



Vergleichskriterien zur objektiven Bewertung von Inselnetz-Detektionsverfahren



Sebastian Palm
Graz, 16.02.2018



1 Motivation

2 Simulationsumgebung

3 Bewertungskriterien

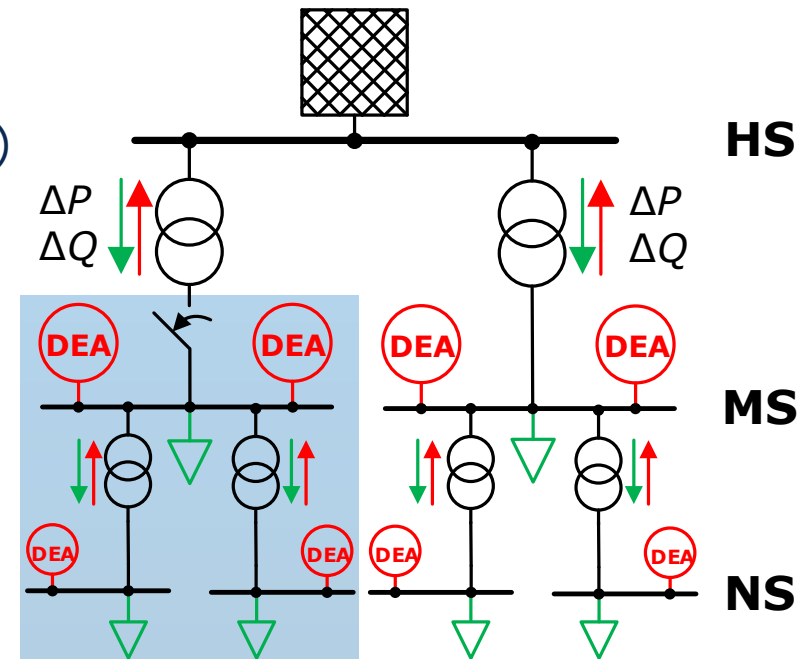
4 Wirksamkeit der Detektionsverfahren

5 Zusammenfassung

1 Motivation

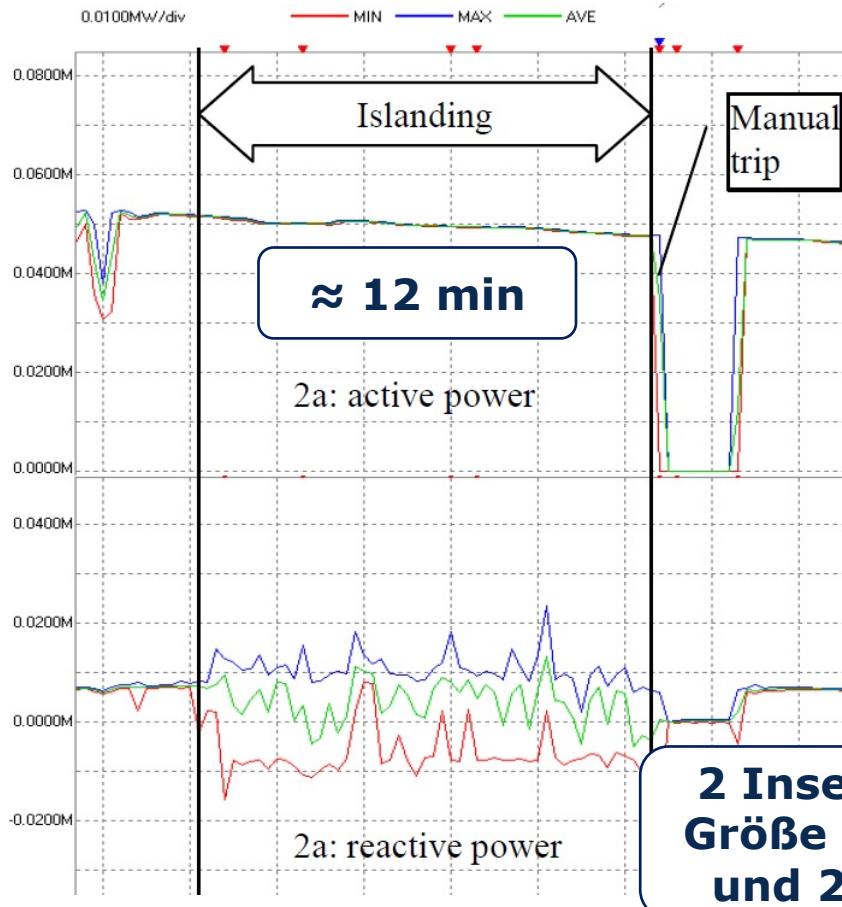
Bildung eines Inselnetzes

- Inselnetzbildung infolge:
 - Betriebliche Schaltungen
 - Betriebsmittelüberlastungen
 - Wirkung des Systemschutzes (AFE)
 - Wirkung des Selektivschutzes
- Stabile Inselnetze, wenn Energieverbrauch und -erzeugung ausgeglichen ($\Delta P \approx 0$, $\Delta Q \approx 0$)
- Verschiedene Risiken bzw. Probleme in ungewollten Inselnetzen (Spannungsfreiheit, AWE, Wirksamkeit Schutz, Berührungsspannungen, ...)

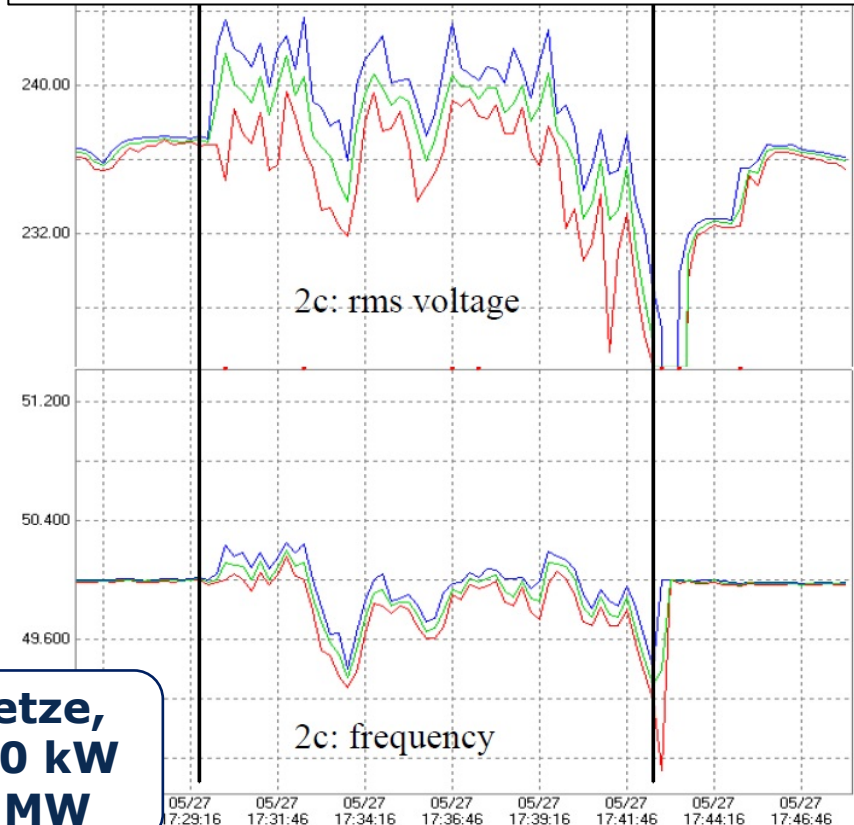


1 Motivation

Mittelspannungs-Inselnetz bei Iberdrola, Spanien



Quelle: Pazos, Francisco José, „Operational Experience and Field Tests on Islanding Events caused by Large Photovoltaic Plants”



**2 Inselnetze,
Größe 700 kW
und 2,5 MW**



1 Motivation

2 Simulationsumgebung

3 Bewertungskriterien

4 Wirksamkeit der Detektionsverfahren

5 Zusammenfassung

2 Simulationsumgebung

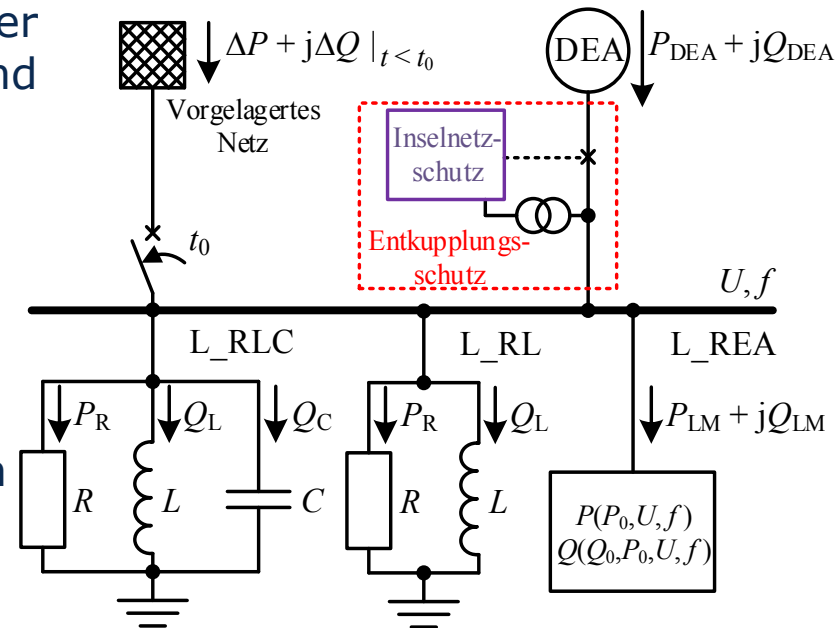
Modellierung des Inselnetzes

Dezentrale Erzeugungsanlagen (DEA)

- Reine Einspeisung über Wechselrichter bzw. Mischung aus Wechselrichter und Asynchrongenerator
- Standardmäßig Entkopplungsschutz mit U/f -Grenzen
- Zusätzliche Detektionsverfahren

Elektrische Lasten

- RLC-Schaltung (entspricht bisherigen Prüfverfahren)
- RL-Schaltung
- Reale Ortsnetzlast aus Messungen



2 Simulationsumgebung

Entkuppelungsschutz

- Nach technischen Anschlussbedingungen in jeder DEA gefordert
 - Zur dynamischen Spannungsstützung muss Fehler durchfahren werden können (fault-ride-through)
 - Großer zulässiger Frequenzbereich, um Destabilisierung durch Trennung vieler DEA entgegen zu wirken
- Kann um Inselnetzdetektionsverfahren ergänzt werden (in NS verpflichtend)

Beispielwerte für DEA im MS-Netz

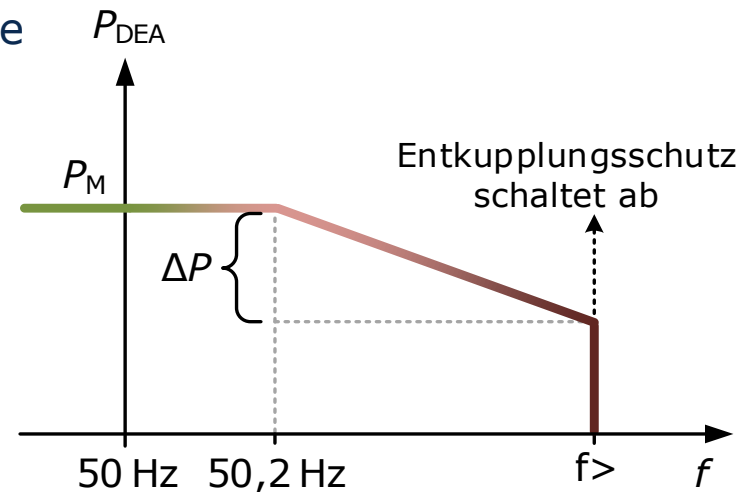
Schutz	Einstellwert	t in ms
f>	51,5 Hz	40
f<	47,5 Hz	40
U>	1,15 U_r	40
U<	0,80 U_r	1500
U<<	0,45 U_r	300

2 Simulationsumgebung

Einfluss der $P(f)$ -Regelung

- Um Anstieg der Frequenz entgegen zu wirken, wird ab 50,2 Hz von allen DEA die Reduzierung der eingespeisten Wirkleistung gefordert ($P(f)$ -Regelung)
- Gefordert ist eine Reduzierung der Wirkleistung um 40 % pro Hz (P_M ist die momentan verfügbare Leistung):

$$\Delta P = 20 \cdot P_M \cdot \frac{50,2 - f/\text{Hz}}{50}$$



2 Simulationsumgebung

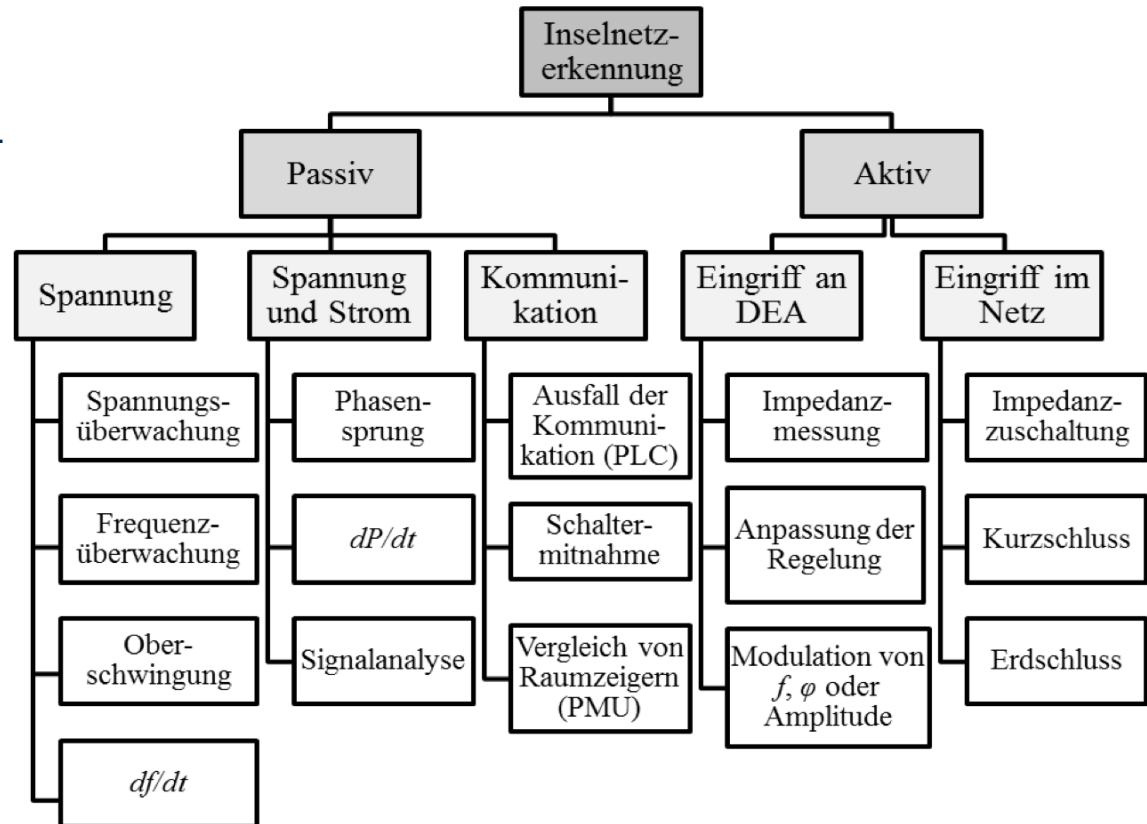
Übersicht über Inselnetzdetektionsverfahren

Ziel

- Detektion aller möglichen Inselnetz-Konstellationen
- Beschleunigung der Detektion

Probleme

- Wirksamkeit
- Beeinflussung von Spannungsqualität und Netzstabilität
- Kosten





1 Motivation

2 Simulationsumgebung

3 Bewertungskriterien

4 Wirksamkeit der Detektionsverfahren

5 Zusammenfassung

3 Bewertungskriterien

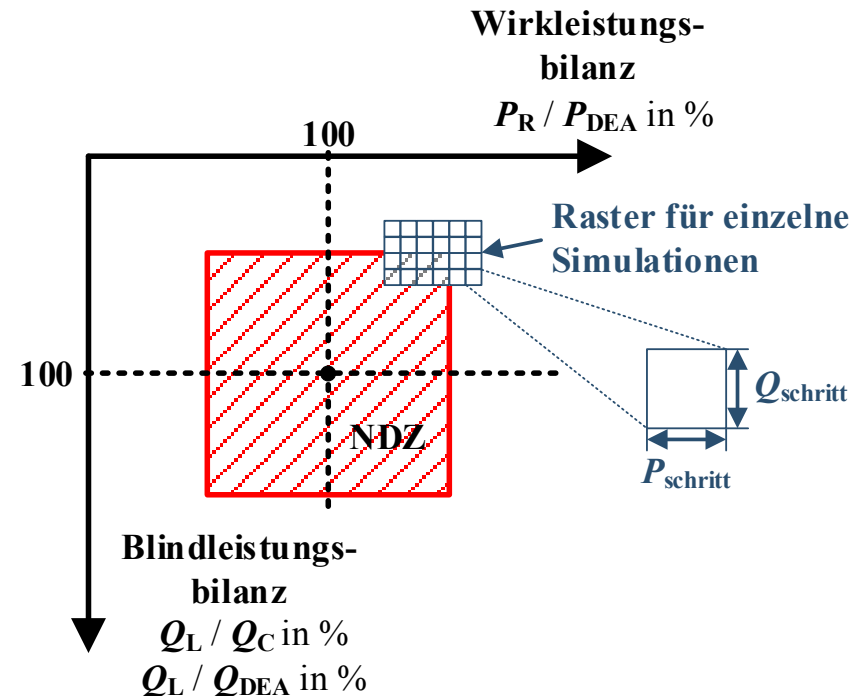
Wirksamkeit der Inselnetzdetektion

Nichtdetektierbare Zone (NDZ)

Bereich der Wirk- und Blindleistungsdifferenz, in dem die Inselnetzdetektion voraussichtlich nicht erfolgreich ist.

- Parameter zur Beschreibung der Größe der NDZ:

$$A_{\text{NDZ}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{\text{NDZ } i} \cdot P_{\text{schrift}} \cdot Q_{\text{schrift}}$$



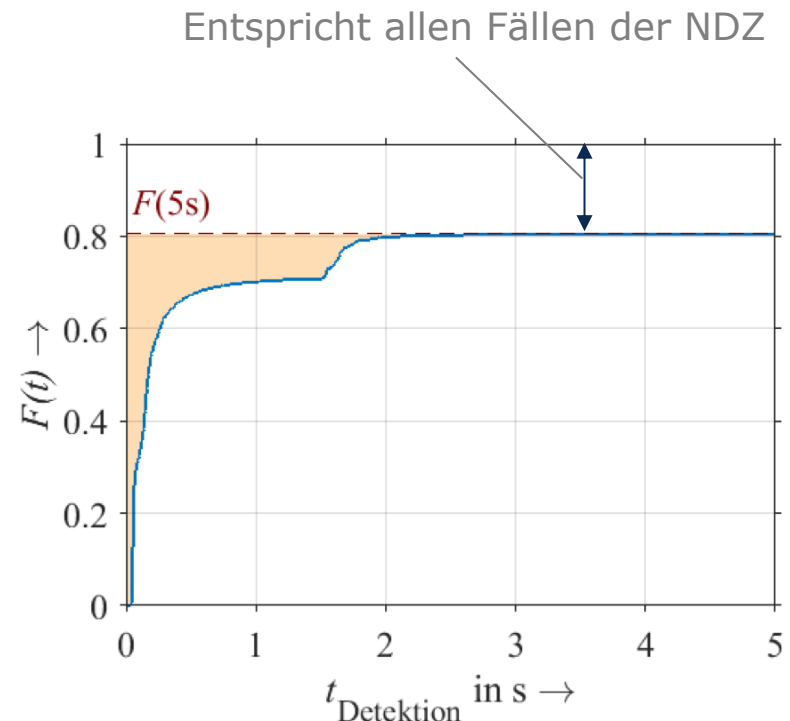
3 Bewertungskriterien

Geschwindigkeit der Inselnetzdetektion

- Umwandlung der NDZ-Darstellung in eine Summenverteilung mit Detektionszeiten ($t < 5$ s)

- Berechnung der durchschnittlichen Detektionszeit t_D

$$t_{D \text{ IDV}} = \frac{\int_0^{5 \text{ s}} F(5 \text{ s}) - F(t) dt}{F(5 \text{ s})}$$



3 Bewertungskriterien

Normierte Bewertungskriterien

- Detektionsverfahren sollen hinsichtlich Wirksamkeit und Geschwindigkeit mit dem Standardfall (nur Spannungs- und Frequenzschutz) verglichen werden
- Für alleinigen Spannungs- und Frequenzschutz Bestimmung der Referenzparameter $A_{\text{NDZ ref}}$ und $t_{\text{D ref}}$
- Normierung der Parameter für zusätzliche Detektionsverfahren A_{NDZ} und t_{D} auf die Referenzparameter:

Wirksamkeit Size of NDZ

$$SI_{\text{NDZ}} = \frac{A_{\text{NDZ}}}{A_{\text{NDZ ref}}}$$

Geschwindigkeit Time of NDZ

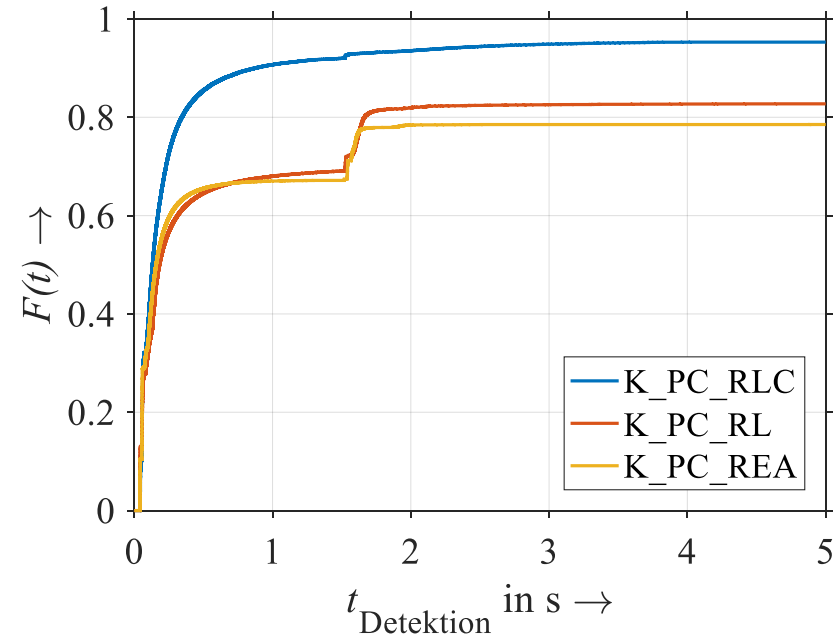
$$TI_{\text{NDZ}} = \frac{t_{\text{D}}}{t_{\text{D ref}}}$$

- Bei $SI_{\text{NDZ}} < 1$ und $TI_{\text{NDZ}} < 1$ konnten Verbesserungen erreicht werden

3 Bewertungskriterien

Vergleich der Lastszenarien

- Durchführung der Simulationsreihen für reine Wechselrichter-Einspeisung und verschiedene Lastmodelle
- RLC-Last ist in keiner Situation der kritischste Fall
 - Prüfbedingungen sind zu hinterfragen
- Zur Bestimmung der Kriterien müssen alle Lastmodelle einbezogen werden



1 Motivation

2 Simulationsumgebung

3 Bewertungskriterien

4 Wirksamkeit der Detektionsverfahren

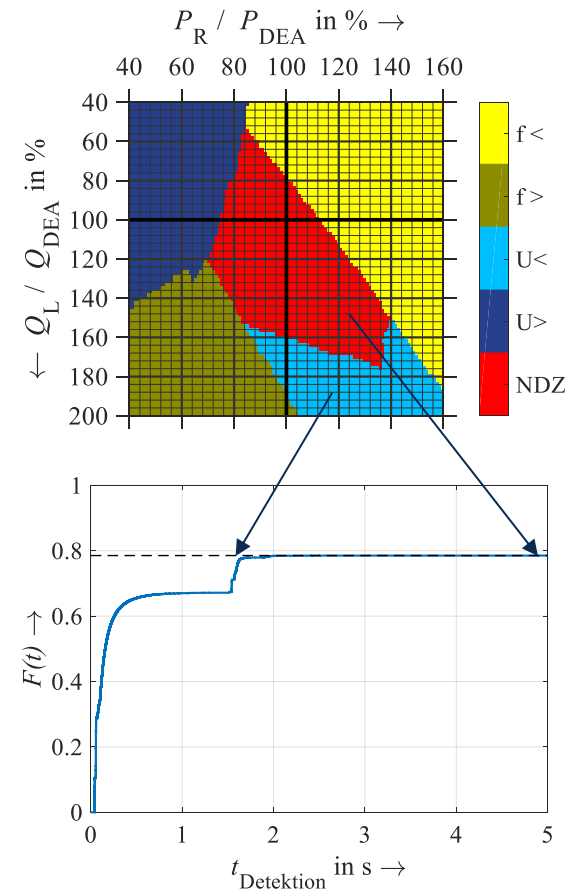
5 Zusammenfassung

4 Wirksamkeit der Detektionsverfahren

Referenzfall mit Spannungs- und Frequenzschutz

- Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz stabilisiert zahlreiche ungewollte Inselnetze
- Abschaltung durch $U <$ erfolgt aufgrund fault-ride-through Anforderungen verzögert
- Mehr als 20 % der Fälle wurden nicht detektiert
- Detektion in $t_D = 352$ ms

$$\begin{aligned}
 SI_{NDZ} &= 1,00 \\
 TI_{NDZ} &= 1,00
 \end{aligned}$$



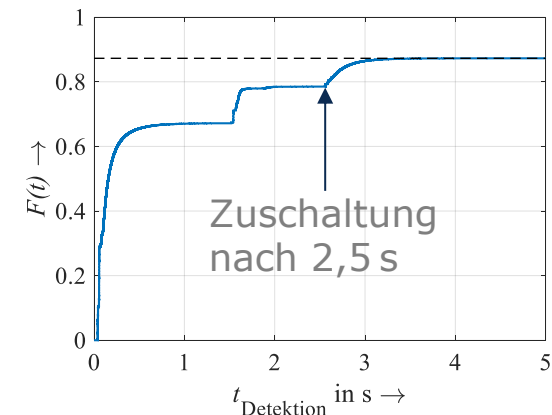
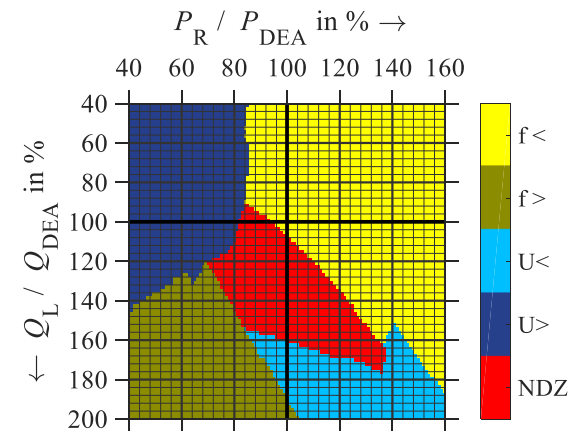
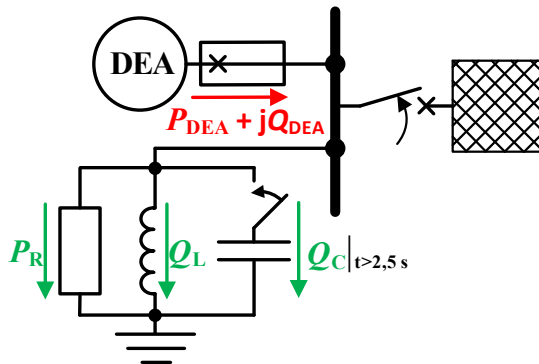
4 Wirksamkeit der Detektionsverfahren

Zuschaltung einer Impedanz

- Zuschaltung Impedanz nach Schalteröffnung zur Störung der Leistungsbilanz
- 100 %-Fälle werden detektiert
- t_D steigt, da Zuschaltung verzögert stattfindet: $t_D = 604$ ms

$$SI_{NDZ} = 0,52$$

$$TI_{NDZ} = 1,72$$

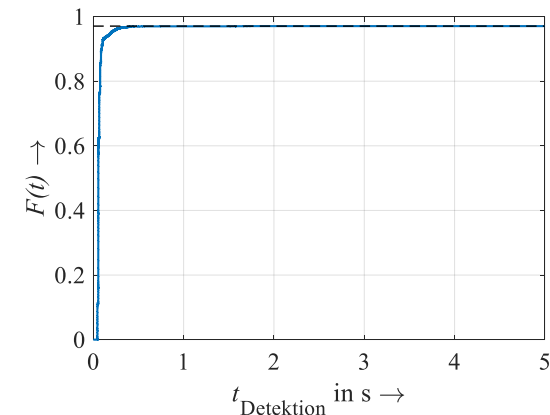
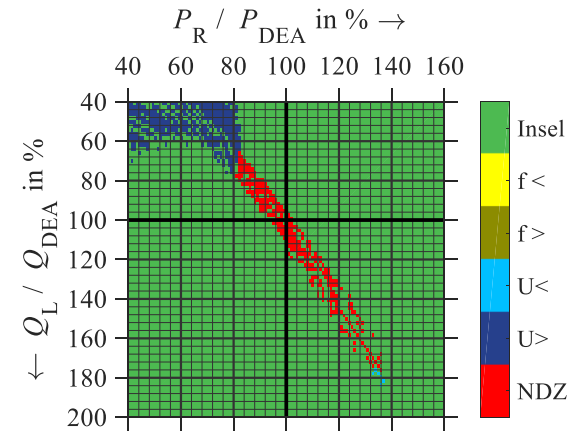


4 Wirksamkeit der Detektionsverfahren

Phasensprungdetektion

- Interpretation plötzlicher Änderungen der Spannungszeiger-Phasenlage als Indikator für Inselnetzbildung
- Schaltungen großer Lasten können ebenfalls Sprünge des Spannungszeigers bewirken
 - Phasensprung sollte nicht alleiniges Kriterium sein
- Sehr schnelle Detektion in $t_D = 85 \text{ ms}$

$$\begin{aligned}
 SI_{\text{NDZ}} &= 0,11 \\
 TI_{\text{NDZ}} &= 0,24
 \end{aligned}$$



4 Wirksamkeit der Detektionsverfahren

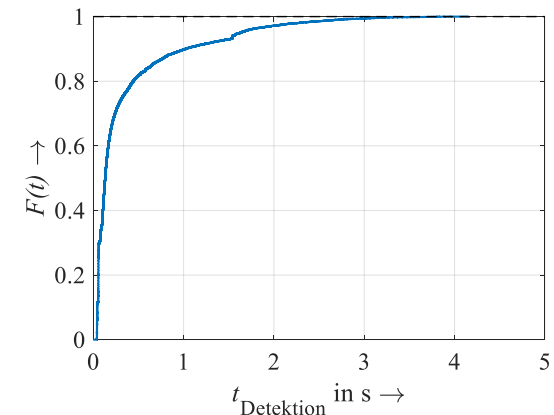
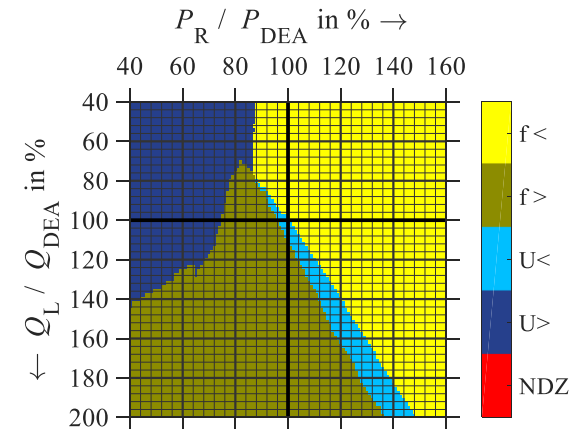
$Q(f)$ -Regelung

- Veränderung der eingespeisten Blindleistung in Abhängigkeit von Frequenz zur Störung der Blindleistungsbilanz:

$$\Delta Q = K_q \cdot (f - f_n)$$

- Reduziert NDZ am wirksamsten
- Detektion in $t_D = 278$ ms

$$\begin{aligned}
 SI_{\text{NDZ}} &= 0,02 \\
 TI_{\text{NDZ}} &= 0,79
 \end{aligned}$$





- 1 Motivation
- 2 Simulationsumgebung
- 3 Bewertungskriterien
- 4 Wirksamkeit der Detektionsverfahren
- 5 Zusammenfassung**

5 Zusammenfassung

- Erhöhte Wahrscheinlichkeit der ungewollten Inselnetzbildung durch Zubau an DEA und zunehmend dezentrale Bereitstellung von Systemdienstleistungen (Ungeplante Stabilisierungseffekte)
- Zahlreiche Detektionsverfahren verfügbar, perfekte Einzellösung mit niedrigen Kosten und geringem Aufwand existiert nicht
- Aktive Detektionsverfahren beenden vergleichsweise zuverlässig Inselnetze
 - Einfluss muss beim Übergang zur Notversorgung mit gewollten Inselnetzen frühzeitig berücksichtigt werden!
- **Bisherige Prüfverfahren bilden nicht den Worst-Case ab**
- **Neue Bewertungskriterien ermöglichen Vergleich aller Arten von Detektionsverfahren**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Sebastian Palm
TU Dresden – IEEH
+49 351 463 33094
sebastian.palm@tu-dresden.de