

E 11: Schutz im IT – System

05/2025

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
Prof. Dr.-Ing. Ralf-Dieter Rogler
Dipl.-Ing. K. Schellenberger

1 Einleitung

Der Praktikumsversuch „Schutz im IT- System“ soll zur Vertiefung der Kenntnisse zu Wirkungsweise, Aufbau und Prüfung der Funktion des IT-Netzes und der Funktion von Schutzmaßnahmen in einem IT-Netz dienen.

Einen prinzipiellen Überblick über die anzuwendenden Schutzmaßnahmen gibt die Pilotnorm DIN VDE 0100 – 410 (Literaturquelle /1/).

2 Schutzmaßnahmen

Das IT-System wird dort eingesetzt, wo ein hohes Maß an Betriebs-, Brand- und Unfallsicherheit gewährleistet werden muss, z.B. in medizinisch genutzten Räumen oder Anlagen, im Schiff- und Bergbau und in Produktionsbereichen, die unterbrechungsfrei arbeiten müssen. Die Stromversorgung von Elektrofahrzeugen und Flugzeugen funktioniert ebenfalls wie ein IT-Netz.

In IT - Systemen müssen auf der Seite des Energieversorgers alle aktiven Leiter entweder gegen Erde isoliert sein oder über eine ausreichend hohe Impedanz mit Erde verbunden werden. Deshalb muss das IT - Netz über einen separaten Transformator oder eigenen Generator betrieben werden. Der Fehlerstrom ist dann beim Auftreten eines Einzelfehlers gegen einen mit dem Schutzleiter verbundenen Körper oder gegen Erde niedrig. Eine automatische Abschaltung ist nicht gefordert unter folgenden Voraussetzungen:

1. Alle Körper müssen einzeln, gruppenweise oder gemeinsam mit Erdpotential verbunden sein
2. Die folgende Bedingung muss erfüllt sein: $R_A \cdot I_d \leq U_L$

Der von einem Fehler betroffene Leiter nimmt das Potential des Schutzleiters an. Das Potential der anderen Leiter gegen den Schutzleiter erhöht sich entsprechend. (Isolation höher auslegen!)

Es müssen Maßnahmen getroffen werden, um einen ersten Fehler schnell und sicher zu erkennen, zu orten und schnellstmöglich zu beheben.

In IT-Systemen sind folgende Schutzeinrichtungen notwendig:

1. Isolationsüberwachungseinrichtungen (Insulation Measuring Devices, IMDs)
Ein IMD muss vorgesehen werden, um das Auftreten eines ersten Fehlers zwischen einem aktiven Teil und einem Körper oder gegen Erde zu melden. Diese Einrichtung muss ein hörbares und / oder sichtbares Signal erzeugen, das mindestens so lange andauern muss, wie der Fehler besteht. Die Empfindlichkeit des Gerätes muss an die bestehende Anlage angepasst werden.
2. Überstrom-Schutzeinrichtungen (Leitungsschutz-Sicherung o.ä.) zur Abschaltung beim 2. Fehler auf einer anderen Leitung

Des Weiteren dürfen in IT-Systemen die folgenden Überwachungs- und Schutzeinrichtungen verwendet werden:

3. Differenzstrom-Überwachungseinrichtungen (RCMs)
4. Isolationsfehler-Sucheinrichtungen (z.B. Strommesssensoren an jedem wichtigen Abzweig), diese sollen beim Auffinden des Fehlerortes und der schnellen Behebung eines Fehlers helfen
5. Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs)
Anmerkung: Diese können bei Auftreten eines zweiten Fehlers gezielt bestimmte Anlagenteile abschalten. Das ist nur sichergestellt, wenn für die nicht so wichtigen Anlagenteile bzw. Geräte jeweils eigene RCD's vorgesehen werden.

Nach dem Auftreten eines ersten Fehlers müssen folgende Bedingungen für die Abschaltung der Stromversorgung im Falle eines zweiten Fehlers, der sich auf einem anderen Außenleiter ereignet, erfüllt werden:

1. Wenn die Körper durch Schutzleiter miteinander verbunden und gemeinsam über dieselbe Erdungsanlage geerdet sind, gelten die gleichen Bedingungen wie beim TN-System.
2. Wenn die Körper gruppenweise oder einzeln geerdet sind, gelten die gleichen Bedingungen wie für ein TT-System.

3 Verwendete Formelzeichen

C_E	Kapazität eines Leiters gegen Erde (Erd-Ableitkapazität)
I_a	Abschaltstrom der Schutzeinrichtung
I_B	Berührungstrom durch den menschlichen Körper (Körperstrom)
I_d	Fehlerstrom im Falle des ersten Fehlers mit vernachlässigbarer Impedanz (der Wert I_d berücksichtigt die Ableitströme und die Gesamtimpedanz der elektrischen Anlage gegen Erde)
I_{L1}	Strom, der über den Außenleiter L1 fließt
I_{PE}	Erdableitstrom, der vom Leiter PE über den Anlagenerder zum Erdreich (GND) fließt
LS	Leitungsschutzschalter
R_A	Anlagen-Erdwiderstand (Summe der Widerstände R_{AE} und R_{PE} zwischen Fehlerort und Erde)
R_F	Isolations-(fehler-)widerstand (Ableitwiderstand der Leiter des Netzes gegen Erde)
R_K	Widerstand des Körperschlusses innerhalb eines Verbrauchers
R_{AW}	Ansprechwert eines A – Isometers
R_L	Widerstand eines Außenleiters
R_M	Widerstand des menschlichen Körpers
$R_{Ü}$	Standortübergangswiderstand
R_V	Widerstand des Verbrauchers
U_B	Berührungsspannung am Menschen (Spannung über R_M)
U_L	Vereinbarte Grenze der dauernd zulässigen Berührungsspannung (Spann. über R_M und $R_{Ü}$)
U_{L1-PE}	Potentialdifferenz zwischen Leiter L1 und Schutzleiter
U_{PE}	Potentialdifferenz zwischen Leiter PE und Erdreich
U_0	Netznominalspannung gegen geerdeten Leiter
Z >	Isolationsmesseinrichtung zur Impedanzmessung der Anlage

4 Aufbau von IT-Systemen

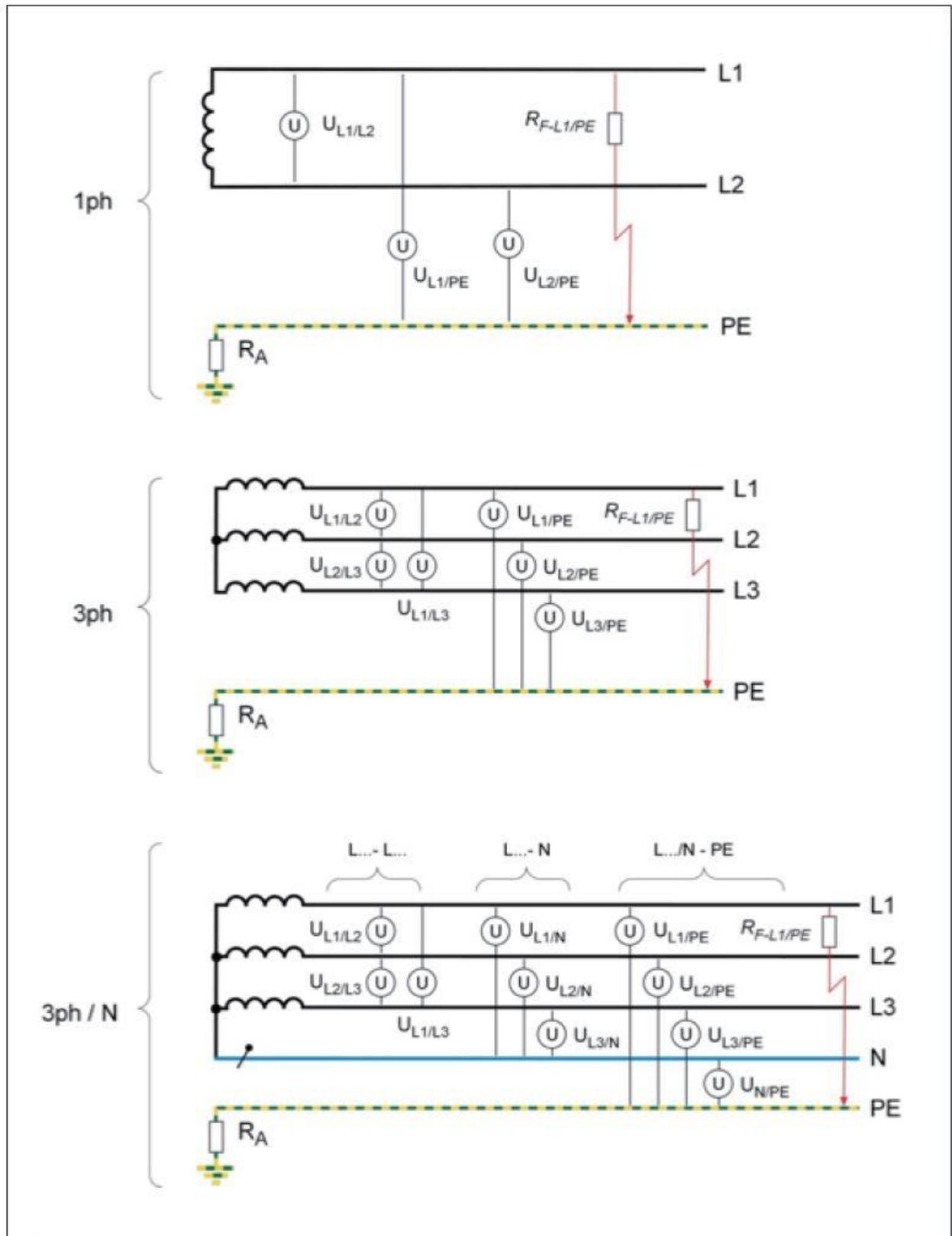


Bild 1: Verlagerungsspannung in IT-Systemen ohne und mit einem nahezu widerstandslosen Isolationsfehler zwischen L1 und PE (Literaturquelle /10/, Bender GmbH & Co.KG)

5 Vorbereitungsaufgaben

1. Was ist ein IT-Netz (in der Energieversorgung)? Welche grundsätzlichen Komponenten sind anders als bei den üblichen TN-Systemen?
2. Im Bild 1 sind drei mögliche Varianten des Aufbaus von IT-Systemen dargestellt. Welche Spannung muss der jeweils angeschlossene Transformator liefern, wenn Sie normale 230-V-Geräte anschließen wollen? Zeichnen Sie je 1 Gerät ein.
3. Tragen Sie in 3 Tabellen die jeweils anliegenden Spannungen ein, solange kein Isolationsfehler besteht. Tragen Sie in die gleichen Tabellen die Spannungen ein, die sich bei einem niederohmigen Isolationsfehler einstellen. Würde Ihr 230-V-Verbraucher noch funktionieren?!
4. Der erste Isolationsfehler verursacht keine hohen Fehlerströme. Stimmt diese Aussage bei diesen Grundschaltungen? Wie ändert sich die Situation, wenn ein weiterer Isolationsfehler zwischen L1 und PE auftritt? Was ändert sich, wenn der zweite Fehler stattdessen zwischen L2 und PE auftritt? Zeichnen Sie in die Schaltungen den Stromfluss ein, der bei gleichzeitigen Fehlern auf L1 und L2 auftritt. Welche Folgen hätte das, mit welchen Maßnahmen kann man diesen entgegenwirken?
5. In jedem realen Energienetz treten Isolationswiderstände auf, die kleiner als unendlich sind, und es bilden sich Kapazitäten zwischen den Leitungen und zum Erdreich hin. In großen Netzen wird R_{iso} durch viele „parallele“ Widerstände insgesamt kleiner, und die Kapazitäten größer. Warum interessieren wir uns für die Größe der Kapazitäten?
Optional: Bereiten Sie für die Aufgabe 7.1.2. in Excel o.ä. die Messwerttabelle und die Grafik vor.
6. Ein geringer werdender Isolationswiderstand könnte auf einen beginnenden Isolationsfehler hindeuten, der in den meisten Fällen eben nicht widerstandslos ist. Im IT-System fließt aber kein nennenswerter Fehlerstrom, der eine LS auslösen würde. Deshalb muss in IT-Netzen während des Betriebes ständig der Isolationswiderstand überwacht werden. Wie funktioniert ein Isolationsüberwachungsgerät? .
7. Welche weiteren Schutzmaßnahmen sind in IT-Systemen notwendig, und welche sind möglich? Welche Besonderheiten sind dabei zu beachten?!

6 Literatur

- /1/ DIN VDE 0100 – 410, /2/ DIN VDE 0100 – 540, /3/ DIN VDE 0100 - 600
- /4/ Hofheinz, Wolfgang: Schutztechnik mit Isolationsüberwachung, 3. Auflage, Berlin; Offenbach; VDE - Verlag, 2011; E-Book, 2017
- /5/ Kiefer, G.; Schmolke, H.: VDE 0100 und die Praxis: 15. Auflage, Berlin; Offenbach, VDE-Verlag, 2014; E-Book, 2017
- /6/ Hösl, Alfred;: Elektroinstallation, 18. Auflage, Heidelberg, Hüthig Verlag, 2003, S87 – 91; E-Book, 2019
- /7/ Unfallverhütungsvorschrift VBG 4 (neu: DGUV-V3)
- /8/ Hörmann / Niehaus / Schröder : Schnelleinstieg in die neue DIN VDE 011-410 (VDE 0100-410): 2007-06, VDE - Verlag, 2007; E-Book, Band 140, 2010
- /9/ Hofheinz, Wolfgang: Fehlerstromüberwachung in elektrischen Anlagen, 3. Auflage, 2014
- /10/ Hofheinz, Wolfgang, Sellner, Harald: Erst- und Wiederholungsprüfung von IT-Systemen, Fachbeitrag der Firma Bender GmbH & Co.KG, online 24.05.2022, im OPAL verfügbar

7 Versuchsaufgaben

Hinweis: Die Messungen 7.1 - 7.2 werden am Messplatz 1 durchgeführt, die Messungen 7.3 – 7.5 am Messplatz 2.

7.1 Funktionstest an einem 3-phasigen IT-Netz (Messplatz 1)

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 1 auf bzw. kontrollieren Sie diese.

(Die als "optional" gekennzeichneten Geräte sollen zuerst noch nicht angeschlossen werden.)

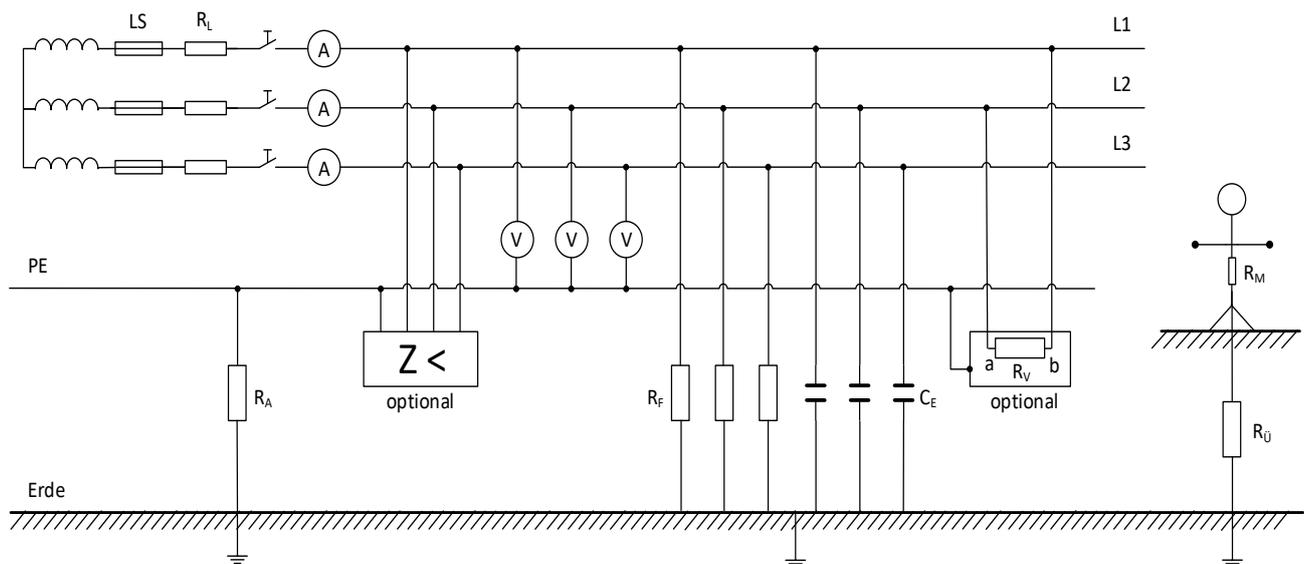


Bild 2: Allgemeine Grundschaltung am Messplatz 1 (Variante: gemeinsam geerdete Geräte-Körper)

Erforderliche Geräte (Messplatz 1):

- Dreiphasen-Anschlusseinheit zum HTW-Stromnetz (5-polig, Platte im Bild 1 nicht dargestellt)
- Transformator (schutzisoliert, IT-gerecht, isolierter Sternpunkt, Ausgangsspannung $U_{LL} = 230 \text{ V}$)
- Grundplatte 1 (IT-Netz mit LS-Sicherung (2,5 A) und symbolischen Leitungswiderständen R_L je 2Ω)
- Grundplatte 2 (Leitungsschutzschalter je 2 A, variierbarer Anlagenerder R_A : 50Ω bzw. 800Ω)
- Grundplatten 3/1 und 3/2 (mit variierbaren Erdableitkapazitäten C_E und Erdableitwiderständen R_F)
- Grundplatte 5/1 (Verbraucher, Körperschlussfehler "a" ($R_K = 0,13 \Omega$) und "b" (700Ω), R_V ca. $3 \text{ k}\Omega$)
- Grundplatte "Modellmensch" mit $R_M = 750 \Omega$ und variierbarem $R_{\bar{U}}$ (220Ω bzw. $10 \text{ k}\Omega$)
- Messgeräte (5 Multimeter Metrahit 23S/24S/26S für Strommessung, 5 mal 16S /18S für Spannung)
- Grundplatten 6 und 7 mit zwei verschiedenen Isolationsmessgeräten („Z <“)

7.1.1 Messungen an fehlerfreien symmetrischen und unsymmetrischen Modellnetzen

Am vorliegenden Modellnetz können die in elektrischen Leitungssystemen auftretenden (unerwünschten) Kapazitäten (C_E) und ohmschen Widerstände (R_F) zwischen Leiter und Erde variiert werden, und somit größere und kleinere Netze dargestellt werden. Diese Impedanzen treten in allen Netzen auf, sind jedoch besonders in IT-Netzen von besonderer Bedeutung für die Sicherheit.

Betreiben Sie das Modellnetz zuerst **ohne** Isolationsmessgerät, ohne Verbraucher und ohne Modellmensch. Stellen Sie die Konfigurationen nach Tabelle 1a ein. Nehmen Sie die Anlage in Betrieb.

Überprüfen Sie, welche Spannungen zur Verfügung stehen. Wie könnte hier ein normales elektrisches Haushaltsgerät (230 V) angeschlossen werden?

Messen Sie alle Leiterströme (Genauigkeit: 3 Ziffern ausreichend), die Leiter-Erde-Spannungen sowie die Leiter-Leiter-Spannung, und die Schutzleiter-GND-Spannung.

	C_E (1,2,3) (μF)	R_F (1,2,3) ($\text{k}\Omega$)	R_A (Ω)	I_{L1} (mA)	I_{L2} (mA)	I_{L3} (mA)	U_{L1-PE} (V)	U_{L2-PE} (V)	U_{L3-PE} (V)	U_{L1-L3} (V)	$U_{PE/GND}$ (V)
Sym- metrisch	0,10	330	50								
	0,66	330	50								
	0,10	47	50								
	0,10	47	∞								
Unsym- metrisch	0,66 / 0,22 / 0,10	47 / 150 / 330	50								
	0,66 / 0,22 / 0,10	47 / 150 / 330	800								
	0,66 / 0,22 / 0,10	47 / 150 / 330	∞								

Tabelle 1a: Messwerte bei verschiedenen fehlerfreien Netzen

- Beurteilen Sie die Messwerte mit Bezug auf Netzgröße (kleine / große Kapazitäten C_E , und Isolationsfehler-Widerstände R_F), niedriger / hoher Widerstand der Anlagenerdung R_A , und der Symmetrie.
- In welchen Fällen könnte bei einer Kontrolle der Fehlerfreiheit des IT-Systems fälschlich ein Isolationsfehler vermutet werden?

7.1.2 Messung bei einem „Fehler vernachlässigbarer Impedanz“ (z.B. Erdschluss oder Körperschluss)

Ein Erdschluss oder Körperschluss bringt in normalen Anlagen sofort die Überstrom-Sicherung zum Auslösen, nicht so in IT-Netzen. Überprüfen sie, ob dieser Fehler tatsächlich ungefährlich für die Anlage und den Anlagenbediener ist.

Stellen Sie die Werte nach Tabelle 1b ein.

Verbinden Sie als Erdschluss den **Leiter L1** auf der Verbraucherseite mit dem **Schutzleiter (PE)**.

- Beobachten Sie die Verlagerungsspannungen an den gesunden Leitern und am Leiter L1.
- Messen Sie die in der Tabelle angegebenen Ströme und Spannungen. Notieren Sie die angezeigten Werte nur, wenn diese von den Anfangswerten erheblich abweichen.

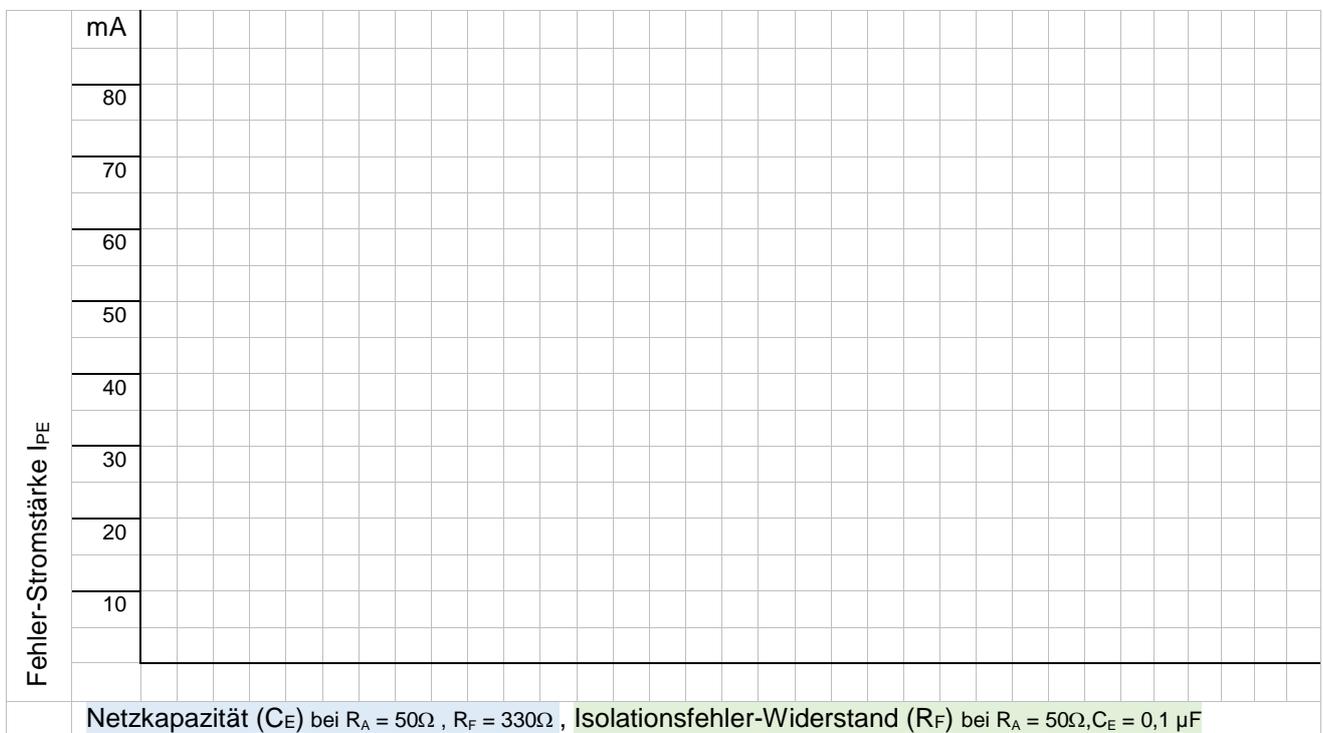
Überprüfen Sie mit einer Stromzange, durch welche Leitungen der Fehlerstrom fließt.

Wäre ein Mensch, der den Körper eines elektrischen Gerätes (Metallgehäuse) berührt, in einer oder mehreren Anlagenkonfigurationen gefährdet?

C_E (1,2,3) (μF)	R_F (1,2,3) ($\text{k}\Omega$)	R_A (Ω)	I_{L1} (mA)	I_{L2} (mA)	I_{L3} (mA)	U_{L1-PE} (V)	U_{L2-PE} (V)	U_{L3-PE} (V)	U_{L1-L3} (V)	$U_{PE/GND}$ (V)
0,10	330	50								
0,22	330	50								
0,10//0,22	330	50								
0,66	330	50								
0,10	330	50								
0,10	150	50								
0,10	330 //150	50								
0,10	47	50								
0,10	47	800								
0,10	47	∞								
0,66	47	50								
0,66	47	800								
0,66	47	∞								

Tabelle 1b: Messwerte bei Erdschluss an L1

Erstellen Sie ein Diagramm, zur Darstellung des Fehlerstromes ($I_{L1} = I_{PE}$) jeweils grafisch darstellen in Abhängigkeit von den Netzgrößen C_E und R_F .



- Auf welche Art ist der Fehlerstrom C_E und R_F abhängig?
- Welchen Einfluss hat R_A ?
- Bewerten Sie die Aussage, dass ein IT-Netz beim ersten Fehler nicht abgeschaltet werden muss. Markieren Sie ggf. die Messergebnisse, die dagegensprechen würden.

7.1.3 Überprüfung der Normkonformität bei verschiedenen Netzkonfigurationen

Einer der Vorteile des IT-Netzes ist, dass der Anlagenerder (R_A) einen höheren Erdableitwiderstand haben darf als z.B. beim TT-Netz. Es muss jedoch verhindert werden, dass bei Isolationsfehlern zu hohe Berührungsspannungen auftreten.

Folgende Bedingung muss erfüllt sein: $R_A \cdot I_d \leq U_L$, $U_B = U_{PE-GND} < (U_{L \max} = 50V)$

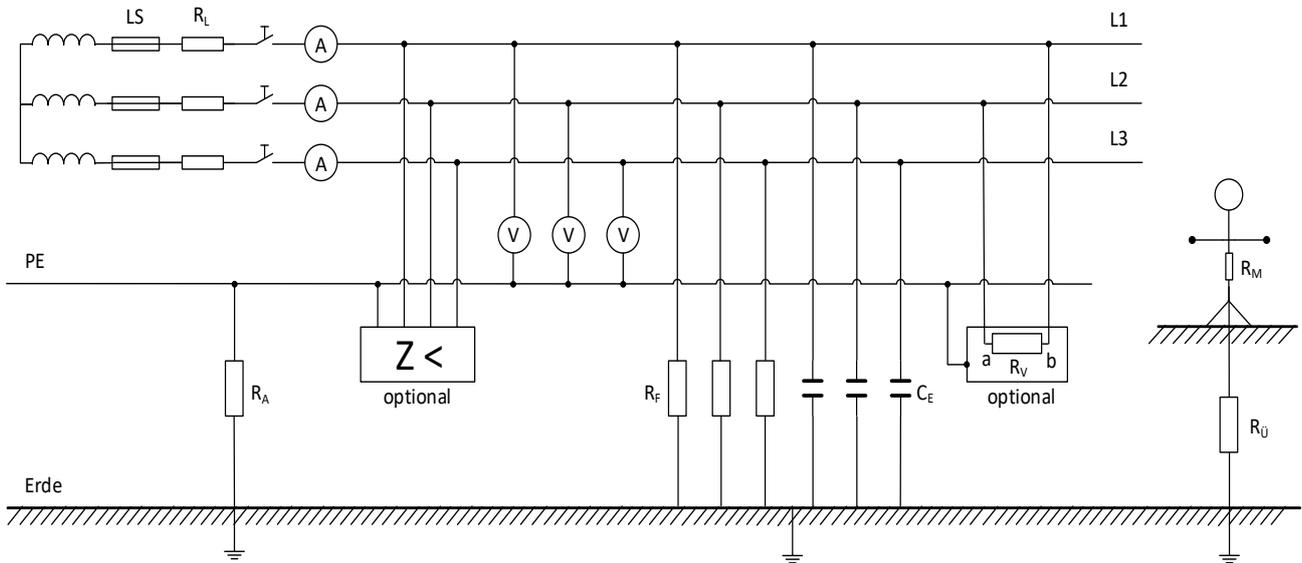


Bild 3: Allgemeine Grundschaltung am Messplatz 1

- Zeichnen Sie einen niederohmigen Isolationsfehler zwischen L1 und PE in obige Schaltung ein.
- Zeichnen Sie den Weg / die Wege des Fehlerstroms I_d ein.
- Kennzeichnen Sie in der Schaltung, an welcher Stelle der Fehlerstrom gemessen werden kann.
- Übernehmen Sie die jeweils maximal gemessenen Werte für I_d aus Tabelle 1b in die Tabelle 1c.

Netzgröße	C_E (μF)	R_F ($k\Omega$)	I_d (gem.) (mA)	R_A max (ber.) (Ω)
klein	0,10	330		
groß	0,66	47		

Tabelle 1c: Kontrolle der Normkonformität bei kleinen und großen Netzen

- Berechnen Sie für das kleine / das große Netz den jeweils maximal zulässigen Anlagen-Erdungswiderstand.
- Inwieweit bestätigt das Ergebnis Ihren obigen Messungen?

7.1.4 Messung bei einem impedanzbehafteten Fehler (z.B. Anfassen eines aktiven Leiters)

Eine Argumentation für die Nutzung von IT-Netzen ist die Aussage, dort könne man einen spannungsführenden Leiter gefahrlos anfassen.

Überprüfen Sie das mit Hilfe des Modellmenschen. Schließen Sie ein Messgerät zur Messung des Körperstromes (I_M) an den Modellmenschen an.

Konfigurieren Sie das Netz nach untenstehender Tabelle. Der Modellmensch stehe auf gut leitfähigem Untergrund (220Ω).

Schalten Sie das Netz ein. Verbinden Sie die „Hand“ mit L1.

- Messen Sie die angegebenen Ströme und Spannungen. Notieren Sie die angezeigten Werte nur, wenn diese von den Anfangswerten erheblich abweichen.

	$C_{E(1,2,3)}$ (μF)	$R_{F(1,2,3)}$ ($k\Omega$)	R_A (Ω)	I_{L1} (mA)	I_{L2} (mA)	I_{L3} (mA)	U_{L1-PE} (V)	U_{L2-PE} (V)	U_{L3-PE} (V)	U_{L1-L3} (V)	I_M (mA)
	0,10	330	50								
	0,22	330	50								
	0,66	330	50								
	0,10	330	50								
	0,10	47	50								
	0,66	47	50								
	0,66	47	800								
	0,66	47	∞								

Tabelle 1d: Messwerte bei Berührung von L1 mit der Hand des Modellmenschen

- Bewerten Sie die Aussage, dass man in jedem IT-System, welches nicht bereits einen Isolationsfehler aufweist, einen spannungsführenden Leiter berühren darf. Markieren Sie ggf. die Messergebnisse, die dagegensprechen würden.

7.2 Messung des Isolationswiderstandes

Ein IT-Netz muss beim Auftreten eines ersten Fehlers nicht abgeschaltet werden. Jedoch muss der Fehler erkannt und schnellstmöglich behoben werden.

Zur Fehlererkennung während des Betriebes gibt es verschiedene Isolationsüberwachungsgeräte. Diese müssen in Anpassung an das jeweilige Netz entsprechend konfiguriert und eingestellt werden.

7.2.1 Messung mit dem A-Isometer D 207 M (Grundplatte 7)

- Entfernen Sie (bei abgeschalteter Anlage) die „Berührung“ des Modellmenschens.
- Die Brücke bei R_0 jetzt auf **10 k Ω** umstecken.
- Schließen Sie den Verbraucher (Glühlampe) jetzt an L1 / **L3** / PE an.

Hinweis: Messung an Anschluss L3, da L1 /L2 zugleich der Stromversorgung des Isometers dienen.

- Schließen Sie das Gerät D-207M an die Abzweigsteckbrücken an das IT-Netz an (L1, L2, L3, PE)
- Kontrollieren Sie die Anzeige des D-207M mittels Ohmmeter. (Polar. beachten, Anzeige /5 teilen)
- Machen Sie sich mit der Funktionsweise des Isolationswächters vertraut.
- Nutzen Sie dazu auch Ihre Vorbereitungen und das ausliegende Datenblatt.
- Der Alarm-Auslösewert wurde auf ca. 14 k Ω voreingestellt.
- Nehmen Sie das fehlerfreie Netz (Einstellungen siehe Tabelle 4a, RA auf **50 Ω** umstellen) wieder in Betrieb.
- Lesen Sie den Wert des aktuell vorhandenen Isolationswiderstandes am D-207 ab.
- Schätzen Sie anhand Ihrer Schaltung, ob der Werte o.k. sein könnte.
- Schließen Sie ein Multimeter (26S) so an, dass Sie den Messstrom I_M im Anschlusskabel L3 des D-207-M beobachten können. (Polarität beachten, „Plus“ ans D207M, „Masse“ an L3)
- Erzeugen Sie bei verschiedenen „Netzgrößen“ verschiedene Fehler (siehe Tabelle 4a) und beobachten und notieren Sie die Reaktionen.

Hinweis: nach Behebung des "Fehlers" erlischt die Warnlampe am Gerät von selbst.

C_E (μF)	R_F (k Ω)	Fehler	I_M (DC!) (μA)	Widerstand Anzeige (k Ω)	Alarm ?	Bemerkungen
0,10	330	ohne				
0,10	330	dir. Berühr.L3				
0,10	330	b				
0,66	330	ohne				
0,66	150	ohne				
0,66	47	ohne				
0,66	47	dir. Berühr.L3				

Tabelle 2a: Funktionstest mit D-207M

- Erklären Sie, warum der Alarm-Auslösewert des Messgerätes auf 14 k Ω voreingestellt wurde!
- Worauf müsste bei Anschluss an ein reales Leitungsnetz bezüglich des Einstellwertes geachtet werden?

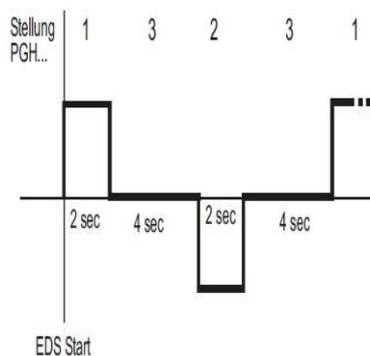
7.2.2. Messung mittels A - Isometer IRDH 265-4 (Grundplatte 6)

- Schalten Sie die Anlage ab. Entfernen Sie alle „Fehler“. Lassen Sie $R_{\text{ü}}$ auf $10 \text{ k}\Omega$ und R_{A} auf $50 \text{ }\Omega$.
- Ersetzen Sie obiges Isolationsmessgerät mit dem IRDH-265-4
- Schließen Sie das Multimeter wieder so an, dass Sie den Messstrom in L3 überprüfen können.
- Informieren Sie sich mittels Datenblatt und Bedienungsanleitung über die Funktion des Gerätes.

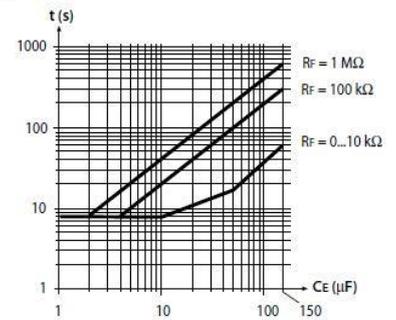
Auszug aus der Bedienungsanleitung:

Die wesentlichen Funktionen

- Für IT-Wechselspannungssysteme mit galvanisch verbundenen Gleichrichtern und für IT-Gleichspannungssysteme (ungeerdete Netze)
- Der Arbeitsbereich der Nennspannung ist über Ankoppelgeräte erweiterbar
- Automatische Anpassung an die vorhandene Netzableitkapazität
- AMP-Meßverfahren (Patent angemeldet)
- Zwei einstellbare Ansprechbereiche
- LCD-Display
- RS485-Schnittstelle
- Anschlußüberwachung
- Automatischer Geräteselbsttest



Einstellung $C_E = 150 \text{ }\mu\text{F}$



* „AMP“ bedeutet „Adaptiver Messpuls“

- Konfigurieren Sie das „Netz“ nach Tabelle 4b. Nehmen Sie das fehlerfreie Netz wieder in Betrieb.
- Das Messgerät beginnt selbständig mit der Messung von R_{iso} . (bei Anzeige „RS“: noch abwarten!)
- Lesen Sie erst danach den Wert des Isolationswiderstandes am Gerät ab.
- Das Gerät hat zwei einstellbare Alarmgrenzwerte: Einstellung: AL1 auf $50 \text{ k}\Omega$ und AL2 auf $10 \text{ k}\Omega$.
- Die Alarmanzeige kann erst nach Anzeige des neuen Messwertes per Hand zurückgesetzt werden
- Dazu kurzzeitig die Taste „Reset“ drücken
- Notieren Sie die abgelesenen Messwerte sowie die Reaktion des Isometers.

C_E (μF)	R_F ($\text{k}\Omega$)	Fehler	I_M (DC!) (μA)	Widerstand Anzeige ($\text{k}\Omega$)	Alarm ?	Bemerkungen
0,10	330	ohne				
0,10	330	dir. Berühr.L3				
0,10	330	b				
0,66	330	ohne				
0,66	150	ohne				
0,66	47	ohne				
0,66	47	dir. Berühr.L3				

Tabelle 2b: Fehleranzeige am A - Isometer IRDH 265-4

- Überprüfen Sie die Eignung der vorliegenden Geräteeinstellung für die verschiedenen Netzkonfigurationen.
- Warum dauert bei diesem Gerät die Aktualisierung der Anzeige des Messwertes so lange?
- Erklären Sie, welche Vorteile dieses Gerät im Vergleich zu dem aus 4.4.1 hat!

Hinweis: wechseln Sie jetzt ggf. zu **Messplatz 2**.

7.3 Schutz im IT-Netz durch ein Isolationsmessgerät, Leitungsschutzschalter und RCD's (Messplatz 2)

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 2 auf bzw. kontrollieren Sie diese.

(Die als "optional" gekennzeichneten Geräte sollen zuerst noch nicht angeschlossen werden.)

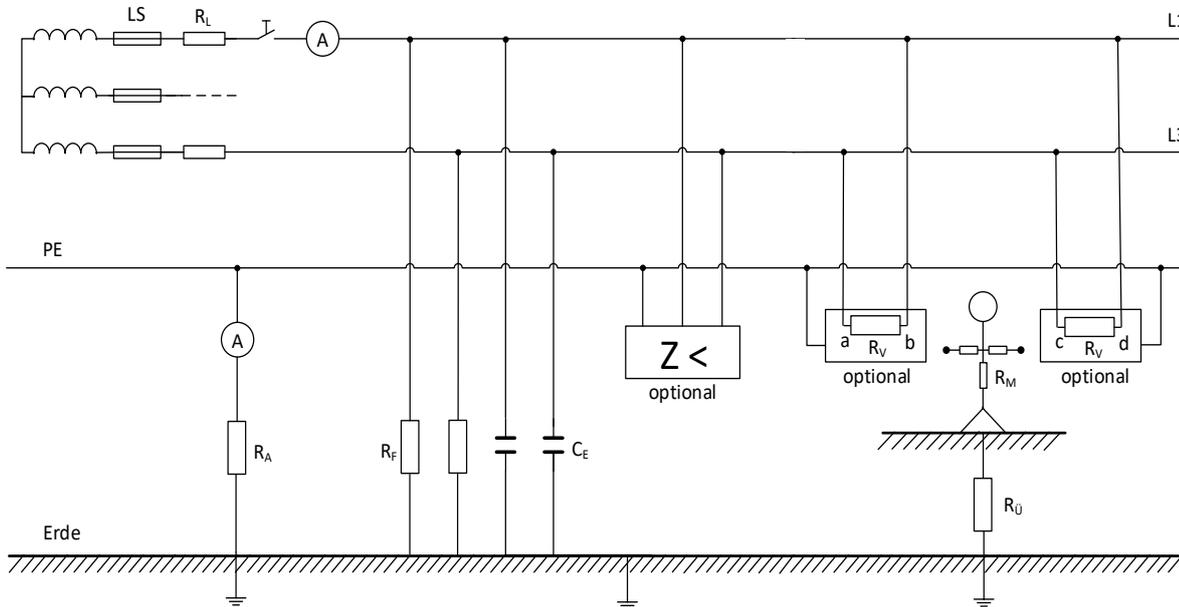


Bild 4: Allgemeine Schaltung für die Aufgaben 7.3 – 7.6

Erforderliche Geräte (Messplatz 2):

- IT-Anschlusseinheit mit Schalter, LS-Sicherung 0,5 A, Leiterwiderstand 2Ω , variierbarem R_A
- Platte mit Erdableitkapazitäten (C_E , je $0,1 \mu F$) und Isolations-Ableitwiderständen (R_F , je $130 k\Omega$)
- Platte mit Isolationsmessgerät "Isolationswächter", eingestellt auf $R_{AW} < 5 k\Omega$
- optional: Platten mit FI-Schutzschalter ($I_{\Delta N} = 30 \text{ mA}$)
- Platte "Modellmensch" mit $R_{Körper} = 250 \Omega$, $R_{Arm} = \text{je } 500 \Omega$ und variierbarem $R_{\ddot{U}}$ ($220 \Omega / 10 k\Omega$)
- Platte mit Verbraucher („5“), (mögl. Körperschluss R_K bei $a = 0,2 \Omega$, $b = 100 \Omega$, R_V ca. $3 k\Omega$)
- Platte 5/2 mit Verbraucher, (mögl. Körperschluss R_K bei $c = 100 \Omega$, bei $d = 0,1 \Omega$, R_V ca. $3 k\Omega$)
- Messgeräte (Schalttafelinstrumente, 5 Multimeter Typ Metrahit, 23S / 18S)

7.3.1 Inbetriebnahme des 2-phasigen IT-Netzes am Messplatz 2

Betreiben Sie das Netz zuerst ohne Isolationsüberwachung, ohne RCD, ohne Verbraucher und ohne Modellmensch.

- Schließen Sie die erforderlichen Messgeräte zum Messen der Netzspannung U_{L1-L3} (Schalttafelinstrument), des Leiterstromes I_{L1} , (23S), der Spannungen U_{L1-PE} und U_{L3-PE} (18S) an sowie eine Stromzange zur Messung des Erdableitstromes I_{RA} (zwischen PE und Erdreich).
- Konfigurieren Sie das Netz wie in Tabelle 5a angegeben.

Hinweis: schließen Sie für die 2. Messung das Isolationsmessgerät mit an. An diesem wird bei jedem Einschalten die Fehleranzeige aktiviert (deshalb zuerst immer "Reset"-drücken).

C_E (μF)	R_F ($k\Omega$)	R_A (Ω)	Fehler	Isolations- Messgerät.	U_{L1-L3} (V)	I_{L1} (mA)	I_{RA} (mA)	U_{L1-PE} (V)	U_{L3-PE} (V)
0,10	130	1000	ohne	ohne					
0,10	130	1000	ohne	angeschlossen					

Tabelle 3a: Messwerte bei fehlerfreiem IT-Netz

- Berechnen Sie aus dem erhöhten Stromverbrauch den Innenwiderstand des Isolationswächters! Beachten Sie dessen Einfluss bei den folgenden Messungen.

7.3.2 Messung bei einem ersten Fehler vernachlässigbarer Impedanz

Überprüfen sie die Theorie, dass ein erster Fehler im IT-Netz nicht zu gefährlichen Berührungsspannungen und Fehlerströmen führt, jedoch zu bestimmten Veränderungen des Spannungspotentials aller Leiter.

- Verbinden Sie für den Erdschluss mit einem farbigen Laborkabel den Leiter L1 am rechten Ende der Leitung direkt mit dem Schutzleiter (PE).
- Messen Sie die Leiterströme und –Spannungen bei den angegebenen Netzkonfigurationen.
- Messen Sie zusätzlich die Potentialdifferenz U_{PE-GND} zwischen PE und „Erdreich“.

C_E (μF)	R_F ($k\Omega$)	R_A (Ω)	Fehler	I_{L1} (mA)	I_{RA} (mA)	U_{L1-PE} (V)	U_{L3-PE} (V)	U_{PE-GND} (V)
0,10	130	47	L1 - PE					
0,10	130	1000	L1 - PE					
0,10	130	∞	L1 - PE					

Tabelle 3b: Messwerte bei Erdschluss von L1

- Notieren Sie, ob eine gefährliche Situation aufgetreten ist und wodurch diese hervorgerufen wurde.

7.3.3 Überprüfung der Normkonformität dieses IT-Netzes

- Ein IT-Netz muss der Bedingung ($R_A * I_d \leq U_L$) genügen. ($U_B = U_{PE-GND}$, $U_B < U_L$)
- Skizzieren Sie zur Bestimmung des zutreffenden Fehlerstromes I_d dessen Weg bei einem Fehler vernachlässigbarer Impedanz (z.B. Erdschluss L1-PE) in diesem IT - Netz.
- Übernehmen Sie den zutreffenden Messwert für I_d aus Tabelle 5b in die Tabelle 5c.
- Berechnen Sie anhand der o.g. Bedingung den für dieses Netz maximal zulässigen Erdableitwiderstand R_A .

Netzgröße	C_E (μF)	R_F ($k\Omega$)	Fehler	I_d (gem., in mA)	$R_{A \max}$ (ber.) (Ω)
Messplatz 2	0,1	130	L1 - PE		

Tabelle 3c: Kontrolle der Bedingung $R_A * I_d \leq U_L$

- Sind die beiden verfügbaren Anlagenerder ($R_A = 47 \Omega$ bzw. 1000Ω) im Rahmen der geforderten Werte und damit zulässig? Vergleichen Sie das Ergebnis mit Aufgabe 7.3.2.

7.4 Verhalten des IT-Systems bei Auftreten eines zweiten Fehlers

Wenn in einem IT-Netz ein zweiter Fehler an einem anderen Leiter auftritt, ist auch das IT-Netz nicht mehr als sicher anzusehen. Hier muss das Netz oder zumindest einer der betroffene Verbraucher analog zum Vorgehen im TN-Netz sofort abgeschaltet werden.

7.4.1 Messungen bei einem Körperschluss und einem Erdschluss im Netz

- Entfernen Sie den Erdschluss. Schließen Sie den „Verbraucher 5“ (mit möglichen Fehlern a, b) als Abzweig vom Hauptnetz an (an L1, L3 und PE, siehe Bild 2). $R_A = 1 \text{ k}\Omega$ (siehe Tabelle)
- Stellen Sie eine Verbindung zwischen der "Hand" des Modellmenschens und dem "Verbrauchergehäuse" her. Belassen Sie bei allen weiteren Tests $R_{\bar{U}}$ **bei 220Ω** (gut leitfähiger Untergrund).
- Messen Sie die Berührungsspannung U_B (hier die Spannung zwischen PE und Erdreich.)
- Platzieren Sie für den Erdschluss ein farbiges Kabel am rechten Ende der PE-Leitung und verbinden Sie ggf. (siehe Tabelle 6a) das andere Ende des Kabels mit L1 oder L3.
- Stellen Sie den **Körperschluss a** bzw. **b** nach Tabelle 6a mittels einer Steckbrücke her, aber immer erst **nach dem Einschalten** des Netzes! (Nach Ablesen der Messwerte Steckbrücke sofort entfernen!)

Achtung! Es könnte ein **Strom $I_{L1} > 1 \text{ A}$** auftreten. Vor Beginn der Messungen beim **Messgerät** den **10-A-Messbereich** einstellen!

- Messen Sie die angegebenen Ströme und Spannungen für verschiedenen Fehlerkombinationen
- Kontrollieren Sie, ob das A-Isometer alle ersten Fehler erfasst und ob ggf. beim 2. Fehler die LS-Sicherung auslöst.

Hinweis: Falls der Strom I_{L1} nicht ausreicht um die LS-Sicherung sofort auszulösen (z.B. 1,5 A, kündigt sich durch Geräusche an) bitte ggf. **Brücke wieder entfernen (keine Messwerte aufnehmen)!**

R_A (Ω)	Erd-schluss PE zu	Körper-schluss bei	I_{L1} (A !)	I_{RA} (mA)	U_{L1-PE} (V)	U_{L3-PE} (V)	U_B (PE/ GND) (V)	LS – Auslös. ja / ---	R_{iso} Meldung ja / nein
1000	ohne	ohne							
	L1	ohne							
	L1	a						!	
	L1	b							
	L3	a							
	L3	b						!	

Tabelle 4a: Messwerte bei zwei Fehlern

- Überlegen Sie, welchen Weg der Strom bei einem Körperschluss bei "b" und einer gleichzeitigen Verbindung zwischen L3 und PE am Ende der Leitung nehmen würde. Wieviel Strom würde etwa fließen? Welche Leistung würde an der Fehlerstelle (100 Ohm) umgesetzt? Hat R_A einen Einfluss auf die Stromhöhe? In welchem Fall würde der Leitungsschutzschalter auslösen?
- Hätte bei einer der obigen Messungen eine Gefahr für den Modellmensch bestanden?

7.4.2 Verhalten des Systems bei Verwendung eines FI-Schutzschalters

- Ein RCD könnte das System sicherer machen, weil er bei einem zweiten Fehler schneller und selektiver ausschalten kann als der LS. Ergänzen Sie die Schaltung mit einem RCD so dass zuerst der Körperschluss abgeschaltet wird und zeichnen Sie den RCD in Bild 2 ein. Kontrollieren Sie, dass dieser nur bei einem „2. Fehler“ auslöst und nur den betreffenden Verbraucher abschaltet.

Achtung! Es könnte vorkommen, dass ein **Strom $I_{L1} > 1 \text{ A}$** auftritt (siehe 4.6.1.)

R_A (Ω)	Erd- schluss PE zu	Körper- schluss bei	I_{L1} (A)	I_{RA} (mA)	U_{L1-PE} (V)	U_{L3-PE} (V)	U_B PE-GND (V)	R_{iso} Meldung ja / nein	LS – Auslös. ja / nein	RCD Auslös. ja / nein
1000	L1	ohne								
	L1	a								
	L1	b								
	L3	ohne								
	L3	a								
	L3	b								
	Kein Erds.									
	Kein Erds.									

Tabelle 4b: Messwerte für ein IT-Netz bei zwei Fehlern, mit FI-Schutz

Falls der FI-Schutzschalter nicht in allen kritischen Fällen oder zu oft ausgelöst hat, korrigieren Sie dessen Position und wiederholen Sie die Messungen.

7.5 (optional) Schutz bei zwei Verbrauchern

- Entfernen Sie den FI-Schutzschalter aus der Schaltung von Messung 7.4.2. Entfernen Sie ggf. den Erdschluss L3-PE (farbiges Kabel) und den Körperschluss des Verbrauchers (Brücke entfernen).
- Schließen Sie jetzt einen zweiten Verbraucher (5/2, mit möglichen Fehlern c, d) an das Ende des IT-Netzes an (siehe Bild 2) und verbinden Sie den anderen Arm des Modellmenschens mit dessen „Gehäuse“. Messen Sie U_B zwischen beiden „Händen“.

7.6 (optional) Verhalten des Systems bei zwei Körperschlüssen

- Skizzieren Sie den Stromverlauf für einen Körperschluss **a** bei Verbraucher 1 und Körperschluss **d** bei Verbraucher 2.
- Lassen Sie die **Spalte „RCD“** zunächst **frei**.

Achtung! Es könnte vorkommen, dass ein **Strom $I_{L1} > 1 \text{ A}$** auftritt (siehe 4.6.1.)

R_A (Ω)	Körper- schl. 1 bei	Körper- schl. 2 bei	I_{L1} (A)	I_{RA} (mA)	U_{L1-PE} (V)	U_{L3-PE} (V)	U_B PE-GND (V)	R_{iso} Meld. ja / nein	LS – Auslös. ja / nein	RCD Auslös. ja / nein
1000	ohne	ohne								
	ohne	c								
	a	c								
	b	c								
	b	d								
	a	d								

Tabelle 7a: Messwerte für zwei Verbraucher

Überlegen Sie, wo der FI-Schutzschalter eingebaut werden sollte, damit eine Verbesserung des bestehenden Schutzkonzeptes erreicht wird. Können Sie beeinflussen welcher Verbraucher zuerst abgeschaltet wird? Entscheiden Sie sich ggf. für einen von beiden. Wiederholen Sie die Messung.

- Falls der FI-Schutzschalter nicht in allen kritischen Situationen ausgelöst hat, diskutieren Sie ob eine andere Position nützlich wäre und wo der Anschluss erfolgen müsste.
- Testen Sie Ihre verbesserte Schaltung oder probieren Sie eine „schlechte“ aus!