

RCDs in Steckdosenstromkreisen von IT-Systemen?

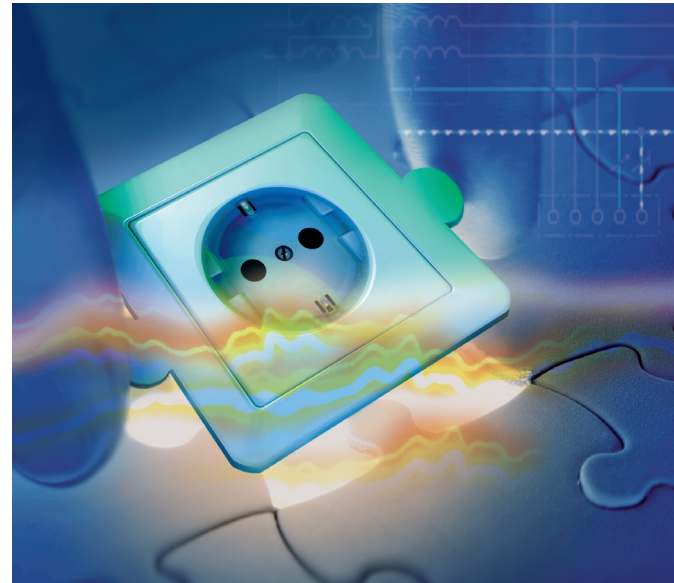
Die Anwendung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) in IT-Systemen wird schon seit Jahren, auch unter den Experten, teilweise recht kontrovers diskutiert. Recht eindeutig sind dazu die Aussagen in DIN EN 61008-1 Beiblatt 1 (VDE 0664-10 Beiblatt 1):2012-10, welches den Einsatz von RCDs für IT-Systeme nur für Ausnahmefälle nennt. Diese Aussage steht auch in der Neuausgabe der DIN VDE 0100-410:2018-10, die jedoch bezüglich IT-Systeme und RCDs noch einige Unschärfen enthält, die der technischen Präzisierung bedürfen.



▶▶▶ Was bedeutet zusätzlicher Schutz?

Die letzte Ausgabe der DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06, enthält in Abschnitt 411.3.3, zusätzliche Anforderungen für Endstromkreise für Steckdosen und für die Versorgung von ortsveränderlichen Geräten für den Außenbereich. Dazu sind in TN- und TT-Systemen RCDs mit einem Bemessungsstrom, der 30 mA nicht überschreitet, für Endstromkreise im Außenbereich und für Steckdosenstromkreise, die kleiner als 20 A sind, erforderlich, wenn diese zur Benutzung durch Laien und zur allgemeinen Verwendung vorgesehen sind. Im Fokus stehen hier insbesondere der elektrotechnische Laie und eine mögliche Gefährdung bei direktem Berühren. Dies kann z. B. durch unbeabsichtigtes Berühren aktiver Teile, Fahrlässigkeit usw. geschehen. Der zusätzliche Schutz soll die elektrische Sicherheit erhöhen. Nach DIN VDE 0100-530 (VDE 0100-530):2018-06, Abschnitt 531.3.6, kann ein RCD beide Funktionen übernehmen, wenn es am Eingang eines Endstromkreises oder einer Gruppe von Endstromkreisen errichtet wird. Für TN- und TT-Systeme ist dies auch vollkommen korrekt, denn in geerdeten Stromversorgungen (TN-/TT-Systemen) sind Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD) eine seit Jahrzehnten bewährte Schutzmaßnahme.

In der neuen Ausgabe der DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2018-10 wird jedoch auf internationaler Ebene der zusätzliche Schutz durch RCDs $I_{\Delta n}$ 30 mA auch für die Steckdosenstromkreise von IT-Systemen gefordert, wenn bei einem ersten Fehler ein Fehlerstrom I_d von > 15 mA fließen kann. Bei genauer Betrachtung zeigt es sich jedoch, dass diese Forderung nicht nur technisch zu hinterfragen ist, sondern auch in der neuen DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2018-10 widersprüchlich behandelt wird. Hier ist es nach Meinung der Verfasser dringend notwendig, eine Korrektur der Norm vorzunehmen.



Grundsätzliches zum IT-System

„Ein IT-System wird geplant, weil es vorteilhaft ist, dass beim Auftreten des ersten Fehlers eine Unterbrechung der Stromversorgung von angeschlossenen elektrischen Verbrauchsmitteln nicht erfolgt. Dieser „erste Fehler“ sollte so schnell wie möglich beseitigt werden. Die Berührungsspannung bleibt beim ersten Fehler signifikant unterhalb der zulässigen Berührungsspannung. Der sachgerechte Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in IT-Systemen ist daher immer nur dann sinnvoll, wenn deren Funktion durch Messung oder Berechnung nachgewiesen wird. Da es aufgrund der Komplexität und der schwierigen Beurteilung der Struktur und der Ausdehnung eines IT-Systems nicht sichergestellt ist, dass die bestimmungsgemäße Funktion von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen erfolgt, sollte deren Einsatz die Ausnahme bleiben.“ Diese Aussage der DIN EN 61008-1 Beiblatt 1 (VDE 0664-10 Beiblatt 1):2012-10, 7.2.2.4, zum IT-System steht stellvertretend auch für andere Normen.

Damit stellen sich zur Anwendung von RCDs in IT-Systemen insbesondere folgende Fragen:

- **Kann oder soll ein RCD im Falle eines ersten Fehlers überhaupt abschalten?**
- **Sind die heute am Markt angebotenen RCD Lösungen für IT-Systeme geeignet?**
- **Soll die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung andere Aufgaben erfüllen?**



▶▶▶ IT-System
– keine Abschaltung bei einem ersten Fehler erforderlich

Das allgemein anerkannteste Argument für die Installation von IT-Systemen ist der Vorteil des Weiterbetriebs im Falle eines ersten Isolationsfehlers. Dazu findet sich in der DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2018-10 im Abschnitt 411.3.2 die Anmerkung: „Bei IT-Systemen ist die automatische Abschaltung nicht unbedingt gefordert, siehe 411.6.1“. Ergänzend dazu ist in Abschnitt 411.6.1 beschrieben: „Der Fehlerstrom ist dann bei Auftreten eines Einzelfehlers gegen einen Körper oder Erde niedrig und die automatische Abschaltung nach 411.3.2 nicht gefordert, vorausgesetzt die Bedingung in 411.6.2 ist erfüllt.“ Dieser Abschnitt fordert also, dass die Körper einzeln, gruppenweise oder gemeinsam geerdet werden und die Berührungsspannung begrenzt wird. Dazu gilt die folgende Formel:

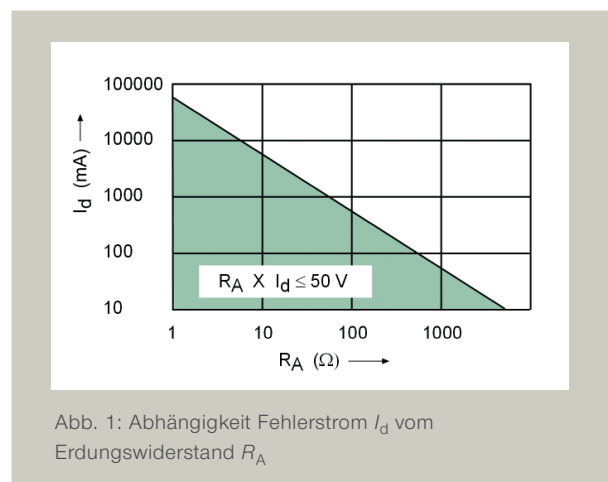
$$R_A \times I_d \leq 50 \text{ V}$$

Dabei ist:

R_A die Summe der Widerstände in Ω des Erders und des Schutzleiters zum jeweiligen Körper.

I_d der Fehlerstrom in A beim ersten Fehler mit vernachlässigbarer Impedanz zwischen einem Außenleiter und einem Körper. Der Wert von I_d berücksichtigt die Ableitströme und die Gesamtimpedanz der elektrischen Anlage gegen Erde.

Stellt man diese Formel um, so zeigt sich, dass z. B. bei einem angenommenen Erdungswiderstand von 2Ω ein I_d von $50 \text{ V} / 2 \Omega = 25 \text{ A}$ fließen darf, bevor es zu einer Gefährdung kommt.



Noch deutlicher wird dies in Abb. 2. Der Erdungswiderstand R_A liegt parallel zum Körperwiderstand R_K . Dies bedeutet, die Berührungsspannung U_T ergibt sich aus dem Verhältnis des Isolationswiderstandes R_{iso} zu R_A . Die mögliche Berührungsspannung U_T wird sich also bei einem Isolationswiderstand R_{isoL} zum R_A entsprechend aufteilen. Dabei ist zu beachten, dass parallel zum Körperwiderstand auch der Schutzleiterwiderstand liegt, der nochmals deutlich geringer ist als der Körperwiderstand (indirekt – direkt).

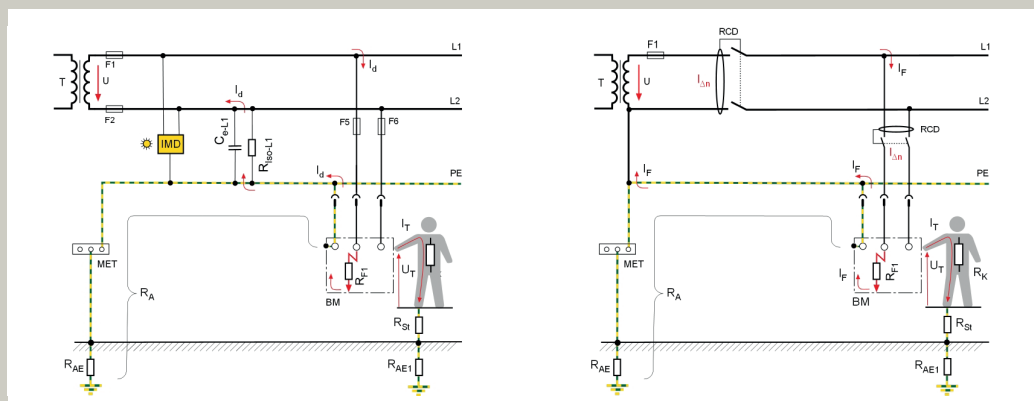


Abb. 2: Der erste Fehler in einem IT-System und einem TN-System

▶▶▶ Beispielrechnung für die Berührungsspannung bzw. Körperstrom im IT-System:

$$R_{\text{isol-L1}} = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_A = 10 \text{ }\Omega$$

$$U = 230 \text{ V}$$

$$U_T = 230 \text{ V} * R_{\text{PE-BM}} / (R_{\text{isol-L1}} + R_{\text{PE-BM}}) = 230\text{V} * 10 \text{ }\Omega / 1 \text{ M}\Omega = 2,3 \text{ mV}$$

$$I_T = U_T / 1 \text{ k}\Omega = 2,3 \text{ mV} / 1\text{k}\Omega = 2,3 \text{ }\mu\text{A}$$

$$I_d = 230 \text{ V} / 1 \text{ M}\Omega = 0,2 \text{ mA}$$

Welche Aufgaben sollen RCDs in IT-Systemen dann erfüllen?

RCDS in Planungsphase von IT-Systemen

DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2018-10 enthält die internationale Forderung, dass, wenn bei einem ersten Fehler der Fehlerstrom I_d im Falle eines ersten Fehlers 15 mA überschreiten könnte, RCDs für den jeweiligen Steckdosenstromkreis vorzusehen sind. Mal abgesehen von der Tatsache, dass Steckdosen in IT-Systemen eher die Ausnahme sind, stellt sich bereits hier die Frage, wie soll der Fehlerstrom I_d am Schreibtisch bestimmt werden?

Der Wert von I_d entspricht dem Fehlerstrom, der beim ersten Fehler mit vernachlässigbarer Impedanz zwischen einem Außenleiter und einem Körper fließt. Er berücksichtigt die Ableitströme und die Gesamtimpedanz der elektrischen Anlage gegen Erde. Der Strom I_d wird maßgeblich durch die Kabelart, Kabellänge und die Anzahl der Verbraucher der elektrischen Anlage bestimmt. Ebenso gehören dazu Veränderungen der Anlage durch unbekannte Zu- und Abschaltungen. Diese Werte kann kein Planer bei einer noch so guten Planung ermitteln.

RCDS für $I_{\Delta n}$ 15 mA?

Die heute am Markt üblichen RCDs haben einen Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} < 30 \text{ mA}$. Der Anwender hätte also keine Chance, ein geeignetes Produkt am Markt zu erwerben. Dazu findet sich in DIN VDE 0100-530 (VDE 0100-530):2018-06 im Abschnitt 538.4 noch folgendes Zitat: „Bei Ver-

wendung in Wechselstrom-IT-Systemen wird empfohlen, richtungsselektive Differenzstrom-Überwachungseinrichtungen (RCMs) zu verwenden, um ungewollte Meldungen bezüglich Ableitströmen zu vermeiden, wenn vermutlich hohe Ableitkapazitäten hinter dem Anschlusspunkt der Differenzstrom-Überwachungseinrichtung (RCM) auftreten.“

In Summe heißt das, der Anwender bekommt weder ein RCD mit einem $I_{\Delta n} < 15 \text{ mA}$ noch ein RCD, welches richtungsselektiv arbeitet. Richtungsselektiv heißt in diesem Fall, dass nur Fehlerströme zum Verbraucher hin erkannt werden. Damit hat auch der Planer gleich zwei weitere Probleme. Außerdem ist es in der Planungsphase unmöglich, kapazitive Ableitströme im Betrieb vorherzusehen.

RCDS in TN-Systemen – der erste Fehler

Beim Einsatz von TN- oder TT-Systemen ist eine automatische Abschaltung bei einem ersten Isolationsfehler Pflicht, denn bereits in dieser Situation besteht die Möglichkeit einer Gefährdung. Im TN-System wird die Fehlerschleife durch einen Außenleiter und durch PE-N bzw. PE gebildet. Diese Leiter sind in Länge, Querschnitt und Material weitestgehend identisch. Die daraus resultierende Fehlerspannung nimmt etwa die halbe Leiter-Erde-Spannung U_0 an. RCDs haben also die Aufgabe, Betriebsmittel bzw. Stromkreise innerhalb einer



- ▶▶▶ bestimmten Zeit (sofort) allpolig abzuschalten, wenn durch einen Fehlerstrom bzw. eine mögliche Körper-Durchströmung eine Gefährdung auftreten kann (siehe Abb. 3). Wenn eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ am Eingang eines Endstromkreises oder einer Gruppe von Endstromkreisen errichtet ist, darf diese Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) gleichzeitig den Fehlerschutz und den zusätzlichen Schutz sicherstellen.

RCDS im IT-System – der erste Fehler

IT-Systeme sind so aufgebaut, dass kein aktiver Leiter mit Erde verbunden wird und die Körper einzeln, gruppenweise oder gemeinsam geerdet sein müssen. Dazu ist die Bedingung $R_A \times I_d \leq 50 \text{ V}$ zu erfüllen. Unter dieser Voraussetzung ist der Fehlerstrom I_d beim Auftreten eines ersten Fehlers gegen Körper/Erde gering und eine automatische Abschaltung nicht erforderlich, da dabei aufgrund des nicht geschlossenen (Fehler-)Stromkreises (hochohmiger Isolationswiderstand) kein gefährlicher Fehlerstrom fließen kann, siehe DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2018-010 Abschnitt 411.6.1 und 413. Die sich am Körper einstellende Berührungsspannung teilt sich in etwa entsprechend den Widerstandsverhältnissen zwischen Isolationswiderstand R_{iso} und dem eigentlichen Isolationsfehler R_f bzw. Erdungswiderstand R_A auf ($> 500 \text{ k}\Omega$, zwischen aktiven Leitern und PE).

Die DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2018-10, Abschnitt 411.6.3 verlangt an dieser Stelle die Installation einer Isolationsüberwachungseinrichtung (IMD), um den ersten Fehler so früh wie möglich zu erkennen bzw. zu melden, bevor ein zweiter Isolationsfehler auftritt. Typischer Ansprechwert ist dabei $100 \text{ }\Omega/\text{V}$.

Mit der Erkenntnis, dass ein RCD zum Auslösen eine Fehlerschleife bzw. Fehlerstrom I_f kleiner als 30 mA benötigt, nun ein Blick in eine ungeerdete Stromversorgung (IT-System) mit RCD, siehe Abb. 4.

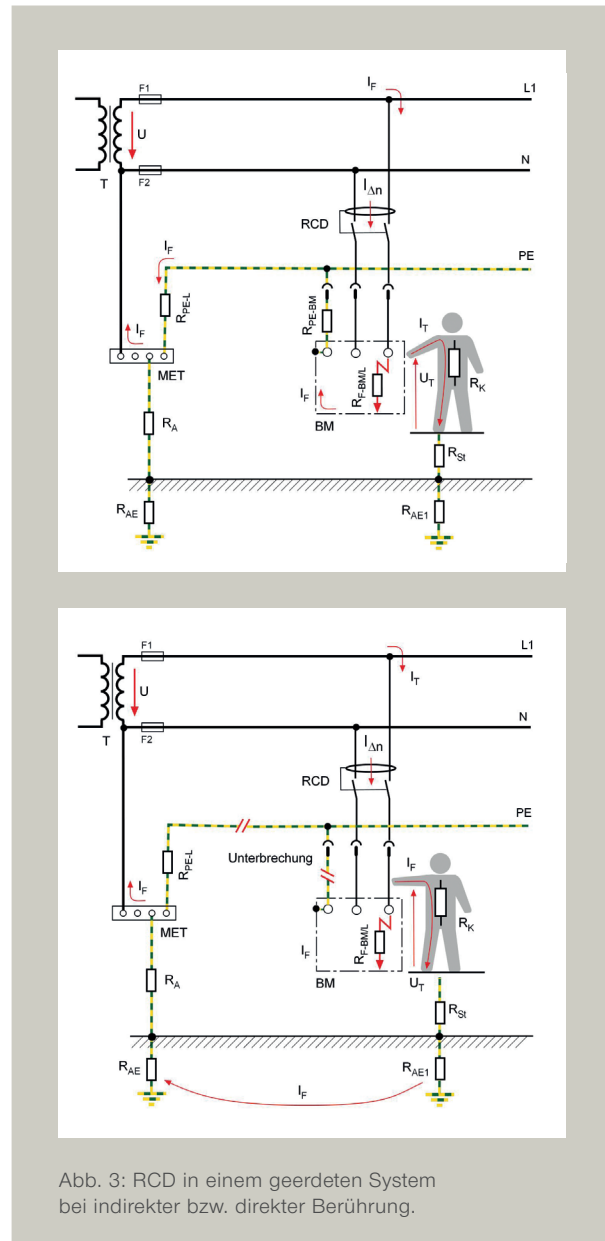
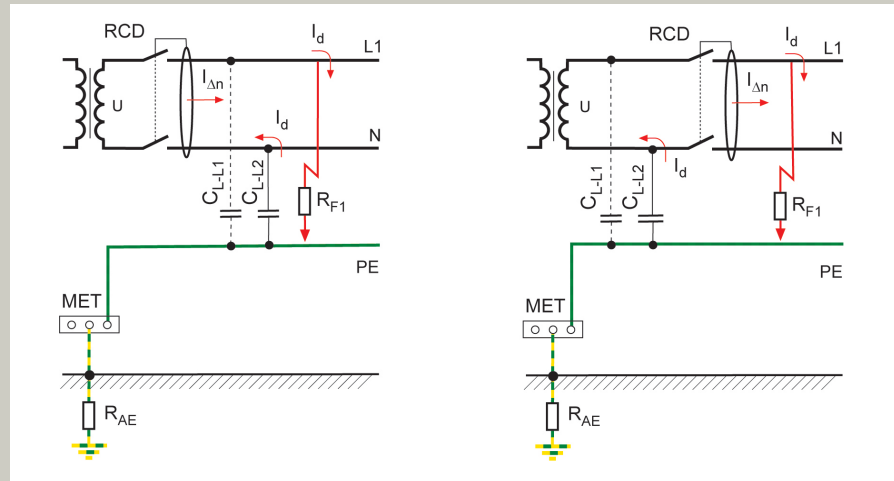


Abb. 3: RCD in einem geerdeten System bei indirekter bzw. direkter Berührung.

Abb. 4:
RCD in IT-Systemen,
Netzableitkapazität
„hinter“ dem RCD
bzw. „vor“ dem RCD.



- ▶▶▶ Tritt ein erster Fehler auf (R_{F1}), hängt der Fehlerstrompfad auch noch davon ab, wie die Netzableitkapazitäten C_{L-L2} „vor“ und „hinter“ dem RCD aufgeteilt sind, was wiederum von der Länge und Aufbau des Kabels abhängt.

Dies macht deutlich, dass ein Auslösen des RCD nur dann erfolgt, wenn C_{L-L2} groß genug bzw. die Impedanz Z niederohmig ist und eine entsprechende Fehlerschleife bildet (Abb. 4, Darstellung rechts). Um eine hohe Leitungskapazität C_L vor dem RCD zu erhalten, müsste dann das RCD möglichst verbrauchernah und nicht am Anfang des Endstromkreises installiert werden. Das widerspricht der gängigen Installationspraxis im Verteiler an der Einspeisung. Dazu auch die Anmerkung aus DIN VDE 0100-530 (VDE 0100-530):2018-06, Abschnitt 531.3.6 Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) für den zusätzlichen Schutz „Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) für den Schutz von Steckdosen müssen am Anfang des Endstromkreises errichtet werden. Hiervon ausgenommen ist die Verwendung einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) in einer Baueinheit mit einer Steckdose“.

In der deutschen Ausgabe der DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2018-10 findet sich in 411.3.3 ein weiterer Hinweis:

„Da es aufgrund der Komplexität und der schwierigen Beurteilung der Struktur und der Ausdehnung eines IT-Systems nicht sichergestellt ist, dass die bestimmungsgemäße Funktion von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) erfolgt, bleibt deren Einsatz in Steckdosenstromkreisen eine Ausnahme“.

Ebenso wird in der DIN VDE 0100-530 (VDE 0100-530):2018-06 im Abschnitt 532.3 darauf hingewiesen, dass zum Schutz bei Brandrisiken in IT-Systemen anstelle von RCMs die Anforderungen von DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06, 411.6.3.1 für Isolationsüberwachungseinrichtungen (IMD) vorrangig zu berücksichtigen sind.

Dass ein RCD bei einem ersten Fehler möglicherweise nicht abschalten kann, findet sich in DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2018-10 im Abschnitt 411.6.1: „Der Fehlerstrom ist beim Auftreten eines Einzelfehlers gegen einen Körper oder gegen Erde ist niedrig und eine automatische Abschaltung nach 411.3.2 ist nicht gefordert, vorausgesetzt die Bedingung in 411.6.2 ist erfüllt.“ Dies bedeutet, dass die Körper einzeln, gruppenweise oder gemeinsam geerdet sind. Der Fehlerstrom reicht also bei weitem nicht aus, um ein RCD auszulösen.



►►► RCD in verzweigten IT-Systemen

Noch komplexer wird das Verhalten von RCDs bei verzweigten IT-Systemen, wobei in jedem Abzweig ein RCD vorhanden wäre, siehe Abb. 5.

zu erwarten sind. Richtungsselektiv heißt in diesem Fall, nur Fehlerströme zum Verbraucher hin zu bewerten.

Abschaltung bei einem zweiten Fehler durch RCD oder OCPD?

Im Gegensatz zu TN- bzw. TT-Systemen muss bei IT-Systemen immer der zweite Fehler betrachtet werden, denn der zweite Fehler an einem anderen aktiven Leiter muss zu einer automatischen Abschaltung unter Berücksichtigung der in Tabelle 41.1 der DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2018-10 vorgegebene Abschaltzeiten führen. Abhängig von der Ausführung der Erdung müssen bei gemeinsamer Erdung die Abschaltbedingungen für ein TN-System und bei einzel- oder gruppenweiser Erdung die Abschaltbedingungen für ein TT-System erfüllt werden (Abschnitt 411.6.4). Entscheidend ist dabei immer die Impedanz der Fehlerschleife, damit die geforderten Abschaltzeiten eingehalten werden können.

Es ist leicht einzusehen, dass z. B. bei einer Steckdose ein zweiter Fehler an einem anderen Leiter einem Kurzschluss entspricht, der dann zum Abschalten durch die Überstrom-Schutzeinrichtungen (OCPD) führt. Dies erfordert zumindest eine Stromquelle, die entsprechenden Kurzschlussstrom liefern kann oder eine entsprechend ausgelegte Überstrom-Schutzeinrichtung. Dies ist z. B. bei PV-Anlagen zu beachten.

In Abschnitt 411.3.2.6 wird darauf hingewiesen, dass, wenn die Abschaltzeiten nicht erreicht werden können, ein zusätzlicher Schutzpotentialausgleich nach 415.2 vorgesehen werden muss. Ebenso wird im Abschnitt 411.3.2.5 darauf hingewiesen, dass bei Nichteinhaltung der Abschaltzeiten ein RCD einzusetzen ist.

Dies funktioniert aber in IT-Systemen nur in bestimmten Fällen, denn dazu muss der Fehlerort beachtet werden. Eignet sich der zweite Fehler hinter einer RCD, so erfolgt keine Abschaltung, da sich

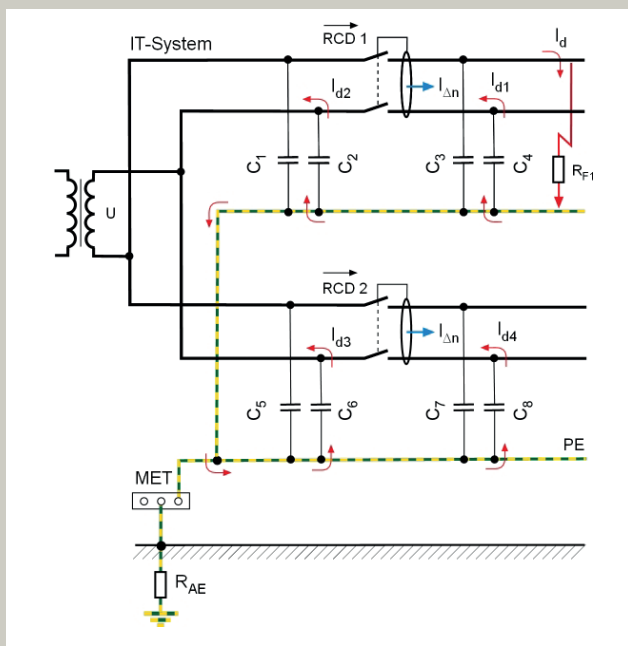


Abb. 5: RCDs in verzweigten IT-Systemen

Je nach Aufteilung der Netzableitkapazitäten C_{V1} bzw. C_{V2} würde ein beliebiges RCD auslösen, obwohl der Isolationsfehler R_F sich in einem anderen Abzweig befindet. Dieses Beispiel zeigt, dass ein Einsatz von RCDs in IT-Systemen keine Lösung ist und dem eigentlichen Ziel eines IT-Systems, nämlich ein störungsfreier Weiter-Betrieb bei einem ersten Fehler, deutlich widerspricht.

Deshalb wird nach DIN VDE 0100-530 (VDE 0100-530):2018-06 für Differenzstrom-Überwachungseinrichtungen (RCMs) empfohlen, richtungsselektive Differenzstrom-Überwachungseinrichtungen (RCMs) zu verwenden, um ungewollte Meldungen von hohen Ableitströmen zu vermeiden, wenn hohe Ableitkapazitäten hinter dem Einbauort des Wandlers der Differenzstrom-Überwachungseinrichtung (RCM)

kein Differenzstrom ergibt, der das RCD auslöst. Das RCD wird so zur trügerischen Sicherheit. In der alten Ausgabe der DIN VDE 0100-530:2011-06 fand sich dazu im Hinweis im Abschnitt 531.3.5.3: Symmetrische Fehler an unterschiedlichen Außenleitern erzeugen keinen zur Abschaltung führenden Fehlerstrom.

Aus diesem Grund wird auch in der neuen DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2018-10 im Abschnitt 411.6.3 darauf hingewiesen, dass im Fall von zwei Fehlern an unterschiedlichen Leitern eine Abschaltung nur dann erreicht wird, wenn jedes Betriebsmittel durch eine eigene RCD geschützt wird und das in diesen Fällen die Verwendung von Überstrom-Schutzeinrichtungen die geeignete Maßnahme ist.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) in Steckdosenkreisen von IT-Systemen, wie in DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2018-10 beschrieben, kann nicht grundsätzlich zugestimmt werden und erfordert sehr viel Fachkenntnis über die vorhandene oder geplante elektrische Anlage. Die Vorgänger Ausgabe DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06 hatte daher aus gutem Grund bei der Anwendung von RCDs für den zusätzlichen Schutz nur TN- bzw. TT-Systeme im Fokus.

Aufgrund der Komplexität und der schwierigen Beurteilung, sollte daher der Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD) in Steckdosen von IT-Systemen auch weiterhin immer die Ausnahme bleiben. Hier ist der Schwerpunkt bei ordentlicher Meldung an geeigneter Stelle bzw. die schnelle Lokalisierung durch eine Isolationsfehler-Sucheinrichtung (IFLS) den Vorzug zu geben. Damit wird auch eine ungewollte Abschaltung vermieden, denn IT-Systeme werden immer dort installiert, wo ein erster Fehler nicht zur Abschaltung führen darf. ■

AUTOREN:

Dipl.-Ing. Harald Sellner
Bereichsleiter Normung Bender GmbH & Co.KG

Dipl.-Ing. Holger Potdevin
Leiter Normung Bender GmbH & Co.KG

Catherine Körbächer
Bender GmbH & Co.KG

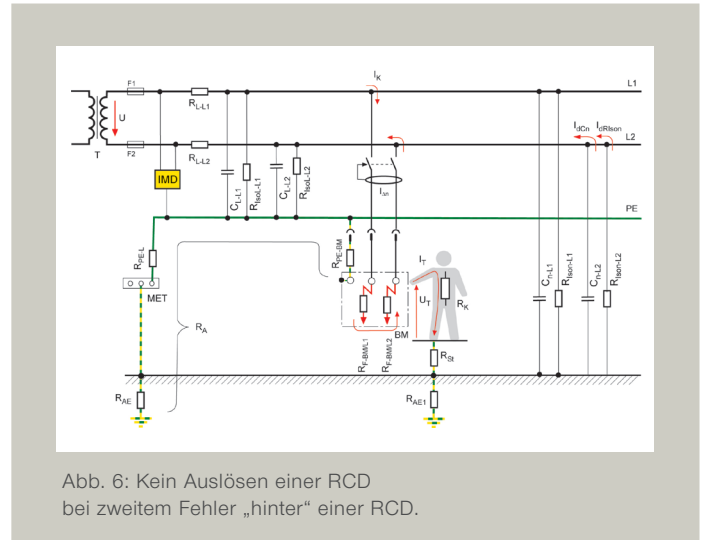


Abb. 6: Kein Auslösen einer RCD bei zweitem Fehler „hinter“ einer RCD.

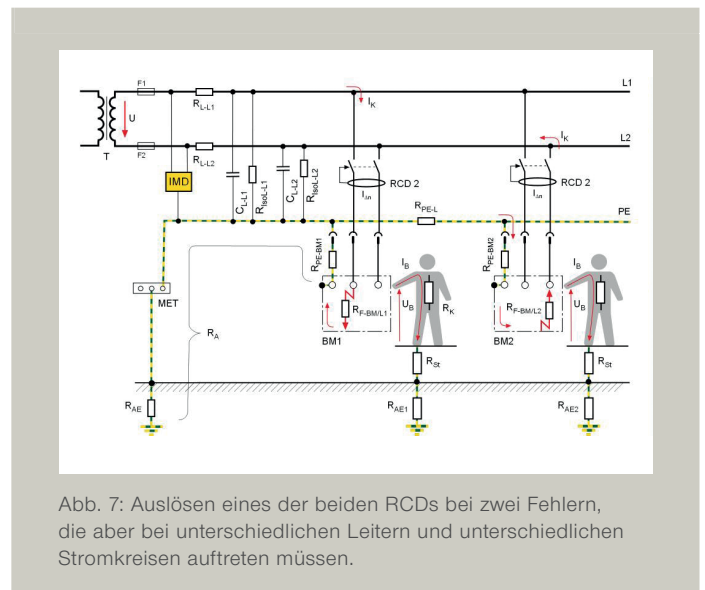


Abb. 7: Auslösen eines der beiden RCDs bei zwei Fehlern, die aber bei unterschiedlichen Leitern und unterschiedlichen Stromkreisen auftreten müssen.

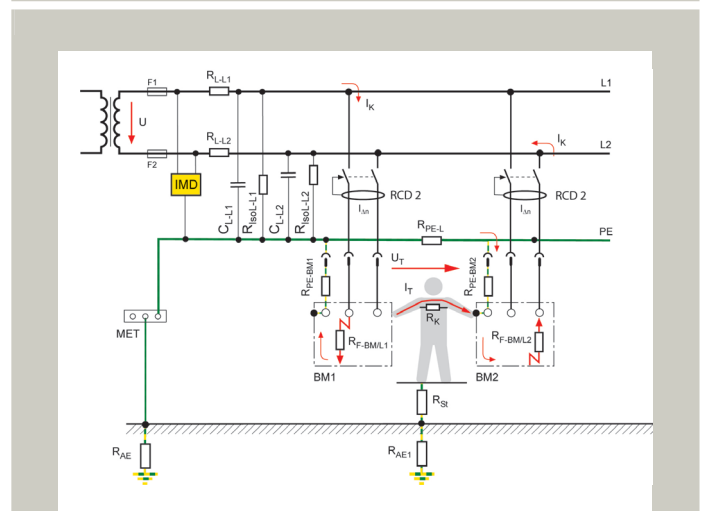


Abb. 8: Sicherheit beim gleichzeitigen Berühren unterschiedlicher Betriebsmittel der SK I durch den parallel zum Körper liegenden Schutzleiter oder PA.

LITERATURHINWEISE:

Wolfgang Hofheinz:

Schutztechnik mit Isolationsüberwachung, 3. Auflage, VDE-Schriftenreihe Band 114, VDE Verlag Berlin

DIN VDE 0100-410/A1 (VDE 0100-410/A1):2018-10

Errichten von Niederspannungsanlagen

Teil 4-41: Schutzmaßnahmen

Schutz gegen elektrischen Schlag (IEC 64/2019/CDV:2015)

Deutsche Fassung HD 60364-4-41:2007/FprA1:2015

DIN VDE 0100-530 (VDE 0100-530):2018-06

Errichten von Niederspannungsanlagen

Teil 530: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Schalt- und Steuergeräte

DIN VDE 0100-530 (VDE 0100-530):2011-06

Errichten von Niederspannungsanlagen

Teil 530: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Schalt- und Steuergeräte

DIN EN 61008-1 Beiblatt 1 (VDE 0664-10 Beiblatt 1):2012-10

Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalter ohne eingebauten Überstromschutz (RCCBs)

für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen

Teil 1: Allgemeine Anforderungen

Beiblatt 1: Anwendungshinweise zum Einsatz von RCCBs nach DIN EN 61008-1 (VDE 0664-10)

ANMERKUNG: Die Normen sind über VDE (www.vde.com) bzw. über Beuth (www.beuth.de) zu beziehen.

BILDNACHWEIS:

Archiv S!Designment

AdobeStock: Mikael Damkier; Berthold Werkmann