

Grundlagenreihe Stromversorgungen und Verbraucher besonderer Art Teil 1

Schutz von Niederspannungsgeneratoren und der angeschlossenen Stromkreise

Die meisten elektrischen Anlagen in der Industrie enthalten bestimmte wichtige Verbraucher, deren Spannungsversorgung bei Ausfall der Stromversorgung des Netzbetreibers aufrechterhalten werden muss:

- Entweder aufgrund von Sicherheitseinrichtungen (Notbeleuchtung, automatische Brandschutzanlage, Rauchabzüge, Alarm- und Anzeigegeräte usw.) oder
- weil diese Verbraucher vorrangig sind, wie z.B. bestimmte Geräte, deren Ausfall zu einem Produktionsverlust oder zur Zerstörung einer Werkzeugmaschine usw. führen würde.

Eine der gängigen Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Stromversorgung eines sogenannten ersatzstromberechtigten Verbrauchers bei Ausfall anderer Stromversorgungen ist der Einbau eines NS-Generators, der über einen Umschalter an eine Schaltanlage für die Sicherheitsstromversorgung angeschlossen ist, die die ersatz-stromberechtigten Verbraucher speist (siehe **Abb. N1**).

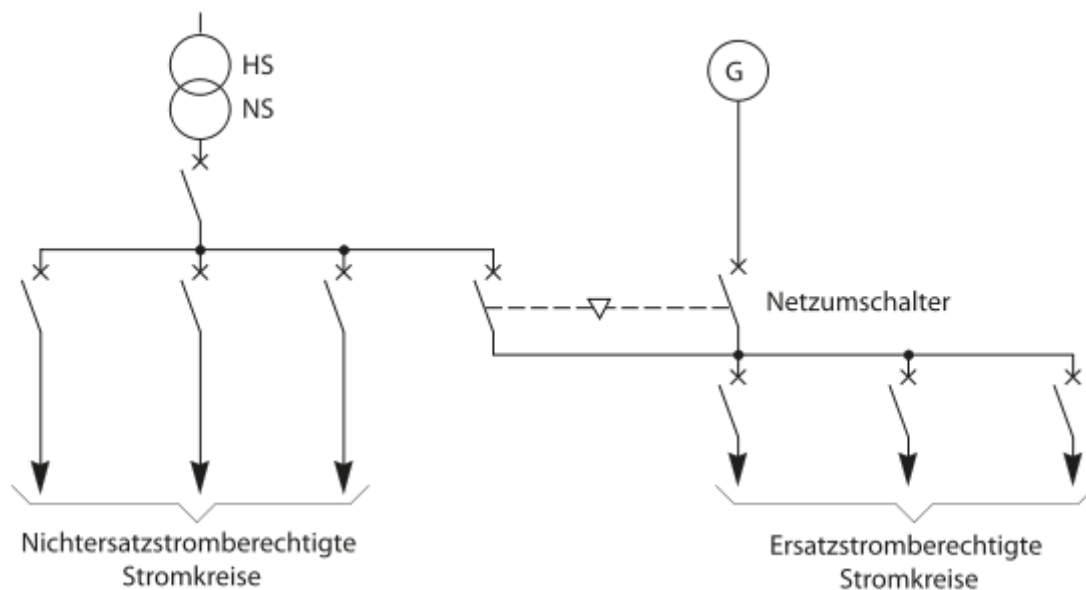


Abb. N1: Beispiel für eine Schaltanlage mit ersatzstromberechtigten Verbrauchern, gespeist durch einen Transformator für Normalnetz und einen NS-Generator für ersatzstromberechtigte Verbraucher im Ersatznetz

Generatorschutz

Abbildung N2 unten zeigt die elektrischen Dimensionierungsparameter eines NS-Generators. P_n , U_n und I_n sind jeweils die Leistung des Motors sowie die Bemessungsspannung und der Bemessungsstrom des Generators.

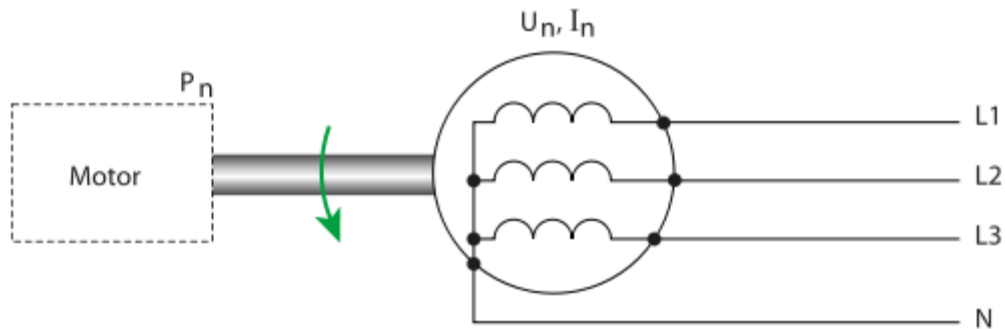


Abb. N2: Blockschaltbild eines Generators

Überlastschutz

Die Überlastkennlinie des Generators ist genau zu prüfen (siehe **Abb. N3**). In den Normen und Anwendungsvorschriften sind ggf. spezielle Überlastbedingungen festgelegt. Zum Beispiel:

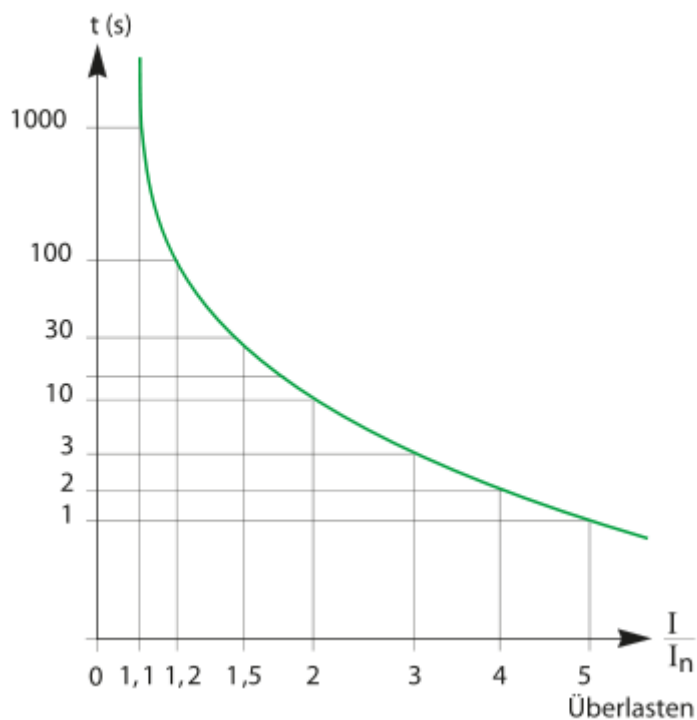


Abb. N3: Beispiel einer Überlastkennlinie $t = f(I/I_n)$

I/I_n	t
1,1	> 1 h
1,5	30 s

Die Einstellungsmöglichkeiten der Überlastschutzeinrichtungen (oder der Langzeitverzögerung) sollten diesen Vorschriften entsprechen.

Hinweise zu Überlasten

- Aus wirtschaftlichen Gründen sollte der Motor eines Ersatzstromerzeugers genau entsprechend seiner Bemessungsleistung dimensioniert sein. Bei einer Überlast bleibt der Diesel-Motor stehen. Für die Wirkleistungsaufteilung der ersatzstromberechtigten Verbraucher ist dies zu berücksichtigen.
- Ein Ersatzstromerzeuger sollte folgenden betrieblichen Überlasten standhalten können:
 - o einstündige Überlast
 - o einstündige 10 %ige Überlast alle 12 Stunden (Spitzenlastbetrieb)

Schutz bei Kurzschluss

Einschalten des Kurzschlussstroms

Der Kurzschlussstrom ist die Summe aus:

- einem aperiodischen Strom und
- einem gedämpften sinusförmigen Strom.

Die Gleichung des Kurzschlussstroms zeigt, dass sich dieser aus drei zeitlich aufeinanderfolgenden Zuständen zusammensetzt (siehe **Abb. N4**).

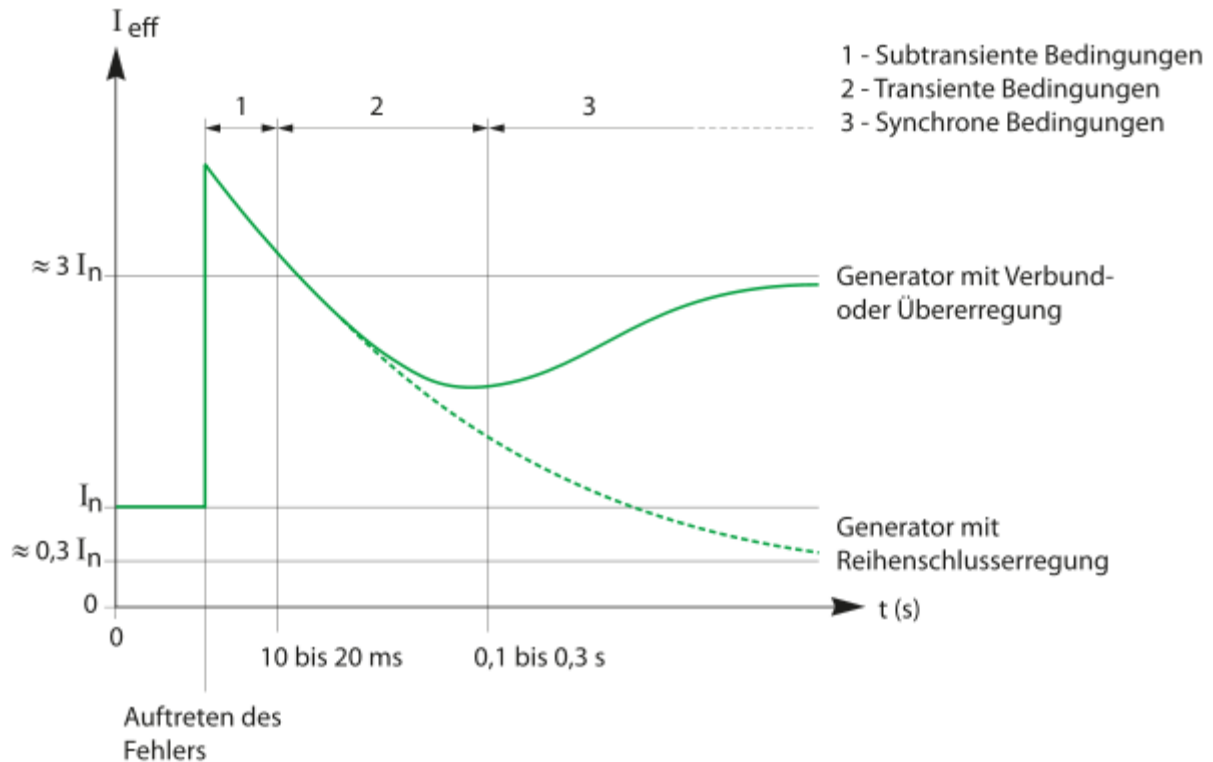


Abb. N4: Kurzschlussstromwert während der 3 Zustände

- Subtransienter Zustand (Anfangswert)

Bei Auftreten eines Kurzschlusses an den Generatorklemmen wird der Strom zunächst bei einem relativ hohen Wert eingeschaltet (ca. 6 bis 12 I_n während des ersten Zyklus (0 - 20 ms)).

Die Größe des Kurzschlussausgangsstroms wird durch drei Parameter festgelegt:

- o der Subtransienten Reaktanz des Generators,
- o dem Erregungslevel vor Auftreten des Fehlers und
- o der Impedanz des fehlerhaften Stromkreises.

Die Kurzschlussimpedanz des betreffenden Generators ist die Subtransiente Reaktanz x''_d (herstellerseitig ausgedrückt in %). Der typische Wert liegt zwischen 10 und 15 %.

Bestimmung der Subtransienten Kurzschlussimpedanz des Generators:

$$x''_d \text{ (Ohm)} = \frac{U_n^2 x''_d}{100 S}, \text{ wobei } S = \sqrt{3} U_n I_n$$

- Transienter Zustand (Übergangswert)

Der transiente Zustand tritt 100 bis 500 ms nach Auftreten des Fehlers auf. Beginnend mit dem Wert des Fehlerstroms des subtransienten Zustands, fällt der Strom auf das 1,5- bis 2-fache des Stroms I_n .

Die betreffende Kurzschlussimpedanz für diesen Zustand ist die transiente Reaktanz $x'd$ (herstellerseitig ausgedrückt in %). Der typische Wert liegt zwischen 20 und 30 %.

- Synchroner Zustand (Dauerwert)

Der synchrone Zustand tritt nach 500 ms ein.

Dauert der Fehler an, bricht die Ausgangsspannung zusammen, und die Erregungsregelung will diese Ausgangsspannung wieder erhöhen. Das Ergebnis ist ein stabilisierter Kurzschlussstrom:

- o Erhöht sich die Generatorerregung während eines Kurzschlusses nicht (keine Feldübererregung), sondern wird auf dem Wert vor Auftreten des Fehlers gehalten, stabilisiert sich der Strom auf einem Wert, der durch die synchrone Reaktanz X_d des Generators gegeben ist. Der typische X_d -Wert ist größer als 200 %.

Folglich ist der Endstrom geringer als der maximale Betriebsstrom des Generators, normalerweise ca. $0,5 I_n$

- o Liegt eine maximale Felderregung oder Verbunderregung des Generators vor, führt die „Stoß“-Spannung durch die Erregung dazu, dass sich der Fehlerstrom 10 s lang erhöht, normalerweise auf das 2- bis 3-Fache des maximalen Betriebsstrom des Generators.

Berechnung des Kurzschlussstroms

Normalerweise werden die Impedanzwerte und Zeitkonstanten, die zur Betriebsanalyse im transienten oder synchronen Zustand erforderlich sind, herstellerseitig festgelegt (siehe **Abb. N5**).

(kVA)	75	200	400	800	1600	2500
$x''d$	10,5	10,4	12,9	10,5	18,8	19,1
$x'd$	21	15,6	19,4	18	33,8	30,2
x_d	280	291	358	280	404	292

Die Ohmschen Widerstandswerte sind im Vergleich zu den Reaktanzwerten immer vernachlässigbar. Die Parameter zur Untersuchung des Kurzschlussstroms sind:

- Wert des Kurzschlussstroms an den Generatorklemmen

Die Größe des Kurzschlussstroms im transienten Zustand errechnet sich aus:

$$I_{sc3} = \frac{I_n}{X'_d} \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (X'_d, \text{in Ohm})$$

oder

$$I_{sc3} = \frac{I_n}{x'd} 100 \quad (x'd \text{ in } \%),$$

U_n ist die Ausgangsspannung des Generators zwischen den Außenleitern.

Anmerkung: Dieser Wert kann mit dem Kurzschlussstrom an den Transformatorklemmen verglichen werden. Demnach sind bei gleicher Leistung die Ströme bei Auftreten eines generatornahen Kurzschlusses 5 bis 6 mal kleiner, als die bei einem Transformator (Hauptstromquelle) auftretenden Ströme.

Dieser Unterschied erhöht sich noch dadurch, dass die Leistung eines Generatorsatzes normalerweise kleiner ist als die Leistung des Transformators (siehe **Abb. N6**).

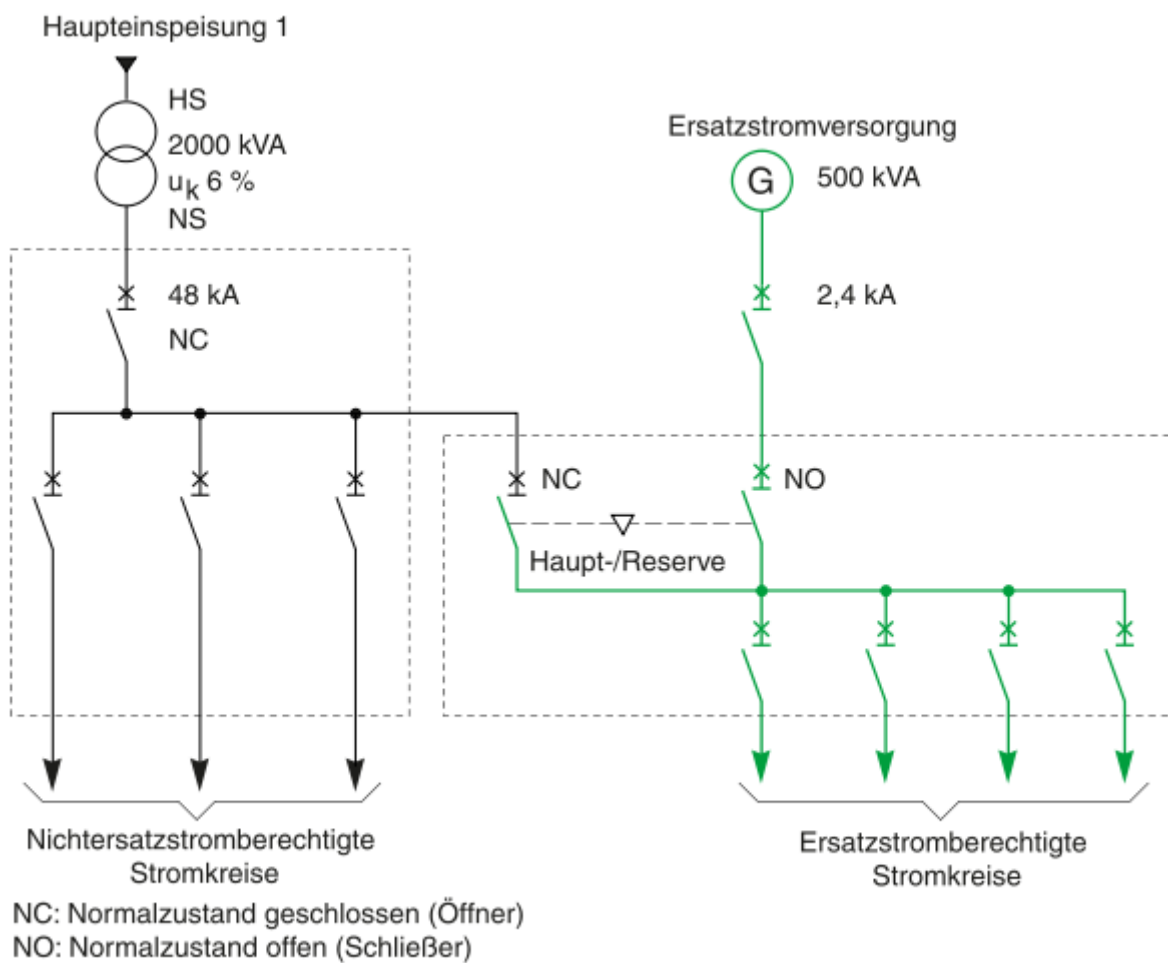


Abb. N6: Beispiel einer Schaltanlage mit Sicherheitsstromversorgung, die (im Notfall) von einem Ersatzstromerzeuger gespeist wird

Wird das NS-Netz durch die Haupteinspeisung 1 mit 2000 kVA gespeist, beträgt der Kurzschlussstrom an der Hauptsammelschiene der Niederspannungs-Hauptschaltanlage 48 kA. Wird das NS-Netz durch die Ersatzstromversorgung mit 500 kVA mit einer Transienten Reaktanz von 30 % gespeist, beträgt der Kurzschlussstrom ca. 2,4 kA, d.h. er entspricht einem Wert, der 20-mal kleiner ist als der Kurzschlussstrom der Haupteinspeisung.

Schutz ersatzstromberechtigter Stromkreise

Auswahl und Schutz

Wahl des Ausschaltvermögens

Dieser Parameter muss systematisch im Zusammenhang mit den Kenndaten der Haupteinspeisequelle (Verteiltransformator) geprüft werden.

Auswahl und Einstellung des Kurzschlussauslösers

- Unterverteiler

Die Bemessungsströme der Schutzeinrichtungen von Unterverteilern und Endstromkreisen müssen immer niedriger sein als der Bemessungsstrom des einspeisenden Generators. Folglich sind, abgesehen von Sonderfällen, die gleichen Bedingungen vorhanden wie bei einer Transformator-Einspeisung.

- Niederspannungs-Hauptverteiler
 - o Die Dimensionierung der Schutzeinrichtungen in der Haupteinspeisung erfolgt normalerweise unter ähnlichen Bedingungen wie für den Generator. Die Einstellungen für den Kurzschlussschutz müssen jedoch die Kurzschlusseigenschaften des Generators berücksichtigen (siehe Seite N3: „Schutz bei Kurzschluss“).
 - o Die Selektivität der Schutzeinrichtungen für ersatzstromberechtigte Stromkreise muss den Generatorbetrieb berücksichtigen (In Anlagen mit Sicherheitsanforderungen wird sie sogar normativ gefordert). Es ist erforderlich, die geeignete Abstufung der Kurzschlussschutzeinstellungen der Schutzeinrichtungen für ersatzstromberechtigte Stromkreise zu überprüfen – von dem Haupteinspeiseschalter bis zur Schutzeinrichtung der Endstromkreise (da in Verteilstromkreisen der Einstellwert für I_m/I_{sd} üblicherweise $10 I_n$ beträgt).

Anmerkung: Im Generatorbetrieb ermöglicht der Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCDs) mit niedrigen Bemessungsdifferenzströmen oftmals erst die Einhaltung der Abschaltbedingungen (Fehlerstrom > Auslösestrom der Schutzeinrichtung) und eine einfache Selektivität zu vorgeschalteten Schutzeinrichtungen.

Personensicherheit

In IT-Systemen (2. Fehler) und TN-Systemen wird der Personenschutz bei indirektem Berühren durch den Kurzschlussauslöser der Leistungsschalter gewährleistet. Die Auslösung muss im Fehlerfall durch den Leistungsschalter sichergestellt sein, unabhängig davon, ob die Anlage über einen Transformator oder einen Generator gespeist wird.

Berechnung des Fehlerstromes bei einem Isolationsfehler

Die Nullreaktanz x'_0 wird herstellerseitig als Prozentsatz von U_0 angegeben. Der typische Wert beträgt 8 %.

Der einphasige Kurzschlussstrom zwischen Außenleiter und Schutzleiter wird bestimmt durch:

$$I_f = \frac{U_0 \sqrt{3}}{2 X'_d + X'_o} = \frac{230 \times \sqrt{3}}{(2 \times 30 + 8)} = 5,85 \text{ kA}$$

Der Fehlerstrom im TN-System bei einem Isolationsfehler ist geringfügig höher als der dreiphasige Fehlerstrom. Zum Beispiel beträgt bei Auftreten eines Isolationsfehlers im vorherigen Beispiel der Fehlerstrom 3 kA.

[Quelle: Planungskompodium Energieverteilung Wiki, Stand Januar 2016]