

DIE NEUE ROLLE DER WASSERKRAFT

Der Ausbau von Wind- und Solarenergie liegt weltweit im Trend. Die Wasserkraft ist von dieser Entwicklung direkt betroffen, denn auf sie wartet eine neue Rolle: Stand bisher die Lieferung von Strom im Zentrum, wird die Funktion der Wasserkraft in Zukunft zusätzlich darin bestehen, die Umstellung der Energieversorgung auf grosse Mengen von Solar- und Windstrom zu ermöglichen. Das Bundesamt für Energie unterstützt verschiedene Forschungsprojekte zur entsprechenden Modernisierung der Schweizer Wasserkraft.



Der Hongrin-Stausee des Waadtländer Pumpspeicherkraftwerks FMHL (Betreiberin: Forces Motrices Hongrin-Léman SA) mit seiner doppelten Bogenstaumauer. Im Rahmen des Pilot- und Demonstrationsprojekts HydroLEAP wird an dem Kraftwerk das Potenzial des Hydraulischen-Kurzschluss-Betriebs zur Bereitstellung von stufenloser negativer Regelleistung erforscht. Ein zweites Teilprojekt untersucht die Auswirkungen eines akzentuierten Start-Stop-Betriebs auf den Verschleiss von Turbinen und Pumpen. Foto: Alpiq

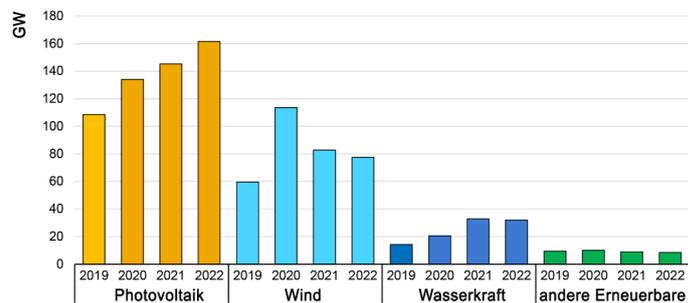
In der öffentlichen Debatte nimmt die Erzeugung von «grünem» Strom aus Photovoltaik, Holz, Biogas und Wind breiten Raum ein, und gerade die Photovoltaik wartet mit beeindruckenden Wachstumsraten auf. Trotzdem bleibt in der Schweiz die Wasserkraft die mit Abstand wichtigste einheimische Energiequelle. Lauf- und Speicherkraftwerke deckten im Jahr 2020 gemäss Schweizerischer Elektrizitätsstatistik 58 Prozent des Strombedarfs. Die Wasserkraft trägt aktuell rund 90 Prozent zur erneuerbaren Stromproduktion des Landes bei und bleibt damit ein zentraler Pfeiler der Energieversorgung.

Doch der Blick in die Zukunft öffnet neue Perspektiven, auf nationaler wie internationaler Ebene: Die politische Unterstützung für den Ausbau von Wind- und Solarkraft ist gross, und sie zeigt Wirkung. Die Produktionskapazitäten im Bereich der Solar- und Windenergie wachsen im weltweiten Massstab deutlich schneller als bei der Wasserkraft (vgl. Grafik rechts oben). Schon heute ist die installierte Leistung von Sonnen- und Windkraftwerken grösser als jene der Wasserkraftanlagen. Nach der kürzlich veröffentlichten Roadmap «Net Zero by 2050» der Internationalen Energieagentur wird die Energieproduktion aus Wind und Sonne jene aus Wasserkraft schon bald übersteigen (vgl. Grafik rechts unten).

«Ermöglicher» der Energiewende

Vor dem Hintergrund des laufenden Umbaus der Energieversorgung vollzieht die Wasserkraft einen Rollenwechsel. Zwar bleibt sie ein wichtiger Pfeiler der Energieversorgung, sie übernimmt aber zusätzlich die Aufgabe, die Wende hin zu einer neuen, noch stärker auf erneuerbare Energieträger orientierten Energieversorgung zu ermöglichen. Sie ist also – um es auf Englisch zu sagen – der «Enabler» der Energiewende. Diese neue Rolle ergibt sich aus dem Umstand, dass die Stromproduktion aus Wind und Sonne weltweit massiv ausgebaut wird. Da diese beiden Energieformen aber wetterbedingt schwankende Erträge liefern, muss mit verschiedenartigen Massnahmen sichergestellt werden, dass Wind- und Solarstrom unter Wahrung der Netzstabilität optimal ins System der Energieversorgung eingebunden werden können.

Eine zentrale Rolle dürfte in diesem Zusammenhang der Wasserkraft zufallen, sagt Dr.-Ing. Klaus Jorde, der im Auftrag des BFE als externer Experte das Forschungsprogramm Wasserkraft leitet. «Für die Speicherung und Bereitstellung von Elektrizität in Form von (Regel-)Leistung und Energie ist die Wasserkraft eine sehr geeignete Option. Mit einem

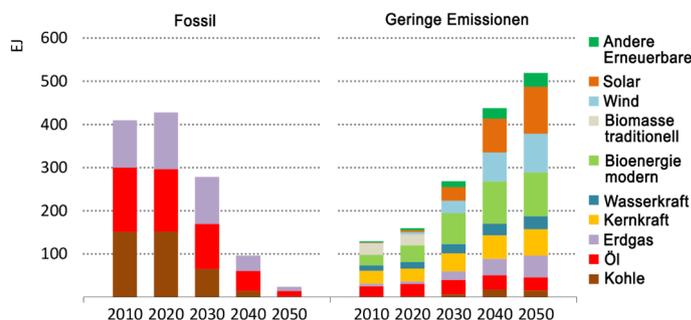


Weltweit betrachtet werden im Bereich der erneuerbaren Energien deutlich mehr Photovoltaik und Windstrom zugebaut als im Bereich Wasserkraft. Grafik: IEA Renewable Energy Market Update 2021/bearbeitet B. Vogel

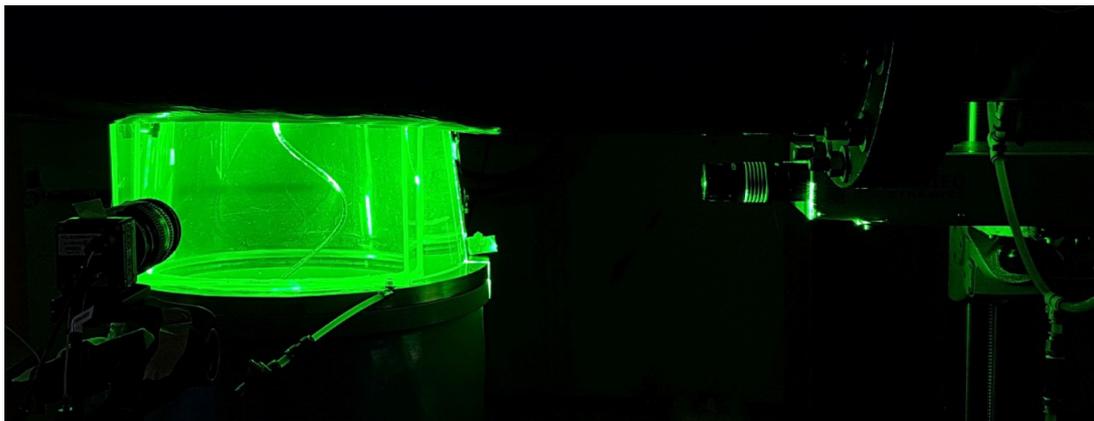
Gesamtwirkungsgrad von rund 80 % ist die Stromspeicherung in Stauseen den bekannten Power-to-X-Technologien weit überlegen; sie ist langfristig auch günstiger und verfügt über eine längere Lebensdauer. Wasserkraft ist in vielen Weltregionen verbreitet und kann mit gewissen Anpassungen für Speicherezwecke genutzt werden.» Das Speicherpotenzial der Wasserkraft wird laut Jorde heute noch unterschätzt: Nach Untersuchungen der Internationalen Energieagentur stellt sie aktuell eine Speicherkapazität bereit, die 2300 mal grösser ist als jene aller weltweit verfügbaren Batterien einschliesslich aller Elektrofahrzeuge.

Technische und wirtschaftliche Herausforderungen

Um die neue Rolle als «Enabler» der Energiewende übernehmen zu können, braucht die Wasserkrafttechnologie einen Modernisierungsschub. Denn die Kraftwerke müssen für einen flexiblen Betrieb flott gemacht werden, wie er in der her-



Die Internationale Energieagentur (IEA) geht bis ins Jahr 2050 von einem Wachstum der Wasserkraft aus. Die Energieproduktion aus Wind- und Solarkraftwerken wird gemäss IEA-Prognose aber deutlich stärker zunehmen und die Wasserkraft schon im Jahr 2030 übersteigen. Grafik: IEA-Roadmap «Net Zero by 2050»/bearbeitet B. Vogel



Forscherinnen und Forscher der EPFL haben im POST-Projekt die Methode der «Particle Image Velocimetry» (PIV) benutzt, um Blasenbildung (Kavitation) zu messen, die in Francis-Turbinen bei bestimmten Betriebsarten durch Wirbel entsteht. Bei der PIV werden fluoreszierende Teilchen eingesetzt, um Strömungswirbel zu beobachten. Foto: PTMH/EPFL

kömmlichen Stromerzeugung nicht vorgesehen war. Neben den technischen Herausforderungen sind die wirtschaftlichen Aspekte zu bedenken, wie Klaus Jorde ausführte: «Kraftwerksbetreiber zögern mit den erforderlichen Investitionen heute noch, weil in vielen Märkten die wirtschaftliche Basis für diese Investitionen fehlt. Die Wasserkraft hat traditionell sehr lange Amortisationszeiträume. Es braucht langfristig gesicherte Vergütungen für diese neuen Leistungen, damit die Kraftwerksbetreiber die entsprechenden Investitionen tätigen.»

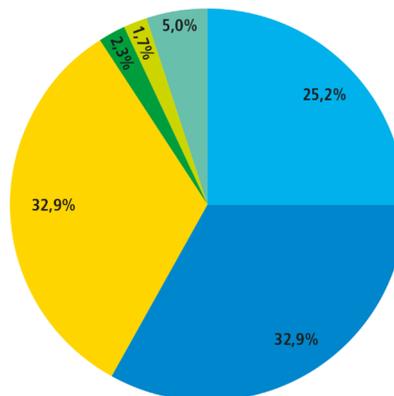
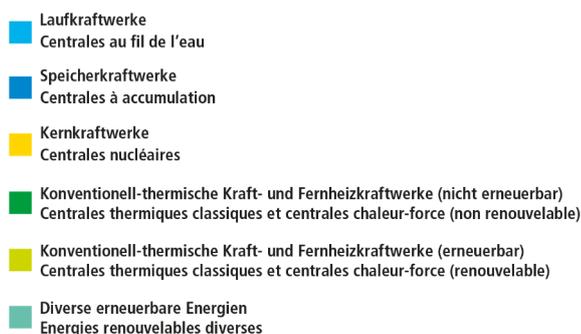
Vor diesem Hintergrund sind die Forschungsaktivitäten zu verstehen, die sich gegenwärtig mit der Flexibilisierung von Wasserkraftanlagen befassen. Die Schweiz hat in dem Bereich zusammen mit den USA und Norwegen eine führende Stellung. Das Projekt «SmallFLEX» unter der Leitung der Westschweizer Fachhochschule Valais-Wallis zum Beispiel untersuchte von 2017 bis 2021 am Laufwasserkraftwerk Gletsch-Oberwald (VS) die technische Machbarkeit und das ökonomische Potenzial eines flexiblen Betriebs sowie dessen Auswirkungen auf die Flussökologie. An dem Projekt war die École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) beteiligt, die über langjährige Erfahrung in der Wasserkraftforschung verfügt.

Dort betreibt die von Prof. Mario Paolone geleitete «Plateforme technologique machines hydrauliques» (PTMH) Grundlagenforschung und unterstützt die Industrie in praxisnahen Entwicklungsprojekten. «Unsere Forschung fokussiert sich auf den flexiblen Betrieb von Wasserkraftwerken, denn damit kann die Wasserkraft künftig einen wichtigen Beitrag zur Transition des Energiesystems leisten», sagt Dr. Elena Vagnoni, Leiterin der PTMH-Forschungsgruppe.

Schädliche Wirbel in Francis-Turbinen

Ein 2021 abgeschlossenes Forschungsprojekt unter dem Akronym POST (für: Plant Operation Stability Modeling) hat das Verhalten von Francis-Turbinen untersucht, die bei Teil- oder Volllast ausserhalb des klassischen Drehzahlbereichs betrieben werden. In solchen Fällen können Instabilitäten auftreten, die sich in Vibrationen und Geräuschbildung manifestieren und zu Effizienzverlusten und Materialermüdung führen. Die Instabilitäten rühren von Wirbeln, die nach dem Durchströmen der Turbine entstehen und zu Blasenbildung (Kavitation) führen.

Das Forscherteam um Elena Vagnoni hat im POST-Projekt die physikalische Charakteristik dieser Wirbel für verschiedene



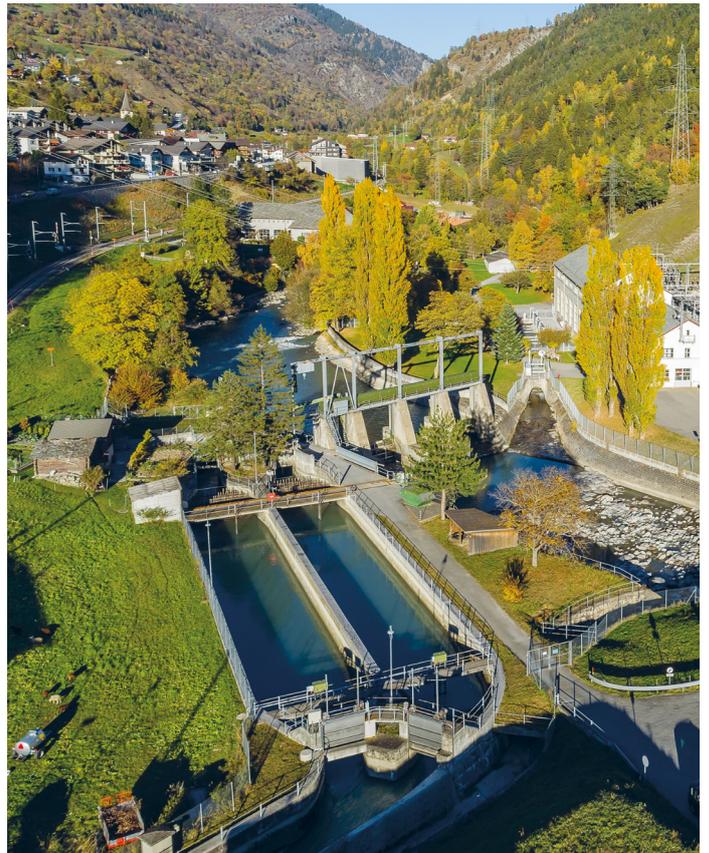
In der Schweiz stammten im Jahr 2020 rund 58 % der Stromproduktion aus Wasserkraft, also aus Laufwasser- oder Pumpspeicherkraftwerken. Grafik: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2020

Betriebsarten beschrieben. Zudem entwickelte das Team mit Hilfe der Simulationssoftware SIMSEN ein Modell, das vorher sagen kann, welche Wirbel bei welchen Betriebsbedingungen zu erwarten sind. Elena Vagnoni: «Unsere Erkenntnisse helfen den Turbinenherstellern, die Turbinengeometrie so zu optimieren, dass keine bzw. weniger Instabilitäten auftreten. Die Kraftwerksbetreiber lernen daraus, in welchem Mass sie die Betriebsbedingungen ohne nachteilige Instabilitäten verändern können.»

Hydraulischer-Kurzschluss-Betrieb

Die Kompetenz des EPFL-Labors fliesst aktuell in ein auf vier Jahre angelegtes Demonstrationsprojekt ein, an dem fünf Elektrizitätswerke und weitere Forschungspartner wie die Westschweizer Fachhochschule und die ETH Zürich beteiligt sind. In dem Projekt mit dem Namen «HydroLEAP», das vom BFE im Rahmen seines Pilot- und Demonstrationsprogramms unterstützt wird, werden an drei Kraftwerkstandorten verschiedene Fragestellungen praxisnah untersucht. Ein Standort ist das Waadtländer Pumpspeicherkraftwerk FMHL in Veytaux. Pumpspeicherkraftwerke werden unter anderem zur Sicherung der Netzstabilität eingesetzt. Dank ihrer hohen Flexibilität können sie bei einem Stromüberangebot im nationalen Netz den «überflüssigen» Strom nutzen, Wasser zurück in den Stausee zu pumpen, oder aber Engpässe überbrücken, indem sie das Wasser turbinieren. Bei dieser sogenannten «sekundäre Regelleistung» sind der Strombezug (Pumpen) oder die Stromproduktion (Turbinieren) oft auf wenige Minuten begrenzt. Weil mit Regelleistung unerwünschte Schwankungen im Stromnetz unterbunden werden, wird diese von der nationalen Netzgesellschaft Swissgrid vergütet.

In der Kraftwerkszentrale von FMHL in Veytaux wird nun untersucht, wie sich die Menge der bereitgestellten Regelleistung besser als bisher steuern lässt. Das gelingt mit einer noch relativ jungen Betriebsweise von Pumpspeicherkraftwerken, die unter dem Namen «Hydraulischer Kurzschluss» bekannt ist: Dabei wird Wasser in den Stausee zurückgepumpt, gleichzeitig aber auch über die Turbine Strom erzeugt. In diesem Setting bezieht die Pumpe eine fixe Leistung, die produzierte Strommenge aber lässt sich über einen Teillastbetrieb der Turbine stufenlos regulieren. Unter dem Strich kann das Kraftwerk im Hydraulischen-Kurzschluss-Betrieb die bereitgestellte Menge an negativer Regelleistung (Bezug von «überflüssigem» Strom aus dem Netz) fein regulieren und damit bedarfsgerecht abstimmen. «Für Kraftwerksbetreiber ist diese Betriebsweise attraktiv, da sie für die Strom-



Im Rahmen des HydroLEAP-Projektes wird im Hochdruck-Laufwasserkraftwerk Ernen im Oberwallis der Ersatz der bisherigen Francis-Turbine durch eine Peltonturbine erprobt. Damit sollen Erfahrungen für Retrofit-Massnahmen in anderen Schweizer Wasserkraftwerken gewonnen werden. Foto: FMV

produktion und die negative Regelleistung entschädigt werden», betont Elena Vagnoni.

Laufwasserkraftwerk mit Batterieunterstützung

Ein zweiter Forschungsstandort des HydroLEAP-Projektes ist das Hochdruck-Laufwasserkraftwerk Ernen im Oberwallis. Auch hier steht die flexible Nutzung der Wasserkraft im Vordergrund. Bei einem flexiblen Betrieb wird der Betriebspunkt der Turbine oft und schnell geändert. Dies aber führt zu einer erhöhten Beanspruchung der Turbine und kann deren Lebensdauer verkürzen. Um schnelle Drehzahlveränderungen der Turbine zu vermeiden, setzen Kraftwerksbetreiber neuerdings Batterien ein: Diese liefern vorübergehend Strom ins Netz, bis die Turbine ihre Drehzahl erhöht hat bzw. nehmen Strom auf, bis die Turbine ihre Drehzahl abgesenkt hat. Erste Hybridanlagen dieser Art sind an verschiedenen Kraftwerkstandorten weltweit in Betrieb. Mit dem Projekt im Oberwallis sollen auch in der Schweiz vertiefte Erfahrungen gewonnen werden.

Ein zweites Teilprojekt am Kraftwerk Ernen betrifft die Kraftwerkserneuerung. Die Schweizer Kraftwerksbetreiber stehen vor der Herkulesaufgabe, in den nächsten 30 Jahren die Konzessionen für eine Produktionsmenge von 23 TWh Strom zu erneuern. Das ist mehr als die Hälfte der aktuellen Wasserkraft-Jahresproduktion. Am Kraftwerk Ernen wird untersucht, ob bei einer Retrofit-Massnahme der Ersatz der Francis-Turbine durch eine Pelton-Turbine mit mehr Flexibilität und besseren Wirkungsgraden im Teillastbetrieb sinnvoll wäre. Den gleichen Hintergrund hatten die zwei bereits abgeschlossenen BFE-Forschungsprojekte SHAMA und RENOV-Hydro: Die Westschweizer Beratungsfirma Power Vision Engineering (St-Sulpice/VD) hatte dabei Simulationsmodelle für Kraftwerkserneuerungen entwickelt. Die Modelle helfen den Betreibern bei der Auslegung der Systemkomponenten und bei der Definition der Betriebsbereiche von Turbinen. Sie vereinfachen auch die Vorbereitung von Retrofit-Massnahmen.

Basis für verlässliche Geschäftsmodelle

Die erwähnten Forschungsprojekte zeigen nur einen Ausschnitt der Schweizer Forschungsaktivitäten, die die Zukunft der Schweizer Wasserkraft als 'Enabler' der Energiewende sicherstellen sollen. «Die bisherigen Ergebnisse der laufenden Forschung lassen darauf schliessen, dass die Wasserkraft über ein grösseres Flexibilitätspotenzial verfügt als bisher angenommen», sagt BFE-Programmlleiter Klaus Jorde. «bei den technischen Fragen zur Flexibilisierung des Betriebs und der optimierten Nutzung des Speicherpotenzials sind wir gut unterwegs. Damit die Wasserkraft ihre neue Rolle wirklich

antreten kann, müssen die Marktbedingungen angepasst werden: Die Kraftwerksbetreiber brauchen Investitionssicherheit, um verlässliche Geschäftsmodelle aufbauen zu können.»

- Weitere Informationen zu den erwähnten Forschungsprojekten, die alle vom BFE unterstützt wurden oder noch werden, finden Sie hier:

SmallFLEX:

www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40717. Ein zugehöriger BFE-Fachartikel «Kleinwasserkraftwerke machen sich flexibel» ist [hier](#) abrufbar.

POST:

www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=44321

HydroLEAP:

www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=47437

SHAMA:

www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=38330

RENOVHydro:

www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=39570

- **Auskünfte** erteilt Dr.-Ing. Klaus Jorde, externer Leiter des BFE-Forschungsprogramms Wasserkraft: [klaus.jorde\[at\]kjconsult.net](mailto:klaus.jorde[at]kjconsult.net)

- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Wasserkraft finden Sie unter www.bfe.admin.ch/ec-wasser.



Visualisierung des neuen Flusskraftwerks in Massongex im Unterwallis, das sich zur Zeit in Planung befindet. Das Kraftwerk ist ein Demonstrationsstandort des HydroLEAP-Projekts. Forscherinnen und Forscher der Eidgenössisch Technischen Hochschule Zürich untersuchen hier ein fortschrittliches Sedimentmanagement sowie die Minimierung der Umweltauswirkungen von neuen Laufwasserkraftwerken. Visualisierung: MBR