Erkenntnisse aktueller Ökobilanzen zu Strom aus Wasserkraft

Autor(en): **Flury, Karin / Frischknecht, Rolf / Itten, René**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **103 (2012)**

Heft 2

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-857271

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Erkenntnisse aktueller Ökobilanzen zu Strom aus Wasserkraft

Stromtransport und Zulieferpumpen prägen die Bilanz

Im Rahmen der Neuorientierung der Schweizer Energiepolitik – Stichwort «Energiestrategie 2050» des Schweizerischen Bundesrats – wird die Wasserkraft als älteste und mit Abstand wichtigste Technologie auf Basis erneuerbarer Energien eine wichtige Rolle spielen. Aktuelle Ökobilanzen ermöglichen nun präzisere Aussagen zur Emission von Treibhausgasen durch Wasserkraftwerke und zu deren Gesamtumweltbelastung.

Karin Flury, Rolf Frischknecht, René Itten

In einem Forschungsprojekt wurden die Ökobilanzdaten der Stromerzeugung mit Wasserkraft aktualisiert und erweitert. Bei der Aktualisierung der Sachbilanzdaten wurden insbesondere neue wissenschaftliche Erkenntnisse in Bezug auf die Emission von Treibhausgasen aus Stauseen einbezogen. Die Rolle der Speicherpumpen wurde neu beurteilt und bei der Bilanzierung von Strom aus Speicherkraftwerken als Betriebsaufwand einbezogen. Auch konnten bislang nicht berücksichtigte Materialien, wie insbesondere Kupfer, neu quantifiziert und in die Bilanzen aufgenommen werden. Reine Pumpspeicherkraftwerke (Umwälzkraftwerke) und deren Umweltauswirkungen werden in diesem Artikel nicht besprochen. Die hier gezeigten Ergebnisse gelten nicht für derartige Anlagen.

Ökobilanz von Strom aus Wasserkraft

In einer Ökobilanz werden die Umweltauswirkungen von Produkten von der Gewinnung der Ressourcen über die Herstellung von Komponenten, den Bau der Infrastrukturen, den Betrieb der Anlage bis hin zu Rückbau und Entsorgung der Anlage analysiert und quantifiziert. Die Materialisierung der Speicher- und Laufwasserkraftwerke basiert zu grossen Teilen auf einer Erhebung von Mitte der neunziger Jahre [3]. Damals wurden die verfügbaren Kenndaten für alle grossen Schweizer Kraftwerke zusammengestellt. Diese Daten wurden ergänzt mit Informationen aus neueren Publikationen zu Ökobilanzen von Strom aus Wasserkraftwerken in der Schweiz und in Schweden. Auf Basis dieser Datengrundlage wurden ein durchschnittliches Speicherkraftwerk und ein durchschnittliches Laufwasserkraftwerk definiert.

Kleinwasserkraftwerke werden unterschieden in Anlagen, die in eine Bewässerungsanlage oder in die Trinkwasserversorgung integriert sind, und in eigenständige Anlagen. Neben eigenen Recherchen wurden hier Informationen aus Untersuchungen Ende der neunziger Jahre verwendet. In Tabelle 1 sind die Charakteristika der bilanzierten Wasserkraftwerke aufgeführt. Diese repräsentieren einen Durchschnitt der in der Untersuchung berücksichtigten Wasserkraftanlagen. Es handelt sich also um synthetische Anlagen.

Erweiterte Materialinformationen

Daten zum Materialbedarf von Wasserkraftanlagen wurden revidiert und zum Teil mit Informationen aus neuen Publikationen ergänzt. Beton, Kies und Zement sind die massenmässig wichtigsten Baustoffe, wobei bei den bilanzierten Kraftwerken oftmals entweder die Menge Beton oder die Mengen Zement und Kies bekannt sind (Tabelle 2). Im Weiteren werden Stahl in unterschiedlichen Qualitäten, Kupfer und weitere, hier nicht aufgeführte Baustoffe und Materialien eingesetzt. Bei der Ermittlung der spezifischen Materialbedarfe wurde der unterschiedlichen Lebensdauer der Kraftwerkskomponenten Rechnung getragen.

Treibhausgas-Emissionen aus Stauseen

Zu Treibhausgas-Emissionen aus Speicherseen von Wasserkraftwerken wurden in den letzten Jahren an der Eawag ausgiebige Untersuchungen durchgeführt und deren Ergebnisse publiziert [4, 5]. Gemäss diesen Untersuchungen und umgerechnet auf die Stromproduktion liegen die Treibhausgas-Emissionen pro kWh Strom aus Speicherkraftwerken bei

		Speicher-kraftwerk	Laufwasser-kraftwerk	Kleinwasser-kraftwerk	Kleinwasser-kraftwerk, integriert
Anlagegrösse	MW	95	8,6	0,18	0,19
Ertrag	GWh	190	38,5	1,1	1,2
Lebensdauer	Jahre	150	80	70	70

Tabelle 1 Charakterisierung der hier diskutierten Wasserkraftwerkstypen.

	Speicher-kraftwerk	Laufwasser-kraftwerk	Kleinwasser-kraftwerk	Kleinwasser-kraftwerk, integriert
Kies	30	16	14	6,4
Zement	3,4	1,9	0	0
Beton	–	–	18	1,5
Stahl	0,2	0,56	0,66	0,04
Kupfer	0,01	0,01	0,0027	0,0027

Tabelle 2 Spezifischer Materialbedarf (Auszug, gerundete Werte, in g/kWh) der bilanzierten Wasserkraftwerke.

rund 1,4 g CO_2-eq/kWh. Bei den Laufwasserkraftwerken spielt es eine Rolle, ob diese einen Stausee aufweisen oder nicht. Bei Laufwasserkraftwerken mit Stausee, die 2 % der gesamten Stromproduktion in Laufwasserkraftwerken beisteuern, liegen die Methan-Emissionen bei 0,67 g pro kWh. Bezogen auf die gesamte Produktion aller Laufwasserkraftwerke ergibt dies einen Emissionsfaktor von 0,33 g CO_2-eq/kWh.

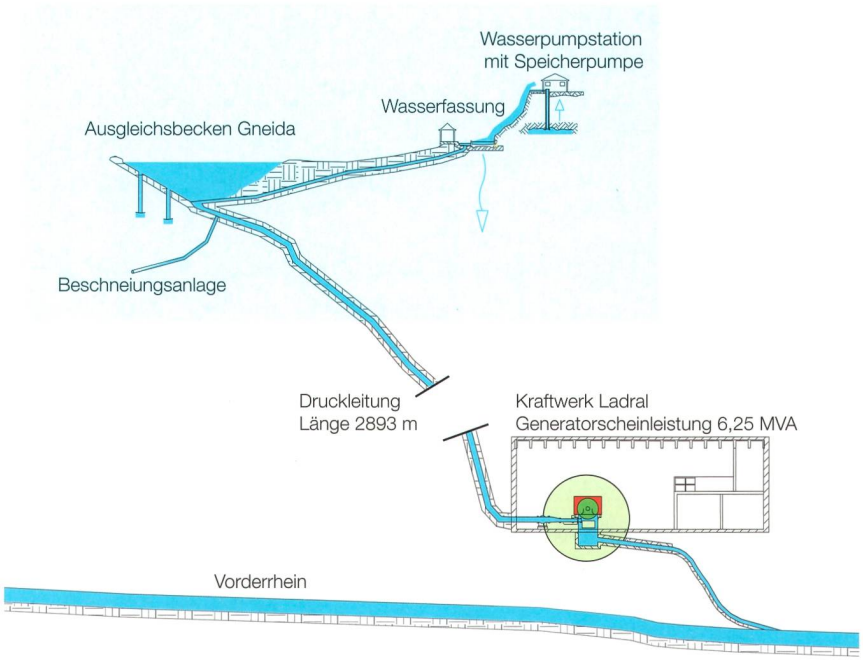
Strombedarf der Pumpen

Ein weiterer wichtiger Aspekt stellt die Modellierung des Strombedarfs der Speicherpumpen dar. Hierbei handelt es sich um diejenigen Pumpen, die einem Stausee Wasser aus einem anderen Einzugsgebiet oder aus tieferen Lagen zuführen. In der Surselva ist beispielsweise das Kraftwerk Ladral in Betrieb, das auch hochgepumptes Wasser aus dem Gebiet «Plaun da Ladral» turbiniert (Bild 1). Der Kraftwerkskomplex Grand Dixence betreibt in Nachbartälern insgesamt 4 Pumpstationen, um das Wasser auf die Höhe des Hauptstollens zu leiten.

Auf Basis der Informationen in der Elektrizitätsstatistik [1] und der Statistik der Wasserkraftanlagen in der Schweiz [6] lässt sich ableiten, dass im Jahre 2010 von insgesamt 2494 GWh Pumpenstrombedarf rund zwei Drittel (1657 GWh) für Pumpspeicherpumpen, und ein Drittel (835 GWh) für Speicherpumpen (Zulieferpumpen) eingesetzt wurden. Letzteres sind 4,4 % bezogen auf die Bruttoproduktion von Speicherkraftwerken in der Höhe von 18 991 GWh. Für Speicherpumpen wurden im Jahr 2010 also 0,044 kWh Strom pro kWh erzeugten Strom eingesetzt. Der Strom für die Speicherpumpen wird meist vom Netz bezogen und damit als Betriebsaufwand verbucht. In einzelnen Fällen stammt der Pumpenstrom aus dem Kraftwerk selbst und verringert damit die Nettostromproduktion. Bild 2 zeigt ein vereinfachtes und unvollständiges Flussdiagramm der Ökobilanz von Strom aus Speicherkraftwerken.

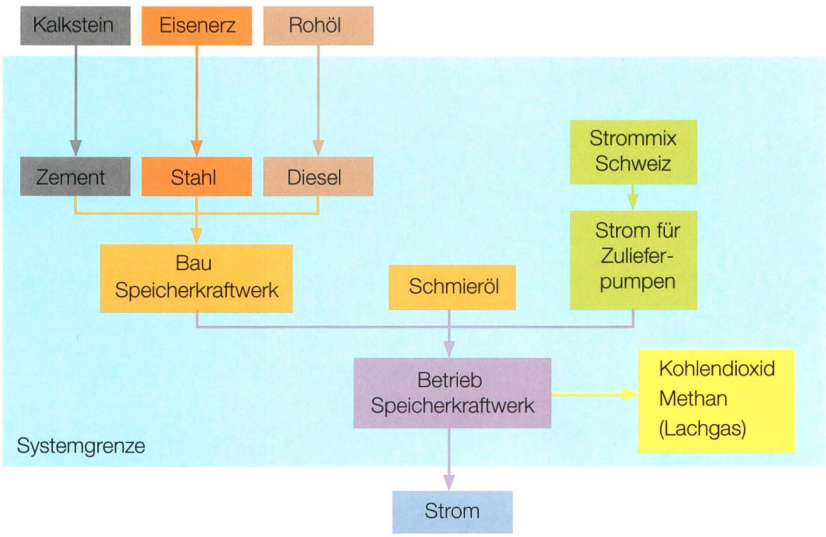
Für die Stromkennzeichnung und für zertifizierte Stromprodukte darf nur Wasserkraftstrom ausgewiesen werden, der mit natürlichen Zuflüssen erzeugt wurde. Für den Schweizer Liefermix und für zertifizierte Stromprodukte, die auf einer Nettobetrachtung basieren, wird deshalb der Strombezug für Speicherpumpen nicht bei der Wasserkraft berücksichtigt, sondern zusammen mit dem Pumpspeicherstrom als Betriebsaufwand der nationalen Stromversorgung verbucht.

Bild 3 zeigt die spezifischen Treibhausgas-Emissionen der untersuchten Wasserkraftwerke, und die Anteile der verschiedenen Prozessstufen der Wasserstromproduktion.



Repower AG

Bild 1 Wasserkraftwerk Ladral. Oben sieht man die Pumpstation mit Zuführpumpe, die 100 l/s Wasser fördert.



ESU Services

Bild 2 Flussdiagramm «Strom aus Speicherkraftwerken» (unvollständig). Lachgasemissionen treten im Betrieb von alpinen Speicherkraftwerken nicht auf. Der Strom für Zulieferpumpen wird meist als Betriebsaufwand verbucht und vom Netz bezogen.

Ergebnisse

Die Treibhausgas-Emissionen der Bereitstellung von Strom mit Wasserkraftwerken sind vergleichsweise tief und schwanken zwischen 2 und rund 11 g CO_2-eq/kWh ab Klemme Kraftwerk beziehungsweise zwischen 9 und gut 19 g CO_2-eq/kWh geliefert an die Niederspannungssteckdose (Bild 3).

Bei den Speicherkraftwerken werden rund 42 % der Treibhausgas-Emissionen durch Verluste sowie Bau und Betrieb des Stromnetzes verursacht. Von den restlichen 58 % stammen etwa

die Hälfte der Emissionen vom Pumpenstrombedarf, drei Achtel der Emissionen werden durch den Bau und die Baustoffherstellung verursacht, und ein Achtel der Emissionen stammt aus den Stauseen.

Die kumulierten Treibhausgas-Emissionen von Laufwasserkraftwerken sind tiefer als diejenigen der Speicherkraftwerke. Bei Laufwasserkraftwerken mit einem Stausee sind zwar ebenfalls Methan-Emissionen zu beobachten. Dies betrifft aber lediglich 2 % ihrer Stromproduktion. Bei den Kleinwasserkraftwerken zeigt sich, dass sich eine kombinierte Nutzung des Wassers zur Bewässerung, zur Wasserversorgung und zur Stromproduktion mindernd auf die Treibhausgasemissionen auswirkt. Der CO_2-Fussabdruck von Niederspannungsstrom aller Schweizer Wasserkraftwerke (43 % Laufwasserkraftwerke, 57 % Speicherkraftwerke) liegt im Durchschnitt bei gut 12 g CO_2-eq/kWh (Nettobetrachtung) beziehungsweise knapp 16 g CO_2-eq/kWh bei Einbezug des Strombedarfs der Speicherpumpen (Bruttobetrachtung).

Zum Vergleich: Der an die Niederspannungs-Steckdose gelieferte Schweizer Strommix (Liefermix gemäss BFE-Erhebung ohne den mit separaten Produkten verkauften Strom aus erneuerbaren Energien) verursacht Treibhausgas-Emissionen in der Höhe von rund 149 g CO_2-eq/kWh, also 9,5 mal mehr.

Gesamtumweltbelastung

Ein ähnliches Bild zeigt die Gesamtumweltbelastung, ausgedrückt in Umweltbelastungspunkten, auch wenn die Unterschiede zwischen den verschiedenen Kraftwerkstypen geringer sind. Die Umweltauswirkungen des Verteilnetzes machen hier den mit Abstand grössten Anteil aus. Gegenüber den Umweltauswirkungen des Schweizer Strommix (Liefermix gemäss BFE-Erhebung ohne den mit separaten Produkten verkauften Strom aus erneuerbaren Energien: 460 Umweltbelastungspunkte) liegen die Umweltauswirkungen von Strom aus Wasserkraft um mehr als 80 % tiefer.

Wir möchten an dieser Stelle betonen, dass Ökobilanzen nicht alle Umweltauswirkungen der Wasserkraftnutzung quantifizieren können. Insbesondere lokale ökologische Aspekte wie Restwassermengen, Durchwanderbarkeit von Gewässern, Schwall-Sunk-Betrieb usw. bleiben in Ökobilanzen unberücksichtigt. Deshalb verlangt beispielsweise das Label «naturemade star» eine zweiteilige Prüfung. Einerseits muss die Ökobilanz des Wasserkraftwerks stimmen. Anderseits werden bei jedem einzelnen Kraftwerk strenge lokal-ökologische Kriterien geprüft. Nur bei einer erfolgreichen Prüfung in beiden Bereichen wird einem Kraftwerk das «naturemade star» Label verliehen.

Strom aus Wasserkraft im Schweizer Strommix

Mit einer Nettoproduktion von rund 34,3 TWh und einem Anteil von knapp 54 % an der Schweizer Stromproduktion [1] spielt die Wasserkraft nach wie vor die bedeutendste Rolle in der Schweizerischen Elektrizitätswirtschaft. Im Zuge der Stromliberalisierung finden sich jedoch vermehrt auch Abnehmer im Ausland, welche Strom aus erneuerbaren Quellen kaufen, um die Klimabilanz von Unternehmen beziehungsweise deren Produkte zu verbessern. Nach der letzten, 2009 durchgeführten, BFE-Erhebung der Herkunftsnachweise lag der Anteil der Schweizer Wasserkraft im Jahr 2007 im Schweizer Stromversorgungsmix bei rund 18,1 TWh, was knapp einem Drittel der an Schweizer Kunden gelieferten Elektrizität entspricht [2]. Ein Viertel des gelieferten Wasserkraftstroms wurde mit zertifizierten Stromprodukten verkauft, womit im Reststrommix 2007 noch 13,5 TWh Wasserkraft verblieb, was einen Anteil von 26,7 % ergibt.

Der exportierte Wasserkraftstrom (rund 16,2 TWh im Jahr 2007) wird durch Importe ausländischer Kernenergie und von Strom aus nicht überprüfbaren Quellen im Verhältnis 40:60 % kompensiert. Allein dadurch lag die Klimabilanz der Schweiz im Jahr 2007 um importierte 5,8 Mio. Tonnen CO_2-eq höher als wenn die Wasserkraft in der Schweiz genutzt würde. Auch sind dem Schweizer Stromkonsum durch die Importe im Jahr 2007 rund 130 m³ mehr hoch radioaktive Abfälle zuzuordnen.

Folgerungen

Die schweizerische Wasserkraft liefert einen wichtigen Beitrag zu einer klimafreundlichen und abfallarmen Stromversorgung. Die umfassende Aktualisierung und Erweiterung der Ökobilanzen von Strom aus Wasserkraft berücksichtigen die aktuellsten Erkenntnisse in Bezug auf die Treibhausgas-Emissionen aus Stauseen. Erstmals werden auch die Zulieferpumpen als Teil der Betriebsaufwendungen in die Bilanzen der Speicherkraftwerke einbezogen.

Die Analysen zeigen, dass der CO_2-Fussabdruck der schweizerischen, an Niederspannungs-Steckdosen gelieferten Wasserkraft im Mittel bei rund 12 g CO_2-

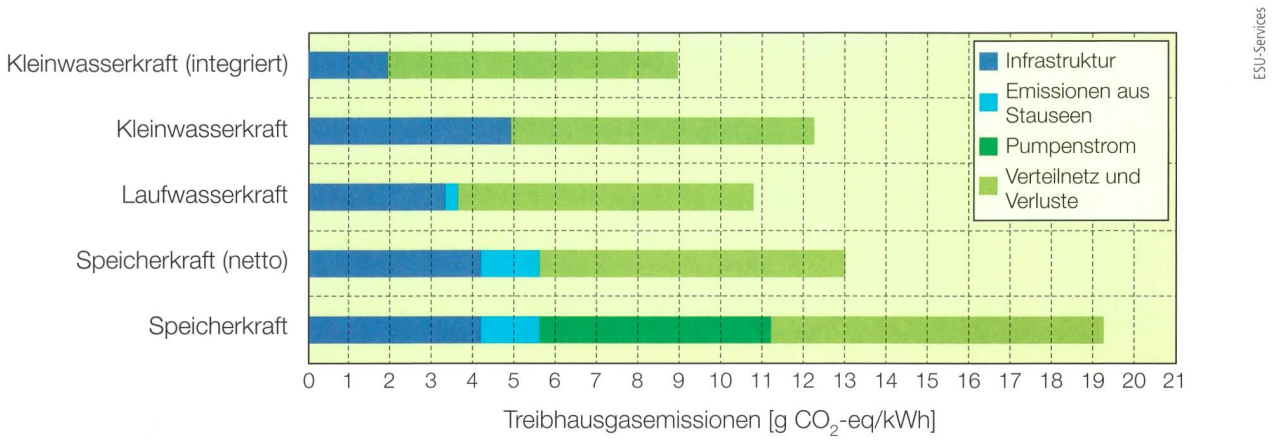
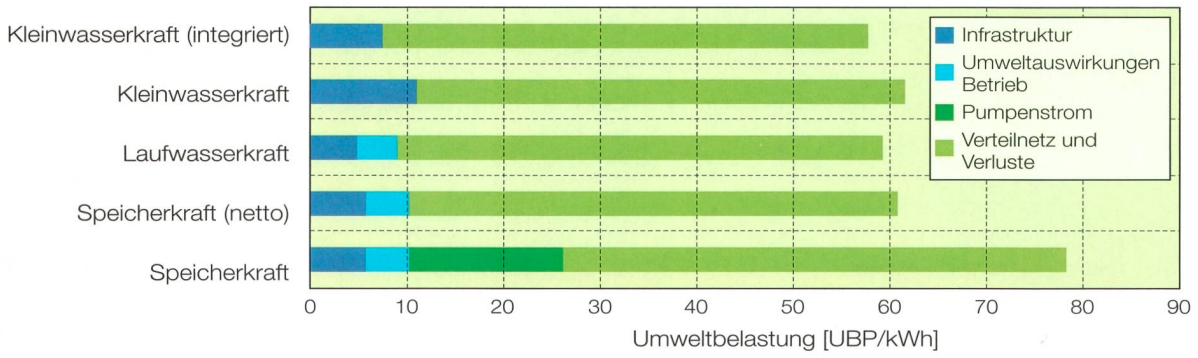


Bild 3 Treibhausgas-Emissionen der verschiedenen Prozess-Stufen bei der Produktion und Lieferung von Strom mit verschiedenen Wasserkraftwerken. Zum Vergleich: Der Schweizer Strommix verursacht auf Stufe «Niederspannungs-Steckdose» 149 g CO_2-eq/kWh.



ESU-Services

Bild 4 Gesamtumweltbelastung der verschiedenen Prozess-Stufen bei der Produktion und Lieferung von Strom mit verschiedenen Wasserkraftwerken. Zum Vergleich: Der Schweizer Strommix verursacht auf Stufe «Niederspannungs-Steckdose» eine Gesamtumweltbelastung von rund 460 Umweltbelastungspunkten (UBP).

eq/kWh liegt (Bruttobetrachtung: 16 g CO_2-eq/kWh) und damit mehr als 90 % unter den Treibhausgas-Emissionen des Schweizer Strommix.

Die Bilanz wird wesentlich geprägt durch den Stromtransport und dessen Verteilung einerseits und bei Strom aus Speicherkraftwerken durch den Stromverbrauch der Zulieferpumpen. Die CO_2- und Methan-Emissionen aus den Stauseen tragen knapp 1 g CO_2-eq/kWh zur Gesamtbilanz von Strom aus Wasserkraftwerken bei.

Ökobilanzen alleine genügen nicht, um die wesentlichen Umweltauswirkungen der Wasserkraft vollständig abzubilden. Um Auswirkungen auf das Gewässer-Ökosystem zu minimieren, müssen zusätzliche Anforderungen erfüllt sein. In der Schweiz garantiert das Stromlabel «naturemade star» das Erfüllen dieser Anforderungen.

Die hier gezeigten Werte sind nicht auf die Stromproduktion mit reinen Pumpspeicher-Kraftwerken anwendbar. Deren Umweltbilanz ist durch den Strombedarf geprägt (1,25 bis 1,4 kWh pro erzeugte kWh Strom), der benötigt wird, um Wasser in Zeiten schwacher Nachfrage hochzupumpen. Die Umweltbilanz von Pumpspeicherstrom widerspiegelt also die durch den Verlust von 20 bis 30 % erhöhte Umweltbilanz des eingesetzten Strommix.

Die dem Schweizer Konsum zuzuordnenden Umweltauswirkungen wie Treibhausgas-Emissionen oder hoch radioaktive Abfälle können deutlich reduziert werden, indem die heimische Wasserkraft wieder vermehrt an Schweizer Haushalte und Schweizer Firmen geliefert wird. Damit könnten die umweltbelastenden Importe von Strom unbekannter Herkunft und von Kernenergie reduziert werden.

Résumé

Enseignements des éco-bilans actuels concernant l'électricité produite à partir d'énergie hydraulique

Le transport de l'électricité et les pompes d'alimentation influencent le bilan

L'énergie hydraulique est la plus ancienne technologie basée sur les énergies renouvelables et de loin la plus importante. En tant que telle, elle est appelée à jouer un rôle prépondérant dans le cadre de la nouvelle orientation de la politique énergétique suisse, intitulée « Stratégie énergétique 2050 » par le Conseil fédéral suisse. Les éco-bilans actuels permettent de fournir à présent des indications plus précises sur les émissions de gaz à effet de serre par les centrales hydrauliques et sur l'impact global de celles-ci sur l'environnement. L'actualisation et l'extension complètes des éco-bilans de l'électricité produite à partir d'énergie hydraulique prennent en compte les enseignements les plus récents relatifs aux émissions de gaz à effet de serre des lacs de retenue. Pour la première fois également, les pompes d'alimentation ont été intégrées aux frais d'exploitation dans les bilans des centrales d'accumulation. Les analyses montrent que l'empreinte carbone de l'hydroélectricité suisse fournie aux prises de courant basse tension se situe en moyenne à environ 12 g CO_2-eq/kWh (analyse brute : 16 g CO_2-eq/kWh) soit à plus de 90 % en dessous des émissions de gaz à effet de serre du mix énergétique suisse.
Le bilan est essentiellement influencé d'une part par le transport de l'électricité et par sa répartition et, pour l'électricité issue de centrales d'accumulation, par la consommation d'énergie des pompes d'alimentation. Les émissions de CO_2 et de méthane des lacs de retenue contribuent à près de 1 g CO_2-eq/kWh du bilan global de l'électricité produite par les centrales hydrauliques.

No

Referenzen

[1] BFE, Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2010. 2011, Bundesamt für Energie, Bern. www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00630/index.html?lang=de&dossier_id=04840.

[2] BFE, Umfrage Stromkennzeichnung 2007. 2009, Bundesamt für Energie, Sektion Energieversorgung, Bern. www.news-service.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/16130.pdf.

[3] Frischknecht R, Hofstetter P, Knoepfel I, Dones R, et al., Ökoinventare für Energiesysteme. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. 1994, Auflage, 1, Gruppe Energie – Stoffe – Umwelt (ESU), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich und Sektion Ganzheitliche Systemanalysen, Paul Scherrer Institut Villigen: Bundesamt für Energie (Hrsg.), Bern.

[4] Diem, Koch, Schwarzenbach, Wehrli, et al., Greenhouse gas emissions (CO_2, CH_4 and N_2O) from peri-alpine and alpine hydropower reservoirs. Biogeosciences Discuss., 2008. 5: p. 3699-3736.

[5] DelSontro, McGinnis, Sobek, Ostrovsky, et al., Extreme Methane Emissions from a Swiss Hydropower Reservoir: Contribution from Bubbling Sediments. Environ Sci. Technol., 2010. 44: p. 2419-2425.

[6] BFE, Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz, UVEK, Editor. 2011: Bern.

Angaben zu den Autoren

Karin Flury, Dipl. Natw. ETH, Projektleiterin.
ESU-Services GmbH, 8610 Uster, flury@esu-services.ch

Rolf Frischknecht, Dr. Sc. Techn. ETH, Geschäftsführender Partner.
ESU-Services GmbH, 8610 Uster, frischknecht@esu-services.ch

René Itten, Dipl. Umw. Ing. ETH, Projektleiter.
ESU-Services GmbH, 8610 Uster, itten@esu-services.ch
www.esu-services.ch

Die Arbeiten wurden im Zusammenhang mit einem Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) durchgeführt. Die Autoren danken dem Öko-Institut Darmstadt für die finanzielle Unterstützung im Rahmen eines Unterauftrags.