

In dieser mehrteiligen Beitragsreihe gehen wir ausführlich auf die gesamte Breite der Grundlagen ein, die für eine Elektrofachplanung in Gebäuden Voraussetzung sind. Der vierte und fünfte Teil befasst sich mit einer konkreten Gebäudeplanung anhand des Planungsbeispiels einer Lagerhalle.  
(Fortsetzung aus »de« 21/2008, S. 30)

# Elektroanlagen planen und projektieren (4)

## Projekt Lagerhalle – Berechnungen

Für die Verteilung der elektrischen Energie auf der Niederspannungsebene wird eine Vielzahl von Betriebsmitteln eingesetzt. Für die sichere Versorgung der elektrischen Anlagen ist die Auswahl zwischen sehr unterschiedlichen Schalt- und Schutzeinrichtungen wie Leistungsschalter (z. B. ACB, MCCB oder MCB), Sicherungen (NH-, D-System usw.), aber auch Übertragungsmittel wie Kabel, Stromschienen von großer Bedeutung.

Wenn alle Komponenten für ihre Aufgabe bei sämtlich möglichen Betriebsbedingungen ausreichend bemessen und aufeinander abgestimmt sind, ist ein wirtschaftlicher und ungestörter Betrieb zu erwarten. Für die Planung des Versorgungsnetzes in einem Gebäude oder in einer Industrieanlage müssen die Normen und VDE-Vorschriften beachtet werden. Dafür stehen z. B. DIN VDE 0100 mit allen Teilen, die Baunormen wie DIN 18014 und DIN 18015 zur Verfügung. In Niederspannungsnetzen ist das Netz möglichst als Strahlennetz einfach und übersichtlich aufzubauen. Die eingebauten Betriebsmittel sind so auszuwählen, dass ein ausreichender Schutz bei Überlast und Kurzschluss vorhanden ist. Bei größeren Projekten ist eine hohe Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

### Überblick über Planungsaufgabe

Der Planer braucht neben seinen theoretischen Kenntnissen auch einen Überblick über folgende Themen:

- Schutz von Personen und Anlagen
- Bemessung von Kabel- und Leitungsquerschnitten
- Auswahl von Schalt- und Schutzgeräten
- Berechnung von Kurzschlussströmen (falls erforderlich)
- Berechnung von Spannungsfall
- Erstellen von Installations- und Übersichtsschaltplänen
- Nachweis der selektiven Abschaltung von Schutzeinrichtungen
- Kenntnisse von Gewerke übergreifenden technischen Einrichtungen
- Einsatz und Bedienung von verschiedenen Programmen (Planung erfolgt einfacher und schneller)

- Erstellung und Dokumentation der Schaltungsunterlagen für seine eigene Sicherheit.

Oft ist es so, dass man in der Regel auf vorhandene Anlagen oder ausgeführte Projekte zurückgreift (Bild 6). Im Rahmen der Planungsvorbereitung sind die Anschlussvoraussetzungen zu klären für die Starkstromanlagen mit dem Verteilungsnetzbetreiber (VNB), Telekommunikationsanlagen sowie sonstige Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen und Hauskommunikationsanlagen mit dem Netzbetreiber, Verteilanlagen für Radio und Fernsehen sowie für interaktive Dienste mit dem Netzbetreiber sowie die Notwendigkeit einer Ersatzstromversorgung (Notstromanlage) mit der Bauaufsichtsbehörde. Bei der Planung der elektrischen Anlage ist zu beachten, dass die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) der eingesetzten Systeme untereinander gegeben ist.

### Projektbestandteile erfassen

Die Planung einer Gebäudeinstallation erfolgt auf Grundlage der HOAI mit den bereits beschriebenen neun Leistungsphasen. Dieser Beitragsteil stellt die

Grundlagenermittlung und die Entwurfsplanung (System- und Integrationsplanung) kurz anhand des Projektbeispiels Lagerhalle dar.

Bei der Vorplanung überprüft man die Ergebnisse der Grundlagenermittlung, entwickelt ein Planungskonzept und erstellt Funktionsschemas. Die anderen Leistungen der HOAI hatten wir bereits im Teil 2 dieses Beitrags ausführlich erläutert. Wie Bild 6 zeigt, kann ein Gebäude aus einem Transformator, Generator oder über USV-Anlagen versorgt werden. Die wichtigste Aufgabenstellung eines Planers und Leistungsumfang in der Gebäudetechnik sind:

- Energieversorgungs- und Verteilungsanlagen
- Beleuchtungsanlagen
- Erdungs- und Blitzschutzanlagen
- Gebäudeleit- und Managementsysteme
- Netzersatz-, USV- und PV-Anlagen
- Heizung-, Klima- und Lüftungsanlagen
- Daten- und Telefonnetze
- Brandmelde- und Löschanlagen
- Gebäudesicherungs- und Zutrittskontroll-Anlagen usw.

### Zu berechnende Projektschritte

Als Grundlage der Berechnungen gelten die Werte gemäß Bild 7. Man bestimme für den Motor M1:

- 1) Die kleinste gG-Sicherung für die Zuleitung am Motor M1 bei Direktanlauf, mit:  $I_A = 6 \cdot I_{FM}$ ,  $t_A = 5s$
- 2) Den thermisch erforderlichen Querschnitt der Zuleitung M1 (NYM, zwei Leitungen im Kanal, 25°C)
- 3) Den wegen des Spannungsfalls erforderlichen Querschnitt der Zuleitung M1 ( $l = 55m$ , 4% ab dem Transformator)


**MEHR INFOS**

**Vorangegangene Beitragsteile**  
Kasicki, I.; Pantenburg, N.: Elektroanlagen planen und projektieren

- Teil 1: Grundlagen und Ausgangssituation, »de« 19/2008, S. 26 ff.,
- Teil 2: HOAI – das Grundgesetz des Planers, »de« 20/2008, S. 38 ff.
- Teil 3: Anschlussdaten und Zähleranlagen, »de« 21/2008, S. 30 ff.

- 4) Den wegen des Spannungsfalls erforderlichen Querschnitt der Zuleitung M1 (6% ab dem UV 2.2,  $\cos\varphi = 0,37$ )
- 5) Auswahl des zu verlegenden Querschnitts aus 2 bis 4 und Bestimmung der für den Kurzschlusschutz kritischen Länge, bei einer angenommenen Vorimpedanz am UV 2.2  $Z_{UV2.2} = 100 \text{ m}\Omega$
- 6) Rechnerischer Nachweis für den Kurzschlusschutz bei der Leitung M1
- 7) Ist für M1 bei Körperschluss der **Schutz durch Abschaltung** gewährleistet?
- 8) Leitungsverlust auf der gewählten Zuleitung M1 und bei Vollbetrieb (8760h) die Jahresverlustarbeit? Welche Konsequenz würden sich ergeben bei einem Arbeitspreis von 18Cent/kWh?  
Folgende Werte sind ebenfalls zu bestimmen (ohne Reserve und Selektivität beachten):
- 9) Betriebsstrom und mittlerer  $\cos\varphi$  an der UV 2.2 (Gleichzeitigkeitsfaktor der Motoren = 1)
- 10) Für ausgewählte Sicherungen und RCD ist ein Selektivitätsnachweis durchzuführen
- 11) Die erforderliche Leitung zum UV 2.2 ohne PEN-Reduzierung mit der Verlegeart C
- 12) a) Den thermisch erforderlichen und b) wegen des Spannungsfalls erforderlichen Querschnitt
- 13) Gewählte Leitung und tatsächlicher Spannungsfall
- 14) Den verfügbaren Spannungsfall ab UV 2.2
- 15) Annahme: HV 1 versorgt ein Mehrfamilienhaus. Wie viele Wohneinheiten sind laut DIN 18015 mit und ohne Warmwasserbereitung zulässig?
- 16) Die Transformatoraten wie  $S_{rT}$ ,  $I_{rT}$ ,  $R_T$ ,  $X_T$ ,  $Z_T$  bei  $u_k = 6\%$ .
- 17) Berechnung des dreipoligen, einpoligen Kurzschlusses sowie des Stoßkurzschlussstroms an der Transformatorschiene
- 18) Schleifenimpedanz a) bis HV2 und b) bis UV 2.2
- 19) Schutz durch Abschaltung a) am HV 2 und b) am UV 2.2, Lösungsvor-

schläge, falls Schutz nicht erfüllt wäre?

- 20) Wie viele Reihen muss UV 2.2 einschl. Reihenklammern und 30% – Reserve haben?
- 21) Zeichnung des Bauplans von UV 2.2.

### Berechnungen für den Motor 1

Geltende Normen: DIN VDE 0100 Teil 430 und DIN VDE 0298 Teil 4.

#### Projektschritt 1

Gesucht wird die kleinste gG-Sicherung für die Zuleitung des Motors. Gegeben:

• Anlaufstrom  $I_A = 6 \cdot I_{rM}$  und Anlaufzeit  $t_A = 5 \text{ s}$

•  $P_{M1, zu} = 11 \text{ kW}$ ,  $\eta = 0,87$

Als Erstes muss die abgegebene Leistung des Motors 1 berechnet werden:

$$P_{zu} = \frac{P_{ab}}{\eta} = \frac{11 \text{ kW}}{0,87} = \underline{\underline{12,64 \text{ kW}}}$$

Weiterhin wird der Nennstrom zur Bestimmung der kleinsten gG-Sicherung für die Zuleitung des Motors benötigt:

$$I_{rM} = I_n = \frac{P_{zu}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{12,64 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,84} = 21,7 \text{ A}$$

Der dazugehörige Anlaufstrom beträgt somit:

$$I_A = 6 \cdot I_{rM} = 6 \cdot 21,7 \text{ A} = 130,2 \text{ A}$$

Jetzt zu den Zeit-Strom-Kennlinien von gG-Sicherungen (Bild 8). Aus diesem Diagramm ist a) der Bemessungsstrom der Sicherung abzulesen:

- x-Achse: 130,2 A der Anlaufstrom, y-Achse = 5 s die Abschaltzeit
- → abgelesen: Sicherung gG, 40 A
- b) oder berechnet:  $I_n = 2 \cdot I_{rM} = 2 \cdot 21,7 \text{ A} = 43,4 \text{ A}$ , → gG-Sicherung, 40 A.

Der unter b) ermittelte Sicherungswert ist höher als der Nennstrom der gewählten Sicherung. Sicherungen haben i. d. R. ± 6 ... 10 % Abweichung.

**Projektschritt 2**

Gesucht wird der thermisch erforderliche Querschnitt, gegeben: NYM, zwei Leitungen im Kanal bei 25°C.

Hier werden meist die Umrechnungsfaktoren bestimmt (DIN VDE 0298 Teil 4):  $f_1$ : Umgebungstemperatur 25°C, für eine zulässige Betriebstemperatur am Leiter von 70°C →  $f_1 = 1,06$ ;  $f_2$ : Anzahl der Leitungen im Kanal 2, für die Verlegeart gebündelt im Elektro-Installationskanal →  $f_2 = 0,80$ ; Verlegeart B1 (Verlegung in Elektro-Installationskanal). Nach DIN VDE 0298 Teil 4 erhält man  $I_r = 22 \text{ A}$ . Nun zur Strombelastbarkeit mit Hilfe der Umrechnungsfaktoren:

$$I_z = I_r \cdot f_1 \cdot f_2 = 22 \text{ A} \cdot 1,06 \cdot 0,80 = 18,65 \text{ A} < 21,7 \text{ A} \rightarrow \text{zu klein,}$$

$$I_z = I_r \cdot f_1 \cdot f_2 = 30 \text{ A} \cdot 1,06 \cdot 0,80 = 25,44 \text{ A} > 21,7 \text{ A} \rightarrow \text{erfüllt.}$$

Der Überlastschutz wird so dargestellt:  $I_b \leq I_e \leq I_z \rightarrow 21,7 \text{ A} \leq 21,7 \text{ A} \leq 25,44 \text{ A}$ . Der Querschnitt ist aus DIN VDE 0298 Teil 4 abzulesen:  $I_r = 30 \text{ A}$ ,  $S = 4 \text{ mm}^2$ . Anmerkung: Der Motorschutz wird auf den Betriebsstrom 21,7 A eingestellt. Die Sicherung übernimmt den Kurzschlusschutz, während ein thermisches Überstromrelais für den Überlastschutz zuständig ist.

**Projektschritt 3**

Gesucht wird der erforderliche Querschnitt unter Berücksichtigung des Spannungsfalls an der Zuleitung zum Motor 1 ab dem Transformator.

Gegeben: Leitungslänge  $l = 55 \text{ m}$ , Spannungsfall 4 % ab dem Transformator, Spannungsfall: Transformator bis HV2 1 %, HV 2 bis UV2.2 0,5 %.

Berechnet wird der zulässige Spannungsfall:

$$\Delta u_{zul} = 4 \% - 1 \% - 0,5 \% = 2,5 \%$$

$$U = 400 \text{ V} \cdot 2,5 \% = 10 \text{ V}$$

Daraus berechnet sich der erforderliche Querschnitt:

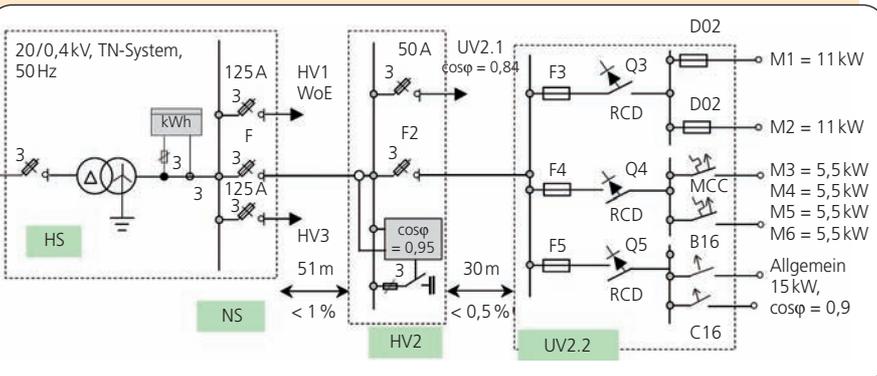
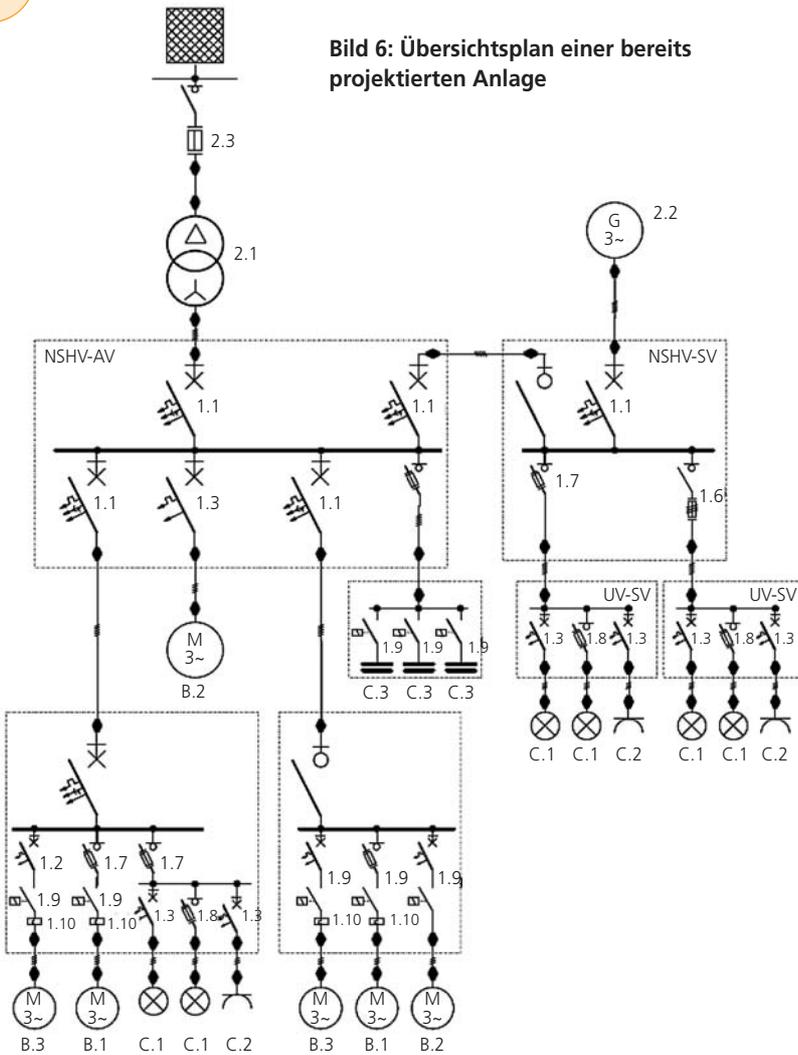
$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{rM} \cdot \cos \varphi \cdot R}{\kappa \cdot \Delta U} = \frac{\sqrt{3} \cdot 55 \text{ m} \cdot 21,7 \text{ A} \cdot 0,84 \cdot 1,12}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2} \cdot 10 \text{ V}} = 3,472 \text{ mm}^2$$

Gewählt:  $S = 4 \text{ mm}^2$

Reduktionsfaktor bei 50°C:  
 $R_{50^\circ\text{C}} = R_{20^\circ\text{C}}(1 + \alpha_{20^\circ\text{C}} \cdot \Delta T) = 1,12$



**Bild 6: Übersichtsplan einer bereits projektierten Anlage**



**Bild 7: Schaltplan der Energieversorgung unseres Projektbeispiels**

**Projektschritt 4**

Gesucht wird der erforderliche Querschnitt unter Berücksichtigung des Spannungsfalls an der Zuleitung zum Motor 1 ab dem UV 2.2.

Gegeben: Der Spannungsfall ab dem UV 2.2 6%,  $\cos\varphi = 0,37$ , Anlaufstrom  $I_A = 6 \cdot I_{FM} = 6 \cdot 21,7A = 130,2A$ .

Der erforderliche Querschnitt wird jetzt berechnet mit:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot I_A \cdot \cos\varphi \cdot 1,12_{50^\circ C}}{\kappa \cdot U} = \frac{\sqrt{3} \cdot 55m \cdot (6 \cdot 21,7A) \cdot 0,37 \cdot 1,12}{56 \frac{m}{\Omega mm^2} \cdot 24V} = 3,82mm^2$$

Gewählt wird nun:  $S = 4mm^2$ .

**Projektschritt 5**

Gesucht wird der zu verlegende Querschnitt und die für den Kurzschlusschutz kritische Länge (Vorimpedanz am UV 2.2 berücksichtigen). Gegeben: Die Vorimpedanz am UV 2.2:  $Z_{UV2.2} = 100m\Omega$ ,  $S_{2-4} = 4mm^2$ . Jetzt wird die maximal zulässige Länge ermittelt: Mit einer Vorimpedanz  $Z_{UV2.2} = 100m\Omega$ ,  $S = 4mm^2$ ,  $I_n = 40A \rightarrow$  maximal zulässige Länge  $l_{zul,max} = 54m$ . Anmerkung: Das Ergebnis gilt nur für gG-Sicherungen, LS-Schalter mit B-Charakteristik weisen andere Werte auf.

**Projektschritt 6**

Gesucht wird der rechnerische Nachweis für den Kurzschlusschutz von der Leitung zum Motor 1. Berechnet wird die Gesamtimpedanz vom Motor zum Transformator:

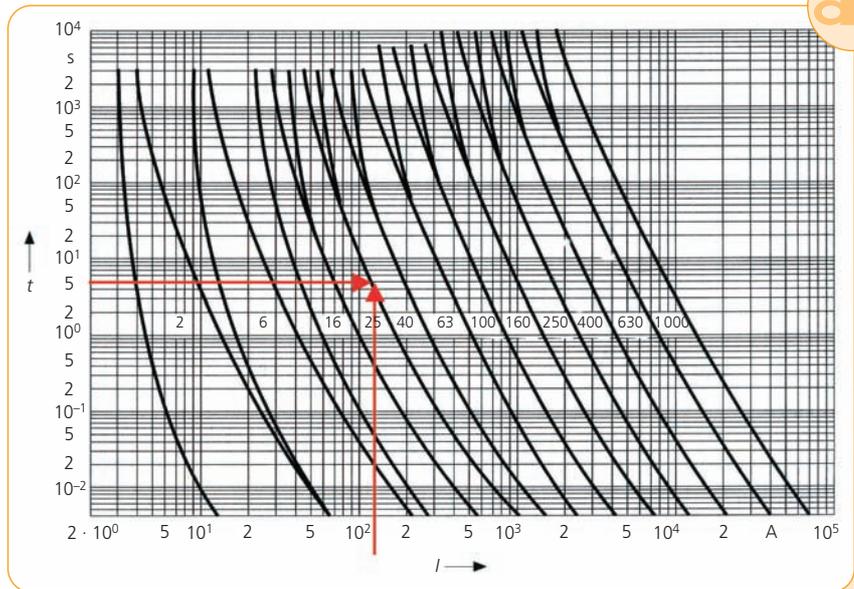
$$Z_g = Z_{UV2.2} + \frac{2 \cdot l \cdot 1,56}{\kappa \cdot s} = 100m\Omega + \frac{2 \cdot 55m \cdot 1,56}{56 \frac{m}{\Omega mm^2} \cdot 4mm^2} = 0,866\Omega$$

Anmerkung: Nach DIN VDE 0102 wird für den einpoligen Kurzschlusschutz eine Temperatur von  $160^\circ C$  für PVC-Leitungen vorgeschrieben.

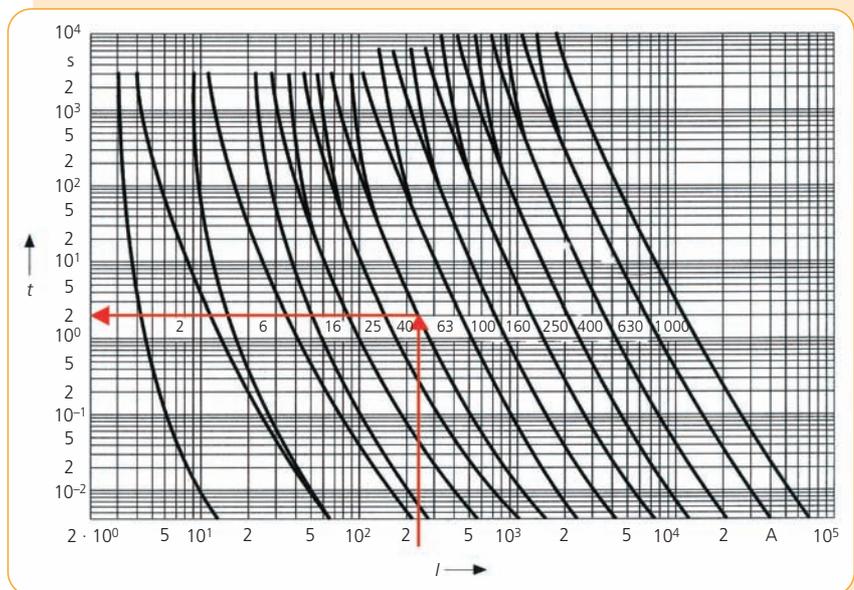
Der minimale einpolige Kurzschlussstrom wird jetzt zur Prüfung der Abschaltbedingung berechnet:

$$I''_{k1min} = I_F = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_G} = \frac{0,95 \cdot 400V}{\sqrt{3} \cdot 0,866\Omega} = 253,32A$$

Die Abschaltbedingung kann man nun mit Hilfe der Zeit-Strom-Kennlinie



**Bild 8: Ablesung für Projektschritt 1 aus Zeit-Strom-Kennlinien von gG-Sicherungen**



**Bild 9: Ablesung für Projektschritt 6 aus Zeit-Strom-Kennlinien von gG-Sicherungen**

bestimmen (Bild 9): Für  $I_n = 40A$  (es gilt die obere Kennlinie) ergibt sich:

- x-Achse:  $I_F = 253A$
- y-Achse: Abschaltzeit  $t_A = 2s$  (aus Diagramm), zulässige Abschaltzeit: Materialbeiwert für Kupfer

$$k = 115 \frac{A\sqrt{s}}{mm^2}$$

$$t_{zul} = \left( \frac{k \cdot s}{I_F} \right)^2 = \left( \frac{115 \cdot \frac{A\sqrt{s}}{mm^2} \cdot 4mm^2}{253,32A} \right)^2 = 3,3s$$

Bedingung:  $t_A < t_{zul} = 2s < 3,3s$  ist erfüllt. Mit der Kurzschlussstemperatur  $80^\circ C$  erhält man  $I_{k1} = 309A$  und  $t_{zul} = 2,2s$ . In diesem Fall ist auch der Schutz durch Abschaltung erfüllt.

**Projektschritt 7**

Aufgabe: Ist der Schutz durch Abschalten bei Körperschluss gewährleistet? Die Abschaltzeit ist kürzer als die zulässige Abschaltzeit. Die RCD schaltet innerhalb von 0,2s ab. Sollte die RCD defekt sein, gilt Punkt 1.

(Fortsetzung folgt)