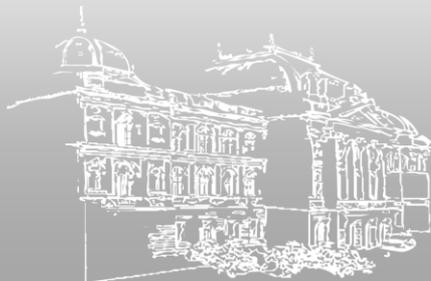


Potenzial für Wasserkraft & Energiespeicher

Helmut **Benigni**, Helmut **Jaberg** und Stefan **Höller**
Institut für Hydraulische Strömungsmaschinen
Technische Universität Graz

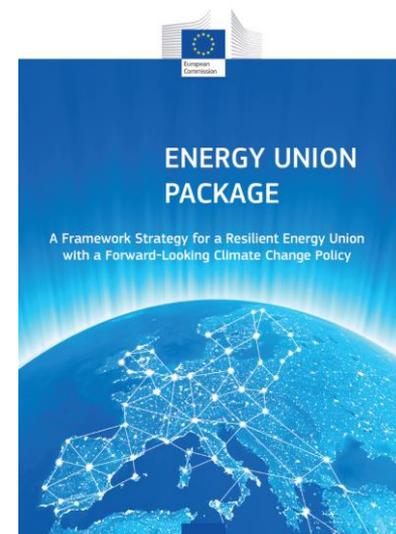
EnInnov2020

16. Symposium Energieinnovation | 12.02.–14.02.2020



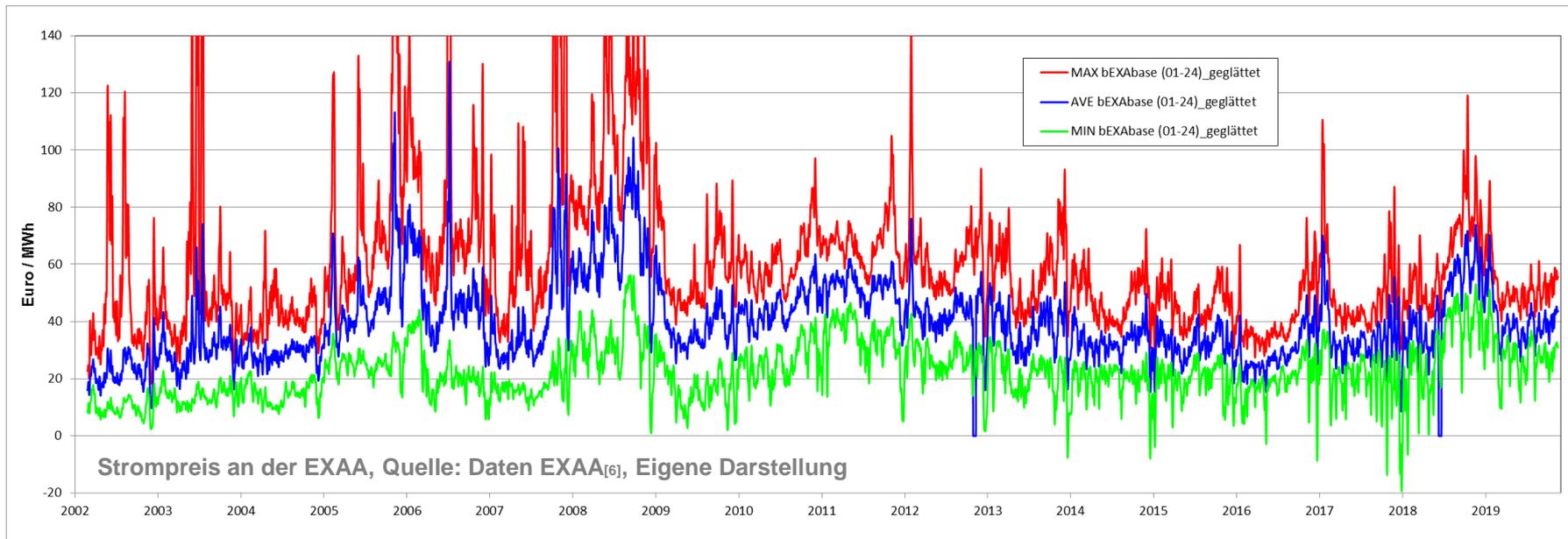
Kölnbreinsperre, Quelle: HFM

- EU Klima und Energieziele: >27 % aus erneuerbaren Energien bis 2030!^[1]
- Ein Energiesystem am Kontinent, Energie ohne Reglementierung über die Grenzen hinweg^[1]
- Dabei leistet Strom aus Wasserkraft heute und in Zukunft einen wesentlichen Beitrag^[2]
- Massiver Ausbau von Windkraft und Photovoltaik^{[3],[4]}
- EU – WRRL^[5]
 - Nationaler Gewässerplan, guter ökologischer Zustand
 - Verschlechterungsgebot, Fischaufstiegshilfen
 - Anhebung Restwasserdotierung
 - Reduktion Schwall- und Sunk
 - Geschiebehaushalt, Speicherverlandung

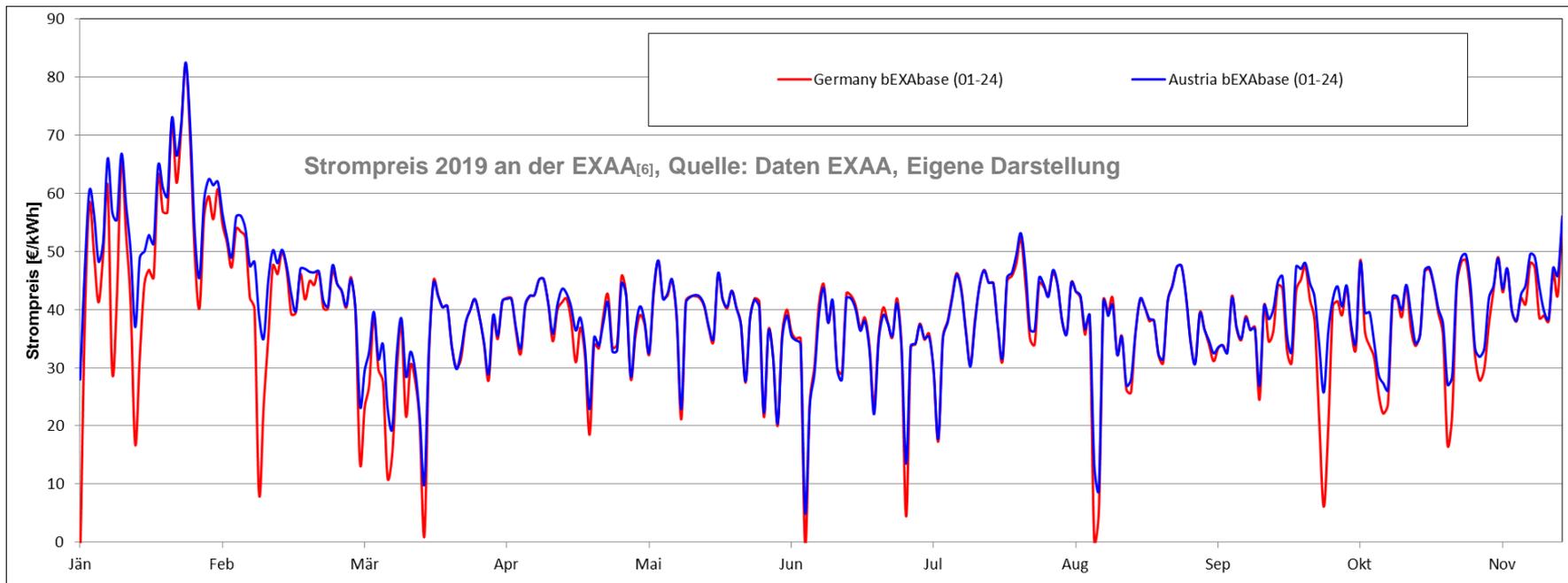


→ Installierte Leistung Windkraft in D: ca. 54 GW
→ Installierte Leistung Photovoltaik in D: ca. 46 GW

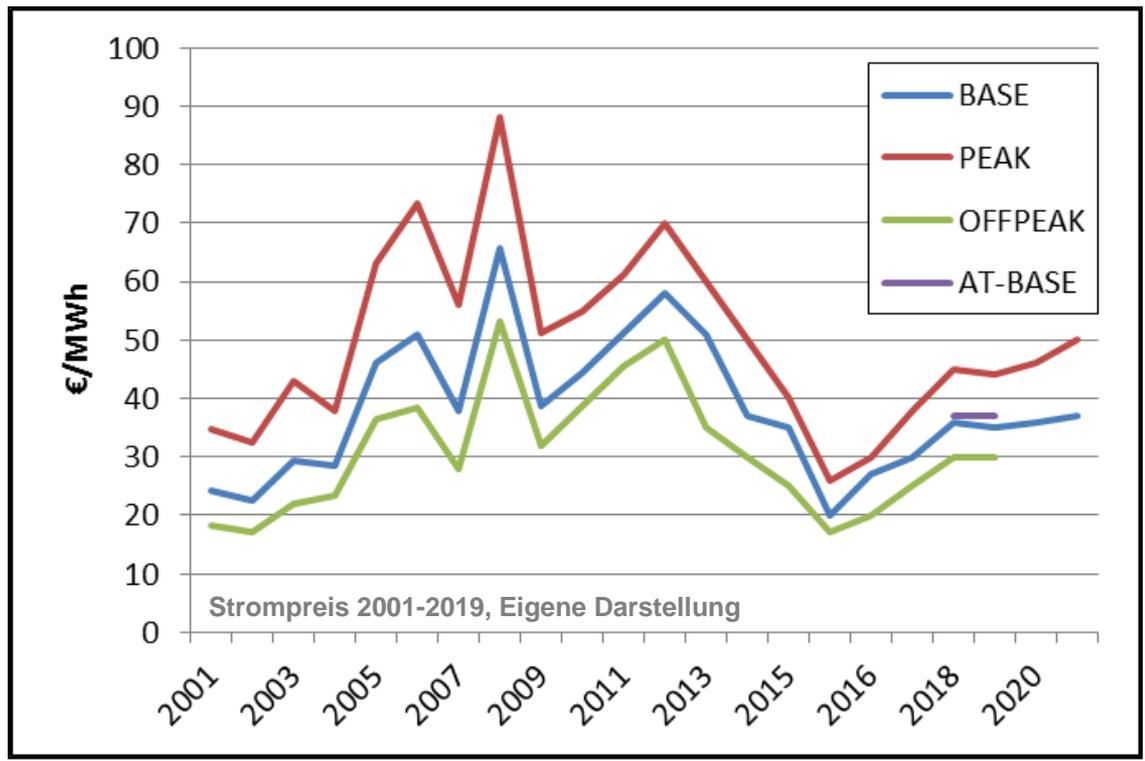
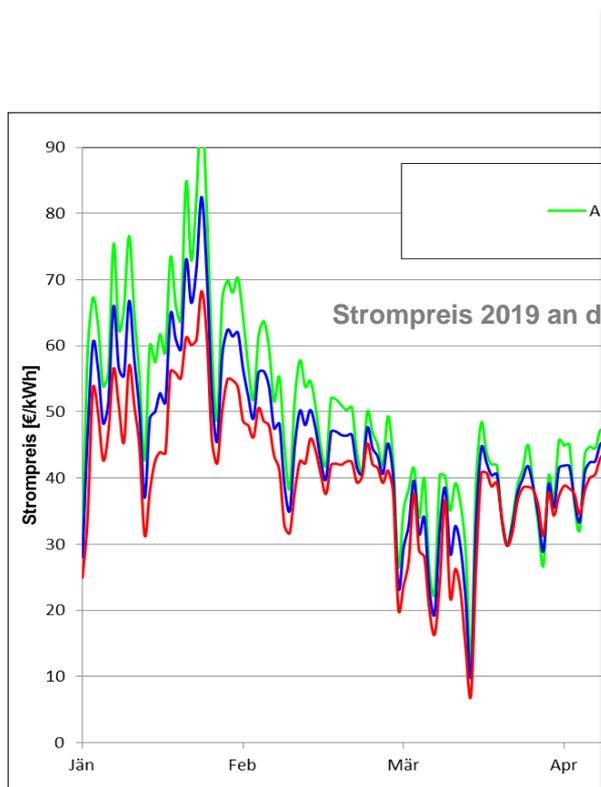
- Überkapazitäten im europäischen Strommarkt
- Konventionelle Kapazitäten werden aus dem Markt gedrängt
- Großhandelspreise immer noch um 30 % über jenen der USA^[1]



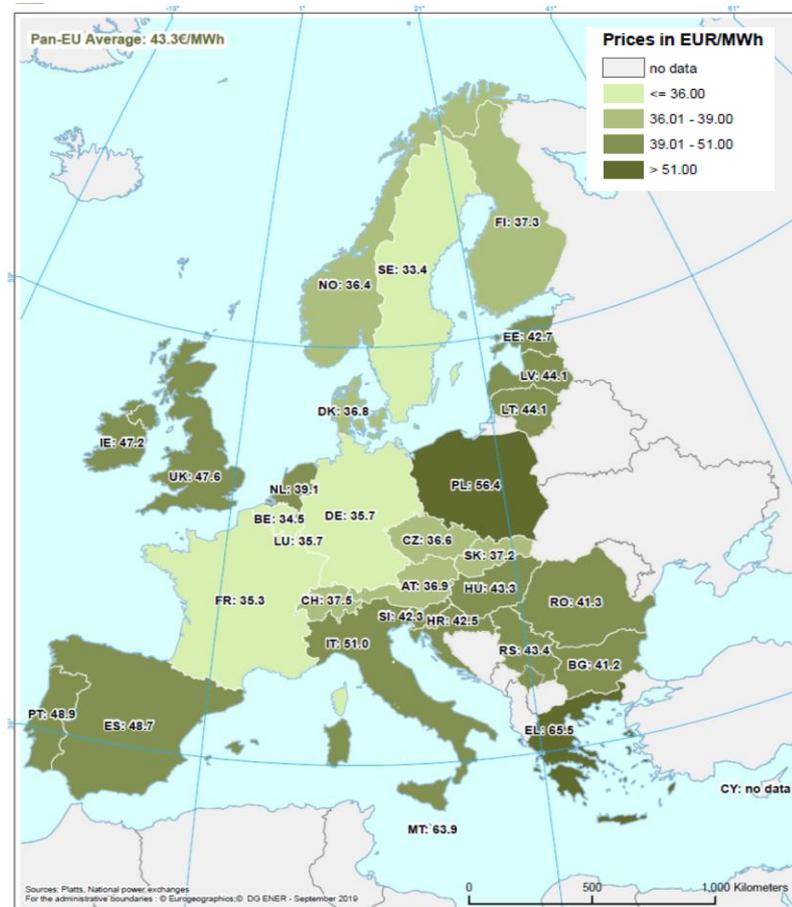
- Strompreiszonentrennung Deutschland / Österreich mit Okt. 2018
- Grund: Überlastung Grenzkuppelstationen und Stromfluss über osteuropäische Länder



- geringer „Spread“ zwischen „Peak“ und „Off-Peak“ Preisen



- Preise nicht homogen in Europa
- Südeuropa und Großbritannien haben höchste Großhandelspreise
- Skandinavien hat niedrigste Großhandelspreise, aber nun auch deutlich höhere
- Österreich und Deutschland liegen unter dem EU Schnitt



Speicher Wasserfallboden, Quelle: HFM



2015:
Norwegen :11.9 €/MWh
Schweden: 15.5 €/MWh
Deutschland: 32.8 €/MWh
Österreich: 33.1 €/MWh

Mittlerer Strom-
Großhandelspreis,
2. Quartal 2019 [7]

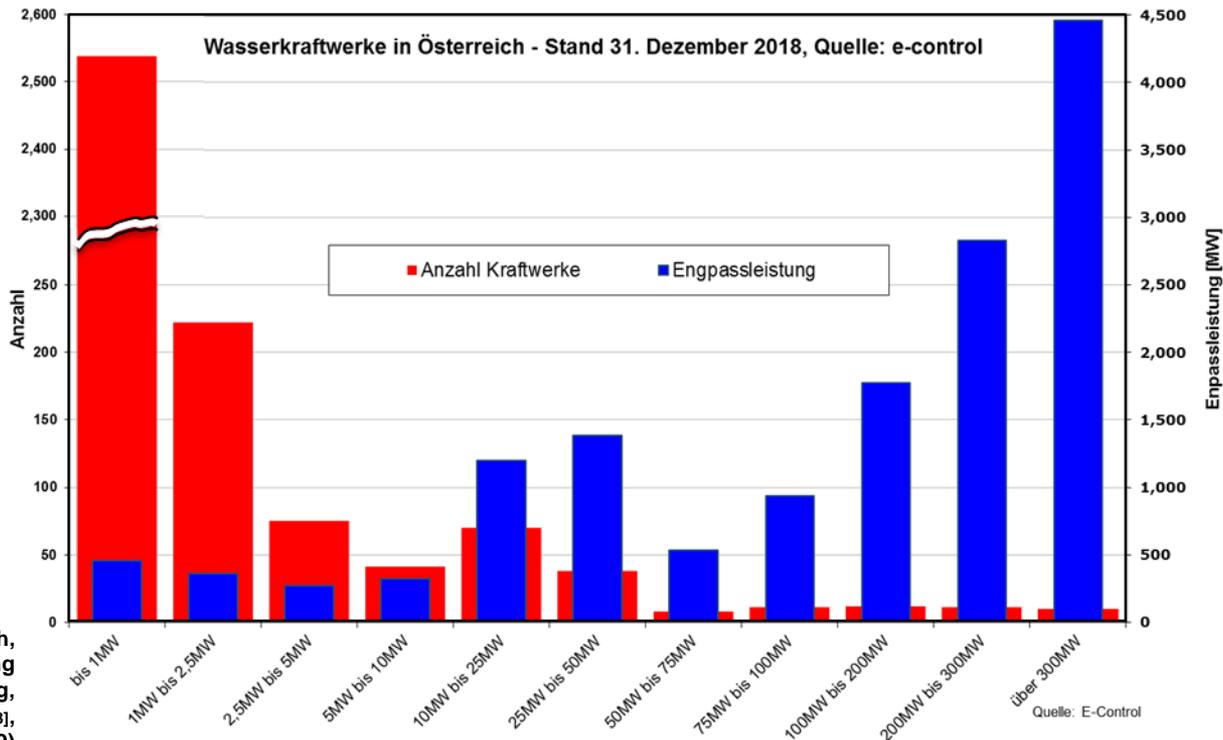
- 3036 Kraftwerke, Engpassleistung: 14.5 GW
- 85 % der Kraftwerke < 1 MW, 1.1 % der Kraftwerke > 100 MW



Kraftwerk Aschach, P=287MW, Quelle: HFM

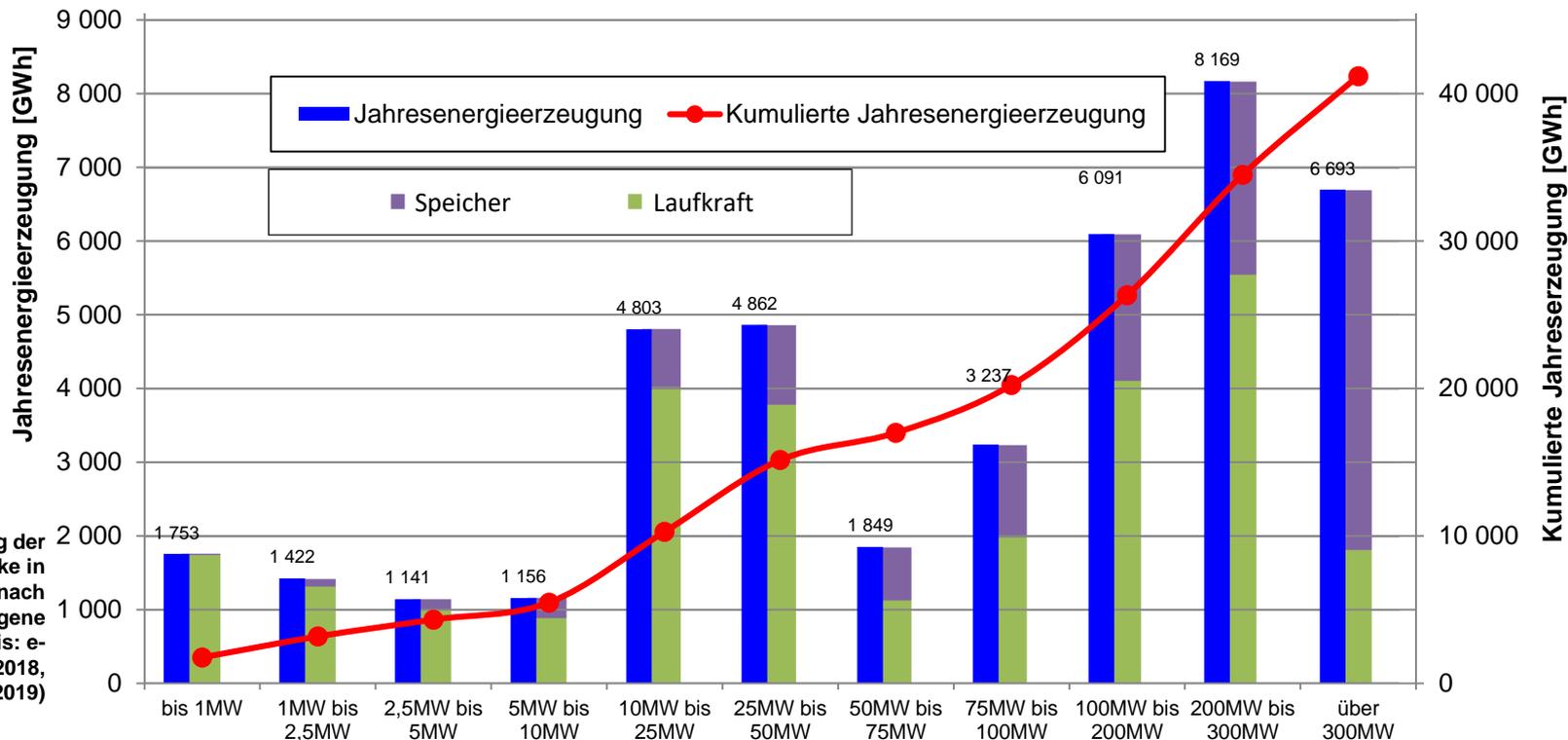


Walgauwerk, P=43 MW, Quelle: Illwerke



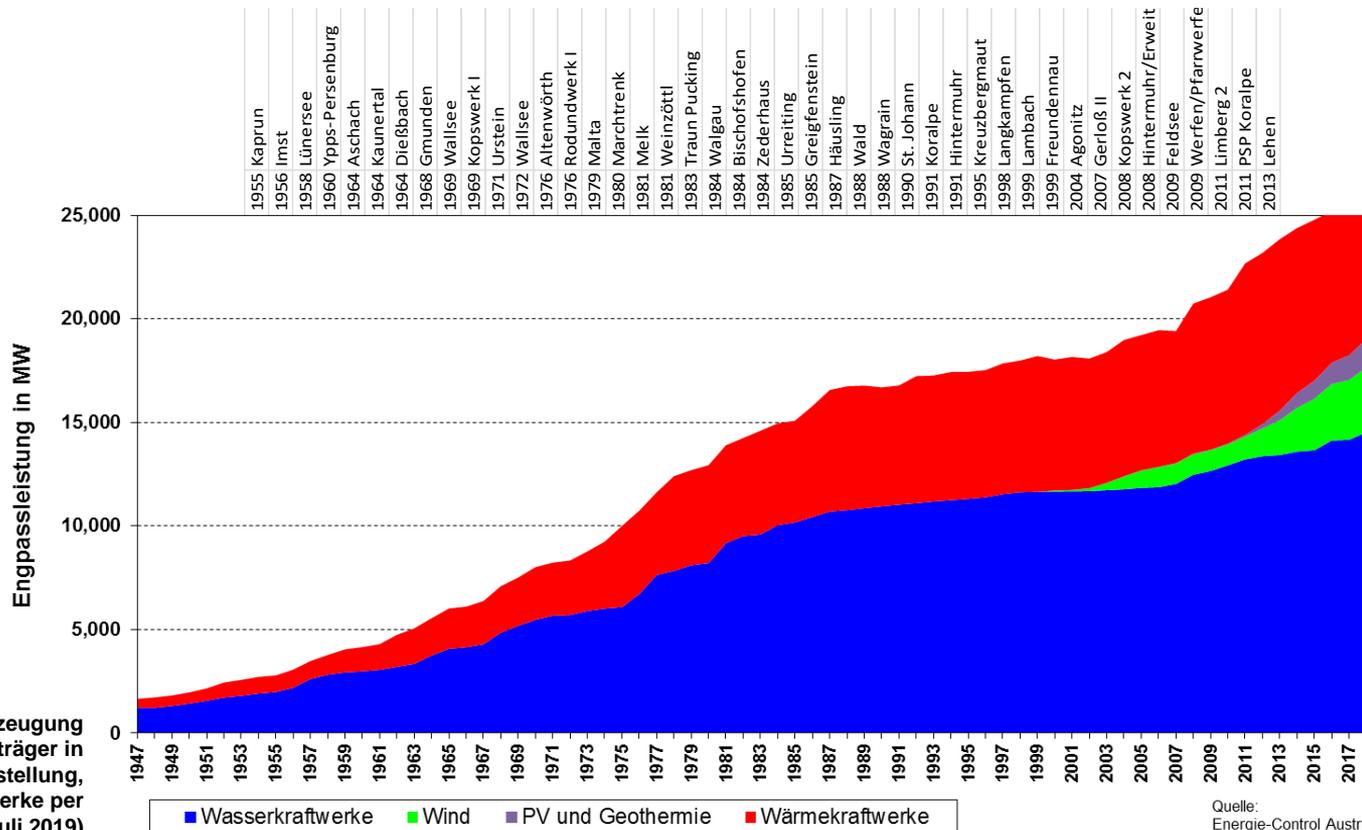
Anzahl der Wasserkraftwerke in Österreich, segmentiert nach Leistung (Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: e-control [8], Kraftwerke per 2018, Stichtag Juli 2019)

- 1.1 % der Kraftwerke > 100 MW aber 50.9% Wasserkraft-Erzeugung!
- Laufkraftkraftwerke liefern 66% der Stromerzeugung aus Wasserkraft



- 4.5 GW installierter Leistung von Wind u. Photovoltaik, seit Jahrtausendwende

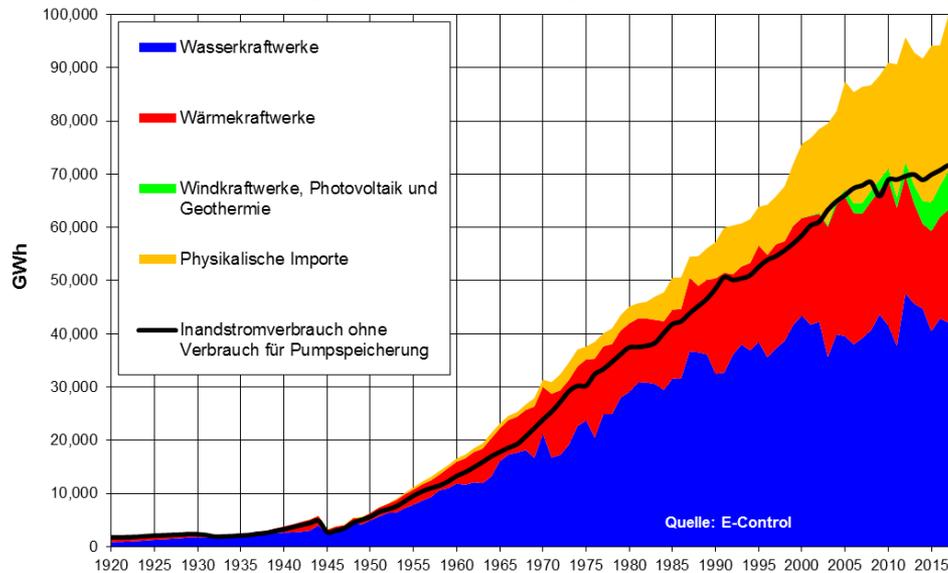
→ Σ19 GW installierte Leistung Erneuerbare



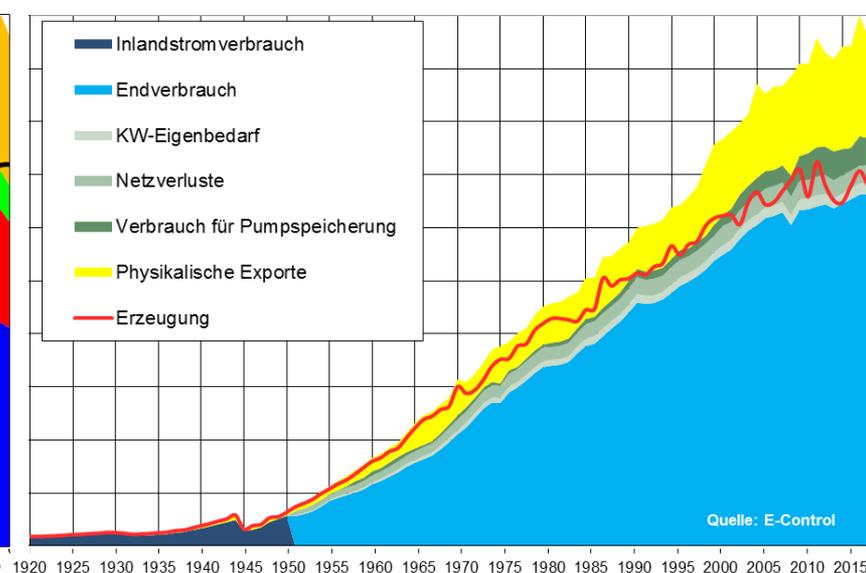
Quelle: Energie-Control Austria

- Aufbringung und Verbrauch von elektrischer Energie in Österreich erreicht 100 TWh
- Erzeugung in Österreich 70 TWh (Wasserkraftanteil 67%)
- Exporte und Importe: Nettoimporteur ...

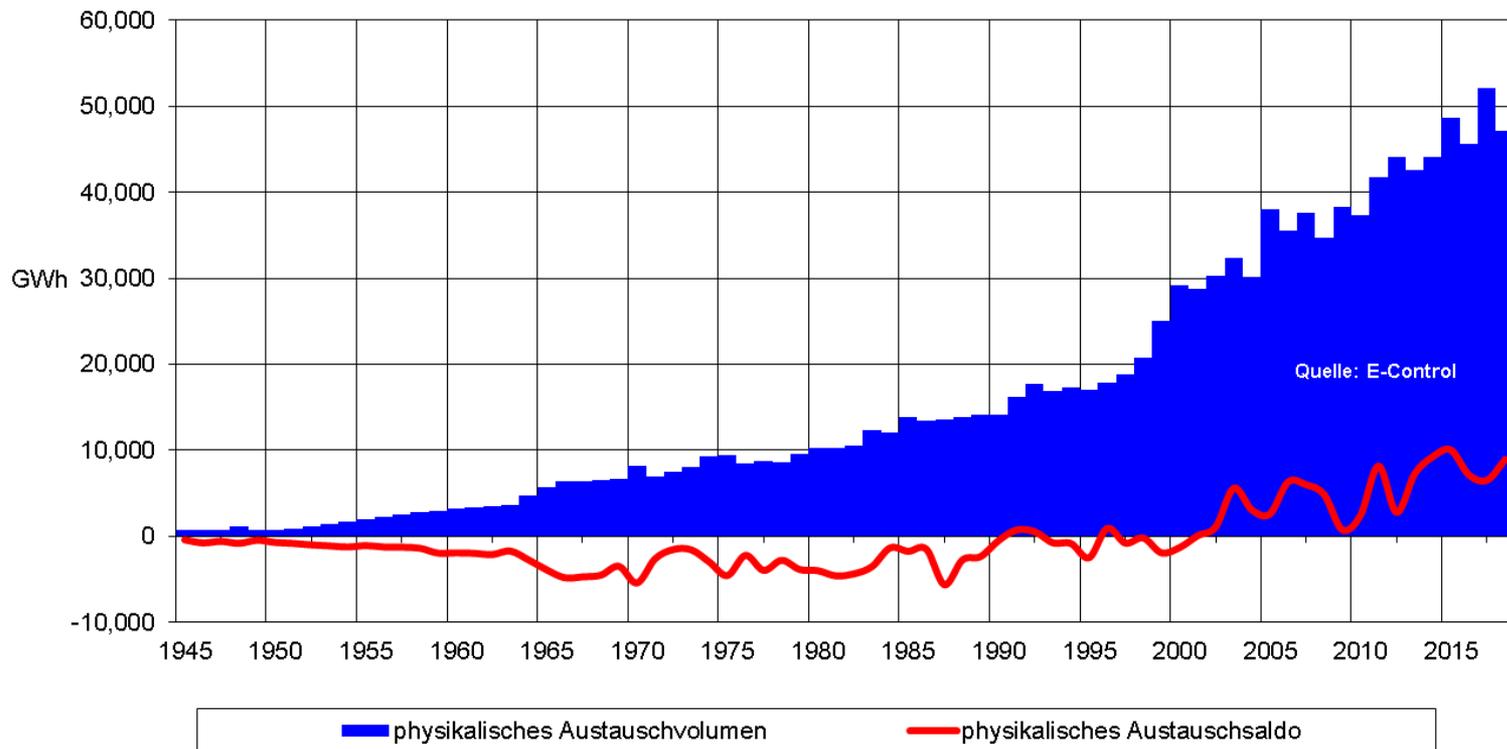
Betriebsstatistik Gesamte Versorgung in Österreich
Aufbringung elektrischer Energie (Datenstand: Juli 2019)



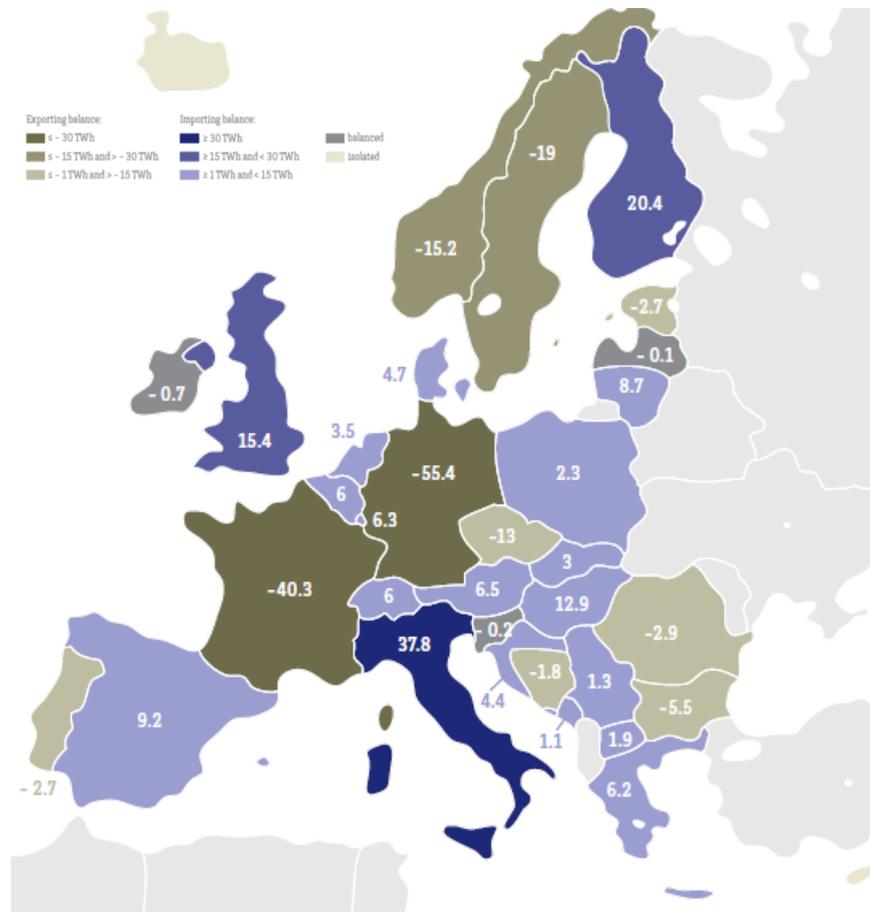
Betriebsstatistik Gesamte Versorgung in Österreich
Verwendung elektrischer Energie (Datenstand: Juli 2019)



Betriebsstatistik der gesamte Versorgung in Österreich Physikalischer Stromaustausch mit dem Ausland (Datenstand: Juli 2019)



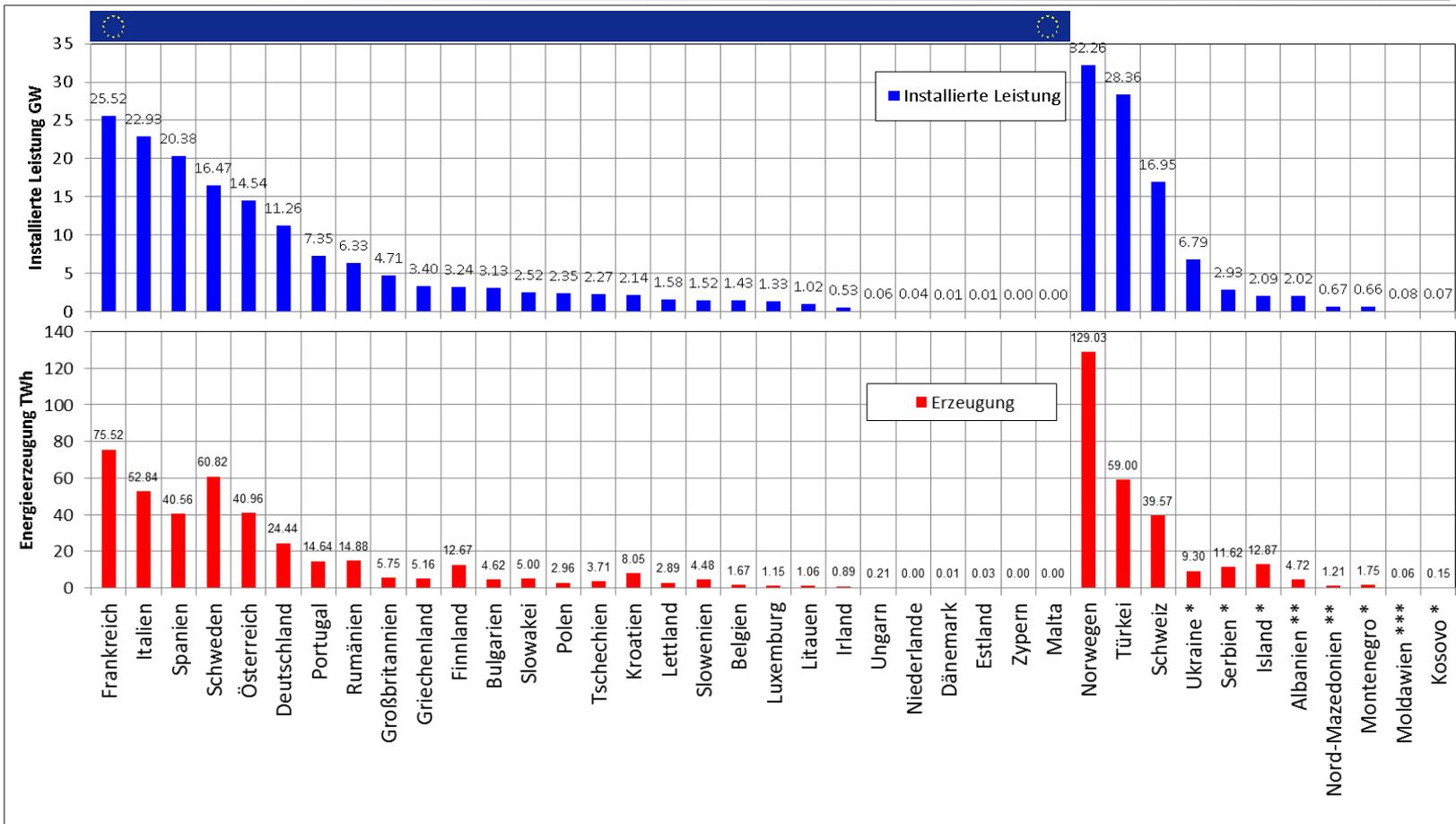
- Nettoimporte
Ö: 6.5 TWh (2017)
- Größte Exporteure
D, F
- Größte Importeure
I, FIN, GB



Strombilanzen europäischer Länder, „Exchange balances“ 2017, Quelle [9][10]

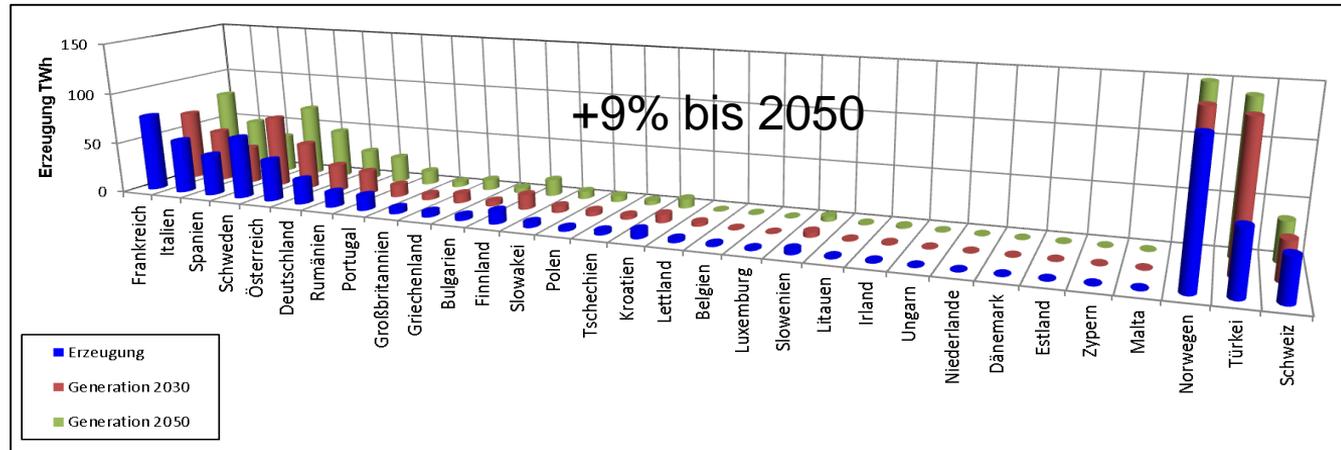
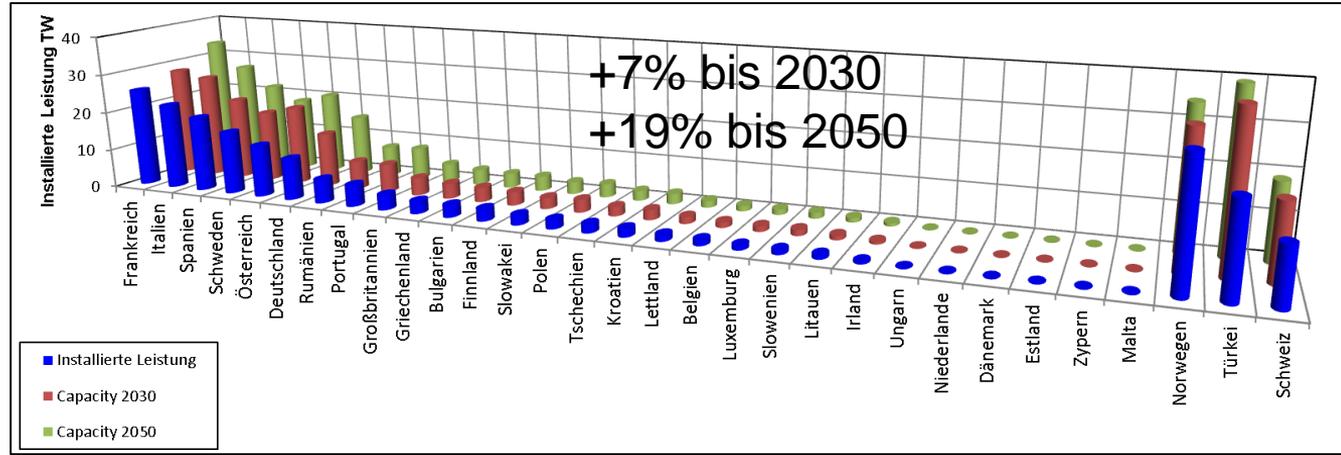


Lauftrad Kops II, Quelle: HFM



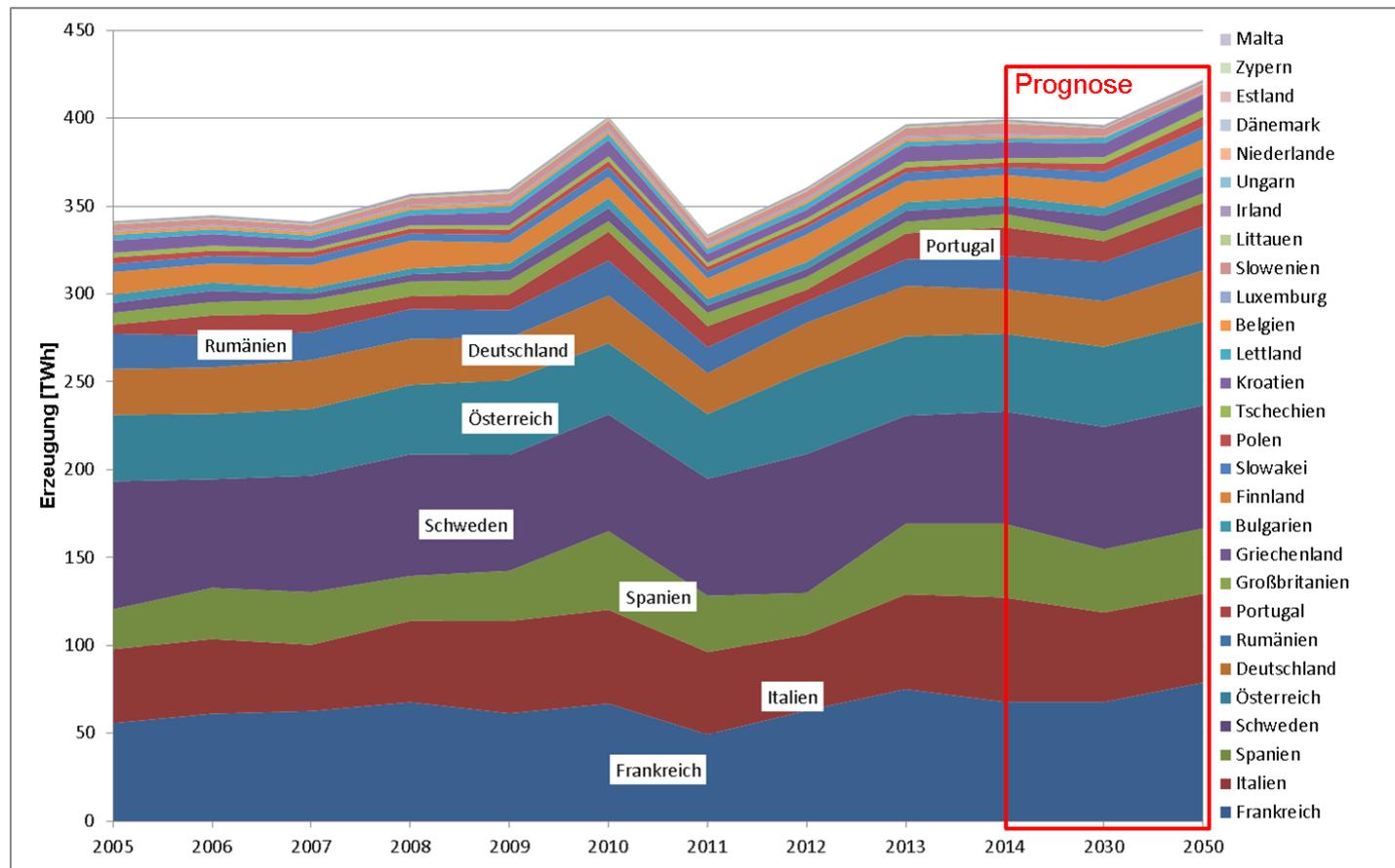
Installierte Leistung und Energieerzeugung in Europa, eigene Darstellung
 Datenquellen [11], [12], [13]

- Etwa 19% Steigerung der installierten Leistung in der EU, Ö: +400 MW / anno



Zunahme der installierten Leistung und Erzeugerprognose nach DNV-GL [2],[14]

- Steigerung der Erzeugung auf 425 TWh in der EU (9% bis 2050)
- 2011: sehr sonnig, wenig Regen in Gesamteuropa



Ursprünglicher Fokus von Pumpspeichieranlagen: Wälzpumpspeicherung

- Technisch ausgereifte Maschinen mit Fokus auf Zuverlässigkeit und Effizienz
- Flexibilität der Anlagen weniger bedeutend

Heute: Stark veränderter Energiemarkt

- Niedrige Energiepreise, dzt. leichte Erholung
- Geringer Spread zwischen Peak und Off-Peak Preisen
- Hohe Volatilität in Übertragungsnetzen durch Einspeisecharakteristik von erneuerbaren Energien auch bei hoher Prognosegenauigkeit
- Chancen für Pumpspeicher durch erhöhte Flexibilität der Anlagen^[15]
- Systemdienstleistungen wie Bereitstellung von Regelenergie (Frequenzregelung) sowie Spannungs-, Frequenz und Blindleistungsregelung
- Gesteigerte Anforderungen an Pumpspeicherkraftwerke versus Kosten^[16]



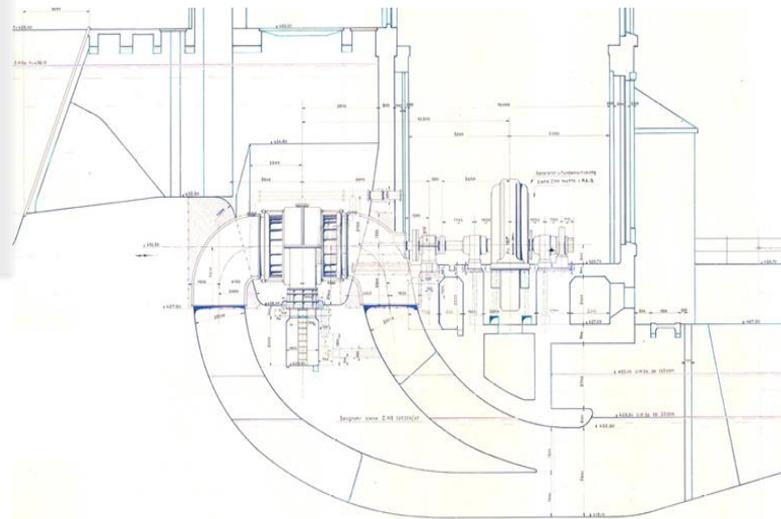
Kaprun, Quelle: HFM

- Flexibilität (siehe nächste Folie)
 - Regelenergie (diese wird bezahlt)
- Technische Anpassungen der Anlagen
 - auch kleine Anlagen (Stichwort Pool)
 - Refurbishment (Stichwort Vergütung)

- Wirkungsgrad und Verfügbarkeit
- Lebensdauer von Anlagen
- Planung und Einreichung
- Kostensenkung
- Systemstabilität



UVP Unterlagen Kops II, Quelle: Illwerke



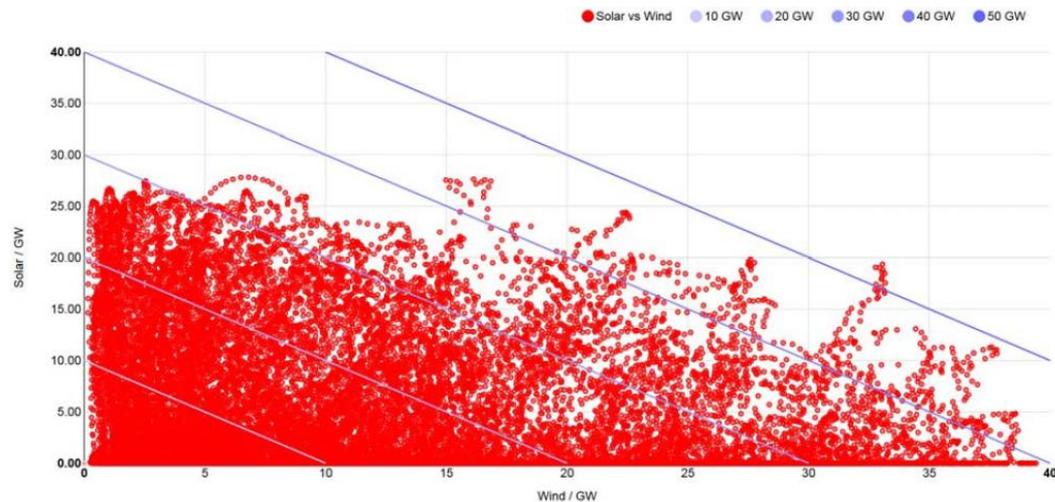
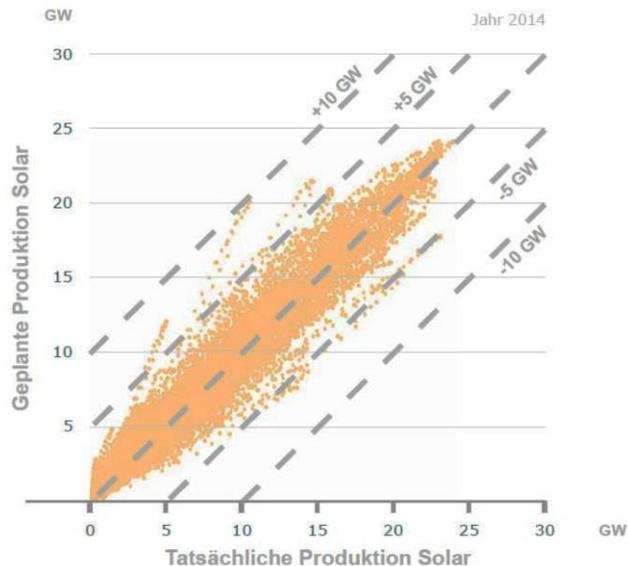
KW: Meitingen, Quelle LEW

- Grenzen:
 - Verschleiß
 - Teillast
 - Ökologie

Beispiel Deutschland

- Prognosefehler müssen kurzfristig ausgeglichen werden
- Σ Solar + Windleistung ist stets kleiner als die installierten Einzelleistungen

2017: 42 GW PV und 56 GW Windkraft installiert
→ Gemeinsam selten mehr als 45 GW ins Netz.

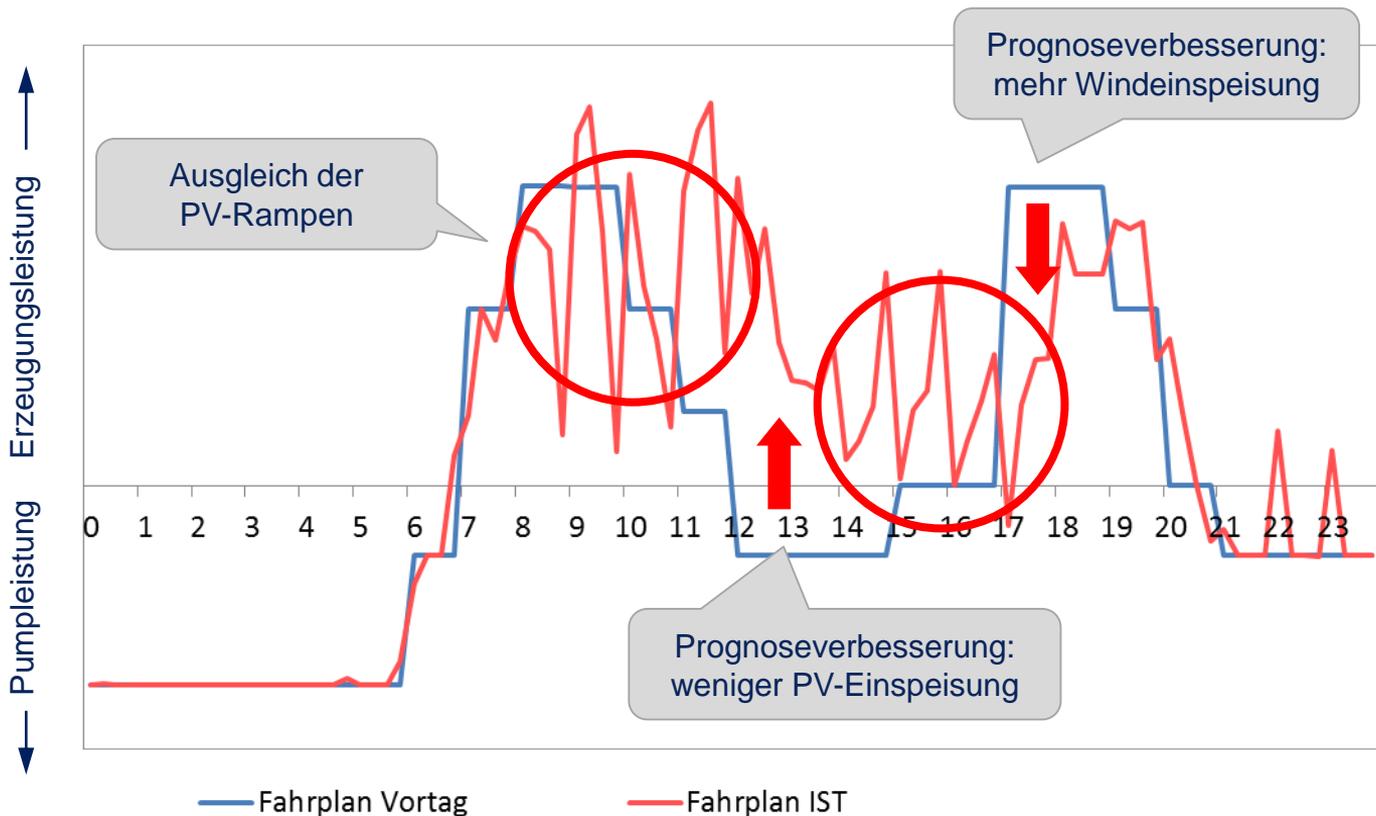


In Ö zum Vergleich: Windkraft 1313 Anlagen mit installierter Leistung von 3,05 GW [19]
Photovoltaik: 1.43 GW installierte Leistung [20]

Quelle: Fraunhofer ISE 2015 [17]

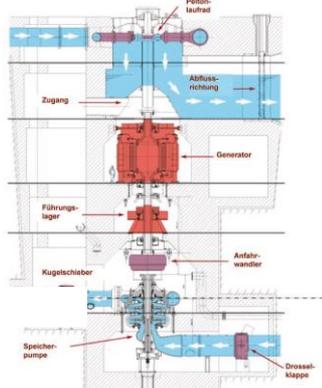
Quelle: Fraunhofer ISE 2017 [18]

Der **Einsatz** von Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken in Mitteleuropa ist wesentlich **durch Wind und Sonne bestimmt**.



Quelle: Mennel [21]

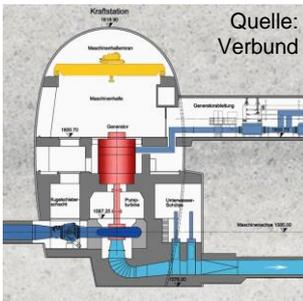
Kops II, $P \approx 170$ MW



Quelle: Illwerke

Ternär

Reißeck 2, $P \approx 215$ MW

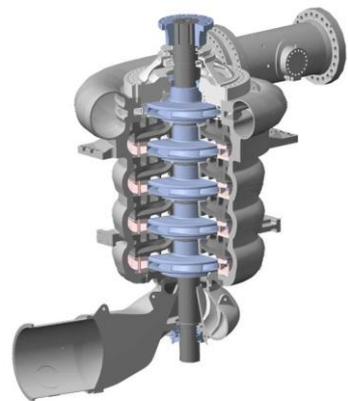


Quelle: Verbund

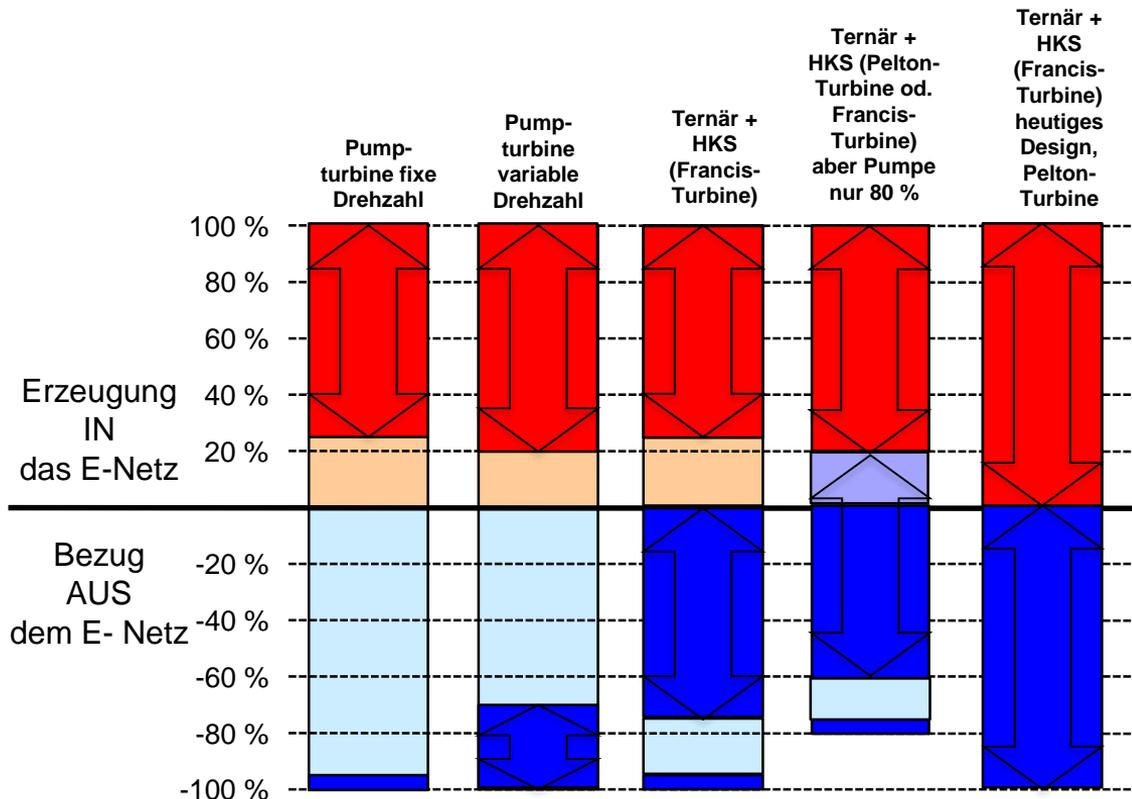
Pumpe

| Anordnung | Ternärer Maschinensatz | Pumpe | Getrennte Maschinensätze |
|---|---|--|--|
| Bauaufwand | geringere Einbautiefe größere Kaverne | große Eintiefung notwendig geringerer Platzbedarf | geringere Einbautiefe größere Kaverne |
| Investitionskosten Elektromechanische Ausrüstung | 3 Einheiten je Maschinensatz | 2 Einheiten je Maschinensatz | 2 Maschinensätze für Turbine und Pumpe, Hohe Kosten, Kaskadierung, eventuell Serienmaschinen |
| Effizienz | Pumpe und Turbine auf max. Wirkungsgrad ausgelegt | Kompromiss bei der hydraulischen Auslegung notwendig | Pumpe und Turbine auf max. Wirkungsgrad ausgelegt, sogar mit unterschiedlichen Drehzahlen |
| Flexibilität | kurze Umschaltzeiten zwischen den Betriebsarten Stufenlose Leistungsregelung durch Hydraulischen Kurzschluss möglich | längere Umschaltzeiten aufgrund Drehrichtungs-umkehr. Hydraulischer Kurzschluss nur zwischen den Maschinensätzen möglich | kürzeste Umschaltzeiten zwischen den Betriebsarten Stufenlose Leistungsregelung durch Hydraulischen Kurzschluss möglich |
| Betriebs- und Wartungskosten | höher | geringer | Am höchsten |

Quelle: eigene Zusammenstellung



5 stufige Speicherpumpe,
KW Veytaux, P = 118 MW
Quelle: Kraftwerksbeschreibung



Annahme das die Installierte elektr. Pumpenleistung etwa 80% der installierten elektr. Turbinenleistung beträgt.

Quelle: Jaberg und Höller [22]

Mögliche Standorte für Pumpspeicher [23]



Figure 2: 22,000 potential pumped hydro sites in Australia <http://re100.eng.anu.edu.au/reshare/3784/>

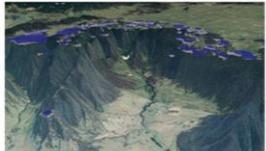
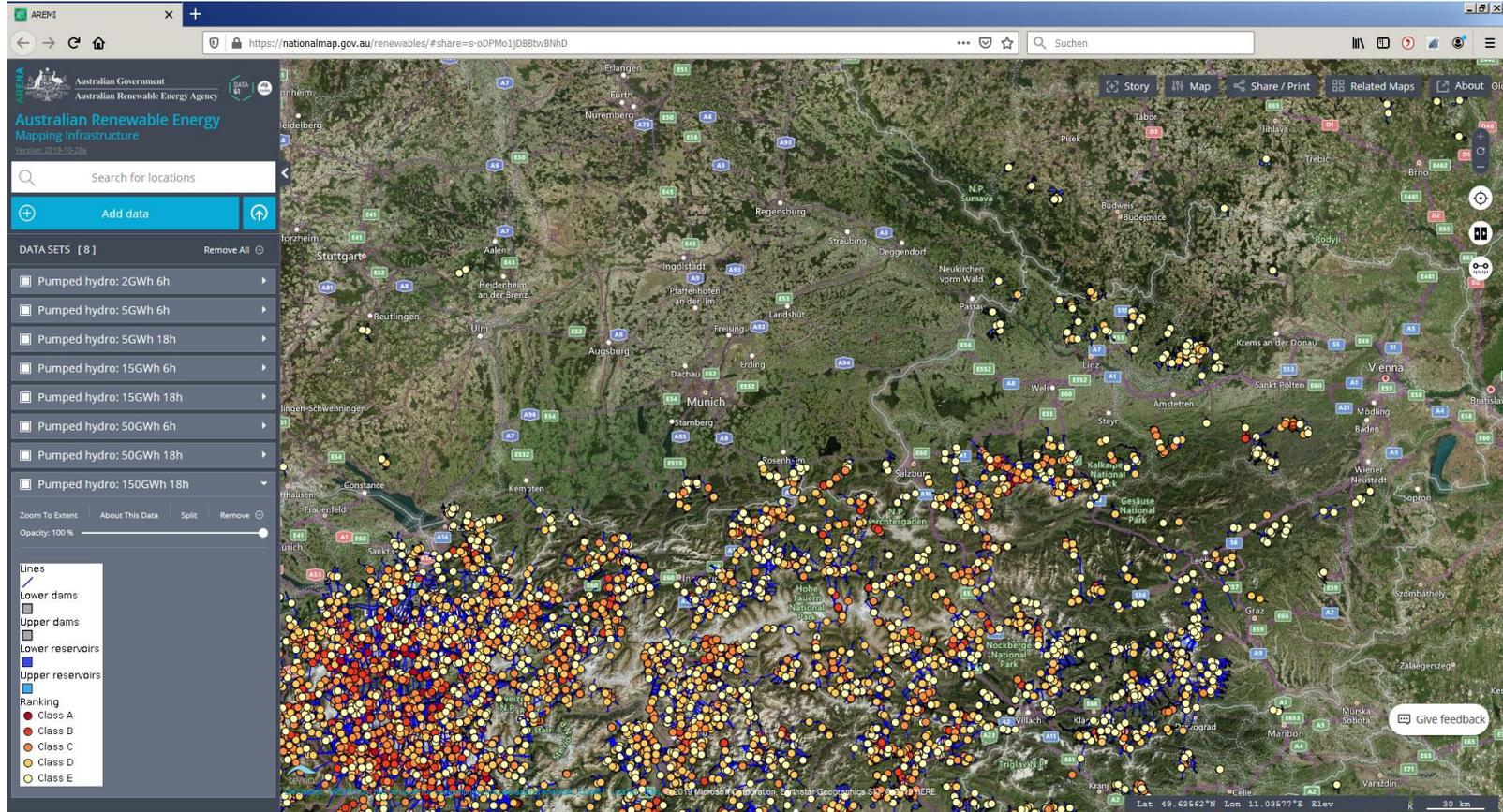


Figure 3: Group of potential upper reservoir PHES sites at Araluen near Canberra. The height of the reservoirs depicted has enough storage to support a 100% renewable electricity grid for NSW.

Lead organization: Australian National University
Project commencement date: 1/7/16 Completion date: 30/6/18
Date published: 2/8/18
Contact name: Andrew Blakers
Title: Professor
Email: Andrew.Blakers@anu.edu.au Phone: 02 6125 5905
Website: <http://re100.eng.anu.edu.au>

<http://re100.eng.anu.edu.au>

<https://nationalmap.gov.au/renewables/>



| Name | Staat | Maschinensätze | Gesamtleistung | Erzeugung | Rohfall- höhe [m] | Inbetriebnahme | Betreiber |
|-----------------|----------------|---|----------------|------------|----------------------|--------------------|----------------|
| | | | TU/PU [MW] | [GWh/anno] | | | |
| Malta/Reißeck | Österreich | 2x Isogyre-PUTU, 11x Pelton, 5x PU, 2x Kaplan | 1459 / 855 | 1219 | bis 1773 | ab 1958 | Verbund |
| Vianden | Luxemburg | 9x Francis-TU & 9x Pumpe, 2x Francis-PUTU | 1290 / 1040 | - | 280 | 1964 | RWE |
| Coo-Trois-Ponts | Belgien | 6x Francis-PUTU | 1164 / 1101 | - | 275 | 1969 | Electrabel |
| Roncovalgrande | Italien | 8x Pelton & 8x PU | 1040 | - | 736 | 1973 | ENEL |
| Markersbach | Deutschland | 6x Francis-PUTU | 1046 | - | 288 | 1979 | Vattenfall |
| Entracque | Italien | 9x Francis-PUTU | 1318 / 1318 | 1040 | 1048 / 598 | 1982 | ENEL |
| Dinorwig | Großbritannien | 6x Francis-PUTU | 1728 / 1650 | - | 557 | 1984 | FHC |
| Edolo | Italien | 8x Francis-PUTU | 1000 / 875 | - | 1265 | 1985 | ENEL |
| Grand-Maison | Frankreich | 4x Pelton & 8x Francis-PUTU | 1800 / 1200 | 1420 | 955 | 1985 | EDF |
| Goldisthal | Deutschland | 4x Francis-PUTU | 1060 | - | 302 | 2003 | Vattenfall |
| Limmern | Schweiz | 4x Francis-PUTU | 1480 | - | 623 | 2017 | Axpo * |
| Dniester PSP | Ukraine | 7x Francis-PUTU | 2268 | - | 147 | seit 2012 (In Bau) | Ukrhydroenergo |

*gemeinsam mit Kanton Glarus, FHC=First Hydro Company (75% GDF Suez, 25% Mitsui & Co), PUTU=Pumpturbine, PU=Pumpe, TU=Turbine

Quelle: eigene Zusammenstellung

Weitere Projekte: UNION LIST OF PROJECTS OF COMMON INTEREST, Brussels, 31.10.2019 [24]

PSP
Goldisthal

Quelle: HFM



Cruachan II (GB), Off shore PSP iLand (Belgien), Ausbau Kaunertal, (Österreich), PSP Navaleo (Spanien), PSP Girones & Raimats (Spanien), PSP Cua (Spanien), PSP Yadenitsa (Bulgarien), Amfilochia (Griechenland), Ausbau PSP Kruonis (Litauen), Silvermines (Irland), Energiespeicher Riedl (Deutschland)

Pumpspeicherkraftwerke in Österreich

| Name | Bundesland | Maschinensätze | Gesamtleistung | | Erzeugung [GWh/anno] | Rohfallhöhe [m] | Q _{Ausbau} TU/PU [m³/s] | Inbetriebnahme | Betreiber |
|---------------------|------------------|--|----------------|---------|----------------------|-----------------|----------------------------------|----------------|---------------|
| | | | TU [MW] | PU [MW] | | | | | |
| Rodundwerk I | Vorarlberg | 4x Francis & 1x PU 2-flutig 2-stufig | 198 | 41 | 332.0 | 342 | 60 / 10 | ab 1943 | Verbund |
| Kaprun - Limberg I | Salzburg | 2x Francis & 2x PU 2-flutig 2-stufig | 114 | 130 | 150.4 | 365 | 36 / 33 | 1952 | Verbund |
| Ranna | Oberösterreich | 3x Francis & 1x Kaplan & PU 1-stufig 3-flutig | 19 | 17 | 50 | 202 | 12/6 | 1925/1952/1954 | Energie AG OÖ |
| Ottenstein | Niederösterreich | 4x Francis & 2x PU 1-stufig | 48 | 18.4 | 70.0 | 48 | 100/35.7 | 1957 | EVN |
| Lünerseewerk | Vorarlberg | 5x Pelton 4-düsigg & 5x PU 1-flutig 5-stufig | 280 | 224 | 371.0 | 938 | 32 / 28 | 1958 | Illwerke |
| Freibach | Kärnten | 1 PUTU & 1*Francis | 17 | 5 | 4.8 | 332 | 5.8 / 1.4 | 1957 / 1962 | Kelag |
| Diessbach | Salzburg | 2xPelton 2-düsigg & 24 Pumpen 7-stufig | 24 | 32 | 56.0 | 728 | 4/3.3 | 1964/2018 | Salzburg AG |
| Innerfragant | Kärnten | 2xPelton-2*2-düsigg & 1 PU 6-stufig, 2 PU 4-stufig | 182 | 99 | 185.0 | 1113 | 10.1/11.4 | 1968 / 1982 | Kelag |
| Fragant-Haselstein | Kärnten | 1 x PUTU 1-flutig 2-stufig | 4 | 5.2 | 9.0 | 266 | 1.7 / 1.7 | 1968 | Kelag |
| Rifawerk | Vorarlberg | 2x semi axial Deriaz PUTU | 7 | 8 | 8.0 | 21.2 | 28/30 | 1969 | Illwerke |
| Roßhag | Tirol | 4x Francis & 4x PU 1-flutig 2-stufig | 233.6 | 240 | 328 | 630 | 49.6/36 | 1972 | Verbund |
| Gosau | Oberösterreich | 1 PUTU & 1*Francis | 11.8 | 6.9 | 8.8 | 152 | 9.5 / 4 | 1913/1927/1972 | Energie AG |
| Rodundwerk II | Vorarlberg | 1x Francis PUTU | 295 | 286 | 486.0 | 341 | 98 / 78 | 1976/2011 | Illwerke |
| Malta-Hauptstufe | Kärnten | 4x Pelton 6-düsigg & 2x PU 1-flutig 4-stufig | 730 | 290 | 618.4 | 1096 | 80/23 | 1979 | Verbund |
| Malta-Oberstufe | Kärnten | 2x Isogyre-PUTU | 127 | 116 | 37.4 | 198 | 70 | 1979 | Verbund |
| Kühtai | Tirol | 2x Francis-PUTU | 289 | 250 | 531 | 440 | 80/66 | 1981 | Tiwag |
| Nassfeld | Kärnten | 1x Isogyre-PUTU | 31.5 | 30.3 | 36.0 | 279 | 11.6/9.2 | 1984 | Salzburg AG |
| Häusling | Tirol | 2x Francis & 2x PU 1-flutig 2-stufig | 360 | 360 | 188.6 | 696 | 65/50 | 1987 | Verbund |
| Koralpe | Kärnten | 1xPelton 6-düsigg & 1xPU 3-stufig | 50 | 37 | 48.0 | 722 | 9 / 4.5 | 1990/2011 | Kelag |
| Hintermuh | Salzburg | 1xPelton 2-düsigg & 1xFrancis PUTU | 104 | 65 | 120.0 | 494 | 23.5/11.7 | 1991/2009 | Salzburg AG |
| Kopswerk II | Vorarlberg | 3x Pelton 6-düsigg & 3x PU 1-flutig 3-stufig | 525 | 480 | 614 | 769 | 80/56 | 2008 | Illwerke |
| Feldsee | Kärnten | 2x Francis-PUTU | 140 | 136 | 240.0 | 523 | 30 / 27.6 | 2009/2011 | Kelag |
| Kaprun - Limberg II | Salzburg | 2x Francis-PUTU | 480 | 480 | 1300 | 365 | 144 / 103 | 2011 | Verbund |
| Reißeck II | Kärnten | 2x Francis-PUTU | 430 | 430 | 970.0 | 595 | 80/70 | 2016 | Verbund |
| Reilswerk | Vorarlberg | Francis PUTU 3-stufig | 12 | 15 | 60.0 | 481 | 2.6 | 2017 | Illwerke |
| Obervermundwerk II | Vorarlberg | 2x Francis PUTU | 360 | 360 | | 274.7 | 150/135 | 2018 | Illwerke |
| | | | 5072 | 4162 | | | | | |



Laufrad Limberg II

Quelle: HFM



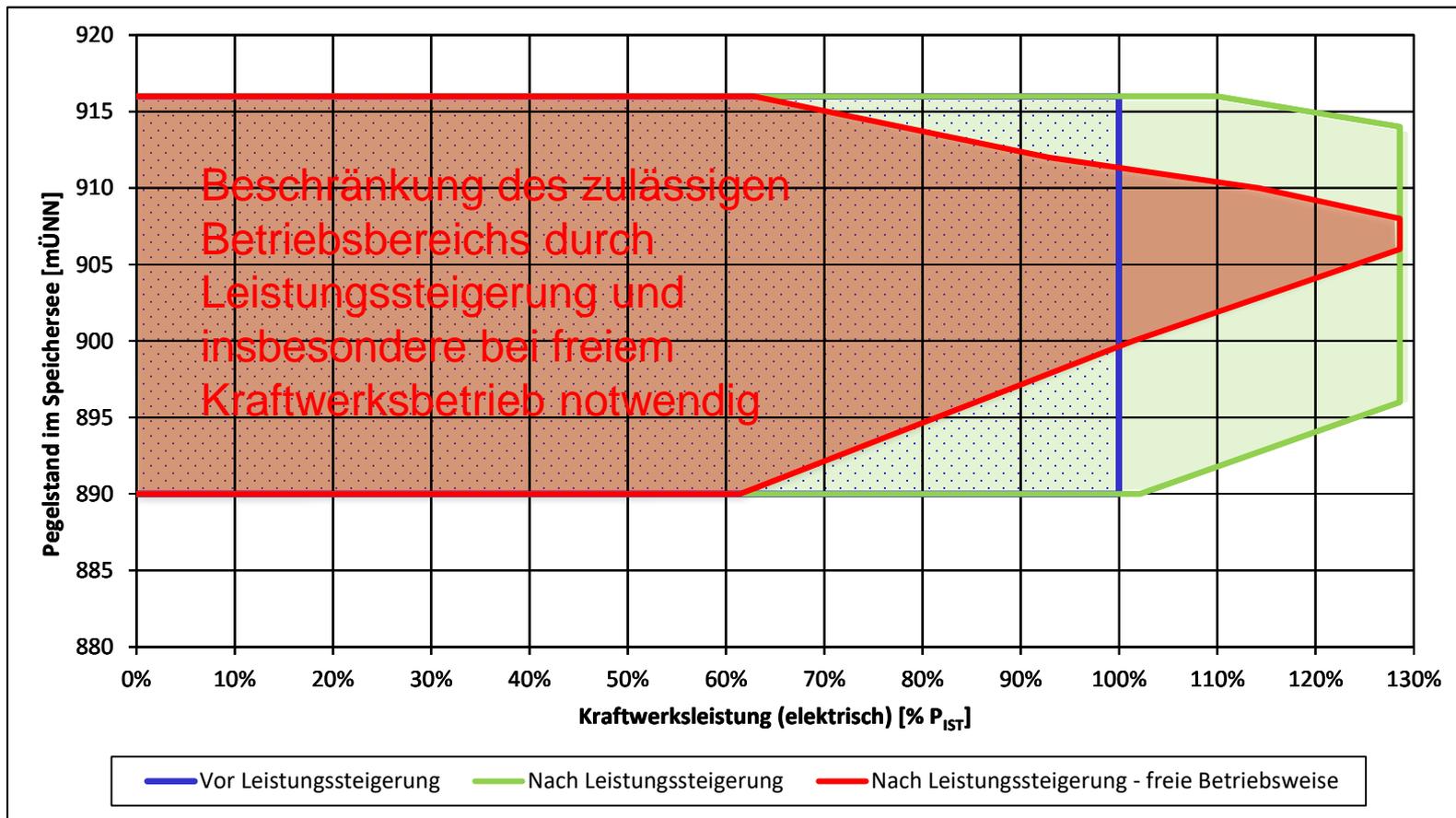
Reiseck II

Quelle: HFM

Dzt. geplante Projekte: Tauernmoos 130 MW, Kaunertal 400 MW, Limberg III 480 MW, Energiespeicher Riedl 300 MW, Kuhtai II 130 MW, Molln 300 MW, Ebensee 150 MW, Koralm 940 MW, St. Georgen 420 MW, Sulzberg, Reiseck II+

Beispiel:

HPP St. Anton bei Bozen (Bauzeit 1949 – 1952): Leistungssteigerung Speicherkraftwerk realisiert durch Steigerung der Ausbauwassermenge von 15 m³/s auf ca. 18 m³/s. ^[25]



- Umweltdachverband, „Aktuelle Wasserkraftwerksplanungen in Österreich 2017“
→ 360 Wasserkraftprojekte in Österreich ^[26]
- Österreichs E-Wirtschaft „Aktuelle Kraftwerksprojekte der E-Wirtschaft“, 2018
→ > 50 Projekte der großen EVUs ^[27]
- Wirtschaftliche Herausforderungen für den Ausbau der Wasserkraft in Österreich, e3 consult für WWF, 2016,
→ Liste von >150 Wasserkraftprojekten ^[28]
- BMU, „Potentialermittlung für den Ausbau der Wasserkraftnutzung in D als Grundlage für die Entwicklung einer geeigneten Ausbaustrategie, Floecksmühle/IHS/Fichtner 2010:
→ 12-21 TWh in Deutschland ^[29]
- Analyse der Pumpspeicherpotentiale in Bayern Endbericht, Lahmeyer 2014:
→ 10 PSP-Standorte in Bayern ^[30]
- Bundesamt für Energie BFE, „Wasserkraftpotenzial der Schweiz“, 2019
→ 1.5 TWh ^[31]
- ETH, „Gletscherrückzug, freiwerdende Flächen“, 2018
→ Systematische Bewertung von 62 Standorten die bis 2035 eisfrei sind ^[32]

... und weitere Studien verfügbar

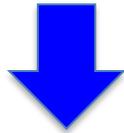
Umgesetzt werden nur baukostenoptimierte Projekte !

Es zählen schlussendlich nur die wirtschaftlichen Aspekte.

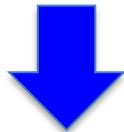
Technische Aspekte sind fast immer lösbar → Zurate ziehen von Experten

Umweltauflagen sind zu Berücksichtigen, jedoch sind diese kein Hindernis

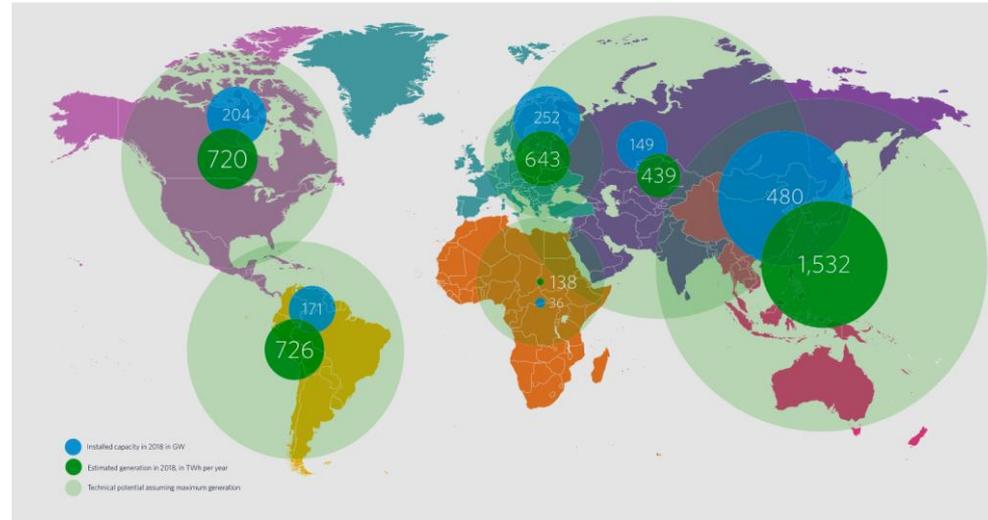
- **Wasserkraft hat und wird einen massiven Beitrag zur Erreichung der Energieziele nicht nur in Europa beitragen**
- **Langlebige Technologie**
- **Höchste Wirkungsgrade**
- **Derzeit noch einzig großtechnische Speichermöglichkeit**



*Fairer Markt ohne Verzerrung !
Fundamentaler Wandel im
Versorgungssystem durch
Photovoltaik und Windkraft*



**Potential der Wasserkraft
... auch für die Zukunft**



Quelle: IHA [33]

- (1) European Commission, "Energy Union Package, A Framework Strategy for a Resilient Energy Union with a Forward-Looking Climate Change Policy", Brussels, 25.2.2015, COM(2015) 80 final, https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/publication/FOR%20WEB%20energyunion_with%20_annex_en.pdf
- (2) DNV-GL, "Macro-economic Study on Hydropower. A European Hydropower Initiative by Hydropower Companies and Associations. The hydropower sector's contribution to a sustainable and prosperous Europe", Presentation of study results and policy recommendations, Final Version 19.6.2015, http://www.statkraft.com/globalassets/1-statkraft-public/1-about-statkraft/energi-og-klima/20150619_final-presentation_macro-economic-value-of-hydropower-in-europe.pdf
- (3) Bundesverband Windenergie, „Installierte Windenergieleistung in Deutschland“, Stand 31.12.2018, <https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/deutschland/>
- (4) Burger, B., „Stromerzeugung aus Solar- und Windenergie im Jahr 2014“, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, 2014, <https://www.ise.fraunhofer.de/de/downloads/pdf-files/data-nivc-stromproduktion-aus-solar-und-windenergie-2014.pdf>
- (5) EU Amtsblatt, „Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik“, 2000
- (6) Exaa, <https://www.exaa.at/de>
- (7) European Commission, "Quarterly Report on European Electricity Markets Market Observatory for Energy DG Energy, Volume 12 (Issue 2; second quarter of 2019)", https://euneighbours.eu/sites/default/files/publications/2019-1/20191105%20quarterly_report_on_european_electricity_markets_q_2_2019_final.pdf
- (8) E-control, <https://www.e-control.at/>
- (9) Entso e, „ELECTRICITY IN EUROPE 2017“, <https://www.entsoe.eu/publications/statistics-and-data/>, abgerufen am 25.11.2019, https://docstore.entsoe.eu/Documents/Publications/Statistics/electricity_in_europe/entsoe_e_electricity_in_europe_2017_web.pdf
- (10) Entso-e, „STATISTICAL FACTSHEET 2018“, https://docstore.entsoe.eu/Documents/Publications/Statistics/Factsheet/entsoe_sfs2018_web.pdf
- (11) International hydropower association, „Hydropower Status report 2018“, https://www.hydropower.org/sites/default/files/publications-docs/iha_2018_hydropower_status_report_4.pdf
- (12) Benigni, H., Jaberg, H., „Wasserkraftpotential in Europa, 14. Symposium Energieinnovation“, 10-12.02.2016, Graz
- (13) AITT – Ciofu, A., Plamadela, I., ODIMM– Popa, O., Luchian, S., "Energy Sector in the Republic of Moldova", 2014, https://ener2i.eu/page/34/attach/0_Moldova_Country_Report.pdf
- (14) DNV-GL, "The hydropower sector's contribution to a sustainable and prosperous Europe, Main Report, On behalf of: A European Hydropower Initiative of Hydropower Companies and (supported by) Associations", Last Revision: 10 June 2015, http://energia.fi/sites/default/files/main_report_-_macro-economic_study_on_hydropower_in_europe.pdf
- (15) Gruber, H., „Entwicklungen in der Wasserkraft als Baustein der Stromwende“, 4. Praktikerkonferenz Wasserkraft/Turbinen/Systeme, Graz, 2015.
- (16) Penninger, G., „Kleinkraftwerke im Verbund, Kostenoptimierung unter dem Druck geänderter Rahmenbedingungen“, Praktikerkonferenz Wasserkraft/Turbinen/Systeme, Graz, 2015.
- (17) Fraunhofer ISE, „Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland“, Fassung vom 25.12.2015, <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>
- (18) Fraunhofer ISE, „Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland“, Fassung vom 14.10.2019, <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>
- (19) IG Windkraft, <https://www.igwindkraft.at/>, Abruf 25.10.2019
- (20) PV Austria, „Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2018“, <https://www.pvaustria.at/wp-content/uploads/Marktstatistik-2018-Final.pdf>, Abruf 25.10.2019
- (21) Menel, H., „Die Zukunft von Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken“, Praktikerkonferenz Wasserkraft/Turbinen/Systeme, Graz, 2015.
- (22) Jaberg, H., Höller, S., "Betriebsführung von Pumpspeicherkraftwerken und Vorteile für das elektrische Netz", EnInnov 2018, 14.02.-16.02.2018, Graz
- (23) Standorte für Pumpspeicheranagen“, <http://re100.eng.anu.edu.au>
- (24) Europäische Commission, "Union List of Projects of Common Interest (UNION LIST)", https://ec.europa.eu/info/news/commission-publishes-4th-list-projects-common-interest-making-energy-infrastructure-fit-energy-union-2019-oct-31_en.pdf
- (25) Höller, S., Jaberg, H., „Leistungssteigerung bei gleichzeitiger Erhöhung der Flexibilität bei Speicherkraftwerken durch gezielte Druckstoßsimulation“, EnInnov 2018, 14.02.-16.02.2018, Graz
- (26) Umweltdachverband, „Aktuelle Wasserkraftwerksplanungen in Österreich 2017“, <https://www.umweltdachverband.at/assets/Umweltdachverband/Themen/Wasser/Wasserkraftwerksliste/UWD-Aktuelle-Wasserkraftwerksplanungen-2017-Oesterreich.pdf>, abgerufen am 25.11.2019
- (27) Österreichs E-Wirtschaft „Aktuelle Kraftwerksprojekte der E-Wirtschaft“, <https://oesterreichsenergie.at/kraftwerksliste.html>, abgerufen am 25.11.2019
- (28) e3 consult für WWF 2016, „Wirtschaftliche Herausforderungen für den Ausbau der Wasserkraft in Österreich“, http://www.fluessevolleleben.at/fileadmin/user_upload/Downloads/2016_Wirtschaftliche_Herausforderungen_f%C3%BCr_den_weiteren_Wasserkraftausbau.pdf, abgerufen am 25.11.2019
- (29) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, „Potentiale mitteilung für den Ausbau der Wasserkraftnutzung in Deutschland als Grundlage für die Entwicklung einer geeigneten Ausbaustrategie, Floecksühle/IHS/Fichtner 2010, https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Berichte/schlussbericht-potentiale-mitteilung-wasserkraftnutzung.pdf?__blob=publicationFile&v=3, abgerufen am 25.11.2019
- (30) Bayerisches Landesamt für Umwelt, „Analyse der Pumpspeicherpotentiale in Bayern“, https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwi/Themen/Energie_und_Rohstoffe/Dokumente_und_Cover/2014-Pumpspeicher-Potenzialanalyse.pdf, abgerufen am 25.11.2019
- (31) Bundesamt für Energie BFE, „Wasserkraftpotenzial der Schweiz“, <https://www.bfe.admin.ch/be/de/home/versorgung/erneuerbare-energien/wasserkraft.html>, abgerufen am 25.11.2019
- (32) Ehrbar, D., „Potential für zukünftige Wasserkraftprojekte in der Schweiz: eine systematische Analyse im periglazialen Umfeld“, Versuchsanstalt für Wasserbau der ETH, 2018
- (33) International Hydropower Association, „Hydropower Status report 2019 <https://www.hydropower.org/status2019>

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



Kölnbreinsperre, Quelle: HFM



<http://www.hfm.tugraz.at>

<http://wasserkraft.tugraz.at>