

# Technische Aspekte IT-Systeme

Die perfekte Lösung für eine 360° Stromversorgung

Für mehr Kontinuität in der Stromversorgung

Für die 365/24 Stromversorgung



Wir alle wissen, dass das tägliche Leben ohne elektrische Energie einfach undenkbar geworden ist. Eine hohe Verfügbarkeit von elektrischer Energie ist somit fundamental für den sicheren und effizienten Betrieb im Bereich

- **Industrieanlagen**  
einschließlich Maschinen- und Anlagenbau, Chemie, Raffinerie und Fertigung, um dort kostenintensive Unterbrechungen in wichtigen Prozessen zu vermeiden
- **Infrastruktur**  
wie Flughäfen, Häfen, Tunnel, Straßenverkehr und Bahn, dort wo elektrische Sicherheit und der Brandschutz oberste Priorität genießt
- **Gesundheitswesen**  
wie OP-Räume und Intensivstationen, wo es um das Wohlergehen für den Patient, Arzt und das Personal geht
- **Marineanwendungen**  
für einen sicheren, umweltgerechten Güter- und Personentransport auf dem Seeweg, aber auch für die Zuverlässigkeit bei militärischen Anwendungen
- **Energieerzeugung und -verteilung**  
damit mit Photovoltaik, Wind- und Wasserkraft, Nuklear und anderen Energieträgern eine problemlose „Rund um die Uhr“-Stromversorgung zur Verfügung steht
- **Rohstoffgewinnung**  
zur Vermeidung von Bränden und Explosionen bei Gewinnung von Öl, Gas und anderen Energieträger sowie den sicheren Betrieb von elektrischen Anlagen im Berg- und Tagebau und der Überwachung von Umbilicals zur Versorgung von Untersee Anlagen.

#### **Der Anspruch:**

Elektrische Energie soll...

- ...zu jeder beliebigen Tages- und Nachtzeit...
- ...in jeder beliebigen Menge und ohne Unterbrechung...

...verfügbar sein. Aus Sicht der Verbraucher muss die Verfügbarkeit am besten 100% betragen. Die wesentliche Basis für die dazu notwendigen hohen Sicherheitsanforderungen ist eine normenkonforme Erzeugung und Verteilung der elektrischen Energie in Verbindung mit der richtigen Wahl der Netzform sowie der praxisgerechten Schutz- und Überwachungseinrichtungen. Es gilt also, den Betreiber frühzeitig über sich anbahnende Gefährdungen zu informieren und somit kostenintensiven Produktions- und Betriebsunterbrechungen vorzubeugen. Nicht zu vergessen auch das Ziel, keine Menschenleben durch elektrischen Strom zu gefährden, insbesondere im medizinischen Bereich.

In diesem Sinne gilt das N-1 Prinzip: Ein Element kann ausfallen und die Versorgung mit elektrischer Energie bleibt trotzdem zu 100% gewährleistet. Mit „Element ausfallen“ ist hier der erste Isolationsfehler gemeint.

Mit diesen Zielen steht in Summe das IT-System (ungeerdete Stromversorgungen) im Vordergrund, denn dies ist die einzige Netzform, bei der ein erster Isolationsfehler nicht zur Unterbrechung oder Ausfall der Stromversorgung führt. Mit Isolationsüberwachungsgeräten ISOMETER® werden IT-Systeme permanent überwacht und so für den notwendigen Informationsvorsprung gesorgt – bevor eine Störung hohe Kosten verursacht. Das Spektrum an Meldungen durch die BENDER-Systeme reicht dabei von der einfachen Meldeleuchte bis hin zu modernsten Netzwerktechnologien.

Unterm Strich machen sich die grundlegenden Eigenschaften von IT-Systemen auch für den Kaufmann positiv bemerkbar. Die anfänglich etwas höheren Investitionskosten amortisieren sich schnell, denn teure Betriebsunterbrechungen und ungeplante Adhoc-Instandhaltungsmaßnahmen kosten meist ein Vielfaches an Zeit, Geld und Personalaufwand.

### **Der Isolationswiderstand**

In elektrischen Anlagen und bei Betriebsmitteln ist der Isolationswiderstand die bestimmende Größe in Bezug auf den Personen-, Anlagen- und Brandschutz. Ohne ausreichenden Isolationswiderstand:

- ist der Schutz gegen direktes und bei indirektem Berühren nicht gewährleistet
- führen Fehlerströme zu Personengefährdungen und möglichen Betriebsunterbrechungen
- können Kurz- und Erdschlussströme Brände und Explosionen verursachen und teure Anlagenteile zerstören
- können Fehlfunktionen der elektrischen Einrichtungen zu Personengefährdungen, Produktionsausfall oder Anlagenstillstand führen
- können durch Betriebsunterbrechung, Sachbeschädigung oder Verletzungen von Personen hohe Kosten entstehen
- kann das Leben von Mensch und Nutztieren gefährdet werden.

Der Isolationswiderstand ist bei neu errichteten Anlagen und Betriebsmitteln relativ hoch. Bei einer elektrischen Anlage ohne angeschlossene Betriebsmittel liegt der Wert meist deutlich höher als der geforderte Mindestwert von 1 M $\Omega$ . Bei Betrieb der Anlagen reduziert sich der Isolationswiderstand aus vielfältigen Gründen. Zum einen ist es die Anzahl der Verbraucher. Durch die Parallelschaltung der geräteigenen oder anlagenbedingten Isolationswiderstände reduziert sich dieser im Gesamtisolationswiderstand, jedoch ohne dass dadurch ein kritischer Wert unterschritten wird. Schwieriger wird das Thema, wenn durch unvorhergesehene Ereignisse der Isolationswiderstand unter einen kritischen Wert absinkt. Ursachen können sein:

#### **• Elektrisch**

- Statische Überspannung
- Transiente Überspannung
- Frequenzänderungen
- Blitzeinwirkung
- Überstrom
- Spannungsform

#### **• Mechanisch**

- Schlag, Stoß
- Knick, Biegung
- Schwingung
- Eindringen von Fremdkörpern

#### **• Umwelt**

- Temperatur
- Feuchtigkeit,

#### **• Chemische Einflüsse**

- Verschmutzung, Staubablagerung, Öl
- Aggressive Atmosphäre
- Alterung der Kabel und Betriebsmittel

#### **• Sonstige Einwirkungen**

- Tiere (z. B. Verbisse)
- Pflanzen

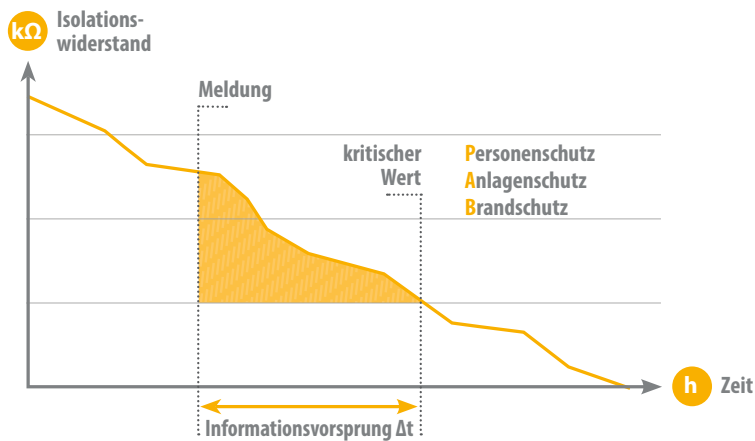


Abb. Typisches Absinken des Isolationswiderstands elektrischer Anlagen

### Sichere und zuverlässige Stromversorgung

Abhängig von den jeweiligen Netzsystemen müssen deshalb normenkonforme Schutzmaßnahmen getroffen werden, um das Absinken des Isolationswiderstandes unter einen vorgegebenen Wert entweder zu melden oder den betroffenen Strompfad abzuschalten.

Somit ist nicht nur der Einsatz entsprechender Schutzeinrichtungen und eine kontinuierliche Überwachung der Anlage erforderlich, sondern auch eine regelmäßige Prüfung der Betriebsmittel, deren Zeitintervall von der Geräteart und den Einsatzbedingungen abhängig ist.

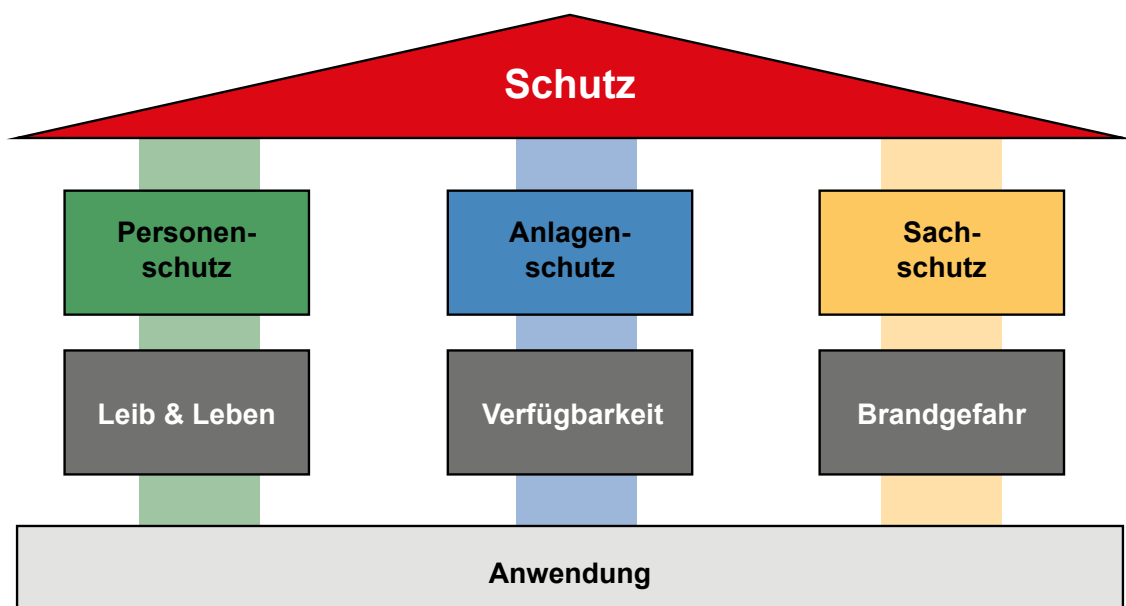


Abb. Personen-, Sachschutz und Betriebssicherheit

### Personenschutz

Fließt ein Strom durch den menschlichen Körper werden Kreislauf- und Atemfunktionen beeinträchtigt und es kann zudem zu schweren Verbrennungen kommen. Die Gefahr für den Menschen hängt von der Stromstärke, den Körperteilen, durch die der Strom fließt und der Einwirkungsdauer ab.

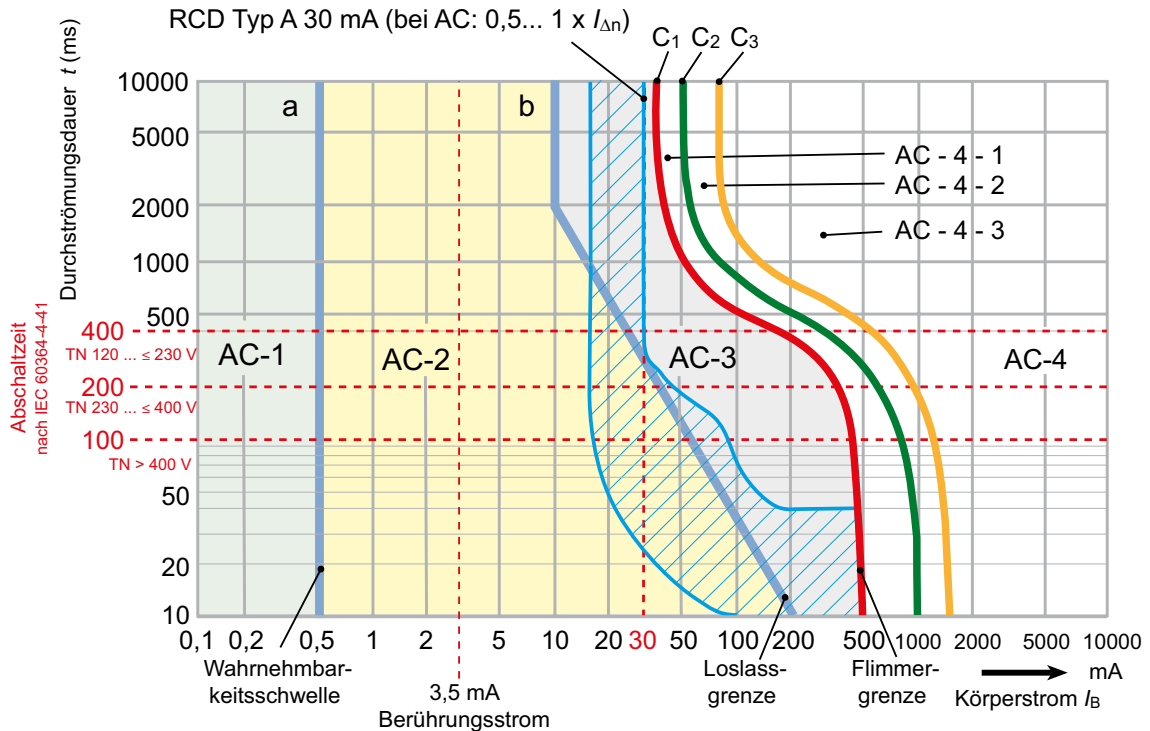


Abb. Zeit-Stromstärke-Bereiche mit Auswirkungen auf den menschlichen Körper bei Wechselströmen 15... 100 Hz (Stromfluss von der linken Hand zu beiden Füßen)

Bereiche	Bereichsgrenzen	physiologische Wirkungen
AC-1	bis zu 0,5 mA Grenzlinie a	Wahrnehmung möglich, aber im Allgemeinen keine Schreckreaktion
AC-2	über 0,5 mA bis Grenzlinie b	Wahrnehmung und unwillkürliche Muskelkontraktionen wahrscheinlich, aber im Allgemeinen keine schädlichen physiologischen Wirkungen
AC-3	Grenzlinie b bis Grenzlinie c <sub>1</sub>	Wahrnehmung und unwillkürliche Muskelkontraktionen wahrscheinlich, Schwierigkeiten beim Atmen; reversible Störung der Herzfunktion, Immobilisierung (Muskelverkrampfung) kann auftreten; Wirkungen zunehmend mit Stromstärke und Durchströmungsdauer; im Allgemeinen ist kein organischer Schaden zu erwarten
AC-4	über die Grenzlinie c <sub>1</sub>	Es können pathophysiologische Wirkungen auftreten wie Herzstillstand, Atemstillstand und Verbrennungen oder andere Zellschäden; Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern ansteigend mit Stromstärke und Durchströmungsdauer
	c <sub>1</sub> -c <sub>2</sub>	AC-4-1 Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern ansteigend bis etwa 5%
	c <sub>2</sub> -c <sub>3</sub>	AC-4-2 Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern ansteigend bis etwa 50%
	über der Grenzlinie c <sub>3</sub>	AC-4-3 Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern ansteigend bis über 50%

### Brandschutz

Als vordringliches Schutzziel für das Verhindern von mittels elektrischer Energie gezündeten Bränden gilt in der Praxis das Vermeiden von Zündquellen bzw. das rechtzeitige Erkennen von Zündquellen, ehe die an der Fehlerstelle wirkende Energie so groß geworden ist, dass es zu Überhitzung und damit zu einer Brandauslösung kommt. In der Fachliteratur wird dazu eine Mindestleistung von  $P = 70\text{-}100\text{ W}$  benannt.

Schutzeinrichtungen	Max. möglicher Dauerstrom	$P_{\text{Iso}}$ bei $U_n = 230\text{ V}$
Sicherung 10 A	15 A	3.450 W
MCBB B/C/D	18 A	4.160 W
RCCB $I_{\Delta n} = 0,5\text{ A}$	0,5 A	115 W
RCCB $I_{\Delta n} = 0,3\text{ A}$	0,3 A	69 W
RCCB $I_{\Delta n} = 0,03\text{ A}$ (30 mA)	0,03 A	6,9 W

Ungeerdete Systeme (IT-Systeme) haben den Vorteil, dass bei einem ersten Fehler nur ein kleiner Fehlerstrom fließen kann und so die an der Fehlerstelle auftretende Verlustleistung sehr gering ist. Dadurch ist bei IT-Systemen die Brandgefahr deutlich geringer.

# Verfügbarkeit elektrischer Energie

Die Verfügbarkeit elektrischer Energie ist in vielen Bereichen eine unabdingbare Voraussetzung. Ein Ausfall der elektrischen Energie hat einen wesentlichen Einfluss auf:

- die Sicherheit von Personen
- die Sicherheit von Sachen
- die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens oder im Produktionsprozess.

Demzufolge ist nicht nur eine frühzeitige Erkennung sondern auch eine schnelle Störungsbeseitigung unverzichtbar. Zur Störungsbeseitigung stehen einige technische Lösungen mit unterschiedlicher Effektivität zur Verfügung. Diese Lösungen können hinsichtlich zweier Kriterien miteinander verglichen werden:

- Verfügbarkeit der gelieferten Leistung
- Qualität der gelieferten Leistung

Die Verfügbarkeit elektrischer Leistung kann betrachtet werden als die Zeit pro Jahr, in der Spannung an den Verbraucherklammern vorhanden ist. Die Verfügbarkeit wird hauptsächlich durch Spannungsunterbrechungen aufgrund von Netzausfällen oder Störungen des elektrischen Netzes beeinträchtigt. Es gibt einige Lösungen zur Risikobegrenzung:

- Aufteilung der Anlage unter Verwendung von nicht nur einer Stromversorgung, sondern mehrerer Stromversorgungen.
- Unterteilung der Anlage in ersatzstromberechtigte und nichtersatzstromberechtigte Stromkreise, wobei die Spannungsversorgung ersatzstromberechtigter Stromkreise ggf. durch eine andere verfügbare Stromversorgung übernommen werden kann.
- Lastabwurf, so dass (ggf.) eine kleinere verfügbare Bemessungsleistung zur Ersatzstromversorgung verwendet werden kann.
- Wahl eines Netzsystems, das auf die Betriebskontinuität ausgelegt ist, z.B. das IT-System.
- Selektivität der Schutzeinrichtungen (selektive Auslösung) zur Begrenzung der Auswirkungen eines Fehlers auf den mit einem Fehler behafteten Anlagenteil.

Es sei darauf hingewiesen, dass die einzige Möglichkeit, die Verfügbarkeit elektrischer Leistung bei Netzausfall zu gewährleisten, darin besteht, zusätzlich zu den oben genannten Maßnahmen zumindest für ersatzstromberechtigte Verbraucher eine eigenständige Stromquelle einzusetzen.

## Netzsysteme

Die allgemeinen Grundsätze und Merkmale für die verschiedenen Netzformen sind in DIN VDE 0100-100 (VDE 0100-100):2009-06 beschrieben. Die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale sind:

- Stromart: AC, DC, 3(N)AC
- Art der Erdverbindung: IT, TT, TN
- Art/Anzahl der aktiven Leiter: L1, L2, L3, N bzw. L+, L-

Die Wahl der Erdverbindung ist mit Bedacht zu treffen, da sie maßgeblich das Verhalten und die Eigenschaften des Netzes bestimmt und die Nutzungsaspekte entscheidend beeinflusst. Bei der Auswahl der Netzform sind die Aspekte

- Versorgungssicherheit/Verfügbarkeit elektrischer Energie
- Installationsaufwand
- Instandhaltung, Stillstandzeiten
- Elektromagnetische Verträglichkeit
- Schutz- und Überwachungseinrichtungen

in Betracht zu ziehen. Die in den IEC- bzw. VDE-Normen festgelegte Erdungsschemen (IT-, TN-, TT-Systeme) haben denselben Zweck in Bezug auf den Personen-, Brand- und Sachwerteschutz: Die Beherrschung der Auswirkung von Isolationsfehlern.

Sie werden hinsichtlich des Personenschutzes beim indirekten Berühren als gleichwertig erachtet. Dies gilt jedoch nicht unbedingt für die Sicherheit der elektrischen Anlage in Bezug auf:

- Versorgungssicherheit/Verfügbarkeit elektrischer Energie
- Instandhaltung, Stillstandzeiten

Hier ist das IT-System klar im Vorteil, denn ein erster Isolationsfehler führt nicht zur Unterbrechung der Stromversorgung und mit Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche steht ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem schnell und präzise den Fehlerort lokalisiert werden kann.

### TT-System

In TT-Systemen ist ein Punkt direkt geerdet (Betriebserdung). Die Körper der elektrischen Anlage sind mit Erden verbunden, die elektrisch vom Erder für die Erdung des Systems unabhängig sind.

Zulässige Schutzeinrichtungen:

- Überstrom-Schutzeinrichtung
- Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD)

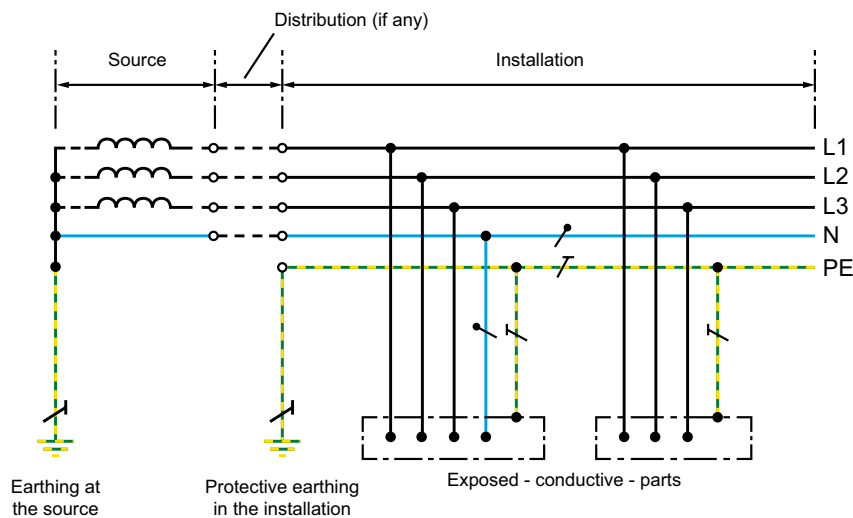


Abb. TT-System



## TN-System

In TN-Systemen ist ein Punkt direkt geerdet; die Körper der elektrischen Anlage sind über Schutzleiter mit diesem Punkt verbunden. Drei Arten von TN-Systemen sind entsprechend der Anordnung der Neutralleiter und Schutzleiter zu unterscheiden:

- TN-S Im gesamten System wird ein getrennter Schutzleiter angewendet
- TN-C Im gesamten System sind die Funktionen der Neutralleiter und Schutzleiter in einem einzigen Leiter kombiniert
- TN-C-S In einem Teil des Systems sind die Funktionen des Neutralleiters und des Schutzleiters in einem einzigen Leiter kombiniert.

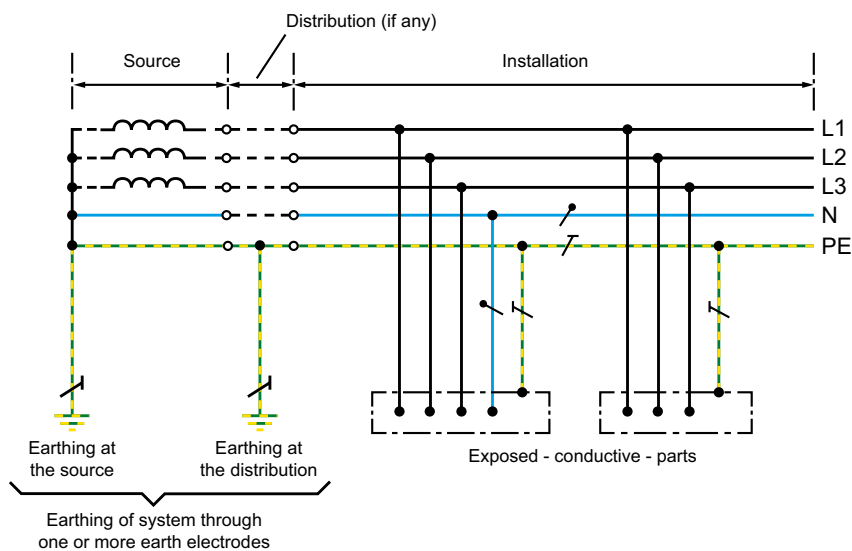


Abb. TN-S-System

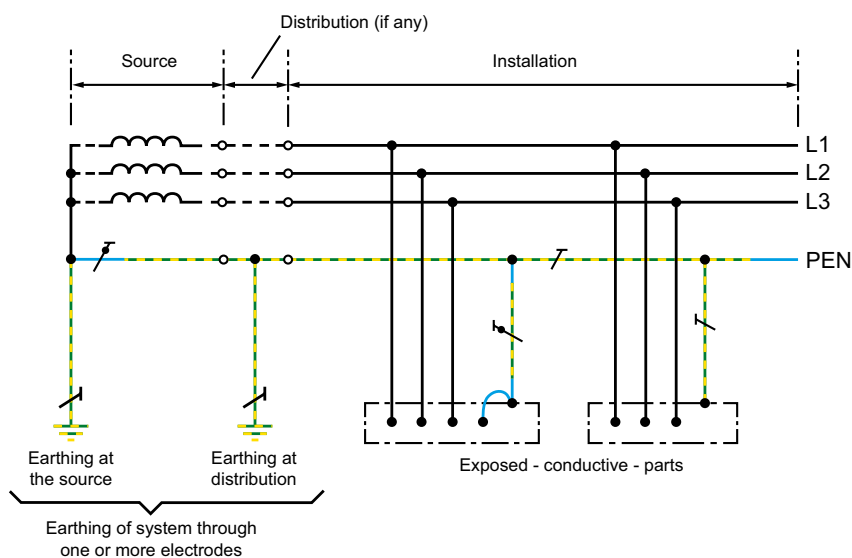


Abb. TN-C-System

### IT-System

In IT-Systemen sind alle aktiven Leiter von Erde getrennt oder ein Punkt ist über eine Impedanz mit Erde verbunden. Bei einem Isolationsfehler kann deshalb nur ein kleiner, im wesentlichen durch die Netzableitkapazität verursachter, Fehlerstrom fließen. Die vorgeschalteten Sicherungen sprechen nicht an. Die Spannungsversorgung bleibt auch bei einpoligem, direktem Erdschluss erhalten.

Die Spannungsversorgung bleibt auch bei einpoligem, direktem Erdschluss erhalten.

Die Körper der elektrischen Anlage sind entweder

- einzeln geerdet oder
- gemeinsam geerdet oder
- gemeinsam mit der Erdung des Systems verbunden.

Folgende Schutzeinrichtungen sind zulässig:

- Isolationsüberwachungsgeräte IMD (Insulation monitoring device)
- Überstrom-Schutzeinrichtungen
- Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen RCD (Residual current protective device), auch bekannt als Fehlerstromschutzschalter (FI-Schalter)

Charakteristische Merkmale

- Ein erster Isolationsfehler führt nicht zum Ansprechen einer Sicherung oder eines Fehlerstromschutzschalters RCD (RCCB).
- Ein Isolationsüberwachungsgerät ermittelt eine unzulässige Isolationsverschlechterung und meldet diese.
- Ein Isolationsfehler sollte schnellstmöglich beseitigt werden, bevor es zu einem zweiten Isolationsfehler an einem anderen aktiven Leiter kommt, was zum Ausfall des Netzes führen würde.

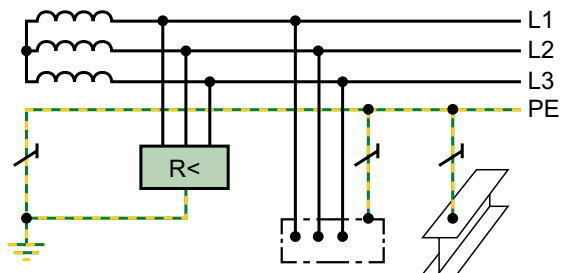
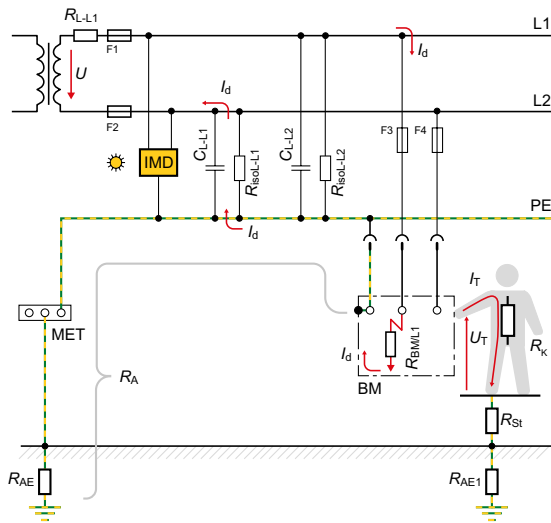


Abb. IT-System

# Verhalten der Netzformen bei einem ersten Fehler

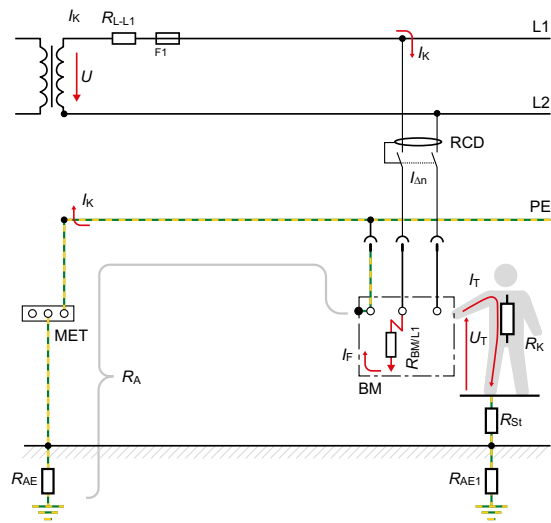
## IT-System



### IT-System – 1. Fehler

- Der Isolationsfehler  $R_{BM/L1}$  verursacht einen Fehlerstrom  $I_d$ , der durch die Netzableitkapazität  $C_{L-L1}$  und den Isolationswiderstand  $R_{Isol-L1}$  bestimmt wird.
- $I_d$  ist sehr klein, eine Sicherung F1 spricht nicht an.
- Der Isometer meldet „Isolationsfehler“
- Die Stromversorgung wird nicht unterbrochen.
- Durch den kleinen  $I_d$  und den niederohmigen  $R_A$  kann auch keine hohe Berührungsspannung  $U_T$  entstehen, da  $R_K$  parallel zu  $R_A$ .

## TN-System



### TN-System

- Der Isolationsfehler  $R_{BM/L1}$  verursacht hohen Kurzschlussstrom  $I_k$ , der die Sicherung F1 auslöst.
- Ist im entsprechenden Abgang eine RCD vorhanden, löst diese bereits bei einem Fehlerstrom von  $I_f > 30 \text{ mA}$  aus.
- Die Stromversorgung ist unterbrochen

### IT-System – die Stromquelle

In IT- Systemen sind alle aktiven Leiter von Erde getrennt oder ein Punkt ist über eine hochohmige Impedanz mit Erde verbunden (hochohmige Erdung in Deutschland nicht üblich). Ebenso wird die Primärseite der speisenden Stromquelle isoliert aufgebaut sein. Typische Stromquellen sind z.B.

- Trenntransformatoren
- Gleichspannungsstromquellen mit galvanischer Trennung
- Motorgeneratoren (z.B. bei mobilen Stromerzeugern)
- Batterieanlagen

Im medizinischen Bereich sind spezielle Trenntransformatoren für das medizinische IT-System definiert (siehe DIN EN 61558-2-15: 2012-09), da es in diesem Bereich auf extrem niedrige Ableitströme ankommt, denn der Herzmuskel ist deutlich stromempfindlicher als der normale Körperwiderstand der Haut. Bei Operationen am offenen Herzen liegt die zulässige Berührungsspannung  $U_T$  bei ca. 10 mV, während bei normalem Hautwiderstand die Berührungsspannung AC 50 V/DC 120 V nicht überschreiten darf.

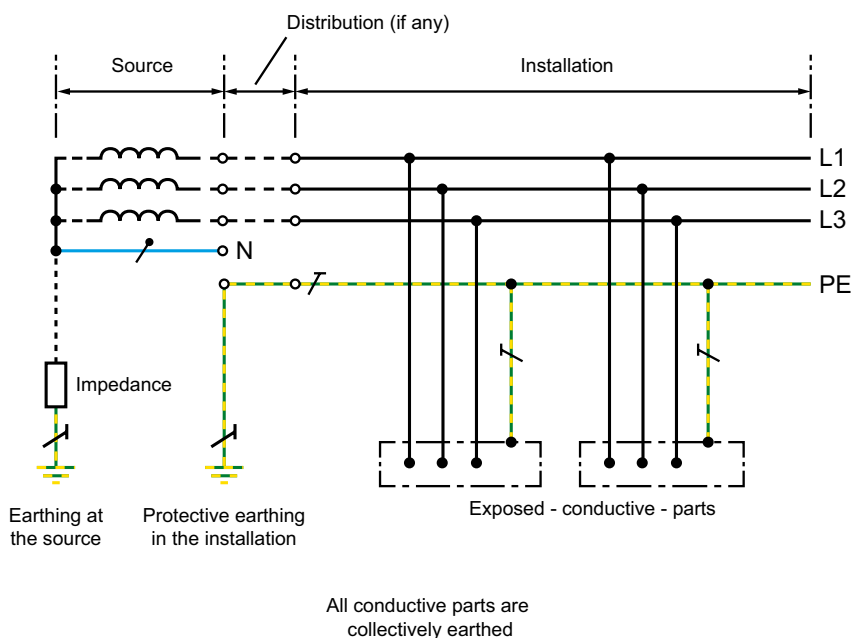


Abb. IT-System AC (einphasig, dreiphasig mit und ohne N-Leiter)

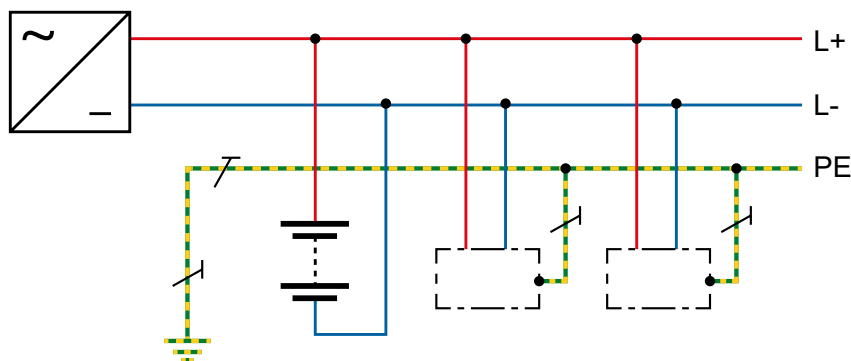


Abb. IT-System DC

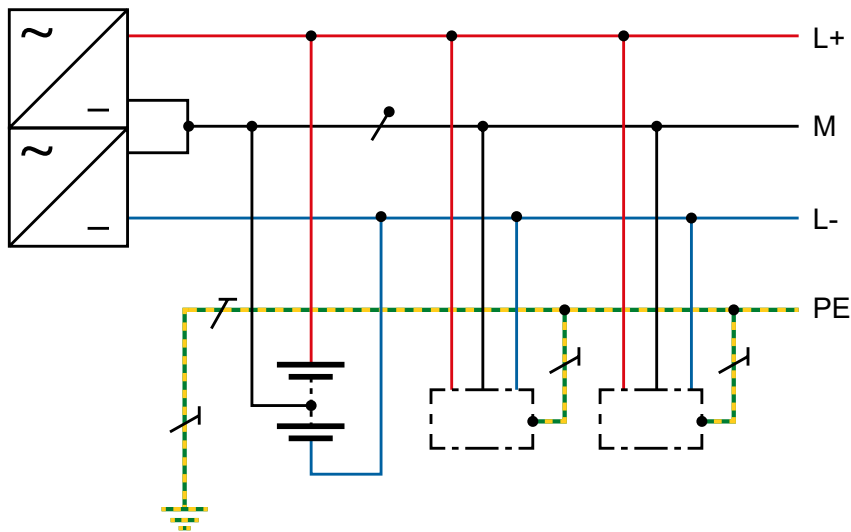


Abb. IT-System DC mit Mittelpunktleiter

### Erdung (der Verbraucher) im IT-System

Das IT-System wird häufig als das ungeerdete System bezeichnet. Dies trifft jedoch nur auf die Verbindung zwischen den aktiven Leitern und dem Erdungssystem zu. Grundsätzlich muss auch für das IT-System ein Erdungssystem errichtet werden. Nähere Angaben zum Aufbau des Erdungssystems sind in DIN VDE 0100-410:2018-10 Abschnitt 411.3.1.1 bzw. DIN VDE 0100-540: 2012-06 beschrieben. Danach müssen

- die Körper mit dem Schutzleiter verbunden werden, unter den gegebenen Bedingungen für jedes System nach Art der Erdverbindung.
- Gleichzeitig berührbare Körper müssen mit demselben Erdungssystem einzeln, in Gruppen oder gemeinsam verbunden werden.
- Für jeden Stromkreis muss ein Schutzleiter vorhanden sein, der durch Anschluss an die diesem Stromkreis zugeordnete Erdungsklemme oder Erdungsschiene geerdet ist.

Die Körper der elektrischen Anlage sind entweder einzeln, gruppenweise oder gemeinsam mit der Erdung des Systems verbunden.

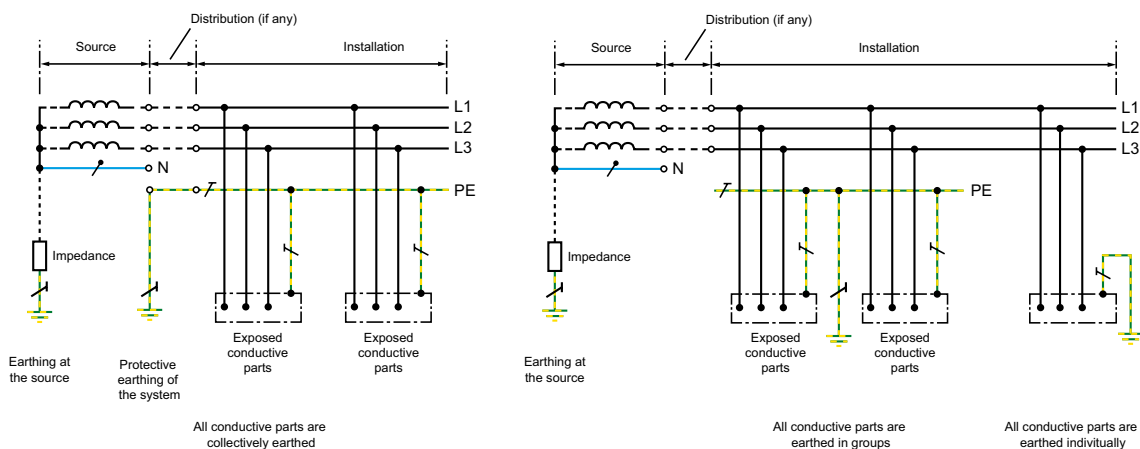


Abb. IT-System mit gemeinsamer, gruppenweise oder Einzelerdung

## Der Schutz gegen elektrischen Schlag

Der Schutz gegen elektrischen Schlag durch automatische Abschaltung ist im Kapitel 411 von DIN VDE 0100-410:2007-06 beschrieben. Eine Schutzmaßnahme besteht immer aus dem Basisschutz und einem Fehlerschutz. Beim Schutz durch automatische Abschaltung ist die Schutzmaßnahme wie folgt definiert:

- **Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren)**

Basisisolierung der aktiven Teile oder durch Abdeckung oder Umhüllungen nach Anhang A von DIN VDE 0100-410:2018-10)

- **Fehlerschutz**

Schutzpotentialausgleich über die Haupterdungsschiene und automatische Abschaltung im Fehlerfall nach Abschnitt 411 von DIN VDE 0100-410:2018-10

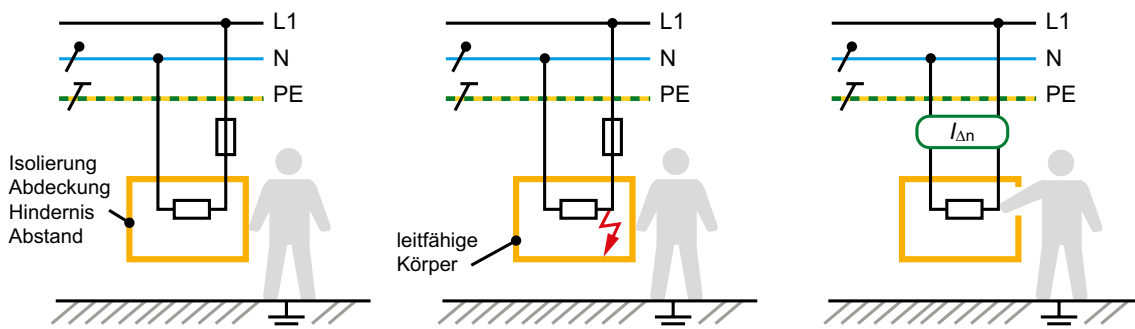


Abb. A) direktes Berühren

B) indirektes Berühren

C) zusätzlicher Schutz

Eine ordnungsgemäße Erdung bzw. Schutzleiter ist somit wesentlicher Bestandteil für den Schutz durch automatische Abschaltung. Die Schutzeinrichtung selbst muss im Fall eines *ersten Fehlers* mit vernachlässigbarer Impedanz zwischen

- dem Außenleiter und einem Körper oder
- einem Schutzleiter des Stromkreises oder
- einem Schutzleiter des Betriebsmittels

die Stromversorgung in der geforderten Abschaltzeit automatisch unterbrechen. Dies gilt jedoch nicht für das IT-System. Unter der Voraussetzung, dass die Körper einzeln, gruppenweise oder gemeinsam geerdet sind, ist der Fehlerstrom bei Auftreten eines Einzelfehlers gegen einen Körper oder gegen Erde niedrig und *eine automatische Abschaltung ist nicht gefordert* (DIN VDE 0100-410:2018-10 Abschnitt 411.6.1).

Es müssen jedoch Vorkehrungen getroffen werden, für den Fall eines zweiten Fehlers an einem anderen Leiter. Bei gemeinsamer Erdung sind das die Abschaltbedingungen vergleichbar mit einem TN-System, bei Einzel- oder Gruppenerdung die Bedingungen eines TT-Systems.

Zulässige Abschaltzeiten (Nach DIN VDE 0100-410:2007-06: Tabelle 41.1)

System	50 V < U <sub>0</sub> ≤ 120 V		50 V < U <sub>0</sub> ≤ 120 V		50 V < U <sub>0</sub> ≤ 120 V		50 V < U <sub>0</sub> ≤ 120 V	
	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC
TN	0,8 s	siehe Anmerkung	0,4 s	5 s	0,2 s	0,4 s	0,1 s	0,1 s
TT	0,3 s	siehe Anmerkung	0,2 s	0,4 s	0,07 s	0,2 s	0,04 s	0,1 s

### Anmerkung:

Wenn in TT-Systemen die Abschaltung durch eine Überstrom-Schutzeinrichtung erreicht wird und alle fremden, leitfähigen Teile in der Anlage an den Schutzpotentialausgleich angeschlossen sind, darf die für TN-Systeme anwendbare Abschaltzeit verwendet werden.

IT-Systeme sind in dieser Tabelle nicht aufgeführt, da eine Abschaltung bei einem ersten Fehler nicht erforderlich und damit auch keine Zeitvorgabe möglich ist. Die Abschaltzeiten sind lediglich bei einem zweiten Fehler zu beachten. Für den ersten Fehler im IT-System gibt es nur die Vorgabe (DIN VDE 0100-410:2018-10 Abschnitt 411.6.3.1), den ersten Fehler so schnell wie möglich zu beseitigen, wobei dies dann im Ermessen des Anlagenbetreibers liegt.

### **Schutz- und Überwachungseinrichtungen im IT-System**

Nach DIN VDE 0100-410:2018-10 sind in IT-Systemen folgende Schutz- und Überwachungseinrichtungen zulässig:

- Isolationsüberwachungsgeräte IMD (Insulation monitoring device IMD)
- Isolationsüberwachungseinrichtungen (IMDs);
- Differenzstrom-Überwachungseinrichtungen (RCMs);
- Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche (IFLS);
- Überstrom-Schutzeinrichtungen;
- Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs).

Im IT-System nach DIN VDE 0100-410:2018-10 Ab. 411.6.3.1 muss der erste Fehler durch ein Isolationsüberwachungsgerät (IMD) oder Differenzstromüberwachungsgerät (RCM) gemeldet werden, wenn das System beim ersten Isolationsfehler nicht abgeschaltet wird. Ebenso wird gefordert, dass der erste Fehler durch ein hörbares und/oder sichtbares Signal gemeldet werden muss. Der Planer sollte deshalb darauf achten, dass die Isolationsfehlermeldung an einer entsprechenden Stelle aufläuft.

Der Einsatz von RCDs oder RCMs ist in IT-Systemen nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich und in Deutschland nicht üblich, da symmetrische Isolationsfehler nicht erkannt werden können.

### **Netzableitkapazität $C_e$ in IT-Systemen**

Die vorhandene Netzableitkapazität  $C_e$  ist ein wichtiges Auswahlkriterium für das Isolationsüberwachungsgerät. Der bei diesen Geräten angegebene Wert  $C_{e\max}$  ist der Wert bis zu dem das Isolationsüberwachungsgerät bestimmungsgemäß arbeitet.

#### **Natürliche Netzableitkapazität (A)**

Die natürliche Netzableitkapazität ist der Anteil an der Gesamtkapazität  $C_e$  ges., der sich durch den natürlichen (geometrischen) Aufbau der Leitungsanlage des Systems nach Erde ergibt.

Leitungskapazitäten sind abhängig von der Isolationsstärke zwischen den Leitern, dem Abstand  $h$ , der Materialkonstante  $\epsilon_r$ , der elektrischen Feldkonstante  $\epsilon_0$  und Fläche der Isolation zwischen den Leitern. In der Regel beträgt dieser Wert etwa 150 pF/m.

#### **Künstliche Netzableitkapazitäten (B)**

Um EMV-Störungen durch nichtlineare Verbraucher, unterschiedliche Frequenzen oder auch hochfrequente Harmonische zu eliminieren und um die EMV-Normen zu erfüllen, werden Verbraucher mit Entstörkapazitäten beschaltet. Diese Entstörfilter haben zur Folge, dass die Netzableitkapazitäten sich erhöhen bzw. höhere Ableitströme zum Fließen kommen können. Typische Entstörkondensatoren in elektronischen Geräten liegen im Bereich von 10...100 nF.

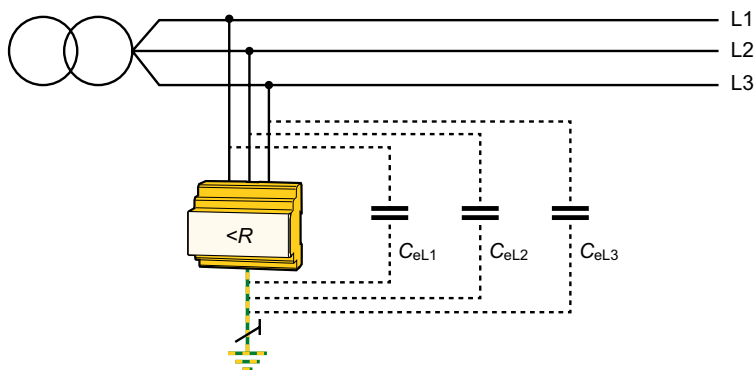


Abb. Addition der Netzableitkapazitäten  $C_e$  in Bezug auf das Isolationsüberwachungsgerät

### Der erste Fehler im IT-System

In elektrischen Systemen nach DIN VDE 0100-410:2018-10 gilt die Aussage, dass die elektrische Sicherheit von Personen gewährleistet ist, wenn die Berührungsspannung  $< 50\text{ V (AC)}$  bzw.  $< 120\text{ V (DC)}$  liegt. Im Normalbetrieb eines IT-Systems stellen lediglich die Netzableitkapazitäten eine Verbindung zur Erde bzw. dem Schutzleiter dar, denn der Sternpunkt bzw. die aktiven Leiter sind von Erde bzw. dem Schutzleiter getrennt bzw. isoliert aufgebaut. Da die Netzableitkapazitäten alle parallel geschaltet sind, addieren sich ihre Werte zu der Gesamtableitkapazität  $C_e$ . Allgemein darf man für das Gesamtsystem ungefähr gleichmäßige Teilkapazitäten  $C_L$  der Leiter gegen Erde annehmen. Für ein dreiphasiges IT-System gilt dann.

$$C_e = C_{L-L1} + C_{L-L2} + C_{L-L3}$$

$C_e$  ist auch der Wert, der bei der Auswahl eines Isolationsüberwachungsgerätes berücksichtigt werden muss.

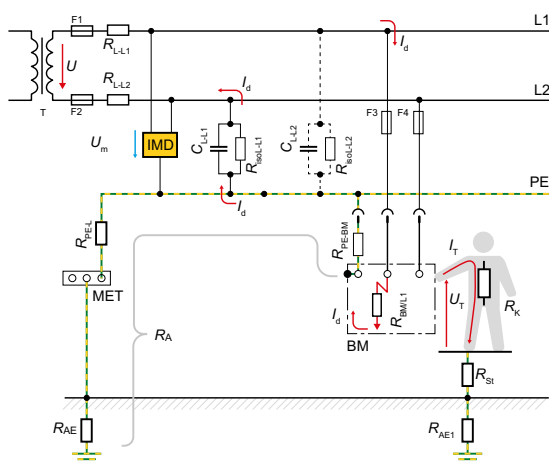


Abb.: Einphasiges IT-System mit einem ersten Isolationsfehler  $R_F$

Bei einem ersten Fehler fließt nun über den Schutzleiter ein Strom  $I_d$ , der einen bestimmten Wert nicht überschreiten darf. Neben den bekannten Grenzwerten für die Berührungsspannung  $U_T$  von AC 50 V bzw. DC 120 V ist der Wert von  $I_d$  auch vom Erdungswiderstand  $R_A$  der Anlage zu berücksichtigen. Je niederohmiger der Erdungswiderstand  $R_A$  umso höher ist der zulässige Fehlerstrom  $I_d$ . Es gilt:

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

Für Gleichstromsysteme  $R_A \times I_d \leq 120\text{ V}$

$R_A$  ist die Summe der Widerstände in Ohm des Erders und des Schutzleiters zum jeweiligen Körper



$I_d$  ist 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.

Der Ausbreitungswiderstand der Erdung muss so gewählt werden, dass während eines Isolationsfehlers keine unzulässige Berührungsspannung auftreten kann. Dies bedeutet, je niederohmiger der Erdungswiderstand  $R_A$ , je höher der zulässige Wert von  $I_d$ . Damit wird deutlich, dass ein IT-System mit einem hohen Erdungswiderstand, z.B. 100  $\Omega$ , immer noch sicher ist, wenn der Fehlerstrom entsprechend klein ist. Dies ist z.B. von Vorteil, wenn in felsigem Untergrund geerdet werden muss.

Mit  $I_d$  lässt sich auch der Erdungswiderstand bestimmen:

$$R_A = \frac{U_T}{I_d} = \frac{50 \text{ V}}{I_d} = \frac{50 \text{ V}}{U \omega C_e}$$

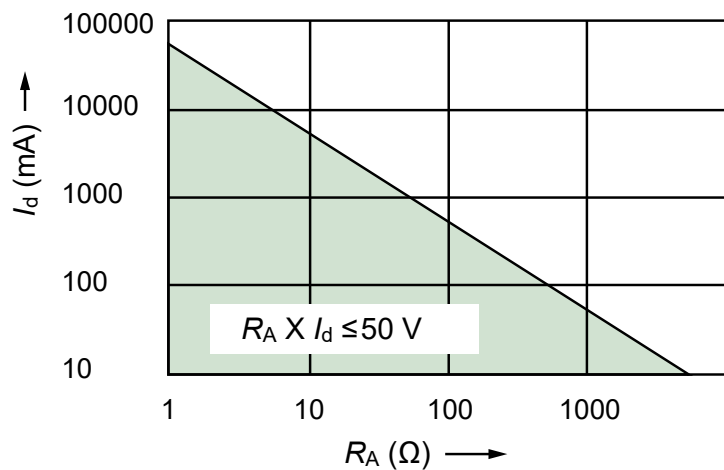


Abb.  $I_d$  in Abhängigkeit von  $R_A$

### Einpoliger Isolationsfehler

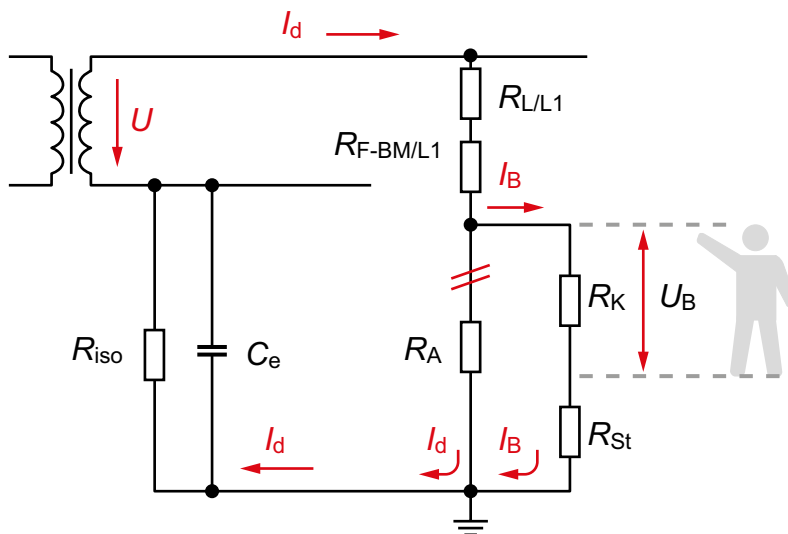
Die Berechnung des kapazitiven Erdschlussstroms  $I_d$  ist bei einem niederohmigen Isolationsfehler (satter Erdschluss) relativ einfach, da dieser als Kenngröße des IT-Systems einen Anhalt für den Netzbereich gibt:

$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3}} \times 3 \omega C_e = U \sqrt{3} \omega C_e$$

Für einphasige Wechselstromsysteme gilt

$$I_d = U \omega C_e$$

Berücksichtigt man den Isolationswiderstand des gesunden Leiters, so ergibt sich für ein einphasiges IT-System folgendes Ersatzschaltbild.



Daraus lässt sich der Fehlerstrom  $I_d$  bzw. die Berührungsspannung  $U_T$  berechnen:

$$I_d = \frac{U}{R_L + R_F + R_{PE} + \frac{R_{Iso} \times X_{Ce}}{R_{Iso} + X_{CE}}}$$

$$X_{CE} = -\frac{1}{j\omega C_e} \quad I_d = \frac{U}{R_L + R_F + R_{PE} + \frac{R_{Iso}}{1 + R_{Iso} + j\omega C_e}}$$

Bei angenommenen Werten von

$$R_L = 0,5 \Omega$$

$$R_F = 10 \Omega$$

$$R_{PE} = 0,5 \Omega$$

$$C_{L-L1} = 1 \mu F$$

ergibt sich die Berührungsspannung  $U_T$  wie folgt:

$$I_d = \frac{230 V}{0,5 \Omega + 10 \Omega + 0,5 \Omega + \frac{1 M\Omega}{1 + (1 M\Omega \times 2\pi 50 Hz \times 1 \mu F)}}$$

$$\text{bei } 50 \text{ Hz } I_d = 0,0724 \text{ A}$$

$$U_T = 0,0724 \text{ A} \times (0,3 \Omega + 10 \Omega) = 0,745 \text{ V}$$

Die Berührungsspannung  $U_T$  liegt somit deutlich unter einem kritischen Wert von 50 V.

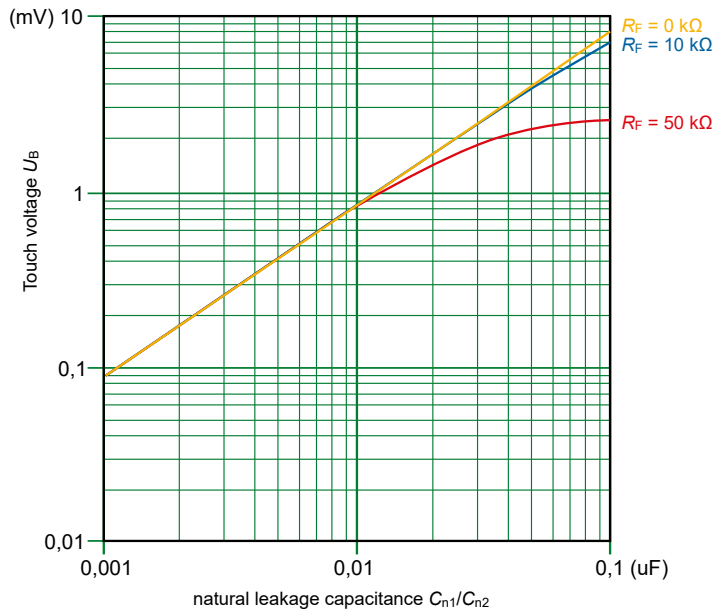


Abb. Berührungsspannung im IT-System

### Grenzen eines IT-Systems

Die Grenzen eines IT-Systems werden maßgeblich durch die Ausdehnung bestimmt. Je größer das System, umso kleiner wird auch die Impedanz zwischen aktiven Leitern und Erde. Diese Impedanz wird maßgeblich durch die Leitungskapazitäten, Entstörkapazitäten und natürliche Netzableitkapazitäten bestimmt.

Typische Kapazitätswerte sind z.B.

In med. IT-Systemen	0,01 $\mu\text{F}$ pro Phase
In kleinen IT-Systemen	0,3 $\mu\text{F}$ pro Phase (L1, L2, L3)
In mittleren IT-Systeme	1,6 $\mu\text{F}$ pro Phase (L1, L2, L3)
In großen IT-Systemen	10 $\mu\text{F}$ pro Phase (L1, L2, L3)

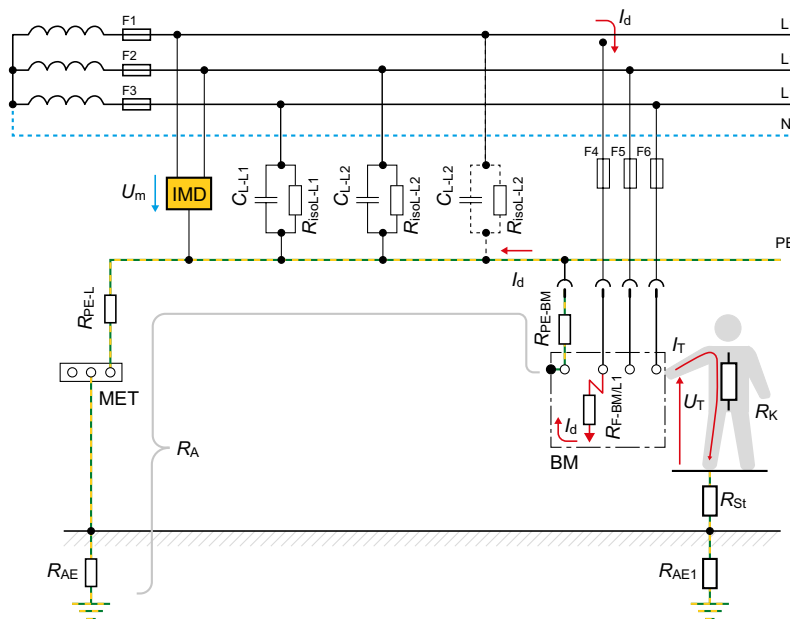


Abb. 3-phasiges IT-System

Ersatzschaltbild eines 3-phasigen IT-Systems:

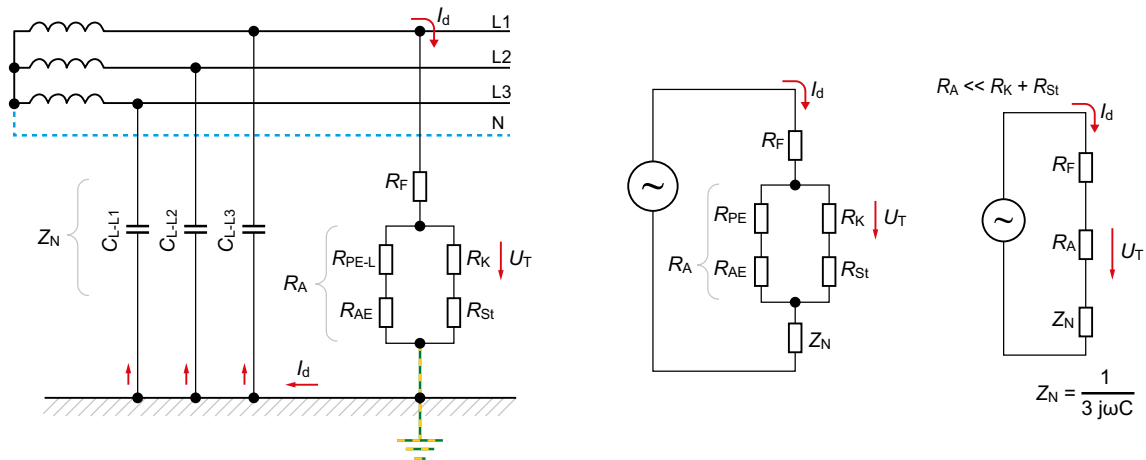
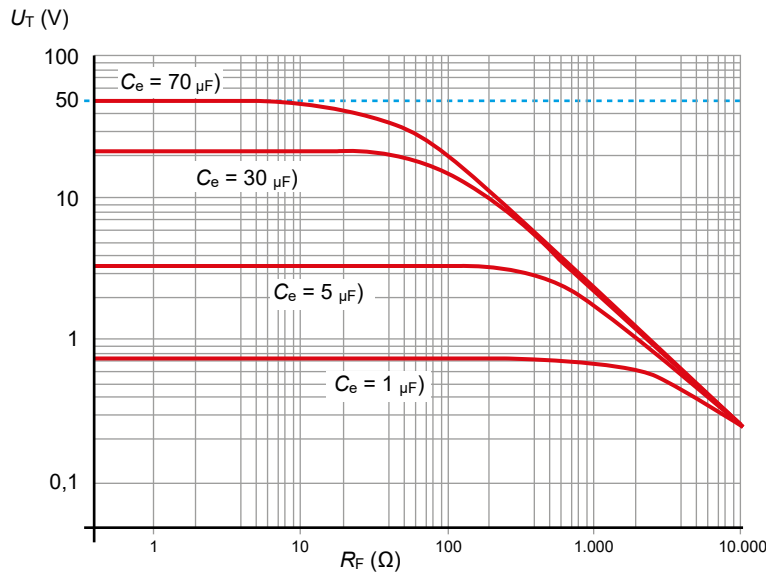


Abb. Ersatzschaltbild eines 3-phasigen IT-Systems mit Isolationsfehler ( $R_F$ )

Für die Berührungsspannung  $U_B$  gilt dann

$$U_B = U_0 \times \frac{R_A}{Z_{\text{ges}}} = \frac{R_A}{R_F + R_A - \frac{1}{3j\omega C_e} i}$$

Für verschiedene Netzableitkapazitäten  $C_e$  ergibt sich dann daraus folgende Kurvenschar:



Dies bedeutet, dass bei einem 3-ph IT-System mit einer gesamten Netzableitkapazität von ca. 70  $\mu\text{F}$  die Berührungsspannung  $U_T$  den Wert von 50 V überschreiten kann, jedoch nur dann, wenn der Isolationsfehler  $< 100 \Omega$  liegt. Dies bedeutet, dass bei einer frühzeitigen Erkennung eines Isolationsfehlers (z.B.  $> 100 \Omega/\text{V}$ ) durch ein IMD und einer Lokalisierung des Isolationsfehlerortes durch eine IFLS, eine Gefährdung durch eine zu hohe Berührungsspannung  $U_T$  deutlich reduziert werden kann.

### Vergleich der Netzformen TN,- TT- und IT-System

Netzform	Vorteile	Nachteile
Schutz-/ Funktionskleinspannung (SELV oder PELV)	Kein Gefahrenpotenzial bei Berührung	Begrenzte Leistung bei wirtschaftlichem Betriebsmitteleinsatz Besondere Anforderungen an die Stromkreise
Schutzisolierung	Höchstes Sicherheitsniveau Kombinierbar mit anderen Netzformen	Doppelte Isolierung der Betriebsmittel Nur bei kleinen Verbrauchern wirtschaftlich Bei thermischen Verbrauchern Brandgefahr durch Isolierstoffe
IT-System	EMV-freundlich Höhere Verfügbarkeit: Beim 1. Fehler wird nur gemeldet, beim 2. Fehler wird abgeschaltet Geringer Erdschlussstrom in kleinen Netzen Geringe Beeinflussung benachbarter Anlagen, dadurch einfache Erdungsanlagen Geringerer Aufwand beim Verlegen von Kabeln und Leitungen Einfache Fehlerortlokalisierung mit entsprechenden Einrichtungen	Betriebsmittel müssen durchgängig für die Spannung zwischen Außenleitern isoliert sein Überstrom-Schutzeinrichtung für N-Leiter ist erforderlich Probleme mit Abschaltung bei zweitem Erdschluss möglich
TT-System	EMV-freundlich Schutzmaßnahme unabhängig von der Netzkurzschlussleistung Geringer Aufwand beim Verlegen von Kabeln und Leitungen Unterschiedliche Berührungsspannung bereichsweise zulässig Kombinierbar mit TN-Netz	Wegen der Verwendung von RCDs nur für geringe Leistung möglich Regelmäßige Funktionsprüfung erforderlich Aufwendige Betriebserdung ( $\leq 2 \Omega$ ) Potentialausgleich für jedes Gebäude zwingend
TN-C-System	Einfach zu errichten Geringer Materialaufwand	Nicht EMV-freundlich Wegen Gebäudestreuströmen und niederfrequenten Magnetfeldern nicht für Gebäude mit informationstechnischen Anlagen Lebensgefahr bei PEN-Bruch Höheres Risiko von elektrisch gezündeten Bränden
TN-C-S-System	Preiswerter Kompromiss für Gebäude ohne Informationstechnologie	Nicht EMV-freundlich Niederfrequente Magnetfelder möglich
TN-S-System	EMV-freundlich Hoher Bekanntheitsgrad	Erhöhter Aufwand in der Schutztechnik bei entfernt stehenden Mehrfacheinspeisungen Risiko der unbewussten Mehrfacherdung

# Isolationsüberwachungsgeräte (ISOMETER®)

Nach DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410:2018-10) Abschnitt 411.6 bzw. IEC 60364-4-41:2017-03 sind Isolationsüberwachungsgeräte unabdingbarer Bestandteil von ungeerdeten Stromversorgungen (IT-Systemen), um einen ersten Fehler zwischen einem aktiven Teil und einem Körper oder gegen Erde zu melden, wenn der erste Isolationsfehler nicht abgeschaltet wird. Isolationsüberwachungsgeräte werden heute kurz „ISOMETER“ genannt, wobei dieser Begriff eine eingetragene Markenbezeichnung von Bender ist.

Isolationsfehler sind wie folgt definiert:

- a) *symmetrischer* Isolationsfehler (en: symmetrical insulation fault)  
widerstandsbehafteter Fehler in der Isolation einer elektrischen Installation oder eines Gerätes gegen Erde mit annähernd dem gleichen Widerstand von allen Außenleitern zur Erde
- b) *unsymmetrischer* Isolationsfehler (en: asymmetrical insulation fault)  
widerstandsbehafteter Fehler in der Isolation einer elektrischen Installation oder eines Gerätes gegen Erde mit unterschiedlichen Widerständen von den Außenleitern zur Erde

• *Aus DIN VDE 0100-410:*

- Werden IT-Systeme so geplant, dass beim ersten Isolationsfehler keine Abschaltung erfolgt, muss der erste Fehler durch eine der folgenden Einrichtungen gemeldet werden:
  - Isolationsüberwachungseinrichtung (IMD), die mit einer Einrichtung zur Isolationsfehlersuche (IFLS) kombiniert werden kann;
  - Differenzstrom-Überwachungseinrichtung (RCM) unter der Voraussetzung, dass der Differenzstrom ausreichend groß ist, um erfasst zu werden.

ANMERKUNG Differenzstrom-Überwachungseinrichtungen (RCMs) können keine symmetrischen Isolationsfehler erkennen.

Die Einrichtung muss ein hörbares und/oder sichtbares Signal erzeugen, das so lange andauert, wie der Fehler besteht. Dieses Signal kann durch einen Relaisausgang, einen elektronischen Schalter oder über ein Kommunikationsprotokoll erzeugt werden.

Nach der Produktnorm für Isolationsüberwachungsgeräte, der DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8): 2015-12 gilt die Forderung:

- Isolationsüberwachungsgeräte müssen nach ihrem vorgegebenen Messprinzip in der Lage sein, sowohl symmetrische als auch unsymmetrische Isolationsverschlechterungen zu überwachen.
  - Eine symmetrische Isolationsverschlechterung liegt dann vor, wenn sich der Isolationswiderstand aller Leiter des zu überwachenden Netzes (annähernd) gleichmäßig verringert.
  - Eine unsymmetrische Isolationsverschlechterung liegt dann vor, wenn sich der Isolationswiderstand, z. B. eines Leiters wesentlich stärker verringert als der der (des) übrigen Leiter(s).
- Sogenannte Erdschlussüberwachungsrelais, die als alleiniges Messkriterium die bei Auftreten eines Erdschlusses entstehende Unsymmetriespannung (Verlagerungsspannung) nutzen, sind keine Isolationsüberwachungsgeräte im Sinne dieser Norm.
- Unter besonderen Netzbedingungen kann zum Erfüllen der Überwachungsaufgabe eine Kombination mehrerer Messverfahren notwendig sein, einschließlich einer Unsymmetrieüberwachung.
- Hinweise: Symmetrische Isolationsfehler treten häufig in Gleichspannungsnetzen oder Steuerstromkreisen auf. Ist der Widerstandswert beider Isolationsfehler etwa gleich, so können Isolationsüberwachungsgeräte, deren Funktionsweise auf dem Prinzip der Messung der Überlagerungsspannung beruht, diese Isolationsfehler nicht erfassen.  
Deshalb fordert die IEC 61557-8:2015-12 bzw. DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8): 2015-12 den Einsatz von aktiv messenden Isolationsüberwachungsgeräten.

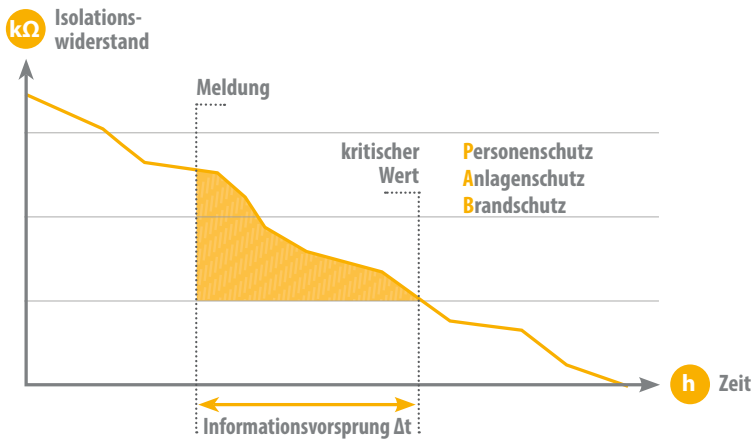


Abb. Informationsvorsprung durch Meldung des IMD

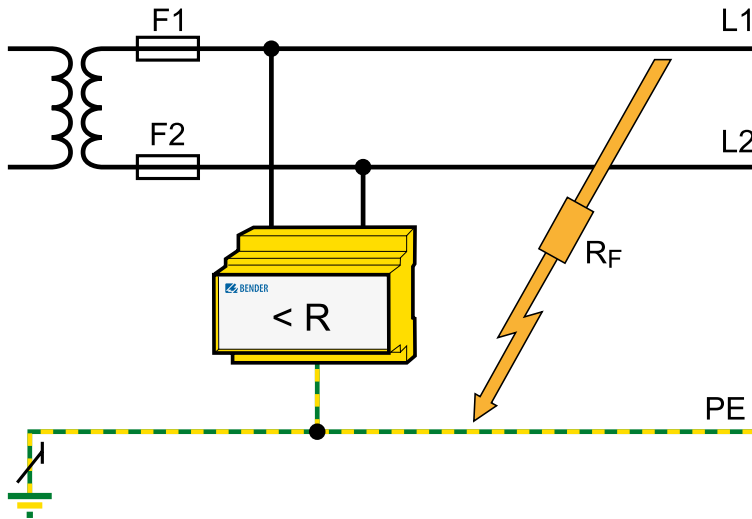


Abb. Einpoliger Isolationsfehler

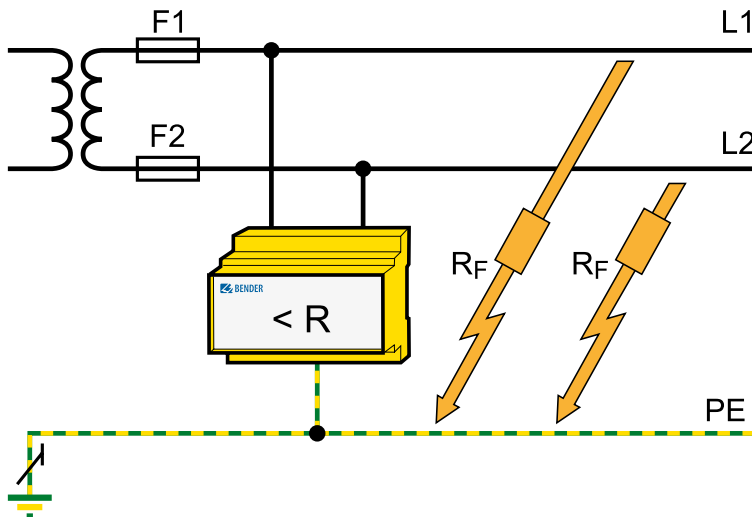


Abb. Zweipoliger (symmetrischer) Isolationsfehler

### Funktionsprinzip Isolationsüberwachungsgerät

Das Isolationsüberwachungsgerät wird zwischen den aktiven Netzleitern und Erde angeschlossen und überlagert dem Netz eine Messspannung  $U_m$ . Beim Auftreten eines Isolationsfehlers schließt sich der Messkreis zwischen Netz und Erde über den Isolationsfehler  $R_F$ , so dass sich ein dem Isolationsfehler proportionaler Messstrom  $I_m$  einstellt. Dieser Messstrom verursacht am Messwiderstand  $R_m$  einen entsprechenden Spannungsfall, der von der Elektronik ausgewertet wird. Überschreitet dieser Spannungsabfall einen bestimmten Wert, was dem Unterschreiten eines bestimmten Isolationswiderstandes gleichkommt, erfolgt eine Meldung.

Die detaillierten Anforderungen an das Isolationsüberwachungsgerät sind in der DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8): 2015-12 enthalten. Durch das Isolationsüberwachungsgerät erhält der Anlagenbetreiber den notwendigen Informationsvorsprung um rechtzeitig und geplant entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen einzuleiten.

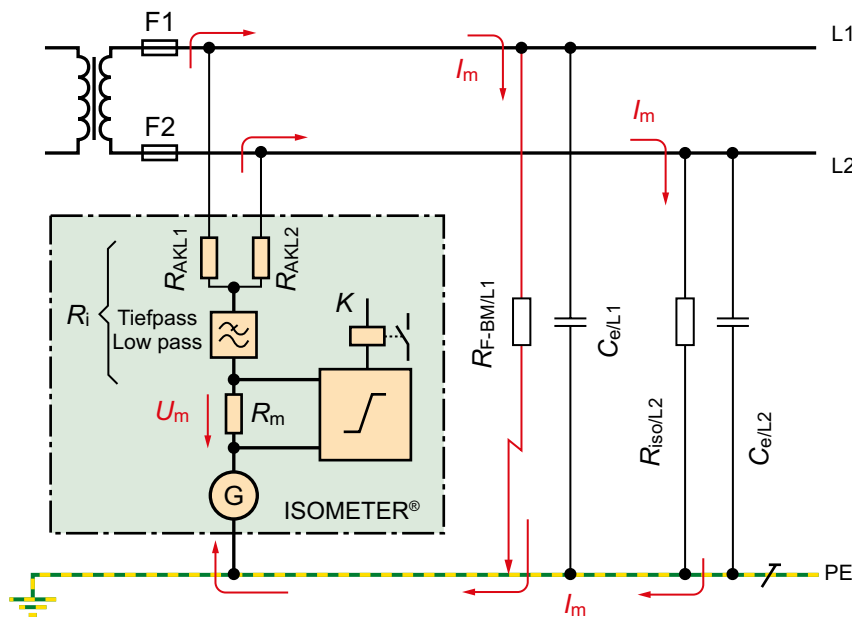


Abb. Funktionsprinzip Isolationsüberwachungsgerät

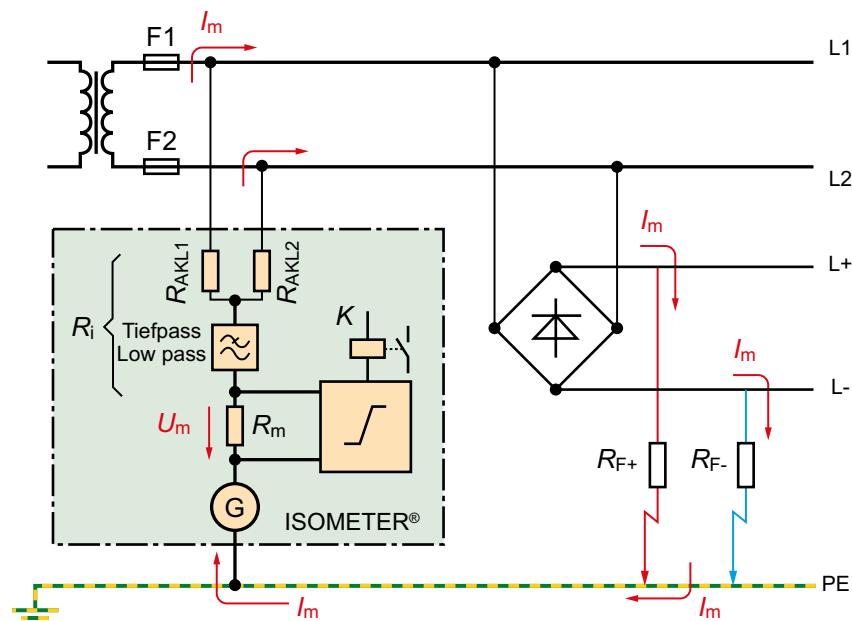












Abb. Funktionsprinzip Isometer in gemischten Systemen



### Messverfahren der Isolationsüberwachungsgeräte

Zwischen dem IT-System, dessen Aufbau, dessen Komponenten und dem Messverfahren des Isolationsüberwachungsgerätes besteht ein direkter Zusammenhang. Die Kenntnis, welches Isolationsüberwachungsgerät mit welchem Messverfahren arbeitet, ist deshalb für die Projektierung wichtig. Die untenstehende Tabelle zeigt die Auswahl der Messverfahren unter Berücksichtigung der Netzparameter.

Netzform	Erzeugung	Bemerkung	Messverfahren
Reines AC-Netz 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transformator</li> <li>• Generator</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1-phasig</li> <li>• 3-phasig</li> </ul>	
DC-Netz 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Batterie</li> <li>• Gleichrichter</li> <li>• Solarzelle</li> <li>• Brennstoffzelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ohne AC-Anteil</li> <li>• mit AC-Anteil aus Ein- oder Mehrweg-Gleichrichter</li> </ul>	
AC-Netz mit DC-Komponenten 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transformer</li> <li>• Generator mit galv. verbund. Gleichrichtern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1-phasig</li> <li>• 3-phasig</li> </ul>	
AC-Netz mit elektronischen Stellgliedern 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thyristor</li> <li>• Triac</li> <li>• GTOs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stark oberwellenhaltig</li> <li>• DC-Komponenten</li> </ul>	
AC-Netz mit variabler Frequenz 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frequenzumrichter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• breites Frequenzspektrum</li> <li>• DC-Komponenten</li> </ul>	

#### a) Messverfahren „Überlagerung Messgleichspannung“

Ein häufig verwendetes Messverfahren ist die Überlagerung einer Messgleichspannung zwischen Netz- und Schutzleiter. Dieses Messverfahren ist zur Überwachung klassischer AC, 3(N)AC- Systeme geeignet, z. B. Motoren. Wird dieses Messverfahren in AC bzw. 3(N)AC-Systemen eingesetzt, in denen galvanisch verbundene Gleichstromkomponenten vorhanden sind, so führen diese Gleichströme zur Verfälschung des Messergebnisses, d. h. Isolationsfehler auf der Gleichspannungsseite werden mit erhöhter Ansprechempfindlichkeit gemeldet. Die im Netz vorhandenen Netzableitkapazitäten  $C_e$  werden lediglich auf die Messspannung aufgeladen und beeinflussen die Messung nach einem kurzen Einschwingvorgang nicht.

#### b) Messverfahren „AMP“

Das für Bender patentierte AMP-Messverfahren basiert auf einer speziell getakteten Messspannung, die von einem Mikrokontroller gesteuert wird und sich automatisch an die jeweiligen Netzverhältnisse anpasst. Mit einer softwareunterstützten Auswertung wird zwischen den Netzableitstromanteilen, die als Störgröße an der Auswerteschaltung auftreten und der dem ohmschen Isolationswiderstand proportionalen Messgröße differenziert. Damit haben breitbandige Störbeeinflussungen, wie sie z. B. beim Umrichterbetrieb entstehen, keinen negativen Einfluss auf die exakte Ermittlung des Isolationswiderstandes. Beim AMP Plus-Messverfahren ist die Störunterdrückung noch einmal verbessert. Geräte mit diesem Messverfahren sind universell in AC, DC- und AC/DC-Netzen einsetzbar, z. B. Netze mit Spannungs- oder Frequenzänderungen, hohen Netzableitkapazitäten oder Gleichspannungsanteilen. Damit werden sie heutigen, modernen Verteilungsnetzen, die in der Regel solche Einflussgrößen (Umrichter, EMV) enthalten, gerecht.

### Isolationsüberwachungsgeräte richtig auswählen

Die Auswahl eines Isolationsüberwachungsgerätes erfolgt unter Berücksichtigung folgender Kriterien:

- Welche Nennspannung hat das IT-System?
  - 1ph, 3ph, AC-, DC- oder AC/DC-Nennspannung?
  - Hauptstrom-, Steuerstromkreis oder spezielle Anwendung?
- Welche Netzableitkapazität ist vorhanden?
- Welche Ansprechbereiche sind erforderlich?
- (Getrennte) Versorgungsspannung  $U_S$ ?
- Erweiterung zur Einrichtung zur Isolationsfehlersuche (IFLS)?
- Spezielle Umweltbedingungen (Temperatur, Rüttel- und Schockfestigkeit, etc. ?)

An dieser Stelle auch der Querverweis zu Abschnitt DIN VDE 0100-530:2018-06. Nach Abschnitt 538.3 müssen die Einrichtungen zur Isolationsüberwachung den Anforderungen von DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8):2015-12 entsprechen. Nach dieser Norm müssen Isolationsüberwachungsgeräte mit entsprechenden Piktogrammen gekennzeichnet sein. Grundsätzlich unterscheiden sich Isolationsüberwachungsgeräte wie folgt:

**AC**

- **Typ AC IMD (en: type AC IMD)**

Gerät, das ständig den Isolationswiderstand von ungeerdeten IT-Wechselspannungssystemen gegen Erde überwacht.

*ANMERKUNG 1 zum Begriff:* Fremdgleichspannungen, die bei Isolationsfehlern hinter Gleichrichtern, die galvanisch mit dem Wechselspannungssystem verbunden sind entstehen können, können die Überwachungsfunktion so beeinflussen, dass die erforderliche Ansprechunsicherheit größer als gefordert wird, oder dass in einigen Fällen sogar die Überwachungsfunktion nicht gewährleistet ist.

**DC**

- **Typ DC IMD (en: type DC IMD)**

Gerät, das ständig den Isolationswiderstand von IT-Gleichspannungssystemen gegen Erde überwacht.

**AC/DC**

- **Typ AC/DC IMD (en: type AC/DC IMD)**

Gerät, das ständig den Isolationswiderstand von IT-Wechselspannungssystemen mit galvanisch verbundenen Gleichrichtern oder von IT-Gleichspannungssystemen mit galvanisch verbundenen Wechselrichtern oder von IT-Gleichspannungssystemen gegen Erde überwacht.

Ein Isolationsfehler (en: insulation fault) ist ein *widerstandsbehafteter* Fehler in der Isolation einer *elektrischen Installation* oder *eines Betriebsmittels* gegen Erde.

*ANMERKUNG 1 zum Begriff:* Der Isolationsfehler kann als Einzelfehler von einem Außenleiter oder als symmetrischer Fehler von allen Außenleitern auftreten.

### **Die Nennspannung $U_n$**

Die Nennspannung eines Stromkreises wird im Prinzip durch die Nutzung vorgegeben. Hier wird üblicherweise in Haupt- und Steuerstromkreise unterschieden:

#### **• Hauptstromkreise**

- Hauptstromkreise versorgen gesamte Anlagen oder Gebäude. Sie enthalten Betriebsmittel zum Erzeugen, Umformen, Verteilen, Schalten und Verbrauch elektrischer Energie.
- Unterschiedliche Verbraucher in einem Netz
- Reine AC-Verbraucher (z. B. Motoren)
- Verbraucher mit elektronischen Komponenten (z. B. Umrichter, Gleichrichter, USV usw.)
- Typische Spannungswerte 690 V, 400 V, 230 V
- Hohe Netzableitkapazität durch räumliche Ausdehnung, mechanischen Aufbau oder Entstörmaßnahmen (z. B. Batterienetze, PV-Anlagen)

#### **• Steuerstromkreise (bei Bender < 300 V)**

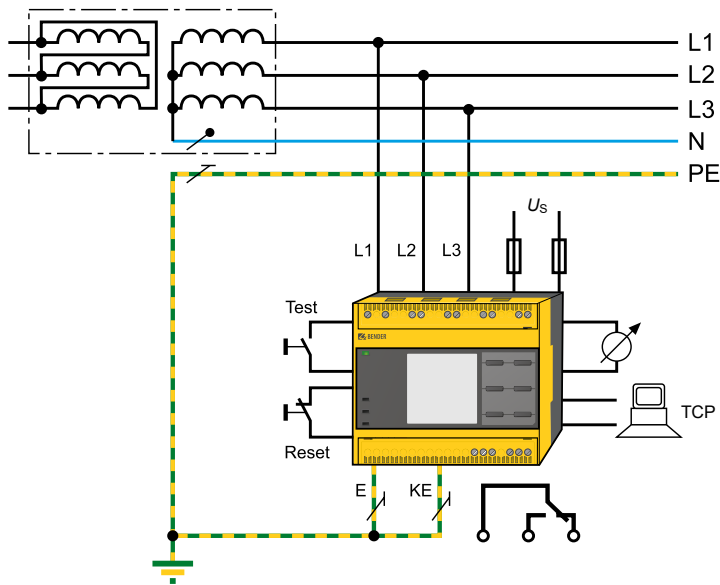
- Steuer- und Hilfsstromkreise werden für zusätzliche Funktionen, z. B. Befehlseingabe, Verriegelung, Melde- und Messstromkreise eingesetzt. Bei diesen Stromkreisen steht die Betriebssicherheit im Vordergrund.
- Räumlich begrenzt, z. B. Maschinensteuerung oder Sicherheitsbeleuchtung
- Typische Nennspannungen 24, 48, 60, 110, 230 V
- Einzelne Verbraucher oder mehrere Verbraucher gleicher Art
- Niedrige Netzableitkapazität

Für Haupt- und Steuerstromkreise wird primär die Normenreihe DIN VDE 0100 angewendet. Davon abweichend gibt es für bestimmte Bereiche spezifische Normen, die detailliert auf die Anforderungen für diesen Bereich eingehen.

#### **• Spezielle Anwendungen**

- PV-Anlagen
- Stromversorgung von Elektrofahrzeugen
- Stromkreise, für die spezielle Normen oder Anforderungen definiert sind, z.B. Hilfsstromkreise
- Mobile Stromerzeuger
- Medizinische Bereiche
- Mittelspannungs-Umrichterantriebe
- Elektrische Maschinen nach DIN EN 60204

## Isolationsüberwachungsgeräte anschließen

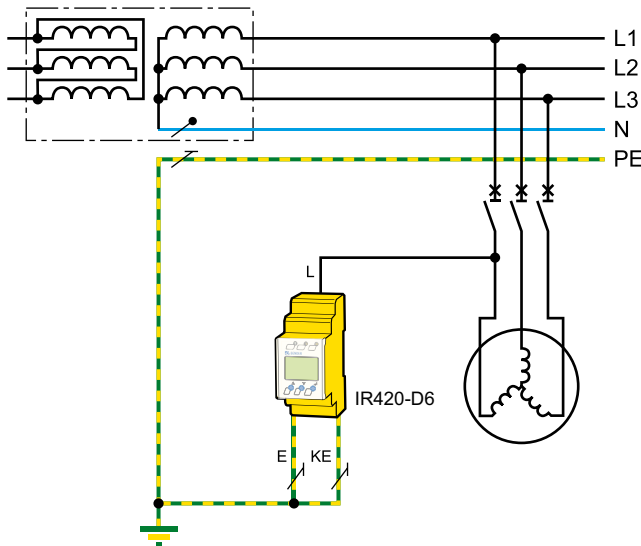


### Anschlüsse eines Isolationsüberwachungsgerätes

- *Anschluss an die aktiven Leiter des IT-Systems*
  - Die meisten Bender Isolationsüberwachungsgeräte sind mit einer Anschlussüberwachung ausgestattet. Diese überwacht die Verbindung zwischen den Anschlussklemmen (z. B. L1 und L2). Ist diese Schleife unterbrochen, wird dies gemeldet. Für diese Funktion muss das Isolationsüberwachungsgerät mit zwei getrennten Leitungen an das zu überwachende Netz angeschlossen werden.
  - Bemerkung: Anschluss auf dieselbe Phase oder N ist zulässig.
- *Anschluss Versorgungsspannung*
  - Diese kann entweder dem zu überwachenden Netz oder beispielsweise einem Steuerspannungsnetz entnommen werden.
- *Anschluss externes k $\Omega$ -Messinstrument*
  - Bei dem Anschluss eines externen Messinstrumentes ist darauf zu achten, dass der Skalenmittelpunkt des Messinstrumentes und der Innenwiderstand des Isolationsüberwachungsgerätes identisch sind (z. B. 120 k $\Omega$ ).
- *Anschluss Schnittstelle*
  - Zur Anbindung z. B. an GLT/ZLT oder zum Datenaustausch mit anderen kommunikationsfähigen Bender-Systemen.
- *Meldekontakte*
  - Bei einigen Isolationsüberwachungsgeräten kann die Arbeitsweise der Alarmrelais eingestellt werden. Bei Ruhestromeinstellung ist das Relais im „Gutzustand“ angezogen. Dadurch kann auch ein Ausfall der Versorgungsspannung (Relais fällt ab) gemeldet werden (Failsafe-Verhalten).
- *Anschluss an Erde/Kontrollerde (KE)*
  - Der Anschluss an Erde erfolgt über zwei getrennte Leitungen E/KE. Dadurch wird die ordnungsgemäße Funktion dieses Anschlusses überwacht und Unterbrechungen gemeldet.
- *Anschluss Test-/Reset-Taste*
  - Überprüfung der Gerätefunktion
  - Rücksetzen des Fehlerspeichers

### Anschluss an ein abgeschaltetes IT-System

Bei der Überwachung eines abgeschalteten IT-Systems ist darauf zu achten, dass sich die Messspannung des Isolationsüberwachungsgerätes auf alle aktiven Leiter überlagern kann. Das erfolgt in der Regel über den Verbraucher (Anmerkung: Die Wicklungen eines Motors/Trafos sind für die Messspannung niederohmig).



### Überwachung eines IT-Systems mit mehreren Einspeisungen

In einem IT-System darf immer nur ein Isolationsüberwachungsgerät aktiv messen, da sich ansonsten die Messspannungen gegenseitig beeinflussen und zu falschen Messergebnissen führen. Wenn zwei IT-Systeme unabhängig voneinander arbeiten, muss in jedem System ein Isolationsüberwachungsgerät installiert sein. Es muss jedoch sichergestellt sein, dass bei Kopplung von beiden Systemen immer nur ein Isolationsüberwachungsgerät aktiv misst. Für diese Konstellation verfügen Bender Isometer über eine Isonet-Funktion.

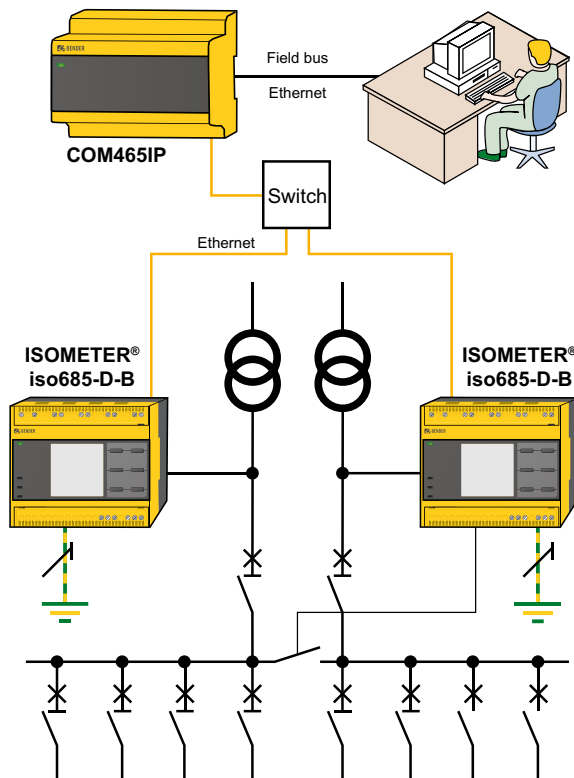


Abb. Beispiel für zwei gekoppelte Systeme

### Absicherung eines Isolationsüberwachungsgerätes

Die meisten Isolationsüberwachungsgeräte sind über zwei Anschlussleitungen mit dem zu überwachenden Netz verbunden. Grundsätzlich ist jede Form der Absicherung eines Isolationsüberwachungsgerätes als Leitungsschutz zu betrachten. Eine Absicherung ist entsprechend DIN VDE 0100-430:2010-10 ohnehin immer dann notwendig, wenn die Strombelastbarkeit durch Verringerung des Leitungsquerschnittes, durch eine andere Verlegungsart, durch andere Leiterisolierung oder durch eine andere Adernzahl gemindert wird. Schutzorgane zum Schutz bei Überlast dürfen in Leitungen und Kabeln entfallen, in denen mit dem Auftreten von Überlastströmen nicht gerechnet werden muss, vorausgesetzt, dass sie weder Abzweige noch Steckvorrichtungen aufweisen. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass diese Bedingungen sowohl bei der Netzankopplung als auch beim Versorgungsspannungsanschluss von Isolationsüberwachungsgeräten erfüllt werden können. Anders sieht es beim Kurzschlusschutz aus. Die Versorgungsspannungsklemmen sind zum Schutz bei Kurzschluss mit Überstromauslösern zu versehen. Es wird der Einsatz von 6-A-Schmelzsicherungen empfohlen. Die Absicherung erleichtert zusätzlich die Zugänglichkeit der Geräte bei Servicearbeiten. Für die Netzankopplung kann auf Schutzeinrichtungen zum Schutz bei Kurzschluss nur dann verzichtet werden, wenn die Gefahr eines Kurzschlusses auf ein Mindestmaß beschränkt ist (siehe dazu DIN VDE 0100-430:2010-10). Hier empfiehlt sich also zumindest eine kurz- und erdschlussfeste Verlegung. Die Reduzierung der Kurzschlussgefahr auf ein Minimum und die Entscheidung, ob dieses Ziel erreicht wurde, ist oft sehr schwierig. Im Zweifelsfall ist auch in der Netzankopplung die Installation von Schutzeinrichtungen zum Schutz bei Kurzschluss mit 6-A-Schmelzsicherungen angebracht. Bei Geräten mit integrierter Anschlussüberwachung wird ein Sicherheitsausfall als Leitungsunterbrechung gemeldet.

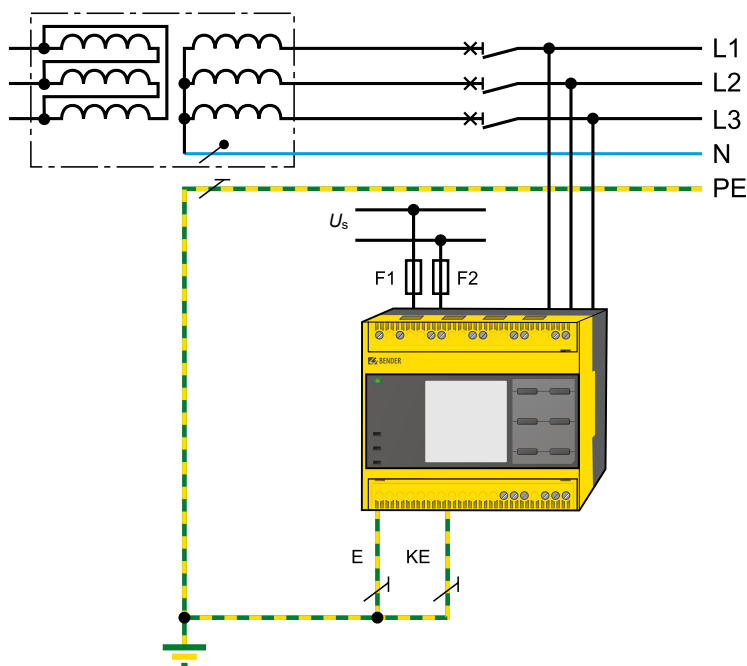


Abb. Absicherung von Isolationsüberwachungsgeräten

# Einstellung der Ansprechwerte

Beim Betrieb eines Isolationsüberwachungsgerätes ist zu beachten, dass der gesamte Isolationswiderstand des jeweiligen IT-Systems gemessen wird. Dieser Gesamtwiderstand ist die Summe der Parallelschaltung aller ohmschen Ableitungen gegen Erde. Der Ansprechwert des Isolationsüberwachungsgerätes sollte auf etwa 100 Ω/V eingestellt werden.

Wenn ein Isolationsüberwachungsgerät in einer bestehenden, komplexen Anlage eingesetzt wird, empfiehlt es sich, den Ansprechwert auf ca. 50 Ω/V einzustellen.

*Anmerkung:*

*Ein Isolationsüberwachungsgerät zeigt auch ein Absinken des Isolationswiderstandes an, ohne dass ein „richtiger“ Isolationsfehler vorhanden ist. Ursache dafür kann z. B. Feuchtigkeit sein, nach dem eine Anlage über einen längeren Zeitraum stillgestanden hat. Nach Inbetriebnahme der Anlage erhöht sich der Isolationswiderstand meist von selbst, da die Feuchtigkeit durch die Betriebstemperatur verschwindet.*

## Ansprechwert Hauptstromkreise

DIN VDE 0100-530:2018-06 empfiehlt einen Ansprechwert von 100 Ω/V bzw. für die Vorwarnung einen Ansprechwert von 300 Ω/V. Berücksichtigt man nun noch die zulässige Toleranz des IMD entsprechend der Produktnorm IEC 61557-8 von ±15 %, so sollte dann der Ansprechwert 15 % „empfindlicher“, sprich hoch-ohmiger eingestellt werden. Daraus ergeben sich folgende Empfehlungen:

Aus der Physik des Isolationsfehlers ist es nicht notwendig, rechnerisch die Kommastellen zu beachten. Ein aufrunden auf einen höheren Ansprechwert ist empfehlenswert.

Nennspannung	Vorwarnung 300 Ω/V	Toleranz 15 %	Empfohl. Ansprechwert
24 V	7,2 kΩ	1,08 kΩ	8 kΩ
230 V	69 kΩ	10,35 kΩ	80 kΩ
400 V	120 kΩ	18,0 kΩ	140 kΩ
500 V	150 kΩ	22,5 kΩ	175 kΩ
690 V	207 kΩ	31,05 kΩ	240 kΩ

Nennspannung	Hauptmeldung 100 Ω/V	Toleranz 15 %	Empfohl. Ansprechwert
24 V	2,4 kΩ	0,36 kΩ	2,8 kΩ
230 V	23 kΩ	3,45 kΩ	27 kΩ
400 V	40 kΩ	6 kΩ	46 kΩ
500 V	50 kΩ	7,5 kΩ	58 kΩ
690 V	69 kΩ	10,3 kΩ	80 kΩ

Es ist auf jeden Fall empfehlenswert, ISOMETER mit kΩ-Anzeige zu verwenden und den dort angezeigten Messwert zu protokollieren, um auch so langfristige Veränderungen zu erkennen.

Wird ein IMD mit einer IFLS kombiniert, so ist darauf zu achten, dass der Ansprechwert so eingestellt wird, dass auch das IFLS in der Lage ist, diesen Isolationsfehler zu finden.

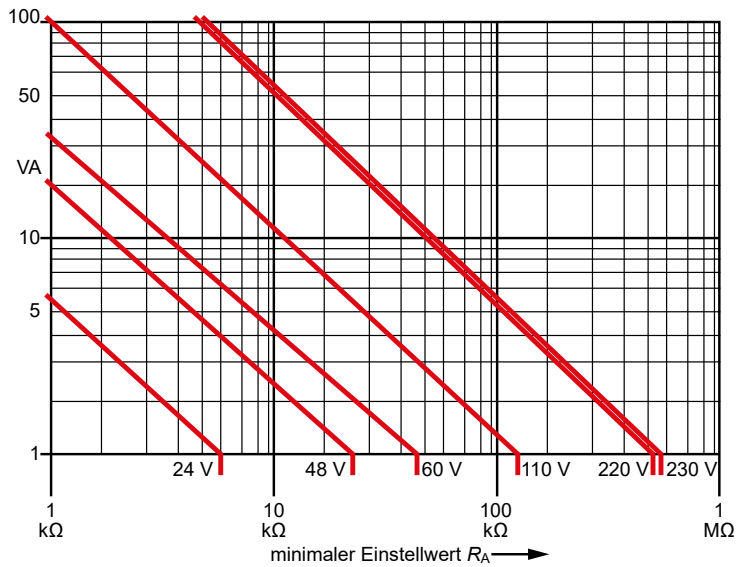
## Ansprechwerte Steuerstromkreise

Legt man nach DIN VDE 0660 und DIN VDE 0435 als kleinste Haltespannung (0,1...0,15)  $U_n$  für ein in der Steuerung eingebautes Wirkungsglied zugrunde, dann ist eine damit in Reihe liegende Halte-Impedanz  $Z_H$ , die den Rückfall bei 5 % Überspannung gerade noch verhindern kann, unter Vernachlässigung der Spulenimpedanz etwa

$$Z_H \approx (10,5 \dots 7) \frac{U_n^2}{P_H}$$

$P_H$  = Nenn-Haltescheinleistung des Wirkungsglieds.

Aus dieser Formel heraus ergeben sich folgende Empfehlungen für den Ansprechwert des Isolationsüberwachungsgerätes in Steuerstromkreisen (Werte in  $\Omega$ ):



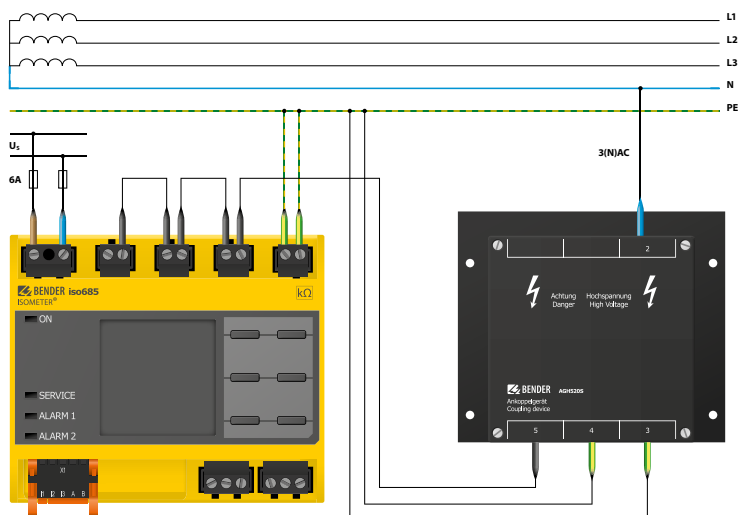
	1 VA	5 VA	10 VA	30 VA	50 VA
24 V	6048 $\Omega$	1210 $\Omega$	605 $\Omega$	202 $\Omega$	121 $\Omega$
48 V	24192 $\Omega$	4838 $\Omega$	2419 $\Omega$	806 $\Omega$	484 $\Omega$
60 V	37800 $\Omega$	7560 $\Omega$	3780 $\Omega$	1260 $\Omega$	756 $\Omega$
110 V	127050 $\Omega$	25410 $\Omega$	12705 $\Omega$	4235 $\Omega$	2541 $\Omega$
220 V	508200 $\Omega$	101640 $\Omega$	50820 $\Omega$	16940 $\Omega$	10164 $\Omega$
230 V	555450 $\Omega$	111090 $\Omega$	55545 $\Omega$	18515 $\Omega$	11109 $\Omega$

### Normativ vorgegebene Ansprechwerte

Für medizinisch genutzte Räume ist ein Ansprechwert von 50 k $\Omega$  vorgegeben.

### Erweiterung des Nennspannungsbereiches

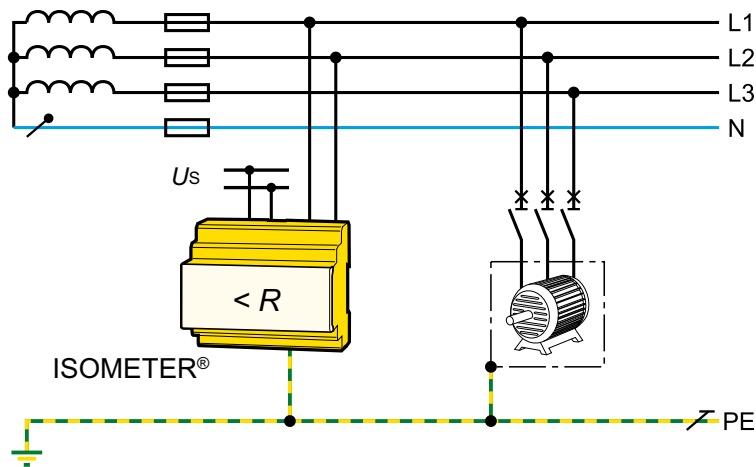
Um den Nennspannungsbereich eines Isolationsüberwachungsgerätes Isometers zu erweitern, stehen verschiedenen Ankoppelgeräte AGH zur Verfügung. Diese werden zwischen das Isolationsüberwachungsgerät und das zu überwachende Netz geschaltet.



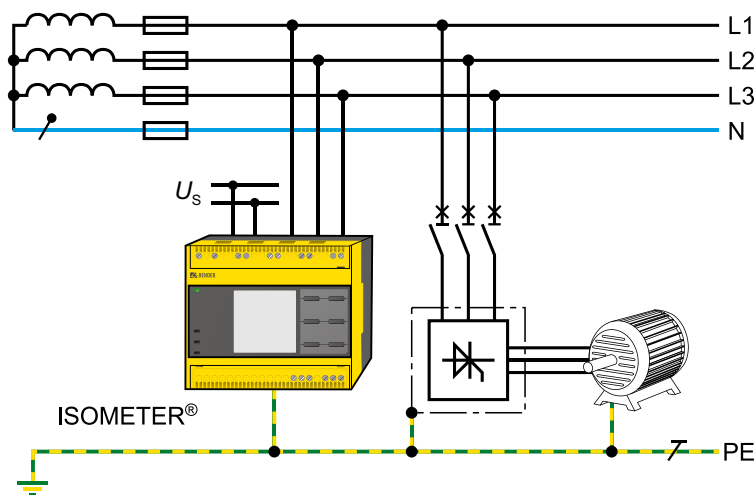


# Anwendungsbeispiele Isolationsüberwachung

## Überwachung Hauptstromkreise



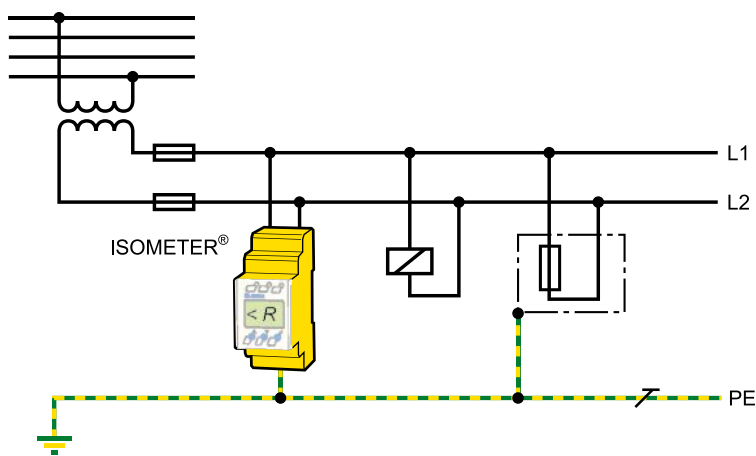
## Überwachung eines Hauptstromkreises mit einem reinen AC-Verbraucher



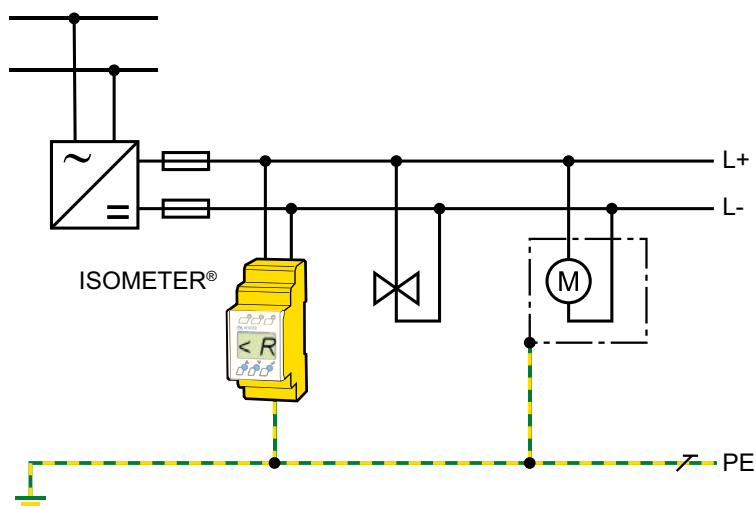
## Überwachung eines Hauptstromkreises mit geregeltm Antrieb

### Überwachung eines Steuerstromkreises

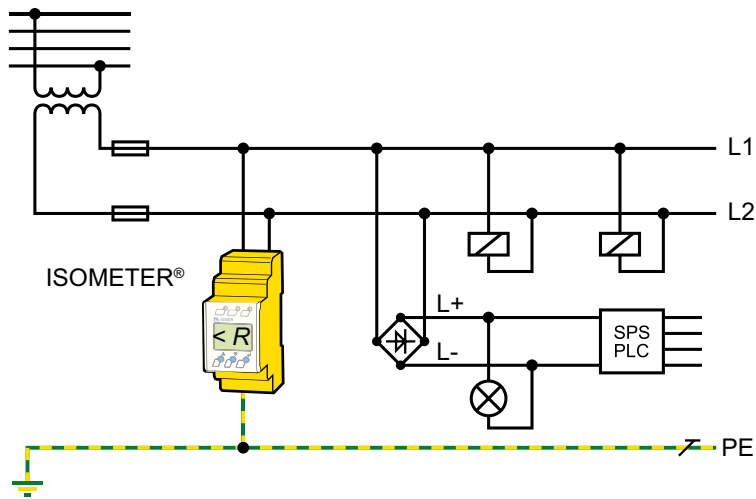
Nach DIN EN 60204-1/VDE 0113-1 dürfen Erdschlüsse in Steuerstromkreisen weder zum unbeabsichtigten Anlauf oder zu gefährbringenden Bewegungen einer Maschine führen noch deren Stillsetzen verhindern. Generell werden Steuerstromkreise über einen Sicherheitstransformator mit getrennten Wicklungen oder ein sicher trennendes Netzteil versorgt, wobei die Sekundärspannung 50 V nicht überschreiten darf. Der Steuerstromkreis selbst darf sowohl als geerdetes System (TN-System) oder ungeerdetes System (IT- System) betrieben werden. Gerade bei den empfindlichen Komponenten in einem Steuerstromkreis können jedoch unerkannte hochohmige Isolationsfehler zu Fehlsteuerungen führen. In einem geerdeten System werden diese Fehler von einer Sicherung nicht erkannt, da der Fehlerstrom zu niedrig ist, um diese auszulösen. Ist der Isolationsfehler niederohmig, spricht die Sicherung an und die Anlage steht. Um dies zu vermeiden, werden Steuerstromkreise ungeerdet betrieben und mit einem Isolationsüberwachungsgerät überwacht.



Überwachung eines AC-Steuerstromkreises



Überwachung eines DC-Steuerstromkreises



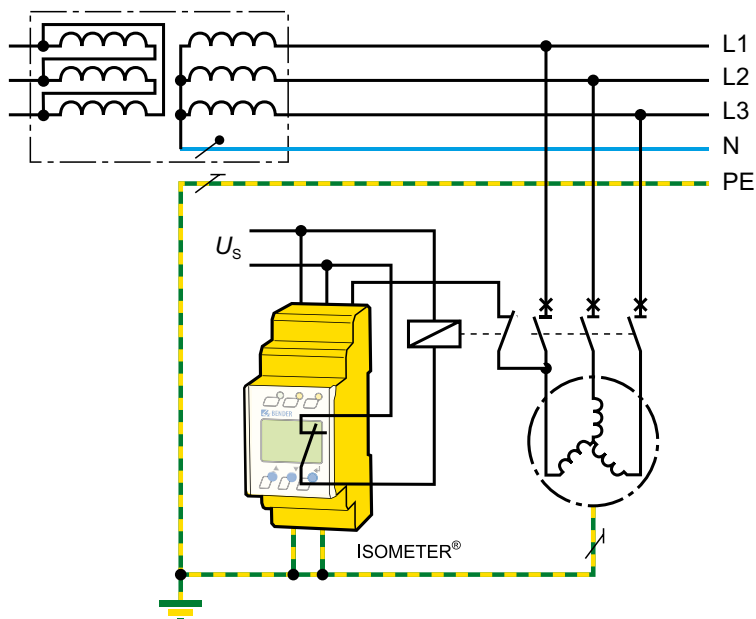
Überwachung eines AC/DC-Steuerstromkreises

### Überwachung eines abgeschalteten Verbrauchers

Viele Verbraucher werden nur im „Ernstfall“ eingeschaltet (z. B. Feuerlöschpumpen, Schieber, Heizungen aller Art usw.). Während der Stillstandszeit kann es jedoch durch Feuchtigkeit oder andere Einwirkungen in der Zuleitung oder dem Verbraucher zu Isolationsfehlern kommen. Beim Einschalten spricht dann die Schutzeinrichtung an oder es kommt zu Bränden und ein Betrieb ist nicht möglich.

Das Isolationsüberwachungsgerät, auch Offline-Monitor genannt, überwacht den Isolationswiderstand während der Stillstandszeit und meldet Isolationsfehler sofort. Ist der Verbraucher eingeschaltet, wird die Isolationsmessung in Abhängigkeit vom Schütz K deaktiviert.

Durch den Fehlerspeicher werden auch kurzzeitige Isolationsfehler erfasst. Ist eine allpolige Abschaltung des Verbrauchers gewährleistet, kann diese Überwachung auch in TN- bzw. TT-Systemen eingesetzt werden.

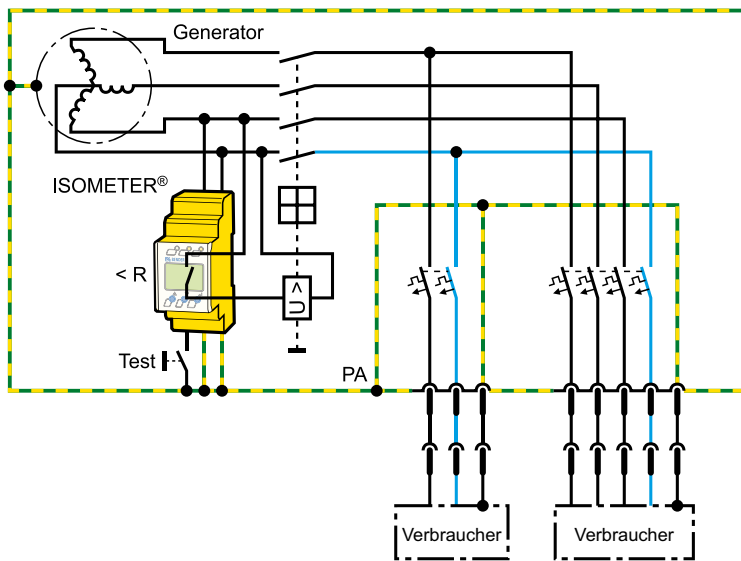


### Überwachung mobiler Stromerzeuger

Die elektrische Sicherheit bei mobilen Stromerzeugern ist häufig schwierig zu gewährleisten.

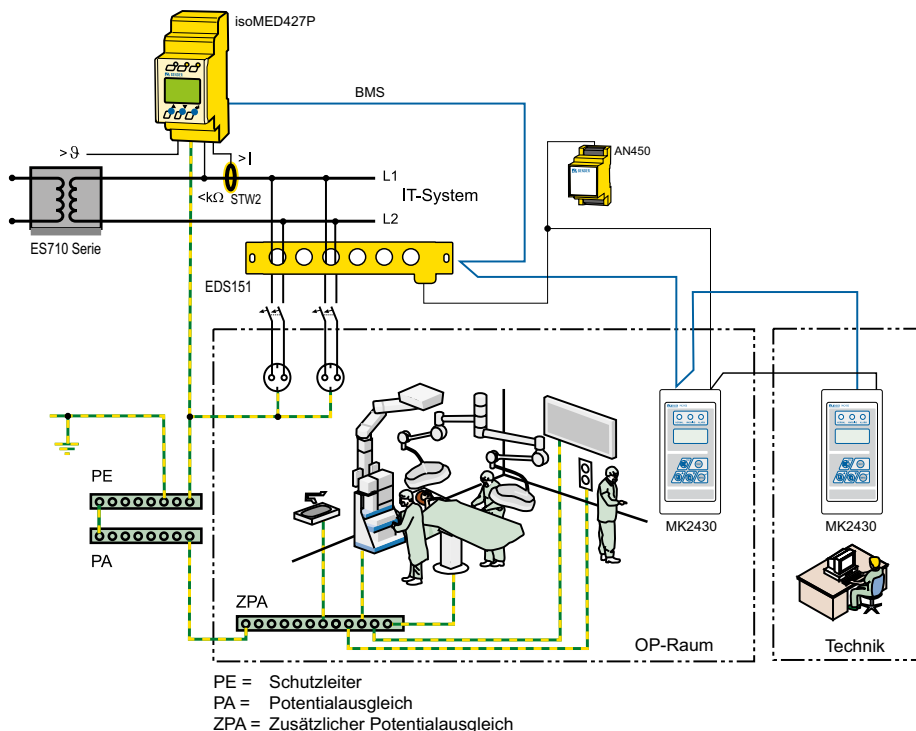
- Der Untergrund/die Umgebung lässt nur selten den Bau einer Erdungsanlage zu (Steine, Schotter, Fels, Asphalt usw. müssten durchstoßen werden).
- Es ist höchste Eile geboten, zu Messung und Prüfung der Schutzmaßnahme fehlt die Zeit.
- Es steht keine Elektrofachkraft zur Verfügung.
- Gerade im Rettungseinsatz muss jedoch eine sofortige Einsatzbereitschaft gewährleistet sein.

Aus diesem Grund werden mobile Stromerzeuger mit der Schutzmaßnahme „Schutztrennung mit Isolationsüberwachung und Abschaltung“ nach DIN VDE 0100-551:2017-02 ausgestattet.



### Überwachung von medizinisch genutzten Räumen

In medizinisch genutzten Bereichen müssen nach DIN VDE 0100-710: 2012-10 alle Räume der Gruppe 2 über ein IT-System mit Isolationsüberwachung sowie Last- und Temperaturüberwachung ausgerüstet werden. Ebenso ist eine Anzeige der Betriebs- und Alarmmeldungen an zentraler Stelle erforderlich.



# Einsatz von Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche

## Anlagensicherheit und Verfügbarkeit

Heutige Industrie-, Energieerzeugungs- und -verteilungsanlagen sind komplexe Gebilde mit ausgeklügelten Steuerungen und hoher Produktivität. Gerade deshalb führt ein Ausfall zu enorm hohen Kosten. Dank aktueller technischer Möglichkeiten können jedoch Anlagen schon bei der Planung sicherheitsoptimiert geplant, der laufende Betrieb kontinuierlich überwacht und fehlerbehaftete Anlagenteile schnell und sicher erkannt werden.

## Ungeerdete Stromversorgungen

Ungeerdete Stromversorgungen (IT-Systeme) haben einen unschätzbaren Vorteil – ein erster Fehler führt nicht zum Ausfall. Dadurch werden komplexe Prozesse und Produktionsabläufe nicht unerwartet unterbrochen. Im Gegenteil, IT-Systeme können kontrolliert weiter betrieben und Fehler zu einem passenden Zeitpunkt beseitigt werden – ohne hohe Ausfallkosten zu verursachen.

Basis für diesen Mechanismus bildet das Isolationsüberwachungsgerät ISOMETER®. Es überwacht den Isolationswiderstand des IT-Systems gegen Erde und meldet das Unterschreiten eines bestimmten Wertes. Mit diesem Informationsvorsprung kann dann der passende Zeitpunkt der Isolationsfehlersuche bestimmt werden, z. B. bei Abschaltung zu Revisionszwecken. Doch liegt auch hier das Problem im Detail. Gerade bei komplexen Anlagen und auch räumlich weit verzweigten Stromversorgungen kann die Isolationsfehlersuche zu einem zeit- und personalaufwändigen Abenteuer werden.

Die Lösung für dieses Problem sind Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche EDS. Diese Einrichtungen suchen Isolationsfehler automatisch während des Betriebes und zeigen den fehlerbehafteten Abgang über LC-Display oder andere Visualisierungen an. Dadurch ergeben sich für den Anlagenbetreiber folgende Vorteile:

- **Kein Abschalten der Anlage erforderlich**

- Isolationsfehlersuche erfolgt automatisch während des Betriebes
- Fehlerort wird präzise lokalisiert und angezeigt, das spart Zeit- und Personalressourcen

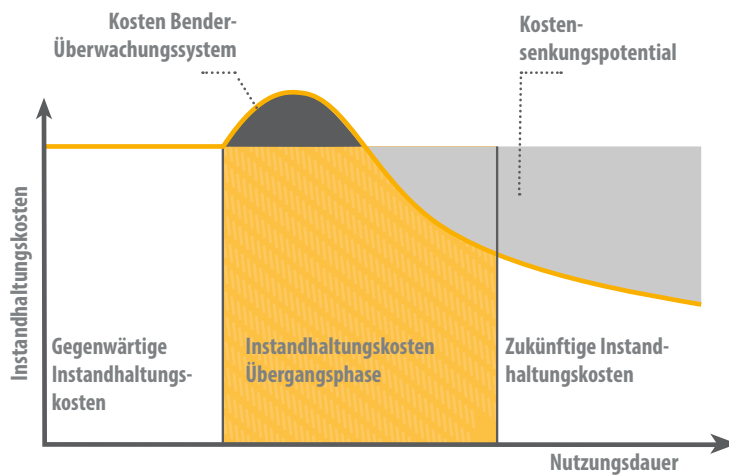
- **Modulares Systemkonzept**

- Das System passt sich optimal der Anlage an und kann nach den Erfordernissen des Betreibers ausgerichtet werden.

## Warum überhaupt Isolationsfehlersuche?

Isolationsfehlersuche ist im Wesentlichen aus drei technischen Gründen erforderlich:

- Schutz gegen elektrischen Schlag (z. B. im 3(N)AC-400-V-System)
  - Nach DIN VDE 0100-410:2018-10 wird empfohlen, dass ein erster Fehler so schnell wie praktisch möglich beseitigt wird. Bei einem zweiten Fehler besteht die Gefahr des elektrischen Schlages und dann ist eine Abschaltung zwingend erforderlich. Die Größenordnung für die Isolationsfehlersuche liegt hier im Bereich von 5...10 k $\Omega$ .
- Vermeidung von Brandgefahren (z. B. im 3(N)AC-400-V-System)
  - Bei unerkannten, widerstandsbehafteten Isolationsfehlern kann ein Fehlerstrom fließen, der an der Fehlerstelle zu einer übermäßigen Erwärmung führt. Bereits bei einer Leistung von  $\geq 60$  W besteht akute Brandgefahr. Die Größenordnung für die Isolationsfehlersuche liegt hier im Bereich von 1 k $\Omega$ .
- Vermeidung von Fehlsteuerungen (z. B. im DC-220-V-System)
  - In elektrischen Anlagen können kleinste Fehlerströme zum Fehlverhalten von SPS- oder Schutzsteuerungen führen. Dadurch sind Personen einem erhöhten Verletzungsrisiko ausgesetzt, z. B. bei Pressensteuerungen oder unkontrollierten Maschinenbewegungen. Die Größenordnung für die Isolationsfehlersuche liegt hier im Bereich von 10...15 k $\Omega$ .



### Wie funktioniert eine Einrichtung zur Isolationsfehlersuche?

Eine Einrichtung zur Isolationsfehlersuche besteht aus einem Prüfstrom-Generator und einem Isolationsfehler-Auswertegerät in Verbindung mit einem oder mehreren Messstromwandlern. Bei dem ISOMETER® des Typs iso685-D-P ist das Prüfstrom-Generator integriert.

Funktionsablauf:

- Start der Isolationsfehlersuche durch Aktivierung des Prüfstrom-Generator ISOMETER®.
- Der Prüfstrom-Generator verbindet kurzzeitig die aktiven Leiter mit Erde.
- Über eine elektronische Strombegrenzung, diese Verbindung und den Isolationsfehler entsteht ein geschlossener Stromkreis, in dem ein netzspannungsabhängiger Prüfstrom  $I_T$  fließt. Der Prüfstrom ist auf einen Maximalwert begrenzt.
- Der Prüfstromimpuls fließt vom Prüfstrom-Generator über die spannungsführenden Leitungen, den Isolationsfehler  $R_F$  und über die Erdleitung (PE-Leitung) zum Prüfstrom-Generator zurück.
- Das Prüfstromsignal wird von allen Messstromwandlern, die im Stromkreis liegen, erfasst und durch Isolationsfehler-Auswertegeräte EDS ausgewertet.
- Anhand der Zuordnung Messstromwandler/Stromkreis kann der Fehlerort lokalisiert werden.

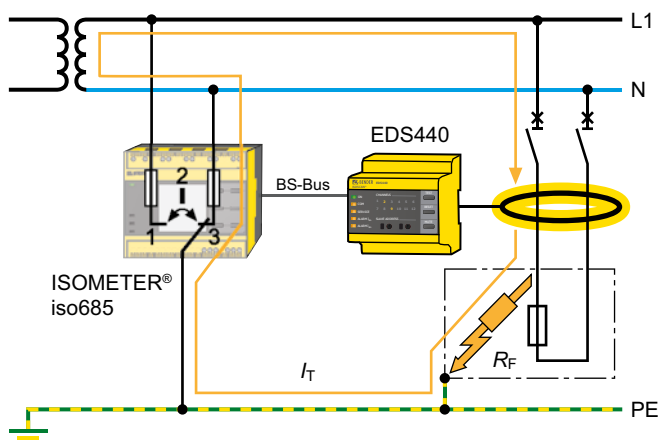


Abb. Funktionsprinzip Isolationsfehlersuche

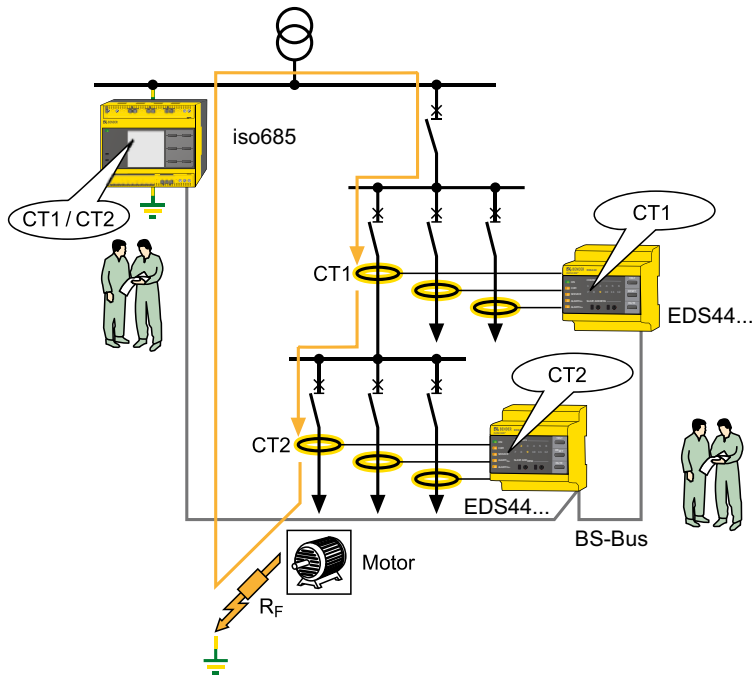
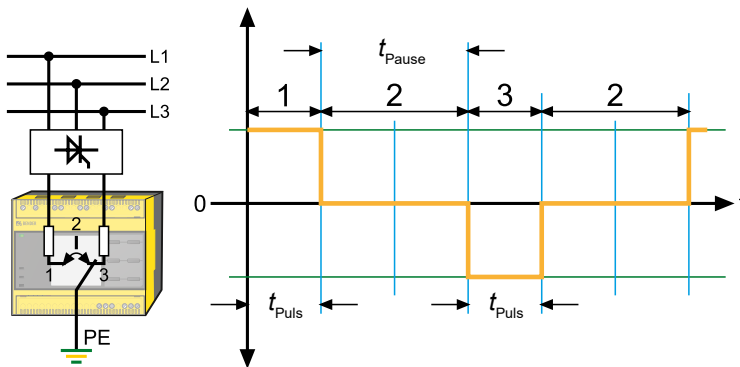
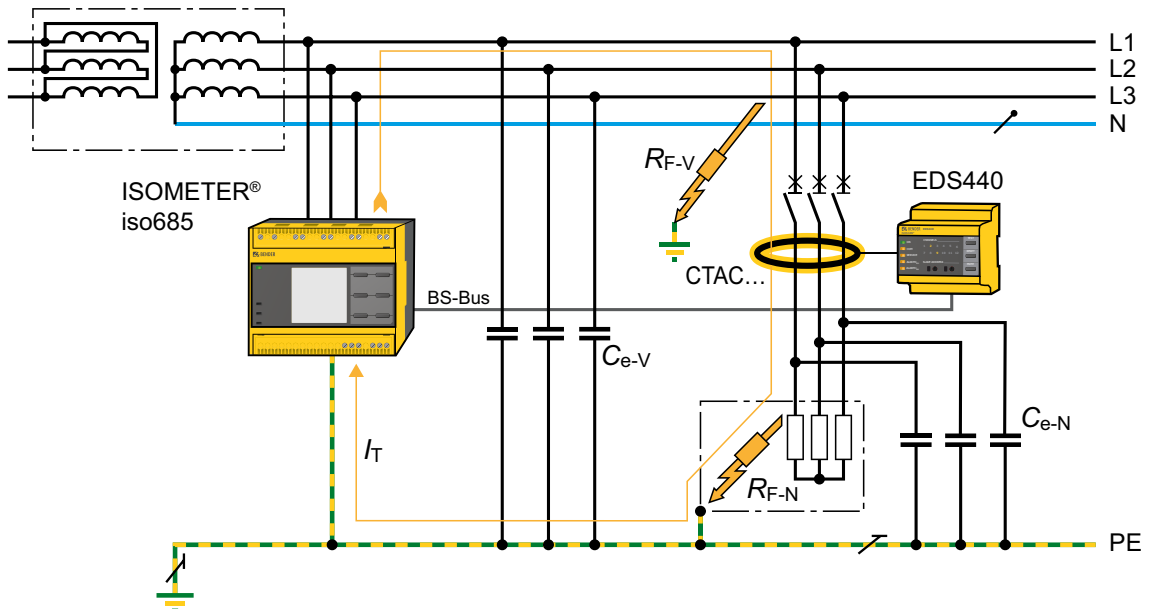


Abb. Verlauf des Prüfstromes  $I_T$  im EDS-System



Verlauf des Prüfstromes  $I_T$  in IFLS-Systemen



### Begriffe der Isolationsfehlersuche

iso685	Isolationsüberwachungsgerät mit integriertem Prüfstrom-Generator
EDS4...	Isolationsfehler-Auswertegerät
CTAC...	Messstromwandler
IT	Prüfstrom
$R_{F-V}$	Isolationsfehler vor dem Messstromwandler
$C_{e-V}$	Netzableitkapazität vor dem Messstromwandler
$R_{F-N}$	Isolationsfehler nach dem Messstromwandler
$C_{e-N}$	Netzableitkapazität nach dem Messstromwandler

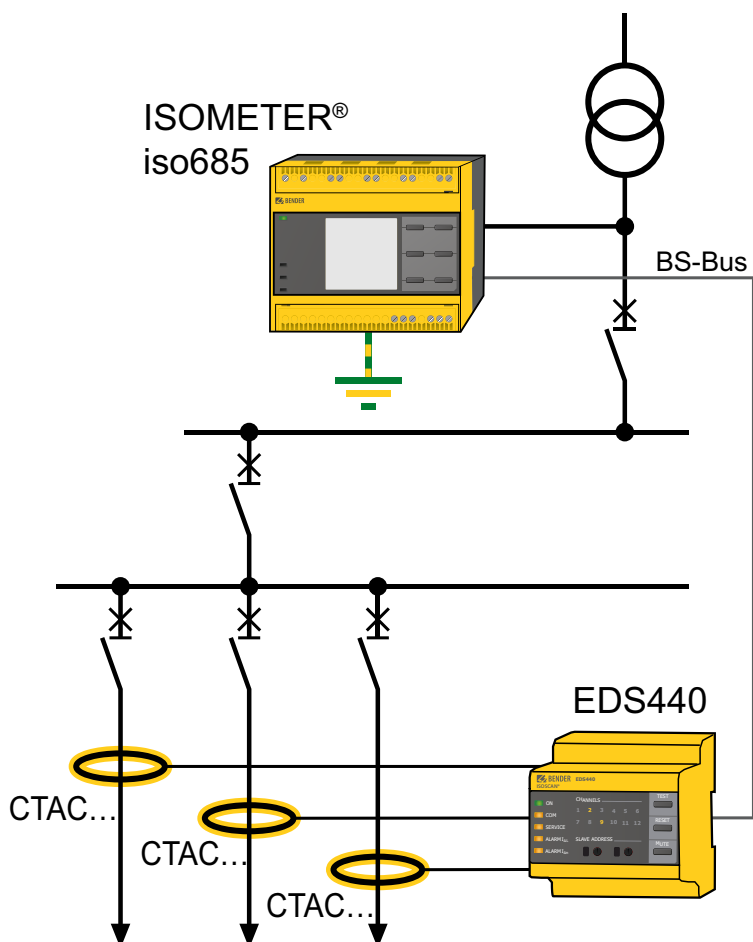
### Varianten der Isolationsfehlersuche

Im Wesentlichen unterscheidet man zwischen

- Automatische Isolationsfehlersuche/fest installierte
- Manuelle Isolationsfehlersuche/portable Systeme
- Nach Anwendung Hauptstromkreise oder Steuerstromkreise

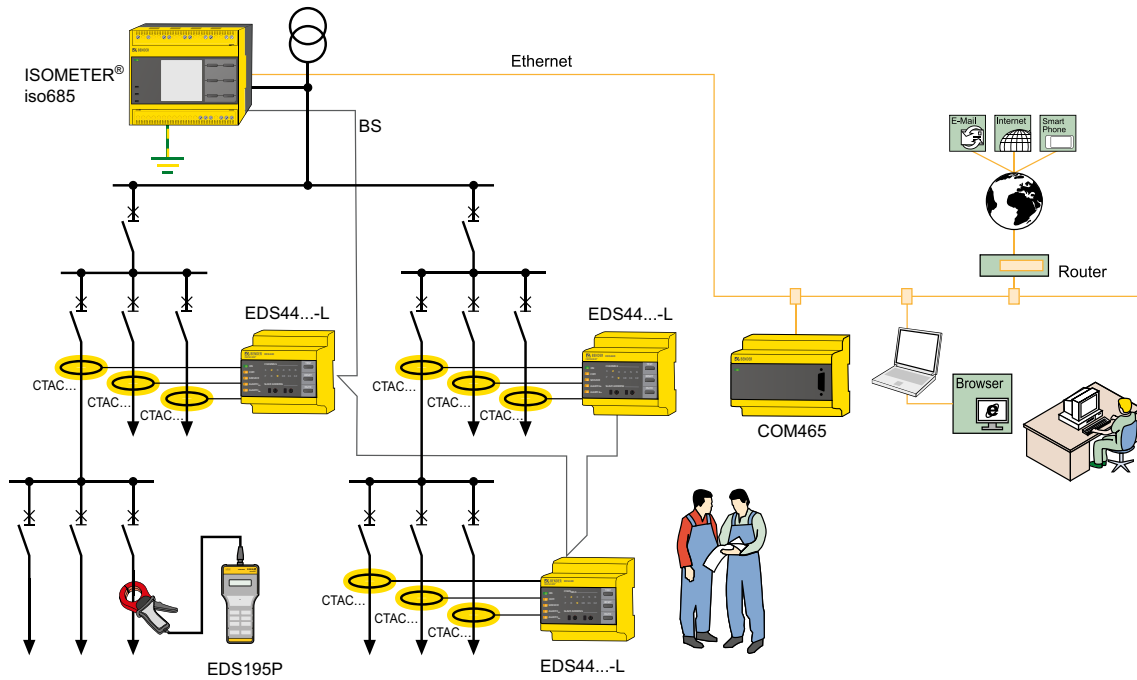
### Automatische Isolationsfehlersuche/fest installierte Systeme

In der Anlage sind das Isolationsüberwachungsgerät mit integriertem Prüfstrom-Generator, das Isolationsfehler-Auswertegerät und die dazugehörigen Messstromwandler fest installiert. Der Start der Isolationsfehlersuche erfolgt automatisch durch das Isolationsüberwachungsgerät.

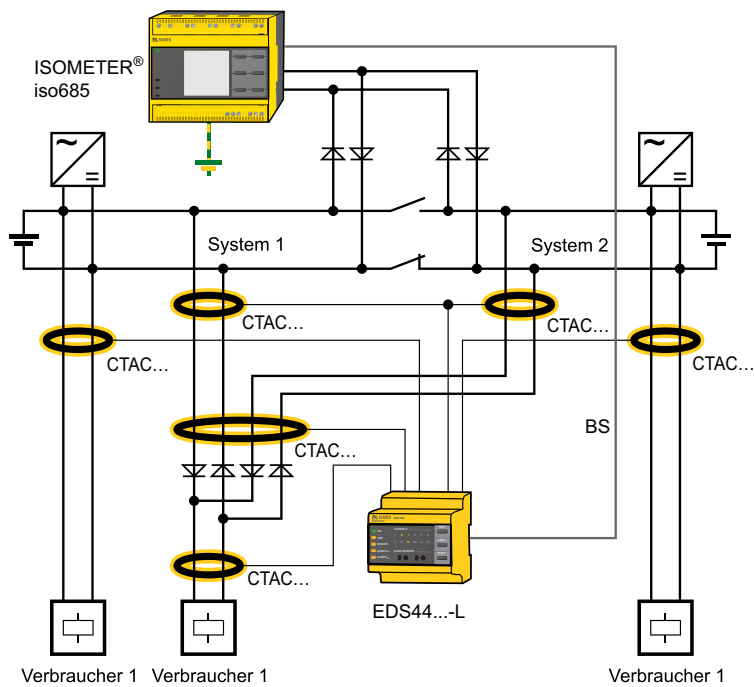


Beispiel für den Aufbau einer automatischen Einrichtung zur Isolationsfehlersuche

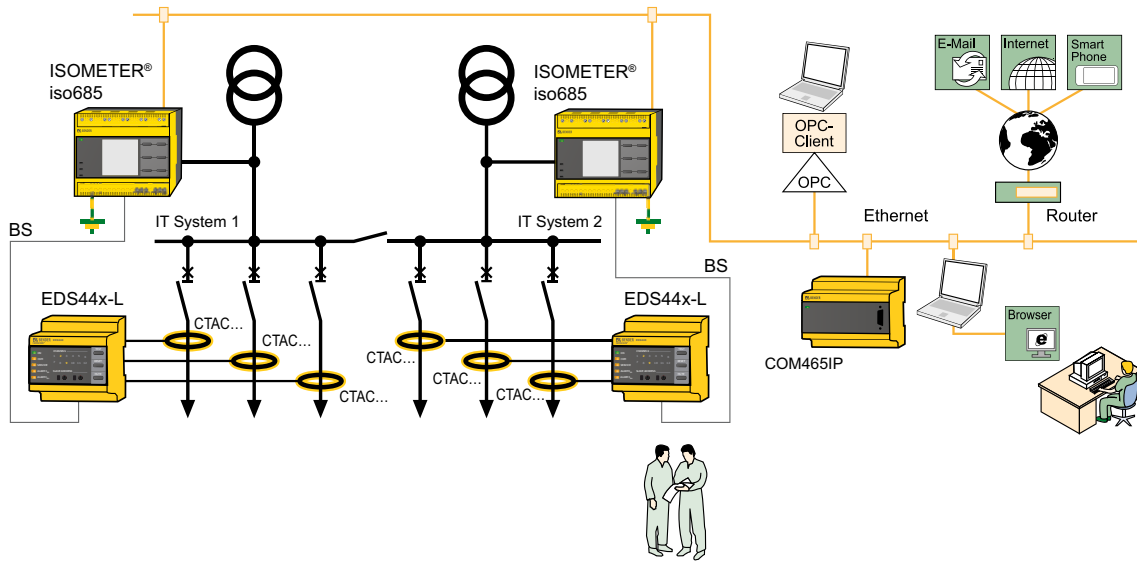




Beispiel für den Aufbau einer automatischen Einrichtung zur Isolationsfehlersuche EDS mit zentraler Administration per Ethernet/Web



Beispiel für den Aufbau einer automatischen Einrichtung zur Isolationsfehlersuche EDS in gekoppelten DC-Systemen



Beispiel für den Aufbau einer automatischen Einrichtung zur Isolationsfehlersuche EDS in zwei gekoppelten IT-Systemen

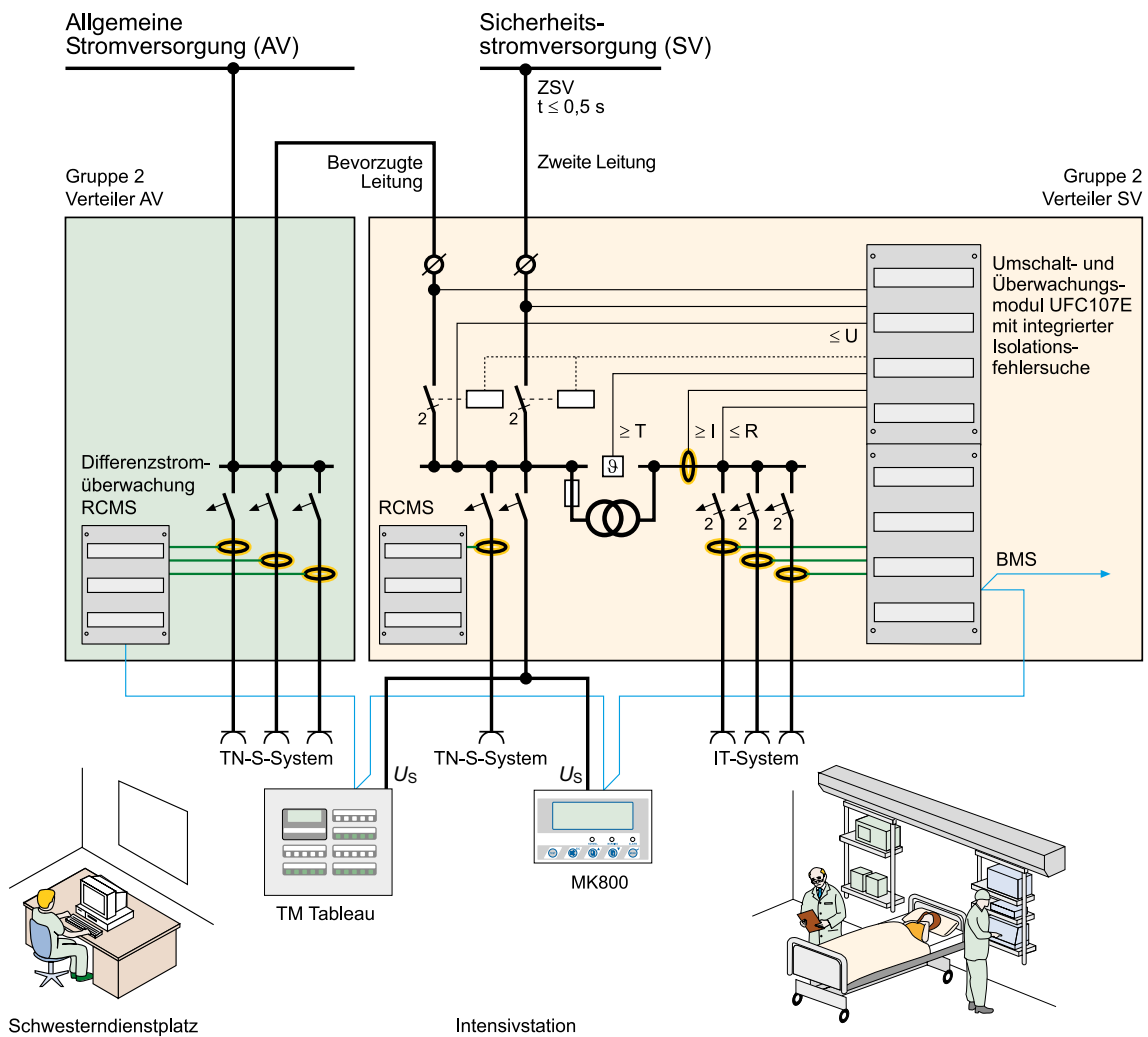


Abb. Anwendung in einer Intensivstation in med. genutzten Bereichen nach DIN VDE 0100-710

### Manuelle Isolationsfehlersuche/Portable Systeme

Bei der manuellen Isolationsfehlersuche wird unterschieden:

- In Ergänzung zum fest installierten EDS-System wird ein portables Isolationsfehler-Auswertegerät zur Isolationsfehlersuche in untergeordneten Abgängen eingesetzt.
- Wenn kein Prüfstrom-Generator vorhanden ist, wird ein portabler Prüfstrom-Generator eingesetzt.
- Wenn das IT-System spannungslos ist, wird ein portabler Prüfstrom-Generator mit integrierter Messspannungsquelle eingesetzt.

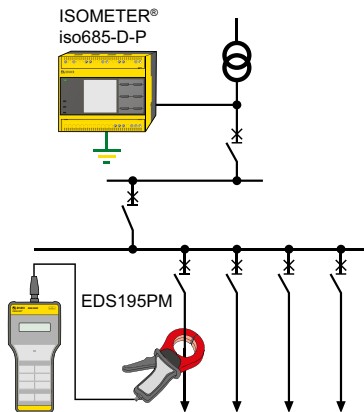
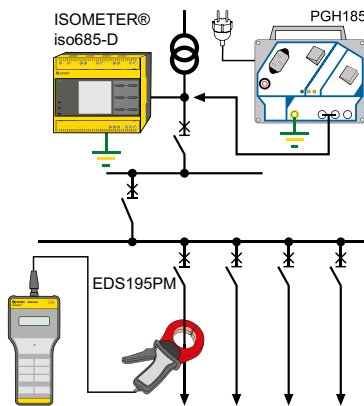
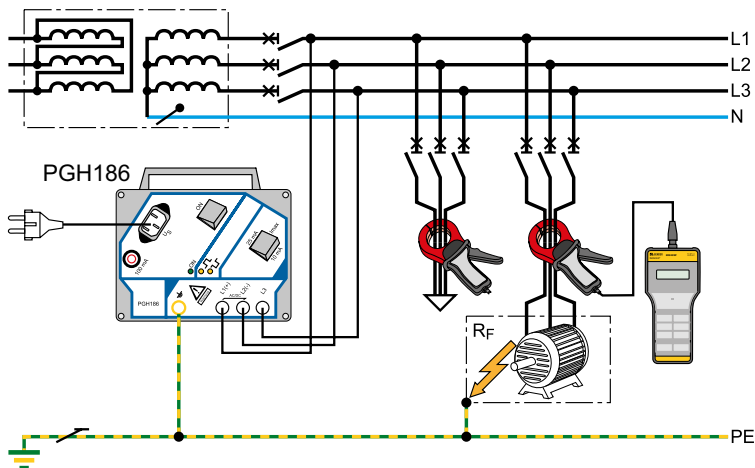


Abb. Manuelle Isolationsfehlersuche mit einem Isolationsüberwachungsgerät mit eingebautem Prüfstrom-Generator.



Manuelle Isolationsfehlersuche in IT-Systemen mit externem Prüfstrom-Generator PGH185



Manuelle Isolationsfehlersuche mit portabilem Prüfstrom-Generator in einem abgeschalteten IT-System (ohne Netzspannung)

### Anmerkung

IT-System abgeschaltet, d. h. der Prüfstrom wird vom portablen Prüfstrom-Generator (PGH186) erzeugt, wenn die Einrichtung auch in geerdeten Systemen (TN-, TT-Systemen) anwendbar ist, wenn allpolig abgeschaltet wird und keine direkte Verbindung des Systems zur Erde vorhanden ist.

### Unterscheidungsmerkmale Hauptstromkreis/Steuerstromkreis

Der wesentliche Unterschied in den beiden Anwendungen liegt im deutlich reduzierten Prüfstrom für die Anwendung in Steuerstromkreisen bzw. der Ansprechempfindlichkeit.

### IFLS-Systeme für Hauptstromkreise

Merkmale des Hauptstromkreises

- Netznominalspannung  $U_n$  bis 690 V
- Große Ausdehnung, Netzableitkapazität bis 20.000  $\mu\text{FV}$  (Produkt aus Netzableitkapazität und Netznominalspannung, z. B. 400 V x 50  $\mu\text{F}$  = 20.000  $\mu\text{FV}$ )
- Große Differenzströme bis max. AC 10 A
- Störungsverursachende Verbraucher (z. B. Umrichter, Wechselrichter usw.)

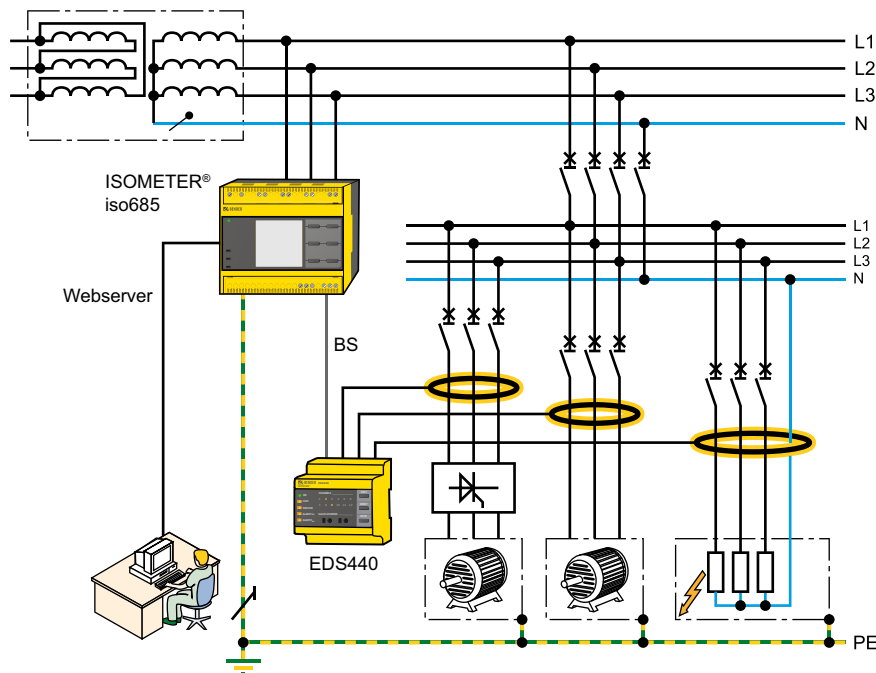


Abb. IFLS im Hauptstromkreis

### IFLS-Systeme für Steuerstromkreise

Merkmale Steuerstromkreise

- Netznominalspannung  $U_n$  bis 230 V
- Kleine Ausdehnung, Netzableitkapazität bis 300  $\mu\text{FV}$  (Produkt aus Netzableitkapazität und Netznominalspannung,
- z. B. 24 V x 10  $\mu\text{F} = 240 \mu\text{FV}$ )
- Kleine Differenzströme bis max. AC 1 A
- Keine störungsverursachenden Verbraucher

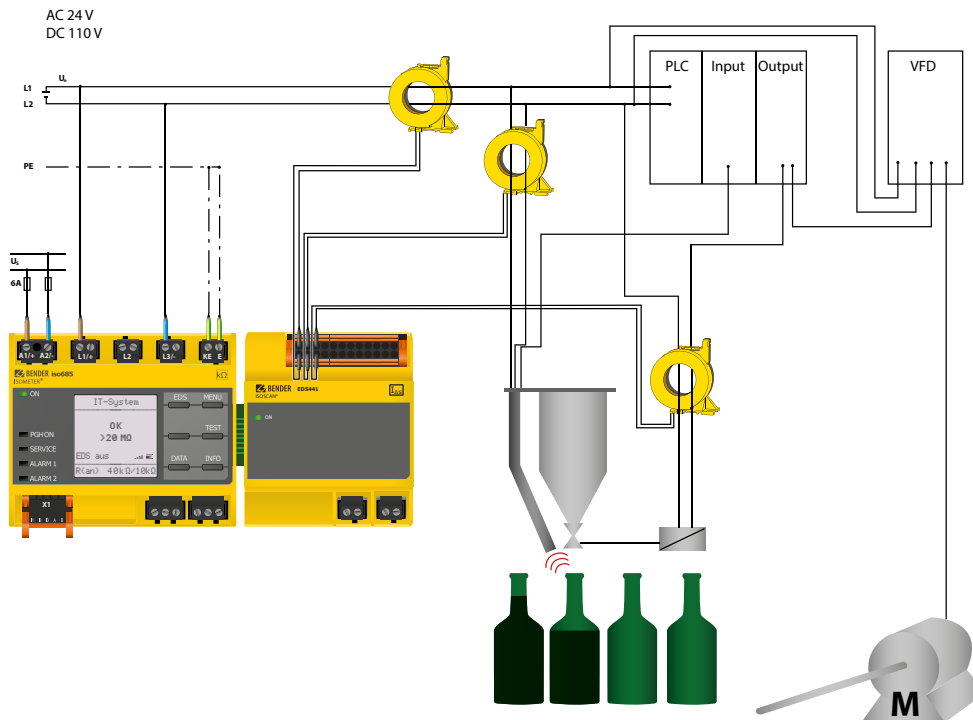


Abb. IFLS-System im Steuerstromkreis

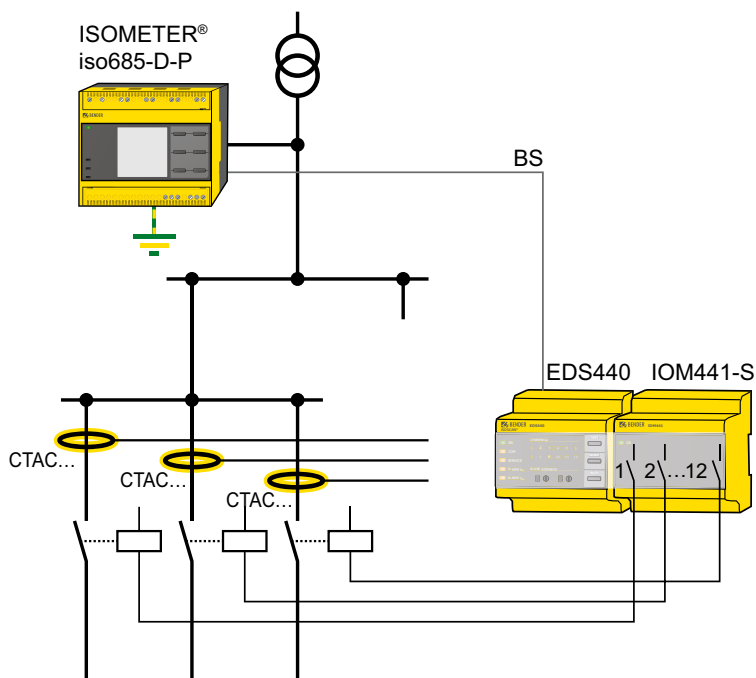


Abb. IFLS-System im Steuer- oder Hauptstromkreis mit schaltender Funktion

Merkmale einer schaltenden Funktion:

- Bei der Isolationsfehlersuche werden alle Messkanäle parallel abgefragt.
- Die max. Abfragezeit beträgt  $\leq 10$  s.
- Nach dieser Zeit schaltet der Relaiskontakt des jeweils fehlerbehafteten Messkanals.
- Mit diesem Schaltkontakt kann über ein Schaltglied der fehlerbehaftete Abgang abgeschaltet werden.

### **Zusammenfassung - Ihr Nutzen von IT-Systemen mit Isolationsüberwachung**

#### ***Höhere Wirtschaftlichkeit***

- Teure und ungeplante Anlagenstillstände vermeiden
- Zeit- und Personalaufwand für die Instandhaltung reduzieren
- Anlagen-Schwachstellen erkennen
- Investitionsentscheidungen unterstützen

#### ***Höhere Betriebssicherheit***

- Keine Betriebsunterbrechungen bei einpoligem Erdschluss
- Kein Fehlverhalten von Steuerungen bei Isolationsfehlern
- Anlagen bleiben auf einem hohen Niveau der Verfügbarkeit
- Anlagen auch im Stillstand überwachen

#### ***Optimierte Instandhaltung***

- Isolationsverschlechterungen frühzeitig erkennen und melden
- Automatische Lokalisierung fehlerbehafteter Strompfade
- Optimierter Einsatz von Zeit- und Personalressourcen
- Zentrale Informationen über den Anlagenzustand
- Ferndiagnose über Internet/Ethernet

#### ***Höhere Brandsicherheit***

- Schleichende Isolationsfehler rechtzeitig erkennen
- Fehlerlichtbögen als häufige Brandursache minimieren
- Brand- oder explosionsgefährdete Bereiche durch Trenntransformatoren
- Vom übrigen Netz trennen und separat überwachen

#### ***Höhere Unfallsicherheit***

- Niedrige Berührungströme in kleinen und mittleren Anlagen
- Keine erdschlussbedingte Fehlfunktionen in Stauernetzen von Anlagen und Maschinen

#### ***Höherer Erdungswiderstand***

- Höhere Erdungswiderstände sind, zum Beispiel bei mobilen Stromversorgungsanlagen, zulässig

#### ***Höherer Personensicherheit***

- Kleine Berührungsspannung

# IT-System Applikationen

Abgesehen von den typischen IT-System Applikationen wie medizinische Bereiche oder Schiffe, werden IT-Systeme im zunehmenden Maße in den Bereichen eingesetzt, wo ein Ausfall der Stromversorgung bei einem ersten Fehler zu einer kostenintensiven Produktionsunterbrechung, Störungen im Betriebsablauf oder hohen Kosten für einen Wiederanlauf führen würde. Andere Anwendungen für das IT-System sind im Bereich Brand- und Explosionsschutz zu finden.

- Energieerzeugung und -verteilung
- Verkehrstechnik
- EDV, Rechenzentren
- Gesundheitswesen
- Fertigung, Automatisierung
- Öl, Gas, Bergbau
- eMobility
- Schiffe und Häfen

## **Isolationsüberwachung und Isolationsfehlersuche in PV-Anlagen**

In PV-Anlagen werden üblicherweise die PV-Module in Schutzklasse II ausgeführt. Über die gesamte Lebensdauer der Anlage gesehen, kann es jedoch vorkommen, dass der Isolationswiderstand nicht mehr den notwendigen Ansprüchen genügt. Grund dafür sind z.B. Feuchtigkeit, Staub, Hitze. Daher fordert die DIN VDE 0100-712 VDE 0100-712:2016-10 – Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme.

- 712.421.101.1 Es muss eine Isolationsüberwachungseinrichtung (IMD) installiert werden, um den Isolationszustand auf der Gleichspannungsseite während der Lebenszeit des PV-Generatorfeldes fortlaufend zu prüfen.

Zusätzlich empfiehlt diese Norm den Einsatz von Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche (IFLS) bei einer Leistung von > 100 kWp.

Die Isolationsüberwachungsgeräte selbst müssen den Anforderungen von DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8):2015-12, Anhang C oder D entsprechen.

## **Hohe Netzableitkapazitäten**

Die Physik der PV-Anlagen bringt es mit sich, dass durchaus hohe Netzableitkapazitäten im Bereich von einigen hundert  $\mu\text{F}$  vorhanden sein können. Dies stellt besondere Anforderungen an die Messtechnik der Isolationsüberwachungsgeräte. Bender IMD der Baureihe isoPV erfüllen diese Anforderungen problemlos.

### **Elektrische Sicherheit in der Bahntechnik**

Die Bahnbranche hat tagtäglich extrem anspruchsvolle Aufgaben zu bewältigen. Die Kontrolle von Hochgeschwindigkeitsstrecken, dem Schienenbau oder den Stromversorgungen gehören genauso dazu wie der Transport von Gefahrgütern. Doch bei allem Zeitdruck hat eines absoluten Vorrang: die Sicherheit für die Fahrgäste.

Insbesondere dort, wo ein erster Fehler den Betriebsablauf erheblich stören würde, werden IT-Systeme mit Isolationsüberwachung eingesetzt. Das gilt für

- Rollendes Material
- Schienennetz
- Gebäudeinfrastruktur

#### ***Rollendes Material***

Überwachungseinrichtungen auf Bahnfahrzeugen unterliegen höchsten Ansprüchen an Schock- und Vibrationsfestigkeit.

#### ***Schienennetz***

**DIN EN 50633 (VDE 0115-633) Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen – Schutzprinzipien für Wechselstrom- und Gleichstrom-Bahnenergieversorgungssysteme;**

**Deutsche Fassung prEN 50633:2017-03**

Abschnitt 6.2.6/6.3.5 Gerüstschlusschutz

#### ***Gebäudeinfrastruktur***

Überwachung Sternpunkt

RCM

PQ

#### ***Schiffe und Häfen***

Auf Schiffen IEC 61892 Offshore

IEC 60092 Electrical installations in ships – Part 502: Tankers – special features



# Applikationsbeispiele

## **Isolationsüberwachung für abgeschaltete Verbraucher**

### **Für alle Erdungssysteme: IT-, TN-, TT-Systeme**

Kommt es beim Starten eines Elektromotors zu Fehlfunktionen, kann es die unterschiedlichsten Auswirkungen haben. Elektromotoren werden in den unterschiedlichsten Bereichen eingesetzt

- Sicherheitsrelevante Einrichtungen
  - Feuerlöschpumpen
  - Entrauchungsanlagen
  - Schieber
- Industrieanlagen, Schiffen
  - Winden zum Heben von Lasten
  - Motorisch angetriebene Kettenzüge

Das Risiko, dass ein Elektromotor beim Starten den Dienst versagt, steht oft in Verbindung mit Isolationsfehlern, verursacht durch Feuchtigkeit, welche das Isolationsmaterial während einer Stillstandszeit durch feinste Risse soweit schädigt, dass der Motor nicht anlaufen kann.

### ***Im Fall eines satten Kurzschlusses***

Isometer überwachen den Isolationswiderstand des Motors während seiner Stillstandszeit. Abhängig vom Wert des Isolationswiderstandes bzw. des Ansprechwertes kann dann

- Ein Alarm gemeldet werden (Ansprechwert Vorwarnung)
- Ein Einschalten verhindert werden (Ansprechwert Hauptmeldung)

### *Beispiel*

Auf einem Schiff

### **Erst- und Wiederholungsprüfung von IT-Systemen**

Das Ziel der Prüfung von elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln ist der Nachweis, dass keine Mängel vorhanden sind und dass nach Inbetriebnahme bzw. während der Nutzung ein ordnungsgemäßer Personen- und Sachschutz gewährleistet ist. Die Prüfungen selbst und das dazugehörige Umfeld sind in den verschiedensten gesetzlichen technischen Regeln und Normenwerken beschrieben. Der nachfolgende Fachbeitrag beschreibt die Anforderungen, die für ungeerdete Stromversorgungen (IT-Systeme) gelten bzw. zu beachten sind.

#### **Normative Anforderungen**

Die Prüfung von Stromversorgungssystemen sollte immer in Erstprüfung und Wiederholungsprüfung unterschieden werden. Dabei sind insbesondere folgende Normen zu beachten:

- DIN VDE 0100-600 (VDE 0100-600):2017-06 – Errichten von Niederspannungsanlagen  
Teil 6: Prüfungen (IEC 60364-6:2006, modifiziert)
- IN VDE 0105-100 (VDE 0105-100):2015-10 Betrieb von elektrischen Anlagen  
Teil 100: Allgemeine Festlegungen

Bei der Erstprüfung muss der Errichter (Hersteller) der Anlage nachweisen, dass er die Anlage nach den anerkannten Regeln der Technik errichtet hat und keine Gefahr von der Anlage ausgeht. Mit der Erstprüfung sollten auch die Parameter erfasst werden, die später als Grundlage für die Wiederholungsprüfung dienen. Die Wiederholungsprüfung ist Aufgabe des Anlagenbetreibers. Der Betreiber ist als Unternehmer dazu im Rahmen der Unfallverhütungsvorschriften verpflichtet. Während DIN VDE 0100-600:2017-06 die Anforderungen an die Erstprüfung elektrischer Anlagen enthält, beschreibt die DIN VDE 0105-100:2015-10 die Prüfung, mit der festgestellt wird, ob die Anlage noch die Bedingungen der Erstmessung erfüllt.

Die Wiederholungsprüfung muss von einer Elektrofachkraft durchgeführt werden, denn sie muss in der Lage sein, Veränderungen einzuschätzen und zu bewerten. Die dazugehörigen Prüfgeräte müssen den Anforderungen der Normenreihe DIN EN 61557-... entsprechen. Die Prüfungen werden in der üblichen Reihenfolge Besichtigen – Messen – Erproben durchgeführt. Es obliegt dabei dem Prüfer, die Details und die erforderlichen Prüfschritte im Detail festzulegen.

#### *Besichtigen*

Vor Beginn der Messungen ist es zunächst erforderlich, dass sich der Prüfer einen Überblick über das zu prüfende IT-System verschafft:

- Aufbau und Größe des IT-Systems
- Art und Nennwerte der Stromquelle
- Anzahl und Ausdehnung der vorhandenen Stromkreise
- Art und örtliche Bedingungen der Erdungsanlage
- Art der Erdung der Körper – einzeln, gruppenweise, gesamt
- Art des oder der verwendeten Schutzleiter
- Anzahl und Art der verwendeten Schutz- und Überwachungseinrichtungen

Mit dem Blick in die vorhandene Anlagendokumentation kann dabei auch schon begonnen werden, diese auf Vollständigkeit und Korrektheit zu kontrollieren. Bei Wiederholungsprüfungen ermöglichen frühere Prüfprotokolle z.B. einen einfachen Vergleich mit bisherigen Messwerten und daraus resultierenden Veränderungen von Messwerten.

#### *Vor dem Messen – Fehlerfreiheit feststellen*

Nachdem die Informationen über den Aufbau und die eingesetzten Schutzmaßnahmen des IT-Systems bekannt sind, muss zunächst kontrolliert werden, ob das IT-System fehlerfrei, d.h. das kein Isolationsfehler vorliegt. Dies erfolgt mit Hilfe der Anzeige des Isolationsüberwachungsgerätes (IMD). Alternativ ist auch die Messung der Verlagerungsspannung möglich. In Tabelle 1 enthält die Verlagerungsspannungen in einem fehlerfreien IT-System bzw. bei einem niederohmigen Isolationsfehler an Leiter L1. Die Messung der

Verlagerungsspannung sollte jedoch nur in sehr kleinen IT-Systemen mit kleiner Netzableitkapazität angewendet werden, denn symmetrische Isolationsfehler und unterschiedliche Netzableitkapazitäten zwischen jeweiligen aktiven Netzleitern und Erde können zu einer Beeinflussung der Verlagerungsspannung führen, so dass letztlich nur ein IMD verlässlich den Isolationswiderstand anzeigt. Insbesondere in 3AC IT-Systemen ist die Verlagerungsspannungsmessung nicht mit der notwendigen Zuverlässigkeit anwendbar, da hier selbst relativ niederohmige Isolationsfehler durch eine ungünstige Verteilung von Netzableitkapazitäten kompensiert werden kann.

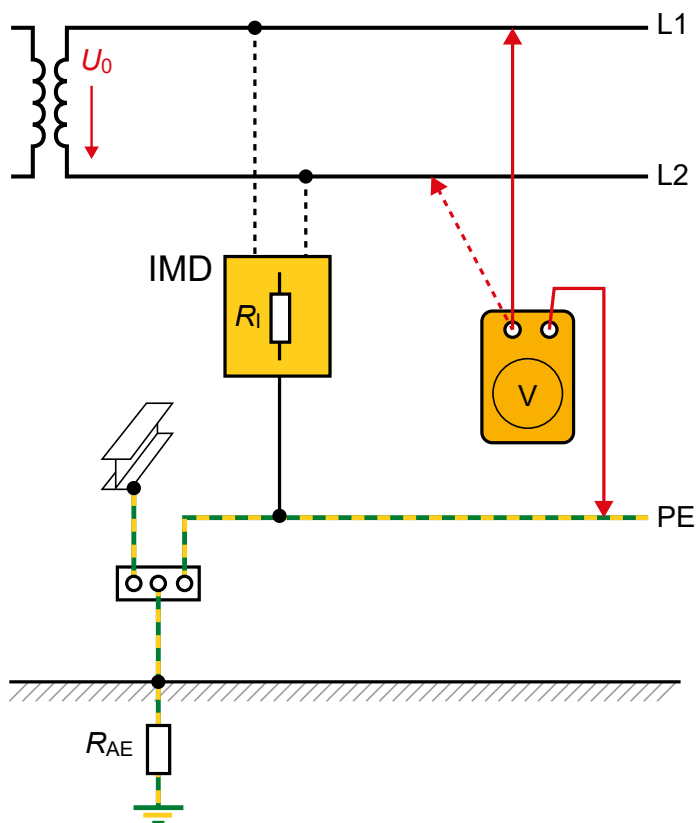
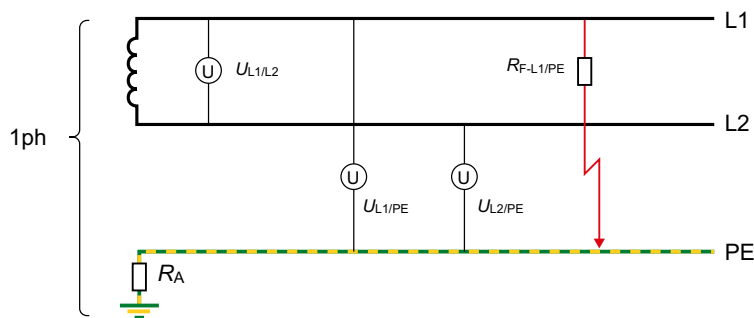
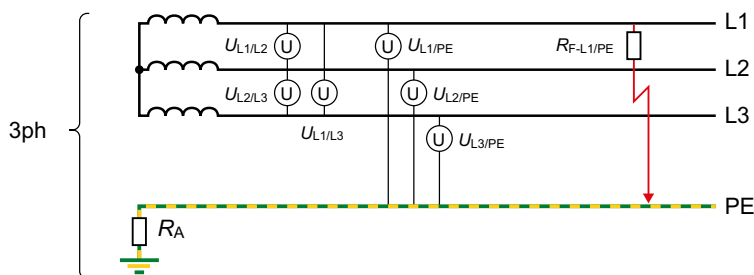


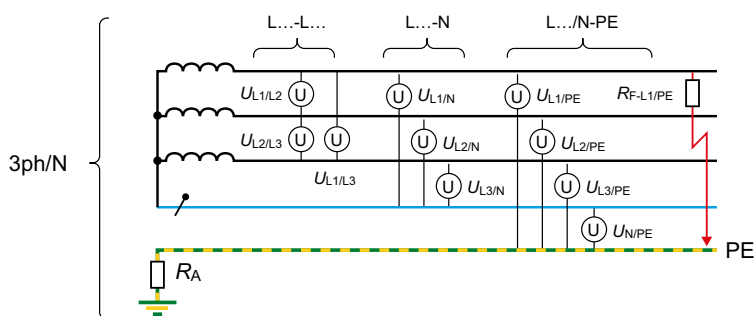
Abb 1: Prinzip Messung der Verlagerungsspannung in 1ph IT-Systemen



	$R_{F-L1/PE} = \infty \Omega$	$R_{F-L1/PE} = 0 \Omega$
$U_{L1/L2}$	230 V	230 V
$U_{L1/PE}$	115 V	0 V
$U_{L2/PE}$	115 V	230 V



	$R_{F-L1/PE} = \infty \Omega$	$R_{F-L1/PE} = 0 \Omega$
$U_{L1/L2}$	400 V	400 V
$U_{L2/L3}$	400 V	400 V
$U_{L1/L3}$	400 V	400 V
$U_{L1/PE}$	230 V	0 V
$U_{L2/PE}$	230 V	400 V
$U_{L3/PE}$	230 V	400 V



	$R_{F-L1/PE} = \infty \Omega$	$R_{F-L1/PE} = 0 \Omega$
$U_{L1/L2}$	400 V	400 V
$U_{L2/L3}$	400 V	400 V
$U_{L1/L3}$	400 V	400 V
$U_{L1/N}$	230 V	230 V
$U_{L2/N}$	230 V	230 V
$U_{L3/N}$	230 V	230 V
$U_{L1/PE}$	230 V	0 V
$U_{L2/PE}$	230 V	400 V
$U_{L3/PE}$	230 V	400 V
$U_{N/PE}$	0 V	230 V

Tabelle 1: Messwerte der Verlagerungsspannung in IT-Systemen mit einem nahezu widerstandslosen Isolationsfehler  $R_{F-...}$  an L1

### Prüfung der Durchgängigkeit der Schutzleiterverbindungen $R_{PE}$

Wenn die Anlage sicher sein soll, kann nicht darauf verzichtet werden, sich vom Vorhandensein und dem ordnungsgemäßen Zustand der Schutzleiter zu überzeugen bzw. zu messen. Ein ordnungsgemäßer Schutzleiter ist die Basis für korrekte Funktion der Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag.

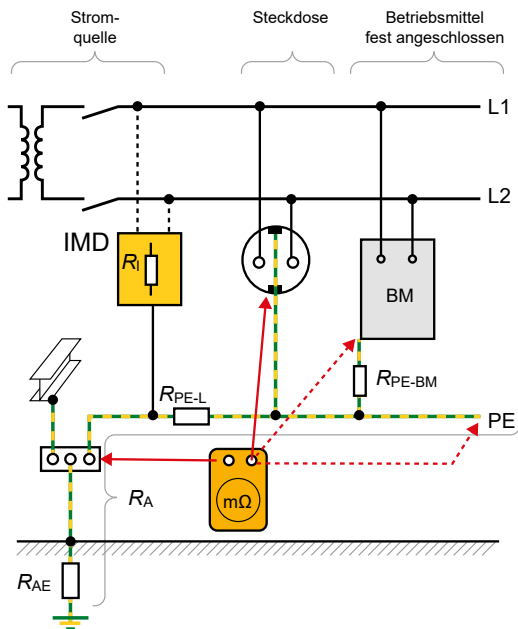


Abb. 3: Beispiel Messung der Durchgängigkeit der Schutzleiter

$R_{PE}$  setzt sich aus dem Schutzleiterwiderstand in der Installation  $R_{PE-L}$  und dem Schutzleiterwiderstand der Anschlussleitung  $R_{PE-BM}$  des Betriebsmittels zusammen.

### Messung des Erdungswiderstandes $R_{AE}$

Der Erdungswiderstand  $R_{AE}$  ist der Widerstand zwischen der Bezugs Erde und dem Anschlusspunkt der Erdungsanlage. Im IT-System wird die Erdungsanlage insbesondere benötigt, um die einzelnen Anlagenteile und Stromkreise bei einem zweiten Fehler auf ein Bezugspotential möglichst nahe der Bezugs Erde zu bringen. Zur Ermittlung des Erdungswiderstandes gibt es verschiedene Messverfahren. In der Praxis wird meist der Erdungswiderstand zwischen mehreren Erdungspunkten und der Hauptpotentialausgleichschiene gemessen.

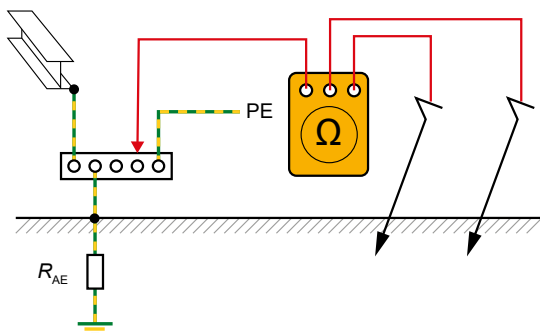


Abb. 4: Beispiel Erdungsmessung im IT-System

### Ermittlung des Erdungswiderstandes $R_A$

Für IT-Systeme gilt die grundsätzliche Bedingung  $R_A \times I_d \leq 50 \text{ V}$  (AC-Systeme).  $R_A$  setzt sich aus den Teilwiderständen  $R_{AE}$  und  $R_{PE}$  zusammen. Ein höchstzulässiger Wert ist nicht vorgegeben, die ermittelten Werte sollten jedoch nicht höher sein, als jener Wert der entsprechend den Leitungsdaten und den Übergangswiderständen zu erwarten ist. In der Praxis wird z.B. nach DIN VDE 0100-551:2017-02 für  $R_A$  ein Gesamtwert von  $100 \Omega$  gefordert. Unter Berücksichtigung des zweiten Fehlers bzw. einer dafür notwendigen Auslösung eines RCDs, sollte der Erdungswiderstand folgende Werte nicht überschreiten:

$I_{\Delta n}$	10 mA	30 mA	100 mA	300 mA	500 mA	1 A
$R_A$	5000 $\Omega$	1666 $\Omega$	500 $\Omega$	166 $\Omega$	100 $\Omega$	50 $\Omega$

### Messung des Isolationswiderstandes

Isolationsmessung und Isolationsüberwachung sind Begrifflichkeiten, die leicht miteinander verwechselt werden, da sie im Prinzip auch sehr ähnlich sind. Die Isolationsmessung ist die Prüfung, bei der im abgeschalteten bzw. spannungslosen Netz der Isolationswiderstand mit Hilfe eines Isolationsmessgerätes nach DIN VDE 61557-2:2018-02 zwischen aktiven Leitern und dem Schutzleiter gemessen wird. Diese Messung ist keine spezifische Messung nur für das IT-System sondern wird gleichermaßen auch für TN- bzw. TT-System angewendet. Die Isolationsüberwachung ist die permanente Überwachung des Isolationswiderstandes eines IT-Systems im Betrieb und damit auch aller angeschlossenen Betriebsmittel.

Um die Isolationsmessung ordnungsgemäß durchführen zu können, muss vor Beginn der Messung die zu prüfende Anlage oder der zu prüfende Anlagenteil spannungslos geschaltet werden. Ebenso muss das Isolationsüberwachungsgerät abgetrennt werden. Kann das Isolationsüberwachungsgerät (IMD) nicht vom Netz getrennt werden, so ist zu kontrollieren, ob das Isolationsüberwachungsgerät für die angewendete Messspannung geeignet ist. Da der Innenwiderstand eines nicht abgeklemmten Isolationsüberwachungsgerätes gemessen wird, kann der angezeigte Messwert von dem sehr hohen Isolationswiderstand ( $\geq 5 \text{ M}\Omega$ ) abweichen.

Der Isolationswiderstand wird zwischen den aktiven Leitern und dem mit der Erde verbundenen Schutzleiter gemessen. Bei dieser Prüfung dürfen die aktiven Leiter miteinander elektrisch verbunden werden. Die Messgleichspannung und die Höhe des Isolationswiderstandes müssen den Anforderungen von Tabelle 2 entsprechen. Der Isolationswiderstand gilt als ausreichend, wenn jeder Stromkreis ohne angeschlossene elektrische Verbrauchsmittel den geforderten Wert erreicht. Bei der Messung ist zu beachten, dass alle im Stromkreis enthaltenen Schalter geschlossen sind. Können Stromkreise nicht geschlossen werden, so müssen die nicht erfassten Stromkreise separat gemessen werden. Bestehende Verbindungen zwischen N und PE müssen geöffnet sein.

Nennspannung des Stromkreises (V)	Messgleichspannung (V)	Isolationswiderstand ( $\text{M}\Omega$ ) min.
SELV, PELV	250	0,5
Bis einschließlich 500 V, sowie FELV	500	1,0
Über 500 V	1000	1,0

Tabelle 2: Isolationswiderstand und Messspannung nach DIN VDE 0100-600 (VDE 0100-600):2017-06

Die Messspannung ist eine Gleichspannung. Dies bedeutet, dass die ohm'schen Widerstände gemessen werden. Die Höhe der Messspannung richtet sich nach der Art der zu prüfenden Anlage bzw. Betriebsmittel und ist in den für die sicherheitstechnischen Prüfungen geltenden Normen geregelt (siehe Tabelle 2). Für 230/400 V Systeme beträgt diese DC 500 V. Der Messstrom muss mindestens 1 mA betragen bzw. der Scheitelwert darf 15 mA nicht überschreiten. Durch die Höhe der Messspannung soll auch gleichzeitig eine gewisse „Durchschlagsfestigkeit“ geprüft werden. Daher müssen auch alle angeschlossenen Betriebsmittel diese Messgleichspannung zumindest für 1 min. aushalten. Während einer Isolationsmessung dürfen berührbare, leitfähige Teile nicht berührt werden, um eine Gefährdung durch einen elektrischen Schlag zu vermeiden, z.B. bei defekten Geräten.

Für die Messung des Isolationswiderstandes im Betrieb stellt die permanente Überwachung mit einem IMD eine wesentliche Erleichterung dar, denn nach einer Erstmessung erfüllt bei eingeschalteter elektrischer Anlage das IMD diese Messaufgabe (nach DIN VDE 0100-600 Ab 61.3.3). Ist ein IMD vorhanden, kann somit bei einer Wiederholungsprüfung die Einzelmessung des Isolationswiderstandes entfallen. Dies ist auch von Vorteil bei elektrischen Anlagen, die aus betrieblichen Gründen nicht abgeschaltet werden können. Letztlich wird aus einer punktuellen Messung eine permanente Überwachung. Die Messgleichspannung des Isolationsüberwachungsgerätes ist unterhalb der zulässigen max. Berührungsspannung AC 50 V/DC 120 V, so dass dadurch auch keine Gefährdung auftreten kann.

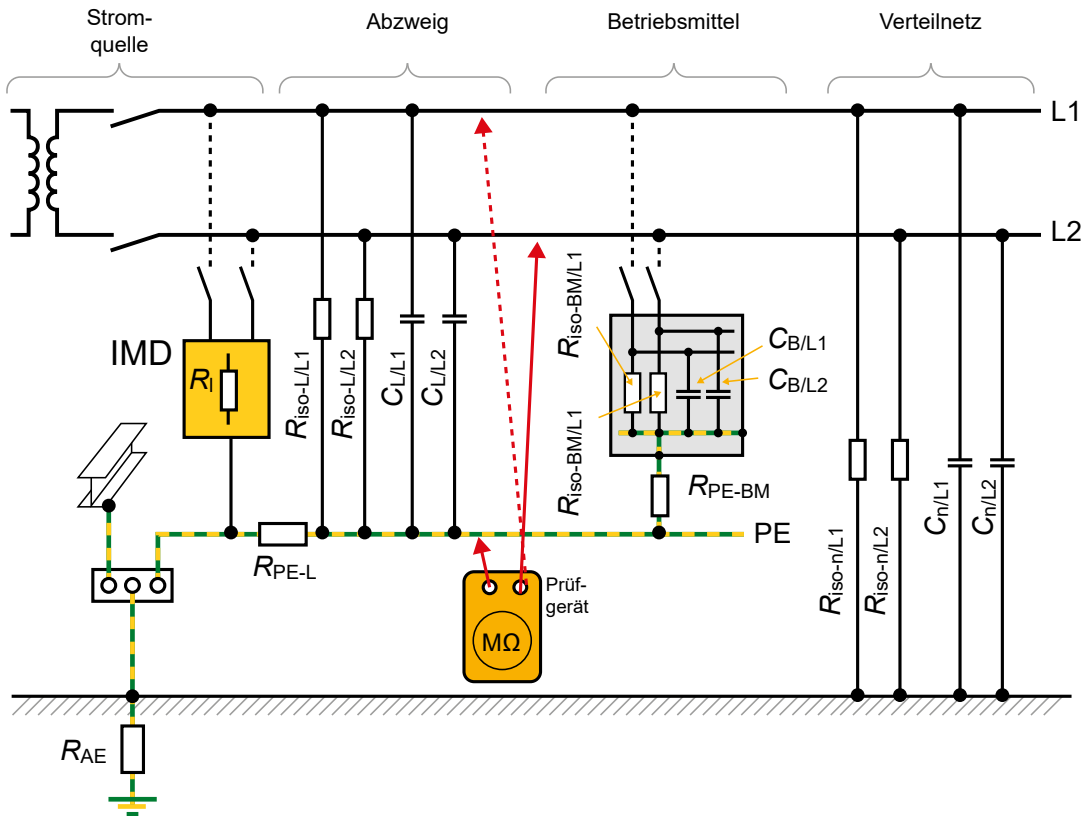


Abb 5: Messung des Isolationswiderstandes mit einem Isolationsmessgerät nach DIN EN 61557-2

### Messung des Fehlerstromes $I_d$

In IT-Systemen muss die Einhaltung folgender Bedingung nachgewiesen werden.

$$R_A \times I_d \leq 50 \text{ V (AC-Systeme)}$$

Für DC-Systeme sind  $< 120 \text{ V}$  zulässig.

$R_A$  die Summe der Widerstände in  $\Omega$  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. Dabei kann der Wert von  $I_d$  sowohl rechnerisch als auch messtechnisch ermittelt werden. Bei der Messung wird ein aktiver Leiter (z.B. L1) nahezu widerstandslos mit Erde verbunden und mit einem Strommesser der Strom zwischen der Erde und dem anderen aktiven Leiter (z.B. L2) gemessen. Aus dem gemessenen Fehlerstrom  $I_d$  und dem Erdungswiderstand  $R_A$  kann dann die mögliche Berührungsspannung  $U_B$  errechnet und diese mit der örtlich vereinbarten Berührungsspannung  $U_L$  verglichen werden.

Bei einer händisch durchgeführten Messung sind entsprechende Vorsichtsmaßnahmen zu ergreifen, um Gefahren bei Auftreten eines Doppelfehlers zu vermeiden. Am Markt sind jedoch inzwischen entsprechende Prüfgeräte erhältlich, durch die diese Gefährdung ausgeschlossen wird.

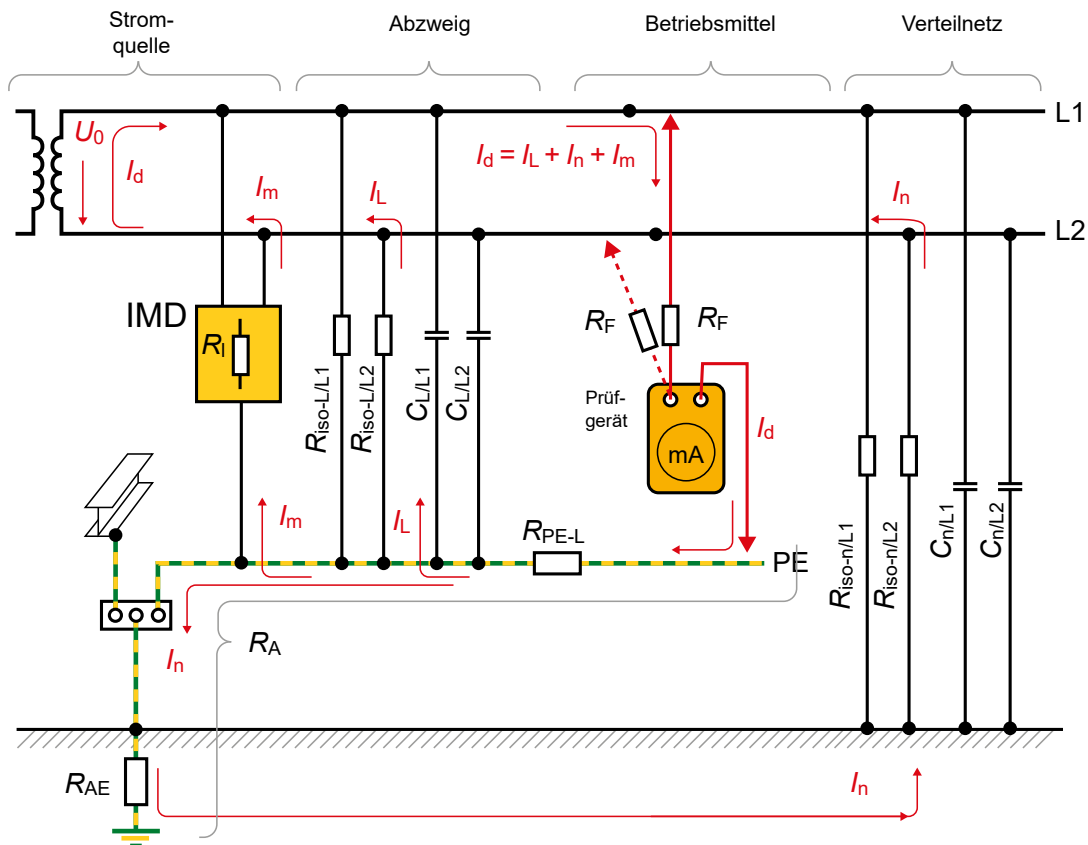


Abb. 6: Messung  $I_d$

### Messung und Prüfung der Abschaltbedingungen für den zweiten Fehler

Bei dieser Prüfung wird kontrolliert, ob im Fall von zwei Isolationsfehlern an unterschiedlichen aktiven Netzleitern (Doppelfehler) die Schutzeinrichtung des Stromkreises mindestens eine Fehlerstelle in der vorgeschriebenen Zeit abschaltet. Umfasst das IT-System nur einen Stromkreis misst der Prüfer am Ende des Stromkreises die Netzimpedanz  $Z_s$  zwischen zwei Außenleitern oder, wenn der N-Leiter mit herausgeführt ist, die Netzimpedanz  $Z'_s$  zwischen einem Außenleiter und dem N-Leiter. Mit der gemessenen Netzimpedanz und der Größe des möglichen Abschaltstroms  $I_a$  der Überstromschutzeinrichtung kann die korrekte Funktion der Überstrom-Schutzorgane kontrolliert werden. Für die Fehlerschleife gelten nach DIN VDE 0100-410:2018-10 Absatz 411.6.4 die Bedingungen

- a) Wenn die Körper durch Schutzleiter miteinander verbunden und gemeinsam über dieselbe Erdungsanlage geerdet sind, gelten die Bedingungen vergleichbar zum TN-System und die folgenden Bedingungen müssen erfüllt werden:

Wechselstromsysteme ohne Neutralleiter und Gleichstromsysteme ohne Mittelleiter:

$$Z_s \leq \frac{U}{2 \times I_a}$$

Systeme mit Neutralleiter bzw. mit Mittelleiter

$$Z'_s \leq \frac{U_0}{2 \times I_a}$$



Dabei ist

- $U_0$  die Nennwechselspannung oder Nengleichspannung zwischen Außenleiter und Neutralleiter oder Mittelleiter
- $U$  die Nennwechselspannung oder Nengleichspannung zwischen Außenleitern;
- $Z_S$  die Impedanz der Fehlerschleife, bestehend aus dem Außenleiter und dem Schutzleiter des Stromkreises;
- $Z'_S$  die Impedanz der Fehlerschleife, bestehend aus dem Neutralleiter und dem Schutzleiter des Stromkreises;
- $I_a$  der Strom, der die Funktion der Schutzeinrichtung innerhalb der für TN-Systeme oder geforderten Zeit bewirkt.

c) Wenn die Körper gruppenweise oder einzeln geerdet sind, gilt die folgende Bedingung

$$R_A \leq \frac{50 \text{ V}}{I_a}$$

Dabei ist

- $R_A$  die Summe der Widerstände in Ohm des Erders und des Schutzleiters für die Körper;
- $I_a$  der Strom in A, der die Funktion der Schutzeinrichtung innerhalb der für TT-Systeme geforderten Zeit bewirkt.

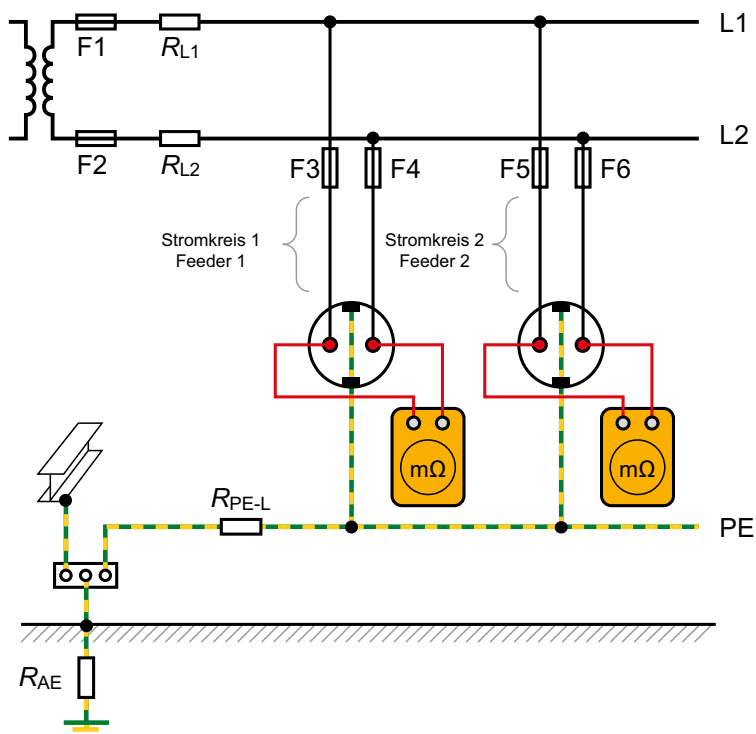


Abb. 7 Beispiel für die Messung der Netzimpedanz

Der zweite Fall ist ein IT-System mit mehreren Stromkreisen. In einem derartigen System ist nicht vorhersehbar, in welchen Stromkreisen und schon gar nicht an welchen verschiedenen Orten die beiden zu betrachtenden Fehler gleichzeitig auftreten. Damit ergeben sich je nach Fehlerort unterschiedliche Fehlerschleifen und für jede eine spezielle Netzimpedanz  $Z_S$ . Die Netzimpedanz sollte deshalb in jedem Stromkreis jeweils an dessen Ende gemessen werden. Damit erhält man eine Aussage über die Widerstandsverhältnisse im aktiven Teil des Netzes.

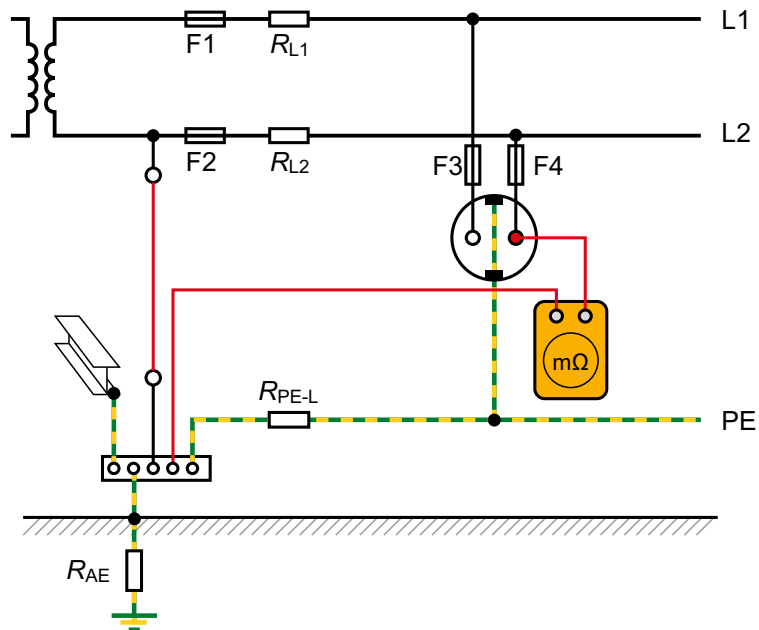


Abb. 8: Beispiel für die Messung der Schleifenimpedanz nach vorheriger Erdung eines aktiven Leiters

### Prüfen von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD)

Die Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD) lösen primär bei einem zweiten Fehler an einem anderen Leiter aus, d.h. die Fehlerschleife schließt sich bei einem Doppelfehler nur über den Schutzleiter. In der Praxis wird deshalb ein künstlicher Erdschluss hergestellt, um diese Messung durchführen zu können. Dabei ist jedoch zu beachten, dass in einem dreiphasigen IT-System mit N-Leiter die Betriebsmittel durch Spannungserhöhung der nicht fehlerbehafteten Leiter gegen Erde auf die Außenleiterspannung ansteigt. Nach Herstellung eines künstlichen Erdschlusses (1. Fehler) kann die ordnungsgemäße Auslösung des RCD mit einem RCD-Prüfgerät geprüft und bewertet werden. Grundsätzlich ist dabei jedoch zu beachten, dass es bei hohen Netzableitkapazitäten zu einer ungewollten Auslösung des RCDs kommen kann.

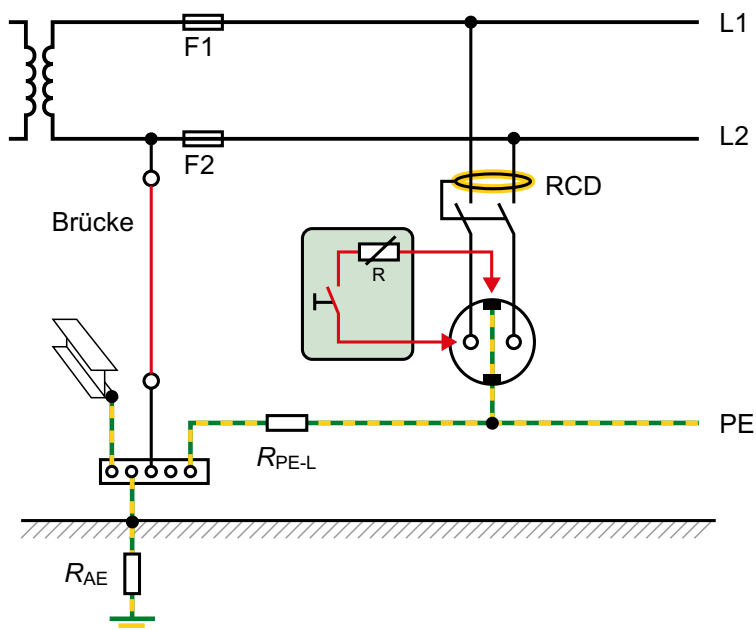


Abb. 9: Funktionsprüfung von RCDs in IT-Systemen

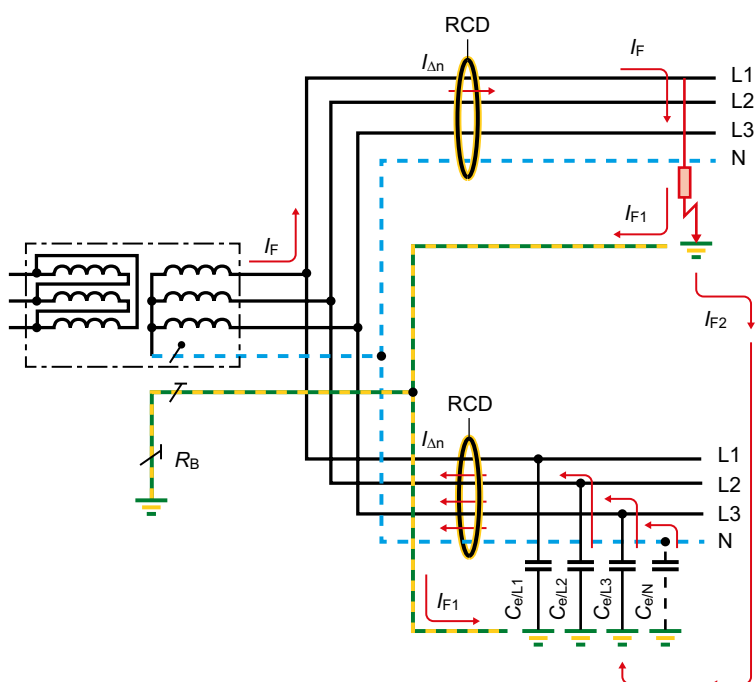


Abb. 10: Mögliche Fehlauflösungen von RCD aufgrund von Netzableitkapazitäten

### **Funktions- und Betriebsprüfungen**

Baugruppen, wie Schaltgerätekombinationen, Antriebe, Stelleinrichtungen und Verriegelungen, müssen einer Funktionsprüfung unterzogen werden, um nachzuweisen, dass sie entsprechend den zutreffenden Anforderungen dieser Norm richtig montiert, eingestellt und errichtet sind. Bei Schutzeinrichtungen muss, soweit erforderlich, eine Funktionsprüfung durchgeführt werden, um festzustellen, dass sie bestimmungsgemäß errichtet und eingestellt sind.

### **Funktionsprüfung eines Isolationsüberwachungsgerätes**

Mit Hilfe der Gerätedokumentation bzw. geeigneter Prüfeinrichtungen wird das Isolationsüberwachungsgerät (IMD) geprüft und bewertet. Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- Gerätekonformität mit der Produktnorm DIN EN 61557-8:2015-12
  - Eignung des IMD für den Einsatzzweck am Einsatzort
  - Einstellung der Ansprechwert(e) Ran
  - Ausführung, Wirksamkeit und Erkennbarkeit der optischen und ggf. akustischen Meldungen bei einem Isolationsfehler
  - Funktion der Prüftaste am IMD
- a) *Prüfung der internen Überwachungsfunktionen des IMD*  
Isolationsüberwachungsgeräte können interne Überwachungsfunktionen enthalten, um die ordnungsgemäße Funktion des IMD sicherzustellen. Dies sind beispielsweise die Anschlussüberwachung zum Netz oder zur Erde. Diese Anschlüsse sind mindestens jeweils zweipolig ausgeführt. Öffnet der Prüfer eine dieser Verbindungen zwischen dem IMD und dem Schutzleiter bzw. Erde, so muss dieser Fehler vom IMD gemeldet werden. Das gleiche gilt für den netzseitigen Anschluss.
- b) *Richtige Einstellung der Ansprechwerte*  
Ist kein spezifischer Ansprechwert vorgegeben, sollte am IMD ein Ansprechwert von 100  $\Omega/V$  als Hauptmeldung eingestellt werden. Verfügt das IMD über eine zweite Meldestufe, so kann man dort als Vorwarnung einen Wert von 300  $\Omega/V$  einstellen. Damit hat der Anlagenbetreiber den Vorteil, frühzeitig auf mögliche Anlagenveränderung aufmerksam zu werden, ohne gleich aktiv zu werden zu müssen. Er kann den Serviceeinsatz zu einem späteren, geplanten Zeitpunkt durchführen. In medizinisch genutzten Bereichen ist ein Mindestwert von 50 k $\Omega$  erforderlich.
- c) *Prüfung des Ansprechwertes*  
Die Kontrolle der Auslösefunktion des IMD wird nach DIN EN 61557-8:2015-12 Absatz 6.1.2 mit Hilfe eines Prüf Widerstandes durchgeführt, dessen Wert dem halben Wert des eingestellten Ansprechwertes des IMD entsprechen muss. Die Prüfung der Ansprechzeit ist in DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8):2015-12 Abschnitt 6.1.2 Ansprechzeit beschrieben. Danach ist bei einer Netzableitkapazität von max. 1 $\mu F$  ein geeigneter Prüf Widerstand schlagartig zwischen aktiven Leiter und Erde bzw. Potentialausgleich zu schalten und die Verzögerungszeit bis zum Abschalten des Ausgangstromkreises (z.B. Steckdose) zu messen.
- Sind in dem IT-Systemen höhere Netzableitkapazitäten  $C_e$  vorhanden, kann sich das Ansprechen des Isolationsüberwachungsgerätes verzögern. Die Ansprechzeit kann überschlagsmäßig durch die Formel  $5 \tau = R_i \times C_e$  bestimmt werden, wobei  $R_i$  der Innenwiderstand des Isolationsüberwachungsgerätes ist. Abhängig vom Messverfahren des IMD kann diese Zeit jedoch auch deutlich kürzer sein. Bei der Auswahl des Prüf Widerstandes ist darauf zu achten, dass dieser für den Einsatzzweck geeignet ist (Spannungsfestigkeit etc.).

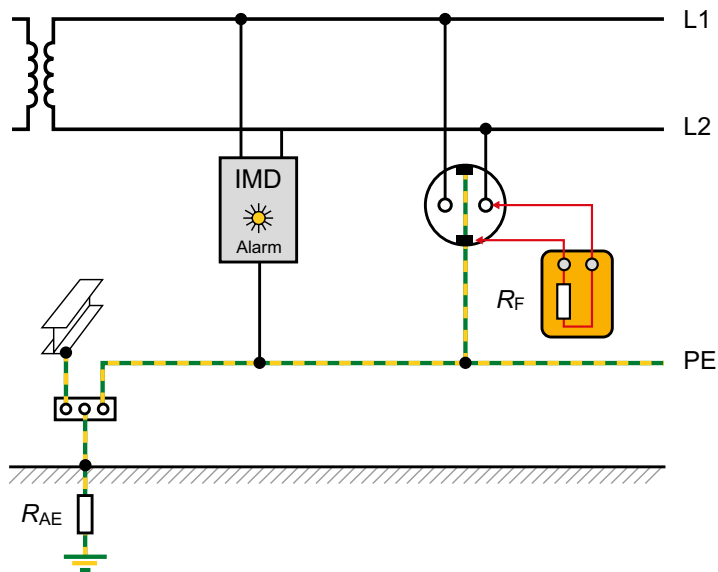


Abb. 11: Funktionsprüfung eines IMD

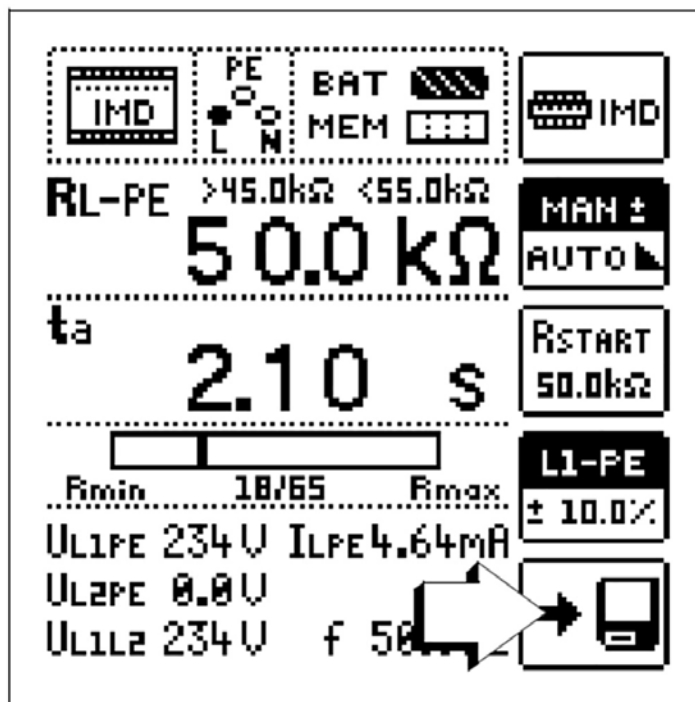


Abb. 12: Beispiel für die Prüfung eines IT-Systems mit einem Prüfsystem (Quelle: Profitest MXTRA, Gossen-Metrawatt)

d) Prüfung der korrekten optischen und akustischen Meldung

Der Prüfer muss bewerten, ob die vom IMD verursachten Meldungen an den notwendigen Stellen korrekt ankommen und dort auch wahrgenommen werden können. Hier gilt z.B., dass im Krankenhaus die Meldungen an einer ständig besetzten Stelle auflaufen müssen. Außerdem sollte an dieser Stelle eine Anweisung vorhanden sein, wie mit der jeweiligen Meldung umzugehen ist.

Auch ist zu kontrollieren, ob die zulässigen und notwendigen Um- und Rückschaltungen ordnungsgemäß funktionieren. Bei Isolationsüberwachungsgeräten mit einem automatischen Selbsttest muss kontrolliert werden, welche Wirkung diese Meldung des IMD hat.

### Erstellung des Prüfberichtes

Nach Beendigung der Prüfung einer neuen Anlage oder von Erweiterungen oder Änderungen in einer bestehenden Anlage muss ein Prüfbericht über die Erstprüfung erstellt werden. Dieser Prüfbericht muss Details des Anlagenumfangs, der durch den Bericht abgedeckt ist, zusammen mit einer Aufzeichnung über das Besichtigen und die Ergebnisse des Erprobens und Messens umfassen.

Bevor der Errichter der Anlage erklärt, dass diese Anlage die Anforderungen der Reihe DIN VDE 0100 (VDE 0100) entspricht, müssen natürlich alle, während der Prüfung erkannten Mängel beseitigt werden. Der Prüfbericht muss dem Auftraggeber übergeben werden.

Alle Fehler oder fehlende Teile, die während der Prüfung der Anlage erkannt werden, müssen korrigiert werden, bevor der Errichter der Anlage erklärt, dass diese Anlage die Anforderungen der Reihe DIN VDE 0100 (VDE 0100) erfüllt. Die Person oder die Personen, die für die Sicherheit, Errichtung und Prüfung der Anlage verantwortlich sind, müssen dem Auftraggeber den Prüfbericht, aus dem die jeweilige Verantwortlichkeit hervorgeht, mit den notwendigen Aufzeichnungen übergeben.

Dies gilt ebenfalls für die Wiederholungsprüfung. Der Umfang und die Ergebnisse der wiederkehrenden Prüfung müssen protokolliert und es muss ein Prüfbericht erstellt werden.

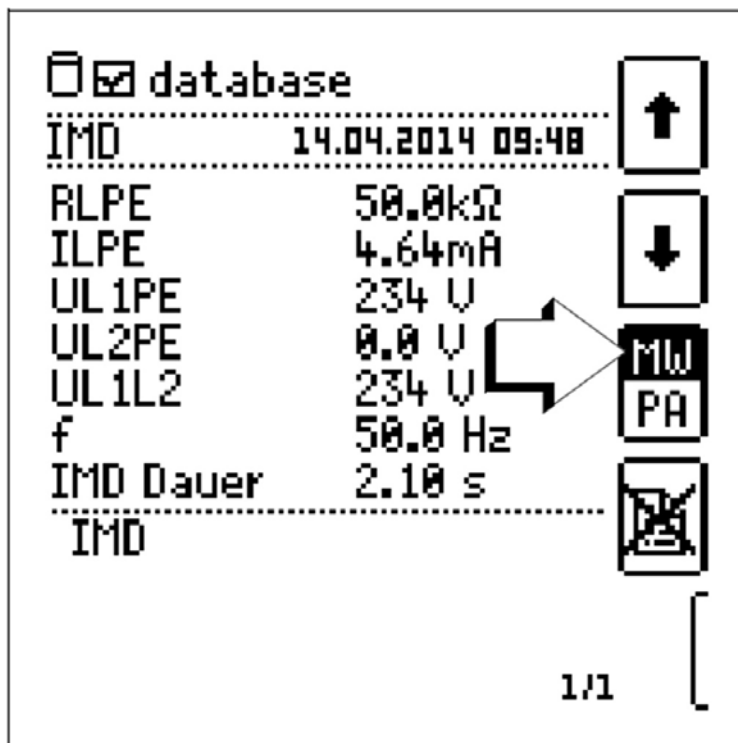


Abb.: 13: Übernahme der Messergebnisse in eine Datenbank (Quelle: Profitest MXTRA, Gossen-Metrawatt)

### Zusammenfassung

Elektrische Anlagen sind nach den geltenden Regeln der Technik zu errichten. Dieses gilt es durch Prüfungen nachzuweisen, damit der Nutzer eine regelkonforme Anlage betreibt und mögliche Gefährdungen von Personen und Sachgegenständen vermieden werden. DIN VDE 0100-600 und DIN VDE 0105-100 enthalten dazu die notwendigen Vorgaben. Für die Durchführung der Messung und die Auswahl geeigneter Messverfahren ist aber letztlich der Prüfer selbst verantwortlich.

## Literaturhinweise:

Wolfgang Hofheinz:

VDE-Schriftenreihe Band 114 3. Auflage 2011 – Schutztechnik mit Isolationsüberwachung

Faber, Grapetin, Wettingfeld:

VDE-Schriftenreihe Band 124 3. Auflage 2012 – Prüfen elektrischer Anlagen und Betriebsmittel – Grundlagen und Methoden

DIN VDE 0100-100 (VDE 0100-100):2009-06

Errichten von Niederspannungsanlagen

Teil 1: Allgemeine Grundsätze, Bestimmungen allgemeiner Merkmale, Begriffe

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

Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-41: Schutzmaßnahmen - Schutz gegen elektrischen Schlag

DIN EN 61557-2 (VDE 0413-2):2008-02

Elektrische Sicherheit in Niederspannungsnetzen bis AC 1 000 V und DC 1 500 V – Geräte zum Prüfen, Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen; Teil 2: Isolationswiderstand

DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8):2015-12

Elektrische Sicherheit in Niederspannungsnetzen bis AC 1 000 V und DC 1 500 V – Geräte zum Prüfen, Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen Teil 8: Isolationsüberwachungsgeräte für IT-Systeme

DIN EN 61557-9 (VDE 0413-9):2015-10 Elektrische Sicherheit in Niederspannungsnetzen bis AC 1 000 V und DC 1 500 V – Geräte zum Prüfen, Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen Teil 9: Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche in IT-Systemen

DIN VDE 0105-100 VDE 0105-100:2015-10

Betrieb von elektrischen Anlagen

Teil 100: Allgemeine Festlegungen

DIN VDE 0100-600 VDE 0100-600:2017-06

Errichten von Niederspannungsanlagen

Teil 6: Prüfungen

Bezugsquellen: [www.vde-verlag.de](http://www.vde-verlag.de); [www.beuth.de](http://www.beuth.de)



**Bender GmbH & Co. KG**

Postfach 1161 • 35301 Grünberg • Germany  
Londorfer Straße 65 • 35305 Grünberg • Germany  
Tel.: +49 6401 807-0 • Fax: +49 6401 807-259  
E-Mail: [info@bender.de](mailto:info@bender.de) • [www.bender.de](http://www.bender.de)

Fotos: Bender Archiv.



**BENDER Group**