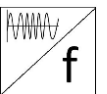




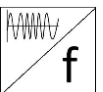
# Netzfrequenz als Indikator für die Stabilität des Verbundnetzes

VORTRAG AUF DER IEWT IN WIEN AM 17.02.2017  
VON DR.-ING. THOMAS GOBMAIER



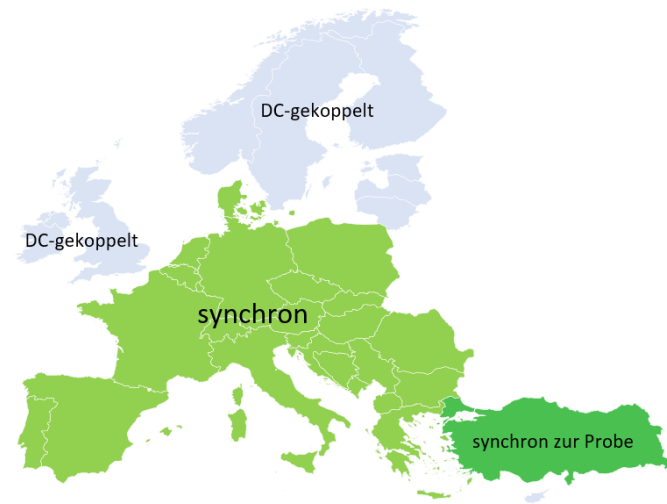
# Gliederung

- Motivation
- Datengrundlage
- Einführung Netzfrequenz
- Auswertungen der Netzfrequenz
  - Extremwerte
  - Systematische Abweichungen
  - Dauer der Frequenzabweichungen
  - Kurzfristige Frequenzeinbrüche
- Zusammenfassung und Fazit



# 3

## Motivation



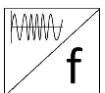
### Europäisches Verbundnetz

- Versorgung von über 500 Millionen Menschen
- Verschiedenste Arten von Kraftwerken, unterschiedliche Anschlussbestimmungen und Märkte für Strombeschaffung, dennoch seit Jahrzehnten sehr geringe Ausfallquote.

### Herausforderung

- Verdrängung konventioneller Kraftwerke durch Regenerative Erzeuger, steigende Anzahl an Frequenzumrichtern, grenzüberschreitender Stromhandel, Vergrößerung des Versorgungsgebiets.
- Ist die Zuverlässigkeit des Netzbetriebs gesunken ?

Unterstützt von Bing  
© DSAT for MSFT, GeoNames, Microsoft



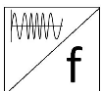
## 4

# Datengrundlage – Messgeräte

- Messgeräten wurden für wissenschaftliche Auswertungen des Frequenzverlaufs entwickelt.
- Messgenauigkeit von +/- 1 mHz (Sekundenwerte), und +/- 5 mHz bei 150 ms Messungen.
- Lückenlose Erfassung der Netzfrequenz seit Juli 2011 mit mehreren baugleichen Messgeräten an zwei Orten in Süddeutschland.
- Online-Darstellung der Netzfrequenz mit aktuellen Auswertungen <sup>1)</sup>
- Vertrieb <sup>2)</sup> der Messgeräte für Batteriespeicher oder Biogasanlagen (Primärregelleistung), sowie für Pilotprojekte zur automatischen Frequenzentlastung (AFE bzw. fast frequency response FFR).

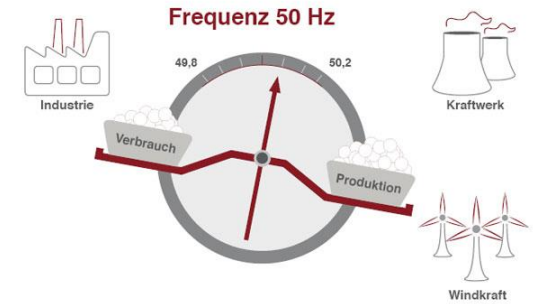


1) [www.netzfrequenzmessung.de](http://www.netzfrequenzmessung.de)  
2) [www.gobmaier.de](http://www.gobmaier.de)



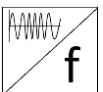
## 5

# Einführung Netzfrequenz



Quelle: <http://www.hybridfabrik.net/regelenergie.htm>

- Die Netzfrequenz ist im gesamten Verbundnetz gleich (Netzpendelungen oszillieren um die Frequenz).
- Als gemeinsame Größe ist sie für Analysen zur Stabilität geeignet.
- Bei Leistungsgleichgewicht zwischen Erzeugung und Einspeisung bleibt die Frequenz stabil. Je stärker eine Abweichung ist, desto schneller ist die Frequenzänderung.
- Primärregelleistung begrenzt den Frequenzabfall, Sekundärregelleistung führt die Frequenz auf den Sollwert zurück.
- Durch die ausgleichende Wirkung der Regelleistung zeigt die Netzfrequenz nur kurzfristige Bilanzfehler !



## 6

# Extremwerte der Netzfrequenz

Beobachtungszeitraum Juli 2011 bis Dezember 2016

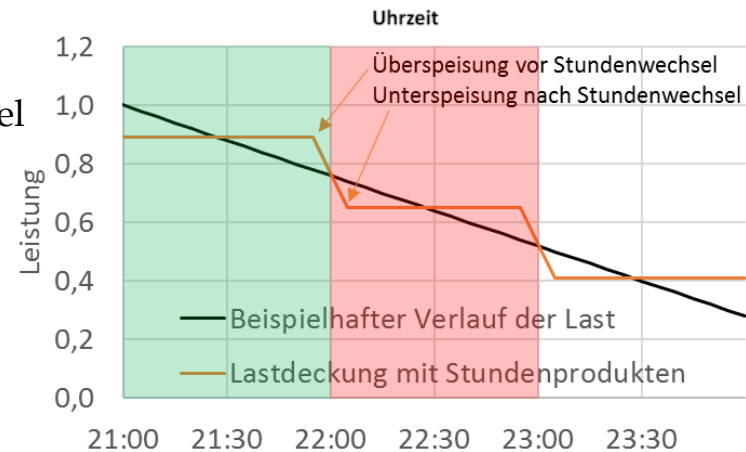
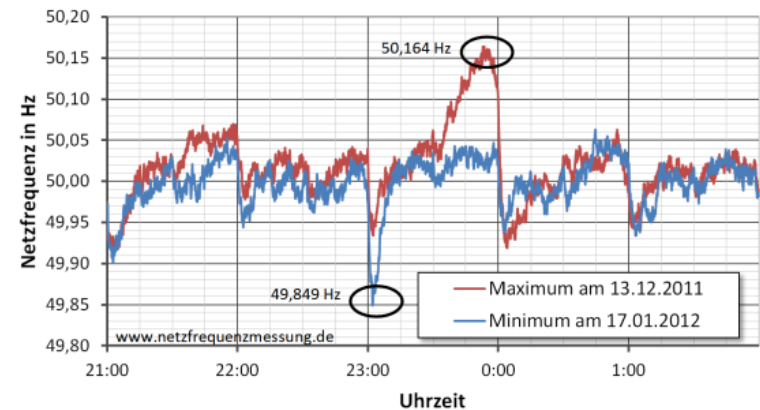
- Der normalen Netzbetrieb bewegt sich im Bereich von 49,8 Hz bis 50,2 Hz (+/- 200 mHz Abweichung zu 50,0 Hz, erst bei unter 49 Hz Abwurf von Verbrauchern).

- Maximale Netzfrequenz: 50,164 Hz am Dienstag den 13.12.2011 um 23:52:54 Uhr
- Minimale Netzfrequenz: 49,849 Hz am Dienstag den 17.01.2012 um 23:02:08 Uhr

- Extremwerte wahrscheinlich durch Stundenprodukte an der Strombörse verursacht:

- Bei sinkender Last vor dem Stundenwechsel Überfrequenz durch Überspeisung.
- Nach dem Stundenwechsel Unterfrequenz durch Unterspeisung.

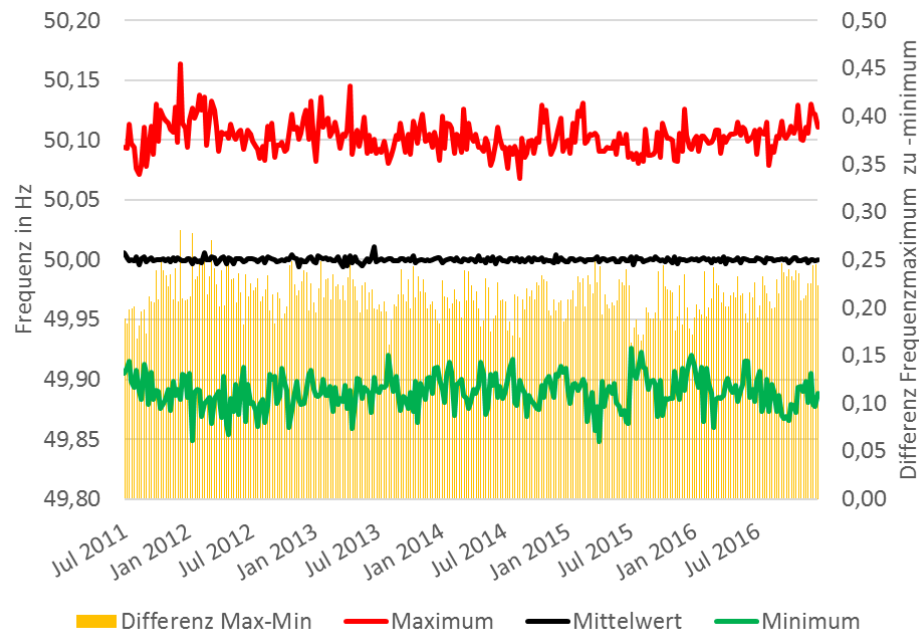
→ Extremwerte im Beobachtungszeitraum sind Resultat geplanter Ereignisse !



## 7

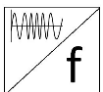
# Extremwerte im zeitlichen Verlauf

Beobachtungszeitraum Juli 2011 bis Dezember 2016



- Der Mittelwert der Netzfrequenz bleibt nahe an 50,0 Hz.
- Positive und negative Abweichungen sind ähnlich groß.

- Die Differenz zwischen maximaler und minimaler Frequenz war im Winter 2011/2012 höher als in der Folgezeit.
- Keine Veränderung der Extremwerte im Beobachtungszeitraum erkennbar.

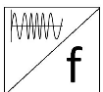
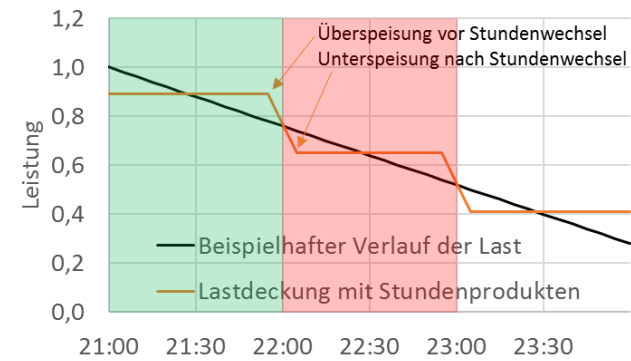
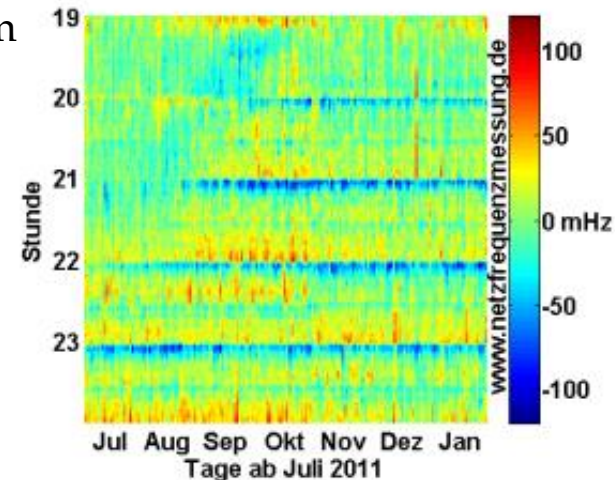


## 8

# Systematische Abweichungen

## Frequenzanalyse mittels Rasterdiagramm

- Darstellung der Frequenzabweichungen in einem Rasterdiagramm. Die Abweichungen werden als farbig kodierte Punkte zeitlich untereinander dargestellt, so dass die Tage als nebeneinander liegende senkrechte Linien zu sehen sind.
- Der Stundenhandel an der Strombörse ist dabei wieder deutlich zu sehen.
- Vor dem Stundenwechsel ergibt sich bei sinkender Last zuerst eine Überspeisung, welche zu einer Überfrequenz (rot) führt.
- Nach dem Stundenwechsel ergibt sich durch die Unterspeisung eine Unterfrequenz (blau).

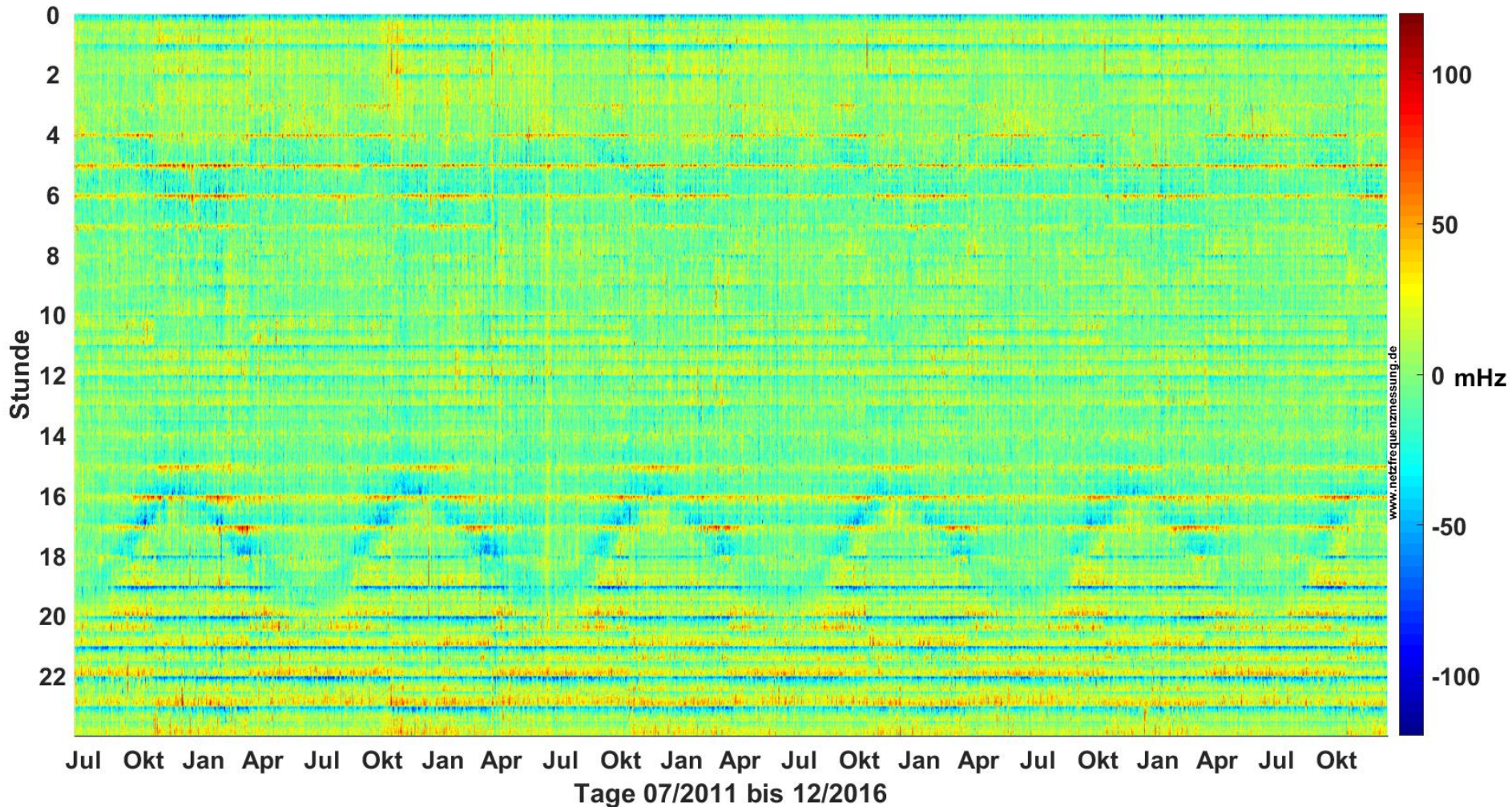




9

# Systematische Abweichungen

Rasterdiagramm vom Juli 2011 bis zum Dezember 2016

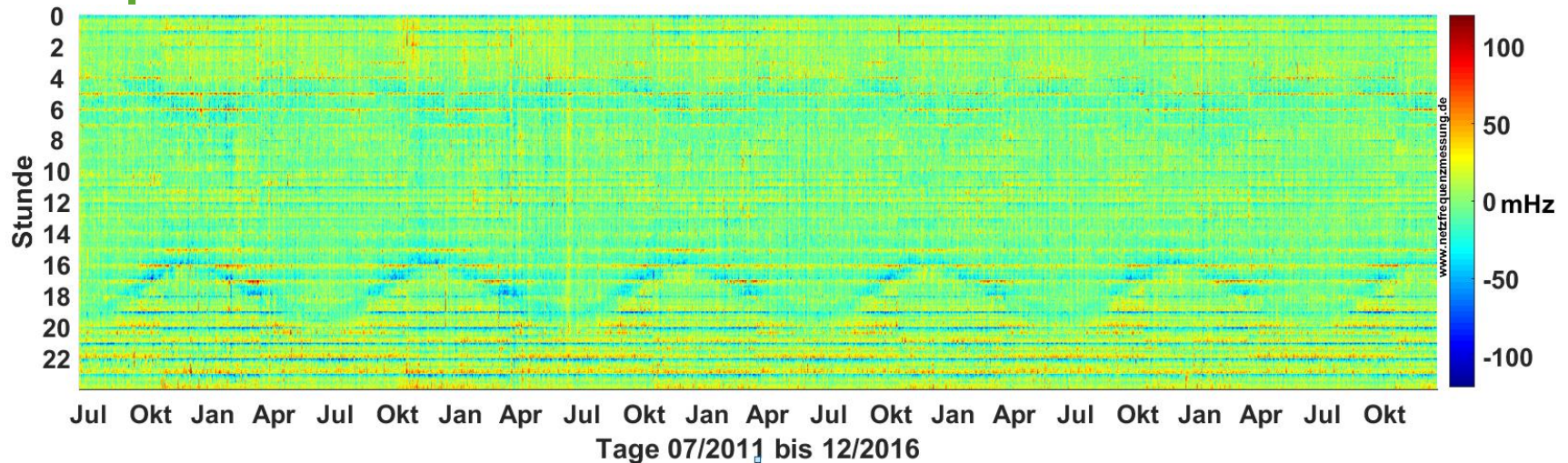




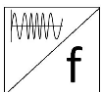
## 10

# Systematische Abweichungen

Rasterdiagramm vom Juli 2011 bis zum Dezember 2016



- Es werden regelmäßig mehr als 50 % der Primärregelleistung belegt !
  - Die waagrechten Linien zeigen die Auswirkungen des Stundenhandels .
  - Die saisonale sinusförmige Störungen entstehen durch die Dämmerung.
  - Grund sind Standardlastprofile für den Stromeinkauf, welche die Dämmerung nicht berücksichtigen.
- Der Umstieg auf dynamische Profile z.B. mittels Smart Meter wird diesen Effekt in den nächsten Jahren verringern.

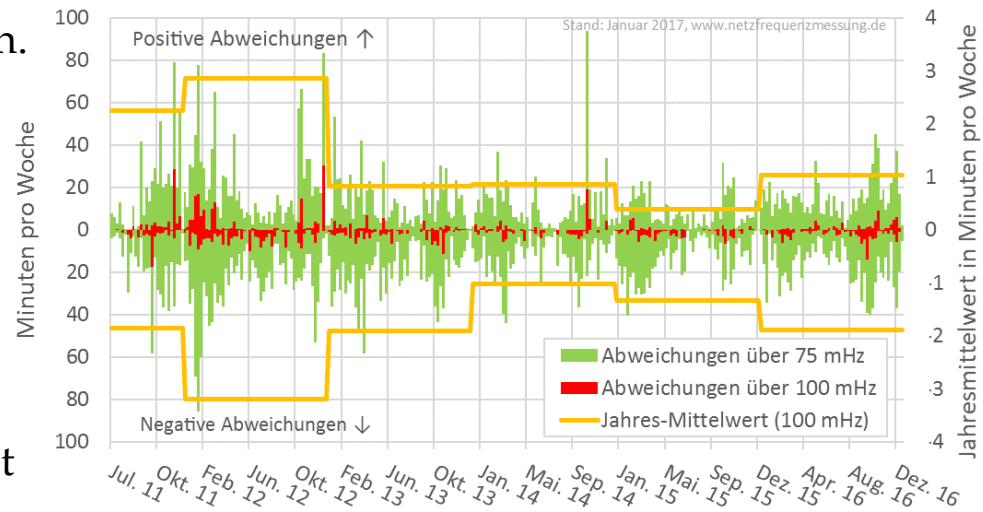


## 11

# Dauer der Frequenzabweichungen

Wie häufig bzw. wie lange ist ein Teil der Regelleistung belegt und damit nicht für weitere Netzstörungen einsetzbar ?

- Betrachtung der Minuten pro Woche, in denen die Netzfrequenz +/-75 mHz bzw. +/- 100 mHz abweicht.
  - Ab dem Jahr 2013 deutlicher Rückgang der Abweichungen.
  - Auch der Jahres-Mittelwert der Abweichungen über 100 mHz zeigt ab 2013 einen Rückgang.
- Die Abnahme der Dauer der Abweichungen pro Woche ist als eine Verbesserung der Stabilität zu werten !

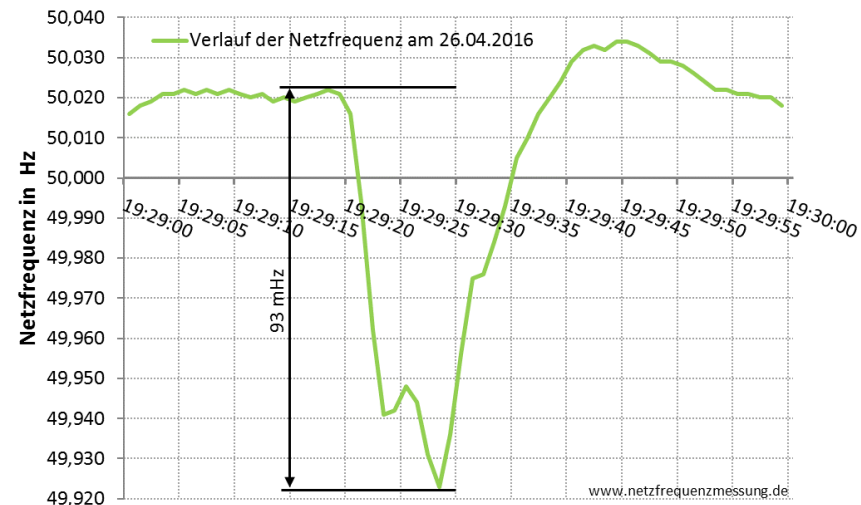
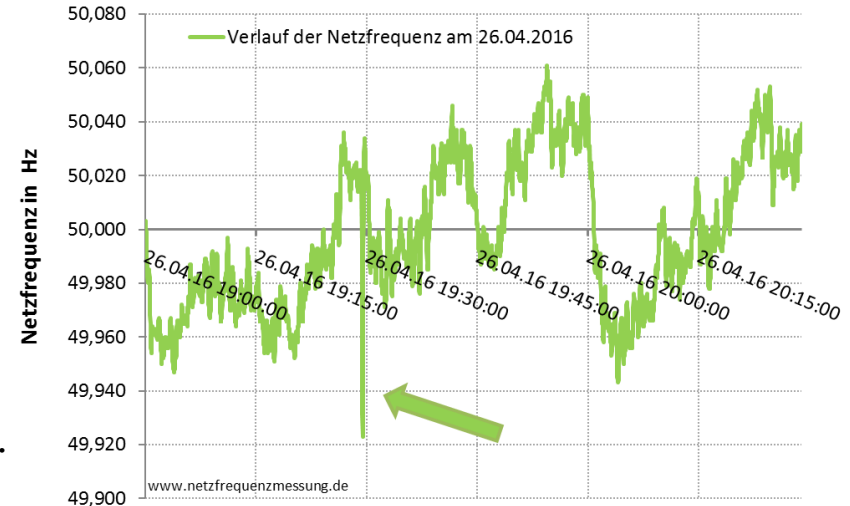


# Kurzfristige Frequenzeinbrüche

Im Beobachtungszeitraum wurden keine kritischen Frequenzeinbrüche aufgezeichnet.

Frequenzeinbruch am 26.04.2016 als Beispiel:

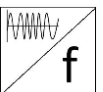
- Wegfall von über 1 GW Erzeugung.
  - Nach ca. 5 Sekunden kurzes Wiedereinschalten, dann wieder Wegfall.
- Frequenzabfall von 93 mHz in 8 Sekunden, dabei ergab sich ein maximaler Frequenzgradient 32 mHz/s.



# 13

## Zusammenfassung

- Die Betrachtung der Stabilität eines Verbundnetzes erfordert die Unterscheidung nach der Stabilität im normalen Netzbetrieb und nach einzelnen Störfällen.
- Wenn die Netzfrequenz im Bereich des Sollwertes ist, ist die gesamte Primärregelleistung verfügbar.
- Je häufiger die gesamte Primärregelleistung verfügbar ist, desto eher kann auf Störungen wie Extremwetter, Kraftwerksausfall oder den Wegfall ganzer Leitungstrassen reagiert werden.
- Die Auswertungen von Juli 2011 bis Dezember 2016 zeigen, dass es weder größere Störfälle noch deutliche Änderungen im Verlauf der Netzfrequenz gegeben hat.
- Einige Auswertungen wie z.B. die Minuten mit Frequenzabweichungen über 100 mHz zeigen, dass die Stabilität des Verbundnetzes etwas gestiegen ist.



- Die Erhaltung und Verbesserung der Stabilität ist jedoch kein Selbstregeleffekt, sondern liegt an verschiedenen von der ENTSO (Verband der Netzbetreiber) und den Übertragungsnetzbetreibern durchgeführten Maßnahmen
- Einzelne Blackouts können durch ein stabiles Netz nicht verhindert werden, wenn der Netzbetrieb auch bezahlbar bleiben soll.
- Die kontinuierliche Anpassung des Verbundnetzes an die Herausforderungen ist aber ein wichtiger Faktor, um die Stabilität des Netzbetriebs beizubehalten bzw. zu verbessern, und damit die Wahrscheinlichkeit und Größe von Blackouts zu reduzieren.

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit !

Weitere Infos unter:

→ [www.netzfrequenzmessung.de](http://www.netzfrequenzmessung.de)

→ [www.gobmaier.de](http://www.gobmaier.de)

