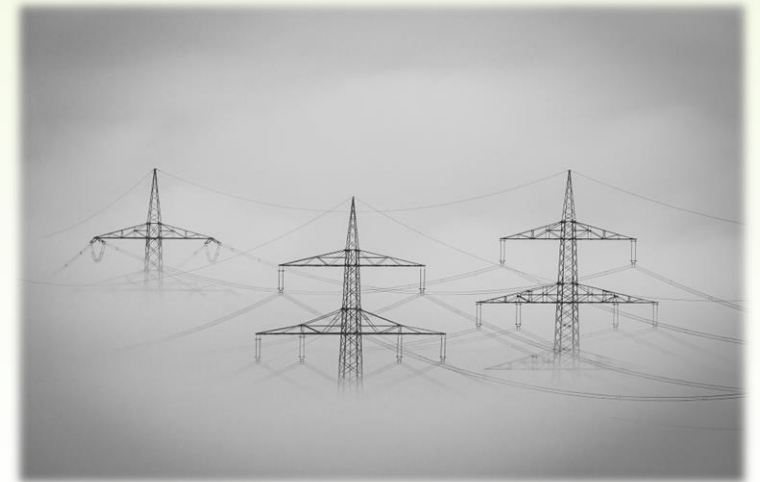


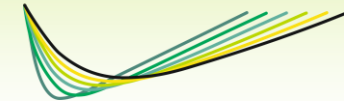
# INSELNETZBILDUNG UND –ERKENNUNG MIT NETZBILDENDEN UMRICHTERN

Abschlussworkshop Projekt Netzregelung 2.0

07. Juli 2022

Björn Oliver Winter, elenia, TU Braunschweig





## Motivation

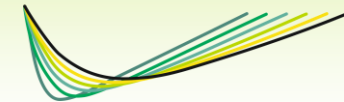
Beherrschung ungewollter Inselnetzbildung ist wesentliche Hürde in der breiten Umsetzung im Verteilnetz

Aussage **VNB** FNN-WS: Vor Einführung der Netzbildner im Verteilnetz **muss** der Umgang mit Inselnetzen geklärt sein

Aussage **ÜNB** FNN-WS: Um eine ausreichende Trägheit am Netz weiterhin zu gewährleisten **muss** prävalent netzbildende Technologie auf allen Netzebenen im kommenden Jahrzehnt zugebaut werden

Auf höheren Ebenen wird bereits zugebaut, weitere Ebenen müssen so schnell wie möglich durch Prototypen erschlossen werden

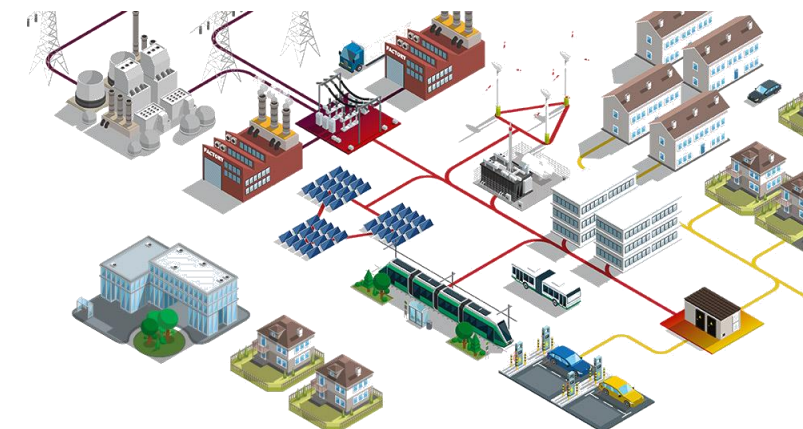




## Fokus auf die Niederspannung: Inselnetzerkennung

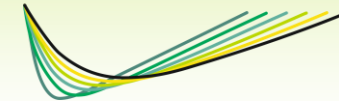
### Hohe Stückzahlen/fehlende Kommunikation: Besondere Herausforderung für die Niederspannung

- Auf höheren Ebenen sind technische Lösungsansätze vorhanden und bereits genutzt
  - Falls wirtschaftliche **Kommunikationsanbindung** möglich:
    - Abschaltung über diese von Leitwarte aus denkbar
  - Einrichtung dezentraler **Messsysteme** Stand der Technik:
    - Automatische Inselnetzerkennung über PMUs denkbar
  - Höhere Netzebene: **Schutzsysteme**, die eine Abschaltung von Inselnetzen gewährleisten wirtschaftlich
    - Beispiel: Automatische Abschaltung von Umrichtern nach Trennung vom Verbund über Mitnahmeschaltung



© Max Weber | trumit Publishers

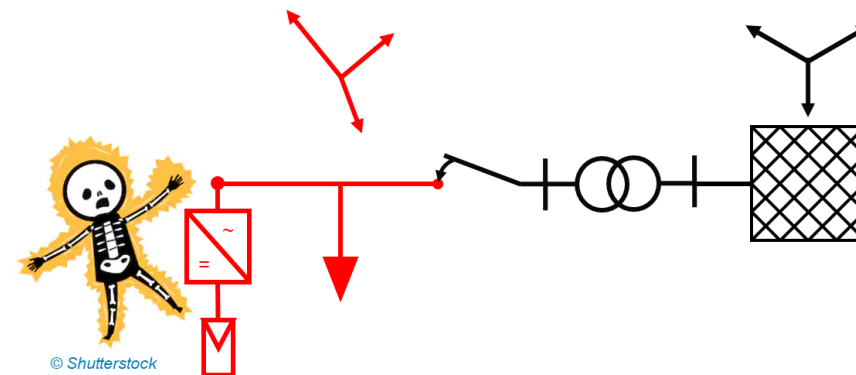
**Nutzung dieser Lösungen in der Niederspannung unwirtschaftlich, daher wird auf dezentrale autonome Lösungen gesetzt, die in jedem WR verbaut sind.**



# Hintergrund: Fehlerbedingte ungewollte Inselnetzbildung

**Eigenständiger Weiterbetrieb: ohne weitere Maßnahmen Gefahr für Mensch und Technik**

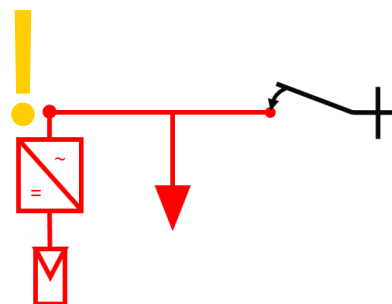
- Weiterbetrieb unkontrollierter Inselnetze:
  - Keine Parameterüberwachung → Schäden an Betriebsmitteln
  - Annahme stromloser Leitungen: Gefahr für Menschen
  - Asynchrone Wiederschaltung → Hohe Ausgleichsströme
  - NB hat keinen Einfluss auf das Netz



- Daher: automatische Abschaltung im Wechselrichter gefordert über:

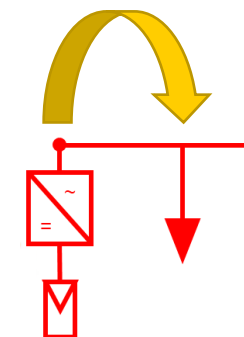
## Passive Netzüberwachung:

- Erkennung abnormaler Zustände
- Bsp: Frequenzanstieg bei Bildung
- Abschalten der Erzeuger



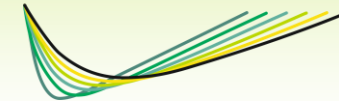
## Aktive Netzüberwachung:

- Eingriff in das Netz
- Meist: Destabilisierung von Inselnetzen nach Bildung
- Forciert Auslösen der passiven Überwachung



**1.**  
**FORSCHUNGSERGEBNISSE NR2.0**  
**NETZBILDNER IN INSELNETZEN**

---



# Netzregelung 2.0: Aussagen zum Thema Netzbildner in Inselnetzen

## Wirkung auf Bestand

## Verfahren

## Prüfung

### 01

#### Bestand: Passive Erkennung

Die Präsenz von Netzbildnern im Niederspannungsnetz erhöht inhärent die Wahrscheinlichkeit der Inselnetzbildung und **verschlechtert** marktübliche **passive Erkennungsverfahren** auf stromeinprägenden Bestandsumrichtern



### 02

#### Bestand: Aktive Erkennung

Die Präsenz von Netzbildnern im Niederspannungsnetz **verringert** ohne weitere Maßnahmen die Wirksamkeit **marktüblicher aktiver** Inselnetzerkennungsverfahren auf stromeinprägenden Bestandsumrichtern



### 03

#### Akt. Erkennung auf Netzbildnern

Netzbildner können mit Verfahren ausgestattet werden, welche selbst eine aktive Inselnetzerkennung gewährleisten. Richtig konfiguriert können dieses evtl. Bestandsverfahren stützen



### 04

#### Erweiterung der Prüfvorschrift empfohlen

Die Prüfung der Inselnetzerkennung netzbildender Umrichter nach der Bestandsnorm DIN EN 62116:2014 scheint ohne Anpassungen ungeeignet zu sein.

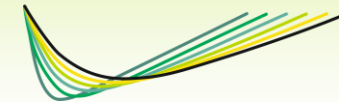


## **2. WIE WIRKEN NETZBILDNER AUF BESTANDSVERFAHREN?**

### 2.1 Wirkung auf passive Erkennung

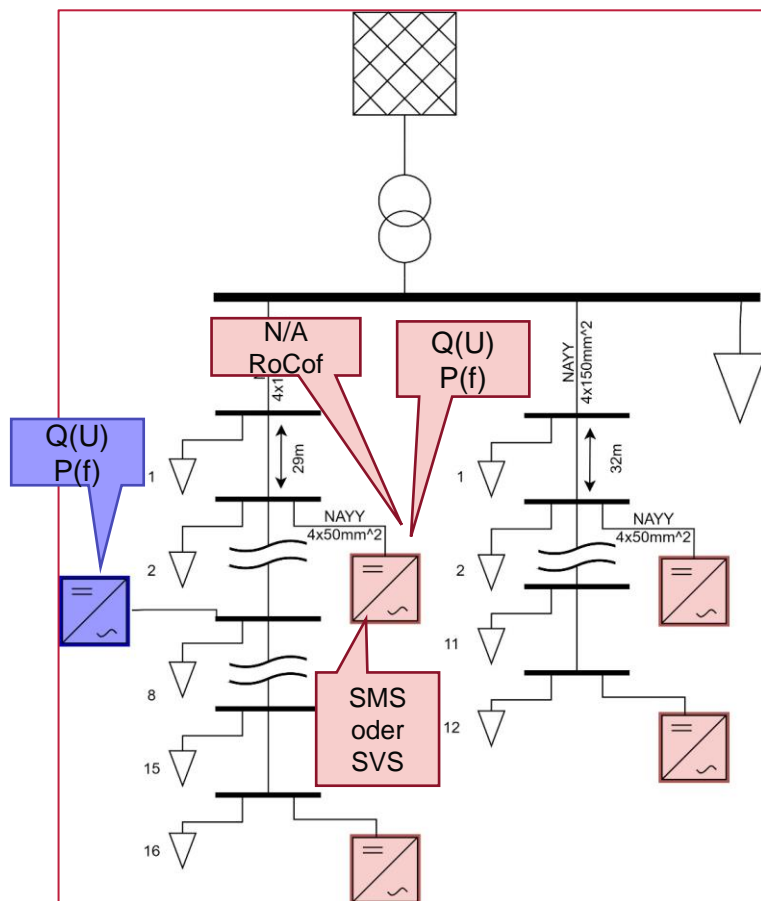
2

Wie wirken Netzbildner auf  
Bestandsverfahren?



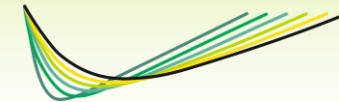
# Inselnetz-Testbench: Aufbau

## Test der Beeinflussung von Verfahren mit unterschiedlicher Wirkungsweise



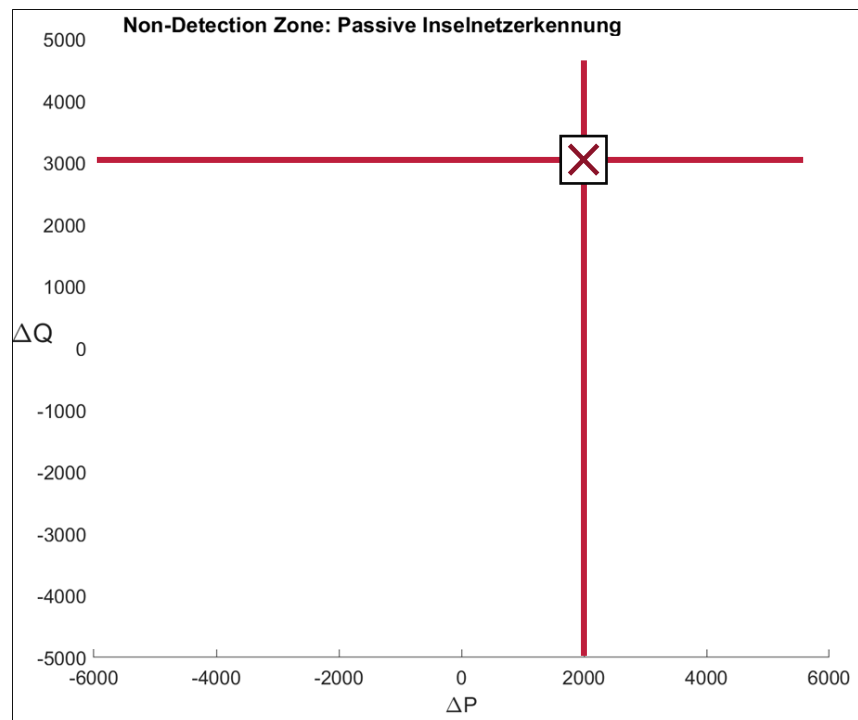
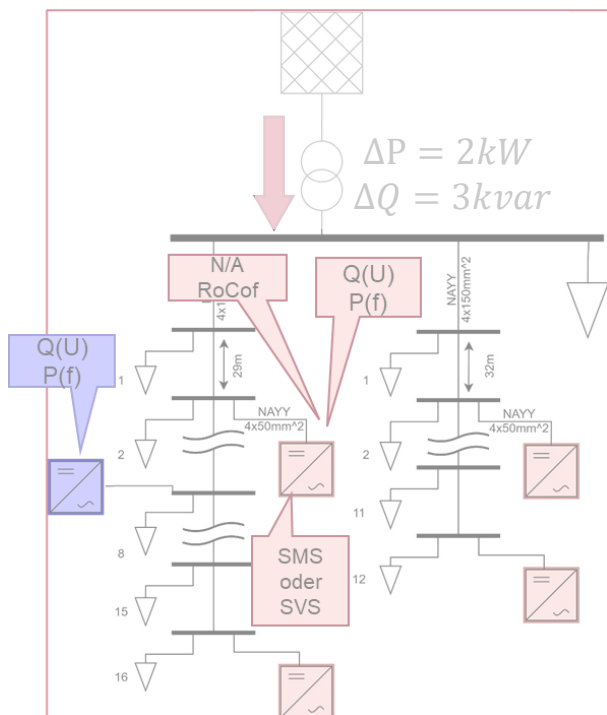
- Üblicher Maßstab für Inselnetzerkennung: Schwingkreistest
- Einfacher Aufbau, aber niedrige Aussagekraft für Verbundbetrieb
- Wichtig: Abbildung von Interaktionen! Testbench auf Basis eines typischen Kerber-Dorfnetzes, 2 Stränge
- Lasten: Einstellbare Leistung, ggf. Imaginäranteil
- Bestandsumrichter: Variable Anzahl, NA-Schutz und statische Netzstützung
- Übliche aktive (SMS, SVS) und Passive (RoCof, Oberschwingungen) Verfahren integriert
- Netzbildner: Leistungsregelung und statische Netzstützung, ansonsten **kein eigenes Erkennungsverfahren**, Test der Auswirkung der Präsenz



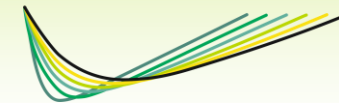


# Inselnetz-Testbench: Vorgehen

## Test der Beeinflussung von Verfahren mit unterschiedlicher Wirkungsweise



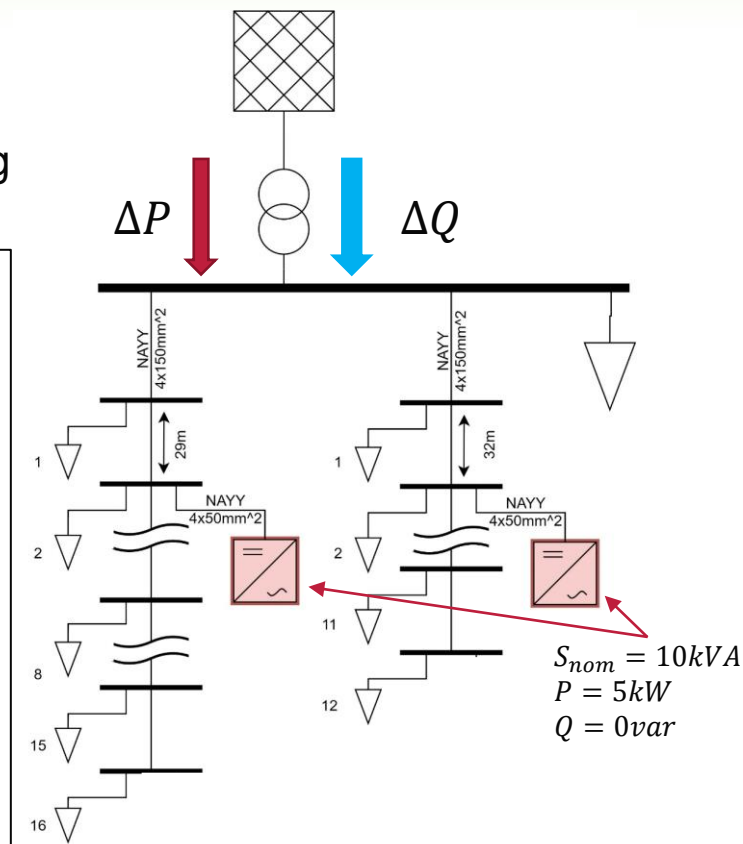
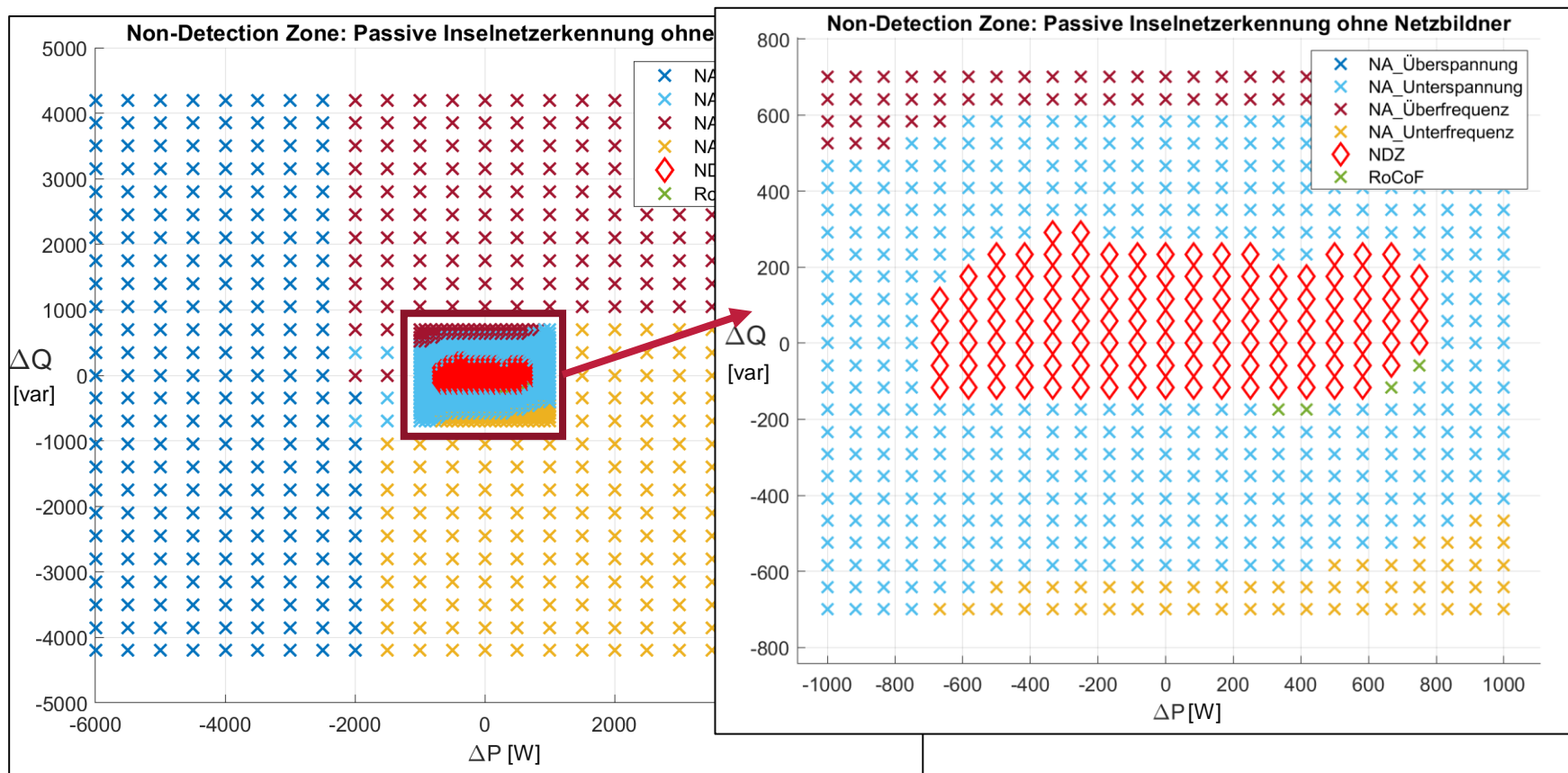
- Vorgehen zur Prüfung passiver Erkennungsverfahren in der Testbench:
- Einstellen einer stat. Austauschleistung  $\Delta P$ ,  $\Delta Q$  mit dem Verbundnetz als Differenz Erzeugung-Verbrauch
- Öffnen der Verbindung zum Verbundnetz
- Messung der Zeit bis alle Bestandsumrichter die Trennung über den NA-Schutz ausgelöst haben
- Falls innerhalb von 5s abgeschaltet: Erkennung erfolgreich, andernfalls nicht.
- Alle nicht erfolgreichen Durchläufe bilden eine Non-Detection-Zone, Größe: qualitatives Maß für die Effektivität der Inselnetzerkennung



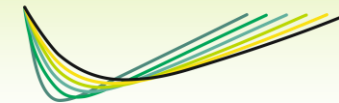
# Wirkung auf passive Inselnetzerkennung: Referenzszenario

## Variation der Austauschleistung: Ausgangslage für entstehende f-/u-Gradienten

- Netzaufbau identisch mit vorherigen Betrachtungen, Deaktivieren aktiver Erkennung
- Variation der Austauschleistung vor Teilnetzbildung über die Versuche hinweg



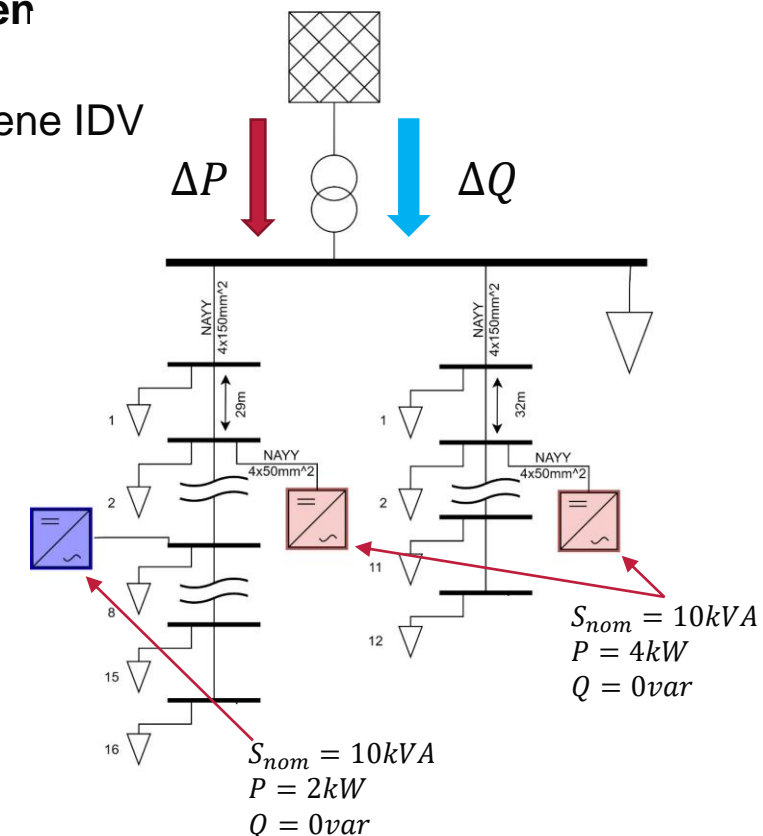
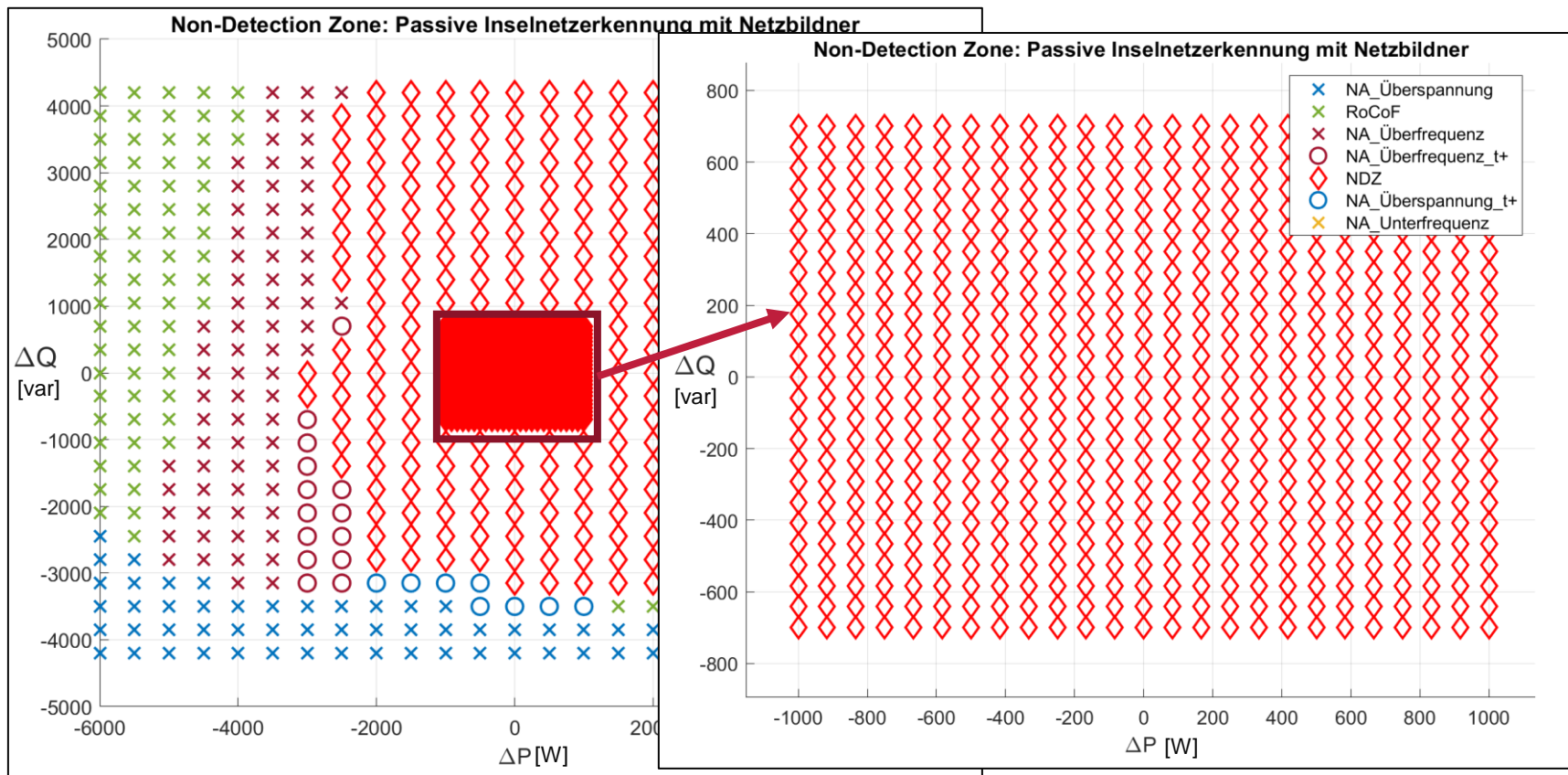
Simulation basierend auf Modellnetz mit  
2 Strängen, 4 Lasten (aggregiert),  
2 stromeinprägenden Umrichter,  
jew. Q(U), P(f), NA-Schutz, Rocof-Erkennung



# Wirkung auf passive Inselnetzerkennung: mit Netzbildner

## Auswirkung netzbildender Regelung ohne eigene Erkennung auf Bestandsanlagen

- Identische Simulation unter Hinzunahme eines netzbildenden Umrichters ohne eigene IDV  
 Wichtige Einschränkung: Netzbildner transient nicht in der Leistung beschränkt



Simulation basierend auf Modellnetz mit  
 2 Strängen, 4 Lasten (aggregiert),  
 2 stromeinprägenden, 1 netzbildenden Umrichter,  
 jew. Q(U), P(f), NA-Schutz, Rocof-Erkennung  
**kein IDV auf Netzbildner**

## **2. WIE WIRKEN NETZBILDNER AUF BESTANDSVVERFAHREN?**

### 2.2 Wirkung auf aktive Erkennung

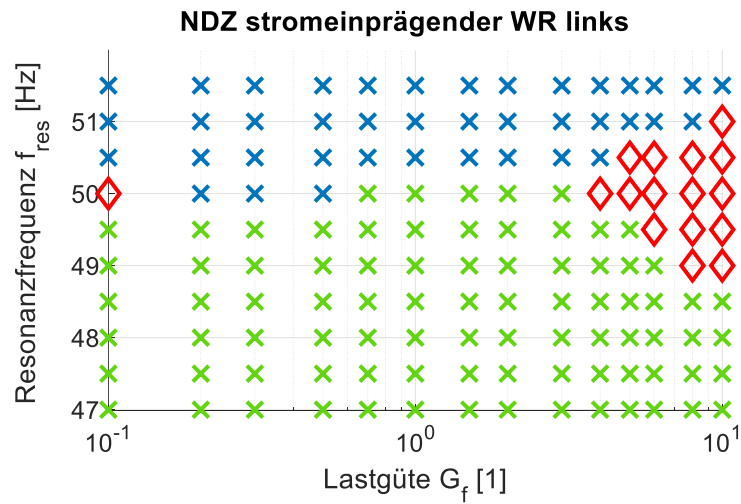
2

Wie wirken Netzbildner auf  
Bestandsverfahren?

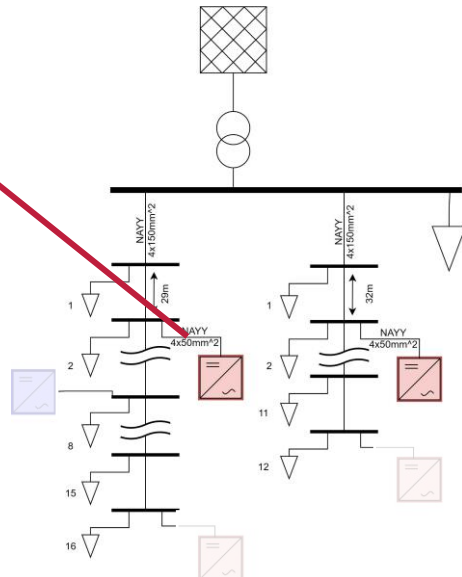
# Test der Effektivität: SMS-Verfahren

## Referenztest mit zwei stromeinprägenden Umrichtern

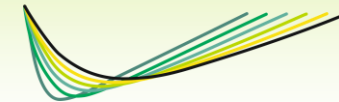
Ohne Netzbildner



× Überfrequenz   × Unterfrequenz   × NDZ



- Simulationsreihe:
  - Inselnetzbildung bei 5s, Messung der Zeit bis Auslösung
  - Erfolgreich: Auslösung bis 5s nach Bildung
  - Aufnahme der Art der Auslösung
  - Auslösung nicht/zu spät erfolgreich:
    - Non-Detection Zone (NDZ)

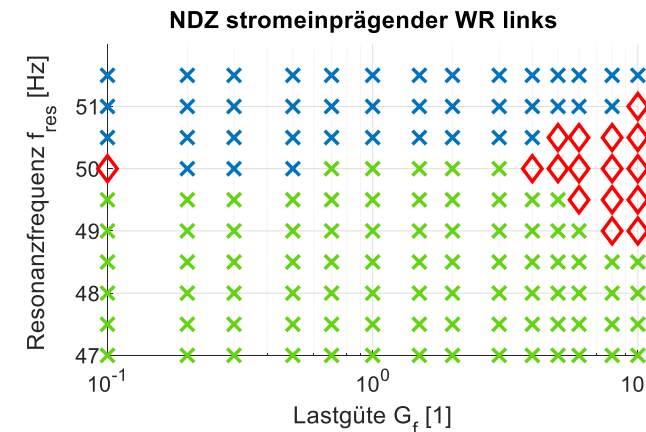


# Einfluss netzbildender Wechselrichter auf die Inselnetzerkennung: aktiv

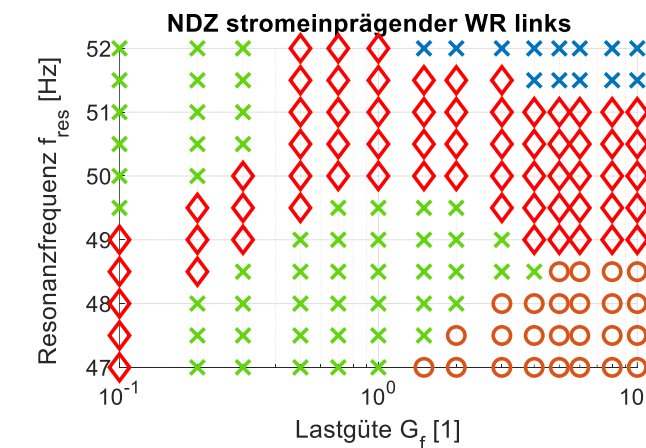
Auswirkung netzbildender Regelung ohne eigene Erkennung auf Bestandsanlagen

- Die Präsenz netzbildender Umrichter reduziert die Effektivität aktiver Frequenz-Shift-Verfahren von Bestandsanlagen
- Aufweichung der Abhängigkeiten, auf denen aktive Inselnetzerkennung in Bestandsumrichtern basiert
- Stärkere Verkopplung zwischen Netzstützung und Inselnetzerkennung
- Stützen Spannung, die außerhalb der Toleranz gebracht werden soll, inhärent

Ohne Netzbildner

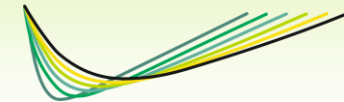


Mit Netzbildner



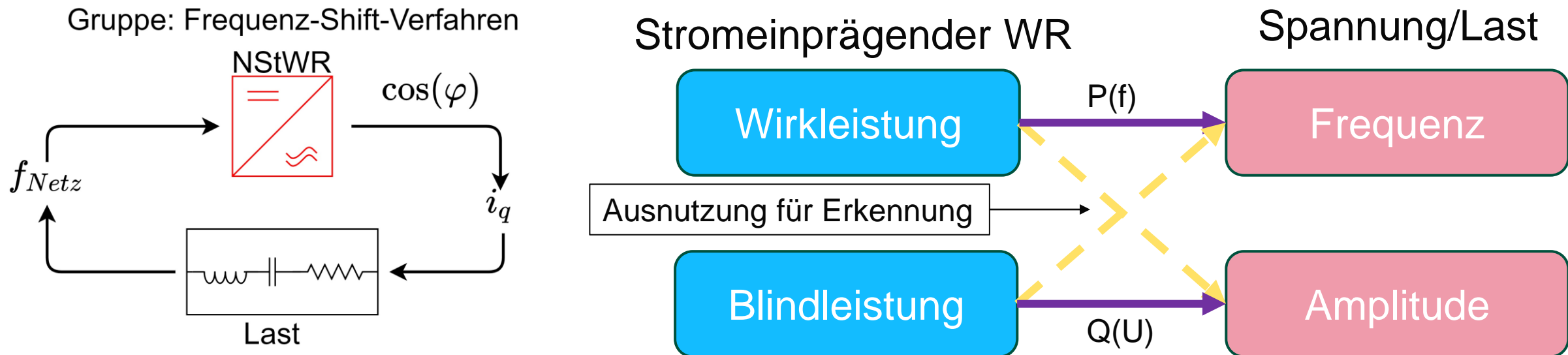
# **3. ERKENNUNGSVERFAHREN FÜR NETZBILDNER IN NIEDERSPANNUNGSNETZEN - HINTERGRUND**





# Auszug: Auswirkung der Präsenz netzbildender Regelung auf Bestandsverfahren

Durch die Präsenz netzbildender Regelung werden physikalische Abhängigkeiten, auf denen Verfahren beruhen, abgeschwächt



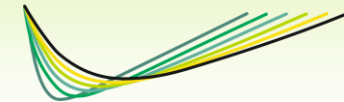
- Aktive Erkennungsverfahren beruhen im Wesentlichen auf dem Verhalten eines Schwingkreises an einer Stromquelle
- Hier existieren Querverkopplungen zwischen Arbeitspunkt des WR und Netzgrößen, die für die Erkennung ausgenutzt werden können

Abhängigkeiten (unvollst):

—> Netzgebunden

- -> Inselnetz

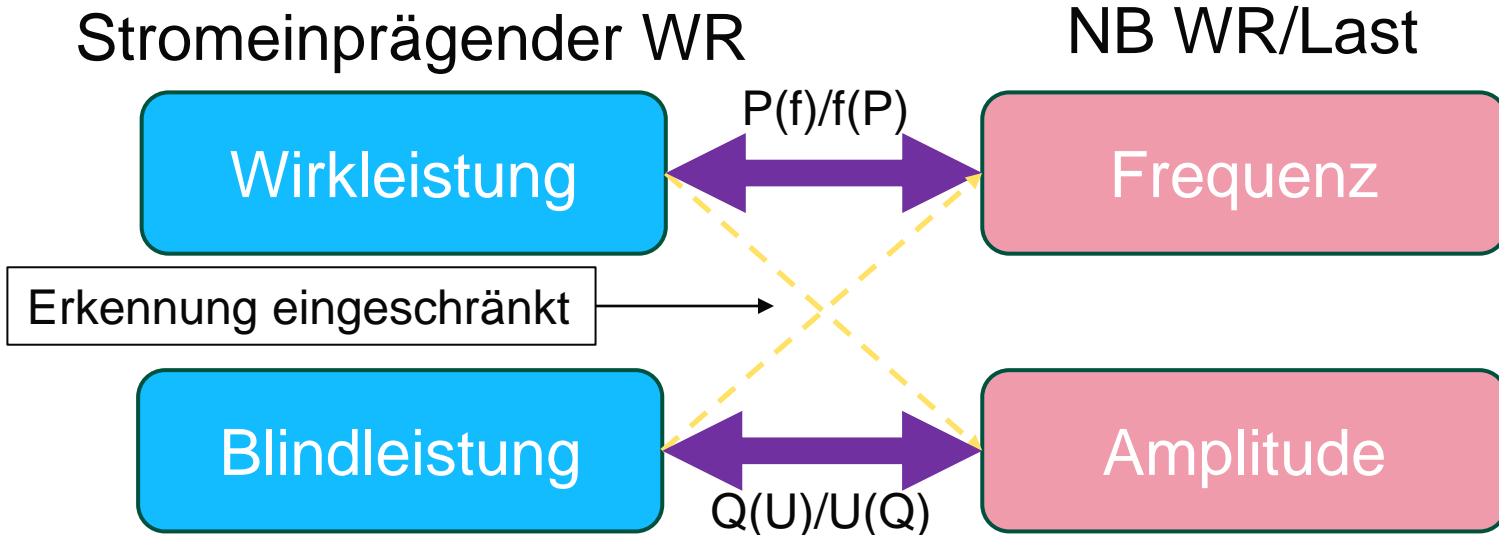
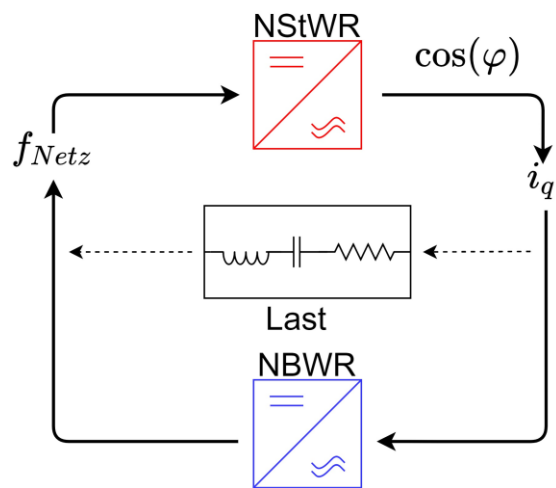




# Auszug: Auswirkung der Präsenz netzbildender Regelung auf Bestandsverfahren

Durch die Präsenz netzbildender Regelung werden physikalische Abhängigkeiten, auf denen Verfahren beruhen, abgeschwächt

Gruppe: Frequenz-Shift-Verfahren

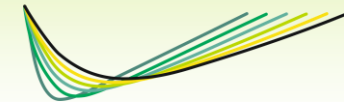


Abhängigkeiten (unvollst):

→ Netzgebunden

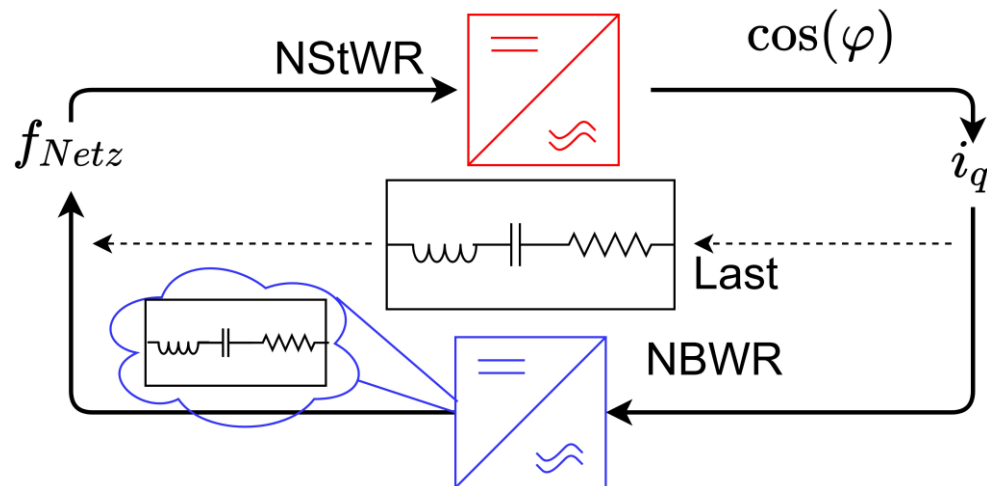
-> Inselnetz

- Bei Präsenz eines Netzbildners übernimmt dieser die aktive Regelung von Frequenz und Amplitude. Wesentliche Voraussetzungen des Inselverhaltens für aktive Erkennung werden hierdurch umgangen



# Auszug: Auswirkung der Präsenz netzbildender Regelung auf Bestandsverfahren

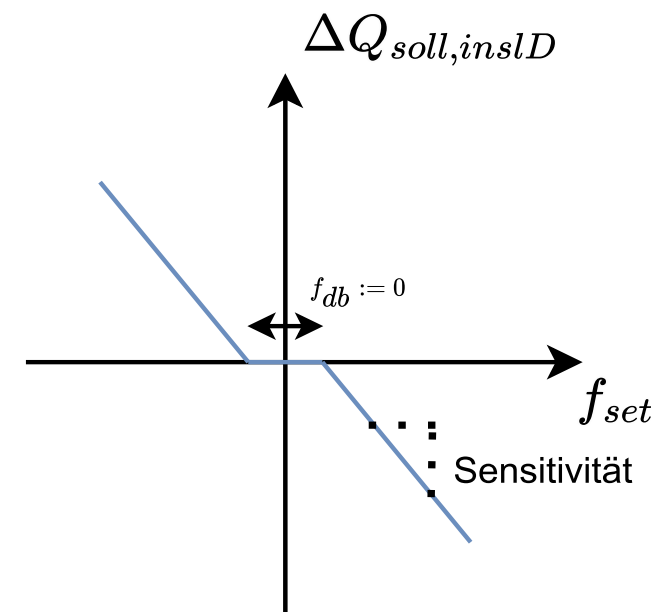
Durch die Präsenz netzbildender Regelung werden physikalische Abhängigkeiten, auf denen Verfahren beruhen, abgeschwächt



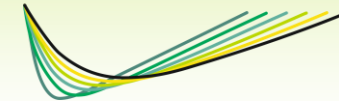
**Vorgeschlagenes Verfahren:** Charakteristika eines Schwingkreises an einer Stromquelle in Netzbildner-Regelung integrieren

**Teil dessen:**

**Abstrahierte Implementierung** der Charakteristik als „-Q(f)“-Statik zur Wiederherstellung der Abhängigkeiten und gezielten Destabilisierung der Frequenz in Inselnetzen



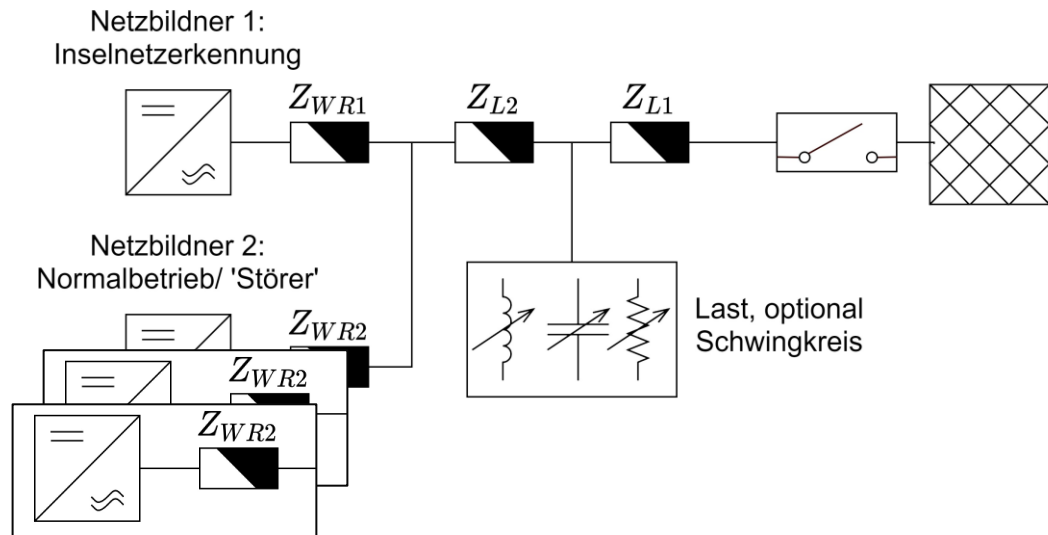
# **4. ERKENNUNGSVERFAHREN FÜR NETZBILDNER IN NIEDERSPANNUNGSNETZEN - VERFAHREN**



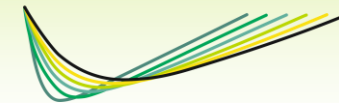
# Demonstration: Testaufbau Parallelbetrieb netzbildender Wechselrichter

## Test der Wirksamkeit des Verfahrens im einfachen Parallelbetrieb

### NBWR im Verbundbetrieb



- Parallelbetrieb eines netzbildenden Wechselrichters mit aktivierter Inselnetzerkennung.
- Elektrische Trennung durch Filter- und Leitungsimpedanzen (500m Niederspannung pro ZI)
- Ausgleich der eingespeisten Leistung durch passive Last
- Inselung ohne Austauschleistung bei  $t=7s$
- Netzbildner 1 muss in der Lage sein, Insel im Beisein eines/mehrerer ‚Störer‘ zu beenden
- *Störer*: Netzbildende Wechselrichter ohne aktivierte Inselnetzerkennung, jedoch mit aktivierter statischer Netzstützung



# Inselnetzerkennungsansätze: -Q(f), Durchführung

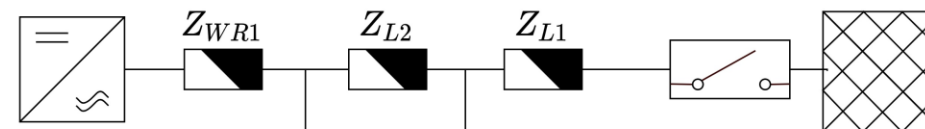
Mittels -Q(f)-Statik können NBWR die Insel auch im Beisein von weiteren NBWR beenden

- Testaufbau -Q(f)-Statik:
  - Abstimmung Insel, Schwingkreis:  $Q=1$ ,  $P=8kW$
  - Netzbildner 1: Inselnetzerkennung durch -Q(f)
  - Netzbildner 2: keine Erkennung, Q(u), P(f)-Statiken aktiv/Erkennung
- Parametrierung
  - Deckung durch beide Netzbildner
  - Inselung ab 7s
- Verschiebung Einprägen Blindleistung über den Netzbildner 1 infolge kleinster f-Abweichungen
  - Inselung: Last muss diese aufnehmen, verschiebt Frequenz im Inselnetz

## Testaufbau

NBWR im Verbundbetrieb

Netzbildner 1:  
Inselnetzerkennung

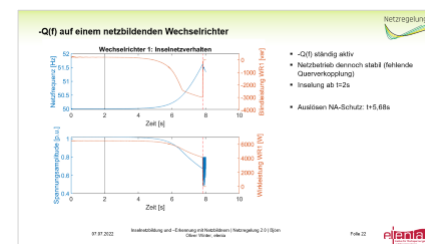


Netzbildner 2:  
Normalbetrieb/ 'Störer'

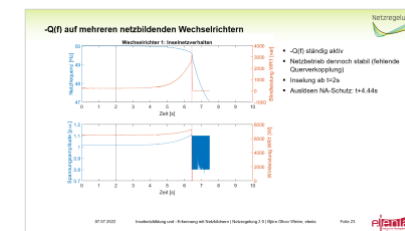


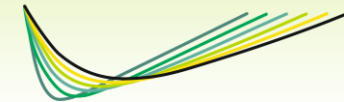
Last, optional  
Schwingkreis

-Q(f) auf einem NBWR

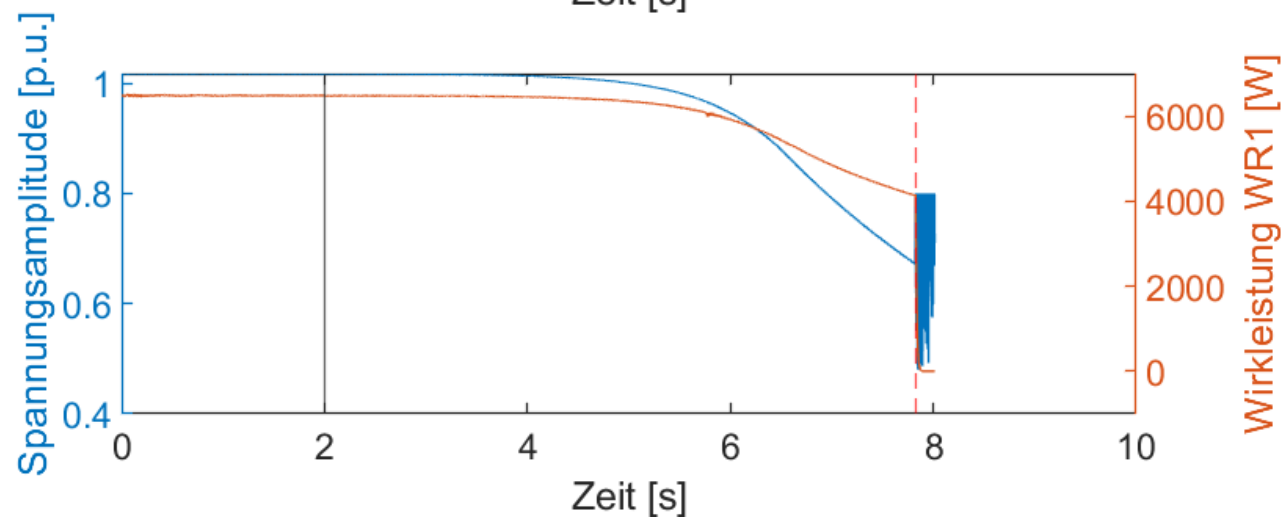
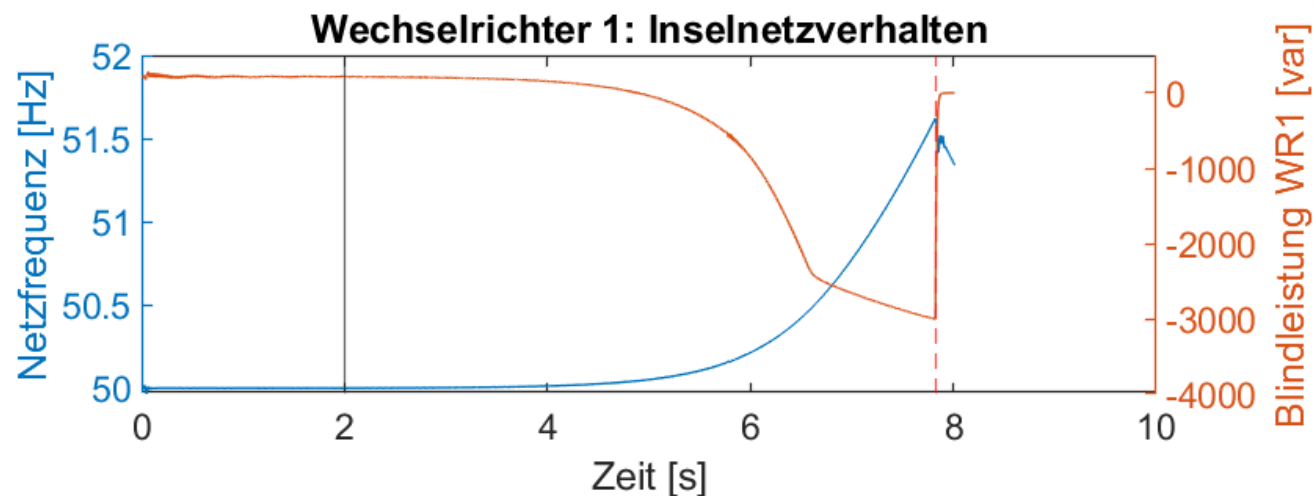


-Q(f) auf beiden NBWR





## -Q(f) auf einem netzbildenden Wechselrichter

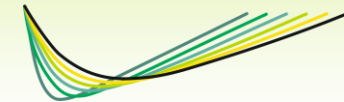


- -Q(f) ständig aktiv
- Netzbetrieb dennoch stabil (fehlende Querverkopplung)
- Inselung ab  $t=2s$
- Auslösen NA-Schutz:  $t+5,68s$

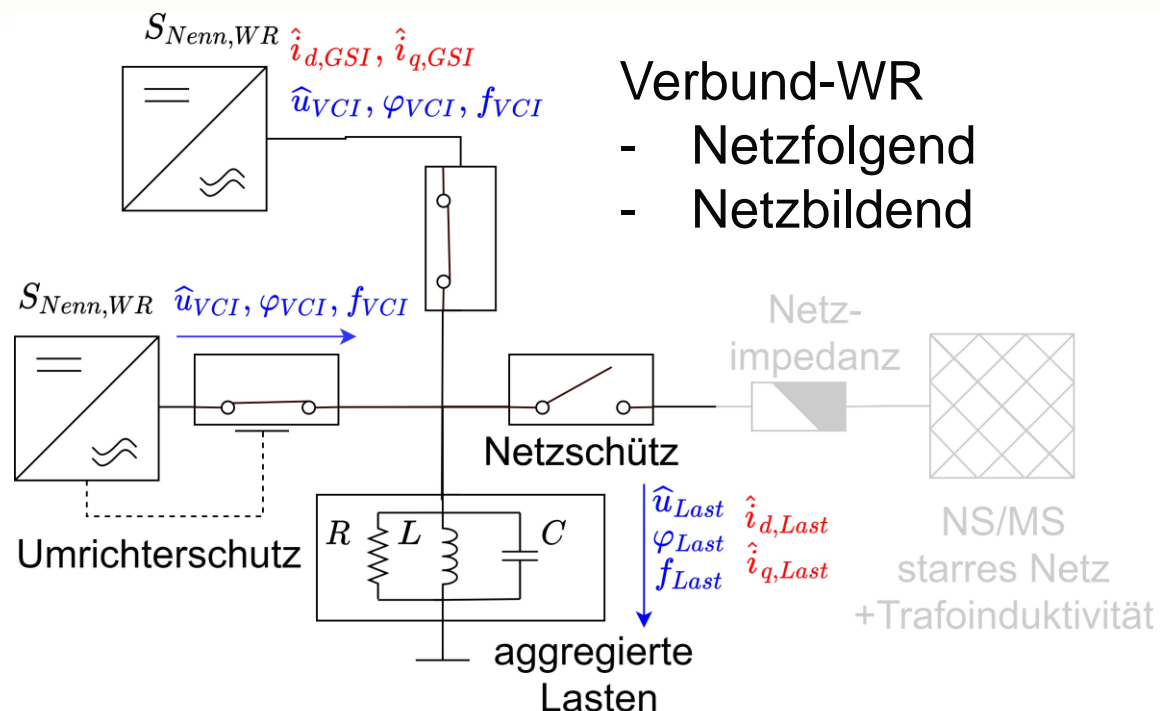
# 5. ERKENNUNGSVERFAHREN FÜR NETZBILDNER IN NIEDERSPANNUNGSNETZEN - PRÜFUNG

5

Erkennungsverfahren für  
Netzbildner in  
Niederspannungsnetzen - Prüfung



## Zukünftige Prüfung von Erkennungsverfahren auf Netzbildnern: Vorschlag



Verbund-WR

- Netzfolgend
- Netzbildend

Übliche Prüfung im Schwingkreistest (DIN EN 62114) für Netzbildner nicht anwendbar!

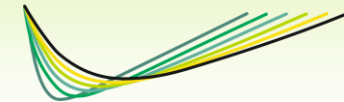
Netzbildner regeln aktiv die Spannung und können diese nach Belieben außerhalb der Grenzen treiben. Dies liefert allerdings keine

Aussage über ihre Fähigkeit zur Erkennung im Verbundbetrieb.

Daher: Erweiterung des Aufbaus um Verbund-WR mit:

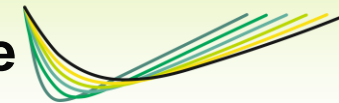
- 1) Stromeinprägender Regelung und Test d. Beeinflussung durch DUT
- 2) netzbildender Regelung und Test der Wirkung des Verfahrens auf dem DUT





## Fazit

- Systemtests lassen eine Zunahme ungewollter Inselnetzbildung im Verteilnetz bei Hinzunahme netzbildender Umrichter erwarten
- Aufgrund der hohen Stückzahl verteilter Umrichter im Niederspannungsnetz werden weiterhin dezentrale autonome Lösungen zur Erkennung und Abschaltung von Inselnetzen benötigt – Voraussetzung für den Zubau
- Auf Basis analytischer Betrachtungen wurden Verfahren entwickelt, die Eine Erkennung von Netzbildnern zusammen mit Bestandsanlagen prinzipiell ermöglichen
- Weitere Systemstudien werden benötigt, um die Auswirkung der Verfahren auf den Netzbetrieb und die Erkennungssicherheit im breiten Einsatz beurteilen zu können



# Zusammenfassung Netzregelung 2.0: Stand der Forschung zum Thema Inselnetze

## Bestand: Passive Erkennung

Die Präsenz von Netzbildnern im Niederspannungsnetz erhöht inhärent die Wahrscheinlichkeit der Inselnetzbildung und **verschlechtert** marktübliche **passive Erkennungsverfahren** auf stromeinprägenden Bestandsumrichtern



## Akt. Erkennung auf Netzbildnern

Netzbildner können mit Verfahren ausgestattet werden, welche selbst eine aktive Inselnetzerkennung gewährleisten. Richtig konfiguriert können dieses evtl. Bestandsverfahren stützen



## Bestand: Aktive Erkennung

Die Präsenz von Netzbildnern im Niederspannungsnetz verringert ohne weitere Maßnahmen die Wirksamkeit marktüblicher aktiver Inselnetzerkennungsverfahren auf stromeinprägenden Bestandsumrichtern



## Erweiterung der Prüfvorschrift empfohlen

Die Prüfung der Inselnetzerkennung netzbildender Umrichter nach der Bestandsnorm DIN EN 62116:2014 scheint ohne Anpassungen ungeeignet zu sein.



## BJÖRN OLIVER WINTER, M. Sc.

*elenia Institut für Hochspannungstechnik und Energiesysteme*

Forscher: Netzdynamik und Systemstabilität mit Fokus auf die Netzintegration spannungseinprägender Umrichter

[bjorn.winter@tu-braunschweig.de](mailto:bjorn.winter@tu-braunschweig.de)

<https://orcid.org/0000-0001-6860-3930>