

# QUERSCHNITTSDIMENSIONIERUNG VON KABEL- UND LEITUNGSANLAGEN MIT FUNKTIONSERHALT

Version V1.0

## Autoren

---

Programm und Dokumentation	Zemann
Theorie und zugrundeliegende Formeln	Junker
Beratende Tätigkeiten	Kobrc

## Inhaltsverzeichnis

---

1	Einleitung und Motivation .....	3
2	Rechtliche Grundlage .....	3
3	Annahmen .....	3
3.1	Schema und Begriffe.....	3
3.2	STromart .....	4
3.3	Temperatur im Brandfall .....	4
3.4	Zu berücksichtigende Kabellängen im Brandfall.....	4
3.5	Berechnung der gesamten Stromkreise .....	4
4	Benutzeroberfläche und Bedienung des Programms.....	5
4.1	Die Symbolleiste .....	5
4.2	Funktionsauswahl .....	7
5	Durchführung eines Projektes.....	8
6	Zugrundeliegende Formeln .....	13



## 1 EINLEITUNG UND MOTIVATION

Die elektrotechnischen Bestimmungen für die Dimensionierung von Kabel- und Leitungsanlagen (ÖVE-EN 1 Teil 3 § 41) enthalten keine Anforderungen für Kabel- und Leitungsanlagen mit Funktionserhalt (E 30, E 90). Es gibt jedoch in ÖNORM DIN 4102-12:2000, Anhang A, folgenden Hinweis:

„Für Kabelanlagen mit integriertem Funktionserhalt sind annäherungsweise als Leitertemperaturen zum Zeitpunkt des Funktionsverlustes die Brandraumtemperaturen anzusetzen, wenn kein besonderer Nachweis erfolgt.“

Da diese Kabel auch im Brandfall notwendige Sicherheitseinrichtungen wie z.B. Brandrauchventilatoren, Notbeleuchtungsanlagen für eine bestimmte Zeit weiter versorgen muss, kann der Temperatureinfluss auf den Leitungswiderstand nicht vernachlässigt werden.

Mit dem vorliegenden Programm wird neben diesem Temperatureinfluss auch die Leitungsführung der Kabel in den Brandabschnitten berücksichtigt; und dies nicht nur für einen Endstromkreis, sondern für die gesamte Kabel- und Leitungsanlage.

## 2 RECHTLICHE GRUNDLAGE

Dieses Programm dient ausschließlich zur Unterstützung bei der Planung von Leitungsanlagen mit Funktionserhalt. Die Ergebnisse müssen von einer Person mit den erforderlichen Kenntnissen im Bereich der Elektrotechnik (z.B. Elektrofachkraft) auf Plausibilität kontrolliert werden.

Es wird für fehlerhafte Leitungsberechnungen keine Haftung übernommen.

## 3 ANNAHMEN

### 3.1 SCHEMA UND BEGRIFFE

Hinsichtlich des zulässigen Spannungsabfalls enthält ÖVE/ÖNORM E 8015-1 und die bundeseinheitliche Fassung der TAEV 2008 folgende Anforderung:

„Der gesamte Spannungsabfall für den Bereich von der Übergabestelle des Netzbetreibers bis zum letzten Verbrauchergerät ist mit 4 % der Nennspannung begrenzt. Von diesen 4 % Gesamtspannungsabfall ist 1 % für den Spannungsabfall im Bereich von der Übergabestelle des Netzbetreibers bis zur Messeinrichtung (Zähleranlage) reserviert.“

Die bundeseinheitliche Fassung der TAEV 2008 enthält noch folgende Empfehlung:

„Im Interesse der Netzbenutzer wird empfohlen, vom Zähler bis zu den Stromverbrauchseinrichtungen einen Spannungsabfall von **1,5 %** der Nennspannung im Regelfall nicht zu überschreiten und den **Höchstwert von 3 %** für den Nachzählerbereich nur in Sonderfall in Anspruch zu nehmen.“

Das heißt, der Höchstwert von 3 % ist entlang der jeweiligen gesamten Stromkreise anzusetzen. Die Summe der Spannungsabfälle des Stromkreises **Kabel 1 + Kabel 11** sowie des Stromkreises **Kabel 1 + Kabel 12** dürfen diesen Wert nicht überschreiten (siehe Abbildung 1). In besonderen und begründeten Fällen kann ein höherer Spannungsabfall zulässig sein. Z.B. bei Verbraucher die gegen Unterspannung unempfindlich sind.

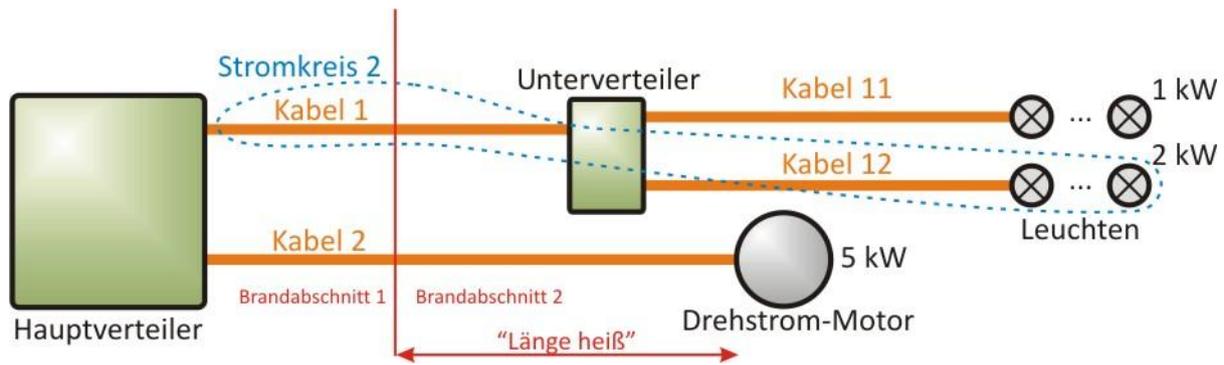


Abbildung 1: Beispielprojekt mit Kabelnamen

### 3.2 STROMART

Für die einzelnen Kabel kann ein Wechsel- oder Drehstromsystem ausgewählt werden. Die Nennspannung ist mit 230 V festgelegt.

### 3.3 TEMPERATUR IM BRANDFALL

Das Programm gilt ausschließlich für das Leitermaterial Kupfer. Folgende Werte für die Leitertemperaturen bei E 30 bzw. E 90 sind dem Programm zugrundegelegt:

- nach 30 Minuten eine Leitertemperatur von ca. 420°C gemessen
- und nach 90 Minuten eine Leitertemperatur von ca. 870°C.

Anmerkung: Zuzufolge der Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) würden bei 30 Minuten Temperaturen von ca. 830°C und bei 90 Minuten von über 1000°C auftreten. Bei Brandversuchen seitens der Firma Dätwyler wurde in zwei Prüfverfahren festgestellt, dass die Leitertemperaturen nach 30 bzw. 90 Minuten an verschiedenen Kabeln wesentlich niedriger sind als durch die Einheits-Temperaturkurve definiert.

### 3.4 ZU BERÜCKSICHTIGENDE KABELLÄNGEN IM BRANDFALL

Da ein Gebäude in verschiedene Brandabschnitte unterteilt ist, können Kabel- und Leitungsanlagen bei einem lokalen Brand nur in einem Brandabschnitt den erhöhten Temperaturen ausgesetzt werden.

Für die Dimensionierung der Querschnitte wird angenommen, dass der lokale Brand im größten Brandabschnitt (d.h. mit der längsten Kabellänge) ausbricht. Diese Länge und auch die Gesamtlänge jedes Kabels müssen im Programm vorgegeben werden.

Da bei **jedem** Kabel, z.B. Kabel 11, im größten Brandabschnitt ein lokaler Brand entstehen könnte, wird jeweils **immer** der Wert „Querschnitt bei Brand“ verwendet. Die vorgeschlagenen Werte sind errechnete Werte und sollten mit dem nächst größerem Querschnitt aus der Auswahltable gewählt werden.

### 3.5 BERECHNUNG DER GESAMTEN STROMKREISE

Die Berechnung des Querschnittes eines Kabels, erfolgt auf Basis des Spannungsabfalls. Dabei ist aber nicht nur der Spannungsabfall eines einzelnen Kabels zu wählen, sondern der Gesamtspannungsabfall jedes Stromkreises vom „Hauptverteiler“ bis zu den einzelnen Verbrauchern.

Die dem Programm zugrundeliegenden Formeln sind im Kapitel 6 zusammengefasst.

## 4 BENUTZEROBERFLÄCHE UND BEDIENUNG DES PROGRAMMS

Das Starten des Programms wird über eine Befehlsschaltfläche „Starten“ im Tabellenblatt „Willkommen“ gestartet. Jedes Projekt wird in einer eigenen Excel-Datei gespeichert.

Es erscheint der Hauptbildschirm (siehe Abbildung 2)

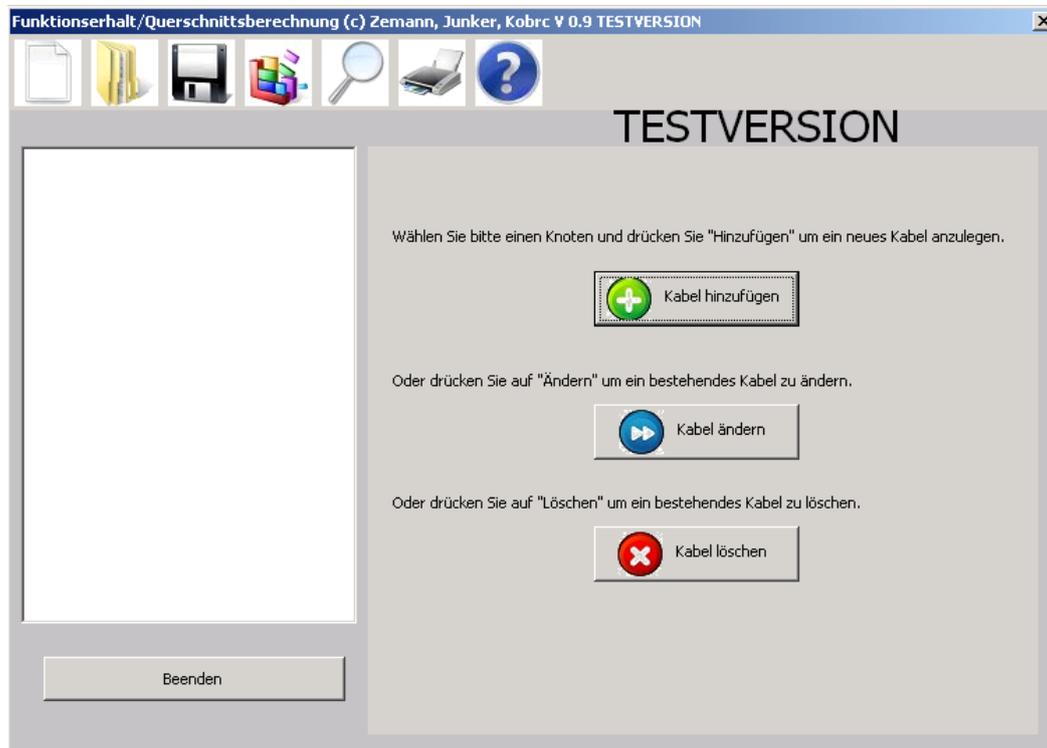


Abbildung 2: Der Hauptbildschirm

Im oberen Bereich ist die Symbolleiste (siehe Kapitel 4.1) eingeblendet. Auf der linken Seite (Projektfenster) werden die einzelnen Kabel des Projektes verwaltet und auf der rechten Seite ist die Auswahl der gewünschten Funktionen (siehe Kapitel 4.2) situiert. Über die Schaltfläche „Beenden“ wird das Programm beendet.

### 4.1 DIE SYMBOLLEISTE



Abbildung 3: Die Symbolleiste

Wie in Abbildung 3 gezeigt, werden sechs verschiedene Menüpunkte des Programms in der Symbolleiste zur Verfügung gestellt:

	<p><b>Neu:</b></p> <p>Löscht sämtliche Kabel aus dem Programm. Dies ist der Zustand nach dem Starten des Programms bei einem neuen Projekt.</p>
---	---

	<p><b>Laden:</b></p> <p>Die Kabeldaten werden direkt im Excelblatt „Daten“ verwaltet und gespeichert. Über die Funktion „Laden“ werden die dort gespeicherten Kabeldaten in das Programm geladen.</p> <p>Die in diesem Blatt vorgefundenen Daten können theoretisch auch direkt im Excel editiert werden. Dies wird jedoch wegen der Möglichkeit von Fehleingaben nicht empfohlen.</p>
	<p><b>Speichern:</b></p> <p>Das im Projektfenster abgebildete Projekt wird in Excel abgespeichert.</p>
	<p><b>Berechnen:</b></p> <p>Das Programm berechnet bildet zunächst aufgrund der im Projektfenster eingegebenen Daten die einzelnen Stromkreise und berechnet die erforderlichen Querschnitte der Kabel. Als Ergebnis liefert das Programm die <b>berechneten Querschnitte</b> der einzelnen Kabel.</p> <p>Da jedes Kabel auch in mehreren Stromkreisen beteiligt sein kann, liefert das Programm in diesem Fall den Maximalwert der berechneten Querschnitte für dieses Kabel.</p>
	<p><b>Überprüfung:</b></p> <p>Anschließend muss der Benutzer für jedes Kabel den Querschnitt wählen, wobei ihm als Anhaltspunkt die vom Projekt berechneten Werte dienen. Im Excelblatt „Ergebnis“ werden sodann die vom Programm vorgeschlagenen durch die gewählten Werte ersetzt.</p> <p>Durch Wahl dieses Menüpunktes kann somit überprüft werden, ob aufgrund der gewählten Querschnitte die maximal zulässigen Spannungsabfälle der einzelnen Stromkreise noch in Ordnung sind.</p>
	<p><b>Ausgabe:</b></p> <p>Das Programm liefert im Excelblatt „Ausgabe“ eine kurze Übersicht über die gewählten Kabel.</p> <p>Dieses Blatt kann dem Montageleiter bzw. dem Besteller für die Dimensionierung der zu verwendenden Kabel übergeben werden. Somit wird vermieden dass nicht notwendige Querschnitte verwendet werden. Außerdem ist für den Montageleiter die Zuordnung der Kabelquerschnitte zu dem jeweiligen Bauabschnitt einfacher.</p>
	<p><b>Hilfe:</b></p> <p>Die Dokumentation wird im Programm Acrobat Reader geöffnet.</p>

## 4.2 FUNKTIONSAUSWAHL

Auf der rechten Seite des Programmfensters befindet sich die Funktionsauswahl. Folgende Funktionen stehen zur Verfügung:

	<p><b>Kabel Hinzufügen:</b></p> <p>Bevor diese Funktion gewählt wird, muss der Eintrag, von dem das neue Kabel weiterführt, im Projektfenster gewählt werden.</p> <div data-bbox="555 577 1193 1124" style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p>Name <input type="text" value="Kabel 2"/> VorgängerName <input type="text" value="Hauptverteiler"/></p> <p>Bezeichnung <input type="text" value="Sicherheitsbleuchtung"/></p> <p>Stromart <input checked="" type="radio"/> Wechselstrom <input type="radio"/> Drehstrom</p> <p>Länge <input type="text" value="200"/> m Länge heiß <input type="text" value="50"/> m</p> <p>Funktionserhalt <input checked="" type="radio"/> E30 <input type="radio"/> E90</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Kabel ist letzter Teil des Stromkreises Umgebungstemperatur <input type="text" value="25"/> °C</p> <p>Letzter Teil des Stromkreises Wirkleistung <input type="text" value="1000"/> W</p> <p>Zulässiger Spannungsabfall der Betriebsmittel <input type="text" value="3"/> %</p> <p>Querschnitte Berechnet <input type="text" value="0,00"/> mm<sup>2</sup> Vorgeschlagen <input type="text" value="0"/> mm<sup>2</sup> Gewählt <input type="text" value="0"/> mm<sup>2</sup></p> <p style="text-align: center;"><input type="button" value="Kabel hinzufügen"/> <input type="button" value="Abbrechen"/></p> </div> <p style="text-align: center;"><b>Abbildung 4: Kabel hinzufügen</b></p> <p>Die Felder <b>Name</b> und <b>VorgängerName</b> werden vom Programm automatisch vergeben und können nicht verändert werden. Im Feld <b>Bezeichnung</b> kann eine Beschreibung des Kabels eingegeben werden. <b>Länge</b> ist die Gesamtlänge des Kabels, <b>Länge heiß</b> ist die Länge des längsten Brandabschnittes, in welchem das Kabel verlegt ist.</p> <p>Die Stromart, die mittlere <b>Umgebungstemperatur</b> des Kabels in Normalbetrieb sowie die <b>Funktionserhaltklasse</b> (E30 oder E90) können gewählt werden.</p> <p>Im Bereich <b>Letzter Teil des Stromkreises</b> kann angegeben werden, ob dieses Kabel das Ende des Stromkreises ist, also ob an diesem Kabel die Verbraucher, z.B. die Leuchten, oder ein Motor, angeschlossen ist. Für diesen Fall wird die <b>Gesamtleistung</b> der Verbraucher angegeben. Für jeden Stromkreis kann dann der <b>zulässige Spannungsabfall</b> angegeben werden.</p> <p>Durch die Schaltfläche „Kabel hinzufügen“ wird das Kabel in das Projektfenster aufgenommen.</p>
	<p><b>Kabel ändern:</b></p> <p>Zunächst wird im Projektfenster das zu ändernde Kabel markiert. Durch die Wahl von „Kabel ändern“ erscheint ein ähnliches Bild wie in Abbildung 4. Die geänderten Werte werden durch die Schaltfläche „Fertig“ aber auch bei Wahl eines anderen Kabels im</p>

	<p>Projektfenster gespeichert.</p> <p>Die Funktion „Kabel ändern“ wird auch zum Wählen der einzelnen Querschnitte benötigt (siehe Kapitel 0</p> <p>Durchführung eines Projektes)</p>
	<p><b>Kabel löschen:</b></p> <p>Löscht das im Projektfenster gewählte Kabel aus dem Projekt.</p>

## 5 DURCHFÜHRUNG EINES PROJEKTES

Nach Starten der Exceldatei wird das Blatt „Willkommen“ angezeigt. Dort können grundsätzliche Daten des Projektes eingetragen werden.

Projektname	Musterprojekt
Projektplaner	Max Mustermann
Projektadresse	Maximilia Musterstrasse

Abbildung 5: Allgemeine Einstellungen

Danach sollte die Exceldatei mit „Speichern unter...“ unter dem vergebenen Projektnamen abgespeichert werden. Über die Befehlsschaltfläche „Starten“ im Excelblatt „Willkommen“ wird das Programm gestartet.



Abbildung 6: Starten des Programms

Klicken Sie auf „Neu“. Markieren Sie anschließend im Projektfenster den Eintrag „Hauptverteiler“ und klicken Sie auf „Kabel hinzufügen“



Abbildung 7: Das erste Kabel hinzufügen

Im folgenden Dialog füllen Sie die Felder **Bezeichnung**, **Stromart**, **Länge**, **Länge heiß**, **Funktionserhalt** und **Umgebungstemperatur** aus. Da noch keine Berechnungen durchgeführt wurden, bleibt der gesamte Bereich **Querschnitte** leer. In diesem Beispiel werden an Kabel noch weitere Kabel angehängt. Daher wird die Kontrollbox **Letzter Teil des Stromkreises** nicht angehakt.

Abbildung 8: Dialog - Erstes Kabel hinzufügen

Wählen Sie „Kabel hinzufügen“. Um an diesem Kabel noch zwei weitere Kabel hinzuzufügen, wählen Sie nun im Projektfenster den Eintrag „Kabel 1“ aus und klicken wieder auf „Kabel hinzufügen“.

Das erste neue Kabel trägt den Namen „Kabel 11“, das zweite „Kabel 12“. Da die Stromkreise in diesem Beispiel hier enden, werden die jeweiligen Wirkleistungen von 1kW und 2kW eingetragen (siehe Abbildung 1). Das Programm rechnet automatisch die Gesamtwirkleistungen für die davor liegenden Kabel aus (hier also nur für „Kabel 1“).

Abbildung 9: Verbraucherleistungen angeben

Nun soll auch noch ein Drehstrommotor (Brandrauchentlüftung) mit einer Wirkleistung von 4kW direkt vom Hauptverteiler gespeist werden. Markieren Sie daher noch einmal im Projektfenster den Eintrag „Hauptverteiler“ und klicken Sie auf „Kabel hinzufügen“.

Name: Kabel 2, VorgängerName: Hauptverteiler  
Bezeichnung: Brandrauchentlüftung  
Stromart:  Wechselstrom,  Drehstrom  
Länge: 150 m, Länge heiß: 40 m  
Funktionserhalt:  E30,  E90  
Umgebungstemperatur: 25 °C  
 Kabel ist letzter Teil des Stromkreises  
Letzter Teil des Stromkreises: Wirkleistung: 4000 W, Zulässiger Spannungsabfall der Betriebsmittel: 3 %  
Querschnitte: Berechnet: mm<sup>2</sup>, Vorgeschlagen: mm<sup>2</sup>, Gewählt: mm<sup>2</sup>  
Buttons: Kabel hinzufügen, Abbrechen

Abbildung 10: Brandrauchentlüftung hinzufügen

Wie in Abbildung 10 ersichtlich, wird für diesen Stromkreis eine Funktionserhaltsklasse von E90 und ein zulässiger Spannungsabfall von 3 % gewählt.

Speichern Sie das Projekt ab. (  )

Zum Berechnen der Querschnitte wählen Sie im Menü die Funktion „Berechnen“ (  ). Nach der Berechnung wird folgender Hinweis angezeigt:

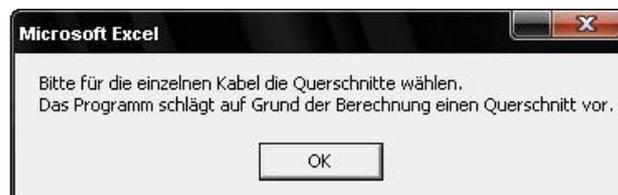


Abbildung 11: Aufforderung zur händischen Wahl der Querschnitte

Wie in Abbildung 11 ersichtlich, obliegt es dem Benutzer, die Querschnitte der einzelnen Kabel zu definieren. Dadurch wird sichergestellt, dass der Benutzer die vorgeschlagenen Querschnitte hinterfragen kann.

Um die Querschnitte festzulegen, markieren Sie den Eintrag „Kabel 1“ im Projektfenster. Wählen Sie die Funktion „Kabel ändern“ im Funktionsbereich:



Abbildung 12: Kabelquerschnitte wählen

Sie können nun jeden beliebigen Wert zwischen 1,5mm<sup>2</sup> und 500mm<sup>2</sup> aus der Liste der vorgeschlagenen Kabelquerschnitte zuweisen. Sollte sich aufgrund der Berechnung ein größerer Querschnitt als 500mm<sup>2</sup> ergeben, so ist für dieses Kabel eine Kombination von Kabeln mit den Normquerschnitten zusammenzustellen (z.B. 3 x 240 mm<sup>2</sup>). Im Programm ist der resultierende Querschnitt direkt im Auswahlfeld einzutippen.

Prinzipiell empfiehlt es sich, den vorgeschlagenen Querschnitt zu wählen. Werden auch nicht vorgeschlagene Werte verwendet, so sollte das Projekt jedenfalls überprüft werden. Wählen Sie dazu im Menü „Überprüfung“ (🔍). Nun werden die gewählten Querschnitte im Excelblatt „Ergebnis“ eingetragen. Kontrollieren Sie nun, ob die zulässigen Spannungsabfälle der einzelnen Stromkreise eingehalten werden (siehe unten).

	Stromkreis 1 (E30)			Stromkreis 2 (E90)			Stromkreis 3 (E30)		
Name	Kabel 11	Quer. gewählt	dU@230 V	Kabel 2	Quer. gewählt	dU@230 V	Kabel 12	Quer. gewählt	dU@230 V
Leitungslänge	70,0 m			150,0 m			70,0 m		
Leitungslänge Heiß	40,0 m			40,0 m			40,0 m		
Nenn-Leistung	1000 W			5000 W			2000 W		
antelliger dU	1,25 %			3,00 %			1,50 %		
Querschnitt bei T_Umgebung	3,86 mm <sup>2</sup>			2,85 mm <sup>2</sup>			6,43 mm <sup>2</sup>		
Querschnitt bei Brand	7,21 mm <sup>2</sup>	10,00 mm <sup>2</sup>	0,88 %	5,32 mm <sup>2</sup>	6,00 mm <sup>2</sup>	2,61 %	12,01 mm <sup>2</sup>	16,00 mm <sup>2</sup>	1,10 %
Name	Kabel 1	Quer. gewählt	dU@230 V				Kabel 1	Quer. gewählt	dU@230 V
Leitungslänge	70,0 m						70,0 m		
Leitungslänge Heiß	40,0 m						40,0 m		
Nenn-Leistung	3000 W						3000 W		
antelliger dU	1,25 %						1,50 %		
Querschnitt bei T_Umgebung	11,57 mm <sup>2</sup>						9,64 mm <sup>2</sup>		
Querschnitt bei Brand	21,63 mm <sup>2</sup>	10,00 mm <sup>2</sup>	2,65 %				18,02 mm <sup>2</sup>	10,00 mm <sup>2</sup>	2,65 %
Gesamtlänge	140 m			150 m			140 m		
Gesamt dU Standard/Wahl	2,50 %		3,53 %	3,00 %		2,61 %	3,00 %		3,75 %

Abbildung 13: Das Excelblatt "Ergebnis"

Anmerkungen:

- 1) Nachdem das Kabel 2 im Unterschied zu den anderen Kabeln ein Drehstromsystem darstellt, ist der berechnete und somit der gewählte **Querschnitt pro Phase** angegeben.
- 2) Bei „Kabel 1“ wurde ein zu kleiner Querschnitt (10 mm<sup>2</sup> statt 25 mm<sup>2</sup>) gewählt. Wie an den rot hinterlegten Feldern erkennbar, werden hier nun die maximal zulässigen 2,5 % bzw. 3,0 % Spannungsabfall des Stromkreises nicht mehr eingehalten. Daher muss der gewählte Querschnitt geändert und die Funktion „Überprüfung“ noch einmal ausgeführt werden.

Mit dem Menü „Ausgabe“ (  ) erhalten Sie im Blatt „Ausgabe“ eine Zusammenstellung der zu verwendenden Kabel.

1	<b>Ergebnisblatt</b>	
2	Projekt:	Musterprojekt
3	Adresse:	Maximilia Musterstrasse
4	Planer:	Max Mustermann
5		
6		
7	<b>Kabel</b>	<b>Hauptanspeisung EG (Kabel 1)</b>
8	Funktionserhalt	E30
9	Länge des Kabels	70 m
10	Länge des größten BA	40 m
11	Nenn-Leistung	3000 W
12	Querschnitt gewählt	25,0 mm <sup>2</sup>
13		
14	<b>Kabel</b>	<b>Hauptanspeisung EG (Kabel 11)</b>
15	Funktionserhalt	E30
16	Länge des Kabels	100 m
17	Länge des größten BA	40 m
18	Nenn-Leistung	1000 W
19	Querschnitt gewählt	6,0 mm <sup>2</sup>

Abbildung 14: Ergebnisblatt

## 6 ZUGRUNDELIEGENDE FORMELN

Die Berechnung des Querschnittes für ein Kabel in einem Wechselstromsystem, bei einer Umgebungstemperatur von 20°C, erfolgt mit folgender Formel

$$A_i = C \cdot \frac{P_i \cdot L_i}{\gamma_{20} \cdot \Delta U_i} \quad (1)$$

Dabei bedeuten

- $A_i$  Querschnitt des i-ten Kabelstückes
- $C$  Zahlenfaktor, welcher für ein Gleichstromsystem mit 1, für ein Wechselstromsystem mit 2 und für ein Drehstromsystem mit  $\sqrt{3}$  zu setzen ist.
- $P_i$  Wirkleistung auf dem i-ten Kabelstück
- $L_i$  Länge des i-ten Kabelstückes
- $\gamma_{20}$  Leitfähigkeit von Kupfer bei 20°
- $\Delta U_i$  zulässiger Spannungsabfall auf dem i-ten Kabelstück

Im ersten Berechnungsschritt wird angenommen, dass sich der Gesamtspannungsabfall des Kabels auf die  $n$  einzelnen Kabelstücke proportional zu deren Leitungslängen aufteilt.

$$\Delta U_i = \Delta U_{ges} \cdot \frac{L_i}{L_{ges}} \quad (2)$$

$$\Delta U_{ges} = \sum_i^n \Delta U_i \leq \Delta U_{Zulässig} \quad (3)$$

Dabei bedeuten

- $\Delta U_{Zulässig}$  Der geforderte maximale Spannungsabfall entlang des Kabels
- $n$  Anzahl der Brandabschnitte, durch die das Kabel beführt wird

Der Widerstand eines Kabels bei einer höheren Temperatur als bei 20° C wird folgendermaßen berechnet:

$$R(T) = R(20^\circ C) \cdot (1 + \alpha_{20} \cdot \Delta T) \quad (4)$$

Dabei bedeuten

- $\alpha_{20}$  Temperaturbeiwert für Kupfer (= 0,00393)
- $\Delta T$  Temperaturdifferenz zu 20°C

Der Widerstand des Kabels im Falle eines Brandes beträgt daher nach 30 bzw. 90 Minuten

$$R(E_{30/90}) = R(T_{Umg}) \cdot \frac{1 + \alpha_{20} \cdot (T_{E30/90} - 20)}{1 + \alpha_{20} \cdot (T_{Umg} - 20)} \quad (5)$$

Nach einigen Umformungen ergibt sich für das Verhältnis der Widerstände „Heißer zu kalter Bereiche“ folgende Formel:

$$V = \frac{L_{ges} - L_{heiß}}{L_{ges}} + \frac{L_{heiß}}{L_{ges}} \cdot \frac{1 + \alpha_{20} \cdot (T_{E30/90} - 20)}{1 + \alpha_{20} \cdot (T_{Umg} - 20)} \quad (6)$$

Dabei bedeuten

- $L_{ges}$  Länge des Kabels
- $L_{heiß}$  Länge des Kabelabschnittes im größten Brandabschnitt

$$A(E_{30/90}) = A(T_{Umg}) \cdot V \quad (7)$$

Die Formeln (1) bis (7) gelten für ein einzelnes Kabel, welches durch  $n$  Brandabschnitte führt.

Das Programm rechnet anhand obiger Formeln zunächst bei jedem Stromkreis für sämtliche darin vorkommende Kabel die Querschnitte aus.

Im nächsten Schritt kann dieser theoretisch berechnete Querschnitt für jedes Kabel frei überschrieben werden. Daraufhin rechnet das Programm mit diesen gewählten Querschnitten die daraus resultierenden Teil- und Gesamtspannungsabfälle für die einzelnen Stromkreise aus.