

# Maximaler Kurzschlussstrom von USV-Anlagen

**NETZAUSFALL: ABSCHALTBEDINGUNG IM FEHLERFALLE** Der Autor versucht Lösungen für die Ermittlung eines maximalen Kurzschlussstromes einer USV im Batteriebetrieb – ohne zusätzliche Unterstützung durch z. B. einen Notstromdiesel – zu erarbeiten. Er geht von Fällen aus, in denen selbst die Hersteller hierzu keine Lösungsvorschläge parat haben. Die Lösungssuche erfolgt unter den Vorgaben der Schutzziele in den Normen, um einen funktionierenden USV-Betrieb auch im Fehlerfall zu erreichen.



## AUF EINEN BLICK

**SCHUTZ GEGEN ELEKTRISCHEN SCHLAG** Es werden einige Konstellationen gezeigt, in denen der Planer die Risiken besser vorher abschätzen sollte

**ABSCHALTBEDINGUNGEN** Sind sie wirklich immer zu erreichen?

Unser Leser M. W., der in einem bayrischen Medienunternehmen beschäftigt ist, wandte sich mit folgender Fragestellung an die Redaktion »de«: »Wir beschäftigen uns mit der Stromversorgung der betriebstechnischen Anlagen, die zur Verbreitung des terrestrischen Ausgangssignales wie Rundfunk und Fernsehen benötigt werden. Diese Diesel- und USV-gestützten Anlagen sind mit einer sehr hohen Anlagenverfügbarkeit projektiert. Sie werden standortabhängig in Größenordnungen von 20 ... 100 kVA eingesetzt. Diese USV-Anlagen versorgen USV-Unterverteilungen, an denen die zu versorgenden Stromkreise über Abgangssicherungen – meist Automaten – angeschlossen sind (Bild 1).



## INFOS

### Normen zum Thema

- DIN VDE 0100-410
- DIN VDE 0100-430
- DIN VDE 0100-551
- DIN VDE 0100-540
- DIN EN 62040-1 (VDE 0558-510)

*Unsere Fragen beziehen sich auf den Kurzschlussfall bzw. den Kurzschlussstrom den eine USV-Anlage liefern soll.*

*Der erste Fall wäre: vorhandenes Netz und Kurzschluss innerhalb eines von der USV versorgtem Betriebsmittel. Die Folge davon wäre, dass sich die USV in internen Bypass schalten und der Kurzschlussstrom über das vorhandene Netz fließen würde. Dies hätte ein Abschalten der vorgeschalteten Sicherung zur Folge, soweit die Fehlerschleife niederohmig genug ist.*

*Im zweiten Fall käme es zu einem Netzausfall. Wir nehmen einmal an, dass sich die Anlage nur im USV-Betrieb befindet, also ohne Dieselunterstützung, z. B. wegen eines technischen Defekts. In diesem Zustand kommt es zu einem Kurzschluss an einem Betriebsmittel, der durch die USV gestützt wird.*

*Nun meine Frage: Wie lassen sich hier die Abschaltbedingungen einhalten? Gibt es da entsprechende Herstellervorgaben bzw. Normen?*

*Bei dem zur Abschaltung erforderlichen Kurzschlussstrom ist der Ladezustand der Akkus zu berücksichtigen sowie die Auslastung der Anlage. Ist die Anlage z. B. im Notbetrieb bereits zu 80 % ausgelastet, wird sie keinen relevanten Kurzschlussstrom mehr liefern können. Wie sollten die Stromkreise ab-*

*gesichert werden bezüglich des verringerten Kurzschlussstroms?*

*Kann man den Kurzschlussstrom im USV-Betrieb messtechnisch ermitteln?*

*Und wie verhält es sich bei dreiphasigen USV-Anlagen im Kurzschlussfall? «*

## Späterer Betrieb erfordert frühe Planung des Fehlerfalls

Für die Ermittlung eines maximalen Kurzschlussstromes einer USV im Batteriebetrieb (ohne zusätzliche Unterstützung durch z. B. einem Notstromdiesel) kann ich hier keine Lösung anbieten. Ich gehe aber auch davon aus, dass selbst die Hersteller hierzu keine Lösungsvorschläge haben. Ich versuche daher aus meiner Sicht – unter den Vorgaben der Schutzziele in den Normen – einen brauchbaren Lösungsweg zu finden, um einen funktionierenden USV-Betrieb auch im Fehlerfall zu erreichen.

Fakt ist, dass M. W. ein Problem anspricht, welches in den letzten Jahren immer häufiger aufgetreten ist und auch noch auftritt, da es derzeit normativ noch keine »brauchbaren« Festlegungen gibt. Aber im Gegensatz zum Abfrager, machen sich die meisten Planer oder Anwender darüber keine Gedanken. Schließlich wird eine USV ausgewählt, damit es möglichst keine Versorgungsunterbrechungen gibt. Einen Kurzschluss oder gar einen Körperschluss darf es – nach deren Meinung – einfach nicht geben.

Zwar gibt es auch bei Niederspannungstromerzeugungsanlagen (Ersatzstromerzeuger) ähnliche Probleme, diese können aber durch eine entsprechende Planung auf einfache Weise gelöst werden, und sei es durch den Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs).

## Normenlage und Praxis

Leider sind die normativen Festlegungen bezüglich USV derzeit noch sehr unbefriedigend. Besser gesagt, es gibt hierzu – wie bereits erwähnt – keine brauchbaren Festlegungen. Zwar gibt es die DIN VDE 0100-551 (VDE 0100-551):2011-06, in deren Anwendungsbereich auch »netz- und selbstgeführte statische Umrichter mit oder ohne Umgehungseinrichtungen« mit angeführt sind, aber mehr als allgemeine Anforderungen findet man darin nicht. Auch die Betriebsmittelnormen für USV-Anlagen, z. B. DIN EN 62040-1 (VDE 0558-510) und die anderen Normen der Reihe VDE 0558, enthalten diesbezüglich keine relevante Aussagen.

Problematisch ist auch, dass von den meisten USV-Herstellern die Ausführungen schaltungstechnisch nur sehr schematisch dargestellt sind. So ist z. B. im Bild 1 nicht zu erkennen, ob der »N« (der im Zwischenkreis ein M sein müsste) mit dem Netzneutralleiter verbunden ist. Ohne diese Verbindung ist ein »Batteriebetrieb« mit unsymmetrischen Verbrauchern nicht möglich.

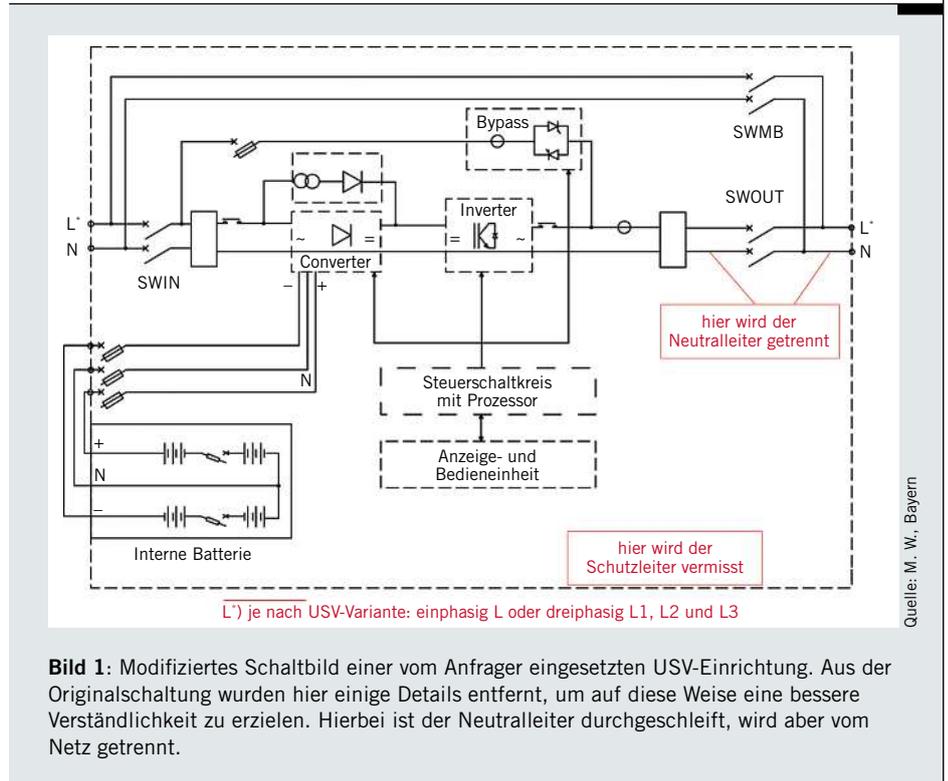
Eines haben aber die meisten Darstellungen der Hersteller gemeinsam: Es wird zwar manchmal ein Schutzleiter dargestellt, welcher aber mit der Batterieversorgung keine Verbindung aufweist. Somit kann im reinen USV-Batteriebetrieb – bei geöffneten/abgeschaltetem Netz – kein Fehlerstrom zur Stromquelle (Batterie) zurückfließen. Auch bezüglich unsymmetrischer Verbraucher kann es größere Probleme geben (s. u.).

Die hier im Beitrag verwendeten **Bilder 2 bis 4** sind nur als schematische Darstellung gedacht, ohne dass Details aufgezeigt werden. Es ist sehr wahrscheinlich, dass es seitens der USV-Hersteller auch andere Schaltungskonzepte gibt.

## Ermittlung des maximal möglichen Kurzschlussstroms

Aber es ergeben sich nicht nur bei der Ermittlung des maximal möglichen Kurzschluss-/ Fehlerstroms Probleme, sondern auch Probleme bezüglich des Fehlerschutzes – sprich: Schutz gegen elektrischen Schlag.

Grundsätzlich darf daher nicht nur der Schutz bei Kurzschluss (Kurzschluss zwischen Außenleitern oder einem Außenleiter und einem Neutralleiter – so wie bei M-W. angeführt –, sondern muss vor allem auch der Fehlerschutz (der bisher als Schutz bei indirektem Berühren bezeichnet wurde) betrachtet werden.



**Bild 1:** Modifiziertes Schaltbild einer vom Anfrager eingesetzten USV-Einrichtung. Aus der Originalschaltung wurden hier einige Details entfernt, um auf diese Weise eine bessere Verständlichkeit zu erzielen. Hierbei ist der Neutralleiter durchgeschleift, wird aber vom Netz getrennt.

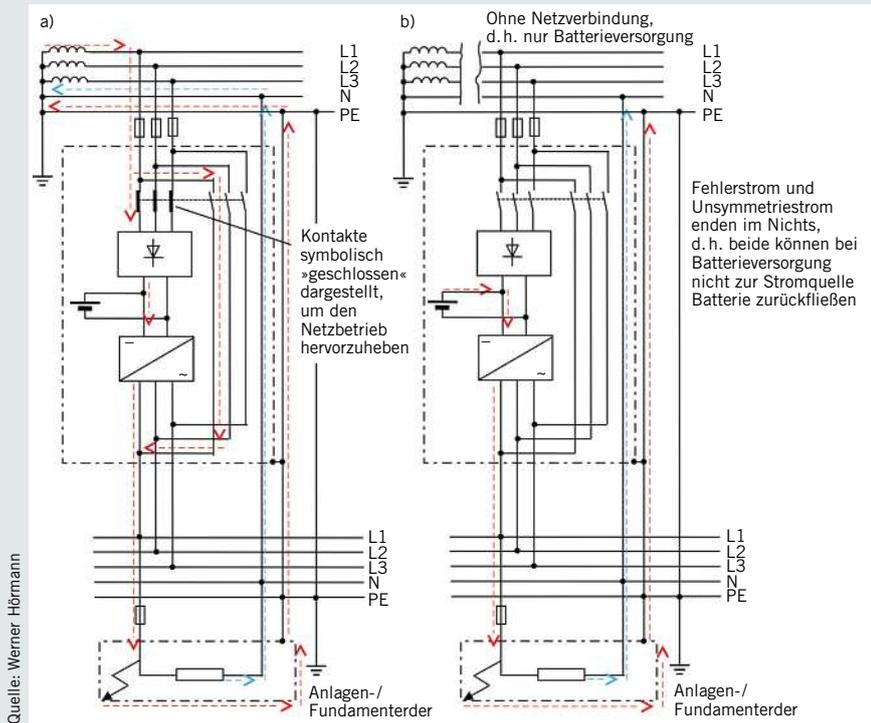
Der Schutz bei Kurzschluss kann – außer in feuergefährdeten Bereichen – weitestgehend durch eine Dimensionierung der Kabel/Leitungen nach Überlast (koordinierter Schutz nach Abschnitt 435.1 von DIN VDE 0100-430 (VDE 0100-430):2010-10)) realisiert werden. Hierbei müssen die Querschnitte den Schutzeinrichtungen so zugeordnet werden, dass es nicht zu einer unzulässigen Erwärmung der Leiter kommen kann. Und zwar unabhängig davon, welcher Fehler-/Kurzschlussstrom zum Fließen kommt. Es darf also weder beim größten Kurzschlussstrom noch bei einem sehr kleinem Kurzschlussstrom/Überlaststrom, (der ggf. auch unterhalb des kleinen Prüfstromes liegt, welcher bei Leitungsschutzschaltern z. B. bei  $1,13 \cdot I_n$  liegt), wenn eine Auslösung des Leitungsschutzschalters nicht erfolgt, zu keiner unzulässigen Erwärmung der betreffenden Leiter kommen.

Bei dieser Zuordnung müsste daher, z. B. bei einem Leitungsschutzschalter 16A, eine Leitung ausgewählt werden, die sich für  $16A \cdot 1,45 = 23,2A$  eignet. Diese Leitung muss diese 23,2A dauernd führen können. Dieses Problem wird im Abschnitt 433.1 von DIN VDE 0100-430 (VDE 0100-430) nun deutlich herausgestellt. Dort ist festgelegt, dass der Schutz der Leitung bei der üblichen Zuordnung ( $I_2 \leq 1,45$ ) nicht immer sichergestellt ist, wenn Überströme kleiner als  $I_2$  über längere Zeit auftreten. Bei einer solchen Zuordnung (koordinierter Schutz) wäre es auch

nicht relevant, ob die USV mit Netzunterstützung betrieben wird oder der Strom nur aus einer Batterie kommt. Auch der Ladezustand der Batterie wäre diesbezüglich nicht von Bedeutung.

## Fehlerschutz: Schutz bei indirektem Berühren

Probleme gibt es aber beim Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren). Solange das Netz vorhanden ist (siehe hierzu Bild 2a), werden vermutlich auch entsprechend ausgewählte Leitungsschutzschalter, bei entsprechend ausgewählten Leiterquerschnitten, einen Stromkreis mit einem fehlerhaften Verbrauchsmittel (Körperschluss) in der nach Tabelle 41.1 vorgegebenen Zeit (für TN-Systeme bis 32A in 0,4s), maximal in 5s abschalten können. Insbesondere durch die automatisch zuschaltende Umgehung. Allerdings ist zu beachten ist, dass für Steckdosenstromkreise bis 20A auch hinter USV-Anlagen, Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom  $\leq 30mA$  vorzusehen sind. Gewisse Ausnahmen bezüglich eines zusätzlichen Schutzes durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom  $\leq 30mA$  kann es nur geben, wenn ein IT-System zur Anwendung kommt und/oder eine dauernde Überwachung der elektrischen Anlage und Betriebsmittel zutrifft.



Quelle: Werner Hörmann

**Bild 2 a, b:** a) Körperschluss an einem Verbrauchsmittel: Durch die Netzverbindung und die Umgehung wird – bei richtiger Dimensionierung – der erforderliche Abschaltstrom der Schutzeinrichtung zum Fließen kommen. Auch unsymmetrische Verbraucher funktionieren; b) Körperschluss an einem Verbrauchsmittel: USV im Batteriebetrieb (ohne Netz)

Leider wird bei Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) immer wieder angeführt, dass es zu Fehlauflösungen kommt, was ich persönlich für sehr übertrieben betrachte. Daher wird der Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) vielfach abgelehnt, was aber – wie oben erwähnt – nur sehr eingeschränkt zulässig ist. Siehe hierzu auch die Verlautbarung auf der DKE-Web-Seite: [www.dke.de](http://www.dke.de) → Service → Installations-technik → Seiten → Verlautbarung zu DIN VDE 0100-410.

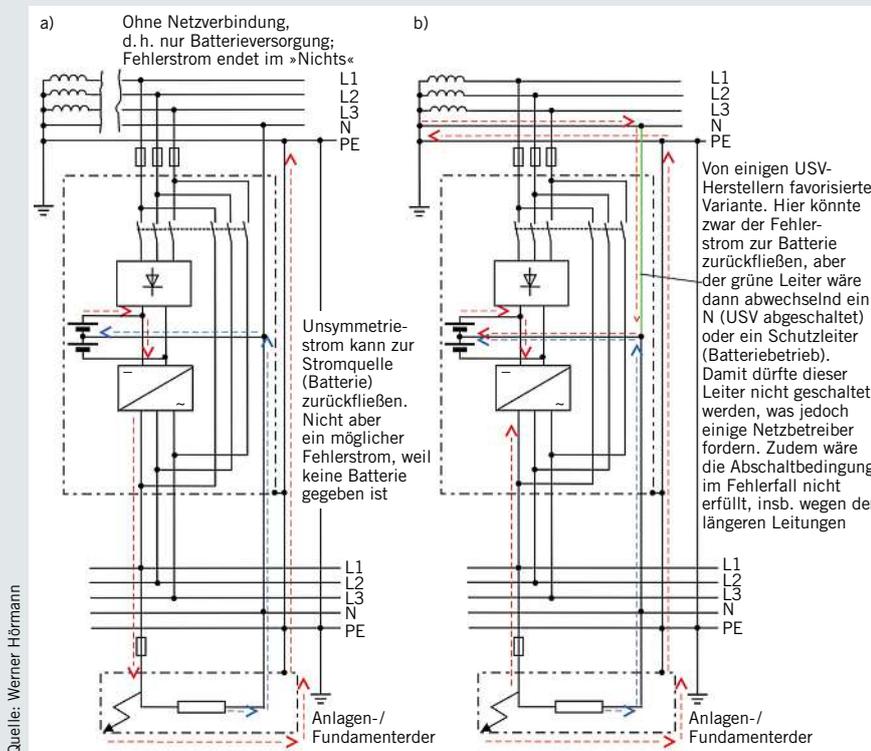
### Betrachtung verschiedener Netzsysteme und Fehlerquellen

Wenn also das Netz vor der USV nicht zur Verfügung (abgeschaltet/getrennt) ist, wird es problematisch. Bei vielen USV-Ausführungen – auch bei der von M.W. verwendeten Ausführung (Bild 1) – ergibt sich bei Batteriebetrieb, dass im Fehlerfall ein geschlossener Fehlerstromkreis nicht realisiert wird (siehe Bild 2b). Ohne Netzverbindung ergibt sich im Batteriekreis und im Wechselrichter-Ausgang ein ungeerdetes System, also ein IT-System.

Ein IT-System wäre als solches zwar nicht verwerflich – eigentlich hinter einer USV sogar zu bevorzugen – dafür wäre aber eine Isolationsüberwachung und Abschaltung beim zweiten Fehler notwendig. Diese Isolationsüberwachung würde aber im Netzbetrieb (bei einem geerdeten Netz) eine Meldung generieren, was problematisch wäre, da dauerhaft eine Meldung anstehen würde. Außerdem würde es aber auch hierbei einige Probleme bei der notwendigen automatischen Abschaltung bei einem zweiten Fehler an einem anderen Außenleiter und anderem Verbrauchsmittel geben.

Wie oben schon einmal erwähnt, ist in dem von M.W. beigefügtem Schaltbild der USV (Bild 1) unklar, ob der durchgeschleifte Netzneutralleiter eine Verbindung mit dem »M« der Batterie aufweist, so wie im Bild 2b aufgezeigt. Ansonsten könnten im reinen USV-Betrieb (ohne Netzverbindung) unsymmetrische Verbraucher nicht versorgt werden. Auch der Fehlerschutz ist hierbei nicht wirksam.

Betrachtet man nun das Bild 3a, so erkennt man, dass auch bei voller Batterie der Fehlerstrom nicht zur Stromquelle Batterie zurückfließen kann. Daher ist hier kein Schutz gegen elektrischen Schlag gegeben. In dieser Konfiguration darf aber der zusätzliche Schutzpotentialausgleich nicht angewendet werden, da die Voraussetzungen für



Quelle: Werner Hörmann

**Bild 3 a, b:** a) stellt den Körperschluss an einem Verbrauchsmittel dar, der über eine USV im Batteriebetrieb (ohne Netz) betrieben wird; b) Zeigt die fragwürdige Konfiguration, die bei einigen USV-Herstellern vertrieben wird und aus Sicht des Autors eine Gefahr darstellt, falls der Netzbetreiber die Anlage von der Versorgung trennt

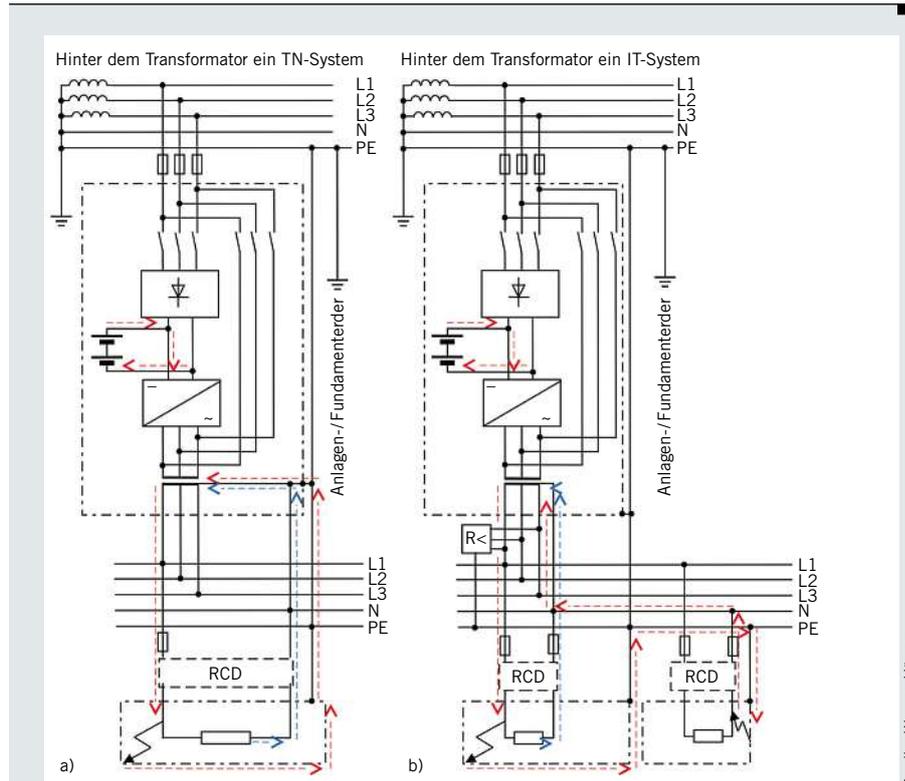
die automatische Abschaltung überhaupt nicht vorgesehen sind.

## Einige Besonderheiten im IT-System

Ein weiteres Problem ergibt sich bei allen USV-Anlagen, bei denen ein IT-System auftreten kann bzw. gewünscht ist. Das liegt daran, dass Betriebsmittel/Verbrauchsmittel, die zwischen einem Außenleiter und dem Neutralleiter angeschlossen sind, für die Spannung bemessen sein müssen, die im betreffenden Außenleiter gegen Erde auftreten kann, wenn ein anderer Außenleiter Erd- oder Körperschluss hat. Bei dieser Spannung muss man dann normalerweise von 400V gegen Erde ausgehen. Elektrische Betriebsmittel/Verbrauchsmittel sind aber meist nur für 250V gegen Erde isoliert.

Die einzige brauchbare Lösung, aus meiner Sicht, wäre – sowie von einigen wenigen USV-Herstellern praktiziert – am USV-Ausgang eine galvanische Trennung zu realisieren. Hinter dieser galvanischen Trennung lässt sich dann ein TN-System realisieren, (siehe Bild 4a). Ein TN-System weist allerdings nicht die hohe Verfügbarkeit wie ein IT-System auf, weil ein erster Fehler im TN-System sofort abgeschaltet werden muss. Um die Abschaltbedingung auch bei reinem USV-Batteriebetrieb zu erfüllen, müssen aber Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) in den Abgangsstromkreisen vorgesehen werden. Für Steckdosen bis 20A müssen – wie bereits erwähnt – solche mit einem Bemessungsdifferenzstrom  $\leq 30\text{mA}$  vorgesehen werden. Bei entsprechender Unterteilung der Stromkreise lässt sich die Verfügbarkeit aber auch hierbei wesentlich erhöhen.

Ein IT-System hinter der galvanischen Trennung (Bild 4b) wäre zwar aus Gründen der Versorgungssicherheit als höherwertig zu betrachten, weil ein erster Fehler (Körperschluss) nicht abgeschaltet werden muss. Aber auch das IT-System muss eine automatische Abschaltung der Stromversorgung erfüllen – wenn auch erst beim zweiten Fehler. Bei Doppelfehlern muss eine Abschaltung stattfinden, was bei nicht voll geladener Batterie nur durch RCDs möglich sein dürfte. Allerdings muss dann für jeden Verbraucher eine eigene RCD vorgesehen werden. Außerdem kann es – wegen der höheren Spannung gegen Erde nach dem ersten Fehler – zu einer Spannungsbeanspruchung an den Wechselspannungsbetriebsmitteln kommen. Hier darf aber ein zusätzlicher Schutzpotentialausgleich angewendet werden.



**Bild 4 a, b:** a) Galvanische Trennung mit einem TN-System auf der Abgangsseite. RCDs können hier auftretende Probleme lösen; b) Galvanische Trennung mit einem IT-System auf der Abgangsseite. Ein erster Fehler muss nicht abgeschaltet werden. Jedoch muss bei Doppelfehlern eine Abschaltung stattfinden – jeder Verbraucher benötigt eine RCD

Die automatische Abschaltung der Stromversorgung bei zwei Fehlern an unterschiedlichen Außenleitern und Verbrauchsmitteln, lässt sich bei Batteriebetrieb aber nur bedingt mit Überstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) erreichen. Außerdem müssen ggf. für die Steckdosen (Ausnahmen siehe oben) Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) vorgesehen werden. Dies ist jedoch problematisch, weil für jeden Verbraucher eine eigene Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) vorgesehen werden muss.

Hinweis: Das Schutzkonzept (auch bei Ausführungen mit Transformator) funktioniert nur dann, wenn innerhalb der USV alles so ausgeführt wird, dass ein Erd- oder Kurzschluss auf ein Minimum reduziert wird – z. B. durch erd- und kurzschluss-sichere Verlegung der Kabel/Leitungen. Ob das bei allen USV-Herstellern realisiert ist, mag ich wirklich bezweifeln.

## Zusätzlicher Schutzpotentialausgleich kann oft helfen

Fakt ist allerdings, dass bei fest angeschlossenen Verbrauchsmitteln das Thema »Abschaltbedingung« (sowohl bei einem TN-

System als auch bei einem IT-System beim zweiten Fehler) auch auf andere Weise erfüllt werden kann. Der Abschnitt 411.3.2.6 von DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06 lässt auch eine andere zusätzlich Maßnahme zu. Z. B. kann bzw. darf in solchen Fällen ein zusätzlicher (örtlicher) Schutzpotentialausgleich – nach Abschnitt 415.2 von DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06 – angewendet werden. Analoge Festlegungen hierzu sind außerdem auch im Abschnitt 551.4.3.1 von DIN VDE 0100-551 (VDE 0100-551):1997-08 enthalten.

Bei Anwendung des zusätzlichen Schutzpotentialausgleich müssen alle gleichzeitig berührbaren Körper (im Handbereich, welcher maximal 2,5m beträgt) befindliche elektrische Betriebsmittel/Verbrauchsmittel und alle mit diesen Körpern gleichzeitig berührbaren fremden leitfähigen Teile über zusätzliche Schutzpotentialausgleichsleiter miteinander verbunden werden. Der Querschnitt dieser Schutzpotentialausgleichsleiter hängt von den Schutzleiterquerschnitten für die betreffenden elektrischen Betriebsmittel/Verbrauchsmittel ab. Diese Querschnitte sind im Abschnitt 544.2 von DIN VDE 0100-540 (VDE 0100-540):2007-06 festgelegt.

## Erstes Fazit

Durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) ließe sich – sofern eine galvanische Trennung gegeben ist – in allen Fällen der Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung erfüllen. Durch entsprechende Zuordnung kann auch eine Abschaltung ohne Beeinträchtigung der anderen, an der USV angeschlossenen, Stromkreise erreicht werden, d. h. durch eine Zuordnung der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) zu jeweils einem (oder im TN-System auch für mehrere) Verbrauchsmittel wäre auch eine ausreichende Verfügbarkeit gegeben. In diesen Fällen wären die Überstrom-Schutzeinrichtungen nur für den Schutz bei Überlast

und Kurzschluss gefordert – was durch einen koordinierten Schutz, wie bereits oben angeführt, erreicht werden kann. Hierbei muss keine bestimmte Abschaltzeit eingehalten werden. Der notwendige Fehlerschutz kann durch die Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) innerhalb der im Abschnitt 411.3.2 von DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06 geforderten Zeiten immer erfüllt werden.

## Zweites Fazit

Ein IT-System kann die Versorgungssicherheit erhöhen. Normalerweise kann auf die Abschaltung bei einem ersten Fehler verzichtet werden, aber ein zweiter Fehler muss – wie

oben beschrieben – immer zu einer Abschaltung des oder der betreffenden Stromkreise in der jeweils geforderten Zeit führen. Daraus ergeben sich die im Beitrag angeführten Probleme.

Inwiefern der Einsatz eines zusätzlichen Notstromgenerators bzw. Ersatzstromerzeugers das Problem ggf. auch lösen könnte, ließe sich nur dann beantworten, wenn die schaltungstechnische Verknüpfung bekannt wäre.

---

## AUTOR

**Werner Hörmann**

Autor der Rubrik Praxisprobleme

---