

Aspekte bei Netzanschluss und Netzbetrieb von Pumpspeicherkraftwerken

Prof. Robert Schürhuber

Institut für Elektrische Anlagen und Netze

Institut für Elektrische Anlagen und Netze

- Gegründet 1940
- Leiter seit 2017: Univ.-Prof. Robert Schürhuber
- rund 20 Mitarbeiter
- Kernkompetenzen:
 - Netzanbindung von Erzeugungsanlagen
 - Stationäre und dynamische Netzanalysen
 - Erdung und elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
- Bewährte Partnerschaften mit Industrie und Netzbetreibern



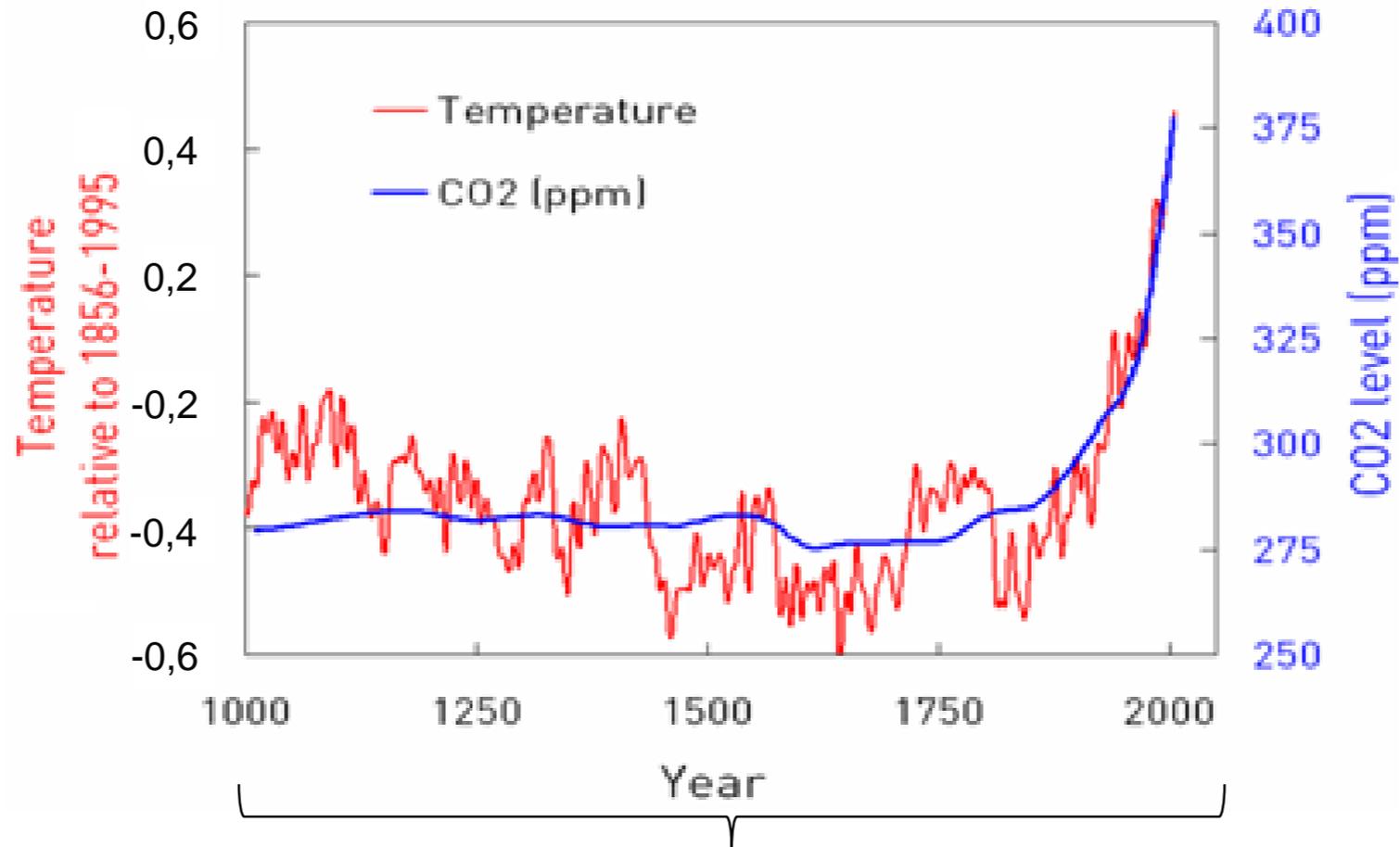
Energieversorgung – heute!



Energieversorgung – morgen!



Temperature and CO2 for Last 1,000 Years



1000 Jahre!

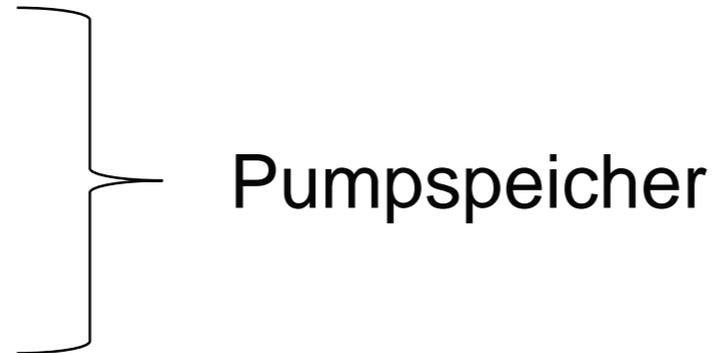
Umstellung auf klimaneutrale Energiewirtschaft

- Sektorkopplung bedeutet meist Elektrifizierung!
- Herausforderung für Netzplanung und Netzbetrieb

- Flexibilität im Betrieb

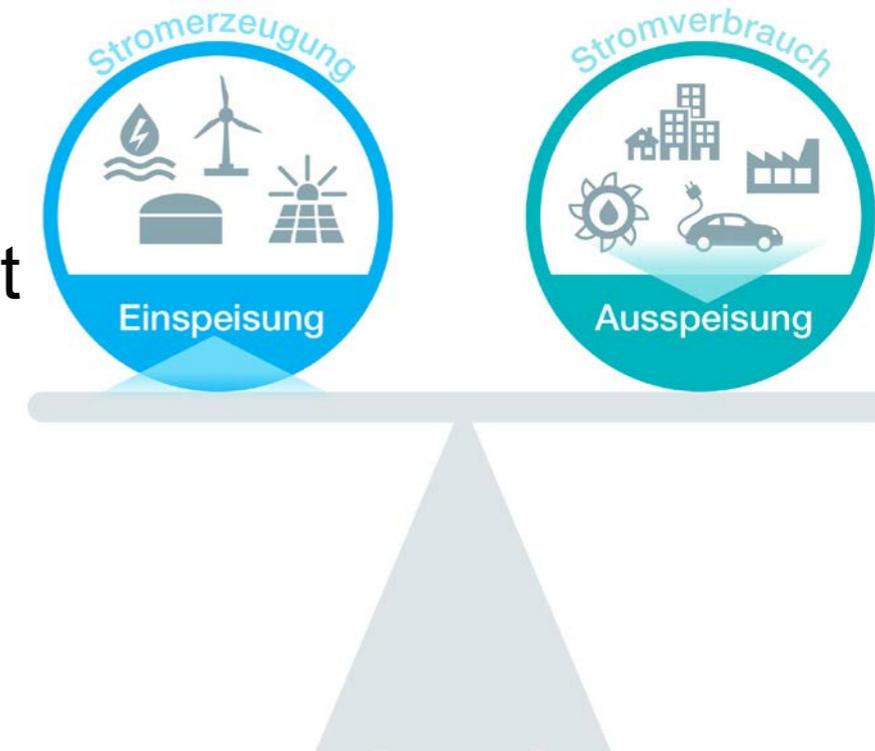
- Speicher

- Netzausbau



Die Leistungsbilanz

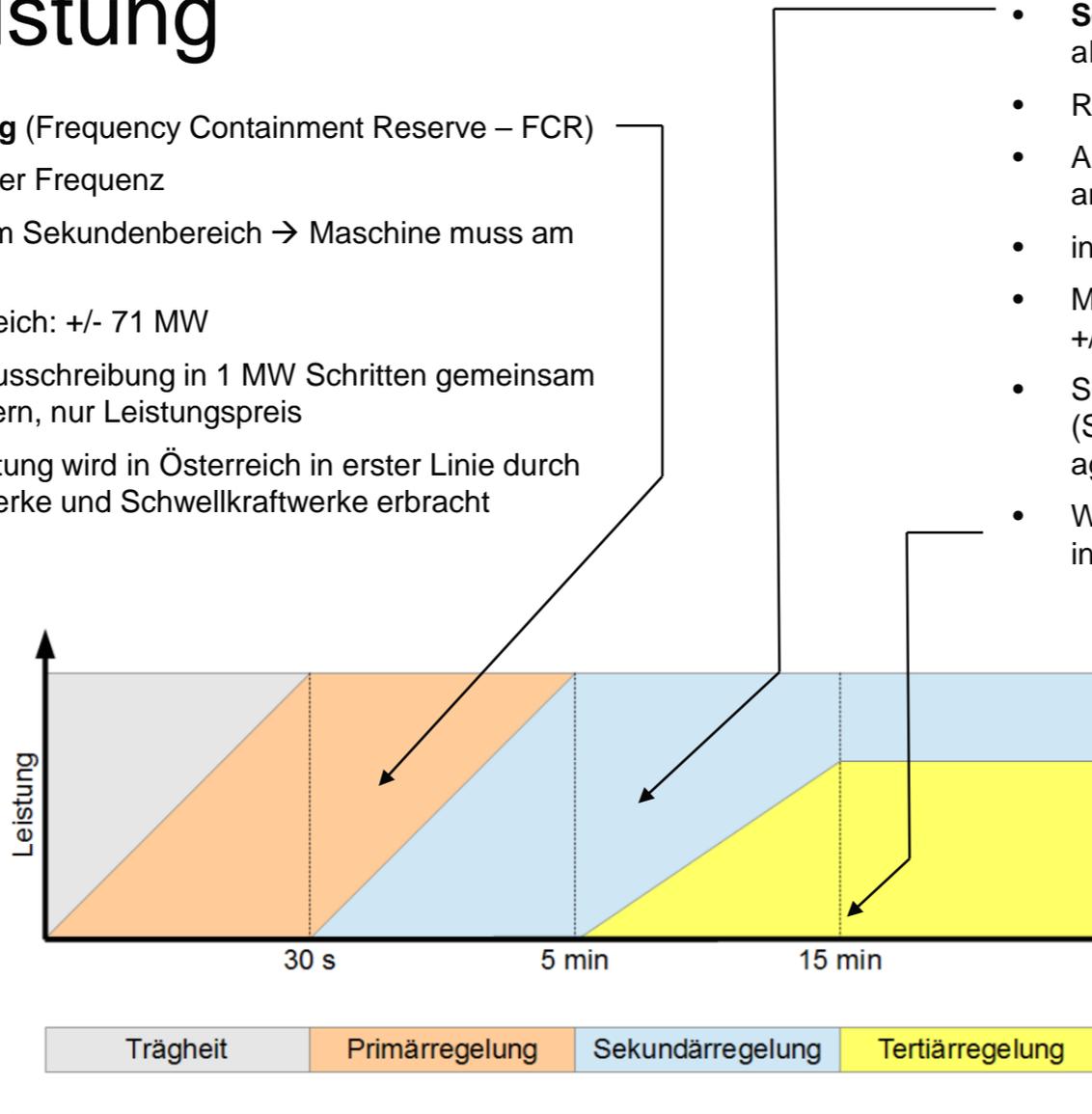
- Der Drallsatz:
- zeitliche Änderungsrate des Dralls
= mechanisches Moment – elektrisches Moment
- Differenz bewirkt Abweichung der Netzfrequenz
(Sollwert $f = 50$ Hz)
- Einspeisung $>$ Ausspeisung \rightarrow Netzfrequenz steigt
- Einspeisung $<$ Ausspeisung \rightarrow Netzfrequenz sinkt
- Aber: Netzfrequenz muss in einem engen Band
um 50 Hz bleiben, sonst kollabiert das Netz

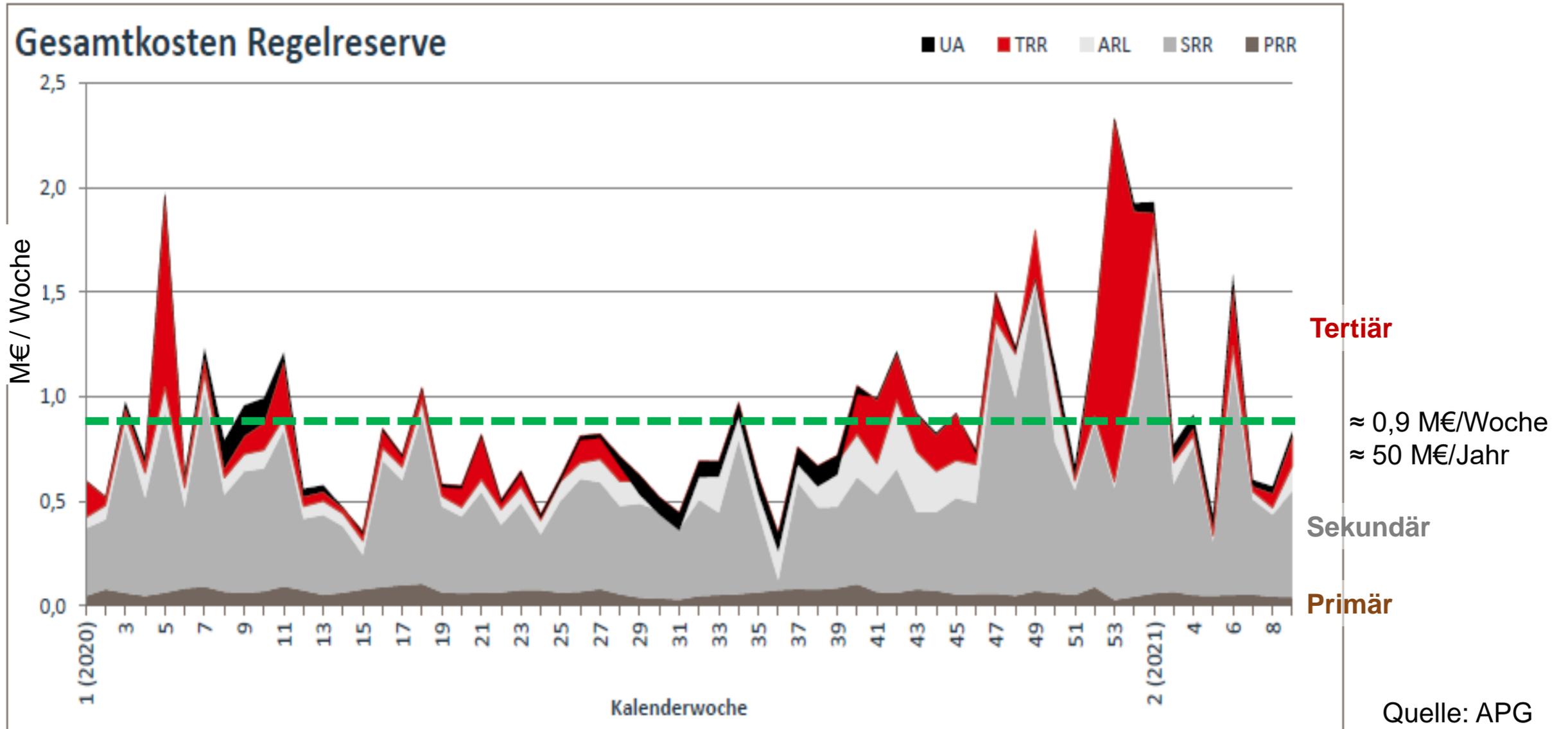


Regelleistung

- **Primärregelung** (Frequency Containment Reserve – FCR)
- Stabilisierung der Frequenz
- Reaktionszeit im Sekundenbereich → Maschine muss am Netz ein
- Anteil in Österreich: +/- 71 MW
- Marktprinzip: Ausschreibung in 1 MW Schritten gemeinsam mit CWE-Ländern, nur Leistungspreis
- Primärregelleistung wird in Österreich in erster Linie durch Speicherkraftwerke und Schwellkraftwerke erbracht

- **Sekundärregelung** (Automatic Frequency Restoration Reserve – aFRR)
- Rückführung der Frequenz auf 50 Hz
- Aktivierung innerhalb von 5 Minuten → Maschine muss nicht unbedingt am Netz sein
- in Österreich: +/- 200 MW (+: turbinieren, -: pumpen)
- Marktprinzip: Leistungs- und Energieausschreibung gemeinsam mit D, +/- werden getrennt ausgeschrieben
- Sekundärregelleistung kann von vielen Anbietern geliefert werden (Speicher- und Schwellkraftwerke, kalorische Kraftwerke, aggregierte Kleinanbieter/Verbraucher, ...)
- Weiters: **Tertiärregelung** (ähnlich Sekundärregelung, Aktivierung innerhalb von 10 Minuten)





Zukünftige Märkte Systemdienstleistungen

- Spannungsregelung und Blindleistungsbereitstellung
 - Systemwiederherstellung (Black-Start)
 - Bereitstellung von Kurzschlussleistung
 - Leistungsrampen
 - Schwungmasse
 - Flexiblere Leistungsbereitstellung ...
-
- aktuell schon z. B. in GB, IR

Pumpspeicher und Umrichter

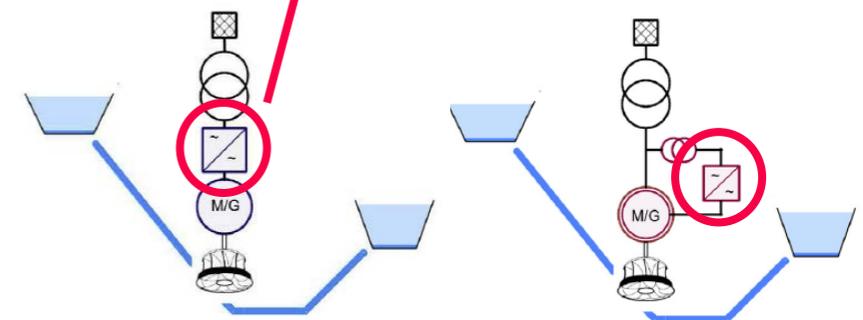
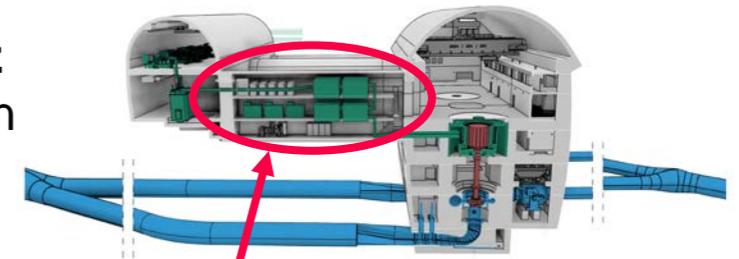
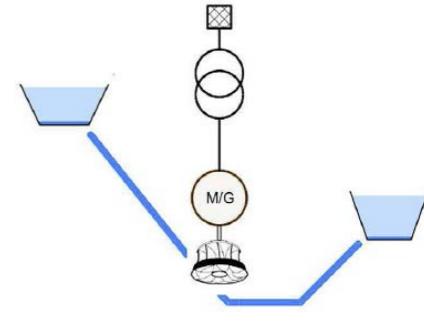
Pumpspeicher: Eine Stütze der zuverlässigen Energieversorgung in Österreich!

Vorteile von Pumpspeichern mit Umrichtern:

- Bessere Effizienz bei großen Fallhöhenschwankungen
- **Leistungsregelung im Pumpbetrieb → erhöhte Flexibilität für das Netz**
- Schnellere Laständerungen möglich, Bereitstellung von Netzdienstleitungen

Aktuelle Projekte in Österreich:

- Malta Oberstufe (2 x ±80 MW)
- Kaprun Hauptstufe (2 x ±80 MW)
- Tauernmoos (2 x ±85 MW)
- Limberg III (2 x ±240 MW)
- Kühtai 2 (±130 MW)
- Reisseck 2+ (±50 MW)



In Summe mehr Leistung als der weltweit größte Offshorewindpark, aber flexibel einsetzbar!

Netzanschlussregeln



- Basis:
EU Verordnung 2016/631 – Netzanschlussbedingungen für
Stromerzeuger
- Nationale Umsetzung in A:
Regelungen der TOR (Technische und organisatorische
Regelungen für den Netzanschluss in Österreich)
Status: nationale Verordnung (praktisch Gesetzescharakter)



Inhalte der TOR (Österreichische Netzanschlussregeln)

- Technische Anforderungen (z. B. Leistungsgradienten)
- Prozesse für den Netzanschluss, z. B.
 - Betriebserlaubnis
 - Konformität
 - Freistellungen
- Gültig für alle Neuanlagen $\geq 0,8$ kW
und für Bestandsanlagen bei wesentlichen Änderungen

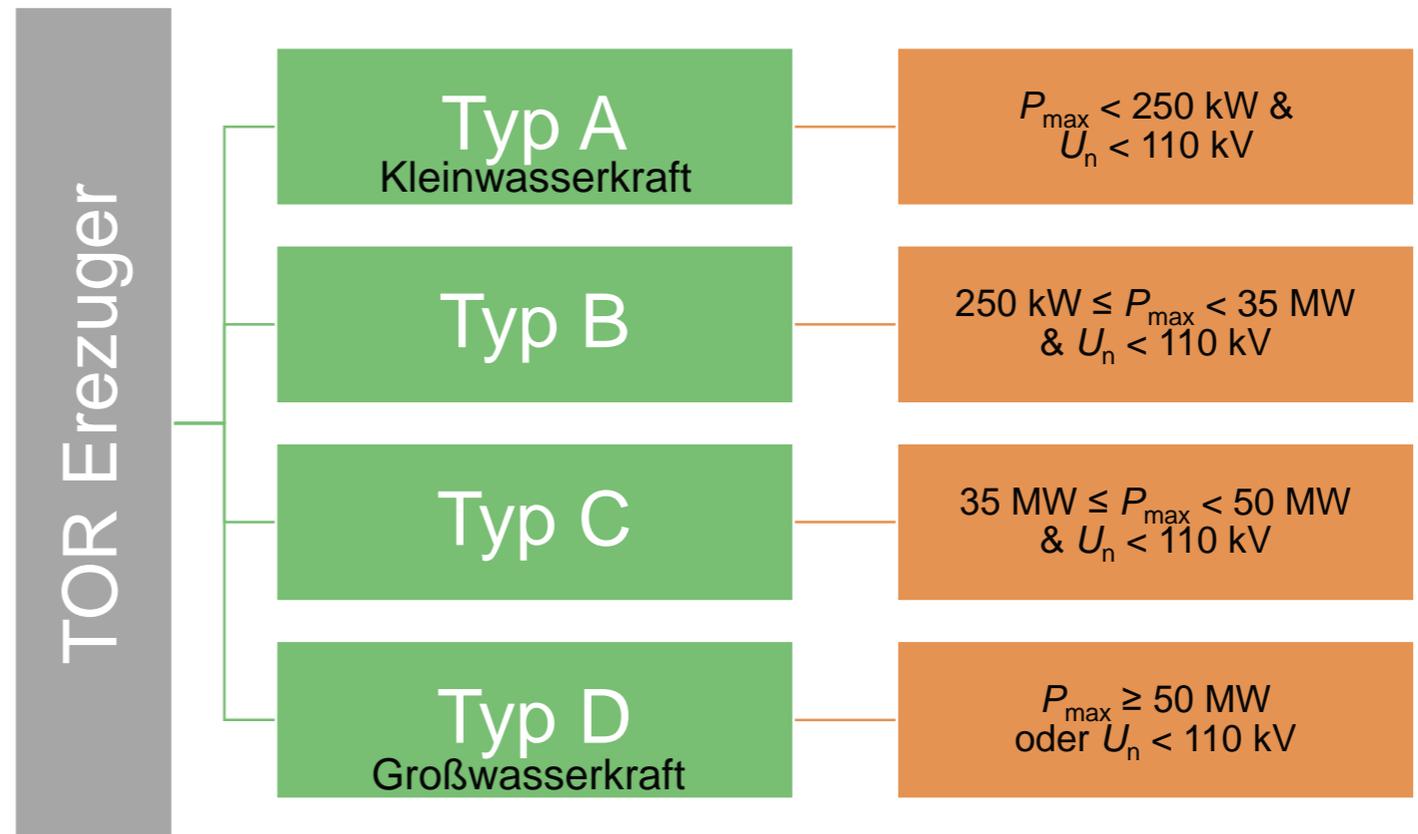


Wesentliche Änderungen, Beispiele

- Erhöhung der Maximalkapazität P_{\max} um mehr als 15 % (abweichender Wert in Absprache mit Netzbetreiber möglich)
- Gemeinsamer Tausch von Generator und Erregereinrichtung (gültig für synchrone Anlagen)
- Ersatz eines Wechselrichters, wenn der neue Wechselrichter erweiterte elektrische Eigenschaften besitzt
- Zubau einer neuen Stromerzeugungseinheit in einer bestehenden Stromerzeugungsanlage
- Änderung der Spannungsebene auf Betreiben des Netzbenutzers

Typeneinteilung laut TOR Erzeuger

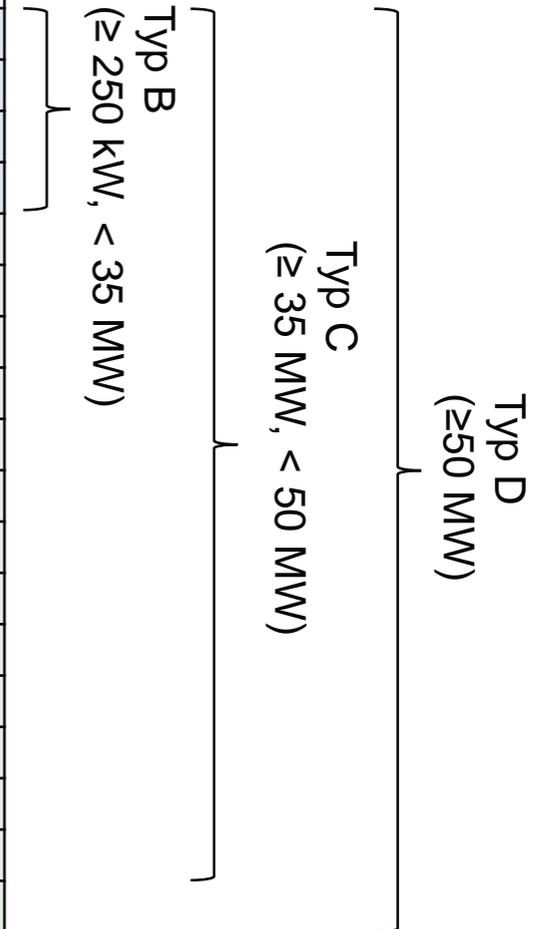
- Vier Typen vorhanden
- Klassifizierung nach
 - Leistung
 - Spannungsebene
- Anforderungen:
 $A < B < C < D$



Synchrone (S) und Nichtsynchrone (NS) Stromerzeugungsanlagen

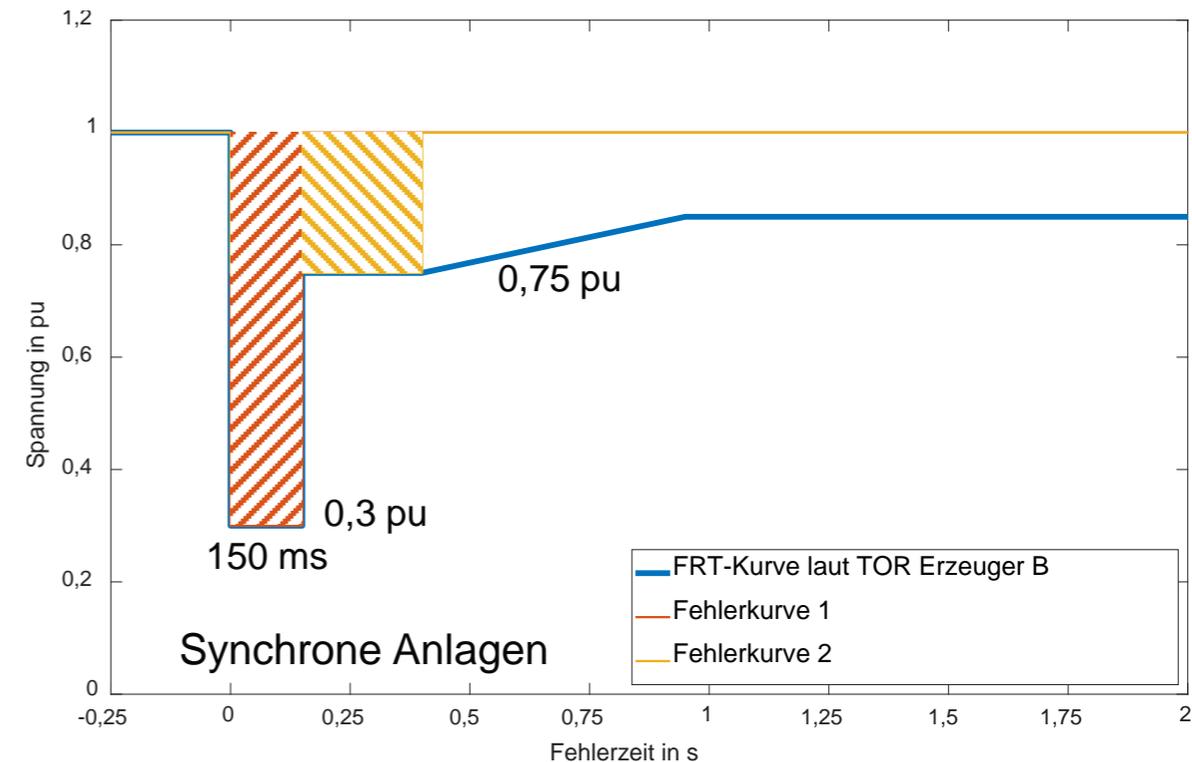
drehzahlvariable Anlagen

Anforderung	Test	Simulation	Anmerkung
Limited Frequency Sensitive Mode – O	S,NS	S,NS	
Fault Ride Rthrough – Fähigkeit		S,NS	
Dynamische Blindstromstützung		NS	
Wiederkehr der Wirkleistungsabgabe nach einem Fehler		S,NS	
Limited Frequency Sensitive Mode – U	S,NS	S,NS	
Frequency Sensitive Mode	S,NS	S,NS	Optional
Regelung zur Frequenzwiederherstellung	S,NS		Optional
Synthetische Schwungmasse		NS	Optional
Regelung der Dämpfung von Leistungspendelungen		NS	
Blindleistungskapazität	S,NS	S,NS	
Test Spannungsregelmodus	NS		
Test Blindleistungsregelmodus	NS		
Test Leistungsfaktorregelung	NS		
Regelbarkeit und Regelbereich der Wirkleistungsabgabe	NS		
Schwarzstartfähigkeit	S		Optional
Inselbetrieb		S,NS	Optional
Nachweis Neusynchronisationszeit	S		
Regelung der Dämpfung von Leistungspendelungen		S	

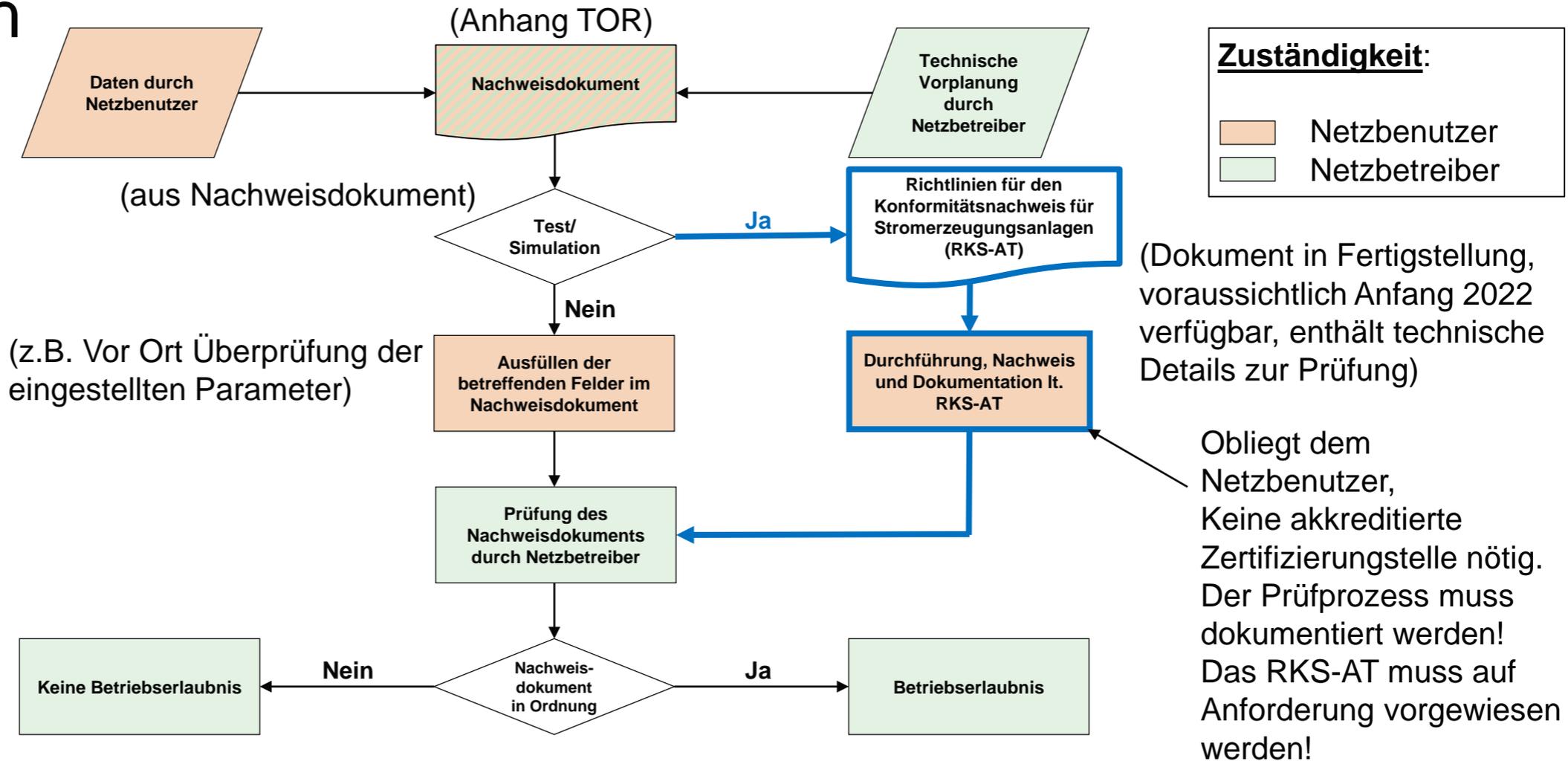


Fault Ride Through-Fähigkeit (FRT-Fähigkeit)

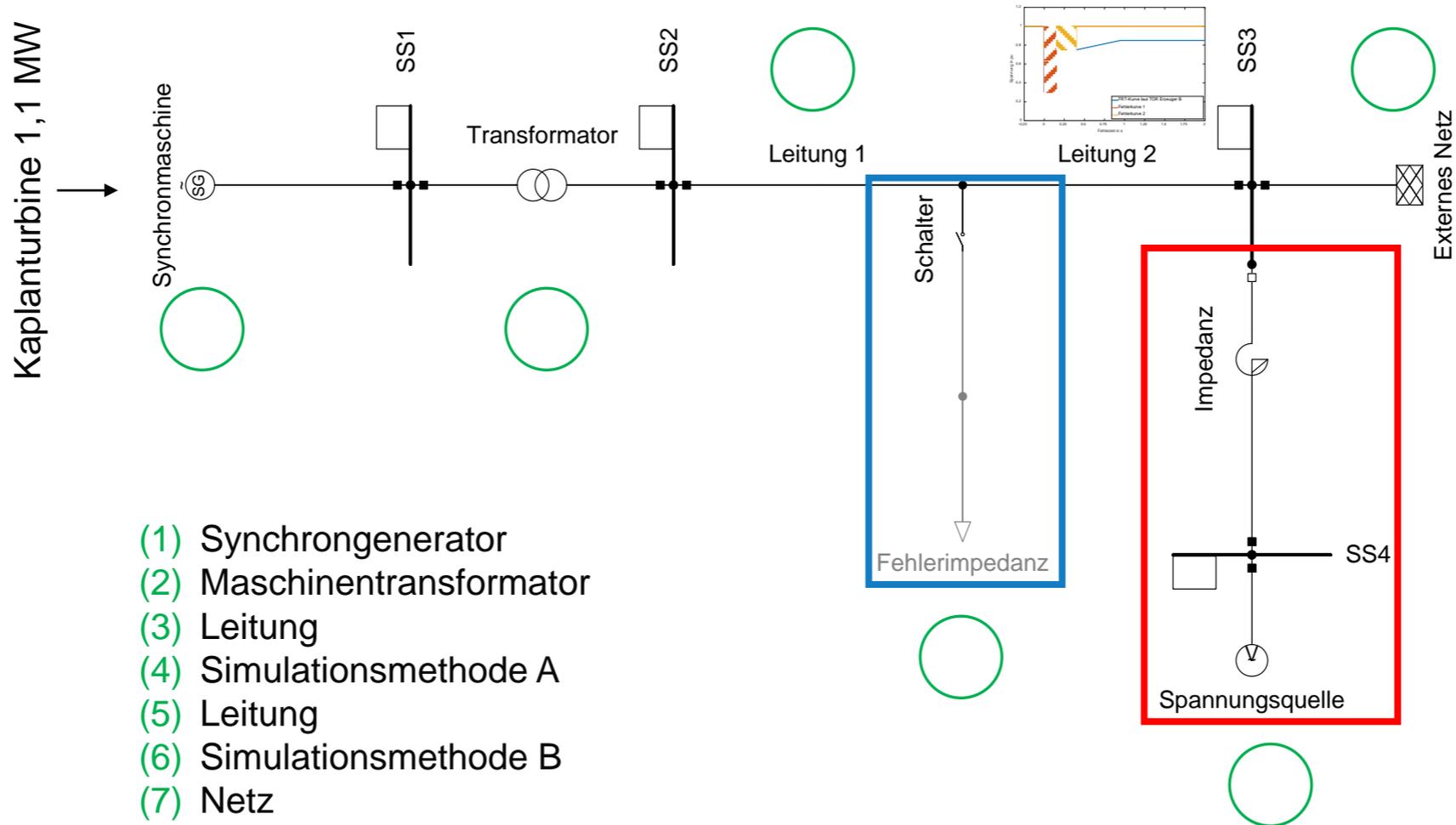
- Durchfahren von Netzstörungen ohne Stabilitätsverlust
- Bereich oberhalb der FRT-Kurve gefordert → kein Trennen vom Netz
- Stabiler Betrieb während des Fehlers notwendig, relevanter Parameter: Schwungmasse
- Unterschiedliche Kurven für synchrone und nichtsynchrone Stromerzeugungsanlagen



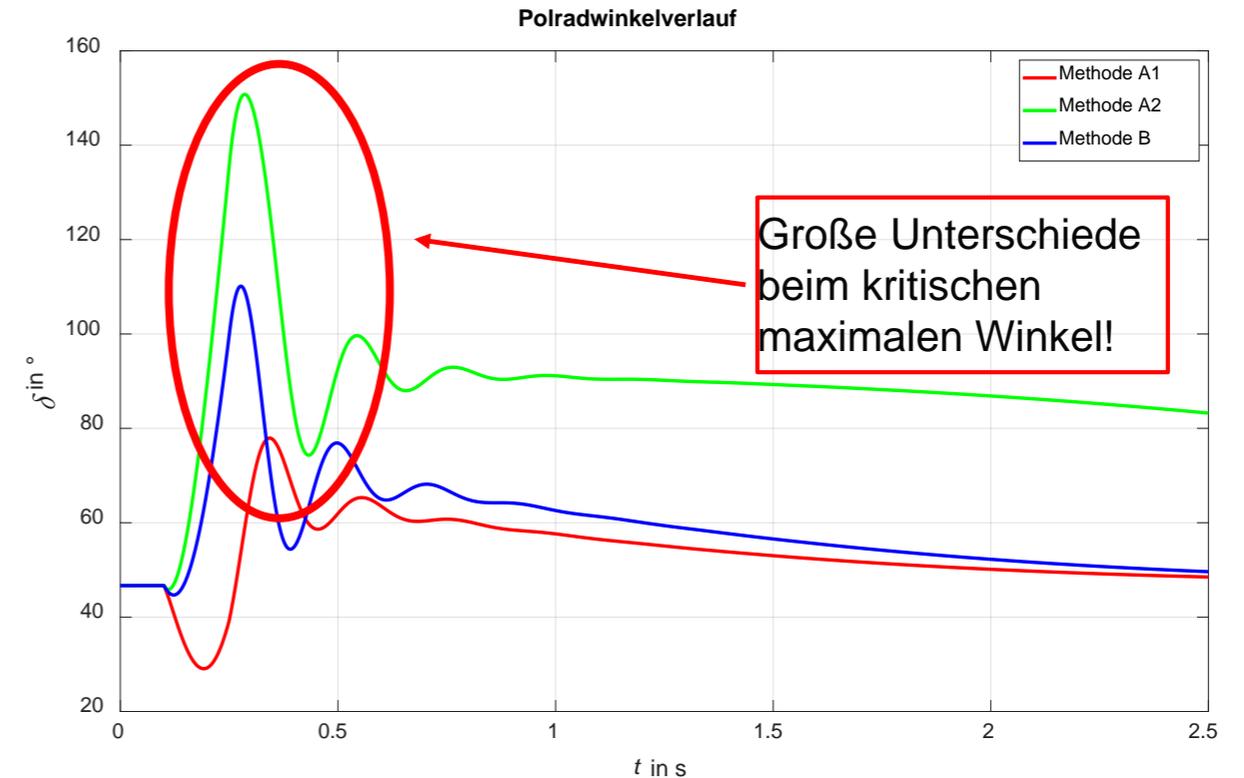
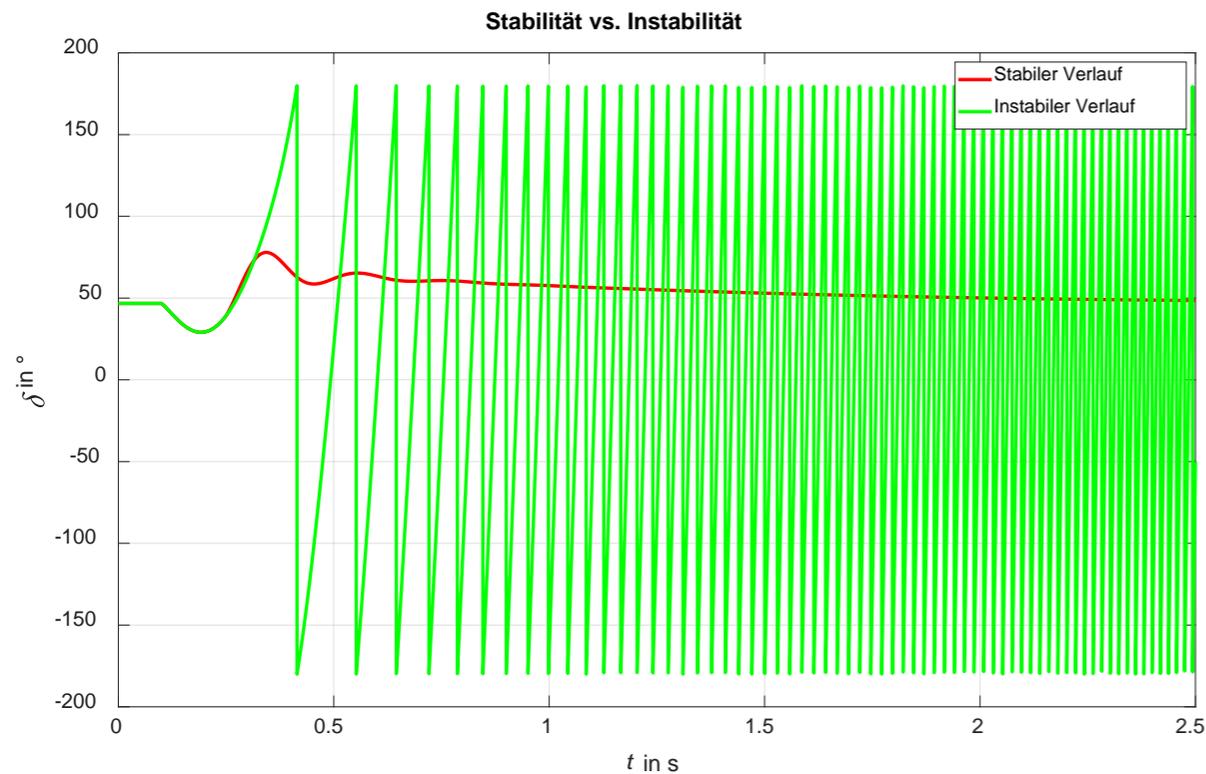
Zukünftiger Ablauf Konformitätsnachweis laut TOR in Österreich



Untersuchung der FRT-Fähigkeit eines Hydrogenerators aufgrund der TOR-Richtlinien



Unterschiede zwischen Methode A und Methode B



Polradwinkel = Maß für Stabilität, $> 180^{\circ}$: Maschine „schlupft“ und wird vom Netz getrennt

Zusammenfassung

- Große Veränderung in der Erzeugungsstruktur und im Netz
- Pumpspeicher tragen zur flexiblen Netzführung bei
- Projekte mit drehzahlvariablen Anlagen sind stark im Kommen
- Konformitätsnachweis der Netzanschlussbedingungen von Erzeugungsanlagen ist verpflichtend
- Detailliertes Regelwerk zur Konformitätsüberprüfung tritt 2022 in Kraft



ELEKTRISCHE ANLAGEN & NETZE TU GRAZ

