

Kleinstwasser- kraftwerke



Einführung in
Bau und Betrieb von
Kleinstwasserkraftwerken

Konzept und Gestaltung der deutschsprachigen Ausgabe:

J.-M. Chapallaz & P. Eichenberger
Ingenieurbüro J.-M. Chapallaz, Ste-Croix

Mitglieder der PACER-Arbeitsgruppe:

- J. Gottesmann, Rechtsberatung in Umweltfragen, Einsiedeln
Gesetze und rechtliche Aspekte
- G. Horner, Freiburgische Elektrizitätswerke, Broc
Technische Vorschriften und Tarifierung
- R. Mosimann, Tiefbauamt des Kt. Bern, Obering.
Kreis IV, Burgdorf
Ökologie und Wasserbau
- H. W. Weiss und H. Kaspar, Basler & Hofmann,
Zürich
Technische, administrative und wirtschaftliche
Aspekte

An dieser Stelle sei all jenen Fachleuten, Betreibern und Besitzern von Kleinstwasserkraftwerken, Vertretern der Behörden und öffentlichen Stellen sowie privaten Organisationen gedankt, die mit ihren wertvollen Stellungnahmen, Informationen und den zur Verfügung gestellten Dokumenten und Photos wesentlich zum Gelingen dieser Broschüre beigetragen haben.

Besonders erwähnt seien:

- G. Charmillot, Charmillot SA, Handelsmühle Vicques (JU)
- P. Chatelain, Direktor Industrielle Betriebe, Boudry (NE)
- R. Galé, Betriebschef Zentrale Pont-de-la-Tine und Gemeinderat, Le Sépey (VD)
- Ch. Kunz, Gemeinderat und P. Guggisberg, Gemeindeschreiber, Brienzwiler (BE)
- N. Lauterburg, Direktor, und R. Locher, Mitarbeiter, Lauterburg & Cie AG, Langnau (BE)
- E. Nussbaumer, ADEV, Liestal (BL)
- L. Rebaud, Journalist und Nationalrat, Confignon (GE)
- J. Rügsegger, Verkaufschef, Sulzer AG, Winterthur (ZH)
- H. Siegwart, Energie Plus I, Langnau (BE)
- R. Sigg, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Bern
- E. Staub und J.M. Cuanillon, BUWAL, Sektion Fischereifragen, Bern
- R. Vuffray, Lebensmittelkontrolle/Kantonschemiker, Epalinges (VD)
- H. Wintsch, Eidg. Getreideverwaltung, Bern

Durchsicht des Manuskripts:

Frau T. Girod-Wehrli, Journalistin, Volketswil

Schlussredaktion der deutschsprachigen Ausgabe:

C. Mor, Basler & Hofmann, Zürich

Illustration:

W. Fischbacher, Ecublens

Textverarbeitung und Gestaltung:

City Comp SA, Morges

Projektleitung und Koordination:

J. Graf, EPFL - DA - ITB - LESO

Trägerorganisationen

ETG	Energietechnische Gesellschaft des SEV
INFEL	Informationsstelle für Elektrizitätsanwendung
INFOENERGIE	Informationsstelle über Pilot- und Demonstrationsanlagen für rationale Energieanwendungen
ISKB	Interessenverband Schweizerischer Kleinkraftwerk-Besitzer
SGV	Schweizerischer Gemeindeverband
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein
SOFAS	Sonnenenergie-Fachverband Schweiz
STV	Schweizerischer Technischer Verband
StV	Schweizerischer Städteverband
SVGW	Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches
vsa	Verband Schweizerischer Abwasserfachleute
VSE	Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
VSM	Verband Schweizerischer Müller

ISBN 3-905232-17-0

Originalausgabe ISBN 3-905232-20-0

Copyright © 1993 Bundesamt für Konjunkturfragen, 3003 Bern, Mai 1993

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt.

Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern (Best. Nr. 724.244 d)

Form. 724.244 d 5.93 2000

Vorwort

Das Aktionsprogramm «Bau und Energie» des Bundesamtes für Konjunkturfragen ist auf sechs Jahre befristet (1990 – 1995) und setzt sich aus den drei Impulsprogrammen (IP) zusammen:

IP BAU – Erhaltung und Erneuerung
RAVEL – Rationelle Verwendung von Elektrizität
PACER – Erneuerbare Energien.

Mit den Impulsprogrammen, die in enger Kooperation von Wirtschaft, Schulen und Bund durchgeführt werden, soll der qualitative Wertschöpfungsprozess unterstützt werden. Dieser ist gekennzeichnet durch geringen Aufwand an nicht erneuerbaren Rohstoffen und Energie, sowie abnehmende Umweltbelastung, dafür gesteigerten Einsatz von Fähigkeitskapital.

Im Zentrum der Aktivität von PACER steht die Förderung verstärkter Nutzung erneuerbarer Energien. Bis heute ist der Beitrag der erneuerbaren Energien mit Ausnahme der Wasserkraft trotz des beträchtlichen Potentials sehr gering geblieben. Das Programm PACER soll deshalb:

- die Anwendungen mit dem besten Kosten-/Nutzenverhältnis fördern;
- den Ingenieuren, Architekten und Installateuren die nötigen Kenntnisse vermitteln;
- eine andere ökonomische Betrachtungsweise einführen, welche die externen Kosten (Umweltbelastung usw.) miteinbezieht sowie
- Behörden und Bauherren informieren und ausbilden.

Kurse, Veranstaltungen, Publikationen, Videos, etc.

Umgesetzt werden sollen die Ziele von PACER durch Aus- und Weiterbildung sowie Information. Die Wissensvermittlung ist auf ihre Verwendbarkeit in der täglichen Praxis ausgerichtet. Sie baut hauptsächlich auf Publikationen, Kursen und Veranstaltungen auf. Zielpublikum sind vor allem Ingenieure, Architekten, Installateure sowie Angehörige bestimmter spezialisierter Berufszweige aus dem Bereich der erneuerbaren Energien.

Die Verbreitung allgemeiner Information ist ebenfalls ein wichtiger Bestandteil des Programmes. Sie soll bei Bauherren, Architekten, Ingenieuren und Behördenmitgliedern Anreize geben.

InteressentInnen können sich über das breitgefächerte, zielgruppenorientierte Weiterbildungsangebot in der Zeitschrift IMPULS informieren. Sie erscheint viermal jährlich und ist (im Abonnement, auch in französisch und italienisch) beim Bundesamt für Konjunkturfragen, 3003 Bern, gratis erhältlich. Jedem/r Kurs- oder VeranstaltungsteilnehmerIn wird jeweils eine Dokumentation abgegeben. Diese besteht zur Hauptsache aus der für den entsprechenden Anlass erarbeiteten Fachpublikation. Diese Publikationen können auch unabhängig von Kursbesuchen direkt bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ), 3000 Bern, bezogen werden.

Zuständigkeiten

Um das ambitionöse Bildungsprogramm bewältigen zu können, wurde ein Organisations- und Bearbeitungskonzept gewählt, das neben der kompetenten Bearbeitung durch SpezialistInnen auch die Beachtung der Schnittstellen sowie die erforderliche Abstützung bei Verbänden und Schulen der beteiligten Branchen sicherstellt. Eine aus VertreterInnen der interessierten Verbände, Schulen und Organisationen bestehende Kommission legt die Inhalte des Programmes fest und stellt die Koordination mit den übrigen Aktivitäten zur Förderung der erneuerbaren Energien sicher. Branchenorganisationen übernehmen die Durchführung der Weiterbildungs- und Informationsangebote. Für deren Vorbereitung ist das Programmleitungsteam (Dr. Jean-Bernard Gay, Dr. Charles Filleux, Jean Graf, Dr. Arthur Wellinger, Irene Wuillemin, BfK), begleitet durch Eric Mosimann, BfK, verantwortlich. Die Sachbearbeitung wird im Rahmen von Arbeitsgruppen erbracht, die inhaltlich definierte Einzelaufgaben in vorgegebenem Zeit- und Kostenrahmen zu lösen haben.

Dokumentation

Die vorliegende Broschüre «Kleinstwasserkraftwerke» richtet sich an all jene, die sich generell über Kleinstwasserkraftwerke informieren möchten oder eine Anlage zu realisieren gedenken, im besonderen: Inhaber von Wasserrechten, eidgenössische und kantonale Behörden, Gemeinden, Ingenieure und Architekten, Unternehmer und Industrielle, Natur- und Landschaftsschutzkreise, Finanzierungs- und Unterstützungsorganisationen.

Sie gibt Auskunft zu den folgenden Themen:

- Anwendungsgebiete von KWKW
- Bauteile und Maschinen
- ökologische Aspekte
- Rechtsfragen in Zusammenhang mit der Wasserkraftnutzung
- Finanzierungs- und Subventionsmöglichkeiten
- Stromtarife
- Beurteilung der Wirtschaftlichkeit eines KWKW-Vorhabens
- Vorgehen bei der Planung und Realisierung von KWKW.

Nach einer Vernehmlassung und dem Anwendungstest in einer Pilotveranstaltung ist die vorliegende Dokumentation sorgfältig überarbeitet worden. Bei der Anwendung der Publikation sich zeigende Unzulänglichkeiten können bei einer allfälligen Überarbeitung behoben werden. Anregungen nehmen das Bundesamt für Konjunkturfragen.

Für die wertvolle Mitarbeit zum Gelingen der vorliegenden Publikation sei an dieser Stelle allen Beteiligten bestens gedankt.

Dr. Heinz Kneubühler
Stv. Direktor des Bundesamtes
für Konjunkturfragen

Inhaltsverzeichnis

1.	Kleinstwasserkraftwerke: Definition und Stellenwert in der Schweiz	7
1.1	Was ist ein Kleinstwasserkraftwerk ?	9
1.2	Der Stellenwert der Kleinstwasserkraftwerke in der Schweiz	10
1.3	Rahmen	11
<hr/>		
2.	Technologie der Kleinstwasserkraftwerke	13
2.1	Kraftwerke und ihre Komponenten	15
2.2	Technische Grundlagen der Wasserkraftnutzung	17
2.3	Die Anlageteile eines Kleinstwasserkraftwerkes: Zweck und Aufbau	18
2.4	Technologie der Kleinstwasserkraftwerke – High-tech oder Bastelobjekt?	25
<hr/>		
3.	Kleinstwasserkraftwerke und Umwelt	27
3.1	Restwassermenge	29
3.2	Belange der Fischerei	32
3.3	Integration der Anlagen in die Landschaft	34
<hr/>		
4.	Beispiele bestehender Anlagen	35
4.1	Niederdruckanlage der Getreidemühle Vicques (JU)	37
4.2	Druckleitungskraftwerk an der Ilfis in Bärau, Langnau (BE)	38
4.3	Kleinstwasserkraftwerk in der Wasserversorgung der Gemeinde Brienzwiler (BE)	39
4.4	Turbine im Abwassernetz von Leysin (VD)	40
4.5	Druckentspannungsturbinen in Industrieprozessen	41
<hr/>		
5.	Wirtschaftlichkeit von Kleinstwasserkraftwerken	43
5.1	Ausgangslage	45
5.2	Neubau und Umbau von Kleinstwasserkraftwerken	45
5.3	Stromgestehungskosten	46
5.4	Stromverkaufspreise und Rücklieferungstarife	47
5.5	Abschätzen der Wirtschaftlichkeit	48
<hr/>		
6.	Möglichkeiten der Förderung und Finanzierung von Kleinstwasserkraftwerken	51
6.1	Förderungsmassnahmen von Bund und Kantonen	53
6.2	Finanzierung	55
<hr/>		
7.	Vorgehen bei der Planung und Realisierung von Kleinstwasserkraftwerken	59
7.1	Projektablauf	61
7.2	Konzessionsverfahren und administrative Belange	63
7.3	Technische Anforderungen und zuständige Stellen	64
7.4	Kantonale und regionale Unterschiede in den Vorschriften und Gesetzen	68
<hr/>		
8.	Nützliche Adressen	69
8.1	Behörden	71
8.2	Organisationen und Vereinigungen	72
8.3	Daten und technische Vorschriften	72
8.4	Finanzierung und Förderung	73

9. Glossar	75
<hr/>	
Anhang A Übersicht über die wichtigsten Gesetze und Verordnungen auf Bundesebene	79
<hr/>	
Anhang B Bewertung einer Wasserkraft	81
B 1. Abschätzen der erzielbaren Leistung	81
B 2. Wasserdargebot	82
B 3. Ausbauwassermenge	83
B 4. Auslegung der Anlage und Abschätzung der jährlichen Energieproduktion	84
<hr/>	
Anhang C Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von KWKW	87
C 1. Grundlagen	87
C 2. Investitions- und Kapitalkosten	88
C 3. Betriebskosten	89
C 4. Ertrag	90
C 5. Beispiel	91
<hr/>	
Anhang D Projektierungsablauf eines KWKW	92
<hr/>	
Publikationen und Videos des Programmes PACER – Erneuerbare Energien	93
<hr/>	

1. Kleinstwasserkraftwerke: Definition und Stellenwert in der Schweiz

1.1	Was ist ein Kleinstwasserkraftwerk ?	9
1.2	Der Stellenwert der Kleinstwasserkraftwerke in der Schweiz	10
1.3	Rechtlicher Rahmen	11

1. Kleinstwasserkraftwerke: Definition und Stellenwert in der Schweiz

1.1 Was ist ein Kleinstwasserkraftwerk ?

Als Kleinstwasserkraftwerk (im folgenden abgekürzt KWKW) versteht man in der Schweiz eine Wasserkraftanlage mit einer Leistung ab Generator von weniger als 300 kW.

Als hydraulische Energiequellen kommen in Frage:

- Flüsse und Bäche
- Quellen
- Wasserversorgungsnetze
- Abwasser-, Brauchwasser- und Entwässerungssysteme
- Druckentspannung in Industrie und Verfahrenstechnik

Für die Erzeugung von Energie in einem Wasserkraftwerk (Kleinst- oder Grosskraftwerk) ist die verfügbare Wassermenge und die nutzbare Fallhöhe oder Druckdifferenz massgebend.

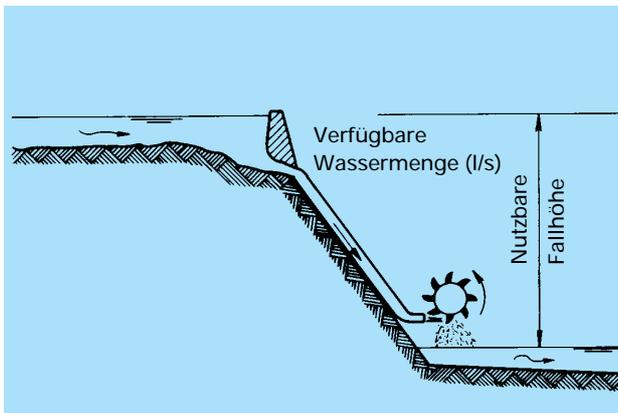


Abbildung 1.1:
Prinzip der Wasserkraftnutzung

Bei KWKW liegen die Wassermengen im Bereich von wenigen Litern bis einigen Kubikmetern pro Sekunde. Fallhöhen ab 2 m und einer beträchtlichen Wassermenge gelten als nutzungswürdig; wenn Fallhöhen bis 500 m oder mehr zur Verfügung stehen, kann bereits eine sehr kleine Wassermenge (5 l/s) zu einer gewinnbringenden Energieproduktion in einem KWKW ausreichen.

1.2 Der Stellenwert der Kleinstwasserkraftwerke in der Schweiz

Die Wasserkraftwerke der Schweiz erzeugen überwiegend elektrische Energie; der Anteil der Wasserkraft an der gesamten inländischen Stromproduktion liegt bei 57 % (1990). Dabei kommen den rund 700 KWKW auf nationaler Ebene nur geringe Bedeutung zu, beträgt doch ihr Anteil an der hydraulisch erzeugten elektrischen Energie nur ca. 0.6 %.

Der Stellenwert der KWKW tritt vor allem auf regionaler Ebene in Erscheinung:

- KWKW sind für viele Gemeinden, Fabriken, Einzelanwesen und Mühlen kostengünstige Energielieferanten;
- Oft bieten sie die Möglichkeit zur Mehrzwecknutzung: im Zuge einer Erneuerung der Trinkwasserversorgung, von Hochwasserschutvorhaben oder von Massnahmen für die Fischwanderung, kann durch die Kombination mit einem KWKW Energie erzeugt werden;
- Mit dem Bau, der Renovation und dem Unterhalt von KWKW wird direkt das einheimische Kleingewerbe unterstützt und gefördert;
- KWKW erhöhen die Versorgungssicherheit von bestimmten Betrieben (z. B. Handelsmühlen), da sie bei Ausfall des öffentlichen Stromnetzes wie eine Notstromgruppe betrieben werden können;
- KWKW stellen eine interessante Alternative zu langen Freileitungen dar, um entlegene Siedlungen, Bauernhöfe, Hotels oder Alphütten mit Elektrizität zu beliefern;
- KWKW können das noch verfügbare Wasserkraftpotential auf umweltfreundliche Art nutzen;
- KWKW eignen sich dank ihrer Kleinheit und Übersichtlichkeit besonders gut zur Aufklärung und Bewusstseinsbildung auf dem Energiesektor.

1.3 Rechtlicher Rahmen

Der Bau eines Wasserkraftwerkes, der damit verbundene technische Eingriff in ein Gewässer und die Erteilung einer Wasserrechtskonzession sind Gegenstand verschiedener gesetzlicher Bestimmungen auf eidgenössischer und kantonaler Ebene.

Der Bund übt die Oberaufsicht (Rahmengesetzgebung und Schutzfunktionen) über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte der öffentlichen und privaten Gewässer aus. Die Wasserhoheit liegt mehrheitlich bei den Kantonen, vereinzelt auch bei Gemeinden (z. B. Graubünden) oder Bezirken (z. B. Schwyz). Eine Wasserrechtskonzession, d.h. die Verleihung eines befristeten Wasserrechtes für eine bestimmte Strecke durch das verfügbare Gemeinwesen (Kanton, Bezirk oder Gemeinde) an einen Dritten, wird im Bundesgesetz über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte (WRG, vom Dezember 1916) geregelt.

Gleichzeitig sind aber weitere einschlägige Bundesgesetze und Bestimmungen über fischereirechtliche Fragen, Biotopschutz, Restwassermengen, Natur- und Heimatschutz, Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung sowie Umweltschutz zu berücksichtigen.

Eine Übersicht über die wichtigsten Gesetze und Verordnungen auf Bundesebene ist im Anhang A zu finden.

Neben dem verliehenen Wassernutzungsrecht, das durch den nutzbaren Höhenunterschied und die Wassermenge bestimmt ist, werden in der Konzession auch die übrigen Rechte und Pflichten des Konzessionärs festgelegt. So ist er zum Beispiel berechtigt, die zur Nutzung notwendigen Bauten und Anlagen auf öffentlichem Gewässergebiet zu errichten. Die dem Konzessionär auferlegten Verpflichtungen sind vielfältig und beinhalten unter anderem die Anpassung von Strassen, Uferwegen und Bächen an das Kraftwerk, Einrichtungen zum Schutz der Fischerei (z.B. Fischtreppe), den Unterhalt der Uferpartien, die Beseitigung der Geschiebeablagerungen und die Entsorgung des angesammelten Treibgutes.

2. Technologie der Kleinstwasserkraftwerke

2.1	Kraftwerke und ihre Komponenten	15
2.2	Technische Grundlagen der Wasserkraftnutzung	17
2.3	Die Anlageteile eines Kleinstwasserkraftwerkes: Zweck und Aufbau	18
2.3.1	Hydraulische Bauwerke	19
2.3.2	Druckleitung	21
2.3.3	Turbinen	21
2.3.4	Generatoren und Steuerungen	23
2.3.5	Zentralen – Anordnung und Einrichtung	25
2.4	Technologie der Kleinstwasserkraft – High-tech oder Bastelobjekt ?	25

2. Technologie der Kleinstwasserkraftwerke

2.1 Kraftwerke und ihre Komponenten

Die Einteilung der Kleinstwasserkraftwerke geschieht zweckmässigerweise nach der Art, in der das Wasser der Turbine zugeführt wird, dem Standort der Turbine und der Grösse der genutzten Fallhöhe. Man unterscheidet folgende Typen:

a) Niederdruckanlage im Fluss oder im Seitenkanal

Das wichtigste Bauwerk ist die Wehranlage (z.B. Sperre), heute meist eine robuste Betonkonstruktion, die grössere Wassermengen ableiten und deren Stabilität auch bei Hochwasser gewährleistet sein muss. Die Turbine liegt entweder direkt am, eventuell sogar im Wehrkörper (Flusskraftwerk) oder am Ende eines Triebwasserkanals (Kanalkraftwerk). Die Druckleitung ist entweder sehr kurz oder bei kleinen Fallhöhen nicht vorhanden. Fallhöhen können von 2 m bis ca. 20 m reichen.

b) Mittel- bis Hochdruckanlage an Fliessgewässern, an Quellen im Gebirge, in Ver- und Entsorgungsnetzen und in der industriellen Druckentspannungstechnologie

Zu den unter a) aufgeführten Bauteilen kommt hier in jedem Fall eine Druckleitung hinzu. Sie liegt zwischen der Wasserfassung oder dem Ende des Triebwasserkanals und der Zentrale. Die Druckleitung ist neben der Turbinengruppe der wichtigste Bauteil.

Abbildung 2.1 zeigt die wichtigsten Anlageteile und deren Anordnung am Beispiel eines Hochdruckkraftwerkes an einem Seitenkanal.



Abbildung 2.1: Allgemeine Anordnung eines Hochdruckkraftwerkes im Seitenkanal

KWKW unterscheiden sich in der Anordnung der Anlageteile kaum von grösseren Kraftwerken. Der Unterschied liegt vor allem in der einfacheren Konzeption des Werkes und seines Betriebs.

In der Tat müssen KWKW nicht nur kostengünstig gebaut, sondern auch automatisch (ohne permanentes Personal) und mit einem minimalen Aufwand für Überwachung und Unterhalt betrieben werden können.

Die Wasserspeicherung kommt wegen der hohen Kosten und der Raumbelastung für Kleinstwasserkraftwerke kaum in Betracht. Bestehende Speicher oder Stauräume (Weiher, Reservoir der Wasserversorgung) werden höchstens als Stunden- oder Tagesspeicher zur Überbrückung von Verbrauchsspitzen herangezogen.

2.2 Technische Grundlagen der Wasserkraftnutzung

Die potentielle Energie des Wassers wird normalerweise in Wasserfällen und Stromschnellen ungenutzt «vernichtet». Diese Energie kann mit Hilfe von Turbinen und Generatoren in Elektrizität umgewandelt werden.

Bei der Nutzung der Wasserkraft müssen vor allem drei wichtige Parameter berücksichtigt werden: das Gefälle (oder die Fallhöhe), die Wassermenge und die Leistung.

Als Bruttofallhöhe wird der Höhenunterschied zwischen der Wasserfassung und dem Zentralenauslauf, bzw. der Rückgabe des Wassers in den Fluss definiert. Sie wird normalerweise in Metern gemessen und mit dem Buchstaben H bezeichnet. Manchmal wird die Bruttofallhöhe auch als Druck angegeben: ein Bar entspricht etwa 10 m Wasserhöhe.

Die theoretische hydraulische Leistung einer Anlage, angegeben in kW, wird für die Festlegung der Wasserzinsen verwendet; sie errechnet sich aus dem Produkt turbinierter Wassermenge mal Bruttofallhöhe.

Ein Teil der Energie geht bereits in der Anlage verloren: Fliessverluste infolge Reibung des Wassers an Kanal- und Rohrwänden und Störungen durch Rechen, Schieber und Rohrkrümmer. Alle diese Fliessverluste des Wassers werden zu einer Verlusthöhe zusammengefasst (siehe Abbildung 2.2). Sie beträgt bei KWKW in der Regel 10 bis 15 % der Bruttofallhöhe.

Durch Subtraktion der Verlusthöhe von der Bruttofallhöhe kann die Nettofallhöhe oder das Nettogefälle errechnet werden. Es bezeichnet die an der Turbine anstehende Druckhöhe in Meter Wassersäule; die Nettofallhöhe kann auch als Druckunterschied in bar (Differenz der Manometerablesungen $p_1 - p_2$ vor und nach der Turbine) dargestellt werden.

Mit der Nettofallhöhe und dem Durchfluss lässt sich die hydraulische Leistung am Turbineneintritt berechnen. Mit dem Verhältnis zwischen der in die Maschine hineingesteckten und der abgegebenen Leistung, dem sog. Wirkungsgrad, kann die den elektrischen Verbrauchern zur Verfügung stehende Leistung berechnet werden. Der Wirkungsgrad berücksichtigt die bei der Umwandlung von hydraulischer Energie (fliessendes Wasser) in mechanische (Rotation des Turbinenlaufrades) und in elektrische Energie (Strom) auftretenden Verluste in der Turbine und dem Generator. Die Maschinensätze (Turbine und Generator) von KWKW haben in der Regel einen Gesamtwirkungsgrad von ca. 70 %.

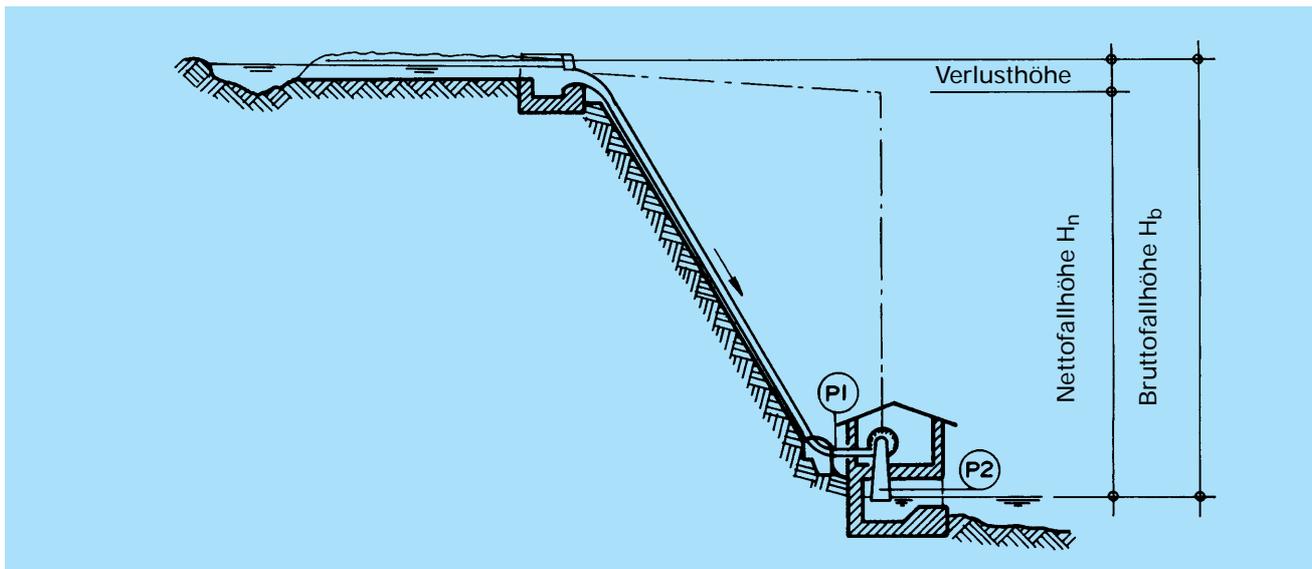


Abbildung 2.2 : Brutto- und Nettofallhöhe am Beispiel eines Druckleitungskraftwerkes

Aufgrund der geschätzten mittleren Abflussmenge (Q_m in Liter pro Sekunde), der Nettofallhöhe (H_n in Meter oder 10 x Druckdifferenz in bar) und eines Wirkungsgrades von 70% lässt sich die zu erwartende mittlere elektrische Leistung (P_{el} in Kilowatt kW) nach folgender Formel abschätzen:

$$P_{el} = 7 \times Q_m \times H_m / 1000 = \frac{Q_m \times H_m}{140}$$

2.3 Die Anlageteile eines Kleinstwasserkraftwerkes: Zweck und Aufbau

Die Anlageteile von KWKW dürfen im allgemeinen nicht mit denjenigen von Grosskraftwerken verglichen werden. Bei letzteren wird vor allem Wert auf eine optimale Auslegung der Maschinenteile (optimale Wirkungsgrade) gelegt; der dazu notwendige grosse Aufwand für Planung und Dimensionierung ist angesichts der hohen Investitionskosten eines Grosskraftwerkes durchaus gerechtfertigt.

Die finanziellen Mittel für KWKW sind viel begrenzter. Ausgedehnte Studien zur Optimierung der Anlageteile sind dabei kaum möglich. Ähnlich gute Wirtschaftlichkeiten wie bei Grosskraftwerken lassen sich bei KWKW 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 beiden wichtigsten Anforderungen, die es bei KWKW anzustreben gilt, sind die folgenden:

- niedrige Investitions- und Betriebskosten
- minimaler Eingriff in die Natur

2.3.1 Hydraulische Bauwerke

Wasserfassung

Wasserfassungen haben die Aufgabe, die für einen bestimmten Betriebszustand des Kraftwerkes erforderliche Wassermenge zu jeder Zeit (bei Nieder- und Hochwasser im Fließgewässer) zu entnehmen. Für Kleinstwasserkraftwerke kommen in der Regel nur zwei Entnahmetypen in Frage:

- die Seitenentnahme mit oder ohne Aufstau des Gewässers (Wehr) und
- das sogenannte Tirolerwehr (Sohlentnahme).

Die Seitenentnahme findet sich vorwiegend an Flüssen des höheren Mittellandes und des Voralpengebiets, die Kanalkraftwerke und Gewerbebetrieben wie Mühlen, Sägereien, Textil- oder anderen Unternehmen speisen. 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.

In der Regel wird eine Seitenentnahme 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 darf möglichst nicht beeinträchtigt werden.

Feste Wehre (Schwellen) sind betriebssicher und kostengünstig, erzeugen aber bei Hochwasser einen unnötig grossen Aufstau des Oberwassers. Je nach örtlichen Gegebenheiten muss das Wehr deshalb mit Regulierorganen ausgerüstet sein, um bei Hochwasser ein Überfliessen des Gewässers oberhalb des Wehres zu verhindern.

Wurden bewegliche Wehranlagen bisher vor allem mit konventionellen Stahlkonstruktionen (Schützen und Klappen, siehe Abbildung 2.3) versehen, so kommen heute mehr und mehr sogenannte Schlauchwehre bei KWKW zur Anwendung. Diese haben den Vorteil, dass sich der mit Wasser auffüllbare Schlauch (Gummimembran) ohne auf-

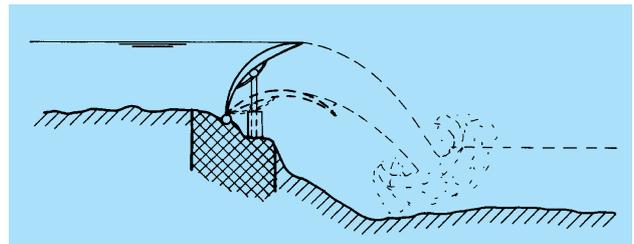


Abbildung 2.3: Beispiel einer Seitenentnahme mit Aufstau mittels beweglicher Wehrklappe: Kleinstwasserkraftwerk am Rothbach bei Huttwil (BE)

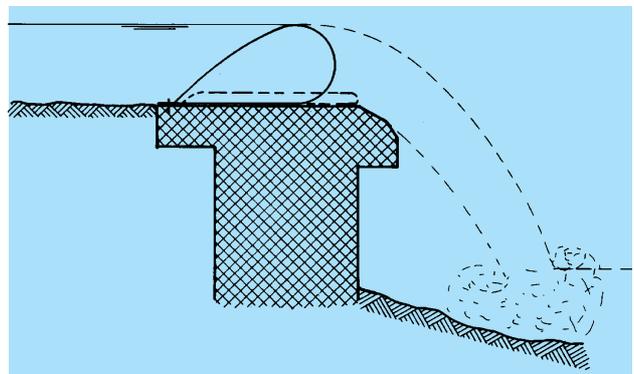


Abbildung 2.4: Beispiel eines Schlauchwehres an der Ilfis in Bärau bei Langnau (BE)

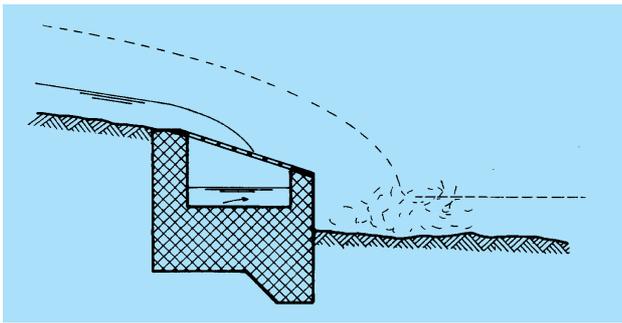


Abbildung 2.5: Beispiel eines Tirolerwehrs mit Lochblech eines Kleinstwasserkraftwerkes an der Baumine bei Baulmes (VD)

wendige Mechanik auf die Wehrsohle absenken lässt und damit den Durchlass für das Hochwasser vollkommen freigeben kann (siehe Abbildung 2.4).

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 hinweggleitet.

Sandfang

Da mit dem gefassten Wasser auch Schwebstoffe (Schlamm) und feines Geschiebe (Sand, Steine) in die Fassung gelangen, muss in den meisten Fällen ein Sandfang mit Spülmöglichkeit nachgeschaltet werden. Ohne Sandfang würden sich die Schwebstoffe und das Geschiebe im Kanal ablagern und müssten unter grossem Aufwand periodisch ausgeräumt werden. Zudem würde schwebstoffreiches Wasser schon nach kurzer Betriebszeit schwere Abrasion in der Turbine und den Armaturen bewirken und ein vorzeitiges Auswechseln dieser Teile bedingen.

Durch Aufweiten des Kanals wird die Fließgeschwindigkeit derart verlangsamt, dass die schwereren Schwebstoffe auf den Boden des Sandfanges sinken und durch eine Spülvorrichtung periodisch entfernt werden können.



Abbildung 2.6: Sandfang mit Entlastungsbauwerk (Streichwehr) und Spülschütz eines Kleinstwasserkraftwerkes in Aigle (VD)

Rechen und Rechenreinigung

Die Rechenanlage soll das Schwemmgut (vor allem Blätter und Zweige) von Turbinen und Absperrorganen fernhalten. Die konventionellen Stabrechen werden meistens mit automatischen Rechenreinigungsmaschinen ausgerüstet, die das Schwemmgut zur Entsorgung in eine Mulde bringen. (siehe Abbildung 4.3). Die anschliessende Trennung in kompostierbare und brennbare Abfälle und in Sondermüll (angeschwemmtes Treibgut wie Plastik, Haushaltartikel oder Tierkadaver) kann für KWKW recht aufwendig werden. Im Grunde ist die Reinigung der Fließgewässer vom Treibgut durch Wasserkraftanlagen ebenso vorteilhaft für die Öffentlichkeit wie für das Kraftwerk selber; eine entsprechende Entschädigung (z. B. Reduktion der Wasserzinsen) hat sich jedoch bisher noch nicht durchgesetzt.

Eine einfachere Lösung das Schwemmgut von der Turbine fernzuhalten findet sich bisweilen an kleinen Druckleitungskraftwerken: Ein nachgeschalte-

tes Tirolerwehr mit flachem Lochblech (anstelle der Rechenstäbe) lässt nur das Wasser passieren, nicht aber das Geschwemmsel. Bei zu grosser Ansammlung von Blättern und anderem Schwemmgut auf dem Blech (Verstopfung) wird die Zuleitung zur Turbine kurz unterbrochen und die gesamte Wassermenge zur Reinigung über das Lochblech geleitet; das Geschwemmsel wird dadurch ins Unterwasser (Entlastungskanal) geschwemmt. Dieses selbstreinigende System ist aber nur dort anwendbar, wo der zusätzliche Gefällsverlust von 20 bis 50 cm nicht ins Gewicht fällt, d.h. bei Mittel- bis Hochdruckkraftwerken.



Abbildung 2.7: Entfernung des Geschwemmsels mittels selbstreinigendem Tirolerwehr mit Lochblech im KWKW der Mühle von Bavois (VD)

2.3.2 Druckleitung

Druckleitungen von KWKW werden in der Regel mit den in der Wasserver- und -entsorgung üblichen standardisierten Rohren ausgeführt.

Die Materialwahl hängt im wesentlichen vom Gefälle und vom erforderlichen Durchmesser der Rohrleitung ab. Für Fallhöhen bis ca. 140 m kommen GFK (glasfaserverstärkte Polyesterharze) und Eternitrohre (Fasermasse) und für kleine Durchmesser Plastikrohre (PVC und PE) in Frage. Diese Rohrmaterialien haben den Vorteil, keinen Korrosionsschutz zu benötigen. Für grössere Gefälle werden in der Praxis nur die in der Wasserversorgung bewährten Gussrohre mit Steckmuffen (bis Durchmesser 600 mm) und Stahlrohre verwendet. Aus Rücksicht auf das Landschaftsbild werden die Druckrohrleitungen auch für KWKW, wenn immer möglich, eingegraben.



Abbildung 2.8: Druckleitung aus Guss bei der Verlegung im Rohrgraben (KWKW der Gemeinde Brienzwiler, BE)

2.3.3 Turbinen

Ausgehend von Wasserrädern, wurden im 19. Jahrhundert die Grundkonzepte der heute noch angewendeten Turbinenarten entwickelt. Die Wahl der geeigneten Turbine für ein KWKW wird im wesentlichen durch die Fallhöhe und die Wassermenge bestimmt.

Die Freistrah- oder Pelton-turbine besteht aus einem Laufrad mit einer Anzahl Becherschaufeln, die von einem aus einer Düse austretenden Wasserstrahl angeströmt werden. Der Wasserstrahl wird in den Becherschaufeln umgelenkt und überträgt dabei seine Geschwindigkeitsenergie auf das Laufrad. Die Durchflussmenge, und damit die abgegebene Leistung, wird durch die verstellbare Düsenöffnung geregelt.

Pelton-turbinen werden in KWKW ab einer Fallhöhe von ca. 30 m eingesetzt. Für grössere Wassermengen kommen mehrdüsig Pelton-turbinen zur Anwendung.

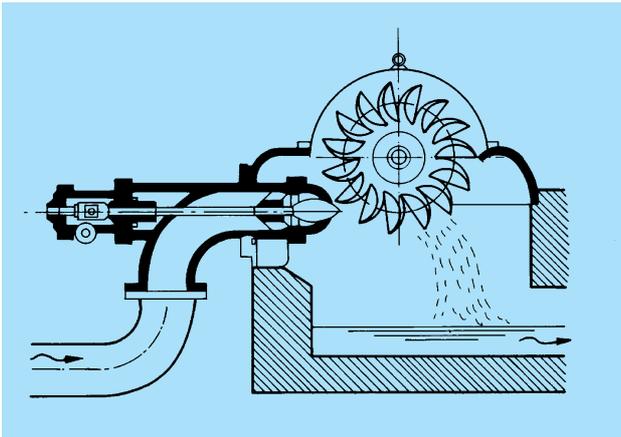


Abbildung 2.9a): Schnittbild einer Peltonturbine

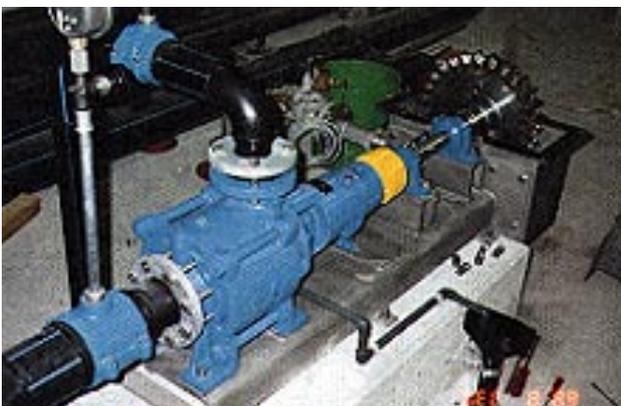


Abbildung 2.9 b): Peltonturbine (8 kW), die eine Pumpe in der Wasserversorgung der Gemeinde Brienzwiler antreibt

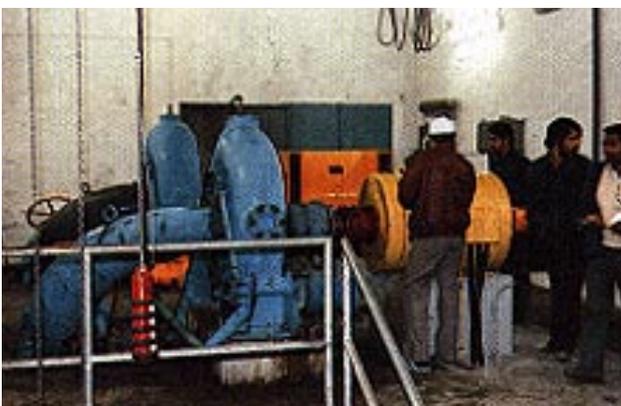


Abbildung 2.10: Francisturbine (276 kW) in einem KWKW im Binntal (VS)

In alten Wasserkraftwerken mit geringer Fallhöhe ist sehr oft eine Francisturbine in einem Schacht eingebaut. Im Gegensatz zur Peltonturbine ist bei der Francisturbine das Laufrad vollständig im Wasser eingetaucht. Es besteht aus einer Reihe von gekrümmten Schaufeln, die Kanäle bilden und das Wasser beschleunigen und umlenken. Sie gehört deshalb zur Gruppe der Reaktionsturbinen. Die Regelung der Durchflussmenge wird durch drehbare Leitschaufeln (Leitapparat), die konzentrisch um das Laufrad angeordnet sind, vorgenommen.

Wegen ihrer komplizierten Konstruktion und dem sich daraus ergebenden hohen Preis wird die Francisturbine in KWKW heute nur noch selten gewählt. Sie hat ihre wirtschaftliche Berechtigung vor allem dann, wenn alte, ausgediente Maschinen zu ersetzen sind. Francisturbinen werden je nach Leistung für Fallhöhen von 3 m (Schachtturbinen) bis über 100 m (Spiralturbinen) eingesetzt.

Eine weitere Form der Reaktionsturbinen sind die Kaplan- und deren Weiterentwicklung, die Rohrturbinen. Diese Turbinen werden hauptsächlich im Niederdruckbereich (von 2 bis 20 m Fallhöhe) bei grösseren Wassermengen ($> 1 \text{ m}^3/\text{s}$) eingesetzt, wo sie oft alte Francisturbinen ersetzen können. Das Laufrad ähnelt einem Schiffspeller und besitzt keine Laufradkammern wie die Francis-Maschine. Neben dem Leitapparat können auch die Laufradschaufeln beweglich ausgeführt werden (Doppelregulierung), was den Wirkungsgrad im Teillastbereich erhöht.

Rohrturbinen sind Kaplan- oder Kaplan- mit horizontaler oder schräger Wellenlage, deren Zu- und Abströmung nahezu axial erfolgt. Rohrturbinen brauchen deshalb weniger Platz als die konventionellen Kaplan- mit Spiralgehäuse.

In der Schweiz noch wenig angewendet, jedoch für KWKW sehr geeignete Turbinen sind die Umkehrpumpe und die Durchström- oder Banki-Turbine. Letztere zeichnet sich vor allem durch ihre robuste und einfache Bauweise aus, ihr Wirkungsgrad ist jedoch etwas tiefer als bei den anderen Turbinentypen. Die Durchströmturbine besteht aus einem walzenförmigen Laufrad, das von einem rechteckigen Freistrahldurchströmt wird (daher der Name). Ihre Anwendung findet die Durchströmturbine in Nieder- und Mitteldruckanlagen. Ihr besonderer Vorteil im Zusammenhang mit KWKW liegt darin, dass sie auch von Nichtspezialisten auf dem Gebiet der Wasserturbinen gebaut und gewartet werden kann.

Die Umkehrpumpe ist eine Standard-Pumpe, die in umgekehrter Drehrichtung als Turbine läuft; sie ist vom Funktionsprinzip her eine Reaktionsturbine. Umkehrpumpen sind kostengünstig und mit sehr kurzen Lieferfristen einsetzbar. Da sie keine Regelungseinrichtung (Leitapparat) aufweisen, sollten Umkehrpumpen vor allem dort eingesetzt werden, wo die Durchflussmenge über längere Zeit nahezu konstant bleibt.

2.3.4 Generatoren und Steuerungen

Die Wahl des Generators und der Steuerung hängt in erster Linie von der Betriebsart des KWKW ab. Im Parallelbetrieb speist die Anlage ausschliesslich Strom in das öffentliche Netz ein, während im Inselbetrieb nur der Bedarf einer abgelegenen Alpwirtschaft oder Siedlung gedeckt wird. Eine Kombination der beiden Betriebsarten ist möglich, jedoch aufwendig und teuer.

Parallelbetrieb

KWKW (bis 300 kW), die ausschliesslich im Parallelbetrieb arbeiten, werden vorzugsweise mit einem Asynchrongenerator ausgerüstet, dessen Spannung und Frequenz vom öffentlichen Netz diktiert, d.h. konstant gehalten wird.

Inselbetrieb

Der Inselbetrieb ist dadurch gekennzeichnet, dass die Spannung und die Frequenz des erzeugten Stromes von dem KWKW selbst geregelt werden muss. Im Inselbetrieb muss die vom Generator erzeugte Leistung im Gleichgewicht mit der von den Verbrauchern benötigten Leistung stehen. Ist dies nicht der Fall, ändern sich Spannung und Frequenz, was zu Schäden bei Verbrauchern (Verbrennen der Wicklungen von Motoren) und Anlagenteilen führen kann.

KWKW im Inselbetrieb werden in der Regel mit Synchrongeneratoren ausgerüstet, da diese auch die Erzeugung von Blindleistung (für Neonlampen, Motoren, etc.) ermöglichen, d.h. es können alle Typen von Verbrauchern angeschlossen werden. Synchrongeneratoren für KWKW sind bereits serienmässig mit einem automatischen Spannungsregler ausgerüstet.

Die Regelung der Frequenz des erzeugten Stromes ist von der Drehzahl der Turbine abhängig und wird heute vor allem durch elektromechanische oder elektronische Regler erreicht.

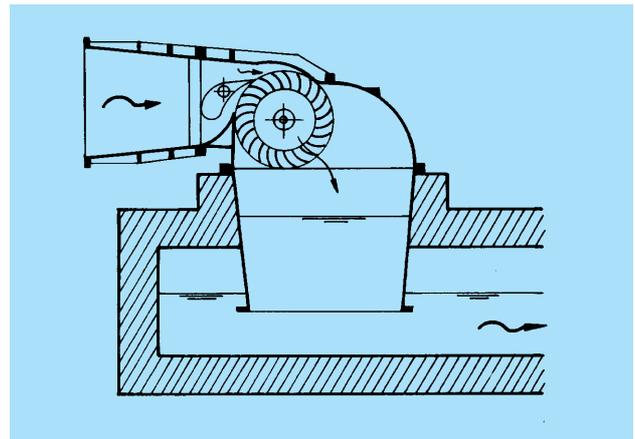


Abbildung 2.11a): Schnittbild einer Durchströmturbine

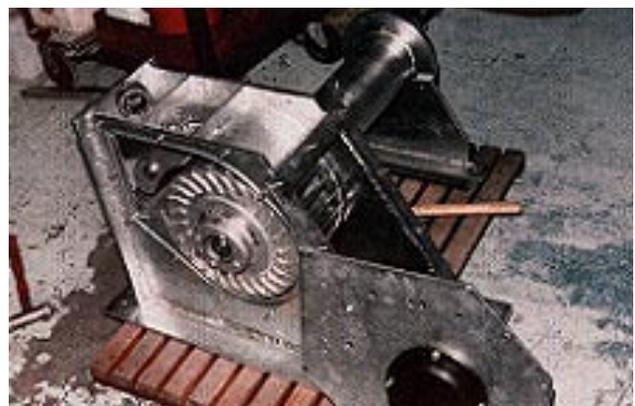


Abbildung 2.11b): Durchströmturbine (15 kW) für ein KWKW vor der Montage

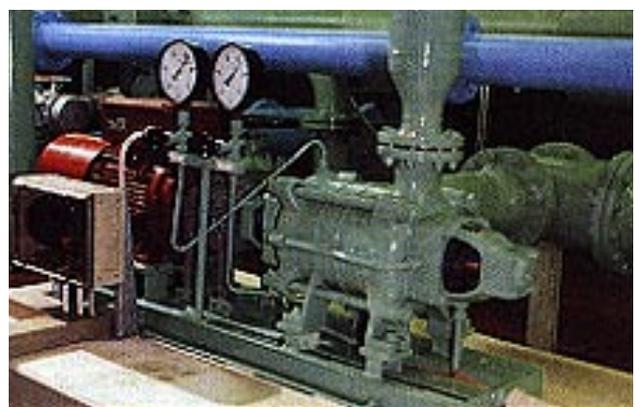


Abbildung 2.12 : Rückwärtslaufende Spiralgehäusepumpe zur Energierückgewinnung in der Industrie

Automatik, Sicherheit und Schutz der Anlage

Auch in KWKW bedient man sich heute wie bei den Grossanlagen moderner Elektronik, um die Schaltvorgänge (z. B. Synchronisation mit dem Netz beim Anfahren) und die Regelung und Anpassung der Turbinengruppe an die jeweiligen Betriebsverhältnisse zu automatisieren. Ein KWKW arbeitet deshalb im Normalbetrieb ohne Bedienung.

Bei den Mess- und Sicherheitseinrichtungen kann aber bei Kleinstanlagen nicht der gleiche Aufwand betrieben werden wie bei Grosskraftwerken. Sicher werden auch Kleinstanlagen mit den notwendigen Geräten zum Schutz von Personen, Maschinen, internen Verbrauchern und öffentlichem Netz ausgerüstet sein, jedoch wird man aus wirtschaftlichen Gründen auf eine umfassende Signalisierung aller möglichen Störungsarten verzichten. Ein längerandauernder Ausfall eines KWKW hat wegen der kleinen eingespeisten Leistung in der Regel keine Auswirkungen auf die Stabilität des öffentlichen Stromnetzes und kann deshalb bewusst in Kauf genommen werden.

Dank der bei Kleinstanlagen geringen Leistungen und Kräfte kann der Schnell- oder Notschluss der Turbinen im Falle von Störungen mit einfachen Mitteln wie Schliessgewichten oder Federdruck erfolgen, d. h. ohne elektrische Stellantriebe, die bei Störungen im öffentlichen Netz auf Hilfsenergie aus Akkumulatoren angewiesen sind.

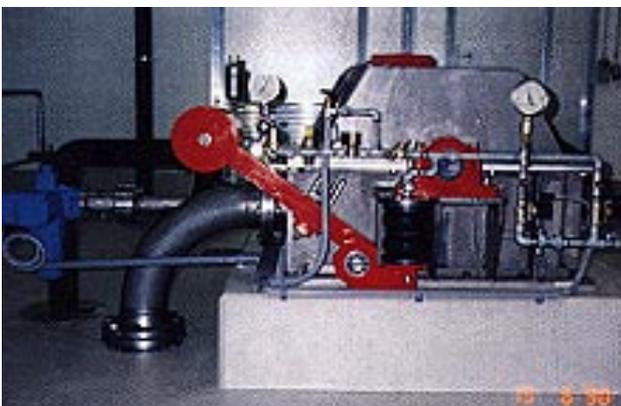


Abbildung 2.13: Notschluss einer Pelton turbine mit Fallgewicht

2.3.5 Zentralen – Anordnung und Einrichtung

Der Einsatz von Kompaktturbinen, von elektronischen Reglern und Steuerungen hat den Platzbedarf eines KWKW, im Gegensatz zu früher, wesentlich verringert. Die Zentrale eines KWKW mit Turbine, Generator und Schaltschrank beansprucht weniger als 50 m². Die Abmessungen einer Turbine nehmen mit zunehmender Fallhöhe (bei gleicher Leistung) ab. Zentralen für Druckleitungskraftwerke nehmen deshalb weniger Platz in Anspruch. Maschinen und Schaltschrank von KWKW in Wasserversorgungsanlagen können oft in den bestehenden Gebäuden (Reservoir, Schieberkammer) untergebracht werden.

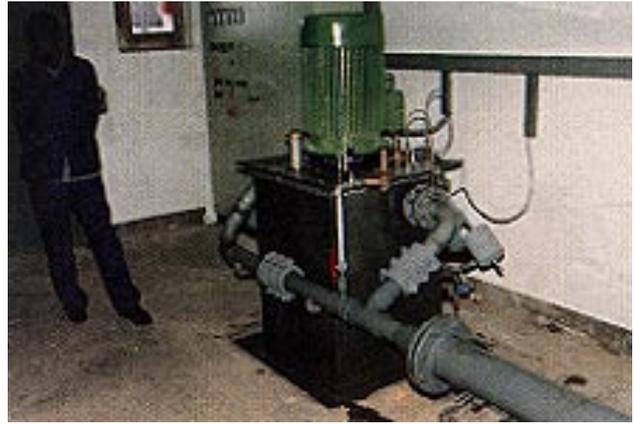


Abbildung 2.14: Nachträglich eingebautes KWKW der Wasserversorgung der Gemeinde Ormont-Dessous, Col des Mosses (VD)

2.4 Technologie der Kleinstwasserkraftwerke – Hightech oder Bastelobjekt ?

Leider ist die Ansicht noch immer weit verbreitet, in KWKW werde eine Technologie von gestern angewendet und jeder, der im entferntesten etwas mit Maschinen und Wasserbau zu tun habe, könne diese Technologie auch handhaben.

Es mag erstaunen, dass die Projektierung von KWKW im allgemeinen aufwendiger ist als bei grossen Anlagen, d.h., pro Kilowatt installierter Leistung muss mehr Projektierungsarbeit geleistet werden. Der Grund liegt darin, dass KWKW definitionsgemäss nur kleine Produktionsleistungen aufweisen, im wesentlichen aber aus den gleichen Komponenten bestehen wie die grossen Werke und ebenso sorgfältig zu entwerfen und zu dimensionieren sind. Beispiele von Bauherren und Planern, die dieser Tatsache zu wenig Beachtung geschenkt haben, gibt es etliche.

Besonders häufig sind die Fälle, in welchen das Wasserdargebot zu wenig genau ermittelt wurde (keine systematischen Messungen über ein bis zwei Jahre) und die Maschinen deshalb schlecht auf die eigentlichen Betriebsbedingungen abgestimmt sind, was einen wirtschaftlichen Betrieb in Frage stellt. Auch bei den wasserbaulichen Anlageteilen ist äusserste Vorsicht geboten: unterdimensionierte Druckleitungen (ausgelegt auf reine Wasserversorgungsfunktion), schlecht angepasste Wasserfassungen, fehlende Sandfänge und Rechenanlagen können dem Betreiber eines KWKW viel Ärger bereiten.

Die Projektierung von Kleinstwasserkraftanlagen setzt eine grosse Erfahrung des Projektanten voraus. Neben der rein technischen Erfahrung spie-

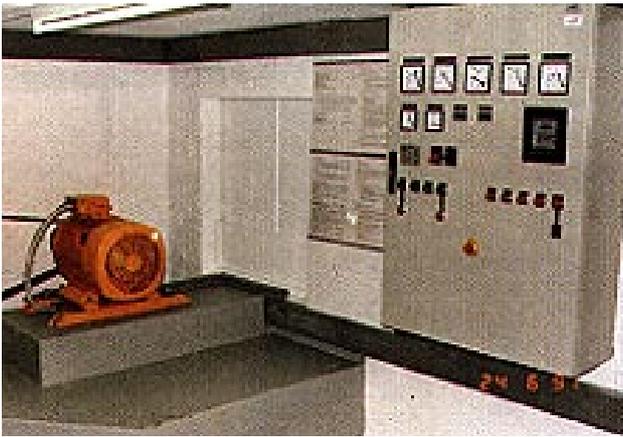


Abbildung 2.15: Schaltschrank und Asynchrongenerator in einem KWKW in Boudry (NE)

len für die Wahl des Ingenieurs auch dessen Kenntnisse in den Fragen des Umweltschutzes, der Wirtschaftlichkeit und des Verfahrensweges eine wichtige Rolle (siehe auch die nachfolgenden Kapitel).

Die eingangs gestellte Frage, ob KWKW eher High-tech oder Basteltechnologie sind, lässt sich so nicht eindeutig beantworten. Je nach den örtlichen und betrieblichen Gegebenheiten kann ein Kleinstwasserkraftwerk einmal eine hochtechnische Anlage (z.B. in einer Wasserversorgung einer Stadt) oder in einem anderen Fall ein sehr einfaches, mit viel Eigenleistung des Besitzers erstelltes Werk sein, das ohne Automation und Elektronik auskommt (z.B. Alpwirtschaft oder Ferienhaus mit Akkumulatoren; siehe auch Abbildung 7.1). Auch in letzterem Fall sollte jedoch ein Fachmann beigezogen werden, um unliebsame Überraschungen zu vermeiden.

3. Kleinstwasserkraftwerke und Umwelt

3.1	Restwassermenge	29
3.2	Belange der Fischerei	32
3.3	Integration der Anlagen in die Landschaft	34

3. Kleinstwasserkraftwerke und Umwelt

Jede materielle Tätigkeit des Menschen beeinflusst und verändert die Umwelt. Auch der Bau von KWKW bedeutet einen gewissen Eingriff in unseren Lebensraum. Bei KWKW ist dieser Eingriff jedoch meist überschaubarer als bei Grossanlagen und kann besser beherrscht werden. Dem öffentlichen Interesse, mittels Wasserkraft erneuerbare Energie zu erzeugen, werden andere Interessen im Zusammenhang mit Fliessgewässern entgegengestellt, so zum Beispiel von Seiten der Fischerei, der landwirtschaftlichen Bewässerung, des Natur-, Heimat- und Gewässerschutzes und von Erholungsuchenden (Baden, Wandern); die verschiedenen Nutzungs- und Schutzformen schliessen einander aber nicht unbedingt gegenseitig aus. Die Energienutzung eines Gewässers durch KWKW kann durchaus mit anderen Interessen kombiniert werden.

Eine generelle Aussage über die Auswirkung von KWKW auf die Umwelt kann nicht gemacht werden. Ein Abwägen der Interessen ist von Anlage zu Anlage durchzuführen; keinem Interesse darf à priori der Vorrang eingeräumt werden. Allseits annehmbare Kompromisse sind in vielen Fällen möglich.

Gemäss Eidgenössischem Umweltschutzgesetz wird für KWKW keine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) verlangt. Diese muss erst für Wasserkraftanlagen mit einer Leistung von mehr als 3000 kW ausgearbeitet werden. Das heisst aber nicht, dass die Auswirkungen einer Kleinanlage auf die Umwelt nicht ebenso studiert und mit geeigneten Massnahmen gemildert werden müssen. Für KWKW ist einzig der Verfahrensweg einfacher, die Auswirkungen auf Natur und Umwelt werden im Rahmen des Technischen Berichtes diskutiert.

3.1 Restwassermenge

Im Rahmen des umfassenden Gewässerschutzes kommt der Frage der Restwassermenge zentrale Bedeutung zu. Als Restwassermenge wird diejenige Wassermenge verstanden, die unterhalb einer Stauhaltung oder Ausleitung noch im natürlichen Flusslauf verbleibt. Die Flussstrecke zwischen Ausleitung und Wiedereinleitung des Kraftwerkswassers wird Restwasserstrecke genannt. Entspricht die Restwassermenge nicht dem gesetzlich gefor-

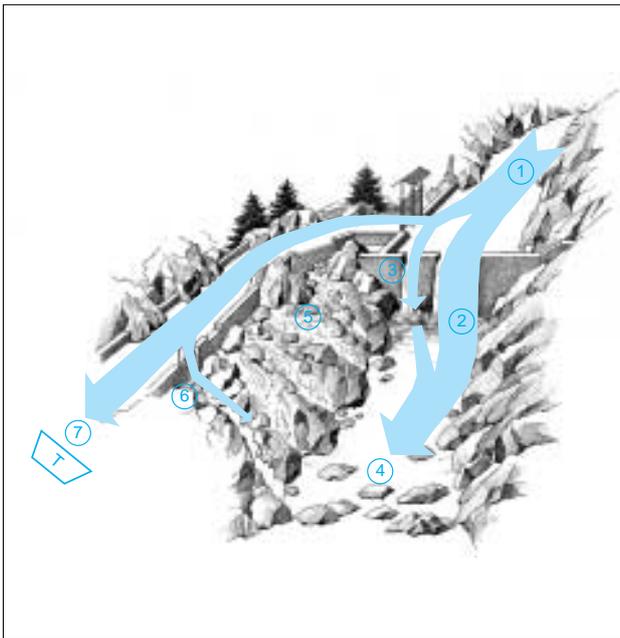


Abbildung 3.1: Definition der Rest- und Dotierwassermenge

- 1) Wasserdargebot
- 2) Überschusswasser
- 3) Dotierwasser
- 4) Restwasser
- 5) Leckwasser
- 6) Spülwasser
- 7) Zufluss zur Turbine



Abbildung 3.2a): Naturnahe Verbauung eines Flussabschnittes (Aufbau von unten nach oben):

- Fussicherung mit wildverlegtem Blocksatz (Naturstein)
 - Faschinenwalze (Bündel aus ausschlagfähigen Weidenruten)
 - Weidenspreitlage
 - Anpflanzung von einheimischen Gehölzen
- Zustand im 1. Jahr nach der Ausführung

dernten Minimum, so muss vom bereits gefassten Wasser die sogenannte Dotierwassermenge in den Flusslauf zurückgegeben werden.

Angemessene Restwassermengen werden im Hinblick auf die übrigen Nutzungsformen (neben der Wasserkraftnutzung) und die Schutzinteressen eines Gewässers gefordert. Die vier wichtigsten werden kurz skizziert:

- Fließgewässer sind Lebensräume für Tiere und Pflanzen, die sich dauernd oder zeitweise im Wasser aufhalten; eine ungenügende Wasserführung kann das Überleben dieser Lebewesen gefährden.
- Grundwasservorkommen werden oft von Fließgewässern gespeist. Sie beeinflussen somit den Wasserhaushalt des Bodens; stark verminderte Flusswasserversickerung kann zur Beeinträchtigung einer Trinkwasserversorgung, des Wasserhaushaltes der Uferpartien und landwirtschaftlicher Kulturen führen.
- Fließgewässer sind Erholungsräume und Landschaftselemente; ein Flusslauf mit ungenügender Wasserführung verliert einen wesentlichen Teil dieser Funktion.
- Fließgewässer reinigen Wasser. Verunreinigungen werden durch Bakterien und Kleinlebewesen im Wasser abgebaut. Dieser Mechanismus der Selbstreinigung ist äusserst wichtig für die Wasserqualität, die wiederum die meisten anderen Nutzungsformen erst ermöglicht. Unzureichende Wasserführung ergibt eine verminderte Verdünnung der Verunreinigungen; übermässige Algenbildung und verminderte Selbstreinigung sind die Folgen.

Gemäss Gewässerschutzgesetz vom Februar 1991 (angenommen durch eidg. Volksabstimmung vom Mai 1992) legt der Bund die Restwassermengen fest, die für neue oder zu erneuernde Wasserkraftwerke grundsätzlich nicht unterschritten werden dürfen. Darüber hinaus obliegt es den Kantonen, mit erhöhten Mindestmengen die verschiedenen Schutzinteressen im Einzelfall stärker zu berücksichtigen.

Neben der Forderung nach einer genügenden Mindestrestwassermenge sind im Zusammenhang mit der Nutzung eines Fließgewässers mittels KWKW weitere Anliegen, vor allem aus fischereilicher Sicht, zu berücksichtigen:

- bei Neu- oder Umbau sollten Kanalkraftwerke aufgegeben und durch Flusskraftwerke ohne Restwasserstrecken ersetzt werden (Turbine direkt in die Wehranlage integriert);

- Restwasserstrecken sind so zu gestalten, dass zu jeder Zeit eine genügende Wassertiefe von 15 bis 20 cm (Niederwasserrinne) und eine Strukturvielfalt (Palette von ruhigen bis stark fließenden Strömungsbereichen, Uferbepflanzung mit Gehölzen unterschiedlichster Arten und Grösse mit teilweiser Beschattung des Gewässers, etc.) erhalten bleibt;
- Wehre und Dämme von Wasserkraftwerken müssen die Fischwanderung auch stromaufwärts gewährleisten (Bau einer Fischtreppe oder eines Fischpasses).

Aus ökologischer Sicht wird man geneigt sein, Verbauungen an Fließgewässern möglichst zu unterlassen und die natürliche Vegetation zu erhalten oder durch Neubepflanzung zu ergänzen. Demgegenüber werden aus Gründen des Hochwasserschutzes Flussprofile und Ufergestaltungen verlangt, die das Hochwasser ohne Überschwemmung und Erosion sicher abführen können. Um beiden Forderungen gerecht zu werden, können naturnahe Bauweisen angewendet werden. Als naturnah werden Ufer- und Sohlengestaltungen bezeichnet, die aus einer Kombination von lebendem Pflanzenmaterial und technischen Baustoffen (Natursteinblöcke, Holz) bestehen. Während bei technischen Materialien die Kraft des Wassers mit starren Baukörpern (Hartverbau) gebrochen wird, sollen beim Lebendverbau die Kräfte durch den Widerstand der Pflanzen umgelenkt werden: oberirdisch mit einem nachgiebig federnden Rutenmantel und unterirdisch durch einen eng vermaschten Wurzelvorhang. Hartverbau wird überall dort eingesetzt, wo wegen der Erosionskraft des Wassers (am Prallufer, im Tosbereich eines Überfalles und bei grossen Strömungsgeschwindigkeiten) eine Uferstabilisierung durch heranwachsende Pflanzen nicht gewährleistet wäre.

Bei der Strukturierung des Gewässers in und um ein KWKW ist vor allem auf heterogen gestaltete Fluss- oder Bachprofile zu achten. Jegliche Monotonie durch gerade Uferlinien und gleichförmige Böschungsneigungen sind zu vermeiden. Die Schaffung der grösstmöglichen Vielfalt naturnaher Strukturen ermöglicht die Entwicklung der verschiedenartigen Organismen, die durch ihre vielgliedrige Nahrungsketten unter anderem die Grundlage der Selbstreinigungskraft des Wassers darstellen.

Im Rahmen einer naturnahen Gestaltung von Restwasserstrecken wird es oft nötig sein, ein Niederwassergerinne vorzugeben, um den Abfluss zu konzentrieren und eine Mindestwassertiefe von 20 cm zu ermöglichen. Dabei können sogenannte Belebungssteine, Bühnen und andere Einbauten wie Hilfswehre oder Rampen die Wassertiefe dif-



Abbildung 3.2b): Gleicher Verbauungstyp wie Abb. 3.2 a) jedoch 4 Jahre nach der Erstellung

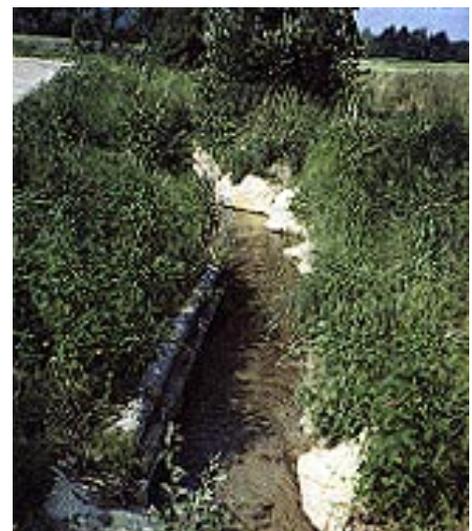


Abbildung 3.3: Mit naturnahen Mitteln korrigiertes Gewässer im Berner Mittelland; während der Bauausführung (oben) und ein Jahr danach (unten)



Abbildung 3.4: Blockrampe im Rötenbach bei Eggwil

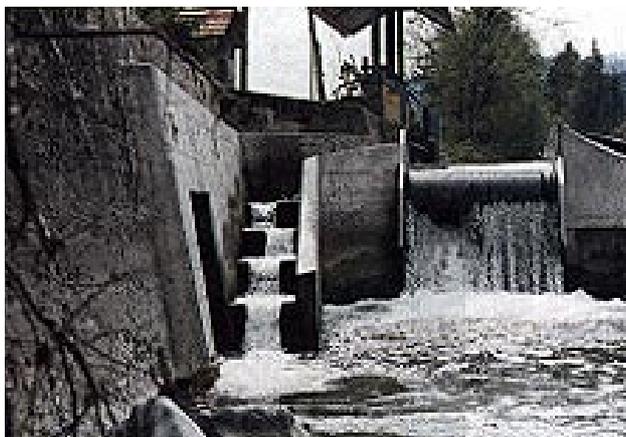


Abbildung 3.5: Beckenpass bei einem Kleinwasserkraftwerk in Bärau, Langnau (BE)



Abbildung 3.6: Einstieg in den Umleitungsbach unterhalb des Wehres bei einem Kleinstwasserkraftwerk in Kleindietwil (BE)

ferenzieren. Diese Einbauten stellen Strukturelemente dar, da sie unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten hervorrufen und selbst von Organismen besiedelt werden.

Die nachfolgende Abbildung vermittelt einen Eindruck von naturnahen Verbauungsarten, die bereits im 19. Jahrhundert bekannt waren, aber erst seit den 80er Jahren im Hochwasserschutz und bei Gewässerkorrekturen wieder Verwendung finden.

3.2 Belange der Fischerei

Fast jede Fischart unternimmt mehr oder weniger ausgedehnte Laich-, Nahrungs- und Bestandesausgleichs-Wanderungen, die durch Wehranlagen von Wasserkraftwerken behindert werden. Mit dem Bau von Fischpässen, die als Umleitungsbäche, Treppen oder Becken, Schleusen und Rampen ausgebildet werden können, lassen sich jedoch die Wanderwege bei richtiger Konstruktion teilweise aufrechterhalten oder wiederherstellen.

In der Schweiz werden Umleitungsbäche, Rampen und vor allem der Beckenpass ausgeführt. Die Rampe eignet sich für kleinere Abstürze und wird meist in Form einer geneigten Blocksteinrampe in einen Randbereich des Wehres integriert. Die durch versetzte Einzelsteine gebildeten Stufen ergeben sowohl Bereiche grosser Wassertiefe als auch Ritzen und Spalten, die, wie die vielfältigen Strömungsbereiche eines natürlichen Gewässers, für Fische und andere Kleinlebewesen einen Aufstieg abschnittsweise ermöglichen.

Bei den Beckenpässen wird ein vom Unter- zum Oberwasser führender schmaler Kanal (aus Platzgründen meist aus Beton) durch Zwischenwände in kleine Becken aufgeteilt. Die Fische können dadurch die unüberwindliche Gesamthöhe des Wehres abschnittsweise in kleinen Stufen überwinden und in den dazwischengeschalteten Becken wieder Kräfte sammeln.

Umleitungsbäche als Fischaufstiege werden im Sinne einer Nachbildung von natürlichen Bächen mit kleinen Sohlstufen und Kolken gebildet. Obwohl hier die landschaftsgestalterischen Anliegen am besten integriert werden können, kommt diese Art von Fischaufstieg in der Schweiz selten zur Anwendung, weil der Bau von Umleitungsbächen mit einem hohen Platz- und Wasserbedarf verbunden ist.

Viele bestehende Fischaufstiege sind wegen Konstruktionsmängeln und unzureichender Wartung nicht funktionsfähig. Das Hauptproblem liegt meist beim Einstieg in den Fischpass; oft ist er so im

Fließgewässer angeordnet, dass er von aufstiegs-
willigen Fischen nicht gefunden wird.

Der Fisch orientiert sich im fließenden Wasser an der an seinem Körper angreifenden Strömung. Turbulente Bereiche ohne gerichtete Strömung werden gemieden, da sich hier die Fische nicht orientieren können. Stromaufwärts wandernde Fische werden deshalb immer dort wandern, wo die stärkste Strömung herrscht, d.h. dort wo das Wasser herkommt. Damit die Fische den Einstieg in den Fischpass finden, müssen sie durch eine entsprechend starke Lockströmung geleitet werden. Diese Lockströmung muss für jeden Abfluss vorhanden sein. Häufig werden Beckenpässe angetroffen, deren Einstieg bei Niederwasser nicht mehr erreicht werden kann. Die folgende Abbildung zeigt die prinzipielle, in der Praxis verschiedentlich bewährte Anordnung eines Fischpasses:

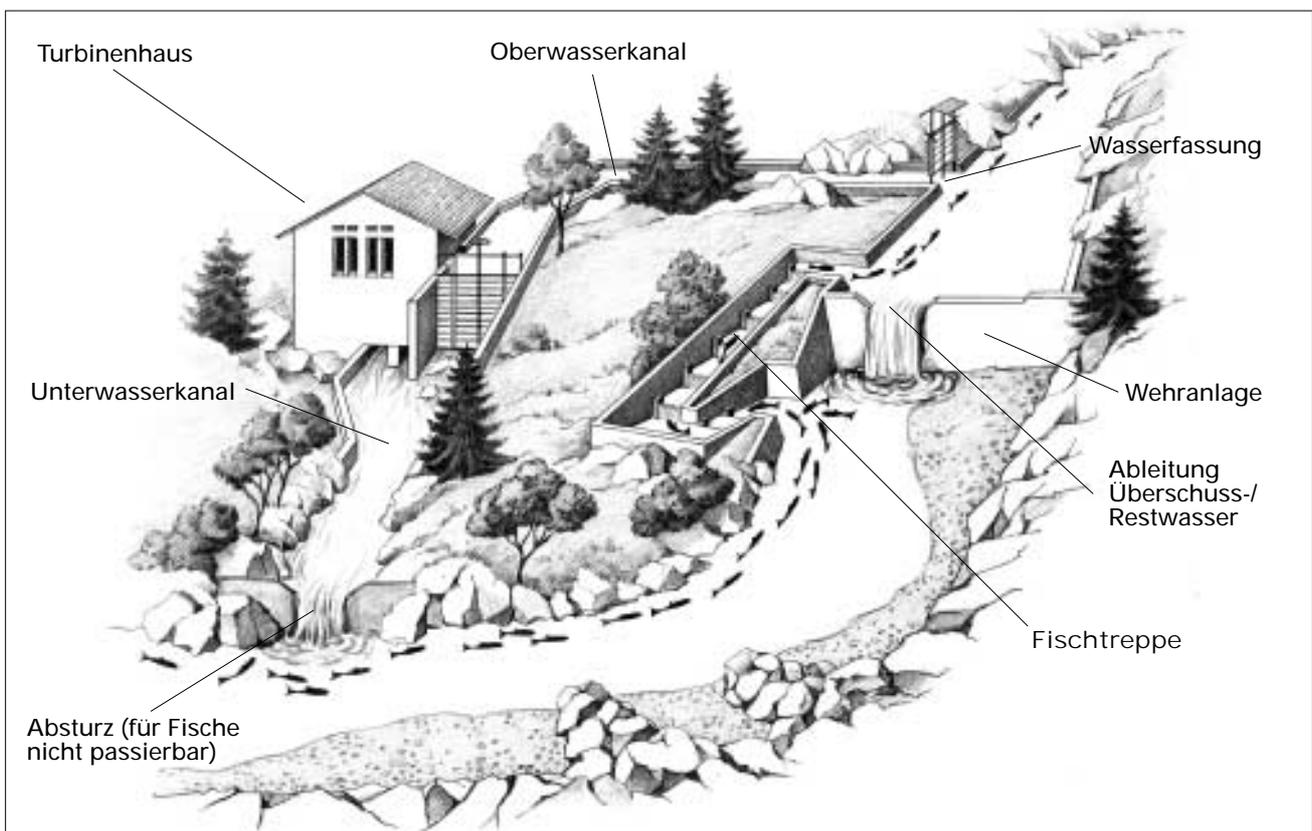


Abbildung 3.7 : Prinzipielle Anordnung eines Fischpasses

Der Einstieg des Fischpasses sollte am Ufer in der Nähe der grössten Strömung (Turbinenauslass, Tosbereich des Niederwasserüberfalles oder -ablasses, aber noch vor den turbulenten Zonen) angeordnet werden.



Abbildung 3.8: Zentrale des Kleinstwasserkraftwerkes (250 kW) von Le Pont de la Tine (VD): bis auf den Eingang vollständig erdüberdeckt

3.3 Integration der Anlagen in die Landschaft

«Über den Geschmack lässt sich streiten» stellt ein altes Sprichwort fest. Tatsächlich wird gerade bei Wasserkraftanlagen immer wieder darüber gestritten, was an einer Anlage als schön zu bezeichnen sei oder ästhetischer gestaltet werden könnte.

KWKW geben diesbezüglich weniger Probleme auf als Grossanlagen, da die als störend empfundenen grossen Krane, Schleusen, Schiffshebewerke und hochaufragenden Rechenreiniger bei Wehren von Kleinanlagen meist fehlen. Ausserdem sind die Druckleitungen von Kleinstwasserkraftwerken in der Regel unterirdisch, treten also gar nicht in Erscheinung. Längere Kanäle bei Niederdruckanlagen lassen sich durch standortgerechte Bepflanzung gut in die Landschaft integrieren.

Turbinen und Generatoren können bei Umbauten und Renovationen in den bestehenden Gebäuden untergebracht werden. Zentralen von Neubauten werden durch geeignete Materialwahl und Gestaltung harmonisch in die Umgebung eingefügt (siehe Abbildung 3.8).

Die Lärmentwicklung einiger Turbinentypen (Pelton und Durchströmturbinen in Mittel- bis Hochdruckkraftwerken) kann beachtliche Ausmasse annehmen. Auch Vibrationen können schon bei kleinen Leistungen auftreten. Wenn die Turbinengruppe in einem bewohnten Gebäude untergebracht wird, ist diesem Umstand durch Schallisolation und konsequente Trennung der Maschinenfundamente vom Gebäude Rechnung zu tragen.

4. Beispiele bestehender Anlagen

4.1	Niederdruckanlage der Getreidemühle Vicques (JU)	37
4.2	Druckleitungskraftwerk an der Ilfis in Bärau, Langnau (BE)	38
4.3	Kleinstwasserkraftwerk in der Wasserversorgung der Gemeinde Brienzwiler (BE)	39
4.4	Turbine im Abwassernetz von Leysin (VD)	40
4.5	Druckentspannungsturbinen in Industrieprozessen	41

4. Beispiele bestehender Anlagen

4.1 Niederdruckanlage der Getreidemühle Vicques (JU)

Die Mühle wurde bis 1971 mit einer Francis-Turbine betrieben und dann stillgelegt. 1986 erfolgte die Erneuerung des unteren Teiles des Triebwasserkanals sowie der Einbau eines neuen Maschinensatzes (Kaplanturbine und Synchron-generator). Der produzierte Strom wird soweit möglich im Getreideverarbeitungsbetrieb und im Wohnhaus verwendet. Dabei gelangt ein elektronisches Steuersystem zum Einsatz, das die Eigenproduktion optimal nutzt: als Priorität wird die Eigenproduktion zur Abdeckung von Spitzenstrom im Mühlenbetrieb verwendet; Verbraucher mit Speichermöglichkeiten wie Heizung und Warmwasseraufbereitung werden nur bei Eigenproduktionsüberschuss bedient. Erst ein eventuell weiterer Überschuss wird ins öffentliche Netz eingespeisen. Solche Systeme machen sich vor allem dort bezahlt, wo ein grosser Unterschied zwischen der Vergütung für Stromrücklieferung und den Strombezugspreisen besteht.

Die Anlage wurde von der Eidgenössischen Getreideverwaltung finanziell unterstützt, da die Mühle auch in Zeiten gestörter Energieversorgung unabhängig vom Netz arbeiten kann (Kriegswirtschaft). Mit der dadurch erreichten Reduktion der Stromgestehungskosten von ca. 13 Rp / kWh auf ca. 10 Rp. / kWh wurde eine Modernisierung für den Betreiber interessant.

Allgemeine Angaben:

- Nutzung der Wasserkraft von: La Scheulte, Nebenfluss der Birse
- Baujahr: erneuert 1986
- Nettofallhöhe: 3.8 m
- Durchfluss/Ausbauwassermenge: 1300 l/s
- Turbinentyp: Kaplan mit horizontaler Achse und verstellbarem Laufrad
- elektrische Leistung ab Generator: 32 kW
- Betrieb: Parallelbetrieb mit automatischer Umstellung auf Inselbetrieb bei Netzausfall



Abbildung 4.1a): Gesamtansicht der Anlage vor der Modernisierung



Abbildung 4.1b): Gesamtansicht der Anlage nach der Modernisierung

- Energieverwendung: Eigenverwertung im Verarbeitungsbetrieb und im Wohnhaus mit Einspeisung ins Netz bei Überschuss
- jährliche Produktion: 200'000 kWh
- Investitionskosten für Modernisierung: Fr. 260'000.- (Preisbasis 1986)



Abbildung 4.2a: Montage der Kaplan-Turbine mit Saugrohr



Abbildung 4.2b: Turbine mit Synchron-generator im Betrieb

4.2 Druckleitungskraftwerk an der Ilfis in Bärau, Langnau (BE)

Der Gewerbekanal in Bärau diente schon im letzten Jahrhundert der Wasserkraftnutzung (Textilfabrik). Nach einigen Jahren Unterbruch wurde Anfang 1992 der Betrieb mit einem neuen Maschinensatz und umgebauten Wehr- und Triebwasseranlagen wieder aufgenommen.

Die Anlage ist, neben einigen technischen Besonderheiten (Schlauchwehr, Wasserschloss, Durchströmturbine), vor allem im Hinblick auf die Trägerschaft von Interesse.

Die Kleinkraftwerk Bärau AG wurde 1991 als Bau- und Betriebsgesellschaft gegründet. Beteiligt am Aktienkapital sind je zur Hälfte die Firma Lauterburg & Co. AG (Besitzerin der Liegenschaft) sowie die Vereinigung zur Förderung umweltfreundlicher Energien Energie plus!, Langnau.



Abbildung 4.3: Rechenanlage mit automatischer Reinigungsmaschine

Letztere produziert auf umweltfreundliche Weise elektrische Energie, die sie über das öffentliche Netz an ihre Mitglieder und Darlehensgeber verteilt. Die umweltbewussten Stromabnehmer bezahlen dabei zusätzlich zu den üblichen Stromtarifen der regionalen Elektrizitätsgesellschaft noch einen Beitrag an die Vereinigung, die damit dezentrale, umweltfreundliche Energieproduktionsanlagen wie das KWKW Bärau baut und betreibt.

Unter Berücksichtigung der Unterstützung durch den Kanton (Zinsverbilligung) während der ersten 6 Jahre betragen die Stromgestehungskosten ca. 11 Rp. / kWh; nach Ablauf der Zinsverbilligung werden es 12.5 Rp. / kWh sein.

Allgemeine Angaben:

- Nutzung der Wasserkraft von: Ilfis, Nebenfluss der Emme
- Baujahr: erneuert 1991
- Nettofallhöhe: 10.9 m
- Durchfluss/Ausbauwassermenge: 1300 l/s
- Turbinentyp: Durchströmturbine
- elektrische Leistung ab Generator: 116 kW
- Betrieb: Parallelbetrieb
- Energieverwendung: ausschliesslich Einspeisung ins öffentliche Netz
- jährliche Produktion: 730'000 kWh
- Investitionskosten für Modernisierung: Fr. 1.1 Mio (Preisbasis 1992)



Abbildung 4.4: Wasserschloss aus Kunststoff



Abbildung 4.5: Durchströmturbine

4.3 Kleinstwasserkraftwerk in der Wasserversorgung der Gemeinde Brienzwiler (BE)

Die Gemeinde Brienzwiler besitzt seit den Anfängen der Elektrifizierung ihr eigenes Elektrizitätsnetz. Anfang der 80er Jahre wurde der Wunsch laut, mit dem reichlich vorhandenen Quellwasser eine Turbine anzutreiben und wieder eigenen Strom zu produzieren. Als die bestehende Druckleitung der Wasserversorgung zu ersetzen war, wurde der Bau eines Kraftwerkes Wirklichkeit. Das Kraftwerk kann 40% des gesamten Stromverbrauchs der Gemeinde decken.

Das Kraftwerk ist für die gemeindeeigene Elektrizitätsgesellschaft wirtschaftlich interessant. Trotz eines Stromgestehungspreises von etwa 12 Rp./kWh (nach Abzug aller Subventionen und des

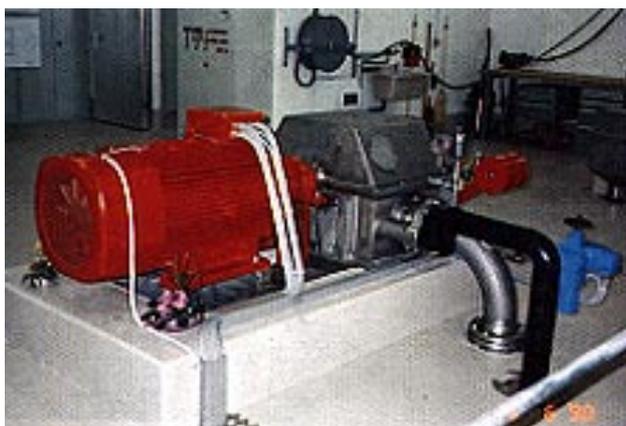


Abbildung 4.6: Pelton-turbine und Asynchron-generator im Betriebsraum des Wasserreservoirs

zinslosen IHG-Darlehens) ist die Anlage rentabel, da ein wesentlich höherer Preis (16 Rp/kWh) für den Stromzukauf von einer grösseren Elektrizitätsgesellschaft bezahlt werden muss.

Allgemeine Angaben:

- Nutzung der Wasserkraft von: Quellen im Farnigraben auf rund 1010 m ü. M.
- Baujahr: 1989
- Nettofallhöhe: 250 m
- Durchfluss/Ausbauwassermenge: 70 l/s
- Turbinentyp: Pelton mit horizontaler Welle
- elektrische Leistung ab Generator: 130 kW
- Betrieb: Parallelbetrieb
- Energieverwendung: ausschliesslich Einspeisung ins gemeindeeigene Netz
- jährliche Produktion: 750'000 kWh
- Investitionskosten (nur Anteil Kraftwerk): Fr. 1.2 Mio (Preisbasis 1989)

4.4 Turbine im Abwassernetz von Leysin (VD)

Der Touristenort Leysin betreibt eine eigene Abwasserreinigungsanlage (ARA) am Ausgang des Dorfes auf ca. 1200 m ü. M. Das gereinigte Abwasser wurde anfangs in einen Wildbach eingeleitet und floss anschliessend ungenutzt ca. 600 m tiefer bis ins Tal der Grande Eau. Dieses grosse Potential wurde von Roger Galé erkannt und seit 1989 durch ein KWKW genutzt. Unseres Wissens ist dies die bisher einzige Anlage, die mit Abwasser Strom produziert.

Allgemeine Angaben:

- Nutzung der Wasserkraft von: Abwasser der ARA
- Baujahr: 1989
- Nettofallhöhe: 510 m
- Durchfluss/Ausbauwassermenge: 52 l/s
- Turbinentyp: Pelton mit vertikaler Welle
- elektrische Leistung ab Generator: 210 kW
- Betrieb: Parallelbetrieb
- Energieverwendung: ausschliesslich Einspeisung ins öffentliche Netz
- jährliche Produktion: 1'500'000 kWh
- Investitionskosten: Fr. 600'000.- (Preisbasis 1989, ohne Eigenleistungen)



Abbildung 4.7: Druckleitung aus Stahl im steilen, felsigen Gelände oberirdisch verlegt



Abbildung 4.8a): Zentrale mit Transformator

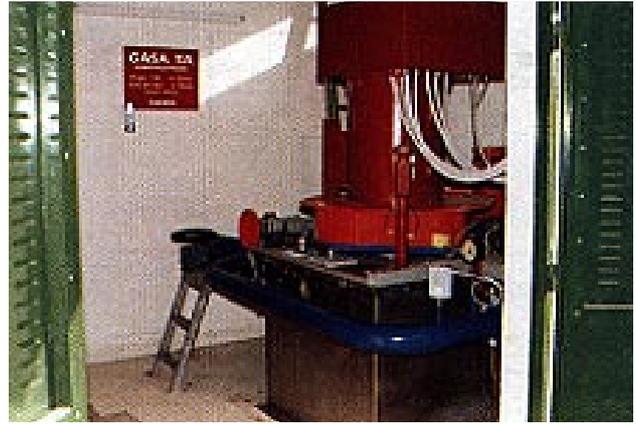


Abbildung 4.8b): Pelton turbine und Generator mit vertikaler Welle

4.5 Druckentspannungsturbinen in Industrieprozessen

Überall dort, wo eine Flüssigkeit in einem industriellen Prozess von einem höheren auf einen niedrigeren Druck entspannt werden muss, kann das konventionelle Entspannungs- oder Druckminderventil durch eine Turbine ersetzt und Energie zurückgewonnen werden.

Die Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig, in der Schweiz wurden jedoch solche Energierückgewinnungssysteme bisher selten angewendet. Hier einige Beispiele:

Chemische und petro-chemische Industrie

- Gaswäsche (Reinigung von Gasen im Nassverfahren)
- Herstellung von Ammoniak aus dem Luftstickstoff, wo Drücke von über 200 bar benötigt werden; Ammoniak hat sehr grosse Bedeutung in der Düngemittelherstellung, der Salpetersäuregewinnung und in der Herstellung von Harnstoff (Harze).
- Verarbeitung und Umwandlung von Erdöl (Herstellung von Benzin, Herstellung von Kunststoffen)

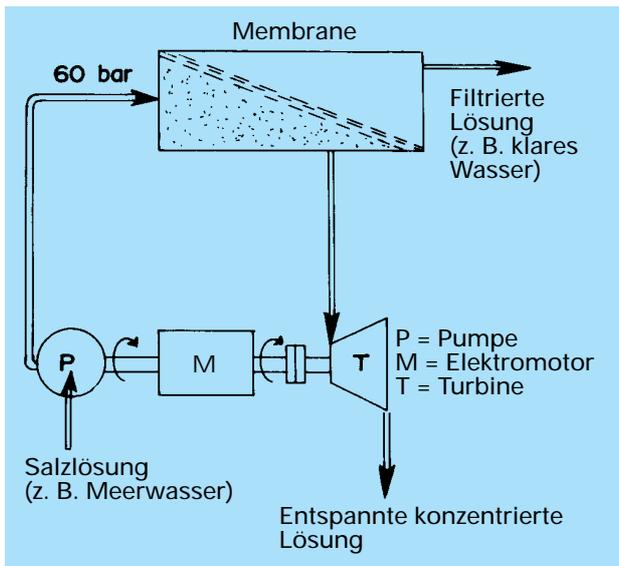


Abbildung 4.9: Prinzipschema der Filtration durch Umkehrosmose, wobei eine Entspannungsturbine die eingesetzte Energie teilweise zurückgewinnen kann.

Umkehrosmose

Bei der Trennung von gelösten Salzen und Flüssigkeiten wird oft das Umkehrosmoseverfahren angewandt, so auch bei der Meerwasserentsalzung. Die Flüssigkeit wird dabei unter hohem Druck (60 bar) durch eine Membran gepresst, die nur einen Teil der Flüssigkeit, nicht aber das Salz hindurchlässt. Die konzentrierten Rückstände (Flüssigkeit und Salz) können in einer Turbine wieder auf Umgebungsdruck entspannt werden. Die Energieabgabe der Turbine kann dabei direkt zur Unterstützung der Druckerhöhungspumpe am Prozessanfang verwendet werden und so den Gesamtenergiebedarf der Anlage um ca. 1/3 reduzieren.

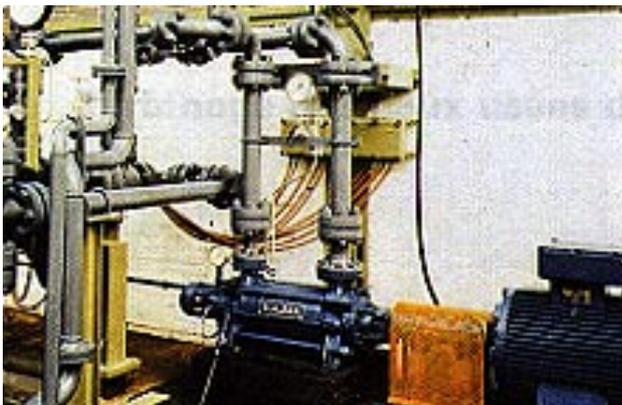


Abbildung 4.10: Umkehrpumpe zur Energierückgewinnung in einer Hochdrucksynthese-Versuchsanlage

Öldrucksysteme

Die Druckdifferenz zwischen dem Hydraulikölkreislauf (hoher Druck) und dem Schmierölkreislauf (niedriger Druck) einer Anlage kann zum Antrieb einer Turbine verwendet werden.

Kühlwassersysteme

Wenn die Kühlwasserquelle nicht auf dem gleichen Höhenniveau liegt wie das zu kühlende Aggregat oder dessen Umgebung, kann die beim Hochpumpen des Kühlwassers aufgewendete Energie durch eine Turbine auf dem absteigenden Rohrleitungsteil teilweise zurückgewonnen werden. Diese Technologie wird unter anderem in Kühlsystemen auf hohen Bohrplattformen im Meer und bei Minen in grossen Tiefen (1500 – 3000 m) angewandt.

5. Wirtschaftlichkeit von Kleinstwasserkraftwerken

5.1	Ausgangslage	45
5.2	Neubau und Umbau von Kleinstwasserkraftwerken	45
5.3	Stromgestehungskosten	46
5.4	Stromverkaufspreise und Rücklieferungstarife	47
5.5	Abschätzen der Wirtschaftlichkeit	48

5. Wirtschaftlichkeit von Kleinstwasserkraftwerken

5.1 Ausgangslage

Das Interesse in der Bevölkerung an erneuerbaren Energiequellen ist deutlich angestiegen, nicht zuletzt wegen der intensiven Energiedebatten in den Medien und der spürbar zunehmenden Umweltbelastung durch fossile Energieträger. Diese Sensibilisierung hat aber bisher kaum einen merklichen Aufschwung in der Entwicklung des KWKW-Sektors in der Schweiz gebracht. Dies lässt sich nur teilweise mit dem relativ grossen Kapitalaufwand für den Bau von KWKW erklären.

Die Hauptursache für die geringe Bautätigkeit ist vielmehr auf der Seite der Stromabnehmer, d.h. der Elektrizitätsgesellschaften (abgekürzt EW) zu suchen. Die Abnahmepreise, die von den EW bei der Einspeisung von dezentral erzeugter Elektrizität bezahlt werden, reichen heute oft nicht aus, um die finanziellen Lasten (Zinsen und Abschreibungen) und die Betriebskosten eines KWKW zu decken. Beispiele aus unseren Nachbarländern oder aus einzelnen kleineren EW-Regionen in der Schweiz zeigen jedoch, dass durch verbesserte Abnahmebedingungen des produzierten Stromes eine Renaissance der KWKW möglich ist.

5.2 Neubau und Umbau von Kleinstwasserkraftwerken

Unter Neubau eines KWKW versteht man den kompletten Ersatz einer bestehenden Wasserkraftanlage oder den Ausbau eines bisher nicht genutzten Wasserkraftpotentials. Bei einem Umbau wird nur ein Teil einer bestehenden Anlage ersetzt, sei es der elektrische (Generator, Steuerung) der elektro-mechanische (gesamter Maschinensatz), der wasserbauliche Teil oder Kombinationen derselben.

Der Entscheid, ob ein kompletter Neubau oder ein Umbau einer bestehenden Anlage sinnvoll ist, wird im wesentlichen durch Wirtschaftlichkeitsüberlegungen bestimmt. Während ein Neubau meist die grösste Produktion, aber auch die grössten Kosten erzeugen wird, kann ein Teilumbau ohne grosse Produktionserhöhung wirtschaftlich interessant sein, da das Verhältnis zwischen Aufwand und Ertrag in vielen Fällen günstiger ausfallen wird.

In diesem Zusammenhang muss erwähnt werden, dass auch die Stilllegung einer Anlage in jedem Fall Kosten verursacht. Wird die Anlage ausser Betrieb genommen, müssen sowohl der Unterhalt der wasserbaulichen Anlagen (Wehre, Kanäle) als auch die Wasserzinsen weiterhin bestritten werden, was sogar bei KWKW einige tausend Franken pro Jahr kosten kann. Wird die Wasserrechtskonzession vor ihrem Ablauf vorzeitig zurückgegeben, muss in der Regel der ursprüngliche Zustand des Gewässers wieder hergestellt werden, was ebenso hohe Kosten verursachen kann. Bei der Abwägung, ob eine bestehende Anlage umgebaut, ersetzt oder stillgelegt werden soll, sind diese Kosten unbedingt in den Vergleich miteinzubeziehen.

5.3 Stromgestehungskosten

Der Aufwand für Bau und Betrieb eines KWKW, ausgedrückt in Rappen pro produzierter Kilowattstunde (Gestehungskosten), kann als Vergleichswert für die Wirtschaftlichkeit einer Anlage herangezogen werden.

Je nach Umfang der Bauarbeiten (Modernisierung – Umbau – Neubau) können heute folgende Richtwerte der Stromgestehungskosten angenommen werden:

	Art der Anlage / des Bauvorhabens	Stromgestehungskosten (grobe Richtwerte)
1.	Ersatz der elektrischen Anlageteile (Generator und Steuerung) + ev. Revision der Turbine in einem bestehenden KWKW; wasserbauliche Teile in akzeptablem Zustand	4 – 8 Rp./kWh
2.a)	Ersatz des gesamten Maschinensatzes (Generator und Turbine) in einem bestehenden KWKW; wasserbauliche Teile in akzeptablem Zustand	8 – 12 Rp./kWh
2.b)	Einbau einer Turbine in der Trinkwasserversorgung oder in Abwassersystemen (inkl. Generator und Steuerung + ev. Anteil an Druckleitung)	8 – 12 Rp./kWh
3.	Modernisierung des Maschinensatzes und Teilerneuerung der wasserbaulichen Teile an einem bestehenden KWKW	12 – 16 Rp./kWh und höher
4.	Neubau eines KWKW an einem Fluss oder an einem Kanal	> 16 Rp./kWh

Tabelle 5.1: Richtwerte der Stromgestehungskosten für Um- und Neubauten von KWKW (Preisbasis 1992)

5.4 Stromverkaufspreise und Rücklieferungstarife

Mit dem Energienutzungsbeschluss (ENB) hat die eidgenössische Gesetzgebung eindeutig den Willen bekundet, Strom aus erneuerbaren Energiequellen, auch wenn er aus kleinen, dezentralen Anlagen wie den KWKW stammt, gemäss seines volkswirtschaftlichen Wertes zu vergüten.

Gemäss Artikel 7 des Beschlusses wird davon ausgegangen, dass die Höhe der Vergütung den Stromgestehungskosten in einem neuen inländischen Grosskraftwerk entsprechen soll.

Für KWKW die direkt am Ort der Verbraucher in das Niederspannungsnetz (400 V) einspeisen, müssten demnach Verkaufs- und Rücklieferungstarif nahezu identisch sein, wenn man die Übertragungs- und Transformationskosten vom Grosskraftwerk bis zum Verbraucher berücksichtigt.

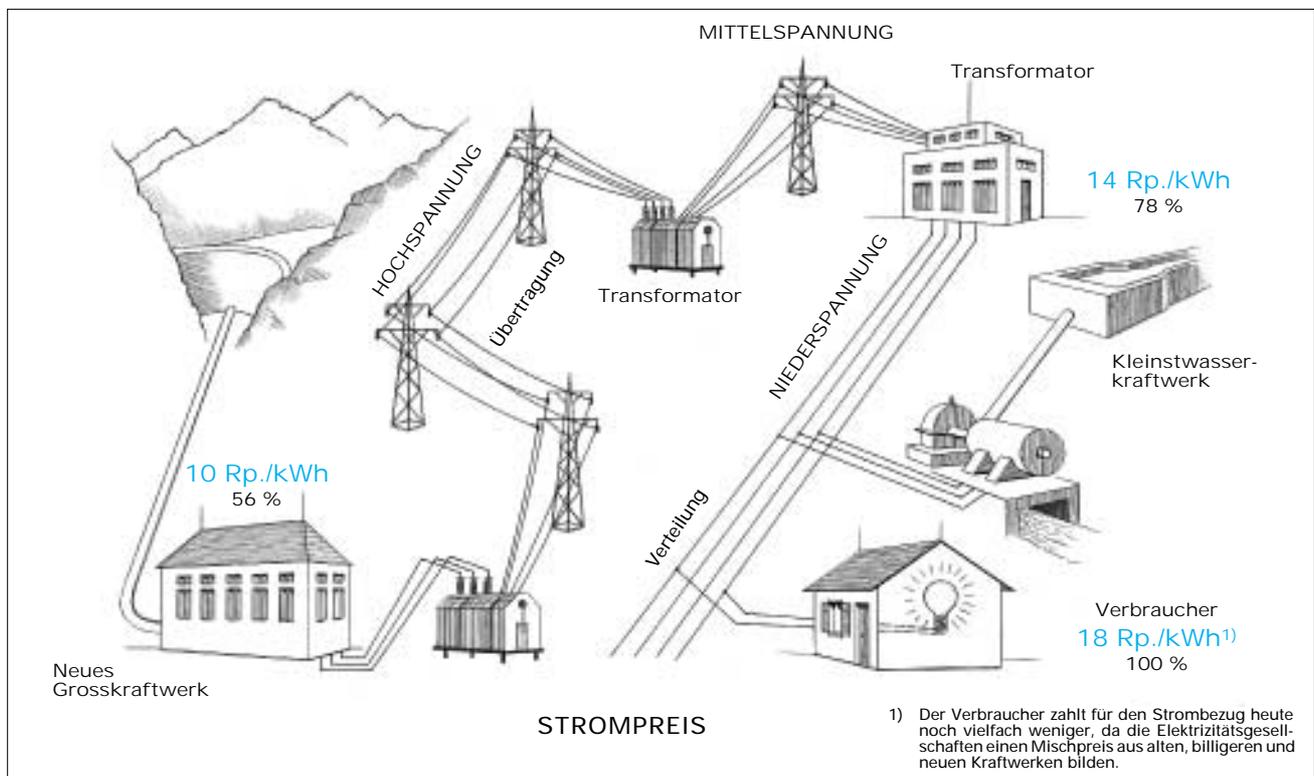


Abbildung 5.2: Entwicklung des Strompreises vom Grosskraftwerk bis zum Verbraucher unter Einbezug der ins Niederspannungsnetz einspeisende KWKW

Kanton	Stromverkaufspreis im Jahresmittel in Rp./kWh	Vergütung für Rücklieferung im Jahresmittel in Rp./ kWh
Aargau	13.8	7
Appenzell	14.6	9
Basel-Land	10.8	14.8
Bern, Jura	14.5	9.2
Freiburg	16.5	7.8
Glarus	12.1	10.2
Graubünden	15	14.5
Luzern	17	8.6
Neuenburg	16.9	8.8
Ob- & Nidwalden	12.8	6.4
St. Gallen	14.1	8.5
Schaffhausen	14.5	8.9
Schwyz	13.6	6.9
Solothurn	12.1	Verkaufspreis
Thurgau	14	7.7 oder Verkaufspreis
Uri	-	-
Waadt	15.4	7.8
Wallis	12.6	7.5
Zug	13.9	8.1
Zürich	13.1	9.8

Tabelle 5.3: Mittlere Stromverkaufs- und Rücklieferungstarife für Strom aus Kleinstwasserkraftwerken (1992)

Der Energienutzungsverordnung des Bundes (ENV, in Kraft seit dem 1. März 1992), die den Beschluss zur sparsamen und rationellen Energieverwertung konkretisiert, sind nun Empfehlungen des Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartements (EVED, am 21. Dezember 1992) für die Vergütung von Stromeinspeisungen aus privaten KWKW gefolgt. Für Strom aus erneuerbaren Energiequellen wird eine mittlere Vergütung von mindestens 16 Rp./kWh empfohlen.

Der konkrete Rücknahmepreis wird jedoch nach wie vor zwischen dem KWKW-Betreiber und den EW frei vereinbart. Die "Tarifautonomie" der Elektrizitätsgesellschaften wird somit nicht beschnitten. Die zur Zeit (1992) bezahlten Rücklieferungstarife sind regional unterschiedlich, sie schwanken zwischen 7 und 14,8 Rp./kWh. Die nachfolgende Tabelle 5.3 zeigt die Stromverkaufspreise und die Vergütungen für Rücklieferungen für einige ausgewählte Kantone.

Die Elektrizitätsunternehmen begründen ihre durchwegs tiefen Rücknahmetarife damit, dass KWKW bezüglich des tageszeitlichen und saisonalen Verlaufs und der Abrufbarkeit der Rücklieferung wenig flexibel sind, und die EW gezwungen wären, die durchgehende Versorgung (vor allem die Leistungsbereitstellung) ihrer Region noch zusätzlich abzusichern.

5.5 Abschätzen der Wirtschaftlichkeit

Der Vergleich der Strom-Gestehungskosten mit dem aktuellen Verkaufs- oder Rücklieferungstarif (oder einer Mischrechnung aus beiden) einer EW-Region zeigt unmittelbar, ob eine Investition auf einem KWKW-Vorhaben finanziell erfolgversprechend sein kann oder nicht.

Wenn die gesamte Eigenproduktion des KWKW einen Teil des Fremdbezuges an Strom des eigenen Betriebes oder der Liegenschaft ersetzt, kann als Vergleichswert der Stromverkaufstarif des Elektrizitätswerkes herangezogen werden. Bei ausschliesslicher Einspeisung der Produktion aus dem KWKW ins öffentliche Netz muss mit dem Rücklieferungstarif des jeweiligen EW gerechnet werden.

Ein Vergleich der Stromgestehungskosten (Tabelle 5.1) mit den Rücklieferungstarifen (Tabelle 5.3) zeigt, dass bei ausschliesslicher Einspeisung ins Netz zur Zeit nur Modernisierungen (ohne wesentliche wasserbauliche Umbauten) und Turbinen in der Wasserversorgung und in Abwassersystemen die Wirtschaftlichkeitsschwelle erreichen.

Es gibt aber auch Ausnahmen:

- Der Kanton Basel-Land zwingt die EW durch das neue kantonale Energiegesetz zu Vergütungen für Rücklieferungen der Eigenproduzenten (Leistung 10 – ca. 500 kW), die zum Teil über den heutigen Stromverkaufspreisen liegen.
- Einige kleinere Elektrizitätswerke ohne eigene Produktionsanlagen sind gezwungen, Strom bei grösseren Versorgungsunternehmen zu relativ hohen Preisen einzukaufen. Ähnlich hohe Vergütungen (75 % des Stromverkaufspreises und mehr) werden dabei auch den Kleinstanlagen (Eigenproduzenten) für Rücklieferungsstrom gewährt (z.B. Städtische Werke Winterthur).
- Für Stromrücklieferungen aus Kleinstanlagen (bis 3 kW, in einigen Fällen bis 10 kW) vergüten einige Elektrizitätsgesellschaften den vollen Stromverkaufspreis, d.h., die Zähler für die Messung des Strombezugs laufen einfach rückwärts.

Zusammenfassend kann festgestellt werden: Die Zukunft der Kleinstwasserkraft in der Schweiz ist aufs engste mit der Entwicklung der Strompreise, besonders der Rückkaufstarife verbunden. Wenn die Rückkaufstarife weiterhin die Deckung zumindest der Stromgestehungskosten nicht erlauben, so wird in absehbarer Zeit gesamtschweizerisch kaum ein Aufschwung auf dem KWKW-Sektor zu erwarten sein.

(Anhang B und C geben eine Anleitung, wie mit einfachen Berechnungen eine etwas genauere Abschätzung der Wirtschaftlichkeit eines KWKW-Vorhabens gemacht werden kann.)

6. Möglichkeiten der Förderung und Finanzierung von Kleinstwasserkraftwerken

6.1	Förderungsmassnahmen von Bund und Kantonen	53
6.1.1	Auf Bundesebene	53
6.1.2	Auf kantonalen Ebene	55
6.2	Finanzierung	55
6.2.1	Kredite und Darlehen	55
6.2.2	Beteiligungen	56

6. Möglichkeiten der Förderung und Finanzierung von Kleinstwasserkraftwerken

Die finanzielle Last eines Vorhabens auf dem Gebiet der Kleinstwasserkraft kann für viele Bauherren auf untragbare Grössenordnungen anwachsen, besonders wenn die projektierte Anlage an der Grenze der Wirtschaftlichkeit liegt. In einzelnen Fällen können Bund und/oder einzelne Kantone eine Unterstützung gewähren. Auch gibt es Organisationen und Vereine, die ohne kommerzielle Interessen die Verbreitung der erneuerbaren Energien aktiv fördern.

Die Förderungs- und Unterstützungsmöglichkeiten in der Schweiz auf dem Gebiet der Kleinstwasserkraft dürfen jedoch nicht überschätzt werden.

6.1 Förderungsmassnahmen von Bund und Kantonen

6.1.1 Auf Bundesebene

In der Energienutzungsverordnung (ENV) hat die Eidgenössische Regierung die gesetzgeberischen Bemühungen gemäss Energieartikel (Volksabstimmung, September 1990) und Energienutzungsbeschluss (ENB) zur Förderung einer umweltfreundlichen Energiepolitik konkretisiert. Dabei sind für KWKW folgende Förderungs- und Unterstützungsmassnahmen vorgesehen:

Artikel 22 der Energienutzungsverordnung

Der Bund kann Pilot- und Demonstrationsanlagen ¹⁾... unterstützen, sofern:

- a) die Anwendungsmöglichkeiten und die Erfolgswahrscheinlichkeiten des Projektes genügend gross sind;*
- b) das Projekt der Energiepolitik des Bundes entspricht und*
- c) die gewonnenen Resultate der Öffentlichkeit zugänglich sind und interessierten Kreisen bekannt gemacht werden.*

¹⁾ als Pilot- und Demonstrationsanlagen werden Anlagen verstanden, die der technischen beziehungsweise der Markterprobung dienen.

Artikel 23 der Energienutzungsverordnung

Förderung der Nutzung von ... erneuerbaren Energien

1. Der Bund kann in technischer oder wirtschaftlicher Hinsicht bedeutungsvolle Massnahmen zur Nutzung von ... erneuerbaren Energien unterstützen, sofern die Massnahmen:

- a) im Rahmen eines Förderungsprogrammes des Bundes durchgeführt werden (z. B. Programme PACER und «Energie 2000»)*
- b) energiewirtschaftlich mindestens örtlich von Bedeutung sind; oder*
- c) für die Einführung einer Technologie wichtig sind.*

2. Die Unterstützung wird nur gewährt, wenn eine Massnahme:

- a) die energiebedingte Luftverunreinigung ... mindert...;*
- b) die Funktion der allenfalls genutzten Gewässer nicht wesentlich beeinträchtigt und*
- c) ohne Unterstützung nicht wirtschaftlich ist.*

In der Regel wird für beide Fälle eine einmalige Finanzhilfe von maximal 30 % (nur in Ausnahmefällen höher) der anrechenbaren Kosten gewährt. Als anrechenbare Kosten gelten die nicht amortisierbaren Mehrkosten gegenüber den Kosten für konventionelle Techniken. Für KWKW heisst das, dass weniger als ein Drittel des jährlichen Defizits (Differenz Aufwand/Ertrag, auf die Amortisationsdauer aufsummiert) als direkte Unterstützung vom Bund erwartet werden kann.

Durch die Unterstützung des Bundes alleine kann ein Projekt die Rentabilitätsschwelle nicht erreichen und der Bauherr zur Realisierung eines KWKW bewegt werden. Es muss in der Regel noch nach weiteren Unterstützungsmöglichkeiten gesucht werden.

Artikel 7 des Energienutzungsbeschlusses

Der Bund verpflichtet die Unternehmen der öffentlichen Stromversorgung, die von KWKW angebotene Energie abzunehmen, auch wenn sie nicht regelmässig produziert wird.

Diese Massnahme ist sicher positiv für die Entwicklung der dezentralen Stromproduktion, die Regelung der Rücknahmetarife als der entscheidende Faktor bleibt jedoch noch ungelöst (siehe Kapitel 5).

6.1.2 Auf kantonaler Ebene

Auf Kantonebene variiert die Unterstützung von KWKW zum Teil beträchtlich. In rund der Hälfte der Kantone bestehen noch keine Möglichkeiten, KWKW zu subventionieren.

Im Kanton Bern ist seit 1987 das Dekret über Staatsleistungen an die Energieversorgung in Kraft. Unter ähnlichen Kriterien wie in der ENV auf Bundesebene unterstützt der Kanton Bern sonst nicht wirtschaftliche Vorhaben im Bereich der Kleinstwasserkraft bis zu einer Leistung von 300 kW. Die Unterstützung geschieht hier in Form von Zuschüssen an die Verzinsung von Krediten Dritter. Die Beiträge betragen 20 bis 40 % der anrechenbaren Kosten.

Zudem hat der Kanton Bern die Wasserzinsen für KWKW (bis 300 kW) abgeschafft. Hier sei angemerkt, dass sich die Wasserzinsen bei KWKW mit etwa 1.5 Rp/kWh in den Stromgestehungskosten niederschlagen; der Erlass der Wasserzinsen ist also ein nicht zu unterschätzender Beitrag an die Verbesserung der wirtschaftlichen Situation der KWKW.

6.2 Finanzierung

Kleinstwasserkraftwerke liegen oft an der Grenze zur Wirtschaftlichkeit. Eine reine Finanzierung von Bau- oder Erneuerungsvorhaben über kommerzielle Bankinstitute führt deshalb oft nicht zum Ziel. Neben der Unterstützung durch Bund und Kanton (siehe vorangehendes Kapitel) stehen in der Schweiz die folgenden Möglichkeiten offen (Zusammenstellung der Adressen siehe Kapitel 8):

6.2.1 Kredite und Darlehen

- a) Einige kommerzielle Bankinstitute (z.B. die Zürcher Kantonalbank) gewähren leicht reduzierte Zinssätze für Kredite im Zusammenhang mit ökologisch und energetisch sinnvollen Bauvorhaben.
- b) «Alternative» Banken können aus gemeinnützigen und ökologischen Überlegungen zinsgünstige Kredite gewähren (Alternative Bank ABS, Olten; Freie Gemeinschaftsbank BCL, Dornach).
- c) Brotgetreidemühlen, die zum Betrieb ihrer Anlagen Wasserkraft einsetzen, können bei der Eidgenössischen Getreideverwaltung für den Um- oder Neubau der Wasserkraftanlagen Unterstützung beantragen, sofern der Betrieb in kriegswirtschaftlicher Hinsicht (Gewährleistung der

Versorgung in Krisen) wichtig ist. Dabei muss aber die Mühle im Falle eines Netzausfalles im Inselbetrieb, d.h. nur mit Hilfe der Turbine arbeiten können.

- d) Gemeinden oder private Unternehmen im Berggebiet können für die Restfinanzierung von KWKW Unterstützung in Form eines zinslosen oder zinsgünstigen IHG-Darlehens (max 25 % der Gesamtinvestition) bei den kantonalen Stellen für regionale Wirtschaftsförderung beantragen. In der Regel werden aber nur jene Vorhaben unterstützt, deren langfristige Wirtschaftlichkeit gesichert ist.
- e) Alte Kleinstwasserkraftanlagen haben in gewissen Fällen einen historischen Wert. Im Hinblick auf eine Erhaltung dieser Zeugen der frühindustriellen Wasserkraftnutzung kann eine Restauration dieser Anlagen (oft im Zusammenhang mit einer Nutzung der Wasserkraft in einer neuen Turbine) von der kantonalen Denkmalpflege unterstützt werden.

6.2.2 Beteiligungen

- a) Verschiedene Vereinigungen und Genossenschaften haben sich zum Ziel gesetzt, die dezentrale Energieversorgung aus erneuerbaren, umweltverträglichen Energiequellen durch den Aufbau und Betrieb entsprechender Anlagen – darunter auch KWKW – konkret zu fördern.

Solche Vereinigungen errichten oder modernisieren KWKW aus eigenen Mitteln (Darlehen und Beiträge aus ihrer Mitgliedschaft) oder beteiligen sich am Aufbau und Betrieb – zusammen mit dem Besitzer von entsprechenden Anlagen – in Form von Bau- und Betriebsgesellschaften.

Durch die idealistische Tätigkeit dieser Vereinigungen können einerseits umweltfreundliche Kraftwerke erstellt werden, die in vielen Fällen bei rein marktwirtschaftlicher Betrachtung heute nicht zur Ausführung kämen, andererseits wird die bestehende Energiepolitik durch die aktive Beteiligung der Bevölkerung als Teilhaber von Kraftwerken im Sinne eines neuen Verständnisses zwischen Energieversorgungsunternehmen und Energiekonsument positiv verändert. Beispiele solcher Vereinigungen sind: Energie plus! (Langnau, BE, siehe auch Kapitel 4.2) und ADEV (Liestal, weitere Geschäftsstellen in Bern und Biberstein).

- b) Eine Beteiligung von Elektrizitätsgesellschaften an KWKW in Form von einfachen Betriebsgesellschaften kann im Hinblick auf den Betrieb und vor allem den Unterhalt der Anlage vorteilhaft

sein, da die Elektrizitätsgesellschaften spezialisiertes Personal haben, über das die KWKW-Betreiber (Private und Gemeinden) meist nicht verfügen. Eine solche Gesellschaft existiert zum Beispiel zwischen der Gemeinde Grandvillard und den Freiburgischen Elektrizitätswerken zum Betrieb des KWKW in der Wasserversorgung der Gemeinde.

7. Vorgehen bei der Planung und Realisierung von Kleinstwasserkraftwerken

7.1	Projektablauf	61
7.2	Konzessionsverfahren und administrative Belange	63
7.3	Technische Anforderungen und zuständige Stellen	64
	7.3.1 Stromerzeugung allgemein	64
	7.3.2 Turbinen im Trinkwasserversorgungsnetz	65
	7.3.3 Turbinen im Abwassernetz	67
7.4	Kantonale und regionale Unterschiede in den Vorschriften und Gesetzen	68

7. Vorgehen bei der Planung und Realisierung von Kleinstwasserkraftwerken

7.1 Projektablauf

Auch Kleinstwasserkraftwerke lassen sich nur in Ausnahmefällen ohne den Beizug von spezialisierten Ingenieuren planen und erstellen. Einzig bei Kleinanlagen von weniger als 10 kW, die wie Notstromgruppen in einer Wasserversorgung zum Einsatz kommen (Batterieladen) oder die Alphütten versorgen, ist ein Bau in eigener Regie (mit Unterstützung durch den Lieferanten des Maschinensatzes) zu empfehlen. In allen übrigen Fällen wird ein erfahrener, mit dem Verfahrensweg vertrauter Fachmann mit der Projektierung einer Kleinstwasserkraftanlage beauftragt werden müssen.

Grundsätzlich ist bei der Projektierung von KWKW mehrstufig vorzugehen (siehe Schema 7.2). Für den Bauherrn ist vor allem die 1. Phase von der Projektidee bis zur Mandatierung eines Ingenieurs und dem eigentlichen Projektierungsbeginn wichtig, da er dabei in der Regel noch selbständig (ohne Beizug eines Spezialisten) vorgehen muss.

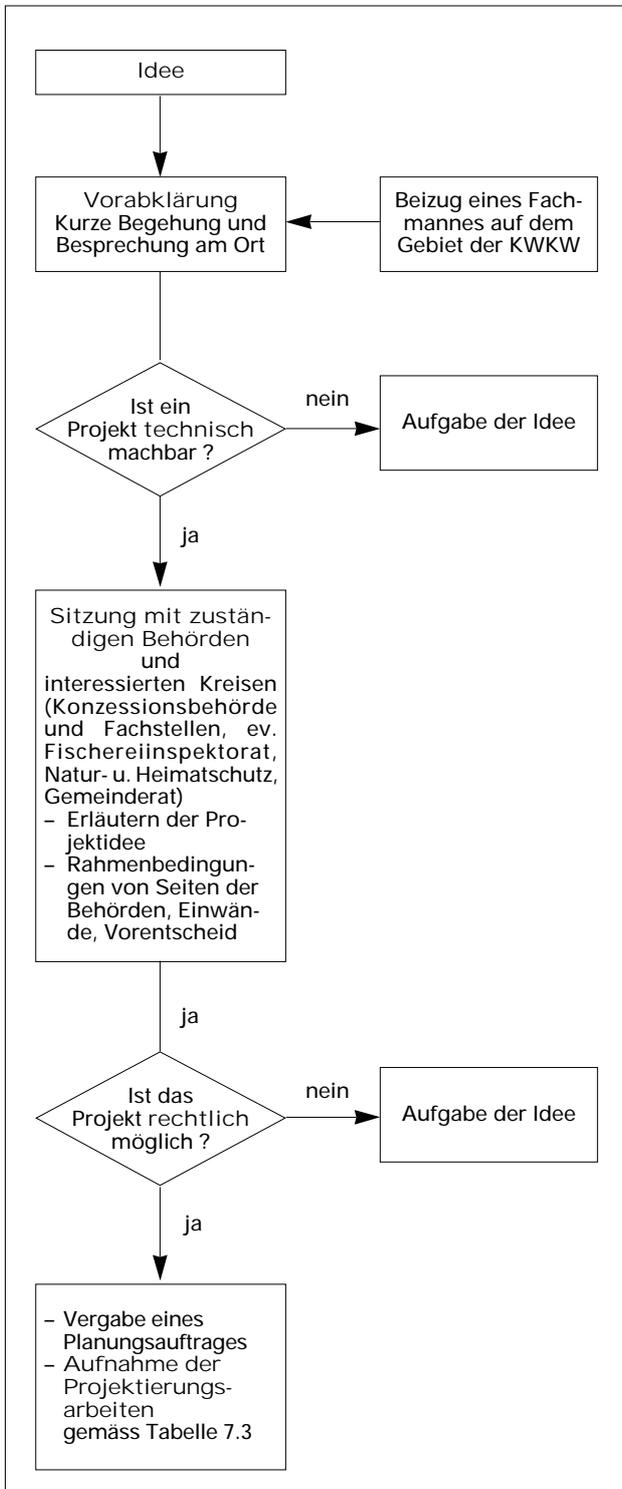
Durch ein klares Vorgehen kann hier ein grosser Aufwand an Zeit und Kosten vermieden werden.



Abbildung 7.1: Im Eigenbau erstellte Kleinanlage (250 W) zum Laden von Batterien in der Nähe von Lausanne

Der nachfolgende Projektierungsablauf eines KWKW kann schematisch wie folgt dargestellt werden:

Im allgemeinen muss für die Realisierung eines KWKW (Planung und Bau) mit einem gesamten Zeitaufwand von 1 bis 3 Jahren gerechnet werden. Eine detailliertere Aufstellung des Projektierungsablaufes ist in Anhang D zu finden.



Schema 7.2: Erste Phase eines Projektes: von der Idee zum Beginn der Projektierungsarbeit

PROJEKTSTUFE	ZIEL
1. Grundlagenbeschaffung Topographie, Abflussmessungen, Energieverbrauch und mögliche Energieverwertung	Bereitstellen der Dimensionierungs- grundlagen
2. Vorstudie Ausarbeiten und evaluieren von verschiedenen Varianten; Auswirkungen auf Umwelt, erforderliche Massnahmen	Wahl der besten Variante; Vorentscheid über die Weiterführung des Projektes
3. Vorprojekt bzw. Konzessionsprojekt	Einreichung des Kon- zessionsgesuches
4. Bauprojekt Allgemeines Bauprojekt mit Kostenschätzung	Einreichung des Bau- bewilligungsgesuches; öffentliche Auflage
5. Ausführungsprojekt Detailliertes Projekt mit Offert- anfragen und Bauplänen	Ausschreibung der Arbeiten, Arbeitsvergabe und Ausführung
6. Inbetriebnahme Testläufe und Abnahmeproto- kölle; Ausführungspläne und Betriebshandbücher	Übergabe einer funk- tionierenden Anlage gemäss Pflichtenheft an den Betreiber

Tabelle 7.3: Projektierungsablauf eines KWKW-Projektes

7.2 Konzessionsverfahren und administrative Belange

Dem formellen Entscheid zur Erteilung einer Konzession geht ein längeres Verwaltungsverfahren voraus, in das neben der verleihungsberechtigten Behörde (meistens der Kanton, seltener der Bezirk oder die Gemeinde) auch Fachstellen des Bundes und des Kantons einbezogen werden.

Das Gesuch des Bewerbers (natürliche oder juristische Person) wird gemäss vorgedrucktem Formular der Konzessionsbehörde mit Planbeilagen und technischem Bericht allgemeiner Art (ohne Konstruktionsdetails) und allenfalls weiteren Unterlagen eingereicht.

Der Gesuchsteller hat auch die voraussichtlichen Auswirkungen der Anlage auf die Umwelt zu ermitteln und die vorgesehenen Schutzmassnahmen darzulegen. Die Federführung des Konzessionsverfahrens liegt in den meisten Kantonen bei der Baudirektion.

Das Gesuch wird anschliessend den interessierten kantonalen Fachstellen zur Vernehmlassung unterbreitet. Spezielle Bewilligungen wie fischereipolizeiliche Bewilligung, Rodungsbewilligung und Bewilligung für das Entfernen der Ufervegetation oder für Bauten ausserhalb der Bauzone sind gegebenenfalls von den zuständigen Fachbehörden einzuholen.

Das Projekt wird öffentlich aufgelegt; Einsprache gegen das Vorhaben kann vorbringen, wer eine Beeinträchtigung privater oder öffentlicher Interessen geltend machen kann. Interessenkonflikte können durch Projektänderungen noch vor Abschluss des Verfahrens beigelegt werden. Kommt jedoch keine Einigung zustande, so muss die Konzessionsbehörde entscheiden, falls Verletzungen öffentlicher Interessen geltend gemacht werden. Sofern private Interessen tangiert werden und Klage erhoben wird, kann der Streit nur durch ordentliche Gerichte beigelegt werden.

Die Wasserrechtskonzession enthält unter anderem:

- Umfang der verliehenen Wasserkraft (Gefälle und Wassermenge)
- Restwassermenge (Dotierpflicht)
- Fischereiauflagen (z. B. Fischtreppe)
- Natur- und Landschaftsschutzaufgaben
- Bestimmungen über allfällige Staubbedingungen
- Konzessionsgebühr, Wasserzins, ev. Energielieferung und Wasserabgabe

- Verleihungsdauer der Konzession
- Fristen (Baubeginn, Betriebsaufnahme)
- Rückkaufs- und Heimfallbestimmungen

Ein Konzessionsverfahren ist auch bei Umbauten erforderlich, wenn der Inhalt der Konzession in irgendeiner Weise verändert wird (insbesondere durch eine Vergrößerung der hydraulischen Leistung durch vergrössertes Gefälle oder höhere Wassermenge).

Vor der Konzessionserteilung durch den Kanton ist das Vorhaben dem Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW) zur Prüfung gemäss Art. 5 Abs. 3 des Bundesgesetzes über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte zu unterbreiten (Oberaufsicht des Bundes). Das BWW beurteilt, ob die geplante Anlage das Wasserkraftpotential technisch sinnvoll nutzt. Zudem werden weitere Bundesstellen wie das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) oder das Bundesamt für Raumplanung (BRP) konsultiert.

Nach dem Konzessionsverfahren – aber vor dem Baubeginn – sind die Detailpläne noch einmal öffentlich aufzulegen. Falls das Konzessions- und das Detailprojekt identisch sind (keine Änderungen), und/oder die Leistung des Kleinstwasserkraftwerkes unter 100 PS (74 kW) liegt, ist keine nochmalige Auflage nötig.

7.3 Technische Anforderungen und zuständige Stellen

7.3.1 Stromerzeugung allgemein

Beim Anschluss von Kleinstwasserkraftwerken an das öffentliche Netz oder an einzelne Strombezüger im Inselbetrieb sind gewisse technische Aspekte und Vorschriften zu beachten. Die Einhaltung dieser Vorschriften wird vom Eidgenössischen Starkstrominspektorat (ESTI) überprüft. Diese technischen Anschlussbedingungen behandeln hauptsächlich Fragen zu Parallelbetriebs- und Schutzeinrichtungen. Unter anderem wird darauf hingewiesen, dass KWKW bei einem Ausfall oder einer Abschaltung des öffentlichen Netzes unverzüglich abgetrennt werden müssen, um das Auftreten von gefährlichen Rückspannungen zu verhindern.

Um ein Kleinstwasserkraftwerk im Inselbetrieb oder parallel zum öffentlichen Niederspannungsnetz betreiben zu können, ist ein Anschlussgesuch mit Anlagebeschreibung und Anschluss-

Schemata, eine sogenannte Planvorlage an das ESTI einzureichen. Einzig Anlagen mit einer Leistung unter 3 kW unterstehen nicht dieser Vorlagepflicht. Sie sind jedoch wie alle anderen elektrischen Installationen einer Kontrolle gemäss Eidgenössischer Hausinstallationsverordnung unterworfen; in der Praxis bedeutet dies, dass der elektrische Teil der Kleinstanlage nur von einem zugelassenen Elektroinstallateur ausgeführt werden darf.

Parallel zur Planvorlage an das ESTI wird der Betreiber des KWKW ein Installationsgesuch an die zuständige Elektrizitätsgesellschaft einreichen müssen. Letztere wird dem ESTI bestätigen, dass sie aufgrund ihrer technischen Auflagen bezüglich Stromqualität, Schutz von Personen und Einrichtungen und gegebenenfalls betrieblichen Verhältnissen den Anschluss des projektierten KWKW bewilligen kann. Das EW wird auch das vorgesehene Zählersystem und die Tarife bekanntgeben.

Der Betreiber des im Parallelbetrieb arbeitenden KWKW ist haftbar für alle Personen- und Sachschäden, die sich aus dem Betrieb der Anlage ergeben. Er muss deshalb über eine entsprechende Haftpflichtversicherung verfügen (Versicherungssumme wird vom EW festgesetzt).

Gemäss Bundesgesetz über eine sparsame und rationelle Energienutzung vom Dezember 1990 und der dazugehörigen Verordnung (in Kraft seit 1. März 1992) sind die Unternehmungen der öffentlichen Energieversorgung verpflichtet, die von Eigenproduzenten (darunter fallen auch KWKW ohne interne Verbraucher) angebotene Energie abzunehmen, sofern die technischen Bedingungen erfüllt sind. Diese Abnahmepflicht gilt in der ganzen Schweiz, obwohl noch nicht alle Kantone ihre Gesetze und Verordnungen dementsprechend abgeändert haben (Bundesgesetzgebung geht vor). Weitere Angaben zur Tarifregelung für Stromrücklieferungen finden sich in Kapitel 5.3 *Stromgestehungskosten*.

7.3.2 Turbinen im Trinkwasserversorgungsnetz

Spezielle Vorschriften über KWKW in Trinkwasserversorgungsnetzen gibt es zur Zeit nicht. Die hydraulische Ausrüstung (Leitungen, Schieber und Klappen) ist jedoch wie die übrigen Installationen von Reservoirs und Trinkwasserversorgungsnetzen gemäss den Richtlinien und Leitsätzen des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches (SVGW) zu planen und auszuführen. Dabei sollten nur Ausrüstungsteile ver-

wendet werden, die vom SVGW geprüft und ausdrücklich zugelassen sind und folgendes Signet aufweisen:



Turbinen in der Wasserversorgung bedürfen wie Wasserkraftwerke in Fliessgewässern einer Bewilligung sowohl von dem die Wasserhoheit ausübenden Gemeinwesen (Kanton, seltener Bezirk oder Gemeinde) als auch vom Bundesamt für Wasserwirtschaft. Eine eigentliche Konzession mit vertraglichen Abmachungen und Wasserzinsabgaben gibt es für Turbinen in der Wasserversorgung jedoch nicht. Man erinnere sich, dass Turbinen in der Wasserversorgung meist bestehende Einrichtungen wie Druckminderer oder -brecher («Energievernichter») ersetzen; der Aufbau und Betrieb der Trinkwasserversorgung wird dabei in der Regel nicht verändert. Ausserdem produzieren Turbinen im Trinkwasserversorgungsnetz nur als Nebenprodukt verwertbare Energie; sie sind deshalb nicht mit herkömmlichen Kraftwerken, die zum einzigen Zweck der Energieproduktion erstellt werden, vergleichbar.

Bewilligungsgesuche müssen ausserdem an die folgenden zwei Instanzen eingereicht werden:

- kantonale Lebensmittelkontrolle (Kantonschemiker oder -labor), die für die Qualität des Trinkwassers verantwortlich ist;
- kantonale Gebäudeversicherung, die das Funktionieren der Brandbekämpfung (Leistungsfähigkeit des Hydrantennetzes und der Löschwasserreserve) überwacht.

Diese Instanzen werden das Projekt vor allem auf die Einhaltung der folgenden zwei Grundsätze hin überprüfen:

- a) Die Aufrechterhaltung einer genügenden Trinkwasserversorgung und gegebenenfalls Brandbekämpfung geht in jedem Fall der Stromproduktion vor. In der Praxis wird diese Forderung in der Regel mit einem automatisch öffnenden By-pass, d.h. einer Umföhrungsleitung um die Turbine erfüllt. Diese ermöglicht die Versorgung mit Trinkwasser auch bei defekter oder ausgebauter Turbine.
- b) Die Qualität des Trinkwassers darf nicht beeinträchtigt werden (Erwärmung oder Verschmutzung). Diese Forderung kann meist ohne speziellen Aufwand mit der seit langem in

Pumpstationen der Wasserversorgung Anwendung findenden Technologie erfüllt werden. Besondere Beachtung muss den Konstruktionsdetails der Turbine geschenkt werden: Wellenabdichtungen müssen jegliches Eindringen von Verunreinigungen und Staub von aussen verhindern; traditionelle Turbinenregler sollten durch Stellantriebe ohne Hydrauliköl oder elektronische Regler ersetzt werden; es sind Schmiermittel vorzuziehen (vor allem wenn Gefahr von direktem Kontakt mit dem Wasser besteht), die in der Lebensmittelverarbeitung zugelassen sind.



Abbildung 7.4: Turbine in der Wasserversorgung: Umkehrpumpe mit By-pass und automatischer Klappe

Bei der Materialwahl ist vor allem der Korrosionsschutz zu beachten. Seitdem sich in der Wasserversorgung (v.a. Reservoirrüstungen) mehr und mehr Edelstahlleitungen und -armaturen durchgesetzt haben, werden heute auch Teile der Turbinengruppe (Turbinengehäuse, Wellen etc.) wenn möglich aus rostfreiem Stahl gefertigt. Entsprechende Ausführungen von Turbinen sind auf dem Markt erhältlich. Dabei ist aber zu beachten, dass grosse Oberflächen von Edelstahl in der Lage sind, unedlere Metalle wie Stahl und Guss durch Kontaktkorrosion (Wasser als Elektrolyt) zu zersetzen. Durch konsequente Verwendung und eindeutige Trennung der unterschiedlichen Metalle (durch Isolierrohre und -dichtungen) können diese Probleme vermieden werden.

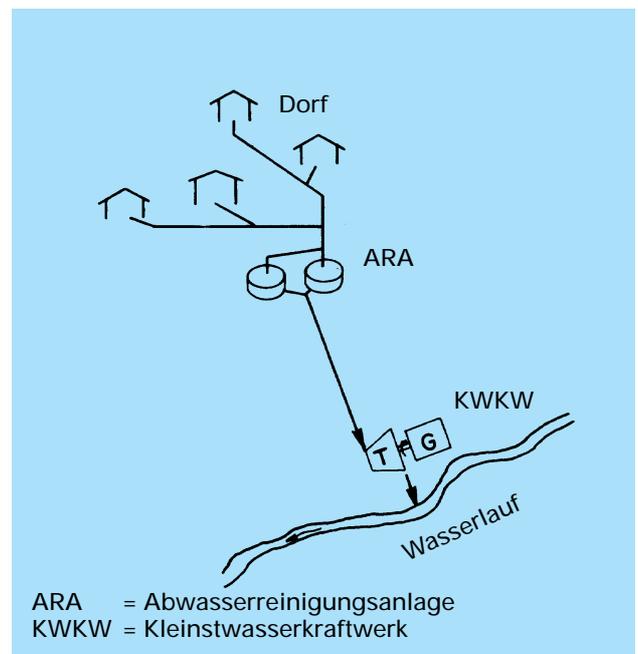
7.3.3 Turbinen im Abwassernetz

Der Einsatz von KWKW in Abwasserentsorgungssystemen ist in der Regel nur für Gemeinden und Abwasserverbände der Berggebiete und Hügellagen möglich, da im Flachland selten ein nutzbares Gefälle zur Verfügung steht. Bei der Planung solcher Anlagen kommen sinngemäss die Richtlinien des Verbandes Schweizerischer Abwasserfachleute (vsa) und die Kanalisationsnormen des SIA zur Anwendung. Es gelten ähnliche Grundsätze wie bei den Turbinen in der Wasserversorgung: die Priorität liegt beim Transport des Abwassers und nicht bei der Energieproduktion.

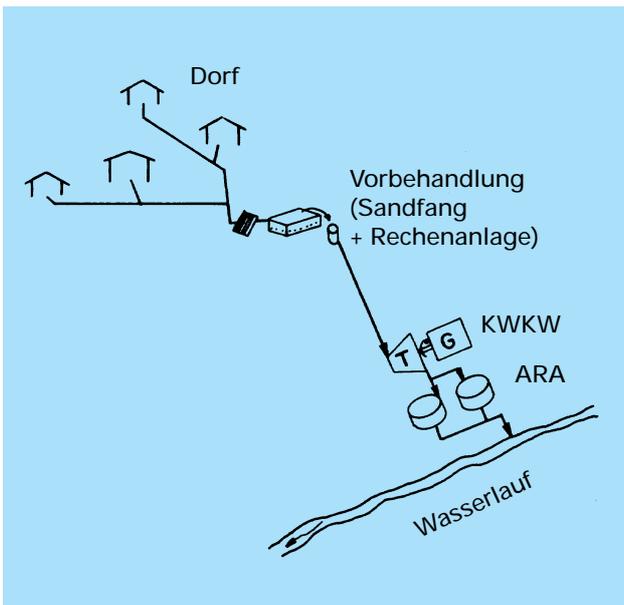
Im Abwassernetz kommt jedoch erschwerend hinzu, dass die Abwässer meist mit Feststoffen belastet sind, die vor der Turbinierung des Abwassers entfernt werden müssen. Eine Turbine, die Wasser mit Feststoffen jeglicher Art und Zusammensetzung schadlos und ohne Verstopfungsgefahr verarbeiten könnte, ist bisher noch nicht entwickelt worden.

Grundsätzlich können zwei Anwendungsfälle unterschieden werden:

- a) Das nutzbare Gefälle liegt zwischen der ARA und dem Vorfluter (Fließgewässer oder See), der das gereinigte Abwasser aufnimmt. Das



Schema 7.5 a): Konzept eines Abwassernetzes mit integrierter Turbine KWKW nach der ARA; Verarbeitung des gereinigten Abwassers



Schema 7.5b): Konzept eines Abwassernetzes mit integrierter Turbine
KWKW mit Feststoffentfernung vor der ARA

KWKW kommt deshalb nach der ARA (vor der Einleitung des Wassers in den Vorfluter) zu liegen und verarbeitet gereinigtes Abwasser. Der Einsatz einer konventionellen Turbine bereitet keine Schwierigkeiten.

- b) Liegt die ARA im Tal, so kommt der Einsatz einer Turbine konventioneller Bauart nur in Frage, wenn die mechanische Reinigungsstufe (Feststoffentfernung durch Rechen und Entsandung) vor das KWKW verlegt wird.

7.4 Kantonale und regionale Unterschiede in den Vorschriften und Gesetzen

Grosse Unterschiede bestehen in der Gesetzgebung und den Vorschriften der Kantone. Auch verteilen mehrere hundert Elektrizitätsgesellschaften den Strom in der Schweiz und wenden dabei verschiedene Kaufs- und Verkaufstarife und Bedingungen an. Diese Information im Rahmen dieser Broschüre aufzuführen, würde den Umfang der Publikation sprengen. Aus diesem Grund hat das Programm PACER eine Reihe von Informationsblättern ausgearbeitet, die über die wichtigsten Unterschiede in den Kantonen und EW-Regionen bezüglich Gesetzgebung und Vorschriften, dem Konzessionsverfahren und den Anschlussbedingungen für KWKW Auskunft geben. Diese nach Kantonen geführten Unterlagen sind bei der Eidgenössischen Druck- und Materialzentrale in Bern zu beziehen (Details dazu siehe *Publikationen und Videos des Programmes PACER*, Seite 93).

8. Nützliche Adressen

8.1	Behörden	71
8.1.1	Bundesstellen	71
8.1.2	Kantonale Stellen	71
<hr/>		
8.2	Organisationen und Vereinigungen	72
<hr/>		
8.3	Daten und technische Vorschriften	72
8.3.1	Hydrologische Daten	72
8.3.2	Elektrizität	72
8.3.3	Armaturen und Druckleitungen	72
<hr/>		
8.4	Finanzierung und Förderung	73
8.4.1	Finanzielle Unterstützung von Handesmühlen	73
8.4.2	Förder- und Unterstützungsvereine	73
8.4.3	Banken	73

8. Nützliche Adressen

8.1 Behörden

8.1.1 Bundesstellen

BEW
Bundesamt für Energiewirtschaft
3003 Bern

- * Verantwortliche Stelle für das Aktionsprogramm DIANE (Durchbruch innovativer Anwendung neuer Energietechniken), Projekt 10: Kleinstwasserkraftwerke
- * Subventionierung von Pilotanlagen

BfK
Bundesamt für Konjunkturfragen
3003 Bern

- * Verantwortliche Stelle für das Impulsprogramm PACER – Erneuerbare Energien

BUWAL
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
Sektion Fischerei
Monbijoustrasse 43
3003 Bern

- * Ökologie, insbesondere Fischereifragen und Gewässerschutz

BWW
Bundesamt für Wasserwirtschaft
Effingerstrasse 77, Postfach
3001 Bern

- * Oberaufsicht über Wasserkraftnutzung
- * Statistik

8.1.2 Kantonale Stellen

Die für Fragen im Zusammenhang mit Kleinstwasserkraftanlagen zuständigen kantonalen Stellen können den kantonalen Informationsblättern «Kleinstwasserkraftwerke», erhältlich bei der Eidgenössischen Druck- und Materialzentrale in Bern, entnommen werden (weiteres siehe Seite 93).

8.2 Organisationen und Vereinigungen

INFOENERGIE

c/o Eidg. Forschungsanstalt (FAT)
8356 Tänikon

- * Information über KWKW, insbesondere im Berggebiet

ISKB

Herrn Hanspeter Leutwiler, Sekretär
Rütirain 2
8909 Zwillikon

- * Interessenverband Schweizerischer Kleinkraftwerk-Besitzer

VSE

Verband Schweizerischer
Elektrizitätswerke
Postfach 6140
8023 Zürich

- * Liste der Elektrizitätswerke
- * allgemeine Tarifbedingungen

8.3 Daten und technische Vorschriften

8.3.1 Hydrologische Daten

LHG

Landeshydrologie und Geologie
Hallwylstrasse 4
3003 Bern

- * Hydrologische Datenbank

8.3.2 Elektrizität

ESTI

Schweizerisches Starkstrominspektorat
Seefeldstrasse
8008 Zürich

- * Vorschriften, Bewilligungsbehörde und Kontrollstelle für elektrische Anlagenteile der KWKW

8.3.3 Armaturen und Druckleitungen

SVDB

Schweizerischer Verein
für Druckbehälterüberwachung
Postfach 35
8032 Zürich

- * Berechnungsregeln für Hochdruckanlagen in der Industrie
- * Kontrollorgan dieser Installationen

SVGW

Schweizerischer Verein des Gas- und
Wasserfaches
Postfach 658
8027 Zürich

- * Richtlinien für den Bau und Betrieb von Wasserversorgungsnetzen

vsa

Verband Schweizerischer Abwasserfachleute
Postfach 607
8027 Zürich

- * Richtlinien für den Bau und Betrieb von Abwasserinstallationen

8.4 Finanzierung und Förderung

8.4.1 Finanzielle Unterstützung von Handesmühlen

EGV
Eidgenössische Getreideverwaltung
Hallwylerstrasse 15
3003 Bern

* Subventionen und zinslose Darlehen für Handesmühlen, die Brotgetreide verarbeiten

8.4.2 Förder- und Unterstützungsvereine

ADEV
Arbeitsgemeinschaft für dezentrale Energieversorgung
Postfach
4410 Liestal
(weitere Geschäftsstellen in Bern und Biberstein)

* Beteiligung / Finanzierung von KWKW

Energie plus!
Vereinigung zur Förderung umweltfreundlicher Energien
Postfach 742
3550 Langnau (BE)

* Beteiligung / Finanzierung von KWKW

8.4.3 Banken

ABS
Alternative Bank
Leberngasse 17
4600 Olten

* zinsgünstige Kredite im Zusammenhang mit ökologisch sinnvollen Bauvorhaben

BCL
Freie Gemeinschaftsbank
Oberer Zielweg 60
4143 Dornach

* zinsgünstige Kredite im Zusammenhang mit ökologisch sinnvollen Bauvorhaben

9. Glossar

Abflussregime	Typische und charakteristische Verteilung der Abflussmengen eines Fliessgewässers über das Jahr an einer bestimmten Stelle im Gewässerlauf
Ausbauwassermenge in l/s	Grösster Zufluss, der von der Kleinstwasserkraftanlage maximal verarbeitet werden kann
Bruttofallhöhe oder Bruttogefälle in m	Höhenunterschied der Wasserspiegel zwischen Anfang und Ende einer Nutzungsstrecke
Dauerkurve oder -linie	Häufigkeitsverteilung von Abflüssen
Dotierwassermenge	Rückgabe von bereits gefasstem Wasser (Dotierung) zur Einhaltung des vorgeschriebenen Mindestrestwasserabflusses, der im natürlichen Flussbett verbleiben muss
Energieproduktion in Kilowattstunden (kWh)	Energiemenge, die von einem Kraftwerk produziert wird (Grössenvergleich: ein Farbfernsehgerät verbraucht pro Stunde ca. 0.2 kWh an elektrischer Energie)
Gestehungskosten des Stromes in Rp./kWh	Verhältnis von totalem Aufwand zu produzierter, ev. transformierter und verteilter elektrischer Energie
Hochdruckanlage	Wasserkraftwerk mit einer Fallhöhe von über 100 m
Installierte Leistung in kW	Auf die Welle bezogene Bruttoleistung der Turbine
Kleinstwasserkraftwerk	Wasserkraftwerk mit einer Leistung ab Generator von weniger als 300 kW
Laufkraftwerk	Wasserkraftwerk, das nur die laufend anfallende Wassermenge verarbeitet (ohne eigenen Speicher)
Leistung in Kilowatt (kW)	Pro Zeiteinheit geleistete Arbeit (Grössenvergleich: ein Kleinwagen hat um die 40 kW Leistung). Die früher verwendete Einheit PS (Pferdestärke) entspricht 0.735 kW
Mitteldruckanlage	Wasserkraftwerk mit einer Fallhöhe zwischen 20 und 100 m

Nettofallhöhe in m	Bruttofallhöhe minus Verlusthöhe
Niederdruckanlage	Wasserkraftwerk mit einer Fallhöhe unter 20 m
Restwassermenge	Die nach der Wasserfassung des Kraftwerkes im Gewässer verbleibende Wassermenge
Überschusswasser	Teil des Wasserdargebotes, das energetisch nicht genutzt werden kann (Anteil der Hochwasserabflüsse)
Verlusthöhe	Verlust an Fallhöhe (Druckverlust) durch das fließende Wasser; z.B. durch Rohrreibung, bei Schützen, Schiebern und Klappen, durch Bögen der Rohrleitung oder des Kanals, bei Rechen, bei Ein- und Auslaufbauwerken
Wasserdargebot	Von Natur aus (seltener künstlich) einer Wasserkraftanlage zur Verfügung stehender Wasserzufluss
Wirkungsgrad	Verhältnis der abgegebenen zur zugeführten Leistung einer Maschine oder Anlage

Anhang

Anhang A	79
Übersicht über die wichtigsten Gesetze und Verordnungen auf Bundesebene	
<hr/>	
Anhang B	81
Bewertung einer Wasserkraft	
B 1. Abschätzen der erzielbaren Leistung	81
B 2. Wasserdargebot	82
B 3. Ausbauwassermenge	83
B 4. Auslegung der Anlage und Abschätzung der jährlichen Energieproduktion	84
<hr/>	
Anhang C	87
Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von KWKW	
C 1. Grundlagen	87
C 2. Investitions- und Kapitalkosten	88
C 3. Betriebskosten	89
C 4. Ertrag	90
C 5. Beispiel	91
<hr/>	
Anhang D	92
Projektierungsablauf eines KWKW	

Anhang A

Übersicht über die wichtigsten Gesetze und Verordnungen auf Bundesebene

1. Die grundlegenden Normen für die Nutzung der Wasserkräfte finden sich in Art. 24bis der Bundesverfassung (BV vom 7.12.1975). Dort sind die Grundsätze über die Benutzung der Gewässer zur Energieversorgung (Abs.1 lit. b), die allgemeinen Bestimmungen zur Sicherung angemessener Restwassermengen (Abs. 2 lit a) und die Zuweisung der Wasserhoheit sowie Angaben zur Erhebung der Wasserzinsen (Abs. 3) festgelegt.
2. In Anwendung dieser Bestimmungen wurde das Bundesgesetz über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte (Wasserrechtsgesetz WRG) vom 22.12.1916 (SR 721.80) erlassen, das auch für Kleinstwasserkraftwerke bis 300 kW Geltung hat; für Kleinanlagen bis 100 PS (73.5 kW) ist das WRG nur beschränkt anwendbar; vgl. diesbezüglich Verordnung vom 26. 12. 1917 (SR 721.801).
3. Neben den Nutzungsinteressen im Rahmen von Wasserkraftanlagen sind zwingend auch die Schutzinteressen an Gewässern zu berücksichtigen, namentlich aus den Bereichen der Fischerei, des Natur- und Landschaftschutzes, des Umwelt- und Gewässerschutzes sowie der Raumplanung:
 - 3.1 Im Bundesgesetz über die Fischerei vom 14.12.1973 (FG, SR 923.0) wird auf die Bewilligungspflicht für technische Eingriffe in Gewässer (Art. 24), auf Massnahmen bei Neuanlagen, besonders die Mindestrestwassermengen (Art. 25, zum Teil neu geregelt, siehe Punkt 3.4) und auf Massnahmen für bestehende Anlagen (Art.26) hingewiesen.
 - 3.2 Im Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz vom 1.7.1966 (NHG, SR 451) und dessen Verordnung vom 16. 1. 1991(NHV, SR 451.1) finden sich Angaben über den Natur- und Heimatschutz bei Erfüllung von Bundesaufgaben, den Schutz der Tier- und Pflanzenwelt, der Ufervegetation und des Biotopschutzes.

- 3.3 Das Bundesgesetz über den Umweltschutz vom 7.10.1983 (USG, SR 814.01) äussert sich nur allgemein im Zusammenhang mit der Nutzung von Gewässern durch KWKW (Art. 1 bis 10).
- 3.4 Das Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer vom 24.1.1991 (GSchG, SR 814.20, Volksabstimmung vom 17. Mai 1992) regelt im Zusammenhang mit KWKW vor allem die Mindestrestwassermengen, die Frage des Treibgutes, des Grundwasserschutzes und der Entleerung und Räumung von Stauhaltungen.
- 3.5 Die Allgemeine Gewässerschutzverordnung vom 19.7.1972 (AGSV, SR 814.201) äussert sich zu Fragen der Konzession, den Bewilligungen und Beiträgen (Art. 8) hinsichtlich der Wasserkraftnutzung von Gewässern.
- 3.6 Die Verordnung über Abwassereinleitung vom 8.12.1975 (AEV, SR 814.225.21) bestimmt im wesentlichen die Qualitätsziele für Fliessgewässer und Flusstäue.
- 3.7 Das Bundesgesetz über die Raumplanung vom 22.6.1979 (RPG, SR 700) und die Verordnung über die Raumplanung vom 2.10.1989 (RPV, SR 700.1) regeln das Bauen ausserhalb von Bauzonen (oft relevant für Kraftwerksanlagen) und die Erteilung von Konzessionen und Bewilligungen im Zusammenhang mit Wasserkraftnutzungsvorhaben.
- 3.8 Der Bundesbeschluss für eine sparsame und rationelle Energienutzung vom 14. 12.1990 (ENB, SR 730.0) verpflichtet die Unternehmungen der öffentlichen Energieversorgung, die von Eigenproduzenten angebotene Energie abzunehmen und angemessen zu entschädigen.

Anhang B

Bewertung einer Wasserkraft

Wasserkraft, d.h. in Gewässern oder in Abflussnetzen der Ver- und Entsorgung oder der Industrie gespeicherte Energie, steht uns praktisch überall zur Verfügung. Vielfach werden aber die Anlagekosten im Vergleich zur erzielbaren Arbeitsleistung derart hoch, dass sich die Nutzung bei weitem nicht in allen Fällen lohnt. Die folgenden Angaben erlauben ein erstes Abschätzen der erzielbaren Leistung und der Energieproduktion aus einem Wasserkraftvorkommen.

B 1. Abschätzen der erzielbaren Leistung

Für Kleinstwasserkraftwerke lässt sich die etwa zu erwartende mittlere Leistung mit folgender Faustformel abschätzen:

$$P_{el} = \frac{7 \times Q_m \times H_n}{1000} \quad (1)$$

Darin bedeuten:

P_{el} Mittlere elektrische Leistung am Generator in Kilowatt (kW) *)

Die Zahl 7 berücksichtigt die Verluste (Wirkungsgrade) der Turbine, des Generators und einer eventuell vorhandenen Übersetzung (Riementrieb, Getriebe); d.h. nur ca. 70 % der hydraulischen Leistung werden in nutzbare elektrische Leistung umgewandelt.

Q_m mittlere jährliche Abflussmenge in Liter pro Sekunde (l/s). (Die Bestimmung von Q_m wird in Abschnitt B2 näher erläutert)

H_n Nettogefälle in Meter (m). Das Netto- oder Nutzgefälle ist die an der Turbine zur Verfügung stehende Druckdifferenz und errechnet sich aus dem Bruttogefälle abzüglich der Verluste (siehe auch Kapitel 2.2).

Im allgemeinen sollten die Trieb- und Unterwasserkanäle, sowie die Druckleitung so bemessen werden, dass die Summe der Verluste nicht mehr als 10 -15 % des Bruttogefälles betragen.

*) Einheiten und Definitionen siehe Glossar

B 2. Wasserdargebot

Während sich das Bruttogefälle H_b noch relativ leicht mit einfachen Vermessungsinstrumenten (Latte mit Wasserwaage oder Nivelliergerät) direkt im Gelände oder bei grossen Fallhöhen anhand von Karten (1:25'000) ermitteln lässt, wird die Abschätzung der mittleren Abflussmenge (Q_m) schon aufwendiger. Da KWKW meist Bäche, Quellen oder kleinere Flüsse nutzen, existieren an diesen Gewässern oft keine Angaben über den Abfluss. Ein gewisser Aufwand für die Datenerhebung (Wassermessungen) lohnt sich aber in jedem Fall, können doch dadurch unliebsame Überraschungen, die sonst erst später während des Betriebes der Anlage zutage treten, weitgehend ausgeschlossen werden.

Die Wasserführung eines Gewässers, die Schüttung einer Quelle oder die verarbeitete Wassermenge in einem Industrieprozess sind mehr oder weniger starken Schwankungen unterworfen. Für KWKW sind sowohl der mittlere Abfluss als auch Hoch- und Niederwasserabflüsse von Bedeutung.

An verschiedenen Flüssen werden von Bund, Kantonen oder Privaten Messstationen unterhalten, die das Abflussregime, dargestellt als Ganglinie (siehe Figur B 1a), kontinuierlich aufzeichnen. Wenn ein Gewässer ohne Messstation als Standort für ein KWKW evaluiert werden soll, ist es empfehlenswert, während mindestens eines Jahres Messungen durchzuführen. Durch Vergleich mit Daten von bestehenden Messstationen der gleichen Region kann abgeschätzt werden, ob die gemessene Jahresganglinie das charakteristische Abflussregime des Gewässers wiedergibt oder ob Korrekturen für besonders trockene oder nasse Perioden gemacht werden müssen.

Die Dimensionierung eines KWKW wird am zweckmässigsten aufgrund einer Dauerkurve vorgenommen. Man erhält sie, indem man die einzelnen Abflusswerte der Ganglinie nach Grösse und entsprechend der Häufigkeit ihres Auftretens in einem zweiten Diagramm aufträgt (siehe Abbildung B.1b). Die Dauerkurve gibt an, an wievielen Tagen pro Jahr ein bestimmter Abfluss überschritten oder unterschritten wird.

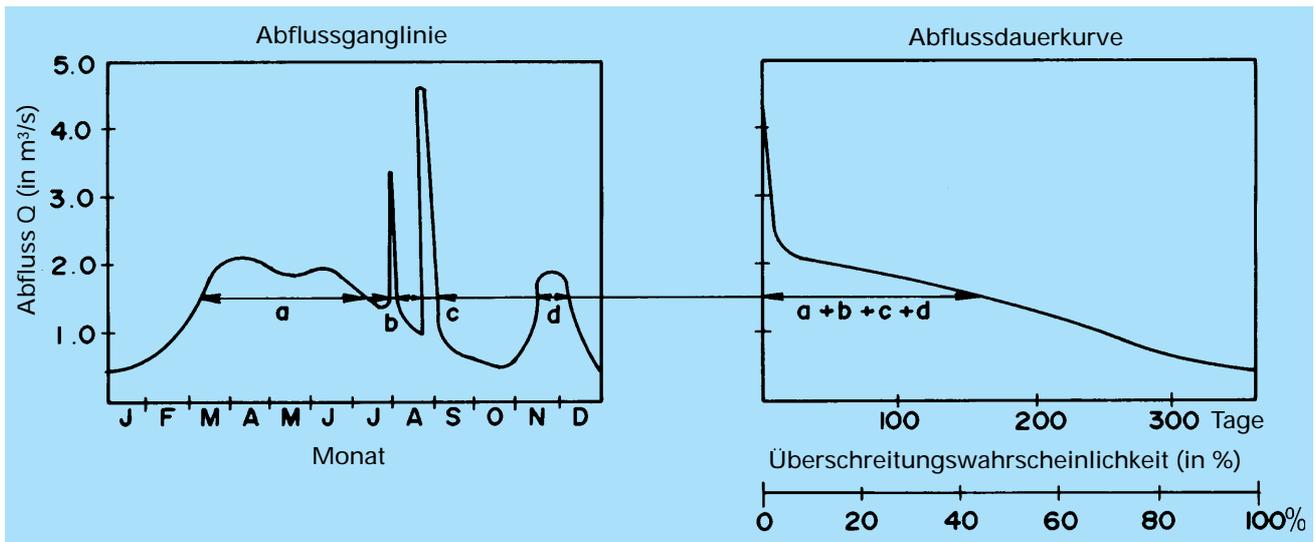


Abbildung B.1a): Ganglinie der gemessenen Abflüsse

Abbildung B.1b): Dauerkurve aus der Ganglinie Abb. B.1a) berechnet

B 3. Ausbauwassermenge

Im Hinblick auf eine zweckmässige Nutzung der zur Verfügung stehenden Wasserkraft wird in der Regel ein möglichst grosser Teil des Wasserdargebotes der Turbine zugeleitet. Der fassbare Abfluss kann aber in den seltensten Fällen das gesamte Wasserdargebot umfassen:

- ein Teil des Abflusses muss als Restwassermenge im Bachbett zwischen Fassung und Turbinenauslauf verbleiben, um der Flora und Fauna dieses Gewässerabschnittes und den angrenzenden Lebensräumen das Überleben zu sichern (siehe auch Kapitel 3). Dabei muss oft vom bereits gefassten Wasser ein Teil wieder in das Gewässer abgegeben werden, um die Mindestrestwassermenge einzuhalten; dies wird als Dotierpflicht bezeichnet.
- weiter sind Leck- und Spülwassermengen (zum Entfernen des Geschiebes aus dem Stauraum und dem Kanal) und das Überschusswasser (nicht fassbarer Abfluss bei Hochwasser) in Abzug zu bringen (siehe Abbildung 3.1 und Dauerkurve Figur B 2).

Die von der Anlage maximal verarbeitbare Wassermenge wird Ausbauwassermenge (Q_A) genannt. Die Anlagekomponenten werden auf diese Wassermenge dimensioniert (Ausnahme: Wasserfassung, die auf die Hochwasserspitzen des Gewässers ausgelegt sein muss).

Die schraffierte Fläche unter der Dauerkurve entspricht der verfügbaren hydraulischen Energie.

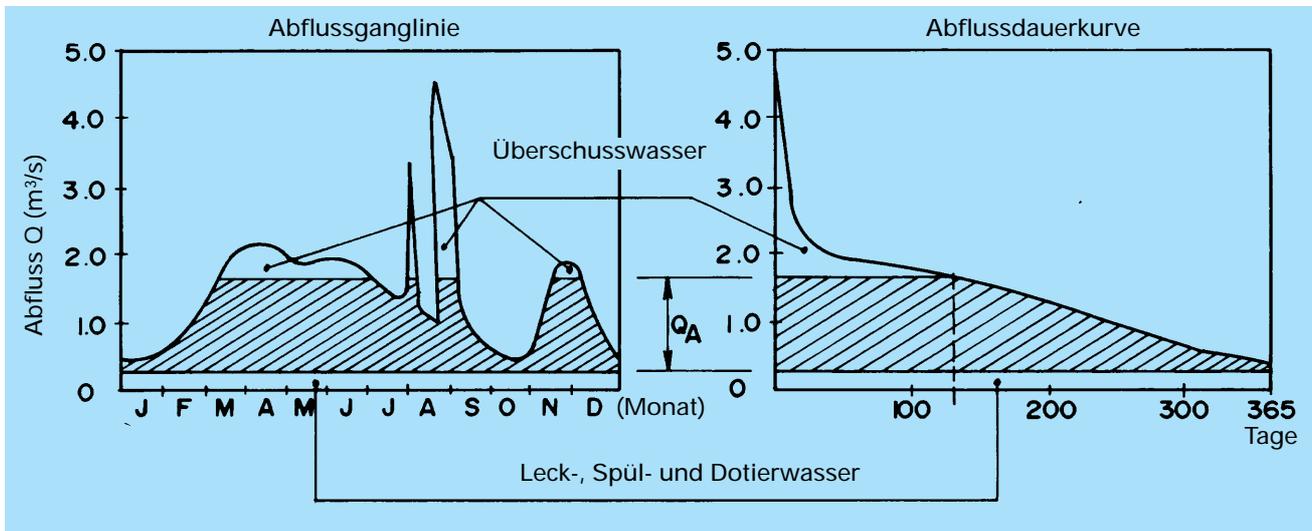


Abbildung B.2 : Definition der Ausbauwassermenge anhand der Ganglinie und der Dauerkurve

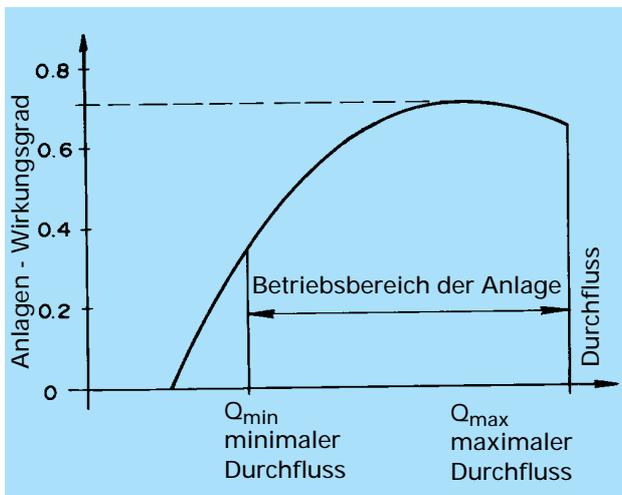


Abbildung B.3 : Wirkungsgradverlauf eines Kleinstwasserkraftwerkes bei abnehmender Durchflussmenge

Man könnte annehmen, eine möglichst hoch angesetzte Ausbauwassermenge garantiere auch die grösste Energieproduktion und damit die wirtschaftlichste Anlage. Dem ist jedoch nicht unbedingt so: Eine Turbine kann nicht alle Durchflüsse vom Hoch- bis zum Niederwasser gleich gut verarbeiten. Der Wirkungsgrad der Turbine und des Generators (siehe auch Kapitel 2.2) nimmt bei kleiner werdenden Durchflüssen stark ab; unterhalb eines Durchflusses Q_{min} von 20 – 40 % der Ausbauwassermenge Q_A (je nach Turbinentyp) ist die abgegebene Leistung unzureichend, und die Anlage muss ausser Betrieb gesetzt werden. Abbildung B.3 zeigt den Verlauf des Wirkungsgrades bei abnehmendem Durchfluss.

B 4. Auslegung der Anlage und Abschätzung der jährlichen Energieproduktion

Die Auslegung der Turbine auf eine bestimmte Ausbauwassermenge geschieht vor allem im Hinblick auf die vorgesehene Betriebsweise der Anlage: Stromproduktion im Netzparallelbetrieb oder im Inselbetrieb. Parallelbetrieb liegt dann vor, wenn ein Eigenproduzent dauernd mit dem öffentlichen Netz verbunden ist und Über-

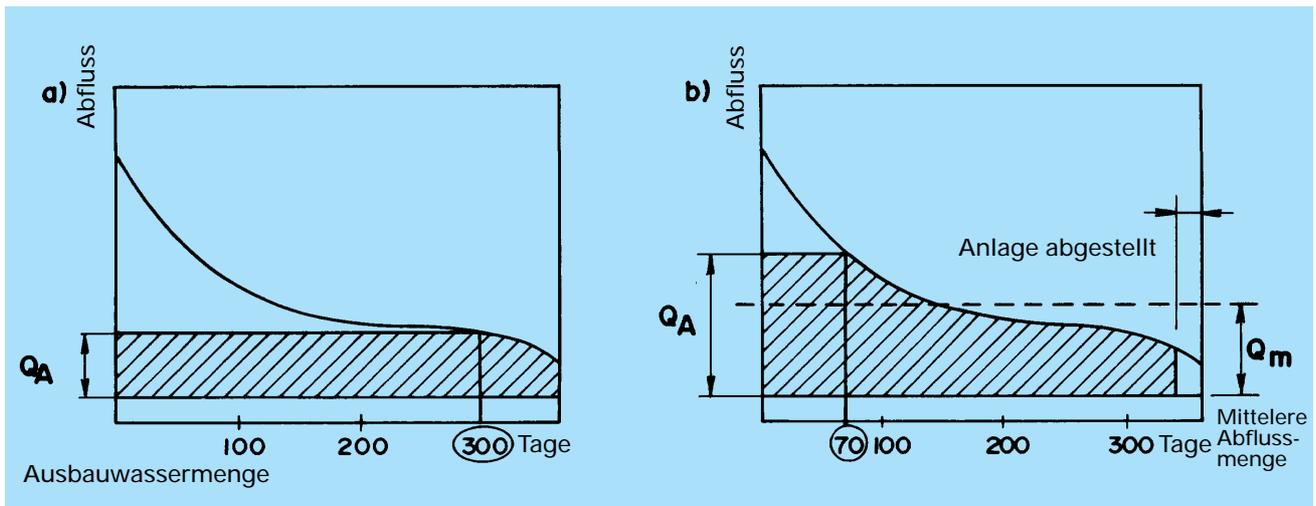


Abbildung B.4 a) : Auslegung eines Kleinstwasserkraftwerkes anhand der Dauerkurve für Inselbetrieb

Abbildung B.4 b) : Auslegung eines Kleinstwasserkraftwerkes anhand der Dauerkurve für Netzparallelbetrieb

schussenergie rückspeist oder Ergänzungsenergie bezieht, während der Inselbetrieb lediglich der Eigenversorgung von abgelegenen, nicht mit dem öffentlichen Netz verbundenen Siedlungen oder Alpwirtschaften dient. Eine Kombination dieser beiden Betriebsarten ist möglich und wünschenswert, wo das KWKW bei Ausfall des öffentlichen Netzes die Funktion einer Notstromgruppe übernehmen muss.

Anlagen für den Inselbetrieb werden nach dem Energiebedarf der Alpwirtschaft oder der abgelegenen Siedlung ausgelegt. Wichtig ist dabei, dass die Anlage über das ganze Jahr (respektive über die gesamte Periode der Alpbewirtschaftung) Energie produzieren kann. Die Ausbauwassermenge wird in diesem Fall entsprechend einer Überschreitungsdauer von mindestens 250 Tagen im Jahr gewählt, bzw. einer entsprechenden Anzahl Tage in bezug auf die Bewirtschaftungsperiode (siehe Abbildung B.4a). Unter Umständen ist es sinnvoll, auf der Verbraucherseite Spitzen zu vermeiden.

Im Netzparallelbetrieb wird man versuchen, möglichst viel Energie zu produzieren. Eine Einstellung des Betriebes während Perioden extremen Niederwassers wird bewusst in Kauf genommen. Typische Ausbauwassermengen liegen bei 60-125 Tagen Überschreitungsdauer pro Jahr (siehe Abbildung B.4b). Der anzuwendende Wert hängt vom Wirkungsgradverlauf der Turbine und von der Form der Dauerkurve ab.

Aus der Dauerkurve kann der jährliche mittlere Durchfluss (Q_m) der Turbine geschätzt werden (Umwandlung der schraffierten Fläche unter der Dauerkurve in ein flächengleiches Rechteck mit Q_m als Höhe). Durch Einsetzen in Formel (1), kann die mittlere elektrische Leistung P_{el} der Anlage berechnet werden.

Die ungefähre Jahresproduktion erhält man aus der Multiplikation der mittleren Leistung P_{el} mit den jährlichen Betriebsstunden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Anlage für Unterhalt oder Reparaturen und eventuell bei Hochwasser abgestellt werden muss. Für KWKW können 8500 Betriebsstunden pro Jahr angenommen werden.

$$E = 8500 \times P_{el} \quad (2)$$

E = mittlere Energieproduktion pro Jahr in Kilowattstunden (kWh)

P_{el} = mittlere elektrische Leistung in Kilowatt (kW) gemäss Formel (1)

Anhang C

Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von KWKW

C 1. Grundlagen

Um die Wirtschaftlichkeit von KWKW zu bestimmen, werden die jährlichen Kosten (Aufwand) mit dem jährlichen Nutzen (Ertrag) einer Anlage verglichen. Auf der Ertragsseite beeinflussen vor allem die hydrologischen Gegebenheiten einer Anlage (Wasserdargebot im Ablauf des Jahres, siehe Anhang B) die Menge der erzeugbaren Energie. Auf der Kostenseite schlagen die Bau- und Betriebskosten zu Buche. Der Nutzen der Anlage ist abhängig von der Art der Energieverwertung: Grosser Eigenbedarf an Elektrizität (d.h. Ersatz von Fremdbezug) ist im allgemeinen günstiger als Einspeisung ins Netz, da der Rücklieferungstarif der Elektrizitätsgesellschaften meistens unter dem Strombezugspreis liegt.

Die Wirtschaftlichkeit von Kleinstwasserkraftwerken kann nach dem in Abbildung C.1 dargestellten Berechnungsschema abgeschätzt werden.

In vielen Fällen werden jedoch Kleinstwasserkraftwerk-Projekte an der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit liegen; die Frage, ob sich ein Neu- oder Umbau eines Kleinstwasserkraftwerkes längerfristig bezahlt macht, kann deshalb oft erst aufgrund einer kleinen Studie eines spezialisierten Ingenieurs beantwortet werden.

Kosten	
Investitionskosten	Jährlicher Aufwand
- Bauliche Anlageteile	Verzinsung und Tilgung des investierten Kapitals
- Turbine und Generator	+
- Steuerung und Regelung	Betrieb und Unterhalt;
- Nebenkosten	Steuern , Wasserzins und Versicherungen
Betriebskosten	Total Aufwand pro Jahr
Nutzen	
Energieproduktion kWh pro Jahr	Jährlicher Ertrag
	Eigenverwertung (= Ersatz von Fremdbezug) x Strombezugspreis
	+
	Einspeisung ins Netz x Rücklieferungstarif
	Total Ertrag pro Jahr
Vergleich: Aufwand - Ertrag	

Abbildung C.1: Berechnungsschema zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer Kleinstwasserkraftanlage

C 2. Investitions- und Kapitalkosten

Die Investitionskosten eines KWKW lassen sich gemäss nachfolgender Tabelle aufteilen. Je nach Anlagentyp können verschiedene Kostengruppen wegfallen (z. B. Turbinen im Wasserversorgungsnetz brauchen keine Wehranlagen und Triebwasserkanäle); die Angaben sind nur als grobe Richtwerte anzusehen:

Kostengruppen	Anteil an Gesamtkosten	Amortisationszeit in Jahren
Bauliche Anlageteile (Wehranlage, Wasserfassung, Entsander, Triebwasserweg, Zentralengebäude) Stahlwasserbau (Wehrverschluss, Rechen- und Rechenreinigungsanlage, Absperrorgane) Druckleitung	25 – 55 %	25 – 30
Elektromechanische Anlageteile (Turbine, Generator, Regelung und Steuerung, Überwachung)	20 – 50 %	15 – 20
Nebenkosten (Projektierung, Bauleitung und Inbetriebnahme, Bewilligungsverfahren, Abgaben und Entschädigungen)	10 – 20 %	15 – 20
Unvorhergesehenes	10 %	15 – 20

Tabelle C.2 : Kostengruppen und Amortisationszeit von Kleinstwasserkraftanlagen

Für die weitere Rechnung ist es zweckmässig, eine mittlere Amortisationszeit zu bestimmen; ohne detailliertere Angaben kann bei Investitionsvorhaben, die nicht nur Maschinenkomponenten umfassen, mit einer mittleren Amortisationszeit von 20-25 Jahren gerechnet werden.

Für Kleinstwasserkraftanlagen ist es schwierig, allgemeine Richtwerte für spezifische Investitionskosten (Fr./kW installierter Leistung) anzugeben, da die Anwendungsbereiche von Kleinstturbinen sehr unterschiedlich sind (Fliessgewässer, Wasserversorgungsnetze, Industrieanlagen). Als grober Anhaltspunkt können die Werte der folgenden Tabelle herangezogen werden:

Tabelle C.3 : Spezifische Investitionskosten von Kleinstwasserkraftwerken (grobe Richtwerte, 1992)

Art der Anlage	Leistung: 100-200 kW	20-50 kW
Erneuerung nur elektrische Teile (Generator, Regelung) Elektromechanik (Turbine, Generator und Steuerung)	Fr. 500.-/kW Fr. 2000.-/kW	Fr. 1000.-/kW Fr. 4000.-/kW
Modernisierung Turbine & elektrische Teile & Wasserbau	Fr. 4000.-/kW	Fr. 8000.-/kW
Neubau	> Fr. 8000.-/kW	> Fr. 12'000.-/kW

Bei der Ermittlung der Investitionskosten für KWKW sind diejenigen Beträge in Abzug zu bringen, welche im Zuge einer Sanierung eines Wasserver- oder -entsorgungsnetzes (z. B. Druckleitung) oder von Hochwasserschutzmassnahmen an Fliessgewässern auch ohne den Einbau einer Turbine entstehen würden. Ebenso werden allfällige Subventionen (näheres siehe Kapitel 6) in Abzug gebracht.

Die verbleibenden Kosten werden mit Hilfe des Annuitätsfaktors in jährliche Tranchen umgerechnet, die im Prinzip der Verzinsung und Tilgung des für den Bau der Anlage benötigten Eigen- und Fremdkapitals entsprechen. Der Annuitätsfaktor trägt dem Kapitalzins und der Amortisationszeit Rechnung. Sofern nicht speziell zinsgünstiges Kapital eingesetzt werden kann, so ist mit dem Hypothekarzinsatz zu rechnen.

Die Teuerung wird bei Überschlagsrechnungen zweckmässigerweise dadurch eliminiert, indem die geschätzte mittlere Teuerungsrate der kommenden 10 – 15 Jahre direkt vom Kapitalzinssatz abgezogen wird. Mit dieser Vereinfachung können auch die Betriebskosten und die Erträge mit über die Amortisationszeit konstanten Beträgen in die Rechnung eingesetzt werden. Die nachfolgende Tabelle gibt die Annuitätsfaktoren für verschiedene Zinssätze und Amortisationszeiten wieder.

Tabelle C.4 : Annuitätsfaktoren

Amortisationszeit in Jahren	Zinssatz (inflations-korrigiert)					
	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %
10	0.111	0.117	0.123	0.130	0.136	0.142
15	0.078	0.084	0.090	0.096	0.103	0.110
20	0.061	0.067	0.074	0.080	0.087	0.094
25	0.051	0.057	0.064	0.071	0.078	0.086
30	0.045	0.051	0.058	0.065	0.073	0.081

C 3. Betriebskosten

Richtwerte für die jährlichen Betriebs- und Unterhaltskosten werden meist als Prozentsatz der Investitionskosten angegeben. Bei den Betriebskosten ist anzumerken, dass in der Regel für KWKW keine Personalkosten in Rechnung gestellt werden. Bei den meisten, heute weitgehend automatisierten KWKW genügen einige wenige Minuten pro Tag, um die eventuell nötigen Kontrollrundgänge (bei Fluss- und Kanalkraftwerken vor allem für Wasserfassung u. Rechen) und Zählerablesungen vorzunehmen. Dieser Aufwand wird oft als Teil des allgemeinen Unterhalts einer Liegenschaft, eines Gewerbebetriebes oder kommunaler Anlagen verrechnet und nicht dem KWKW belastet.

Die folgende Tabelle gibt einige Richtwerte für die Jahreskostenansätze:

Kostenart	Jahreskosten- ansatz	Bezugsgrösse für den Jahreskostenansatz
Turbine und elektrische Teile	3.0 – 6.0 %	Investitionskosten des Anlagenteils
Wehre, Fassungen und Druckleitungen	1.2 – 1.6 %	Investitionskosten des Anlagenteils
Zentralengebäude und Nebenanlagen	0.4 – 0.6 %	Investitionskosten des Anlagenteils
Wasserzinse, Steuern, Versicherungen, Administration	0.8 – 1.5 %	Gesamter Kapitaleaufwand

Tabelle C.5 : Jahreskostenansätze für Betrieb und Unterhalt von Kleinstwasserkraftanlagen

Die Jahreskosten für Kapitalverzinsung und -tilgung (Abschnitt C2) und die Betriebs- und Unterhaltskosten ergeben zusammen den gesamten Aufwand pro Jahr. Für KWKW liegt der jährliche Aufwand bei 8 bis 12 % der gesamten Investitionskosten.

C 4. Ertrag

Die Verwendung des produzierten Stromes bestimmt weitgehend die Rentabilität des Kleinstwasserkraftwerkes. Soweit die Eigenproduktion im eigenen Betrieb oder der eigenen Liegenschaft den Fremdbezug ersetzen kann, berechnet sich der Ertrag aus den eingesparten Kosten (Energie x Ankaufstarif + ev. Leistungspreis + ev. Blindstrom). Die Abgabe von Überschussstrom an das öffentliche Netz muss mit einem mit dem Elektrizitätswerk vereinbarten Abnahmepreis (Rücklieferungstarif) in die Ertragsrechnung einfließen. Tarifliche Unterschiede zwischen Sommer- und Winter- und Tag- und Nachtbezügen oder -einspeisungen müssen in einigen Fällen bereits bei groben Abschätzungen berücksichtigt werden, da diese Unterschiede für die Wirtschaftlichkeit von Bedeutung sein können.

C 5. Beispiel

Wirtschaftlichkeit einer Kleinturbine in einem Wasserversorgungsnetz einer Gemeinde im Voralpenraum (Preisbasis 1992)

Grunddaten:

- Nutzgefälle H_n : 120 m (zwischen Brunnenstube und Reservoir)
- mittlerer jährlicher Abfluss Q_m : 20 l/s
- Die Turbine, der Generator und der Schaltschrank können im bestehenden Reservoir untergebracht werden
- Die Druckleitung wird im Zuge einer Sanierung ersetzt.

Mittlere elektrische Leistung gemäss Formel (1):

$$P_{el} = (7 \times Q_m \times H_n) / 1000 = (7 \times 20 \times 120) / 1000 = 16,8 \text{ kW}$$

Jährliche Energieproduktion gemäss Formel (2):

$$E = 8500 \times P_{el} = 8500 \times 16.8 = 142'800 \text{ kWh}$$

Investitionskosten:

- Turbine und elektrische Einrichtungen, Netzanschluss Fr. 4000.-/kW x 16.8 kW = Fr. 67'200.-	Fr. 70'000.-
- Bauliche Einrichtungen im best. Reservoir für Turbine/Generator und in der Brunnenstube (Vorbecken)	Fr. 15'000.-
- Mehrkosten für Druckleitung (DN 125 statt DN 80 ohne Turbine); Länge 250 m	Fr. 5'000.-
- Nebenkosten (Anteil Projekt und Bauleitung, Gebühren, Bewilligungen)	Fr. 13'000.-
- Unvorhergesehenes	Fr. 10'000.-
Total Investitionskosten	Fr. 113'000.-

Jahreskosten:

- Mittlere Amortisationszeit 20 Jahre; Zinssatz 8.5 %, Inflation 4.5 % Annuitätsfaktor aus Tabelle oben: 4 % bei 20 Jahren: 0.074 x 113'000.-	Fr. 8'362.-
- Betrieb und Unterhalt (nur Turbine und Elektromechnik; Unterhalt Reservoir und Druckleitung im Rahmen Wasserversorgung) 5 % von Fr. 70'000.-	Fr. 3'500.-
- Gebühren und Versicherung, Administration (kein Wasserzins, da Trinkwasser)	Fr. 1000.-
Total Jahreskosten (Aufwand)	Fr. 12'862.-

Stromgestehungskosten:

- Jahreskosten Fr. 12'862.- bei 142'800 kWh	Fr. 0.09 / kWh
---	----------------

Rentabilität:

- Mittlerer Rücklieferungstarif : Fr. 0.12/kWh (Einspeisung der gesamten Produktion in gemeindeeigenes Netz)	
- Ertrag pro Jahr: 142'800 kWh x Fr. 0.12/kWh =	Fr. 17'136.-
- Gewinn pro Jahr: Ertrag - Aufwand	Fr. 4'274.-

Anhang D

Projektierungsablauf eines Kleinstwasserkraftwerkes

Projektstufe	Zeitbedarf	Auszuführende Arbeiten	Zuständige Behörden
Grundlagenbeschaffung wird oft durch Bauherrn selbst erarbeitet	min. 1 Monat wenn bereits Abflussmessungen vorhanden, andernfalls min. 1 Jahr	Erarbeiten von topographischen Plänen Ermittlung der Abflussmengen Trägerschaft	Kreisgeometer Landeshydrologie: Hydrologische Daten- bank
Vorstudie	ca. 2 Monate	Erste Konzepte und Varianten- studien Ausbauwürdigkeit, Kosten-Nutzen- Rechnung Orientierung der betroffenen Grundbesitzer und interessierten Organisationen Verhandlung mit Ämtern und Behörden Verhandlung mit EW Erste Kontaktnahmen für Finanzie- rung und Unterstützungsmöglich- keiten Richtofferten für Anlageteile einholen	Konzessionsbehörden und zuständige Fach- stellen Vereinigungen: – Fischereiverband, – Natur- und Heimat- schutz, – andere (je nach Umfang und Auswir- kung des geplanten Vorhabens)
Vor- bzw. Konzessions- projekt	min. 6 Monate	Wahl und Ausarbeitung einer Vari- ante als Konzessionsprojekt Konzessionsgesuch Vernehmlassung (öffentliche Auflage) und ev. Bereinigen der Einspra- chen Konzessionsverhandlungen (besondere Rechte und Pflichten des Konzessionärs) ev. Projektbereinigung Erteilung der Konzession	Konzessionsbehörden und Fachstellen sowie Bundesamt für Wasser- wirtschaft
Bauprojekt	min. 6 Monate	Ausarbeiten des Bauprojektes Planvorlage für Parallelschaltung Einreichen des Baugesuches Erteilung der Baubewilligung	Eidg. Starkstrom- inspektorat und EW Gemeinde u. kantonale Behörden
Ausführung	6 – 12 Monate	Ausarbeiten des Detailprojektes Ausschreibung der Anlagen Vergebung der Aufträge Bauausführung und -überwachung	
Inbetriebnahme	max. 1 Monat	Testläufe Abnahmeprotokolle Betrieb	
Dauer total:	1 – 3 Jahre		

Trägerorganisationen

ETG	Energietechnische Gesellschaft des SEV
INFEL	Informationsstelle für Elektrizitätsanwendung
INFOENERGIE	Informationsstelle über Pilot- und Demonstrationsanlagen für rationale Energieanwendungen
ISKB	Interessenverband Schweizerischer Kleinkraftwerk-Besitzer
SGV	Schweizerischer Gemeindeverband
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein
SOFAS	Sonnenenergie-Fachverband Schweiz
STV	Schweizerischer Technischer Verband
StV	Schweizerischer Städteverband
SVGW	Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches
vsa	Verband Schweizerischer Abwasserfachleute
VSE	Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
VSM	Verband Schweizerischer Müller