

Kleinwasserkraft

Modul V Umwelt- und Sozioökonomische Aspekte



Auftraggeber

EnergieSchweiz, 3003 Bern

Auftragnehmer

INFRAS Forschung und Beratung, Binzstrasse 23, 8045 Zürich, www.infras.ch

Ecosens AG, Grindelstrasse 5, 8304 Wallisellen, www.ecosens.ch

Autor(en)

Anik Kohli, Rolf Iten, Anna Vettori (INFRAS)

Daniel Sabathy, Christoph Erdin (Ecosens AG)

Koordination Gesamtdokumentation Kleinwasserkraft

Skat Consulting AG, Vadianstrasse 42, 9000 St. Gallen, www.skat.ch

Dr. Hedi Feibel, Martin Bölli

Begleitpersonen BFE

Benno Frauchiger und Regula Petersen, Bundesamt für Energie BFE

Überarbeitete Version vom Mai 2020**Anmerkungen**

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

Inhaltsverzeichnis

1.	Die Umweltaspekte	6
1.1	Relevante Umweltaspekte.....	6
1.1.1	Gewässerökologie	6
1.1.2	Natur- und Landschaftsschutz	16
1.1.3	Umweltverträglichkeit.....	17
1.1.4	Umweltzertifizierung	18
1.2	Klimarelevante Aspekte	19
1.2.1	Kleinwasserkraftwerke helfen Treibhausgasemissionen zu reduzieren.....	19
1.2.2	Auswirkungen des Klimawandels auf die Kleinwasserkraft	22
1.3	Energiebilanzen von Kleinwasserkraftwerken.....	24
1.3.1	Konzepte.....	24
1.3.2	Energiebilanzen von Kleinwasserkraftwerken im Vergleich zu anderen Kraftwerken	26
1.3.3	Externe Effekte von Kleinwasserkraftwerken.....	26
2.	Soziale Aspekte	28
2.1	Nutzungskonflikte	28
2.1.1	Beschreibung der Nutzungskonflikte	28
2.1.2	Optionen zur Minderung der Nutzungskonflikte.....	31
2.2	Denkmalschutz.....	32
2.3	Öffentlichkeitsarbeit	33
	Glossar	35
	Bibliographie	36

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Aufgrund der geringen Restwassermengen setzen sich Feinsedimente zwischen die Steine, was zur Abpflasterung der Sohle führt (Kolmation)	7
Abbildung 2	Durch einen natürlichen Geschiebehalt gestaltete Kiesbänke	10
Abbildung 3	Ausschnitt aus der Landeskarte mit der Darstellung von Abstürzen > 50 cm (natürliche (blau) und künstliche (rot) Störungen der Durchgängigkeit von Fließgewässern	13
Abbildung 4	Beispiele einer naturnah gestalteten Fischaufstiegshilfe (oben) und eines Beckenpasses (unten).....	14
Abbildung 5	Die von der alten Anlage verbliebene Wehrmauer und die Rechenreinigungsanlage links im Bild	16
Abbildung 6	Vergleich von Sommer- und Winter-Produktion	23
Abbildung 7	Die grundlegenden Energieflüsse in einem energieerzeugenden Prozess.....	25
Abbildung 8	Gewässerfunktionen und das Gesamtbild der integralen Wasserwirtschaft	29
Abbildung 9	Matrix zur Interessenabwägung von Schutz und Nutzung an Fließgewässern.....	31

Abkürzungen

BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFE	Bundesamt für Energie
BGF	Bundesgesetz über die Fischerei vom 21. Juni 1991, SR 923.0
BUWAL	(ehemaliges) Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (heute BAFU)
BV	Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft vom 18. April 1999, SR 101
GSchG	Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz) vom 24. Januar 1991, SR 814.20
GSchV	Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998, SR 814.201
EF	Erntefaktor
ERZ	Energierückzahldauer
ESTI	Eidgenössisches Starkstrominspektorat
KEV	Kostendeckende Einspeisevergütung
NHG	Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz vom 1. Juli 1966, SR 451
NHV	Verordnung über den Natur- und Heimatschutz vom 16. Januar 1991, SR 451.1
RPG	Bundesgesetz über die Raumplanung (Raumplanungsgesetz) vom 22. Juni 1979, SR 700
StAG	Bundesgesetz über die Stauanlagen (Stauanlagengesetz) vom 1. Oktober 2010 SR 721.101
StAV	Stauanlagenverordnung vom 17. Oktober 2012, 721.101.1
USG	Umweltschutzgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz) vom 7. Oktober 1983, SR 814.01
UVB	Umweltverträglichkeitsbericht
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVPV	Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung vom 19. Oktober 1988, SR 814.011
VBGF	Verordnung zum Bundesgesetz über die Fischerei vom 24. November 1993, SR 923.01
WaG	Bundesgesetz über den Wald (Waldgesetz) vom 4. Oktober 1991, SR 921

1. Die Umweltaspekte

1.1 Relevante Umweltaspekte

1.1.1 Gewässerökologie

1.1.1.1 Gewässerschutz generell

Natürliche Fliessgewässer bilden zusammen mit ihren Uferbereichen eine funktionale Einheit mit diversen Lebensräumen für Flora und Fauna. Sie sind bestimmt durch eine Dynamik mit ständigen Auf- und Abbauvorgängen im Gewässer- und Uferbereich. Charakteristisch für natürliche Fliessgewässer ist deren Möglichkeit, sich ihr Flussbett selber zu schaffen und je nach Gefälle, Geschiebe und Abfluss dabei verschiedenste Morphologietypen zu bilden.¹ Damit schaffen sie die Voraussetzungen für vielfältige Lebensräume und eine grosse Artenvielfalt.

Zahlreiche Schweizer Fliessgewässer sind heute verbaut oder eingeengt. Die Lebensraumfunktion ist beeinträchtigt. Auf degradierten Gewässerabschnitten sind die Gewässerstrukturen unnatürlich. Die Dynamik ist verloren gegangen und die Längsvernetzung ist ungenügend. Nebst der stofflichen Belastung der Gewässer sind dies die gravierendsten Beeinträchtigungen der natürlichen Funktionen. Der Bau von Wasserkraftwerken trug in der Vergangenheit mit zu dieser Entwicklung bei. Hingegen ist der Neubau von Anlagen heute mit strengen Umweltauflagen verbunden, die eine gute Integration und eine Minimierung ökologischer Auswirkungen gewährleisten. Folgende ökologische Probleme können als Folge von Wasserkraftwerken auftreten:

- Der Auf- und Abstieg von Fischen und Benthosorganismen ist behindert.
- Sie erzeugen künstliche Abflussschwankungen mit Abschwemmen von Lebewesen und Trockenlegen von Lebensräumen im Gewässerbett.
- Der Geschiebetrieb wird unterbunden. Das Geschiebe lagert sich im Stauraum ab und fehlt unterhalb des Wehrs als Laichsubstrat oder Erosionsschutz.
- Zu geringes Restwasser führt zu Sedimentablagerungen und Verschlämmungen der Gewässersohle, was schwerwiegende Auswirkungen auf das gesamte Ökosystem haben kann.

Das Gewässerschutzgesetz GSchG schreibt zur Sanierung der negativen Folgen der Wasserkraftnutzung diverse Massnahmen vor. Gemäss den kantonalen Planungen zur Renaturierung der Fliessgewässer im Rahmen der Sanierung der Wasserkraftnutzung sind schweizweit etwa 1000 Fischwanderhindernisse von Wasserkraftanlagen, ca. 100 Wasserkraftwerke, die künstliche Abflussschwankungen (Schwall-Sunk) verursachen und ca. 500 Wasserkraftwerke und andere Anlagen, die Geschiebedefizite verursachen zu sanieren².

Modul IV Kapitel 1.2

In den nachfolgenden Kapiteln werden die für die Kleinwasserkraftwerke wichtigen Aspekte beschrieben und dargestellt, welche Massnahmen relevant und erforderlich sind. Parallel dazu beschreibt das Modul IV die gesetzlichen Grundlagen. Im Modul II werden die Planungsschritte, und -prozesse sowie die technischen Grundlagen für die Realisierung der Massnahmen erläutert.

Modul II Kapitel 6

BAFU 2016:

Zustand der Schweizer Fliessgewässer, Ergebnisse der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) 2011-2014.

¹ DIANE 1996, S. 4

² BAFU 2016, S. 17

DIANE 1996:

Kleinwasserkraftwerke und Gewässerökologie Situationsanalyse.

1.1.1.2 Restwasser

Bei Ausleitkraftwerken wird dem Fließgewässer eine gewisse Menge Wasser entzogen und zur Stromgewinnung über die Turbinen geleitet. Auf der Strecke unterhalb der Wasserentnahme bis zur Wiedereinleitung (sogenannte Restwasserstrecke) ist eine ausreichende Restwassermenge nötig, damit die vielfältigen natürlichen Funktionen des Fließgewässers erfüllt werden können; sei es als Lebensraum für Flora und Fauna, als Landschaftselement oder zur Speisung von Grundwasser und zum Abbau von Schadstoffen. Das Ausbleiben von Restwasser oder zu geringe Restwassermengen können unter anderen folgenden ökologischen Auswirkungen haben:

- Habitatsverlust durch zu geringe Wassertiefen und durch Verhinderung von periodischen Überschwemmungen. Der Geschiebetrieb wird reduziert. Typische Arten, die schnellfließendes Wasser bevorzugen sterben ab.
- Unterbrochene Vernetzung bei zu geringen Wassertiefen.
- Ablagerungen von Schwebstoffen, was zu einer Veränderung der chemischen und physikalischen Bedingungen auf und im Flussgrund führt (Kolmation). Verschiedene Fischarten – insbesondere die Kieslaicher – können sich nicht mehr fortpflanzen.
- Bei geringen Abflüssen passen sich die Wassertemperaturen eher den Umgebungstemperaturen an, was zu tiefen Temperaturen im Winter und hohen Temperaturen im Sommer führt und damit den Entwicklungszyklus von Kleinlebewesen empfindlich stören kann.
- Auengebiete und Moore im Einflussgebiet können aufgrund des abgesenkten Grundwasserspiegels trockengelegt werden und verschwinden.



Abbildung 1 Aufgrund der geringen Restwassermengen setzen sich Feinsedimente zwischen die Steine, was zur Abpflästerung der Sohle führt (Kolmation)³

Welche Restwassermengen für die Aufrechterhaltung der natürlichen Funktionen des Fließgewässers sinnvoll und nötig sind, hängt stark von den Eigenschaften des Gewässers und von seiner ökologischen Bedeutung ab. Berücksichtigt werden sollten dabei die Strömungsvielfalt, die

³ Quelle: <http://aarelauf.ch/von-olten-nach-aarau/>

jahreszeitlichen und eventuell auch die tageszeitlichen Abflussschwankungen sowie die natürliche Häufigkeit und das Ausmass von Hochwasser. Das Ziel sollte ein Abflussregime sein, welches möglichst dem natürlichen Charakter des Gewässers entspricht, wenn auch mit weniger Wasser.

Mit den folgenden baulichen und betrieblichen Massnahmen können die negativen ökologischen Auswirkungen vermindert werden:

- Restwasserstrecke möglichst kurz anlegen und morphologisch gut strukturieren (keine Verbauung der Sohle und des Böschungsfusses, Wasserbreiten- und -tiefenvariabilität sowie Niedrigwasserrinnen, naturnahe Uferbereiche).
- Als ökologischen Ausgleich den Triebwasserweg naturnah ausbauen, was die Durchgängigkeit des Gewässers für Wasserlebewesen erhöht.
- Zeitlich unterschiedlich festgelegte Dotierung, um eine Abflussdynamik zu erhalten.
- Reinigung und Strukturierung der Gewässersohle durch periodisch, während kurzer Zeit erhöhte Abflüsse.
- Wo technisch möglich (also an Niederdruckstandorten) Umbau von Ausleitkraftwerken in Durchlaufkraftwerke durch den Einsatz von neuen Ultra-Niederdruckturbinen. Durchlaufkraftwerke haben keine Restwasserstrecke.

Bei Durchlaufkraftwerken wird das Wasser direkt am Absturz im Fluss turbinert. Solche Kraftwerke werden so in den Fluss gebaut, dass genauso viel Wasser im Flussbett fliesst wie zuvor⁴. Die Restwasserthematik ist für diese Anlagentypen nicht relevant.

Die Festlegung der Restwassermenge erfolgt durch die Kantone gemäss GSchG. Dabei wird die Mindestrestwassermenge, d.h. eine Wassermenge entsprechend des natürlichen Niedrigwasserabflusses sowie die spezifischen gewässerökologischen Anforderungen berücksichtigt. Für weitere Informationen zur Berechnung der Mindestwassermenge und der Festlegung der Restwassermenge sowie die technischen und rechtlichen Grundlagen zur Thematik wird auf die Module II und IV verwiesen.

Modul II und Modul IV

DIANE 1996:

Kleinwasserkraftwerke und Gewässerökologie Situationsanalyse.

BUWAL 2004:

Restwassermengen – Was nützen sie dem Fliessgewässer?
Schriftenreihe Umwelt Nr. 358.

BUWAL 2000:

Angemessene Restwassermengen – Wie können sie bestimmt werden?,
Wegleitung Vollzug Umwelt.

WWF und Pro Natura 2008:

Kriterienkatalog für ökologische Wasserkraftwerke.

1.1.1.3 Schwall und Sunk

Wenn ein Kraftwerk aufgestautes Wasser nur zu bestimmten Zeiten turbinert (intermittierender Betrieb), entstehen unnatürliche starke Schwankungen des Wasserspiegels. Man spricht dann von Schwall-Sunk. Charakteristische Eigenheiten einer schwallbeeinflussten Ganglinie sind neben dem Schwall- und dem Sunkabfluss auch deren Verhältnis und Amplitude sowie die maximalen Geschwindigkeiten (Raten) des Pegelanstiegs und -rückgangs beim Übergang zwischen den beiden

⁴ ISKB/ADUR 2015a, S. 6

Abflusszuständen⁵. Es kommt üblicherweise zu einem raschen Anstieg und Abfall des Pegels. Im Vergleich zu natürlichen Hochwassern treten die Ereignisse sehr viel häufiger und regelmässiger auf. **Da kleinere Kraftwerke in der Regel ohne Speicher auskommen und den vorhandenen Abfluss direkt und kontinuierlich „verarbeiten“ kommt es hier kaum zu solchen unnatürlichen Abflussschwankungen.** Ob ein Kleinwasserkraftwerk mit einer verhältnismässig kleinen Rückhalte-Kapazität als schwallerzeugend zu behandeln ist, ist von Fall zu Fall zu klären.

Der Schwallbetrieb stellt für das ganze Ökosystem eine grosse Störung dar. Wesentliche Beeinträchtigungen der einheimischen Fauna und Flora sowie deren Lebensräume sind zu erwarten, wenn die Abflussmenge bei Schwall mindestens 1.5-mal grösser ist als bei Sunk (Art. 41e GSchV). Mögliche Umweltauswirkungen sind:

- Verdriften von Jungfischen und anderen Kleinlebewesen in der Schwallphase.
- Trockenfallen von flachen Uferzonen von naturnahen Gewässern, was zum Stranden von Fischen führen kann, wenn sie den Weg zum Niederwassergerinne nicht mehr finden (sogenannte Fischfallen).
- Beeinträchtigung der in den Wintermonaten wichtigen Laichentwicklung der Fische und des Aufbaus der Benthosorganismen, die als Futterbasis dienen.
- kurzfristige Temperaturschwankungen.
- Verarmung der Artenvielfalt, da sich hauptsächlich weitverbreitete Arten („Generalisten“) ansiedeln, welche mit den ungünstigen Bedingungen am ehesten zurechtkommen.
- Ufer- und Tiefenerosionen bei Schwall.

Aus ökologischer Sicht stehen die Vermeidung oder Beseitigung der Abflussschwankungen im Vordergrund. Als mögliche bauliche oder betriebliche Massnahmen kommen in Frage:

- turbiniertes Wasser nicht in den Fluss einleiten, sondern direkt in einen See oder über ein separates Fliessgewässer (bspw. Parallelkanal).
- Bau von Rückhaltebecken oder Kavernen.
- Neugestaltung des Gewässers (morphologische Optimierung) oder der Einbau von Hilfswehren.
- Erhöhung des Minimalabflusses und/oder Beschränkung der Leistung (Maximalabfluss).
- Dämpfung der Abflussschwankungen (Häufigkeit, Menge) insbesondere während der Laichzeit.

Die rechtlichen Grundlagen zur Schwall-Sunk-Thematik werden im Modul IV erläutert. Für die technischen Aspekte wird auf das Modul II verwiesen.

Modul IV Kapitel 1.2.2
Modul II Kapitel 6.3

DIANE 1996:

Kleinwasserkraftwerke und Gewässerökologie Situationsanalyse.

WWF, Pro Natura 2008:

Kriterienkatalog für ökologische Wasserkraftwerke.

BAFU 2012a:

Sanierung Schwall-Sunk, Strategische Planung. Umweltvollzug Nr. 1203.

BAFU 2012b:

Revitalisierung Fliessgewässer, Strategische Planung.
Umweltvollzug Nr. 1208.

⁵ BAFU 2012a, S. 15

EnergieSchweiz 2012:

Handbuch Kleinwasserkraftwerke, Informationen für Planung, Bau und Betrieb, Bundesamt für Energie.

EnergieSchweiz 2016:

Kleinwasserkraft, Planung und Verfahren, Leitfaden für Bauherren, Bundesamt für Energie

1.1.1.4 Geschiebehaushalt

Der Geschiebehaushalt ist ein charakteristisches und bestimmendes Merkmal eines Fließgewässers (Geschiebe bezeichnet den Anteil der Feststoffe, welcher durch den Abfluss rollend, gleitend oder springend über die Flusssohle flussabwärts transportiert wird; Korngrösse \geq ca. 2 mm). Das vom Oberwasser zugeführte Geschiebe ersetzt durch Hochwasser erodiertes Material und führt zu einer regelmässigen Erneuerung von Kiesbänken und der Gewässersohle.⁶ Damit werden die natürlich ablaufenden biologischen Prozesse gewährleistet.



Abbildung 2 Durch einen natürlichen Geschiebehaushalt gestaltete Kiesbänke⁷

Für viele Pflanzen- und Tierarten, insbesondere für kieslaichende Fischarten, ist lockeres Geschiebe notwendig. Ein Einstau des Gewässers kann dazu führen, dass dieser natürliche Vorgang unterbrochen wird.

Die Folgen davon:

- Geschiebe lagert sich im Stauraum ab und wird nicht weiter transportiert.
- Ohne ausreichend Geschiebezufuhr aus dem Oberwasser wird das Gerinne im Unterlauf –also insbesondere hinter dem Kraftwerksauslass - ausgeräumt. Auf der Restwasserstrecke hingegen lagern sich durch den geringeren Abfluss zunehmend Feinsedimente ab. Es kommt zu einer Verfüllung der Hohlräume des Flussbetts, einer sogenannten Kolmation. Wichtige Lebensräume für Benthosorganismen aber auch für Jungfische werden zerstört.

⁶ BAFU 2012c, S. 11

⁷ Quelle: <http://www.reart66.fr/les-milieux-aquatiques/le-transport-solide.html>

- Bei fehlendem Geschiebeeintrag kann es zu einer Sohleintiefung durch Erosion kommen. Dies bewirkt in der Regel eine Absenkung des Grundwasserspiegels und kann angrenzende Auengebiete oder Moorlandschaften dauerhaft schädigen.
- Ökologisch wertvolle Uferstrukturen (Kiesbänke, Gerinneverlagerungen) werden beeinträchtigt.

Mit einem ökologisch orientierten Geschiebemanagement kann die Ausbildung einer, dem Gewässertyp entsprechenden Morphologie, weitgehend ermöglicht werden. Lebensräume für ortstypische Arten können sich neu bilden oder erhalten werden. Mit den folgenden Massnahmen kann fallbezogen der Geschiebehaushalt eines Gewässers verbessert oder wiederhergestellt werden. Dabei muss unbedingt auch der Aspekt des Hochwasserschutzes betrachtet werden.

- Geschiebe im Stauraum nicht ausbaggern. Das nicht benötigte Geschiebe sollte bei Hochwasser durch Öffnen einer Klappe, Herunterklappen des Wehres oder ähnlicher Massnahmen abtransportiert werden können.
- Erhöhen des Geschiebeangebots im Gewässer durch Entfernen des harten Ufer- und Sohlverbaus (Potenzial in der Regel gering).
- Erhöhen der Geschiebezufuhr aus den Seitengewässern (unterhalb des Wehres) durch Verbessern der Geschiebedurchgängigkeit bei Geschiebesammlern oder durch Aufhebung von Geschiebesammlern.
- Zugabe von Geschiebe aus Geschiebesammlern, aus Geschiebeentnahmen im Rahmen von Hochwasserschutzmassnahmen oder aus Kiesgruben. Zugaben an gut zugänglichen und hydraulisch geeigneten Stellen (Beeinträchtigungen von Lebensräumen und Biotopen im Uferbereich durch die Transporte sind dabei zu vermeiden).

Die Verbesserung der Geschiebedurchgängigkeit bei Geschiebesammlern, Wehren und Kraftwerken ist periodischen Geschiebezugaben soweit möglich und verhältnismässig vorzuziehen. Bei der Planung und Umsetzung von Massnahmen sind die dabei möglicherweise entstehenden unerwünschten ökologischen Auswirkungen unbedingt zu berücksichtigen. So können beispielsweise Stauabsenkungen bei Hochwasser Ufererosionen, Destabilisierungen von Dämmen oder das Trockenfallen von Flachwasserzonen verursachen oder zu Gewässerverschmutzungen führen, wenn belastete Sedimente freigesetzt werden.

Die Kantone legen in einer strategischen Planung (Art. 83b GSchG) fest

- in welchen Fliessgewässerabschnitten die einheimischen Tiere und Pflanzen und deren Lebensräume wesentlich beeinträchtigt sind,
- das ökologische Potenzial der betroffenen Gewässerabschnitte und
- zu treffende Massnahmen zur Sanierung.

Die Planung umfasst auch die Massnahmen zur Sanierung der Fischgängigkeit. Bei existierenden Wasserkraftwerken besteht für die Inhaber nach Art. 83a GSchG die Pflicht, bis Ende 2030 die geeigneten Massnahmen zu treffen.

Die rechtlichen Grundlagen zur Thematik Sanierung Geschiebehaushalt werden im Modul IV erläutert. Für die technischen Aspekte wird auf das Modul II verwiesen.

BAFU 2012c:

Sanierung Geschiebehaushalt, Strategische Planung.
Umweltvollzug Nr. 1226.

BAFU 2012b: Revitalisierung Fliessgewässer, Strategische Planung.

Umweltvollzug Nr. 1208.

1.1.1.5 Fischwanderung

Jedes künstlich errichtete technische Werk in einem Fliessgewässer (Schwellen, Eindolungen oder Kraftwerke) vermindert oder unterbricht die Längsvernetzung des Gewässers und somit auch die freie Fischwanderung. Man geht heute davon aus, dass alle in unseren Fliessgewässern vorkommenden Fischarten im Verlaufe ihres Entwicklungszyklus mehr oder weniger ausgedehnt auf diese Wandermöglichkeiten sowohl flussaufwärts als auch flussabwärts angewiesen sind. Nur dadurch ist das Überleben einer Population und längerfristig einer Art gewährleistet.

Aus fischökologischer Sicht kann eine Unterbrechung der Wandermöglichkeiten folgende Auswirkungen haben:

- Aufwanderung zu Laich- und Nahrungsplätzen ist unterbrochen. Die Erhaltung und Neubildung von Fischbeständen ist nicht mehr möglich.
- Keine Neubesiedelung mehr möglich auf Flussabschnitten oberhalb des Wehrs nach grösseren Ereignissen wie Hochwasser oder Gewässerverschmutzung
- Genetische Verarmung, da ein Austausch zwischen Tieren aus verschiedenen Gebieten nicht mehr möglich ist.
- Wirbellose Tiere können Hindernisse nicht passieren und damit ihre Verdriftung flussabwärts nicht mehr durch Aufwanderung kompensieren.
- Fischbesatz anstelle der Durchgängigkeit für Fische ist kein Ersatz, da damit vor allem wirtschaftlich wertvolle Arten gefördert werden und es in gewissen Gewässerabschnitten zu unerwünschten genetischen Vermischungen kommen kann.

Das Bundesgesetz über die Fischerei BGF verlangt, dass die freie Fischwanderung für die gesamte Fischfauna in beide Richtungen sichergestellt wird. Betroffen sind Neuanlagen oder Neukonzessionen, aber auch bestehende Anlagen, falls die Massnahmen wirtschaftlich tragbar sind. Keine Massnahmen sind nötig für Anlagen, die sich in unmittelbarer Nähe eines natürlichen Wanderhindernisses (z.B. Wasserfall) befinden und für Anlagen, die höher als 1700 m.ü.M oder an einem Gewässer liegen, welches natürlicherweise kein Fischgewässer ist.

Durchgangshindernisse an Fliessgewässern werden unterteilt in künstliche Abstürze (Schwellen) und Bauwerke (Stauwehr, Durchlass, Brücke etc.). Laut Hochrechnung bestehen in der Schweiz insgesamt 101'000 künstliche Durchgangshindernisse mit einer Absturzhöhe von mehr als 50 cm. Ab einer Absturzhöhe von ca. 50 cm wird die Fischwanderung behindert. Es ist zu betonen, dass die Mehrheit der Hindernisse, ca. 92'000, nicht durch Wasserkraftnutzung bedingt sind⁸. Sie dienen beispielsweise dem Zweck des Hochwasserschutzes und dem Schutz von Kulturland. Zumindest bei einem Teil davon wäre eine energetische Nutzung bei gleichzeitiger ökologischer Aufwertung denkbar⁹.

⁸ BAFU 2009, S. 51

⁹ ISKB/ADUR 2015b, S. 6

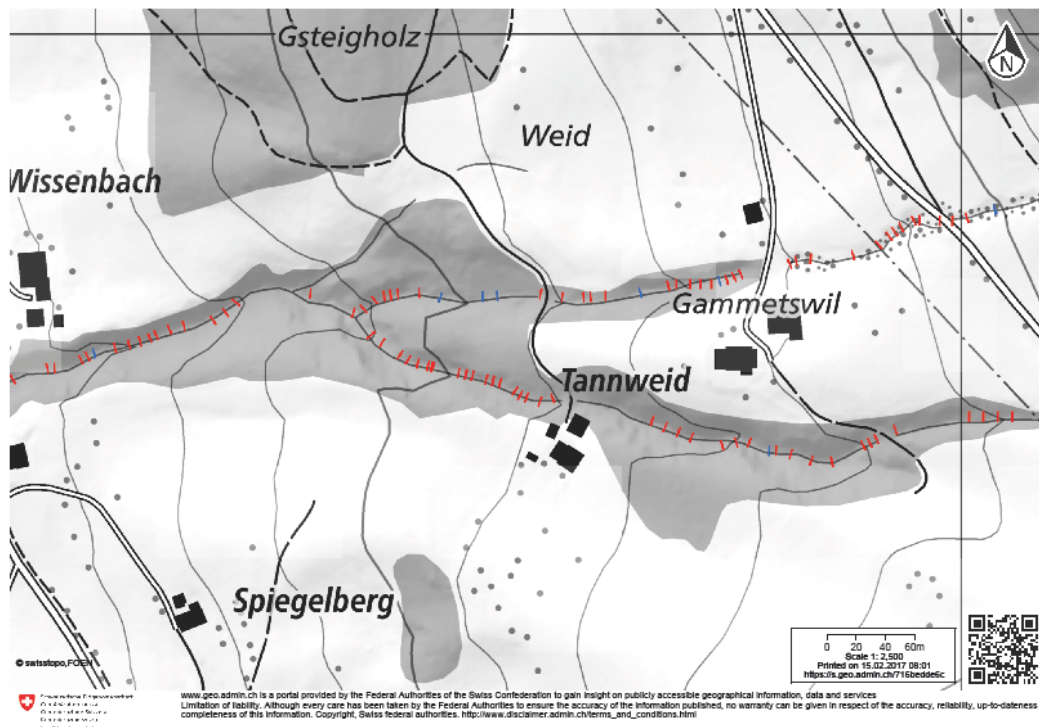


Abbildung 3 Ausschnitt aus der Landeskarte mit der Darstellung von Abstürzen > 50 cm (natürliche (blau) und künstliche (rot) Störungen der Durchgängigkeit von Fließgewässern¹⁰

Die Lösung zur Wiedervernetzung der Gewässerabschnitte und -systeme sind sogenannte Fischwanderhilfen. Die fischökologischen Anforderungen an eine solche Anlage sind u.a.:

- Die freie Wanderung in beide Richtungen (Auf- und Abstieg) muss gewährleistet sein.
- Die Funktionsfähigkeit muss während allen für die Wanderung relevanten Entwicklungsphasen und Lebenszyklen der Fische gewährleistet sein.
- Fischwanderhilfen dürfen nicht auf spezifische Arten ausgerichtet sein. Sie sollten von allen im Gewässer vorkommenden Arten benutzt werden können.
- Für wirbellose Wasserlebewesen braucht es für die Wanderung eine durchgehende, zusammenhängend strukturierte Gewässersohle mit Substrat und strömungsarmen Ruhezonnen.

Für den Fischeaufstieg eignen sich technische Bauwerke wie der Beckenpass oder naturnahe Bauwerke wie Rauherinne, Rampen oder Umgehungsgewässer. Allen gemeinsam ist das Ziel, die Fische mit einer Lockströmung an einen bestimmten Ort am Fuss des Hindernisses zu locken und sie dann dazu zu bewegen, entsprechend ihrem natürlichen Verhalten, aktiv stromaufwärts zu schwimmen. Die Wahl der Aufstiegshilfe hängt von vielen meist lokal unterschiedlichen Bedingungen ab: vorkommende Fischfauna, zu überbrückender Niveauunterschied, hydrologische Situation, Art des Wehrs, etc.. Aus ökologischer Sicht – und falls es die topografischen Bedingungen erlauben - werden naturnahe Bauten bevorzugt. Der Vorteil gegenüber technischen Anlagen ist die Möglichkeit einer sehr naturnahen Ausgestaltung mit natürlicher Sohle, was die Durchwanderung oder Besiedlung auch für Benthosorganismen und kleinere Fische ermöglicht. Bei Kleinwasserkraftwerken besteht oft ein kleines Gefälle zwischen Ober- und Unterwasser, was gute Voraussetzungen für den Bau einer naturnahen Aufstiegshilfe schafft. Denkbar sind auch Kombinationen aus verschiedenen Bauwerkstypen.

¹⁰ Quelle: https://map.geo.admin.ch/?topic=bafu&lang=en&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-grau&catalogNodes=781,1361,2771,2818,2780&layers=ch.bafu.oekomorphologie-f_abstuerze



Abbildung 4 Beispiele einer naturnah gestalteten Fischaufstiegshilfe (oben) und eines Beckenpasses (unten)¹¹

Der Abstieg erfolgt meist passiv, indem sich die Fische von der Strömung leiten lassen. Aufstiegshilfen sind daher meist nicht geeignet (sohlenorientierte Fische können eine naturnah gestaltete Rampe oder ein Umgehungsgerinne auch als Abstieg nutzen). Die Fische sollten schadlos nach unten transferiert werden. Dies kann erreicht werden mittels Lenkung durch technische Einrichtungen, wie Rechen und einen Bypass oder durch den Fall übers Wehr bei geringer Fallhöhe und ausreichender Eintauchtiefe. Bestimmte Turbinentypen ermöglichen auch einen „unschädlichen Durchgang“ durch die Turbine selbst, wobei eine tolerierbare Mortalität in Kauf genommen wird.

Ein wichtiger Bestandteil für die Sicherstellung der freien Fischwanderung ist die Erfolgskontrolle. Nur so kann beurteilt werden, ob die Fischwanderhilfe richtig konzipiert wurde. Ob die Fische die

¹¹ Quelle: <http://www.htsbau.de/Wasserbau/Fischaufstiegshilfen-FAH/>

Aufstiegshilfe tatsächlich benutzen, kann mittels technischer Hilfsmittel (Videoaufnahme, Markierung und Kontrollfänge, Reusen im Aufstiegsgerinne) oder durch Direktbeobachtungen überprüft werden.

Wie bereits erwähnt, gibt es für den Bau einer Fischwanderhilfe kein standardisiertes allgemein gültiges „Rezept“. Die Wahl und die Planung erfordern viel Fachwissen. Es wird daher empfohlen, sich schon frühzeitig mit der für die Fischerei zuständigen Behörde und mit Fachleuten auszutauschen. Im Modul II finden sich weitere Informationen zu technischen Anforderungen, zur Planung und Realisierung von Fischwanderhilfen.

Modul II Kapitel 6

BAFU 2012d:

Wiederherstellung der Fische auf- und abwanderung bei Wasserkraftwerken. Checkliste best practice.

BAFU 2012e:

Wiederherstellung der Fischwanderung, Strategische Planung; Vollzugshilfe.

DIANE 1997a:

Fische und Kleinwasserkraftwerke, Kostengünstige Aufstiegshilfen für Fische und Kleinlebewesen.

DIANE 1997b:

Vernetzung bei Kleinwasserkraftwerken. Untersuchung über das Gewässerkontinuum für Fische und Kleinlebewesen.

1.1.1.6 Wasserqualität

Der Betrieb eines Wasserkraftwerks kann die Wasserqualität im Oberlauf (Stauraum) und im Unterlauf (Restwasserstrecke) des genutzten Gewässers beeinflussen. Im Staubereich mit nahezu stillstehendem Wasser ist der Gasaustausch im Vergleich zum fließenden Gewässer vermindert. Die Sauerstoffkonzentration ist geringer. Der Vorgang wird durch den sauerstoffzehrenden Abbau von sedimentären Schlämmen noch verstärkt. Im Sommer steigen die Wassertemperaturen, was ein zusätzliches Sauerstoffdefizit bewirkt. Es kann zu einer Eutrophierung des Gewässers und damit zu einer Abnahme der Artenzahl kommen.

Bei geringer Wassertiefe in der Restwasserstrecke passt sich die Wassertemperatur schneller als natürlich der Umgebungstemperatur an. Es kommt zu Temperaturerhöhungen im Sommer und Ausfrieren im Winter. Infolge reduzierter Verdünnung von allfälligen Schad- und Nährstoffen verschlechtert sich die Wasserqualität. Empfindliche, spezialisierte Arten verschwinden oder werden verdrängt.

Mögliche Lösungsansätze zur Vermeidung oder Verminderung sind naturnahe, strukturierte Uferbereiche und Gewässerrinnen (Beschattung durch Bepflanzung im Stauraum, Niedrigwasserrinnen zur Erhöhung des Wasserspiegels) oder eine Erhöhung der Restwassermengen.

Das Risiko von Gewässerverschmutzungen während Bau und Betrieb von Kleinwasserkraftwerken kann im Normalfall als gering betrachtet werden, wenn die entsprechenden Vorkehrungen (hochwassersichere Lagerung von wassergefährdenden Stoffen, Einsatz von biologisch abbaubaren Fetten und Ölen, regelmässige Wartung der Anlagen) getroffen und die üblichen gewässerhygienischen Vorsichtsmassnahmen bei Bauarbeiten eingehalten werden.

DIANE 1996:

Kleinwasserkraftwerke und Gewässerökologie Situationsanalyse.

L. von Moos und H. Leutwiler 1997:

Gesamtschau Kleinwasserkraftwerke. Erstellt im Rahmen des Projekts DIANE 10 Klein-Wasserkraftwerke. Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern.

WWF und Pro Natura 2008:

Kriterienkatalog für ökologische Wasserkraftwerke.

1.1.2 Natur- und Landschaftsschutz

Das Landschaftsbild kann durch den Bau und Betrieb eines Kraftwerks verändert und beeinträchtigt werden. Dabei ist einerseits zu unterscheiden zwischen den Auswirkungen der Bauten (Wehranlage, Krafthaus, Ausleitkanal), die je nach Lage und Umgebung des Kraftwerks (naturnahe Landschaft oder intensiv genutzte Landwirtschafts- oder Industriezone) unterschiedlich beurteilt werden und andererseits den Folgewirkungen des Eingriffs in das Gewässer (siehe Kapitel 1.1.1). Das Landschaftsbild kann durch eine optimale Ausgestaltung der Bauwerke geschont werden, indem beispielsweise Anlagen unterirdisch angelegt werden, lokale natürliche Baustoffe verwendet werden oder Eingriffsflächen wiederbegrünt werden. So gibt es viele Beispiele von Kleinwasserkraftwerken, welche ohne negative Auswirkungen selbst in Schutzgebieten gebaut werden konnten. Nachfolgend wird ein Beispiel dargestellt.

Das Kleinwasserkraftwerk auf der Engstligenalp liegt in einem BLN-Gebiet (Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler). Im Hinblick auf die ablaufende Konzession wurde ein Neubau mit einem gleichzeitigen Leistungsausbaue beschlossen. Um den Anforderungen an einen Bau im Schutzgebiet gerecht zu werden, wurde die alte Anlage komplett demontiert und die Druckleitung sowie die Kavernenzentrale komplett unter dem Boden verlegt. Die Wehrmauer stellt den letzten verbliebenen Teil des alten Kraftwerks dar. Weder von unten noch von der Engstligenalp Bahn aus ist ersichtlich, dass dort, wo der Bach in die Tiefe stürzt, das Wasser turbiniert wird.



Abbildung 5 Die von der alten Anlage verbliebene Wehrmauer und die Rechenreinigungsanlage links im Bild¹²

Generell können durch den Bau eines Kraftwerks und damit dem Einstau eines Fließgewässers die verschiedensten Lebensräume im Umfeld beeinträchtigt oder ganz zerstört werden. So kann eine Absenkung des Wasserstands im Unterwasser die Trockenlegungen von Uferbiotopen und Auenstandorten verursachen. Falls der Grundwasserspiegel absinkt, können Moore vom Grundwasser abgeschnitten werden und austrocknen. Durch den Aufstau wird ein Teil des Fließgewässers (unmittelbar oberhalb des Wehres) zu einem praktisch stillstehenden Gewässer. Insbesondere in diesem Bereich verändern sich Flora und Fauna. Arten verschwinden, da die Lebensräume nicht mehr vorhanden sind.

¹² Quelle: <http://www.stiftung-kev.ch/referenzanlagen/wasserkraft/wasserkraftwerk-engstligenalp.html>

Daher sind schützenswerte Lebensräume und Landschaften als Standorte für Neubauten nicht geeignet. Sie sind durch die entsprechenden gesetzlichen Grundlagen vor Eingriffen geschützt. Eine Beeinträchtigung ist nur dann zulässig, wenn dies unter Abwägung aller Interessen nicht zu vermeiden ist. Der Verursacher hat dann für besondere Massnahmen zu deren bestmöglichem Schutz, für Wiederherstellung oder ansonsten für angemessenen Ersatz zu sorgen.

Modul IV Kapitel 1

Die Auswirkungen werden im Rahmen des Bewilligungsverfahrens in einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) beurteilt und die entsprechenden Massnahmen im Umweltverträglichkeitsbericht (UVB) definiert und dokumentiert (siehe auch Kapitel 1.1.3).

BUWAL 1997:

UVP von Wasserkraftanlagen, Massnahmen zum Schutz der Umwelt; Mitteilungen zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP).

BAFU 2009:

UVP-Handbuch, Richtlinie des Bundes für die Umweltverträglichkeitsprüfung.

EnergieSchweiz 2012:

Handbuch Kleinwasserkraftwerke, Informationen für Planung, Bau und Betrieb, Bundesamt für Energie.

EnergieSchweiz 2016:

Kleinwasserkraft, Planung und Verfahren, Leitfaden für Bauherren, Bundesamt für Energie

1.1.3 Umweltverträglichkeit

Für Neuanlagen mit einer installierten Leistung von **mehr als 3 MW** besteht eine Pflicht zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung UVP (Anh. Nr. 21.3 UVP-Verordnung). Kleinere Anlagen und gegebenenfalls Änderungen von bestehenden Anlagen, welche zu keiner Veränderung des Wasserregimes oder zu keiner Änderung der Nutzungsart führen, sind nicht UVP-pflichtig. Auch wenn keine UVP-Pflicht besteht, müssen während Bau und Betrieb der Anlage die umweltrechtlichen Bestimmungen eingehalten werden. Der Behörde muss mit dem Konzessionsgesuch ein sogenannter Restwasserbericht eingereicht werden. Dieser kann mit einem Umweltbericht kombiniert werden, welcher das Projekt beschreibt und die Umweltauswirkungen als Gesamtes und ihre Gesetzeskonformität darlegt (genaue Vorgaben zur Erstellung eines Restwasserberichts finden sich in einer Wegleitung des BAFU¹³).

Modul IV Kapitel 1.1.9

Die UVP muss aufzeigen, mit welchen Auswirkungen das Projekt die Umwelt voraussichtlich belasten wird und mit welchen projekt- oder standortspezifischen Massnahmen sichergestellt werden kann, dass die Umweltvorschriften eingehalten werden können. Die UVP von Wasserkraftanlagen läuft in der Regel in zwei Phasen ab:

- Phase 1: Voruntersuchung und Pflichtenheft
- Phase 2: Hauptuntersuchung oder Umweltverträglichkeitsbericht (UVB)

In der Voruntersuchung werden die Projektauswirkungen auf die einzelnen Umweltbereiche in einer Relevanzmatrix abgebildet und nach ihrer Relevanz beurteilt. Diese Beurteilung umfasst sowohl die Bau- als auch die Betriebsphase. Basierend darauf wird ein Pflichtenheft für die Hauptuntersuchung

¹³ BUWAL 2000, S. 65

erstellt. Die Hauptuntersuchung ist der Umweltverträglichkeitsbericht, welcher Vorschläge für die Verminderung von Umweltbeeinträchtigungen und Kompensationsmassnahmen formuliert. Darunter sind auch Wiederherstellungs- oder Ersatzmassnahmen im Zusammenhang mit der Beeinträchtigung schützenswerter oder schutzwürdiger Lebensräume zu verstehen.

Die rechtlichen Grundlagen zur UVP werden im Modul IV erläutert. Weiterführende Literatur mit detaillierten Informationen über den Ablauf und den Inhalt einer UVP umfasst:

BUWAL 2000:

Angemessene Restwassermengen – Wie können sie bestimmt werden?,
Wegleitung, Vollzug Umwelt.

BUWAL 1997:

UVP von Wasserkraftanlagen, Massnahmen zum Schutz der Umwelt;
Mitteilungen zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP).

BAFU 2009:

UVP-Handbuch, Richtlinie des Bundes für die
Umweltverträglichkeitsprüfung.

EnergieSchweiz 2012:

Handbuch Kleinwasserkraftwerke, Informationen für Planung,
Bau und Betrieb, Bundesamt für Energie.

EnergieSchweiz 2016:

Kleinwasserkraft, Planung und Verfahren, Leitfaden für Bauherren,
Bundesamt für Energie

1.1.4 Umweltzertifizierung

In der Schweiz können Produktionsanlagen und Energieprodukte nach „naturemade basic“ oder „naturemade star“ zertifiziert werden. Die Gütesiegel werden vom Verein für umweltgerechte Energie VUE vergeben. Sie erfordern die Erfüllung umfangreicher Kriterien, welche wissenschaftlich erarbeitet wurden. Dazu gehören die Themen Restwasser, Schwall-Sunk, Geschiebehaushalt, Vernetzung der Gewässer (Fischwanderung), Landschaft, Biotope und Kraftwerkgestaltung. Mit der Einhaltung dieser Kriterien wird eine ökologische Minimalfunktion der genutzten Fließgewässer gewährleistet. Wasserkraftwerke mit einer Leistung von mehr als 100 kW müssen zudem einen Fonds für weitergehende ständige ökologische Verbesserungsmassnahmen rund um das Kraftwerk einrichten. Damit werden in erster Priorität Projekte umgesetzt zur Revitalisierung am betroffenen Gewässer und im hydrologischen Einzugsgebiet (oder anderswo falls Verbesserungen hier nicht relevant sind).

EAWAG 2001:

Ökostrom – Zertifizierung für Wasserkraftanlagen; Konzepte,
Verfahren, Kriterien.

www.naturemade.ch

1.2 Klimarelevante Aspekte

1.2.1 Kleinwasserkraftwerke helfen Treibhausgasemissionen zu reduzieren

Kleinwasserkraftwerke helfen, den vom Menschen verursachten Klimawandel abzuschwächen, indem sie einen Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen leisten. Die Einspeisung von Strom aus Kleinwasserkraft ins Netz kann beispielsweise die durch fossile Energieträger erzeugte Energie zur Deckung der Bandlast ersetzen.¹⁴

Während Wasserkraft grundsätzlich als saubere Energie gilt, so entstehen in begrenztem Masse dennoch Treibhausgas-Emissionen während des Baus, Betriebs und gegebenenfalls dem Rückbau des Kraftwerkes. Dies ist beispielsweise der Fall bei der Herstellung von Stahl für die Turbinen oder von Zement für Wehr, Kanäle, Krafthaus etc.¹⁵ Die Treibhausgas-Emissionen der Stromproduktion durch Wasserkraftwerke sind jedoch sehr tief – auch im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energietechnologien (siehe Tabelle 1). Dies hat unter anderem damit zu tun, dass bei anderen Technologien auch Emissionen entstehen für die Bereitstellung, den Transport und die Entsorgung der Brennstoffe, inklusive Abbau bzw. Gewinnung der Primärenergieträger (z.B. Erdgas, Rohöl, Steinkohle, Uran, Holz), bei der Verbrennung selbst oder bei energieintensiven Herstellungsprozessen von Komponenten (bspw. Module bei der Photovoltaik).¹⁶

Die Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus eines Wasserkraftwerkes können auf die Kilowattstunde erzeugten Strom heruntergebrochen werden, damit ein Vergleich unter verschiedenen Wasserkraftwerkstypen und mit anderen Stromerzeugungstechnologien möglich ist. Wie Tabelle 1 zu entnehmen ist, schneiden Kleinwasserkraftwerke besonders gut ab. Die Emissionen von integrierten Kleinwasserkraftwerken (also beispielsweise Trink- oder Abwasserkraftwerke, siehe Beispiele 4 und 6 in Modul VI) sind mit 1.9 g CO₂-eq/kWh gar am geringsten von allen Technologien. Aber auch „klassische“ (alleinstehende) Kleinwasserkraftwerke verursachen sehr geringe Emissionen von lediglich 4.9 g CO₂-eq/kWh. Damit liegen sie leicht über den grösseren Laufkraftwerken, welche Emissionen von nur 3.6 g CO₂-eq/kWh verursachen, da sie mehr Strom produzieren. Die Speicherkraftwerke verursachen 5.5 g CO₂-eq/kWh¹⁷ und Pumpspeicherkraftwerke verursachen 155.1 g CO₂-eq/kWh. Diese erhöhten Emissionen sind zurückzuführen auf Stauseen, welche aufgrund der Methan-Emissionen rund 1.4 g CO₂-eq/kWh verursachen.¹⁸ Bei den Pumpspeicherkraftwerken ist der grösste Teil der Emissionen (96.6%) jedoch auf den Betrieb der Pumpen zurückzuführen.¹⁹

Modul VI Beispiele 4 und 6

Kernenergie verursacht ebenfalls keine direkten Treibhausgasemissionen, sondern lediglich beim Bau des Kraftwerks, beim Abbau von Uran sowie bei der Stilllegung und Entsorgung, weshalb sie im Vergleich ebenfalls gut abschneidet. Im Fall von Siedewasserreaktoren erzeugt ein Atomkraftwerk Treibhausgasemissionen von 10.5 g CO₂-eq/kWh. Die Treibhausgasintensivste Technologie ist Kohle, welche über ein Kilogramm Treibhausgasemissionen je erzeugte Kilowattstunde verursacht.

¹⁴ L. von Moos und H. Leutwiler 1997, S. 6-7

¹⁵ ESU-services 2012b, S. 13-14

¹⁶ ESU-services 2012b, S. 1

¹⁷ Auch Speicherkraftwerke verwenden Pumpen, nicht nur Pumpspeicherkraftwerke, und werden diese berücksichtigt, so betragen die Emissionen 10.8 g CO₂-eq/kWh (ESU-services 2012b, S. 53).

¹⁸ ESU-Services und PSI 2012, S. v; ESU-Services 2012b, S. i

¹⁹ ESU-services 2012b, S. 54

Technologie	Treibhausgas-Emissionen in g CO ₂ -eq/kWh
Erneuerbare Energie	
Wasserkraft	
• Laufwasserkraft	3.6
• Speicherwasserkraft	10.8
• Speicherwasserkraft (Strombedarf für Pumpen abgezogen ¹)	5.5
• Kleinwasserkraft „klassisch“/alleinstehend ²	4.9
• integrierte Kleinwasserkraftwerke ²	1.9
• Pumpspeicherkraft	155.1
andere erneuerbare Energien	
• Sonne	81.6
• Wind	17.2
• Holz	30.0
• Biogas Landwirtschaft	240.6
• Biogas Industrie	237.7
Nicht erneuerbare Energie	
Fossile Energieträger	
• Erdöl	730.7
• Erdgas	585.4
• Kohle	1'093.0
Kernenergie	
• Druckwasserreaktor	5.2
• Siedewasserreaktor	10.5

¹ Der Strombedarf der Pumpen wurde hier abgezogen und fließt somit nicht in die Berechnung des CO₂ Ausstosses pro kWh ein.

² Zu beachten ist, dass für Kleinwasserkraftwerke <300kW keine Daten vorhanden sind zu den Emissionen während der Betriebsphase. Da dieser jedoch gering ausfällt, ist ein Vergleich zu den anderen Technologien dennoch angebracht.

Tabelle 1: Treibhausgasemissionen verschiedener Technologien²⁰

Tabelle INFRAS. Quelle: ESU-services 2012b, S. 11 und ESU-services 2012a, S. 30, 53-54

Zusätzlich zum Vergleich verschiedener Technologien bietet sich auch der Vergleich unterschiedlicher Strommixe an. Dadurch lässt sich aufzeigen, wieviel Treibhausgasemissionen durch die Nutzung der Kleinwasserkraft eingespart werden können. Bei einem solchen Vergleich ist die Differenzierung wichtig zwischen dem Schweizer Produktions-Strommix, welcher die in der Schweiz produzierte Elektrizität abbildet, und dem Lieferanten-Strommix, welcher die Herkunft des in der Schweiz verkauften Stroms reflektiert. Wie aus Tabelle 2 ersichtlich ist, betragen die Treibhausgasemissionen des Schweizer Lieferanten-Strommixes 121.7 g CO₂-eq/kWh. Damit sind die Treibhausgasemissionen deutlich höher als bei dem durch Kleinwasserkraftwerke produzierten Strom mit 4.9 g CO₂-eq/kWh. Müsste der Strom auf dem europäischen Markt eingekauft werden, wären die Treibhausgasemissionen mit 462.1 g CO₂-eq/kWh²¹ gar massiv höher.

²⁰ treeze Ltd. 2016: Umweltbilanz Strommix Schweiz 2014, im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), S. 16 und 44.

²¹ treeze Ltd. 2014, S. 204; Die Emissionen gelten für ENTSO ab Kraftwerk.

Strommix	Treibhausgas-Emissionen in g CO ₂ -eq/kWh
CH Produktions-Strommix	24.2
CH Lieferanten-Strommix	121.7
• Zertifizierter Strommix ¹	14.4
• Egal-Strommix ²	132.9
Europäischer Strommix (ENTSO)	462.1

¹ Der zertifizierte Strommix wird gemäss der Statistik des Vereins für umweltgerechte Energie (VUE) berechnet.

² Der Egal-Strommix ist die Differenz zwischen Lieferanten-Strommix und zertifiziertem Strommix.

Tabelle 2: Treibhausgasemissionen verschiedener Strommixe

Tabelle INFRAS. Quelle: ESU-services 2012a, S. 12 und treeze Ltd 2014, S. 204

Angenommen ein alleinstehendes Kleinwasserkraftwerk mit 300 kW Leistung produziert 2 Mio. kWh Strom im Jahr und beliefert damit knapp 450 Haushalte. Ein solches Kleinwasserkraftwerk verursacht Emissionen von 9.8 t CO₂-eq. Der Schweizer Lieferanten-Strommix würde für dieselbe Menge Strom 243.4 t CO₂-eq Emissionen verursachen. Müsste der produzierte Strom des Kleinwasserkraftwerks ersetzt werden durch Strom vom europäischen Markt, würden gar Emissionen von 924.2 t CO₂-eq entstehen. Die durch ein solches Kleinwasserkraftwerk jährlich produzierte Energie erlaubt es Emissionen von gut 100 Flügen zwischen Zürich und New York retour einzusparen (im Vergleich zum Schweizer Lieferanten-Strommix) bzw. knapp 400 Flüge (im Vergleich zum Europäischen Strommix).²²

Modul I Kapitel 2.3

Swiss Small Hydro 2016:

[Argumentation Pro Kleinwasserkraft](#)

ESU-Services 2012 (a):

[Life Cycle Inventories of Hydroelectric Power Generation](#),

im Auftrag von Öko-Institut

Die Daten der oben genannten Publikation sind eingeflossen in einen Bericht, in welchem verschiedene Technologien und deren Treibhausgasemissionen verglichen und die Emissionen je Strommix berechnet werden²³:

ESU-Services 2012 (b):

[Treibhausgas-Emissionen der Schweizer Strommixe](#),

Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt

Im März 2017, wurde die folgende Studie mit teilweise neuen Zahlen zu den Treibhausgas-Emissionen je Technologie veröffentlicht, jedoch mit nur einer Zahl für die Kleinwasserkraft (5,0 g CO₂/kWh eq.).

Treeze Ltd. 2016:

[Umweltbilanz Strommix Schweiz 2014](#)

im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

²² Von Zürich (CH), ZRH nach New York (US), JFK, Hin- und Rückflug, Economy Class, ca. 12 600 km, 1 Reisende/r: 2.3 t CO₂ (Quelle: myclimate.ch)

²³ treeze Ltd. 2016, S. 44.

1.2.2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Kleinwasserkraft

Die Klimaänderung und die damit verbundenen Veränderungen des Wasserkreislaufs – insbesondere durch die Zunahme von Extremereignissen - beeinflussen die Wasserkraftnutzung aller Arten von Wasserkraftwerken. Veränderte Niederschläge, Gletscherschmelze und der Anstieg der Schneefallgrenze beeinflussen die Abflussmenge und die transportierte Geschiebemenge und damit auch die Energieproduktion.²⁴ Während des 20. Jahrhundert sind die Abflussmengen grundsätzlich stabil geblieben, allerdings haben sich die Abflussregimes verändert.²⁵ Eine Studie des Bundesamtes für Umwelt geht davon aus, dass sich die Abflüsse in der Schweiz bis in die nahe Zukunft (2035) nur wenig verändern und bis in die ferne Zukunft (2085) zumeist leicht abnehmen.²⁶ Die jahreszeitliche Verteilung der Abflüsse verändert sich aber fast in der ganzen Schweiz, mit zumeist mehr Abfluss im Winter und weniger Abfluss im Sommer.²⁷

Aufgrund einer Studie in elf alpinen Einzugsgebieten geht das Bundesamt für Energie in den Energieperspektiven 2035 bei der Wasserkraft von einem schweizweiten Produktionsverlust von 7% (rund 2000 GWh/a) bis 2035 aus.²⁸ Für die Energiestrategie 2050 ging das BFE 2012 aufgrund vorliegender Studien davon aus, dass die Klimaänderung bis 2050 keinen Einfluss auf die mittlere jährliche Stromproduktion aus Wasserkraft haben wird.²⁹ Im Jahr 2019 bestätigte das BFE diese Position³⁰. Dabei wurde darauf hingewiesen, dass im Vergleich zum Zeitraum von 1980 bis 2009 die durchschnittliche Produktion zwischen 2021 und 2050 im Sommer um 4 bis 6% sinken, im Winter jedoch um 10% steigen dürfte.

Die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraft sind jedoch sehr unterschiedlich je nach Saison, geographischer Lage, Einzugsgebiet oder Anlagentyp, wie ein Forschungsprojekt unter der Leitung des Geographischen Instituts der Universität Bern und der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft aufzeigt. Die untersuchten Fallstudien lassen bis 2035 nur kleine Veränderungen der Produktion erwarten, wobei sie eher im leicht negativen Bereich sind für das südliche und östliche Wallis und positiv in tiefer gelegenen Gebieten der zentralen und östlichen Voralpen.³¹ Da der Anlagentyp auch entscheidend ist und bei den Fallstudien keine Kleinwasserkraftwerke dabei waren, ist eine Übertragung der Resultate nicht eins zu eins möglich. Zudem lässt sich auch keine Hochrechnung auf die gesamte Schweiz vornehmen.

Weitere Angaben finden sich im Synthesebericht des erwähnten Forschungsprojektes.

Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie (SGHL) und Hydrologische Kommission CHy 2011:
[Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung.](#)
Synthesebericht. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Nr. 38.

Weitere Informationen finden sich in folgenden Dokumenten

BAFU 2012f: [Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer.](#) Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro)

BFE 2007: [Die Energieperspektiven 2035 – Band 1.](#)
Synthese Modellrechnungen, Vergleiche, Bewertungen und Herausforderungen.

²⁴ SGHL und CHy 2011, S. 1-21

²⁵ SGHL und CHy 2011, S. 15

²⁶ BAFUF 2012, S. 44

²⁷ BAFUF 2012, S. 44

²⁸ BFE 2007, S. 76

²⁹ BFE 2012, S. 13-14

³⁰ BFE 2012, S.26

³¹ SGHL und CHy 2011, S. 25

BFE 2012: [Wasserkraftpotenzial Schweiz. Abschätzung des Ausbaupotentials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050.](#)

BFE 2019: [Wasserkraftpotenzial Schweiz. Abschätzung des Ausbaupotentials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050](#)

SSH 2019: [Medienmitteilung zur Publikation der BFE Potenzialstudie Wasserkraft:](#) Die Ziele der Energiestrategie 2050 dürften verfehlt werden!

Die meisten der Kleinstwasserkraftwerke (unter 300 kW) befinden sich in tieferen Lagen.³² Swiss Small Hydro, der Schweizer Verband der Kleinwasserkraft, zeigt auf, dass diese Kleinstwasserkraftwerke grundsätzlich von einem ausgeglicheneren Abflussregime profitieren.³³ Einzelne Kleinstwasserkraftwerke zeigen schon länger, dass die nasseren Winter und längeren Trockenzeiten im Sommer dazu führen, dass die saisonalen Schwankungen geringer ausfallen. Abbildung 6 zeigt die Resultate einer Auswertung der Swissgrid im Auftrag von Swiss Small Hydro, welche bestätigen, dass im Gegensatz zu Wind und Photovoltaik bei den Kleinstwasserkraftwerken (< 300 kW) keine saisonale Abhängigkeit ersichtlich ist. Die Produktion nimmt über die letzten drei Jahre zu, was primär auf den Zubau neuer Anlagen zurückzuführen ist.³⁴

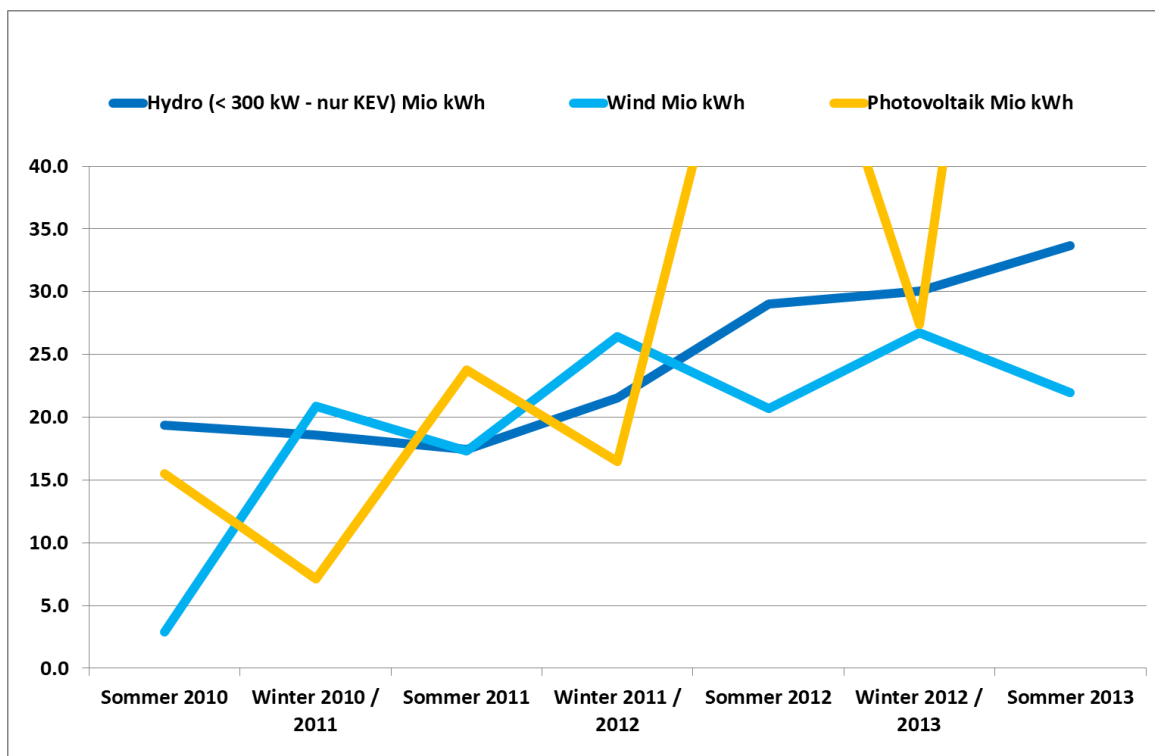


Abbildung 6 Vergleich von Sommer- und Winter-Produktion³⁵

³² ISKB/ADUR 2015b, S. 2

³³ ISKB/ADUR 2015b, S. 2

³⁴ ISKB/ADUR 2015b, S. 3

³⁵ Quelle: ISKB/ADUR 2015b, S. 4

In seiner Anpassungsstrategie geht der Bund davon aus, dass bei den Kleinwasserkraftwerken aufgrund der Klimaänderung ein mittlerer Handlungsbedarf besteht (auf einer Skala von 3 Niveaus: schwach, mittel, gross).³⁶ Da die Auswirkungen des Klimas je nach Standort und Kraftwerkstyp sehr unterschiedlich ausfallen können, ist es wichtig, dass bei einem konkreten Projekt bereits bei der Grundlagenbeschaffung Prognosen bezüglich des Klimas miteinbezogen werden.³⁷ Beispielsweise muss je nach Standort berücksichtigt werden, dass aufgrund von Trockenperioden im Sommer zu wenig Wasser zur Energiegewinnung vorhanden sein kann.³⁸ So hat der Trockensommer 2003 zur Stilllegung einiger Kleinwasserkraftwerke im Mittelland geführt.³⁹

BAFU 2012g: [Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz – Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder.](#)

EnergieSchweiz 2012: Handbuch Kleinwasserkraftwerke, Informationen für Planung, Bau und Betrieb, Bundesamt für Energie

1.3 Energiebilanzen von Kleinwasserkraftwerken

1.3.1 Konzepte

Es werden vier Energieflüsse im Zusammenhang mit einem Kraftwerk unterschieden:⁴⁰

- E_{in} : der direkte Energie-Input, d.h. der Energiefluss des Energieträgers wie beispielsweise die potentielle Energie des Wassers
- $E_{indirekt}$: der indirekte Energie-Input, d.h. die Energie, welche nötig ist für den Bau, den Betrieb, den Rückbau und die Entsorgung eines Kraftwerkes sowie die Bereitstellung und den Transport des Energieträgers (Bsp. Kohle, Holz oder Biogas), was jedoch bei Wasserkraft entfällt
- E_{out} : der Energie-Output, d.h. der Energiefluss der produzierten Energie
- $E_{Verlust}$: der Energiefluss der Verluste, d.h. die nicht ausgenutzte Energie bei der Umwandlung von potentieller in elektrische Energie (Reibungsverluste, Abwärme) oder jene Energie, die zur Herstellung der verwendeten Baumaterialien aufgewendet werden musste und nicht zurückgewonnen werden kann

Alle vier Energieflüsse verstehen sich als Summer der Flüsse während der gesamten Anlagelebensdauer. Zudem gilt: $E_{in} + E_{indirekt} = E_{out} + E_{Verlust}$. Die grundlegenden Energieflüsse in einem energieerzeugenden Prozess können wie in der folgenden Abbildung 7 dargestellt werden:

³⁶ BAFU 2012g, S. 22

³⁷ EnergieSchweiz 2012, S. 16

³⁸ Bundesrat 2012, S. 26-27

³⁹ Bundesrat 2012, S. 28

⁴⁰ W. Baumgartner und G. Doka 1996, S. 3

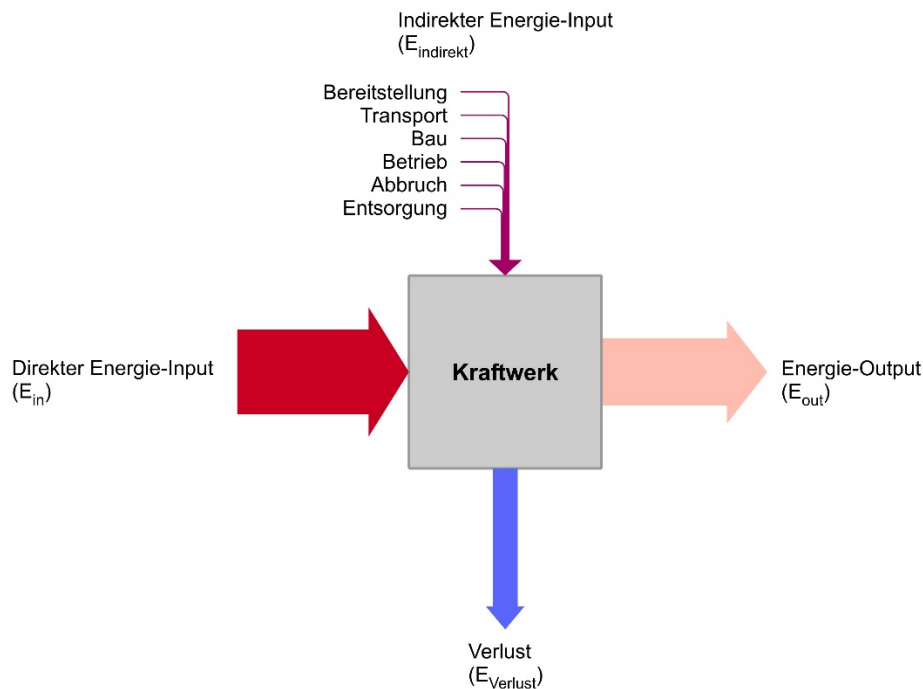


Abbildung 7 Die grundlegenden Energieflüsse in einem energieerzeugenden Prozess⁴¹

Beim direkten Energie-Input handelt es sich bei einem Wasserkraftwerk um die der natürlichen Umwelt entnommenen potentiellen Energie des Wassers. Beim indirekten Energie-Input wird nicht nur die unmittelbar auf der Baustelle eingesetzte Quantität an Strom und Brennstoffen berücksichtigt, sondern auch die «graue» Energieaufwendungen zur Herstellung von Beton, Stahl etc., die für die Anlage benötigt werden. Bei einem Wasserkraftwerk entfällt der Energieaufwand für die Förderung, Bereitstellung und den Transport des Energieträgers zum Kraftwerk, da dieser vor Ort verfügbar ist.

Basierend auf den Energieflüssen können die für die Energiebilanz relevanten Kennzahlen gebildet werden.⁴² Der Erntefaktor (EF) berechnet sich aus dem Verhältnis von Energie-Output zu indirektem Energie-Input. Der Erntefaktor gibt also an, wieviel mehr Energie vom Kraftwerk über die Lebensdauer produziert werden kann als für Bau, Betrieb, Rückbau etc. der Anlage aufgewendet wird. Der direkte Energie-Input, d.h. der Energiegehalt der verwerteten Energiequelle – in diesem Fall Wasser – wird nicht mitgezählt.⁴³

- $EF = E_{out} / E_{indirekt}$

Die Energierückzahldauer (ERZ), auch Energieamortisationszeit genannt, gibt die Zeit an, die das Kraftwerk in Betrieb sein muss, bis es dieselbe Menge Energie produziert hat, die für Bereitstellung, Bau, Betrieb, Abbruch und Entsorgung während der Lebensdauer investiert werden musste. Der indirekte Energie-Input setzt sich eigentlich zusammen aus einem fixen Teil für Konstruktion und Abbau sowie einem Teil für Unterhalt und Betrieb, welcher folglich abhängig ist von der Lebensdauer des Kraftwerkes.⁴⁴ Im Fall von Kleinwasserkraftwerken, wo der Energieaufwand für den Betrieb während der Lebensdauer eines Kraftwerkes klein ist im Vergleich zur fix investierten Energie und im Vergleich zum Energie-Output, kann die Energierückzahldauer angenähert werden durch:

- $ERZ = E_{indirekt} * \text{Anlagenlebensdauer} / E_{out} = \text{Anlagenlebensdauer} / EF$

W. Baumgartner und G. Doka 1996:
[Energiebilanzen von Kleinwasserkraftwerken.](#)
 Energierückzahldauer – Energieerntefaktor

⁴¹ Quelle: W. Baumgartner und G. Doka 1996, S. 4

⁴² W. Baumgartner und G. Doka 1996, S. 5-6

⁴³ Eine Erweiterung der Definition des Erntefaktors stellt der Gütefaktor dar, welcher beim Energie-Input nicht nur die indirekte, sondern auch die direkte Energie berücksichtigt. Dies ist vor allem interessant für einen Vergleich mit fossilen Kraftwerken.

⁴⁴ D. Weissbach et al. 2013, S. 3

1.3.2 Energiebilanzen von Kleinwasserkraftwerken im Vergleich zu anderen Kraftwerken

Die einzigen Zahlen zu Energieerntefaktor und die Energierückzahldauer von Kleinwasserkraftwerken stammen bereits von 1996⁴⁵. Sie wurden auf der Basis von 4 Kleinwasserkraftanlagen in der Schweiz berechnet (siehe Tabelle 3). Aktuellere Zahlen scheint es für die Schweiz nicht zu geben. Es kann zudem festgestellt werden, dass es generell wenige Daten zu Energieerntefaktoren für Kleinwasserkraftwerke gibt.⁴⁶

Anlage	Nennleistung (kW)	Erntefaktor (gewichtet ¹)	Rückzahldauer in Jahren
Champagna Samedan	361	188	0.4
Obermühle Baar	150	130	0.6
Mühlibach Burgdorf	70	87	0.8
Buechetsmatt Samen	18.5	538	0.06

¹ Für die Berechnung des EF wurde die Elektrizität gegenüber den Brennstoffen um den Faktor 2.67 höher bewertet.

Tabelle 3: EF und ERZ von vier Kleinwasserkraftwerken⁴⁷

Die Anlagen Obermühle-Baar und Mühlibach-Burgdorf können vom Anlagentyp am ehesten verglichen werden. Sie sind bachgespiesene Kleinwasserkraftwerke und besitzen einen relativ niedrigen Erntefaktor. Champagn-Samedan ist ein Hochdruckkraftwerk und besitzt einen höheren Erntefaktor. Das Trinkwasserkraftwerk Buechetsmatt-Samen hat mit einem Erntefaktor von 538 mit Abstand das beste Resultat. Ein höherer Erntefaktor ist in diesem Fall plausibel, weil ein grosser Teil der Anlagen-Aufwendungen dem Trinkwasser und nicht der Elektrizität angelastet werden können.⁴⁸ Der Vergleich der Energierückzahldauern dieser vier Anlagen ergibt im Wesentlichen dasselbe Bild wie derjenige der Erntefaktoren.

In der DIANE Publikation von 1997⁴⁹ werden auch die Erntefaktoren von zwei Grosswasserkraftwerken präsentiert. Das Laufwasserkraftwerk in Bannwil mit einer Nennleistung von 24.5 MW hat einen Erntefaktor von 170 und das Speicherkraftwerk in Tinzen mit einer Nennleistung von 64 MW einen von 280. Damit liegen die Erntefaktoren von Kleinwasserkraftwerken in einer ähnlichen Grössenordnung.

Im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien schneiden Kleinwasserkraftwerke gut ab. In der Photovoltaik hat sich zwar in den letzten Jahren einiges getan. Dadurch konnten nicht nur die Produktionskosten gesenkt werden, sondern auch die negativen Auswirkungen auf die Umwelt reduziert werden.⁵⁰ So zeigen Zahlen von 2015 für Photovoltaikanlagen in Südeuropa eine Rückzahldauer von 0.8 oder 1.7 Jahren, je nach Photovoltaik System.⁵¹ Bei einer Lebensdauer von 30 Jahren dieser Photovoltaik Systeme,⁵² ergibt sich ein Erntefaktor von ungefähr 38 bzw. 17. Bei der Windenergie geht die Literatur von einem Erntefaktor von 18 aus.⁵³

1.3.3 Externe Effekte von Kleinwasserkraftwerken

Allgemein hat die Produktion und Verwendung von Energie negative Auswirkungen auf die Umwelt, wie beispielsweise Verlust der Biodiversität, Luftverschmutzung oder Klimaänderung, für welche niemand bezahlt oder einen Ausgleich erhält. Diese negativen externen Effekte können auch in externen Kosten ausgedrückt werden.⁵⁴ Während der Preis für die Energie ein wichtiger Standortfaktor ist im

⁴⁵ W. Baumgartner et G. Doka 1996

⁴⁶ N. Kittner et al. 2016, S. 411

⁴⁷ Tabelle INFRAS. Quelle: W. Baumgartner und G. Doka 1996, S. Z-2

⁴⁸ W. Baumgartner und G. Doka 1996, S. Z-4

⁴⁹ L. von Moos et H. Leutwiler 1997, p. 6

⁵⁰ R. Frischknecht et al. 2015, S. 4

⁵¹ R. Frischknecht et al. 2015, S. 9-10

⁵² ESU-services 2012a, S. ii

⁵³ C.A.S. Hall et al. 2014, S. 143; Zu beachten ist, dass sich dieser Wert nicht spezifisch auf die Schweiz bezieht.

⁵⁴ INFRAS, econcept, Prognos 1996, S. 35-51

internationalen Wettbewerb, so sind für die Umweltdiskussion auch diese externen Kosten relevant.⁵⁵ Wie in diesem Kapitel bereits dargestellt, sind die negativen Auswirkungen der Kleinwasserkraftwerke eher gering. Im Gegensatz zu grösseren Wasserkraftanlagen treten bei Kleinwasserkraftwerken negative ökologische Auswirkungen, wie beispielsweise Schwall und Sunk, oft gar nicht erst auf. Des Weiteren haben Kleinwasserkraftwerke die zweitniedrigsten Treibhausgasemissionen (hinter grösseren Laufwasserkraftwerken), und den höchsten Energieerntefaktor.

Möchte man die bereits in diesem Modul diskutierten Umweltauswirkungen zusammenfassen und eine Quantifizierung vornehmen, kann die Methode der Umweltbelastungspunkte beigezogen werden. Im Rahmen einer Ökobilanz bzw. Lebenszyklusanalyse werden eine systematische Analyse eines Produktes während des gesamten Lebensweges vorgenommen und die Auswirkungen auf die Umwelt abgeschätzt. Es wird eine Sachbilanz von Produkten ermittelt und anschliessend eine Wertung der Emissionen und des Ressourcenverbrauchs vorgenommen. Die Methode der Umweltbelastungspunkte gewichtet die Umweltauswirkungen mittels Ökofaktoren, welche sich aus rechtlich oder politisch verankerten Umweltqualitätszielen ergeben.⁵⁶

Wie in Tabelle 4 ersichtlich ist, schneidet Wasserkraft mit Ausnahme von Pumpspeicherkraftwerken sehr gut ab, insbesondere im Vergleich zu nicht erneuerbaren Technologien der Stromerzeugung. Kleinwasserkraftwerke haben mit 11.8 Umweltbelastungspunkten je produzierte Kilowattstunde Strom eine der geringsten negativen Auswirkungen auf die Umwelt. Steinkohle hat mit 664.6 UBP/kWh die höchste Umweltbelastung der in der Tabelle aufgeführten Technologien.

Technologie	Gesamtumweltbelastung in UBP ¹ /kWh
Erneuerbare Energie	
Wasserkraft	
• Laufwasserkraft	9.8
• Speicherwasserkraft	25.5
• Speicherwasserkraft (zertifiziert ²)	11.1
• Kleinwasserkraft	11.8
• Pumpspeicherkraft	418.1
andere erneuerbare Energien	
• Sonne	135.7
• Wind	37.9
• Holz	201.7
• Biogas Landwirtschaft	178.9
• Biogas Industrie	312.6
• Geothermie	25.1
Nicht erneuerbare Energie	
Fossile Energieträger	
• Erdöl	558.8
• Erdgas	368.9
• Steinkohle	664.6
Kernenergie	
• Druckwasserreaktor	369.6
• Siedewasserreaktor	392.5

¹ Gesamtumweltbelastung gemäss der Methode der ökologischen Knappheit 2013.

² Der Unterschied zwischen der nicht-zertifizierten und der zertifizierten Speicherwasserkraft besteht darin, dass bei letzterer die Pumpen nicht berücksichtigt werden.

Tabelle 4: Umweltbelastungspunkte^{57, 58}

⁵⁵ K. Masuhr et al. 1999, S. 1

⁵⁶ BAFU und Öbu 2013, S. 16-18

⁵⁷ Tabelle INFRAS. Quelle: treeze Ltd. 2015, S. 20

⁵⁸ Im März 2017 ist folgende Studie publiziert worden mit teilweise neuen Zahlen zur Gesamtumweltbelastung je Technologie: treeze Ltd. 2016: Umweltbilanz Strommix Schweiz 2014, im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), S. 20.

Beim Vergleich mit Umweltbelastungspunkten muss beachtet werden, dass nicht alle Umweltauswirkungen quantifiziert und in Ökobilanzen einberechnet werden. Insbesondere lokale ökologische Aspekte wie beispielsweise Schwall und Sunk, Restwassermengen oder Durchwanderbarkeit von Gewässern sind in den Angaben in der Tabelle oben nicht berücksichtigt. Deshalb werden beispielsweise für das Label «naturemade star» nicht nur die Ökobilanzen von Wasserkraftwerken bestimmt, sondern auch die lokal-ökologischen Kriterien geprüft.⁵⁹ Es kann davon ausgegangen werden, dass Kleinwasserkraftwerke dabei tendenziell eher besser abschneiden, weil die negativen lokalen ökologischen Auswirkungen bei ihnen weniger auftreten.

Eine weitere Möglichkeit für den Vergleich der externen Effekte verschiedener Technologien bietet folgender Bericht, welcher die durch Treibhausgasemissionen verursachten externen Kosten ermittelt:

treeze Ltd 2013:

[Externe Kosten von Energiesystemen gemäss ECOPLAN](#),
im Auftrag des Amtes für Hochbauten Zürich

Eine erste Schätzung zu den externen Kosten von Wasserkraftanlagen wurde in den 1990er Jahren vorgenommen, allerdings wurde dabei nicht auf die Kleinwasserkraftwerke eingegangen:

K. Masuhr et al. 1993:

[Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Wasserkraft.](#)

Teilstudie zum Gesamtvorhaben «Externalitäten der Wärme- und Stromversorgung und Ermittlung von Energiepreiszuschlägen». Im Auftrag des Bundesamtes für Konjunkturfragen, Bundesamtes für Energiewirtschaft und Amtes für Bundesbauten.

Ein Forschungsprogramm des BFE (2015-2017) entwickelte ein Entscheidungsinstrument, mit dem sich die ökologische Sinnhaftigkeit von Bau und Umbau von Kleinwasserkraftwerken beurteilen lässt.

Carbotech 2017:

[«Entscheidungshilfe für die ökologische Standortwahl von Schweizer Kleinwasserkraftwerken» im Auftrag des Bundesamt für Energie BFE](#)

2. Soziale Aspekte

2.1 Nutzungskonflikte

2.1.1 Beschreibung der Nutzungskonflikte

Wenn es um Gewässer geht, stehen sich verschiedenste Interessen und Anspruchsgruppen gegenüber. Beispielsweise fördert der Bund die Kleinwasserkraft in der Schweiz in gewissem Umfang, während die Umweltverbände ihrerseits vor allem den Schaden für Natur und Landschaft durch Kleinwasserkraftwerke betonen.⁶⁰ Unter anderem wird von Umweltverbänden bemängelt, dass auch intakte Gewässer vom Ausbau bedroht sind und dass die Stromproduktion bei vielen Kleinwasserkraftwerken bescheiden ausfällt. Konflikte bei der Wasserkraft entzünden sich nicht alleine aufgrund des Umweltschutzes, sondern auch aufgrund der vielfältigen Ansprüche, denen Gewässer in der dicht besiedelten Schweiz ausgesetzt sind. Wie in Abbildung 8 ersichtlich ist,

⁵⁹ K. Flury, R. Frischknecht, R. Itten 2012, S. 35

⁶⁰ WWF 2016, S. 6

bestehen neben der wirtschaftlichen Nutzung des Wassers zur Energieproduktion grundsätzlich folgende Schutz- und Nutzungsinteressen:⁶¹

- Schutz des Wassers und der Gewässer vor Beeinträchtigungen für Tiere, Pflanzen, Ökosysteme, Landschaften und letztlich auch Schutz der menschlichen Gesundheit.
- Schutz vor den Gefahren des Wassers, insbesondere des Hochwassers.
- Nutzen des Wassers und der Gewässer für unterschiedliche Zwecke, namentlich als Trink-, Brauch- und Löschwasser, für die Landwirtschaft- und Nahrungsmittelproduktion, für die Energiegewinnung und für Kühlzwecke, für die Schifffahrt sowie die Erholung und Beschneidung.

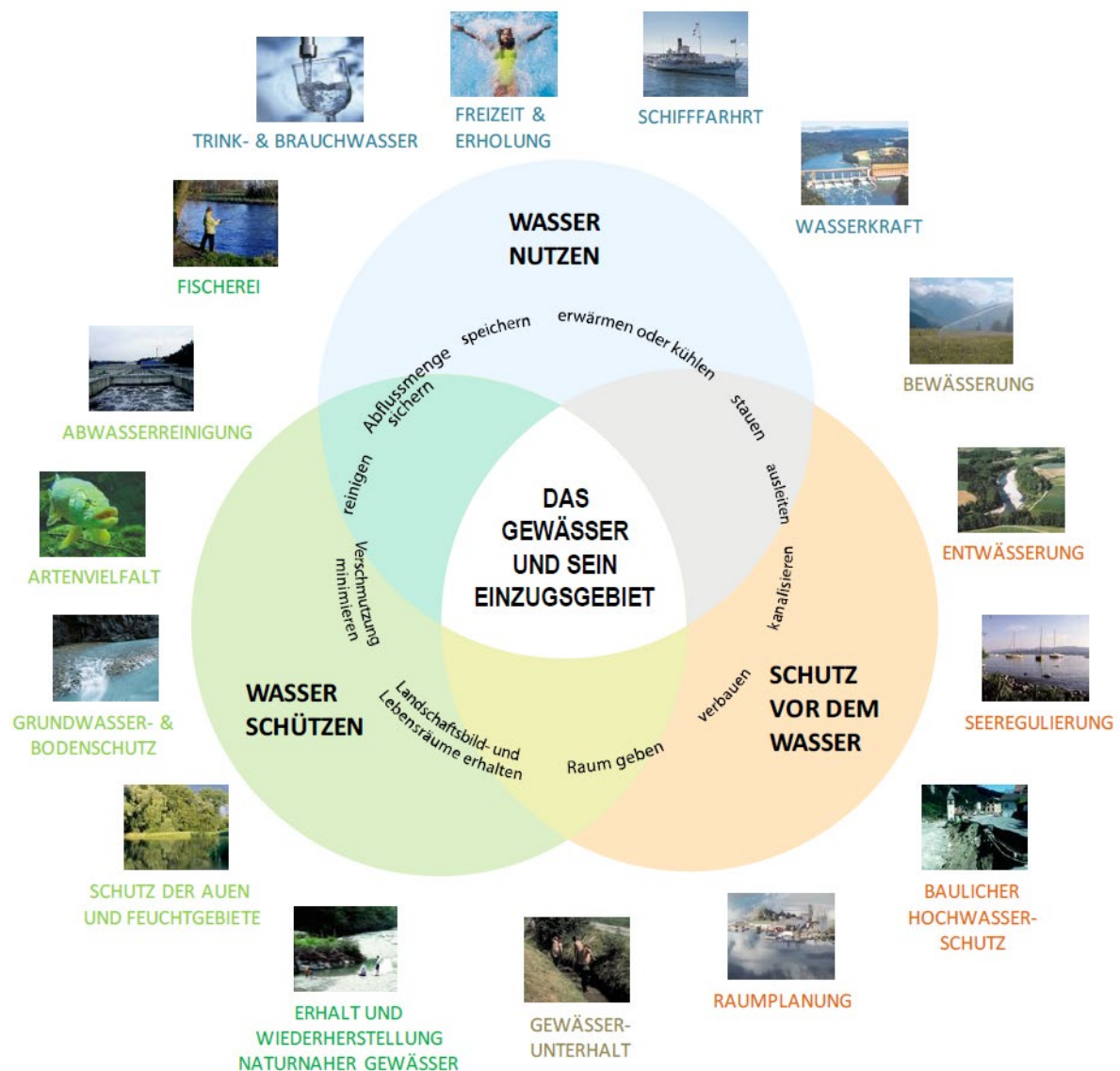


Abbildung 8 Gewässerfunktionen und das Gesamtbild der integralen Wasserwirtschaft⁶²

Die verschiedenen Interessen können auch zu Zielkonflikten auf Gesetzesebene führen. Aufgrund der Wachstumsziele für erneuerbare Energien und den zugehörigen Förderinstrumenten wie die Kostendeckende Einspeisevergütung KEV, wurden vermehrt Projekte für den Neubau, die Erweiterung

⁶¹ Bundesrat 2012, S. 16

⁶² Quelle: BWG 2003, S. 12-13

und die Reaktivierung von Kleinwasserkraftanlagen entwickelt.⁶³ Die Ziele für die Wasserkraft nach Energiegesetz widersprechen aber teilweise den Zielen für den Gewässerschutz sowie Arten-, Lebensraum- und Landschaftsschutz.⁶⁴

Modul IV Kapitel 1

Mehr Informationen zu wirtschaftlichen Interessen bei der Wassernutzung für Kleinwasserkraftwerke, wie beispielsweise das Schaffen von Arbeitsplätzen in Randregionen, finden sich in Modul III.

Modul III

Im Rahmen der Studie «Wasserkraftpotenzial der Schweiz» werden Resultate einer Umfrage zu den Nutzungskonflikten präsentiert:

BFE 2012:

[Wasserkraftpotenzial der Schweiz](#). Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050

Ausserdem wird auf die Version von 2019 verwiesen

BFE 2019:

[Wasserkraftpotenzial der Schweiz](#). Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050

Der Bundesrat hat in seinem Bericht zum Postulat 10.353⁶⁵ «Wasser und Landwirtschaft. Zukünftige Herausforderungen» auch die potenziellen Konflikte von Energienutzung und Gewässerschutz diskutiert.⁶⁶ Die Konflikte zwischen Energienutzung und anderen Nutzungen wie Landwirtschaft, Trink-, Brauch- und Löschwasser oder Beschneidung sind relativ gering und werden in der Regel lokal gelöst. Die Konflikte zwischen Energienutzung und Schutzinteresse bestehen oft bezüglich Restwasser, Schwall und Sunk sowie Beeinträchtigungen der Natur und der Landschaft. Wie in Kapitel 1 dieses Moduls dargestellt, entstehen bei der Kleinwasserkraft Konflikte bezüglich Schwall und Sunk oft erst gar nicht. Der potenzielle Konflikt mit Restwasserauflagen wurde bereits in den 90er Jahren im Rahmen von «Energie 2000» in einem Konfliktlösungsdialog zwischen Kraftwerksgesellschaften und Umweltorganisationen behandelt. Bei der Interessensabwägung zur Festlegung der Restwasserauflagen gemäss Art. 31-33 GSchG gibt es seit 1992 im Art. 32, Buchstaben c, GSchG die Möglichkeit im Rahmen einer räumlich begrenzten Schutz- und Nutzungsplanung als Ausnahmen von Art. 31, Abs. 1 tiefere Restwasservorschriften festzulegen, unter der Voraussetzung einer Kompensation durch erhöhten Schutz an einem anderen Ort im selben Planungssperimeter.⁶⁷

Neben Konflikten gibt es auch Situationen, die Vorteile für alle bieten. Wie bereits in Kapitel 1 dieses Moduls dargestellt, gibt es um die 101'000 künstliche Durchgangshindernisse in Schweizer Flüssen. Für die Wiederherstellung der Fischgängigkeit und deren Unterhalt fehlt oft das Geld. Da bei vielen dieser Schwellen die Nutzung des Wasserkraftpotenzials möglich ist, kann durch den Bau eines Kleinwasserkraftwerks gleichzeitig die ökologische Situation verbessert werden.⁶⁸

⁶³ EnergieSchweiz 2012, S. 36

⁶⁴ BAFU, BFE und ARE 2011, S. 8

⁶⁵ <https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaefte?AffairId=20103533>

⁶⁶ Bundesrat 2012, S. 45

⁶⁷ EnergieSchweiz 2012, S. 36

⁶⁸ Swiss Small Hydro 2016, S. 4

2.1.2 Optionen zur Minderung der Nutzungskonflikte

Nutzungskonflikte lassen sich nicht generell lösen. Allerdings gibt es auf Stufe der Strategien und regionalen Prioritätensetzung bereits Möglichkeiten über eine transparente und partizipative Interessensabwägung und Schwerpunktsetzung gewisse Konflikte zu vermindern.⁶⁹ Den Kantonen wird empfohlen eine übergeordnete Schutz- und Nutzungsstrategie zur Lenkung der Wasserkraftnutzung in ihren Fließgewässern zu erarbeiten.⁷⁰ Daraus lässt sich eine Strategie für den Umgang mit Kleinwasserkraftwerken ableiten.

BAFU, BFE und ARE haben folgende Vollzugshilfe im 2011 publiziert:

BAFU, BFE und ARE 2011:

[Empfehlung zur Erarbeitung kantonaler Schutz- und Nutzungsstrategien im Bereich Kleinwasserkraftwerke](#)

Durch eine Schutz- und Nutzungsstrategie soll eine sachgerechte Aufteilung der Fließgewässer erreicht werden, einerseits in Gewässer, in denen eine sinn- und massvolle Wasserkraftnutzung grundsätzlich möglich ist, und andererseits in Gewässer, in denen der Schutz Vorrang hat. Für die Beurteilung der jeweiligen Gewässer schlagen BAFU, BFE und ARE die Berücksichtigung einer Reihe von Schutz- und Nutzungsinteressen vor. Zur Interessenabwägung werden die Gewässer in vier Kategorien eingeteilt, wie in Abbildung 9 dargestellt.





Schutzinteresse	Ausschluss	schwarz	schwarz	schwarz	Legende	
	sehr wertvoll	rot	rot	gelb		 Schwarz: Ausschluss
	wertvoll	rot	gelb	grün		 Rot: Schutz
	übrige Gewässer	gelb	grün	grün		 Gelb: Vorbehalt
		kleines Potenzial	mittleres Potenzial	hohes Potenzial	 Grün: Interesse	
		Nutzungsinteresse				

Abbildung 9 Matrix zur Interessenabwägung von Schutz und Nutzung an Fließgewässern⁷¹

Viele Kantone haben bereits eine kantonale Schutz- und Nutzungsstrategie im Bereich der Wasserkraftnutzung erstellt oder sind daran eine solche zu erstellen. Allerdings gibt es auch Kantone, die sich explizit gegen ein Werkzeug oder eine Strategie entschieden haben, wie der Kanton Waadt, Appenzell Ausserrhoden, Appenzell Innerrhoden, Schwyz und Zug.⁷² Mit Ausnahme des Kantons Waadt sind die Anzahl Gesuche für Kleinwasserkraftwerke in diesen Kantonen auch gering.

Die wichtigsten Ergebnisse der Schutz- und Nutzungsstrategie von Fließgewässern sollen in den kantonalen Richtplan aufgenommen werden. Je nach Bedeutung der Kleinwasserkraft in einem

⁶⁹ Bundesrat 2012, S. 17

⁷⁰ BAFU, BFE und ARE 2011, S. 9

⁷¹ Quelle: BAFU, BFE und ARE 2011, S. 21

⁷² BG Ingenieure und Berater 2012, S. 4; Gemäss der Publikation hatte der Kanton Thurgau damals noch nicht entschieden, ob ein Instrument erarbeitet werden soll. Inzwischen wurde ein solches erarbeitet:

https://umwelt.tg.ch/public/upload/assets/12940/Wassernutzung_im_TG.pdf [29.11.2016]

Kanton bzw. in einer Region wird für die Behandlung der Kleinwasserkraftwerke im Richtplan eine angemessene Behandlungstiefe empfohlen.⁷³ Die Beurteilung der konkreten Zielkonflikte kann jedoch erst im Fall konkreter Projekte stattfinden. Zur Behandlung dieser Konflikte kommen die bestehenden raumplanerischen Verfahren und Baugesuchsverfahren zur Anwendung.⁷⁴

EnergieSchweiz 2012:

[Handbuch Kleinwasserkraftwerke – Informationen für Planung, Bau und Betrieb](#), Kapitel 4.2 zu den Konzessions- & Bewilligungsverfahren, Umweltverträglichkeitsprüfung

EnergieSchweiz 2016:

[Kleinwasserkraft Planung und Verfahren](#). Leitfaden für Bauherren

2.2 Denkmalschutz

Alte Kleinwasserkraftwerke haben in gewissen Fällen einen historischen Wert als Zeugen der frühindustriellen Wasserkraftnutzung.⁷⁵ Der Bundesrat vertritt die Auffassung, dass kleine historische Wasserkraftwerke bzw. alte Mühlen, auf Grund ihres kulturellen Wertes so weit wie möglich erhalten werden sollen.⁷⁶ In einer 2004 veröffentlichten Untersuchung wurden in acht Kantonen (BE, BS, GE, JU, NE, OW, TG, ZH), für welche die erforderlichen Daten erhoben werden konnten, 309 historisch wertvolle Kleinstwasserkraftwerke identifiziert.⁷⁷ Die Restaurierung solcher Anlagen kann durch die kantonale Denkmalpflege unterstützt werden.⁷⁸ Beispiele zeigen, dass eine Renovierung eines Kleinwasserkraftwerkes und die damit verbundenen Einnahmen den Denkmalschutz oft erst ermöglichen. Grundsätzlich müssen in der Projektplanung von Kleinwasserkraftwerken Denkmalschutz und allfällige denkmalschützerische Gutachten miteingeplant werden.⁷⁹

Aufgrund des Postulates UREK NR 01.3211 der nationalrätlichen Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie wurde untersucht, ob die Restwassersanierung gemäss Art. 80 des GSchG⁸⁰ zur Einstellung von Wasserkraftanlagen führt, welche aus Sicht des Denkmalschutzes erhaltenswert sind.⁸¹ Der Anteil von Kleinwasserkraftanlagen, bei welchen ein Konflikt überhaupt möglich ist, beläuft sich auf rund 10% der aus denkmalpflegerischer Sicht relevanten Objekte.⁸² Es konnte gezeigt werden, dass Art. 80 GSchG den kantonalen Behörden einen genügend grossen Beurteilungsspielraum lässt. Dieser ermöglicht es Lösungen zu finden, welche die Interessen des Gewässerschutzes, des Natur- und Landschaftsschutzes sowie auch des Denkmalschutzes genügend berücksichtigen.⁸³ Da ein Konflikt nicht in jedem Fall ausgeschlossen werden kann, wird bei einer Sanierung oder Neukonzession von Wasserkraftanlagen von historischem Interesse der frühzeitige Einbezug der kantonalen Fachstellen für Denkmalpflege empfohlen.⁸⁴

⁷³ BAFU, BFE und ARE 2011, S. 24

⁷⁴ BAFU, BFE und ARE 2011, S. 20

⁷⁵ EnergieSchweiz 2012, S. 61

⁷⁶ Bundesrat 2004, S. 6634

⁷⁷ Bundesrat 2004, S. 6635

⁷⁸ EnergieSchweiz 2012, S. 61

⁷⁹ EnergieSchweiz 2012, S. 16

⁸⁰ siehe Modul IV, Kapitel 1.2.2

⁸¹ BUWAL 2004, S. 6

⁸² BUWAL 2004, S. 6

⁸³ BUWAL 2004, S. 31 und Bundesrat 2004, S. 6636

⁸⁴ BUWAL 2004, S. 31

Informationen zum Thema finden sich in:

BUWAL 2004:

Restwassersanierung bei Kleinwasserkraftwerken von historischem Interesse, Umwelt-Materialien Nr. 190 Gewässerschutz, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.

Bundesrat 2004:

[Bericht des Bundesrates über die Restwassersanierung bei historisch wertvollen Wasserkraftanlagen](#)

Modul VI Beispiel 08

Informationen zur Berücksichtigung von Denkmalschutz in der Projektplanung von Kleinwasserkraftwerken:

EnergieSchweiz 2012:

[Handbuch Kleinwasserkraftwerke – Informationen für Planung, Bau und Betrieb](#)

EnergieSchweiz 2016:

[Kleinwasserkraft Planung und Verfahren](#). Leitfaden für Bauherren. Kapitel 4.3.5 Kriterium «Denkmalschutz»

2.3 Öffentlichkeitsarbeit

Öffentlichkeitsarbeit ist auf zwei Ebenen wichtig: Einerseits ist sie relevant für Bauherren und Investoren in der Projektplanung von konkreten Kleinwasserkraftwerken und andererseits für die Politik und Interessenverbände in der Formulierung von Rahmenbedingungen für Kleinwasserkraftwerke.

Da die Öffentlichkeitsarbeit in der Projektplanung von Kleinwasserkraftwerken wesentlich von der Grösse und dem Standort des Projektes abhängt, ist es nicht möglich allgemeingültige Anleitungen zu geben. Grundsätzlich ist es aber wichtig, dass ein Konzept für die Information und den Einbezug des Umfeldes für alle kritischen Projektphasen erstellt wird.⁸⁵ Dies sollte bereits früh in der Projektplanung geschehen, damit ein rechtzeitiges Reagieren möglich ist. Insbesondere im Hinblick auf die Bewilligungsphasen ist es wichtig, frühzeitig zu entscheiden, wie die Öffentlichkeit informiert werden soll und inwiefern mögliche Betroffene und Opponenten wie Grundeigentümer und Umweltverbände eingebunden werden sollen.⁸⁶

Für die allgemeine Projektplanung von Kleinwasserkraftwerken, siehe:

Modul II Kapitel 4 Planung /Planungsprozess

EnergieSchweiz 2016:

[Kleinwasserkraft Planung und Verfahren](#). Leitfaden für Bauherren

⁸⁵ EnergieSchweiz 2012, S. 13

⁸⁶ EnergieSchweiz 2016, S. 74

Öffentlichkeitsarbeit für die politische Diskussion wird von verschiedenen Akteuren betrieben. Bund und Kantone leisten unter anderem über Medienarbeit, Fachtagungen und Ausstellungen Öffentlichkeitsarbeit, welche indirekt zur Förderung von Kleinwasserkraftwerken beitragen.⁸⁷ Siehe hierzu beispielsweise:

[Kleinwasserkraft Pressemappe von EnergieSchweiz](#)

[Newsletter Kleinwasserkraft von EnergieSchweiz](#)

Swiss Small Hydro, der Schweizer Verband der Kleinwasserkraft, stellt ebenfalls Informationen für die Öffentlichkeitsarbeit zur Verfügung. Siehe hierzu beispielsweise die Argumentation für Kleinwasserkraft, ihre Broschüre zu den Kleinstwasserkraftwerken und die dazugehörigen Erläuterungen

[10 Gründe für Kleinstwasserkraftwerke](#)

[Erläuterungen zur 300 kW Broschüre](#)

[Argumentation Pro Kleinwasserkraft](#)

Umweltverbände bieten ebenfalls Informationen für die politische Diskussion zu Kleinwasserkraftwerken. Siehe hierzu beispielsweise:

[Faktenblatt der Umweltallianz](#)

Viele Kleinwasserkraftwerke können auch von der Öffentlichkeit besucht werden. Dazu kann man sich an die [Infostelle Kleinwasserkraft](#) wenden, welche von EnergieSchweiz unterstützt wird.

⁸⁷ EnergieSchweiz 2012, S. 2

Glossar

Abfluss	Die in einer Region verfügbaren erneuerbaren Wasservorkommen umfassen das abfließende Wasser in Bächen und Flüssen. Dieser Abfluss ist das Resultat der regionalen Wasserbilanz, welche die Niederschläge, die Verdunstung und die Speicheränderungen berücksichtigt: $\text{Abfluss} = \text{Niederschlag} - \text{Verdunstung} - \text{Speicheränderungen}$
Abflussregime	Das Abflussregime beschreibt den mittleren Verlauf des Abflusses innerhalb eines Jahres. Zur Berechnung der Regimes wird für jeden Monat jeweils der Quotient aus monatlichem Mittelwert und jährlichem Mittelwert gebildet. Das Abflussregime liefert wichtige Informationen für die Nutzung von Gewässern und damit auch die Stromproduktion.
Benthos	Die Gesamtheit aller in der Bodenzone eines Gewässers, dem Benthos, vorkommenden Lebewesen. Das Benthos schließt sowohl die festsitzenden (sessilen) Organismen als auch die kriechenden, laufenden oder vorübergehend schwimmenden (vagilen) Bodentiere ein
Biotop	Ein bestimmter Lebensraum einer Lebensgemeinschaft (Biozönose) in einem Gebiet.
Eutrophierung	Eutroph kommt aus dem Griechischen und bedeutet "gut ernährt". Damit wird die Zunahme an Nährstoffen, besonders an Phosphor- und Stickstoffverbindungen in einem Gewässer und damit verbundenes übermäßiges Wachstum von Wasserpflanzen (z. B. Algen, Laichkraut) beschrieben. Die Folge sind auch fortschreitender Uferbewuchs, vermehrter Bodenschlamm-Bildung, welche letztendlich zur allmählichen Verlandung stehender Gewässer führen können.
Genetische Verarmung	Jede Art, jedes Individuum stellt einen Speicher genetischer Informationen (Gene) dar. Die Menge der Gene pro Individuum schwankt hierbei erheblich. Die Gesamtheit aller Gene einer Art wird als „Genpool“ bezeichnet. Da sich jedes Individuum einer höheren Art vom anderen hinsichtlich seiner genetischen Variabilität unterscheidet, schrumpft der Genpool bereits bei einer abnehmenden Populationsgröße und nicht erst beim Aussterben einer ganzen Art. Ein vom Menschen beschleunigtes Artensterben führt also unweigerlich zu einer genetischen Verarmung.
Kieslaicher	Fischarten, die ihren Laich auf dem Gewässergrund in Geröll und Kies ablegen und dann mit Steinen zudecken. Typische Beispiele sind Forellenarten und Äschen.
Kolmation	Wenn die Wasserströmung zu gering ist, um die Feinsedimente vollständig abzuschwemmen, lagern sich diese auf der Gewässersohle ab und füllen die Lücken. Das Material verfestigt sich nach und nach. Der gewässerökologisch wichtige Lückenraum geht verloren.
Mortalität	Die Sterblichkeit oder Sterberate bezeichnet die Anzahl der Todesfälle bezogen auf die Gesamtanzahl der Individuen oder, bei der spezifischen Sterberate, bezogen auf die Anzahl der betreffenden Population, meist in einem bestimmten Zeitraum
Verdriftung	Die passive Ausbreitung von Organismen durch das Wasser.

Bibliographie

- BAFU 2007: Reaktivierung des Geschiebehaushalts in Schweizer Fliessgewässern, Massnahmen und Kosten.
- BAFU 2009: Strukturen der Fliessgewässer in der Schweiz, Zustand von Sohle, Ufer und Umland (Ökomorphologie); Ergebnisse der ökomorphologischen Kartierung. Stand: April 2009. Umwelt-Zustand Nr. 0926.
- BAFU 2012a: Sanierungs Schwall-Sunk, Strategische Planung, Umweltvollzug Nr. 1203.
- BAFU 2012b: Revitalisierung Fliessgewässer, Strategische Planung, Umweltvollzug Nr. 1208.
- BAFU 2012c: Sanierung Geschiebehaushalt. Umweltvollzug Nr. 1226.
- BAFU 2012d: Wiederherstellung der Fischauf- und abwanderung bei Wasserkraftwerken. Checkliste best practice.
- BAFU 2012e: Wiederherstellung der Fischwanderung, Strategische Planung; Vollzugshilfe.
- BAFU 2012f: Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro).
- BAFU 2012g: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz – Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder.
- BAFU 2015: Restwassersanierung nach Art. 80 ff. GSchG: Stand Ende 2014 und Entwicklung seit Ende 2012.
- BAFU 2016: Zustand der Schweizer Fliessgewässer, Ergebnisse der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) 2011-2014.
- BAFU, BFE und ARE 2011: Empfehlung zur Erarbeitung kantonaler Schutz- und Nutzungsstrategien im Bereich Kleinwasserkraftwerke.
- BAFU und Öbu 2013: Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz.
- W. Baumgartner und G. Doka 1996: Energiebilanzen von Kleinwasserkraftwerken. Energierückzahldauer – Energieerntefaktor. Erstellt im Rahmen des Projekts DIANE 10 Klein-Wasserkraftwerke. Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern.
- BFE 2007: Die Energieperspektiven 2035 – Band 1. Synthese Modellrechnungen, Vergleiche, Bewertungen und Herausforderungen.
- BFE 2012: Wasserkraftpotenzial Schweiz. Abschätzung des Ausbaupotentials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050.
- BFE 2019: Wasserkraftpotenzial der Schweiz. Abschätzung des Ausbaupotentials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050
- BG Ingenieure und Beratung 2012: Übersicht über kantonale Strategien und Werkzeuge zur Nutzung der Wasserkraft. Wasser-Agenda 21 in Zusammenarbeit mit BAFU und BFE.
- BUWAL 1991: Die Sanierung nach Art. 80ff GSchG vom 24.1.1991; Schriftenreihe Umwelt Nr. 163.
- BUWAL 1997: UVP von Wasserkraftanlagen, Massnahmen zum Schutz der Umwelt; Mitteilungen zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP).
- BUWAL 2004: Restwassersanierung bei Kleinwasserkraftwerken von historischem Interesse, Umwelt-Materialien Nr. 190 Gewässerschutz, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- BUWAL 2004: Restwassermengen – Was nützen sie dem Fliessgewässer? Schriftenreihe Umwelt Nr. 358.
- Bundesrat 2004: Bericht des Bundesrates über die Restwassersanierung bei historisch wertvollen Wasserkraftanlagen (in Erfüllung des Postulats 01.3211 vom 10. April 2001 der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Nationalrates) vom 27. Oktober 2004.

- BWG 2003: Eintauchen in die Wasserwirtschaft. Ergründen Sie die spannende Welt der Schweizer Wasserwirtschaft.
- Carbotech 2017: [«Entscheidungshilfe für die ökologische Standortwahl von Schweizer Kleinwasserkraftwerken»](#)
- C.A.S. Hall et al. 2014: EROI of different fuels and the implications for society, Energy Policy, Volume 64, S. 141-152.
- DIANE 1996: Kleinwasserkraftwerke und Gewässerökologie.
- DIANE 1997a: Fische und Kleinwasserkraftwerke, Kostengünstige Aufstiegshilfen für Fische und Kleinlebewesen.
- DIANE 1997b: Vernetzung bei Kleinwasserkraftwerken. Untersuchung über das Gewässerkontinuum für Fische und Kleinlebewesen.
- EAWAG 2001: Ökostrom – Zertifizierung für Wasserkraftanlagen; Konzepte, Verfahren, Kriterien.
- EnergieSchweiz 2010: Pressemappe Kleinwasserkraft, Bundesamt für Energie.
- EnergieSchweiz 2012: Handbuch Kleinwasserkraftwerke, Informationen für Planung, Bau und Betrieb, Bundesamt für Energie.
- EnergieSchweiz 2016: Kleinwasserkraft, Planung und Verfahren, Leitfaden für Bauherren, Bundesamt für Energie.
- ESU-Services 2012a: Treibhausgas-Emissionen der Schweizer Strommixe, Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt.
- ESU-Services 2012b: Life Cycle Inventories of Hydroelectric Power Generation, im Auftrag von Öko-Institut.
- ESU-Services und PSI 2012: Umweltauswirkungen der Stromerzeugung in der Schweiz, v1.4, Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Energie.
- K. Flury, R. Frischknecht, R. Itten 2012: Erkenntnisse aktueller Ökobilanzen zu Strom aus Wasserkraft. Stromtransport und Zulieferpumpen prägen die Bilanz. In: Technologie Wasserkraft Bulletin 2/2012, S. 33-36.
- R. Frischknecht et al. 2015: Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems. International Energy Agency (IEA) PVPS Task 12, Report T12-04:2015.
- ISKB/ADUR 2015a: 10 Gründe für kleine Wasserkraftwerke, Fakten zu den 300 kW Wasserkraftwerken, online: http://swissmallhydro.ch/wp-content/uploads/2015/12/Pro-Kleinwasserkraftwerke_300-kW.pdf [17.11.16].
- ISKB/ADUR 2015b: Broschüre 300 Kilowatt Kraftwerke, online: <http://swissmallhydro.ch/wp-content/uploads/2015/12/Erlaeuterungen-zur-300-kW-Broschuere.pdf> [17.11.16].
- N. Kittner et al. 2016: Energy return on investment (EROI) of mini-hydro and solar PV systems designed of a mini-grid, in: Renewable Energy, Volume 99, S. 410-419.
- K. Masuhr et al. 1993: Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Wasserkraft. Teilstudie zum Gesamtvorhaben «Externalitäten der Wärme- und Stromversorgung und Ermittlung von Energiepreiszuschlägen». Im Auftrag des Bundesamtes für Konjunkturfragen, Bundesamtes für Energiewirtschaft und Amtes für Bundesbauten.
- Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie (SGHL) und Hydrologische Kommission CHy 2011: Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung. Synthesebericht. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Nr. 38.
- Swiss Small Hydro 2016: Argumentation Pro Kleinwasserkraft, online: <http://swissmallhydro.ch/wp-content/uploads/2016/06/Argumentation-Kleinwasserkraft-D-2016.pdf> [17.11.16].
- Swiss Small Hydro 2019: [Medienmitteilung zur Publikation der BFE Potenzialstudie Wasserkraft](#): Die Ziele der Energiestrategie 2050 dürften verfehlt werden!

treeze Ltd 2013: Externe Kosten von Energiesystemen gemäss ECOPLAN, im Auftrag des Amtes für Hochbauten Zürich.

treeze Ltd 2014: Life Cycle Inventories of Electricity Mixes and Grid, Version 1.3, im Auftrag vom Paul Scherrer Institut.

treeze Ltd 2016: Umweltbilanz Strommix Schweiz 2014, im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).

Umweltallianz 2016: Faktenblatt Wasserkraft, online: http://www.umweltallianz.ch/fileadmin/user_upload/Energiezukunft/Faktenblaetter/Faktenblatt_Wasserkraft.pdf [21.7.17.]

L. von Moos und H. Leutwiler 1997: Gesamtschau Kleinwasserkraftwerke. Erstellt im Rahmen des Projekts DIANE 10 Klein-Wasserkraftwerke. Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern.

D. Weissbach et al. 2013: Energy intensities, EROIs, and energy payback times of electricity generating power plants, in: Energy, Volume 52, S. 210-221.

WWF und Pro Natura 2008: Kriterienkatalog für ökologische Wasserkraftwerke.

WWF 2016: Wie gesund sind unsere Gewässer: Zustand und Schutzwürdigkeit der Schweizer Fließgewässer. Ergebnisse und Handlungsempfehlungen aufgrund des Berichtes «Ausscheidung wertvolle Fließgewässer».

EnergieSchweiz

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