

**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse  
**Herausgeber:** Electrosuisse  
**Band:** 113 (2022)  
**Heft:** 1-2

**Artikel:** Die neue Rolle der Wasserkraft = Le nouveau rôle de l'énergie hydraulique  
**Autor:** Vogel, Benedikt  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1037052>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 02.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**



Visualisierung des neuen Flusskraftwerks in Masongex im Unterwallis.

# Die neue Rolle der Wasserkraft

**Forschung zu Lauf- und Speicherkraftwerken** | 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: Sie wird die Umstellung der Energieversorgung auf grosse Mengen von Solar- und Windstrom ermöglichen. Ein Blick auf Forschungsprojekte zur Modernisierung der Schweizer Wasserkraft.

BENEDIKT VOGEL

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 der schweizerischen Elektrizitätsstatistik 58% des Strombedarfs. Die Wasserkraft trägt

aktuell rund 90% 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 in diesem Bereich wachsen im globalen Massstab deutlich schneller als bei der Wasserkraft (Bild 1). 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.

## Ermöglicher der Energiewende

Vor dem Hintergrund des laufenden Umbaus der Energieversorgung voll-

zieht 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 sie 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 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 herkömmlichen Stromerzeugung nicht vorgesehen war. Neben den technischen Herausforderungen sind die wirtschaftlichen Aspekte zu bedenken, wie Klaus Jorde ausführt: «Kraft-

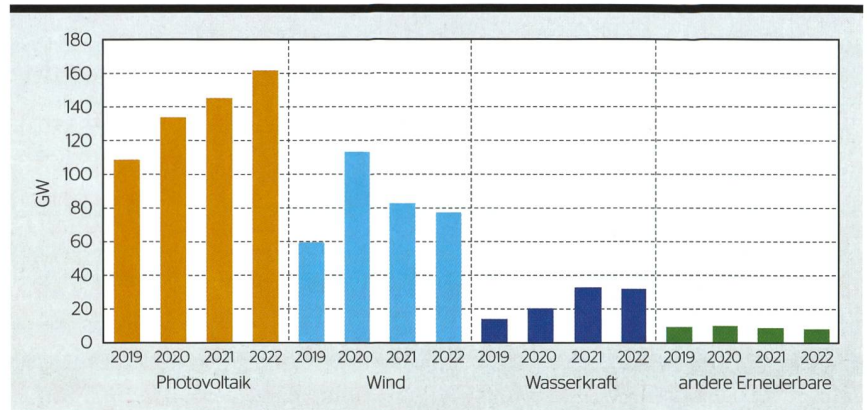


Bild 1 Globaler Zubau von erneuerbaren Energien.



Bild 2 Messung der Blasenbildung (Kavitation), die in Francis-Turbinen bei bestimmten Betriebsarten durch Wirbel entsteht, mit der Methode der «Particle Image Velocimetry».

werkbetreiber 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 ETH Lausanne (EPFL) beteiligt, die über langjährige Erfahrung in der Was-

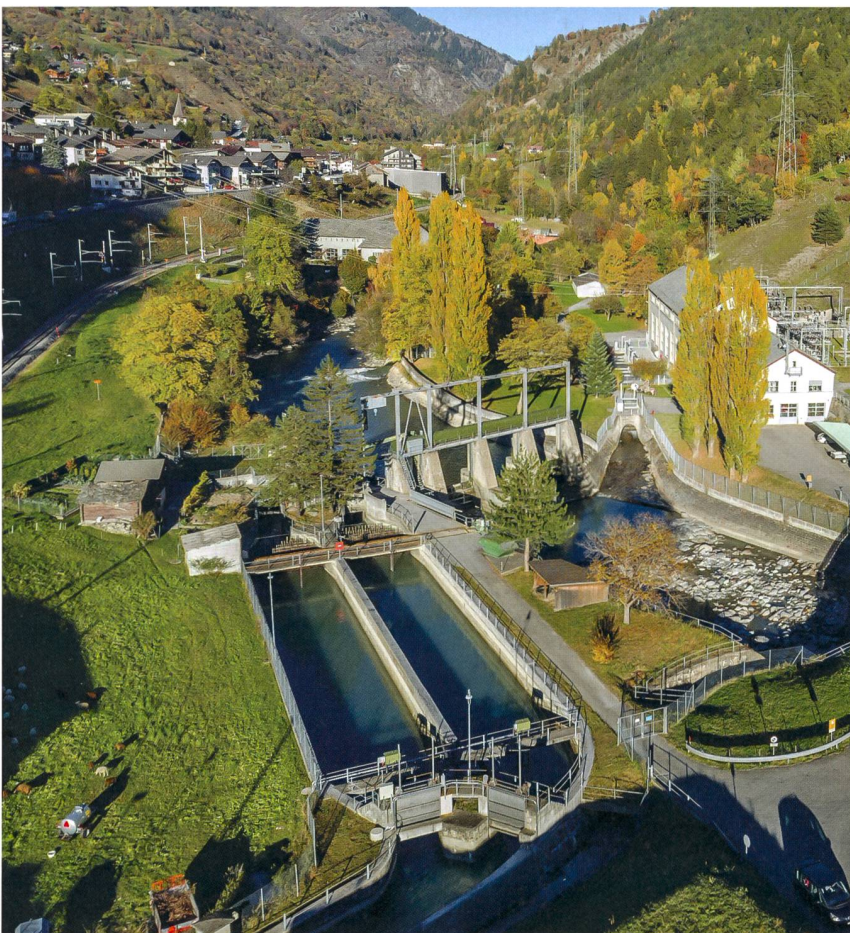
serkraftforschung verfügt. Dort betreibt die von Prof. Mario Paolone geleitete «Plateforme technologique machines hydrauliques» (PTMH) Grundlagenforschung und unterstützt die Industrie in praxisnahen Entwicklungsprojekten. «Unsere Forschung fokussiert sich auf den flexiblen Betrieb von Wasserkraftwerken, 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 (Plant Operation Stability Modeling) hat das Verhalten von Francis-Turbinen untersucht, die bei Teil- oder Vollast ausserhalb des klassischen Drehzahlbereichs betrieben werden (Bild 2). In solchen Fällen können Instabilitäten auftreten, die sich in Vibrationen und Geräuschbildung manifestieren und zu Effizienzverlusten und Materialermüdung



**Bild 3** Der Hongrin-Stausee des Waadtländer Pumpspeicherkraftwerks FMHL. Am Kraftwerk wird das Potenzial des Hydraulischen-Kurzschlussbetriebs zur Bereitstellung von stufenloser negativer Regelleistung erforscht.



**Bild 4** Im Hochdruck-Laufwasserkraftwerk Ernen im Oberwallis wird der Ersatz der bisherigen Francis-Turbine durch eine Pelton-turbine erprobt, um Erfahrungen für Retrofit-Massnahmen zu gewinnen.

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 Betriebsarten beschrieben. Zudem entwickelte das Team mithilfe der Simulationssoftware Simsen ein Modell, das vorhersagen 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.»

### Erprobung des hydraulischen Kurzschlussbetriebs

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 (**Bild 3**). 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 «sekundären 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 Kurzschlussbetrieb 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 Stromproduktion und die negative Regelleistung entschädigt werden», betont Elena Vagnoni.

### Laufwasserkraftwerk mit Batterieunterstützung

Ein zweiter Forschungsstandort des HydroLeap-Projektes ist das Laufwasserkraftwerk Ernen im Oberwallis (Bild 4). 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 RenovHydro: 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-Programmleiter 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 können.»

#### Links

Informationen zu den Forschungsprojekten:

- SmallFlex:  
[www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40717](http://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40717). Ein zugehöriger BFE-Fachartikel «Kleinwasserkraftwerke machen sich flexibel», ist abrufbar unter [pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/10422](http://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/10422).
- Post:  
[www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=44321](http://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=44321)
- HydroLeap:  
[www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=47437](http://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=47437)
- Shama:  
[www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=38330](http://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=38330)
- RenovHydro:  
[www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=39570](http://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=39570)
- Weitere Fachbeiträge im Bereich Wasserkraft:  
[www.bfe.admin.ch/ec-wasser](http://www.bfe.admin.ch/ec-wasser).

#### Autor

Dr. **Benedikt Vogel** ist Wissenschaftsjournalist, im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE).  
→ Dr. Vogel Kommunikation, DE-10437 Berlin  
→ [vogel@vogel-komm.ch](mailto:vogel@vogel-komm.ch)

Weitere Auskünfte zum Projekt erteilt Dr.-Ing. Klaus Jorde ([klaus.jorde@kjconsult.net](mailto:klaus.jorde@kjconsult.net)), externer Leiter des BFE-Forschungsprogramms Wasserkraft.

Machen Sie Ihre  
Technische Information  
zum Superstar in Ihrem  
Unternehmen.

innovativ. kreativ.  
dennoch pragmatisch.

Digitale Lösungen

[www.teconia.ch](http://www.teconia.ch)



Teconia



EMOTIONALE GESCHICHTEN  
PACKEND IN SZENE SETZEN.

somedia  
PRODUCTION

PRINT VIDEO WEB

[www.somedia-production.ch](http://www.somedia-production.ch)



Visualisation de la nouvelle centrale au fil de l'eau de Massongex, dans le Bas-Valais.

# Le nouveau rôle de l'énergie hydraulique

**Projets de recherche en matière de centrales au fil de l'eau et à accumulation** | Le solaire et l'éolien sont en plein essor. Or, l'énergie hydraulique est directement concernée dans la mesure où elle permettra la transition de l'approvisionnement énergétique vers de grandes quantités d'électricité solaire et éolienne. Aperçu de divers projets de recherche pour la modernisation de l'énergie hydraulique suisse.

BENEDIKT VOGEL

La production d'électricité «verte» à partir du photovoltaïque, du bois, du biogaz et de l'énergie éolienne occupe une place importante dans les débats publics, et le photovoltaïque, en particulier, affiche des taux de croissance impressionnants. Malgré tout, l'énergie hydraulique reste de loin la principale source d'énergie indigène en Suisse. Les centrales au fil de l'eau et les centrales à accumulation ont couvert 58% des besoins en électricité

en 2020, selon la Statistique suisse de l'électricité. L'énergie hydraulique contribue actuellement à environ 90% de la production d'électricité renouvelable du pays et reste ainsi un pilier central de l'approvisionnement énergétique.

Toutefois, l'avenir semble ouvrir de nouvelles perspectives, tant au niveau national qu'international: le soutien politique pour le développement de l'énergie éolienne et solaire est très marqué et efficace. À l'échelle mon-

diale, les capacités de production dans ces domaines augmentent nettement plus rapidement que dans celui de l'énergie hydraulique (**figure 1**). Aujourd'hui déjà, la puissance installée des centrales solaires et éoliennes est supérieure à celle des centrales hydroélectriques. Selon la feuille de route «Net Zero by 2050» récemment publiée par l'Agence internationale de l'énergie, la production d'électricité à partir du vent et du soleil dépassera bientôt celle de l'énergie hydraulique.

## Un rôle essentiel pour favoriser la transition énergétique

Dans le contexte de la transformation actuelle de l’approvisionnement énergétique, l’énergie hydraulique change de rôle. Même si elle reste un pilier important de l’approvisionnement énergétique, elle assume en outre la tâche de permettre le tournant vers un nouvel approvisionnement énergétique encore plus orienté vers les sources d’énergie renouvelables. Elle est donc, pour l’exprimer en anglais, l’«enabler» de la transition énergétique. Ce nouveau rôle découle du fait que la production d’électricité à partir du vent et du soleil se développe massivement dans le monde entier. Mais comme ces deux formes d’énergie ont des rendements fluctuant en fonction des conditions météorologiques, différentes mesures doivent être prises pour garantir une intégration optimale de l’électricité éolienne et solaire dans le système d’approvisionnement en énergie, tout en préservant la stabilité du réseau.

Klaus Jorde, qui dirige le programme de recherche Force hydraulique sur mandat de l’OFEN en tant qu’expert externe, affirme que l’énergie hydraulique devrait jouer un rôle central dans ce contexte. «Pour le stockage et la fourniture d’électricité sous forme d’énergie et de puissance (de réglage), l’hydroélectricité est une option très appropriée. Avec un rendement global d’environ 80 %, le stockage d’électricité dans des lacs de retenue est de loin supérieur aux technologies Power-to-X connues; il est également moins cher à long terme et dispose d’une durée de vie plus longue. L’énergie hydraulique est répandue dans de nombreuses régions du monde et peut être utilisée à des fins de stockage moyennant certaines adaptations». Selon Klaus Jorde, le potentiel de stockage de l’énergie hydraulique est encore sous-estimé aujourd’hui: selon des études de l’Agence internationale de l’énergie, elle offre actuellement une capacité de stockage 2300 fois supérieure à celle de toutes les batteries disponibles dans le monde, celles des véhicules électriques incluses.

### Des défis techniques et économiques

Afin d’assumer ce nouveau rôle d’«enabler» de la transition énergétique, la technologie de l’énergie hydraulique a besoin d’un coup de pouce en termes

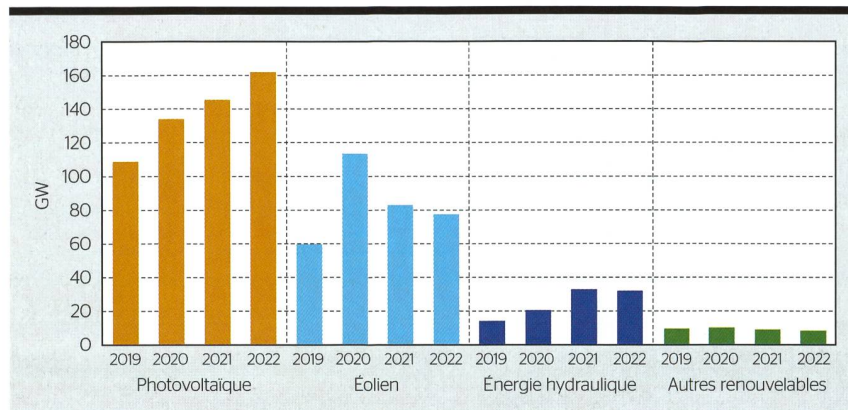


Figure 1 Augmentation globale de la production d’électricité à partir d’énergies renouvelables.

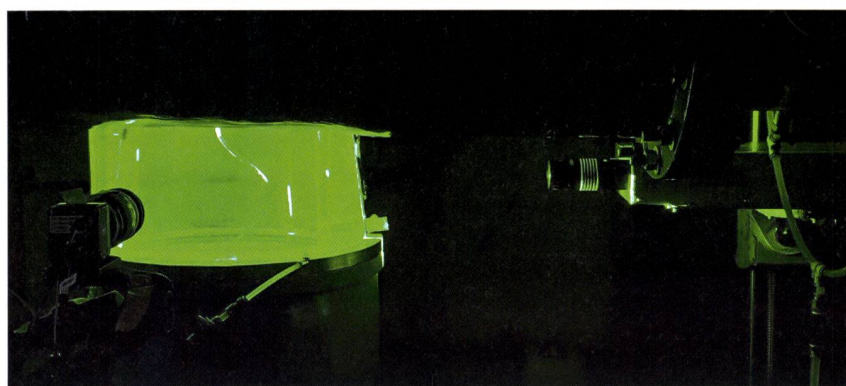


Figure 2 Mesure PIV (Particle Image Velocimetry) de la formation de bulles (cavitation) générée dans les turbines Francis dans certains modes de fonctionnement.

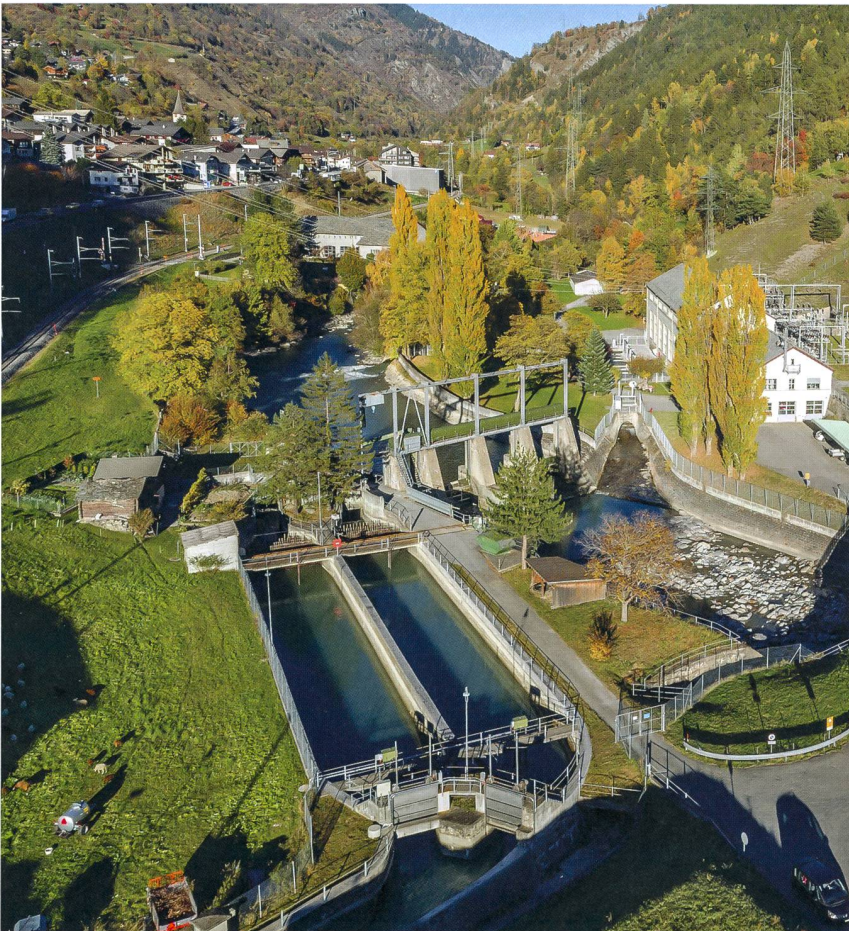
de modernisation. En effet, les centrales électriques doivent être mises à niveau pour pouvoir fonctionner de manière flexible, ce qui n’était pas prévu dans la production d’électricité traditionnelle. Outre les défis techniques, les aspects économiques doivent être pris en compte, comme l’explique Klaus Jorde: «Les exploitants de centrales électriques hésitent encore à réaliser les investissements nécessaires dans la mesure où la base économique pour ces investissements fait défaut sur de nombreux marchés. L’énergie hydraulique a traditionnellement de très longues durées d’amortissement. Pour ces nouvelles prestations, des rémunérations garanties à long terme sont nécessaires pour que les exploitants des centrales réalisent les investissements correspondants.»

C’est dans ce contexte qu’il faut comprendre les travaux de recherche qui se consacrent actuellement à la flexibilisation des installations hydroélectriques. Avec les États-Unis et la Norvège, la Suisse occupe une position de leader

dans ce domaine. Le projet SmallFlex, dirigé par la Haute école spécialisée de Suisse occidentale HES-SO Valais-Wallis, a par exemple étudié de 2017 à 2021, à la centrale au fil de l’eau de Gletsch-Oberwald (VS), la faisabilité technique et le potentiel économique d’une exploitation flexible ainsi que son impact sur l’écologie fluviale. L’EPFL, qui dispose de nombreuses années d’expérience dans la recherche dans le domaine de l’énergie hydraulique, a participé au projet. La Plateforme technologique machines hydrauliques (PTMH), dirigée par le professeur Mario Paolone, y fait de la recherche fondamentale et soutient l’industrie par le biais de projets de développement basés sur la pratique. «Nos travaux de recherche se concentrent sur l’exploitation flexible des centrales hydroélectriques, car cela permettra à l’énergie hydraulique de contribuer, à l’avenir, de manière importante à la transition du système énergétique», explique D’Elena Vagnoni, responsable du groupe de recherche PTMH.



**Figure 3** Le lac de retenue de l'Hongrin exploité par la centrale de pompage-turbinage vaudoise FMHL, au sein de laquelle est étudié le potentiel du fonctionnement en court-circuit hydraulique pour la mise à disposition d'une puissance de réglage négative sans palier.



**Figure 4** Dans la centrale au fil de l'eau à haute pression d'Ernen, dans le Haut-Valais, le remplacement de l'ancienne turbine Francis par une turbine Pelton est en cours d'essai afin d'acquies de l'expérience pour des mesures de réaménagement.

### Des tourbillons néfastes dans les turbines Francis

Achevé en 2021, le projet de recherche Post (Plant Operation Stability Modeling) a étudié le comportement des turbines Francis lorsqu'elles sont exploitées à charge partielle ou à forte charge en dehors de leur régime de fonctionnement classique (**figure 2**). Dans de tels cas, des instabilités peuvent apparaître. Celles-ci se manifestent par des vibrations et des bruits, et entraînent une perte d'efficacité ainsi qu'une fatigue des matériaux. Les instabilités sont dues à des tourbillons qui se forment après le passage de l'eau dans la turbine et provoquent la formation de bulles (cavitation).

Dans le cadre du projet Post, l'équipe de chercheurs menée par Elena Vagnoni a décrit les caractéristiques physiques de ces tourbillons pour différents modes de fonctionnement. En outre, l'équipe a développé, à l'aide du logiciel de simulation Simsén, un modèle capable de prédire à quel tourbillon il faut s'attendre en fonction des conditions de fonctionnement. Elena Vagnoni précise : « Nos résultats aident les fabricants à optimiser la géométrie des turbines afin d'éliminer, ou au moins de réduire, les instabilités. Les exploitants de centrales en tirent des enseignements pour savoir dans quelle mesure ils peuvent modifier les conditions d'exploitation sans provoquer d'instabilités préjudiciables. »

### Essai de fonctionnement en court-circuit hydraulique

Les compétences du laboratoire de l'EPFL sont actuellement mises à profit dans le cadre d'un projet de démonstration d'une durée de quatre ans auquel participent cinq centrales électriques et d'autres partenaires de recherche tels que la HES-SO et l'ETH Zurich. Soutenu par l'OFEN dans le cadre de son programme pilote et de démonstration, le projet HydroLeap a pour objectif d'étudier différentes questions dans la pratique sur trois sites de centrales électriques, dont la centrale de pompage-turbinage vaudoise FMHL de Veytaux (**figure 3**). Les centrales de pompage-turbinage sont notamment utilisées pour assurer la stabilité du réseau. Grâce à leur grande flexibilité, elles peuvent, en cas de surabondance d'électricité sur le réseau national, utiliser le surplus

d'électricité pour pomper de l'eau dans le lac de retenue, ou répondre à un manque de production en turbinant une partie de l'eau stockée. Dans ces cas de fourniture de «puissance de réglage secondaire», le prélèvement d'électricité (par pompage) et la production d'électricité (par turbinage) sont souvent limités à quelques minutes. Comme la puissance de réglage permet d'empêcher les fluctuations indésirables sur le réseau électrique, elle est rémunérée par la Société nationale du réseau de transport d'électricité Swissgrid.

Dans la centrale électrique FMHL de Veytaux, les études actuelles portent sur la manière de mieux gérer la quantité de puissance de réglage mise à disposition. Un mode d'exploitation des centrales de pompage-turbinage encore relativement récent, connu sous le nom de «court-circuit hydraulique», permet d'y parvenir: il consiste à pomper de l'eau dans le lac de retenue et, en même temps, à produire de l'électricité par turbinage. Dans cette configuration, la pompe prélève une puissance fixe, mais la quantité d'électricité produite peut être réglée en continu grâce à un fonctionnement à charge partielle de la turbine. En mode court-circuit hydraulique, la centrale peut régler finement la quantité de puissance de réglage négative (consommation du surplus d'électricité du réseau) mise à disposition et ainsi l'adapter aux besoins. «Ce mode de fonctionnement est intéressant pour les exploitants de centrales, car ils sont indemnisés non seulement pour la production d'électricité, mais aussi pour la puissance de réglage négative», souligne Elena Vagnoni.

### Centrale au fil de l'eau assistée par batterie

Un deuxième site de recherche du projet HydroLeap est la centrale hydroélectrique au fil de l'eau d'Ernen, dans le Haut-Valais (figure 4). Ici aussi, l'accent est mis sur l'utilisation flexible de

l'énergie hydraulique. Dans le cas d'une exploitation en mode flexible, le point de fonctionnement de la turbine est souvent et rapidement modifié. Toutefois, ceci entraîne une sollicitation accrue de la turbine, ce qui peut raccourcir sa durée de vie. Pour éviter les changements rapides de vitesse des turbines, les exploitants de centrales utilisent depuis peu des batteries: celles-ci fournissent temporairement de l'électricité au réseau jusqu'à ce que la turbine ait augmenté sa vitesse de rotation, ou absorbent de l'électricité jusqu'à ce que la turbine ait réduit sa vitesse de rotation. De premières installations hybrides de ce type sont en service sur différents sites de centrales électriques dans le monde. Le projet mené dans le Haut-Valais doit également permettre d'acquérir une expérience approfondie en Suisse.

Un second projet partiel à la centrale d'Ernen concerne sa rénovation. Les exploitants de centrales électriques suisses sont confrontés à la tâche herculéenne de renouveler, au cours des 30 prochaines années, les concessions pour un volume de production de 23 TWh d'électricité. Cela représente plus de la moitié de la production annuelle actuelle d'hydroélectricité. À la centrale d'Ernen, on étudie si, dans le cadre d'une mesure de réaménagement, il serait judicieux de remplacer la turbine Francis par une turbine Pelton offrant une plus grande flexibilité et de meilleurs rendements en charge partielle. Deux projets de recherche de l'OFEN déjà achevés, Shama et RenovHydro, se situaient dans le même contexte: le bureau de consultation romand Power Vision Engineering (St-Sulpice/VD) avait alors développé des modèles de simulation pour les rénovations de centrales électriques. Les modèles aident les exploitants à concevoir les composants du système et à définir les plages de fonctionnement des turbines. Ils facilitent également la préparation des mesures de réaménagement.

### Une base pour des modèles commerciaux fiables

Les projets de recherche mentionnés ne montrent qu'une partie des activités de recherche réalisées en Suisse afin d'assurer l'avenir de l'énergie hydraulique suisse en tant qu'«enabler» de la transition énergétique. «Les résultats obtenus jusqu'à présent dans le cadre des recherches en cours permettent de conclure que l'énergie hydraulique dispose d'un potentiel de flexibilité plus important que supposé jusqu'à présent», explique le responsable du programme de l'OFEN Klaus Jorde. «Pour ce qui est des questions techniques relatives à la flexibilisation de l'exploitation et à l'utilisation optimisée du potentiel de stockage, nous sommes sur la bonne voie. Pour que l'énergie hydraulique puisse réellement jouer son nouveau rôle, les conditions du marché doivent encore être adaptées afin que les exploitants de centrales puissent investir en toute sécurité et mettre ainsi en place des modèles commerciaux fiables.»

#### Liens

Informations complémentaires à propos des projets de recherche:

→ SmallFlex:

[www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40717](http://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40717). Un article à propos de ce projet a été publié dans le Bulletin SEV/VSE 5/2021 et peut être consulté sur: [bulletin.ch/fr/news-detail/les-petites-centrales-deviennent-flexibles.html](http://bulletin.ch/fr/news-detail/les-petites-centrales-deviennent-flexibles.html).

→ Post:

[www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=44321](http://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=44321).

→ HydroLeap:

[www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=47437](http://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=47437).

→ Shama:

[www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=38330](http://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=38330).

→ RenovHydro:

[www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=39570](http://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=39570).

→ Autres articles spécialisés dans le domaine de l'énergie hydraulique:

[www.bfe.admin.ch/ec-hydro](http://www.bfe.admin.ch/ec-hydro).

#### Auteur

D' **Benedikt Vogel**, journaliste scientifique, sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN).

→ Dr. Vogel Kommunikation, DE-10437 Berlin

→ [vogel@vogel-komm.ch](mailto:vogel@vogel-komm.ch)

Des informations complémentaires peuvent être obtenues auprès de D' Klaus Jorde ([klaus.jorde@kjconsult.net](mailto:klaus.jorde@kjconsult.net)), responsable externe du programme de recherche «Force hydraulique» de l'OFEN.

# Libérez-vous des coûts énergétiques.

Notre centrale domestique est unique en son genre dans le domaine de l'alimentation électrique solaire de secours et auxiliaire. Investissez dès maintenant dans un avenir sûr et autonome avec un accumulateur à batterie de la nouvelle variante de montage peu encombrante S10E PRO Compact.

[www.e3dc.ch](http://www.e3dc.ch)



ENERGY STORAGE  
**E3DC**