

Korrekte Messung der KS-Reaktanz durch einen Distanzschutz bei Zwischen- einspeisung mit Netzstromrichtern

Block 3a – Spezielle Schutzthemen

Prof. Dr.-Ing. Michael Igel

Institut für Elektrische Energiesysteme

Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Saarbrücken

Leiter der Zertifizierungsstelle der kws GmbH, Saarbrücken



23. Februar 2016 v1.2

ETG FNN

**e oesterreichs
energie.**

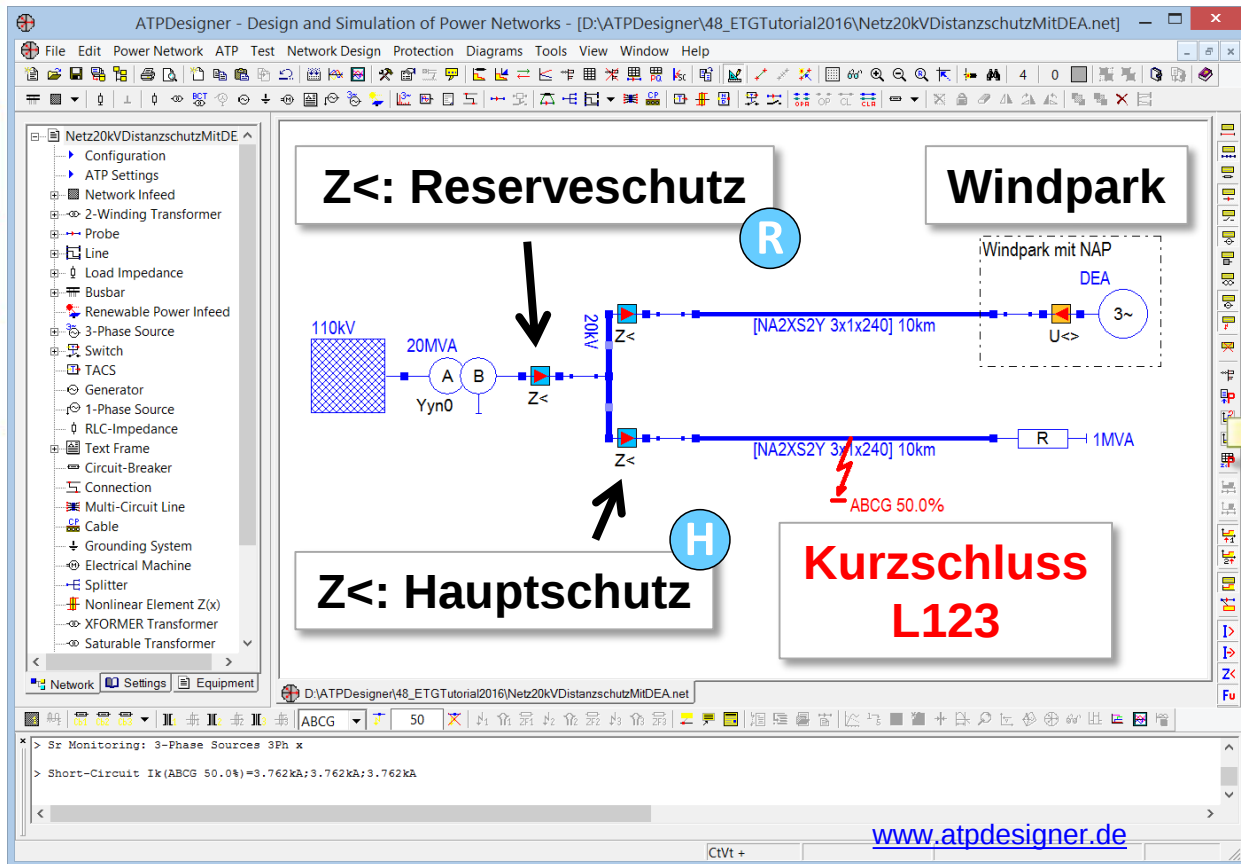
OVE OGE
Energietechnik

ETC
Electronica

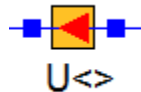
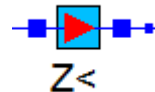
VS
Λ S

VDE

Distanzschutz – Selektivschutz durch Impedanzmessung



- Windpark speist in 20kV-Netz ein
 - Distanzschutz Z< als Haupt- und Reserveschutz
- Szenario:**
3-poliger Kurzschluss **ABCG** im unteren Abgang

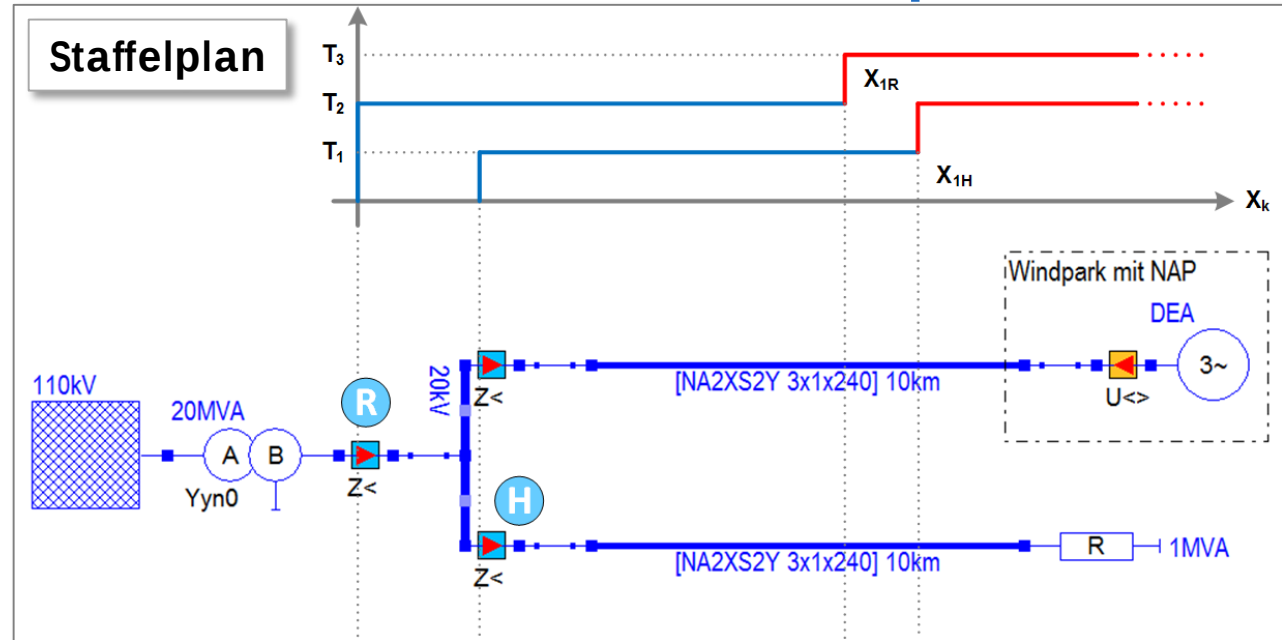


Distanzschutz U<>-Schutz

Distanzschutz – Erstellen des Schutzkonzeptes

R Reserveschutz

H Hauptschutz



- Selektivschutz durch 2 Impedanzzonen je **Distanzschutz Z<**
- Bemessung der Einstellwerte des Polygons **ohne** DEA

➡ **Staffelfaktor: $f_s = 85\%$ für die polygonale Impedanzkennlinie**

Distanzschutz – Auslegung des Zeitstaffelplans

■ H 2 Zonen Hauptschutz

$$X_1 = 0,85 \cdot X_{1L1}$$

$$T_1 = 50ms$$

$$X_2 = 1,2 \cdot X_{1L1}$$

$$T_2 = 300ms$$

■ R 2 Zonen Reserveschutz

$$X_1 = 0,85 \cdot X_{1L1} - \Delta X$$

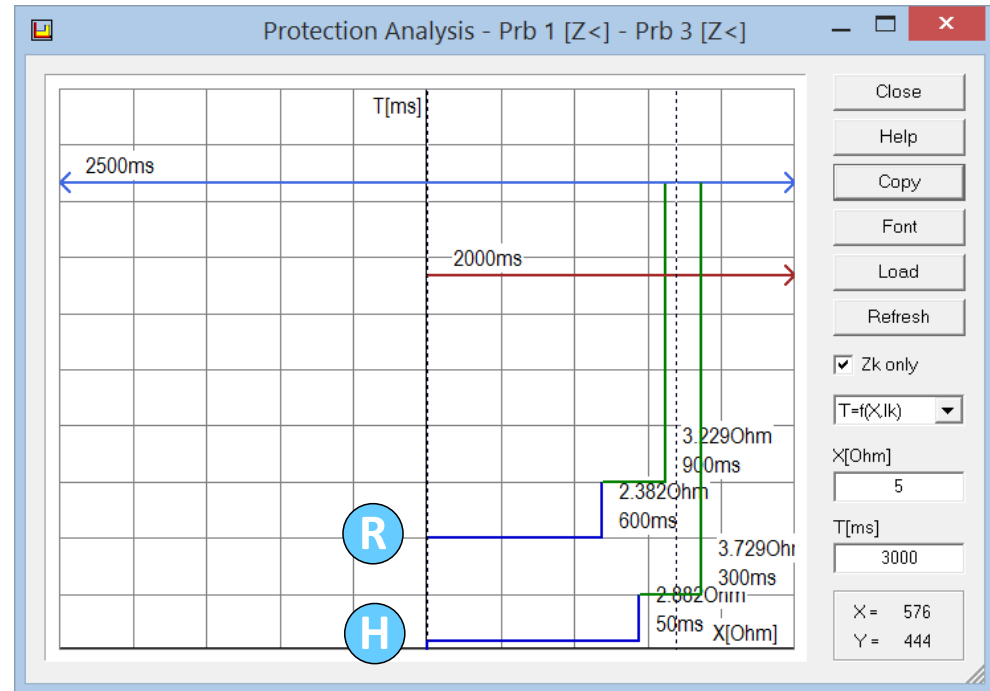
$$T_1 = 600ms$$

$$X_2 = 1,2 \cdot X_{1L1} - \Delta X$$

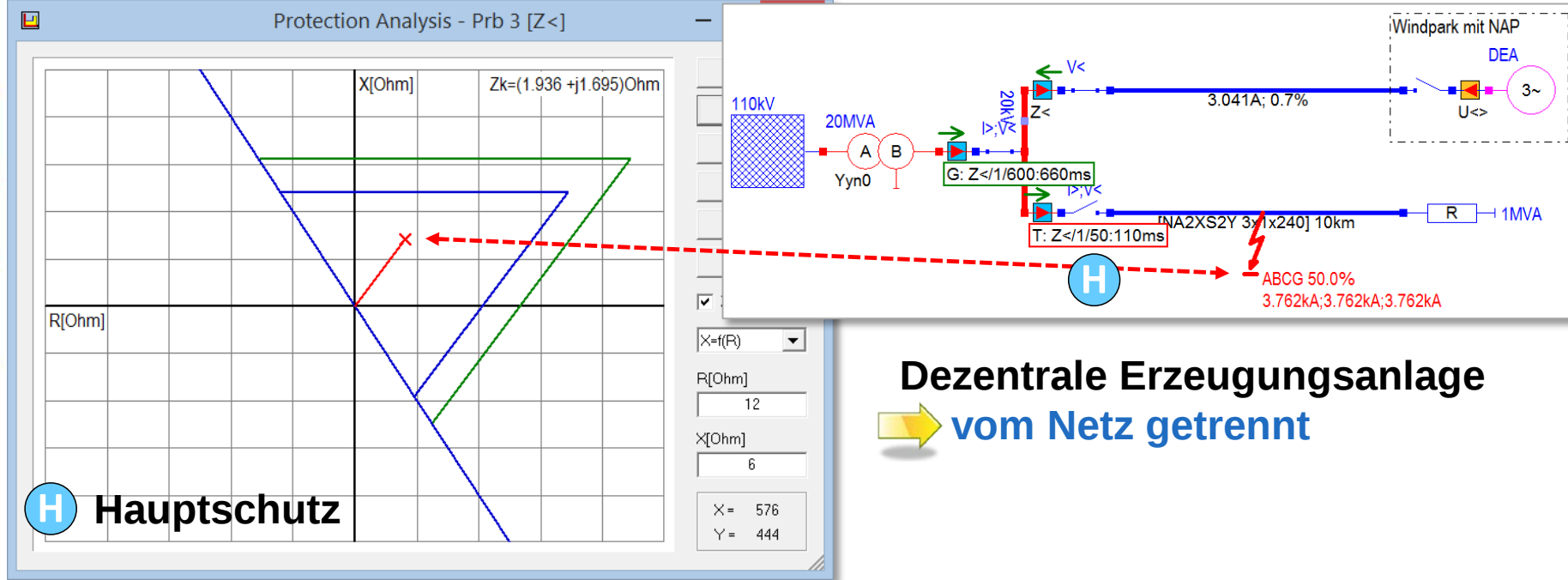
$$T_2 = 900ms$$

■ Endzeitstufen

- **gerichtet** = 2s, **ungerichtet** = 2,5s



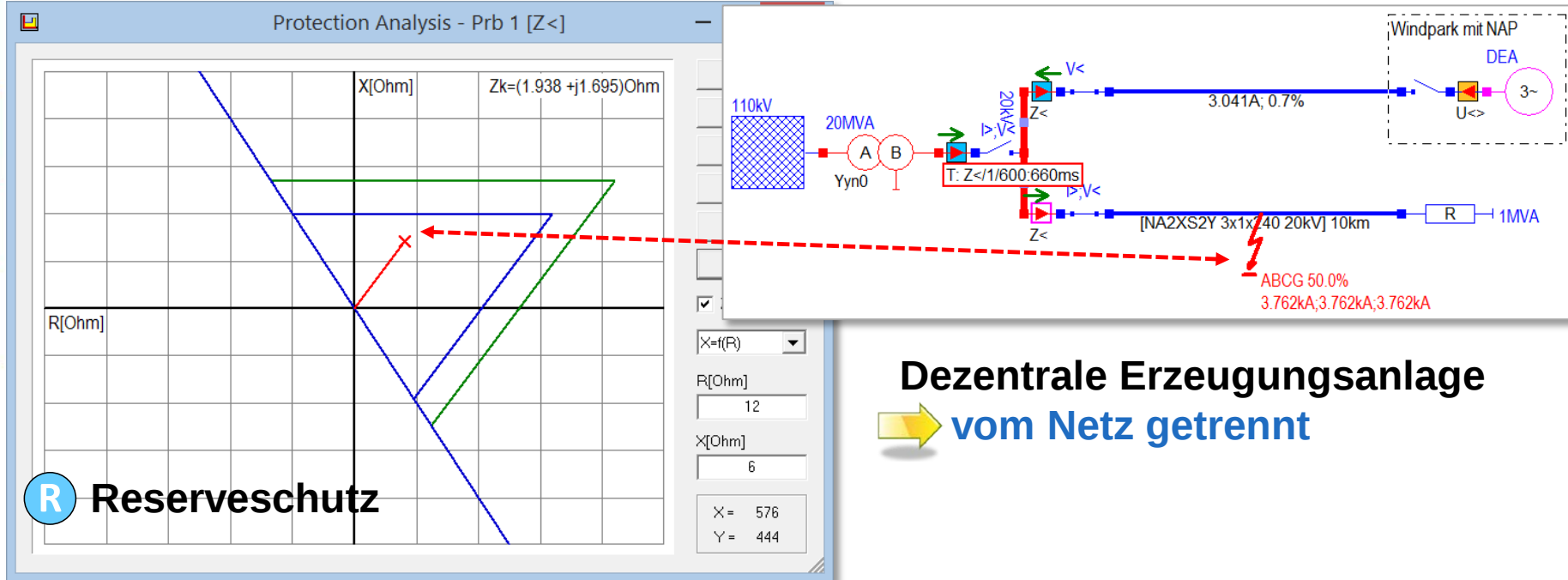
Distanzschutz – Überprüfung des Schutzkonzeptes



Dezentrale Erzeugungsanlage
vom Netz getrennt

- Polygonale Auslösekennlinien des **Hauptschutzes Z<**
 - Zeiger der gemessenen **Kurzschlussimpedanz $\underline{Z}_k$**
- ➔ **Selektives AUS-Kommando in $T_1 = 50ms$ ✓**

Distanzschutz – Überprüfung des Schutzkonzeptes



**Dezentrale Erzeugungsanlage
vom Netz getrennt**

- Polygonale Auslösekennlinien des **Reserveschutzes Z<**
 - Überprüfung der Selektivität bei **Schutzversager des Hauptschutzes**
- ➡ **AUS-Kommando des Reserveschutzes in $T_1 = 600\text{ms}$ ✓**

Distanzschutz – Überprüfung des Schutzkonzeptes

■ H 2 Zonen Hauptschutz

$$X_1 = 0,85 \cdot X_{1L1}$$

$$T_1 = 50ms$$

$$X_2 = 1,2 \cdot X_{1L1}$$

$$T_2 = 300ms$$

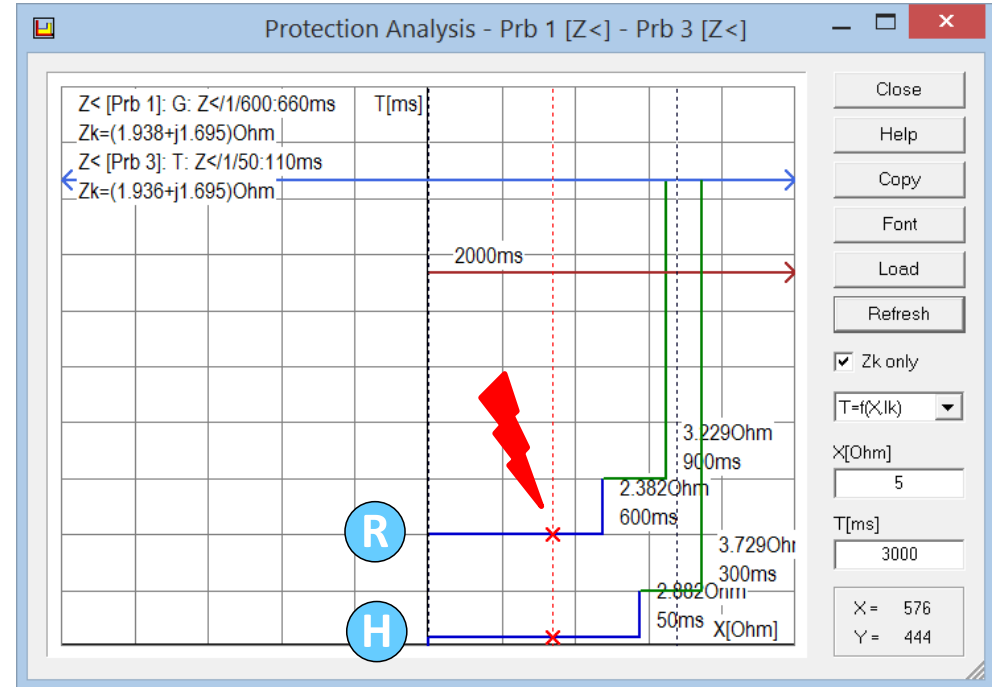
■ R 2 Zonen Reserveschutz

$$X_1 = 0,85 \cdot X_{1L1} - \Delta X$$

$$T_1 = 600ms$$

$$X_2 = 1,2 \cdot X_{1L1} - \Delta X$$

$$T_2 = 900ms$$



➡ Selektivität Fehlerort ✓

LVRT-Betrieb einer dezentralen Erzeugungsanlage

- Grundlage: Mittelspannungsrichtlinie (MSR2008)
- Erkennung eines Kurzschlusses durch $U < U_n$ - Überwachung

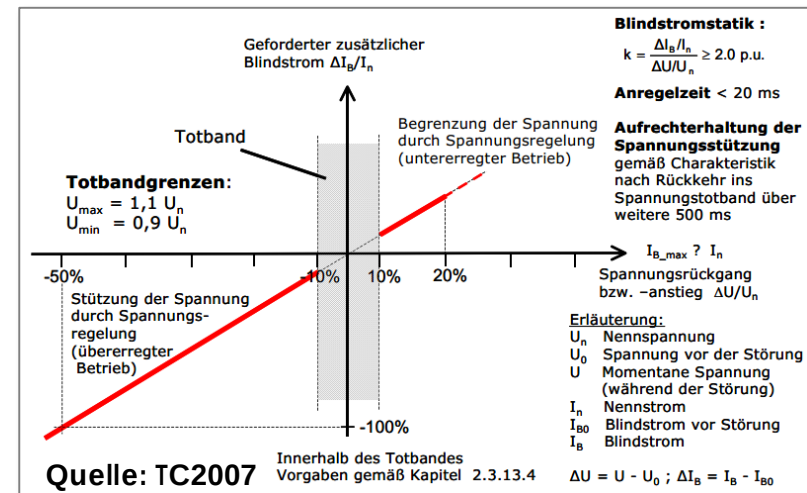
➔ **Wirkleistungseinspeisung: Keine Vorgaben**

➔ **Blindstromeinspeisung: Stützung der Netzspannung**

- Vorgaben in z.B. SDLWindV, TC2007

- Festlegung **Blindstromstatik k** abhängig von der Kurzschluss-
spannung und dem Blindstrom vor
Kurzschlusseintritt

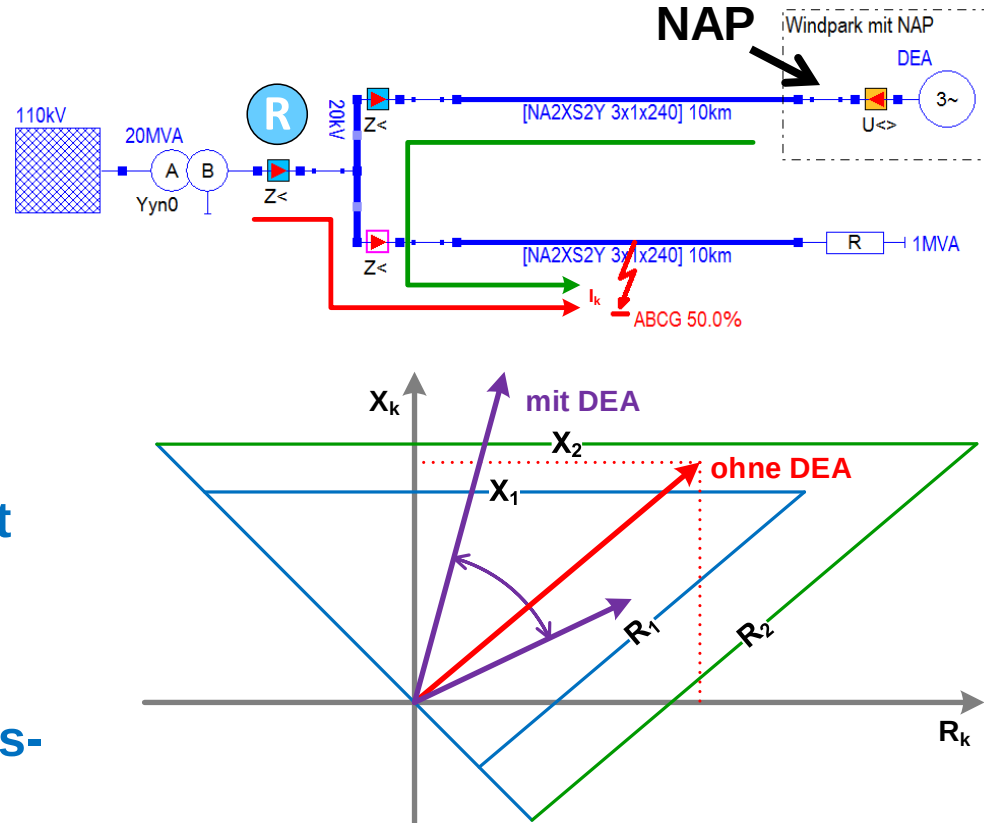
$$k = \frac{\Delta I_B / I_n}{\Delta U / U_n}$$



Zwischeneinspeisung – Verfälschung der $\underline{Z}_k$ - Messung

- Reserveschutz $\textcircled{R}$ in der Einspeisung kann den **KS-Beitrag der DEA** nicht einmessen.
- KS-Impedanz $\underline{Z}_k$ mit DEA wird falsch eingemessen

➔ **Problem: KS-Klärung erfolgt NICHT entfernungsselektiv abhängig von Blindstromstatik k und Kurzschlussspannung am Netzanschlusspunkt (NAP).**



Generator und Netzstromrichter – Analyse und Potenziale

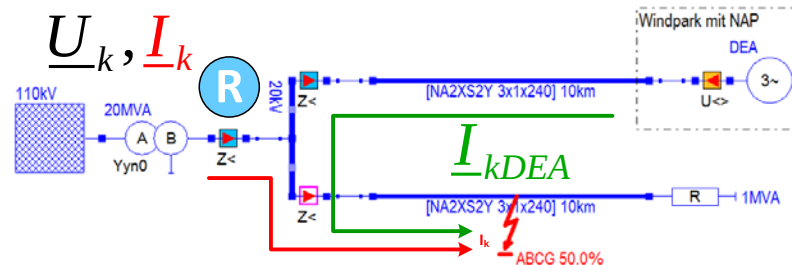
KS-Verhalten	Synchrongenerator	DEA Netzstromrichter
Netzphysikalische Wirkung am Netzanschlusspunkt (NAP) $I_k = I_{kW} + j \cdot I_{kB}$	Spannungsquelle → KS-Strom I_k'' wird durch X'' begrenzt → $I_k'' = 2..15 \cdot I_{rG}$	Stromquelle → KS-Strom durch Netzstromrichter begrenzt → $I_k'' = 1..1,4 \cdot I_{rDEA}$
	Blind- und Wirkanteil durch Netzphysik bestimmt	Blind- und Wirkanteil durch Software bestimmt
Potenziale	Verhältnis I_{kB}/I_{kW} nicht einstellbar	Verhältnis I_{kB}/I_{kW} per Software einstellbar → Verschiebungsfaktor $\cos\varphi$

Zwischeneinspeisung – netzphysikalische Analyse

- **Reserveschutz:** Messung von $\underline{U}_k$, $\underline{I}_k$ am Messort, nicht von $\underline{I}_{kDEA}$
- Berechnung der KS-Impedanz $\underline{Z}_k$ im Mitsystem
- Vergleich mit der Mitimpedanz $\underline{Z}_1$ der Leitung

$$\underline{U}_k = (\underline{I}_k + \underline{I}_{kDEA}) \cdot \underline{Z}_1 \quad \Rightarrow \quad \underline{Z}_k = \frac{\underline{U}_k}{\underline{I}_k} = \underline{Z}_1 + \left(\frac{\underline{I}_{kDEA}}{\underline{I}_k} \right) \cdot \underline{Z}_1$$

- Der **Zwischeneinspeisestrom** $\underline{I}_{kDEA}$ verfälscht die KS-Messung.



Analyse der Verfälschung $\Delta \underline{Z} = f(\underline{I}_{kDEA}, \underline{I}_k, \underline{Z}_1)$

- Gibt es eine Möglichkeit, die Verfälschung zu kompensieren ?

$$\underline{Z}_k = \frac{\underline{U}_k}{\underline{I}_k} = (R_1 + jX_1) + \frac{\underline{I}_{kDEA} \cdot \underline{Z}_1}{\underline{I}_k} \stackrel{!}{=} R_k + jX_k$$

- KS-Reaktanz X_k wird verwendet, den KS-Ort einzumessen.

▪ Idee: $\text{Im} \left(\frac{\underline{I}_{kDEA} \cdot \underline{Z}_1}{\underline{I}_k} \right) = \Delta X \stackrel{!}{=} 0 \quad \Rightarrow \quad \underline{Z}_k = R_1 + \Delta R + jX_1$

↖
Lichtbogenreserve

$$\text{Im} \left(\frac{\underline{I}_{kDEA} \cdot \underline{Z}_1}{\underline{I}_k} \cdot e^{j(\varphi_{DEA} + \varphi_{Z1} - \varphi_{Ik})} \right) \stackrel{!}{=} 0$$

Analyse der Verfälschung $\Delta \underline{Z} = f(\underline{I}_{kDEA}, \underline{I}_k, \underline{Z}_1)$

- „Lichtbogenreserve“ für die dezentrale Erzeugungsanlage

$$\Delta X = 0 \quad \text{wenn} \quad \varphi_{DEA} + \varphi_{Z1} - \varphi_{Ik} \stackrel{!}{=} 0$$

- Daraus folgt die Vorgabe für die dezentrale Erzeugungsanlage:
 - Im LVRT-Modus muss ein Kurzschlussstrom $\underline{I}_{kDEA}$ mit einem definierten Verschiebungsfaktor $\cos \varphi_{DEA}$ eingespeist werden.

$$\varphi_{DEA} = \varphi_{Ik} - \varphi_{Z1}$$



$$\cos \varphi_{DEA} = \cos(\varphi_{Ik} - \varphi_{Z1})$$



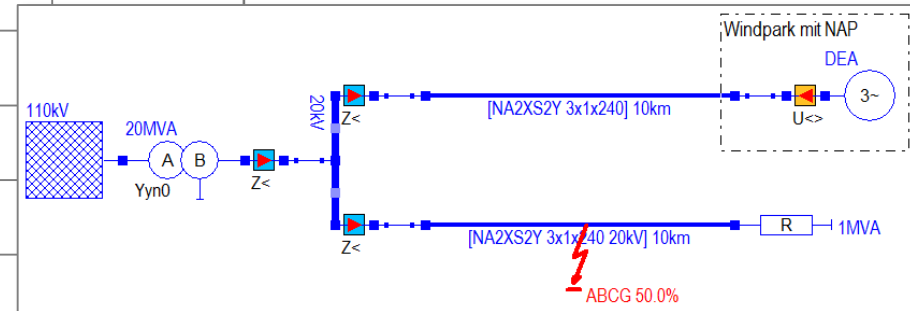
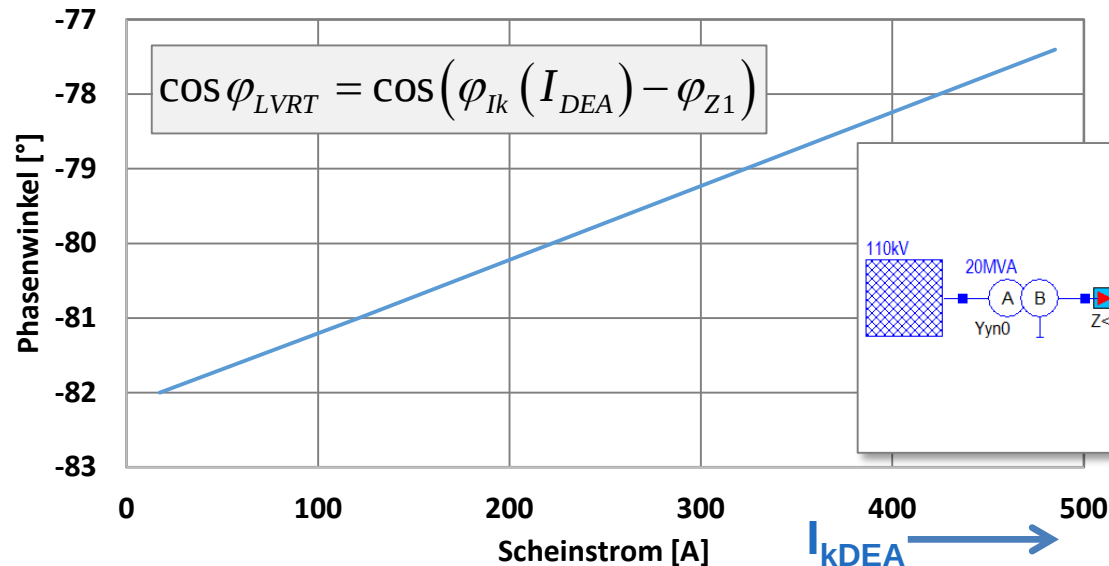
Der neue LVRT-Modus:

KS-Beitrag $\underline{I}_{kDEA}$ hat einen netzabhängigen Verschiebungsfaktor.

Neuer LVRT-Modus mit Verschiebungsfaktor $\cos\varphi_{LVRT}$

- Die fluktuierende Stromeinspeisung der DEA verändert die Phasenwinkel der Netzspannungen und den **Phasenwinkel φ_{Ik} des KS-Stromes I_k am Messort des Distanzschutzes.**

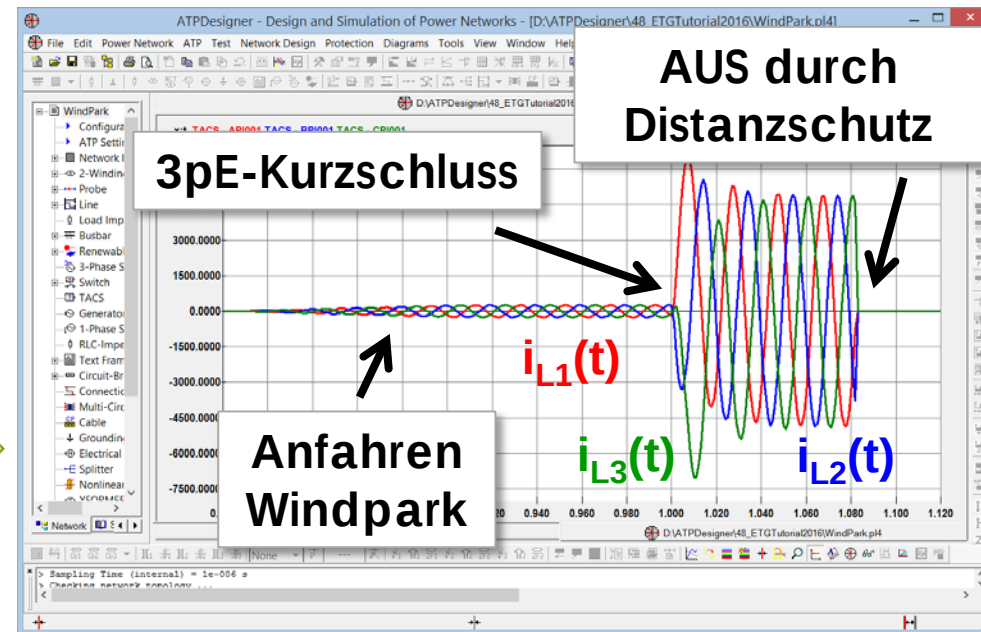
Verschiebungswinkel in Abhängigkeit des Stromes



Neuer LVRT-Modus mit Verschiebungsfaktor $\cos\varphi_{\text{LVRT}}$

Der Praxistest im Labor

- Implementierung in ein MSR2008-konformes Modell einer DEA im Netzberechnungsprogramm ATPDesigner (www.atpdesigner.de)
- Berechnung der dynamischen Netzvorgänge
- DEA-Modell mit neuem LVRT-Modus $\cos\varphi_{\text{LVRT}}$
- Generisches Modell eines Distanzschutzes
- Kurzschlussströme am Netzanschlusspunkt (NAP) 

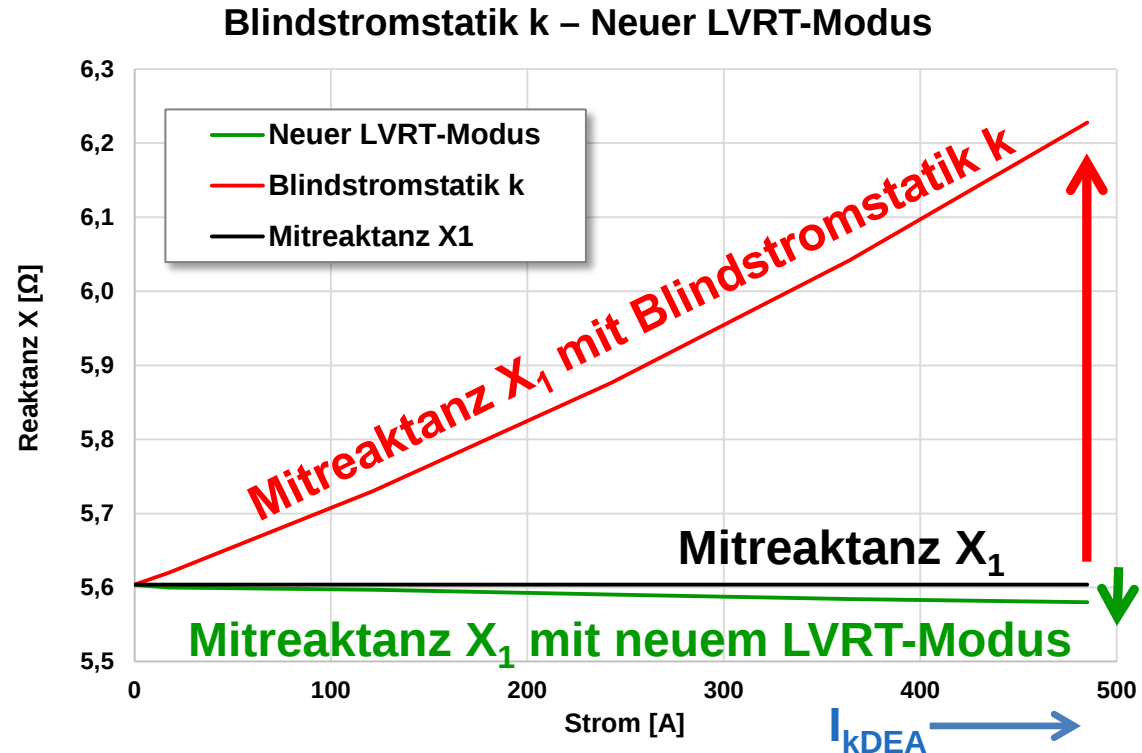


Neuer LVRT-Modus mit Verschiebungsfaktor $\cos\varphi_{\text{LVRT}}$

Der Praxistest im Labor

- Referenzwert:
Mitreaktanz X_1
- Verfälschung der gemessenen KS-Reaktanz X_k ist deutlich geringer

➡ Fehlerortselektivität ist erheblich verbessert.



Neuer LVRT-Modus mit Verschiebungsfaktor $\cos\varphi_{\text{LVRT}}$

Vorteile

- KS-Reaktanz X_k korrekt → **Verbesserte Fehlerortselektivität** ✓
- KS-Resistanz R_k verfälscht → Behandlung wie Lichtbogenreserve
- Dezentrale Erzeugungsanlage (DEA):
 - Nur eine einfache lineare $\cos\varphi_{\text{LVRT}}$ – Kennlinie in der DEA erforderlich
 - Kein Datenaustausch (Kommunikation) DEA - Distanzschutz erforderlich

Nachteile

- Die $\cos\varphi_{\text{LVRT}}$ - Kennlinie muss netzabhängig ermittelt werden.
- Der DEA-Scheinstrom I_{rDEA} kann i.a. Regel nicht zu 100% als Blindstrom eingespeist werden, da der Verschiebungsfaktor $\cos\varphi_{\text{LVRT}}$ eingehalten werden muss.

Neuer LVRT-Modus mit Verschiebungsfaktor $\cos\varphi_{\text{LVRT}}$

Zusammenfassung

- Das Verhalten von dezentralen Erzeugungsanlagen mit Netzstromrichtern wird nicht nur durch Netzphysik sondern auch durch Software definiert.

➡ Damit kann die DEA ein Netzschutz verträgliches Verhalten zeigen.

- Der Beitrag zeigt ein Verfahren, wie DEA die Arbeitsweise des Netzschutzes unterstützen können und die Fehlerortselektivität bei Zwischeneinspeisung deutlich verbessert wird.

➡ Ein „uraltet“ Problem der Netzschutztechnik wird durch Netzstromrichter gelöst.

- Der vorliegende Beitrag ist im Rahmen des Verbundvorhabens „ProFuDiS - Schutzsysteme für die Verteilungsnetze der Zukunft“ entstanden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages