WISSEN
TECHNIK
LEIDENSCHAFT

Technische Aspekte zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit

„Dimensionen der Strom-Versorgungssicherheit“

ELEKTRISCHE
ANLAGEN & NETZE
TU GRAZ

Stromausfall ist nicht gleich Stromausfall

Ausdehnung

- Lokal, einige wenige Kunden betroffen
- Regional, einige Tausend Kunden betroffen
- Europaweit, einige Millionen Kunden betroffen

Betroffenes Netz

- Verteilnetz: Niederspannung, Mittelspannung
  - „Holzmasten“
- Übertragungsnetz: Hochspannung
  - „Stahlmasten“

Ursachen

- Wetter, Umwelteinflüsse
  - Gewitter, Sturm, Schnee, Waldbrand, ...
- Komponentenversagen
  - Alterung, Beschädigung, ...
- Menschliches Versagen
  - Fehlschaltung, ...

Wiederversorgung

- Teilnetz „einfach wieder Einschalten“
  - eventuell Reparaturen notwendig
- kompletter Netzwiederaufbau nach Blackout
  - schwarzstartfähige Kraftwerke, Wiederversorgungskonzepte

Versorgungsausfall im Verteilnetz

- Ursache: Kurzschluss, bewirkt automatische Schalthandlung (Schutzauslösung)
  - Blitzschlag
  - Baumfall
  - Baggerarbeiten
  - ...
- Sehr selten: Ausfall des Übertragungsnetzes als Ursache
- Üblicherweise lokale Auswirkung, begrenzte Anzahl betroffener Kunden
- im Allgemeinen unabhängig von Erzeugungs- und Lastsituation
- Kein Stabilitätsproblem im Sinne der Netzstabilität

Quelle: orf

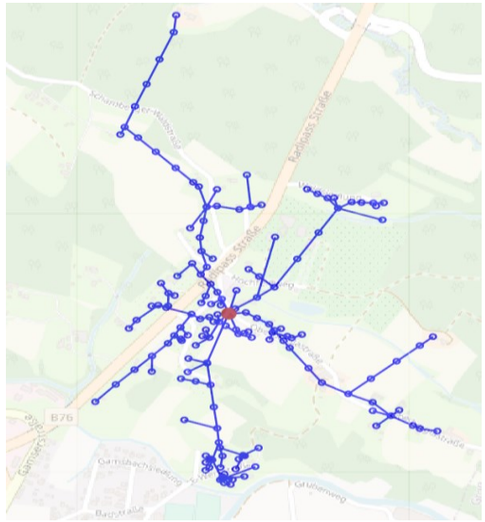
Im Normalfall Einzelereignisse, im Extremfall können es viele „Einzelereignisse“ sein!

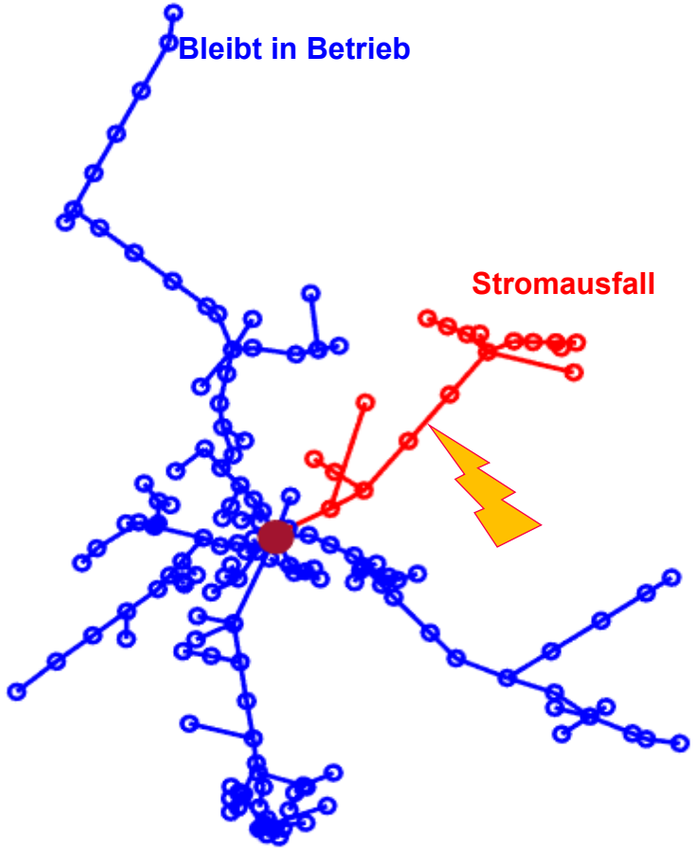
Durchschnittliche jährliche Nichtverfügbarkeit in Österreich zwischen 20 und 30 min,

Details in der Ausfall- und Störungsstatistik der E-CONTROL Unsere Energie gehört der Zukunft.

Technische Faktoren zur Vermeidung von Versorgungsausfällen im Verteilernetz

Verteilnetz:
Nieder- und Mittelspannung („Holzmast“)
strukturell Strahlennetz





Quelle: gailtal-journal

Leitungstechnologie im Verteilnetz

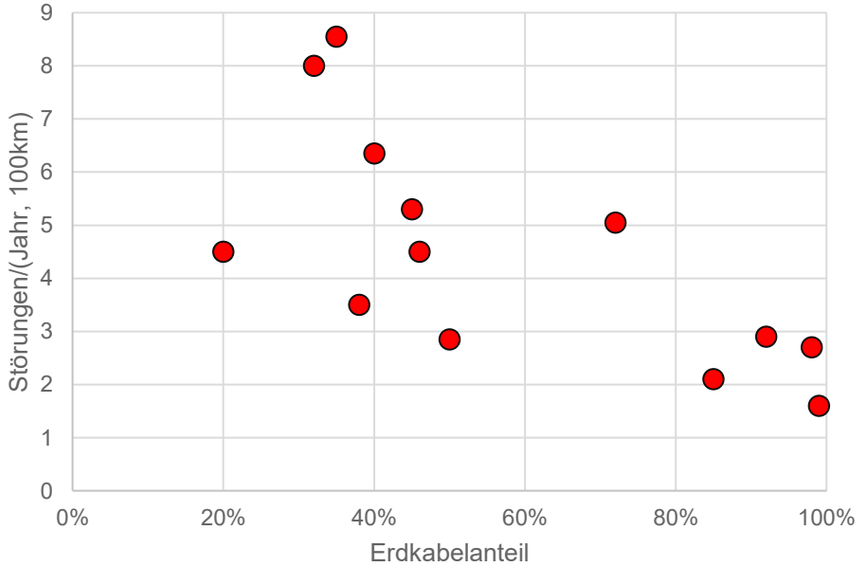
Quelle: gailtal-journal

Quelle: orf

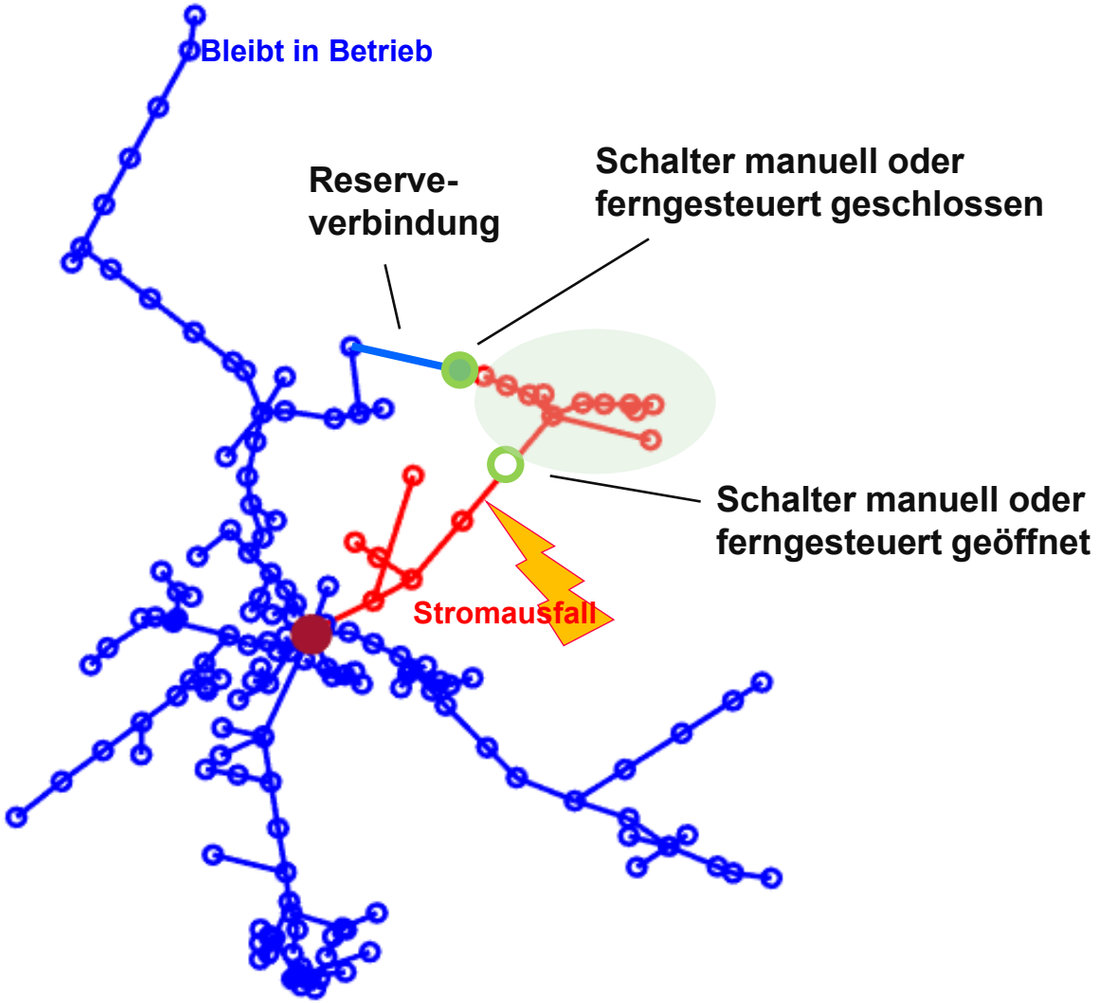
Kabel statt Freileitung hat signifikanten Einfluss auf Fehlergeschehen

Netzplanung Kabel/Freileitung: Reduktion der Fehleranzahl

Zusammenhang für jährliche Störungen und Erdkabelanteil für 13 Verteilnetzbetreiber



Netzstruktur, Netztopologie



Teilweise vermaschtes Netz,
im Normalfall als Strahlennetz betrieben,

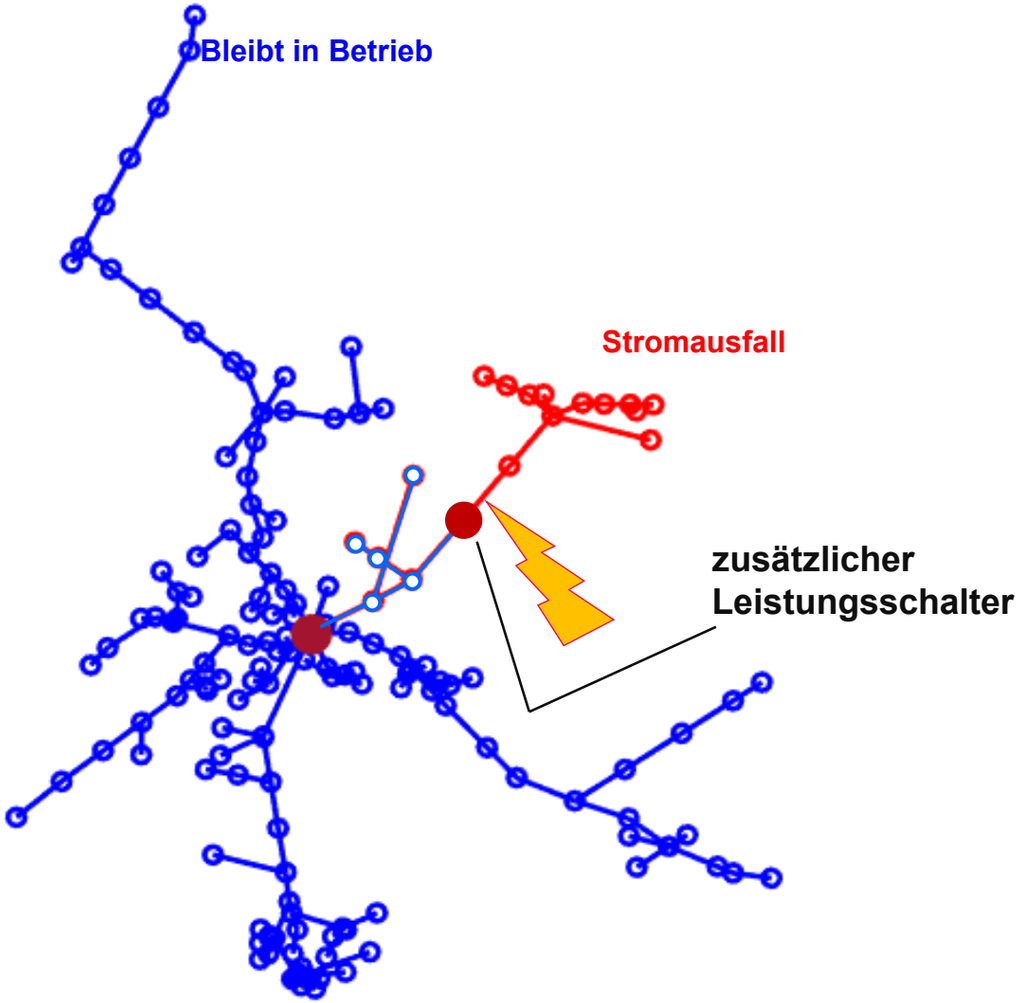
Umschaltmöglichkeit im Fehlerfall
manuell oder ferngesteuert

Ausbau der Netzleittechnik im Verteilnetz!

Reduktion der Fehlerdauer
(kurze statt lange Unterbrechung)

Netzplanung/Netzbetrieb:
Reduktion der Fehlerdauer
(kurze statt lange Unterbrechung)

Netzsegmentierung



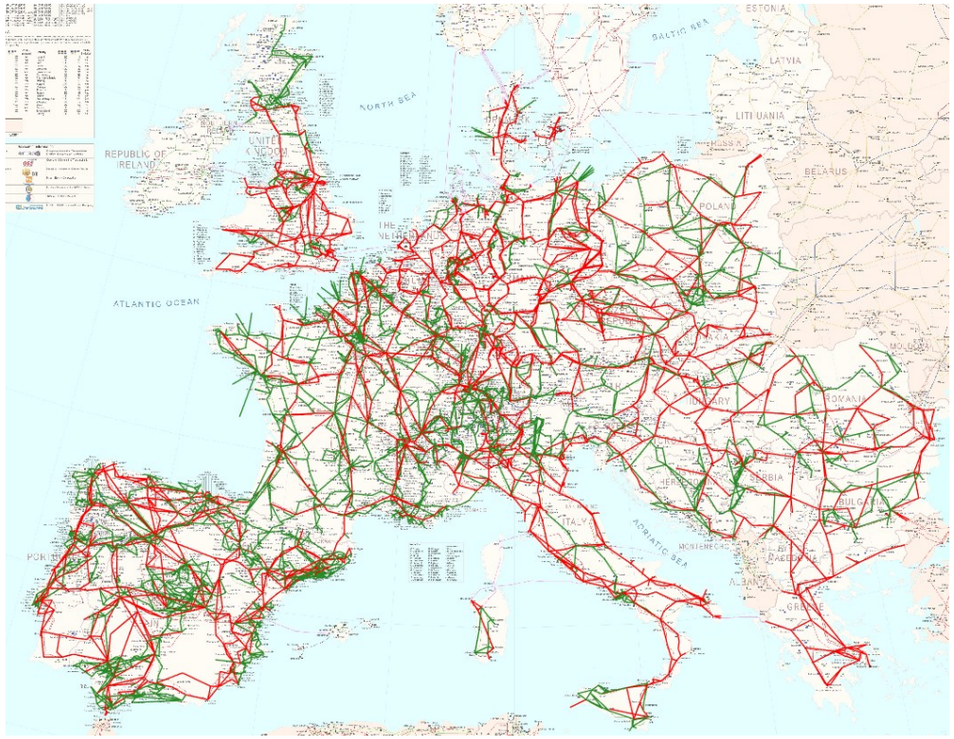
Segmentierung des Netzes durch zusätzliche Leistungsschalter

➡ **Netzplanung, Netzbetrieb: Reduktion der Anzahl der betroffenen Kunden**

Aufgabe von Leistungsschaltern (engl. „circuit breaker“):
- *Abschaltung von Kurzschlussströmen*
- *Personenschutz*
- *Anlagenschutz*
- *Fehlereingrenzung*

Ausfall im Übertragungsnetz

Übertragungsnetz:
Hochspannung („Stahlgittermast“),
eng vermascht, zumindest (n-1)-sicher



*(n-1)-Sicherheit: der Ausfall **eines (1)** Betriebsmittels führt zu keinen Folge-ausfällen oder Versorgungsunterbrechungen*

Blackout: Plötzlicher großflächiger und überregionaler Ausfall des Übertragungsnetzes

Davon zu unterscheiden: frequenzabhängige Abschaltungen von Verbrauchern als Maßnahme **gegen** ein Blackout (z.B. Nov. 2006, Jänner 2021)

Ursachen:
- Fehler im Netz
- Ausfall von Kraftwerken
- Ausfall von Leitungen (➔ System-Split)

führt zu Problemen bei:
- Frequenzstabilität
- Spannungsstabilität

Entscheidend ist vor allem das Verhalten der Kraftwerke **(inkl. PV und Wind!)**

Ausfall im Übertragungsnetz

Für einen großflächigen Ausfall im Hochspannungsnetz reicht im Allgemeinen nicht **ein** Ereignis (**n-1-sicheres Netz**), ...

... aber wenn mehrere Faktoren zusammenkommen

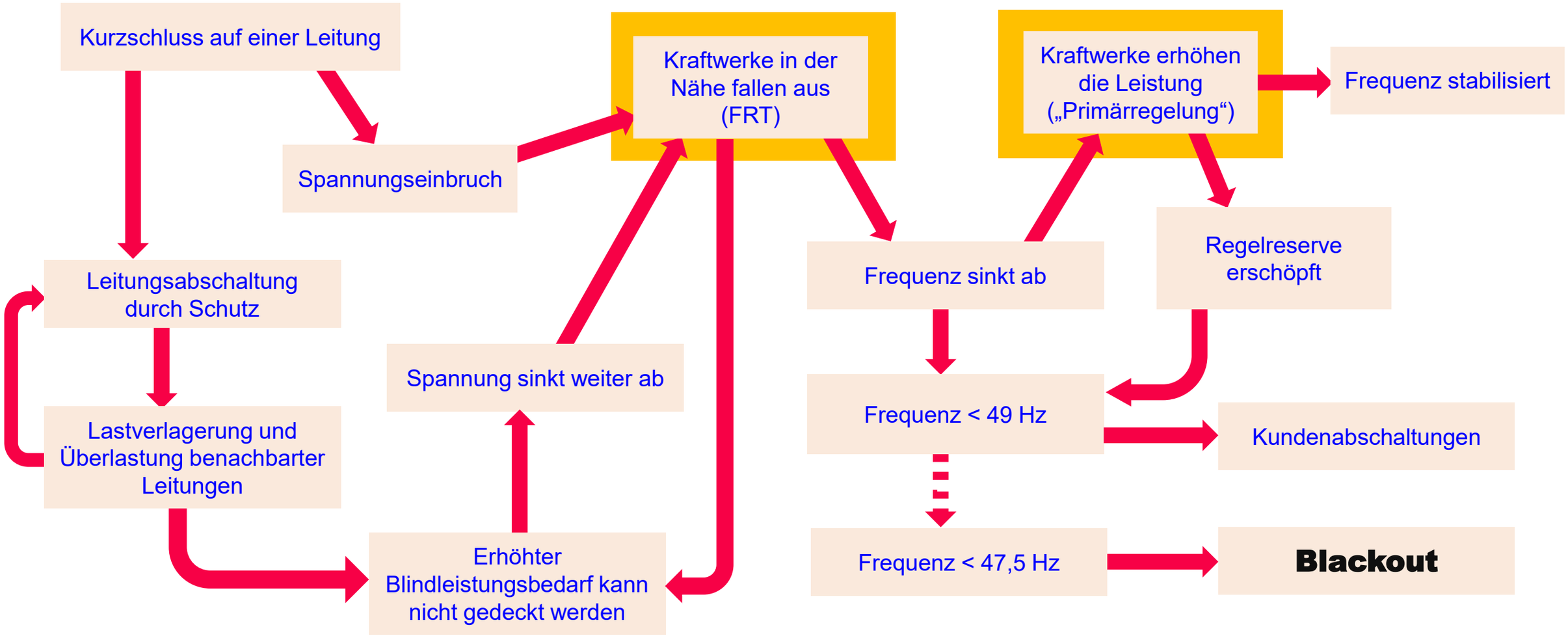
- starke Netzbelastung durch hohen Stromtransport,
- wichtige Leitungen nicht verfügbar wegen Revision,
- wichtige Kraftwerke nicht verfügbar wegen Revision, ...

Hier hilft nur ein adequater Netzausbau!

dann kann ein Ereignis der Tropfen sein, der das Fass zum Überlaufen bringt.

Möglicher Ablauf für Blackout

Ausgangslage: starke Netzbelastung durch hohen Stromtransport, evt. nicht (n-1)-sicher



Fault Ride Through Capability

Forderung: Kraftwerke müssen so lange wie möglich einspeisen!

- „**Fault Ride Through Capability (FRT)**“, beschreibt die Eigenschaft von Kraftwerken, bei Netzfehlern aktiv im Netz zu bleiben.

- Klassische Erzeugungsanlagen mit Synchronmaschinen erfüllen diese Eigenschaften aufgrund der physikalischen (elektromechanischen) Eigenschaften sehr gut.

- Umrichterbasierte Erzeugungsanlagen (Photovoltaik, Windkraft) früherer Generationen haben sich aus Sicherheitsgründen bei Netzkurzschlüssen abgeschaltet. Dies war kein Problem, aber mit steigender Durchdringung dieser Anlagen wird eine Abschaltung in größerem Ausmaß kritisch. (hat man unter anderem bei der Störung im November 2006 beobachtet)

- Während des Fehlers sollten sich umrichterbasierte Erzeugungsanlagen „ähnlich“ wie klassische Synchronmaschinen verhalten und **spannungsstützend** und **frequenzstützend** wirken

- Basisanforderungen sind durch ENTSO-E im Code „Requirement for Generation“ festgelegt

Umrichter-Regel-Strategie

- Bisher: **„Grid Following“**, die Anlage versucht, unabhängig von der aktuellen Spannung und Frequenz den vorgegebenen Arbeitspunkt (Wirkleistung, Blindleistung) konstant zu halten.

- Neue Strategie: **„Grid Forming“**, die Anlage reagiert auf die aktuelle Spannung und Frequenz unterstützend.

Forschungsschwerpunkt am Institut für Elektrische Anlagen und Netze der TU Graz

- Im Prinzip kann die Charakteristik „nahezu beliebig“ implementiert werden, angestrebt wird ein ähnliches Verhalten wie die klassische Synchronmaschine. Dazu gehören vor allem
  - Spannungsstützung durch Blindstromeinspeisung
    - Problem: Strombegrenzung des Umrichters, keine Überlastfähigkeit, auch nicht kurzfristig
  - Frequenzstützung durch virtuelle Schwungmasse
    - Problem: In einer realen Synchronmaschine ist Energie in Form von rotierenden Massen vorhanden, im Umrichter aber nicht!

- Es lassen sich auch vorteilhafte Eigenschaften, die in der Synchronmaschine nicht vorhanden sind, implementieren

- **Vorbereitung auf den Fall, dass umrichter-basierte Erzeugung (Wind, PV) im Netz dominiert**!

Regelreserve

- **Primärregelung:** Verteilte Regelreserve im Netz zur Stabilisierung von Frequenzänderungen
- Die Primärregelung („Frequency Containment Reserve“) ist aktuell auf ein maximales Ungleichgewicht von 3000 MW ausgelegt. Bei System-Splits können deutlich größere Abweichungen auftreten.
- Regelkraftwerke müssen in der Lage sein, die Leistung nach **oben** und **unten** ändern zu können. Ist das bei PV und Wind normalerweise gegeben? **Nein**
- Primärregelung sollte auch in Zukunft verteilt aufgebracht werden, eine reine marktwirtschaftliche Aufbringung könnte im schlimmsten Fall dazu führen, dass ein Teilnetz nach einem System-Split nicht ausreichend Regelreserve hat.
- Österreich ist mit Speicherkraftwerken hinsichtlich Regelreserve prinzipiell sehr gut aufgestellt.

Aktuelles technisches Bedrohungsszenario:

„System split“, (Netztrennung)

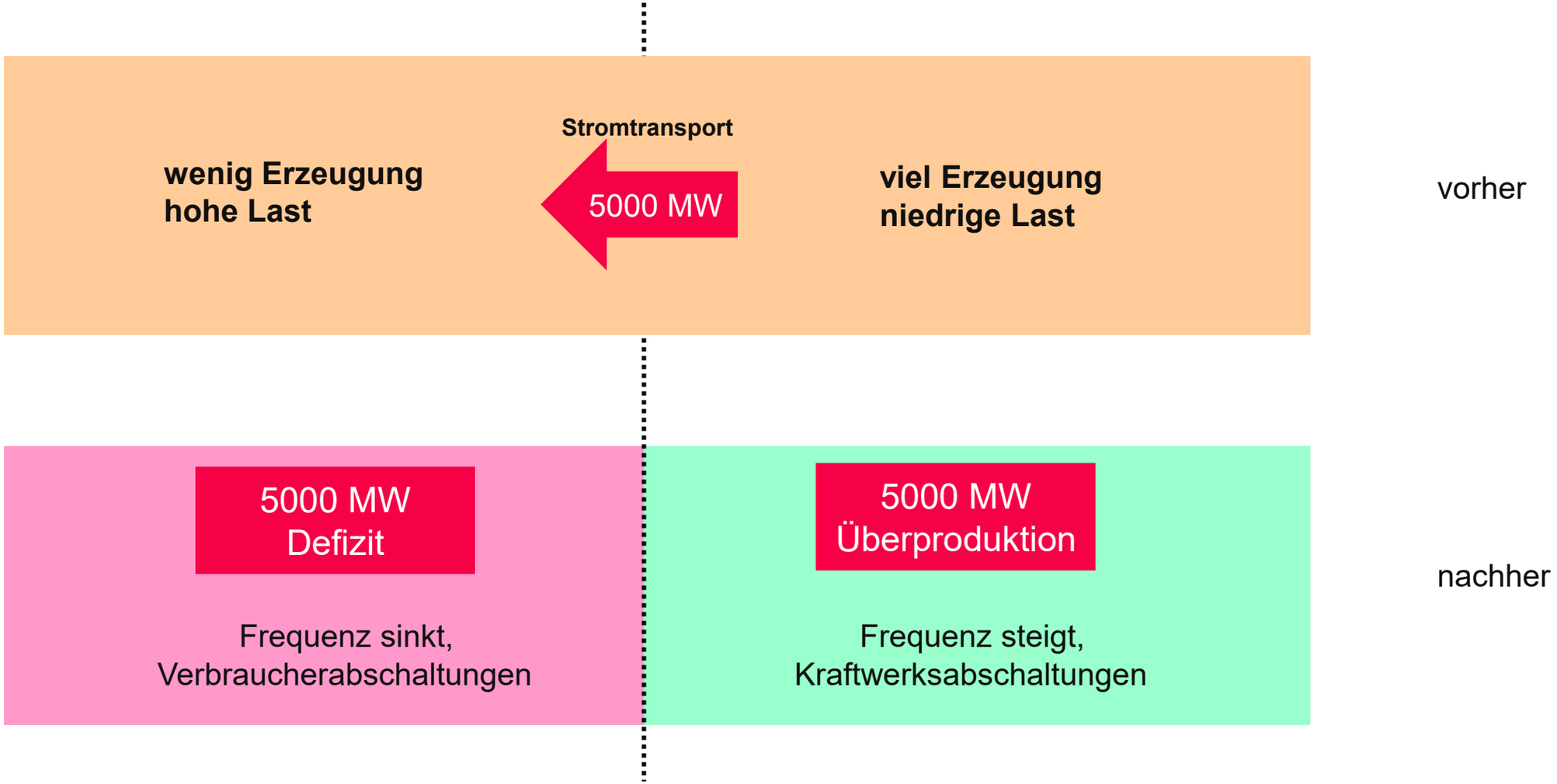
Eine Netztrennung ist immer dann ein Problem, wenn Erzeugung und Verbrauch in einer Region **nicht ausgeglichen** sind.

Das kann unterschiedliche Gründe haben:

- Erzeugungsschwerpunkte liegen nicht verbrauchernah
  - z.B. Speicherkraftwerke in den Alpen, Offshore-Windparks

- Marktwirtschaftliche Gründe führen zu hohen Stromtransporten
  - regional niedrige Strompreise aufgrund von starker Windeinspeisung, guter Wasserführung, ...

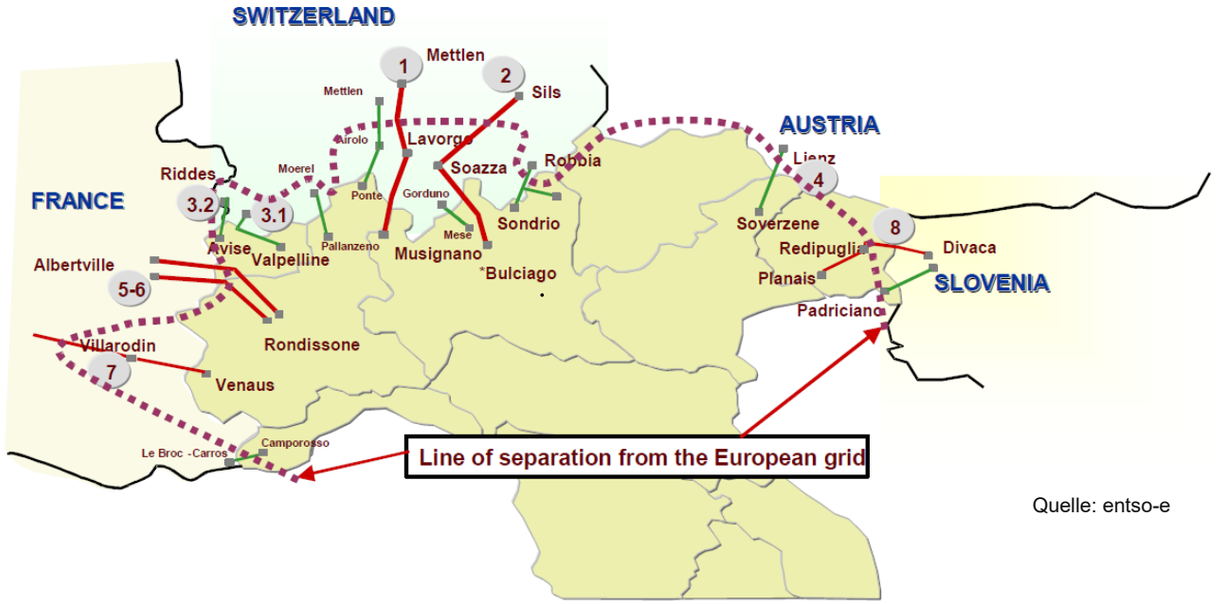
Übertragungsnetz, System Split



Beispiel Italien, September 2003

- Italien importiert 7000 MW (zum Vergleich: Höchstlast in AT ca 10000 MW)
- Grenzleitungen sind stark ausgelastet
- Eine Leitung wird wegen eines Kurzschlusses abgeschaltet
- Parallele Leitungen werden überlastet und nach einiger Zeit abgeschaltet
- Die Grenze Italien-EU öffnet sich wie ein „Reißverschluss“ ➡ **System-Split**

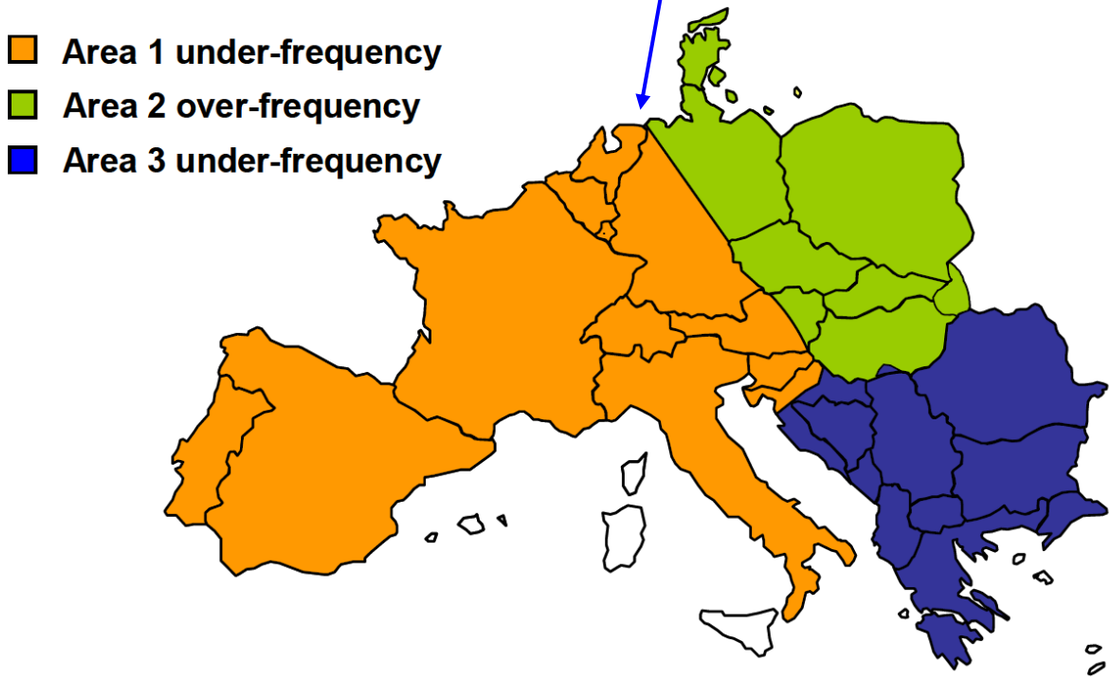
- **Leistungsdefizit in Italien : 7000 MW**
- **Kraftwerksausfälle in Norditalien, Regelreserve reicht nicht aus**
- **Frequenz sinkt unter 47,5 Hz**
- **Blackout**



Quelle: entso-e

Beispiel Europa, November 2006

- Sehr starke Transporte von Osteuropa nach Westeuropa (10000 MW)
- Leitungen sind stark ausgelastet
- Die geplante Abschaltung einer Leitung („Kreuzfahrtschiff“) führt zu einer Kettenreaktion
- Trennung von Ost- und Westeuropa , wie wie ein „Reißverschluss“ von Norden nach Süden
  ➡ **System-Split**



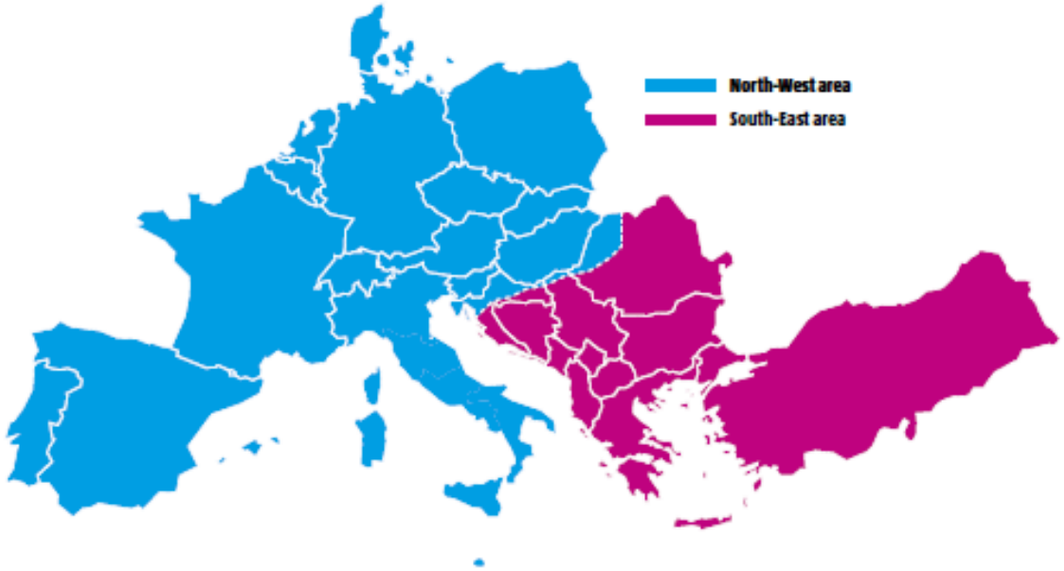
Quelle: entso-e

- **Leistungsdefizit in Westeuropa : 10000 MW**
- **Kraftwerksausfälle, insbesondere Windkraftanlag**
- **Frequenz sinkt unter 49,0 Hz**
- **Verbraucherabschaltungen**
- **Blackout vermieden**
  (aber viele Kunden im Rahmen der frequenzabhängigen Notmaßnahme abgeschaltet)

Beispiel Europa, Jänner 2021

- Sehr starke Transporte von Süd-Osteuropa nach Nord-Westeuropa (6000 MW)
- Leitungen sind stark ausgelastet
- Öffnen eines Schalters in einem Umspannwerk führt zu „Reißverschluss“
  ➡ **System-Split**

- **Leistungsdefizit in Nord-Westeuropa : 6000 MW**
- **Primärregelung (mit Beteiligung von Groß-verbrauchern) funktioniert**
- **Frequenz sinkt auf 49,8 Hz**
- **Blackout vermieden**



Quelle: entso-e

Privates Notstromnetz (Inselnetz) als Notmaßnahme

Ist im Ernstfall der Betrieb eines kleinen, privaten Inselnetzes sinnvoll?

Folgende Punkte müssen dazu geklärt werden:

Ist die Energiequelle regelbar?	Dieselgenerator:	**ja**,
	Batterie:	**ja, aber Speicherkapazität begrenzt**
	PV-Anlage:	**nein**
Welche Leistung steht zur Verfügung?	**Hängt von Generator oder Umrichter ab** Haushaltsgeräte erreichen Leistungen bis 3 kW (Geschirrspüler, Waschmaschine, Wasserkocher, ...)	
Ist die Sicherheit gewährleistet?	**Eigene Sicherheit** (Ansprechverhalten von Sicherungen, FI-Schutz, Erdung,...) **Sicherheit der Mitarbeiter des Netzbetreibers** (Spannungsfreiheit)	

Im Allgemeinen eher nein!

ELEKTRISCHE
ANLAGEN & NETZE
TU GRAZ