

Quelle: W. Hörmann (bei de Bilder)

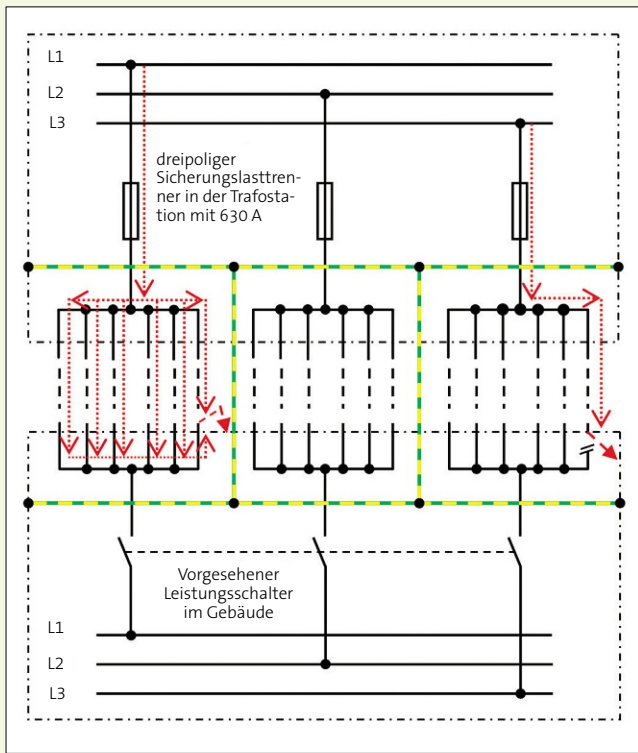


Bild 1: Eine gemeinsame Schutzeinrichtung (Sicherung) auf der Versorgungsseite für sechs parallelgeschaltete Leiter

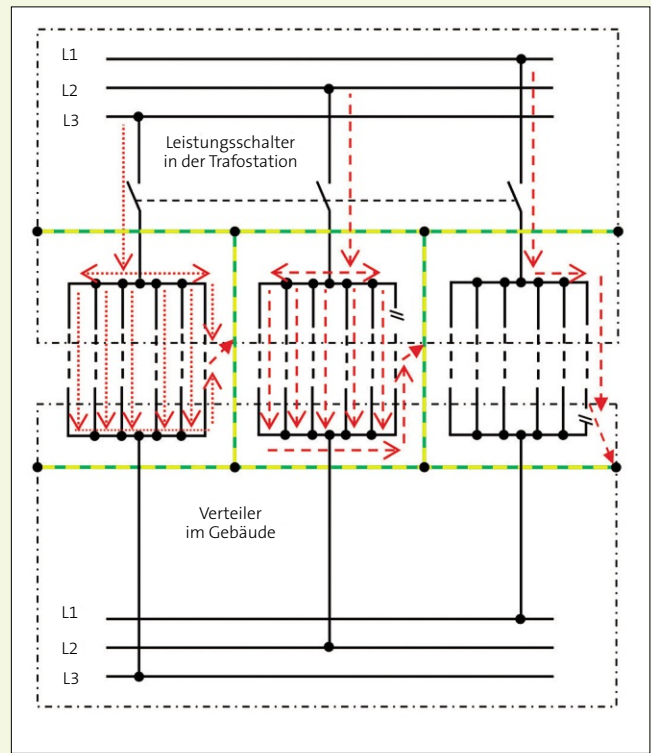


Bild 2: Eine gemeinsame Schutzeinrichtung (Leistungsschalter) auf der Versorgungsseite für sechs parallelgeschaltete Leiter

Beispiel aus der Praxis

Absicherung und Anschluss parallel verlegter Leiter

Die Absicherung parallel verlegter Kabel ist ein viel diskutiertes Thema. Anhand eines Neubaus, bei dem eine Trafostation ein großes Gebäude versorgen soll, widmet sich dieser Beitrag einiger grundsätzlicher Probleme.

Die im Folgenden betrachtete Anlagenkonstellation besteht laut Planer aus einem Einspeiseschrank mit Leistungsschalter, der alle parallelen Kabel zusammenfasst. Zur Parallelverlegung hat der Planer vor, sechs Kabel NYCWY mit je $4 \times 185 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ für L1, L2, L3 und N – mit Cu-Geflecht sowie 95 mm^2 für den Schutzleiter einzusetzen. Die Kabel sollen in einzelnen Rohren im Erdreich über eine Länge von 130m verlegt werden. Laut Berechnung mit einer Dimensionierungs-App ermittelte der Planer zunächst eine maximal mögliche Absicherung der Kabel mit je 160 A Gg. Er möchte außerdem in der Trafostation pro NH3-Trenner je zwei Kabel zusammen an-

schließen und mit 315 A absichern. Allerdings kommen bei ihm auch Zweifel auf, ob dies so möglich ist. Er befürchtet, dass beim Leiterbruch eines Kabels das zweite Kabel mit 315 A überlastet und ggf. die Sicherung nicht auslösen würde. Es gäbe allerdings die Möglichkeit, so hörte der Planer, bei der man jedes Kabel separat auf einem eigenen Trenner anschließen müsse und jeden Abgang dann mit 160 A absichern dürfe. Alternativ könne man die Kabel parallel auf dem NH3-Trenner in der Trafostation anschließen, dann aber im Gebäude wieder einzeln absichern.

Umriss der Problemstellung

Nach DIN VDE 0100-430 ist es möglich, den Schutz bei Überlast und Kurzschluss durch eine jedem Leiter der Parallelschaltung einzeln zugeordnete Schutzeinrichtung sowohl an der Versorgungs- als auch Verbraucherseite zu erfüllen.

Es ist aber auch zulässig, eine gemeinsame Schutzeinrichtung für alle parallel geschalteten Leiter an der Versorgungsseite vorzusehen.

Die eingangs vom Planer vorgeschlagene Variante ist normativ nicht vorgesehen. Eventuell wäre diese Variante möglich, wenn die Sicherungslasttrennschalter so gekoppelt wären, dass bei einem Kurzschluss alle parallel geschalteten Leiter von der Versorgung zeitgleich getrennt werden würden.

Ausführliche Problembehandlung

Die nachfolgenden Ausführungen dienen hier nur der allgemeinen Betrachtung. Insbesondere gilt das für die Bemessung der Querschnitte. Bezüglich der Verlegebedingungen gehen wir im Folgenden davon aus, dass jedes Kabel in einem Rohr in Erde über 130m verlegt wird. Zur weiteren Betrachtung des eingangs genannten Projekts wird der Autor einige fiktive Annahmen treffen, insbesondere was

Normen zum Beitrag

- DIN VDE 0100-430
- DIN VDE 0298-4
- Normen der Reihe DIN VDE 0100
- Beiblatt 5 von DIN VDE 0100

die Daten für die Verlegung im Gebäude sowie zur Gesamtleitungslänge betrifft. Anhand dieser Annahmen soll versucht werden, den Lesern verschiedene Wege aufzuzeigen, derartige Probleme zu lösen. Obwohl das Thema Parallelkabel in DIN VDE 0100-430 ausführlich behandelt wird, lassen sich mit diesen normativen Vorgaben trotzdem nicht alle Fälle lösen.

Festlegungen in DIN VDE 0100-430:2010-10

Im Abschnitt 433.4 von DIN VDE 010-430:2010-10 wird der Schutz bei Überlast von parallelen Kabeln/Leitungen behandelt. Der Abschnitt 434.4 derselben Norm behandelt den Schutz bei Kurzschluss von parallelen Kabeln/Leitungen. Darüber hinaus gibt es im informativen Anhang A von DIN VDE 010-430:2010-10 entsprechende Erläuterungen zu diesem Thema.

Möglichkeiten für den Schutz bei Überlast

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten, den Schutz bei Überlast sicherzustellen. Zunächst lässt sich der Schutz bei Überlast sicherstellen, indem jedem Leiter eine einzelne Schutzeinrichtung am Kabelanfang zugeordnet wird. Dies kann insbesondere bei unterschiedlichen Verlegebedingungen und/oder bei unterschiedlichen Querschnitten sinnvoll sein. Hierbei ist aber ggf. der Schutz bei Kurzschluss zu beachten. Bei einzeln zugeordneten Schutzeinrichtungen am Kabelanfang bzw. auch am Kabelende kann eine den Leitern einzeln zugeordnete Schutzeinrichtung für den Schutz bei Kurzschluss gefordert sein (siehe nachfolgende Ausführungen).

Als zweite Möglichkeit lässt sich der Schutz bei Überlast durch eine gemeinsame Schutzeinrichtung für alle parallelgeschaltete Leiter am Leitungsanfang realisieren. Hierzu ist im Abschnitt 433.4 von DIN VDE 010-430:2010-10 Folgendes festgelegt: »Wenn eine einzelne Schutzeinrichtung mehrere parallel geschaltete Leiter schützt, dürfen Abzweige und Einrichtungen zum Trennen und Schalten in den parallel geschalteten Leitern nicht vorhanden sein.« Der Abschnitt A.2 vom informativen Anhang A von DIN VDE 010-430:2010-10 präzisiert diese Aussage wie folgt: »Wenn in einem Stromkreis, der parallel geschaltete Leiter von Mehrleiterkabeln/-leitungen enthält, eine Überlast auftritt, wird der Strom in jedem Leiter im gleichen Verhältnis ansteigen. Unter der Voraussetzung, dass der Strom sich zwischen den parallel geschalteten Leitern gleichmäßig aufteilt, darf eine gemeinsame Schutzeinrichtung zum Schutz aller Leiter verwendet werden. Die Strombelastbarkeit der parallel geschalteten Leiter (I_L) ist die Summe der Strombelastbarkeit der einzelnen Leiter unter Beachtung des Fak-

tors für Häufung und anderer Faktoren.« Der Autor möchte an dieser Stelle darauf hinweisen, dass eine Stromaufteilung als ungleichmäßig gilt, wenn die Differenz zwischen den einzelnen Strömen mehr als 10% des Betriebsstroms für jeden Leiter beträgt.

Möglichkeiten für den Schutz bei Kurzschluss

Der Schutz bei Kurzschluss kann – analog zum Schutz bei Überlast – mit einzeln zugeordneten Schutzeinrichtungen für jeden einzelnen Leiter oder mit einer gemeinsamen Schutzeinrichtung für alle parallelgeschalteten Leiter erreicht werden. Betrachten wir zunächst ganz ausführlich den Schutz bei Kurzschluss mit einer gemeinsamen Schutzeinrichtung für alle parallelgeschalteten Kabel/Leitungen am Stromkreisanzug. Im Abschnitt 434.4 von DIN VDE 010-430:2010-10 ist hierzu Folgendes festgelegt: »Eine einzelne Schutzeinrichtung darf parallel geschaltete Leiter vor den Auswirkungen bei Kurzschluss schützen, vorausgesetzt, dass das Auslöseverhalten dieser Einrichtung ein wirksames Ansprechen sicherstellt, wenn ein Fehler an der kritischsten Stelle in einem der parallel geschalteten Leiter auftritt. Die Aufteilung der Kurzschlussströme zwischen den parallel geschalteten Leitern muss betrachtet werden. Ein Fehler kann von beiden Enden der parallel geschalteten Leiter gespeist werden.

Falls aber die Auslösung einer einzelnen Schutzeinrichtung nicht wirksam werden kann, muss eine oder es müssen mehrere der folgenden Maßnahmen angewendet werden:

a) Kabel/Leitungen müssen derart ausgewählt und verlegt werden, dass das Risiko eines Kurzschlusses in jedem der parallel geschalteten Leiter auf ein Minimum reduziert ist, z. B. durch einen Schutz gegen mechanische Beschädigung, und die Leiter müssen so verlegt sein, dass das Risiko eines Feuers oder eines Schadens von Personen auf ein Minimum reduziert ist.

b) Für zwei parallel geschaltete Leiter muss an der Versorgungsseite eines jeden parallel geschalteten Leiters eine Schutzeinrichtung zum Schutz bei Kurzschluss vorgesehen werden.

c) Für mehr als zwei parallel geschaltete Leiter muss an der Versorgungsseite und an der Lastseite eines jeden parallel geschalteten Leiters eine Schutzeinrichtung zum Schutz bei Kurzschluss vorgesehen werden.«

Ausführliches Beispiel zur Kabelbemessung

Im Folgenden soll nun ein Beispiel zur Bemessung der Kabel unter Berücksichtigung der Strombelastbarkeit und des Fehlerschutzes erläutert werden. Wir betrachten hier die Aus-

führung mit dem geringsten Aufwand, d. h. wir verwenden eine gemeinsame Schutzeinrichtung an der Versorgungsseite. Hierfür kann man Sicherungen oder einen Leistungsschalter vorsehen. **Bild 1** stellt schematisch die Konfiguration mit einer gemeinsamen Schutzeinrichtung »Sicherung« dar, während **Bild 2** dies für die Konfiguration mit einer gemeinsamen Schutzeinrichtung »Leistungsschalter« darstellt. Dabei wurden die Fehlervarianten von Bild 1 um die Fehlerkonfiguration im mittleren Abgang zu Bild 2 hinzugefügt.

In beiden Bildern soll nur der Körperschluss betrachtet werden, da dieser (fast) immer zum ungünstigsten Ergebnis führt. In beiden Ausführungen kann es bei einer Leiterunterbrechung und einem Körperschluss notwendig sein, nur die Impedanz von einem Hin- und Rückleiter zu berücksichtigen (siehe Bild 1 rechte Seite und Bild 2 Bildmitte und rechte Seite). Ob ein solcher »Doppelfehler« betrachtet werden muss, ist so nirgends in den Normen festgelegt. Üblicherweise geht man in den Normen der Reihe DIN VDE 0100 nur von einem Fehler aus. Auf das Thema Kurzschlussbetrachtung komme wir am Schluss dieses Beitrags noch einmal zurück.

Analyse der beiden Parallelkonfigurationen

Im Bild 1 ist auf der linken Seite ein Körperschluss (ohne Leiterunterbrechung) dargestellt. Hierbei könnte die Sicherung auf der Versorgungsseite – bei richtiger Zuordnung – immer auslösen, da die parallelgeschalteten Leiter mit auf den Fehler speisen. Im vorliegenden Fall wird die Abschaltung aber aufgrund der großen Kabellänge trotzdem nicht erfüllt, siehe nachfolgende Berechnungen. Auf der rechten Seite im Bild 1 ist der fehlerhafte Außenleiter unterbrochen und verursacht dabei einen Körperschluss. Hierbei kann die Schutzeinrichtung nur auslösen, wenn die Berechnung der Abschaltbedingung so durchgeführt wird, dass nur die Impedanz eines Kabels berücksichtigt wird. Die restlichen Leiter tragen also nicht zur Reduzierung der Fehlerschleifenimpedanz bei. Eine Abschaltung im eingangs genannten Fall kann sich ebenfalls nicht ergeben. Der dort vorgesehene Leistungsschalter im Gebäude kann dabei auch nicht auslösen. Daher wurde auf dessen Darstellung im Bild 2 verzichtet.

Auf der linken Seite des Bilds 2 ist ein Körperschluss dargestellt. Hierbei könnte der Leistungsschalter auf der Versorgungsseite – bei richtiger Zuordnung – wie im Bild 1 auslösen, was jedoch auf die eingangs genannte Konfiguration nicht zutrifft. In der Mitte des Bild 2 ist der fehlerhafte Außenleiter unterbrochen und verursacht dabei einen Körperschluss

(günstige Fehlerbetrachtung). Der Leistungsschalter könnte bei richtiger Zuordnung auslösen, was jedoch in diesem Anwendungsfall zu trifft. Auf der rechten Seite des Bilds 2 ist der fehlerhafte Außenleiter unterbrochen und verursacht dabei einen Körperschluss. Hierbei kann der Leistungsschalter nur auslösen, wenn bei der Berechnung der Abschaltbedingung nur die Impedanz von einem Hin- und Rückleiter berücksichtigt wird. In diesem Zusammenhang kann außerdem davon ausgegangen werden, dass eine Abschaltung nur bei sehr kurzen Leitungen erfolgen kann.

In allen drei Varianten wäre die Abschaltbedingung bei der eingangs genannten Konfiguration mittels Leistungsschalter – aufgrund der großen Kabellänge – nicht erfüllt (siehe auch unten folgende Berechnung). Es sei noch angemerkt, dass bei einem Leistungsschalter der »große Prüfstrom« (Auslösung im Überlastbereich) keine Rolle spielt. Somit darf der thermische Auslöser exakt auf die zulässige Strombelastbarkeit der Leiter eingestellt werden. Dafür wäre aber der erforderliche Abschaltstrom für das Auslösen des Leistungsschalters größer, was Einfluss auf die zulässige Leitungslänge hätte.

Überprüfung der Strombelastbarkeit der Kabel

Der eingangs erwähnte Hinweis des Planers auf eine Dimensionierung per »App«, wonach jedes Kabel mit 160 A Gg abgesichert werden darf, lässt sich schwer nachvollziehen. Diese namentlich nicht benannte App war laut Planer jedoch z. B. nicht in der Lage, die Häufung zu berücksichtigen. Grundsätzlich muss für eine Querschnittsermittlung die ungünstigste Verlegeart herangezogen werden. Die Länge der jeweiligen Verlegearten spielt dabei keine Rolle. Anhand der vorliegenden Angaben treffen drei Verlegearten zu:

- Verlegeart für Rohre im Erdreich: »D«
- Verlegeart für Verlegung an der Wand mit Abstand zur Wand: »E«
- Verlegeart für Kabelpritsche: »E« bzw. »F«.

Aus Tabelle 4 von DIN VDE 0298-4:2013-06 ergibt sich, dass die Erdverlegungen in Rohren die ungünstigste Verlegeart darstellt. Nach Angaben des Planers sind die Kabel einzeln in Rohren in Erde verlegt, wobei der Rohrabstand nicht bekannt bzw. definiert ist, und somit auch für eine Häufung nicht betrachtet werden kann. Allerdings sind diesbezüglich auch keine Faktoren in der DIN VDE 0298-4:2013-06 enthalten. Aus Tabelle 4 von DIN VDE 0298-4:2013-06 liest man eine Belastbarkeit von 243 A pro Kabel ab, so dass sich bei sechs Kabeln eine zulässige Belastbarkeit von $6 \cdot 243 \text{ A} = 1458 \text{ A}$ ergibt. Dieser Wert dürfte

ganz sicher bezüglich der Strombelastbarkeit genügen.

Verlegeart an der Wand mit Abstand zur Wand

Bei der Verlegeart E darf ein Kabel nach Tabelle 4 von DIN VDE 0298-4:2013-06 mit 364 A belastet werden. Unter Beachtung der möglichen Häufungsfaktoren aus Tabelle 21 von DIN VDE 0298-4:2013-06 von 0,72 bzw. 0,9, ergibt sich eine zulässige Belastbarkeit für die sechs Kabel von $364 \text{ A} \cdot 6 \cdot 0,72 = 1572 \text{ A}$ bzw. $364 \text{ A} \cdot 6 \cdot 0,9 = 1965 \text{ A}$. Dies wäre also auch ausreichend für eine Sicherung von 630 A.

Verlegeart auf Kabelpritschen

Bei der Verlegeart F beträgt die Strombelastbarkeit 409 A. Ausgehend davon, dass die Kabel ohne Abstand auf der Kabelpritsche verlegt sind, würde sich nach Tabelle 22 von DIN VDE 0298-4:2013-06 ein Reduktionsfaktor von 0,76 ergeben. Somit beträgt die zulässige Strombelastbarkeit bei Verlegeart E: $6 \cdot 364 \text{ A} \cdot 0,76 = 1659 \text{ A}$. Bei der Verlegeart F wären es hingegen $6 \cdot 409 \text{ A} \cdot 0,76 = 1851 \text{ A}$, was sicher auch für eine Sicherung 630 A ausreichend wäre.

Fassen wir also zusammen: Die Kabel wären unter Beachtung der drei Verlegearten bezüglich der Strombelastbarkeit ausreichend dimensioniert. Allerdings müssen wir uns nun noch Abschaltbedingungen näher ansehen.

Betrachtung der Abschaltbedingung

Kommen wir nun zum Fehlerschutz (Körperschluss) und Kurzschluss bei einer gemeinsamen Schutzeinrichtung. Auch hierzu kann in diesem Beitrag keine definitive Aussage getroffen werden. Dennoch möchte der Autor hier den Weg der Datenermittlung für die Abschaltbedingung beispielhaft aufzeigen.

Geht man von einem Bemessungsstrom bzw. Nennstrom der »gemeinsamen« Schutzeinrichtung von 630 A aus und legt die Variante mit Schutz durch Leistungsschalter zugrunde, dann müsste ein Abschaltstrom des Leistungsschalters von $10 \cdot \text{Nennstrom} + 20\%$ (Auslösetoleranz) $= 6300 \text{ A} + 20\% = 7560 \text{ A}$ zum Fließen kommen. Daraus ergibt sich, bezogen auf den Fehlerschutz (Körperschluss), eine max. zulässige Schleifenimpedanz von $230 \text{ V} / 7560 \text{ A} = 30,5 \text{ m}\Omega$.

Bei einer angenommenen Vorimpedanz (d. h. Trafo plus NS-Verteilung in der Trafostation) von ca. $15,5 \text{ m}\Omega$ – siehe auch Tabelle A.14 aus Beiblatt 5 von DIN VDE 0100:2017-10 – entfallen auf den Trafo $15,4 \text{ m}\Omega$, der Rest auf die Verbindungsleitungen Trafo bis Abgangsklemmen. Somit verbleibt für die Erdkabel und Verbindungsleitungen bis zum Einspeiseschrank im

Gebäude eine zulässige Impedanz von $15 \text{ m}\Omega$. Die Wahl eines größeren Transformators würde die nachfolgenden Ergebnisse im Übrigen nur unwesentlich beeinflussen

Für die Impedanz verwenden wir nun den Wert von $0,45 \text{ m}\Omega/\text{m}$ für ein Kabel $4 \times 185/95 \text{ mm}^2$ für einen Hin- und Rückleiter. Diesen Wert entnahm der Autor einer Tabelle, die aus seinen Unterlagen der Fa. Siemens stammt, welche er seinerzeit selbst erstellte. Damit ergibt sich eine Gesamtimpedanz der Kabelstrecke von $0,45 \text{ m}\Omega/\text{m} \cdot 150 \text{ m} = 67,5 \text{ m}\Omega$. Bei einer zulässigen Rest-Impedanz von $30,5 \text{ m}\Omega - 15,5 \text{ m}\Omega = 15 \text{ m}\Omega$ würde sich so eine Abschaltung nicht erreichen lassen.

Körperschluss ohne Unterbrechung des Außenleiters

Hierbei darf die sich ergebende Impedanz der sechs parallel geschalteten Kabel berücksichtigt werden. Somit ergibt sich: $0,45 \text{ m}\Omega/\text{m} / 6$ parallele Leiter $= 0,075 \text{ m}\Omega/\text{m}$. Bei 150 m Kabellänge ergibt sich hiermit eine Impedanz von $150 \text{ m} \cdot 0,075 \text{ m}\Omega/\text{m} = 11,25 \text{ m}\Omega$. Bei einer zulässigen Rest-Impedanz von $15 \text{ m}\Omega$ ergeben sich nur ca. $1,5 \text{ m}$, was nicht ausreichend ist.

Was passiert nun bei der Verwendung einer gemeinsamen Sicherung für je sechs parallelgeschaltete Leiter an der Versorgungsseite? Der Abschaltstrom für eine Sicherung von 630 A beträgt hierbei 5100 A – siehe Tabelle 3 von DIN EN 60259-1 (VDE 0636-1):2015-05. Daraus ergibt sich: $230 \text{ V} / 5100 \text{ A} = 45,1 \text{ m}\Omega - 15,5 \text{ m}\Omega$ (Vorimpedanz). Somit verbleiben für die Kabelstrecken noch $29,6 \text{ m}\Omega$. Bei einer Impedanz von $0,45 \text{ m}\Omega/\text{m}$ (Kabelwerte eines $185/95 \text{ mm}^2$ für einen Hin- und Rückleiter – Wert entnommen aus Unterlagen der Fa. Siemens) ergibt sich, bei Betrachtung des Körperschlusses ohne Unterbrechung des Außenleiters, dass die Impedanz der sechs parallel geschalteten Kabel berücksichtigt werden darf. Somit ergibt sich für die Impedanz der Parallelschaltung: $0,45 \text{ m}\Omega/\text{m} / 6 = 0,075 \text{ m}\Omega/\text{m}$. Bei einer zulässigen Rest-Impedanz von $29,6 \text{ m}\Omega$, ergeben sich demnach $29,6 \text{ m}\Omega / 0,075 \text{ m}\Omega/\text{m} = 394 \text{ m}$, was sicher ausreichend wäre für die eingangs genannte Planung.

Körperschluss mit Unterbrechung des Außenleiters

Hierbei darf nur die Impedanz eines Kabels berücksichtigt werden. Bei einer zulässigen Rest-Impedanz von $29,6 \text{ m}\Omega$, ergeben sich demnach $29,6 \text{ m}\Omega / 0,45 \text{ m}\Omega/\text{m} = 66 \text{ m}$, was nicht ausreichend wäre für die eingangs genannte Planung.

Es gibt auch andere Möglichkeiten für den Schutz bei Kurzschluss/Körperschluss mittels jedem Leiter einzeln zugeordneter Schutzrichtungen. Bei der Anwendung von Abschnitt

Quelle: W. Hörmann

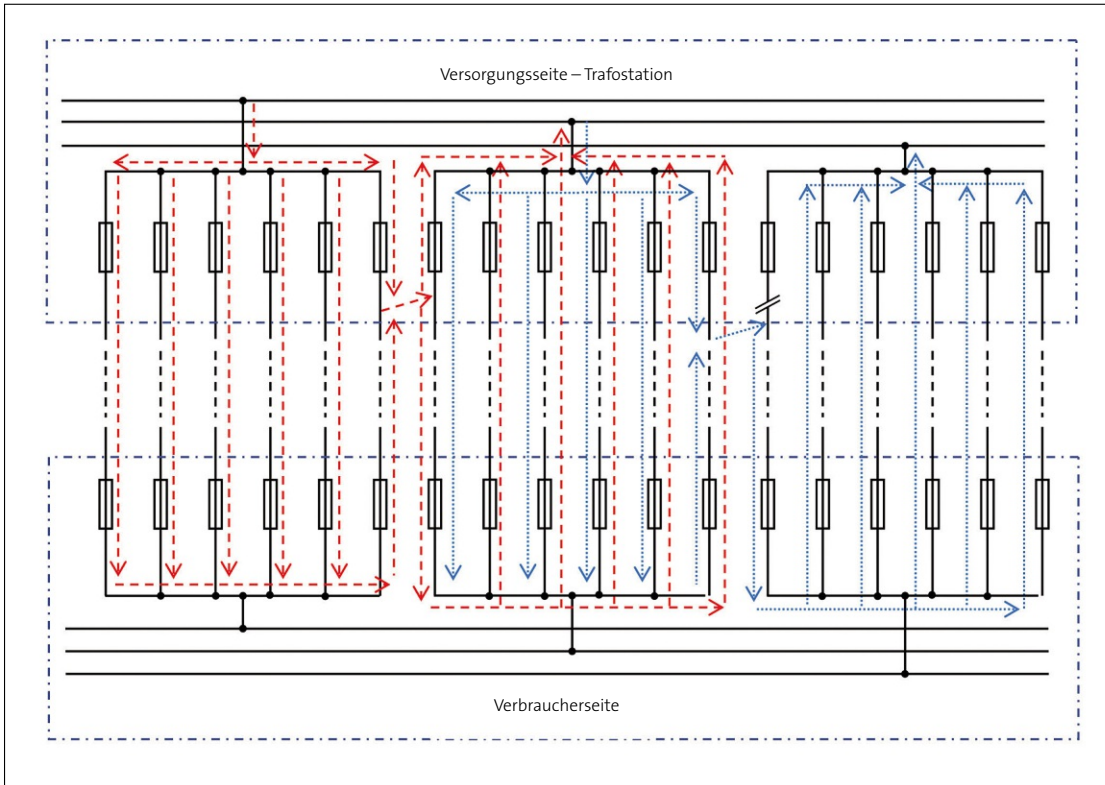


Bild 3: Schutz der parallelgeschalteten Kabel/Leitungen bei Kurzschluss durch einzeln zugeordnete Schutzeinrichtungen, hier Sicherungen 125 A, am Leitungsanfang und Leitungsende

Quelle: W. Hörmann

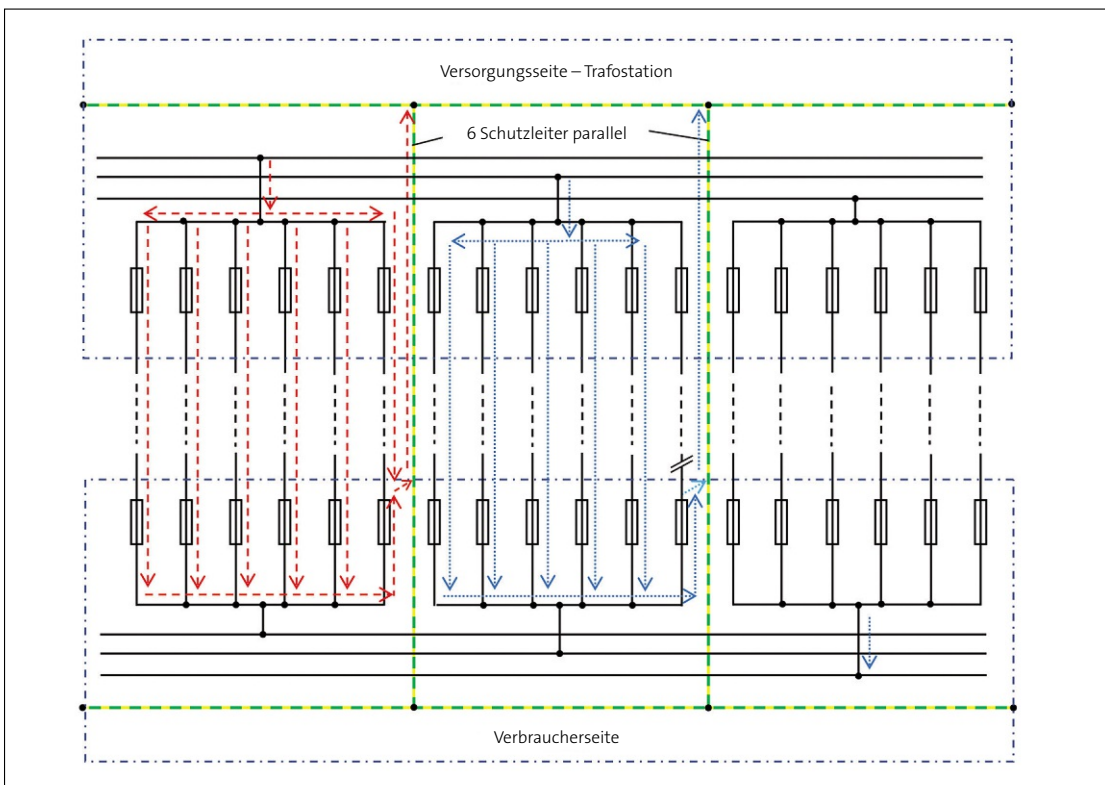


Bild 4: Schutz der parallelgeschalteten Kabel/Leitungen bei Körperschluss durch einzeln zugeordnete Schutzeinrichtungen, hier Sicherungen 125 A, am Leitungsanfang und Leitungsende

434.4c) von DIN VDE 010-430:2010-10 wären sechs Lasttrennschalter mit insgesamt 18 Sicherungen auf der Versorgungsseite und sechs Lasttrennschalter mit 18 Sicherungen auf der Lastseite nötig. Allerdings kann es auch bei der Anwendung des Abschnitts 434.4c) von DIN VDE 010-430:2010-10 zu Problemen kommen. Dies

ist z.B. der Fall, wenn in einem Leiter durch die beiden Sicherungen am Leitungsanfang und -ende ein Körperschluss abgeschaltet wird. Dann muss der notwendige Betriebsstrom über die restlichen »gesunden« Außenleiter zum Fließen kommen, was ggf. zu einer Überlastung dieser Leiter führen kann. Daher enthält der Ab-

schnitt A.3 des informativen Anhangs A von DIN VDE 010-430:2010-10 im Bild A.5 den Vorschlag für gekoppelte Schutzeinrichtungen auf der Versorgungsseite.

Bezüglich der Einzelschutzeinrichtungen beziehen wir uns nun auf die Bilder A.3 und A.4 aus DIN VDE 0100-430:2010-10, die in diesem

Beitrag aber durch die **Bilder 3 und 4** ersetzt werden sollen, um auch den möglichen »Doppelfehler« aufzuzeigen. Im Bild 3, links, sieht man den Kurzschluss zwischen zwei Außenleitern (rote Linien). Die Abschaltbedingung ist hier erfüllt, da der Fehlerstrom sich aufteilt auf die sechs Leiter. Außerdem beträgt die Spannung 400 V (siehe hierzu Berechnung unten). Im Bild 3, rechts, ist der Kurzschluss zwischen zwei Außenleitern mit blauen Linien dargestellt, sowie die Unterbrechung an einem fehlerbehafteten Leiter. Die Abschaltbedingung wird hier erfüllt, da die Spannung 400 V beträgt, auch wenn der Rückfluss nur über n-1 Leiter oder – wie in der weiter unten stehenden Berechnung – nur über einen Leiter möglich ist.

Bild 4 stellt links den Körperschluss ohne Leiterunterbrechung mit roten Linien dar. Die Abschaltbedingung ist erfüllt, da der Fehlerstrom sich aufteilt auf die sechs Leiter (siehe nachfolgende Berechnung). Der rechte Teil des Bilds 4 zeigt einen Körperschluss mittels blauer Linien sowie die Unterbrechung an einem fehlerbehafteten Leiter. Auch hier sind die Abschaltbedingungen erfüllt.

Leiterunterbrechung und Körperschluss

Das Problem Leiterunterbrechung und Körperschluss wird in der Norm nicht angesprochen. Bei den Bildern A.3 und A.4 aus DIN VDE 0100-430:2010-10 ist nicht zu erkennen, ob es sich um einen Körperschluss handelt oder um einen Kurzschluss zwischen zwei Außenleitern. Da es wenig Sinn ergibt, die Fehlerbetrachtung zu den Bildern mit eigenen Worten wiederzugeben, erlaubt sich der Autor, die Fehlerbetrachtung aus DIN VDE 0100-430:2010-10 hier einzufügen: »Bild A.3 zeigt, dass ein Überstrom in den Leitern 1, 2 und 3 fließt, wenn ein Fehler im parallel geschalteten Leiter 3 an der Stelle x auftritt. Das Ausmaß des Überstroms und der Anteil des Überstroms, der über die Schutzeinrichtungen cs und cl fließen wird, hängt vom Ort der Fehlerstelle ab. In diesem Beispiel ist angenommen worden, dass der höchste Anteil des Überstroms durch die Schutzeinrichtung cs fließt. Bild A.4 zeigt, dass nach Ansprechen von cs der Strom zur Fehlerstelle x weiter über die Leiter 1 und 2 fließen wird. Weil die Leiter 1 und 2 parallel geschaltet sind, könnte der sich aufteilende Strom durch die Schutzeinrichtungen as und bs nicht ausreichend sein, um die Schutzeinrichtung in der geforderten Zeit zum Ansprechen zu bringen. Für diesen Fall ist die Schutzeinrichtung cl notwendig. Es sollte beachtet werden, dass der Strom, der durch cl fließt, kleiner sein wird als der Strom, der cs zum Ansprechen bringt. Wenn die Fehlerstelle nah genug bei cl liegt, wird cl zuerst ansprechen. Die gleiche Situation würde bestehen, wenn ein Fehler in den Leitern 1 oder 2

auftritt, darum sind die Schutzeinrichtungen al und bl gefordert. Das Verfahren mit den Schutzeinrichtungen an beiden Enden hat zwei Nachteile im Vergleich zu dem Verfahren, bei dem die Schutzeinrichtungen nur an der Versorgungsseite vorgesehen sind. Erstens: Wenn ein Fehler in x durch das Auslösen der Schutzeinrichtungen in cs und cl beseitigt wird, dann wird der Stromkreis weiter betrieben, wobei die Last von den Leitern 1 und 2 getragen werden muss. Folglich könnte der Fehler und die daraus entstehende Überlastung von Leiter 1 und 2, abhängig von der Fehlerimpedanz, nicht erkannt werden. Zweitens: Der Fehler an der Stelle x kann zum Abbrennen des Leiters zwischen cl und x führen, wodurch die Fehlerstelle unentdeckt und weiterhin unter Spannung bleibt.«

Kurzschluss ohne Unterbrechung

Ungeachtet dieser oben beschriebenen Problematik versucht der Autor hier, mit Bezug auf Bilder 3 und 4, eine Berechnung durchzuführen. Im Folgenden geschieht dies nun für drei Varianten. Hierzu ergeben sich folgende Schritte:

- Abschaltstrom für Sicherung 125 A → 715 A (nach Tabelle A.14 aus Beiblatt 5 DIN VDE 0100:2017-10)
 - Max. zulässige Impedanz → $400\text{ V} / 715\text{ A} = 559\text{ m}\Omega$
 - Impedanz eines Kabels 185 mm^2 → $0,33\text{ m}\Omega/\text{m}$, für beide Leiter (Hin- und Rückleiter, Wert aus Siemens-Unterlagen).
- Wegen der Parallelschaltung beträgt die Impedanz nur noch $1/6$, d.h. $0,33\text{ m}\Omega/\text{m}/6 = 0,055\text{ m}\Omega/\text{m}$. Daraus ergibt sich eine zulässige Länge von $559\text{ m}\Omega / 0,055\text{ m}\Omega/\text{m} = 10\,163\text{ m}$.

Abschaltung bei Kurzschluss mit Unterbrechung eines Leiters

Hierzu ergeben sich folgende Schritte:

- Abschaltstrom für Sicherung 125 A → 715 A nach
- Max. zulässige Impedanz → $400\text{ V} / 715\text{ A} = 559\text{ m}\Omega$
- Impedanz eines Kabels 185 mm^2 → $0,33\text{ m}\Omega/\text{m}$, für beide Leiter aus (Wert aus Siemens-Unterlagen).

Hierbei kann der Kurzschlussstrom in den Rückleitern nur über fünf parallele Leiter zum Fließen kommen. Da die Ermittlung der Impedanz etwas aufwendiger ist, hat der Autor vereinfacht nur mit der Impedanz eines Leiters gerechnet. Daraus ergibt sich eine zulässige Länge von $559\text{ m}\Omega / 0,33\text{ m}\Omega/\text{m} = 1\,693\text{ m}$, so dass die Abschaltbedingung auf alle Fälle erfüllt wäre.

Abschaltung bei Körperschluss ohne Unterbrechung

Hierzu ergeben sich folgende Schritte:

- Abschaltstrom für Sicherung 125 A → 715 A

- Max. zulässige Impedanz → $230\text{ V} / 715\text{ A} = 321\text{ m}\Omega$
- Impedanz eines Kabels $185/95\text{ mm}^2$ → $0,45\text{ m}\Omega/\text{m}$, für beide Leiter (Hin- und Rückleiter).

Wegen der Parallelschaltung beträgt die Impedanz nur noch $1/6$, d.h. $0,33\text{ m}\Omega/\text{m}/6 = 0,075\text{ m}\Omega/\text{m}$. Daraus ergibt sich eine zulässige Länge von $321\text{ m}\Omega / 0,075\text{ m}\Omega/\text{m} = 4\,280\text{ m}$.

Abschaltung bei Körperschluss mit Unterbrechung eines Leiters

Hierzu ergeben sich folgende Schritte:

- Abschaltstrom für Sicherung 125 A → 715 A
- Max. zulässige Impedanz → $230\text{ V} / 715\text{ A} = 321\text{ m}\Omega$
- Impedanz eines Kabels $185/95\text{ mm}^2$ → $0,45\text{ m}\Omega/\text{m}$, für beide Leiter.

Wegen der Parallelschaltung beträgt die Impedanz etwas mehr als $1/6$, weil in einem Außenleiter eine Unterbrechung vorliegt. Somit ergibt sich also eine etwas kürzere zulässige Länge gegenüber ohne Leiterunterbrechung.

Weitere Lösungsmöglichkeiten

Bezüglich der im Abschnitt A.3 empfohlenen gegenseitigen Überwachung der Schutzeinrichtungen könnten ggf. sechs kleinere Leistungsschalter (z.B. mit 125 A) mit Unterspannungsauslöser an der Versorgungsseite vorgesehen werden. Beim Ansprechen eines Leistungsschalters müssten die anderen Leistungsschalter über die Unterspannungsauslöser mit abgeschaltet werden. Bei dieser Konfiguration kann die Abschaltbedingung auch erfüllt werden.

Außerdem bietet sich der Abschnitt 434.4a) von DIN VDE 010-430:2010-10 an, d.h. die Verbindungen erd- und kurzschlussicher auszuführen. Die notwendigen Anforderungen zur erd- und kurzschlussicheren Verlegung sind im Abschnitt 521.11 von DIN VDE 0100-520:2013-06 enthalten. Die Verlegung einadriger Kabel dürfte hierfür die einfachste Variante sein. ●

FÜR SCHNELLESER

Die **parallele Verlegung von Kabeln** dient dem Zweck der Querschnittserhöhung zur Erhöhung der Leistungsübertragung

Probleme im Fehlerfall sind möglich und daher durch eine planerische Überprüfung bzw. Berechnung zu vermeiden

Autor:

Werner Hörmann,
Autor der Rubrik Praxisprobleme,
Wendelstein