



HYDRO

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER

MAI, 2022

ANDRITZ

ENGINEERED SUCCESS

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Dr. Maria Collins

2002-2006 FH Joanneum: Luftfahrt/Aviation

2006-2011 TU Graz, Institut für Thermische Turbomaschinen

Ph.D.: Innovative Numerical Calculation of Transitional Flow
with Turbomachinery Application (Promotion 2013)

2008-2011 TU Graz, Projektassistentin

2011-2016 ANDRITZ HYDRO, R&D – Hydraulisches Design

2017-2018 ANDRITZ HYDRO, Large Hydro Technischer Verkauf – Hydraulisches Layout

Since 2018 ANDRITZ HYDRO, R&D – Hydraulische Projektingenieur für Modelversuch

2022 ANDRITZ HYDRO Lead Engineer



NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Aktuelle Themen

- Energiewende
- 1.5°C Klimaziel
- Ausstieg aus fossilen Energien
- Neue Anforderungen (E-Mobilität)
- Dezentralisierte Netze
- CO2 Neutralität
- Ausbau Erneuerbare Energien
- Blackout Szenarien
- Ausbau des Stromnetzes (380 kV Schluss)
- Ressourcenknappheit



NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Trends

- Der Energiemarkt wird gerade revolutioniert
- Erneuerbare CO2 neutrale Energien steigen dramatisch
- Atomenergie und Fossile Energie ist keine Option mehr
- Neue Herausforderungen sind zu bewältigen



Herausforderungen:

- Liberalisierung (Produktion – Vertrieb)
- Volatilität der Erneuerbaren
- System Services - Regelenergie
- Back Up Energie und Speicher
- Energiemarkt (intraday, day ahead)

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Entwicklung in der EU

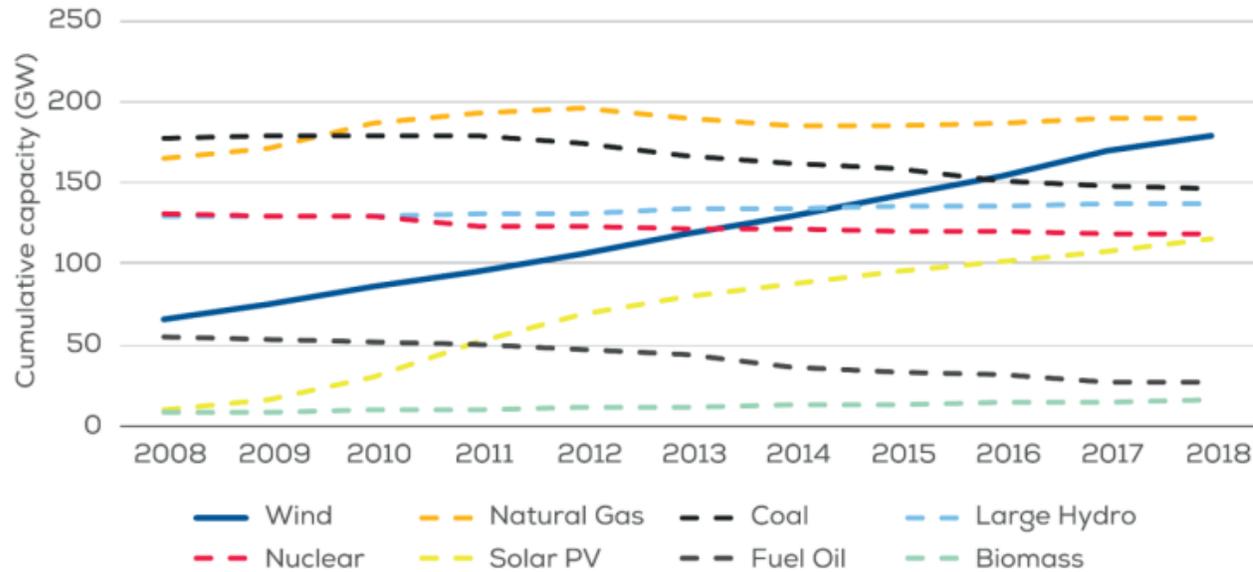


Abbildung 1: Entwicklung der Erzeugungsleistung in der EU
(Source: WindEnergie)



Abbildung 2: Schwimmende Photovoltaik, Solarpark Sekdoorn bei Zwolle in den Niederlanden

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Erneuerbare Energie in Österreich

Tabelle 11:
Stromerzeugung im
Szenario erneuerbare
Energie.
(Quellen: STATISTIK
AUSTRIA 2013,
Umweltbundesamt).

	Bilanzjahr 2010	2030	2050
	in PJ		
Kohle	17,7	0,2	0,0
Kohlegase	6,4	3,3	0,0
Öl	4,6	2,7	0,0
Erdgas	51,7	10,5	3,6
Abfall	2,2	3,8	3,6
Wasserkraft	138,1	153,8	163,0
Biomasse	16,1	24,0	17,5
Geothermie	0,0	0,0	0,0
Photovoltaik	0,3	53,4	84,8
Wind	7,5	62,7	75,9
Stromerzeugung	244,6	314,4	354,4
Nettostromimporte*	8,4	-50,9	-71,0

* 2030 und 2050 gibt es Nettostromexporte.



Von hier aus wurde der Strom des Kohlekraftwerks Moorburg in Hamburg in das Höchstspannungsnetz eingespeist. (Foto: energie-experten.org)

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Potential der Erneuerbare Energien in Österreich

Energieträger	2016 (TWh/a)	2050 (TWh/a)
Wasserkraft	39.3 (5.8 + 3.5 GW)	42
Windenergie	5.2 (3.5 GW)	20
Photovoltaik	0.5 (2.5 GW)	30
Biomasse	2.5 (0.3 GW)	20

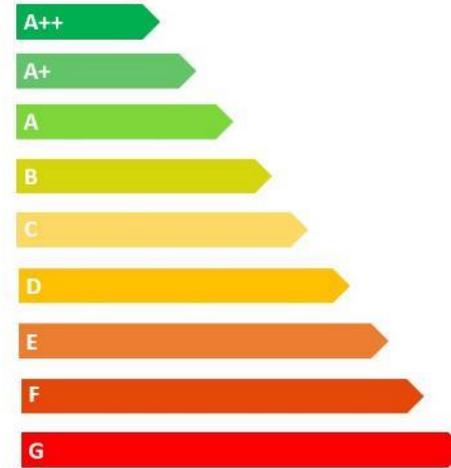
Tabelle 1: Potential der erneuerbaren Elektrizität in Österreich, Quelle: Systemeffizienz bei regenerativer Stromerzeugung, Günther Brauner, Springer Vieweg

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER

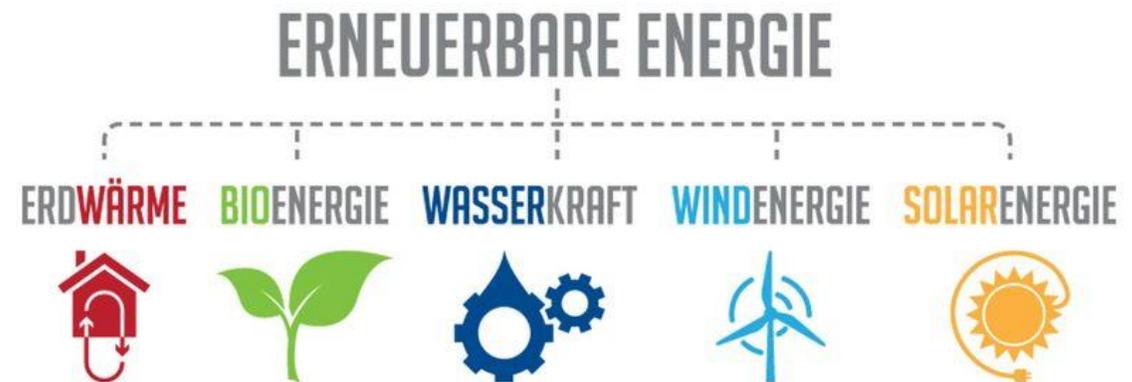


Zwei Pfeiler zur Erreichung der Ziele

➤ **Energieeffizienz**



➤ **Erneuerbare Energien**



NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Energiestrategie des Landes Tirols bis zum Jahr 2050 (Mix-Szenario)

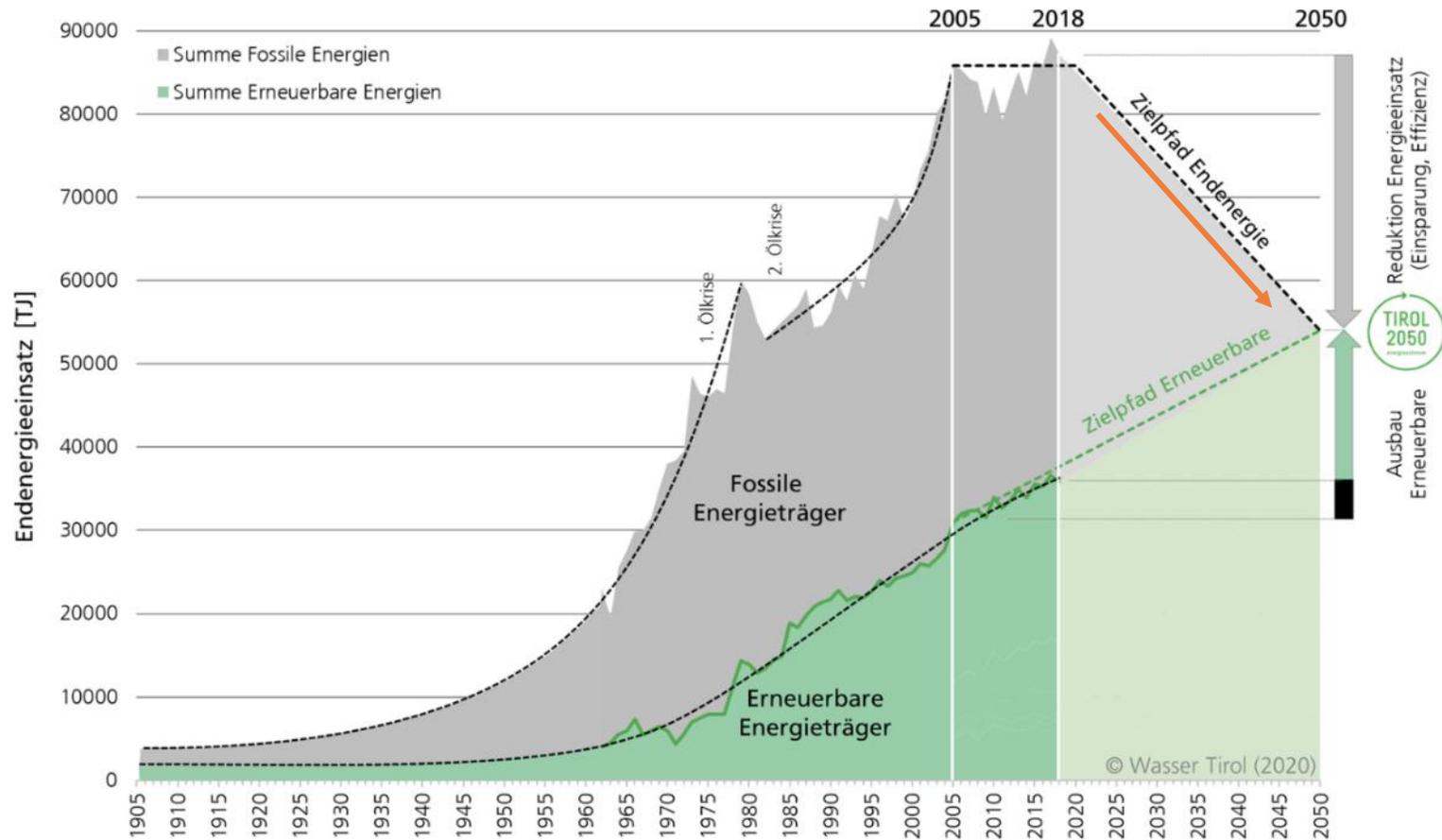


Abbildung 5: Ressourcenstrategie des Landes Tirols, Quelle; Wasser Tirol - Ressourcenmanagement-GmbH

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Endenergieeinsatz nach Sektoren

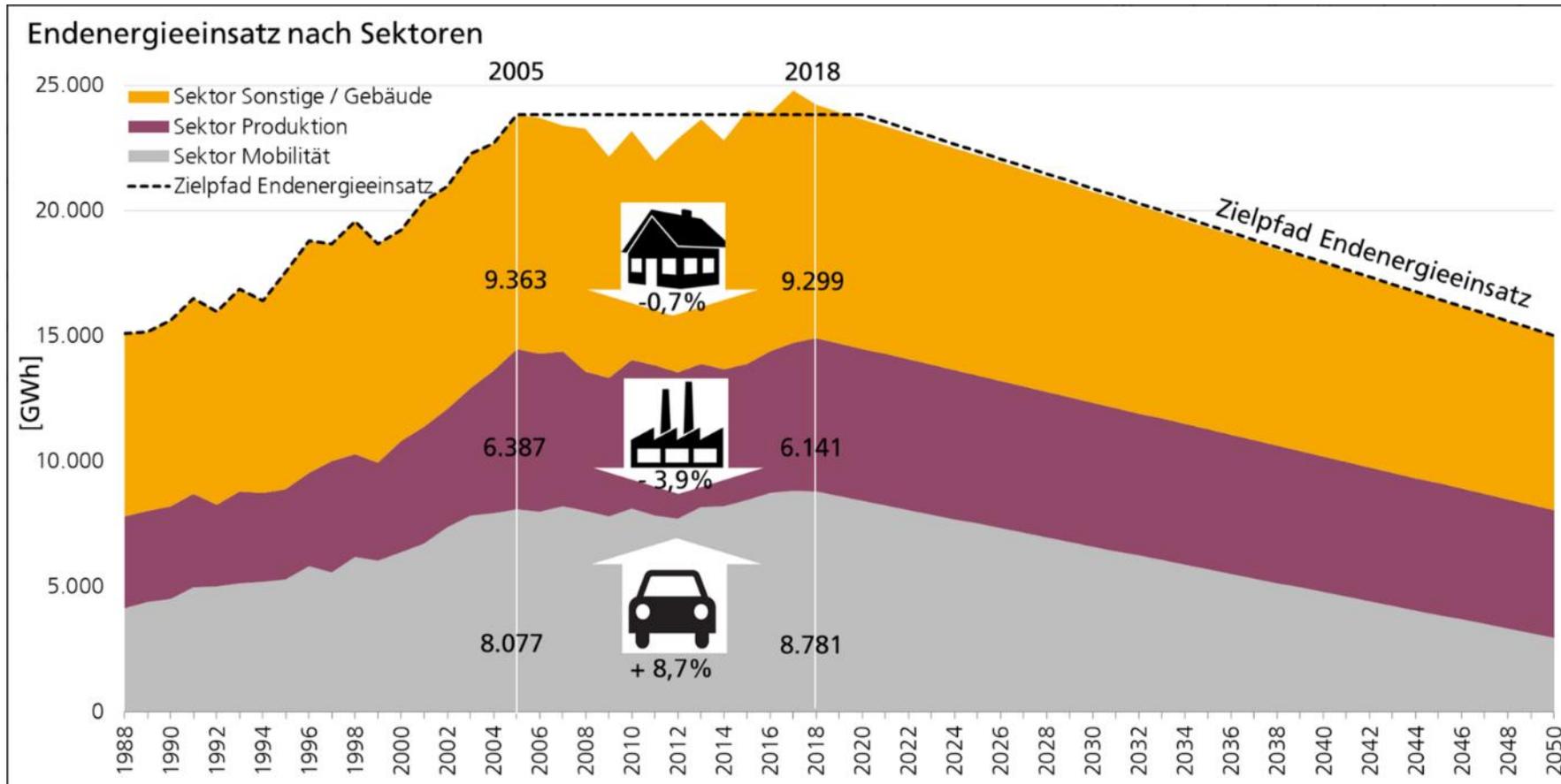


Abbildung 3: Endenergieeinsatz nach Sektoren, Quelle; Wasser Tirol - Ressourcenmanagement-GmbH

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Endenergieeinsatz für Heizen und Warmwasserbereitstellung

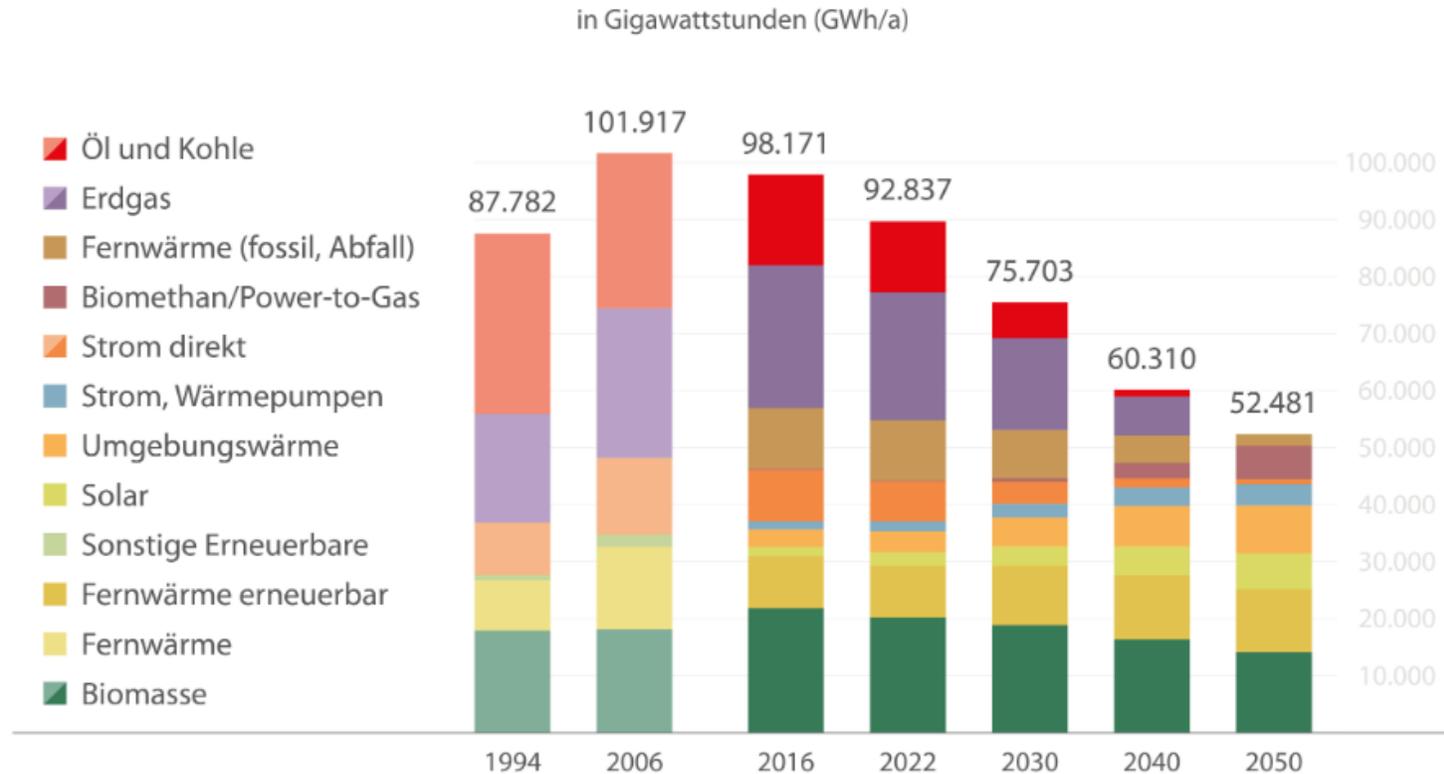


Abbildung 4: Endenergieeinsatz nach Sektoren, Quelle: Erneuerbare Energie Österreich

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Auswirkungen des Energiewandels

- Zusätzliche Herausforderungen für die Kraftwerke (Stromerzeuger):
 - Schnelle Lastwechsel („Rampen“)
 - Tiefe Teillasten
 - Kurze Spitzenlasten
- Steigender Strombedarf (z.B. Heizung, E-Mobilität)
- Erhöhte Regelenergiebedarf
- Erhöhter Speicherbedarf
- Entwicklung dezentralisierte Netze
- Verbesserung der bestehenden konventionellen Kraftwerke



Source: <https://www.tscnet.eu>



Source: <https://electrek.co>

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER

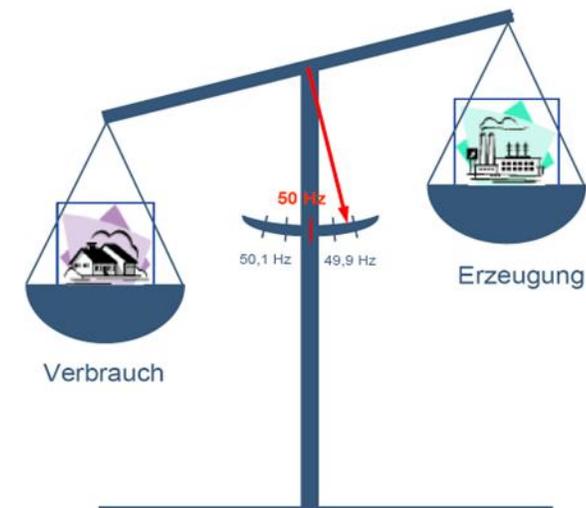
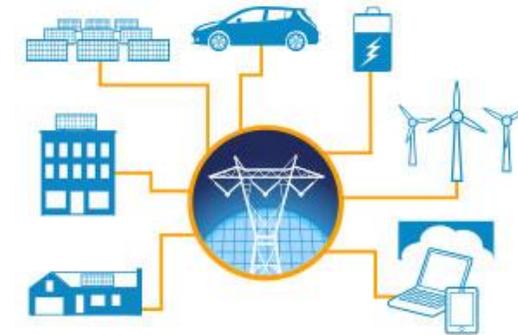


Flexibilität ist gefragt

Flexible Erzeugung: Schnelle Reaktionszeiten und breiter Betriebsbereich

Flexible Transmission: Leistungsfähige Übertragungsnetze zum Ausgleich der Energie über weite Strecken

Flexible Bedarfsanpassung: Smart Grid Technologie um den Bedarf an die Produktion anzupassen

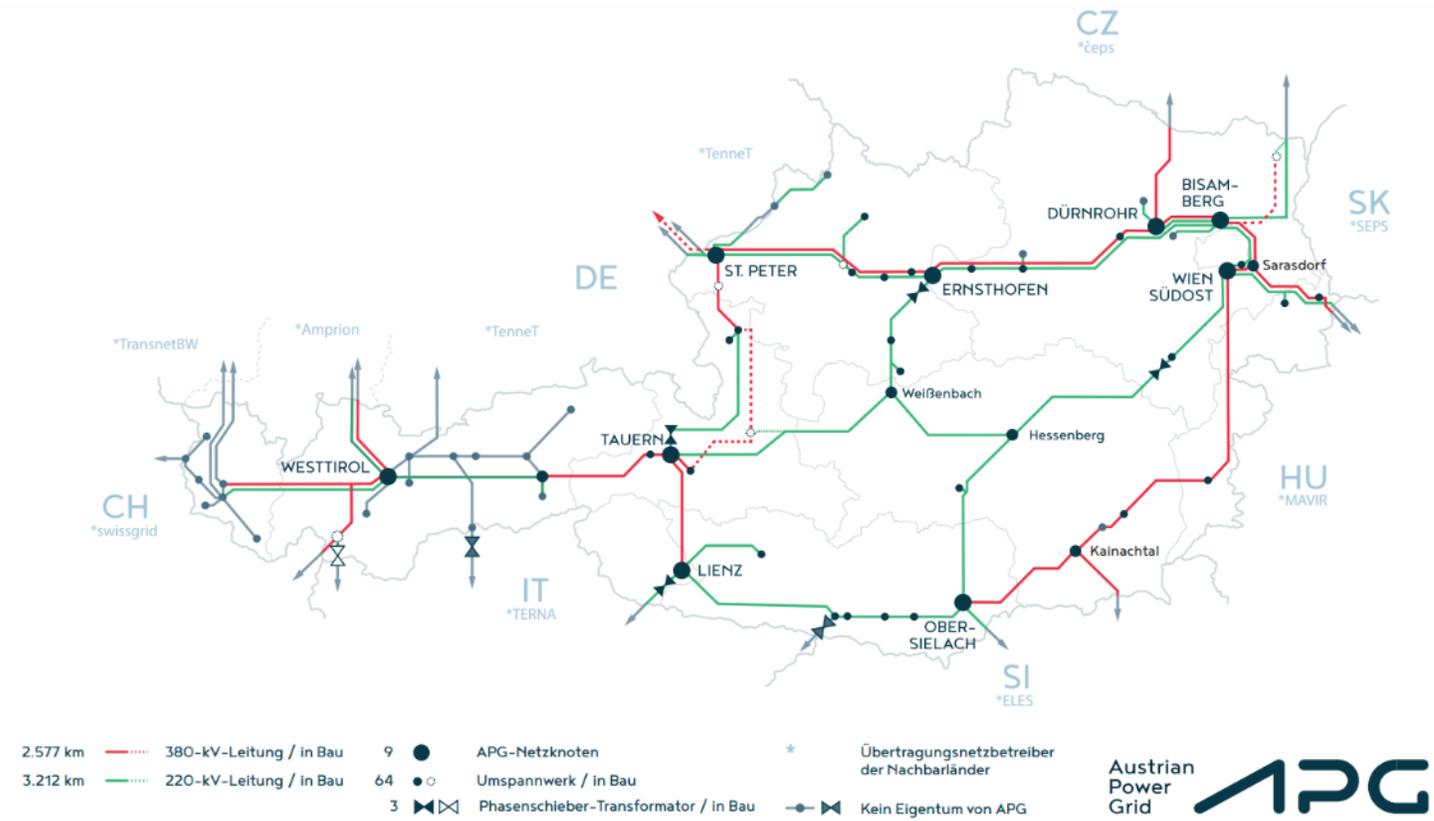


NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Neue Anforderungen für das elektrische Netz

- Ausbau der Verteilleitungen
- Speicherkapazitäten
- Regelenergie
- Definition der Lastprofile

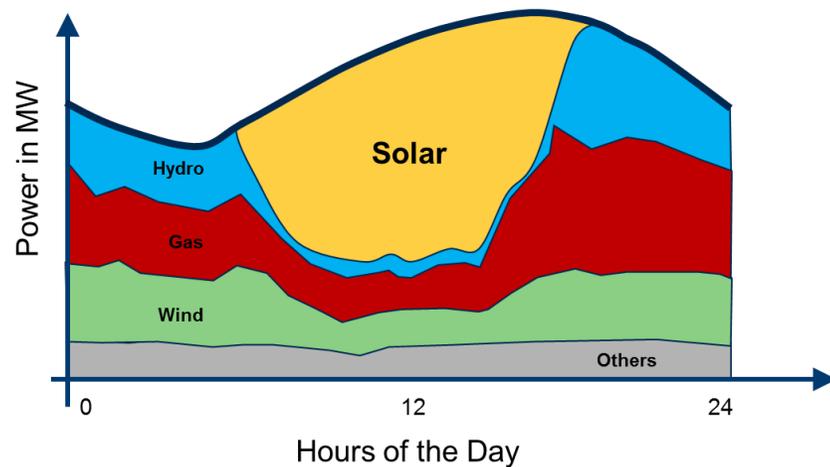


NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Rolle der Wasserkraft

- Energie aus Wind & Solar drängt die Wasserkraft zurück
- Wind & Solar dürfen bevorzugt Strom in das elektrische Netz einspeisen
- Grundlast wird sehr schlecht bezahlt



- Wirtschaftlicher Druck steigt (Hohe Rentabilitätserwartungen der Investoren)
- Umweltschutzmaßnahmen werden kontinuierlich strenger

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Wasserkraftwerke stehen – Keine Seltenheit

Ereignis am 04.06.2018 beim
Wasserkraftwerk Orlik HPP:

- 14:30 Uhr
- **Anlage steht still**
- **Kein Einkommen für den Betreiber**
- **Unbefriedigende Situation**

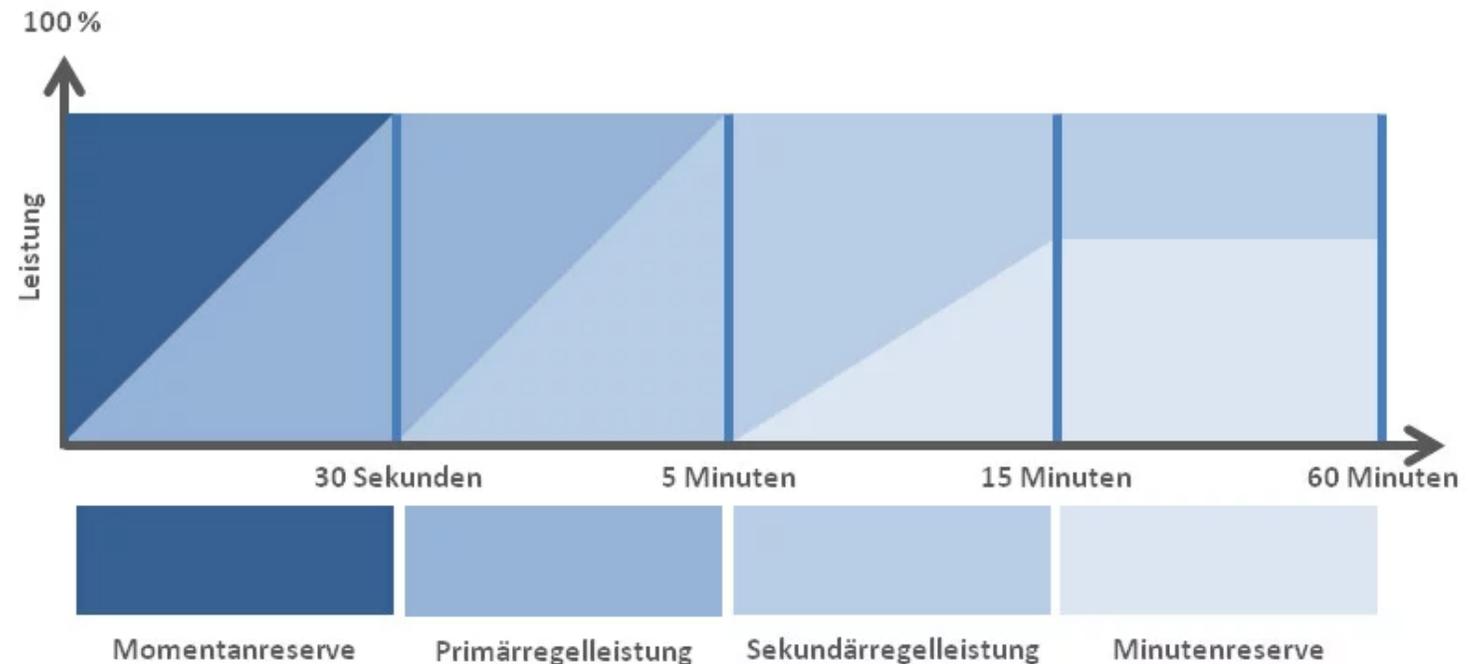


NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Regelenergie für eine sichere Energiezukunft

- Momentanreserve
- Primärregelleistung
- Sekundärregelleistung
- Tertiärregelleistung

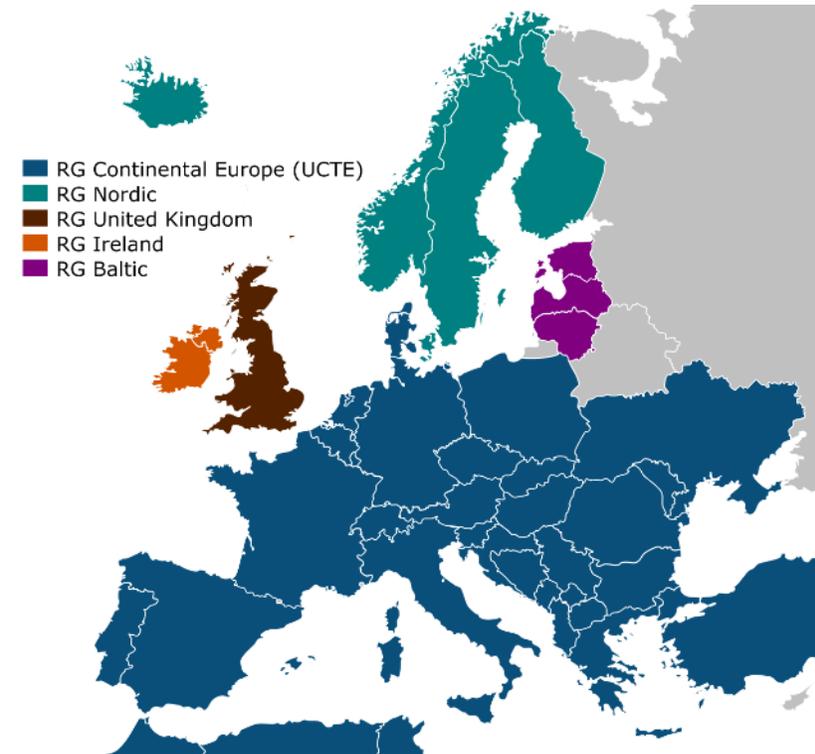


NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Das europäische Netz ENTSO-E (UCTE)

- ENTSO-E ... **European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E)**
- Verband in dem alle Übertragungsnetzbetreiber Pflichtmitglieder sind
- APG (Austrian Power Grid)
- Vorarlberger Übertragungsnetz (VÜN)



NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Preisvergütung der Regelenergie für Primärregelung

Entwicklung der jährlichen PRL-Erlöse (pro MW)

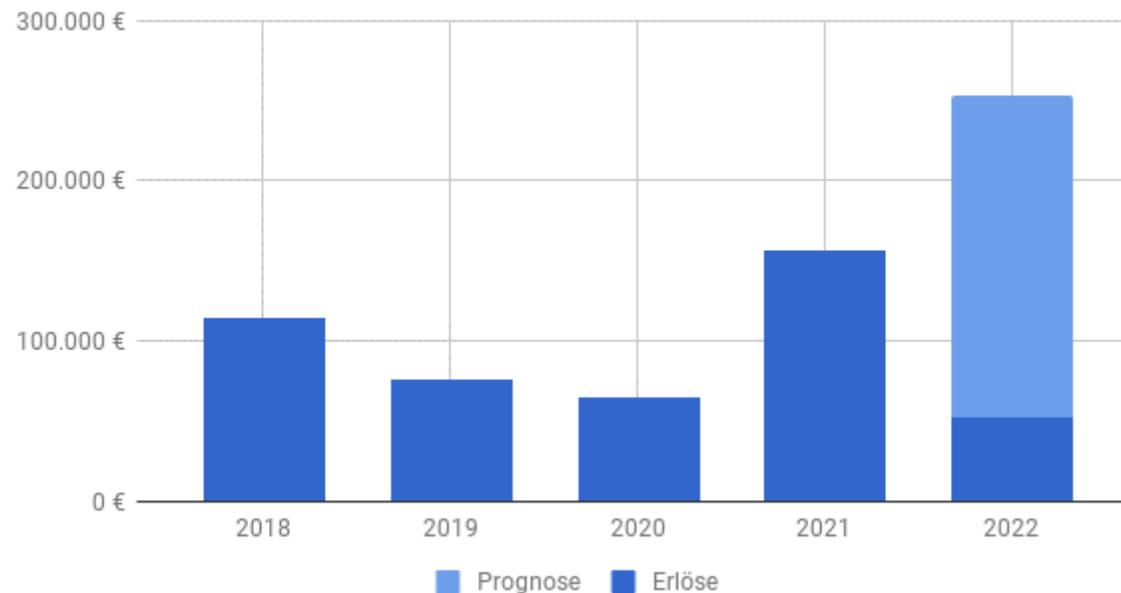


Abbildung 6: Jährliche PRL Leistungspreise in Österreich (Quelle; APG)

Netzstabilität wird durch folgende Maßnahmen gestützt:

- Momentanreserve (Schwungmasse)
- Primärregelleistung (FCR kalendertäglich 14 Tage)
 - Zuschlagsverfahren (nach Preisen gereiht)
 - Mindestgebot: +/- 1 MW
 - Maximalgebot: +/- 25 MW
 - Ausschreibungsplattform der APG
 - Technische Präqualifikation – Rahmenvertrag
 - 4 Stunden Pakete für PRL
- Sekundärregelleistung (aFRR kalendertäglich 8 Tage)
- Tertiärregelleistung (mFRR Do der Vorwoche)

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Momentanreserve

Dient zur Dämpfung der Frequenzabweichungen im ersten Moment und dämpft den Frequenzgradienten
Frequenzgrenzen: 47.5 – 51.5 Hz

Maßnahmen:

- Schwungmasse
- Phasenschieber (Synchronous Condenser)

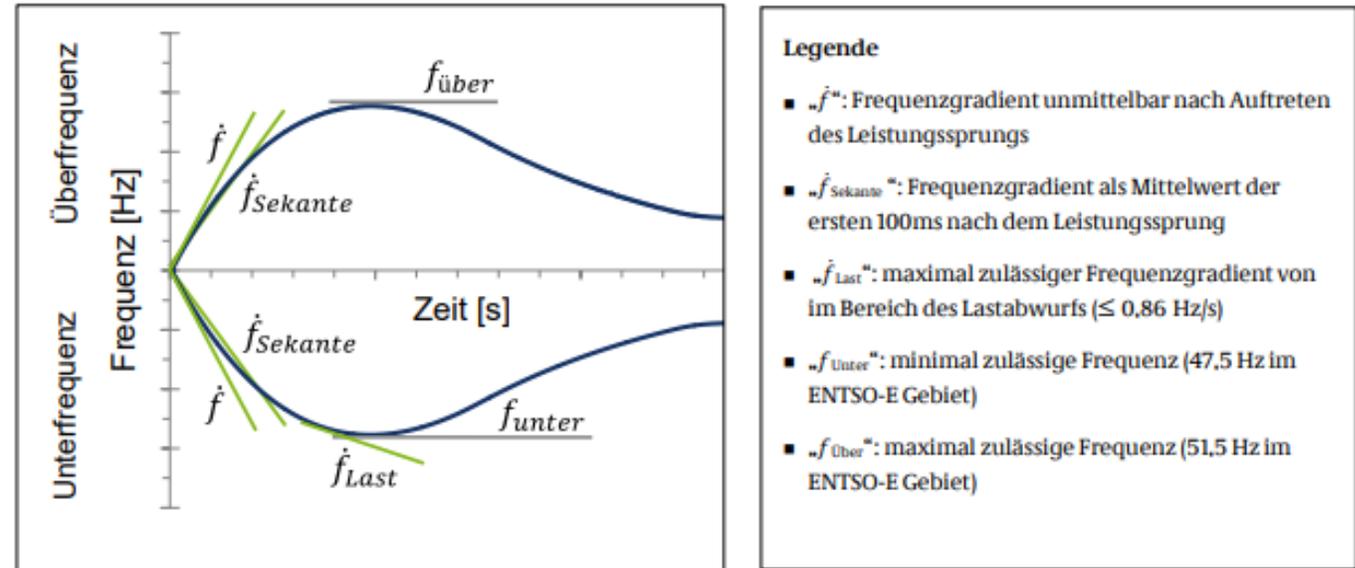


Abbildung 7: Schematische Darstellung der zu betrachtenden Grenzwerte für die dynamische Frequenzhaltung für den Über- und den Unterfrequenzfall

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Speichertechnologien

- Ohne Energiespeicher ist ein Energiewandel nicht möglich
- Je höher der Anteil an erneuerbarer Energie im Netz desto höher der Speicherbedarf
- Einsatz der Energiespeiche
 - Regelenergie
 - Trennung Erzeugung und Einsatz
- Einsatzbereiche
 - Batteriespeicher: 0 – 10 (100 MW)
 - Pumpspeicher: 50 – 1000 MW

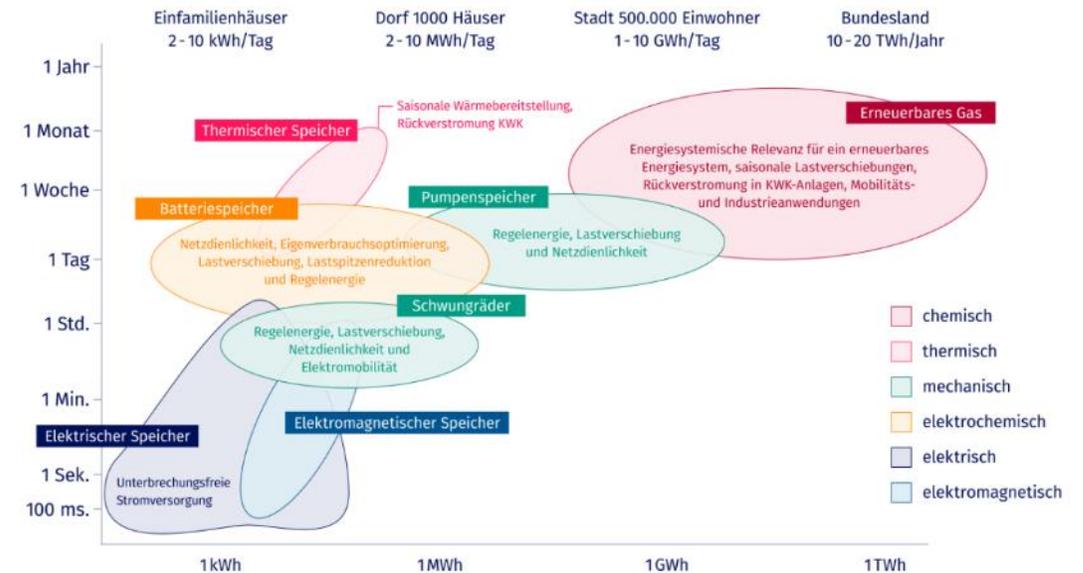


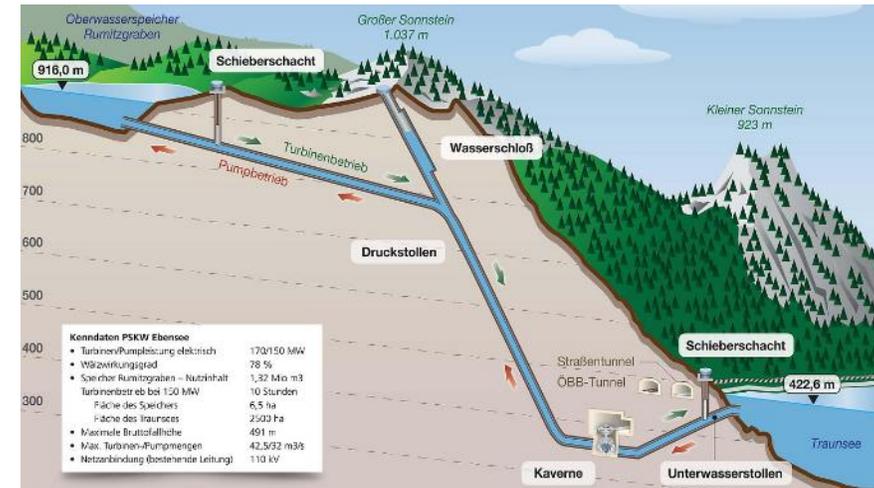
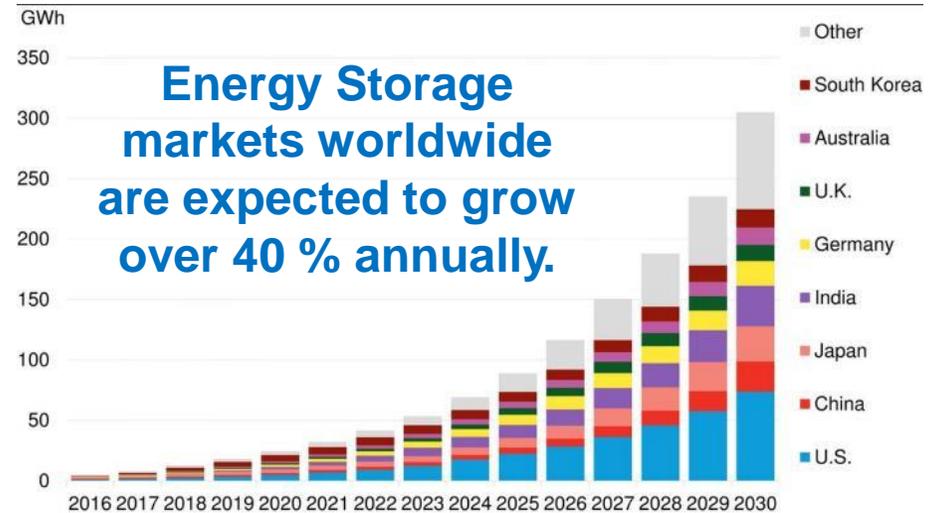
Abbildung 8: Einsatzbereiche unterschiedlicher Speichertechnologien (Quelle: OTHR 2020)

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Batteriespeicher und Pumpspeicherkraftwerke als „Gamechanger“

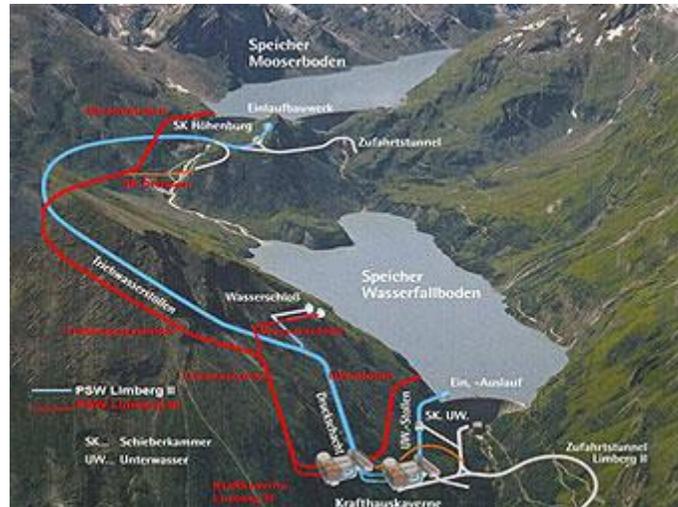
- Installierte Leistung in Österreich: 3.5 GW
- Anlagen: 10 HPP > 200 MW
 - Leistungstärkste: Malta-Hauptstufe – 730 MW (Verbund)
 - Modernste: Obervermuntwerk 2 – 360 MW (Illwerke)
 - Aktuell in Planung: Ebensee – 150 MW (Energie AG)
- Installierte Leistung in Deutschland: 6.4 GW
- Installierte Leistung in China: 23 GW



NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Anlagen im Vergleich



Limberg III – Austria (Kaprun)

2 x 280 MVA, Fallhöhe 360 m,
DFMG, Verbund



Hornsdale /Australia (2017 – 2019)

2017: 70 MW /11.7 MWh + 30 MW / 90 MWh

2019: 50 MW / 64.5 MWh

Regelenergie, Speicher

TESLA

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Funktionsweise eines Pumpspeicherkraftwerkes

- 1) Gates
- 2) Druckrohrleitung
- 3) Absperrorgan
- 4) Turbine
- 5) Generator
- 6) Automation, Steuerung, Schutz
- 7) Niederspannungs-Schaltanlage
- 8) Transformator
- 9) Hochspannungs-Schaltanlage
- 10) Übertragungsleitung
- 11) Batteriespeicher

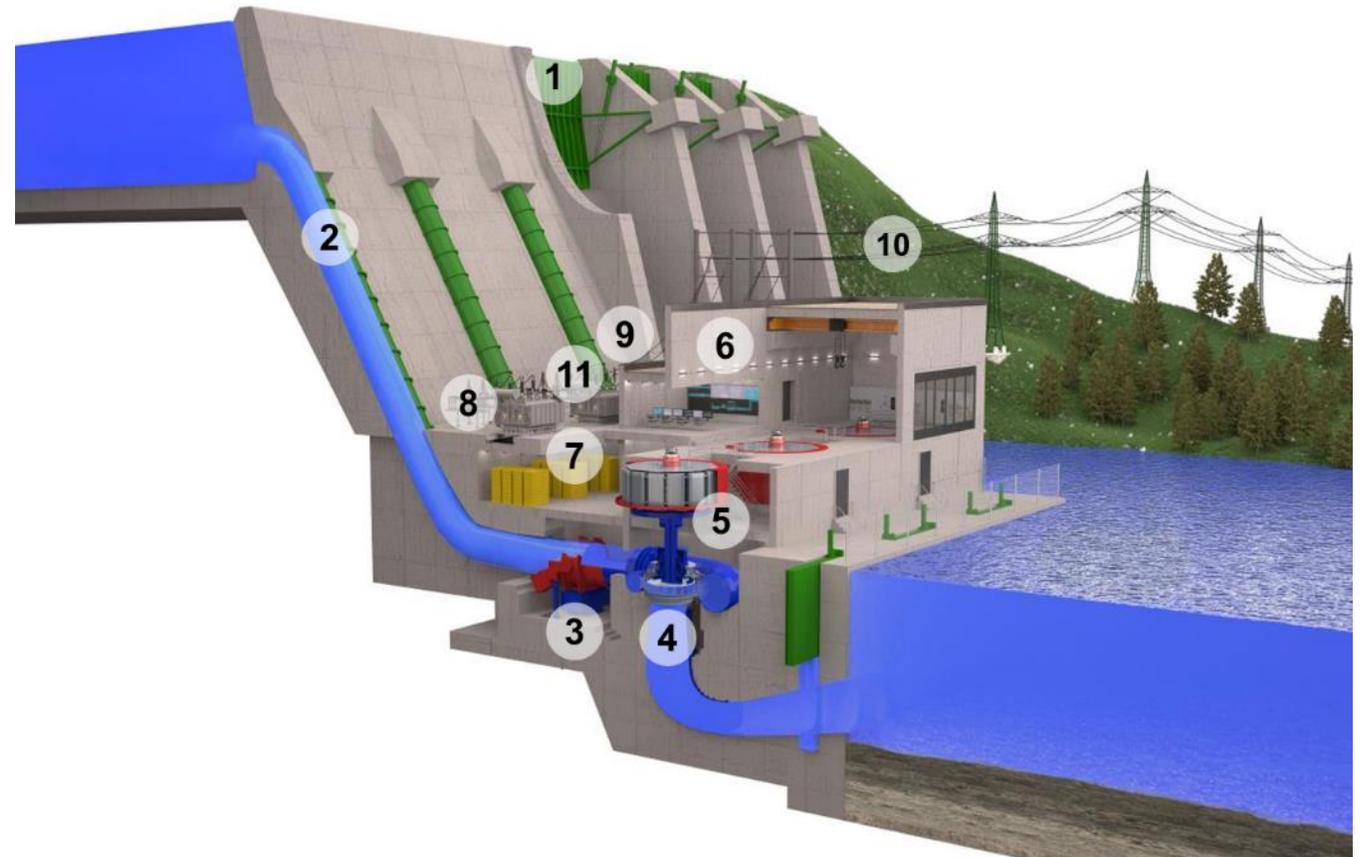


Abbildung 10: Funktionsweise eines Wasserkraftwerkes

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Speicherseen

- Natürliche Speicherseen
- Künstliche Speicherseen

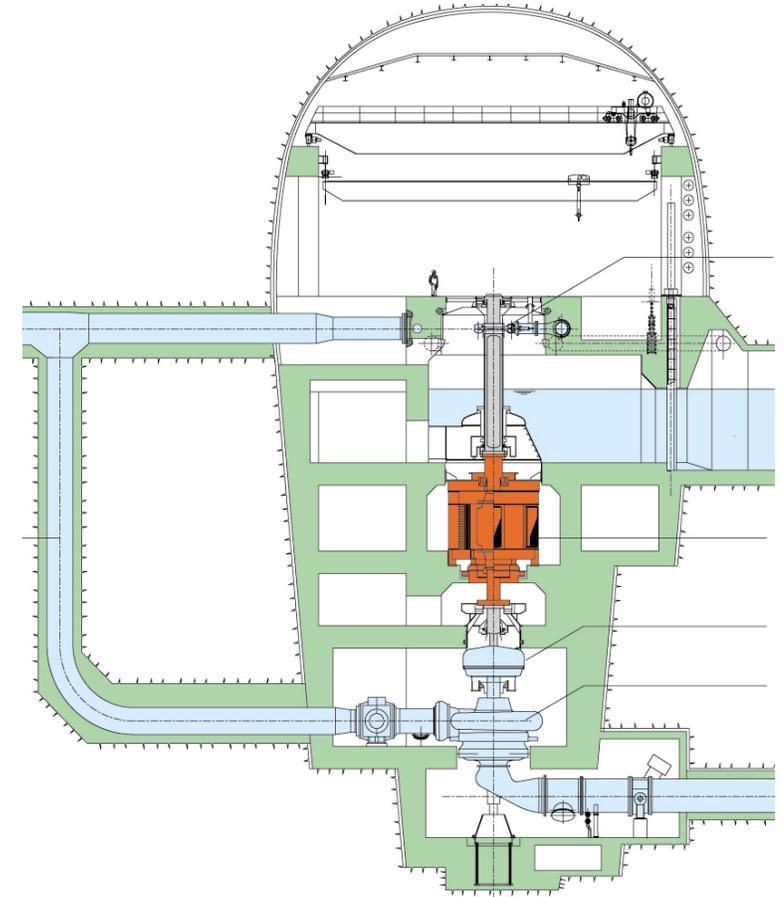
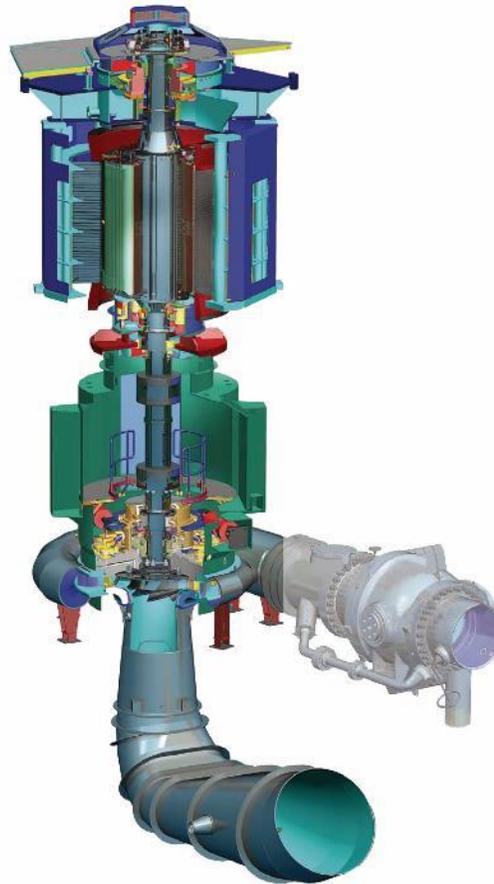


NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Typen von Pumpturbinen

- Reversible Pumpturbinen
- Reversible Pumpturbinen mit variabler Drehzahl (Motor-Generator)
- Ternäre Pumpturbinen

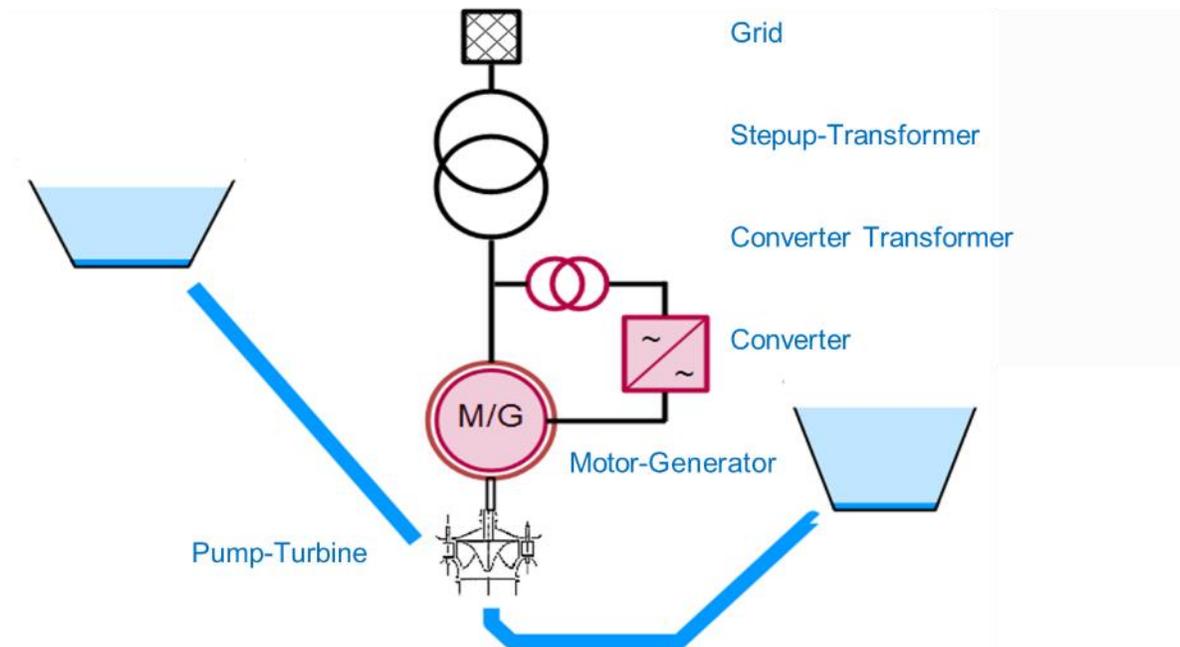


NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



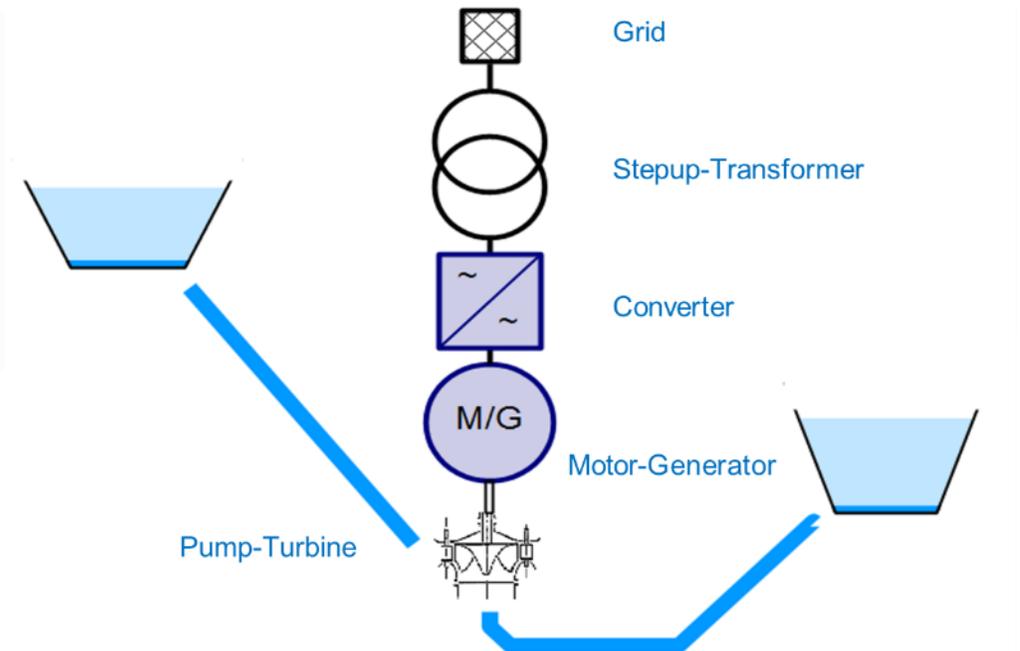
Variable Drehzahl für höchste Flexibilität

Doppelt gespeiste Asynchronmaschine
Doubly Fed Generator (DFG)



Drehzahlbereich: +/- 10 %

Vollumrichter
Full Size Converter (FSC)

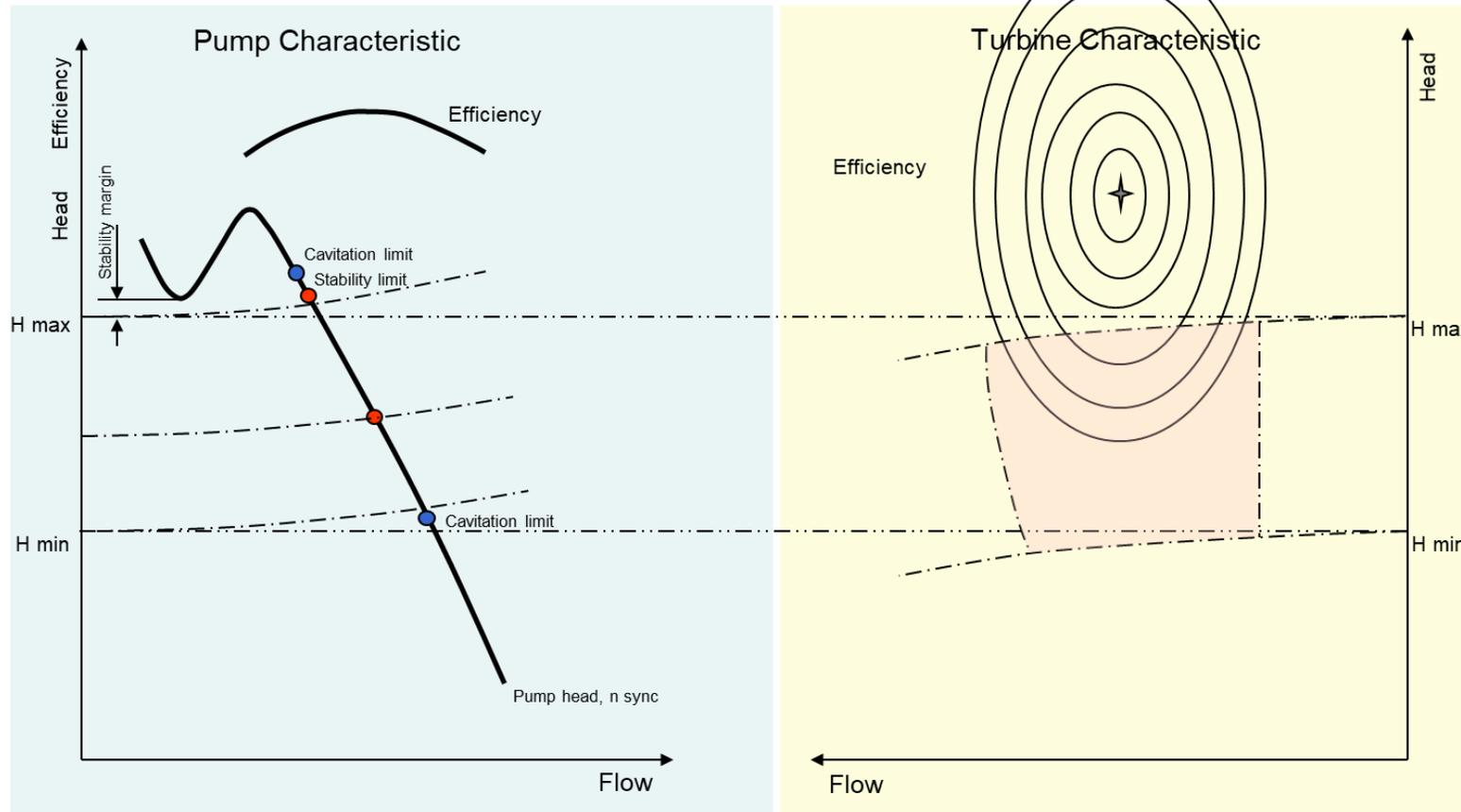


Drehzahlbereich: +/- 100 %

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



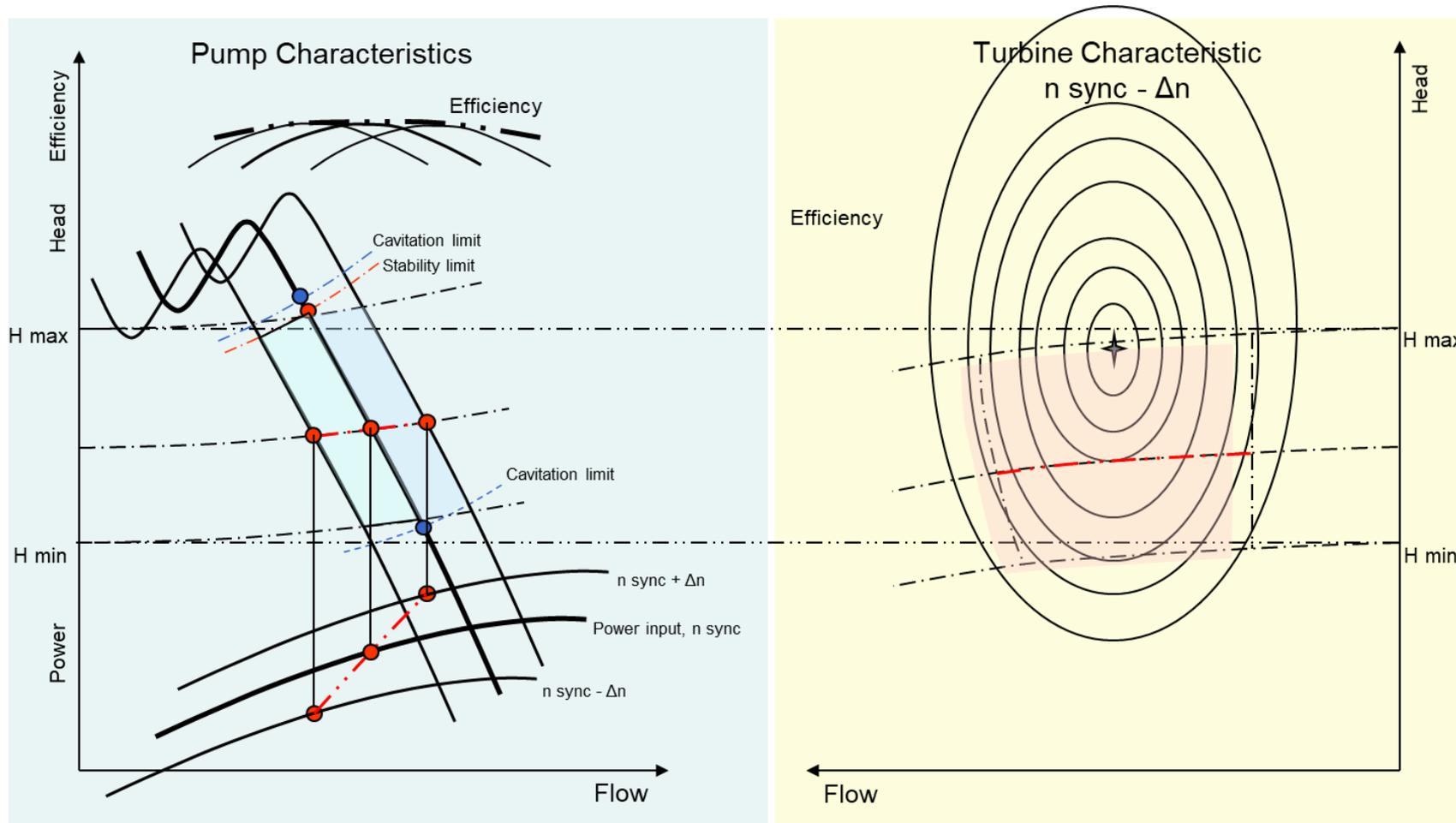
Charakteristik – Fixe Drehzahl



NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



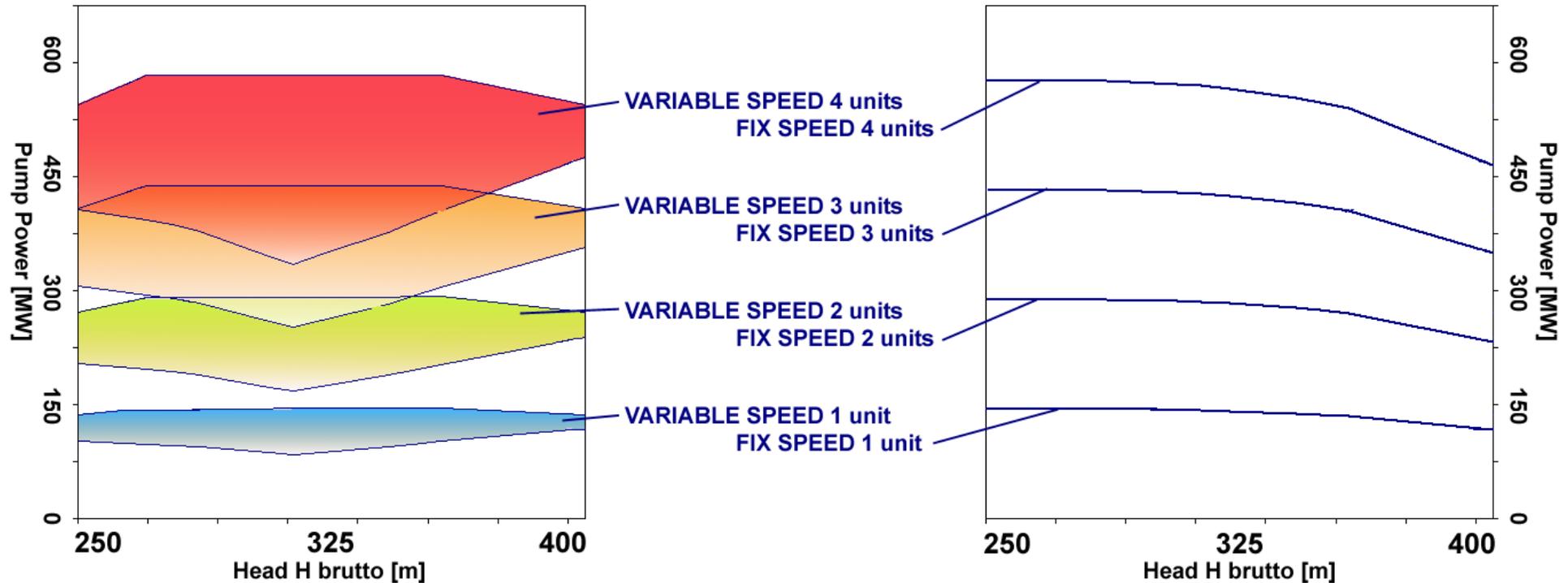
Charakteristik – Variable Drehzahl



NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Vergleich des Betriebsgebietes



Variable Drehzahl:

Höchste Flexibilität im Pumpbetrieb

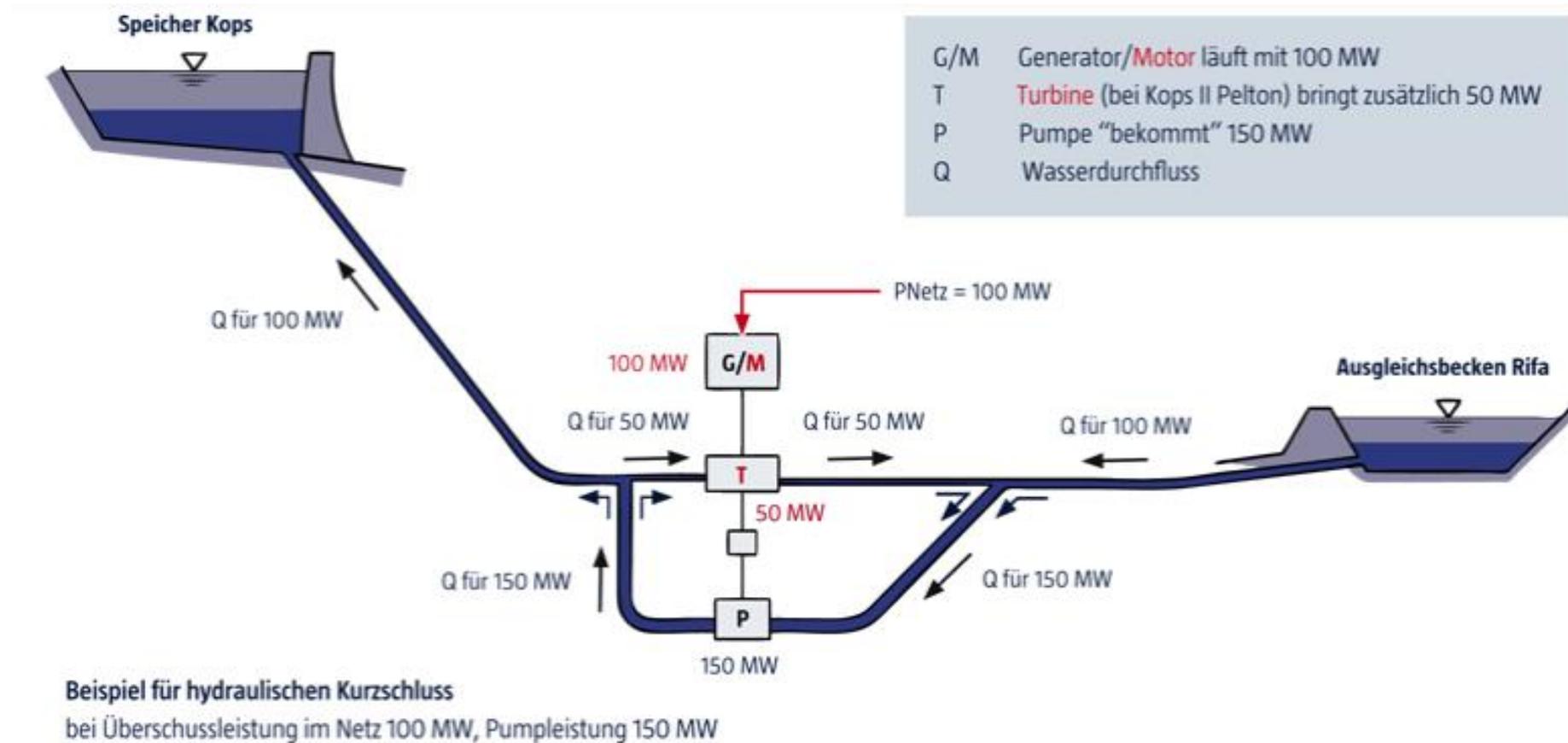
Fixe Drehzahl:

Betrieb "nur" entlang der Pumpencharakteristik möglich

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Ternäre Pumpturbinen im Kurzschlussbetrieb



NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Variable Drehzahl: Goldisthal - Germany

- Betreiber: Vattenfall
- Leistung: 2 x 340 MVA
- Laufrad: 4400 mm
- Betriebshöhe: 300 m
- Drehzahl: DFM (300 - 346 rpm)

Erste variable Drehzahlmaschine in Europa –
seit 2003 in Betrieb

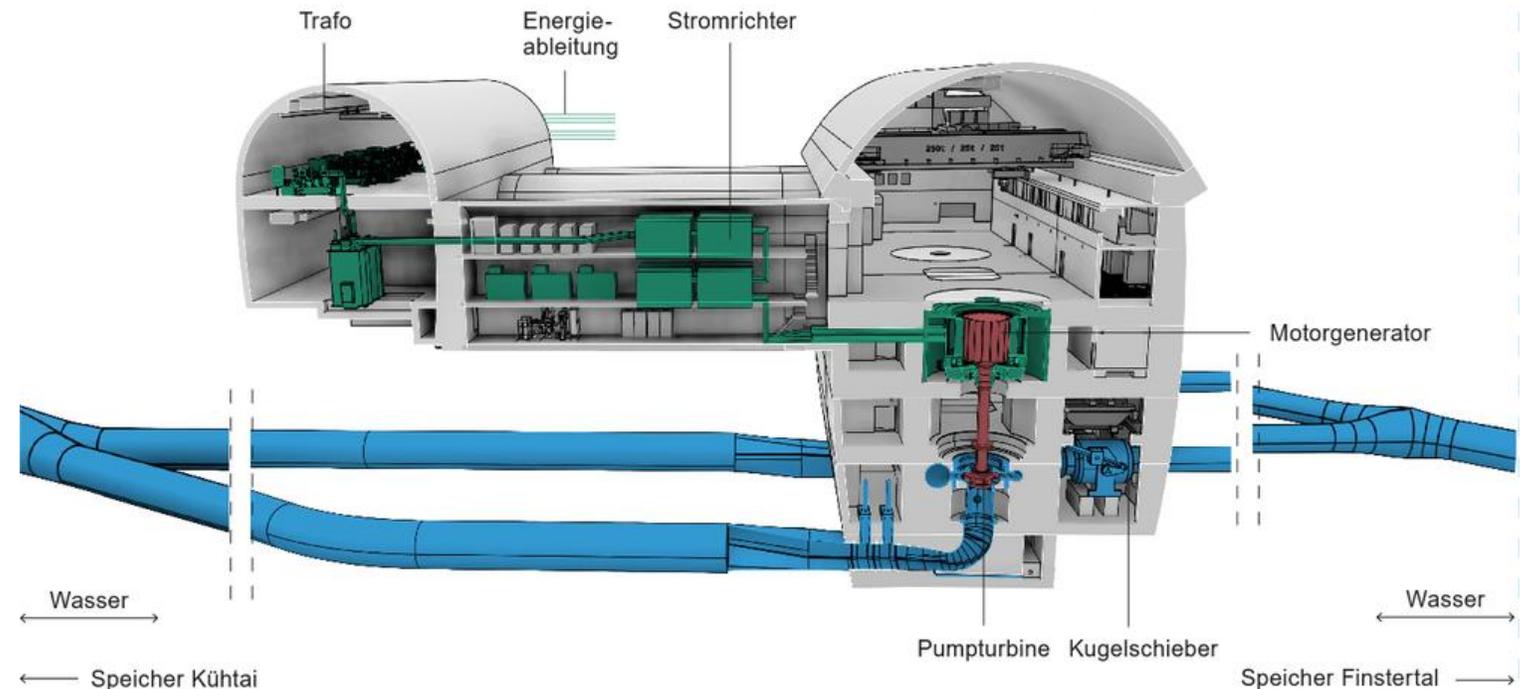


NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Variable Drehzahl: Kühtai 2 - Austria

- Betreiber: TIWAG
Vollumrichter
- Leistung: 2 x 95 MVA
- Betriebshöhe: 165 m
- Drehzahl: 340 - 485rpm



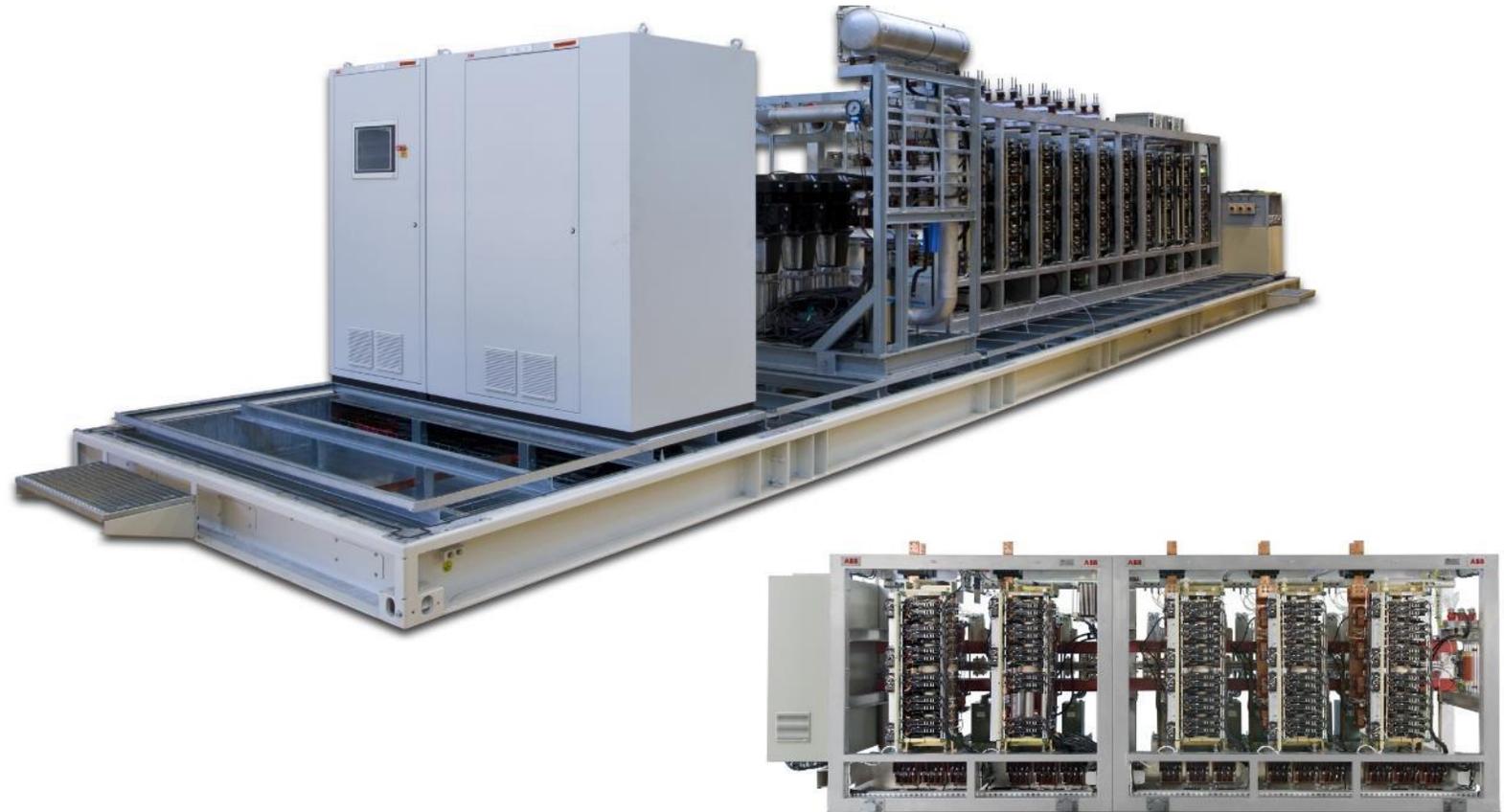
NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Umrichtertechnologie

Beispiel der Hauptdaten:

Leistung:	58 MVA
Spannung:	6,4 kV rated voltage
Abmessungen:	15,5x3x3,7 m
Gewicht:	32 t (with container)



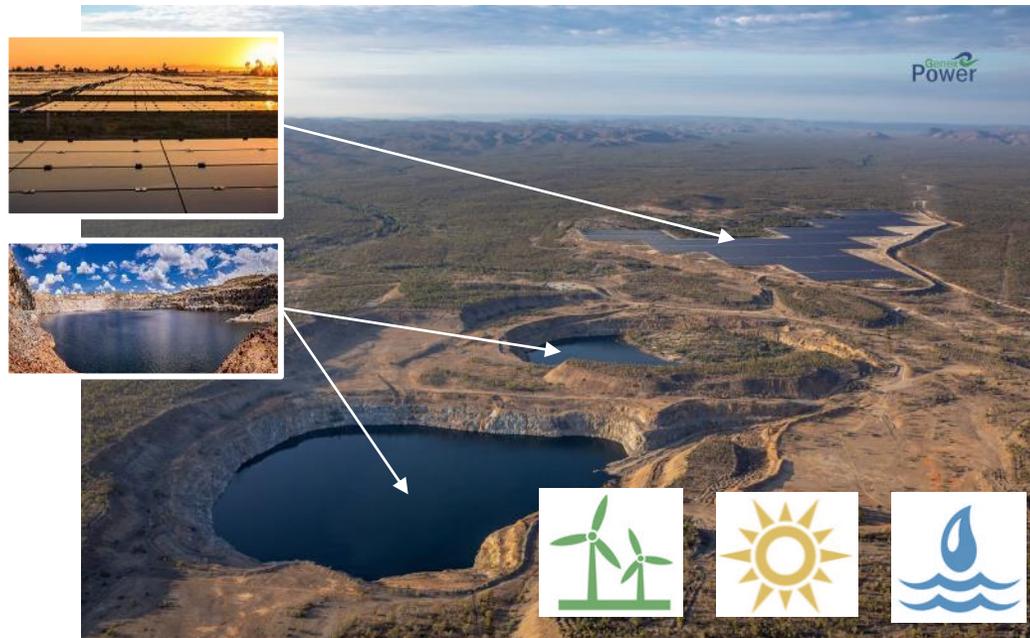
NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



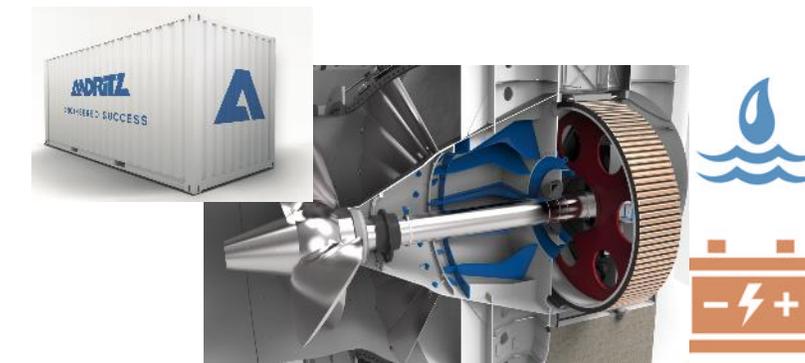
Speicher und Ausgleichsenergie - Systemlösungen

- Large Scale Hybrid Solution
Kombination von Wasserkraftwerken mit Wind und PV zur Erreichung max. Flexibilität

- Integrated Hybrid Solutions
BESS als Ergänzung zu einem Kraftwerk zur Steigerung der Flexibilität und Erhöhung der Ertrages



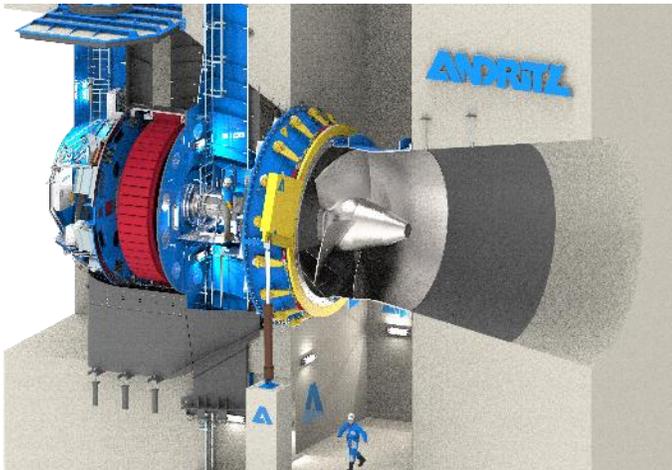
Kidston, Australia, Solar 270 MW, Wind 150 MW,
Hydro 250 MW



NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Wasserkraft + Batterie – Ein System der Zukunft



+



=



HyBaTec
Hydro Battery Technology by ANDRITZ

HyBaTec by ANDRITZ Hydro

Vorteile:

- Hoher Wirkungsgrad
- Etablierte Technologie
- Erneuerbare Energie

Vorteile:

- Kurzspeicher
- Schnelle Reaktionszeiten
- Hohe Flexibilität
- Lastausgleich

Vorteile:

- Erweiterter Betriebsbereich
- Schnelle Reaktionszeiten
- Bereitstellung von Regelenergie
- Lebensdauererlängerung
- Neue Ertragsmöglichkeiten für Wasserkraftwerke

NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Betriebskonzepte für “Integrated Hybrid Solutions”

Anwendung	Merkmale	
Lebensdauer	<p>HyBaTec System erlaubt schnelle Umschaltzeiten</p> <ul style="list-style-type: none"> → TG Unit kann im Stationärbetrieb verbleiben → Verminderte Belastung des Reglers eines Wasserkraftwerkes 	
Regelenergie	<p>HyBaTec System liefert einen Beitrag zur Netzstabilität, Spannungsausgleich</p> <ul style="list-style-type: none"> → Erweiterter Betriebsbereich → Teilnahme am Spot-Markt → Neue Ertragsmöglichkeiten (z.B. Primärregelung) 	
Speicher	<p>HyBaTec System liefert Speicherkapazität</p> <ul style="list-style-type: none"> → Lastausgleich (Grundlast – Spitzenlast) → Neue Ertragsmöglichkeiten (z.B. Primärregelung) 	

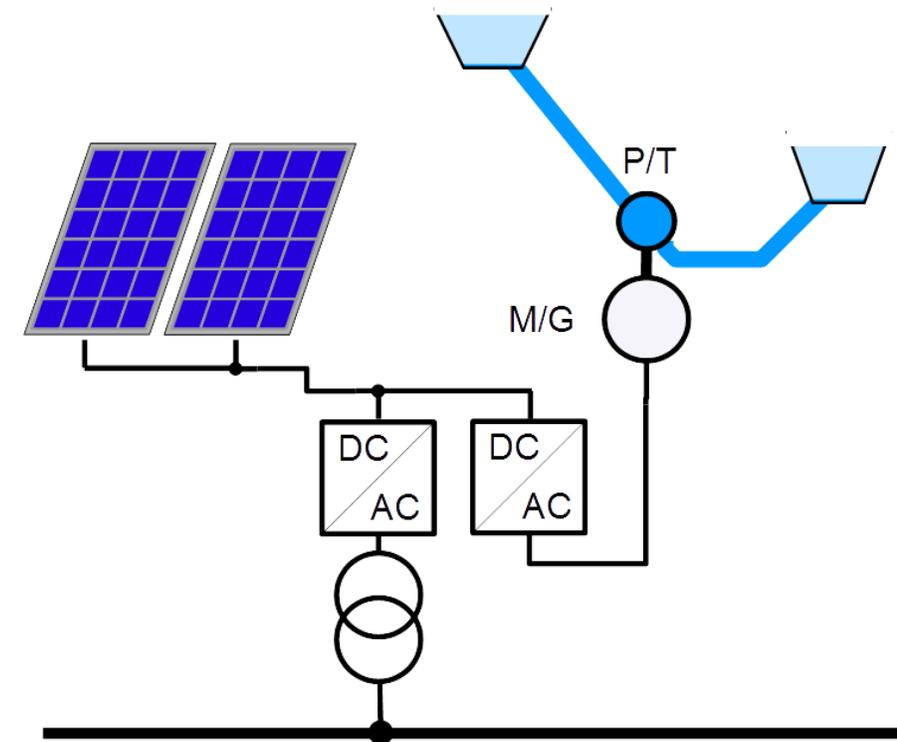
NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Hybrid System: PV + Pumpturbine (DC)

- + Synergie durch gemeinsamen Netzanschluss
- + Speichermöglichkeit
- + Höchste Flexibilität

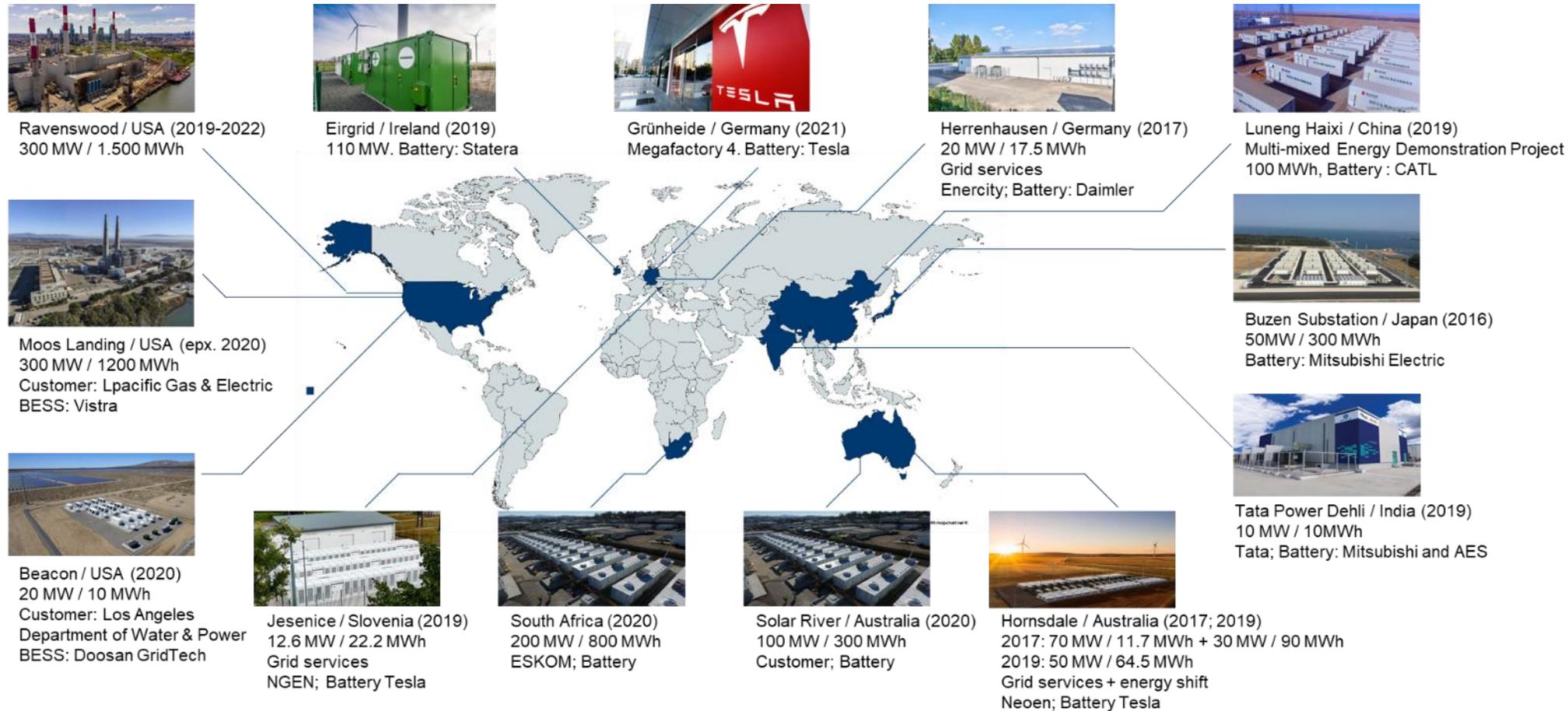
- Variable Drehzahl erforderlich (teuer)
- Nähe der Kraftwerke erforderlich



NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



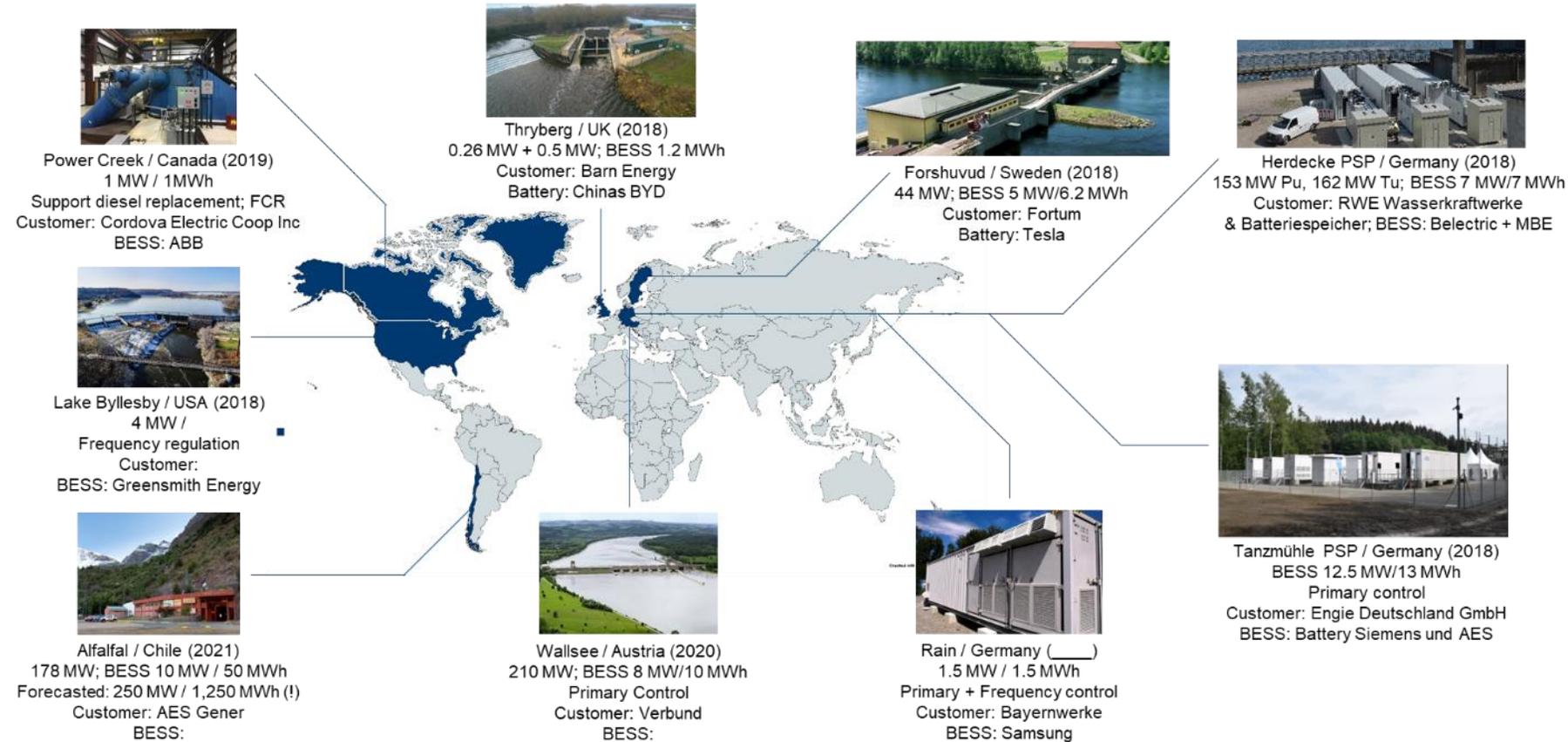
Beispiele von großen Batteriespeichern



NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



“Integrated Hybrid Solutions” – Wasserkraftwerk + Batteriespeicher



NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Zusammenfassung & Ausblick

- Wir sind bereits abgebogen....
- Erneuerbare Energien sind entscheidend für UNSERE Zukunft
- Ohne Effizienzsteigerungsmaßnahmen sind die Ziele nicht zu schaffen
- Der Ausbau der notwendigen Regelenergie schreitet voran
- Der Netzausbau ist ein entscheidender Faktor in der Energiewende
- Blackout Vorsorge mit Maß und Ziel
- Klimawandel kann nur durch Energiewandel bekämpft werden
- China machts



NETZSTABILITÄT MIT PUMPSPEICHER



Kontakt

- Maria Collins
maria.collins@andritz.com
- Thomas Eiper
thomas.eiper@andritz.com

LEGAL DISCLAIMER



© ANDRITZ 2022

This presentation contains valuable, proprietary property belonging to ANDRITZ AG or its affiliates (“the ANDRITZ GROUP”), and no licenses or other intellectual property rights are granted herein, nor shall the contents of this presentation form part of any sales contracts which may be concluded between the ANDRITZ GROUP companies and purchasers of any equipment and/or systems referenced herein. Please be aware that the ANDRITZ GROUP actively and aggressively enforces its intellectual property rights to the fullest extent of applicable law. Any information contained herein (other than publically available information) shall not be disclosed or reproduced, in whole or in part, electronically or in hard copy, to third parties. No information contained herein shall be used in any way either commercially or for any purpose other than internal viewing, reading, or evaluation of its contents by recipient and the ANDRITZ GROUP disclaims all liability arising from recipient’s use or reliance upon such information. Title in and to all intellectual property rights embodied in this presentation, and all information contained therein, is and shall remain with the ANDRITZ GROUP. None of the information contained herein shall be construed as legal, tax, or investment advice, and private counsel, accountants, or other professional advisers should be consulted and relied upon for any such advice.

All copyrightable text and graphics, the selection, arrangement, and presentation of all materials, and the overall design of this presentation are © ANDRITZ GROUP 2019. All rights reserved. No part of this information or materials may be reproduced, retransmitted, displayed, distributed, or modified without the prior written approval of Owner. All trademarks and other names, logos, and icons identifying Owner’s goods and services are proprietary marks belonging to the ANDRITZ GROUP. If recipient is in doubt whether permission is needed for any type of use of the contents of this presentation, please contact the ANDRITZ GROUP at welcome@andritz.com.