

## Distanzschutz für selektiven Haupt- und Reserveschutz in Verteilnetzen mit dezentralen Erzeugungsanlagen

Vanessa Spies, M.Sc.

Prof. Dr.-Ing. Michael Igel

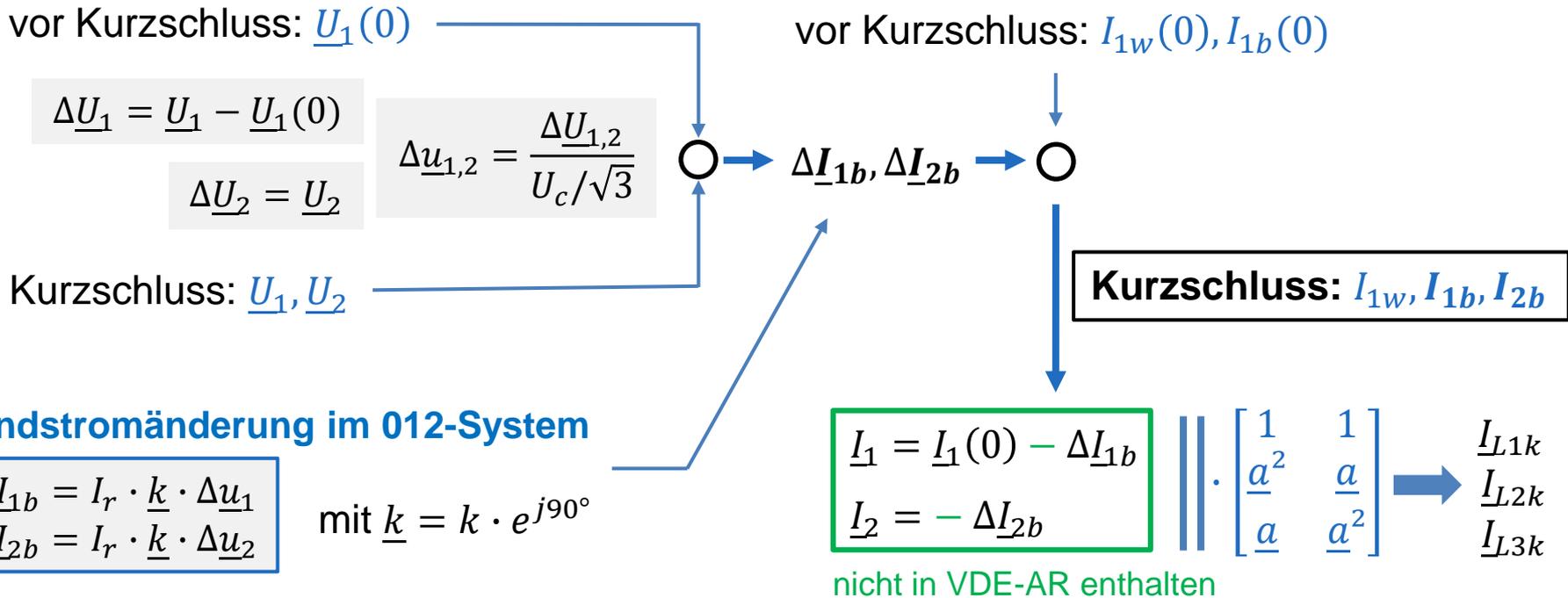


Institut für Elektrische Energiesysteme  
Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes

# Netzschutztechnik und dezentrale Erzeugungsanlagen

## LVRT-Betrieb: Verhalten von Umrichter gekoppelten DEAs im Kurzschlussfall

VDE-AR-N 4110/4120/4130: zusätzlicher Blindstrom und maximal möglicher Wirkstrom

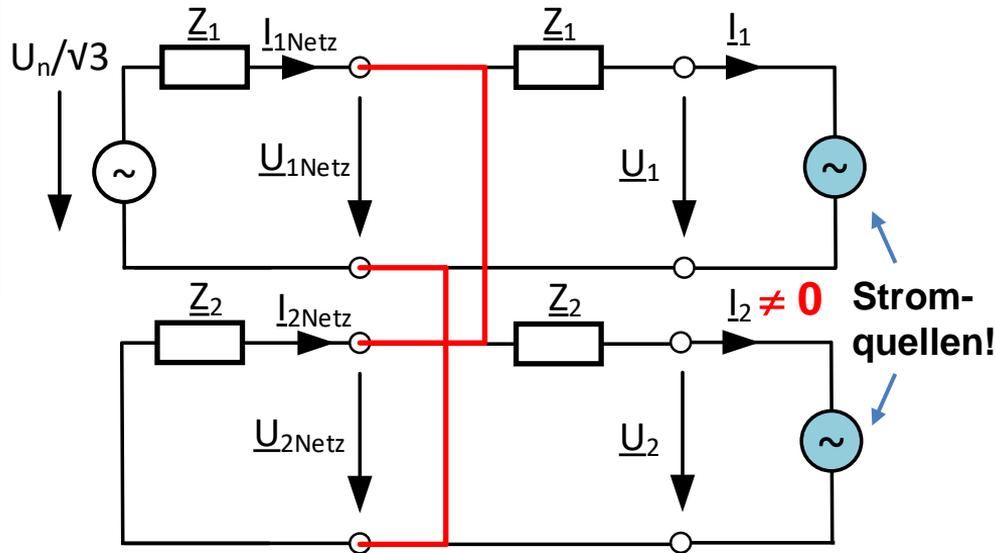


# Netzschutztechnik und dezentrale Erzeugungsanlagen

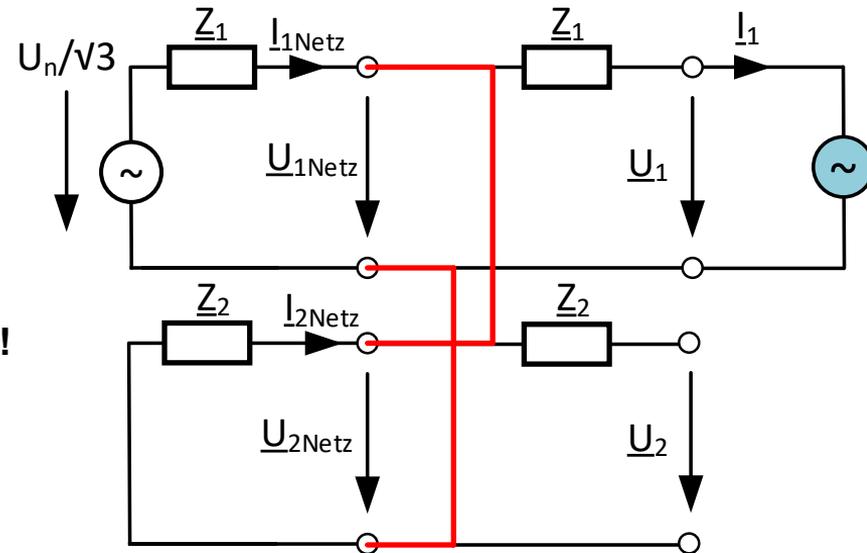
## LVRT-Betrieb: Verhalten von Umrichter gekoppelten DEAs im Kurzschlussfall

### 2p-Kurzschluss – abhängig vom Stand der Vorgaben

VDE-AR-N 4110/4120/4130



MSR2008 / TC2007

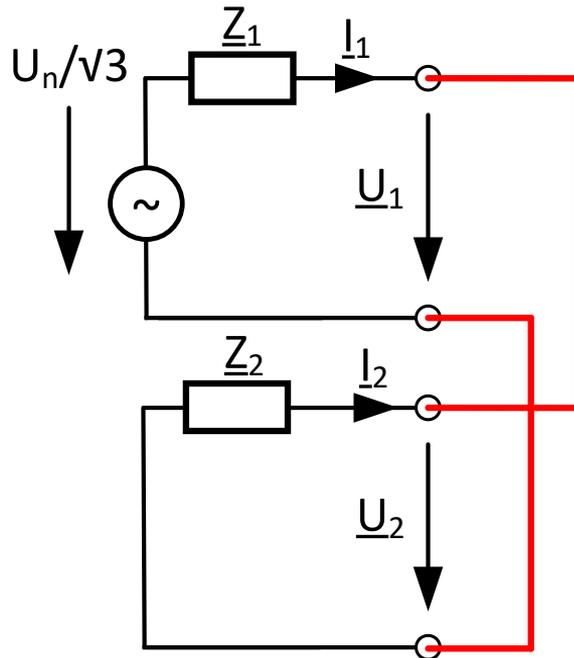


➔ Wie werden die Ströme  $I_1$  und  $I_2$  berechnet ?

# Netzschutztechnik und dezentrale Erzeugungsanlagen

Aus dem Lehrbuch: **Unsymmetrische Netzzustände im 012-System**

**2p-Kurzschluss – Parallelschaltung von Mitsystem und Gegensystem**



für die **Fehlerstelle** gilt:  $\underline{U}_2 = \underline{U}_1$

$\underline{I}_2 = -\underline{I}_1 \Rightarrow$  **180° Phasenverschiebung**

für **anderen Netzknoten** gilt:  $\underline{U}_2 \neq \underline{U}_1$

$\underline{I}_2 \neq -\underline{I}_1 \Rightarrow$  **Phasenverschiebung ???**

**kein allgemeingültiger Ansatz für den Netzanschlusspunkt (NAP) einer DEA**

# Netzschutztechnik und dezentrale Erzeugungsanlagen

## LVRT-Betrieb: Verhalten von Umrichter gekoppelten DEAs im Kurzschlussfall

### VDE-AR-N 4110/4120/4130: Verwendung von **komplexen Größen** (im VZS)

#### 1. Interpretation: „Lehrbuch“

$$\Delta \underline{U}_1 = |\underline{U}_1| - |\underline{U}_1(0)| < 0$$

$$\Delta \underline{U}_2 = |\underline{U}_2| > 0 \quad \angle \underline{I}_2 = \angle \underline{I}_1 + 180^\circ$$

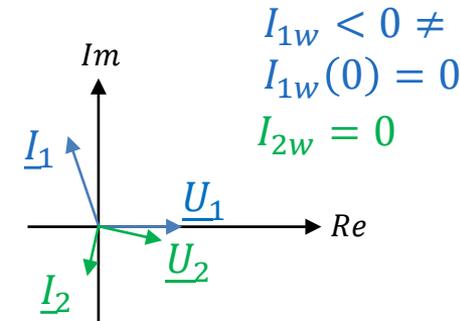
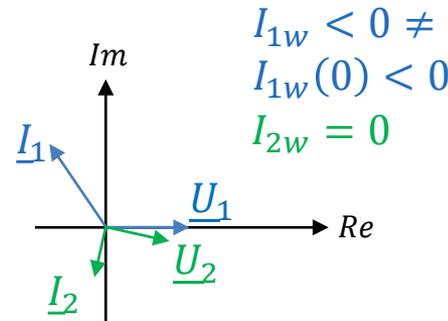
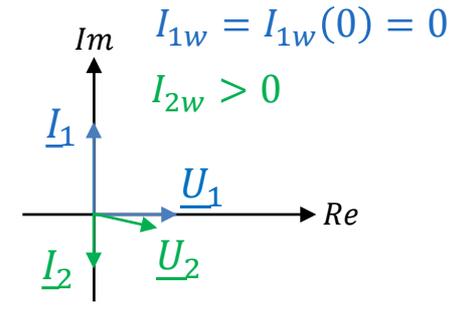
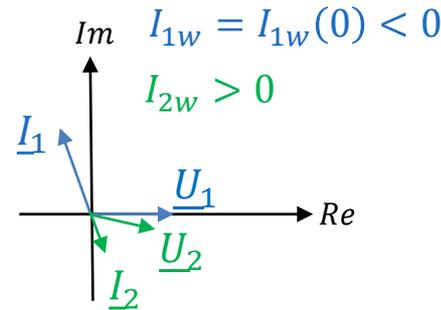
➔ wegen  $I_{2w} > 0$  nicht sinnvoll !!!

#### 2. Interpretation: „Synchrongenerator“

$$\Delta \underline{U}_1 = \underline{U}_1 - \underline{U}_1(0)$$

$$\Delta \underline{U}_2 = \underline{U}_2 \quad \angle \underline{I}_2 = \angle \underline{U}_2 - 90^\circ$$

➔ wegen  $I_{1w} < 0$  bei Dunkelflaute nicht sinnvoll !!!



# Netzschutztechnik und dezentrale Erzeugungsanlagen

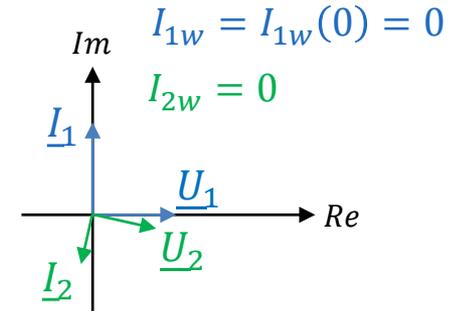
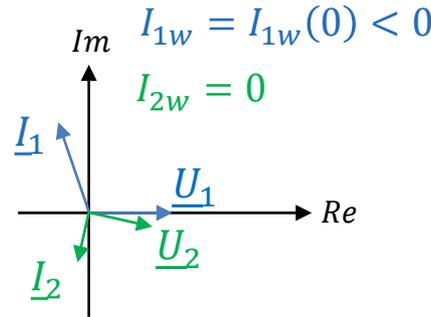
## LVRT-Betrieb: Verhalten von Umrichter gekoppelten DEAs im Kurzschlussfall

VDE-AR-N 4110/4120/4130: Verwendung von **komplexen Größen** (im VZS)

### 3. Interpretation: „Blindleistung“

$$\Delta U_1 = |U_1| - |U_1(0)| < 0$$

$$\Delta U_2 = U_2 \quad \angle I_2 = \angle U_2 - 90^\circ$$



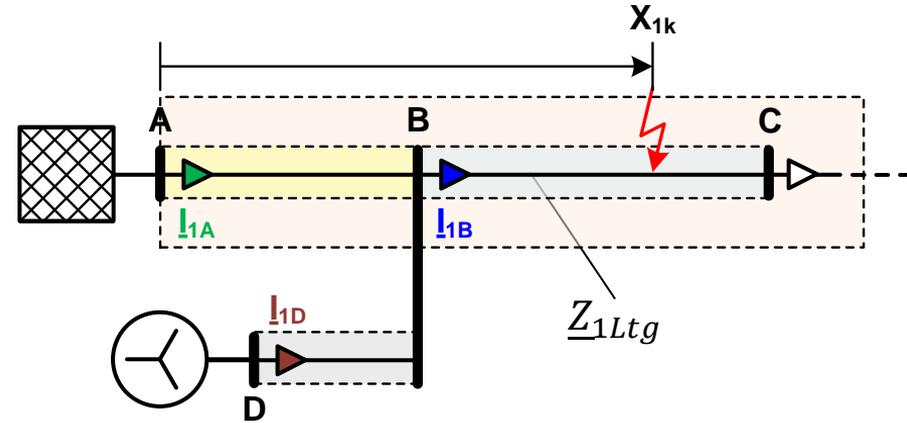
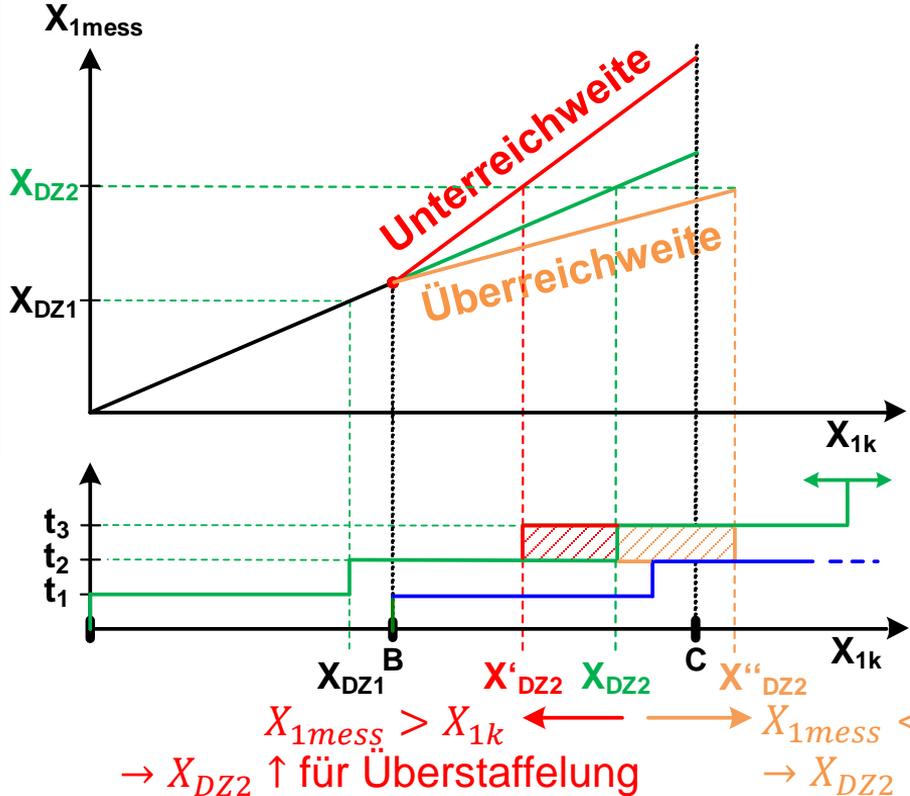
- bildet Synchrongenerator im Kurzschlussfall in guter Näherung ab
- Wirkleistungseinspeisung nur wenn  $I_{1w}(0) < 0$
- nur Blindleistung im Gegensystem, d.h.  $I_{2w} = 0$
- implementiert und validiert durch Netzberechnung mit ATPDesigner

➔ Bei Dunkelflaute kann Blindstrom ohne Wirkstrom eingespeist werden !!!



# Distanzschutz und dezentrale Erzeugungsanlagen

## Reserveschutz A mit Zwischeneinspeisung D beim 3p-Kurzschluss mit $R_F$

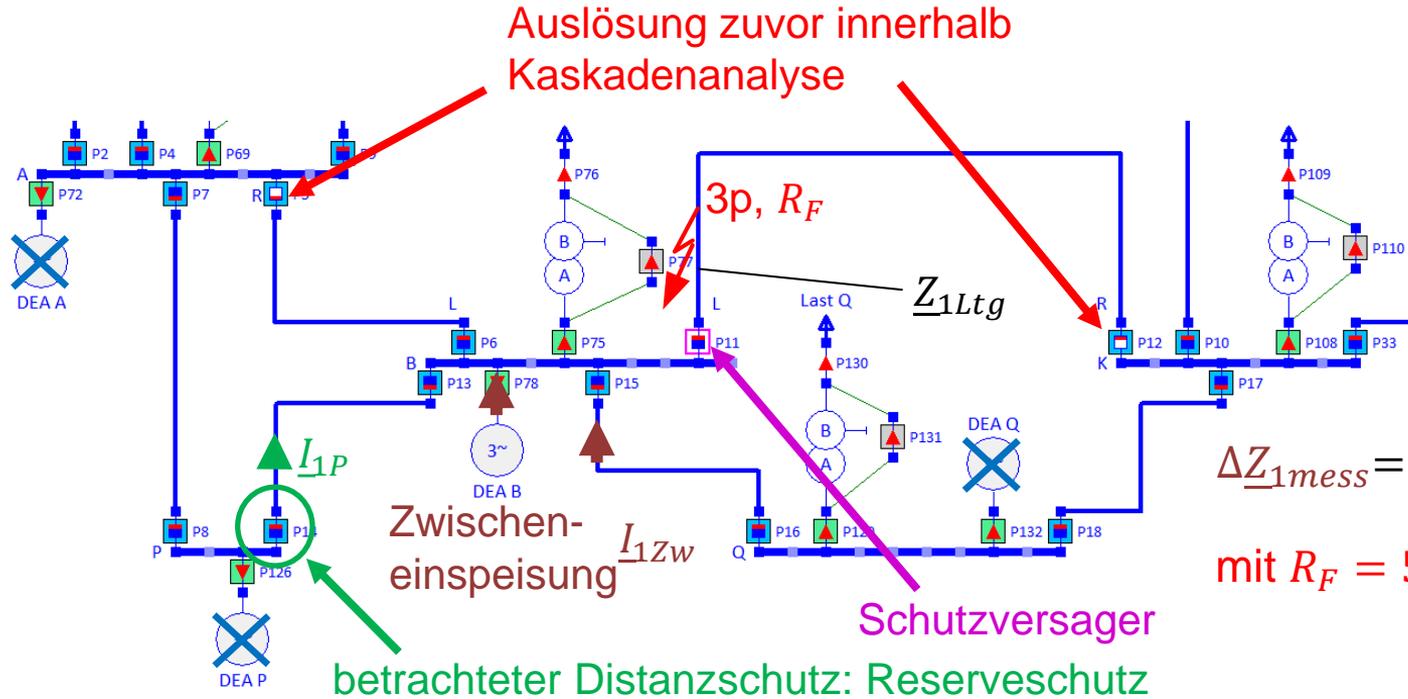


$$\underline{Z}_{1mess,A} = \underline{Z}_{1k} + \Delta\underline{Z}_{1mess,A}$$

$$\Delta\underline{Z}_{1mess,A} = \underline{Z}_{1Ltg} \cdot \frac{I_{1D}}{I_{1A}} + \frac{R_F}{2} \cdot \frac{I_{1D}}{I_{1A}}$$

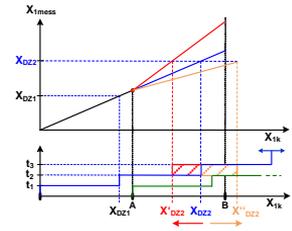
# Distanzschutz und dezentrale Erzeugungsanlagen

## Reserveschutz mit Zwischeneinspeisung im vermaschten 110-kV-Referenznetz



$$\Delta Z_{1mess} = \frac{R_F}{2} \cdot \frac{I_{1ZW}}{I_{1P}} + Z_{1Ltg} \cdot \frac{I_{1ZW}}{I_{1P}}$$

mit  $R_F = 5,5 \Omega$



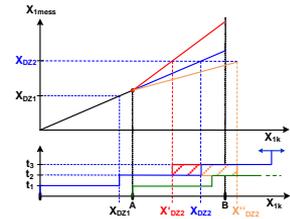
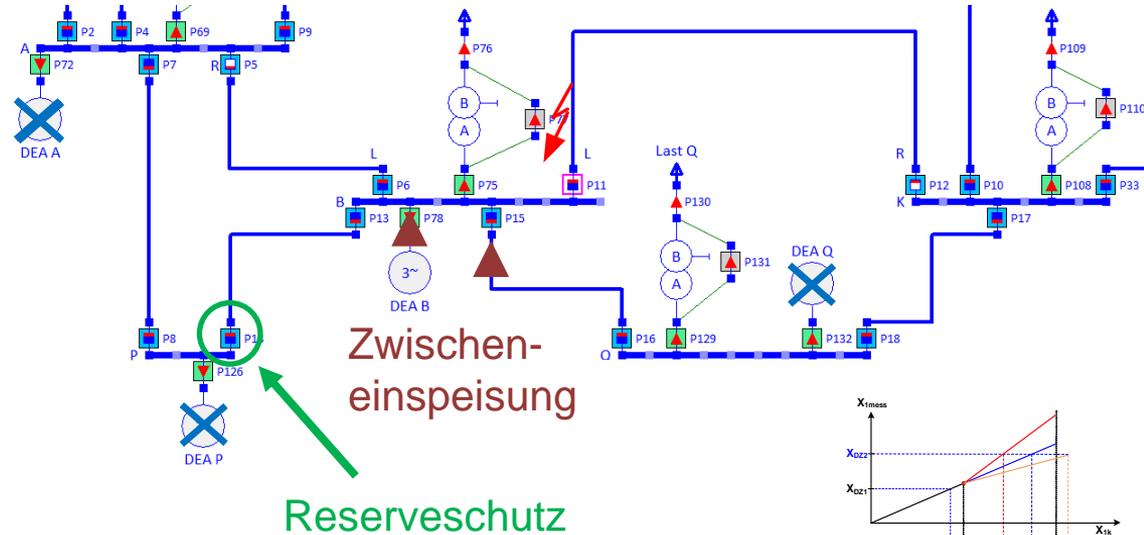
# Distanzschutz und dezentrale Erzeugungsanlagen

## Reserveschutz mit Zwischeneinspeisung im vermaschten 110-kV-Referenznetz

VDE-AR-N 4110/4120/4130: 3p-Kurzschluss mit und ohne  $R_F$

mit $R_F$	$X_{1k}$	$4,4 \Omega$
eine DEA	$X_{1mess}$	$4,1 \Omega$
alle DEAs	$X_{1mess}$	$4,2 \Omega$
ohne DEAs	$X_{1mess}$	$5,0 \Omega$

ohne $R_F$	$X_{1k}$	$4,4 \Omega$
eine DEA	$X_{1mess}$	$5,2 \Omega$
alle DEAs	$X_{1mess}$	$5,2 \Omega$
ohne DEAs	$X_{1mess}$	$5,0 \Omega$



# Distanzschutz und dezentrale Erzeugungsanlagen

## Reserveschutz mit Zwischeneinspeisung im vermaschten 110-kV-Referenznetz

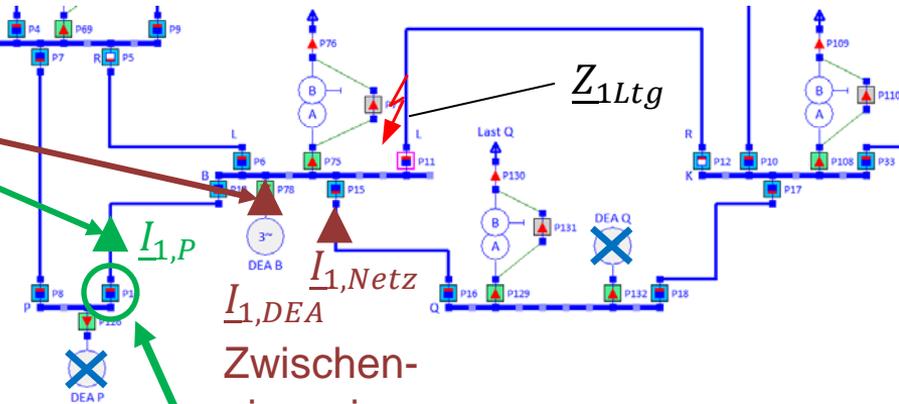
VDE-AR-N 4110/4120/4130: 3p-Kurzschluss mit  $R_F$

$$\Delta Z_{1mess,a} = \frac{R_F}{2} \cdot \frac{I_{1,DEA}}{I_{1,P}} + Z_{1Ltg} \cdot \frac{I_{1,DEA}}{I_{1,P}}$$

$$\Delta Z_{1mess,b} = \frac{R_F}{2} \cdot \frac{I_{1,Netz}}{I_{1,P}} + Z_{1Ltg} \cdot \frac{I_{1,Netz}}{I_{1,P}}$$

$$\varphi_{I_{1,DEA}} - \varphi_{I_{1,P}} = -87,12^\circ$$

$$\varphi_{I_{1,Netz}} - \varphi_{I_{1,P}} = -0,31^\circ$$



mit $R_F$	$X_{1k}$	4,4 $\Omega$
eine DEA	$X_{1mess}$	4,1 $\Omega$
ohne DEAs	$X_{1mess}$	5,0 $\Omega$

**➔ Überreichweite**

**➔ Unterreichweite**

**Reserveschutz**

$I_{1,DEA}$   
 $I_{1,Netz}$   
 Zwischen-  
 einspeisung

# Distanzschutz und dezentrale Erzeugungsanlagen

## Reserveschutz mit Zwischeneinspeisung im vermaschten 110-kV-Referenznetz

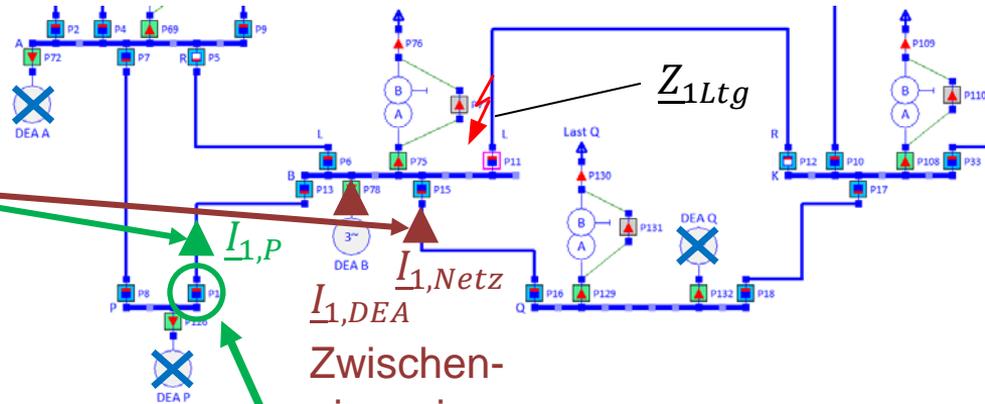
VDE-AR-N 4110/4120/4130: 3p-Kurzschluss mit  $R_F$

$$\Delta Z_{1mess,a} = \frac{R_F}{2} \cdot \frac{I_{1,DEA}}{I_{1,P}} + Z_{1Ltg} \cdot \frac{I_{1,DEA}}{I_{1,P}}$$

$$\Delta Z_{1mess,b} = \frac{R_F}{2} \cdot \frac{I_{1,Netz}}{I_{1,P}} + Z_{1Ltg} \cdot \frac{I_{1,Netz}}{I_{1,P}}$$

$$\varphi_{I_{1,DEA}} - \varphi_{I_{1,P}} = -87,12^\circ$$

$$\varphi_{I_{1,Netz}} - \varphi_{I_{1,P}} = -0,31^\circ$$



mit $R_F$	$X_{1k}$	4,4 $\Omega$
eine DEA	$X_{1mess}$	4,1 $\Omega$
ohne DEAs	$X_{1mess}$	5,0 $\Omega$

⇒ Überreichweite

⇒ Unterreichweite

⇒ Reserveschutz

$I_{1,DEA}$   
 $I_{1,Netz}$   
 Zwischen-  
 einspeisung

# Zeitstaffelschutzplan mit DEAs

## Anforderungen

- Einhalten von **Staffelabständen** zu nachgelagerten Schutzgeräten

➡ **Fehlerortselektivität**

- sichere **Überstaffelung** der zu schützenden Betriebsmittel

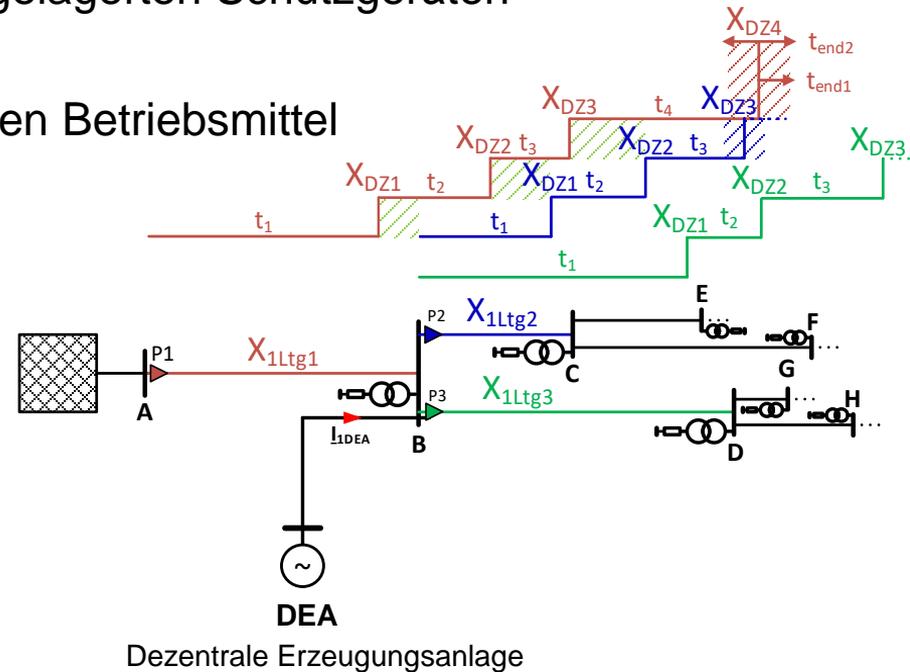
➡ **kurze Auslösezeit**

## Distanzzonen

- Methode der **kürzesten** und **längsten** Folgeleitungen



- Einfluss DEAs



## Zeitstaffelschutzplan mit DEAs

**DEA-Einspeisung**  $I_{\underline{1}}, I_{\underline{2}}$  ( $\rightarrow$  Einfluss auf  $X_{1mess}$ ) im Kurzschlussfall **abhängig von**

- den DEA-Spannungen  $\underline{U}_1, \underline{U}_2$ 
  - den **Impedanzverhältnissen im Netz**
    - dem **Kurzschlussort**
      - der **Kurzschlussart**
- der **Verfügbarkeit eines Wirkstroms**

<b>Kurzschlussart</b>	2-polig	3-polig
<b>Fehlerübergangswiderstand</b>	mit $R_F$	ohne $R_F$
<b>DEA: Wirkstrom verfügbar</b>	$I_{1w,DEA}(0) = I_{rDEA}$	$I_{1w,DEA}(0) = 0 A$

**8 Kurzschluss-  
szenarien  
je Kurzschlussort**

**Ziel:**  $X_{1mess,max}$ ,  $X_{1mess,min}$  und  $R_{1mess,max}$  ?

# Zeitstaffelschutzplan mit DEAs

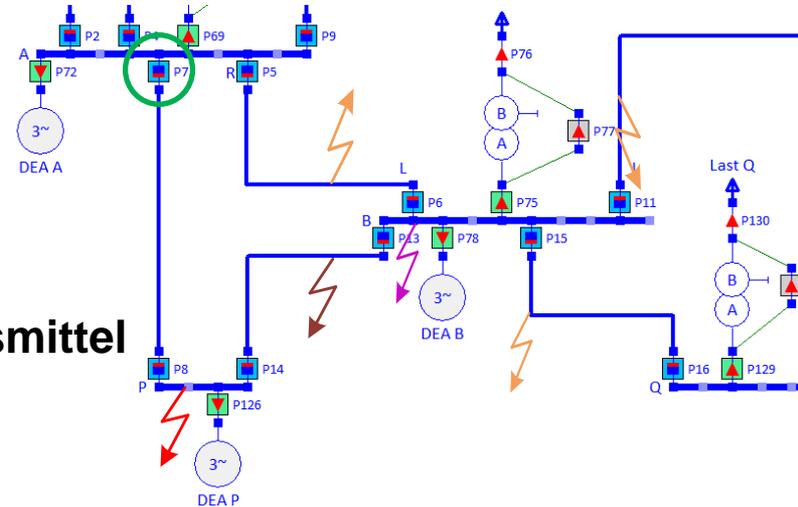
## Konzept für die Prüfung und Anpassung anhand möglichst weniger Kurzschlussorte

- **Fehlerortselektivität**

➔ Staffelabstand zu kleinster gemessenen Reaktanz  $X_{1mess,min}$

- **Überstaffelung der zu schützenden Betriebsmittel**

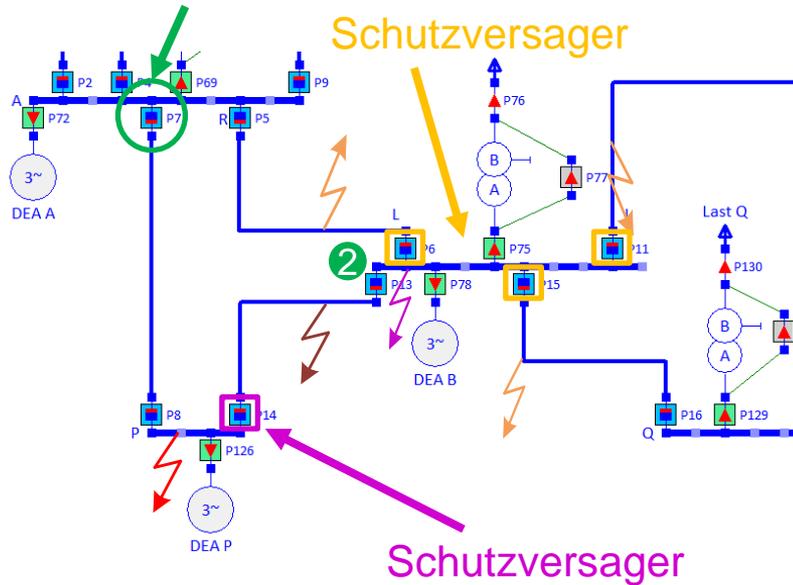
➔ Überstaffelung der größten gemessenen Reaktanz  $X_{1mess,max}$





# Zeitstaffelschutzplan mit DEAs

betrachteter Distanzschutz



⚡	<p><b>3. Distanzzone: Staffelabstand</b> zu den <b>tatsächlichen Kippgrenzen</b> DZ2DZ3 der nachgelagerten Schutzgeräte</p> $X_{DZ3} = f_S \cdot X_{1mess,min}$
⚡	<p><b>4. Distanzzone: Überstaffelung</b> der <b>2. Gegenstation</b></p> $X_{DZ4} = 1,15 \cdot X_{1mess,max}$

Wenn  $X_{DZ4} \leq X_{DZ3}$

➡ 4. Distanzzone kann entfallen

tatsächliche Kippgrenzen/Zonenreichweiten  $\pm 2\%$

für **gegebene Schutzeinstellungen** der nachgelagerten Schutzgeräte werden zuvor **automatisiert** ermittelt (ATPDesigner)

# Zeitstaffelschutzplan mit DEAs

## Zusammenfassung

- **Überreichweite** oder **Unterreichweite** durch DEA-Einspeisung möglich
- **Kurzschlussberechnungen** im Netzberechnungsprogramm an ausgewählten Kurzschlussorten notwendig, dabei
- Kurzschlusszenario mit **größter** und **kleinster gemessener Reaktanz**  
 $X_{1mess,max}$ ,  $X_{1mess,min}$  finden



Sicherstellen von **Staffelabständen** (**Fehlerortselektivität**) und **Überstaffelung** der zu schützenden Betriebsmittel (**kurze Auslösezeiten**)

## Schlusswort

# Verhalten der Anlagen im Kurzschlussfall - genauere Vorgaben für DEAs ?!

### Kontakt

E-Mail: [vanessa.spies@htwsaar.de](mailto:vanessa.spies@htwsaar.de)  
Tel.: +49 681 5867-99024



E-Mail: [michael.igel@htwsaar.de](mailto:michael.igel@htwsaar.de)  
Tel.: +49 681 5867-360  
Mobil: +49 1756452194