
	<h1>Kurzschluss-Analyse</h1>	 Westsächsische Hochschule Zwickau University of Applied Sciences

**Aufgabe:**

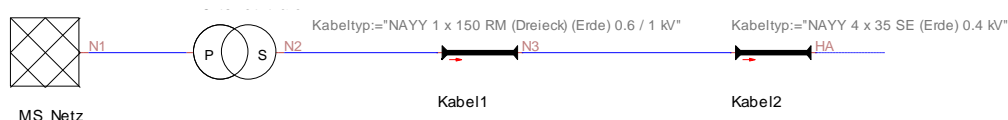
Ermittlung der Kurzschlussleistung am Hausanschluss. Mit dem vorgegebenen Netz soll eine Berechnung für den maximalen Kurzschlussstrom:

- a) Mit Cerberus
- b) Grafisch
- c) Rechnerisch erfolgen.

Mit dem errechneten Kurzschlussstrom kann die Kurzschlussleistung am Hausanschluss ermittelt werden.

interessiert

**Netz:**



**Netzdaten:**

$$S_K'' = 250 \text{ MVA} \qquad U_{OS} = 10 \text{ kV}$$

$$\frac{R_Q}{X_Q} = 0,1 \qquad U_{US} = 0,4 \text{ kV}$$

Spannungsfaktor c (nach DIN IEC 60038, Tabelle I und III)

	größten Spannungsfaktor $c_{max}$	kleinsten Spannungsfaktor $c_{min}$
Niederspannung 100-1000 V Spannungstoleranz 10 %	1,1	0,95
Mittelspannung >1 kV - 35 kV	1,1	1,0

**Transformatordaten:**

$$S_N = 400 \text{ kVA} \qquad u_k = 4 \% \qquad \frac{R_{0T}}{R_T} = 1$$

$$\text{Schaltgruppe: Dy5} \qquad u_r = 1.05 \% \qquad \frac{X_{0T}}{X_T} = 0,95$$

**Kabel1:**

$$\text{NAYY } 4 \times 150 \text{ mm}^2 \text{ RM } 0,6/1 \text{ kV}$$

$$l = 190 \text{ m} \qquad \frac{R_{0L}}{R_L} = 4,0 \qquad \frac{X_{0L}}{X_L} = 3,65$$

Querschnitt $\text{mm}^2$	Kupfer			Aluminium		
	Resistanz r	Reaktanz x	Impedanz z	Resistanz r	Reaktanz x	Impedanz z
4x150	0,125	0,08	0,148	0,208	0,08	0,223

**Kabel2:**

$$\text{NAYY } 4 \times 35 \text{ mm}^2 \text{ SE } 0,4 \text{ kV}$$

$$l = 20 \text{ m} \qquad \frac{R_{0L}}{R_L} = 4,0 \qquad \frac{X_{0L}}{X_L} = 4,13$$

Querschnitt mm <sup>2</sup>	Kupfer			Aluminium		
	Resistanz r	Reaktanz x	Impedanz z	Resistanz r	Reaktanz x	Impedanz z
4x35	0,526	0,083	0,533	0,876	0,083	0,88

**Lösung:**

a) Mit Cerberus

$$I_{K3}'' = 3,46 \text{ kA}$$

$$S_K'' = 2,39 \text{ MVA}$$

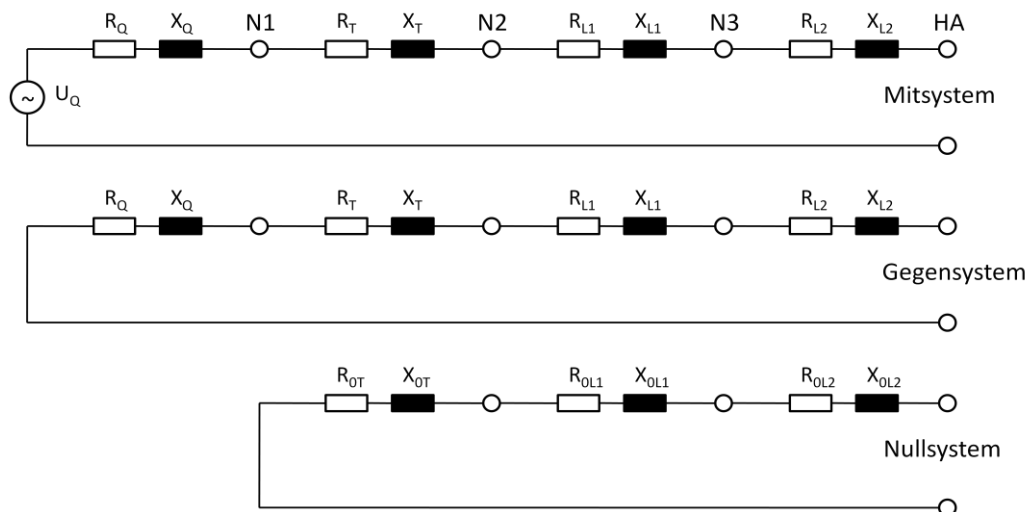
b) Grafische Berechnung

$$I_{K3}'' = 3,4 \text{ kA}$$

$$S_K'' = \sqrt{3} * U_{US} * I_K'' = \sqrt{3} * 400 \text{ V} * 3400 \text{ A} = 2,36 \text{ MVA}$$

c) Rechnerische Lösung

### Allgemeine Ersatzschaltung in Komponentensystemen:



vorgelagertes Netz:

$$Z_Q = \frac{c_{max} * U_{US}^2}{S_K''} = \frac{1,1 * (400 V)^2}{250 MVA} = 0,000704 \Omega$$

$$X_Q = \frac{Z_Q}{\sqrt{(R_Q/X_Q)^2 + 1}} = \frac{0,000704 \Omega}{\sqrt{(0,1)^2 + 1}} = 0,0007005 \Omega$$

$$R_Q = 0,1 * X_Q = 0,1 * 0,000669 \Omega = 0,00007005 \Omega$$

Transformator:

$$u_s = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = \sqrt{0,04^2 - 0,0105^2} = 0,0386$$

$$K_T = 0,95 * \frac{c_{max}}{1 + 0,6 * u_s} = 0,95 * \frac{1,1}{1 + 0,6 * 0,0386} = 1,021$$

$$R_T = \frac{u_r * U_{US}^2}{S_N} * K_T = \frac{0,0105 * (400 V)^2}{400 kVA} * 1,021 = 0,004288 \Omega$$

$$X_T = \frac{u_s * U_{US}^2}{S_N} * K_T = \frac{0,0386 * (400 V)^2}{400 kVA} * 1,021 = 0,015764 \Omega$$

Kabel1:

$$R_{L1} = r * l_1 = 0,208 \frac{m\Omega}{m} * 190 m = 0,03952 \Omega$$

$$X_{L1} = x * l_1 = 0,08 \frac{m\Omega}{m} * 190 m = 0,0152 \Omega$$

Kabel2:

$$R_{L2} = r * l_2 = 0,876 \frac{m\Omega}{m} * 20 m = 0,01752 \Omega$$

$$X_{L2} = x * l_2 = 0,083 \frac{m\Omega}{m} * 20 m = 0,00166 \Omega$$

maximaler Kurzschlussstrom:

$$I''_{K_{max}} = I''_{K3} = \frac{c_{max} * U_{US}}{\sqrt{3} * \sqrt{(R_Q + R_T + R_{L1} + R_{L2})^2 + (X_Q + X_T + X_{L1} + X_{L2})^2}}$$

$$= \frac{1,1 * 400 V}{\sqrt{3} * \sqrt{(0,00007005 \Omega + 0,004288 \Omega + 0,03952 \Omega + 0,01752 \Omega)^2 + (0,0007005 \Omega + 0,015764 \Omega + 0,0152 \Omega + 0,00166 \Omega)^2}}$$

$$I''_{K_{max}} = I''_{K3} = 3,636 \text{ kA}$$

$$S''_K = \sqrt{3} * U_{US} * I''_{K_{max}} = \sqrt{3} * 400 V * 3636 A = 2,519 \text{ MVA}$$

Zusatz1: Berechnung der weiteren maximalen Kurzschlussströme am HA:

Zweipoliger Kurzschluss ohne Erdberührung: (Komponentensystem siehe Anhang)

$$I''_{K2} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I''_{K3} = \frac{\sqrt{3}}{2} * 3,3 \text{ kA} = 2,86 \text{ kA}$$

Einpoliger Kurzschluss: (Komponentensystem siehe Anhang)

Transformator:

$$R_{0T} = R_T = 0,004288 \Omega$$

$$X_{0T} = 0,95 * X_T = 0,95 * 0,015764 \Omega = 0,014976 \Omega$$

Kabel1:

$$R_{0L1} = 4,0 * R_{L1} = 4,0 * 0,03952 \Omega = 0,15808 \Omega$$

$$X_{0L1} = 3,65 * X_{L1} = 3,65 * 0,0152 \Omega = 0,05548 \Omega$$

Kabel2:

$$R_{0L2} = 4,0 * R_{L2} = 4,0 * 0,01752 \Omega = 0,07008 \Omega$$

$$X_{0L2} = 4,13 * X_{L2} = 4,13 * 0,00166 \Omega = 0,068558 \Omega$$

$$I''_{K1} =$$

$$= \frac{\sqrt{3} * c_{max} * U_{US}}{\sqrt{(2 * R_Q + 2 * R_T + 2 * R_{L1} + 2 * R_{L2} + R_{0T} + R_{0L1} + R_{0L2})^2 + (2 * X_Q + 2 * X_T + 2 * X_{L1} + 2 * X_{L2} + X_{0T} + X_{0L1} + X_{0L2})^2}}$$

$$= \frac{\sqrt{3} * 1,1 * 400 V}{\sqrt{(2 * 0,00007005 \Omega + 2 * 0,004288 \Omega + 2 * 0,03952 \Omega + 2 * 0,01752 \Omega + 0,004288 \Omega + 0,15808 \Omega + 0,07008 \Omega)^2 + (2 * 0,0007005 \Omega + 2 * 0,015764 \Omega + 2 * 0,0152 \Omega + 2 * 0,00166 \Omega + 0,014976 \Omega + 0,05548 \Omega + 0,068558 \Omega)^2}}$$

$$I''_{K1} = 1,857 \text{ kA}$$

### Zusatz2: Berechnung der kleinsten Kurzschlussströme

Bei dieser Berechnung wird mit Spannungsfaktor  $c_{min}$  berechnet und mit der maximalen zulässigen Kabeltemperatur am Ende des Kurzschlusses (160°C). (TELE-FONIKA)

Da man den kleinsten Kurzschlussstrom benötigt, wird im folgendem nur  $I_{K1min}$  berechnet.

vorgelagertes Netz:

$$Z_Q = \frac{c_{min} * U_{US}^2}{S_K} = \frac{0,95 * (400 \text{ V})^2}{250 \text{ MVA}} = 0,000608 \Omega$$

$$X_Q = \frac{Z_Q}{\sqrt{(R_Q/X_Q)^2 + 1}} = \frac{0,000704 \Omega}{\sqrt{(0,1)^2 + 1}} = 0,000605 \Omega$$

$$R_Q = 0,1 * X_Q = 0,1 * 0,000669 \Omega = 0,0000605 \Omega$$

Transformator:

$$u_s = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = \sqrt{0,04^2 - 0,0105^2} = 0,0386$$

$$K_T = 0,95 * \frac{c_{min}}{1 + 0,6 * u_s} = 0,95 * \frac{0,95}{1 + 0,6 * 0,0386} = 0,882$$

$$R_T = \frac{u_r * U_{US}^2}{S_N} * K_T = \frac{0,0105 * (400 \text{ V})^2}{400 \text{ kVA}} * 0,882 = 0,0037044 \Omega$$

$$X_T = \frac{u_s * U_{US}^2}{S_N} * K_T = \frac{0,0386 * (400 \text{ V})^2}{400 \text{ kVA}} * 0,882 = 0,013618 \Omega$$

$$R_{0T} = R_T = 0,005927 \Omega$$

$$X_{0T} = 0,95 * X_T = 0,095 * 0,013618 \Omega = 0,012937 \Omega$$

Kabel1:

$$R_{L1} = r * l_1 = 0,208 \frac{m\Omega}{m} * 190 \text{ m} = 0,03952 \Omega$$

$$R_{L1,160^\circ} = (1 + 0,004 * \frac{160^\circ \text{C} - 20^\circ \text{C}}{^\circ \text{C}}) * R_{L1} = 0,06165 \Omega$$

$$X_{L1} = x * l_1 = 0,08 \frac{m\Omega}{m} * 190 \text{ m} = 0,0152 \Omega$$

$$R_{0L1,160^\circ} = 4,0 * R_{L1,160^\circ} = 4,0 * 0,06165 \Omega = 0,245 \Omega$$

$$X_{0L1} = 3,65 * X_{L1} = 3,65 * 0,0152 \Omega = 0,05548 \Omega$$

Kabel2:

$$R_{L2} = r * l_2 = 0,876 \frac{m\Omega}{m} * 20 \text{ m} = 0,01752 \Omega$$

$$R_{L2,160^\circ} = (1 + 0,004 * \frac{160^\circ \text{C} - 20^\circ \text{C}}{^\circ \text{C}}) * R_{L2} = 0,02733 \Omega$$

$$X_{L2} = x * l_2 = 0,083 \frac{m\Omega}{m} * 20 \text{ m} = 0,00166 \Omega$$

$$R_{0L2,160^\circ} = 4,0 * R_{L2,160^\circ} = 4,0 * 0,02733 \Omega = 0,10932 \Omega$$

$$X_{0L2} = 4,13 * X_{L2} = 4,13 * 0,00166 \Omega = 0,068558 \Omega$$

$$I_{K1_{min}}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot c_{min} \cdot U_{US}}{\sqrt{\frac{(2 \cdot R_Q + 2 \cdot R_T + 2 \cdot R_{L1,160^\circ} + 2 \cdot R_{L2,160^\circ} + R_{0T} + R_{0L1,160^\circ} + R_{0L2,160^\circ})^2 + (2 \cdot X_Q + 2 \cdot X_T + 2 \cdot X_{L1} + 2 \cdot X_{L2} + X_{0T} + X_{0L1} + X_{0L2})^2}{\sqrt{3} \cdot 0,95 \cdot 400 \text{ V}}}}$$

$$I_{K1_{min}}'' = 1,138 \text{ kA}$$

Aus allen Berechnungen lässt sich feststellen, dass der größte Kurzschlussstrom 3,636 kA und der kleinste Kurzschlussstrom 1,138 kA ist. Demzufolge muss das Schaltvermögen der Sicherheitseinrichtung am Hausanschlusspunkt 3,636 kA betragen und sicher ansprechen müssen sie bei 1,138 kA.

## Theorie:

Ein Kurzschluss ist eine zufällige oder beabsichtigte Verbindung mit einer vernachlässigbaren niedrigen Resistanz oder Impedanz, zwischen zwei oder mehr Punkten eines Stromkreises.

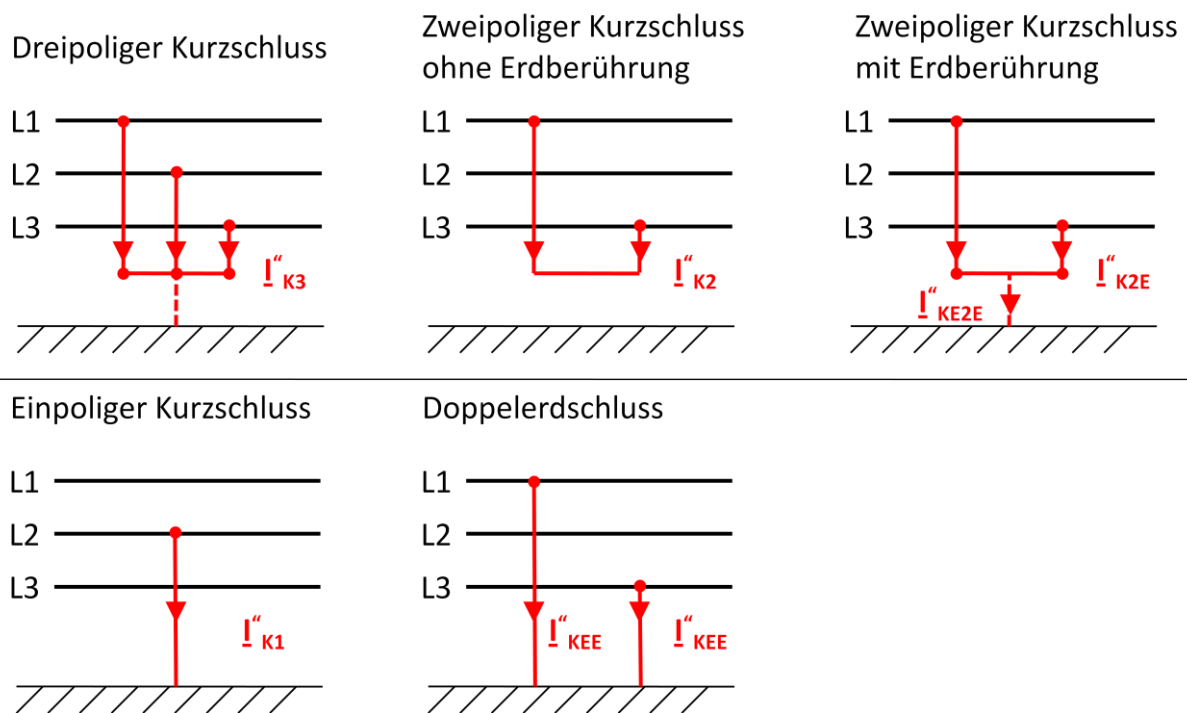
Üblicherweise haben diese Punkte unterschiedliche Spannungen. [ABB]

Ein Kurzschluss führt mit wenigen Ausnahmen zu großen Strömen. Diese bewirken Spannungsabfälle an den vorgelagerten Betriebsmitteln. Die Spannung im Bereich des Fehlerorts verringert sich, man sagt sie bricht ein. [Buckow]

Bei der Kurzschlussstromberechnung berechnet man den größten Kurzschlussstrom sowie den kleinsten auftretenden Fehlerstrom. Die Berechnung des größten Kurzschlussstromes zeigt die größte mechanische und thermische Beanspruchung von Anlagenteilen. Der kleinste Fehlerstrom dient zur Dimensionierung der Schutzorgane. Desweiteren wird die Berechnung zur Untersuchung der Auswirkungen eines Kurzschlusses bei unsymmetrischen Fehlern auf Berührungsspannungen benötigt. [Buckow]

Aus den errechneten Werten lässt sich die Kurzschlussleistung ermitteln.

Nachfolgende Abbildung zeigt die unterschiedlichen Kurzschlussarten, diese werden nach Anzahl der beteiligten Leiter gekennzeichnet.



Ein einpoliger Kurzschluss ist eine niederohmige Verbindung einer der Leiter L1, L2 oder L3 zum Neutralleiter N oder zur Erde. Beim dreipoligen Kurzschluss sind alle Leiter miteinander verbunden.