Hochwassersicherheit immer überprüft und wo nötig mit geeigneten Massnahmen angepasst.

Weiter helfen auch ökologische Massnahmen, die Hochwassergefahren zu entschärfen. So können etwa durch die Anbindung von Auengebieten nicht nur die Hochwasserwelle gepuffert werden, sondern auch Lebensräume geschaffen und verbunden werden. Werden solche Überflutungsgebiete im Bereich des Oberwassers erstellt, entsteht zudem ein ökonomischer Mehrwert: Je mehr Überflutungsflächen zur Verfügung stehen, und damit Wassermengen zwischengespeichert werden, umso mehr Wasser kann nach dem Rückgang des Hochwassers für die Energieerzeugung verwendet werden.

Betrieblich müssen jedoch Massnahmen zur ungefährdeten Weiterleitung von Hochwasser getroffen werden. So kann bei angekündigtem Hochwasser die Anlage z.B. rechtzeitig abgeschaltet werden, Wehre geöffnet oder geschlossen werden. Weiter kann durch bauliche Massnahmen der Hochwasserschutz erhöht werden. Solche Massnahmen, wie auch die fortlaufende Entnahme von Schwemmgut sind Beiträge an den Hochwasserschutz, um so z.B. die Verklausung durch Schwemmholz zu vermeiden.

Schweizer Wasserwirtschaftsverband, Hochwasserschutz und Wasserkraft [57]

Schweizer Wasserwirtschaftsverband, Hochwasserschutz und Wasserbau [58]

6. Technische Umsetzung ökologischer Massnahmen

6.1 Sedimentation und Schwemmgut

Der Geschiebehaushalt ist ein charakteristisches und bestimmendes Merkmal eines Fließgewässers. Das vom Oberwasser zugeführte Geschiebe ersetzt durch Hochwasser erodiertes Material und führt zu einer regelmässigen Erneuerung von Kiesbänken und des Substrats. Ohne ausreichende Geschiebezufuhr aus dem Oberwasser wird das Gerinne ausgeräumt, lockere Kiesablagerungen fehlen, die Sohle pflästert sich ab und kolmatiert. Ohne Gegenmassnahmen kann sich das Gerinne eintiefen. Diese Prozesse führen zu einer zunehmenden Beeinträchtigung des Lebensraums. Beispielsweise regelt der Geschiebehaushalt die Sohlenhöhe des Gerinnes und steuert dadurch das Grundwasserniveau und gegebenenfalls das Funktionieren von Auengebieten. Letztere können durch die Eintiefungstendenz vom Gewässersystem irreversibel abgekoppelt werden. Der Geschiebehaushalt von Schweizer Fließgewässern ist sehr unterschiedlich zu bewerten. Einerseits gibt es Gewässer, die aufgrund der anthropogenen Eingriffe kaum Geschiebe führen und deren Geschiebehaushalt deshalb stark beeinträchtigt ist. Andererseits gibt es Fließgewässer, die einen Geschiebeüberschuss aufweisen und in denen unerwünschte Sohlenuflandungen nur durch Kiesentnahmen verhindert werden können. [59]

Um Geschiebe am Kraftwerk vorbei zu bringen, können neben der geschickten Anordnung des Kraftwerks im Flusslauf, sowohl auch bauliche wie betriebliche Massnahmen getroffen werden. Baulich stehen Möglichkeiten wie Trennschwellen mit Geschiebesammel- und -spülrinnen oder Spülschütze direkt vor der Rechenanlage zu Verfügung. Betrieblich kann insbesondere im Hochwasserfall versucht werden, mittels geeigneter Wehrsteuerung das Geschiebe durch das Gewässer "selbständig" am Kraftwerk vorbei abzuführen.

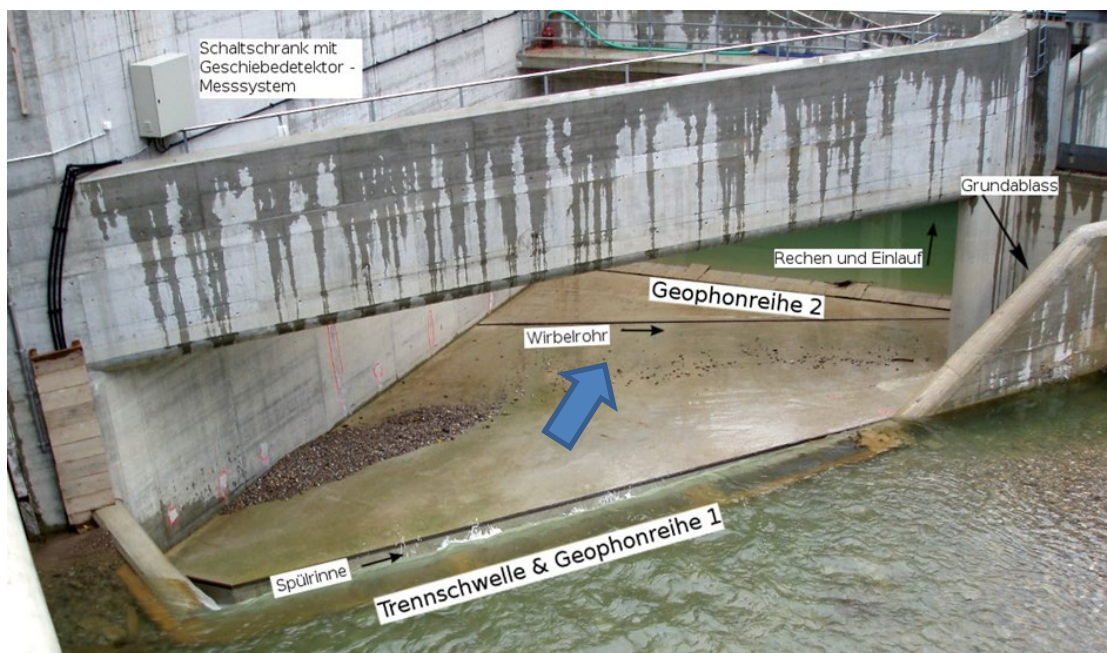


Abbildung 6-1 Umsetzung am KW Mühlau, [60]

BFE: DIANE 10 - Geschwemmsel bei Kleinwasserkraftwerken [29]

BAFU – Geschiebe [59]

BFE: Bewältigung von Geschiebe an Kleinwasserkraftanlagen [60]

BFE: Verschmutzung von Kleinwasserkraftanlagen [61]

6.2 Fischgängigkeit

Das neue Gewässerschutzgesetz verlangt die Fischgängigkeit in den Schweizer Flüssen wiederherzustellen. Hindernisse, die diese wesentlich beeinträchtigen, müssen saniert werden. Das Bundesgesetz über die Fischerei aus dem Jahr 1991 schreibt vor, dass bei jedem technischen Eingriff in ein Gewässer die freie Fischwanderung sicherzustellen ist. Das 2011 in Kraft getretene revidierte Gewässerschutzgesetz verpflichtet die Inhaber von Wasserkraftanlagen dazu, ökologische Beeinträchtigungen durch Nutzung der Wasserkraft bis 2030 zu beseitigen. Zu diesen gehört auch die Beeinträchtigung der Fischwanderung. Hindernisse, welche die Fischwanderung wesentlich beeinträchtigen, müssen saniert werden. Die Inhaber von Wasserkraftanlagen werden dafür vollständig entschädigt. Dies gilt auch für die anschliessenden Erfolgskontrollen. Die Mittel dafür stammen aus einem Zuschlag auf die Übertragungskosten der Hochspannungsnetze und werden von den Stromkonsumenten finanziert. Der Ertrag dieser seit 2012 erhobenen Abgabe beläuft sich auf rund CHF 50 Millionen pro Jahr. [62]

Fischaufstiegsanlagen

Fischaufstiegsanlagen können grob in naturnahe und technische Anlagen unterschieden werden:

- Naturnahe Anlagen:
 - Umgehungsgewässer: Umgehungsgerinne sind naturnahe Bauwerke, die viele Eigenschaften von natürlichen Bächen aufweisen. Sie sind aus Sicht der Fischerei meist die beste Lösung, brauchen aber relativ viel Platz.



[63]

- Blockrampe / Raugerinne: Raugerinne-Fischpässe stellen eine Zwischenlösung dar zwischen naturnahem Umgehungsgerinne und technischem Fischpass.



- Naturnaher Beckenpass:



[64]

- Technische Aufstiegsanlagen:
 - Beckenpass: Der technische Beckenpass ist eine alte, platzsparende Form der Fischaufstiegshilfe. Beckenpässe werden heute jedoch nur noch selten erstellt, da sie für die Fische nicht optimal sind und relativ viel Unterhalt verursachen.

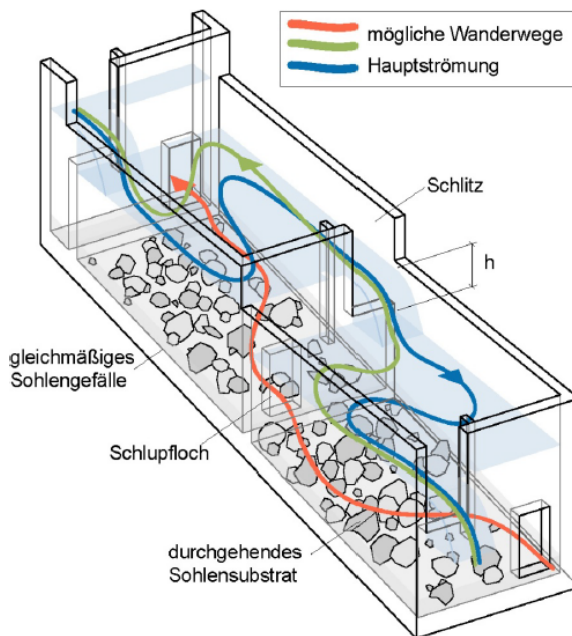


Abbildung 6-2 Technische Aufstiegsanlage mit aufeinanderfolgenden Becken, [65]

- Schlitzpass: Der Schlitzpass (Vertical slot) ist eine weiterentwickelte Form des Beckenpasses. Er erlaubt die Überwindung von grossen Höhendifferenzen auf engem Raum und verursacht relativ wenig Unterhalt.



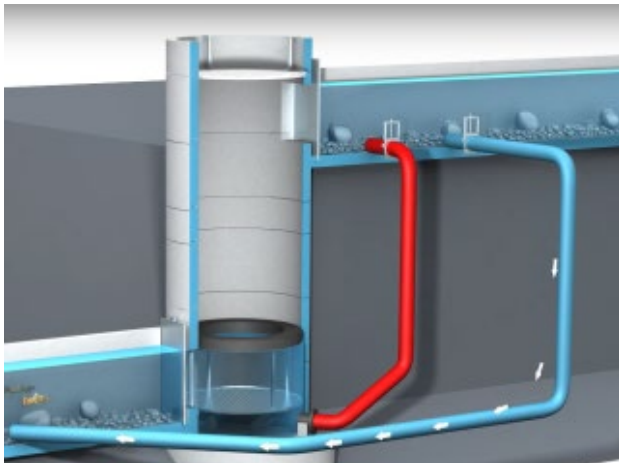
[63]

- Borstenpass: Beim - Borstenpass ersetzen elastische und durchlässige Borstenelemente die starren Trennelemente (wie sie z.B. im Beckenpass vorzufinden sind). Die Borsten bewirken eine effektive Energieumwandlung und bieten den Fischen zusätzliche Ruheräume.



[63]

- Fischlift / Fisch-Schleuse: Neuere Entwicklungen gehen dahin, zu versuchen, die Fische mit Techniken aus anderen Anwendungsbereichen über ein Hindernis zu bringen. Optionen sind z.B. Schleusen oder Fischlifte. Solche Anlagen werden bislang nur sehr vereinzelt eingesetzt.



[66]

- Fischeufstiegschnecke: Mit einer archimedischen Schraube wird Wasser angehoben in dem der sich Fische und andere Lebewesen in das Oberwasser tragen lassen können. Ebenfalls gibt es Lösungen mit einer kombinierten Schnecke, in welcher inwendig Fische aufsteigen können und ausserhalb das Wasser für die Turbinierung geführt wird sowie als Fischabstieg dient.

Kosten und Nutzen von Fischeufstiegsanlagen

Fischeufstiegshilfen sind teuer in der Erstellung (bis mehrere 100'000 CHF) und zum Teil platzintensiv. Dies erschwert die Umsetzung neuer Projekte. Dank finanzieller Unterstützung des Bundes sind Sanierungen bestehender Anlagen eher realisierbar. Mit dem erhöhten Platzbedarf entstehen unter Umständen Nutzungskonflikte bei bestehenden Standorten. Zudem kann durch den zusätzlichen nicht-produktiven Wasserbedarf zur Speisung der Fischeufstiegshilfe die Wirtschaftlichkeit einer Anlage geschmälert werden.

Fischabstiegsanlagen

Lösungen für den Fischabstieg sind noch nicht so weit entwickelt, wie für den Fischaufstieg. Bei Kleinwasserkraftwerken ist eine bewährte Lösung die Kombination eines Horizontalrechen in Kombination mit einem Bypass [66]. Ebenfalls laufen Entwicklungen von Turbinen, durch welche zumindest gewisse Fischarten schadlos gelangen können.



Abbildung 6-3 Untersuchung des Fischverhaltens vor einem horizontalen Stabgitter [66]

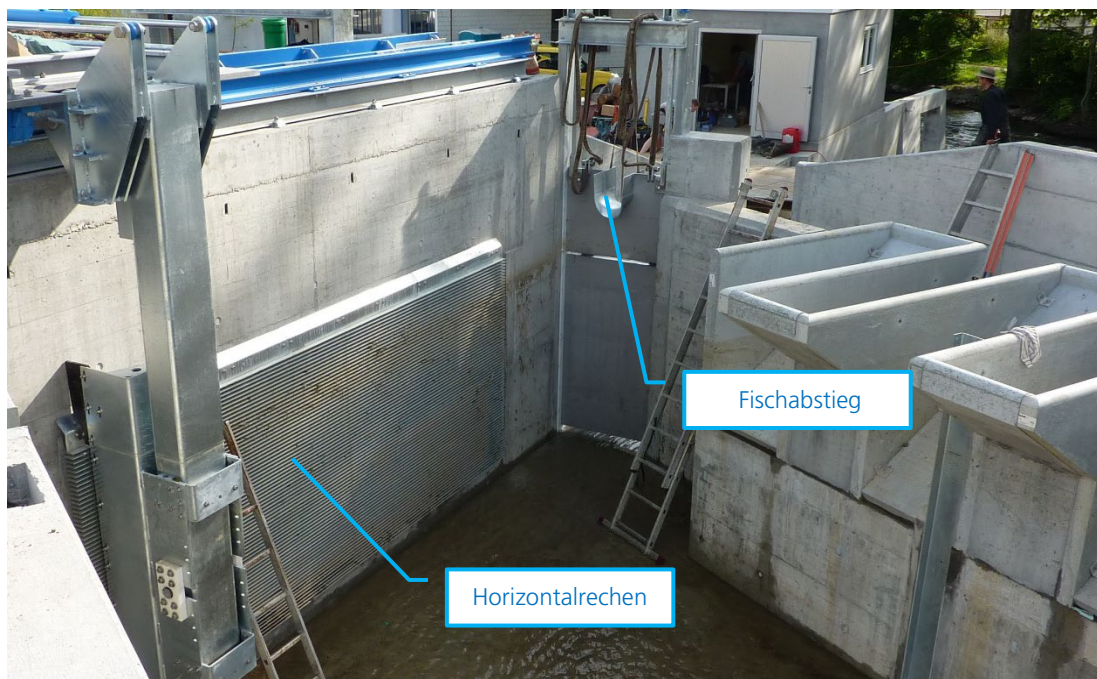


Abbildung 6-4 Horizontalrechen und Fischbypass am KW Hämmerli

Bayrisches Landesamt für Umwelt: Fischaufstiegsanlagen in Bayern

DWA-Merkblatt 509: Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung

DWA-Arbeitsgruppe WW-8.1: Fischschutz und Fischabstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle

Dr. Guntram Ebel: Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen

6.3 Schwall und Sunk

Im Tagesverlauf kommt es am Morgen und am späten Nachmittag zu Verbrauchsspitzen. Hingegen geht der Leistungsbedarf während der Nachtstunden stark zurück. Die einzigen Kraftwerkstypen, die es in der Schweiz erlauben, die Produktion kurzfristig dem Bedarf anzupassen, sind Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke. Wenn in den Morgenstunden der Stromverbrauch ansteigt, müssen die Speicherkraftwerke mehr Wasser turbinieren und geben somit mehr Wasser ins Gewässer zurück. Es entsteht ein Schwall. Während der Nachtstunden geht der Leistungsbedarf der Verbraucher (Industrie, Verkehr und Haushalte) soweit zurück, dass dieser von den Grundlastkraftwerken (Kernkraftwerke und Laufwasserkraftwerke) gedeckt werden kann. Die Speicherkraftwerke reduzieren ihre Leistung oder werden ganz abgestellt, was im Gewässer zu einem Sunk führt. Ohne diese Leistungsregelung durch die Speicherkraftwerke, wäre der zuverlässige Betrieb des Elektrizitätsnetzes nicht möglich. [67], [68]

*Prinzip-Darstellung aus Baumann & Klaus (2003), verändert.
Die Kennwerte beruhen auf Messdaten im Intervall von ≤ 10 Minuten.*

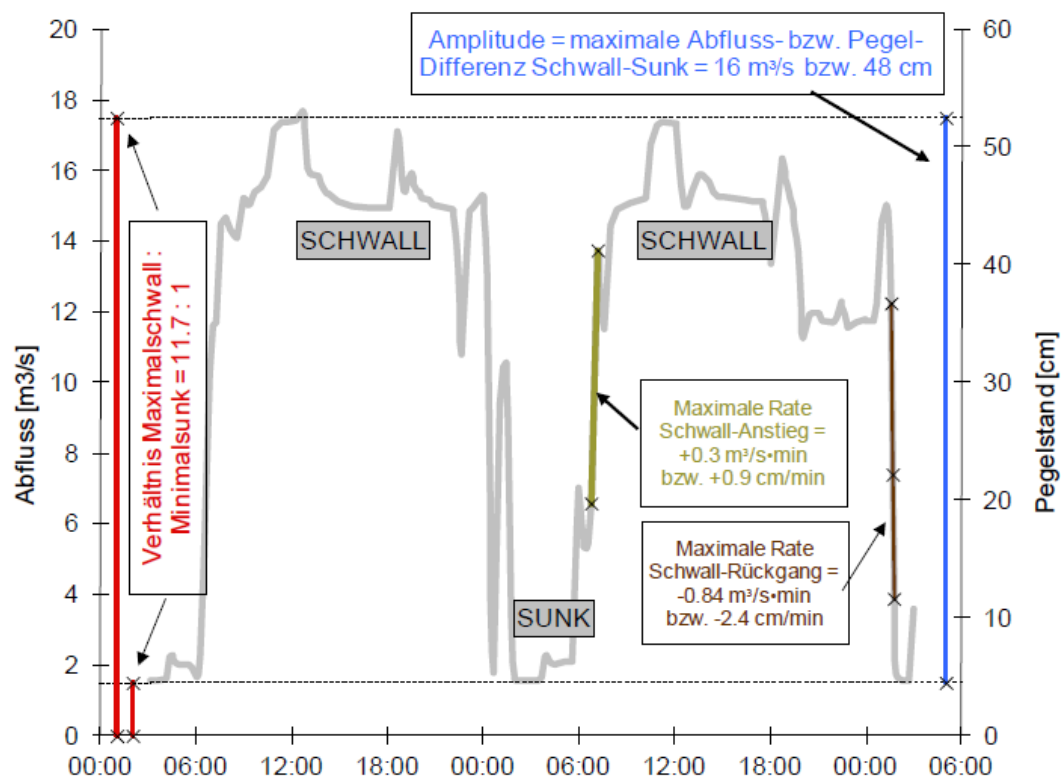


Abbildung 6-5 Wichtige Kennwerte des Schwallbetriebes, dargestellt anhand der Abfluss- bzw. Pegelganglinie, [67]

Bei Kleinwasserkraftwerken hat die Schwall /Sunk Thematik stark abgenommen. Wurde früher mit den Anlagen nach den Bedürfnissen des angeschlossenen Gewerbes produziert, so liegen heute mit den aktuellen Modellen zur Einspeisevergütung keine Anreize für Spitzenenergieerzeugung mehr vor. Kleinwasserkraftwerke produzieren daher bereits heute meist mit den im Gewässer vorhandenen Abflussmengen im 24/7 Dauerbetrieb. Die aktuellen Steuerungen können auch Lastwechsel an der Turbine so abfangen, dass die Schwall/Sunk-Auswirkungen auf das Gewässer gering bleiben.

6.4 Restwasser

Damit Fliessgewässer ihre natürlichen Funktionen erfüllen können, braucht es unterhalb von Wasserentnahmen ausreichend Wasser in Fluss- und Bachbetten. Das Gewässerschutzgesetz legt Restwassermengen fest. Ausreichendes Restwasser ist nötig, um die vielfältigen natürlichen Funktionen der Gewässer zu gewährleisten: Sei es als Lebensraum für Tiere und Pflanzen, als Landschaftselement oder zur Speisung von Grundwasser und zum Abbau von Schadstoffen. Deshalb muss seit Inkrafttreten des Gewässerschutzgesetzes 1992 in Flüssen und Bächen unterhalb von Wasserentnahmen ausreichend Restwasser im Bett belassen werden.

Das Gesetz legt fest, wie für die Bewilligung von Wasserentnahmen angemessene Restwassermengen bestimmt werden müssen. Dies gilt sowohl für neue Wasserentnahmen wie auch für bestehende Entnahmen, für die das Nutzungsrecht erneuert werden muss. Die Bestimmung der Restwassermenge gemäss dem Gewässerschutzgesetz (GschG) erfolgt über die Abflussmenge Q_{347} . Dies ist diejenige Menge, welche an 347 Tagen im Jahr erreicht wird. Art. 31 des GschG regelt, welcher Anteil dieser Abflussmenge immer im Fluss verbleiben muss. Jedoch bestimmen die Kantone für jedes Gewässer und jeden Entnahmeort separat, welche Restwassermenge angemessen ist. Dabei können auch Aspekte berücksichtigt werden, wie die Gewährleistung einer minimalen Wassertiefe für die freie Fischwanderung.

Die Auswirkungen der vorgeschriebenen Restwassermengen wurden auch in den Berechnungen des Ausbaupotenzials der Wasserkraft im Rahmen der Energiestrategie 2050 berücksichtigt.

BFE: Newsletter Kleinwasserkraft Nr. 22 [69]

BFE Studie zum Ausbaupotenzial der Wasserkraft in der Schweiz [70]

Die Umsetzung kann mannigfaltig erfolgen. Eine reine Dotierung der Restwassermenge kann über bauliche Massnahmen an der Fassung bzw. deren geometrischen Gestaltung erzielt werden. Mittels betrieblichen Massnahmen kann ebenfalls eine Dotierung mit Restwasser erreicht werden. Ein Teil des Restwassers kann aber auch über kombinierte Massnahmen wie z.B. Umgehungsgewässer zu Gunsten der Fischgängigkeit dem natürlichen Gewässerlauf zurückgegeben werden. In jedem Fall muss jedoch sichergestellt sein, dass bei allen Kraftwerkszuständen die Restwasserdotierung sichergestellt ist.

7. Quellenverzeichnis

- [1] Bundesamt für Energie, «Wasserkraft,» [Online]. Available: <http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00491/index.html?lang=de> [Zugriff am 15 09 2016].
- [2] Bundesamt für Energie, «Programm Kleinwasserkraftwerke,» [Online]. Available: <http://www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft/index.html?lang=de> [Zugriff am 15 09 2016].
- [3] Impulsprogramm Pacer - Erneuerbare Energien; Bundesamt für Konjunkturfragen, «PACER Publikationen,» Bundesamt für Energie, [Online]. Available: <http://www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft/03834/04170/index.html?lang=de>
- [4] Bayrische Landeskraftwerke, [Online]. Available: <http://www.landeskraftwerke.de> [Zugriff am 19 09 2016].
- [5] Energypedia, «Micro Hydro Power (MHP) Manuals,» [Online]. Available: [https://energypedia.info/wiki/Micro_Hydro_Power_\(MHP\)_Manuals](https://energypedia.info/wiki/Micro_Hydro_Power_(MHP)_Manuals) [Zugriff am 17 11 2016].
- [6] Sulmkraft GmbH, «Warum ein "Tiroler Wehr"?,» [Online]. Available: http://www.sulmkraft.at/Sulmkraft/TIROLER_WEHR.html
- [7] Bundesamt für Energie, «Vernachlässigte Technologien für Wasserfassungen - Schlauchwehr und Lochblechrechen als Alternative,» 2006.
- [8] J. Giesecke, S. Heimerl und E. Mosonyi, Wasserkraftanlagen, Berlin / Heidelberg: Springer Vieweg, 2014.
- [9] Hochschule für Technik und Wirtschaft Chur, «Wasserfassungen mit Coanda Rechen,» [Online]. Available: <http://www.htwchur.ch/ingenieurbauarchitektur/forschung-und-dienstleistung/forschung-und-entwicklung/bauen-im-alpinen-raum/wasserfassungen-mit-coanda-rechen.html> [Zugriff am 08 11 20016].
- [10] J. J. Strong und R. F. Ott, «Intake Screens for Small Hydro Plants,» Hydro Review, <http://www.efsfiler.com/pdf/HCI%20article001.pdf> 1988.
- [11] Technische Universität Dresden, «Das Piano-Key-Wehr: Messungen an einem innovativen Wehrtyp für kleine Wasserstrasse,» [Online]. Available: http://vzb.baw.de/publikationen/dresdner-wasserbauliche-mitteilungen/0/12_Heft_53_Belzner_Piano-Key-Wehr.pdf
- [12] Mhylab, «Turbine Diagonale,» [Online]. Available: <http://www.mhylab.com/petite-hydro/types-de-turbines/diagonale.html>
- [13] European Small Hydropower Association (ESHA), «Layman's Guide on how to design a small micro-hydro site,» Juni 1998. [Online]. Available: <http://www.microhydropower.net/download/layman2.pdf>
- [14] energie.ch, «Wasserturbinen,» [Online]. Available: <http://www.energie.ch/wasserturbinen> [Zugriff am 09 01 2017].
- [15] Bundesamt für Energie, «Pressemappe Kleinwasserkraft,» [Online]. Available: http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_759483561.pdf&endung=Pressemappe%20Kleinwasserkraft
- [16] Swissgrid, «Kraftwerksbetreiber,» [Online]. Available: <https://www.swissgrid.ch/swissgrid/de/home/experts/ppo.html> [Zugriff am 09 01 2017].
- [17] Hydro-Connect GmbH, «Stromproduzierende Fischwanderhilfe,» [Online]. Available: www.hydroconnect.at
- [18] BKW AG, «BKW Blog,» [Online]. Available: <http://blog.bkw.ch/tag/regelenergie/> [Zugriff am 27 01 2017].
- [19] Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern, «Nachhaltigkeitsbeurteilung,» [Online]. Available: http://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/ueber-die-direktion/dossiers/nachhaltige_entwicklungne/nachhaltigkeitsbeurteilung.html [Zugriff am 27 01 2017].
- [20] Revita GmbH, «Revita Gegendruckturbine,» [Online]. Available: <http://revita.ch/www/turbine.htm> [Zugriff am 27 01 2017].
- [21] Häny AG, «Pelton Gegendruckturbine,» [Online]. Available: https://www.haeny.com/fileadmin/user_upload/Referenzen/Turbinen/referenz_GDPT_all.pdf
- [22] Schweizer Kompetenzzentrum für Energieforschung, «SCCER-SoE, Swiss Competence Center for Energy Research – Supply of Electricity,» [Online]. Available: <http://www.sccer-soe.ch/> [Zugriff am 04 11 2016].
- [23] Bundesamt für Energie, «Forschungsprogramm Wasserkraft,» [Online]. Available: <http://www.bfe.admin.ch/forschungwasserkraft/> [Zugriff am 04 11 2016].
- [24] Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität München, «Wasserkraftkonzept Schachtkraftwerk,» [Online]. Available: <https://www.wb.bgu.tum.de/schachtkraftwerk/>
- [25] Bundesamt für Energie, «Evaluation von Ultra-Niederdruckkonzepten für Schweizer Flüsse,» [Online]. Available: <http://www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file=000000010701.pdf&name=000000290483>

- [26] Small hydro action for the promotion of efficient solutions (SHAPES), «Energy recovery in existing infrastructures with small hydropower plants,» [Online]. Available: http://www.infrawatt.ch/sites/default/files/2010_06_07_Mhylab%20&%20ESHA_Energy%20recovery%20in%20existing%20infrastructures%20with%20small%20hydropower%20plants.pdf [Zugriff am 21.11.2017].
- [27] Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches, Energie in der Wasserversorgung, 2004.
- [28] Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches, Empfehlung zur Regelung des Contractings bei Trinkwasserkraftwerken, 2010.
- [29] DIANE Programme, Bundesamt für Energiewirtschaft, «DIANE Publikationen,» Bundesamt für Energie, [Online]. Available: <http://www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft/03834/04171/index.html?lang=de>
- [30] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 112:2014 Modell Bauplanung, Verständigungsnorm, 2014.
- [31] Bundesamt für Energie, «Leitfaden Trägerschaft, Kooperationen und Finanzierung bei Kleinwasserkraftwerken,» [Online]. Available: http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_540675085.pdf
- [32] Bundesamt für Energie, «Handbuch Kleinwasserkraftwerke, Informationen für Planung, Bau und Betrieb,» 2012. [Online]. Available: http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_25058066.pdf
- [33] Bundesamt für Energie, «Kleinwasserkraft: Planung und Verfahren, Leitfaden für Bauherren,» [Online]. Available: http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_272520322.pdf
- [34] Bundesamt für Energie, «Merkblatt 3 Minimalanforderungen an Vorstudien und Grobanalysen,» [Online]. Available: <http://www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft/03834/index.html>
- [35] Kanton Thurgau, Amt für Geoinformation, «Thur GIS Viewer,» [Online]. Available: <http://geo.tg.ch>
- [36] Bundesamt für Umwelt, «Hydrologische Daten, Station Töss - Neftenbach,» [Online]. Available: <http://www.hydrodaten.admin.ch/de/2132.html>
- [37] Akademie der Naturwissenschaften Schweiz, «Abflussregimes,» [Online]. Available: http://www.naturwissenschaften.ch/topics/water/water_balance/runoff/runoff_formation
- [38] Bundesamt für Umwelt / Universität Bern, «Hydrologischer Atlas der Schweiz,» [Online]. Available: <http://hydrologischeratlas.ch>
- [39] Bundesamt für Umwelt, «Aktuelle Messwerte der Gewässer,» [Online]. Available: <http://www.bafu.admin.ch/wasser/13462/13494/15055/index.html?lang=de> [Zugriff am 17.11.2016].
- [40] A. Harvey, Micro-Hydro Design Manual - A guide to small-scale water power schemes, ITDG Publishing, 1993.
- [41] A. R. Inversin, Micro-Hydropower Sourcebook, Arlington, VA: NRECA International Foundation, 1986.
- [42] Konferenz der Kantonalen Geoinformationsstellen, «Kantonale Geoportale,» [Online]. Available: <http://kkgeo.ch/geodatenangebot/kantonale-geoportale.html> [Zugriff am 17.11.2016].
- [43] P. Galli, A. Moser, E. Lang und M. Steiner, Praxis des öffentlichen Beschaffungsrechts, Zürich / Basel / Genf: Schulthess Juristische Medien AG, 2013.
- [44] M. Kurer, C. Quinto und W. (. Maffioletti, Handbuch zum Bauwesen, Zürich / St. Gallen: Dike Verlag AG, 2012.
- [45] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 118:2013 Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten, 2013.
- [46] H. Stöckli und T. Siegenthaler, Die Planerverträge, Zürich: Schulthess Juristische Medien AG, 2013.
- [47] H. R. Spiess und M.-T. Huser, Norm SIA 118, Bern: Stämpfli Verlag AG, 2014.
- [48] P. Gauch, Der Werkvertrag, Zürich: Schulthess Juristische Medien AG, 2011.
- [49] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 113:2014 Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieurinnen und Bauingenieure, 2014.
- [50] H. Stöckli und M. Beyeler, Das Vergaberecht der Schweiz, Zürich: Schulthess Juristische Medien AG, 2014.
- [51] G. Girmscheid, «Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus,» 2015. [Online]. Available: http://www.cttconsulting.ch/skripte_bauprozess.htm
- [52] Schweizerische Eidgenossenschaft, «Systematische Sammlung des Bundesrechts (SR),» [Online]. Available: <https://www.admin.ch/gov/de/start/bundesrecht/systematische-sammlung.html>

- [53] Interessenverband Schweizer Kleinkraftwerk-Besitzer ISKB, «Umfrage Betriebs- und Unterhaltskosten Kleinwasserkraft,» 2016. [Online]. Available: <http://swissmallhydro.ch/wp-content/uploads/2016/02/Bericht-Betriebskosten-KWKW-v1.1-mit-Anhang.pdf>
- [54] SUVA, «Sichere Kläranlagen,» [Online]. Available: https://extra.suva.ch/suva/b2c/download/layout=7.01-15_1_71_128_6_125_1&uiarea=1&care=50328D134DA837E0E10080000A630358&cit=50328D134DA837E0E10080000A6303584BE36EC736148016E10080000A630387V.do
- [55] SUVA, «Checkliste: Allein arbeitende Personen,» [Online]. Available: https://extra.suva.ch/suva/b2c/download/layout=7.01-15_1_71_128_6_125_1&uiarea=1&care=4C7562F0370940A0E10080000A63035B&cit=4C7562F0370940A0E10080000A63035B4BE378BD36148016E10080000A630387V.do
- [56] SUVA, «Acht lebenswichtige Regeln für die Instandhaltung,» [Online]. Available: https://extra.suva.ch/suva/b2c/download/layout=7.01-15_1_71_128_6_125_1&uiarea=1&care=4C756AE4370940A0E10080000A63035B&cit=4C756AE4370940A0E10080000A63035B4E283C39A53803F0E10080000A630387V.do
- [57] Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband, «Hochwasserschutz und Wasserkraft,» [Online]. Available: <https://www.swv.ch/Aktuelles/Archiv-2014/Hochwasserschutz-und-Wasserkraft>
- [58] Schweizer Wasserwirtschaftsverband, «Hochwasserschutz und Wasserbau,» [Online]. Available: <https://www.swv.ch/Fachinformationen/Hochwasserschutz> [Zugriff am 10.11.2016].
- [59] Bundesamt für Umwelt, «Geschlebe,» [Online]. Available: <http://www.bafu.admin.ch/wasser/13465/13486/14115/index.html?lang=de>
- [60] Bundesamt für Energie, «Bewältigung von Geschiebe an Kleinwasserkraftanlagen,» [Online]. Available: <http://www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file=000000010935.pdf&name=000000290702>
- [61] Bundesamt für Energie, «Verschmutzung von Kleinwasserkraftanlagen,» [Online]. Available: <http://www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file=000000010457.pdf&name=000000290249>
- [62] Bundesamt für Umwelt, «Fischgängigkeit,» [Online]. Available: <http://www.bafu.admin.ch/wasser/13465/13486/14116/index.html?lang=de> [Zugriff am 10.11.2016].
- [63] LANAT Amt für Landwirtschaft und Natur, Kanton Bern, «Fischaufstiegshilfen,» [Online]. Available: https://www.vol.be.ch/vol/de/index/natur/fischerei/naturnahe_gewaessergestaltung/fischaufstiegshilfen.html
- [64] Bayrisches Landesamt für Umwelt, «Praxishandbuch Fischaufstiegsanlagen in Bayern,» 2016.
- [65] Fichtner GmbH, Dr. Stephan Heimerl, «Beckenartige Fischaufstiegsanlagen - Grundlagen und Konstruktion,» [Online]. Available: <http://www.wa21.ch/images/content/g%20veranstaltungen/Biel%202014%2006%20Heimerl.pdf>
- [66] DI Bernhard Monai, Ingenieurbüro für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft, «3D Animation Fischliftschleuse,» [Online]. Available: <http://www.der-wasservirt.at/artikel/3d-animation-fischliftschleuse>
- [67] Bundesamt für Umwelt, «Sanierung Schwall-Sunk, Strategische Planung,» 2013.
- [68] Bundesamt für Umwelt, «Schwall und Sunk,» [Online]. Available: <http://www.bafu.admin.ch/wasser/13465/13486/14114/index.html?lang=de>
- [69] Bundesamt für Energie, «Newsletter Kleinwasserkraft Nr. 22,» [Online]. Available: http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_910963236.pdf&endung=Programm%20Kleinwasserkraftwerke%20-%20Newsletter%20Nr.%2022
- [70] BFE, «Studie zum Ausbaupotenzial der Wasserkraft in der Schweiz,» 2019. [Online]. Available: <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-76258.html>
- [71] Bundesamt für Wasser und Geologie, «Der Wasserzins – die wichtigste Abgabe auf der Wasserkraftnutzung in der Schweiz,» 2002. [Online]. Available: http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_96511771.pdf

EnergieSchweiz

Bundesamt für Energie BFE; Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 058 462 56 11, Fax 058 463 25 00; contact@bfe.admin.ch; www.energie-schweiz.ch