

PSS[®] SINCAL 10.5

Kurzschluss

Kurzschlussberechnung in elektrischen Netzen

Herausgegeben von
SIEMENS AG
Freyeslebenstraße 1, 91058 Erlangen

IC SG SE PTI SW

Vorbemerkung

Die PSS SINCAL Handbücher bestehen aus drei Teilen:

- Benutzerhandbuch PSS SINCAL Bedienung
- Fachhandbücher für Elektronetze und Strömungsnetze
- Systemhandbuch Datenbankbeschreibung

Allgemeine Grundsätze der Bedienung und der Grafikoberfläche von PSS SINCAL können dem **Benutzerhandbuch PSS SINCAL Bedienung** entnommen werden.

Die **Fachhandbücher für Elektronetze** beinhalten detaillierte Beschreibungen der verschiedenen Berechnungsverfahren für Elektronetze (Lastfluss, Kurzschluss, etc.) sowie deren Eingabedaten.

Die **Fachhandbücher für Strömungsnetze** beinhalten detaillierte Beschreibungen der verschiedenen Berechnungsverfahren für Strömungsnetze (Wasser, Gas und Wärme/Kälte) sowie deren Eingabedaten.

Das **Systemhandbuch Datenbankbeschreibung** beinhaltet eine vollständige Beschreibung der Datenmodelle für Elektronetze und Strömungsnetze.

Urheber- und Verlagsrechte

Das Handbuch und alle in ihm enthaltenen Informationen und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

Die Rechte, insbesondere die Rechte zur Veröffentlichung, Wiedergabe, Übersetzung, zur Vergabe von Nachdrucken, zur elektronischen Speicherung in Datenbanken, zur Herstellung von Sonderdrucken, Fotokopien und Mikrokopien liegen bei SIEMENS.

Für jede Wiedergabe oder Verwendung außerhalb der durch das Urhebergesetz erlaubten Grenzen ist eine vorherige schriftliche Zustimmung von SIEMENS unerlässlich.

Gewährleistung

Trotz sorgfältiger Ausarbeitung könnten in diesem Handbuch Fehler enthalten sein. Es wird keinerlei Haftung für Fehler und deren Folgen übernommen. Änderungen des Textes und der Funktion der Software werden im Rahmen der Pflege ständig durchgeführt.

1.	Einleitung Kurzschluss	1
2.	Verfahren Kurzschluss	3
2.1	Berechnung ohne Berücksichtigung von Ausgleichsströmen	4
2.2	Berechnung mit Berücksichtigung von Ausgleichsströmen	4
2.3	Berechnung der Ströme	5
2.4	3-poliger Kurzschluss	6
2.5	2-poliger Kurzschluss	7
2.6	1-poliger Kurzschluss	8
2.7	2-poliger Erdschluss	10
2.8	3-poliger Erdschluss	12
2.9	Prinzipieller Rechnungsablauf Kurzschluss	14
2.10	Kurzschlussberechnung nach VDE 0102 bzw. IEC 909	15
2.10.1	Spezielle Nachbildungen nach VDE	18
2.10.2	Bestimmung der treibenden Spannung	19
2.10.3	Nachbildung des Netzes	19
2.10.4	Ermittlung des kleinsten Dauerkurzschlussstromes	20
2.11	Kurzschlussberechnung nach IEC 61363	20
2.11.1	Spezielle Nachbildungen nach IEC	22
2.11.2	Bestimmung der treibenden Spannung	24
2.11.3	Nachbildung des Netzes	25
2.11.4	Ermittlung des kleinsten Dauerkurzschlussstromes	25
2.12	Kurzschlussberechnung nach ANSI bzw. IEEE	25
2.12.1	Spezielle Nachbildungen nach ANSI	26
2.12.2	Bestimmung der treibenden Spannung	27
2.12.3	Nachbildung des Netzes	27
2.13	Kurzschlussberechnung nach Engineering Recommendation G74	27
2.13.1	Spezielle Nachbildungen nach G74	29
2.13.2	Bestimmung der treibenden Spannung	32
2.13.3	Nachbildung des Netzes	32
2.13.4	Ermittlung des kleinsten Dauerkurzschlussstromes	32
2.14	Kurzschlussberechnung mit Vorbelastung analog zu VDE bzw. IEC	33
2.14.1	Spezielle Nachbildungen bei Vorbelastung nach VDE bzw. IEC	33

Inhalt

2.14.2	Bestimmung der treibenden Spannung	33
2.14.3	Nachbildung des Netzes	34
2.14.4	Beispiel	34
2.15	Unterschiede zwischen IEC und ANSI	36
2.16	Unterschiede zwischen IEC und G74	37
2.17	Ergebnisse der Kurzschlussberechnung	37
2.17.1	Kurzschlussresultate nach VDE bzw. G74	37
2.17.2	Kurzschlussresultate nach ANSI	70
3.	Anwendungsbeispiel für Kurzschluss	100
3.1	Voreinstellen der Berechnungsparameter	101
3.2	Starten der Kurzschlussberechnung	102
3.3	Darstellen und Auswerten der Ergebnisse	103

1. Einleitung Kurzschluss

PSS SINCAL Kurzschluss stellt ein wirkungsvolles Werkzeug bei der Berechnung des Betriebsverhaltens elektrischer Übertragungs- und Verteilungsnetze dar. PSS SINCAL Kurzschluss berechnet nach folgenden Bestimmungen die elektrischen Größen Strom, Spannung und Leistung bei 1-, 2- und 3-poligen Kurzschlüssen nach:

- VDE bzw. IEC
- ANSI bzw. IEEE
- Vorbelastung analog zu VDE bzw. IEC
- Engineering Recommendation G74

Dieses Handbuch enthält folgende Kapitel:

- [Verfahren Kurzschluss](#)
- [Ergebnisse der Kurzschlussberechnung](#)
- [Anwendungsbeispiel für Kurzschluss](#)

Vorgehensweise Kurzschluss

Die Berechnungsmethode Kurzschluss ist immer aktiv. Die Daten für den Kurzschluss können daher ohne spezielle Einstellungen immer eingegeben werden.

Symmetrische Fehler

Es sind folgende Schritte notwendig:

- Festlegen und Parametrieren des Kurzschlussverfahrens bei Kurzschluss Berechnungsparametern
- Aktivieren der Kurzschlussberechnung bei den Netzebenenendaten
- Parametrieren der treibenden Spannung (wenn laut Verfahren notwendig) bei den Netzebenenendaten

Unsymmetrische Fehler

Für die korrekte Berechnung von unsymmetrischen Fehlern muss zuerst das **unsymmetrische Netzmodell** bei den Berechnungsmethoden aktiviert werden.

Danach sind folgende weitere Schritte möglich

- Eingabe von Gegen- und Nullsystemdaten bei den Netzelementen
- Festlegen der Phasen bei den Netzelementen
- Festlegen der Wicklungen bei den Transformatoren
- Eingeben von Sternpunktimpedanzen

Berechnung der Netze

Wie rasch die Berechnung eines Netzes abläuft, ist hauptsächlich von vier Faktoren abhängig:

- Netzgröße und Topologie
- Anzahl der geregelten Elemente
- Berechnungsart
- Verfügbarer Hauptspeicher

Lastfluss für Ermittlung der Vorbelastung

Die Lastflussberechnung wird im Rahmen des PSS SINCAL Kurzschlusses zur Ermittlung der Vorbelastung verwendet. Dies erfolgt allerdings nur dann, wenn die Kurzschlussberechnung vorbelastet analog zu VDE bzw. IEC durchgeführt wird.

Abbildung der Netze für die Berechnung

Die Darstellung der Netze zur Berechnung wird im Kapitel Netzdarstellung des Eingabedaten Handbuches genau beschrieben.

2. Verfahren Kurzschluss

Bei der Kurzschlussberechnung handelt es sich um die Berechnung eines elektrischen Netzwerkes mit gegebenen Längs- und Queradmittanzen und gegebenen treibenden Spannungen der Generatoren. Die Längs- und Queradmittanzen sind durch die Betriebsmittel gegeben. Gesucht sind die Ströme und Knotenpunktspannungen bei Auftreten von Kurzschlüssen in einem beliebigen Knotenpunkt.

Bei Kurzschlussberechnung strikt nach VDE 0102, IEC 909, IEC 61363, Recommendation G74 und ANSI ist mit den symmetrischen Komponenten zu rechnen. Lichtbogenimpedanzen können in die Berechnung miteinbezogen werden. Eine Erdübergangsimpedanz kann nicht in die Berechnung miteinbezogen werden.

Wenn die Nachbildung des Netzes mit symmetrischen Komponenten nicht möglich ist (siehe Handbuch Allgemeine Eingabedaten, Kapitel Gewählte Eingabedaten), muss eine Berechnung mit Leiterdaten erfolgen. Hierbei ist zu beachten, dass die Kurzschlussberechnungen dann nicht mehr exakt nach Norm durchgeführt werden, da hier eine Berechnung mit symmetrischen Komponenten vorausgesetzt wird. Für die Berechnung mit Leiterdaten muss bei den Kurzschluss Berechnungsparametern im Auswahlfeld **Kurzschlussdaten** die Option **Leiterdaten** ausgewählt sein. Lichtbogenimpedanzen und die Erdübergangsimpedanz können in die Berechnung miteinbezogen werden.

Aus den Knotenpunktgleichungen (Summe der zufließenden Ströme ist gleich der Summe der abfließenden Ströme) ergibt sich folgendes lineare Gleichungssystem:

$$Y \cdot \varphi = I$$

Y ... Knotenpunktadmittanzmatrix

φ ... Vektor der Knotenpunktpotentiale

I ... Vektor der Einspeiseströme am jeweiligen Knoten

Die Hauptdiagonalglieder sind gleich der Summe der Admittanzen, die zu dem jeweiligen Knotenpunkt führen. Die Nebendiagonalglieder sind der negative Wert der Längsadmittanz zwischen zwei Knoten.

Bei einem Generatorknoten ist der Strom I das Produkt aus treibender Spannung des Generators und Generatoradmittanz, am Fehlerknoten ist I gleich dem Fehlerstrom, für andere Knoten ist I gleich 0.

Zur Berechnung der Knotenpunktpotentiale φ muss die rechte Seite des Gleichungssystems, also I, bekannt sein. Das setzt voraus, dass die treibenden Spannungen der Generatoren bekannt sind. Jeder Generator kann eine andere treibende Spannung haben, was bewirken würde, dass vor Auftreten des Kurzschlusses bereits Ausgleichsströme fließen.

2.1 Berechnung ohne Berücksichtigung von Ausgleichsströmen

Die Generatoren sind vor dem Kurzschluss so erregt, dass an der späteren Fehlerstelle im Normalbetrieb die Spannung gleich der treibenden Spannung ist und dass kein Ausgleichsstrom fließt (Querimpedanzen, z.B. Leitungskapazitäten oder Verbraucher, werden im Mit- und Gegensystem vernachlässigt).

Im Programm wird das Gleichungssystem in zwei Teilen mit Hilfe der Rückeinspeisemethode gelöst. Die **Rückeinspeisemethode** besagt, dass an der Fehlerstelle ein Generator mit der gleich großen, aber entgegengesetzt gerichteten Spannung angeschlossen wird, wie sie sich im fehlerfreien Zustand ergeben hat. Die Spannungsverteilungen vom fehlerfreien Zustand und vom Rückeinspeisungsfall werden addiert und ergeben so die Spannungsverteilung für den Fehlerfall. Durch die Überlagerung ergibt sich so z.B. die Spannung am Fehlerknoten zu null.

Die Spannungsverteilung des fehlerfreien Zustandes wird folgendermaßen bestimmt:

Ein Generator bekommt die innere treibende Spannung von 1 pu (per Unit = 100 % Spannung = Nennspannung), alle anderen Generatoren werden als nicht vorhanden betrachtet. Da alle Leitungskapazitäten und nichtmotorischen Querimpedanzen unberücksichtigt bleiben können, gibt es nur Querimpedanzen von Transformatoren, deren Nennübersetzungsverhältnis nicht mit dem Verhältnis der Netznennspannung übereinstimmt. Da die Querimpedanzen dieser Transformatoren in sich einen Resonanzkreis bilden, hat die innere treibende Spannung von 1 pu des einen Generators keinen Strom zur Folge. Lediglich innerhalb des Resonanzkreises fließt ein Strom, der die Knotenpunktpotentiale der Transformatoren bestimmt.

Das Ergebnis der ersten Teillösung sind die Knotenpunktpotentiale für die **Vorlast** U_{lk} . Da aber an der späteren Fehlerstelle die treibende Spannung wirken soll, sind alle Spannungen noch mit U_T/U_{lk} zu multiplizieren.

Die Spannungsverteilung durch die Rückeinspeisung U_k ist die Spannung, die sich an den Netzknoten ergibt, wenn an der Fehlerstelle die treibende Spannung eingespeist wird und die treibende Spannung der Generatoren null ist.

Die Spannungsverteilung errechnet sich durch Lösen des Gleichungssystems:

$$\varphi = I * Y^{-1}$$

2.2 Berechnung mit Berücksichtigung von Ausgleichsströmen

Die Generatoren sind vor dem Kurzschluss so erregt, dass an der späteren Fehlerstelle im Normalbetrieb die Spannung gleich der treibenden Spannung ist und dass Ausgleichsströme fließen. Leitungskapazitäten sowie Transformatorwirk- und Blindleistungsbedarf werden berücksichtigt.

Im Programm wird das Gleichungssystem in zwei Teilen mit Hilfe der Rückeinspeisemethode gelöst. Die **Rückeinspeisemethode** besagt, dass an der Fehlerstelle ein Generator mit der gleich großen, aber entgegengesetzt gerichteten Spannung angeschlossen wird, wie sie sich im fehlerfreien Zustand ergeben hat. Die Spannungsverteilungen vom fehlerfreien Zustand und vom Rückeinspeisungsfall werden addiert und ergeben so die Spannungsverteilung für den Fehlerfall. Durch die Überlagerung ergibt sich so z.B. die Spannung am Fehlerknoten zu null.

Die Spannungsverteilung des Netzes im fehlerfreien Zustand wird durch eine vorhergehende Lastflussberechnung bestimmt.

Die Knotenpunktpotentiale für die **Vorlast** U_k sind identisch mit der Spannungsverteilung aus dem Lastfluss. An der späteren Fehlerstelle wirkt als treibende Spannung ebenfalls die Lastspannung.

Die Spannungsverteilung durch die Ruckeinspeisung U_k ist die Spannung, die sich an den Netzknoten ergibt, wenn an der Fehlerstelle die treibende Spannung eingespeist wird und die treibende Spannung der Generatoren null ist.

Die Spannungsverteilung errechnet sich durch Lösen des Gleichungssystems:

$$\varphi = I^* Y^{-1}$$

2.3 Berechnung der Ströme

Mit Hilfe der Transformationsformeln **Symmetrische Komponenten** – "System L1, L2, L3" errechnen sich die Phasenspannungen φ_{L1} , φ_{L2} , φ_{L3} .

$$\varphi_{L1_k} = \varphi_{M_k} + \varphi_{G_k} + \varphi_{N_k}$$

$$\varphi_{L2_k} = a^2 \varphi_{M_k} + a \varphi_{G_k} + \varphi_{N_k}$$

$$\varphi_{L3_k} = a \varphi_{M_k} + a^2 \varphi_{G_k} + \varphi_{N_k}$$

φ_{M_k}	...	Spannungsvektor Mitsystem
φ_{G_k}	...	Spannungsvektor Gegensystem
φ_{N_k}	...	Spannungsvektor Nullsystem
φ_{L1_k}	...	Spannungsvektor Phase L1
φ_{L2_k}	...	Spannungsvektor Phase L2
φ_{L3_k}	...	Spannungsvektor Phase L3
$a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$...	Drehung um 120 °

Die Ströme im Netz berechnen sich aus der Potentialdifferenz der Knoten und der dazwischenliegenden Impedanz.

2.4 3-poliger Kurzschluss

Bei dem 3-poligen Kurzschluss ergeben sich die Spannungen für die Rückeinspeisemethode je Phase wie folgt.

$$\varphi L1_k = \frac{U_T}{\sqrt{3}} * 1$$

$$\varphi L2_k = \frac{U_T}{\sqrt{3}} * a$$

$$\varphi L3_k = \frac{U_T}{\sqrt{3}} * a^2$$

$\varphi L1_k$... Treibende Spannung Phase L1

$\varphi L2_k$... Treibende Spannung Phase L2

$\varphi L3_k$... Treibende Spannung Phase L3

U_T ... Absolutwert treibende Spannung

$a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$... Drehung um 120 °

Bei Nachbildung mit Komponentendaten werden nur die Mitsystemdaten benötigt.

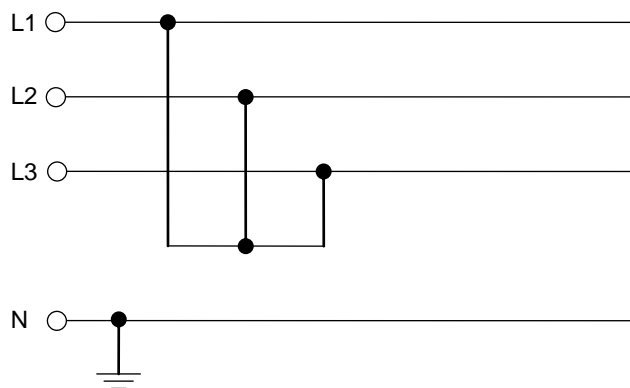


Bild: Fehlerverschaltung bei Nachbildung mit Komponentendaten

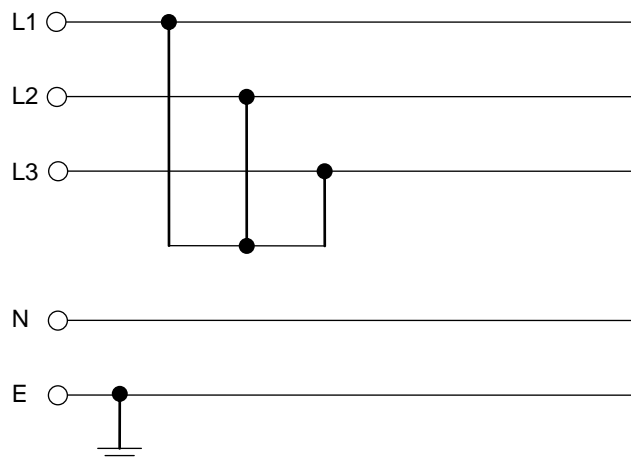


Bild: Fehlerverschaltung bei Nachbildung mit Leiterdaten

2.5 2-poliger Kurzschluss

Bei dem 2-poligen Kurzschluss ergeben sich die Spannungen für die Rückeinspeisemethode je nach fehlerbehafteten Phasen. Für Kurzschluss zwischen L2 und L3 ergeben sich die Spannungen für die Rückeinspeisemethode wie folgt.

$$\phi L1_k = U_T$$

$$\varphi_{L2_k} = -\frac{U_T}{2}$$

$$\varphi_{L3_k} = -\frac{U_T}{2}$$

φ_{L1_k} ... Treibende Spannung Phase L1

φ_{L2_k} ... Treibende Spannung Phase L2

φ_{L3_k} ... Treibende Spannung Phase L3

U_T ... Absolutwert treibende Spannung

Bei Nachbildung mit Komponentendaten werden nur die Mit- und Gegensystemdaten benötigt.

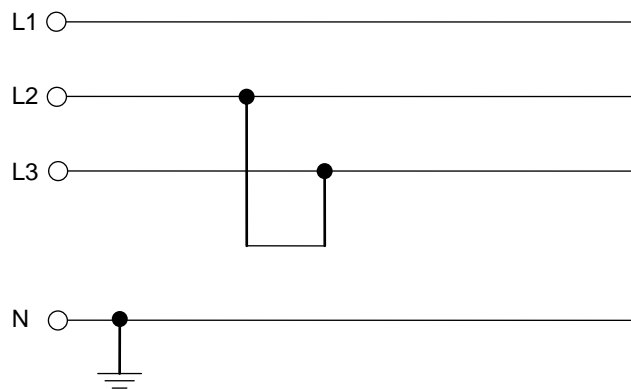


Bild: Fehlerverschaltung bei Nachbildung mit Komponentendaten

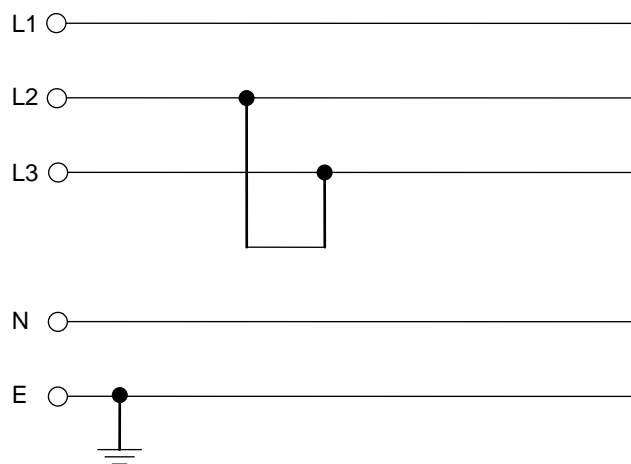


Bild: Fehlerverschaltung bei Nachbildung mit Leiterdaten

2.6 1-poliger Kurzschluss

Bei dem 1-poligen Kurzschluss ergeben sich die Spannungen für die Rückeinspeisemethode je nach fehlerbehafteter Phase. Für Kurzschluss zwischen L1 und Erde ergeben sich die Spannungen für die Rückeinspeisemethode wie folgt.

$$\varphi L1_k = \frac{U_T}{\sqrt{3}}$$

$$\varphi L2_k = 0,0$$

$$\varphi L3_k = 0,0$$

$\varphi L1_k$... Treibende Spannung Phase L1

$\varphi L2_k$... Treibende Spannung Phase L2

$\varphi L3_k$... Treibende Spannung Phase L3

U_T ... Absolutwert treibende Spannung

Bei Nachbildung mit Komponentendaten werden die Mit-, Gegen- und Nullsystemdaten benötigt. Der Kurzschluss ist immer zwischen Leiter und Rückleiter.

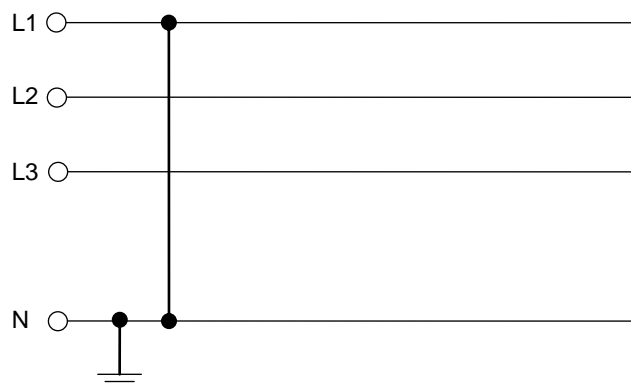


Bild: Fehlererschaltung bei Nachbildung mit Komponentendaten

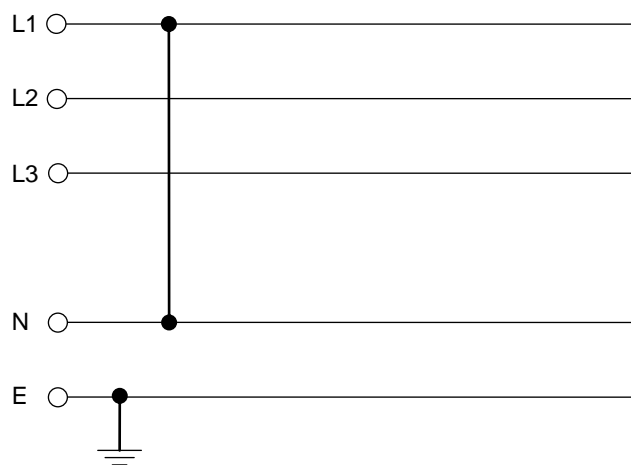


Bild: Fehlererschaltung bei Nachbildung mit Leiterdaten (Phase – Rückleiter)

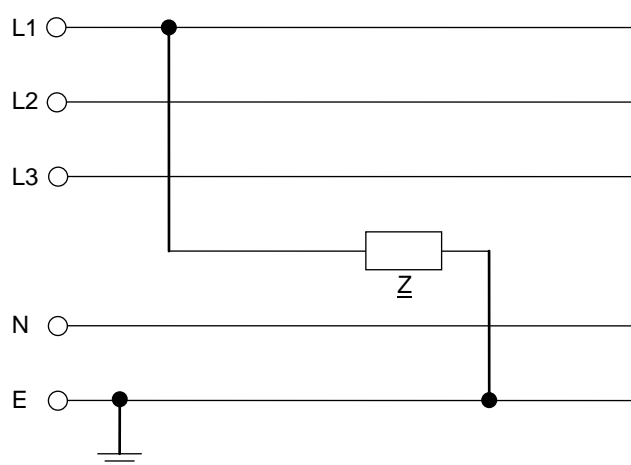


Bild: Fehlererschaltung bei Nachbildung mit Leiterdaten (Phase – Erde)

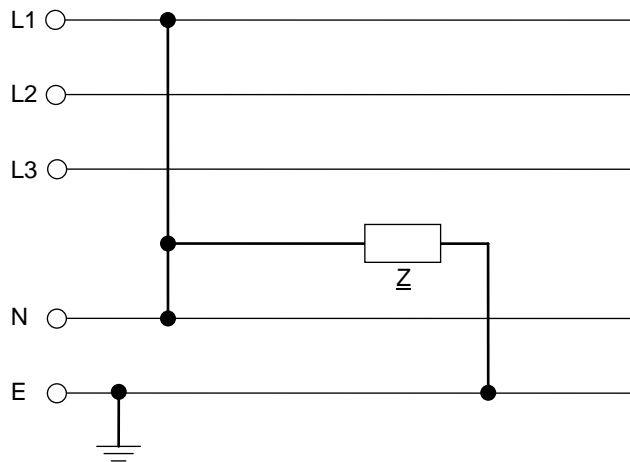


Bild: Fehlerschaltung bei Nachbildung mit Leiterdaten (Phase – Rückleiter und Erde)

2.7 2-poliger Erdschluss

Bei dem 2-poligen Erdschluss ergeben sich die Spannungen für die Rückeinspeisemethode je nach fehlerbehafteten Phasen. Für Kurzschluss zwischen L2 und L3 ergeben sich die Spannungen für die Rückeinspeisemethode wie folgt.

$$\varphi L1_k = 0,0$$

$$\varphi L2_k = \frac{U_T}{\sqrt{3}} * a$$

$$\varphi L3_k = \frac{U_T}{\sqrt{3}} * a^2$$

$\varphi L1_k$... Treibende Spannung Phase L1

$\varphi L2_k$... Treibende Spannung Phase L2

$\varphi L3_k$... Treibende Spannung Phase L3

U_T ... Absolutwert treibende Spannung

$a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$... Drehung um 120 °

Bei Nachbildung mit Komponentendaten werden die Mit-, Gegen- und Nullsystemdaten benötigt.

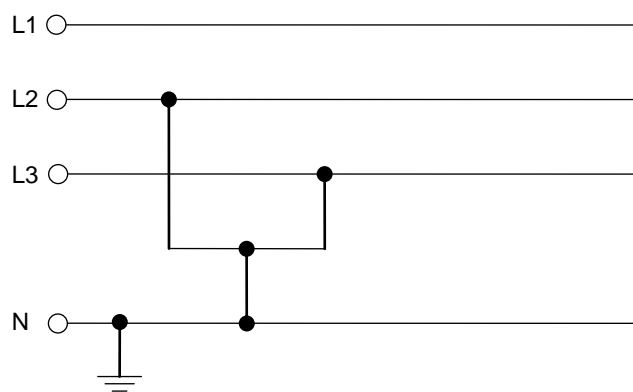


Bild: Fehlerverschaltung bei Nachbildung mit Komponentendaten

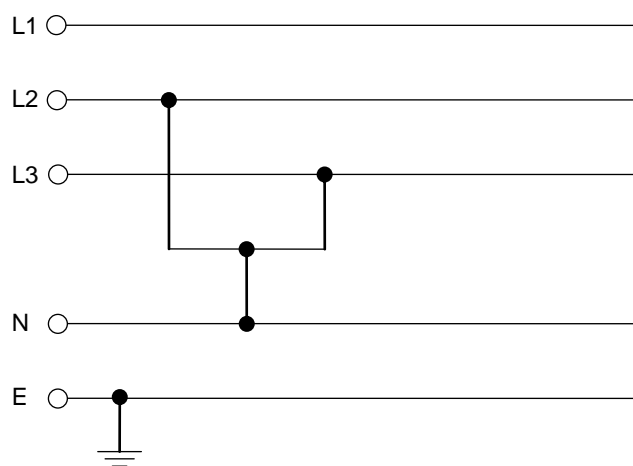


Bild: Fehlerverschaltung bei Nachbildung mit Leiterdaten (Phase – Rückleiter)

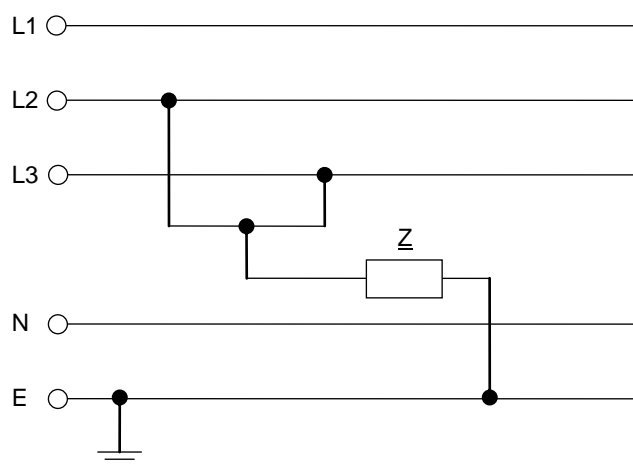


Bild: Fehlerverschaltung bei Nachbildung mit Leiterdaten (Phase – Erde)

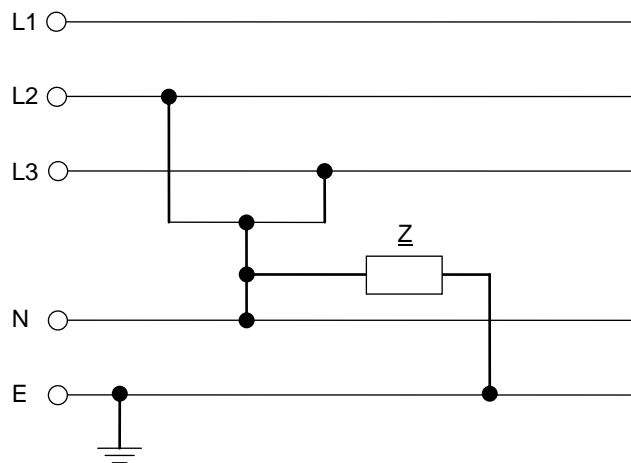


Bild: Fehlerschaltung bei Nachbildung mit Leiterdaten (Phase – Rückleiter und Erde)

2.8 3-poliger Erdschluss

Bei dem 3-poligen Erdschluss ergeben sich die Spannungen für die Rückeinspeisemethode je Phase wie folgt.

$$\varphi L1_k = \frac{U_T}{\sqrt{3}} * 1$$

$$\varphi L2_k = \frac{U_T}{\sqrt{3}} * a$$

$$\varphi L3_k = \frac{U_T}{\sqrt{3}} * a^2$$

$\varphi L1_k$... Treibende Spannung Phase L1

$\varphi L2_k$... Treibende Spannung Phase L2

$\varphi L3_k$... Treibende Spannung Phase L3

U_T ... Absolutwert treibende Spannung

$a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$... Drehung um 120 °

Bei Nachbildung mit Komponentendaten werden die Mit-, Gegen- und Nullsystemdaten benötigt.

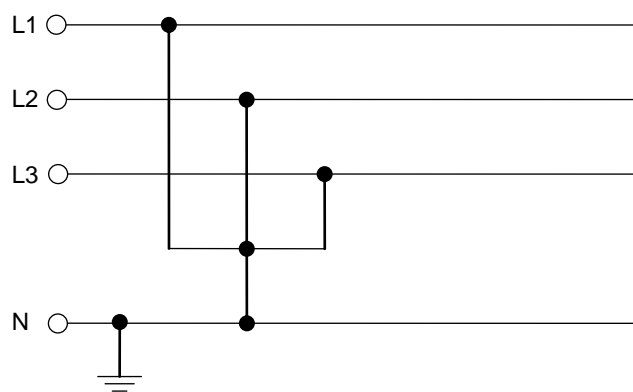


Bild: Fehlerverschaltung bei Nachbildung mit Komponentendaten

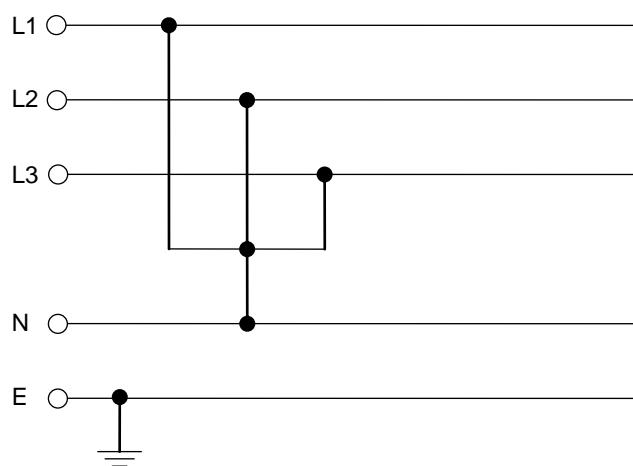


Bild: Fehlerverschaltung bei Nachbildung mit Leiterdaten (Phase – Rückleiter)

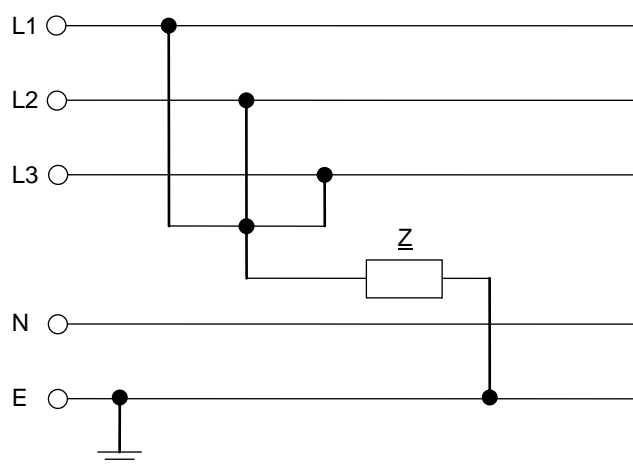


Bild: Fehlerverschaltung bei Nachbildung mit Leiterdaten (Phase – Erde)

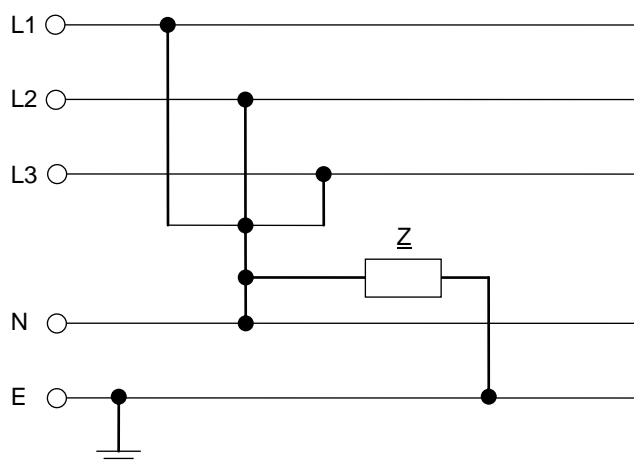


Bild: Fehlerschaltung bei Nachbildung mit Leiterdaten (Phase – Rückleiter und Erde)

2.9 Prinzipieller Rechnungsablauf Kurzschluss

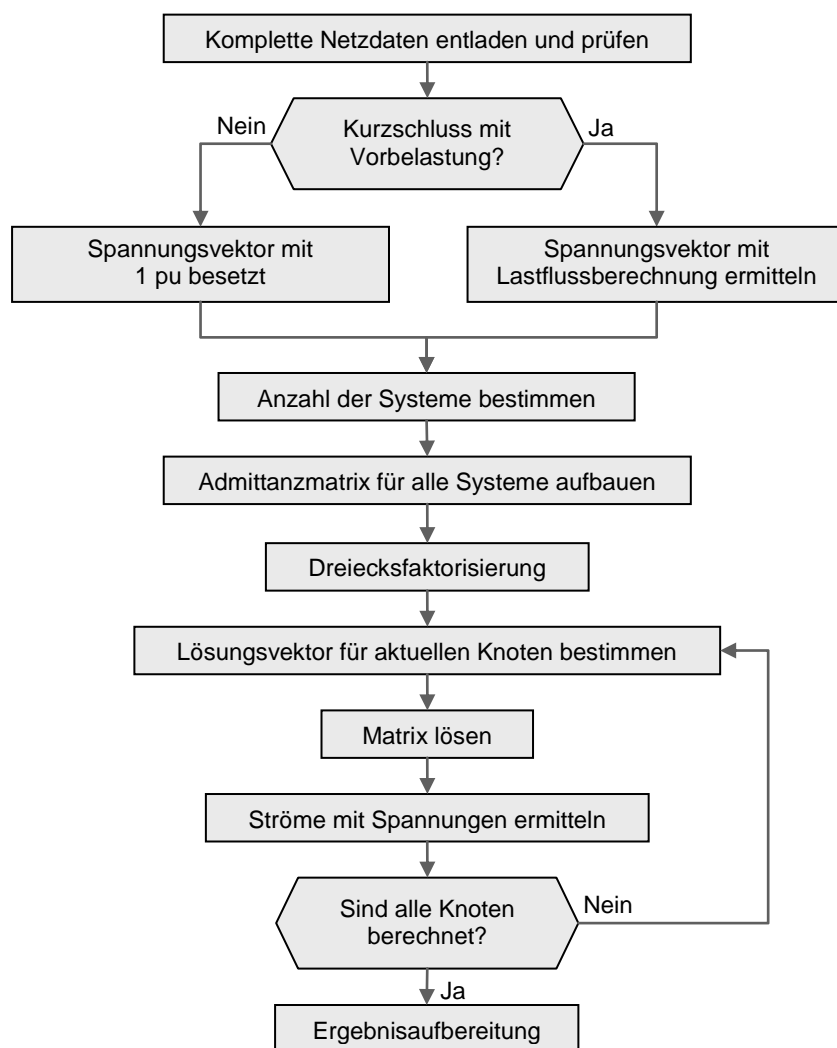


Bild: Ablaufdiagramm

2.10 Kurzschlussberechnung nach VDE 0102 bzw. IEC 909

Die VDE-Bestimmungen sind in den **Leitsätzen für die Berechnung der Kurzschlussströme** VDE 0102 zusammengefasst.

Nur die Wahlmöglichkeiten der Sollbestimmungen sind parametrierbar. Die Kannbestimmungen sind nicht als Wahlmöglichkeit implementiert.

Weiters kann die Kurzschlussberechnung über das Feld **Kurzschlussdaten** bei den Berechnungsparametern wie folgt beeinflusst werden:

- **Standard:**
 - Mit bzw. ohne Synchron- und Asynchronmotoren nach Benutzervorgabe
 - Mit normaler Leitertemperatur
 - Treibende Spannung (c-Wert) laut Benutzervorgabe
 - Aktuelle Kurzschlussleistung bei Netzeinspeisungen
- **Minimum:**
 - Ohne Synchron- und Asynchronmotoren
 - Mit höherer Leitertemperatur
 - Minimale treibende Spannung (c-Wert) laut Norm
 - Minimale Kurzschlussleistung bei Netzeinspeisungen
- **Maximum:**
 - Mit Synchron- und Asynchronmotoren
 - Mit normaler Leitertemperatur
 - Maximale treibende Spannung (c-Wert laut Norm)
 - Maximale Kurzschlussleistung bei Netzeinspeisungen

Nach dieser vereinfachten Berechnungsart müssen alle Leitungskapazitäten und nichtmotorischen Querimpedanzen (z.B. Verbraucher, Leistungskapazitäten) im Mitsystem unberücksichtigt bleiben, im Nullsystem werden sie berücksichtigt.

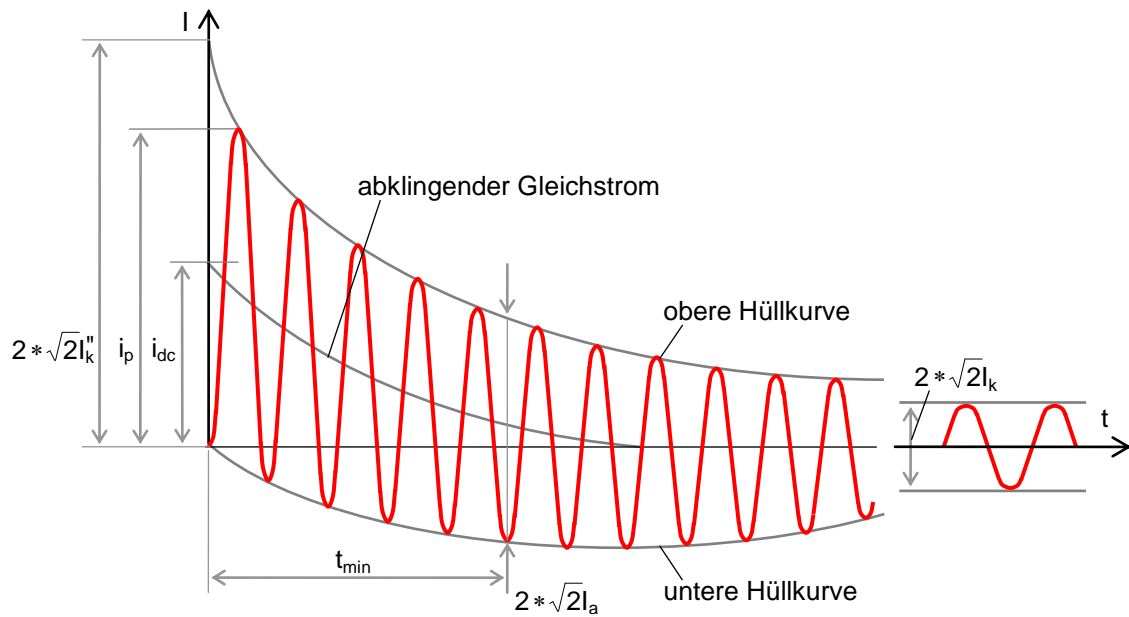


Bild: Verlauf des Kurzschlussstromes

Dementsprechend sind folgende Ströme und Leistungen definiert:

$$I_k''$$

Der Anfangs-Kurzschlusswechselstrom ist der Effektivwert des zu erwartenden Kurzschlussstromes im Augenblick des Kurzschlusseintritts.

$$i_p$$

Der Stoßstrom ist der maximal mögliche Wert des Kurzschlussstromes; er wird als Scheitelwert angegeben.

$$I_a$$

Der Ausschaltwechselstrom ist der Effektivwert der symmetrischen Wechselstromkomponente des zu erwartenden Kurzschlussstromes im Augenblick der Kontakttrennung des erstlöschenden Pols einer Schalteinrichtung.

$$t_{min}$$

Der Mindestschaltverzögerungszeitraum ist die kleinstmögliche Zeit zwischen dem Beginn des Kurzschlusses und der ersten Kontakttrennung eines Poles einer Schalteinrichtung.

Z_k ... Netzimpedanz an der Fehlerstelle

k_b ... Stoßfaktor

Für beliebig vermaschte Netze wird der Stoßstrom i_p aus dem Verhältnis R_k/X_k an der Fehlerstelle entsprechend folgender Formel berechnet:

$$i_p = 1,15 * k_b * \sqrt{2} * I_k''$$

$$Z_k = R_k + jX_k$$

$$k_b = 1,02 + 0,98 * e^{-3,0 * \frac{R_k}{X_k}}$$

Wenn Z_k die Netzimpedanz an der Fehlerstelle bedeutet, ergibt sich der Stoßfaktor k_b als Funktion. In Niederspannungsnetzen wird das Produkt $1,15 * k_b$ auf 1,8, in Hochspannungsnetzen auf 2,0 begrenzt.

Für die von mehreren Stellen einfach gespeiste Fehlerstelle können die Einzel-Stoßkurzschlussströme an der Fehlerstelle addiert werden.

Der Ausschaltwechselstrom I_a wird entsprechend VDE 0102 Teil 100 Formel 60 berechnet.

$$I_a = \mu * I_k''$$

Der Faktor μ berücksichtigt dabei das Abklingen des Kurzschlusswechselstromes der Synchronmaschinen und ist neben dem Schaltverzug von I_k''/I_N der Maschine abhängig.

$$I_a = q * I_k''$$

Der Faktor q berücksichtigt das zusätzliche Abklingen des Kurzschlusswechselstromes bei Asynchronmaschinen und ist neben dem Schaltverzug von der Leistung je Polpaar des Motors abhängig.

$$I_a = I_k''$$

Für unsymmetrische Kurzschlussströme wird kein Abklingen des Kurzschlussstromes berücksichtigt.

Der Gleichstromanteil wird als Funktion der Zeit berechnet.

$$i_{dc} = \sqrt{2} * I_k'' * e^{(-2 * \pi * f * t_s * R / X)}$$

Der asymmetrische Abschaltstrom wird aus Abschaltstrom und Gleichstromanteil bei Schaltverzug ermittelt:

$$I_{asym} = \sqrt{I_a^2 + i_{dc}^2}$$

2.10.1 Spezielle Nachbildungen nach VDE

In PSS SINCAL werden die Eingabedaten von Netzelementen analog VDE ergänzt.

Vorgaben für Synchronmaschinen und Kraftwerksblöcke

Bei Vorgabe von Null für R/X im Mitsystem werden laut IEC folgende Standardwerte verwendet:

- $R/X = 0,15$:
für $U_n \leq 1 \text{ kV}$
- $R/X = 0,07$:
für $U_n > 1 \text{ kV}$ und $S_k < 100 \text{ MVA}$
- $R/X = 0,05$:
für $U_n > 1 \text{ kV}$ und $S_k \geq 100 \text{ MVA}$

VDE/IEC kennt die folgenden Maschinentypen für die Ermittlung des kleinsten 3-poligen Dauerkurzschlussstromes:

- Turbo Generator

Alle übrigen Maschinentypen werden wie Schenkelpolgeneratoren behandelt.

Das zeitabhängige Impedanzmodell wird über die Dynamikdaten der Längsachse nachgebildet.

The screenshot shows the 'Synchronmaschine' dialog box with the 'Dynamik' tab selected. The 'Ankerwiderstand' (ra) is highlighted with a red circle and set to 0,25 pu. The 'Längsachse' section shows the following values:

Längsachse		Querachse	
Widerst. Feldwlg.	rfd 0,0005 pu	rfq 0,005 pu	
Widerst. Dämpferwlg.	rDd 0,02 pu	rDq 0,2 pu	
Streureakt. Feldwlg.	xfds 0,15 pu	xfqs 1,5 pu	
Streureakt. Dämpferwlg.	xDds 0,01 pu	xDqs 0,1 pu	
Hauptfeldreaktanz	xhd 2,0 pu	xhq 0,01 pu	
Kopplungsreaktanz	xfDd 1,7 pu	xfDq 0,0 pu	

Bild: Notwendige Dynamikdaten

Für die Stoßstromberechnung i_p werden laut VDE die fiktiven Resistenzen verwendet. Wenn die tatsächliche Resistanz des Ständers der Synchronmaschine bekannt ist, so kann diese bei den Dynamikdaten im Feld **Ankerwiderstand** angegeben werden. Für die Stoßstromberechnung wird dann die tatsächliche Resistanz verwendet.

Vorgaben für Asynchronmaschinen

Bei Vorgabe von Null für R/X im Mitsystem werden laut IEC folgende Standardwerte verwendet:

- $R/X = 0,42$:
für $U_n \leq 1 \text{ kV}$
- $R/X = 0,15$:
für $U_n > 1 \text{ kV}$ und $P_n/\text{Polpaarzahl} < 1 \text{ MW}$
- $R/X = 0,10$:
für $U_n > 1 \text{ kV}$ und $P_n/\text{Polpaarzahl} \geq 1 \text{ MW}$

Nachbildung von Synchronmaschinen

Eine Synchronmaschine kann laut VDE nur direkt oder über einen Transformator (Kraftwerksblock) an das Netz angeschlossen sein. Die Impedanz der Synchronmaschinen ist je nach Anschlussart laut VDE zu korrigieren.

Bei direkt an das Netz angeschlossenen Synchronmaschinen ist die Option **Direkteinspeisung** in den Basisdaten der Synchronmaschine zu aktivieren.

Bei Anschluss über einen Transformator ist die Option **Generatorblock** in den Basisdaten der Synchronmaschine und in den Basisdaten des dazugehörigen Transformators zu aktivieren.

Die Korrektur der Impedanz wird anhand der aktivierten Zusatzinformationen für die Anschlussart automatisch durchgeführt. Ist keine Information über die Anschlussart vorhanden, ist eine exakte Berechnung nach VDE nicht möglich. Der Benutzer wird durch eine Warnung auf das Fehlen der Anschlussinformation hingewiesen.

2.10.2 Bestimmung der treibenden Spannung

Die treibende Spannung wird aus der Netznennspannung und dem Spannungsfaktor c bestimmt.

$$U_T = c * U_n \quad (\text{meist } 1,1)$$

c ... Spannungsfaktor

U_T ... Treibende Spannung (Ersatzspannungsquelle) in [kV]

U_n ... Netznennspannung in [kV]

Für die Ermittlung der minimalen und maximalen Kurzschlussströme ist der Spannungsfaktor laut Norm vorgegeben.

2.10.3 Nachbildung des Netzes

Die Nachbildung des Netzes erfolgt ohne passive Querelemente im Mit- und Gegensystem und ohne Leitungskapazitäten. Für die Ermittlung der Kurzschlussströme wird daher die Berechnung ohne Ausgleichsströme herangezogen.

2.10.4 Ermittlung des kleinsten Dauerkurzschlussstromes

Bei der Ermittlung des kleinsten Dauerkurzschlussstromes wird folgendes berücksichtigt.

Synchronmaschinen und Kraftwerksblöcke

Der Dauerkurzschlussstrom I_{kP} kann vom Anwender angegeben werden. Ist ein Wert von 0.0 Ampere angegeben, so wird der Dauerkurzschlussstrom über die Lambda min Kurven anhand des Maschinentyps nach VDE ermittelt. Die Impedanz ergibt sich wie folgt:

$$Z = 0,0 + j \frac{U_{rG}}{\sqrt{3} * I_{kP}}$$

oder

$$Z = 0,0 + j \frac{U_{rG}}{\sqrt{3} * \lambda_{\min} * I_{rG}}$$

I_{kP}	...	Dauerkurzschlussstrom
U_{rG}	...	Generatornennspannung
I_{rG}	...	Generatornennstrom
λ_{\min}	...	Faktor aus Lambda Kurven auf Grund des Kurzschlussstromverhältnisses

Netzeinspeisungen

Je nach Eingabeformat wird die maximale Impedanz bzw. die minimale Kurzschlussleistung für die Berechnung der Impedanz herangezogen. Die Impedanz ergibt sich identisch wie unter Eingabedaten der Netzeinspeisung bereits beschrieben.

Asynchronmaschinen

Asynchronmaschinen liefern keinen Beitrag zum kleinsten Dauerkurzschlussstrom.

Treibende Spannung

Die treibende Spannung wird über den minimalen c-Wert ermittelt.

2.11 Kurzschlussberechnung nach IEC 61363

Die Kurzschlussberechnung kann über das Feld **Kurzschlussdaten** beeinflusst werden. Bei Vorbelastung werden die Netzelemente mit den Arbeitspunkten aus der Lastflussberechnung nachgebildet.

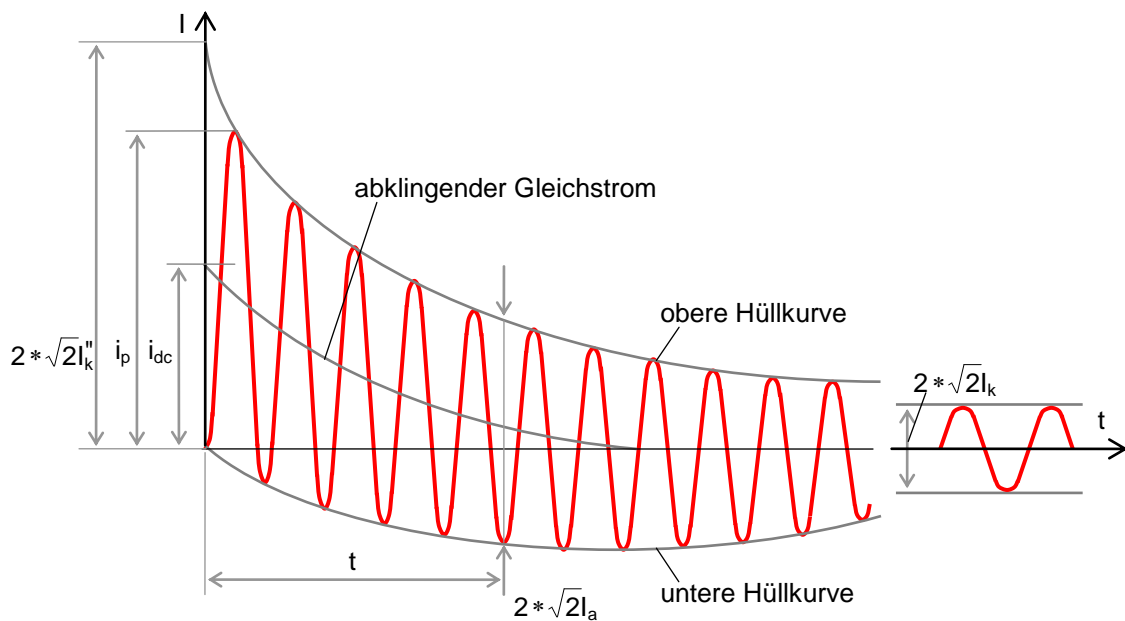


Bild: Verlauf des Kurzschlussstromes

Dementsprechend sind folgende Ströme und Leistungen definiert:

$$I_k''$$

Der Anfangs-Kurzschlusswechselstrom ist der Effektivwert des zu erwartenden Kurzschlussstromes im Augenblick des Kurzschlusseintritts.

$$i_p$$

Der Stoßstrom ist der maximal mögliche Wert des Kurzschlussstromes; er wird als Scheitelwert angegeben.

$$I_a$$

Der Ausschaltwechselstrom ist der Effektivwert der symmetrischen Wechselstromkomponente des zu erwartenden Kurzschlussstromes im Augenblick der Kontakttrennung des erstlöschenden Pols einer Schalteinrichtung.

$$t$$

Der Mindestschaltverzug ist die kleinstmögliche Zeit zwischen dem Beginn des Kurzschlusses und der ersten Kontakttrennung eines Poles einer Schalteinrichtung.

Für beliebig vermaschte Netze wird der Stoßstrom i_p aus dem Anfangskurzschlusswechselstrom und dem Gleichstromanteil i_{dc} ermittelt.

$$i_p = i_{dc} + \sqrt{2} * I_k''$$

Der Ausschaltwechselstrom I_a wird als Funktion der Zeit berechnet.

$$I_a = I_k'' * f(t)$$

Die zeitliche Abhängigkeit berücksichtigt dabei das Abklingen des Kurzschlusswechselstromes der Synchron- und Asynchronmaschinen.

Der Gleichstromanteil wird als Funktion der Zeit berechnet.

$$i_{dc} = \sqrt{2} * I_k'' * e^{(-2 * \pi * f * t_s * R / X)}$$

Der asymmetrische Abschaltstrom wird aus Abschaltstrom und Gleichstromanteil bei Schaltverzögerung ermittelt:

$$I_{asym} = \sqrt{I_a^2 + i_{dc}^2}$$

2.11.1 Spezielle Nachbildungen nach IEC

In PSS SINCAL werden die Eingabedaten von Netzelementen analog IEC ergänzt.

Vorgaben für Synchronmaschinen

Das Verhältnis R/X der Maschine wird aus den Dynamikdaten (Ankerwiderstand und Ausgleichsdaten der Längsachse) ermittelt.

- $R/X = R_a/X_d''$

R_a ... Ankerwiderstand in $[\Omega]$

X_d'' ... Subtransiente Reaktanz der Längsachse in $[\Omega]$

Bild: Notwendige Dynamikdaten

Bei Vorgabe von Null für R_a werden folgende Standardwerte verwendet:

- $R/X = 0,3$:
für $S_N \leq 0,15$ MVA
- $R/X = 0,25$:
für $S_N > 0,15$ MVA und $S_N < 1$ MVA
- $R/X = 0,15$:
für $S_N > 1$ MVA

Vorgaben für Asynchronmaschinen

Bei Vorgabe von Null für R/X im Mitsystem werden folgende Standardwerte verwendet:

- $R/X = 0,3732$:
für $P_N \leq 0,1$ MW
- $R/X = 0,366$:
für $P_N > 0,1$ MW

Bei Vorgabe von Null für die Zeitkonstante werden folgende Standardwerte verwendet:

- $\tau = 0,0187$:
für 60 Hz Netze
- $\tau = 0,0224$:
für 50 Hz Netze

Nachbildung von Synchronmaschinen

Der Strom der Generatoren wird über ein zeitabhängiges Modell nachgebildet.

$$I_k(t) = (I_k'' - I_k') * e^{\frac{-t}{T''}} + (I_k' - I_k) * e^{\frac{-t}{T'}} + I_k$$

$I_k(t)$...	Kurzschlussstrom bei aktueller Zeit
I_k''	...	Subtransienter Kurzschlussstrom
I_k'	...	Transienter Kurzschlussstrom
I_k	...	Dauerkurzschlussstrom
T''	...	subtransiente Zeitkonstante
T'	...	transiente Zeitkonstante
t	...	aktuelle Zeit

Der Maschinentyp hat keinen Einfluss auf die Nachbildung der Synchronmaschine.

Nachbildung von Asynchronmaschinen

Bei Angabe einer Zeitkonstante wird für die Ermittlung des Abschaltstromes ein zeitabhängiges Impedanzmodell nachgebildet.

$$I_k(t) = I_k'' * e^{\frac{-t}{\tau}}$$

$I_k(t)$...	Kurzschlussstrom bei aktueller Zeit
I_k''	...	Anfangskurzschlussstrom
t	...	aktuelle Zeit
τ	...	Zeitkonstante

2.11.2 Bestimmung der treibenden Spannung

Die treibende Spannung wird aus der Netznennspannung und dem Spannungsfaktor c bestimmt.

$$U_T = c * U_n \quad (\text{meist } 1,0)$$

c	...	Spannungsfaktor
U_T	...	Treibende Spannung (Ersatzspannungsquelle) in [kV]
U_n	...	Netznennspannung in [kV]

Für die Ermittlung der minimalen und maximalen Kurzschlussströme ist der Spannungsfaktor laut Norm vorgegeben.

2.11.3 Nachbildung des Netzes

Die Nachbildung des Netzes erfolgt ohne passive Querelemente im Mit- und Gegensystem und ohne Leitungskapazitäten. Für die Ermittlung der Kurzschlussströme wird daher die Berechnung ohne Ausgleichsströme herangezogen.

2.11.4 Ermittlung des kleinsten Dauerkurzschlussstromes

Bei der Ermittlung des kleinsten Dauerkurzschlussstromes wird folgendes berücksichtigt.

Synchronmaschinen

Die aktuelle Generatorimpedanz wird aus den Dynamikdaten bei einer Zeit von einer Stunde ermittelt.

Asynchronmaschinen

Asynchronmaschinen liefern keinen Beitrag zum kleinsten Dauerkurzschlussstrom.

2.12 Kurzschlussberechnung nach ANSI bzw. IEEE

Die Kurzschlussberechnung kann über das Feld **Kurzschlussdaten** bei den Berechnungsparametern wie folgt beeinflusst werden:

- **Standard:**
 - Mit bzw. ohne Synchron- und Asynchronmotoren nach Benutzervorgabe
 - Mit normaler Leitertemperatur
 - Vorfehlerspannung laut Benutzervorgabe
 - Aktuelle Kurzschlussleistung bei Netzeinspeisungen
- **Minimum:**
 - Ohne Synchron- und Asynchronmotoren
 - Mit höherer Leitertemperatur
 - Vorfehlerspannung laut Benutzervorgabe
 - Minimale Kurzschlussleistung bei Netzeinspeisungen
- **Maximum:**
 - Mit Synchron- und Asynchronmotoren
 - Mit normaler Leitertemperatur
 - Vorfehlerspannung laut Benutzervorgabe
 - Maximale Kurzschlussleistung bei Netzeinspeisungen

Nach dieser Berechnungsart gibt es keine Vereinfachungen bezüglich der Netzelemente.

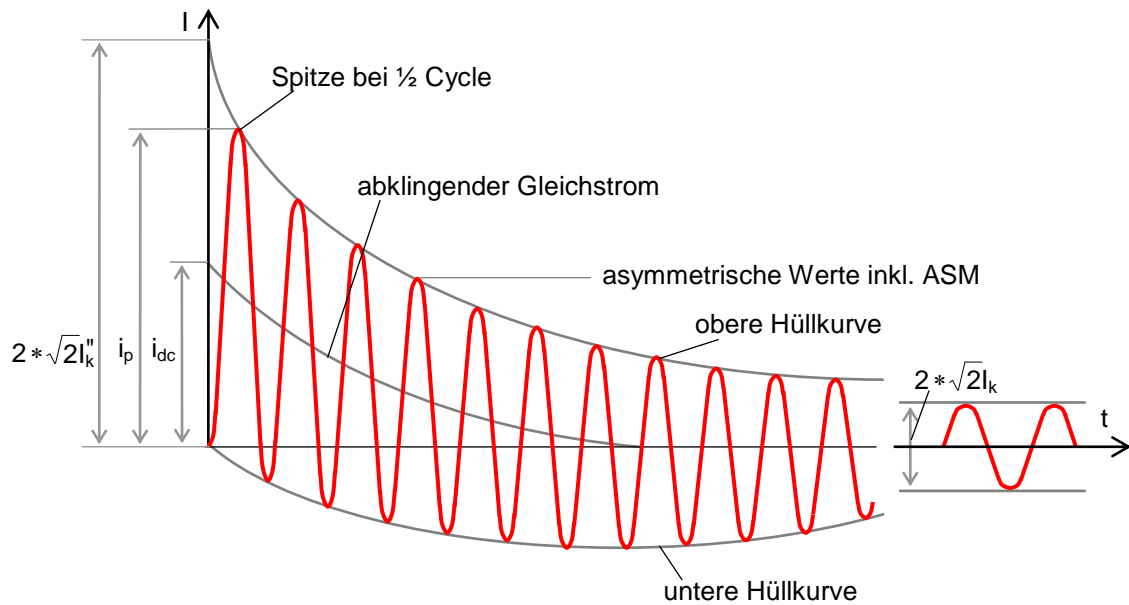


Bild: Verlauf des Kurzschlussstromes

Dementsprechend sind folgende Ströme und Leistungen definiert:

$$I_k''$$

Der Anfangs-Kurzschlusswechselstrom ist der Effektivwert des zu erwartenden Kurzschlussstromes im Augenblick des Kurzschlusseintritts.

$$i_p$$

Der Stoßstrom ist der maximal mögliche Wert des Kurzschlussstromes; er wird als Scheitelwert angegeben.

$$i_{dc}$$

Der Startwert des Gleichstromanteils ist der maximal mögliche Wert des zu erwartenden Gleichstroms im Augenblick des Kurzschlusseintrittes.

2.12.1 Spezielle Nachbildungen nach ANSI

In PSS SINCAL werden für die Ermittlung des Interrupt Stromes die Impedanzen der Maschinen korrigiert.

Vorgaben für Synchronmaschinen und Kraftwerksblöcke

ANSI/IEEE kennt die folgenden Maschinentypen für die Impedanzkorrektur zur Ermittlung des Interrupt Stromes:

- Turbo Generator
- Wasserkraftgenerator

- Wasserkraftgenerator mit Dämpferwicklung
- Kondensator

Alle übrigen Maschinentypen werden wie Turbo Generatoren behandelt.

2.12.2 Bestimmung der treibenden Spannung

Die Vorfehlerspannung ist vom Anwender anzugeben. Die Vorfehlerspannung entspricht der treibenden Spannung.

$$U_T = U_{pre} \quad (\text{meist } 1,0)$$

U_T ... Treibende Spannung (Ersatzspannungsquelle) in [kV]

U_{pre} ... Vorfehlerspannung in [kV]

2.12.3 Nachbildung des Netzes

Die Nachbildung des Netzes erfolgt ohne Vereinfachungen. Für die Ermittlung der Kurzschlussströme wird daher die Berechnung mit Ausgleichsströmen herangezogen.

2.13 Kurzschlussberechnung nach Engineering Recommendation G74

Die Kurzschlussberechnung kann über das Feld **Kurzschlussdaten** bei den Berechnungsparametern wie folgt beeinflusst werden:

- **Standard:**
Aktuelle Kurzschlussleistung bei Netzeinspeisungen
- **Minimum:**
Minimale Kurzschlussleistung bei Netzeinspeisungen
- **Maximum:**
Maximale Kurzschlussleistung bei Netzeinspeisungen

Es erfolgt keine vereinfachte Netznachbildung. Die Netzelemente werden mit den Arbeitspunkten aus der Lastflussberechnung nachgebildet.

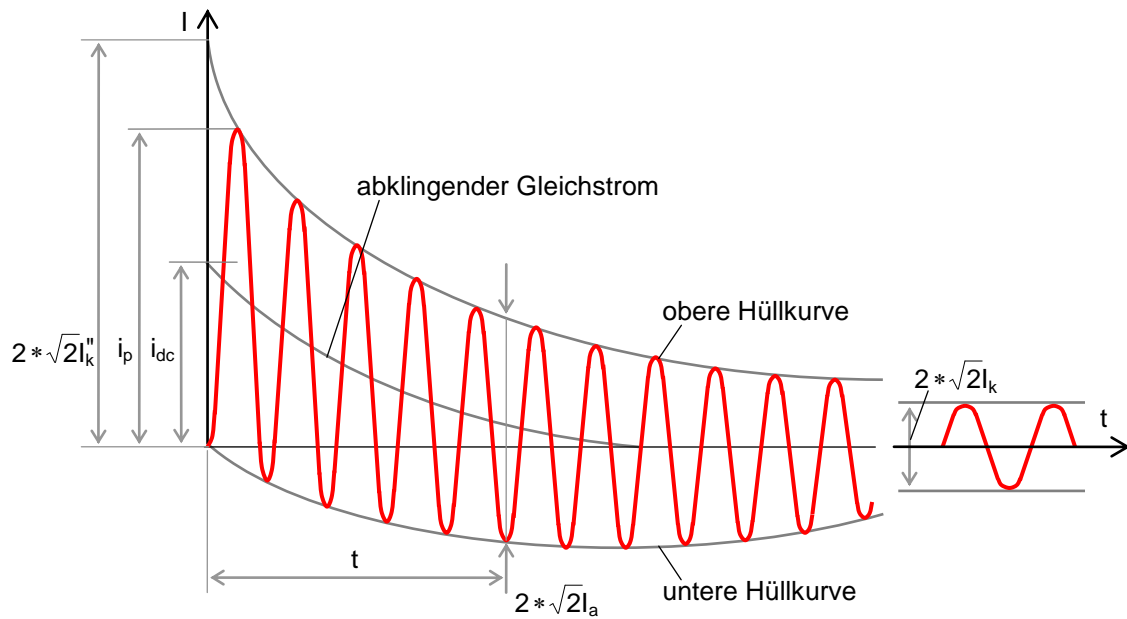


Bild: Verlauf des Kurzschlussstromes

Dementsprechend sind folgende Ströme und Leistungen definiert:

$$I_k''$$

Der Anfangs-Kurzschlusswechselstrom ist der Effektivwert des zu erwartenden Kurzschlussstromes im Augenblick des Kurzschlusseintritts.

$$i_p$$

Der Stoßstrom ist der maximal mögliche Wert des Kurzschlussstromes; er wird als Scheitelwert angegeben.

$$I_a$$

Der Ausschaltwechselstrom ist der Effektivwert der symmetrischen Wechselstromkomponente des zu erwartenden Kurzschlussstromes im Augenblick der Kontakttrennung des erstlöschenden Pols einer Schalteinrichtung.

$$t$$

Der Mindestschaltverzug ist die kleinstmögliche Zeit zwischen dem Beginn des Kurzschlusses und der ersten Kontakttrennung eines Poles einer Schalteinrichtung.

Z_k ... Netzimpedanz an der Fehlerstelle

k_b ... Stoßfaktor

Für beliebig vermaschte Netze wird der Stoßstrom i_p aus dem Verhältnis R_k/X_k an der Fehlerstelle entsprechend folgender Formel berechnet:

$$i_p = 1,15 * k_b * \sqrt{2} * I_k''$$

$$Z_k = R_k + jX_k$$

$$k_b = 1,02 + 0,98 * e^{-3,0 * \frac{R_k}{X_k}}$$

Wenn Z_k die Netzimpedanz an der Fehlerstelle bedeutet, ergibt sich der Stoßfaktor k_b als Funktion.

Für die von mehreren Stellen einfach gespeiste Fehlerstelle können die Einzel-Stoßkurzschlussströme an der Fehlerstelle addiert werden.

Der Ausschaltwechselstrom I_a wird als Funktion der Zeit berechnet.

$$I_a = I_k'' * f(t)$$

Die zeitliche Abhängigkeit berücksichtigt dabei das Abklingen des Kurzschlusswechselstromes der Synchron- und Asynchronmaschinen.

Der Gleichstromanteil wird als Funktion der Zeit berechnet.

$$i_{dc} = \sqrt{2} * I_k'' * e^{(-2 * \pi * f * t_s * R / X)}$$

Der asymmetrische Abschaltstrom wird aus Abschaltstrom und Gleichstromanteil bei Schaltverzögerung ermittelt:

$$I_{asym} = \sqrt{I_a^2 + i_{dc}^2}$$

2.13.1 Spezielle Nachbildungen nach G74

In PSS SINCAL wird die Synchronmaschine herangezogen, um echte Generatoren und System Equivalents laut G74 nachzubilden.

Vorgaben für Synchronmaschinen

Bei Vorgabe von Null für R/X im Mitsystem werden laut G74 folgende Standardwerte aus dem Verhältnis X/R verwendet:

- $X/R = 6,67$:
für $U_n \leq 1 \text{ kV}$
- $X/R = 14,29$:
für $U_n < 1 \text{ kV}$ und $S_k'' < 100 \text{ MVA}$
- $X/R = 20,00$:
für $U_n > 1 \text{ kV}$ und $S_k'' \geq 100 \text{ MVA}$

Das zeitabhängige Impedanzmodell wird über die Dynamikdaten der Längsachse nachgebildet.

Längsachse				Querachse			
Widerst. Feldwlg.	rfd	0,0005	pu	rfq	0,005	pu	
Widerst. Dämpferwlg.	rDd	0,02	pu	rDq	0,2	pu	
Streureakt. Feldwlg.	xfds	0,15	pu	xfqs	1,5	pu	
Streureakt. Dämpferwlg.	xDds	0,01	pu	xDqs	0,1	pu	
Hauptfeldreaktan	xhd	2,0	pu	xhq	0,01	pu	
Kopplungsreaktan	xfDd	1,7	pu	xfDq	0,0	pu	

Bild: Notwendige Dynamikdaten

Vorgaben für Asynchronmaschinen

Bei Vorgabe von Null für R/X im Mitsystem werden laut G74 folgende Standardwerte aus dem Verhältnis X/R verwendet:

- X/R = 2,38:
für $U_n \leq 1$ kV
- X/R = 6,67:
für $U_n > 1$ kV und $P_n/\text{Polpaarzahl} < 1$ MW
- X/R = 10,00:
für $U_n > 1$ kV und $P_n/\text{Polpaarzahl} \geq 1$ MW

Nachbildung von System Equivalents

Die Nachbildung von System Equivalents wird über den Maschinentyp festgelegt. PSS SINICAL kennt die nachfolgenden System Equivalents mit nachfolgenden zeitabhängigen Impedanzmodellen.

Non-interconnected und Power Station System Equivalents

$$\frac{1}{X_1(t)} = \frac{1}{X_1} + \left[\frac{1}{X_1'} - \frac{1}{X_1} \right] * e^{\frac{-t}{T'}} + \left[\frac{1}{X_1''} - \frac{1}{X_1'} \right] * e^{\frac{-t}{T''}}$$

Transmission System Equivalent

$$\frac{1}{X_1(t)} = \frac{1}{X_1'} + \left[\frac{1}{X_1''} - \frac{1}{X_1'} \right] * e^{\frac{-t}{T''}}$$

für $t < 120$ Millisekunden

$$X_1(t) = \infty$$

für $t \geq 120$ Millisekunden

Distribution System Equivalent

$$\frac{1}{X_1(t)} = \frac{1}{X_1'} + \left[\frac{1}{X_1''} - \frac{1}{X_1'} \right] * e^{\frac{-t}{T''}}$$

$X_1(t)$... Reaktanz im Mitsystem bei aktueller Zeit t

X_1'' ... subtransiente Reaktanz im Mitsystem

X_1' ... transiente Reaktanz im Mitsystem

X_1 ... synchrone Reaktanz im Mitsystem

T'' ... subtransiente Zeitkonstante

T' ... transiente Zeitkonstante

t ... aktuelle Zeit

Alle übrigen Maschinentypen werden als echte Generatoren behandelt.

Nachbildung von Synchronmaschinen

Die Impedanz der Generatoren wird über ein zeitabhängiges Impedanzmodell nachgebildet. Bei direkt einspeisenden echten Generatoren wird anstelle der subtransienten Reaktanz die gesättigte subtransiente Reaktanz verwendet.

$$\frac{1}{X_1(t)} = \frac{1}{X_1} + \left[\frac{1}{X_1'} - \frac{1}{X_1} \right] * e^{\frac{-t}{T'}} + \left[\frac{1}{X_1''} - \frac{1}{X_1'} \right] * e^{\frac{-t}{T''}}$$

$X_1(t)$... Reaktanz im Mitsystem bei aktueller Zeit t

X_1'' ... gesättigte/ungesättigte subtransiente Reaktanz im Mitsystem

X_1' ... transiente Reaktanz im Mitsystem

X_1 ... synchrone Reaktanz im Mitsystem

T'' ... subtransiente Zeitkonstante

T' ... transiente Zeitkonstante

t ... aktuelle Zeit

Nachbildung von Asynchronmaschinen

Bei Angabe einer Zeitkonstante wird für die Ermittlung des Abschaltstromes ein zeitabhängiges Impedanzmodell nachgebildet.

$$\frac{1}{X_1(t)} = \frac{1}{X_1''} * e^{\frac{-t}{\tau}}$$

Bei Angabe einer Zeitkonstante von Null wird die Impedanz für die Ermittlung des Abschaltstromes über den Faktor q aus VDE/IEC ermittelt.

$$X_1(t) = \frac{X_1''}{q}$$

$X_1(t)$...	Reaktanz im Mitsystem bei aktueller Zeit t
X_1''	...	Reaktanz im Mitsystem bei Zeit gleich 0.0 Sekunden
t	...	aktuelle Zeit
τ	...	Zeitkonstante
q	...	Faktor q aus VDE/IEC

2.13.2 Bestimmung der treibenden Spannung

Als treibende Spannung ist die aktuelle Lastspannung zu verwenden. Die treibende Spannung wird über eine vorangehende Lastflussberechnung bestimmt.

$$U_T = U_{lf}$$

U_T	...	Treibende Spannung (Ersatzspannungsquelle) in [kV]
U_{lf}	...	Spannung aus Lastfluss in [kV]

2.13.3 Nachbildung des Netzes

Die Nachbildung des Netzes erfolgt ohne Vereinfachungen. Für die Ermittlung der Kurzschlussströme wird daher die Berechnung mit Ausgleichsströmen herangezogen.

2.13.4 Ermittlung des kleinsten Dauerkurzschlussstromes

Bei der Ermittlung des kleinsten Dauerkurzschlussstromes wird folgendes berücksichtigt.

Synchronmaschinen und Kraftwerksblöcke

Die aktuelle Generatorimpedanz wird aus den Dynamikdaten bei einer Zeit von einer Stunde ermittelt.

Netzeinspeisungen

Je nach Eingabeformat wird die maximale Impedanz bzw. die minimale Kurzschlussleistung für die Berechnung der Impedanz herangezogen. Die Impedanz ergibt sich identisch wie unter Eingabedaten der Netzeinspeisung bereits beschrieben.

Asynchronmaschinen

Asynchronmaschinen liefern keinen Beitrag zum kleinsten Dauerkurzschlussstrom.

2.14 Kurzschlussberechnung mit Vorbelastung analog zu VDE bzw. IEC

Die VDE- bzw. IEC-Bestimmungen lassen auch Rechenverfahren zu, die den vorliegenden Betriebsbedingungen besser angepasst sind.

Die Kurzschlussberechnung kann über das Feld **Kurzschlussdaten** bei den Berechnungsparametern wie folgt beeinflusst werden:

- **Standard:**
Aktuelle Kurzschlussleistung bei Netzeinspeisungen
- **Minimum:**
Minimale Kurzschlussleistung bei Netzeinspeisungen
- **Maximum:**
Maximale Kurzschlussleistung bei Netzeinspeisungen

Es erfolgt keine vereinfachte Netznachbildung. Die Netzelemente werden mit den Arbeitspunkten aus der Lastflussberechnung nachgebildet.

Anschließend werden die treibenden Spannungen null gesetzt und am Fehlerort ein so großer Strom eingespeist (Rückspeisemethode), dass sich am Fehlerort eine gleich große, aber entgegengesetzt gerichtete Spannung einstellt, wie sie von der Lastflussberechnung ermittelt wurde. Die Überlagerung der beiden Fälle ergibt die Strom- und Spannungsverteilung beim Kurzschluss mit Vorbelastung.

2.14.1 Spezielle Nachbildungen bei Vorbelastung nach VDE bzw. IEC

Die Vergabe von Defaultwerten für Synchronmaschinen, Kraftwerksblöcken und Asynchronmaschinen erfolgt analog der Berechnung nach VDE bzw. IEC.

2.14.2 Bestimmung der treibenden Spannung

Als treibende Spannung ist die aktuelle Lastspannung zu verwenden. Die treibende Spannung wird über eine vorangehende Lastflussberechnung bestimmt.

$$U_T = U_{lf}$$

U_T ... Treibende Spannung (Ersatzspannungsquelle) in [kV]

U_{lf} ... Spannung aus Lastfluss in [kV]

2.14.3 Nachbildung des Netzes

Die Nachbildung des Netzes erfolgt ohne Vereinfachungen. Für die Ermittlung der Kurzschlussströme wird daher die Berechnung mit Ausgleichsströmen herangezogen.

2.14.4 Beispiel

Es wird von einem Netz mit drei Knotenpunkten und zwei Einspeisungen ausgegangen. Durch die Belastung von 90 Ohm und 14 Ohm stellt sich bei gegebenen Maschinen- und Leitungsimpedanzen die dargestellte Strom- und Spannungsverteilung ein. Am mittleren Knoten, der späteren Fehlerstelle, ergibt sich eine Spannung von 780 V. Werden die beiden treibenden Spannungen null gesetzt und wird an der Fehlerstelle eine Spannung von 780 V angelegt, ergibt sich durch die Rückeinspeisung die gezeichnete Verteilung. Die Überlagerung der beiden Zustände Lastfluss und Rückeinspeisung ergibt die Kurzschlussstromverteilung mit Vorbelastung.

Lastfluss

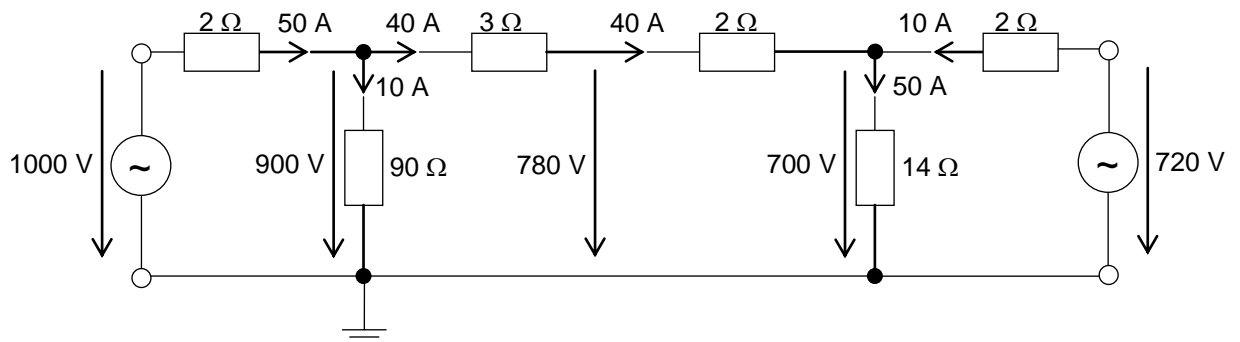


Bild: Ströme und Spannungen im Lastfluss

Kurzschluss Rückeinspeisung

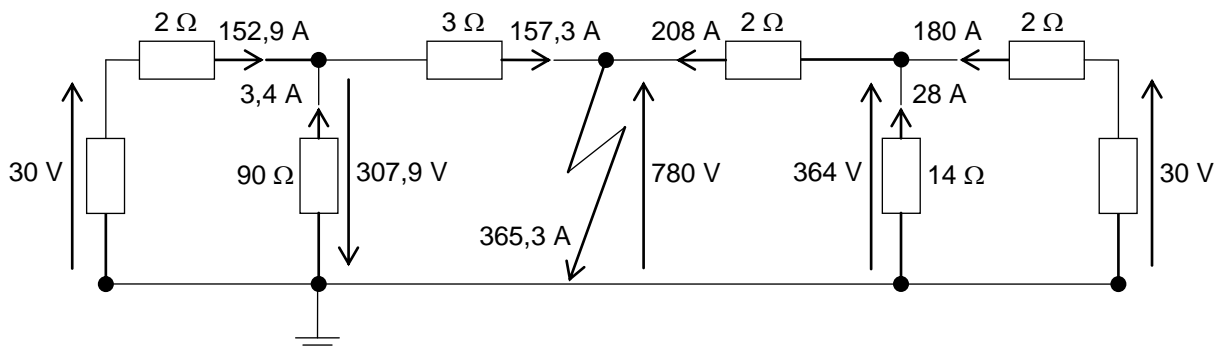
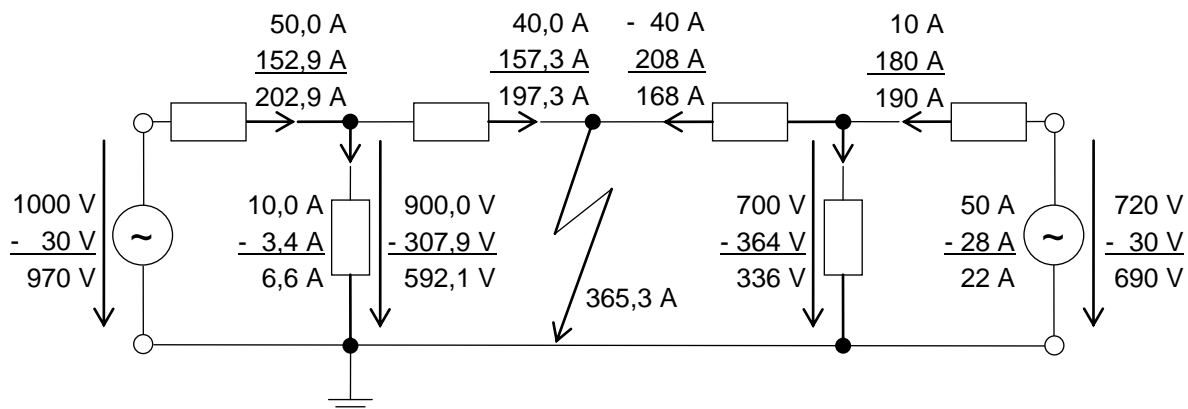
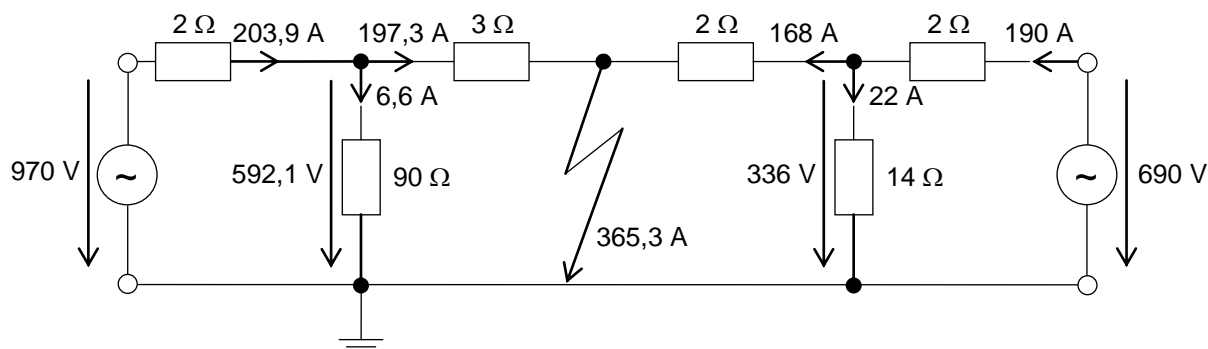


Bild: Ströme und Spannungen im Kurzschluss

Überlagerung: Lastfluss + Rückeinspeisung**Bild: Ströme und Spannungen bei Überlagerung Lastfluss und Kurzschluss****Kurzschluss mit Vorbelastung****Bild: Summe der Ströme und Spannungen**

2.15 Unterschiede zwischen IEC und ANSI

Zwischen IEC und ANSI sind die Unterschiede in folgenden Punkten aufgezeigt:

- Abklingen Gleichstrom
- Rückgang Wechselstrom
- Minimaler Kurzschlussstrom
- Maximaler Kurzschlussstrom

Abklingen Gleichstrom

IEC berechnet das Abklingen über ein X/R Verhältnis aus der Impedanzmatrix.

ANSI berechnet das Abklingen über ein R/X Verhältnis. Die Werte für R und X werden dabei aus entkoppelten Matrizen berechnet.

Beide Normen berücksichtigen vermaschte oder parallele Pfade im Netz. Es werden jedoch vollkommen unterschiedliche Verfahren zur Ermittlung des Abklingens verwendet.

Rückgang Wechselstrom

IEC ermittelt den Abschaltstrom über den Schaltverzug aus dem Anfangskurzschlusswechselstrom.

ANSI verwendet für die Berechnung des Abschaltstroms modifizierte subtransiente Maschinenimpedanzen.

Minimaler Kurzschlussstrom

IEC ermittelt den minimalen Kurzschlussstrom mit einem minimalen Spannungsfaktor, mit einer erhöhten Leitertemperatur und unter Vernachlässigung der Asynchronmotoren.

ANSI hat keine speziellen Vorgaben für die Ermittlung eines minimalen Kurzschlussstromes.

Maximaler Kurzschlussstrom

IEC ermittelt den maximalen Kurzschlussstrom mit einem maximalen Spannungsfaktor und unter Berücksichtigung der Asynchronmotoren.

ANSI hat keine speziellen Vorgaben für die Ermittlung eines maximalen Kurzschlussstromes.

2.16 Unterschiede zwischen IEC und G74

Zwischen IEC und G74 sind die Unterschiede in folgenden Punkten aufgezeigt:

- Rückgang Wechselstrom
- Treibende Spannung
- Netznachbildung

Rückgang Wechselstrom

IEC ermittelt den Abschaltstrom über den Schaltverzug aus dem Anfangskurzschlusswechselstrom.

G74 ermittelt den Abschaltstrom über ein zeitabhängiges Impedanzmodell.

Treibende Spannung

IEC ermittelt die treibende Spannung über die Netzennspannung und einem Sicherheitsfaktor (c-Wert).

Bei G74 wird als treibende Spannung die Lastspannung verwendet.

Netznachbildung

IEC fordert eine eigene Netznachbildung mit folgenden Besonderheiten:

- Vernachlässigung der Leitungskapazitäten im Mit- und Gegensystem
- Vernachlässigung von nicht rotierenden Lasten im Mit- und Gegensystem
- Verwendung von Impedanzkorrekturfaktoren für Netztransformatoren

G74 erlaubt keine vereinfachte Nachbildung des Netzes.

2.17 Ergebnisse der Kurzschlussberechnung

Das Berechnungsverfahren Kurzschluss stellt verschiedenste Ergebnisse zur Beurteilung und Analyse des Netzbetriebszustandes zur Verfügung. Je nach Kurzschlussverfahren werden unterschiedliche Ergebnisse bereitgestellt.

2.17.1 Kurzschlussergebnisse nach VDE bzw. G74

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse für folgende Kurzschlussverfahren näher beschrieben.

- VDE 0102/1.90 – IEC 909
- VDE 0102/1.90 – IEC 909 (vorbelastet)
- VDE 0102/2002 – IEC 909/2001
- IEC 61363-1/1998
- IEC 61363-1/1998 (vorbelastet)
- G74

Knotenergebnisse 1-poliger Kurzschluss

Für jeden an der Kurzschlussberechnung teilnehmenden Knoten wird ein Knotenergebnis zur Verfügung gestellt.

Die folgenden Knotenergebnisse werden für den 1-poligen Kurzschluss bereitgestellt.

Anfangs KS-Wechselstromleistung	Sk"	11,763	MVA
Anfangs KS-Wechselstrom	Ik"	3,396	kA
Winkel Anfangs KS-Wechselstrom	phIk"	-71,606	°
Stoßkurzschlussstrom	ip	7,629	kA
Abschaltstrom	Ia	3,396	kA
Gleichstrom bei Schaltverzögerung	idc	0,000	kA
Asym. Abschaltstrom	Iasym	3,396	kA
Anfangswert X/R	X/R Ik"	3,007	1
Stoßkurzschlussstromauslastung	ip/ipmax	0,000	%
Kurzschlussstromauslastung	Ik"/Ikmax	0,000	%
Kurzschlussleistungsauslastung	Sk"/Skmax	0,000	%

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Kurzschluss 1-polig

Unter **Knoten** bzw. **Netzebene** wird der Name des Knotens bzw. der Netzebene zur Identifizierung angezeigt.

Im Feld **Netzdarstellung** wird ausgewiesen, auf welche Art das Netz im Rahmen der Kurzschlussberechnung modelliert wurde. Hierbei wird zwischen der Modellierung mit symmetrischen Komponenten und Leiterdaten unterschieden.

Mit dem **Fehlertyp** wird ausgewiesen, welche Fehlerverschaltung verwendet wurde (Kurzschluss, Rückleiterschleiss, Erdschluss und Rückleiter- und Erdschluss).

Die **Anfangs KS-Wechselstromleistung** ist der Effektivwert der Summe der zu erwartenden Wechselstromleistung im Augenblick des Kurzschlusseintritts der einzelnen Leiter. Diese Leistung wird mit der Nennspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

Der **Anfangs KS-Wechselstrom** ist das Maximum der Effektivwerte des erwarteten Wechselstroms im Augenblick des Kurzschlusseintritts der einzelnen Leiter. Dieser Strom wird mit der treibenden Spannung ermittelt. Der Leiter, in dem das Maximum auftritt, wird als Leiter mit Maximum weiterverwendet.

Der **Winkel vom Anfangs KS-Wechselstrom** ist der negative Winkel ($I = U/Z$) der dem Anfangs KS-Wechselstrom zugrundeliegenden Netzimpedanz.

Der **Stoßkurzschlussstrom** ist der Scheitelwert des maximal möglichen Kurzschlussstromes im Leiter mit Maximum. Der Stoßkurzschlussstrom wird mit Hilfe des Kappa-Faktors und dem Anfangs KS-Wechselstrom berechnet. Der Kappa-Faktor wird laut Norm über das Verhältnis Anfangswert X/R an der Fehlerstelle bestimmt.

Der **Abschaltstrom** ist der Effektivwert der symmetrischen Wechselstromkomponente des zu erwartenden Kurzschlussstromes im maximalen Leiter zum Schaltverzug. Der Schaltverzug ist die Zeitdifferenz zwischen dem Augenblick des Kurzchlusseintritts und dem Augenblick der Kontakttrennung des erstlöschenden Pols einer Schalteinrichtung. Der Schaltverzug ist bei den Kurzschlussdaten der Netzebene vorzugeben. Für unsymmetrische Kurzschlussströme wird das Abklingen der magnetischen Flüsse in den Synchron- und Asynchronmaschinen nicht berücksichtigt. Der Abschaltstrom ist laut Norm identisch mit dem Anfangs KS-Wechselstrom.

Der **Gleichstrom bei Schaltverzug** ist der aktuelle Wert der Gleichstromkomponente im Leiter mit Maximum zum Schaltverzug. Der Gleichstrom bei Schaltverzug wird mit Hilfe des Verhältnisses Anfangswert R/X am Fehlerknoten und dem Schaltverzug bestimmt.

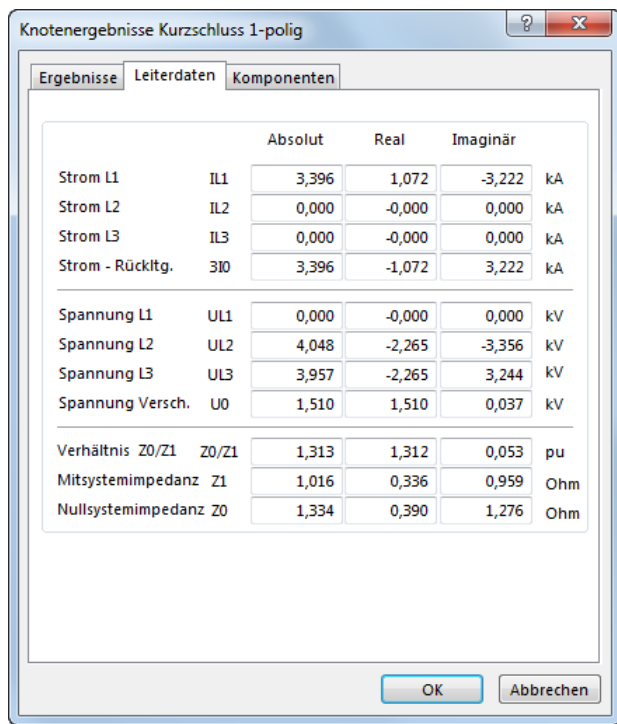
Unter **Asymmetrischer Abschaltstrom** wird ein Rechenwert aus Abschaltstrom und Gleichstrom bei Schaltverzug angezeigt. Weitere Informationen zur Berechnung des asymmetrischen Abschaltstromes finden Sie im Kapitel [Verfahren Kurzschluss](#).

Der **Anfangswert X/R** ist das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Anfangs KS-Wechselstrom zugrundeliegenden Netzimpedanz. Der Anfangswert R/X ist der Kehrwert vom Anfangswert X/R .

Die **Stoßkurzschlussstromauslastung** entspricht dem Verhältnis Stoßkurzschlussstrom zu maximal zulässigen Stoßstrom laut Vorgabe bei den Netzebenenenden.

Die **Kurzschlussstromauslastung** entspricht dem Verhältnis Anfangs KS-Wechselstrom zu maximal zulässigem Abschaltstrom laut Vorgabe bei den Netzebenenenden.

Die **Kurzschlussleistungsauslastung** entspricht dem Verhältnis Abschaltwechselstromleistung zu maximal zulässiger KS-Wechselstromleistung. Die Abschaltwechselstromleistung wird mit dem Abschaltstrom und der Betriebsspannung aus den Netzebenenenden berechnet. Die maximal zulässige KS-Wechselstromleistung wird mit dem maximal zulässigen Abschaltstrom und der Netzennspannung aus den Netzebenenenden berechnet.



		Absolut	Real	Imaginär	
Strom L1	IL1	3,396	1,072	-3,222	kA
Strom L2	IL2	0,000	-0,000	0,000	kA
Strom L3	IL3	0,000	-0,000	0,000	kA
Strom - Rücklfg.	3I0	3,396	-1,072	3,222	kA
Spannung L1	UL1	0,000	-0,000	0,000	kV
Spannung L2	UL2	4,048	-2,265	-3,356	kV
Spannung L3	UL3	3,957	-2,265	3,244	kV
Spannung Versch.	U0	1,510	1,510	0,037	kV
Verhältnis Z0/Z1	Z0/Z1	1,313	1,312	0,053	pu
Mitsystemimpedanz	Z1	1,016	0,336	0,959	Ohm
Nullsystemimpedanz	Z0	1,334	0,390	1,276	Ohm

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Kurzschluss 1-polig – Leiterdaten

Unter **Strom L1 – absolut**, **Strom L1 – real**, **Strom L1 – imaginär**, **Strom L2 – absolut**, **Strom L2 – real**, **Strom L2 – imaginär**, **Strom L3 – absolut**, **Strom L3 – real** und **Strom L3 – imaginär** wird der Anfangs KS-Wechselstrom in der jeweiligen Phase angezeigt.

Unter **Strom Rückleitung – absolut**, **Strom Rückleitung – real** und **Strom Rückleitung – imaginär** wird der Anfangs KS-Wechselstrom im Rückleiter angezeigt.

Unter **Spannung L1 – absolut**, **Spannung L1 – real**, **Spannung L1 – imaginär**, **Spannung L2 – absolut**, **Spannung L2 – real**, **Spannung L2 – imaginär**, **Spannung L3 – absolut**, **Spannung L3 – real** und **Spannung L3 – imaginär** wird die Spannung bei Kurzschlusseintritt in der jeweiligen Phase angezeigt.

Unter **Spannung Verschiebung – absolut**, **Spannung Verschiebung – real** und **Spannung Verschiebung – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Spannung im Nullsystem angezeigt.

Unter **Verhältnis Z0/Z1 – absolut**, **Verhältnis Z0/Z1 – real** und **Verhältnis Z0/Z1 – imaginär** wird das Verhältnis von Null- zu Mitimpedanz der dem Anfangs KS-Wechselstrom zugrundeliegenden Netzimpedanz angezeigt.

Unter **Mitsystemimpedanz – absolut**, **Mitsystemimpedanz – real** und **Mitsystemimpedanz – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Impedanz im Mitsystem angezeigt.

Unter **Nullsystemimpedanz – absolut**, **Nullsystemimpedanz – real** und **Nullsystemimpedanz – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Impedanz im Nullsystem angezeigt.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom MS	I1	1,132	0,357	-1,074	kA
Strom GS	I2	1,132	0,357	-1,074	kA
Strom NS	I3	1,132	0,357	-1,074	kA
Spannung MS	U1	2,660	2,660	0,019	kV
Spannung GS	U2	1,151	-1,150	0,019	kV
Spannung NS	U0	1,510	-1,510	-0,037	kV

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Kurzschluss 1-polig – Komponenten

Die im Register Leiterdaten angezeigten Ströme L1, L2 und L3 werden in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Strom MS – absolut**, **Strom MS – real** und **Strom MS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Gegensystem wird als **Strom GS – absolut**, **Strom GS – real** und **Strom GS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Nullsystem wird als **Strom NS – absolut**, **Strom NS – real** und **Strom NS – imaginär** angezeigt.

Aus den im Register Leiterdaten angezeigten Spannungen werden die verbleibenden Leiter-Rückleiterspannungen bestimmt und in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Spannung MS – absolut**, **Spannung MS – real** und **Spannung MS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Gegensystem wird als **Spannung GS – absolut**, **Spannung GS – real** und **Spannung GS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Nullsystem wird als **Spannung NS – absolut**, **Spannung NS – real** und **Spannung NS – imaginär** angezeigt.

Zweigergebnisse 1-poliger Kurzschluss

Für jeden an der Kurzschlussberechnung teilnehmenden Zweig werden mehrere Zweigergebnisse zur Verfügung gestellt. Die Leistungen, Ströme, Auslastungen und Zeiten beziehen sich auf den am angezeigten Anfangsknoten zugeordneten Anschluss. Um die Ergebnisse an allen Anschlüssen des Zweiges darzustellen, wird bei den Ergebnissen die Topologie mit wechselnden Knoten (Anfang/Ende bzw. Knoten 1/Knoten 2/Knoten 3 bei Dreiwicklungstransformatoren) angezeigt.

Die Spannungen gelten bei der Kurzschlussberechnung für einige oder alle Knoten im Netz für den Endknoten und bei der Kurzschlussberechnung für einen Knoten im Netz über das Kontextmenü dieses Knotens für den Anfangsknoten.

Die folgenden Zweigergebnisse werden für den 1-poligen Kurzschluss bereitgestellt.

Zweigergebnisse Kurzschluss 1-polig			
Ergebnisse Leiterdaten Komponenten			
Anfangsknoten	SS1		
Endknoten	SS2-A		
Elementname	L26		
Netzebene	Medium-Voltage (6 kV)		
Netzdarstellung	Sym. Komponenten		
Fehlertyp	Rückleiter- und Erdschlu		
Anfangs KS-Wechselstrom	I_k''	1,990	kA
Winkel Anfangs KS-Wechselstrom	$\text{ph} I_k''$	-73,085	°
Stoßkurzschlussstrom	i_p	0,000	kA
Abschaltstrom	I_a	1,990	kA
Gleichstrom bei Schaltverzögerung	i_{dc}	0,000	kA
Anfangs KS-Wechselstromausl.	I_k''/I_{kmax}	0,000	%
Stoßkurzschlussstromauslastung	i_p/i_{pmax}	0,000	%
Abschaltstromauslastung	I_a/I_{amax}	0,000	%
Max. Abschaltzeit	t_{max}	0,100	s
Bezogene Abschaltzeit	t_{rel}	100,000	%
Therm. gleichwert. Strom	I_{thmax}	2,209	kA

Bild: Datenmaske Zweigergebnisse Kurzschluss 1-polig

Anfangsknoten, **Endknoten**, **Elementname** und **Netzebene** stehen zur Identifizierung des Anschlusses zur Verfügung.

Im Feld **Netzdarstellung** wird ausgewiesen, auf welche Art das Netz im Rahmen der Kurzschlussberechnung modelliert wurde. Hierbei wird zwischen der Modellierung mit symmetrischen Komponenten und Leiterdaten unterschieden.

Mit dem **Fehlertyp** wird ausgewiesen, welche Fehlerverschaltung verwendet wurde (Kurzschluss, Rückleiterschluss, Erdschluss und Rückleiter- und Erdschluss).

Der **Anfangs KS-Wechselstrom** ist das Maximum der Effektivwerte des erwarteten Wechselstroms im Augenblick des Kurzschlusseintritts der einzelnen Leiter. Dieser Strom wird mit der treibenden Spannung ermittelt. Der Leiter, in dem das Maximum auftritt, wird als Leiter mit Maximum weiterverwendet.

Der **Winkel Anfangs KS-Wechselstrom** ist die Winkeldifferenz zwischen Strom und Spannung des Leiters mit Maximum.

Der **Stoßkurzschlussstrom** ist der Scheitelwert des maximal möglichen Kurzschlussstromes im Leiter mit Maximum. Der Stoßkurzschlussstrom wird mit Hilfe des Kappa-Faktors und dem Anfangs KS-Wechselstrom berechnet. Der Kappa-Faktor wird laut Norm über das Verhältnis Anfangswert X/R an der Fehlerstelle bestimmt. Der Stoßkurzschlussstrom von Zweigen wird nur berechnet, wenn für die **Stoßstromberechnungsart** bei den Berechnungsparametern Kurzschluss Strahlnetz ausgewählt wird. Für alle übrigen Stoßstromberechnungsarten wird ein Stoßkurzschlussstrom von 0,0 ausgewiesen.

Der **Abschaltstrom** ist der Effektivwert der symmetrischen Wechselstromkomponente des zu erwartenden Kurzschlussstromes im maximalen Leiter zum Schaltverzug. Der Schaltverzug ist die Zeitdifferenz zwischen dem Augenblick des Kurzchlusseintritts und dem Augenblick der Kontakttrennung des erstlöschenden Pols einer Schalteinrichtung. Der Schaltverzug ist bei den Kurzschlussdaten der Netzebene vorzugeben. Für unsymmetrische Kurzschlussströme wird das Abklingen der magnetischen Flüsse in den Synchron- und Asynchronmaschinen nicht berücksichtigt. Der Abschaltstrom ist laut Norm identisch mit dem Anfangs KS-Wechselstrom.

Der **Gleichstrom bei Schaltverzug** ist der aktuelle Wert der Gleichstromkomponente im Leiter mit Maximum zum Schaltverzug. Der Gleichstrom bei Schaltverzug wird mit Hilfe des Verhältnisses Anfangswert R/X am Fehlerknoten und dem Schaltverzug bestimmt.

Die **Anfangs KS-Wechselstromauslastung** entspricht bei Leitungen dem Verhältnis maximal auftretender Anfangs KS-Wechselstrom zu Einsekundenstrom. Bei der Bestimmung der Auslastung werden auch Fehler im Anschluss in kurzer Entfernung zum Knoten berücksichtigt. Bei dieser Betrachtung tritt im Abgang der Summenwert des Anfangs KS-Wechselstromes des echten Fehlerknotens reduziert um den Anfangs KS-Wechselstrom im Abgang auf. Der maximal auftretende Anfangs KS-Wechselstrom ist somit das Maximum aus beiden Betrachtungen:

$$I_k'' \text{ max} = \text{MAX} * (I_k'' \text{ Knoten} - I_k'', I_k'')$$

Für alle anderen Netzelemente wird eine Anfangs KS-Wechselstromauslastung von 0,0 ausgewiesen.

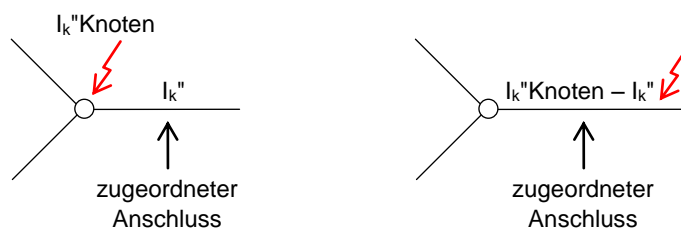


Bild: Bestimmung von $I_k'' \text{ max}$

Diese Bestimmung des Kurzschlussstroms $I_k'' \text{ max}$ stellt also den für die jeweilige Leitung ungünstigsten Fehlerfall dar, wenn der Kurzschlussort nicht direkt am Knoten, sondern unmittelbar dahinter am Anschluss der Leitung liegt.

Die **Stoßkurzschlussstromauslastung** entspricht dem Verhältnis maximal auftretender Stoßkurzschlussstrom zu maximal zulässigem Stoßstrom. Der maximal zulässige Stoßstrom ist das Minimum laut Vorgabe bei den Netzebenenendaten oder beim Schalter am aktuellen Anschluss. Bei der Bestimmung der Auslastung werden auch Fehler im Anschluss in kurzer Entfernung zum Knoten berücksichtigt. Bei dieser Betrachtung tritt im Abgang der Summenwert des Stoßstroms des echten Fehlerknotens reduziert um den Stoßstrom im Abgang auf. Der maximal auftretende Stoßstrom ist somit das Maximum aus beiden Betrachtungen:

$$I_p \text{ max} = \text{MAX} * (I_p \text{ Knoten} - I_p, I_p)$$

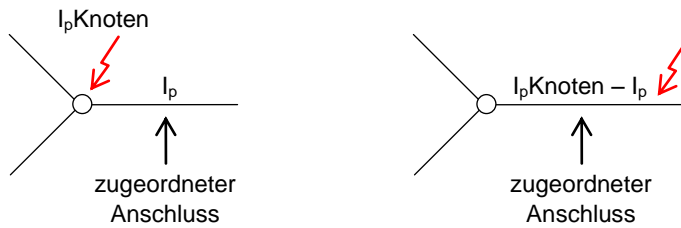


Bild: Bestimmung von I_{pmax}

Die **Abschaltstromauslastung** entspricht dem Verhältnis maximal auftretender Abschaltstrom zu maximal zulässiger Abschaltstrom laut Vorgabe beim Schalter im aktuellen Anschluss. Gibt es keinen Schalter im aktuellen Anschluss, so wird eine Abschaltstromauslastung von 0,0 ausgewiesen. Bei der Bestimmung der Auslastung werden auch Fehler im Anschluss in kurzer Entfernung zum Knoten berücksichtigt. Bei dieser Betrachtung tritt im Abgang der Summenwert des Abschaltstroms des echten Fehlerknotens reduziert um den Abschaltstrom im Abgang auf. Der maximal auftretende Abschaltstrom ist somit das Maximum aus beiden Betrachtungen:

$$I_{a\ max} = \text{MAX} * (I_{a\ Knoten} - I_a, I_a)$$

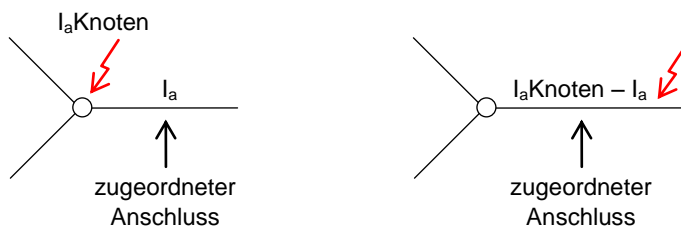


Bild: Bestimmung von I_{amax}

Für Leitungen wird die **Maximale Abschaltzeit** aus dem zulässigen Einsekundenstrom (1sec) über das thermische Äquivalent ermittelt.

$$I_{kmax}'' * I_{kmax}'' * t_{max} = I_s * I_s * 1\text{sec}$$

bzw.

$$t_{max} = \frac{I_s * I_s * 1\text{sec}}{I_{kmax}'' * I_{kmax}''}$$

Für alle restlichen Netzelemente wird als maximale Abschaltzeit der Schaltverzug ausgewiesen.

Für Leitungen wird die **Bezogene Abschaltzeit** aus der maximalen Abschaltzeit und dem Schaltverzug ermittelt.

$$t_{rel} = \frac{t_{max}}{t_s} * 100$$

Die bezogene Abschaltzeit sollte größer als 100 Prozent sein. Bei einer bezogenen Abschaltzeit unter 100 Prozent kann im Kurzschlussfall eine thermische Zerstörung der Leitung erfolgen.

Unter **Thermischer gleichwertiger Strom** wird der Effektivwert jenes Stromes ausgewiesen, der vom Augenblick des Kurzchlusseintrittes bis zum Schaltverzögerung das gleiche Joule Integral aufweist wie der abklingende Kurzschlussstrom.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom L1	IL1	1,990	0,579	-1,904	kA
Strom L2	IL2	0,025	0,025	-0,003	kA
Strom L3	IL3	0,025	0,025	-0,003	kA
Strom Rücklgt.	3I0	2,011	-0,629	1,911	kA
Spannung L1	UL1	0,820	0,819	0,041	kV
Spannung L2	UL2	4,041	-2,263	-3,348	kV
Spannung L3	UL3	3,962	-2,263	3,252	kV
Spannung Versch.	U0	1,236	1,236	0,018	kV

Bild: Datenmaske Zweigergebnisse Kurzschluss 1-polig – Leiterdaten

Unter **Strom L1 – absolut**, **Strom L1 – real**, **Strom L1 – imaginär**, **Strom L2 – absolut**, **Strom L2 – real**, **Strom L2 – imaginär**, **Strom L3 – absolut**, **Strom L3 – real** und **Strom L3 – imaginär** wird der Anfangs KS-Wechselstrom in der jeweiligen Phase angezeigt.

Unter **Strom Rückleitung – absolut**, **Strom Rückleitung – real** und **Strom Rückleitung – imaginär** wird der Anfangs KS-Wechselstrom im Rückleiter angezeigt.

Unter **Spannung L1 – absolut**, **Spannung L1 – real**, **Spannung L1 – imaginär**, **Spannung L2 – absolut**, **Spannung L2 – real**, **Spannung L2 – imaginär**, **Spannung L3 – absolut**, **Spannung L3 – real** und **Spannung L3 – imaginär** wird die Spannung bei Kurzchlusseintritt in der jeweiligen Phase angezeigt.

Unter **Spannung Verschiebung – absolut**, **Spannung Verschiebung – real** und **Spannung Verschiebung – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Spannung im Nullsystem angezeigt.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom MS	I1	0,660	0,185	-0,633	kA
Strom GS	I2	0,660	0,185	-0,633	kA
Strom NS	I0	0,670	0,210	-0,637	kA
Spannung MS	U1	2,933	2,933	0,030	kV
Spannung GS	U2	0,878	-0,878	0,030	kV
Spannung NS	U0	1,236	-1,236	-0,018	kV

Bild: Datenmaske Zweigergebnisse Kurzschluss 1-polig – Komponenten

Die im Register Leiterdaten angezeigten Ströme L1, L2 und L3 werden in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Strom MS – absolut**, **Strom MS – real** und **Strom MS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Gegensystem wird als **Strom GS – absolut**, **Strom GS – real** und **Strom GS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Nullsystem wird als **Strom NS – absolut**, **Strom NS – real** und **Strom NS – imaginär** angezeigt.

Aus den im Register Leiterdaten angezeigten Spannungen werden die verbleibenden Leiter-Rückleiterspannungen bestimmt und in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Spannung MS – absolut**, **Spannung MS – real** und **Spannung MS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Gegensystem wird als **Spannung GS – absolut**, **Spannung GS – real** und **Spannung GS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Nullsystem wird als **Spannung NS – absolut**, **Spannung NS – real** und **Spannung NS – imaginär** angezeigt.

Betrachtungsergebnisse 1-poliger Kurzschluss

Für jeden an der Kurzschlussberechnung betrachteten Anschluss wird für jeden berechneten Fehlerknoten ein Betrachtungsergebnis zur Verfügung gestellt. Die Leistungen, Ströme, etc. beziehen sich für Elementergebnisse auf den am angezeigten Anfangsknoten zugeordneten Anschluss bei Fehler in Fehlerknoten. Um die Ergebnisse an allen Anschlüssen eines Netzelementes darzustellen, wird bei den Ergebnissen die Topologie mit wechselnden Knoten (Anfang/Ende bzw. Knoten 1/Knoten 2/Knoten 3 bei Dreiwicklungstransformatoren) angezeigt.

Die Leistungen, Ströme, etc. beziehen sich für Strom Sternpunkt bzw. Strom gemeinsamer Sternpunkt auf die dem Element zugewiesene Sternpunktimpedanz bzw. gemeinsame Sternpunktimpedanz.

Die Leistungen, Ströme, etc. beziehen sich für Strom Dreieckswicklung auf die Dreieckswicklung von YYD Dreiwicklertransformatoren.

Die folgenden Betrachtungsergebnisse werden für den 1-poligen Kurzschluss bereitgestellt.

Bild: Datenmaske Betrachtungsergebnisse Kurzschluss 1-polig

Fehlerknoten, **Anfangsknoten**, **Endknoten**, **Elementname** und **Netzebene** stehen zur Identifizierung des Anschlusses, der Sternpunktimpedanz, der gemeinsamen Sternpunktimpedanz oder der Dreieckswicklung zur Verfügung.

Der **Ergebnistyp** dient ebenfalls zur Identifizierung. Folgende Ergebnistypen sind verfügbar:

- Elementergebnis
- Strom Dreieckswicklung
- Strom Sternpunkt
- Strom gemeinsamer Sternpunkt

Im Feld **Netzdarstellung** wird ausgewiesen, auf welche Art das Netz im Rahmen der Kurzschlussberechnung modelliert wurde. Hierbei wird zwischen der Modellierung mit symmetrischen Komponenten und Leiterdaten unterschieden.

Mit dem **Fehlertyp** wird ausgewiesen, welche Fehlerverschaltung verwendet wurde (Kurzschluss, Rückleiterschluss, Erdschluss und Rückleiter- und Erdschluss).

Der **Anfangs KS-Wechselstrom** ist das Maximum der Effektivwerte des erwarteten Wechselstroms im Augenblick des Kurzschlusseintritts der einzelnen Leiter. Dieser Strom wird mit der treibenden Spannung ermittelt. Der Leiter, in dem das Maximum auftritt, wird als Leiter mit Maximum weiterverwendet.

Der **Winkel vom Anfangs KS-Wechselstrom** ist die Winkeldifferenz zwischen Strom und Spannung des Leiters mit Maximum.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom L1	IL1	1,827	0,670	-1,700	kA
Strom L2	IL2	0,025	0,019	-0,016	kA
Strom L3	IL3	0,025	0,019	-0,016	kA
Strom Rückltg.	3I0	1,870	-0,708	1,731	kA
<hr/>					
Spannung L1	UL1	1,076	1,062	-0,176	kV
Spannung L2	UL2	4,041	-2,248	-3,358	kV
Spannung L3	UL3	3,945	-2,248	3,242	kV
Spannung Versch.	U0	1,149	1,145	0,097	kV

Bild: Datenmaske Betrachtungsergebnisse Kurzschluss 1-polig – Leiterdaten

Unter **Strom L1 – absolut**, **Strom L1 – real**, **Strom L1 – imaginär**, **Strom L2 – absolut**, **Strom L2 – real**, **Strom L2 – imaginär**, **Strom L3 – absolut**, **Strom L3 – real** und **Strom L3 – imaginär** wird der Anfangs KS-Wechselstrom in der jeweiligen Phase angezeigt.

Unter **Strom Rückleitung – absolut**, **Strom Rückleitung – real** und **Strom Rückleitung – imaginär** wird der Anfangs KS-Wechselstrom im Rückleiter angezeigt.

Unter **Spannung L1 – absolut**, **Spannung L1 – real**, **Spannung L1 – imaginär**, **Spannung L2 – absolut**, **Spannung L2 – real**, **Spannung L2 – imaginär**, **Spannung L3 – absolut**, **Spannung L3 – real** und **Spannung L3 – imaginär** wird die Spannung bei Kurzschlusseintritt in der jeweiligen Phase angezeigt.

Unter **Spannung Verschiebung – absolut**, **Spannung Verschiebung – real** und **Spannung Verschiebung – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Spannung im Nullsystem angezeigt.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom MS	I1	0,602	0,217	-0,561	kA
Strom GS	I2	0,602	0,217	-0,561	kA
Strom NS	I0	0,623	0,236	-0,577	kA
Spannung MS	U1	3,009	3,009	-0,039	kV
Spannung GS	U2	0,803	-0,802	-0,039	kV
Spannung NS	U0	1,149	-1,145	-0,097	kV

Bild: Datenmaske Betrachtungsergebnisse Kurzschluss 1-polig – Komponenten

Die im Register Leiterdaten angezeigten Ströme L1, L2 und L3 werden in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Strom MS – absolut**, **Strom MS – real** und **Strom MS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Gegensystem wird als **Strom GS – absolut**, **Strom GS – real** und **Strom GS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Nullsystem wird als **Strom NS – absolut**, **Strom NS – real** und **Strom NS – imaginär** angezeigt.

Aus den im Register Leiterdaten angezeigten Spannungen werden die verbleibenden Leiter-Rückleiterspannungen bestimmt und in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Spannung MS – absolut**, **Spannung MS – real** und **Spannung MS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Gegensystem wird als **Spannung GS – absolut**, **Spannung GS – real** und **Spannung GS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Nullsystem wird als **Spannung NS – absolut**, **Spannung NS – real** und **Spannung NS – imaginär** angezeigt.

Knotenergebnisse 2-poliger Erd- und Kurzschluss

Für jeden an der Kurzschlussberechnung teilnehmenden Knoten wird ein Knotenergebnis zur Verfügung gestellt.

Die folgenden Knotenergebnisse werden für den 2-poligen Erd- bzw. Kurzschluss bereitgestellt.

Anfangs KS-Wechselstromleistung	Sk*	25,214	MVA
Anfangs KS-Wechselstrom	Ik*	3,639	kA
Winkel Anfangs KS-Wechselstrom	philk*	-75,462	°
Stoßkurzschlussstrom	ip	6,312	kA
Abschaltstrom	Ia	3,639	kA
Gleichstrom bei Schaltverzögerung	idc	0,001	kA
Asym. Abschaltstrom	Iasym	3,639	kA
Anfangswert X/R	X/R Ik*	3,856	1
Stoßkurzschlussstromauslastung	ip/ipmax	0,000	%
Kurzschlussstromauslastung	Ik*/Ikmax	0,000	%
Kurzschlussleistungsauslastung	Sk*/Skmax	0,000	%

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Kurzschluss 2-polig

Unter **Knoten** bzw. **Netzebene** wird der Name des Knotens bzw. der Netzebene zur Identifizierung angezeigt.

Im Feld **Netzdarstellung** wird ausgewiesen, auf welche Art das Netz im Rahmen der Kurzschlussberechnung modelliert wurde. Hierbei wird zwischen der Modellierung mit symmetrischen Komponenten und Leiterdaten unterschieden.

Mit dem **Fehlertyp** wird ausgewiesen, welche Fehlerverschaltung verwendet wurde (Kurzschluss, Rückleiterschluß, Erdschluß und Rückleiter- und Erdschluß).

Die **Anfangs KS-Wechselstromleistung** ist der Effektivwert der Summe der zu erwartenden Wechselstromleistung im Augenblick des Kurzschlusseintritts der einzelnen Leiter. Diese Leistung wird mit der Nennspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

Der **Anfangs KS-Wechselstrom** ist das Maximum der Effektivwerte des erwarteten Wechselstroms im Augenblick des Kurzschlusseintritts der einzelnen Leiter. Dieser Strom wird mit der treibenden Spannung ermittelt. Der Leiter, in dem das Maximum auftritt, wird als Leiter mit Maximum weiterverwendet.

Der **Winkel vom Anfangs KS-Wechselstrom** ist der negative Winkel ($I = U/Z$) der dem Anfangs KS-Wechselstrom zugrundeliegenden Netzimpedanz.

Der **Stoßkurzschlussstrom** ist der Scheitelwert des maximal möglichen Kurzschlussstromes im Leiter mit Maximum. Der Stoßkurzschlussstrom wird mit Hilfe des Kappa-Faktors und dem Anfangs KS-Wechselstrom berechnet. Der Kappa-Faktor wird laut Norm über das Verhältnis Anfangswert X/R an der Fehlerstelle bestimmt.

Der **Abschaltstrom** ist der Effektivwert der symmetrischen Wechselstromkomponente des zu erwartenden Kurzschlussstromes im maximalen Leiter zum Schaltverzug. Der Schaltverzug ist die Zeitdifferenz zwischen dem Augenblick des Kurzchlusseintritts und dem Augenblick der Kontakttrennung des erstlöschenden Pols einer Schalteinrichtung. Der Schaltverzug ist bei den Kurzschlussdaten der Netzebene vorzugeben. Für unsymmetrische Kurzschlussströme wird das Abklingen der magnetischen Flüsse in den Synchron- und Asynchronmaschinen nicht berücksichtigt. Der Abschaltstrom ist laut Norm identisch mit dem Anfangs KS-Wechselstrom.

Der **Gleichstrom bei Schaltverzug** ist der aktuelle Wert der Gleichstromkomponente im Leiter mit Maximum zum Schaltverzug. Der Gleichstrom bei Schaltverzug wird mit Hilfe des Verhältnisses Anfangswert R/X am Fehlerknoten und dem Schaltverzug bestimmt.

Unter **Asymmetrischer Abschaltstrom** wird ein Rechenwert aus Abschaltstrom und Gleichstrom bei Schaltverzug angezeigt. Weitere Informationen zur Berechnung des asymmetrischen Abschaltstromes finden Sie im Kapitel [Verfahren Kurzschluss](#).

Der **Anfangswert X/R** ist das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Anfangs KS-Wechselstrom zugrundeliegenden Netzimpedanz. Der Anfangswert R/X ist der Kehrwert vom Anfangswert X/R .

Die **Stoßkurzschlussstromauslastung** entspricht dem Verhältnis Stoßkurzschlussstrom zu maximal zulässigen Stoßstrom laut Vorgabe bei den Netzebenenenden.

Die **Kurzschlussstromauslastung** entspricht dem Verhältnis Anfangs KS-Wechselstrom zu maximal zulässigem Abschaltstrom laut Vorgabe bei den Netzebenenenden.

Die **Kurzschlussleistungsauslastung** entspricht dem Verhältnis Abschaltwechselstromleistung zu maximal zulässiger KS-Wechselstromleistung. Die Abschaltwechselstromleistung wird mit dem Abschaltstrom und der Betriebsspannung aus den Netzebenenenden berechnet. Die maximal zulässige KS-Wechselstromleistung wird mit dem maximal zulässigen Abschaltstrom und der Netznennspannung aus den Netzebenenenden berechnet.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom L1	IL1	0,000	0,000	-0,000	kA
Strom L2	IL2	3,557	-3,534	0,405	kA
Strom L3	IL3	3,639	2,594	2,553	kA
Strom Rücklfg.	3I0	3,103	0,940	-2,957	kA
<hr/>					
Spannung L1	UL1	4,140	4,140	0,046	kV
Spannung L2	UL2	0,000	-0,000	-0,000	kV
Spannung L3	UL3	0,000	-0,000	-0,000	kV
Spannung Versch.	U0	1,380	-1,380	-0,015	kV
<hr/>					
Verhältnis Z0/Z1	Z0/Z1	1,313	1,312	0,053	pu
Mitsystemimpedanz	Z1	1,016	0,336	0,959	Ohm
Nullsystemimpedanz	Z0	1,334	0,390	1,276	Ohm

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Kurzschluss 2-polig – Leiterdaten

Unter **Strom L1 – absolut**, **Strom L1 – real**, **Strom L1 – imaginär**, **Strom L2 – absolut**, **Strom L2 – real**, **Strom L2 – imaginär**, **Strom L3 – absolut**, **Strom L3 – real** und **Strom L3 – imaginär** wird der Anfangs KS-Wechselstrom in der jeweiligen Phase angezeigt.

Unter **Strom Rückleitung – absolut**, **Strom Rückleitung – real** und **Strom Rückleitung – imaginär** wird der Anfangs KS-Wechselstrom im Rückleiter angezeigt.

Unter **Spannung L1 – absolut**, **Spannung L1 – real**, **Spannung L1 – imaginär**, **Spannung L2 – absolut**, **Spannung L2 – real**, **Spannung L2 – imaginär**, **Spannung L3 – absolut**, **Spannung L3 – real** und **Spannung L3 – imaginär** wird die Spannung bei Kurzchlusseintritt in der jeweiligen Phase angezeigt.

Unter **Spannung Verschiebung – absolut**, **Spannung Verschiebung – real** und **Spannung Verschiebung – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Spannung im Nullsystem angezeigt.

Unter **Verhältnis Z0/Z1 – absolut**, **Verhältnis Z0/Z1 – real** und **Verhältnis Z0/Z1 – imaginär** wird das Verhältnis von Null- zu Mitimpedanz der dem Anfangs KS-Wechselstrom zugrundeliegenden Netzimpedanz angezeigt.

Unter **Mitsystemimpedanz – absolut**, **Mitsystemimpedanz – real** und **Mitsystemimpedanz – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Impedanz im Mitsystem angezeigt.

Unter **Nullsystemimpedanz – absolut**, **Nullsystemimpedanz – real** und **Nullsystemimpedanz – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Impedanz im Nullsystem angezeigt.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom MS	I1	2,391	0,777	-2,262	kA
Strom GS	I2	1,358	-0,463	1,276	kA
Strom NS	I3	1,034	-0,313	0,986	kA
Spannung MS	U1	1,380	1,380	0,015	kV
Spannung GS	U2	1,380	1,380	0,015	kV
Spannung NS	U0	1,380	1,380	0,015	kV

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Kurzschluss 2-polig – Komponenten

Die im Register Leiterdaten angezeigten Ströme L1, L2 und L3 werden in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Strom MS – absolut**, **Strom MS – real** und **Strom MS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Gegensystem wird als **Strom GS – absolut**, **Strom GS – real** und **Strom GS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Nullsystem wird als **Strom NS – absolut**, **Strom NS – real** und **Strom NS – imaginär** angezeigt.

Aus den im Register Leiterdaten angezeigten Spannungen werden die verbleibenden Leiter-Rückleiterspannungen bestimmt und in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Spannung MS – absolut**, **Spannung MS – real** und **Spannung MS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Gegensystem wird als **Spannung GS – absolut**, **Spannung GS – real** und **Spannung GS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Nullsystem wird als **Spannung NS – absolut**, **Spannung NS – real** und **Spannung NS – imaginär** angezeigt.

Zweigergebnisse 2-poliger Erd- und Kurzschluss

Für jeden an der Kurzschlussberechnung teilnehmenden Zweig werden mehrere Zweigergebnisse zur Verfügung gestellt. Die Leistungen, Ströme, Auslastungen und Zeiten beziehen sich auf den am angezeigten Anfangsknoten zugeordneten Anschluss. Um die Ergebnisse an allen Anschlüssen des Zweiges darzustellen, wird bei den Ergebnissen die Topologie mit wechselnden Knoten (Anfang/Ende bzw. Knoten 1/Knoten 2/Knoten 3 bei Dreiwicklungstransformatoren) angezeigt.

Die Spannungen gelten bei der Kurzschlussberechnung für einige oder alle Knoten im Netz für den Endknoten und bei der Kurzschlussberechnung für einen Knoten im Netz über das Kontextmenü dieses Knotens für den Anfangsknoten.

Die folgenden Zweigergebnisse werden für den 2-poligen Erd- bzw. Kurzschluss bereitgestellt.

Anfangs Knoten	SS1		
Endknoten	SS2-A		
Elementname	L26		
Netzebene	Medium-Voltage (6 kV)		
Netzdarstellung	Sym. Komponenten		
Fehlertyp	Rückleiter- und Erdschlu		
Anfangs KS-Wechselstrom	Ik'	2,109	kA
Winkel Anfangs KS-Wechselstrom	philk'	-77,126	°
Stoßkurzschlussstrom	ip	0,000	kA
Abschaltstrom	Ia	2,109	kA
Gleichstrom bei Schaltverzögerung	idc	0,000	kA
Anfangs KS-Wechselstromausl.	Ik'/Ikmax	0,000	%
Stoßkurzschlussstromauslastung	ip/ipmax	0,000	%
Abschaltstromauslastung	Ia/Iamax	0,000	%
Max. Abschaltzeit	tmax	0,100	s
Bezogene Abschaltzeit	trel	100,000	%
Therm. gleichwert. Strom	Ithmax	2,176	kA

Bild: Datenmaske Zweigergebnisse Kurzschluss 2-polig

Anfangsknoten, **Endknoten**, **Elementname** und **Netzebene** stehen zur Identifizierung des Anschlusses zur Verfügung.

Im Feld **Netzdarstellung** wird ausgewiesen, auf welche Art das Netz im Rahmen der Kurzschlussberechnung modelliert wurde. Hierbei wird zwischen der Modellierung mit symmetrischen Komponenten und Leiterdaten unterschieden.

Mit dem **Fehlertyp** wird ausgewiesen, welche Fehlerverschaltung verwendet wurde (Kurzschluss, Rückleiterschluss, Erdschluss und Rückleiter- und Erdschluss).

Der **Anfangs KS-Wechselstrom** ist das Maximum der Effektivwerte des erwarteten Wechselstroms im Augenblick des Kurzschlusseintritts der einzelnen Leiter. Dieser Strom wird mit der treibenden Spannung ermittelt. Der Leiter, in dem das Maximum auftritt, wird als Leiter mit Maximum weiterverwendet.

Der **Winkel Anfangs KS-Wechselstrom** ist die Winkeldifferenz zwischen Strom und Spannung des Leiters mit Maximum.

Der **Stoßkurzschlussstrom** ist der Scheitelwert des maximal möglichen Kurzschlussstromes im Leiter mit Maximum. Der Stoßkurzschlussstrom wird mit Hilfe des Kappa-Faktors und dem Anfangs KS-Wechselstrom berechnet. Der Kappa-Faktor wird laut Norm über das Verhältnis Anfangswert X/R an der Fehlerstelle bestimmt. Der Stoßkurzschlussstrom von Zweigen wird nur berechnet, wenn für die **Stoßstromberechnungsart** bei den Berechnungsparametern Kurzschluss Strahlnetz ausgewählt wird. Für alle übrigen Stoßstromberechnungsarten wird ein Stoßkurzschlussstrom von 0,0 ausgewiesen.

Der **Abschaltstrom** ist der Effektivwert der symmetrischen Wechselstromkomponente des zu erwartenden Kurzschlussstromes im maximalen Leiter zum Schaltverzug. Der Schaltverzug ist die Zeitdifferenz zwischen dem Augenblick des Kurzchlusseintritts und dem Augenblick der Kontakttrennung des erstlöschenden Pols einer Schalteinrichtung. Der Schaltverzug ist bei den Kurzschlussdaten der Netzebene vorzugeben. Für unsymmetrische Kurzschlussströme wird das Abklingen der magnetischen Flüsse in den Synchron- und Asynchronmaschinen nicht berücksichtigt. Der Abschaltstrom ist laut Norm identisch mit dem Anfangs KS-Wechselstrom.

Der **Gleichstrom bei Schaltverzug** ist der aktuelle Wert der Gleichstromkomponente im Leiter mit Maximum zum Schaltverzug. Der Gleichstrom bei Schaltverzug wird mit Hilfe des Verhältnisses Anfangswert R/X am Fehlerknoten und dem Schaltverzug bestimmt.

Die **Anfangs KS-Wechselstromauslastung** entspricht bei Leitungen dem Verhältnis maximal auftretender Anfangs KS-Wechselstrom zu Einsekundenstrom. Bei der Bestimmung der Auslastung werden auch Fehler im Anschluss in kurzer Entfernung zum Knoten berücksichtigt. Bei dieser Betrachtung tritt im Abgang der Summenwert des Anfangs KS-Wechselstromes des echten Fehlerknotens reduziert um den Anfangs KS-Wechselstrom im Abgang auf. Der maximal auftretende Anfangs KS-Wechselstrom ist somit das Maximum aus beiden Betrachtungen:

$$I_k'' \text{ max} = \text{MAX} * (I_k'' \text{ Knoten} - I_k'', I_k'')$$

Für alle anderen Netzelemente wird eine Anfangs KS-Wechselstromauslastung von 0,0 ausgewiesen.

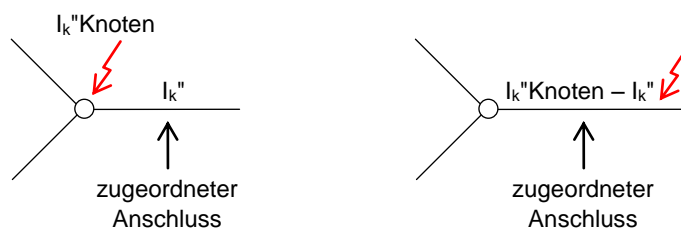


Bild: Bestimmung von $I_k'' \text{ max}$

Diese Bestimmung des Kurzschlussstroms $I_k'' \text{ max}$ stellt also den für die jeweilige Leitung ungünstigsten Fehlerfall dar, wenn der Kurzschlussort nicht direkt am Knoten, sondern unmittelbar dahinter am Anschluss der Leitung liegt.

Die **Stoßkurzschlussstromauslastung** entspricht dem Verhältnis maximal auftretender Stoßkurzschlussstrom zu maximal zulässigem Stoßstrom. Der maximal zulässige Stoßstrom ist das Minimum laut Vorgabe bei den Netzebenenendaten oder beim Schalter am aktuellen Anschluss. Bei der Bestimmung der Auslastung werden auch Fehler im Anschluss in kurzer Entfernung zum Knoten berücksichtigt. Bei dieser Betrachtung tritt im Abgang der Summenwert des Stoßstroms des echten Fehlerknotens reduziert um den Stoßstrom im Abgang auf. Der maximal auftretende Stoßstrom ist somit das Maximum aus beiden Betrachtungen:

$$I_p \text{ max} = \text{MAX} * (I_p \text{ Knoten} - I_p, I_p)$$

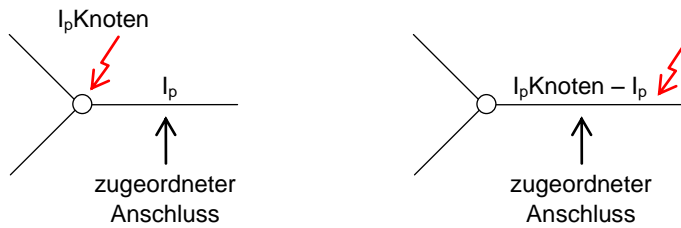


Bild: Bestimmung von I_{pmax}

Die **Abschaltstromauslastung** entspricht dem Verhältnis maximal auftretender Abschaltstrom zu maximal zulässiger Abschaltstrom laut Vorgabe beim Schalter im aktuellen Anschluss. Gibt es keinen Schalter im aktuellen Anschluss, so wird eine Abschaltstromauslastung von 0,0 ausgewiesen. Bei der Bestimmung der Auslastung werden auch Fehler im Anschluss in kurzer Entfernung zum Knoten berücksichtigt. Bei dieser Betrachtung tritt im Abgang der Summenwert des Abschaltstroms des echten Fehlerknotens reduziert um den Abschaltstrom im Abgang auf. Der maximal auftretende Abschaltstrom ist somit das Maximum aus beiden Betrachtungen:

$$I_{a\ max} = \text{MAX} * (I_{a\ Knoten} - I_a, I_a)$$

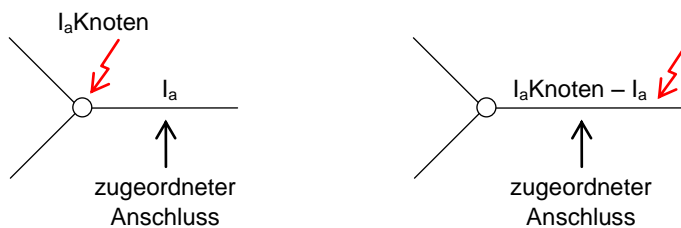


Bild: Bestimmung von I_{amax}

Für Leitungen wird die **Maximale Abschaltzeit** aus dem zulässigen Einsekundenstrom (1sec) über das thermische Äquivalent ermittelt.

$$I_{kmax}'' * I_{kmax}'' * t_{max} = I_{1s} * I_{1s} * 1\text{sec}$$

bzw.

$$t_{max} = \frac{I_{1s} * I_{1s} * 1\text{sec}}{I_{kmax}'' * I_{kmax}''}$$

Für alle restlichen Netzelemente wird als maximale Abschaltzeit der Schaltverzug ausgewiesen.

Für Leitungen wird die **Bezogene Abschaltzeit** aus der maximalen Abschaltzeit und dem Schaltverzug ermittelt.

$$t_{rel} = \frac{t_{max}}{t_s} * 100$$

Die bezogene Abschaltzeit sollte größer als 100 Prozent sein. Bei einer bezogenen Abschaltzeit unter 100 Prozent kann im Kurzschlussfall eine thermische Zerstörung der Leitung erfolgen.

Unter **Thermischer gleichwertiger Strom** wird der Effektivwert jenes Stromes ausgewiesen, der vom Augenblick des Kurzchlusseintrittes bis zum Schaltverzögerung das gleiche Joule Integral aufweist wie der abklingende Kurzschlussstrom.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom L1	IL1	0,023	-0,023	0,003	kA
Strom L2	IL2	2,096	-2,073	0,314	kA
Strom L3	IL3	2,109	1,545	1,435	kA
Strom Rücklgt.	3I0	1,837	0,550	-1,752	kA
Spannung L1	UL1	4,138	4,138	0,039	kV
Spannung L2	UL2	0,864	-0,333	-0,798	kV
Spannung L3	UL3	0,869	-0,419	0,762	kV
Spannung Versch.	U0	1,129	-1,129	-0,001	kV

Bild: Datenmaske Zweigergebnisse Kurzschluss 2-polig – Leiterdaten

Unter **Strom L1 – absolut**, **Strom L1 – real**, **Strom L1 – imaginär**, **Strom L2 – absolut**, **Strom L2 – real**, **Strom L2 – imaginär**, **Strom L3 – absolut**, **Strom L3 – real** und **Strom L3 – imaginär** wird der Anfangs KS-Wechselstrom in der jeweiligen Phase angezeigt.

Unter **Strom Rückleitung – absolut**, **Strom Rückleitung – real** und **Strom Rückleitung – imaginär** wird der Anfangs KS-Wechselstrom im Rückleiter angezeigt.

Unter **Spannung L1 – absolut**, **Spannung L1 – real**, **Spannung L1 – imaginär**, **Spannung L2 – absolut**, **Spannung L2 – real**, **Spannung L2 – imaginär**, **Spannung L3 – absolut**, **Spannung L3 – real** und **Spannung L3 – imaginär** wird die Spannung bei Kurzchlusseintritt in der jeweiligen Phase angezeigt.

Unter **Spannung Verschiebung – absolut**, **Spannung Verschiebung – real** und **Spannung Verschiebung – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Spannung im Nullsystem angezeigt.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom MS	I1	1,395	0,404	-1,335	kA
Strom GS	I2	0,792	-0,243	0,754	kA
Strom NS	I0	0,612	-0,183	0,584	kA
Spannung MS	U1	1,955	1,955	0,044	kV
Spannung GS	U2	1,055	1,055	-0,006	kV
Spannung NS	U0	1,129	1,129	0,001	kV

Bild: Datenmaske Zweigergebnisse Kurzschluss 2-polig – Komponenten

Die im Register Leiterdaten angezeigten Ströme L1, L2 und L3 werden in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Strom MS – absolut**, **Strom MS – real** und **Strom MS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Gegensystem wird als **Strom GS – absolut**, **Strom GS – real** und **Strom GS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Nullsystem wird als **Strom NS – absolut**, **Strom NS – real** und **Strom NS – imaginär** angezeigt.

Aus den im Register Leiterdaten angezeigten Spannungen werden die verbleibenden Leiter-Rückleiterspannungen bestimmt und in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Spannung MS – absolut**, **Spannung MS – real** und **Spannung MS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Gegensystem wird als **Spannung GS – absolut**, **Spannung GS – real** und **Spannung GS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Nullsystem wird als **Spannung NS – absolut**, **Spannung NS – real** und **Spannung NS – imaginär** angezeigt.

Betrachtungsergebnisse 2-poliger Erd- und Kurzschluss

Für jeden an der Kurzschlussberechnung betrachteten Anschluss wird für jeden berechneten Fehlerknoten ein Betrachtungsergebnis zur Verfügung gestellt. Die Leistungen, Ströme, etc. beziehen sich für Elementergebnisse auf den am angezeigten Anfangsknoten zugeordneten Anschluss bei Fehler in Fehlerknoten. Um die Ergebnisse an allen Anschlüssen eines Netzelementes darzustellen, wird bei den Ergebnissen die Topologie mit wechselnden Knoten (Anfang/Ende bzw. Knoten 1/Knoten 2/Knoten 3 bei Dreiwicklungstransformatoren) angezeigt.

Die Leistungen, Ströme, etc. beziehen sich für Strom Sternpunkt bzw. Strom gemeinsamer Sternpunkt auf die dem Element zugewiesene Sternpunktimpedanz bzw. gemeinsame Sternpunktimpedanz.

Die Leistungen, Ströme, etc. beziehen sich für Strom Dreieckswicklung auf die Dreieckswicklung von YYD Dreiwicklertransformatoren.

Die folgenden Betrachtungsergebnisse werden für den 2-poligen Erd- bzw. Kurzschluss bereitgestellt.

Fehlerknoten	N1
Anfangsknoten	SS1
Endknoten	SS2-A
Elementname	L26
Netzebene	Medium-Voltage (6 kV)
Ergebnistyp	Elementergebnis

Netzdarstellung	Sym. Komponenten
Fehlertyp	Kurzschluss

Anfangs KS-Wechselstrom	I_k^*	1,934	kA
Winkel Anf. KS-Wechselstrom	ϕ_{Ik}^*	-72,056	°

Bild: Datenmaske Betrachtungsergebnisse Kurzschluss 2-polig

Fehlerknoten, **Anfangsknoten**, **Endknoten**, **Elementname** und **Netzebene** stehen zur Identifizierung des Anschlusses, der Sternpunktimpedanz, der gemeinsamen Sternpunktimpedanz oder der Dreieckswicklung zur Verfügung.

Der **Ergebnistyp** dient ebenfalls zur Identifizierung. Folgende Ergebnistypen sind verfügbar:

- Elementergebnis
- Strom Dreieckswicklung
- Strom Sternpunkt
- Strom gemeinsamer Sternpunkt

Im Feld **Netzdarstellung** wird ausgewiesen, auf welche Art das Netz im Rahmen der Kurzschlussberechnung modelliert wurde. Hierbei wird zwischen der Modellierung mit symmetrischen Komponenten und Leiterdaten unterschieden.

Mit dem **Fehlertyp** wird ausgewiesen, welche Fehlerverschaltung verwendet wurde (Kurzschluss, Rückleiterschluss, Erdschluss und Rückleiter- und Erdschluss).

Der **Anfangs KS-Wechselstrom** ist das Maximum der Effektivwerte des erwarteten Wechselstroms im Augenblick des Kurzschlusseintritts der einzelnen Leiter. Dieser Strom wird mit der treibenden Spannung ermittelt. Der Leiter, in dem das Maximum auftritt, wird als Leiter mit Maximum weiterverwendet.

Der **Winkel vom Anfangs KS-Wechselstrom** ist die Winkeldifferenz zwischen Strom und Spannung des Leiters mit Maximum.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom L1	IL1	0,022	-0,017	0,014	kA
Strom L2	IL2	1,909	-1,904	0,140	kA
Strom L3	IL3	1,934	1,296	1,436	kA
Strom Rückltg.	3I0	1,709	0,625	-1,591	kA
Spannung L1	UL1	4,125	4,125	0,049	kV
Spannung L2	UL2	1,117	-0,641	-0,914	kV
Spannung L3	UL3	1,142	-0,342	1,090	kV
Spannung Versch.	U0	1,050	-1,047	-0,075	kV

Bild: Datenmaske Betrachtungsergebnisse Kurzschluss 2-polig – Leiterdaten

Unter **Strom L1 – absolut**, **Strom L1 – real**, **Strom L1 – imaginär**, **Strom L2 – absolut**, **Strom L2 – real**, **Strom L2 – imaginär**, **Strom L3 – absolut**, **Strom L3 – real** und **Strom L3 – imaginär** wird der Anfangs KS-Wechselstrom in der jeweiligen Phase angezeigt.

Unter **Strom Rückleitung – absolut**, **Strom Rückleitung – real** und **Strom Rückleitung – imaginär** wird der Anfangs KS-Wechselstrom im Rückleiter angezeigt.

Unter **Spannung L1 – absolut**, **Spannung L1 – real**, **Spannung L1 – imaginär**, **Spannung L2 – absolut**, **Spannung L2 – real**, **Spannung L2 – imaginär**, **Spannung L3 – absolut**, **Spannung L3 – real** und **Spannung L3 – imaginär** wird die Spannung bei Kurzchlusseintritt in der jeweiligen Phase angezeigt.

Unter **Spannung Verschiebung – absolut**, **Spannung Verschiebung – real** und **Spannung Verschiebung – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Spannung im Nullsystem angezeigt.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom MS	I1	1,271	0,470	-1,181	kA
Strom GS	I2	0,722	-0,278	0,666	kA
Strom NS	I0	0,570	-0,208	0,530	kA
Spannung MS	U1	2,120	2,117	-0,099	kV
Spannung GS	U2	0,963	0,960	0,073	kV
Spannung NS	U0	1,050	1,047	0,075	kV

Bild: Datenmaske Betrachtungsergebnisse Kurzschluss 2-polig – Komponenten

Die im Register Leiterdaten angezeigten Ströme L1, L2 und L3 werden in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Strom MS – absolut**, **Strom MS – real** und **Strom MS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Gegensystem wird als **Strom GS – absolut**, **Strom GS – real** und **Strom GS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Nullsystem wird als **Strom NS – absolut**, **Strom NS – real** und **Strom NS – imaginär** angezeigt.

Aus den im Register Leiterdaten angezeigten Spannungen werden die verbleibenden Leiter-Rückleiterspannungen bestimmt und in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Spannung MS – absolut**, **Spannung MS – real** und **Spannung MS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Gegensystem wird als **Spannung GS – absolut**, **Spannung GS – real** und **Spannung GS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Nullsystem wird als **Spannung NS – absolut**, **Spannung NS – real** und **Spannung NS – imaginär** angezeigt.

Knotenergebnisse 3-poliger Kurzschluss

Für jeden an der Kurzschlussberechnung teilnehmenden Knoten wird ein Knotenergebnis zur Verfügung gestellt.

Die folgenden Knotenergebnisse werden für den 3-poligen Kurzschluss bereitgestellt.

Verfahren Kurzschluss

Treibende Spannung	Uk	6,600	kV
Schaltverzug	ts	0,100	s
Anfangs KS-Wechselstromleistung	Sk"	38,960	MVA
Anfangs KS-Wechselstrom	Ik"	3,749	kA
Winkel Anfangs KS-Wechselstrom	phIk"	-70,683	°
Abschaltleistung	Sa	20,467	MVA
Abschaltstrom	Ia	1,969	kA
Stoßkurzschlussstrom	ip	8,307	kA
Gleichstrom bei Schaltverzug	idc	0,000	kA
Asym. Abschaltstrom	Iasym	1,969	kA
Minimaler Dauerkurzschlussstrom	Ikmin	0,279	kA
Anfangswert X/R	X/R Ik"	2,853	1
Impedanz - real	Zr	0,336	Ohm
Impedanz - imaginär	Zi	0,959	Ohm
Impedanz - absolut	Za	1,016	Ohm
Kurzschlussstromauslastung	Ik"/Ikmax	0,000	%
Stoßkurzschlussstromauslastung	ip/ipmax	0,000	%
Kurzschlussleistungsauslastung	Sk"/Skmax	0,000	%

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Kurzschluss 3-polig

Unter **Knoten** bzw. **Netzebene** wird der Name des Knotens bzw. der Netzebene zur Identifizierung angezeigt.

Im Feld **Netzdarstellung** wird ausgewiesen, auf welche Art das Netz im Rahmen der Kurzschlussberechnung modelliert wurde. Hierbei wird zwischen der Modellierung mit symmetrischen Komponenten und Leiterdaten unterschieden.

Mit dem **Fehlertyp** wird ausgewiesen, welche Fehlerverschaltung verwendet wurde (Kurzschluss, Rückleiterschluss, Erdschluss und Rückleiter- und Erdschluss).

Die **Treibende Spannung** ist die Spannung im Mitsystem an der idealen Ersatzspannungsquelle des Kurzschlussknotens zur Berechnung des Kurzschlussstromes.

Der **Schaltverzug** ist die Zeitdifferenz zwischen dem Augenblick des Kurzschlusseintritts und dem Augenblick der Kontakttrennung des erstlöschenden Pols einer Schalteinrichtung.

Die **Anfangs KS-Wechselstromleistung** ist der Effektivwert der Summe der zu erwartenden Wechselstromleistung im Augenblick des Kurzschlusseintritts der einzelnen Leiter. Diese Leistung wird mit der Nennspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

Der **Anfangs KS-Wechselstrom** ist das Maximum der Effektivwerte des erwarteten Wechselstroms im Augenblick des Kurzschlusseintritts der einzelnen Leiter. Dieser Strom wird mit der treibenden Spannung ermittelt. Der Leiter, in dem das Maximum auftritt, wird als Leiter mit Maximum weiterverwendet.

Der **Winkel vom Anfangs KS-Wechselstrom** ist der negative Winkel ($I = U/Z$) der dem Anfangs KS-Wechselstrom zugrundeliegenden Netzimpedanz.

Die **Abschaltleistung** ist der Effektivwert der Summe der zu erwartenden Wechselstromleistung der einzelnen Leiter im Augenblick der Kontakttrennung des erstlöschenden Pols einer Schalteinrichtung. Diese Leistung wird mit der Betriebsspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

Der **Abschaltstrom** ist der Effektivwert der symmetrischen Wechselstromkomponente des zu erwartenden Kurzschlussstromes im maximalen Leiter zum Schaltverzug. Der Schaltverzug ist die Zeitdifferenz zwischen dem Augenblick des Kurzschlusseintritts und dem Augenblick der Kontakttrennung des erstlöschenden Pols einer Schalteinrichtung. Der Schaltverzug ist bei den Kurzschlussdaten der Netzebene vorzugeben. Für symmetrische Kurzschlussströme wird das Abklingen der magnetischen Flüsse in den Synchron- und Asynchronmaschinen berücksichtigt. Für Synchronmaschinen wird das Abklingen mit Hilfe des Faktors $Mü$ bestimmt. Für Asynchronmaschinen wird das Abklingen mit Hilfe des Faktors q bestimmt. Der Faktor q kann im Eingabedatendialog der Asynchronmaschine (Modellierung von Ersatz-Asynchronmaschinen) auch direkt vorgegeben werden. Bei Vorgabe von 0,0 wird der Faktor q laut Norm ermittelt.

Der **Stoßkurzschlussstrom** ist der Scheitelwert des maximal möglichen Kurzschlussstromes im Leiter mit Maximum. Der Stoßkurzschlussstrom wird mit Hilfe des Kappa-Faktors und dem Anfangs KS-Wechselstrom berechnet. Der Kappa-Faktor wird laut Norm über das Verhältnis Anfangswert X/R an der Fehlerstelle bestimmt.

Der **Gleichstrom bei Schaltverzug** ist der aktuelle Wert der Gleichstromkomponente im Leiter mit Maximum zum Schaltverzug. Der Gleichstrom bei Schaltverzug wird mit Hilfe des Verhältnisses Anfangswert R/X am Fehlerknoten und dem Schaltverzug bestimmt.

Unter **Asymmetrischer Abschaltstrom** wird ein Rechenwert aus Abschaltstrom und Gleichstrom bei Schaltverzug angezeigt. Weitere Informationen zur Berechnung des asymmetrischen Abschaltstromes finden Sie im Kapitel [Verfahren Kurzschluss](#).

Der **Minimale Dauerkurzschlussstrom** wird für den 3-poligen Kurzschluss eigenständig berechnet. Für Synchrongeneratoren kann der minimale Dauerkurzschlussstrom vorgegeben werden. Bei Vorgabe eines Wertes von 0,0 wird der minimale Dauerkurzschlussstrom mit Hilfe des Lambda Faktors laut Norm ermittelt. Synchronmotoren und Asynchronmotoren werden in die Ermittlung des minimalen Dauerkurzschlussstromes nicht miteinbezogen. Als Leitertemperatur wird die bei den Berechnungsparametern Kurzschluss anzugebende **Temperatur am Ende des Kurzschlusses** verwendet. Die treibende Spannung wird mit dem Spannungsfaktor zur Berechnung der minimalen Kurzschlussströme bestimmt.

Der **Anfangswert X/R** ist das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Anfangs KS-Wechselstrom zugrundeliegenden Netzimpedanz. Der Anfangswert R/X ist der Kehrwert vom Anfangswert X/R .

Unter **Impedanz – real**, **Impedanz – imaginär** und **Impedanz – absolut** wird die Mitsystemimpedanz der dem Anfangs KS-Wechselstrom zugrundeliegenden Netzimpedanz angezeigt.

Die **Kurzschlussstromauslastung** entspricht dem Verhältnis Anfangs KS-Wechselstrom zu maximal zulässigem Abschaltstrom laut Vorgabe bei den Netzebenenendaten.

Die **Stoßkurzschlussstromauslastung** entspricht dem Verhältnis Stoßkurzschlussstrom zu maximal zulässigen Stoßstrom laut Vorgabe bei den Netzebenenendaten.

Die **Kurzschlussleistungssauslastung** entspricht dem Verhältnis Abschaltwechselstromleistung zu maximal zulässiger KS-Wechselstromleistung. Die Abschaltwechselstromleistung wird mit dem Abschaltstrom und der Betriebsspannung aus den Netzebenenendaten berechnet. Die maximal zulässige KS-Wechselstromleistung wird mit dem maximal zulässigen Abschaltstrom und der Netzennspannung aus den Netzebenenendaten berechnet.

Zweigergebnisse 3-poliger Kurzschluss

Für jeden an der Kurzschlussberechnung teilnehmenden Zweig werden mehrere Zweigergebnisse zur Verfügung gestellt. Die Leistungen, Ströme, Auslastungen und Zeiten beziehen sich auf den am angezeigten Anfangsknoten zugeordneten Anschluss. Um die Ergebnisse an allen Anschlüssen des Zweiges darzustellen, wird bei den Ergebnissen die Topologie mit wechselnden Knoten (Anfang/Ende bzw. Knoten 1/Knoten 2/Knoten 3 bei Dreiwicklungstransformatoren) angezeigt.

Die Spannungen gelten bei der Kurzschlussberechnung für einige oder alle Knoten im Netz für den Endknoten und bei der Kurzschlussberechnung für einen Knoten im Netz über das Kontextmenü dieses Knotens für den Anfangsknoten.

Die folgenden Zweigergebnisse werden für den 3-poligen Kurzschluss bereitgestellt.

Zweigergebnisse Kurzschluss 3-polig

Ergebnisse

Anfangsknoten: SS1
 Endknoten: SS2-A
 Elementname: L26
 Netzebene: Medium-Voltage (6 kV)

Netzdarstellung: Sym. Komponenten
 Fehlertyp: Kurzschluss

Anfangs KS-Wechselstromleistung	Sk"	22,727	MVA
Anfangs KS-Wechselstrom	Ik"	2,187	kA
Winkel Anfangs KS-Wechselstrom	phiIk"	-72,792	°
Stoßkurzschlussstrom	ip	0,000	kA
Abschaltstrom	Ia	1,162	kA
Gleichstrom bei Schaltverzug	idc	0,000	kA
Minimaler Dauerkurzschlussstrom	Ikmin	0,000	kA
Spannung im Nachbarort	UNb	0,902	kV
Winkel Spannung im Nachbarort	phiUNb	3,172	°
Anfangs KS-Wechselstromausl.	Ik"/Ikmax	0,000	%
Stoßkurzschlussstromauslastung	ip/ipmax	0,000	%
Abschaltstromauslastung	Ia/Iamax	0,000	%
Max. Abschaltzeit	tmax	0,100	s
Bezogene Abschaltzeit	trel	100,000	%
Thermischer gleichwertiger Strom	Ithmax	1,965	kA

1/2 OK Abbrechen

Bild: Datenmaske Zweigergebnisse Kurzschluss 3-polig

Anfangsknoten, **Endknoten**, **Elementname** und **Netzebene** stehen zur Identifizierung des Anschlusses zur Verfügung.

Im Feld **Netzdarstellung** wird ausgewiesen, auf welche Art das Netz im Rahmen der Kurzschlussberechnung modelliert wurde. Hierbei wird zwischen der Modellierung mit symmetrischen Komponenten und Leiterdaten unterschieden.

Mit dem **Fehlertyp** wird ausgewiesen, welche Fehlerverschaltung verwendet wurde (Kurzschluss, Rückleiterschluss, Erdschluss und Rückleiter- und Erdschluss).

Die **Anfangs KS-Wechselstromleistung** ist der Effektivwert der Summe der zu erwartenden Wechselstromleistung im Augenblick des Kurzschlusseintritts der einzelnen Leiter. Diese Leistung wird mit der Nennspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

Der **Anfangs KS-Wechselstrom** ist das Maximum der Effektivwerte des erwarteten Wechselstroms im Augenblick des Kurzschlusseintritts der einzelnen Leiter. Dieser Strom wird mit der treibenden Spannung ermittelt. Der Leiter, in dem das Maximum auftritt, wird als Leiter mit Maximum weiterverwendet.

Der **Winkel Anfangs KS-Wechselstrom** ist die Winkeldifferenz zwischen Strom und Spannung des Leiters mit Maximum.

Der **Stoßkurzschlussstrom** ist der Scheitelwert des maximal möglichen Kurzschlussstromes im Leiter mit Maximum. Der Stoßkurzschlussstrom wird mit Hilfe des Kappa-Faktors und dem Anfangs KS-Wechselstrom berechnet. Der Kappa-Faktor wird laut Norm über das Verhältnis Anfangswert X/R an der Fehlerstelle bestimmt.

Der **Abschaltstrom** ist der Effektivwert der symmetrischen Wechselstromkomponente des zu erwartenden Kurzschlussstromes im maximalen Leiter zum Schaltverzug. Der Schaltverzug ist die Zeitdifferenz zwischen dem Augenblick des Kurzschlusseintritts und dem Augenblick der Kontakttrennung des erstlöschenden Pols einer Schalteinrichtung. Der Schaltverzug ist bei den Kurzschlussdaten der Netzebene vorzugeben. Für symmetrische Kurzschlussströme wird das Abklingen der magnetischen Flüsse in den Synchron- und Asynchronmaschinen berücksichtigt. Für Synchronmaschinen wird das Abklingen mit Hilfe des Faktors $M\ddot{u}$ bestimmt. Für Asynchronmaschinen wird das Abklingen mit Hilfe des Faktors q bestimmt. Der Faktor q kann im Eingabedatendialog der Asynchronmaschine (Modellierung von Ersatz Asynchronmaschinen) auch direkt vorgegeben werden. Bei Vorgabe von 0,0 wird der Faktor q laut Norm ermittelt.

Der **Gleichstrom bei Schaltverzug** ist der aktuelle Wert der Gleichstromkomponente im Leiter mit Maximum zum Schaltverzug. Der Gleichstrom bei Schaltverzug wird mit Hilfe des Verhältnisses Anfangswert R/X am Fehlerknoten und dem Schaltverzug bestimmt.

Der **Minimale Dauerkurzschlussstrom** wird für den 3-poligen Kurzschluss eigenständig berechnet. Für Synchrongeneratoren kann der minimale Dauerkurzschlussstrom vorgegeben werden. Bei Vorgabe eines Wertes von 0,0 wird der minimale Dauerkurzschlussstrom mit Hilfe des Lambda Faktors laut Norm ermittelt. Synchronmotoren und Asynchronmotoren werden in die Ermittlung des minimalen Dauerkurzschlussstromes nicht miteinbezogen. Als Leitertemperatur wird die bei den Berechnungsparametern Kurzschluss anzugebende **Temperatur am Ende des Kurzschlusses** verwendet. Die treibende Spannung wird mit dem Spannungsfaktor zur Berechnung der minimalen Kurzschlussströme bestimmt.

Unter **Spannung im Nachbarort** wird die symmetrische Phase-Erde Spannung in dem am angezeigten Endknoten zugeordneten Anschluss bei Kurzschlusseintritt angezeigt.

Unter **Winkel Spannung im Nachbarort** wird der Winkel der symmetrischen Phase-Erde Spannung in dem am angezeigten Endknoten zugeordneten Anschluss bei Kurzschlusseintritt angezeigt.

Die **Anfangs KS-Wechselstromauslastung** entspricht bei Leitungen dem Verhältnis maximal auftretender Anfangs KS-Wechselstrom zu Einsekundenstrom. Bei der Bestimmung der Auslastung werden auch Fehler im Anschluss in kurzer Entfernung zum Knoten berücksichtigt. Bei dieser Betrachtung tritt im Abgang der Summenwert des Anfangs KS-Wechselstromes des echten Fehlerknotens reduziert um den Anfangs KS-Wechselstrom im Abgang auf. Der maximal auftretende Anfangs KS-Wechselstrom ist somit das Maximum aus beiden Betrachtungen:

$$I_{k \max}'' = \text{MAX} * (I_{k \text{ Knoten}}'' - I_{k'}'', I_{k''})$$

Für alle anderen Netzelemente wird eine Anfangs KS-Wechselstromauslastung von 0,0 ausgewiesen.

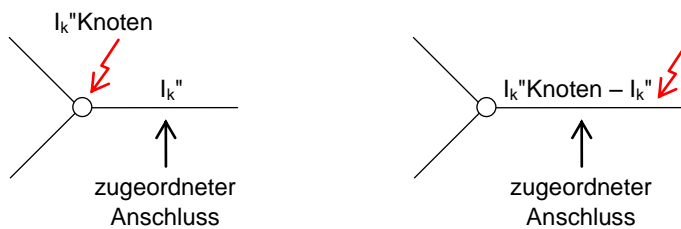


Bild: Bestimmung von $I_k''_{\max}$

Diese Bestimmung des Kurzschlussstroms $I_k''_{\max}$ stellt also den für die jeweilige Leitung ungünstigsten Fehlerfall dar, wenn der Kurzschlussort nicht direkt am Knoten, sondern unmittelbar dahinter am Anschluss der Leitung liegt.

Die **Stoßkurzschlussstromauslastung** entspricht dem Verhältnis maximal auftretender Stoßkurzschlussstrom zu maximal zulässigem Stoßstrom. Der maximal zulässige Stoßstrom ist das Minimum laut Vorgabe bei den Netzebenenendaten oder beim Schalter am aktuellen Anschluss. Bei der Bestimmung der Auslastung werden auch Fehler im Anschluss in kurzer Entfernung zum Knoten berücksichtigt. Bei dieser Betrachtung tritt im Abgang der Summenwert des Stoßstroms des echten Fehlerknotens reduziert um den Stoßstrom im Abgang auf. Der maximal auftretende Stoßstrom ist somit das Maximum aus beiden Betrachtungen:

$$I_p \max = \text{MAX} * (I_p \text{ Knoten} - I_p, I_p)$$

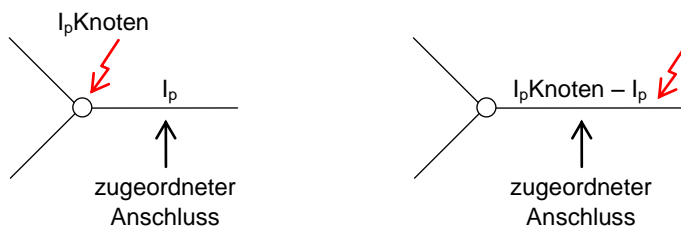


Bild: Bestimmung von $I_p \max$

Die **Abschaltstromauslastung** entspricht dem Verhältnis maximal auftretender Abschaltstrom zu maximal zulässiger Abschaltstrom laut Vorgabe beim Schalter im aktuellen Anschluss. Gibt es keinen Schalter im aktuellen Anschluss, so wird eine Abschaltstromauslastung von 0,0 ausgewiesen. Bei der Bestimmung der Auslastung werden auch Fehler im Anschluss in kurzer Entfernung zum Knoten berücksichtigt. Bei dieser Betrachtung tritt im Abgang der Summenwert des Abschaltstroms des echten Fehlerknotens reduziert um den Abschaltstrom im Abgang auf. Der maximal auftretende Abschaltstrom ist somit das Maximum aus beiden Betrachtungen:

$$I_a \max = \text{MAX} * (I_a \text{ Knoten} - I_a, I_a)$$

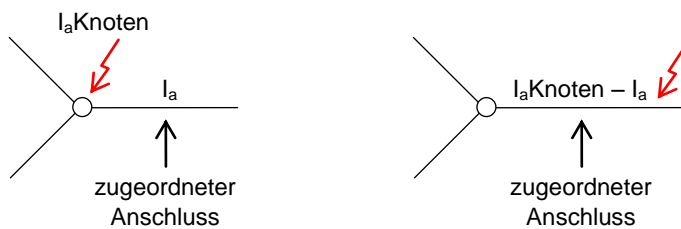


Bild: Bestimmung von $I_{a,max}$

Für Leitungen wird die **Maximale Abschaltzeit** aus dem zulässigen Einsekundenstrom (1sec) über das thermische Äquivalent ermittelt.

$$I_{kmax}'' * I_{kmax}'' * t_{max} = I_s * I_s * 1sec$$

bzw.

$$t_{max} = \frac{I_s * I_s * 1sec}{I_{kmax}'' * I_{kmax}''}$$

Für alle restlichen Netzelemente wird als maximale Abschaltzeit der Schaltverzug ausgewiesen.

Für Leitungen wird die **Bezogene Abschaltzeit** aus der maximalen Abschaltzeit und dem Schaltverzug ermittelt.

$$t_{rel} = \frac{t_{max}}{t_s} * 100$$

Die bezogene Abschaltzeit sollte größer als 100 Prozent sein. Bei einer bezogenen Abschaltzeit unter 100 Prozent kann im Kurzschlussfall eine thermische Zerstörung der Leitung erfolgen.

Unter **Thermischer gleichwertiger Strom** wird der Effektivwert jenes Stromes ausgewiesen, der vom Augenblick des Kurzschlusseintrittes bis zum Schaltverzug das gleiche Joule Integral aufweist wie der abklingende Kurzschlussstrom.

Betrachtungsergebnisse 3-poliger Kurzschluss

Für jeden an der Kurzschlussberechnung betrachteten Anschluss wird für jeden berechneten Fehlerknoten ein Betrachtungsergebnis zur Verfügung gestellt. Der Strom bezieht sich auf den am angezeigten Anfangsknoten zugeordneten Anschluss bei Fehler in Fehlerknoten. Die Spannungen gelten für den zugeordneten bzw. gegenüberliegenden Anschluss. Um die Ergebnisse an allen Anschlüssen eines Netzelementes darzustellen, wird bei den Ergebnissen die Topologie mit wechselnden Knoten (Anfang/Ende bzw. Knoten 1/Knoten 2/Knoten 3 bei Dreiwicklungstransformatoren) angezeigt.

Die folgenden Betrachtungsergebnisse werden für den 3-poligen Kurzschluss bereitgestellt.

Betrachtungsergebnisse Kurzschluss 3-polig			
Ergebnisse			
Fehlerknoten	SS1-C		
Anfangsknoten	SS1		
Endknoten	SS2-A		
Elementname	L26		
Netzebene	Medium-Voltage (6 kV)		
Netzdarstellung	Sym. Komponenten		
Fehlertyp	Kurzschluss		
Anfangs KS-Wechselstrom	I_k^*	0,826	kA
Winkel Anfangs KS-Wechselstrom	$\text{ph}I_k^*$	-101,093	°
Minimaler Dauerkurzschlussstrom	I_{kmin}	0,003	kA
Spannung im Nachbarort	U_{Nb}	2,336	kV
Winkel Spg. im Nachbarort	$\text{ph}I_{UNb}$	-30,254	°
Spannung im Betrachtungsort	U_{Bt}	1,997	kV
Winkel Spg. im Betrachtungsort	$\text{ph}I_{UBt}$	-31,126	°

Bild: Datenmaske Betrachtungsergebnisse Kurzschluss 3-polig

Fehlerknoten, **Anfangsknoten**, **Endknoten**, **Elementname** und **Netzebene** stehen zur Identifizierung des Anschlusses zur Verfügung.

Im Feld **Netzdarstellung** wird ausgewiesen, auf welche Art das Netz im Rahmen der Kurzschlussberechnung modelliert wurde. Hierbei wird zwischen der Modellierung mit symmetrischen Komponenten und Leiterdaten unterschieden.

Mit dem **Fehlertyp** wird ausgewiesen, welche Fehlerverschaltung verwendet wurde (Kurzschluss, Rückleiterschluss, Erdschluss und Rückleiter- und Erdschluss).

Der **Anfangs KS-Wechselstrom** ist das Maximum der Effektivwerte des erwarteten Wechselstroms im Augenblick des Kurzschlusseintritts der einzelnen Leiter. Dieser Strom wird mit der treibenden Spannung ermittelt. Der Leiter, in dem das Maximum auftritt, wird als Leiter mit Maximum weiterverwendet.

Der **Winkel Anfangs KS-Wechselstrom** ist die Winkeldifferenz zwischen Strom und Spannung des Leiters mit Maximum.

Der **Minimale Dauerkurzschlussstrom** wird für den 3-poligen Kurzschluss eigenständig berechnet. Für Synchrongeneratoren kann der minimale Dauerkurzschlussstrom vorgegeben werden. Bei Vorgabe eines Wertes von 0,0 wird der minimale Dauerkurzschlussstrom mit Hilfe des Lambda Faktors laut Norm ermittelt. Synchronmotoren und Asynchronmotoren werden in die Ermittlung des minimalen Dauerkurzschlussstromes nicht miteinbezogen. Als Leitertemperatur wird die bei den Berechnungsparametern Kurzschluss anzugebende **Temperatur am Ende des Kurzschlusses** verwendet. Die treibende Spannung wird mit dem Spannungsfaktor zur Berechnung der minimalen Kurzschlussströme bestimmt.

Unter **Spannung im Nachbarort** wird die symmetrische Phase-Erde Spannung in dem am angezeigten Endknoten zugeordneten Anschluss bei Kurzschlusseintritt angezeigt.

Unter **Winkel Spannung im Nachbarort** wird der Winkel der symmetrischen Phase-Erde Spannung bei Kurzschlusseintritt in dem am angezeigten Endknoten zugeordneten Anschluss angezeigt.

Unter **Spannung im Betrachtungsort** wird die symmetrische Phase-Erde Spannung in dem am angezeigten Anfangsknoten zugeordneten Anschluss bei Kurzschlusseintritt angezeigt.

Unter **Winkel Spannung im Betrachtungsort** wird der Winkel der symmetrischen Phase-Erde Spannung bei Kurzschlusseintritt am angezeigten Anfangsknoten zugeordneten Anschluss angezeigt.

2.17.2 Kurzschlussergebnisse nach ANSI

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse für das Kurzschlussverfahren ANSI näher beschrieben.

Knotenergebnisse 1-poliger Kurzschluss

Für jeden an der Kurzschlussberechnung teilnehmenden Knoten wird ein Knotenergebnis zur Verfügung gestellt.

Die folgenden Knotenergebnisse werden für den 1-poligen Kurzschluss bereitgestellt.

Parameter	Symbol	Value	Unit
Strom First Cycle	I sym 1c	2,966	kA
Winkel First Cycle	Phi I sym 1c	-73,886	°
X/R First Cycle	X/R 1c	3,462	1
Leistung First Cycle	S 1c	10,273	MVA
Strom Interrupt	I sym int	2,140	kA
Winkel Interrupt	Phi I sym int	-74,590	°
X/R Interrupt	X/R int	3,628	1
Leistung Interrupt	S int	7,414	MVA
Strom Momentary RMS	I mom rms	3,414	kA
Strom Momentary Peak	I mom peak	5,886	kA

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Kurzschluss 1-polig

Unter **Knoten** bzw. **Netzebene** wird der Name des Knotens bzw. der Netzebene zur Identifizierung angezeigt.

Im Feld **Netzdarstellung** wird ausgewiesen, auf welche Art das Netz im Rahmen der Kurzschlussberechnung modelliert wurde. Hierbei wird zwischen der Modellierung mit symmetrischen Komponenten und Leiterdaten unterschieden.

Mit dem **Fehlertyp** wird ausgewiesen, welche Fehlerverschaltung verwendet wurde (Kurzschluss, Rückleiterschluss, Erdschluss und Rückleiter- und Erdschluss).

Unter **Strom First Cycle** wird das Maximum der Effektivwerte des Kurzschlusswechselstromes der einzelnen Leiter in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt. Dieser Strom wird mit der Vorfehlerspannung ermittelt. Die Synchron- und Asynchronmaschinen werden dabei mit den Impedanzfaktoren für das First Cycle Network nachgebildet.

Der **Winkel First Cycle** ist der negative Winkel ($I = U/Z$) der dem Strom First Cycle zugrundeliegenden Netzimpedanz.

Unter **X/R First Cycle** wird das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Strom First Cycle zugrundeliegenden Netzimpedanz angezeigt.

Die **Leistung First Cycle** ist die Summe der Effektivwerte der Wechselstromleistung der einzelnen Leiter in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses. Diese Leistung wird mit der Nennspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

Unter **Strom Interrupt** wird das Maximum der Effektivwerte des Kurzschlusswechselstromes der einzelnen Leiter in der Periode des Abschaltens des Kurzschlusses angezeigt. Dieser Strom wird mit der Vorfehlerspannung ermittelt. Die Synchron- und Asynchronmaschinen werden dabei mit den Impedanzfaktoren für das Interrupt Network nachgebildet.

Der **Winkel Interrupt** ist der negative Winkel ($I = U/Z$) der dem Strom Interrupt zugrundeliegenden Netzimpedanz.

Unter **X/R Interrupt** wird das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Strom Interrupt zugrundeliegenden Netzimpedanz angezeigt.

Die **Leistung Interrupt** ist die Summe der Effektivwerte der Wechselstromleistung der einzelnen Leiter in der Periode des Abschaltens des Kurzschlusses. Diese Leistung wird mit der Betriebsspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

Der **Strom Momentary RMS** ist der Momentanwert des Kurzschlusswechselstroms eine halbe Periode nach Eintritt des Kurzschlusses. Dieser Strom wird mit Hilfe des Strom First Cycle und dem Verhältnis X/R First Cycle ermittelt.

Der **Strom Momentary Peak** ist der Momentanwert des asymmetrischen Kurzschlussstroms eine halbe Periode nach Eintritt des Kurzschlusses. Dieser Strom wird mit Hilfe des Strom First Cycle und dem Verhältnis X/R First Cycle ermittelt.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom L1	IL1	2,966	0,823	-2,849	kA
Strom L2	IL2	0,000	0,000	0,000	kA
Strom L3	IL3	0,000	0,000	0,000	kA
Strom - Rücklfg.	3I0	2,966	-0,823	2,849	kA
Spannung L1	UL1	0,000	0,000	0,000	kV
Spannung L2	UL2	3,764	-2,165	-3,079	kV
Spannung L3	UL3	3,636	-2,165	2,921	kV
Spannung Versch.	U0	1,444	1,444	0,053	kV
Verhältnis Z0/Z1	Z0/Z1	1,429	1,426	0,090	pu
Mitsystemimpedanz	Z1	1,022	0,309	0,974	Ohm
Nullsystemimpedanz	Z0	1,461	0,354	1,418	Ohm

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Kurzschluss 1-polig – Leiterdaten

Unter **Strom L1 – absolut**, **Strom L1 – real**, **Strom L1 – imaginär**, **Strom L2 – absolut**, **Strom L2 – real**, **Strom L2 – imaginär**, **Strom L3 – absolut**, **Strom L3 – real** und **Strom L3 – imaginär** wird der Strom First Cycle in der jeweiligen Phase angezeigt.

Unter **Strom Rückleitung – absolut**, **Strom Rückleitung – real** und **Strom Rückleitung – imaginär** wird der Strom First Cycle im Rückleiter angezeigt.

Unter **Spannung L1 – absolut**, **Spannung L1 – real**, **Spannung L1 – imaginär**, **Spannung L2 – absolut**, **Spannung L2 – real**, **Spannung L2 – imaginär**, **Spannung L3 – absolut**, **Spannung L3 – real** und **Spannung L3 – imaginär** wird die Spannung in der jeweiligen Phase in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

Unter **Spannung Verschiebung – absolut**, **Spannung Verschiebung – real** und **Spannung Verschiebung – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Spannung im Nullsystem in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

Unter **Verhältnis Z0/Z1 – absolut**, **Verhältnis Z0/Z1 – real** und **Verhältnis Z0/Z1 – imaginär** wird das Verhältnis von Null- zu Mitsystemimpedanz in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

Unter **Mitsystemimpedanz – absolut**, **Mitsystemimpedanz – real** und **Mitsystemimpedanz – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Impedanz im Mitsystem in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

Unter **Nullsystemimpedanz – absolut**, **Nullsystemimpedanz – real** und **Nullsystemimpedanz – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Impedanz im Nullsystem in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom MS	I1	0,989	0,274	-0,950	kA
Strom GS	I2	0,989	0,274	-0,950	kA
Strom NS	I3	0,989	0,274	-0,950	kA
Spannung MS	U1	2,454	2,454	0,026	kV
Spannung GS	U2	1,011	-1,010	0,026	kV
Spannung NS	U0	1,444	-1,444	-0,053	kV

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Kurzschluss 1-polig – Komponenten

Die im Register Leiterdaten angezeigten Ströme L1, L2 und L3 werden in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Strom MS – absolut**, **Strom MS – real** und **Strom MS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Gegensystem wird als **Strom GS – absolut**, **Strom GS – real** und **Strom GS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Nullsystem wird als **Strom NS – absolut**, **Strom NS – real** und **Strom NS – imaginär** angezeigt.

Aus den im Register Leiterdaten angezeigten Spannungen werden die verbleibenden Leiter-Rückleiterspannungen bestimmt und in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Spannung MS – absolut**, **Spannung MS – real** und **Spannung MS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Gegensystem wird als **Spannung GS – absolut**, **Spannung GS – real** und **Spannung GS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Nullsystem wird als **Spannung NS – absolut**, **Spannung NS – real** und **Spannung NS – imaginär** angezeigt.

Knotenergebnisse Kurzschluss 1-polig			
Auslegungsströme			
Strom Leistungsfkt. 15 First Cycle	IPF15	2,565	kA
Strom Leistungsfkt. 20 First Cycle	IPF20	2,738	kA
Strom Leistungsfkt. 30 First Cycle	IPF30	3,017	kA
Strom Leistungsfkt. 50 First Cycle	IPF50	3,333	kA
Sym. Belastung 2 Cycle Breaker	I sym 2	2,366	kA
Sym. Belastung 3 Cycle Breaker	I sym 3	2,366	kA
Sym. Belastung 5 Cycle Breaker	I sym 5	2,366	kA
Sym. Belastung 8 Cycle Breaker	I sym 8	2,366	kA
Ges. Belastung 2 Cycle Breaker	I tot 2	2,470	kA
Ges. Belastung 3 Cycle Breaker	I tot 3	2,366	kA
Ges. Belastung 5 Cycle Breaker	I tot 5	2,366	kA
Ges. Belastung 8 Cycle Breaker	I tot 8	2,366	kA

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Kurzschluss 1-polig – Auslegungsströme

Niederspannungsschutzgeräte sind ausgelegt, um einer bestimmten Belastung standzuhalten. Je nach Schutzgerät wird dabei ein maximaler Leistungsfaktor von 15, 20, 30 und 50 Prozent herangezogen, um dies im Labor zu testen.

Die daraus resultierenden Effektivwerte der maximalen Belastungsströme der Schutzgeräte werden unter **Strom Leistungsfaktor 15 First Cycle**, **Strom Leistungsfaktor 20 First Cycle**, **Strom Leistungsfaktor 30 First Cycle** und **Strom Leistungsfaktor 50 First Cycle** angezeigt.

Für die Auslegung von Schaltern ist die Belastung beim Abschalten das wichtigste Kriterium. ANSI verwendet Decrement Curves (DC Decay Curve und AC Decrement Curve), um das Abklingen des Gleichstromanteils und das Abklingen des Wechselstromanteils des Kurzschlussstromes zu bestimmen.

Die Belastung aufgrund des Kurzschlusswechselstromes wird für Schalter mit Zeitverzug von 2, 3, 5 und 8 Perioden unter **Symmetrische Belastung 2 Cycle Breaker**, **Symmetrische Belastung 3 Cycle Breaker**, **Symmetrische Belastung 5 Cycle Breaker** und **Symmetrische Belastung 8 Cycle Breaker** angezeigt.

Die Belastung aufgrund des gesamten Kurzschlussstromes (Gleichstromanteil und Wechselstromanteil) wird für Schalter mit Zeitverzug von 2, 3, 5 und 8 Perioden unter **Gesamte Belastung 2 Cycle Breaker**, **Gesamte Belastung 3 Cycle Breaker**, **Gesamte Belastung 5 Cycle Breaker** und **Gesamte Belastung 8 Cycle Breaker** angezeigt.

Zweigergebnisse 1-poliger Kurzschluss

Für jeden an der Kurzschlussberechnung teilnehmenden Zweig werden mehrere Zweigergebnisse zur Verfügung gestellt. Die Leistungen, Ströme und Impedanzen beziehen sich auf den am angezeigten Anfangsknoten zugeordneten Anschluss. Um die Ergebnisse an allen Anschlüssen des Zweiges darzustellen, wird bei den Ergebnissen die Topologie mit wechselnden Knoten (Anfang/Ende bzw. Knoten 1/Knoten 2/Knoten 3 bei Dreiwicklungstransformatoren) angezeigt.

Die Spannungen gelten bei der Kurzschlussberechnung für einige oder alle Knoten im Netz für den Endknoten und bei der Kurzschlussberechnung für einen Knoten im Netz über das Kontextmenü dieses Knotens für den Anfangsknoten.

Die folgenden Zweigergebnisse werden für den 1-poligen Kurzschluss bereitgestellt.

Zweigergebnisse Kurzschluss 1-polig			
Ergebnisse Leiterdaten Komponenten			
Anfangsknoten		SS1	
Endknoten		SS2-A	
Elementname		L26	
Netzebene		Medium-Voltage (6 kV)	
Netzdarstellung: Sym. Komponenten			
Fehlertyp: Rückleiter- und Erdschlu			
Strom First Cycle	I sym 1 c	1,329	kA
Winkel First Cycle	Phi I sym 1 c	-89,257	°
X/R First Cycle	X/R 1 c	77,103	1
Leistung First Cycle	S 1 c	4,605	MVA
Strom Interrupt	I sym int	0,853	kA
Winkel Interrupt	Phi I sym int	-98,553	°
X/R Interrupt	X/R int	6,649	1
Leistung Interrupt	S int	2,954	MVA

Bild: Datenmaske Zweigergebnisse Kurzschluss 1-polig

Anfangsknoten, **Endknoten**, **Elementname** und **Netzebene** stehen zur Identifizierung des Anschlusses zur Verfügung.

Im Feld **Netzdarstellung** wird ausgewiesen, auf welche Art das Netz im Rahmen der Kurzschlussberechnung modelliert wurde. Hierbei wird zwischen der Modellierung mit symmetrischen Komponenten und Leiterdaten unterschieden.

Mit dem **Fehlertyp** wird ausgewiesen, welche Fehlerverschaltung verwendet wurde (Kurzschluss, Rückleiterschluss, Erdschluss und Rückleiter- und Erdschluss).

Unter **Strom First Cycle** wird das Maximum der Effektivwerte des Kurzschlusswechselstromes der einzelnen Leiter in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt. Dieser Strom wird mit der Vorfehlerspannung ermittelt. Die Synchron- und Asynchronmaschinen werden dabei mit den Impedanzfaktoren für das First Cycle Network nachgebildet.

Der **Winkel First Cycle** ist die Winkeldifferenz zwischen Strom und Spannung des Leiters mit Maximum.

Unter **X/R First Cycle** wird das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Strom First Cycle zugrundeliegenden Zweigimpedanz angezeigt.

Die **Leistung First Cycle** ist die Summe der Effektivwerte der Wechselstromleistung der einzelnen Leiter in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses. Diese Leistung wird mit der Nennspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

Unter **Strom Interrupt** wird das Maximum der Effektivwerte des Kurzschlusswechselstromes der einzelnen Leiter in der Periode des Abschaltens des Kurzschlusses angezeigt. Dieser Strom wird mit der Vorfehlerspannung ermittelt. Die Synchron- und Asynchronmaschinen werden dabei mit den Impedanzfaktoren für das Interrupt Network nachgebildet.

Der **Winkel Interrupt** ist die Winkeldifferenz zwischen Strom und Spannung des Leiters mit Maximum.

Unter **X/R Interrupt** wird das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Strom Interrupt zugrundeliegenden Zweigimpedanz angezeigt.

Die **Leistung Interrupt** ist die Summe der Effektivwerte der Wechselstromleistung der einzelnen Leiter in der Periode des Abschaltens des Kurzschlusses. Diese Leistung wird mit der Betriebsspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom L1	IL1	0,650	-0,317	0,567	kA
Strom L2	IL2	0,645	0,645	-0,013	kA
Strom L3	IL3	0,644	-0,328	-0,554	kA
Strom Rückltg.	3I0	0,000	0,000	-0,000	kA
Spannung L1	UL1	3,301	2,928	-1,524	kV
Spannung L2	UL2	3,304	-2,778	-1,787	kV
Spannung L3	UL3	3,315	-0,150	3,311	kV
Spannung Versch.	U0	0,000	0,000	0,000	kV

Bild: Datenmaske Zweigergebnisse Kurzschluss 1-polig – Leiterdaten

Unter **Strom L1 – absolut**, **Strom L1 – real**, **Strom L1 – imaginär**, **Strom L2 – absolut**, **Strom L2 – real**, **Strom L2 – imaginär**, **Strom L3 – absolut**, **Strom L3 – real** und **Strom L3 – imaginär** wird der Strom First Cycle in der jeweiligen Phase angezeigt.

Unter **Strom Rückleitung – absolut**, **Strom Rückleitung – real** und **Strom Rückleitung – imaginär** wird der Strom First Cycle im Rückleiter angezeigt.

Unter **Spannung L1 – absolut**, **Spannung L1 – real**, **Spannung L1 – imaginär**, **Spannung L2 – absolut**, **Spannung L2 – real**, **Spannung L2 – imaginär**, **Spannung L3 – absolut**, **Spannung L3 – real** und **Spannung L3 – imaginär** wird die Spannung in der jeweiligen Phase in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

Unter **Spannung Verschiebung – absolut**, **Spannung Verschiebung – real** und **Spannung Verschiebung – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Spannung im Nullsystem in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom MS	I1	0,646	-0,315	0,565	kA
Strom GS	I2	0,003	-0,002	0,002	kA
Strom NS	I0	0,000	0,000	0,000	kA
<hr/>					
Spannung MS	U1	3,307	2,936	-1,521	kV
Spannung GS	U2	0,008	-0,008	-0,003	kV
Spannung NS	U0	0,000	0,000	0,000	kV

Bild: Datenmaske Zweigergebnisse Kurzschluss 1-polig – Komponenten

Die im Register Leiterdaten angezeigten Ströme L1, L2 und L3 werden in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Strom MS – absolut**, **Strom MS – real** und **Strom MS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Gegensystem wird als **Strom GS – absolut**, **Strom GS – real** und **Strom GS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Nullsystem wird als **Strom NS – absolut**, **Strom NS – real** und **Strom NS – imaginär** angezeigt.

Aus den im Register Leiterdaten angezeigten Spannungen werden die verbleibenden Leiter-Rückleiterspannungen bestimmt und in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Spannung MS – absolut**, **Spannung MS – real** und **Spannung MS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Gegensystem wird als **Spannung GS – absolut**, **Spannung GS – real** und **Spannung GS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Nullsystem wird als **Spannung NS – absolut**, **Spannung NS – real** und **Spannung NS – imaginär** angezeigt.

Betrachtungsergebnisse 1-poliger Kurzschluss

Für jeden an der Kurzschlussberechnung betrachteten Anschluss wird für jeden berechneten Fehlerknoten ein Betrachtungsergebnis zur Verfügung gestellt. Die Leistungen, Ströme, etc. beziehen sich für Elementergebnisse auf den am angezeigten Anfangsknoten zugeordneten Anschluss bei Fehler in Fehlerknoten. Um die Ergebnisse an allen Anschlüssen eines Netzelementes darzustellen, wird bei den Ergebnissen die Topologie mit wechselnden Knoten (Anfang/Ende bzw. Knoten 1/Knoten 2/Knoten 3 bei Dreiwicklungstransformatoren) angezeigt.

Die Leistungen, Ströme, etc. beziehen sich für Strom Sternpunkt bzw. Strom gemeinsamer Sternpunkt auf die dem Element zugewiesene Sternpunktimpedanz bzw. gemeinsame Sternpunktimpedanz.

Die Leistungen, Ströme, etc. beziehen sich für Strom Dreieckswicklung auf die Dreieckswicklung von YYD Dreiwicklertransformatoren.

Die folgenden Betrachtungsergebnisse werden für den 1-poligen Kurzschluss bereitgestellt.

Parameter	Value	Unit
Strom First Cycle	1,144	kA
Winkel First Cycle	-85,582	°
X/R First Cycle	12,942	1
Leistung First Cycle	3,963	MVA
Strom Interrupt	0,740	kA
Winkel Interrupt	-96,832	°
X/R Interrupt	8,347	1
Leistung Interrupt	2,563	MVA

Bild: Datenmaske Betrachtungsergebnisse Kurzschluss 1-polig

Fehlerknoten, **Anfangsknoten**, **Endknoten**, **Elementname** und **Netzebene** stehen zur Identifizierung des Anschlusses, der Sternpunktimpedanz, der gemeinsamen Sternpunktimpedanz oder der Dreieckswicklung zur Verfügung.

Der **Ergebnistyp** dient ebenfalls zur Identifizierung. Folgende Ergebnistypen sind verfügbar:

- Elementergebnis
- Strom Dreieckswicklung
- Strom Sternpunkt

- **Strom gemeinsamer Sternpunkt**

Im Feld **Netzdarstellung** wird ausgewiesen, auf welche Art das Netz im Rahmen der Kurzschlussberechnung modelliert wurde. Hierbei wird zwischen der Modellierung mit symmetrischen Komponenten und Leiterdaten unterschieden.

Mit dem **Fehlertyp** wird ausgewiesen, welche Fehlerverschaltung verwendet wurde (Kurzschluss, Rückleiterschluss, Erdschluss und Rückleiter- und Erdschluss).

Unter **Strom First Cycle** wird das Maximum der Effektivwerte des Kurzschlusswechselstromes der einzelnen Leiter in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt. Dieser Strom wird mit der Vorfehlerspannung ermittelt. Die Synchron- und Asynchronmaschinen werden dabei mit den Impedanzfaktoren für das First Cycle Network nachgebildet.

Der **Winkel First Cycle** ist die Winkeldifferenz zwischen Strom und Spannung des Leiters mit Maximum.

Unter **X/R First Cycle** wird das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Strom First Cycle zugrundeliegenden Zweigimpedanz angezeigt.

Die **Leistung First Cycle** ist die Summe der Effektivwerte der Wechselstromleistung der einzelnen Leiter in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses. Diese Leistung wird mit der Nennspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

Unter **Strom Interrupt** wird das Maximum der Effektivwerte des Kurzschlusswechselstromes der einzelnen Leiter in der Periode des Abschaltens des Kurzschlusses angezeigt. Dieser Strom wird mit der Vorfehlerspannung ermittelt. Die Synchron- und Asynchronmaschinen werden dabei mit den Impedanzfaktoren für das Interrupt Network nachgebildet.

Der **Winkel Interrupt** ist die Winkeldifferenz zwischen Strom und Spannung des Leiters mit Maximum.

Unter **X/R Interrupt** wird das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Strom Interrupt zugrundeliegenden Zweigimpedanz angezeigt.

Die **Leistung Interrupt** ist die Summe der Effektivwerte der Wechselstromleistung der einzelnen Leiter in der Periode des Abschaltens des Kurzschlusses. Diese Leistung wird mit der Betriebsspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom L1	IL1	0,000	0,000	0,000	kA
Strom L2	IL2	0,000	0,000	0,000	kA
Strom L3	IL3	0,000	0,000	0,000	kA
Strom Rücklfg.	3I0	0,000	0,000	0,000	kA
<hr/>					
Spannung L1	UL1	0,000	0,000	0,000	kV
Spannung L2	UL2	0,000	0,000	0,000	kV
Spannung L3	UL3	0,000	0,000	0,000	kV
Spannung Versch.	U0	0,000	0,000	0,000	kV

Bild: Datenmaske Betrachtungsergebnisse Kurzschluss 1-polig – Leiterdaten

Unter **Strom L1 – absolut**, **Strom L1 – real**, **Strom L1 – imaginär**, **Strom L2 – absolut**, **Strom L2 – real**, **Strom L2 – imaginär**, **Strom L3 – absolut**, **Strom L3 – real** und **Strom L3 – imaginär** wird der Strom First Cycle in der jeweiligen Phase angezeigt.

Unter **Strom Rückleitung – absolut**, **Strom Rückleitung – real** und **Strom Rückleitung – imaginär** wird der Strom First Cycle im Rückleiter angezeigt.

Unter **Spannung L1 – absolut**, **Spannung L1 – real**, **Spannung L1 – imaginär**, **Spannung L2 – absolut**, **Spannung L2 – real**, **Spannung L2 – imaginär**, **Spannung L3 – absolut**, **Spannung L3 – real** und **Spannung L3 – imaginär** wird die Spannung in der jeweiligen Phase in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

Unter **Spannung Verschiebung – absolut**, **Spannung Verschiebung – real** und **Spannung Verschiebung – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Spannung im Nullsystem in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom MS	I1	0,000	0,000	0,000	kA
Strom GS	I2	0,000	0,000	0,000	kA
Strom NS	I0	0,000	0,000	0,000	kA
<hr/>					
Spannung MS	U1	0,000	0,000	0,000	kV
Spannung GS	U2	0,000	0,000	0,000	kV
Spannung NS	U0	0,000	0,000	0,000	kV

Bild: Datenmaske Betrachtungsergebnisse Kurzschluss 1-polig – Komponenten

Die im Register Leiterdaten angezeigten Ströme L1, L2 und L3 werden in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Strom MS – absolut**, **Strom MS – real** und **Strom MS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Gegensystem wird als **Strom GS – absolut**, **Strom GS – real** und **Strom GS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Nullsystem wird als **Strom NS – absolut**, **Strom NS – real** und **Strom NS – imaginär** angezeigt.

Aus den im Register Leiterdaten angezeigten Spannungen werden die verbleibenden Leiter-Rückleiterspannungen bestimmt und in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Spannung MS – absolut**, **Spannung MS – real** und **Spannung MS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Gegensystem wird als **Spannung GS – absolut**, **Spannung GS – real** und **Spannung GS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Nullsystem wird als **Spannung NS – absolut**, **Spannung NS – real** und **Spannung NS – imaginär** angezeigt.

Knotenergebnisse 2-poliger Erd- und Kurzschluss

Für jeden an der Kurzschlussberechnung teilnehmenden Knoten wird ein Knotenergebnis zur Verfügung gestellt.

Die folgenden Knotenergebnisse werden für den 2-poligen Erd- bzw. Kurzschluss bereitgestellt.

Parameter	Value	Unit
Strom First Cycle	I sym 1 c	3,272 kA
Winkel First Cycle	Phi I sym 1 c	41,333 °
X/R First Cycle	X/R 1 c	0,880 1
Leistung First Cycle	S 1 c	22,670 MVA
Strom Interrupt	I sym int	2,406 kA
Winkel Interrupt	Phi I sym int	40,380 °
X/R Interrupt	X/R int	0,850 1
Leistung Interrupt	S int	16,668 MVA
Strom Momentary RMS	I mom rms	4,097 kA
Strom Momentary Peak	I mom peak	7,093 kA

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Kurzschluss 2-polig

Unter **Knoten** bzw. **Netzebene** wird der Name des Knotens bzw. der Netzebene zur Identifizierung angezeigt.

Im Feld **Netzdarstellung** wird ausgewiesen, auf welche Art das Netz im Rahmen der Kurzschlussberechnung modelliert wurde. Hierbei wird zwischen der Modellierung mit symmetrischen Komponenten und Leiterdaten unterschieden.

Mit dem **Fehlertyp** wird ausgewiesen, welche Fehlerverschaltung verwendet wurde (Kurzschluss, Rückleiterschluss, Erdschluss und Rückleiter- und Erdschluss).

Unter **Strom First Cycle** wird das Maximum der Effektivwerte des Kurzschlusswechselstromes der einzelnen Leiter in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt. Dieser Strom wird mit der Vorfehlerspannung ermittelt. Die Synchron- und Asynchronmaschinen werden dabei mit den Impedanzfaktoren für das First Cycle Network nachgebildet.

Der **Winkel First Cycle** ist der negative Winkel ($I = U/Z$) der dem Strom First Cycle zugrundeliegenden Netzimpedanz.

Unter **X/R First Cycle** wird das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Strom First Cycle zugrundeliegenden Netzimpedanz angezeigt.

Die **Leistung First Cycle** ist die Summe der Effektivwerte der Wechselstromleistung der einzelnen Leiter in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses. Diese Leistung wird mit der Nennspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

Unter **Strom Interrupt** wird das Maximum der Effektivwerte des Kurzschlusswechselstromes der einzelnen Leiter in der Periode des Abschaltens des Kurzschlusses angezeigt. Dieser Strom wird mit der Vorfehlerspannung ermittelt. Die Synchron- und Asynchronmaschinen werden dabei mit den Impedanzfaktoren für das Interrupt Network nachgebildet.

Der **Winkel Interrupt** ist der negative Winkel ($I = U/Z$) der dem Strom Interrupt zugrundeliegenden Netzimpedanz.

Unter **X/R Interrupt** wird das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Strom Interrupt zugrundeliegenden Netzimpedanz angezeigt.

Die **Leistung Interrupt** ist die Summe der Effektivwerte der Wechselstromleistung der einzelnen Leiter in der Periode des Abschaltens des Kurzschlusses. Diese Leistung wird mit der Betriebsspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

Der **Strom Momentary RMS** ist der Momentanwert des Kurzschlusswechselstroms eine halbe Periode nach Eintritt des Kurzschlusses. Dieser Strom wird mit Hilfe des Strom First Cycle und dem Verhältnis X/R First Cycle ermittelt.

Der **Strom Momentary Peak** ist der Momentanwert des asymmetrischen Kurzschlussstroms eine halbe Periode nach Eintritt des Kurzschlusses. Dieser Strom wird mit Hilfe des Strom First Cycle und dem Verhältnis X/R First Cycle ermittelt.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom L1	IL1	0,000	-0,000	0,000	kA
Strom L2	IL2	3,160	-3,137	0,385	kA
Strom L3	IL3	3,272	2,457	2,161	kA
Strom Rückltg.	3I0	2,635	0,680	-2,546	kA
Spannung L1	UL1	3,851	3,850	0,063	kV
Spannung L2	UL2	0,000	0,000	-0,000	kV
Spannung L3	UL3	0,000	0,000	0,000	kV
Spannung Versch.	U0	1,284	-1,283	-0,021	kV
Verhältnis Z0/Z1	Z0/Z1	1,429	1,426	0,090	pu
Mitsystemimpedanz	Z1	1,022	0,309	0,974	Ohm
Nullsystemimpedanz	Z0	1,461	0,354	1,418	Ohm

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Kurzschluss 2-polig – Leiterdaten

Unter **Strom L1 – absolut**, **Strom L1 – real**, **Strom L1 – imaginär**, **Strom L2 – absolut**, **Strom L2 – real**, **Strom L2 – imaginär**, **Strom L3 – absolut**, **Strom L3 – real** und **Strom L3 – imaginär** wird der Strom First Cycle in der jeweiligen Phase angezeigt.

Unter **Strom Rückleitung – absolut**, **Strom Rückleitung – real** und **Strom Rückleitung – imaginär** wird der Strom First Cycle im Rückleiter angezeigt.

Unter **Spannung L1 – absolut**, **Spannung L1 – real**, **Spannung L1 – imaginär**, **Spannung L2 – absolut**, **Spannung L2 – real**, **Spannung L2 – imaginär**, **Spannung L3 – absolut**, **Spannung L3 – real** und **Spannung L3 – imaginär** wird die Spannung in der jeweiligen Phase in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

Unter **Spannung Verschiebung – absolut**, **Spannung Verschiebung – real** und **Spannung Verschiebung – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Spannung im Nullsystem in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

Unter **Verhältnis Z0/Z1 – absolut**, **Verhältnis Z0/Z1 – real** und **Verhältnis Z0/Z1 – imaginär** wird das Verhältnis von Null- zu Mitimpedanz in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

Unter **Mitsystemimpedanz – absolut**, **Mitsystemimpedanz – real** und **Mitsystemimpedanz – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Impedanz im Mitsystem in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

Unter **Nullsystemimpedanz – absolut**, **Nullsystemimpedanz – real** und **Nullsystemimpedanz – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Impedanz im Nullsystem in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom MS	I1	2,133	0,626	-2,039	kA
Strom GS	I2	1,256	-0,399	1,190	kA
Strom NS	I3	0,878	-0,227	0,849	kA
<hr/>					
Spannung MS	U1	1,284	1,283	0,021	kV
Spannung GS	U2	1,284	1,283	0,021	kV
Spannung NS	U0	1,284	1,283	0,021	kV

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Kurzschluss 2-polig – Komponenten

Die im Register Leiterdaten angezeigten Ströme L1, L2 und L3 werden in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Strom MS – absolut**, **Strom MS – real** und **Strom MS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Gegensystem wird als **Strom GS – absolut**, **Strom GS – real** und **Strom GS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Nullsystem wird als **Strom NS – absolut**, **Strom NS – real** und **Strom NS – imaginär** angezeigt.

Aus den im Register Leiterdaten angezeigten Spannungen werden die verbleibenden Leiter-Rückleiterspannungen bestimmt und in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Spannung MS – absolut**, **Spannung MS – real** und **Spannung MS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Gegensystem wird als **Spannung GS – absolut**, **Spannung GS – real** und **Spannung GS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Nullsystem wird als **Spannung NS – absolut**, **Spannung NS – real** und **Spannung NS – imaginär** angezeigt.

Knotenergebnisse Kurzschluss 2-polig			
Auslegungsströme			
Strom Leistungsfkt. 15 First Cycle	IPF15	3,078	kA
Strom Leistungsfkt. 20 First Cycle	IPF20	3,286	kA
Strom Leistungsfkt. 30 First Cycle	IPF30	3,620	kA
Strom Leistungsfkt. 50 First Cycle	IPF50	3,999	kA
<hr/>			
Sym. Belastung 2 Cycle Breaker	I sym 2	1,808	kA
Sym. Belastung 3 Cycle Breaker	I sym 3	1,808	kA
Sym. Belastung 5 Cycle Breaker	I sym 5	1,808	kA
Sym. Belastung 8 Cycle Breaker	I sym 8	1,808	kA
<hr/>			
Ges. Belastung 2 Cycle Breaker	I tot 2	1,808	kA
Ges. Belastung 3 Cycle Breaker	I tot 3	1,808	kA
Ges. Belastung 5 Cycle Breaker	I tot 5	1,808	kA
Ges. Belastung 8 Cycle Breaker	I tot 8	1,808	kA

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Kurzschluss 2-polig – Auslegungsströme

Niederspannungsschutzgeräte sind ausgelegt, um einer bestimmten Belastung standzuhalten. Je nach Schutzgerät wird dabei ein maximaler Leistungsfaktor von 15, 20, 30 und 50 Prozent herangezogen, um dies im Labor zu testen.

Die daraus resultierenden Effektivwerte der maximalen Belastungsströme der Schutzgeräte werden unter **Strom Leistungsfaktor 15 First Cycle**, **Strom Leistungsfaktor 20 First Cycle**, **Strom Leistungsfaktor 30 First Cycle** und **Strom Leistungsfaktor 50 First Cycle** angezeigt.

Für die Auslegung von Schaltern ist die Belastung beim Abschalten das wichtigste Kriterium. ANSI verwendet Decrement Curves (DC Decay Curve und AC Decrement Curve), um das Abklingen des Gleichstromanteils und das Abklingen des Wechselstromanteils des Kurzschlussstromes zu bestimmen.

Die Belastung aufgrund des Kurzschlusswechselstromes wird für Schalter mit Zeitverzug von 2, 3, 5 und 8 Perioden unter **Symmetrische Belastung 2 Cycle Breaker**, **Symmetrische Belastung 3 Cycle Breaker**, **Symmetrische Belastung 5 Cycle Breaker** und **Symmetrische Belastung 8 Cycle Breaker** angezeigt.

Die Belastung aufgrund des gesamten Kurzschlussstromes (Gleichstromanteil und Wechselstromanteil) wird für Schalter mit Zeitverzug von 2, 3, 5 und 8 Perioden unter **Gesamte Belastung 2 Cycle Breaker**, **Gesamte Belastung 3 Cycle Breaker**, **Gesamte Belastung 5 Cycle Breaker** und **Gesamte Belastung 8 Cycle Breaker** angezeigt.

Zweigergebnisse 2-poliger Erd- und Kurzschluss

Für jeden an der Kurzschlussberechnung teilnehmenden Zweig werden mehrere Zweigergebnisse zur Verfügung gestellt. Die Leistungen, Ströme und Impedanzen beziehen sich auf den am angezeigten Anfangsknoten zugeordneten Anschluss. Um die Ergebnisse an allen Anschlüssen des Zweiges darzustellen, wird bei den Ergebnissen die Topologie mit wechselnden Knoten (Anfang/Ende bzw. Knoten 1/Knoten 2/Knoten 3 bei Dreiwicklungstransformatoren) angezeigt.

Die Spannungen gelten bei der Kurzschlussberechnung für einige oder alle Knoten im Netz für den Endknoten und bei der Kurzschlussberechnung für einen Knoten im Netz über das Kontextmenü dieses Knotens für den Anfangsknoten.

Die folgenden Zweigergebnisse werden für den 2-poligen Erd- bzw. Kurzschluss bereitgestellt.

Zweigergebnisse Kurzschluss 2-polig			
Anfangsknoten: SS1 Endknoten: SS2-A Elementname: L26 Netzebene: Medium-Voltage (6 kV)			
Netzdarstellung: Sym. Komponenten Fehlertyp: Rückleiter- und Erdschlu			
Strom First Cycle	I sym 1 c	1,523	kA
Winkel First Cycle	Phi I sym 1 c	26,202	°
X/R First Cycle	X/R 1 c	0,492	1
Leistung First Cycle	S 1 c	10,552	MVA
Strom Interrupt	I sym int	1,038	kA
Winkel Interrupt	Phi I sym int	17,690	°
X/R Interrupt	X/R int	0,319	1
Leistung Interrupt	S int	7,190	MVA

Bild: Datenmaske Zweigergebnisse Kurzschluss 2-polig

Anfangsknoten, **Endknoten**, **Elementname** und **Netzebene** stehen zur Identifizierung des Anschlusses zur Verfügung.

Im Feld **Netzdarstellung** wird ausgewiesen, auf welche Art das Netz im Rahmen der Kurzschlussberechnung modelliert wurde. Hierbei wird zwischen der Modellierung mit symmetrischen Komponenten und Leiterdaten unterschieden.

Mit dem **Fehlertyp** wird ausgewiesen, welche Fehlerverschaltung verwendet wurde (Kurzschluss, Rückleiterschluss, Erdschluss und Rückleiter- und Erdschluss).

Unter **Strom First Cycle** wird das Maximum der Effektivwerte des Kurzschlusswechselstromes der einzelnen Leiter in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt. Dieser Strom wird mit der Vorfehlerspannung ermittelt. Die Synchron- und Asynchronmaschinen werden dabei mit den Impedanzfaktoren für das First Cycle Network nachgebildet.

Der **Winkel First Cycle** ist die Winkeldifferenz zwischen Strom und Spannung des Leiters mit Maximum.

Unter **X/R First Cycle** wird das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Strom First Cycle zugrundeliegenden Zweigimpedanz angezeigt.

Die **Leistung First Cycle** ist die Summe der Effektivwerte der Wechselstromleistung der einzelnen Leiter in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses. Diese Leistung wird mit der Nennspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

Unter **Strom Interrupt** wird das Maximum der Effektivwerte des Kurzschlusswechselstromes der einzelnen Leiter in der Periode des Abschaltens des Kurzschlusses angezeigt. Dieser Strom wird mit der Vorfehlerspannung ermittelt. Die Synchron- und Asynchronmaschinen werden dabei mit den Impedanzfaktoren für das Interrupt Network nachgebildet.

Der **Winkel Interrupt** ist die Winkeldifferenz zwischen Strom und Spannung des Leiters mit Maximum.

Unter **X/R Interrupt** wird das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Strom Interrupt zugrundeliegenden Zweigimpedanz angezeigt.

Die **Leistung Interrupt** ist die Summe der Effektivwerte der Wechselstromleistung der einzelnen Leiter in der Periode des Abschaltens des Kurzschlusses. Diese Leistung wird mit der Betriebsspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom L1	IL1	0,645	-0,312	0,565	kA
Strom L2	IL2	0,650	0,650	-0,009	kA
Strom L3	IL3	0,651	-0,338	-0,556	kA
Strom Rücklfg.	3I0	0,000	-0,000	0,000	kA
Spannung L1	UL1	3,303	2,937	-1,513	kV
Spannung L2	UL2	3,301	-2,784	-1,774	kV
Spannung L3	UL3	3,290	-0,153	3,286	kV
Spannung Versch.	U0	0,000	-0,000	-0,000	kV

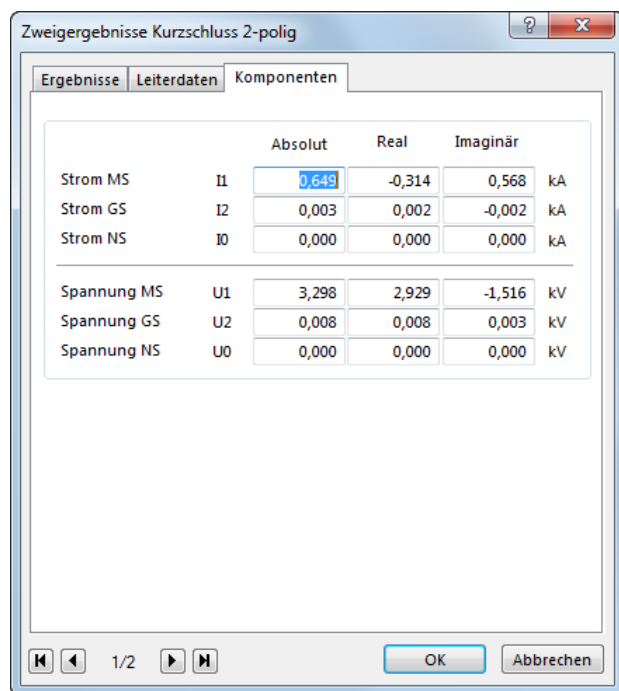
Bild: Datenmaske Zweigergebnisse Kurzschluss 2-polig – Leiterdaten

Unter **Strom L1 – absolut**, **Strom L1 – real**, **Strom L1 – imaginär**, **Strom L2 – absolut**, **Strom L2 – real**, **Strom L2 – imaginär**, **Strom L3 – absolut**, **Strom L3 – real** und **Strom L3 – imaginär** wird der Strom First Cycle in der jeweiligen Phase angezeigt.

Unter **Strom Rückleitung – absolut**, **Strom Rückleitung – real** und **Strom Rückleitung – imaginär** wird der Strom First Cycle im Rückleiter angezeigt.

Unter **Spannung L1 – absolut**, **Spannung L1 – real**, **Spannung L1 – imaginär**, **Spannung L2 – absolut**, **Spannung L2 – real**, **Spannung L2 – imaginär**, **Spannung L3 – absolut**, **Spannung L3 – real** und **Spannung L3 – imaginär** wird die Spannung in der jeweiligen Phase in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

Unter **Spannung Verschiebung – absolut**, **Spannung Verschiebung – real** und **Spannung Verschiebung – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Spannung im Nullsystem in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.



		Absolut	Real	Imaginär	
Strom MS	I1	0,649	-0,314	0,568	kA
Strom GS	I2	0,003	0,002	-0,002	kA
Strom NS	I0	0,000	0,000	0,000	kA
Spannung MS	U1	3,298	2,929	-1,516	kV
Spannung GS	U2	0,008	0,008	0,003	kV
Spannung NS	U0	0,000	0,000	0,000	kV

Bild: Datenmaske Zweigergebnisse Kurzschluss 2-polig – Komponenten

Die im Register Leiterdaten angezeigten Ströme L1, L2 und L3 werden in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Strom MS – absolut**, **Strom MS – real** und **Strom MS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Gegensystem wird als **Strom GS – absolut**, **Strom GS – real** und **Strom GS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Nullsystem wird als **Strom NS – absolut**, **Strom NS – real** und **Strom NS – imaginär** angezeigt.

Aus den im Register Leiterdaten angezeigten Spannungen werden die verbleibenden Leiter-Rückleiterspannungen bestimmt und in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Spannung MS – absolut**, **Spannung MS – real** und **Spannung MS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Gegensystem wird als **Spannung GS – absolut**, **Spannung GS – real** und **Spannung GS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Nullsystem wird als **Spannung NS – absolut**, **Spannung NS – real** und **Spannung NS – imaginär** angezeigt.

Betrachtungsergebnisse 2-poliger Erd- und Kurzschluss

Für jeden an der Kurzschlussberechnung betrachteten Anschluss wird für jeden berechneten Fehlerknoten ein Betrachtungsergebnis zur Verfügung gestellt. Die Leistungen, Ströme, etc. beziehen sich für Elementergebnisse auf den am angezeigten Anfangsknoten zugeordneten Anschluss bei Fehler in Fehlerknoten. Um die Ergebnisse an allen Anschlüssen eines Netzelementes darzustellen, wird bei den Ergebnissen die Topologie mit wechselnden Knoten (Anfang/Ende bzw. Knoten 1/Knoten 2/Knoten 3 bei Dreieckstransformatoren) angezeigt.

Die Leistungen, Ströme, etc. beziehen sich für Strom Sternpunkt bzw. Strom gemeinsamer Sternpunkt auf die dem Element zugewiesene Sternpunktimpedanz bzw. gemeinsame Sternpunktimpedanz.

Die Leistungen, Ströme, etc. beziehen sich für Strom Dreieckswicklung auf die Dreieckswicklung von YYD Dreieckstransformatoren.

Die folgenden Betrachtungsergebnisse werden für den 2-poligen Erd- bzw. Kurzschluss bereitgestellt.

Parameter	Value	Unit
Strom First Cycle	1,314	kA
Winkel First Cycle	30,452	°
X/R First Cycle	0,588	1
Leistung First Cycle	9,107	MVA
Strom Interrupt	0,906	kA
Winkel Interrupt	20,128	°
X/R Interrupt	0,366	1
Leistung Interrupt	6,280	MVA

Bild: Datenmaske Betrachtungsergebnisse Kurzschluss 2-polig

Fehlerknoten, **Anfangsknoten**, **Endknoten**, **Elementname** und **Netzebene** stehen zur Identifizierung des Anschlusses, der Sternpunktimpedanz, der gemeinsamen Sternpunktimpedanz oder der Dreieckswicklung zur Verfügung.

Der **Ergebnistyp** dient ebenfalls zur Identifizierung. Folgende Ergebnistypen sind verfügbar:

- Elementergebnis
- Strom Dreieckswicklung

- Strom Sternpunkt
- Strom gemeinsamer Sternpunkt

Im Feld **Netzdarstellung** wird ausgewiesen, auf welche Art das Netz im Rahmen der Kurzschlussberechnung modelliert wurde. Hierbei wird zwischen der Modellierung mit symmetrischen Komponenten und Leiterdaten unterschieden.

Mit dem **Fehlertyp** wird ausgewiesen, welche Fehlerverschaltung verwendet wurde (Kurzschluss, Rückleiterschluss, Erdschluss und Rückleiter- und Erdschluss).

Unter **Strom First Cycle** wird das Maximum der Effektivwerte des Kurzschlusswechselstromes der einzelnen Leiter in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt. Dieser Strom wird mit der Vorfehlerspannung ermittelt. Die Synchron- und Asynchronmaschinen werden dabei mit den Impedanzfaktoren für das First Cycle Network nachgebildet.

Der **Winkel First Cycle** ist die Winkeldifferenz zwischen Strom und Spannung des Leiters mit Maximum.

Unter **X/R First Cycle** wird das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Strom First Cycle zugrundeliegenden Zweigimpedanz angezeigt.

Die **Leistung First Cycle** ist die Summe der Effektivwerte der Wechselstromleistung der einzelnen Leiter in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses. Diese Leistung wird mit der Nennspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

Unter **Strom Interrupt** wird das Maximum der Effektivwerte des Kurzschlusswechselstromes der einzelnen Leiter in der Periode des Abschaltens des Kurzschlusses angezeigt. Dieser Strom wird mit der Vorfehlerspannung ermittelt. Die Synchron- und Asynchronmaschinen werden dabei mit den Impedanzfaktoren für das Interrupt Network nachgebildet.

Der **Winkel Interrupt** ist die Winkeldifferenz zwischen Strom und Spannung des Leiters mit Maximum.

Unter **X/R Interrupt** wird das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Strom Interrupt zugrundeliegenden Zweigimpedanz angezeigt.

Die **Leistung Interrupt** ist die Summe der Effektivwerte der Wechselstromleistung der einzelnen Leiter in der Periode des Abschaltens des Kurzschlusses. Diese Leistung wird mit der Betriebsspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom L1	IL1	0,000	0,000	0,000	kA
Strom L2	IL2	0,000	0,000	0,000	kA
Strom L3	IL3	0,000	0,000	0,000	kA
Strom Rücklfg.	3I0	0,000	0,000	0,000	kA
<hr/>					
Spannung L1	UL1	0,000	0,000	0,000	kV
Spannung L2	UL2	0,000	0,000	0,000	kV
Spannung L3	UL3	0,000	0,000	0,000	kV
Spannung Versch.	U0	0,000	0,000	0,000	kV

Bild: Datenmaske Betrachtungsergebnisse Kurzschluss 2-polig – Leiterdaten

Unter **Strom L1 – absolut**, **Strom L1 – real**, **Strom L1 – imaginär**, **Strom L2 – absolut**, **Strom L2 – real**, **Strom L2 – imaginär**, **Strom L3 – absolut**, **Strom L3 – real** und **Strom L3 – imaginär** wird der Strom First Cycle in der jeweiligen Phase angezeigt.

Unter **Strom Rückleitung – absolut**, **Strom Rückleitung – real** und **Strom Rückleitung – imaginär** wird der Strom First Cycle im Rückleiter angezeigt.

Unter **Spannung L1 – absolut**, **Spannung L1 – real**, **Spannung L1 – imaginär**, **Spannung L2 – absolut**, **Spannung L2 – real**, **Spannung L2 – imaginär**, **Spannung L3 – absolut**, **Spannung L3 – real** und **Spannung L3 – imaginär** wird die Spannung in der jeweiligen Phase in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

Unter **Spannung Verschiebung – absolut**, **Spannung Verschiebung – real** und **Spannung Verschiebung – imaginär** wird die in der Kurzschlussstromberechnung ermittelte Spannung im Nullsystem in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

		Absolut	Real	Imaginär	
Strom MS	I1	0,000	0,000	0,000	kA
Strom GS	I2	0,000	0,000	0,000	kA
Strom NS	I0	0,000	0,000	0,000	kA
<hr/>					
Spannung MS	U1	0,000	0,000	0,000	kV
Spannung GS	U2	0,000	0,000	0,000	kV
Spannung NS	U0	0,000	0,000	0,000	kV

Bild: Datenmaske Betrachtungsergebnisse Kurzschluss 2-polig – Komponenten

Die im Register Leiterdaten angezeigten Ströme L1, L2 und L3 werden in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Strom MS – absolut**, **Strom MS – real** und **Strom MS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Gegensystem wird als **Strom GS – absolut**, **Strom GS – real** und **Strom GS – imaginär** angezeigt. Der Strom im Nullsystem wird als **Strom NS – absolut**, **Strom NS – real** und **Strom NS – imaginär** angezeigt.

Aus den im Register Leiterdaten angezeigten Spannungen werden die verbleibenden Leiter-Rückleiterspannungen bestimmt und in Komponentendaten übergeführt. Das Ergebnis dieser Transformation wird für das Mitsystem als **Spannung MS – absolut**, **Spannung MS – real** und **Spannung MS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Gegensystem wird als **Spannung GS – absolut**, **Spannung GS – real** und **Spannung GS – imaginär** angezeigt. Die Spannung im Nullsystem wird als **Spannung NS – absolut**, **Spannung NS – real** und **Spannung NS – imaginär** angezeigt.

Knotenergebnisse 3-poliger Kurzschluss

Für jeden an der Kurzschlussberechnung teilnehmenden Knoten wird ein Knotenergebnis zur Verfügung gestellt.

Die folgenden Knotenergebnisse werden für den 3-poligen Kurzschluss bereitgestellt.

Treibende Spannung	Uk	6,000	kV
Strom First Cycle	I sym 1c	3,388	kA
Winkel First Cycle	Phi I sym 1c	-72,388	°
X/R First Cycle	X/R 1c	3,150	1
Leistung First Cycle	S 1c	35,213	MVA
Strom Interrupt	I sym int	2,490	kA
Winkel Interrupt	Phi I sym int	-72,501	°
X/R Interrupt	X/R int	3,172	1
Leistung Interrupt	S int	25,880	MVA
Impedanz - real	Zr	0,309	Ohm
Impedanz - imaginär	Zi	0,974	Ohm
Impedanz - absolut	Za	1,022	Ohm
Strom Momentary RMS	I mom rms	3,822	kA
Strom Momentary Peak	I mom peak	6,559	kA

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Kurzschluss 3-polig

Unter **Knoten** bzw. **Netzebene** wird der Name des Knotens bzw. der Netzebene zur Identifizierung angezeigt.

Im Feld **Netzdarstellung** wird ausgewiesen, auf welche Art das Netz im Rahmen der Kurzschlussberechnung modelliert wurde. Hierbei wird zwischen der Modellierung mit symmetrischen Komponenten und Leiterdaten unterschieden.

Mit dem **Fehlertyp** wird ausgewiesen, welche Fehlerverschaltung verwendet wurde (Kurzschluss, Rückleiterschluss, Erdschluss und Rückleiter- und Erdschluss).

Die **Treibende Spannung** ist die Spannung im Mitsystem an der idealen Ersatzspannungsquelle des Kurzschlussknotens zur Berechnung des Kurzschlussstromes.

Unter **Strom First Cycle** wird das Maximum der Effektivwerte des Kurzschlusswechselstromes der einzelnen Leiter in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt. Dieser Strom wird mit der Vorfehlerspannung ermittelt. Die Synchron- und Asynchronmaschinen werden dabei mit den Impedanzfaktoren für das First Cycle Network nachgebildet.

Der **Winkel First Cycle** ist der negative Winkel ($I = U/Z$) der dem Strom First Cycle zugrundeliegenden Netzimpedanz.

Unter **X/R First Cycle** wird das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Strom First Cycle zugrundeliegenden Netzimpedanz angezeigt.

Die **Leistung First Cycle** ist die Summe der Effektivwerte der Wechselstromleistung der einzelnen Leiter in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses. Diese Leistung wird mit der Nennspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

Unter **Strom Interrupt** wird das Maximum der Effektivwerte des Kurzschlusswechselstromes der einzelnen Leiter in der Periode des Abschaltens des Kurzschlusses angezeigt. Dieser Strom wird mit der Vorfehlerspannung ermittelt. Die Synchron- und Asynchronmaschinen werden dabei mit den Impedanzfaktoren für das Interrupt Network nachgebildet.

Der **Winkel Interrupt** ist der negative Winkel ($I = U/Z$) der dem Strom Interrupt zugrundeliegenden Netzimpedanz.

Unter **X/R Interrupt** wird das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Strom Interrupt zugrundeliegenden Netzimpedanz angezeigt.

Die **Leistung Interrupt** ist die Summe der Effektivwerte der Wechselstromleistung der einzelnen Leiter in der Periode des Abschaltens des Kurzschlusses. Diese Leistung wird mit der Betriebsspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

Unter **Impedanz – real**, **Impedanz – imaginär** und **Impedanz – absolut** wird die Mitsystemimpedanz der dem Strom First Cycle zugrundeliegenden Netzimpedanz angezeigt.

Der **Strom Momentary RMS** ist der Momentanwert des Kurzschlusswechselstroms eine halbe Periode nach Eintritt des Kurzschlusses. Dieser Strom wird mit Hilfe des Strom First Cycle und dem Verhältnis X/R First Cycle ermittelt.

Der **Strom Momentary Peak** ist der Momentanwert des asymmetrischen Kurzschlussstroms eine halbe Periode nach Eintritt des Kurzschlusses. Dieser Strom wird mit Hilfe des Strom First Cycle und dem Verhältnis X/R First Cycle ermittelt.

Knotenergebnisse Kurzschluss 3-polig			
Ergebnisse		Auslegungsströme	
Strom Leistungsfkt. 15 First Cycle	IPF15	2,871	kA
Strom Leistungsfkt. 20 First Cycle	IPF20	3,065	kA
Strom Leistungsfkt. 30 First Cycle	IPF30	3,377	kA
Strom Leistungsfkt. 50 First Cycle	IPF50	3,730	kA
<hr/>			
Sym. Belastung 2 Cycle Breaker	I sym 2	2,666	kA
Sym. Belastung 3 Cycle Breaker	I sym 3	2,666	kA
Sym. Belastung 5 Cycle Breaker	I sym 5	2,666	kA
Sym. Belastung 8 Cycle Breaker	I sym 8	2,666	kA
<hr/>			
Ges. Belastung 2 Cycle Breaker	I tot 2	2,763	kA
Ges. Belastung 3 Cycle Breaker	I tot 3	2,666	kA
Ges. Belastung 5 Cycle Breaker	I tot 5	2,666	kA
Ges. Belastung 8 Cycle Breaker	I tot 8	2,666	kA

OK Abbrechen

Bild: Datenmaske Knotenergebnisse Kurzschluss 3-polig – Auslegungsströme

Niederspannungsschutzgeräte sind ausgelegt, um einer bestimmten Belastung standzuhalten. Je nach Schutzgerät wird dabei ein maximaler Leistungsfaktor von 15, 20, 30 und 50 Prozent herangezogen, um dies im Labor zu testen.

Die daraus resultierenden Effektivwerte der maximalen Belastungsströme der Schutzgeräte werden unter **Strom Leistungsfaktor 15 First Cycle**, **Strom Leistungsfaktor 20 First Cycle**, **Strom Leistungsfaktor 30 First Cycle** und **Strom Leistungsfaktor 50 First Cycle** angezeigt.

Für die Auslegung von Schaltern ist die Belastung beim Abschalten das wichtigste Kriterium. ANSI verwendet Decrement Curves (DC Decay Curve und AC Decrement Curve), um das Abklingen des Gleichstromanteils und das Abklingen des Wechselstromanteils des Kurzschlussstromes zu bestimmen.

Die Belastung aufgrund des Kurzschlusswechselstromes wird für Schalter mit Zeitverzug von 2, 3, 5 und 8 Perioden unter **Symmetrische Belastung 2 Cycle Breaker**, **Symmetrische Belastung 3 Cycle Breaker**, **Symmetrische Belastung 5 Cycle Breaker** und **Symmetrische Belastung 8 Cycle Breaker** angezeigt.

Die Belastung aufgrund des gesamten Kurzschlussstromes (Gleichstromanteil und Wechselstromanteil) wird für Schalter mit Zeitverzug von 2, 3, 5 und 8 Perioden unter **Gesamte Belastung 2 Cycle Breaker**, **Gesamte Belastung 3 Cycle Breaker**, **Gesamte Belastung 5 Cycle Breaker** und **Gesamte Belastung 8 Cycle Breaker** angezeigt.

Zweigergebnisse 3-poliger Kurzschluss

Für jeden an der Kurzschlussberechnung teilnehmenden Zweig werden mehrere Zweigergebnisse zur Verfügung gestellt. Die Leistungen, Ströme und Impedanzen beziehen sich auf den am angezeigten Anfangsknoten zugeordneten Anschluss. Um die Ergebnisse an allen Anschlüssen des Zweiges darzustellen, wird bei den Ergebnissen die Topologie mit wechselnden Knoten (Anfang/Ende bzw. Knoten 1/Knoten 2/Knoten 3 bei Dreiwicklungstransformatoren) angezeigt.

Die Spannungen gelten bei der Kurzschlussberechnung für einige oder alle Knoten im Netz für den Endknoten und bei der Kurzschlussberechnung für einen Knoten im Netz über das Kontextmenü dieses Knotens für den Anfangsknoten.

Die folgenden Zweigergebnisse werden für den 3-poligen Kurzschluss bereitgestellt.

Zweigergebnisse Kurzschluss 3-polig			
Ergebnisse			
Anfangsknoten	SS1		
Endknoten	SS2-A		
Elementname	L26		
Netzebene	Medium-Voltage (6 kV)		
Netzdarstellung	Sym. Komponenten		
Fehlertyp	Rückleiter- und Erdschlu		
Strom First Cycle	I sym 1 c	1,555	kA
Winkel First Cycle	Phi I sym 1 c	-85,933	°
X/R First Cycle	X/R 1 c	14,064	1
Leistung First Cycle	S 1 c	16,157	MVA
Spannung im Nachbarort	UNb	3,290	kV
Winkel Spannung im Nachbarort	phiUNb	-27,340	°
Strom Interrupt	I sym int	1,036	kA
Winkel Interrupt	Phi I sym int	-92,054	°
X/R Interrupt	X/R int	27,889	1
Leistung Interrupt	S int	10,761	MVA

Bild: Datenmaske Zweigergebnisse Kurzschluss 3-polig

Anfangsknoten, **Endknoten**, **Elementname** und **Netzebene** stehen zur Identifizierung des Anschlusses zur Verfügung.

Im Feld **Netzdarstellung** wird ausgewiesen, auf welche Art das Netz im Rahmen der Kurzschlussberechnung modelliert wurde. Hierbei wird zwischen der Modellierung mit symmetrischen Komponenten und Leiterdaten unterschieden.

Mit dem **Fehlertyp** wird ausgewiesen, welche Fehlerverschaltung verwendet wurde (Kurzschluss, Rückleiterschluss, Erdschluss und Rückleiter- und Erdschluss).

Unter **Strom First Cycle** wird das Maximum der Effektivwerte des Kurzschlusswechselstromes der einzelnen Leiter in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt. Dieser Strom wird mit der Vorfehlerspannung ermittelt. Die Synchron- und Asynchronmaschinen werden dabei mit den Impedanzfaktoren für das First Cycle Network nachgebildet.

Der **Winkel First Cycle** ist die Winkeldifferenz zwischen Strom und Spannung des Leiters mit Maximum.

Unter **X/R First Cycle** wird das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Strom First Cycle zugrundeliegenden Zweigimpedanz angezeigt.

Die **Leistung First Cycle** ist die Summe der Effektivwerte der Wechselstromleistung der einzelnen Leiter in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses. Diese Leistung wird mit der Nennspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

Unter **Spannung im Nachbarort** wird die symmetrische Phase-Erde Spannung in dem am angezeigten Endknoten zugeordneten Anschluss in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

Unter **Winkel Spannung im Nachbarort** wird der Winkel der symmetrischen Phase-Erde Spannung in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses in dem am angezeigten Endknoten zugeordneten Anschluss angezeigt.

Unter **Strom Interrupt** wird das Maximum der Effektivwerte des Kurzschlusswechselstromes der einzelnen Leiter in der Periode des Abschaltens des Kurzschlusses angezeigt. Dieser Strom wird mit der Vorfehlerspannung ermittelt. Die Synchron- und Asynchronmaschinen werden dabei mit den Impedanzfaktoren für das Interrupt Network nachgebildet.

Der **Winkel Interrupt** ist die Winkeldifferenz zwischen Strom und Spannung des Leiters mit Maximum.

Unter **X/R Interrupt** wird das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Strom Interrupt zugrundeliegenden Zweigimpedanz angezeigt.

Die **Leistung Interrupt** ist die Summe der Effektivwerte der Wechselstromleistung der einzelnen Leiter in der Periode des Abschaltens des Kurzschlusses. Diese Leistung wird mit der Betriebsspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

Betrachtungsergebnisse 3-poliger Kurzschluss

Für jeden an der Kurzschlussberechnung betrachteten Anschluss wird für jeden berechneten Fehlerknoten ein Betrachtungsergebnis zur Verfügung gestellt. Der Strom bezieht sich auf den am angezeigten Anfangsknoten zugeordneten Anschluss bei Fehler in Fehlerknoten. Die Spannungen gelten für den zugeordneten bzw. gegenüberliegenden Anschluss. Um die Ergebnisse an allen Anschlüssen eines Netzelementes darzustellen, wird bei den Ergebnissen die Topologie mit wechselnden Knoten (Anfang/Ende bzw. Knoten 1/Knoten 2/Knoten 3 bei Dreiwicklungstransformatoren) angezeigt.

Die folgenden Betrachtungsergebnisse werden für den 3-poligen Kurzschluss bereitgestellt.

Strom First Cycle	I sym 1c	1,330	kA
Winkel First Cycle	Phi I sym 1c	-81,704	°
X/R First Cycle	X/R 1c	6,858	1
Leistung First Cycle	S 1c	13,824	MVA
Spannung im Nachbarort	UNb	0,000	kV
Winkel Spg. im Nachbarort	phiUNb	0,000	°
Spannung im Betrachtungsort	UBt	0,458	kV
Winkel Spg. im Betrachtungsort	phiUBt	-35,233	°
Strom Interrupt	I sym int	0,894	kA
Winkel Interrupt	Phi I sym int	-89,451	°
X/R Interrupt	X/R int	104,328	1
Leistung Interrupt	S int	9,295	MVA

Bild: Datenmaske Betrachtungsergebnisse Kurzschluss 3-polig

Fehlerknoten, **Anfangsknoten**, **Endknoten**, **Elementname** und **Netzebene** stehen zur Identifizierung des Anschlusses zur Verfügung.

Im Feld **Netzdarstellung** wird ausgewiesen, auf welche Art das Netz im Rahmen der Kurzschlussberechnung modelliert wurde. Hierbei wird zwischen der Modellierung mit symmetrischen Komponenten und Leiterdaten unterschieden.

Mit dem **Fehlertyp** wird ausgewiesen, welche Fehlerverschaltung verwendet wurde (Kurzschluss, Rückleiterschluss, Erdschluss und Rückleiter- und Erdschluss).

Unter **Strom First Cycle** wird das Maximum der Effektivwerte des Kurzschlusswechselstromes der einzelnen Leiter in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt. Dieser Strom wird mit der Vorfehlerspannung ermittelt. Die Synchron- und Asynchronmaschinen werden dabei mit den Impedanzfaktoren für das First Cycle Network nachgebildet.

Der **Winkel First Cycle** ist die Winkeldifferenz zwischen Strom und Spannung des Leiters mit Maximum.

Unter **X/R First Cycle** wird das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Strom First Cycle zugrundeliegenden Zweigimpedanz angezeigt.

Die **Leistung First Cycle** ist die Summe der Effektivwerte der Wechselstromleistung der einzelnen Leiter in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses. Diese Leistung wird mit der Nennspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

Unter **Spannung im Nachbarort** wird die symmetrische Phase-Erde Spannung in dem am angezeigten Endknoten zugeordneten Anschluss in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

Unter **Winkel Spannung im Nachbarort** wird der Winkel der symmetrischen Phase-Erde Spannung in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses in dem am angezeigten Endknoten zugeordneten Anschluss angezeigt.

Unter **Spannung im Betrachtungsort** wird die symmetrische Phase-Erde Spannung in dem am angezeigten Anfangsknoten zugeordneten Anschluss in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses angezeigt.

Unter **Winkel Spannung im Betrachtungsort** wird der Winkel der symmetrischen Phase-Erde Spannung in der ersten Periode nach dem Eintritt des Kurzschlusses in dem am angezeigten Anfangsknoten zugeordneten Anschluss angezeigt.

Unter **Strom Interrupt** wird das Maximum der Effektivwerte des Kurzschlusswechselstromes der einzelnen Leiter in der Periode des Abschaltens des Kurzschlusses angezeigt. Dieser Strom wird mit der Vorfehlerspannung ermittelt. Die Synchron- und Asynchronmaschinen werden dabei mit den Impedanzfaktoren für das Interrupt Network nachgebildet.

Der **Winkel Interrupt** ist die Winkeldifferenz zwischen Strom und Spannung des Leiters mit Maximum.

Unter **X/R Interrupt** wird das Verhältnis Imaginärteil zu Realteil der dem Strom Interrupt zugrundeliegenden Zweigimpedanz angezeigt.

Die **Leistung Interrupt** ist die Summe der Effektivwerte der Wechselstromleistung der einzelnen Leiter in der Periode des Abschaltens des Kurzschlusses. Diese Leistung wird mit der Betriebsspannung der Netzebene des Knotens ermittelt.

3. Anwendungsbeispiel für Kurzschluss

Im Folgenden soll das Verfahren **Kurzschluss** anhand eines einfachen Anwendungsbeispiels dargestellt werden. In den Beschreibungen werden

- das **Voreinstellen der Berechnungsparameter**,
- das **Starten der Kurzschlussberechnung** sowie
- das **Darstellen und Auswerten der Ergebnisse**

dargestellt.

Grundlagen

Alle Beschreibungen basieren auf folgendem Netz.

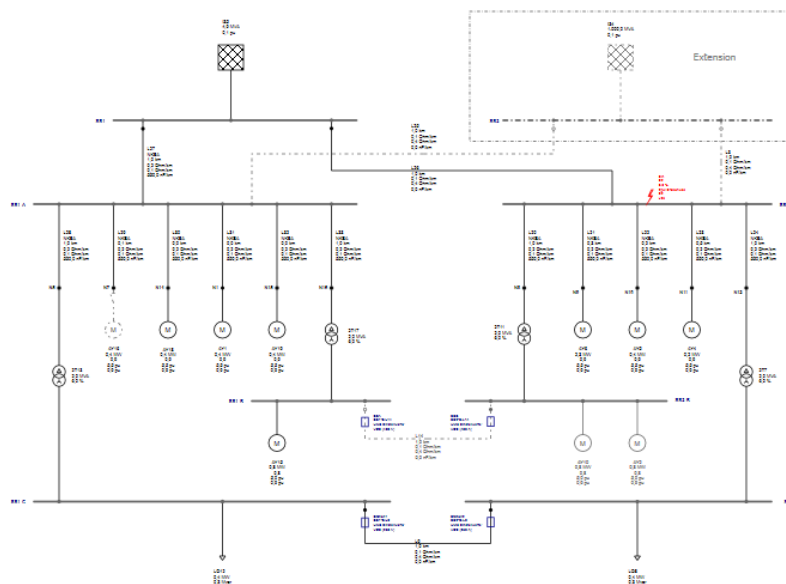


Bild: Beispielsnetz für die Kurzschlussberechnung

Dieses Netz ("Example Ele1") wird bei der Installation von PSS SINCAL automatisch bereitgestellt und kann zum Testen des Simulationsverfahrens eingesetzt werden.

Voraussetzung für unsymmetrische Kurzschlüsse ist, dass das **unsymmetrische** Netzmodell im Menü **Berechnen – Methoden** (siehe Handbuch Bedienung, Kapitel Benutzeroberfläche, Abschnitt Voreinstellen der Berechnungsmethoden) aktiviert ist.

3.1 Voreinstellen der Berechnungsparameter

Die Maske zum Einstellen der Berechnungsparameter wird über den Menüpunkt **Berechnen – Parameter** aufgerufen.

Bild: Datenmaske Berechnungsparameter – Kurzschluss

Vor der Kurzschlussberechnung muss die zugrundeliegende Norm für die Kurzschlussberechnung über das **Kurzschlussverfahren** festgelegt werden. Je nach Kurzschlussverfahren ergeben sich noch weitere Parameter, die auch in der zugrundeliegenden Norm wieder zu finden sind.

Bei allen Kurzschlussverfahren kann über dem Parameter **Kurzschlussdaten** zwischen Standard, Minimum und Maximum gewählt werden. Dieser Eintrag legt fest, welche Kurzschlussleistung oder -impedanz der Netzeinspeisungen für die Kurzschlussstromberechnung herangezogen wird.

Voreinstellungen über Netzebenen

In PSS SINCAL ist jedes Netzelement genau einer Netzebene zugeordnet. Die Kurzschlussstromberechnung kann für jede Netzebene aktiviert bzw. deaktiviert werden. Hierzu wird die Maske **Netzebene** über den Menüpunkt **Einfügen – Netzebene** geöffnet.

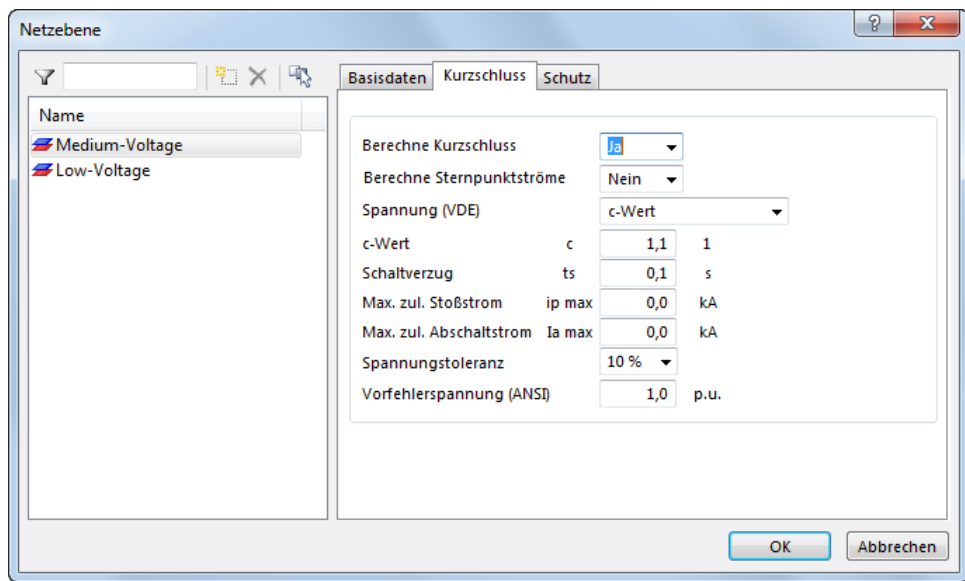


Bild: Datenmaske Netzebene – Kurzschluss

Das Feld **Berechne Kurzschluss** aktiviert oder deaktiviert die Berechnung des Kurzschlusses an den Knoten dieser Netzebene.

Je nach Kurzschlussverfahren sind bei den Netzebenenendaten folgende Einstellungen anzugeben:

- **VDE/IEC:**
Für Kurzschlussdaten Standard muss hier der c-Wert oder die treibende Spannung angegeben werden. Für Kurzschlussdaten Minimum und Maximum wird der c-Wert laut Norm über die Spannungstoleranz bestimmt.
- **ANSI:**
Die Vorfelerspannung für die Ermittlung des Kurzschlussstromes muss angegeben werden.

3.2 Starten der Kurzschlussberechnung

Die Kurzschlussberechnung kann auf verschiedene Arten durchgeführt werden:

- Kurzschlussberechnung für das gesamte Netz:
Hierbei wird die Berechnung für alle Knoten im Netz durchgeführt, welche einer Netzebene zugeordnet sind, in der die Kurzschlussstromberechnung aktiviert ist.
- Kurzschlussberechnung für markierte Knoten im Netz:
Die Funktionalität entspricht dem obigen Punkt, mit dem einzigen Unterschied, dass die Kurzschlussberechnung nur an den markierten Knoten durchgeführt wird.
- Kurzschlussberechnung für einen Knoten mit kompletter Strom- und Spannungsverteilung:
Hierbei wird die Kurzschlussberechnung nur für einen einzigen Knoten durchgeführt. Als Ergebnis wird dabei die komplette Strom- und Spannungsverteilung im gesamten Netz bereit gestellt.

Der Start der Berechnung erfolgt wahlweise über das Menü **Berechnen – Kurzschluss** oder direkt über das Kontextmenü eines markierten Knotens. Hierbei wird der folgende Dialog geöffnet.

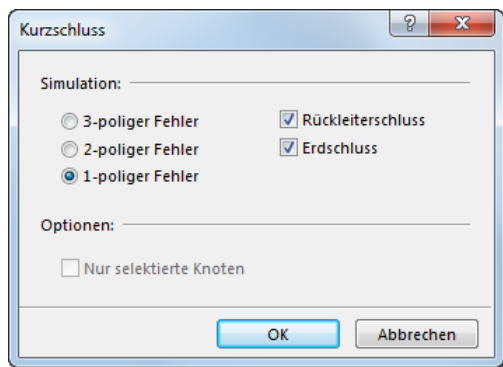


Bild: Dialog zum Starten der Kurzschlussberechnung

Im Dialog kann gewählt werden, welche Fehlerart bei der Kurzschlussberechnung verwendet werden soll:

- 3-poliger Fehler
- 2-poliger Fehler
- 1-poliger Fehler

Mit den Optionen **Rückleiterschluss** und **Erdschluss** kann eine Verbindung von Fehler zum Rückleiter bzw. zur Erde aktiviert werden.

Wenn in der Netzgrafik Knoten markiert sind, kann die Kurzschlussberechnung wahlweise nur für diese Knoten durchgeführt werden. Falls nur ein einzelner Knoten markiert ist, wird für diesen dann die komplette Strom- und Spannungsverteilung im Netz als Ergebnis bereit gestellt. Diese Funktionalität wird mit der Option **Nur selektierte Knoten** aktiviert.

3.3 Darstellen und Auswerten der Ergebnisse

Die wichtigsten Ergebnisse der Kurzschlussstromberechnung stehen in der Netzgrafik zur Verfügung.

Der komplette Ergebnisumfang steht in Form von Masken und Tabellen zur Verfügung. Über das Kontextmenü der Netzelemente können die individuellen Ergebnisse angezeigt werden.

Anwendungsbeispiel für Kurzschluss

Knotenergebnisse Kurzschluss 3-polig

Ergebnisse

Knoten:

Netzebene:

Netzdarstellung:

Fehlertyp:

Treibende Spannung	Uk	6,600	kV
Schaltverzug	ts	0,100	s
Anfangs KS-Wechselstromleistung	Sk"	38,960	MVA
Anfangs KS-Wechselstrom	Ik"	3,749	kA
Winkel Anfangs KS-Wechselstrom	phIk"	-70,683	°
Abschaltleistung	Sa	20,467	MVA
Abschaltstrom	Ia	1,969	kA
Stoßkurzschlussstrom	ip	8,307	kA
Gleichstrom bei Schaltverzug	idc	0,000	kA
Asym. Abschaltstrom	Iasym	1,969	kA
Minimaler Dauerkurzschlussstrom	Ikmin	0,279	kA
Anfangswert X/R	X/R Ik"	2,853	1
Impedanz - real	Zr	0,336	Ohm
Impedanz - imaginär	Zi	0,959	Ohm
Impedanz - absolut	Za	1,016	Ohm
Kurzschlussstromauslastung	Ik"/Ikmax	0,000	%
Stoßkurzschlussstromauslastung	ip/ipmax	0,000	%
Kurzschlussleistungsauslastung	Sk"/Skmax	0,000	%

OK Abbrechen

Bild: Knotenergebnisse der 3-poligen Kurzschlussstromberechnung nach VDE

Beim 3-poligen Kurzschluss werden der Anfangskurzschlussstrom und der minimale Dauerkurzschlussstrom bestimmt. Unabhängig von der Einstellung für die Kurzschlussdaten bei den Berechnungsparametern wird der minimale Dauerkurzschlussstrom so berechnet, als ob Minimum ausgewählt ist.

Zweigergebnisse Kurzschluss 3-polig

Ergebnisse

Anfangsknoten: SS1
 Endknoten: SS2-A
 Elementname: L26
 Netzebene: Medium-Voltage (6 kV)

Netzdarstellung: Sym. Komponenten
 Fehlertyp: Kurzschluss

Anfangs KS-Wechselstromleistung	Sk"	22,727	MVA
Anfangs KS-Wechselstrom	Ik"	2,187	kA
Winkel Anfangs KS-Wechselstrom	phiIk"	-72,792	°
Stoßkurzschlussstrom	ip	0,000	kA
Abschaltstrom	Ia	1,162	kA
Gleichstrom bei Schaltverzögerung	idc	0,000	kA
Minimaler Dauerkurzschlussstrom	Ikmin	0,000	kA
Spannung im Nachbarort	UNb	0,902	kV
Winkel Spannung im Nachbarort	phiUNb	3,172	°
Anfangs KS-Wechselstromausl.	Ik"/Ikmax	0,000	%
Stoßkurzschlussstromauslastung	ip/ipmax	0,000	%
Abschaltstromauslastung	Ia/Iamax	0,000	%
Max. Abschaltzeit	tmax	0,100	s
Bezogene Abschaltzeit	trel	100,000	%
Thermischer gleichwertiger Strom	Ithmax	1,965	kA

1/2 OK Abbrechen

Bild: Zweigergebnisse der 3-poligen Kurzschlussstromberechnung nach VDE

Je nach Kurzschlussstromberechnung sind die Ergebnisse anders zu interpretieren:

- Kurzschlussstromberechnung für mehrere Knoten:**
 In diesem Fall ist der jeweilige Anfangsknoten identisch mit dem Fehlerknoten. Die Ergebnisse am Anfang und Ende einer Leitung stammen aus zwei verschiedenen Kurzschlussstromberechnungen und haben keinen Bezug zueinander. Die Spannung im Nachbarort ist die Spannung im Endknoten bei Kurzschluss am Anfangsknoten.
- Kurzschlussstromberechnung für einen Knoten mit Bereitstellung der kompletten Strom- und Spannungsverteilung:**
 Die Ergebnisse am Anfang und Ende einer Leitung stammen aus einer Kurzschlussstromberechnung. Als Spannung im Nachbarort wird die Spannung im Anfangsknoten angezeigt.