

Beitrag der Sternpunktbehandlung zur Versorgungsqualität

Fickert, Hufnagl

11.2.2016

Definition Grundlagen

Versorgungsqualität

(Quality of Supply)

=

Versorgungssicherheit

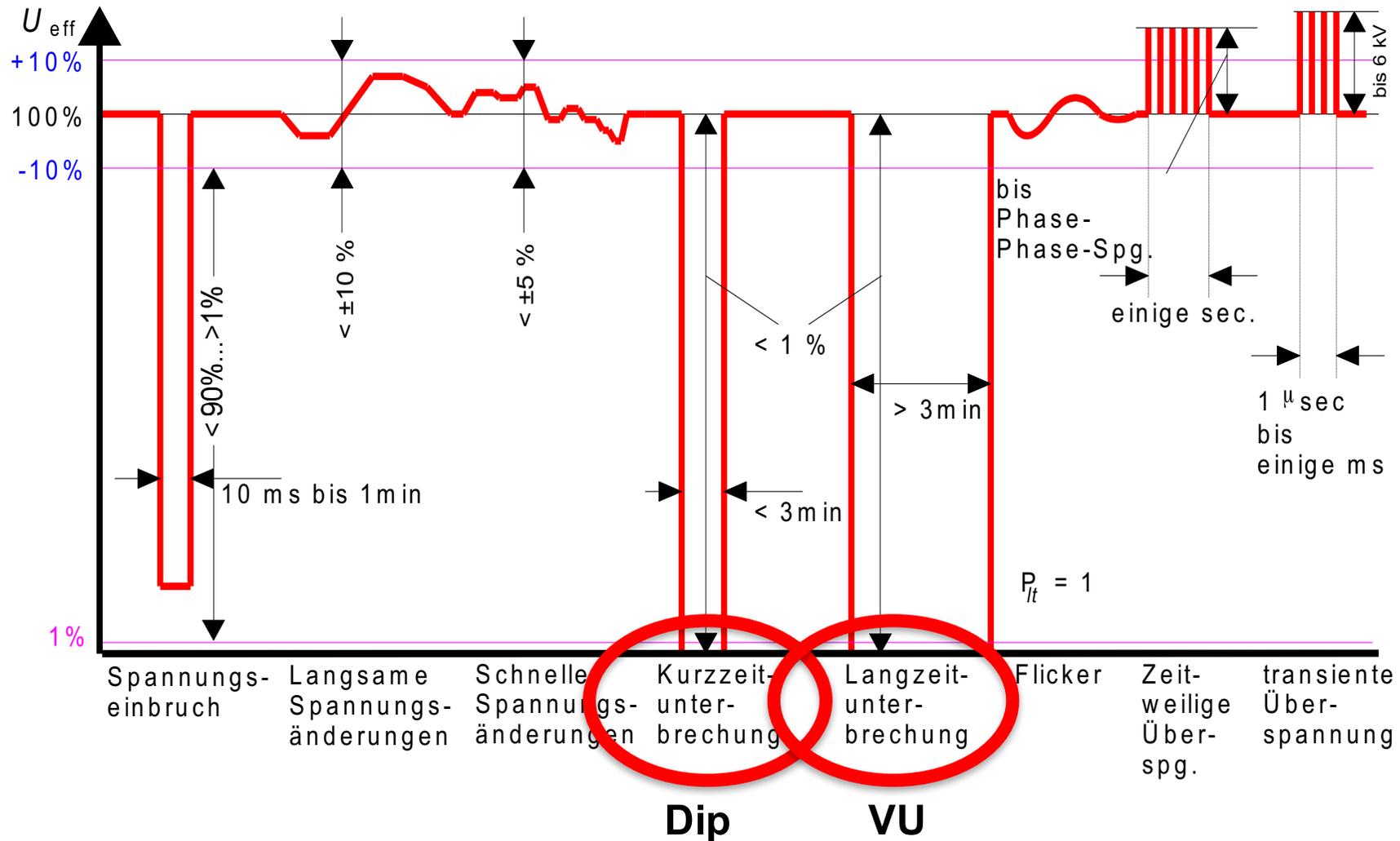
(Continuity, Reliability of Supply)

&

Spannungsqualität)

(Voltage Quality)

& Quality of Service



	Unterbrechungshäufigkeit (SAIFI)	Nichtverfügbarkeit (SAIDI)	Unterbrechungsdauer (CAIDI)
Kunden	$\frac{\sum_j n_j}{N_s}$	$\frac{\sum_j n_j g t_j}{N_s}$	$\frac{\sum_j n_j g t_j}{\sum_j n_j}$
Leistung	$\frac{\sum_j l_j}{L_s}$	$\frac{\sum_j l_j g t_j}{L_s}$	$\frac{\sum_j l_j g t_j}{\sum_j l_j}$
Stationen	$\frac{\sum_j s_j}{S_s}$	$\frac{\sum_j s_j g t_j}{S_s}$	$\frac{\sum_j s_j g t_j}{\sum_j s_j}$

n_j Anzahl der unterbrochenen Kunden

s_j Anzahl der Netzstationen die unterbrochene Kunden versorgen

N_s Gesamtzahl der versorgten Kunden

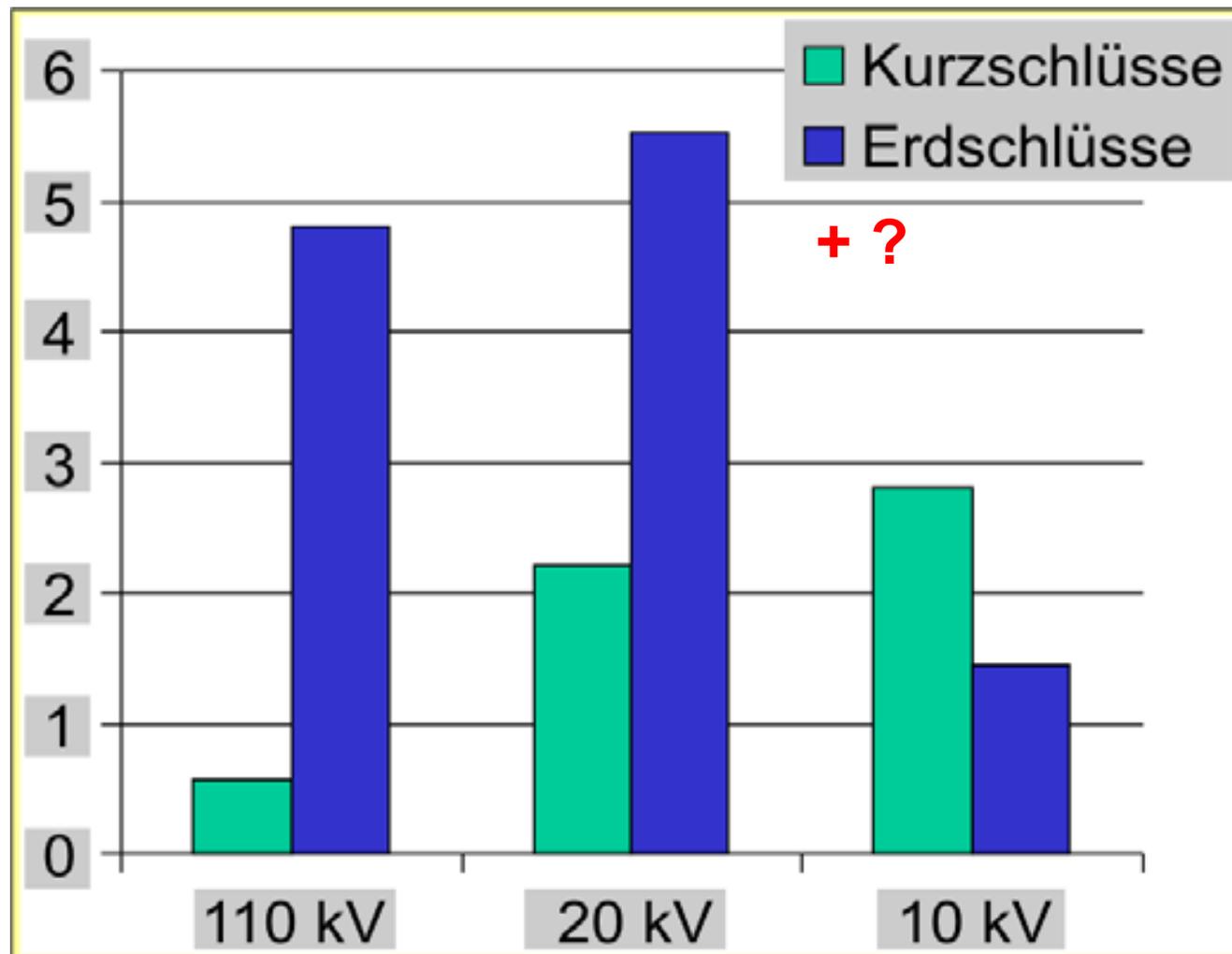
S_s Gesamtzahl der Netzstationen

l_j Leistung der unterbrochenen Kunden

t_j Unterbrechungsdauer für j-Kundengruppen

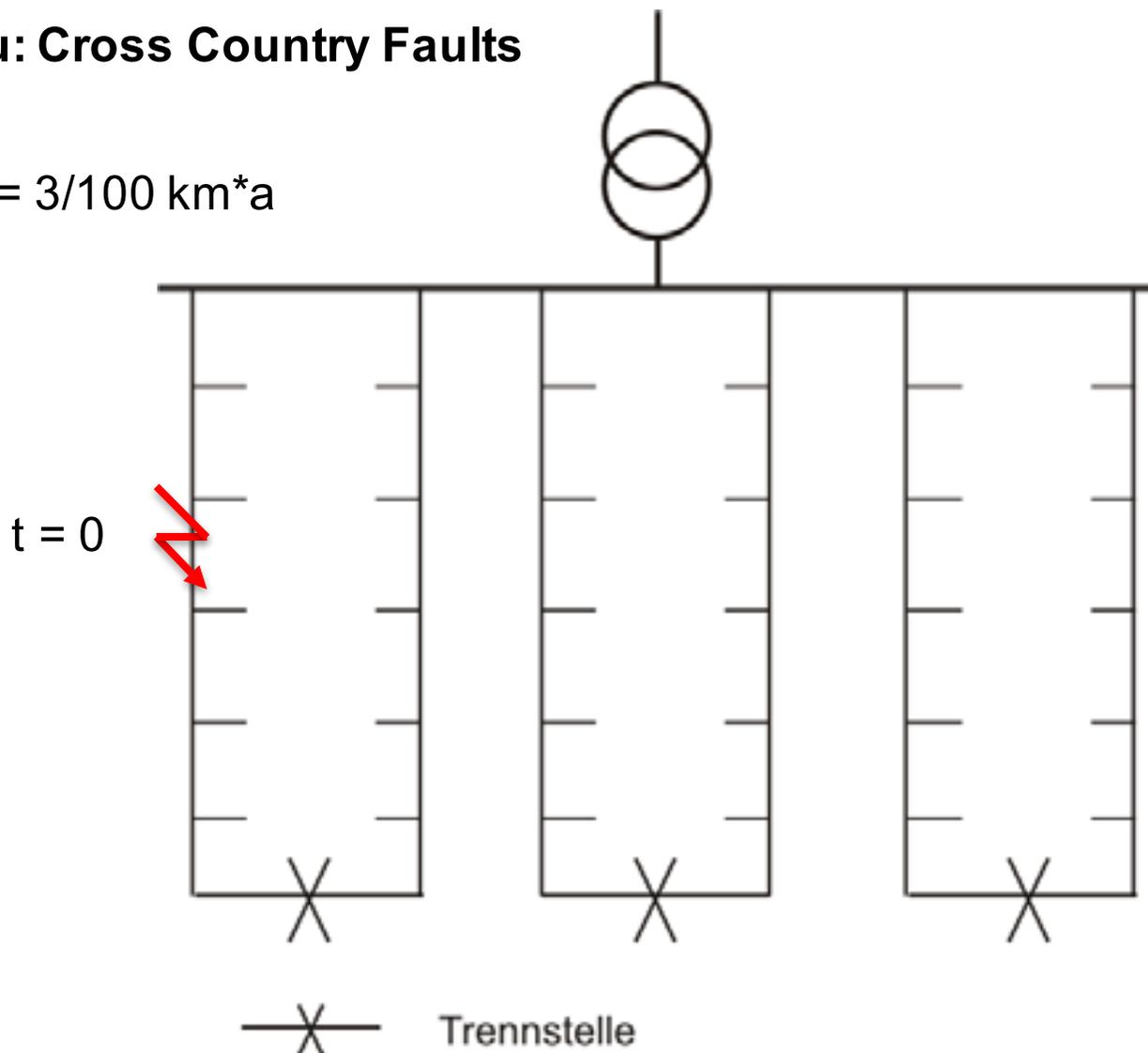
L_s gesamte installierte Leistung

Netzfehler pro 100 km und Jahr



Neu: Cross Country Faults

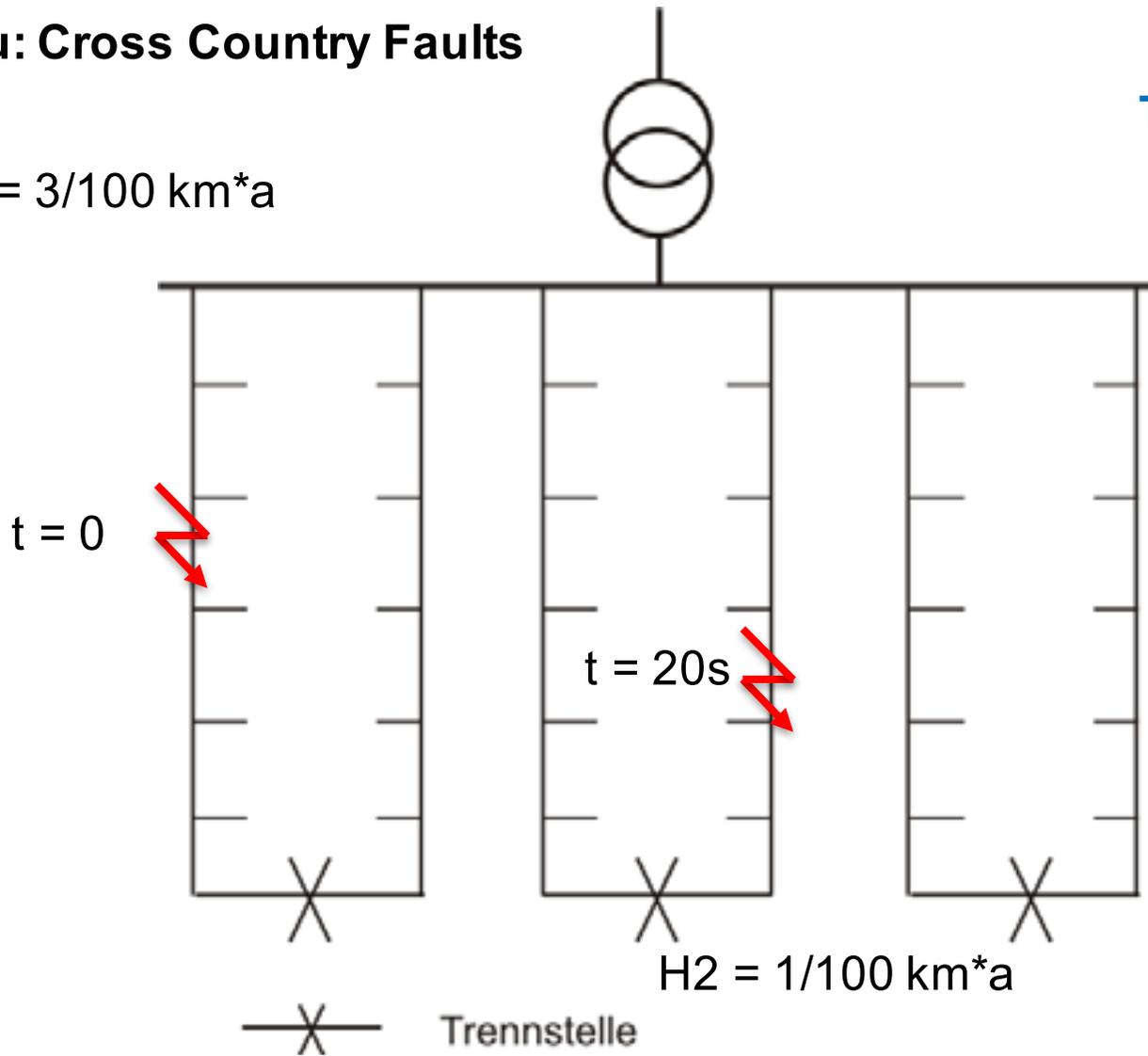
$$H1 = 3/100 \text{ km} \cdot a$$



Neu: Cross Country Faults

$H1 = 3/100 \text{ km} \cdot a$

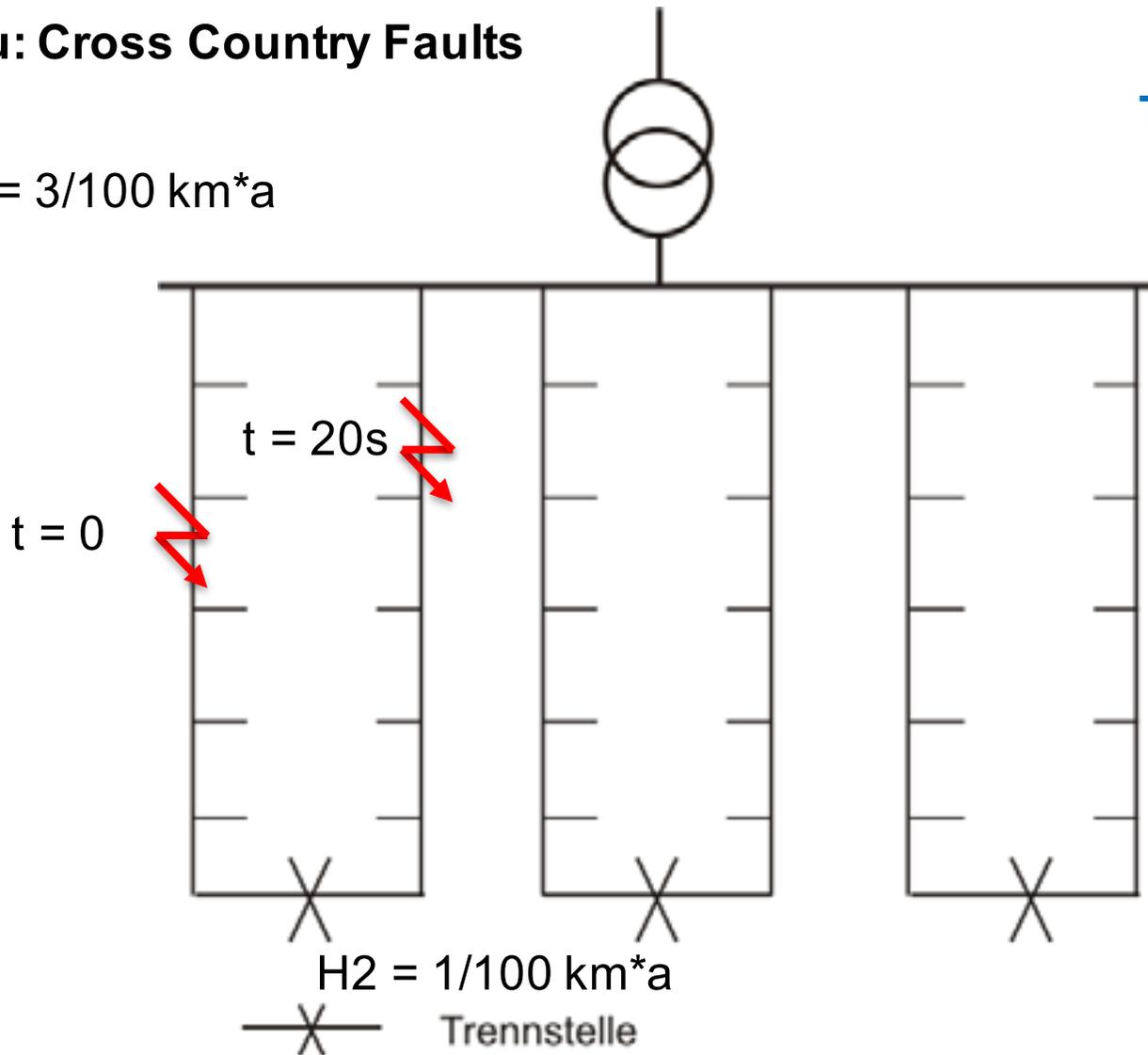
$$T = T_N \cdot (U/U_N)^{-14}$$



Neu: Cross Country Faults

H1 = 3/100 km*a

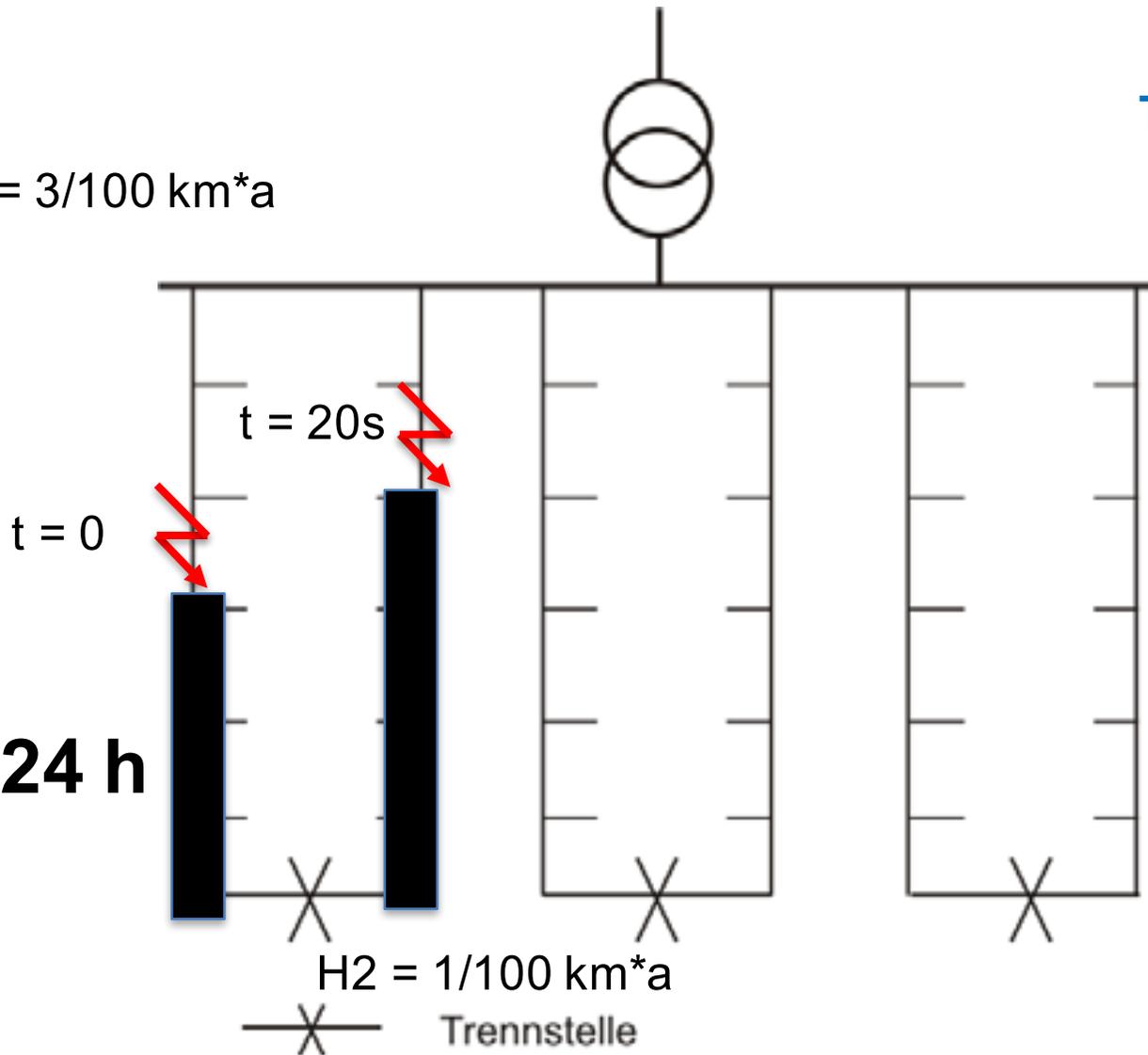
$$T = T_N * (U/U_N)^{-14}$$



$$T = T_N \cdot (U/U_N)^{-14}$$

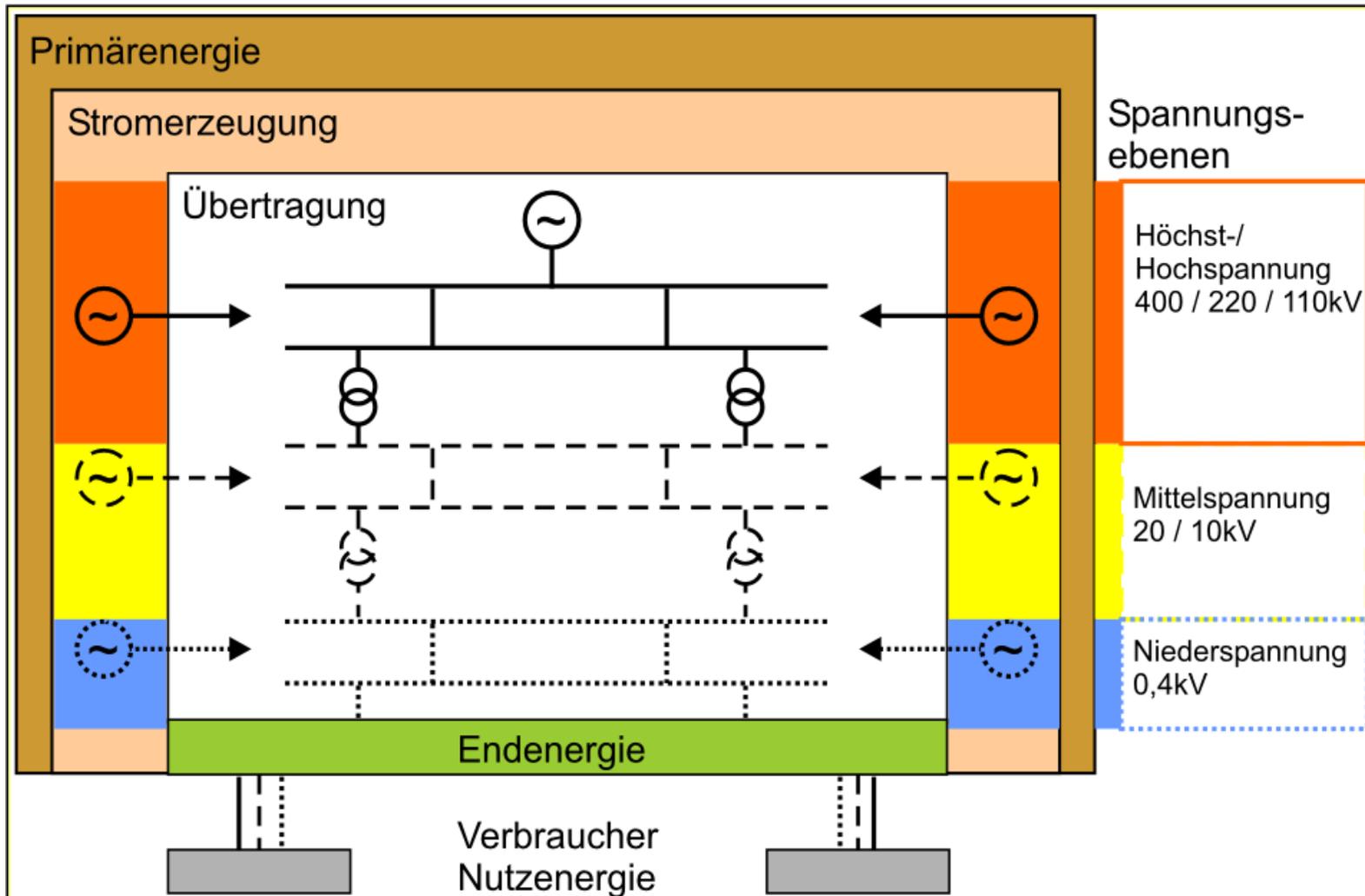
$H1 = 3/100 \text{ km}^*a$

$T_{\text{out}} = 24 \text{ h}$

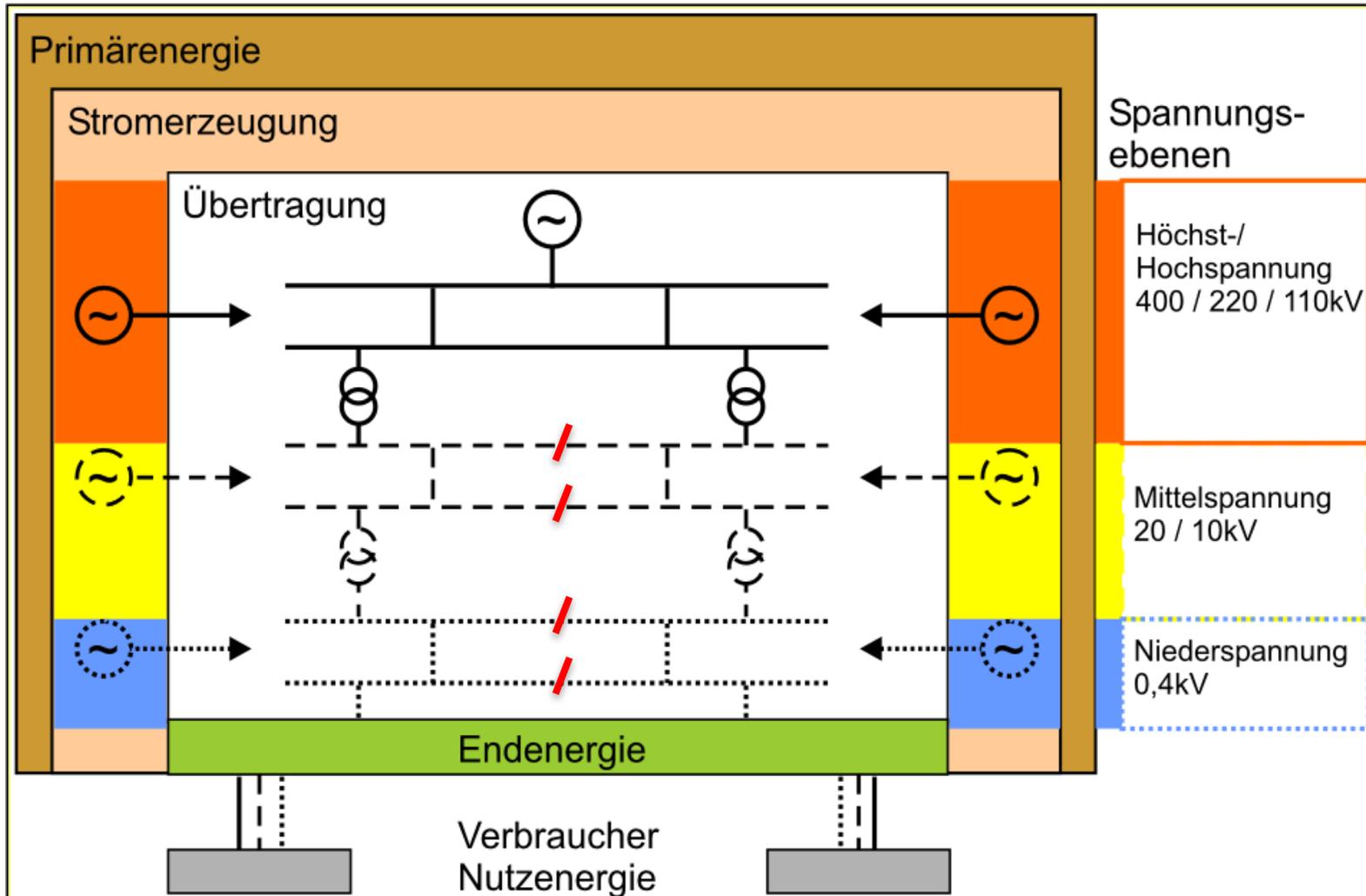


Auswirkung der Störungen im Netz

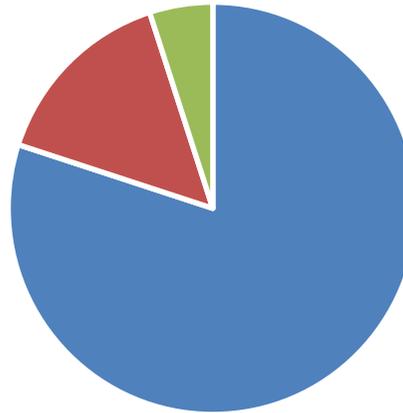
Ebenen der Energieübertragung (1)



Ebenen der Energieübertragung (2)

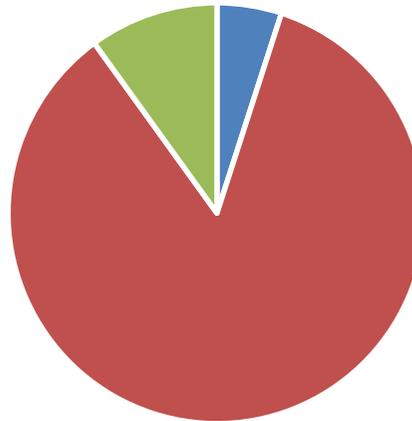


Dips



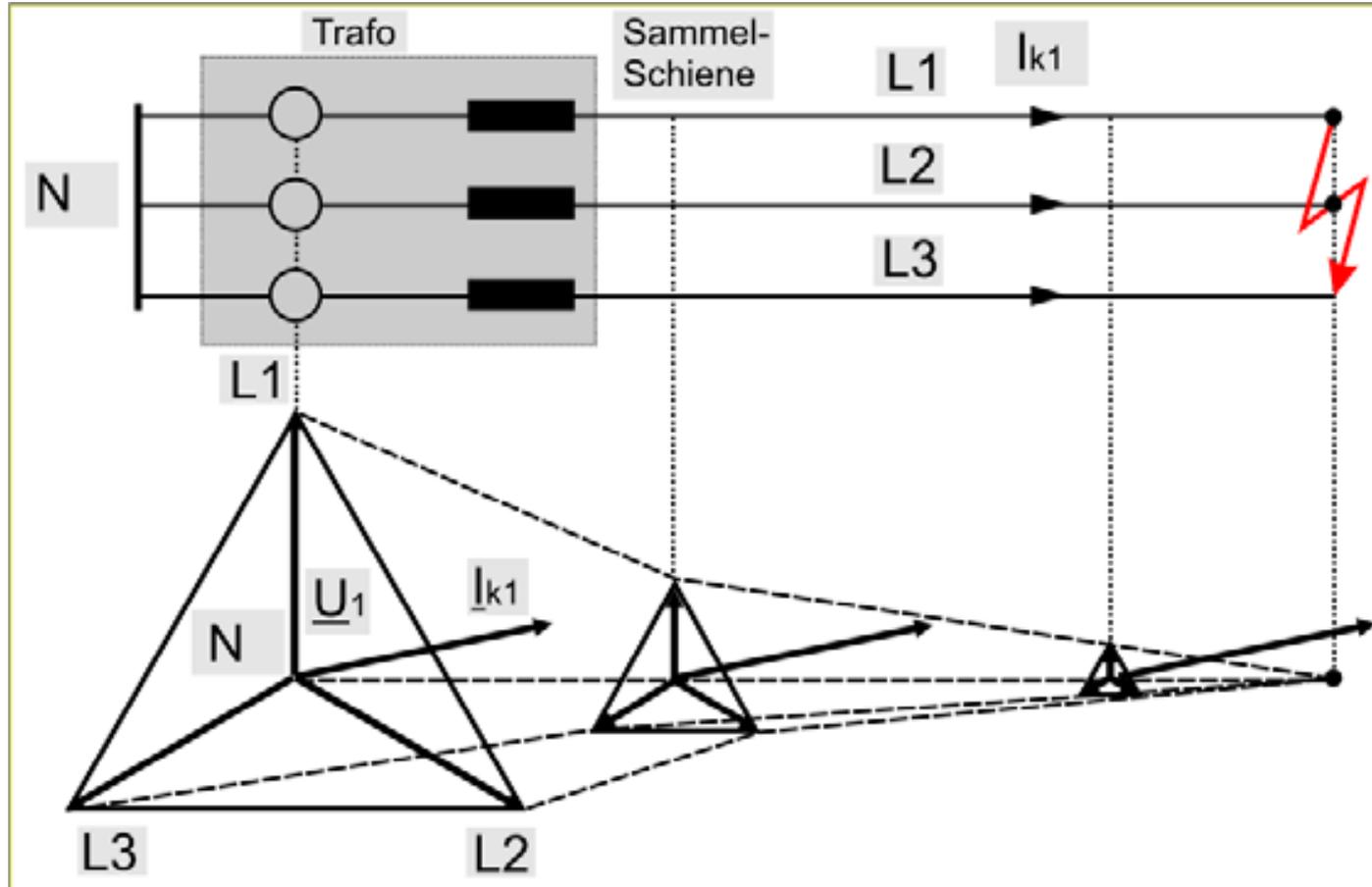
■ NE 1 - 3 ■ NE 4 - 6 ■ NE 6 - 7

Unterbrechungen



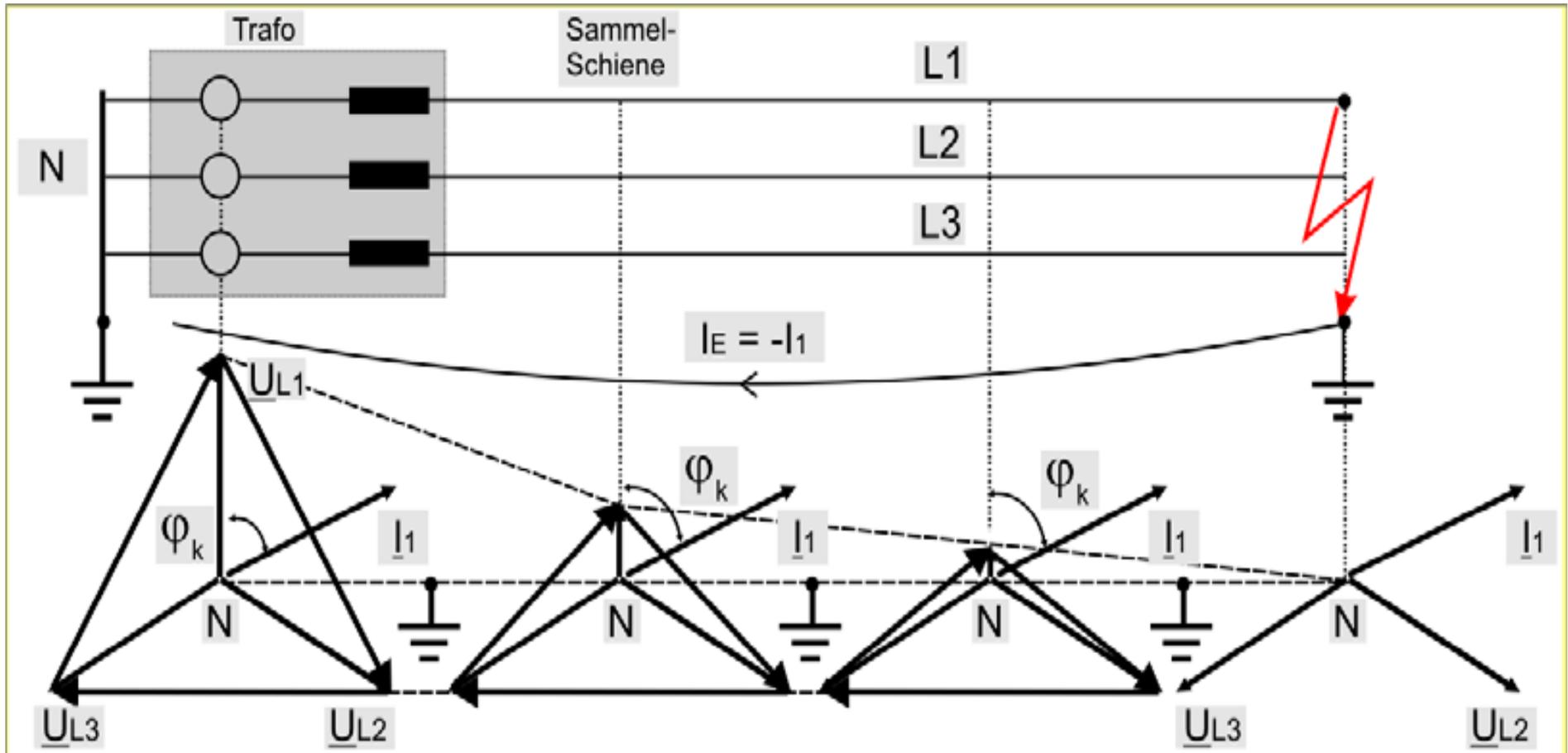
■ NE 1 - 3 ■ NE 4 - 6 ■ NE 6 - 7

Fehlerart: Kurzschluss



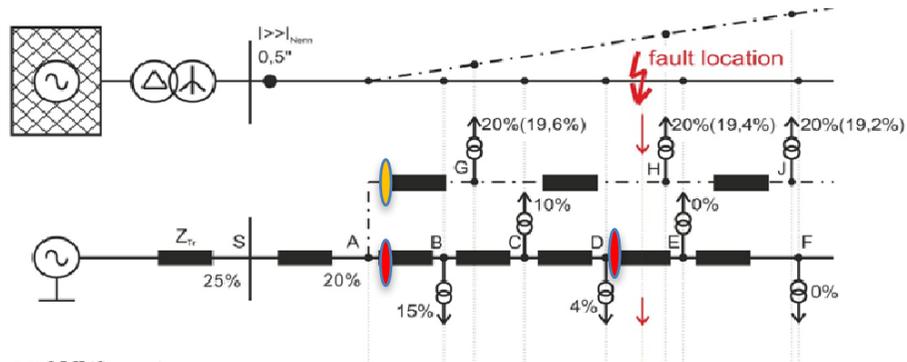
$$\Delta U = I \cdot \Delta Z$$

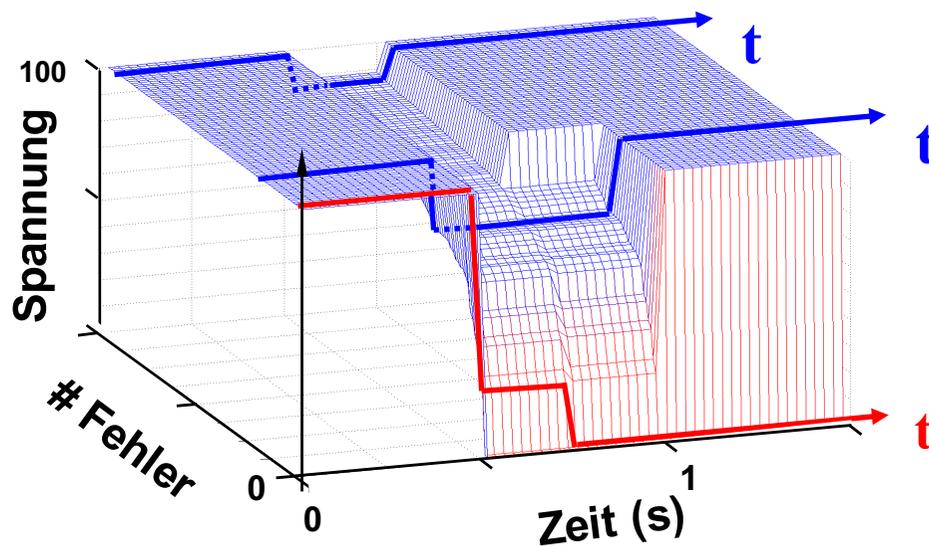
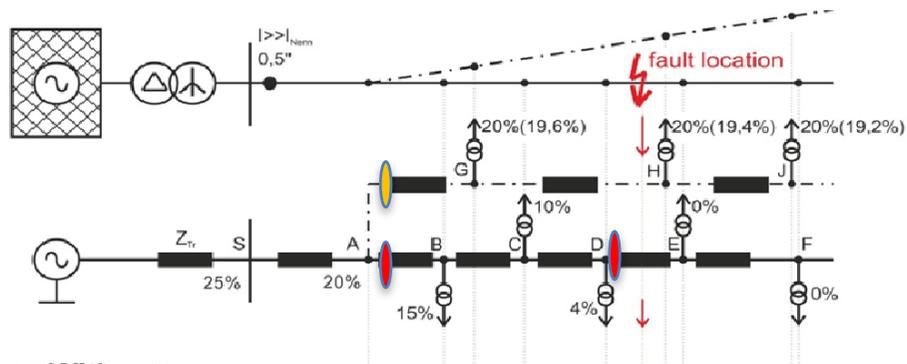
Fehlerart : Einpoliger Fehler



$$\Delta U = I \cdot \Delta Z$$

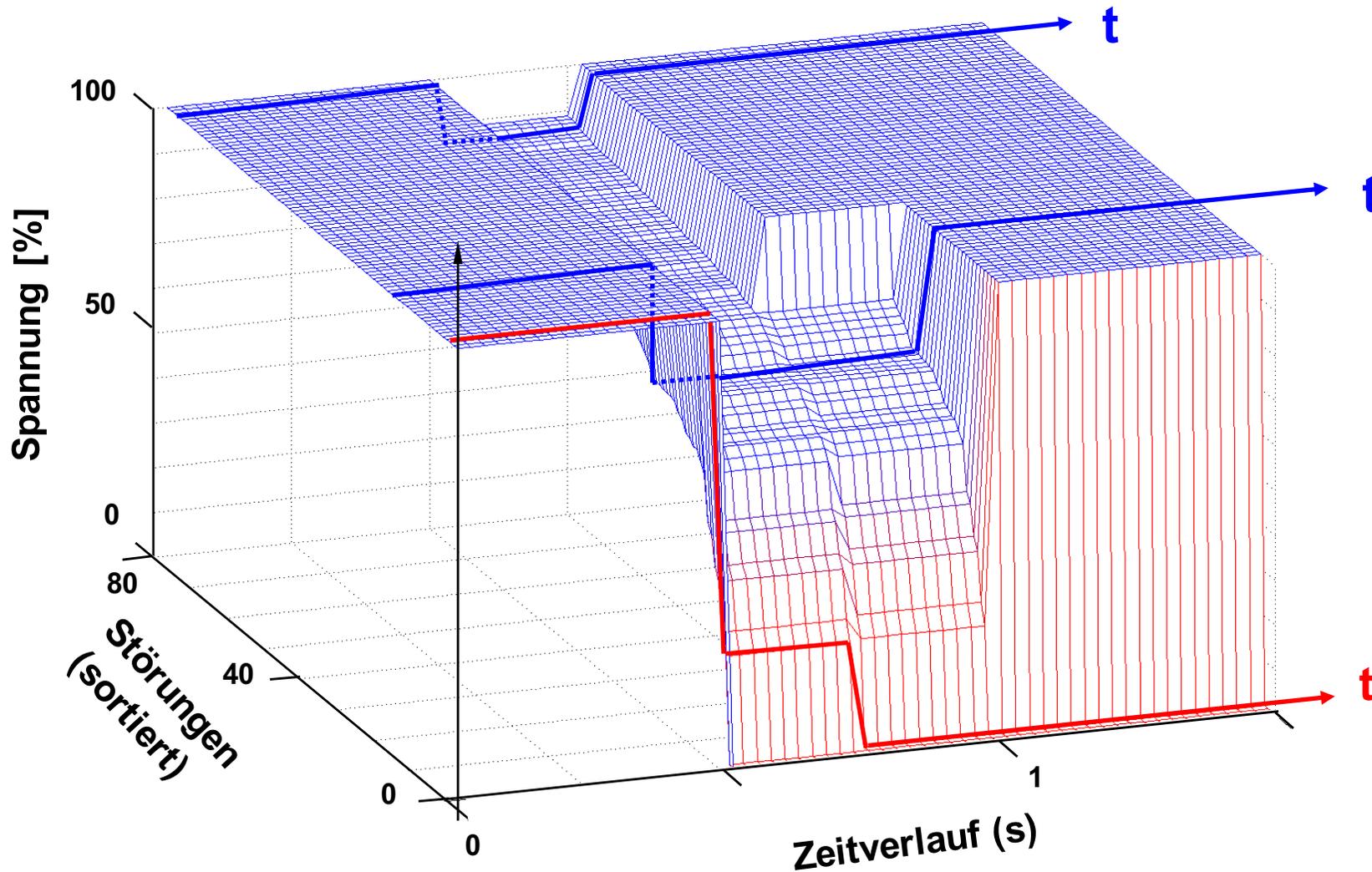
Ursprung der Dips und VUs



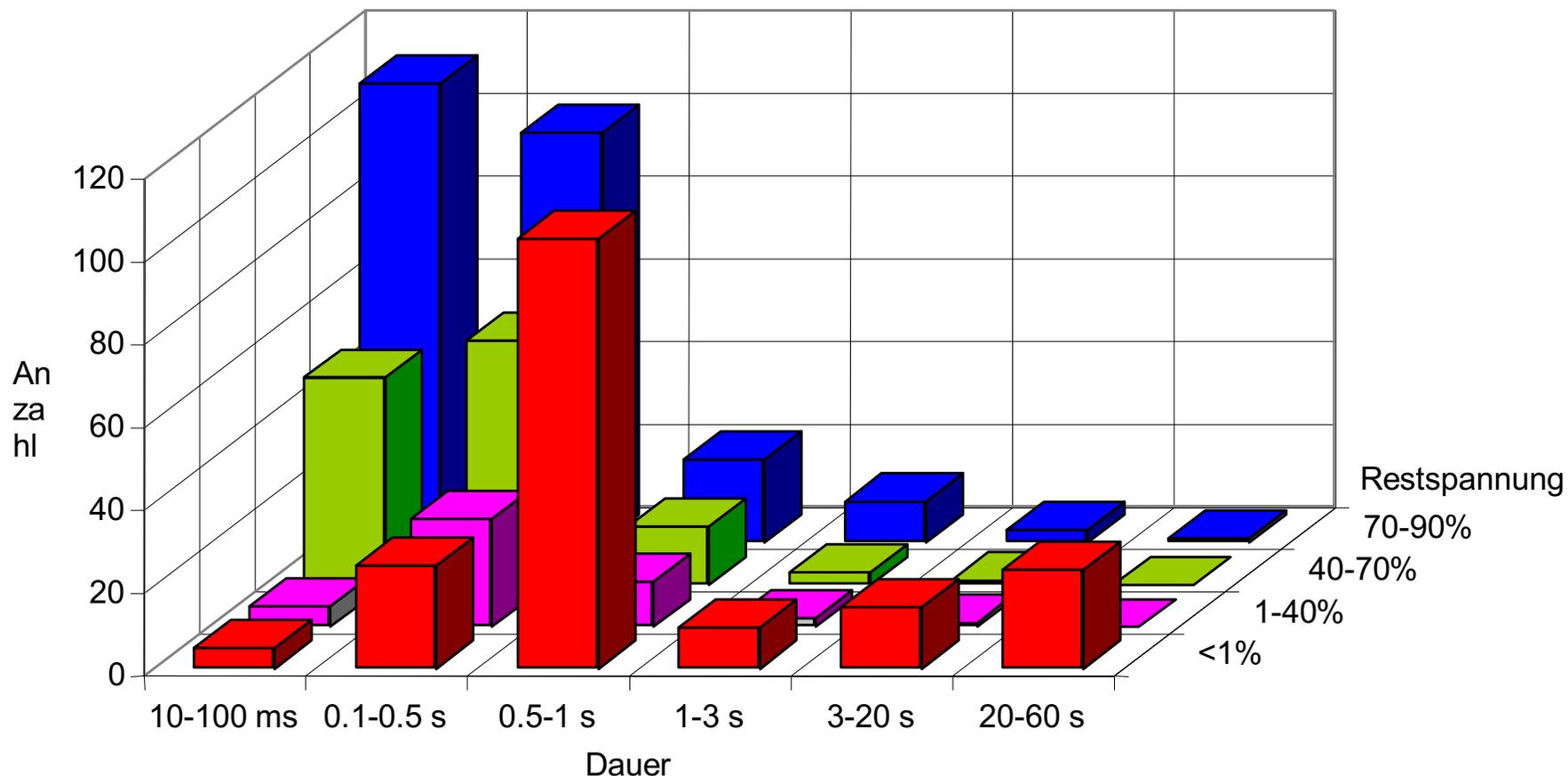


Strahlennetz (MSp + NSp)

10 Jahre Störungsgeschehen (Monte-Carlo-Methode)

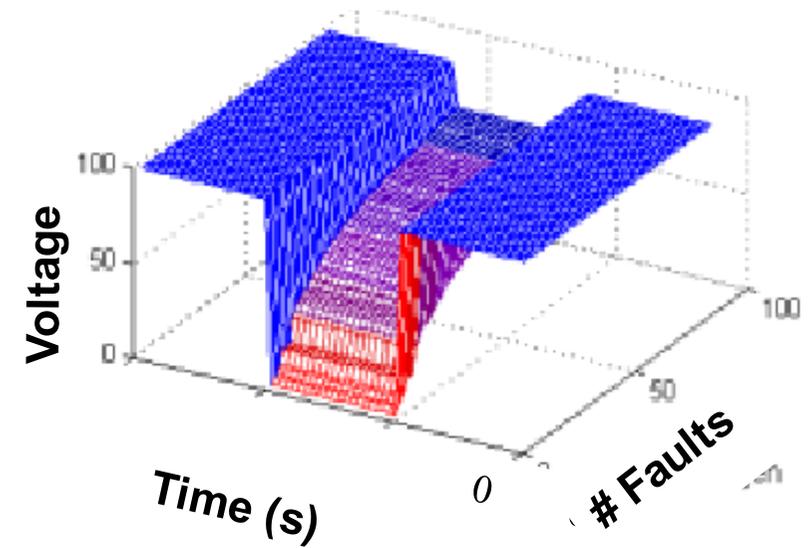
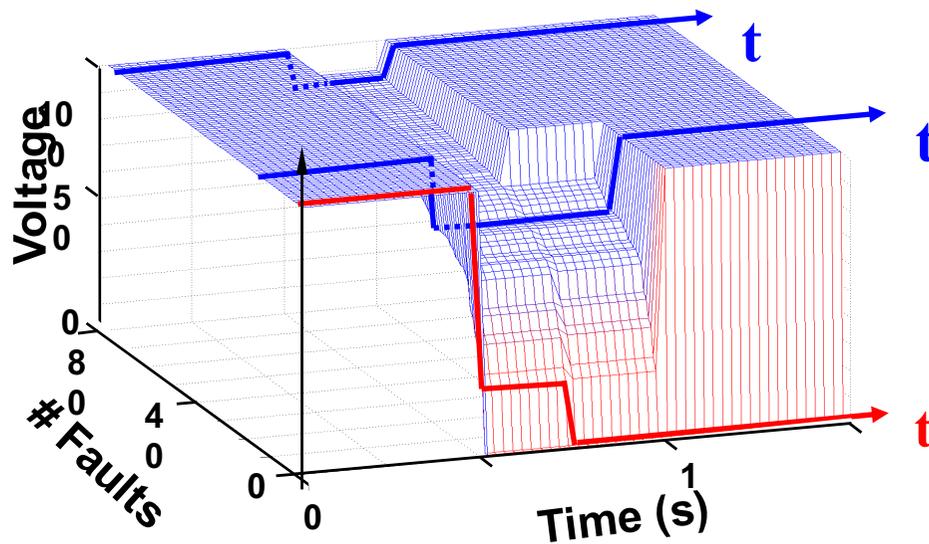
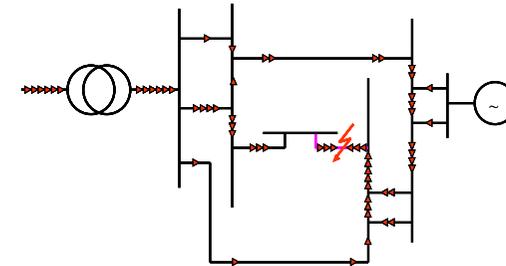
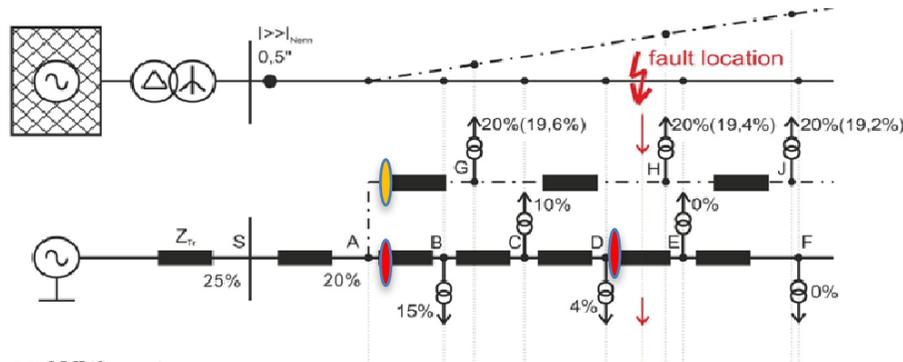


UNIPED-Histogramm für Netz NE5/7



Quelle : A. Haber

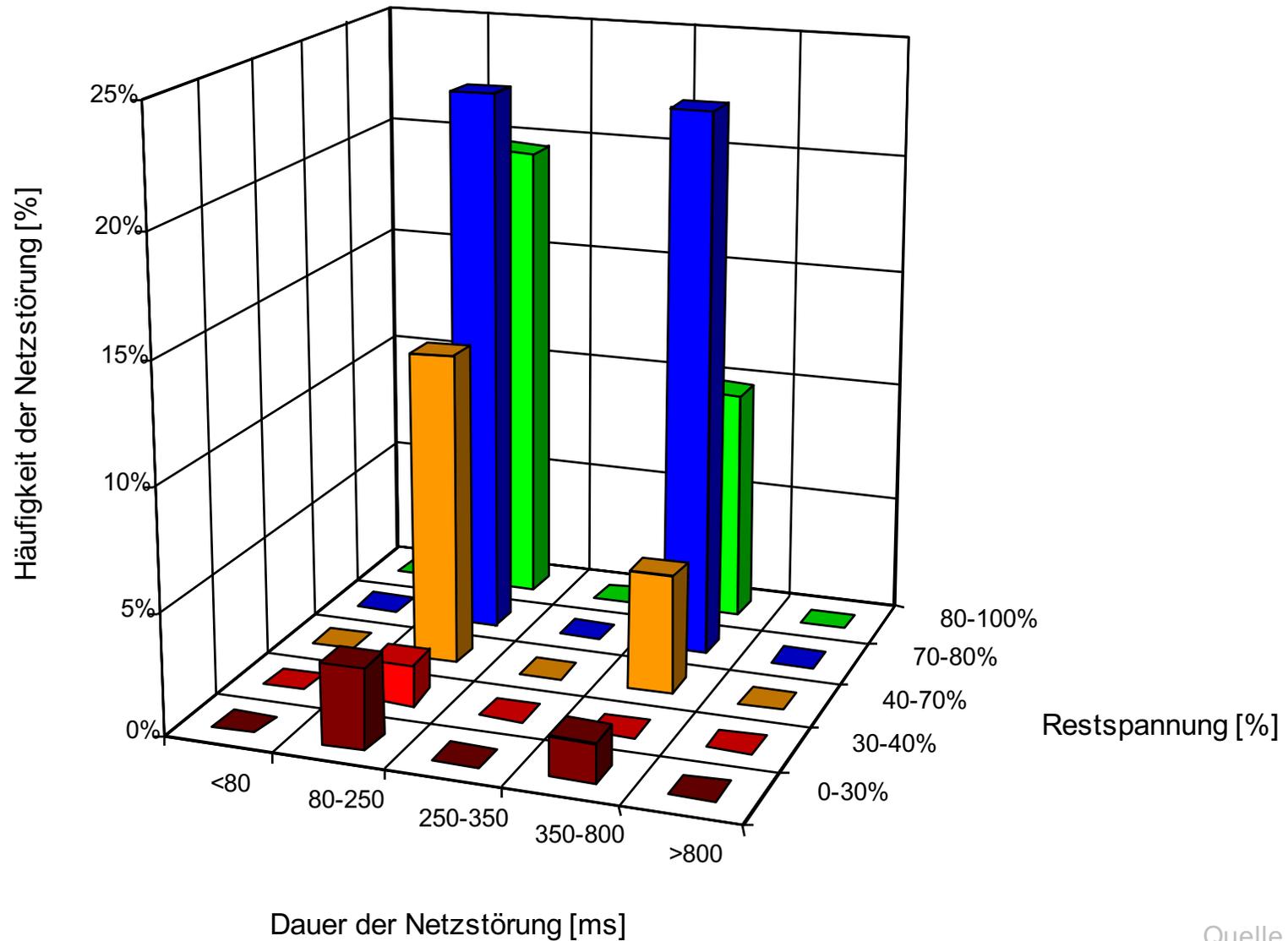
Auswirkung verschiedener Schutzsysteme



Strahlennetz (MSp + NSp)

Vermaschtes Netz (HSp + EHV)

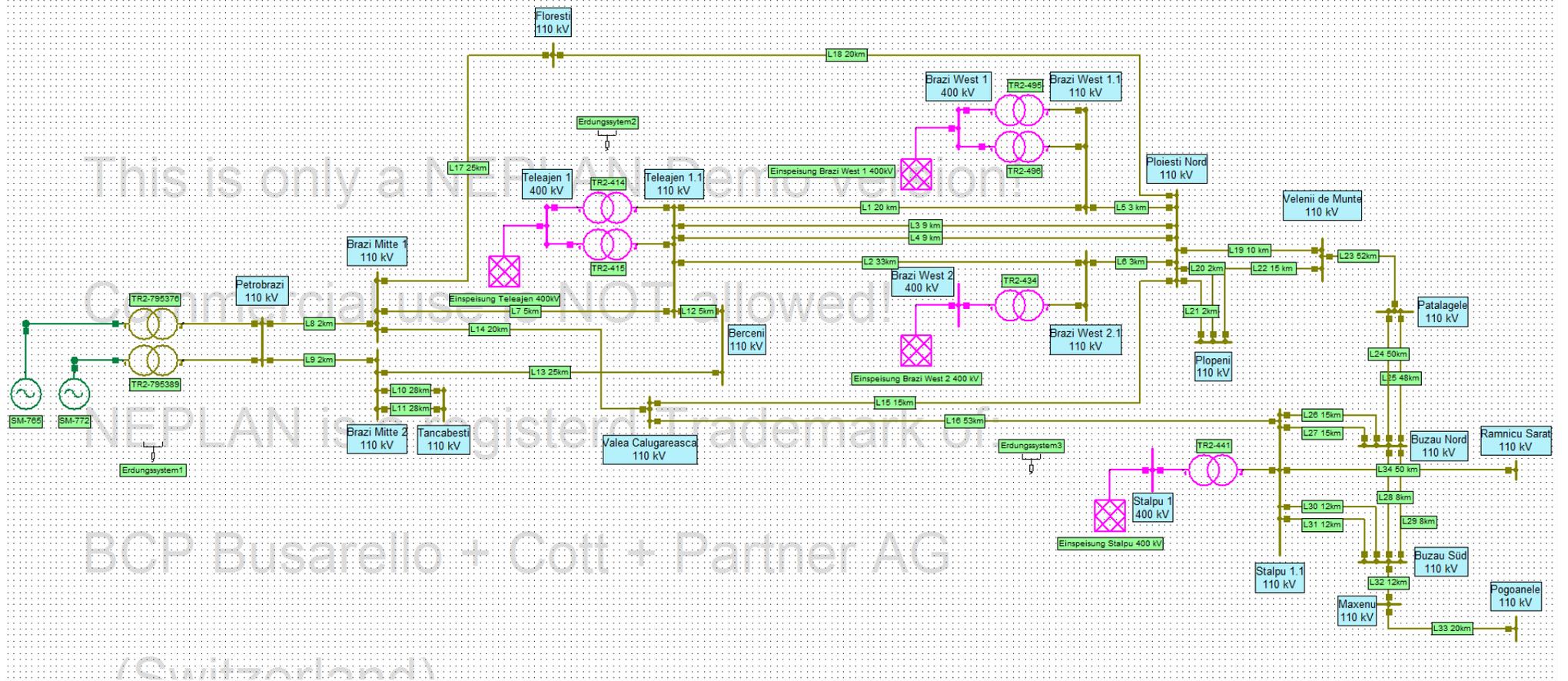
UNIPEDA-Histogramm für Netz NE3



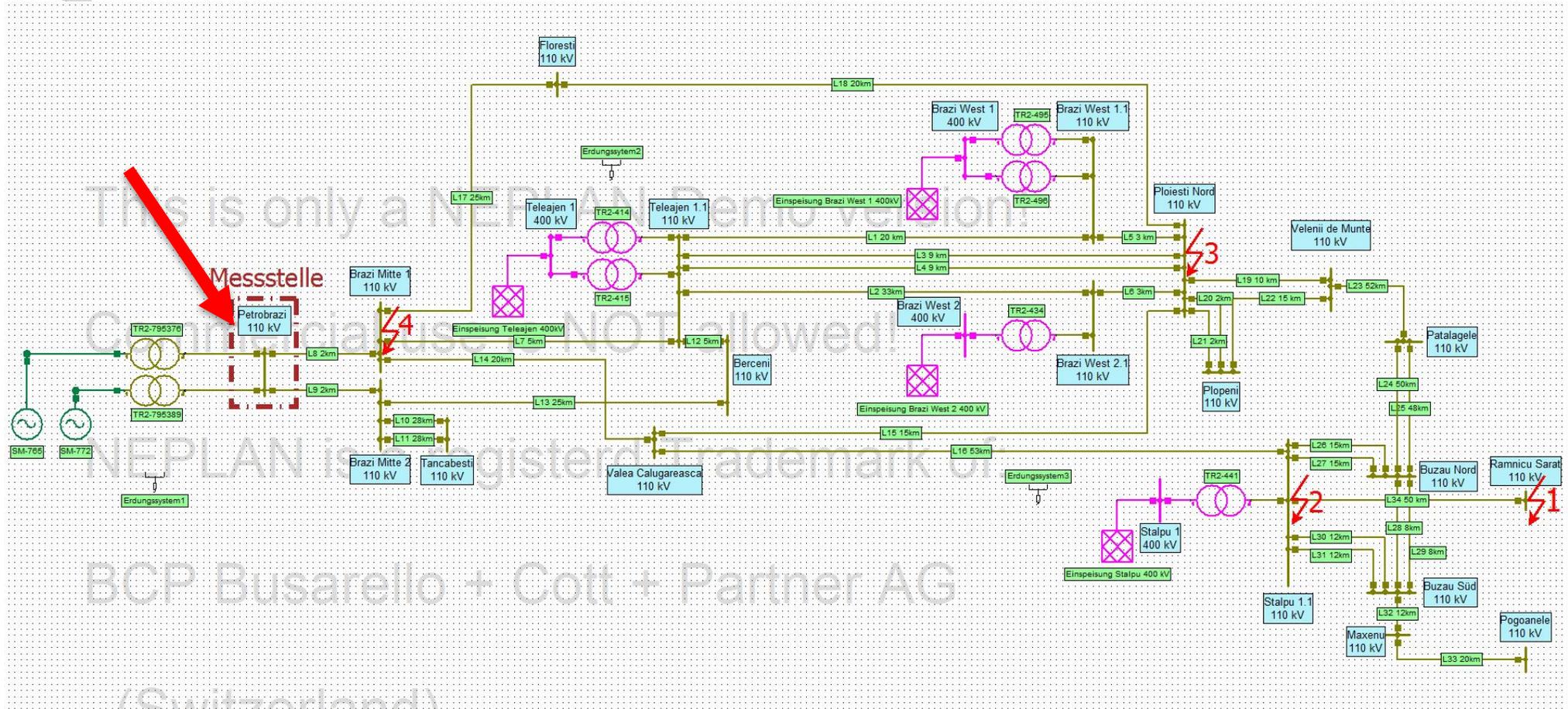
Quelle : A. Haber

Reichweite von Störungen

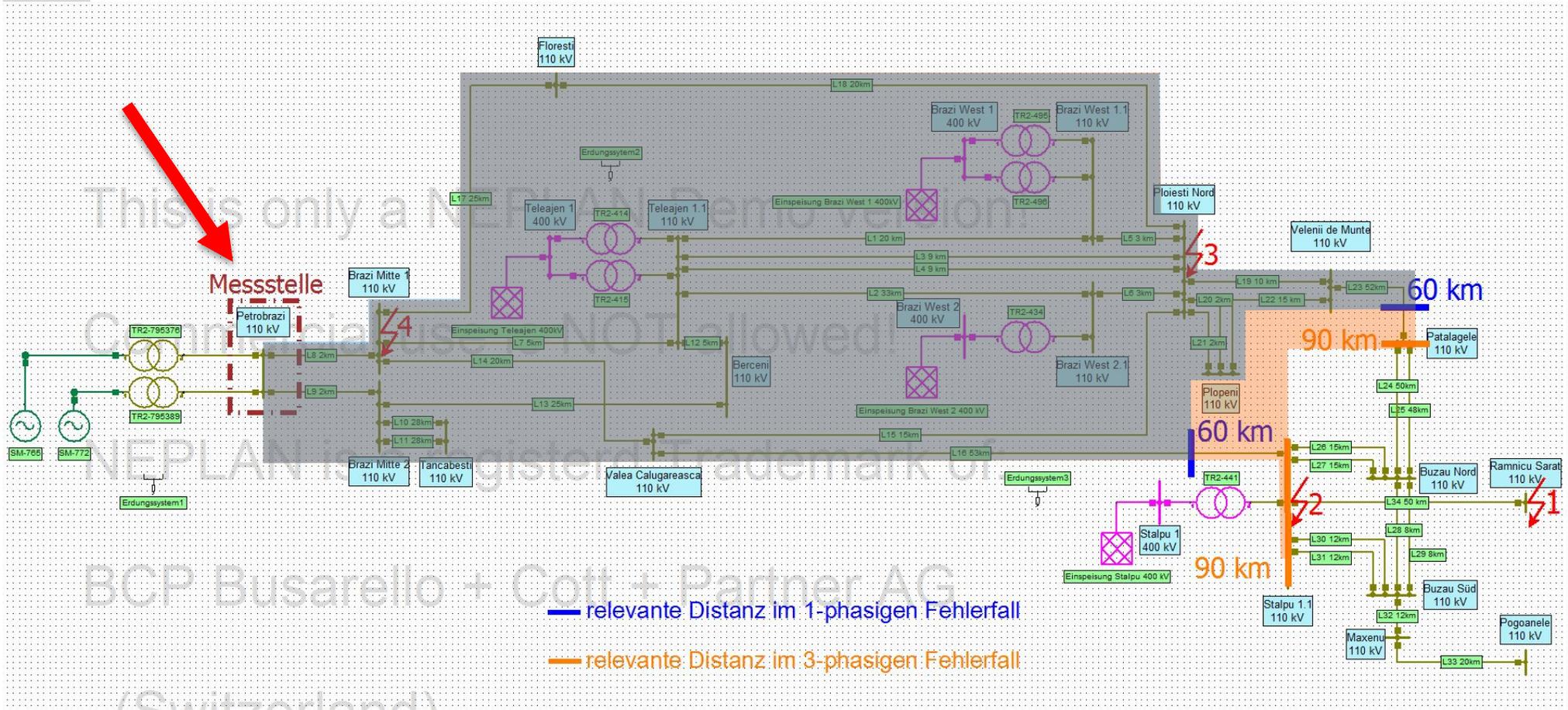
NEPLAN-Simulation - Netz



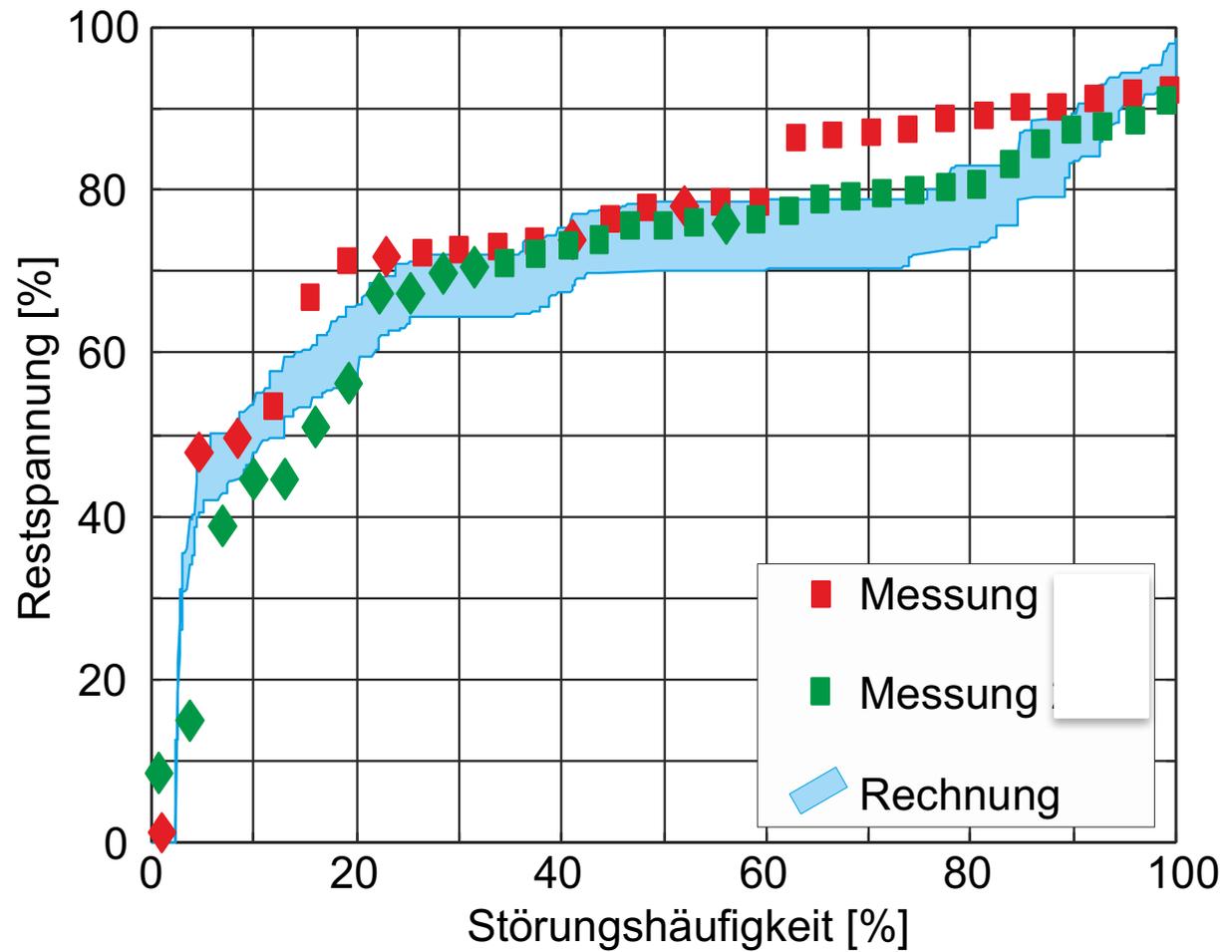
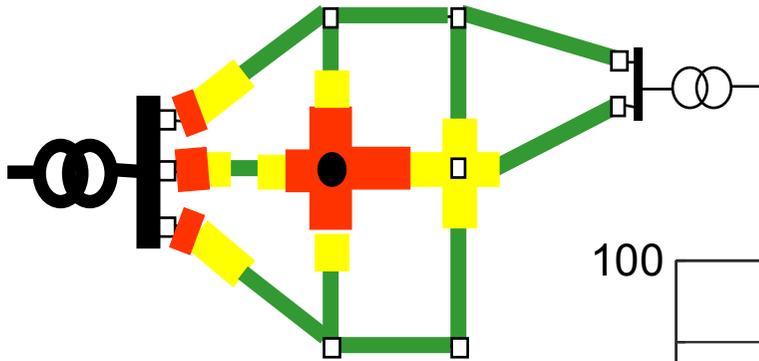
NEPLAN-Simulation - Fehlerstellen



Visualisierung des Sensibilitätsradius

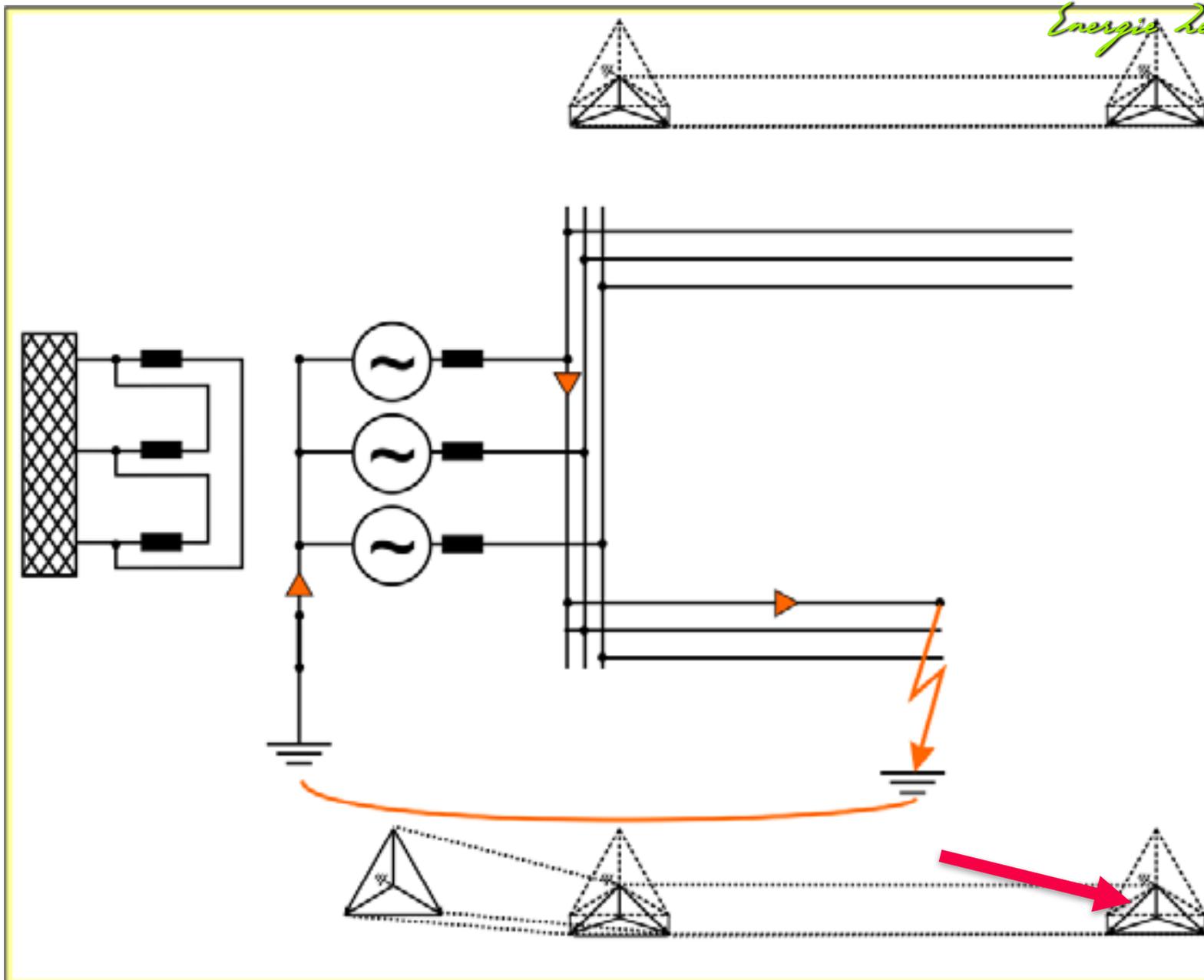


Verteilung der Restspannung

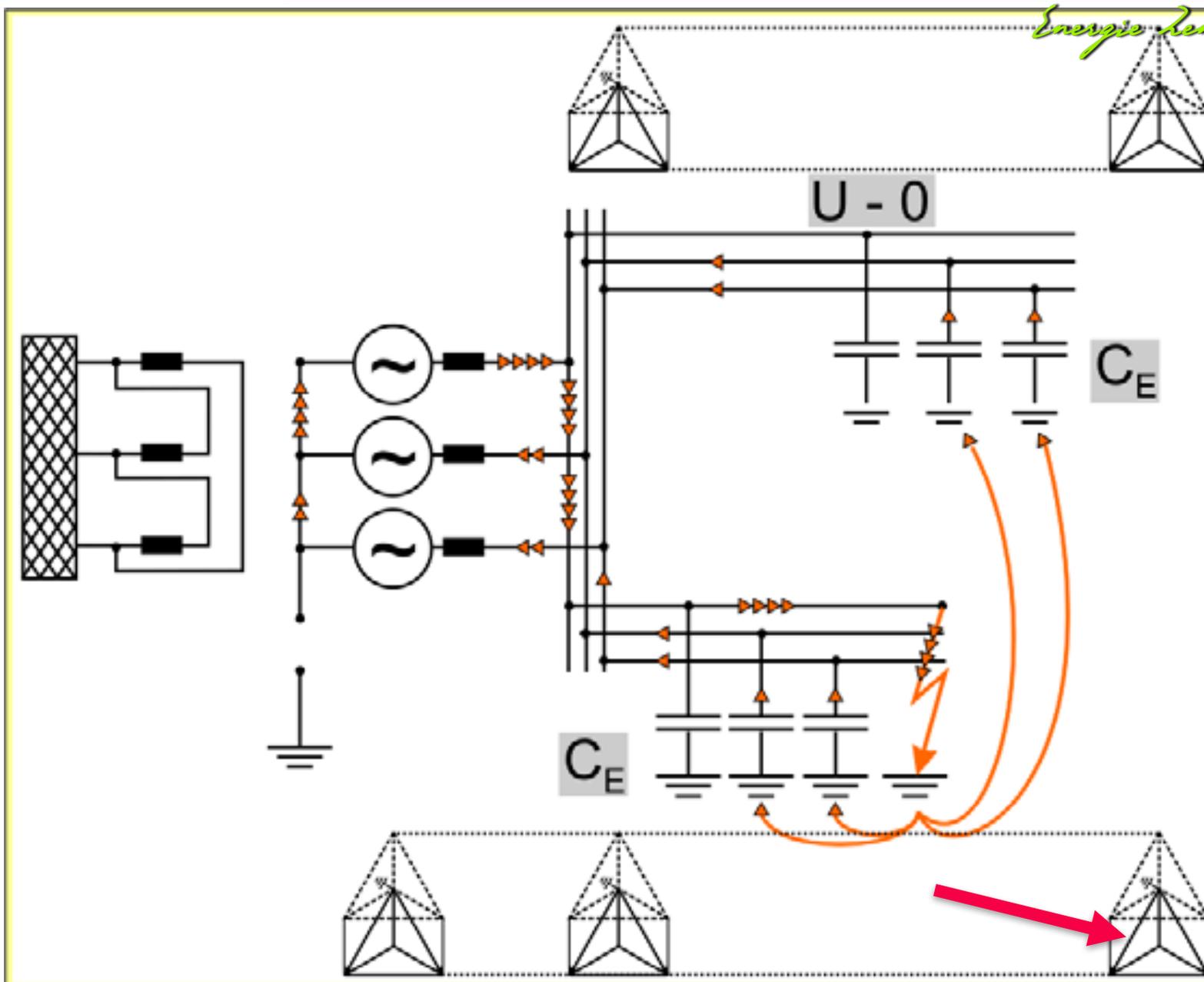


Fehler und Sternpunktbehandlung

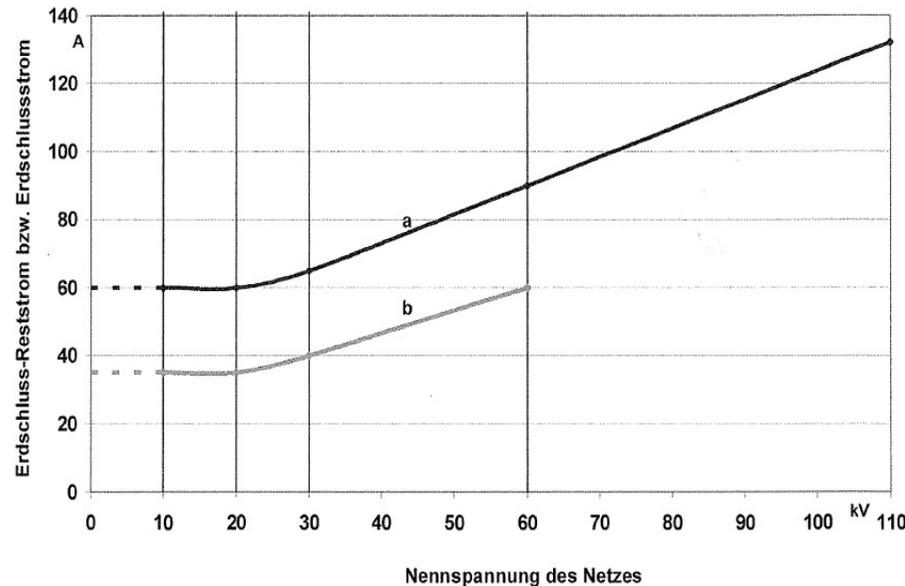
Sternpunktbehandlung: starre Erdung



Sternpunktbehandlung: Kompensation



Löschgrenze Bestimmung lt. DIN VDE 0845-6-2



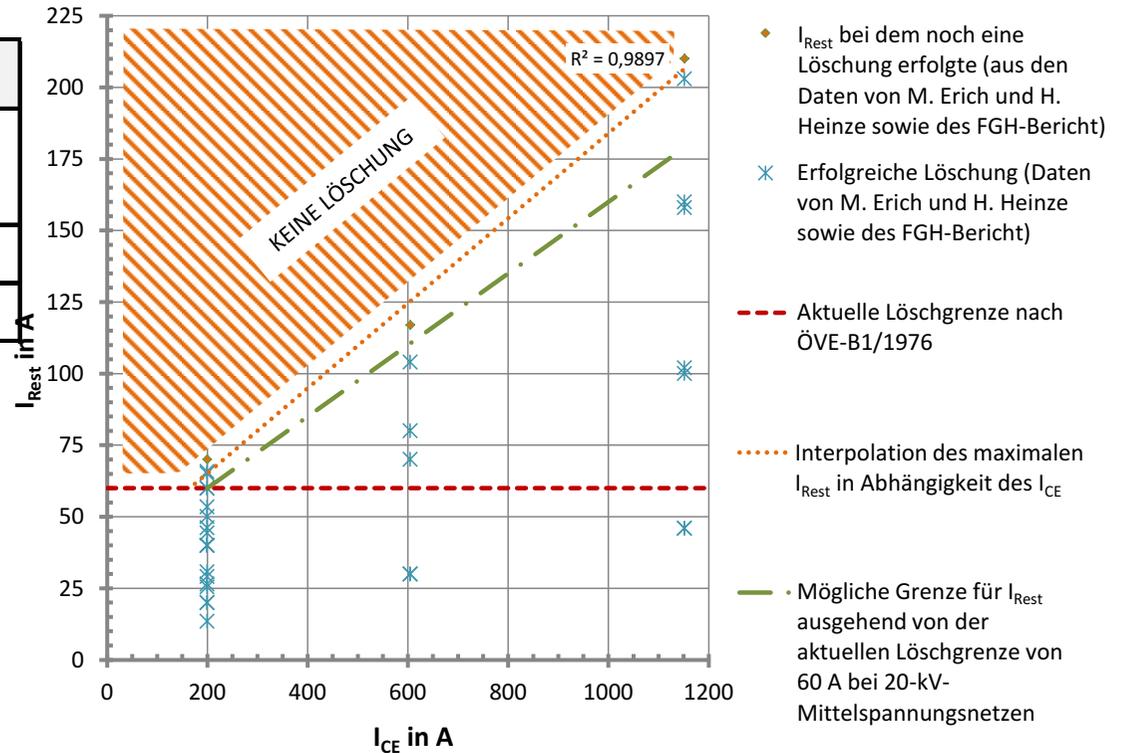
$$|IF| = |I_{RES}| = \sqrt{|I_C + I_L|^2 + |I_V|^2} = \sqrt{|I_{50}|^2 + |I_V|^2}$$

Bei der Ermittlung des Erdschlussreststroms sind *auch Oberschwingungsanteile* zu berücksichtigen. ... keine genaueren Kenntnisse über die Höhe der Oberschwingungsanteile vor, so kann ... *10 % des kapazitiven Erdschlussstromes* als Erdschlussreststrom herangezogen werden.

$$|IF| = |I_{RES}| \approx 0,1 I_C$$

Löschgrenze in Abhängigkeit vom Erdschlussstrom

Publications	I_{CE} in A	I_{Res} in A
M. Erich und H. Heinze	200	70
K. H. Koch	605	117
K. H. Koch	1152	210



Mögliche Löschgrenze

$$I_{Res} \leq 35 + 25 \cdot \left(\frac{I_{CE}}{200} \right) \text{ in A} \quad I_{CE} > 200 \text{ A} \quad I_{Res} \leq 0,13 I_{CE}$$

$C_E \nearrow$

kapazitiver Erdschlussstrom

$$I_{E, \text{kap}} = U_{\text{verk}} / \sqrt{3} \cdot \omega C_E$$

$I_{E, \text{kap}} \nearrow$

Reststrom (50 Hz)

$$I_{\text{Rest}} = I_{E, \text{kap}} \cdot \nu$$

$I_{\text{rest}} \nearrow \text{☹}$

Oberschwingungsströme

$$I_{\text{os}, \nu} = I_{E, \text{kap}} \cdot n \cdot p_\nu$$

$$\text{mit } p_\nu = U_{\nu \cdot 50\text{Hz}} / U_{50\text{Hz}}$$

$I_{\text{os}} \nearrow \text{☹}$

Anteil der Strecken mit Selbstheilung

$$\alpha = \text{km}_{\text{Freiltg}} / \text{km}_{\text{Kabel}}$$

$\alpha \searrow \text{☹}$



Winkelselektivität für wattmetrische Erfassung

$\Delta\phi$



$$\Delta\phi = \arctan I_{\text{watt}} / I_{\text{CE,eigen}}$$

Alterung gewisser Netzkomponenten

τ_{Leben}



$$v_{\text{Alterung}} \approx U^{12...14}$$

$$\rightarrow 2 h_{\text{ES}} \approx 2,75 \text{ Monate}$$

Häufigkeit von Doppelerdschlüssen

p_{DES} 

$$p_{\text{DES}} \approx L_{\text{km}}^2 / (1 - \tau_{\text{Leben}})$$

(n-1)-Prinzip gefährdet

~~n-1~~ 

Rest

50-Hz-Reststrom

Blindstrom (Kompensation)

Wirkstrom (Nullsystemverluste)

zzgl. Oberschwingungsströme

zzgl. zwischenharmonische Ströme

← Planungswert („~~Löschgrenze~~“) ca. 60 A für Mittelspannung
ca. 132 A für Hochspannung

Ausdehnung der Netze

Zubau von Leitungen

Verkabelung („1 km Kabel = 30 km Freileitung“)

Betrieb der Netze

Abgangsortung statt Abschnittsortung / Punktortung

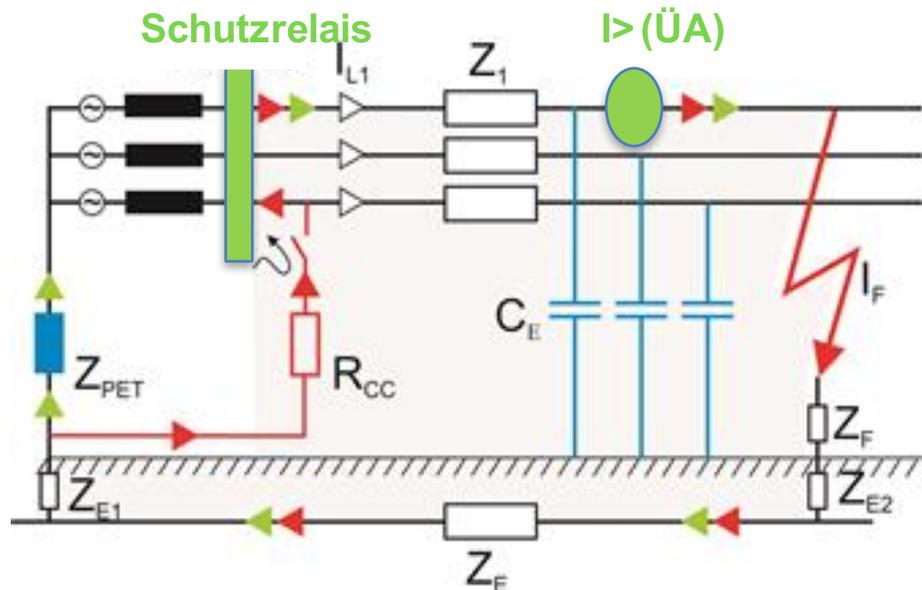
Alterung >> Doppelerdschlüsse, ~~n-1~~

>>>>>>>>> Zukunft der Löschung?!?!>

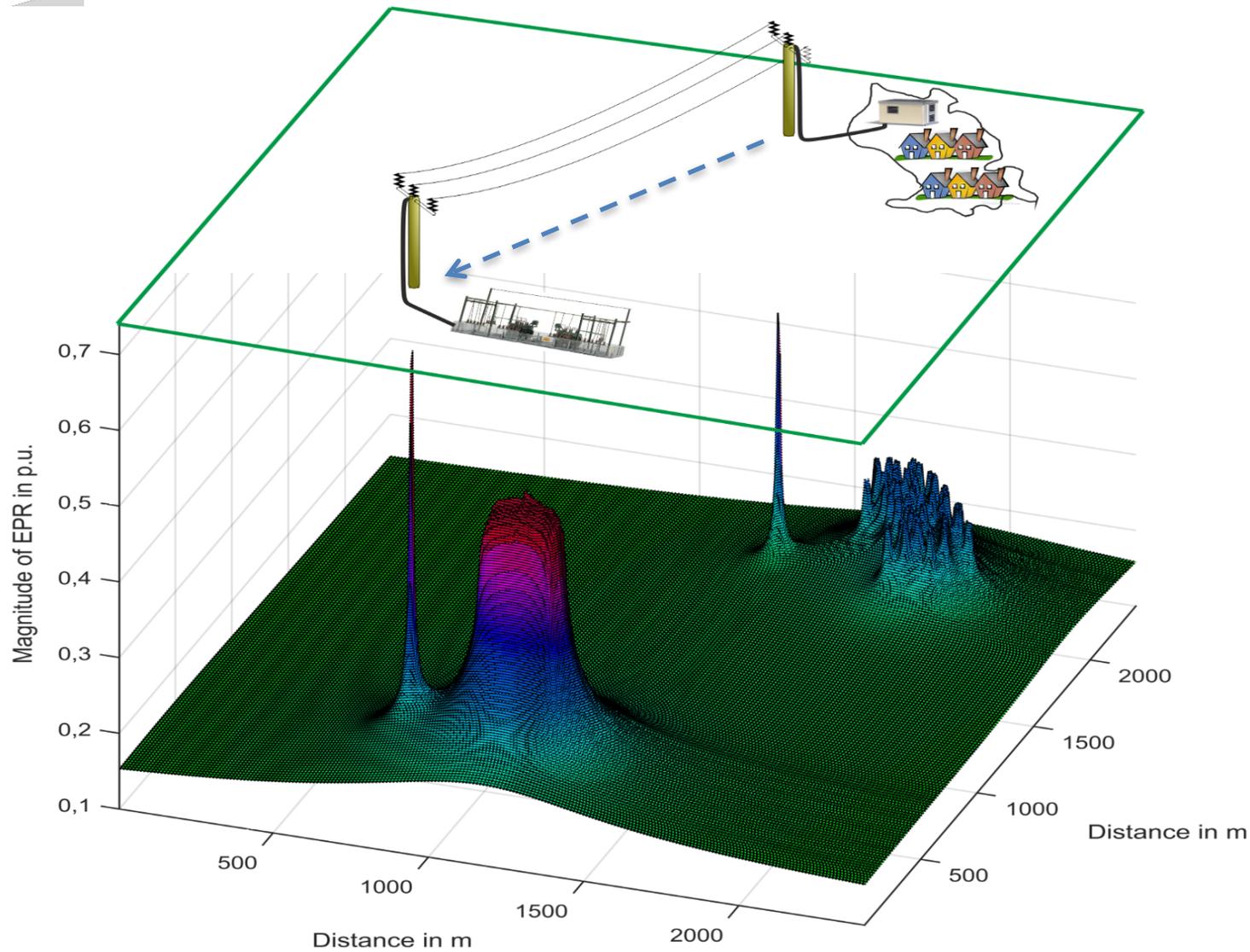
KNOPE

Beispiel für effiziente Sternpunktbehandlung

(KUDE - Kurzzeitiger Doppel-Erdschluss bzw. HPE (Healthy Phase Earthing))



- 1.) **Erdschluss** in L1 ($t = 0$)
- 2.) **Zuschalten** ($t = 3$ s) von R_{CC} im UW auf gesunde Phase
→ Erhöhung des Fehlerstromes
- 3.) Anregung von Überstrom-(Richtungs-) **Relais** bzw. Distanzrelais
→ Tiefenortung mit Überstromanzeigern (ÜA)
→ (ggf.) **Abschaltung** des fehlerhaften Zweiges bzw. Abschnitts
- 4.) **Wegschalten** von R_{CC} ($t = 5$ s)

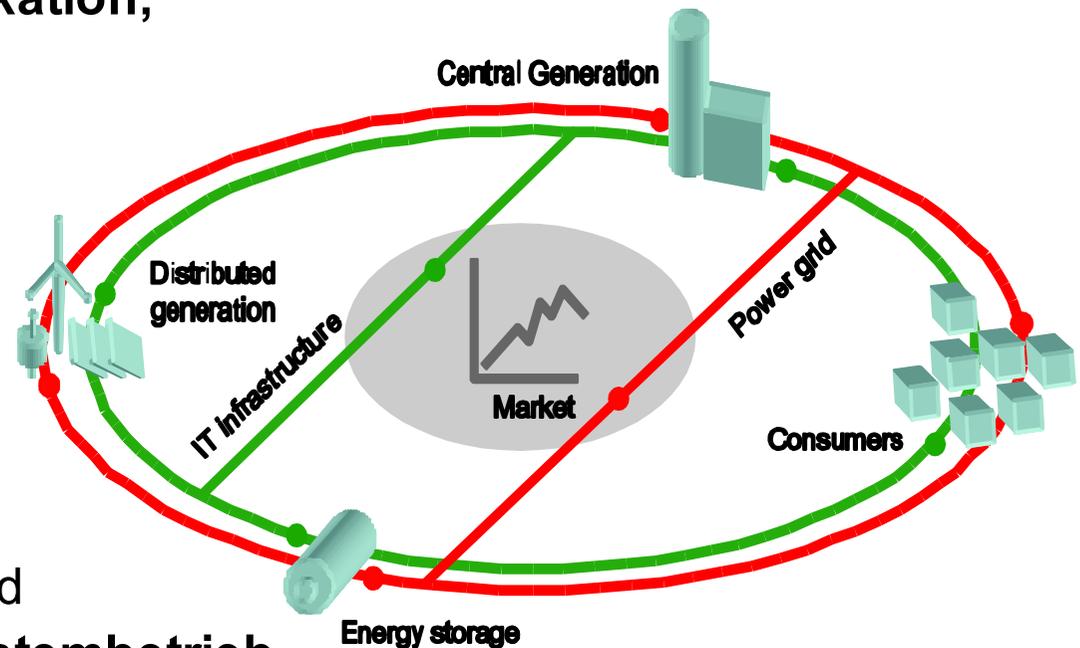


Smart Grids und Wirtschaftlichkeit

Smart Grids sind Netze,

mit **koordiniertem Management**,
und **bi-direktionaler Kommunikation**,
zwischen

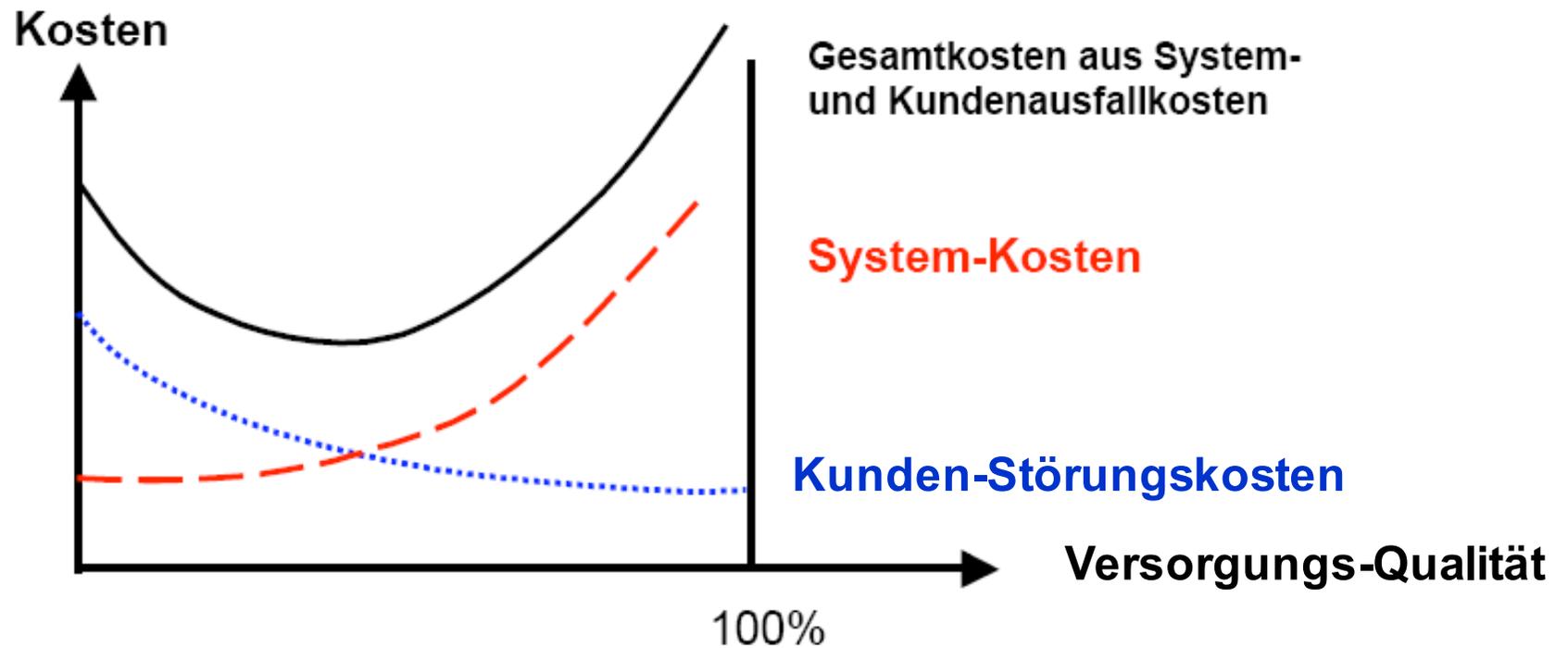
- Netzkomponenten
- Einspeisern
- Energiespeichern und
- Verbrauchern



Für einen **energie-effizienten** und **kosten-effizienten Systembetrieb**
geeignet für **die zukünftigen Herausforderungen des Energiesystems.**

Voraussetzung: Informationen über Störung + Steuerungsmöglichkeit

Source: National Technology Platform Smart Grids Austria



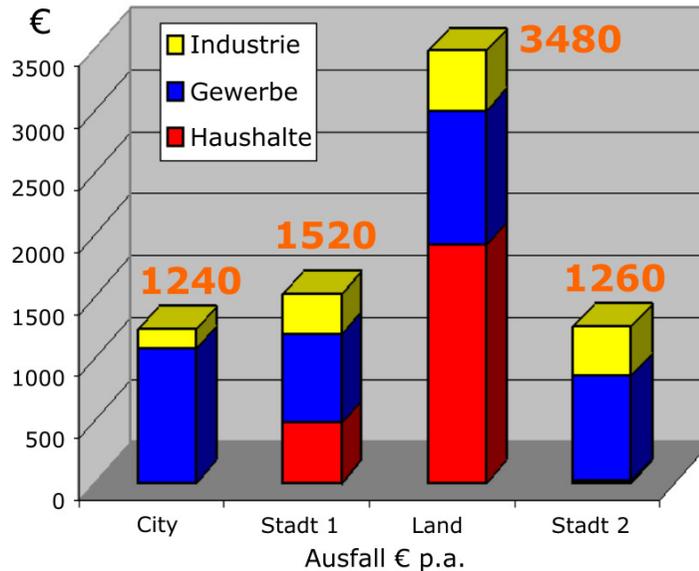
Wiederaanlauf-, Stillsetzungs-, Stillstands-, Zusatzkosten

$$K = P \cdot (k_p + t \cdot k_w)$$

	k_p [€/kW]	k_w [€/kWh]
Haushalt	0,3	2,9
Gewerbe	2,5	9,9
Industrie	5,5	9,7
Landwirtschaft	0,3	3,5

Annahme: Kompensation und Störungsbehandlung : „klassisch“

Kosten ENS (Schätzwert)



2.000 € p.a. pro Abschaltbereich

Ausfallkosten:

Haushalt 2 €/kWh

Gewerbe 6 €/kWh

Industrie 8 €/kWh

Erweitertes Zollenkopf-Kriterium

ΔW ca. 3,3 MWh pro Ereignis

$H = 1/10$ Ereignisse / a

ΔW ca. 33 MWh pro Ereignis

$H = 1/100$ Ereignisse / a

Akzeptierte Versorgungsunterbrechung $\rightarrow \Delta W$ ca. 330 kWh/a

Beobachtung(en)

ΔW ca. 200 kWh/a Innenstadt / City

ΔW ca. 400 kWh/a Stadt

ΔW ca. 1200 kWh/a Ländliches Gebiet

Cost Benefit Analysis

Neutral Treatment	Voltage dips	Interruptions		Capital Cost		Plant Stress			Suitability for large U/G networks
		Short	Long	Sub-station	Line	High Current	High Voltage	Protection & Safety	
Solidly Earthed	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Yellow
Low Impedance	Blue	Red	Red	Blue	Yellow	Blue	Yellow	Yellow	Yellow
Isolated Neutral	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Yellow	Red	Yellow	Blue
Compensated (ASC)	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Yellow	Red	Yellow	Yellow

Legend

Good	Yellow
Fair	Blue
Poor	Red

Cost Benefit analysis based on Interruptions vs. Capital Cost of Lines and Substation equipment.

Steigerung der Sternpunktbehandlung durch Effiziente Sternpunktbehandlung

- Senkung SAIDI (Unterbrechungsdauer)
- Senkung CAIDI (Unterbrechungsdauer)
- Senkung SARFI (Spannungseinbrüche)

Verbesserung der Situation betr. Q-Faktors

Unter Wahrung von

- Personensicherheit
- gesetzlichen Vorgaben
- normativen Vorgaben

Beitrag der Sternpunktbehandlung zur Versorgungsqualität

Fickert, Hufnagl

11.2.2016