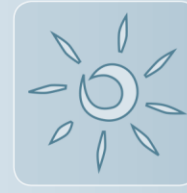


# NetzHarmonie



## NetzHarmonie: Einfluss durch Netzimpedanz

Workshop: Netzverträgliche Integration von Erzeugungsanlagen aus  
Oberschwingungssicht im Verteilnetz  
Berlin, 11.09.2018

Stephan Adloff

**ENERCON GmbH**

Borsigstr. 26, 26607 Aurich

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**STROMNETZE**

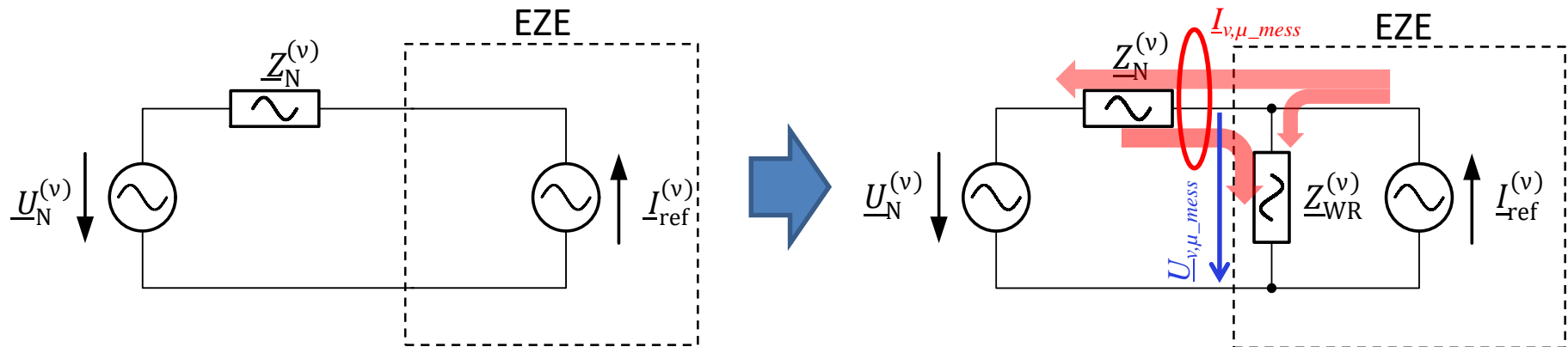
Forschungsinitiative der Bundesregierung



- Ersatzschaltbild
- Einfluss bei unverzerrter Netzspannung
- Verhalten am realen Netz
- Messungen am realen Netz
- Netzimpedanz aus Messungen
- Schlussfolgerungen

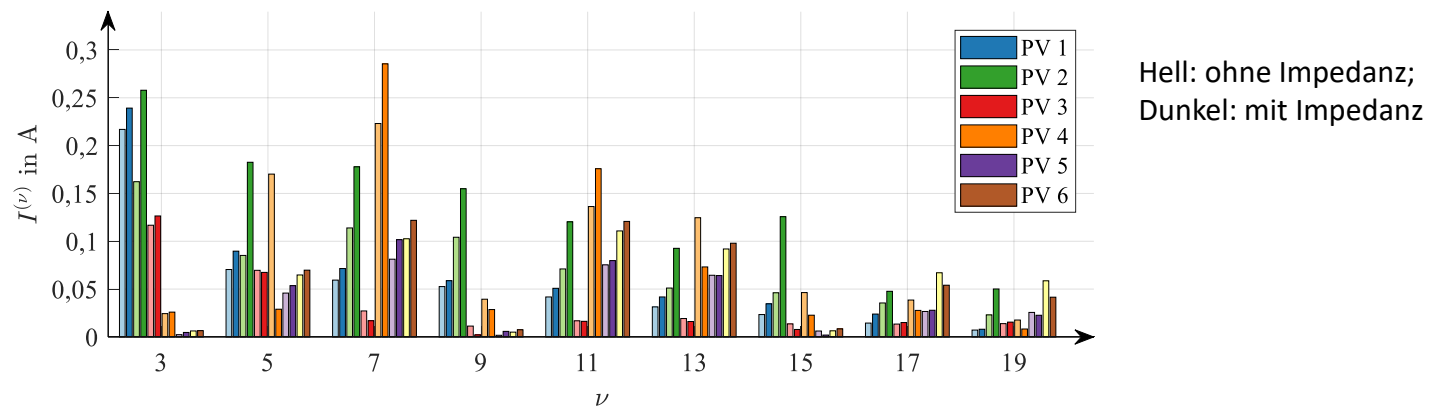


EZE verhalten sich bezüglich Oberschwingungen nicht wie eine ideale Stromquelle, sondern zeigen das Verhalten eines Norton- oder Thévenin-Äquivalents.





Ziel: Vermessung von PV-Wechselrichtern unterschiedlichen Typs am Netzsimulator mit und ohne zusätzlicher Impedanz bei unverzerrter Netzspannung.



Hell: ohne Impedanz;  
Dunkel: mit Impedanz

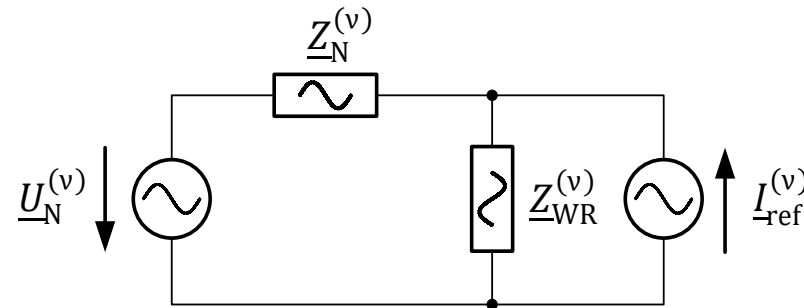
Ergebnis: Änderung der Netzimpedanz hat bei unverzerrter Netzspannung keine signifikanten Auswirkungen auf die Oberschwingungsemissionen. [Ausnahmen hierbei sind PV 2 und PV 4 aufgrund deren typspezifischen Aufbaus].

Allerdings wurde bei zu hohen Werten der gewählten Impedanz das Erreichen der Stabilitätsgrenze der EZE beobachtet.



Verhalten am realen Netz:

Aufteilung des durch den Wechselrichter hervorgerufenen Stroms entsprechend dem Größenverhältnis der Impedanzen.

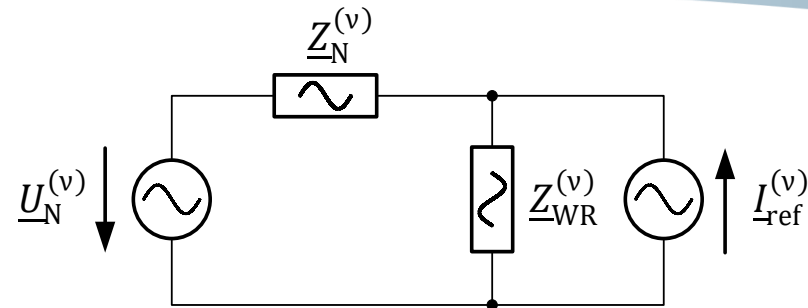


Kritisch wird es, wenn beide Impedanzen zueinander konjugiert komplex sind, d. h. die Beträge gleich groß sind und sich bei Addition die Reaktanzen kompensieren ( $\rightarrow$  Resonanz).



Verhalten am realen Netz:

Es sind folgende Fälle zu unterscheiden:



Netzimpedanz  $<$  EZE-Impedanz: OS-Emission der EZE führt nur zu geringem Spannungsfall über der Netzimpedanz und somit zu geringen Netzurückwirkungen.

Netzimpedanz  $>$  EZE-Impedanz: Der größte Teil der bereits existierenden Oberschwingungsspannung fällt über der Netzimpedanz ab. An der EZE ist nur ein geringer Pegel dieser OS-Spannung vorhanden, sodass sich gegenüber der unverzerrten Netzspannung eine kaum erhöhte OS-Emission ergibt.

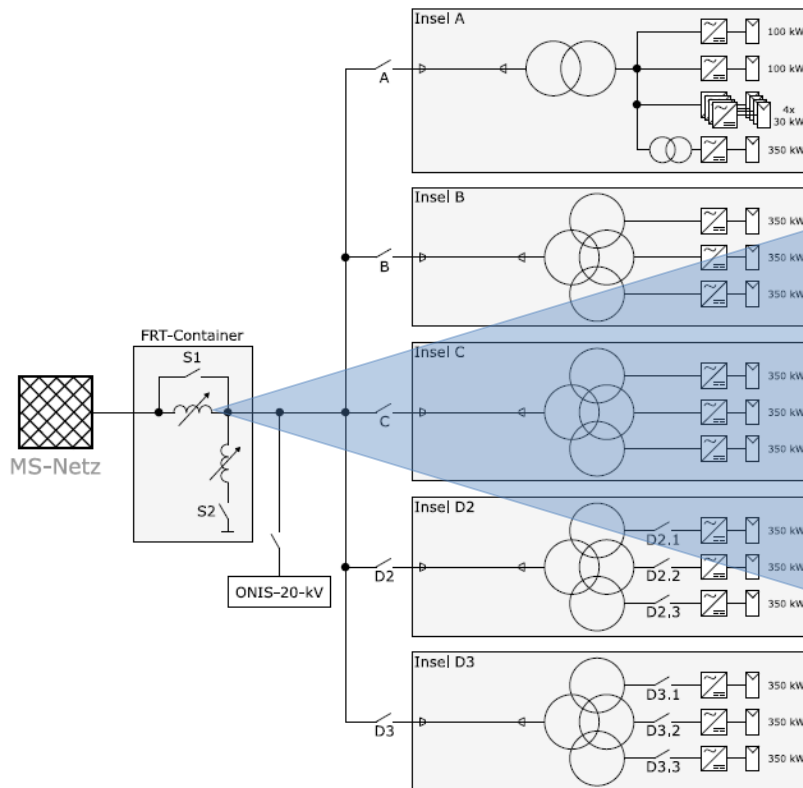
Netzimpedanz  $\approx$  EZE-Impedanz: Netz- und EZE-Impedanz weisen in Real- und Imaginärteil ähnliche Werte auf und die Phasenwinkel beider Impedanzen sind näherungsweise entgegengesetzt. Hier ergeben sich hohe Werte für Oberschwingungsstrom und –spannung.

# Messungen am realen Netz



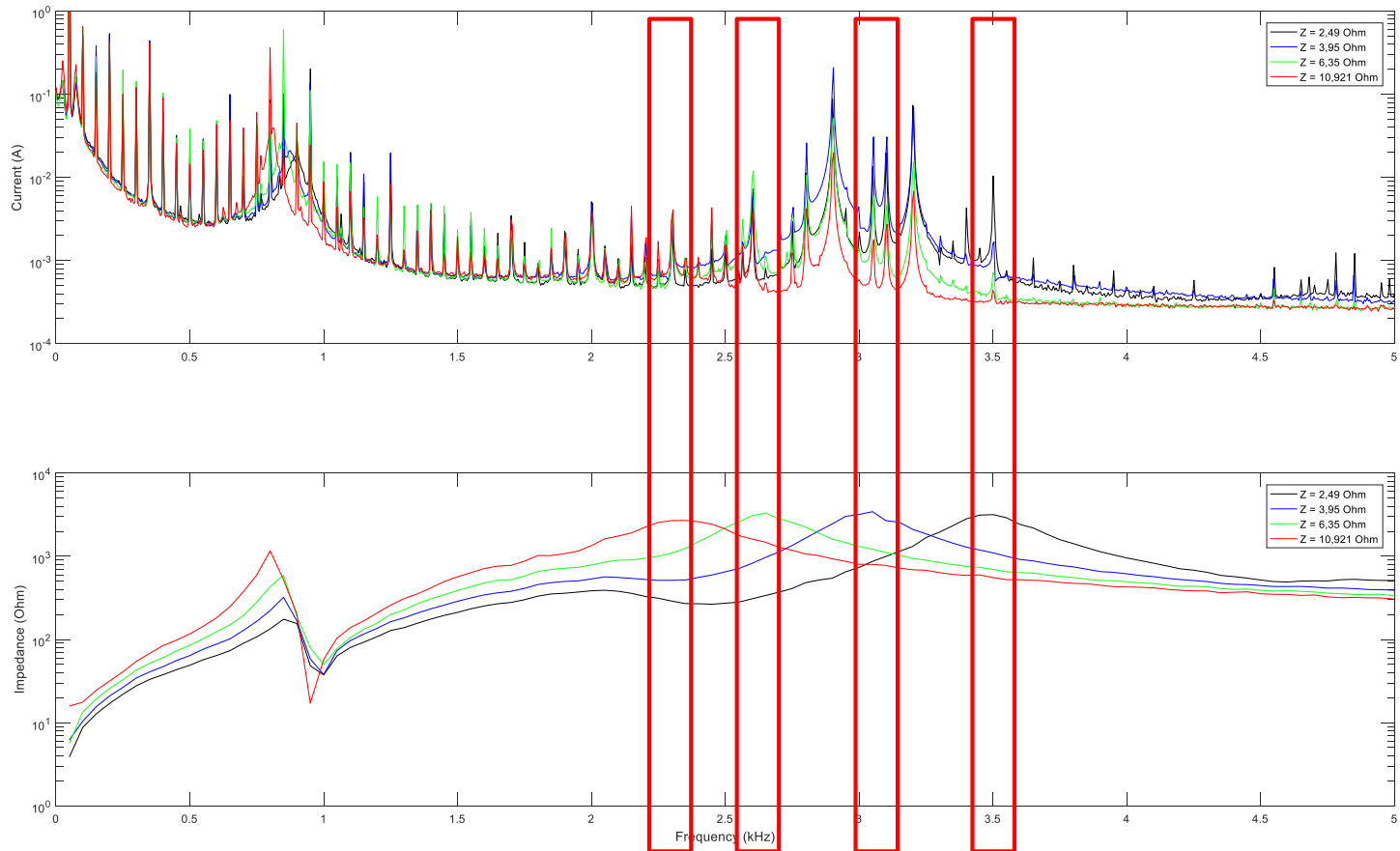
Messungen am Netzanschlusspunkt des PV-Parks:

- Strommessung am Netzanschlusspunkt
- Impedanzmessung am NAP (Parallelschaltung aus Netz + FRT-Cont. und EZA)



Einstellung Längsimpedanz	EZA-Leistung
2,49 $\Omega$	2750 kW
3,95 $\Omega$	2500 kW
6,35 $\Omega$	2368 kW
10,92 $\Omega$	2325 kW

# Messungen am realen Netz



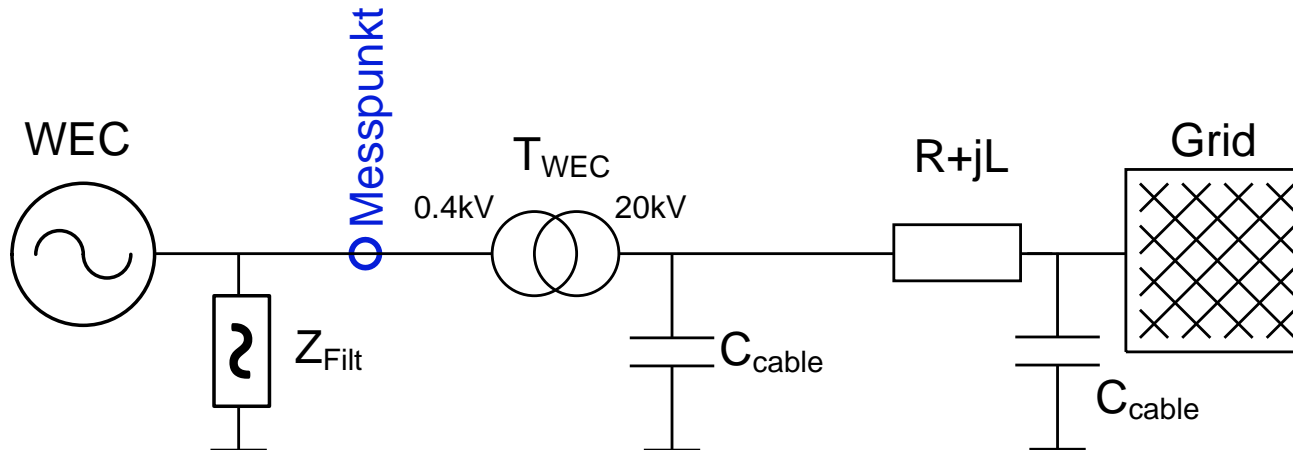
Ergebnis: Resonanzstelle verändert Lage → höchster Strompegel korreliert damit





Ziel: Abschätzung des Verlaufs der frequenzabhängigen Netzimpedanz durch Auswertung der zwischenharmonischen Ströme und Spannungen.

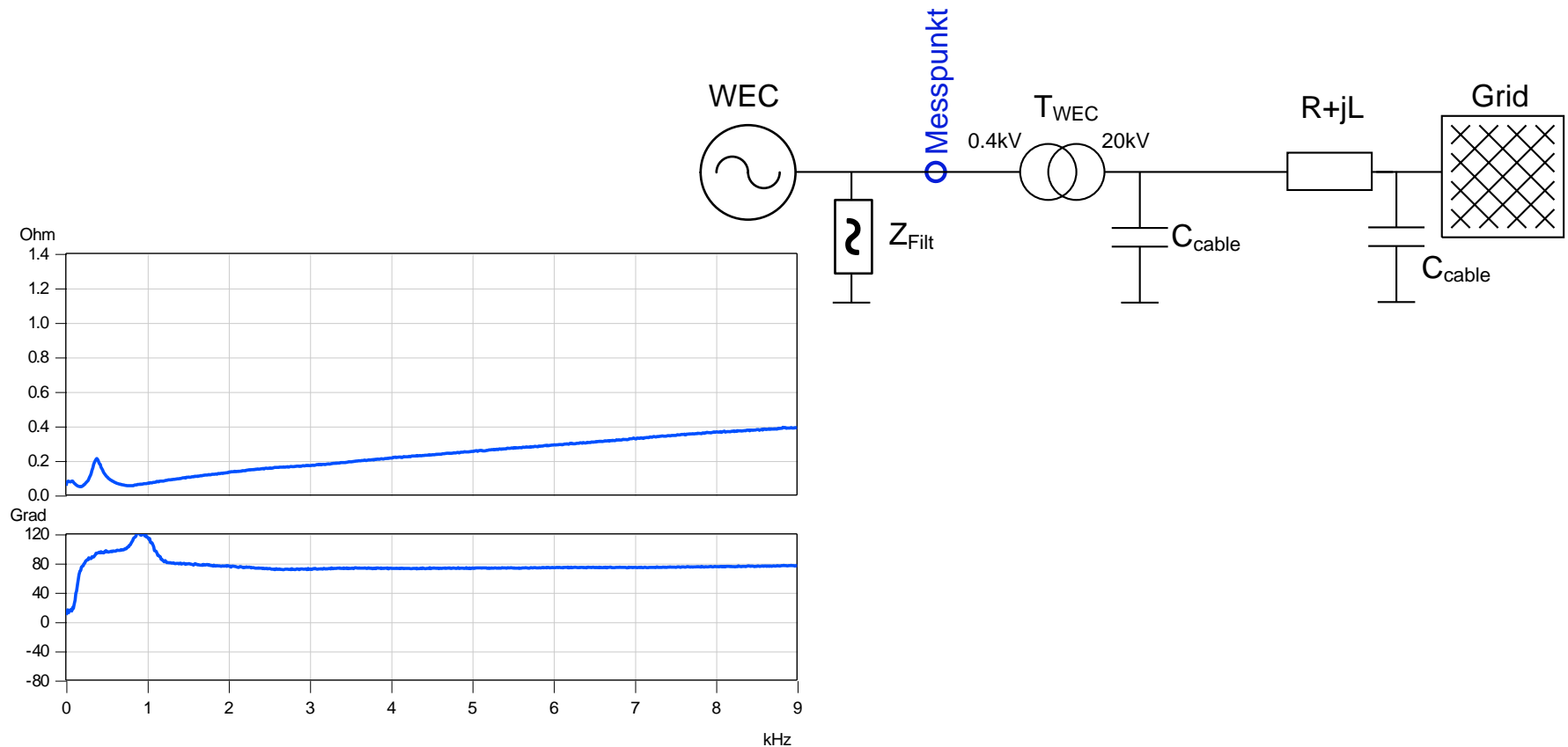
Annahme: Zwischenharmonische werden vom Umrichter der EZE emittiert.



# Netzimpedanz aus Messungen



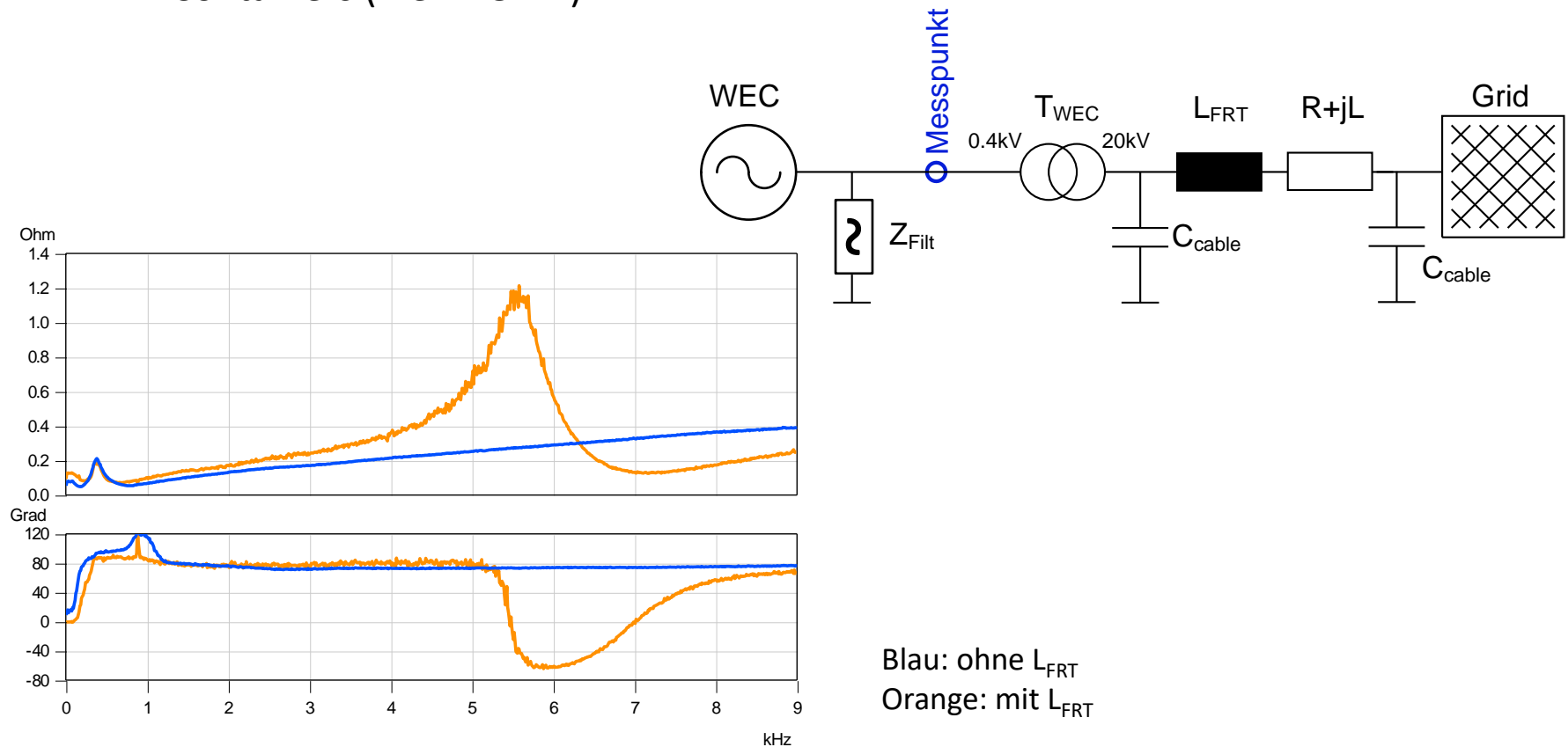
Ziel: Abschätzung des Verlaufs der frequenzabhängigen Netzimpedanz durch Auswertung der zwischenharmonischen Ströme und Spannungen.



# Netzimpedanz aus Messungen



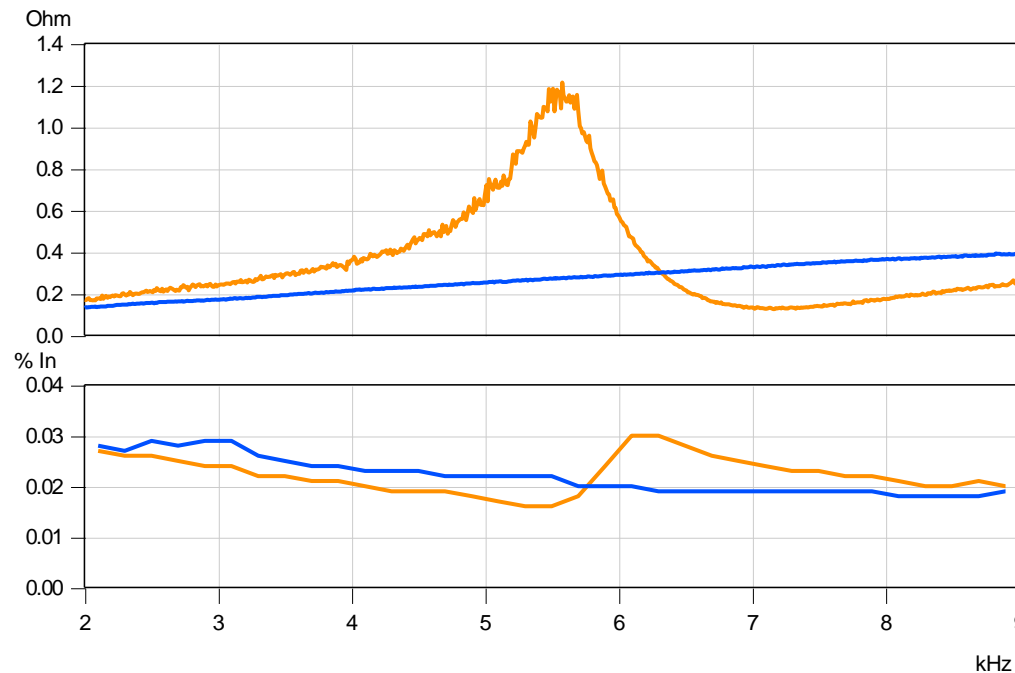
Ziel: Erkennen von Resonanzen im Verlauf der frequenzabhängigen Netzimpedanz, z. B. beim Zuschalten einer zusätzlichen Impedanz eines FRT-Containers (hier 4 Ohm).





## Emissionsverhalten bei geänderter Netzimpedanz

Auswertung der Anteile höherer Frequenzen bei EZE-Betrieb mit und ohne Zusatzimpedanz



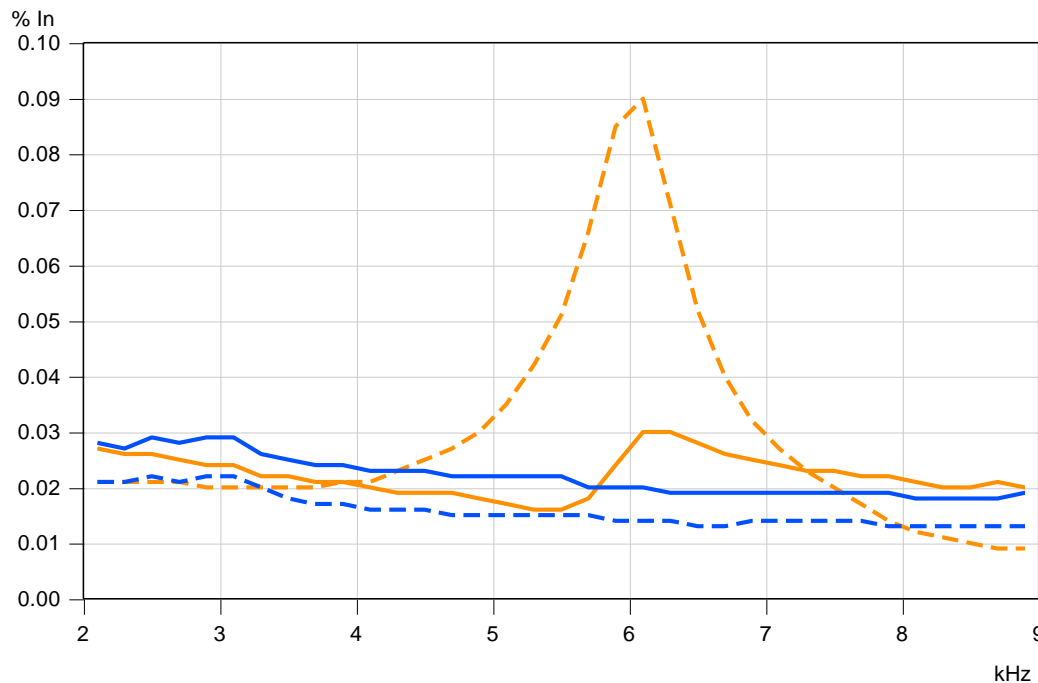
Blau: ohne L<sub>FRT</sub>  
Orange: mit L<sub>FRT</sub>  
Gruppierung gemäß FGW TR 3

Fazit: Bei geändertem Impedanzverlauf ist eine qualitative Aussage über das Emissionsverhalten einer EZE möglich.



## Emissionsverhalten bei geänderter Netzimpedanz

Auswertung der Anteile höherer Frequenzen bei EZE-Betrieb mit und ohne Zusatzimpedanz: Vergleich NS- zur MS-Seite



Blau: ohne L<sub>FRT</sub>  
Orange: mit L<sub>FRT</sub>  
Durchgezogen: NS  
Gestrichelt: MS  
Gruppierung gemäß FGW TR 3

Ergebnis: Durch die Resonanzstelle kommt es auf der MS-Seite zu einem deutlichen Anstieg der OS-Ströme.



- EZE besitzen bezüglich Oberschwingungen kein ideales Stromquellenverhalten, sondern zeigen das Verhalten eines Norton- oder Thévenin-Äquivalents.
- Ohne signifikante Vorverzerrung der Netzspannung führt eine Änderung der Netzimpedanz im Allgemeinen nur zu geringen Änderungen von Oberschwingungspegeln.
- Dagegen kommt es im Bereich von Resonanzstellen zwischen der Netzimpedanz und der EZE-/ EZA-Impedanz zu erhöhten Oberschwingungspegeln.
- Sowohl bei Typvermessungen als auch bei EZA-Projekten sind Resonanzen zu vermeiden.
- Bei Typvermessungen sind:
  - bei Netzsimulatoren zusätzliche Impedanzen zwischen Simulator und Prüfling zu schalten.
  - bei Messungen am öffentlichen Netz Resonanzstellen zu identifizieren, z. B. durch eine messtechnische Ermittlung.



- Eine Auswertung der an den Klemmen der EZE gemessenen Zwischenharmonischen erlaubt die Abschätzung des Verlaufs der frequenzabhängigen Netzimpedanz.
- Wenn die Netzimpedanz im Frequenzverlauf bekannt ist (wäre), dann kann man zumindest qualitative Aussagen über das Emissionsverhalten einer EZE treffen.



Vielen Dank für Ihr Interesse!

Stephan Adloff

**ENERCON GmbH**

Borsigstr. 26  
26607 Aurich  
Germany

Fon: +49 (0)4941 9187 – 6610

Fax: +49 (0)4941 9187 – 1009

E-Mail: [stephan.adloff@enercon.de](mailto:stephan.adloff@enercon.de)

Internet: [www.enercon.de](http://www.enercon.de)

**Netz**  **Harmonie**