



# Cerberus

## Anwendertreffen 2010

**Professur  
Elektrische Energietechnik/Regenerative Energien**

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Hempel

Westsächsische Hochschule Zwickau  
Fakultät Elektrotechnik  
Dr.-Friedrichs-Ring 2a  
D-08056 Zwickau  
Tel.: +49 (0) 375 / 536 - 1499  
email: [thomas.hempel@fh-zwickau.de](mailto:thomas.hempel@fh-zwickau.de)

Chemnitz, 23.06.2010



## Gliederung

1. Einleitung
2. Anmeldung von PV-Anlagen, Anschlusspunktanalyse + EEA-Analyse
3. Lastganganalysen mit Motorenberechnung und Gleichzeitigkeitsfaktor
4. Kurzschlussberechnung



## Einleitung

Simulationsprogramm zur Verwendung für Netzberechnungen aller Art

Lastflussberechnungen  
+ Anschlusspunktanalyse



Quelle: [www.elpro.de](http://www.elpro.de)

Berechnung von  
Eigenerzeugungsanlagen



Quelle:  
[www.solarladen.de](http://www.solarladen.de)

Quelle: [www.vdi.de](http://www.vdi.de)

Kurzschluss-  
berechnungen



Quelle: [www.abenteuer-physik-chemie.at](http://www.abenteuer-physik-chemie.at)

Flicker-  
berechnung

Anlauf ASM



Quelle: [de.academic.ru](http://de.academic.ru)



## PV-Anlagen

Anschluss an das bestehende NS-Netz  
müssen folgende Kriterien betrachtet sowie erfüllt werden:

- Spannungsanhebung
- Erhöhung des Kurzschlussstromes
- Schaltbedingte Spannungsänderung
- Oberschwingungen und Zwischenharmonische
- Unsymmetrische Ströme
- Rückwirkungen

- Einspeiseleistung bestimmt durch Wechselrichter WR
- Einspeisevergütung nach Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

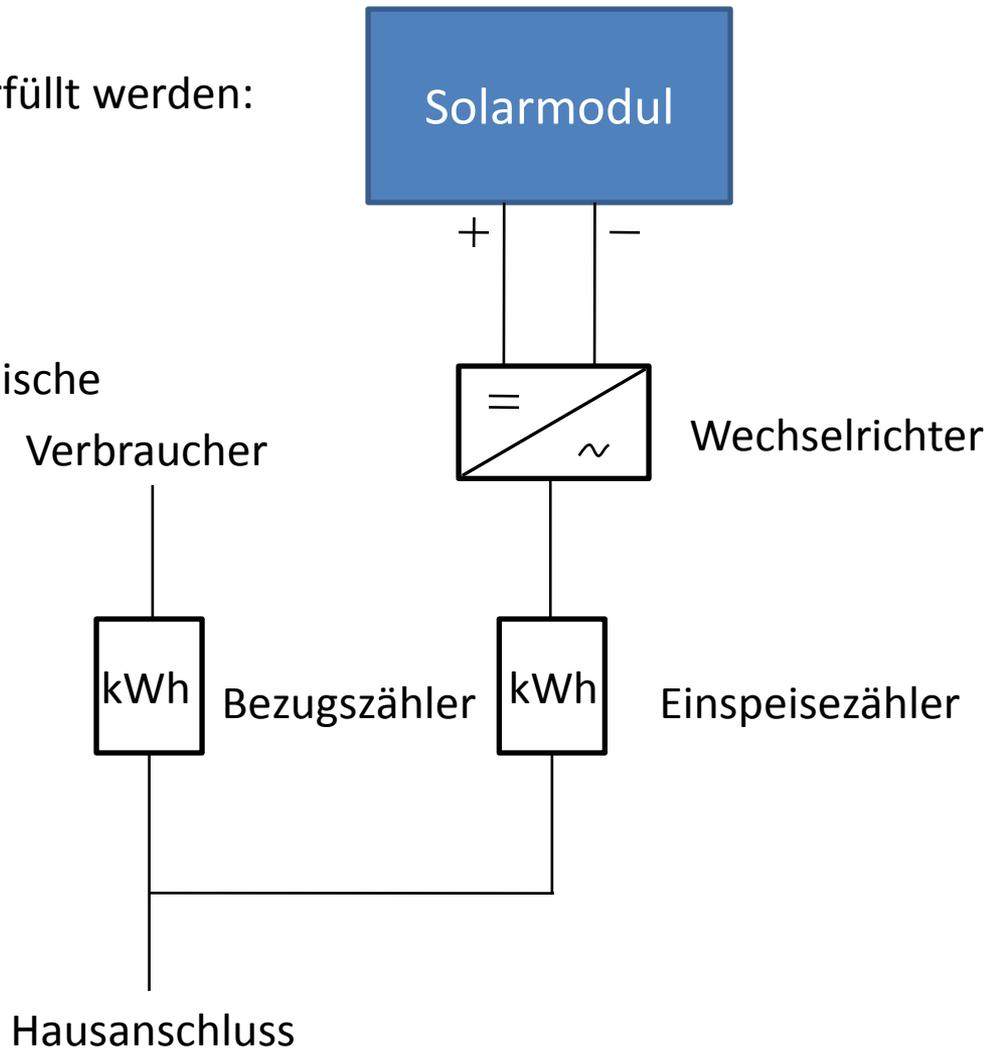


Abbildung: Schema einer netzgekoppelten Anlage



## Aufgabe 1:

In einem beliebigen EVU wird eine PV-Anlage im bestehenden NS-Netz, in Musterhausen Mittelstraße 5 angemeldet. Demnach wird es notwendig eine Anschlussbewertung durchzuführen.

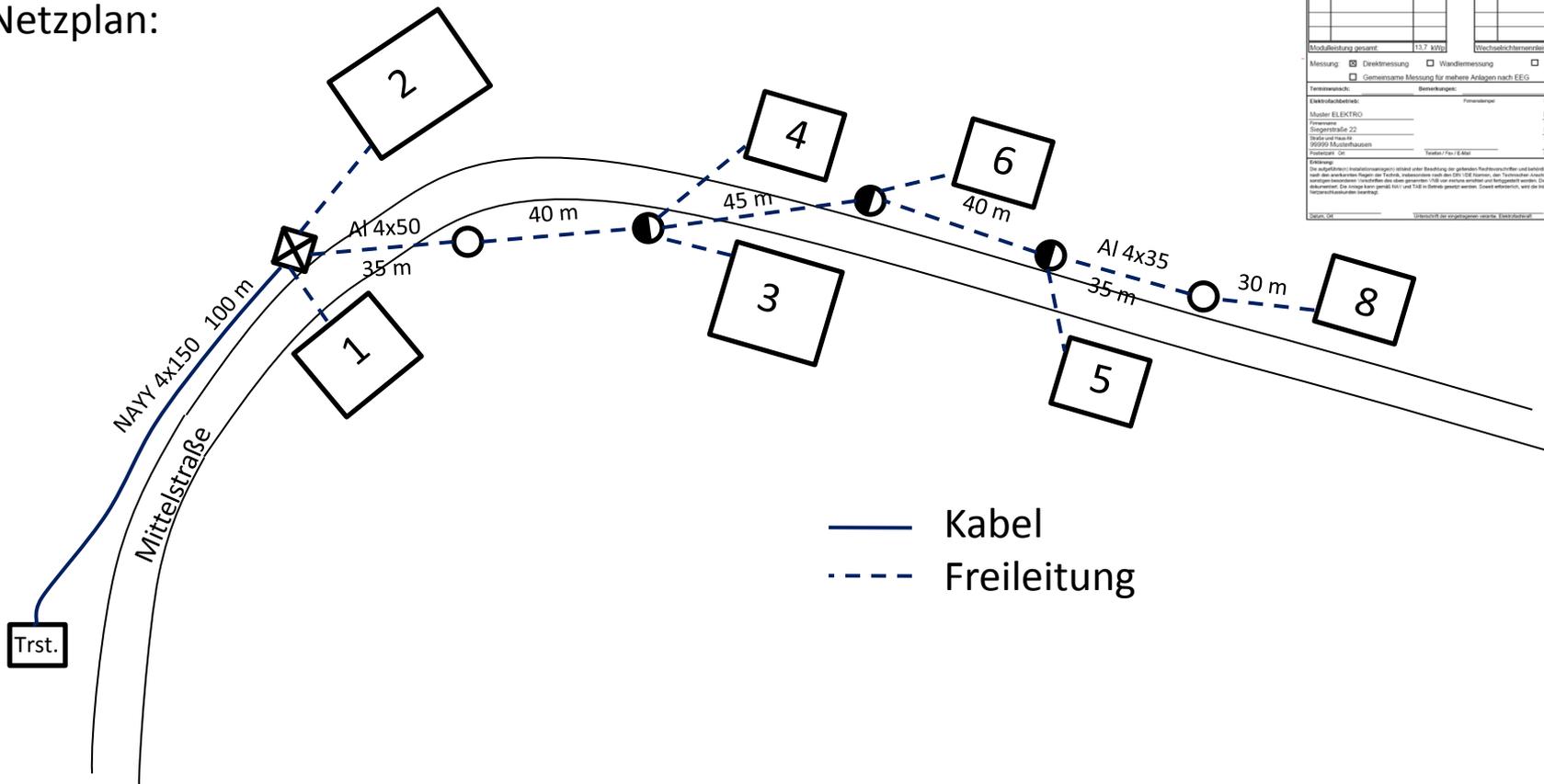
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Anmeldung zum Anschluss einer PV-Anlage</b> <small>an das Versorgungsnetz (Strom)</small> <input type="checkbox"/> <b>Inbetriebsetzung</b> <input type="checkbox"/> <b>Teil-Inbetriebsetzung</b>		Eingangsvermerk (VNB)	
<small>Erläuterungen auf der Rückseite</small>			
<b>Anschrift des Verteilungsnetzbetreibers (VNB)</b> Netzgesellschaft <small>Name des VNB</small> Postfach <small>Straße und Haus-Nr. bzw. Postfach</small> Postleitzahl Ort Fax		<b>Angaben zum Netzanschluss</b> (Lageplan beifügen) Musterlein <small>Kunde (Name, Vorname bzw. Firmenname)</small> Mittelstraße 5 <small>Straße u. Haus-Nr.</small> Ortsteil / Flurstück-Nr. / Etage 99999 Musterhausen <small>Postleitzahl Ort</small> 365/2544863 <small>Bei vorhandener Anlage: Kundennummer oder Zählnummer</small>	
<b>Anlagenbetreiber:</b> Musterlein <small>Name, Vorname bzw. Firmenname</small> Mittelstraße 5 <small>Straße und Haus-Nr.</small> 99999 Musterhausen <small>Postleitzahl Ort</small> Telefon / Fax / E-Mail		Datum, Unterschrift (Betreiber) Zustimmung des Grundstückseigentümers liegt vor <input checked="" type="checkbox"/> <small>bei Abweichungen vom Kunden, bitte Kontaktdaten unter Bemerkungen eintragen</small> MUSTERLEIN <small>Datum, Unterschrift (Eigentümer) Name in Druckschrift</small>	
<b>Photovoltaikanlagendaten:</b>			
<b>Moduldaten:</b>		<b>Wechselrichterdaten:</b>	
<small>Anzahl</small>	<small>Modultyp</small>	<small>Anzahl</small>	<small>Wechselrichtertyp</small>
<small>Leistung Wp</small>		<small>Nennleistung kW</small>	
129	Isofoton/ I-106/12	106	
<b>Modulleistung gesamt:</b>		<b>Wechselrichternennleistung gesamt:</b>	
13,7 kWp		15 kW	
Messung: <input checked="" type="checkbox"/> Direktmessung <input type="checkbox"/> Wandlermessung <input type="checkbox"/> Kundeneigene Messung <input type="checkbox"/> Gemeinsame Messung für mehrere Anlagen nach EEG			
<b>Terminwunsch:</b> _____ <b>Bemerkungen:</b> _____			
<b>Elektrofachbetrieb:</b>		<b>Firmenstempel</b>	
Muster ELEKTRO		Eingetragen bei:	
<small>Firmenname</small>		Netzgesellschaft	
Siegerstraße 22		Verteilnetzbetreiber	
<small>Straße und Haus-Nr.</small>		55555	
99999 Musterhausen		<small>Ausweisnummer</small>	
<small>Postleitzahl Ort</small>		Datum Unterschrift	
Telefon / Fax / E-Mail			
<b>Erklärung:</b> <small>Die aufgeführte(n) Installationsanlage(n) ist/sind unter Beachtung der geltenden Rechtsvorschriften und behördlichen Verfügungen sowie nach den anerkannten Regeln der Technik, insbesondere nach den DIN VDE Normen, den Technischen Anschlussbedingungen (TAB) und den sonstigen besonderen Vorschriften des oben genannten VNB von mir/uns errichtet und fertiggestellt worden. Die Ergebnisse der Prüfung werden dokumentiert. Die Anlage kann gemäß NAV und TAB in Betrieb gesetzt werden. Soweit erforderlich, wird die Inbetriebsetzung im Namen des/der Netzanschlusskunden beantragt.</small>			
Datum, Ort		Unterschrift der eingetragenen verantw. Elektrofachkraft	
		Name in Druckschrift	



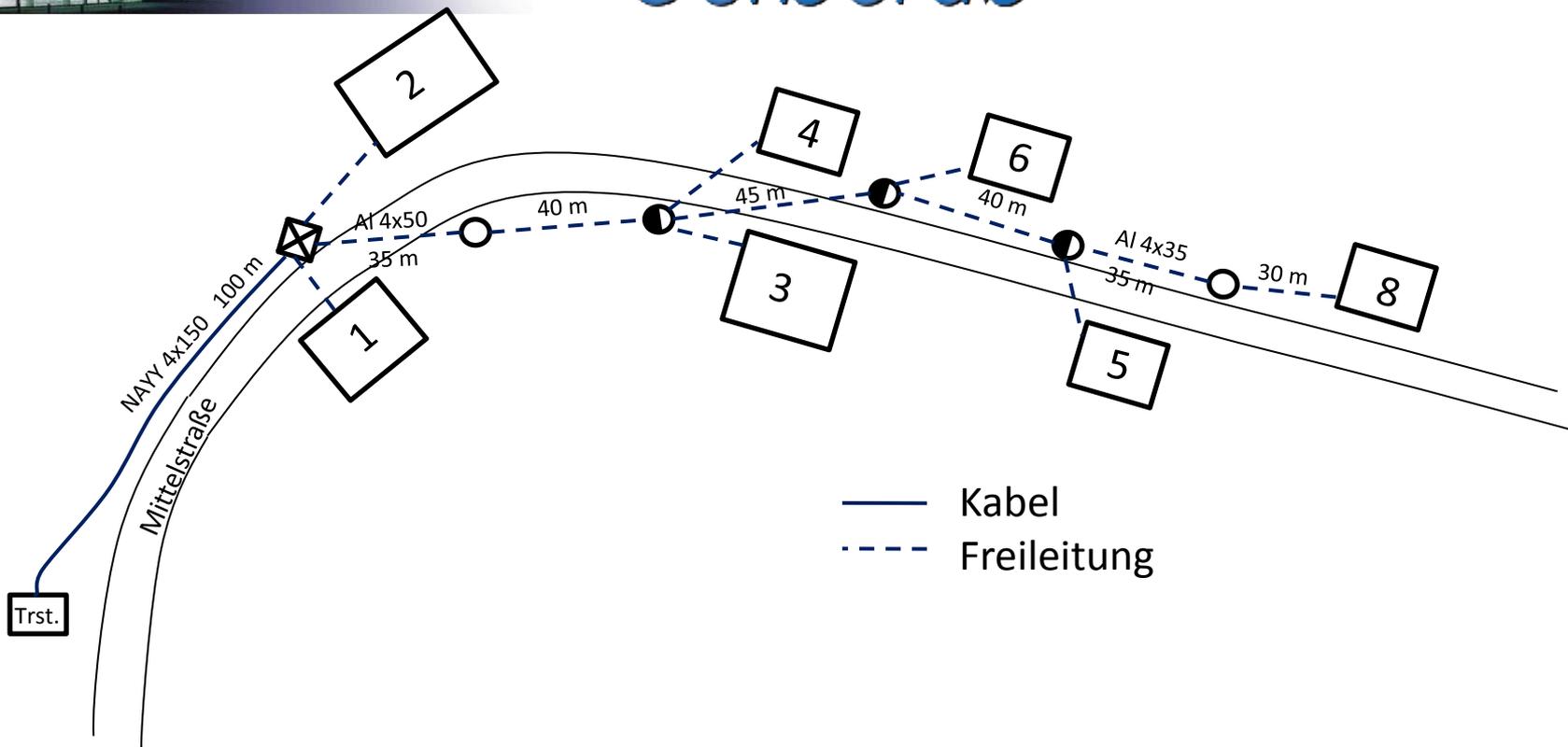
## Aufgabe 1:

In einem beliebigen EVU wird eine PV-Anlage im bestehenden NS-Netz, in Musterhausen Mittelstraße 5 angemeldet. Demnach wird es notwendig eine Anschlussbewertung durchzuführen.

Netzplan:



<input checked="" type="checkbox"/> Anmeldung zum Anschluss einer PV-Anlage <input type="checkbox"/> Inbetriebsetzung <input type="checkbox"/> Teil-Inbetriebsetzung		Einigungsmerkmal (VME)											
Eintragungsort und die Hauszahl													
Anschrift des Verteilungsbereitschafters (VNB)		Anmelden zum Netzanschluss (Antragsteller beifügen)											
Netzzugriff Name des VNB Straße und Haus-Nr. bzw. Postfach Postleitzahl Ort	Kunde (Name, Vorname bzw. Firmenname) Mittelstraße 5 Straße u. Haus-Nr. Ort/Postleitzahl / Bldg. 90000 Musterhausen Postleitzahl: Ort 0402544803 Bei unbekannter Anlage, Kundennummer oder Zählernummer	Musterleiten Datum, Unterschrift (Antragsteller)											
Anlagenbetreiber: Musterleiten Name, Vorname bzw. Firmenname Mittelstraße 5 Straße und Haus-Nr. 90000 Musterhausen Postleitzahl: Ort		Datum, Unterschrift (Eigentümer)											
Zuweisung des Grundstücksbezugsnummern liegt vor <input checked="" type="checkbox"/> Bei Änderungen an Kunden, VNB, Grundstücke oder Betreiber anzugeben													
Musterleiten Datum, Unterschrift (Eigentümer)		Musterleiten Datum, Unterschrift											
Moduldaten		Wechselrichterdaten											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Anzahl</th> <th>Modultyp</th> <th>Leistung [W]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>129</td> <td>Solartop 3-106/12</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>	Anzahl	Modultyp	Leistung [W]	129	Solartop 3-106/12	100	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Anzahl</th> <th>Wechselrichterart</th> <th>Nennleistung [W]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>SUNNY BOY / 5000TL</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	Anzahl	Wechselrichterart	Nennleistung [W]	3	SUNNY BOY / 5000TL	5
Anzahl	Modultyp	Leistung [W]											
129	Solartop 3-106/12	100											
Anzahl	Wechselrichterart	Nennleistung [W]											
3	SUNNY BOY / 5000TL	5											
Modulleistung gesamt 13,7 kWp		Wechselrichterleistung gesamt 15 kWp											
Messung: <input checked="" type="checkbox"/> Diektmessung <input type="checkbox"/> Wandermessung <input type="checkbox"/> Kundeneigene Messung <input type="checkbox"/> Gemeinsame Messung für mehrere Anlagen nach EEG													
Elektrifizierung:													
Muster EL/EXTRO Firmenname Ringenstraße 22 Straße und Haus-Nr. 90000 Musterhausen Postleitzahl: Ort	Firmenname Netzzugriff Unterzählstellen 50000 Anwesennummer Datum	Einigungsmerkmal Netzzugriff Unterzählstellen 50000 Anwesennummer Datum											
Erklärung: Die angeführten Installationsleistungen stellen eine Bestätigung der gebildeten Fachvorschriften und behördlichen Verfügungen sowie nach den anwendbaren Regeln der Technik, insbesondere nach den VDE Normen, von Technischen Hochspannungsanlagen (THA) und den sonstigen technischen Vorschriften dar, die dem genannten VNB vor seiner Annahme zur Verfügung stehen. Die Ergebnisse der Prüfung werden elektronisch, die Anlage kann gemäß VDE und THA in Betrieb gesetzt werden. Einmal elektronisch, wird die Inbetriebsetzung in Form einer Inbetriebnahmeurkunde bestätigt.													



**Netz-Daten:**

MS-Netz: 20 kV

NS-Netz: 0,4 kV

**Transformator-daten:**

Öltransformator

$S_N = 160$  kVA

$u_K = 3,94\%$

**Last-daten:**

Mittelstraße 1 – 3: 2 WE

Mittelstraße 4 – 8: 1 WE

Maximallast pro WE: 18 kW

Minimallast pro WE: 1,5 kW

**Gleichzeitigkeitsfaktor:**

$g = 0,5$  bei Maximallast

$g = 1$  bei Minimallast



## Lösung Aufgabe 1

Die Anschlusspunkt-Analyse im CERBERUS ergibt für die Hausnummer 5 in der Mittelstraße eine Kurzschlussleistung von 883 kVA.



### Bewertung:

➤ Spannungsanhebung: 
$$k_{KL} = \frac{S_{KV}}{\sum S_{A_{max}}} = \frac{883kVA}{15kVA} = 58,87$$

Das Verhältnis zwischen Kurzschlussleistung und Einspeiseleistung liegt über 50. Demnach ist mit keiner Spannungsanhebung zu rechnen.

➤ Erhöhung des Kurzschlussstromes:

Der Wechselrichter steuert kein Vielfaches zum Kurzschlussstrom hinzu. Demzufolge ist die Erhöhung des Kurzschlussstromes zu vernachlässigen.

➤ Schaltbedingte Spannungsänderung: 
$$\Delta u_{max} = k_{i_{max}} \cdot \frac{S_{nE}}{S_{KV}} = 1 \cdot \frac{15kVA}{883kVA} = 0,01698 \rightarrow 1,7\%$$

Die maximale Spannungsänderung liegt unter 2% und ist somit zulässig.

➤ Oberschwingungen und Zwischenharmonische

Für den Wechselrichter gibt es eine Konformitätserklärung. Die Kriterien sind damit erfüllt.

➤ Unsymmetrische Ströme

Da die PV-Anlage 3phasig einspeist treten im normalen Betriebszustand keine unsymmetrischen Ströme auf.

➤ Rückwirkungen auf Rundsteueranlagen

Vom Wechselrichter sind keine unzulässigen Rückwirkungen auf Rundsteuersignale zu erwarten.



## Aufgabe 2:

Mit der Anmeldung einer weiteren PV-Anlage in der Mittelstraße 8, in Musterhausen, wird eine weitere Anschlussbewertung notwendig.

<input checked="" type="checkbox"/> <b>Anmeldung zum Anschluss einer PV-Anlage</b> <small>an das Versorgungsnetz (Strom)</small> <input type="checkbox"/> <b>Inbetriebsetzung</b> <input type="checkbox"/> <b>Teil-Inbetriebsetzung</b>		Eingangsvermerk (VNB)																																						
Erläuterungen auf der Rückseite																																								
<b>Anschrift des Verteilungsnetzbetreibers (VNB)</b>  Netzgesellschaft <small>Name des VNB</small>  Postfach <small>Straße und Haus-Nr. bzw. Postfach</small>  Postleitzahl Ort  Fax		<b>Angaben zum Netzanschluss (Lageplan beifügen)</b>  Muster <small>Kunde (Name, Vorname bzw. Firmenname)</small>  Mittelstraße 8 <small>Straße u. Haus-Nr.</small>  Ortsteil / Flurstück-Nr. / Etage  99999 Musterhausen <small>Postleitzahl Ort</small>  265/25452365 <small>Bei vorhandener Anlage: Kundennummer oder Zählernummer</small>																																						
<b>Anlagenbetreiber:</b> Muster <small>Name, Vorname bzw. Firmenname</small>  Mittelstraße 8 <small>Straße und Haus-Nr.</small>  99999 Musterhausen <small>Postleitzahl Ort</small>  Telefon / Fax / E-Mail		Datum, Unterschrift (Betreiber)																																						
		Zustimmung des Grundstückseigentümers liegt vor <input checked="" type="checkbox"/> <small>bei Abweichungen vom Kunden, bitte Kontaktdaten unter Bemerkungen eintragen</small>  <b>MUSTER</b> <small>Datum, Unterschrift (Eigentümer)      Name in Druckschrift</small>																																						
<b>Photovoltaikanlagendaten:</b>																																								
<b>Moduldaten:</b>		<b>Wechselrichterdaten:</b>																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Anzahl</th> <th>Modultyp</th> <th>Leistung Wp</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>24</td> <td>Kyocera/ KC-125</td> <td>125</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td colspan="2">Modulleistung gesamt:</td> <td>3 kWp</td> </tr> </tbody> </table>	Anzahl	Modultyp	Leistung Wp	24	Kyocera/ KC-125	125													Modulleistung gesamt:		3 kWp	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Anzahl</th> <th>Wechselrichtertyp</th> <th>Nennleistung kW</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>SUNNY BOY / 3000TL</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td colspan="2">Wechselrichternennleistung gesamt:</td> <td>3 kW</td> </tr> </tbody> </table>	Anzahl	Wechselrichtertyp	Nennleistung kW	1	SUNNY BOY / 3000TL	3										Wechselrichternennleistung gesamt:		3 kW
Anzahl	Modultyp	Leistung Wp																																						
24	Kyocera/ KC-125	125																																						
Modulleistung gesamt:		3 kWp																																						
Anzahl	Wechselrichtertyp	Nennleistung kW																																						
1	SUNNY BOY / 3000TL	3																																						
Wechselrichternennleistung gesamt:		3 kW																																						
Messung: <input checked="" type="checkbox"/> Direktmessung <input type="checkbox"/> Wandlermessung <input type="checkbox"/> Kundeneigene Messung <input type="checkbox"/> Gemeinsame Messung für mehrere Anlagen nach EEG																																								
<b>Terminwunsch:</b>		<b>Bemerkungen:</b>																																						
<b>Elektrofachbetrieb:</b> Muster ELEKTRO <small>Firmenname</small> Siegerstraße 22 <small>Straße und Haus-Nr.</small> 99999 Musterhausen <small>Postleitzahl Ort</small>		<small>Firmenstempel</small>  <small>Eingetragen bei:</small> Netzgesellschaft <small>Verteilnetzbetreiber</small> 55555 <small>Ausweisnummer</small>  <small>Datum      Unterschrift</small>																																						
<b>Erklärung:</b> <small>Die aufgeführte(n) Installationsanlage(n) ist/sind unter Beachtung der geltenden Rechtsvorschriften und behördlichen Verfügungen sowie nach den anerkannten Regeln der Technik, insbesondere nach den DIN VDE Normen, den Technischen Anschlussbedingungen (TAB) und den sonstigen besonderen Vorschriften des oben genannten VNB von mir/uns errichtet und fertiggestellt worden. Die Ergebnisse der Prüfung werden dokumentiert. Die Anlage kann gemäß NAV und TAB in Betrieb gesetzt werden. Soweit erforderlich, wird die Inbetriebsetzung im Namen des/der Netzanschlusskunden beantragt.</small>																																								
<small>Datum, Ort</small>	<small>Unterschrift der eingetragenen veranw. Elektrofachkraft</small>	<small>Name in Druckschrift</small>																																						



## Lösung Aufgabe 2

In gegebene Netztopologie beide EEA-Anlagen einfügen



⚡ Unzulässige Spannungserhöhung

### Lösungsvorschläge:

- Neue Transformatorstation:  
Eine neue Transformatorstation würde Abhilfe bringen und die Spannungserhöhung stark reduzieren.  
ABER: Eine Planung einer neuen Trst. dauert sehr lang und ist sehr kostenintensiv und aufgrund der derzeitigen Belastungen auch nicht sinnvoll.
- Parallelleitung:  
nicht umsetzbar, 4x50 Al  
nur noch Luftpfeiler als Freileitung im NS-Bereich verwendet und beide Systeme gleichzeitig unzulässig wären
- Freileitung mit Kabel ersetzen:  
Wäre denkbar doch müssten alle Hausanschlüsse veränderter werden, ein Kabelstrecke gefunden werden und die bestehende Freileitung abgerissen werden.



- Leitungsquerschnittserhöhung mit Luftkabel:

Die Freileitung mit einem Luftkabel höheren Querschnitts ersetzen. Und bei weiteren Anmeldungen wäre eine Doppelleitung denkbar und ist zudem die preiswerteste Variante. Es wurde das Luftkabel NFASX 95<sup>2</sup> und für Hausanschluss 35<sup>2</sup> verwendet.



**Zusatz:** Verwendung von Variablen

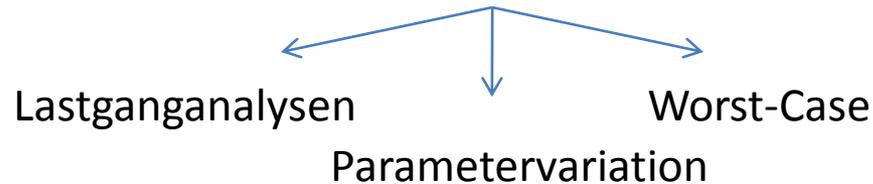


- schnelleres Ändern von Größen möglich
- Möglichkeiten für Formeln
- Möglichkeiten um bestimmte Abhängigkeiten voneinander zu beachten



## Lastganganalysen mit Motorenberechnung und Gleichzeitigkeitsfaktor

Cerberus bietet erweiterte Analysen



Gleichzeitigkeitsfaktor:  
wird angegeben, mit welchem Anteil jeder einzelner Kunde mit seiner Last zur gesamten Lastspitze des Netzes beiträgt.

$$P_{\max} = g \cdot P_{\text{inst}}$$

$P_{\max}$  maximal benötigte Leistung  
 $P_{\text{inst}}$  installierte Leistung  
 $g$  Gleichzeitigkeitsfaktor

Art der elektrischen Anlage oder Industrie	Gleichzeitigkeitsfaktor g (für Haupteinspeisung)	Bemerkungen
<b>Maschinenbau</b> Metallbearbeitung Automobil-Fabriken	0,25 0,25	→ Elektrische Antriebe oft reichlich bemessen
<b>Papier- und Zellstoff-Fabriken</b>	0,5 bis 0,7	→ g hängt stark von Reserveantrieben ab
<b>Textil-Industrie</b> Spinnereien Webereien, Textilausrüstung	0,75 0,6 bis 0,7	
<b>Beleuchtung von Straßentunnel</b>	1	→ alle an
<b>Chemische Industrie, Erdöl-Industrie</b>	0,5 bis 0,7	→ Wegen der Empfindlichkeit chemischer Fabrikationsprozesse gegenüber Netzausfällen, muss die Einspeisung großzügig bemessen werden
<b>Zement-Werke</b>	0,8 bis 0,9	→ Etwa 3.500t Tagesproduktion mit 500 Motoren (große Mühlen, Hochspannungsmotoren-Antrieb)



## Aufgabe:

In einer Feinwalzstraße muss die maximale Anschlussleistung auf 400 kW minimiert werden. Dazu wird mit dem Simulationsprogramm Cerberus eine Beurteilung hinsichtlich des Gleichzeitigkeitsfaktors unternommen sowie die erweiterten Analysearten betrachtet.



Abbildung: Feinwalzstraße

(Quelle: [www.arvedi.it](http://www.arvedi.it))

<b>Netz-Daten:</b>	$S''_k = 250 \text{ MVA}$	$U_{OS} = 10 \text{ kV}$ $U_{US} = 0,4 \text{ kV}$
<b>Transformator-daten:</b>	Öltransformator $S_N = 600 \text{ kVA}$	$U_K = 4\%$
<b>Kabel-daten:</b>	NAYY 4x150 mm <sup>2</sup> $l = 150\text{m}$	
<b>Last-daten:</b>	Last 1:	250 kW
	Last 2:	100 kW
	Last 3:	150 kW
	Last 4:	250 kW



Lösung:



Folgende Möglichkeiten für die Motoren:

Möglichkeiten	Motor 1 (250 kW)	Motor 2 (100 kW)	Motor 3 (250 kW)	Motor 4 (150 kW)
1	An			
2		An		
3			An	
4				An
5	An	An		
6	An			An
7		An		An

Bedingungen:

- Überbelastung der Kabel auszuschließen,
- kein Unterschreiten der Spannungsuntergrenze,
- kein Überschreiten der Anschlussleistung

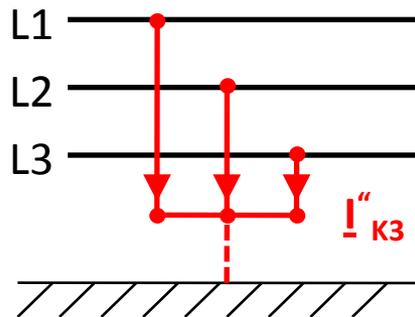
Mit dieser Auswertung muss eine entsprechende Verriegelung der Motoren untereinander installiert werden.



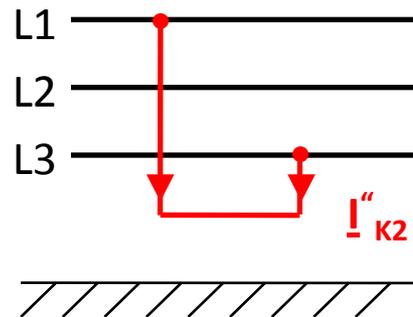
## Kurzschlussberechnung

Die Berechnung des größten Kurzschlussstromes zeigt die größte mechanische und thermische Beanspruchung von Anlagenteilen. Der kleinste Fehlerstrom dient zur Dimensionierung der Schutzorgane.

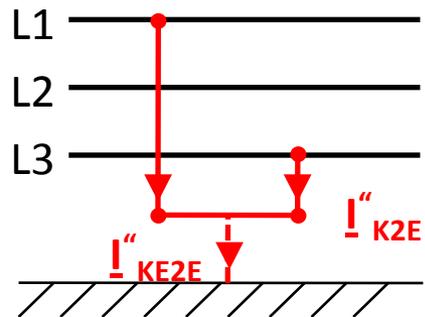
Dreipoliger Kurzschluss



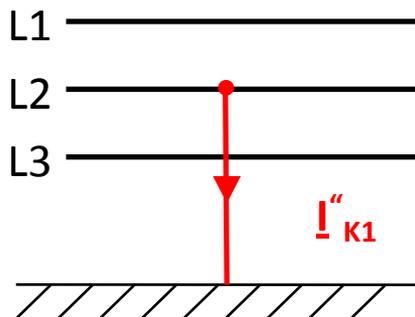
Zweipoliger Kurzschluss ohne Erdberührung



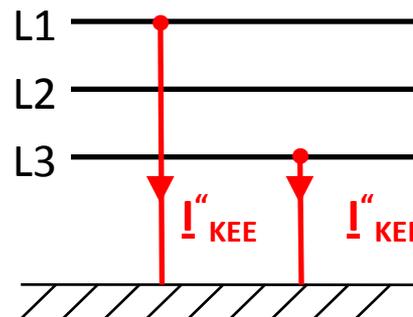
Zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung



Einpoliger Kurzschluss



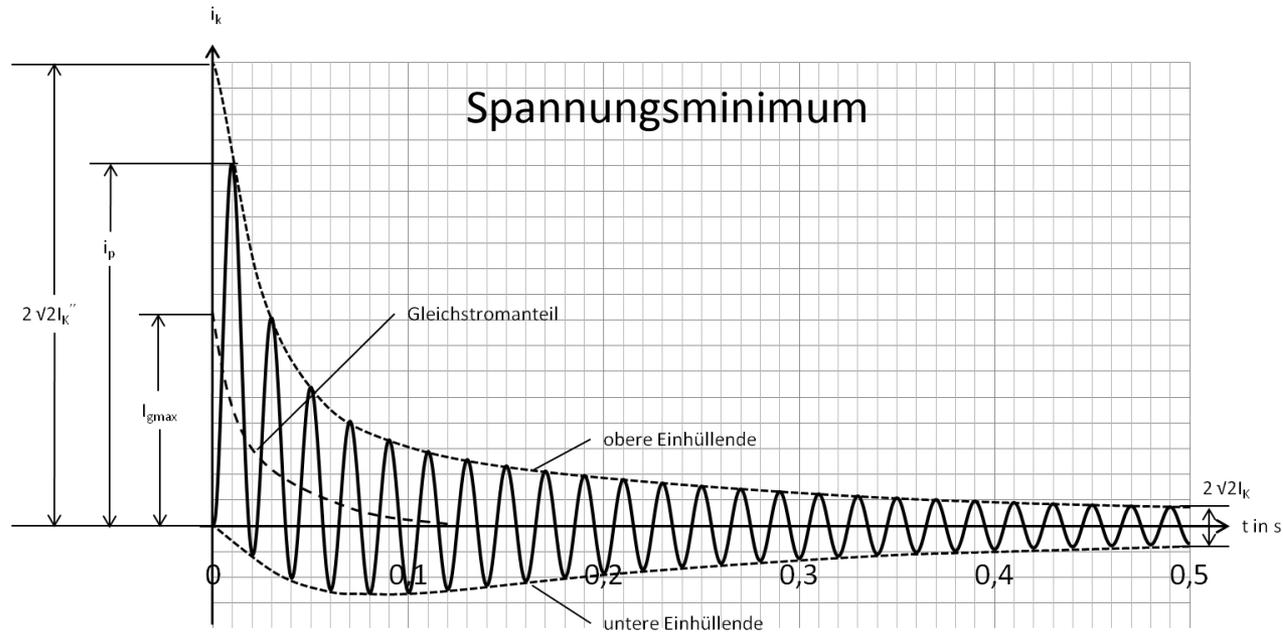
Doppelerdschluss



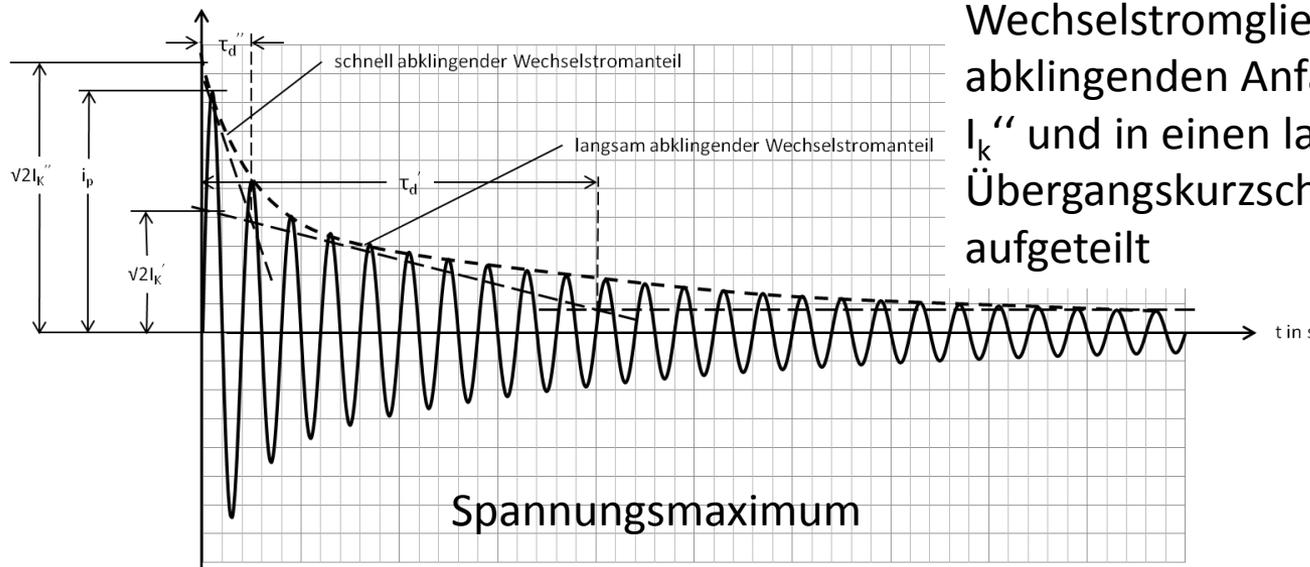
Kurzschlussarten



## Kurzschlussgrößen am Beispiel eines generatornahem Kurzschlusses



Dauerkurzschlussstrom  $I_k$   
Stosskurzschlussstrom  $i_p$



Wechselstromglieder werden in den schnell abklingenden Anfangskurzschlusswechselstrom  $I_k''$  und in einen langsam abklingenden Übergangskurzschlusswechselstrom  $I_k'$  aufgeteilt



## 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.

**Netz-Daten:**  $S_k = 250 \text{ MVA}$   $U_{OS} = 10 \text{ kV}$   
 $U_{US} = 0,4 \text{ kV}$

**Transformator-daten:** Öltransformator  
 $S_N = 400 \text{ kVA}$   $U_K = 4\%$

**Kabel-daten:**  
Kabel1:  $\text{NAYY } 4 \times 150 \text{ mm}^2$   $l = 190 \text{ m}$   
Kabel2:  $\text{NAYY } 4 \times 35 \text{ mm}^2$   $l = 20 \text{ m}$

Lösung:

a) Mit Cerberus



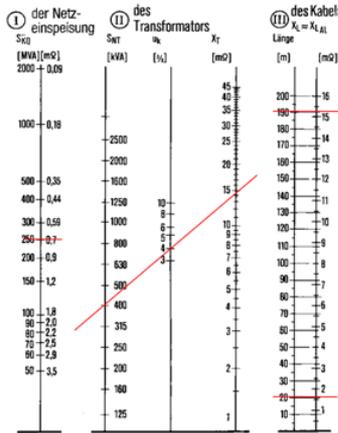
$$I_k'' = 3,59 \text{ kA}$$

$$S_{K''} = 2,49 \text{ MVA}$$

b) Grafisch

$$I_k'' = 3,4 \text{ kA}$$

Blindwiderstände X:



2. Schritt

IV des Schienensystems<sup>3)</sup>

Netzstrecke Nr.	Länge [m]	Widerstand <sup>2)</sup> [mΩ]
LDA...		
LDC...		
BD...		
③		
④		
⑤		
⑥		
⑦		

Additionsfeld:

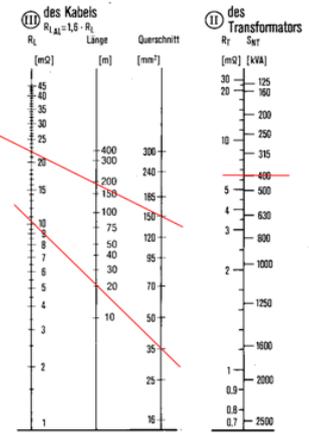
Blindwiderstände X [mΩ]	Wirkwiderstände R [mΩ]
Σ ↓	Σ ↓
0,7 ①	
A 15,2 ②	6,25 A
B 30,4 ③	41,4 B
C 32,0 ④	58,25 C
D ⑤	D
E ⑥	E
F ⑦	F

Wirkwiderstände R:

IV des Schienensystems<sup>3)</sup>

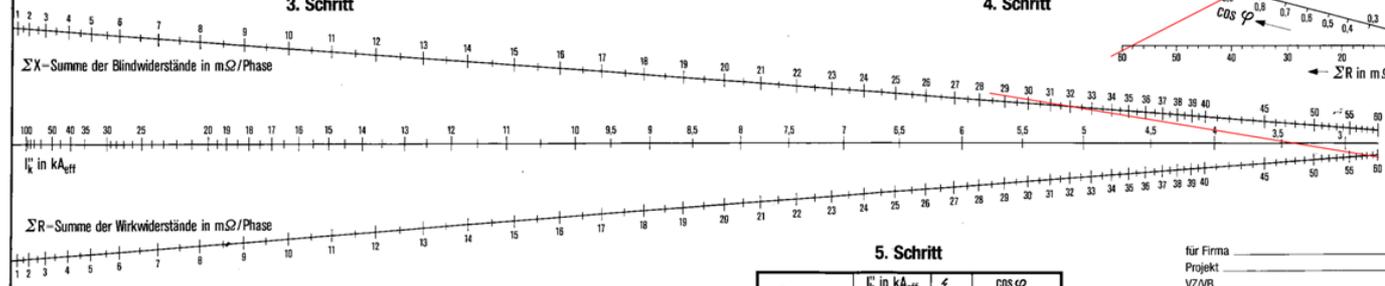
Netzstrecke Nr.	Länge [m]	Widerstand <sup>2)</sup> [mΩ]
LDA...		
LDC...		
BD...		
③		
④		
⑤		
⑥		
⑦		

2. Schritt



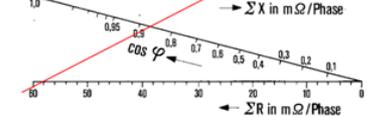
Anfangskurzschlusswechselstrom  $I_k''$  in  $\text{kA}_{\text{eff}}$

3. Schritt



Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  :

4. Schritt



5. Schritt

Ergebnisfeld:	$I_k''$ in $\text{kA}_{\text{eff}}$	$f_{\text{max}}$	$\cos \varphi$
	3,4	A	
	B		
	C HA		
	D		
	E		
	F		

für Firma \_\_\_\_\_  
Projekt \_\_\_\_\_  
VZ/VB \_\_\_\_\_  
Datum \_\_\_\_\_  
Bearbeiter Thomas Hempel  
Kennzeichnung \_\_\_\_\_

## c) rechnerisch

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:

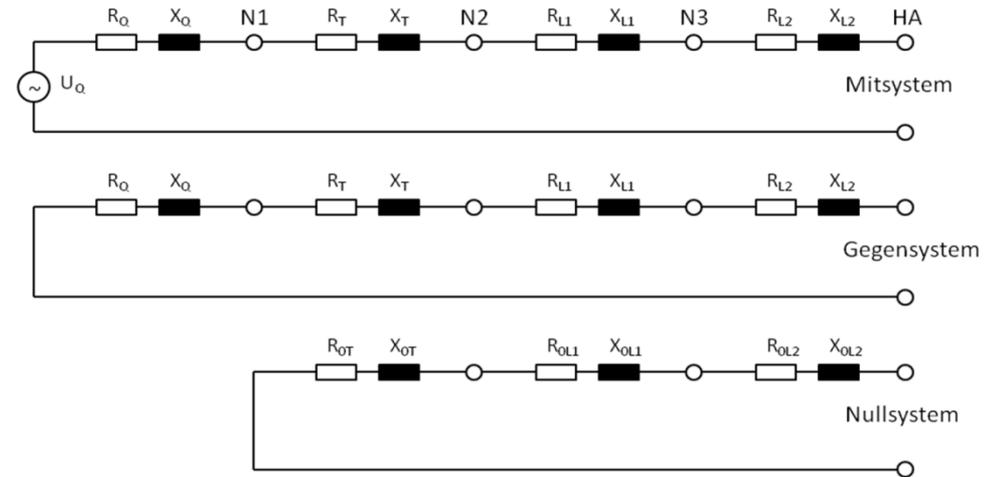
$$R_{L1} = r * l_1 = 0,208 \frac{m\Omega}{m} * 190 m = 0,03952 \Omega$$

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

Kabel2:

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

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



Allgemeine Ersatzschaltung in Komponentensystemen

maximaler Kurzschlussstrom:

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

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

$$I_{K_{max}}'' = I_{K3}'' = 3,636 kA$$

$$S_K'' = \sqrt{3} * U_{US} * I_{K_{max}}'' = \sqrt{3} * 400 V * 3636 A = 2,519 MVA$$



# Vielen Dank für Ihr Interesse!