

Flexible hydropower ensures the security of electricity supply

Growing challenges due to accelerated climate targets and energy crisis

Gottfried Gökler¹, Orkan Akpınar², Peter Bauhofer³, Hans-Peter Ernst⁴, Gian-Paolo Lardi⁵, Gundula Konrad⁶, Thomas Resch⁷, Martin Schletterer^{3, 8}

¹ Vorarlberger Illwerke AG, Austria, ² Schluchseewerk AG, Germany, ³ TIWAG – Tiroler Wasserkraft AG, Austria, ⁴ Uniper SE, Germany, ⁵ Repower AG, Switzerland, ⁶ VERBUND Hydro Power GmbH, Austria, ⁷ EnBW Energie Baden-Württemberg AG, Germany, ⁸ University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU), Austria



Content

- Arbeitsgemeinschaft Alpine Wasserkraft
- History of hydropower in the Alps
- Importance of Alpine hydropower & flexibility (capacity & generation)
- Many rivers are affected by multiple stressors
- Hydropeaking mitigation measures – examples from CH & AT
- Summary

Arbeitsgemeinschaft Alpine Wasserkraft

- association established on 13. July 1999 by German, Austrian & Swiss HP operators
- agenda = hydropower → all aspects of hydroelectric power generation in the Alpine region:
basics, technology, operation and marketing
- **Aims**
 - promote the socio-political acceptance of hydroelectric power plants, with reference to the diverse benefits of our plants
 - increase public awareness of the importance of hydropower as a clean energy source, to achieve the Paris climate goals
 - participation in the implementation of the EU Water Framework Directive
 - communication of the outstanding importance of hydropower in Alpine areas,
 - consultation of legislative procedures related to hydropower in the Alpine region.

Arbeitsgemeinschaft Alpine Wasserkraft

- organization of international symposia and workshops
- research projects with universities and scientific institutes
- cooperation with national and international institutions and stakeholders
- exchange of experiences between the members
- publication of information materials
- public relations work (media and the interested public)



AGAW-Tage
27. - 28. Juni 2017
Einladung und Programm

Die Arbeitsgemeinschaft alpine Wasserkraft (AGAW) hat sich der Aufgabe gestellt, die Nutzung der umweltfreundlichen Wasserkraft der Alpen durch Mitwirkung in nationalen und internationalen Gremien zu fördern.

Durch die ökonomisch und ökologisch sinnvolle Nutzung aller regenerativen Energiequellen verstärkt sich die Notwendigkeit, jederzeit ausreichende Regelleistung zur Netzstabilität zur Verfügung zu stellen. Bis dato gibt es keine großtechnische Alternative zu sekundärgenau erneuerbaren Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken.

Laufwasserkraftwerke liefern gesicherte Energie aus erneuerbaren, heimischer Wasserkraft, Speicher- und Pumpspeicher stellen zusätzlich sichere und erneuerbare Flexibilität im Stromnetz zur Verfügung.

Insgesamt dieser positiven Eigenschaften erneuerbar, flexibel und heimisch ist das Umfeld für Wasserkraft schwingend, da andere Erzeugung- und Speichertechnologien in vielen Ländern gefördert werden und damit der Markt verengt wird.

Dies und vieles mehr behandeln die AGAW-Tage vom 27. - 28. Juni 2017 in Baden-Baden.

Wie gewohnt wird es auch Gelegenheit geben, Kultur zu genießen und persönliche Kontakte zu pflegen.

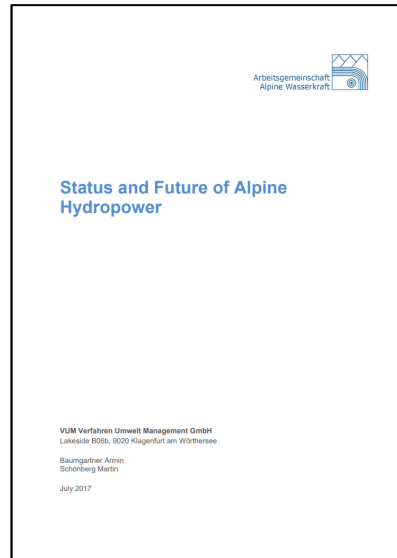
Voransteller:
Arbeitsgemeinschaft alpine Wasserkraft e.V. (AGAW)


Veranstaltungsort:
Workshop Fische
Rheinstraßen 11/12
Am der Straußle 27
76475 Ilfheim

Symposium:
Kultur Baden-Baden
Kaiserhof 1
76530 Baden-Baden

 **Arbeitsgemeinschaft alpine Wasserkraft**

Organisation und Rückfragen:
Arbeitsgemeinschaft alpine Wasserkraft e.V.
Orkan Aljapic
Säckinger Straße 67
79725 Ludwigsburg
Tel.: +49 93 7763 / 9278-41226
E-Mail: agaw-tage@tskluetzwerk.de

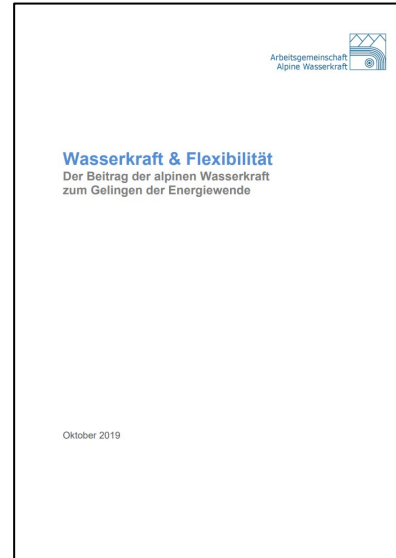



 **Arbeitsgemeinschaft Alpine Wasserkraft**

Status and Future of Alpine Hydropower

VUM Verfahren Umwelt Management GmbH
Lakeside 8008, 9020 Klagenfurt am Wörthersee

Baumgartner Armin
Schönberg Martin
July 2017



 **Arbeitsgemeinschaft Alpine Wasserkraft**

Wasserkraft & Flexibilität
Der Beitrag der alpinen Wasserkraft zum Gelingen der Energiewende

Oktober 2019

History of hydropower in the Alps

- The **exploitation of mechanical hydropower** initially lost some of its importance during the 19th century. The steam engine (James Watt, 1769) and the expansion of coal mining permitted the industrial production of goods in regions without hydropower potential.
- Werner von Siemens invented the electricity generator in 1866 that hydropower returned to the fore, as it enabled the **conversion of mechanical energy from water to electric power**.

„Black coal – white coal“ – Paris world exhibition in 1889

- 1st HPP in the world: 1878 – Northumberland in England
- France: 1880 – production of electricity in paper mill near Grenoble
- Austria: 1880 – Steyr (Josef Werndl) → exhibition in 1884
- Switzerland: 1886 – Thorenberg near Littau (Canton of Lucerne)
- Germany: 1890 – Saalach power station in Bad Reichenhall
- Italy: 1898 – Adda near Paderno
- Slovenia: 1913 (1918) – Fala on the Drava

Matt et al. (2019)

History of hydropower in the Alps



Francis turbine

1849, James B. Francis (US)



Pelton turbine

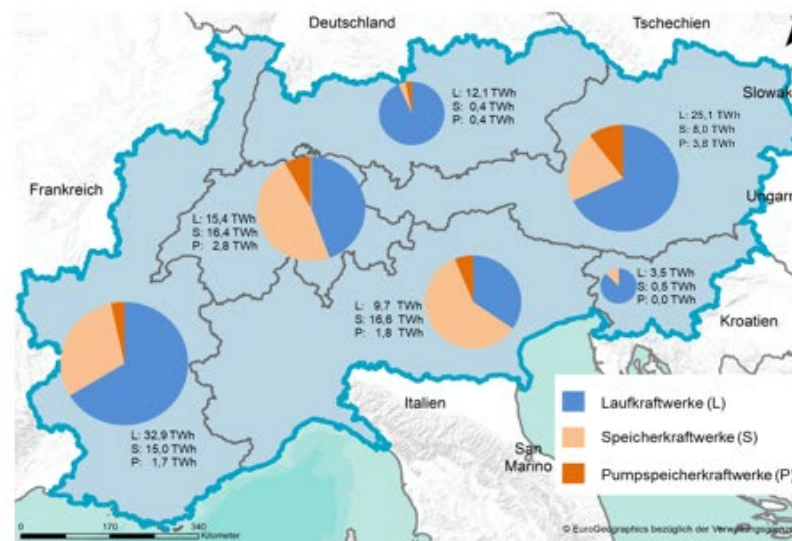
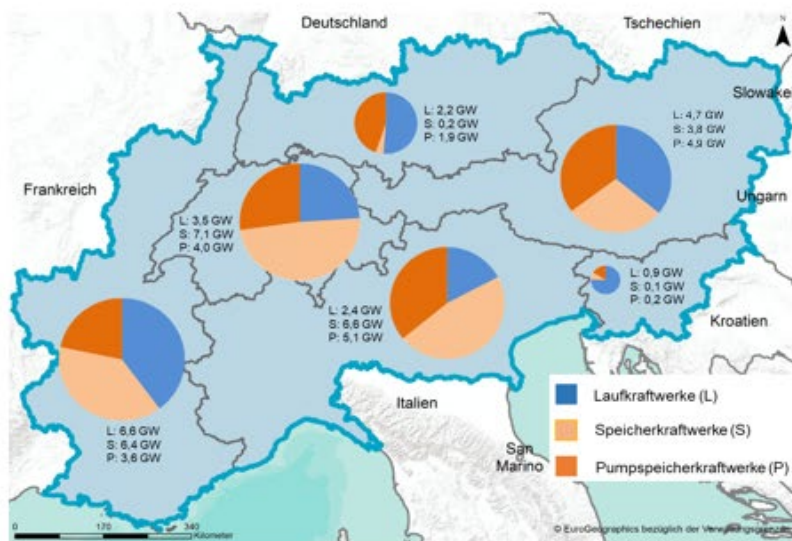
1880, Lester Pelton (US)



Kaplan turbine

1913, Viktor Kaplan (AT)

Status of hydropower in the Alps (> 5 MW)



64 GW Wasserkraftleistung*:

- Laufwasserkraft: 20,3 GW
- Speicherwasserkraft: 24,1 GW
- Pumpspeicherkraft: 19,7 GW (15,6 GW Pumpenleistung)

166 TWh/a Arbeitsvermögen der Wasserkraftwerke*:

- Laufwasserkraft: 99 TWh/a
- Speicherwasserkraft: 57 TWh/a
- Pumpspeicherkraft: 10 TWh/a (nat. Zufluss)

Importance of Alpine hydropower & flexibility

- UN SDGs: Agenda 2030



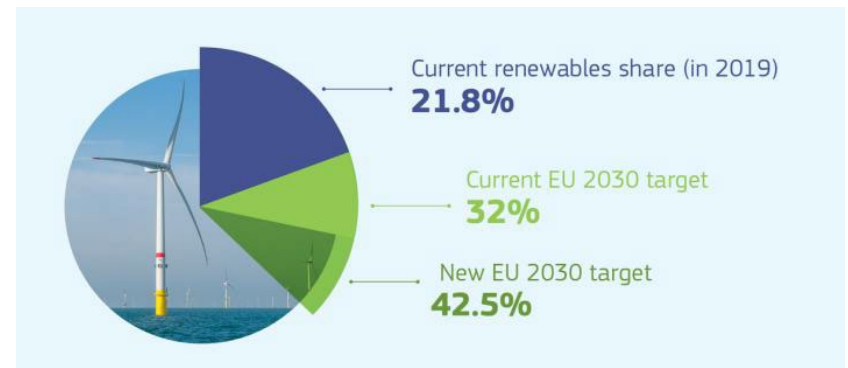
- European Climate Law
- Fit For 55
- Clean Energy Package (CEP) 2018



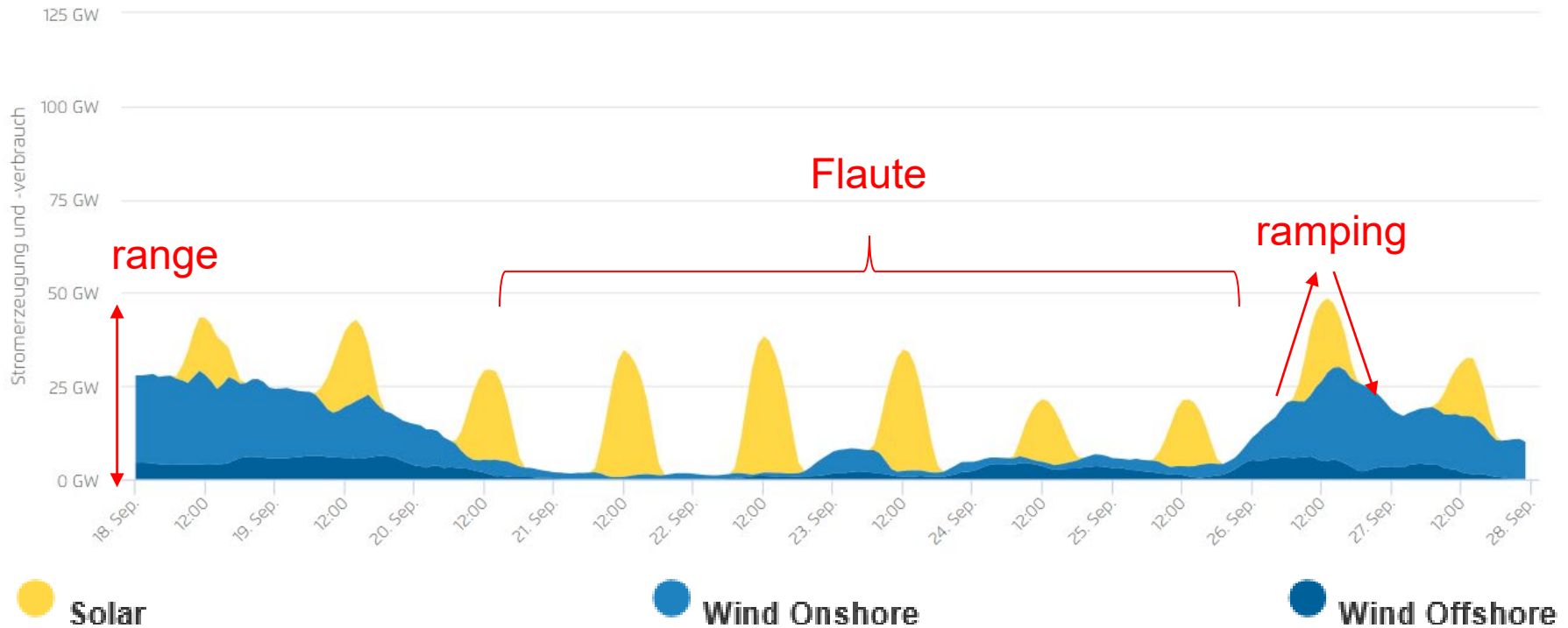
- The Paris Agreement (2015)

hold “the increase in the global average temperature to well below 2°C above pre-industrial levels” and pursue efforts “to limit the temperature increase to 1.5°C above pre-industrial levels.”

- REPowerEU

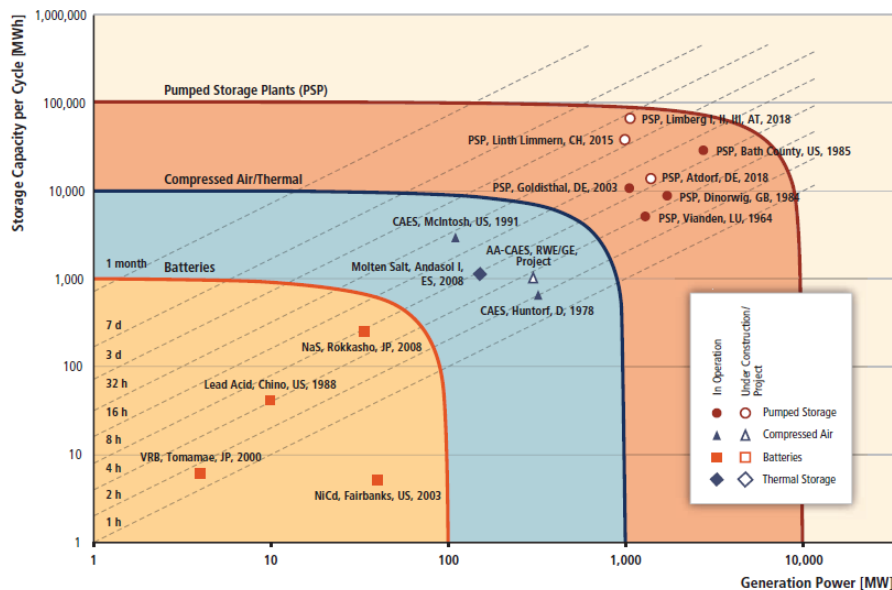


Importance of Alpine hydropower & flexibility

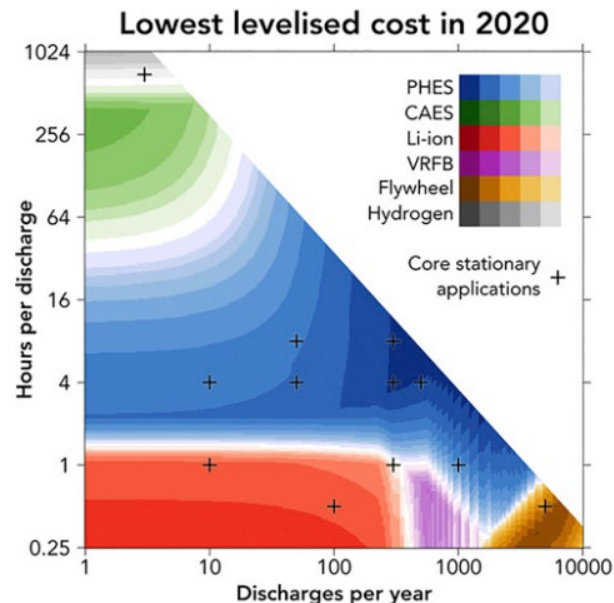


Beispiel: Wind- und Photovoltaikerzeugung – Deutschland: 18.9 bis 2.10.2022 [GW] /
auf Basis Agora Energiewende (2023): Agorameter

Importance of Alpine hydropower & flexibility

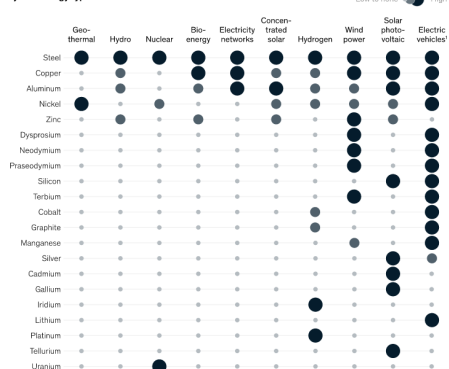


Kumar et al. (2011)



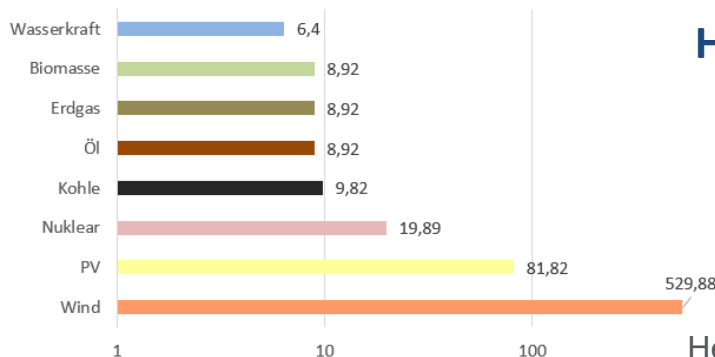
Schmidt et al. (2019)

Materials critical for transition to a low-carbon economy, by technology type



Includes energy storage.
Source: Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU: A baseline study, European Commission, Mar 9, 2020. The role of critical minerals in clean energy transitions, IEA, May 2021. McKinsey analysis

Kritische Metalle (kg/TWh)

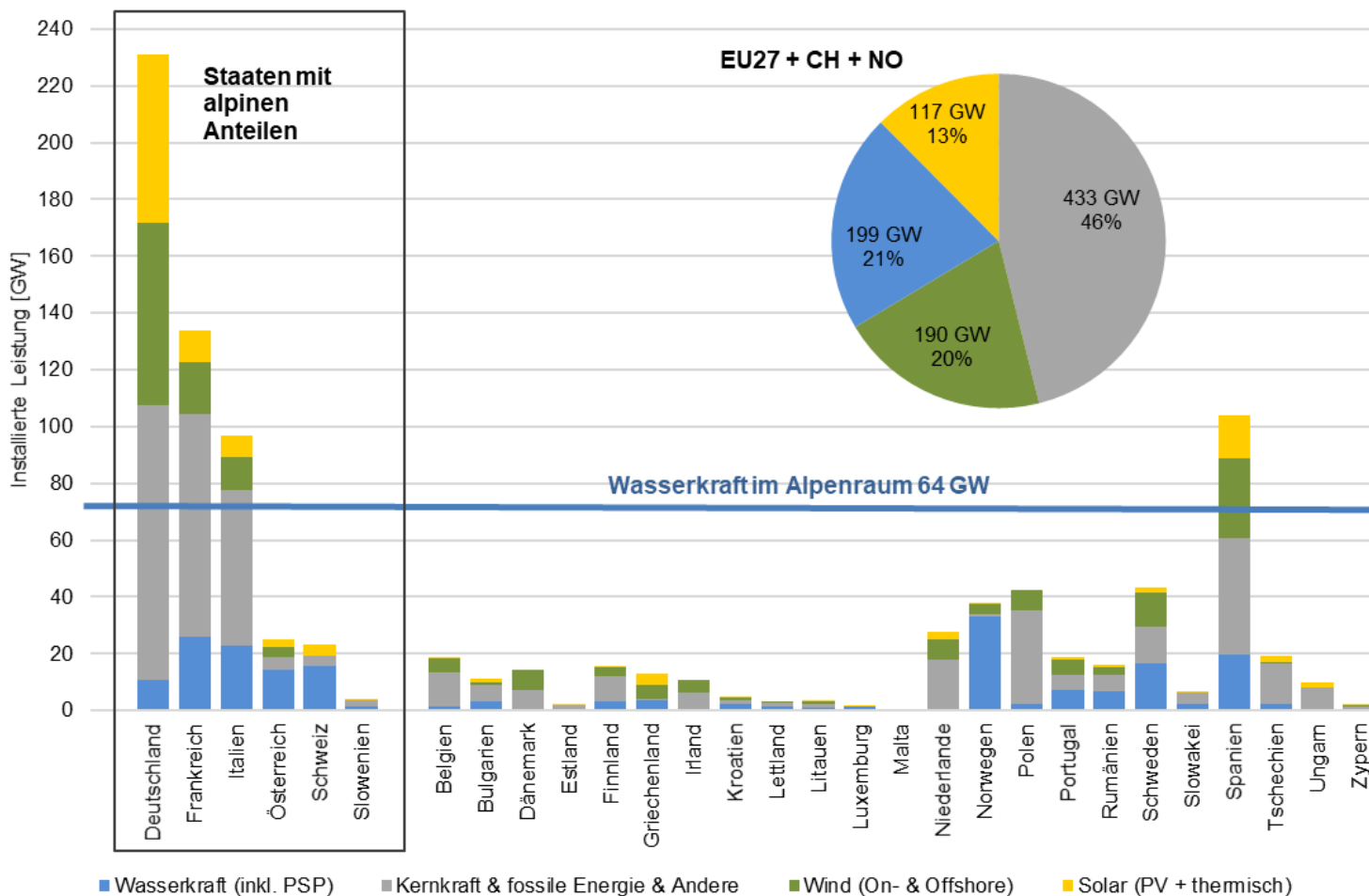


Hydropower provides the most efficient energy storage!

Hesthammer (2020)

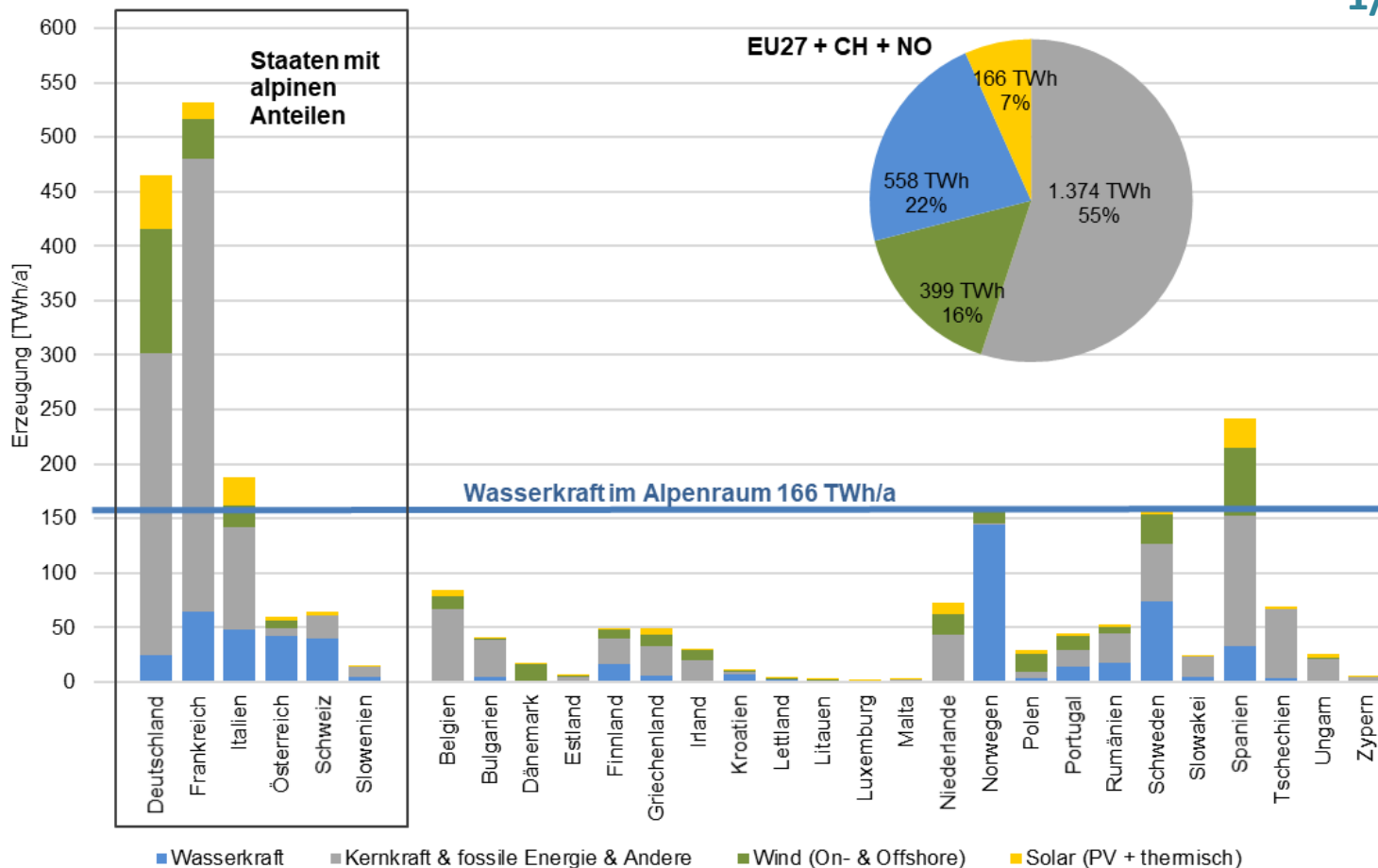
Importance of Alpine hydropower & flexibility

Installed capacity: 938 GW → hydropower 199 GW
1/3 in the Alps

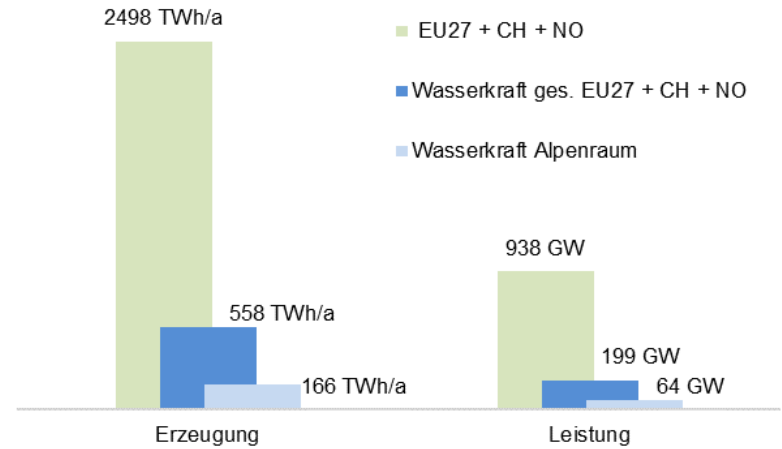
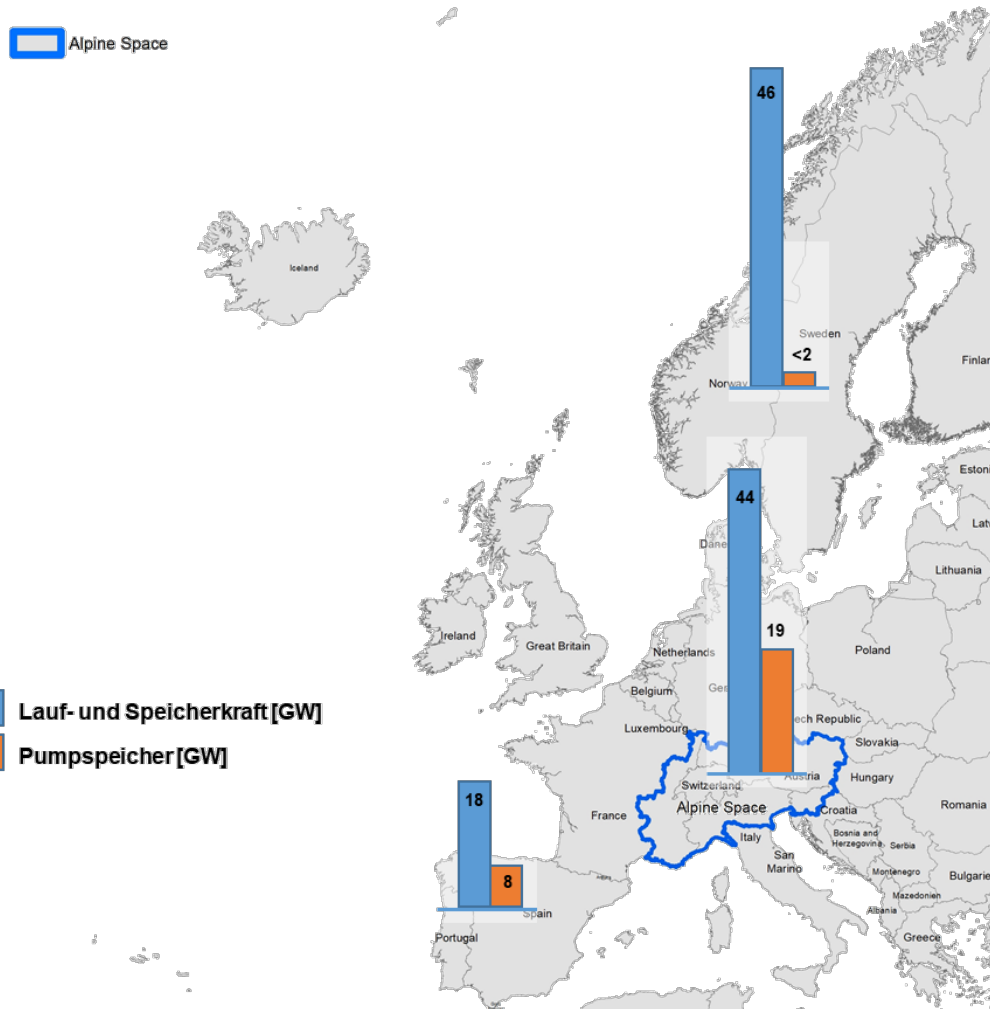


Importance of Alpine hydropower & flexibility

production ca. 2.500 TWh/a → 22% (558 TWh) from hydropower
1/3 from the Alps



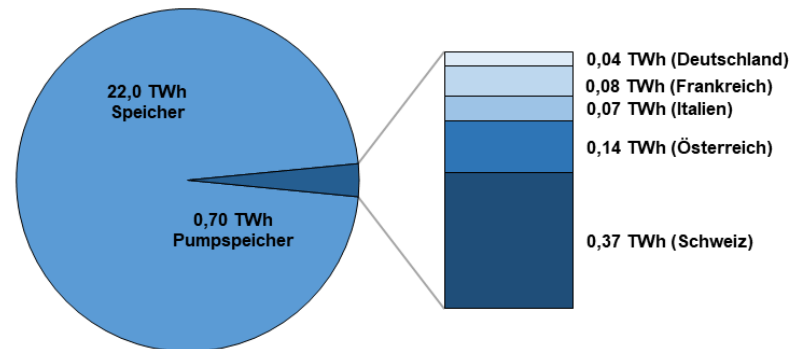
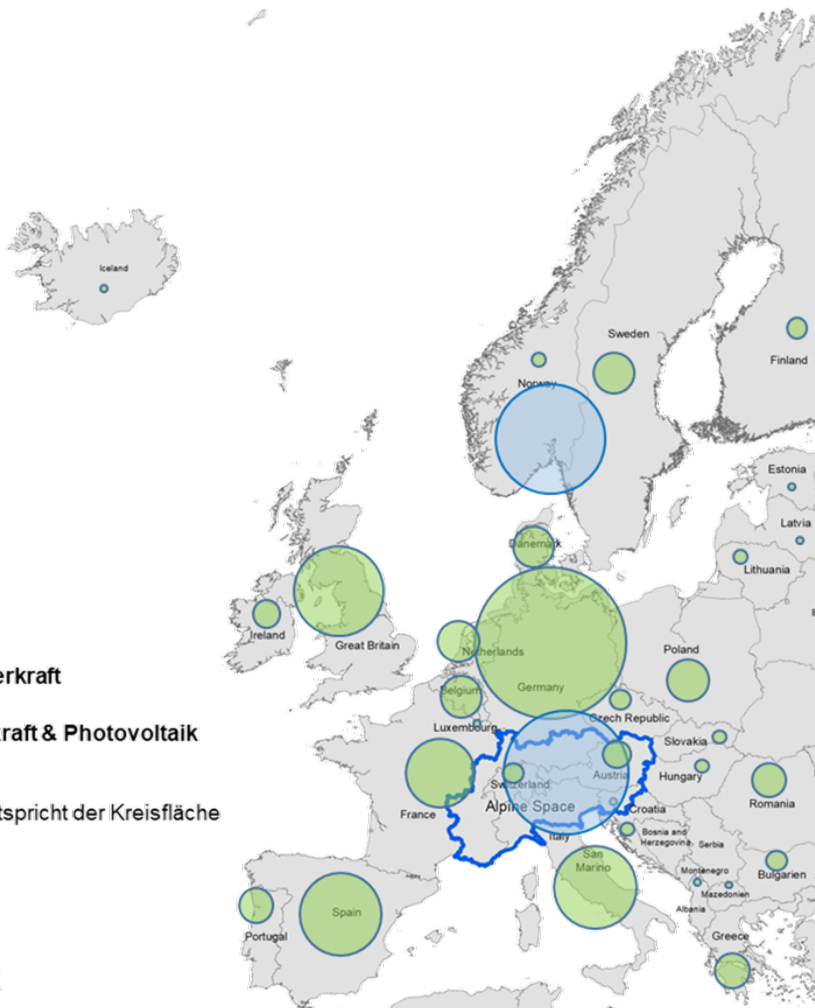
Importance of Alpine hydropower & flexibility



- high **flexibility** in the Alps
- unique feature: **number & capacity** of pump-storage HPPs

Importance of Alpine hydropower & flexibility

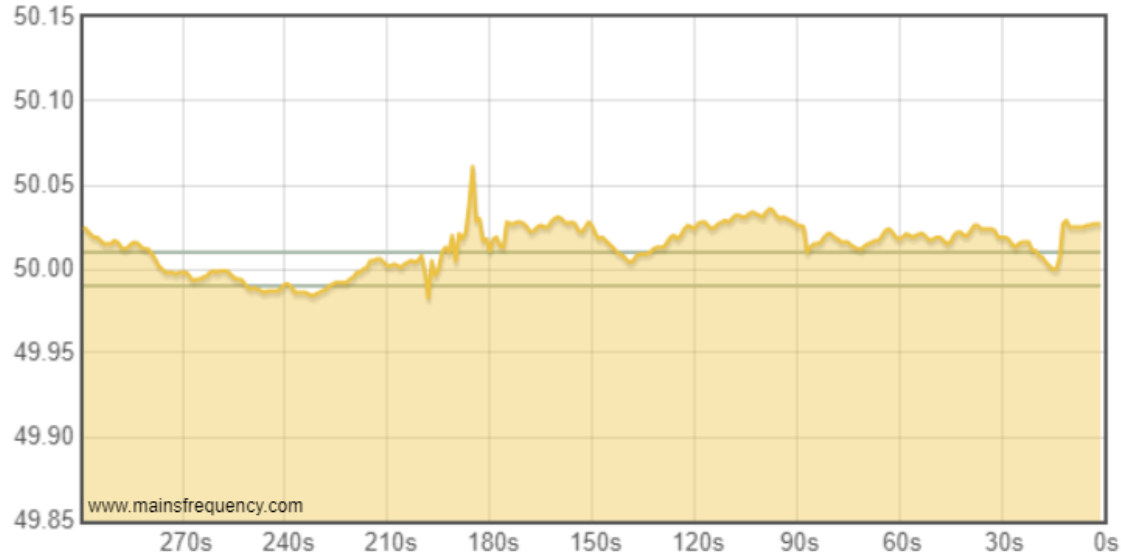
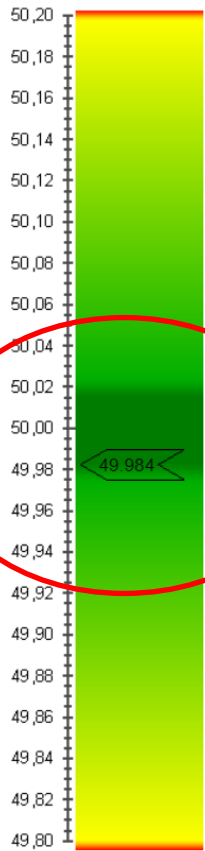
 Alpine Space



- „Dunkelflaute“
- flexible energy from storage and pump-storage HPPs needed
- integration of renewables wind & PV

Importance of Alpine hydropower & flexibility

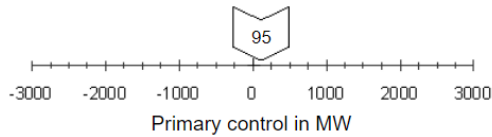
Mains frequency



Here you can see the grid frequency of the last 5 minutes in Hz.

Mains frequency: 50.027 Hz.

Date and time (UTC): 14.06.2023 14:18:07



Utility frequency: 49.984 Hz
Phase angle \odot to 50.0 Hz: 105°
Date and time (UTC): 14.06.2023 13:43:29

Importance of Alpine hydropower & flexibility

- Power generation from renewable sources **166 TWh/a**, with low short-term volatility
- Substitution of fossil fuels & reduction of greenhouse gas emissions = **annual savings of 73 million tons of CO₂**
- **Reliable technology** in more than 1,000 alpine hydroelectric power plants ≥ 5 MW
- **Integration of volatile renewables**, especially wind power and PV
- Provision of **assured capacity 64 GW**, of which 43 GW in storage and pumped storage
- Exceptionally **high flexibility**, both in the short-term and long-term segment
- With **ternary machinery sets** (e.g. Kopswerk II): quick response to the grid
 - 20 sec from zero to full load PU & TU
 - 40 sec from full load turbine to pumping mode & vice versa
- **Provision of system services**: frequency and voltage stability, supply restoration, redispatch, black start and grid restoration, voltage and reactive power control
- **Contribution to system stability** and security of supply system adequacy

Hydropeaking: R&D → Measures

The production of flexible energy causes frequent changes in discharge, i.e. hydropeaking.



Forschungsbericht

Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern – Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten

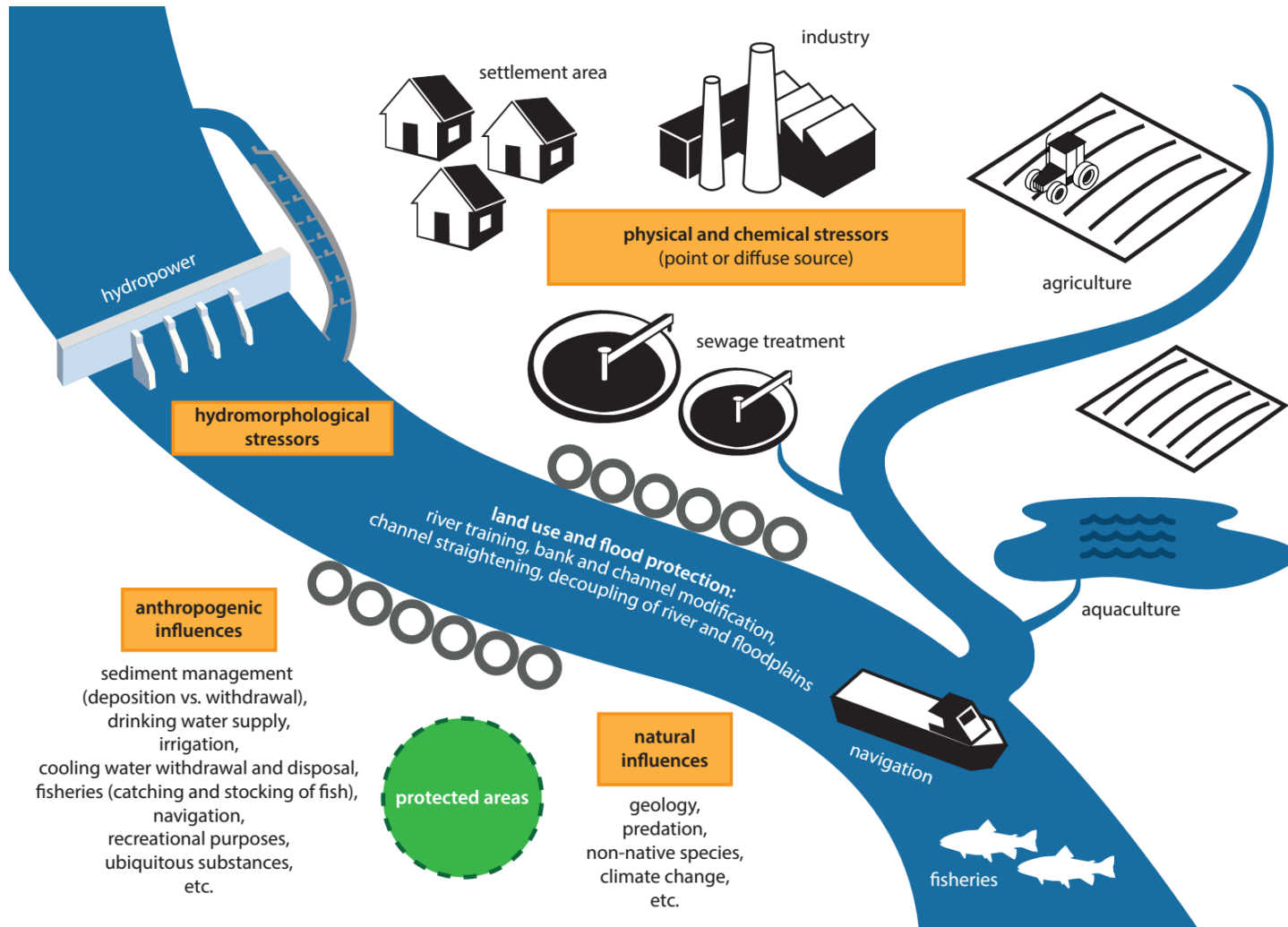
Wien, September 2013



Measures without effect on the production:

- Hydropeaking Diversion HPPs
- Hydropeaking Retention Basins

Many rivers are affected by multiple stressors



Hydropeaking mitigation measures in Switzerland

GEWÄSSER

Steffen Schweizer, Stephanie Schmidlin, Martin Bieri, Peter Büsler, Matthias Meyer, Judith Money, Sandro Schläppi, Matthias Schneider, Diego Tonolla, Jeff Tuhtan und Kurt Wächter

Die erste Schwall-Sanierung der Schweiz: Die Hasliaare als Fallbeispiel

Im Rahmen eines Ausbauprojekts wird die heute maximal mögliche Wasserrückgabe in die Hasliaare von 70 m³/s auf künftig 95 m³/s erhöht. Damit werden die Effekte der künstlichen Pegelschwankungen verschärft. Im Vorfeld wurde daher die gewässerökologische Situation eingehend untersucht und eine ökologische Beurteilung des heutigen Zustands und für künftige Zustände (Ausbau mit verschiedenen Schwalldämpfungsmaßnahmen) durchgeführt. Seit 2013 wird zwischen Kraftwerk und Wasserrückgabe ein Zwischenspeicher (Beruhigungsbecken und Stollen) mit 80 000 m³ Volumen realisiert.

1 Einleitung

Die Vielzahl der Speicherseen in den Alpen ermöglicht es, das vor allem im Sommer zufließende Wasser größtenteils zurückzuhalten und je nach Bedarf zu einem späteren Zeitpunkt zur Stromproduktion zu verwenden. Dies führt im Vorfluter einerseits zu einer saisonalen Verschiebung des Abflusses vom Sommer in den Winter. Andererseits treten auch regelmäßig kurzfristige Pegelschwankungen im Vorfluter auf (Schwall/Sunk). Für die aquatischen Organismen kann dieses künstliche Abflussregime weitreichende Folgen haben [1].

Die 2011 in Kraft getretene Revision des Schweizerischen Gewässerschutzgesetzes (GSchG) sieht vor, dass die wesentlichen Beeinträchtigungen durch Schwall/

Sunk bis zum Jahr 2030 behoben werden müssen. Dafür sind in erster Linie bauliche Maßnahmen (z. B. Beruhigungsbecken zur Reduktion der Geschwindigkeit von Abflusszu- oder -abnahme oder Direktableitung des turbinierten Wassers in ein größeres Gewässer) geplant. Auf Kraftwerksantrag können aber auch betriebliche Maßnahmen (freiwillige Einhaltung von Grenzwerten bei der Wasserrückgabe) oder eine Kombination aus beiden Sanierungsformen umgesetzt werden. Die Kosten für die Sanierungsmaßnahmen werden vom Stromkonsumenten durch eine Abgabe von 0,1 Rappen pro kWh getragen. Die Umsetzung der Schwall-Sunk-Sanierung ist in insgesamt vier Phasen gegliedert:

- Defizitanalyse des Ist-Zustands bis Ende 2014 (Phase 1),

- Variantenstudium von möglichen Sanierungsmaßnahmen (Phase 2),
- Umsetzung der ausgewählten Sanierungsmaßnahmen (Phase 3) und
- Erfolgskontrolle nach der Umsetzung (Phase 4).

Die Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) nützt das Wasser aus dem Grimsel- und Sustengebiet für eine jährliche Stromproduktion von rund 2 400 GWh/a. Die Wasserentnahme erfolgt an insgesamt 27 Wasserfassungen, wobei ausschließlich im Aaretal (Grimsel) größere Stauseen eine saisonale Speicherung des zufließenden Wassers erlauben. Im Rahmen des Investitionsprogramms KWO plus erweitert die KWO u. a. das Kraftwerk Innetkirchen I. Zur Erhöhung der Stromproduktion und der Leistung wird eine zusätzliche Turbine mit einem Maximaldurchfluss von 25 m³/s ein-

HPP Innetkirchen (KWO)

basin & cavern → volume of 80,000 m³

Bruder et al. (2016), Tonolla et al. (2017)

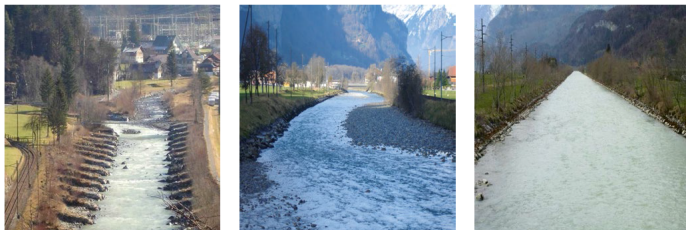


Bild 1: Die Hasliaare: Bühnenstrecke in Innetkirchen (links), Kiesbankstrecke in Meiringen (Mitte), Kanalstrecke unterhalb von Meiringen (rechts) (Quelle: S. Schweizer)

Hydropeaking mitigation measures in Austria, e.g. Tyrol

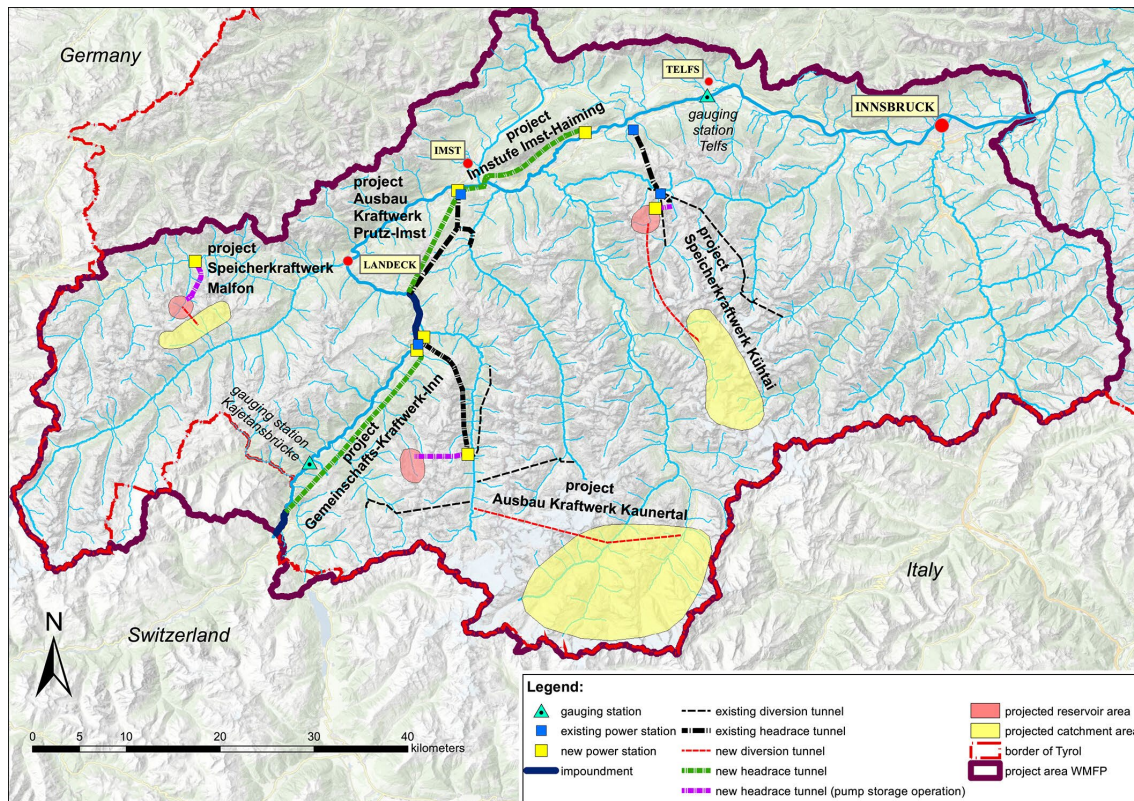
Received: 1 February 2022 | Revised: 29 July 2022 | Accepted: 22 August 2022
DOI: 10.1002/rra.4052

SPECIAL ISSUE PAPER

WILEY

Increased hydropower production and hydropeaking mitigation along the Upper Inn River (Tyrol, Austria) with a combination of buffer reservoirs, diversion hydropower plants and retention basins

„additional production of about 1,800 GWh/year renewable energy, as well as the ecological improvement of the Inn river, as this concept will mitigate hydropeaking and reduce gradients to <15 cm/h (upramping) and <12 cm/h (downramping) in the critical periods“



catchment area - 4,650 km²

Inn river = HMWB

strategic planning → „bottom up“
Austrian Water Law (§53)

Schmelz et al (2017)

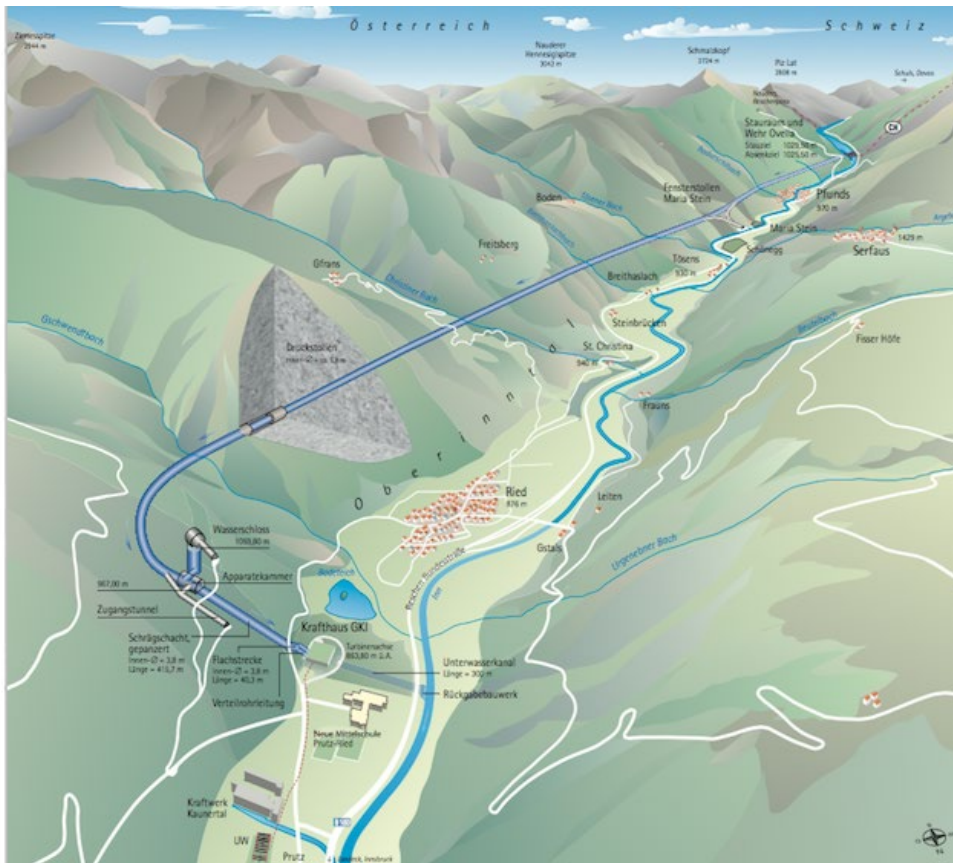
Strategic Environmental Assessment
“water management framework plan
for Western Tyrol”

2014: directive from the Federal
Ministry of Agriculture, Forestry,
Environment, and Water Management

Reindl et al. (2023)

Hydropeaking mitigation measures in Austria, e.g. Tyrol

- Hydropeaking Diversion HPP GKI → Herdina 2018, Moreira et al. 2020



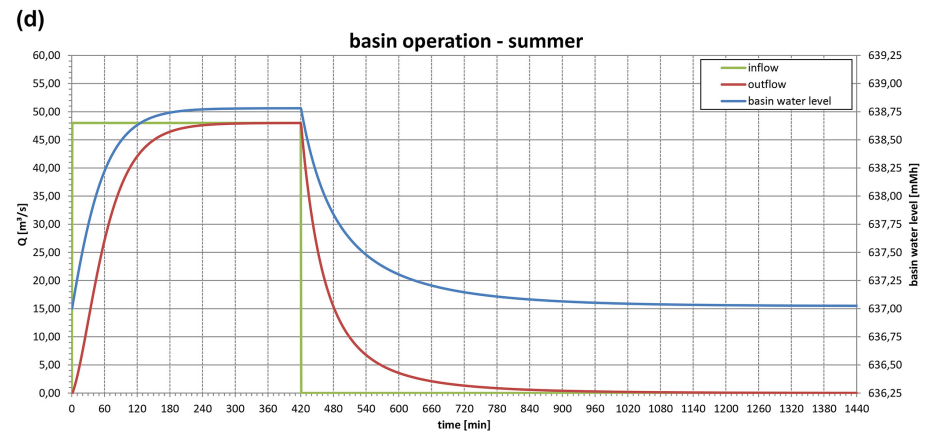
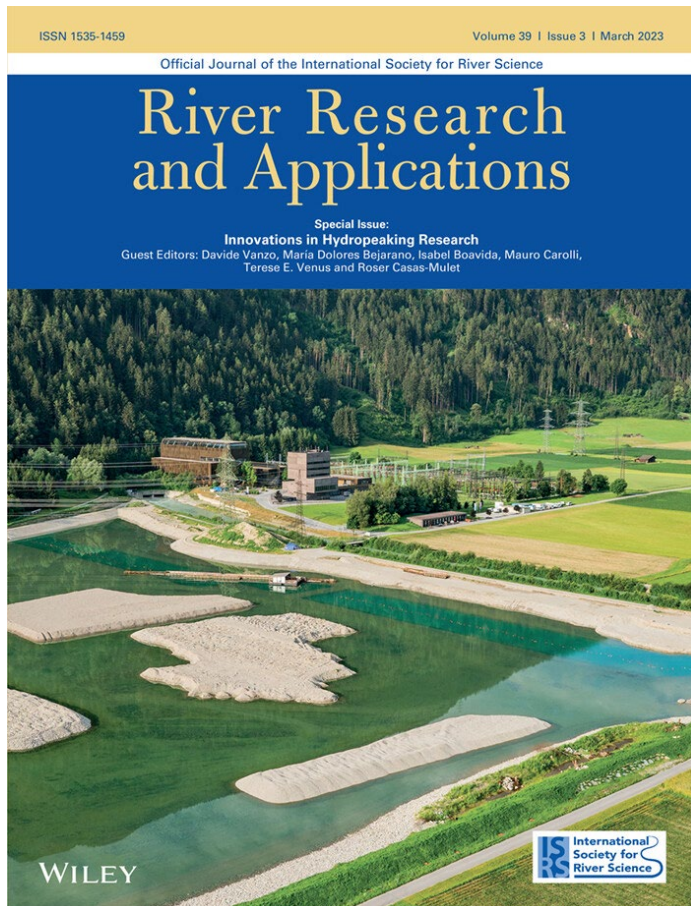
Gemeinschaftskraftwerk Inn

- Leistung: 89 MW
- Jahreserzeugung: ca. 414 GWh (vorb. Optimierung)
- Ausbau durchfluss: max. 75 m³/s
- Fläche Wassereinzugsgebiet: 1.960 km²
- Investitionsvolumen: rund 535 Mio. Euro
- Fallhöhe brutto: 160,7 m

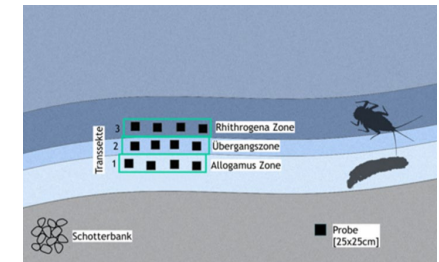
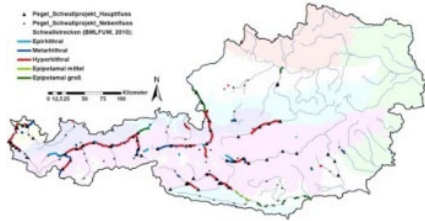


Hydropeaking mitigation measures in Austria, e.g. Tyrol

- Hydropeaking retention basin Silz → Reindl et al. 2023



Summary



Literature

Bruder A., Tonolla D., Schweizer S.P., Vollenweider S., Langhans S.D., Wüest A. (2016): A conceptual framework for hydropeaking mitigation, *Science of The Total Environment* 568: 1204-1212, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.032>

Matt P., Pirker O., Schletterer M. (2019): Hydropower through time – The significance of Alpine rivers for the energy sector. pp. 248-259 in: Muhar S., Muhar A., Egger G., Siegrist D. (Eds.): *Rivers of the Alps – Diversity in Nature and Culture*. Haupt Verlag.

Moreira M., Schletterer M., Quaresma A., Boavida I., Pinheiro A. (2020): New insights into hydropeaking mitigation assessment from a diversion hydropower plant: The GKI project (Tyrol, Austria). *Ecological Engineering* 158: 106035. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106035>

Reindl R., Neuner J., Schletterer M. (2023): Increased hydropower production and hydropeaking mitigation along the Upper Inn River (Tyrol, Austria) with a combination of buffer reservoirs, diversion hydropower plants and retention basins. *River Research and Applications* 39(3): 602-609, <https://doi.org/10.1002/rra.4052>

Schmelz C., Cudlik C., Hofer B. (2017): Wasserwirtschaftliche Planung durch Private in Österreich. *WasserWirtschaft* 7-8: 75-79.

Tonolla D., Bruder A., Schweizer S. (2017): Evaluation of mitigation measures to reduce hydropeaking impacts on river ecosystems – a case study from the Swiss Alps. *Science of the Total Environment* 574: 594–604, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.101>

VUM (2017): Status and Future of Alpine Hydropower (Studie i.A. der AGAW)

VUM (2019): Wasserkraft & Flexibilität - Der Beitrag der alpinen Wasserkraft zum Gelingen der Energiewende (Studie i.A. der AGAW)