



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für elektrotechnische Berufe

# PRÜFUNGSVORBEREITUNG

## **Abschlussprüfung Teil 1 Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik**

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsseldorf Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

**Europa-Nr.: 35380**

**Autor:**

Christian Duhr, Studiendirektor, Rednitzhembach

**Verlagslektorat:**

Andreas Nies, Dipl.-Ing. Elektrotechnik, Aachen

**Bildbearbeitung:**

Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, 73760 Ostfildern

1. Auflage 2021

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke der selben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8085-3647-6

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2021 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG,  
42781 Haan-Gruiten  
[www.europa-lehrmittel.de](http://www.europa-lehrmittel.de)

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlagfoto: © NicoEINino-Shutterstock.com

Druck: Plump Druck & Medien GmbH, 53619 Rheinbreitbach

**HABE GEDULD,  
ALLE DINGE SIND  
SCHWIERIG,  
BEVOR SIE  
EINFACH WERDEN.**

Sprichwort aus Frankreich

## **INHALTE**

Dieses Buch soll Ihnen zur Vorbereitung auf den ersten Teil Ihrer gestreckten Abschlussprüfung dienen. Die acht Kapitel (siehe Seite 6) decken die Bereiche der Prüfungsfragen ab, welche in der Vergangenheit am häufigsten abgefragt wurden. Insgesamt finden Sie in dem Lehrwerk 120 Prüfungsfragen mit ausführlichen Erklärungen. Zusätzlich gibt es für wichtige prüfungsrelevante Themen Unterkapitel unter dem Namen „Fakten kompakt“, die Erläuterungen und Rechenbeispiele enthalten (Übersicht siehe Seite 7).

## **ZIELGRUPPE**

Die vorgestellten Prüfungsfragen sind zwar für den Beruf „Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik (EAT)“ optimiert, jedoch ist eine Vielzahl der Aufgaben ebenso für Mechatroniker/-innen anwendbar.

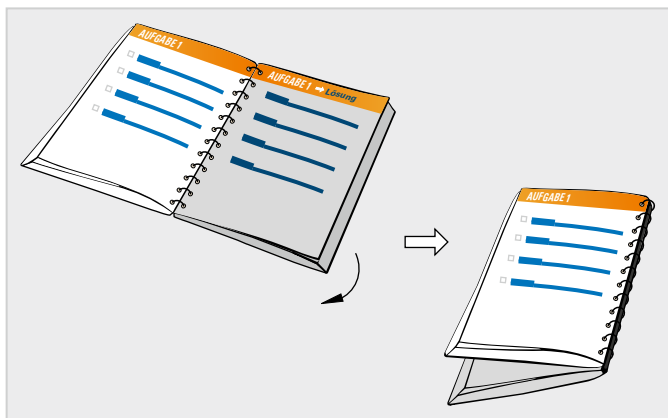
Im Idealfall verwenden Sie das Buch schon zu Beginn Ihres zweiten Ausbildungsjahres parallel zum Unterricht. So verstehen Sie die im Unterricht behandelten Themen besser und erkennen frühzeitig, ob Sie das prüfungsrelevante Wissen verinnerlicht haben.

## **KONZEPT**

Wie in den Abschlussprüfungen der IHKs üblich, sind auch in diesem Werk bei den gebundenen Fragestellungen fünf Antwortmöglichkeiten vorgegeben. Zu jeder Aufgabe wird die jeweils richtige Lösung nicht nur angegeben, sondern auch ausführlich erklärt. Zusätzlich wird auch auf die vier falschen Antwortmöglichkeiten eingegangen, um Sie vor möglichen Fallstricken in der Prüfung zu bewahren.

## HANDHABUNG

Dank des kleinen Formates können Sie dieses Selbstlernbuch überallhin zum Lernen mitnehmen. Es wurde eine Ringbuch-Bindung verwendet, damit Sie die Seiten mit den Lösungen nach hinten umklappen und so in Ruhe und ohne Ablenkung über die Antwortmöglichkeiten nachdenken können. Schauen Sie erst nach, welche Antwort korrekt ist, wenn Sie glauben, die richtige Lösung gefunden zu haben und diese auch erklären zu können.



## FEEDBACK

Kritik, Lob und Verbesserungsvorschläge können Sie gerne unter

[lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de)

an uns senden, wir freuen uns auf Ihre Rückmeldungen!

Der Autor und der Verlag Europa-Lehrmittel wünschen Ihnen viel Freude und Erfolg bei der Arbeit mit diesem Buch und natürlich eine sehr gute Abschlussprüfung!

Herbst 2021

**KAPITEL 1**

Seite 8–49



**Grundlagen der Elektrotechnik**

**KAPITEL 2**

Seite 50–91



**Gemischte Schaltungen**

**KAPITEL 3**

Seite 92–121



**Wechselstromtechnik**

**KAPITEL 4**

Seite 122–161



**Sensorik**

**KAPITEL 5**

Seite 162–195



**Pneumatik – SPS**

**KAPITEL 6**

Seite 196–233



**VDE**

**KAPITEL 7**

Seite 234–265



**Schützschaltungen – Steuerungstechnik**

**KAPITEL 8**

Seite 266–299



**Drehstrommotor**

## FAKTEN

## kompakt

FAKTEN kompakt sind Seiten mit Erläuterungen und Rechenbeispielen zu wichtigen prüfungsrelevanten Themen.

Spannungsfall auf Leitungen	18
Digitalmessgeräte	26
Der Wirkungsgrad	38
Maschenregel am Beispiel eines einfachen Stromkreises	60
Maschenregel am Beispiel einer nicht abgeglichenen Brückenschaltung	62
Die Bedeutung von Spannungspfeilen	72
Festwiderstände: Toleranzbereich	80
Arten und Montage von Sensoren	152
Zykluszeit vs. Reaktionszeit	178
Der Leitungsschutzschalter	212
Auslegung von Leitungen für den sicheren Betrieb	224
Praxis vs. Theorie	254
Das Typenschild eines Asynchronmotors	278

Ein Kondensator wird über einen Ladewiderstand (Spannungsquelle 10 V DC) aufgeladen und über einen Entladewiderstand wieder entladen.

Welche Aussage trifft zu?

#### Aussage 1

Wenn der Ladewiderstand im  $k\Omega$ -Bereich liegt, genügen 10 V Ladespannung nicht, um den Kondensator nahezu vollständig aufzuladen.

#### Aussage 2

Wird ein leerer Kondensator aufgeladen, so wirkt er im Einschalt Augenblick wie ein Kurzschluss. Der Aufladestrom berechnet sich in diesem Moment mit

$$I_{\text{Einschalt}} = U_{\text{Auflade}} : R_{\text{Auflade}}$$

#### Aussage 3

Wenn der Aufladevorgang an einem  $100 \Omega$  Widerstand 5 Zeitkonstanten dauert, so dauert der Aufladevorgang des gleichen Kondensators bei einem  $50 \Omega$  Ladewiderstand nur ca. 2,5 Zeitkonstanten.

#### Aussage 4

Würde bei konstantem Aufladewiderstand die Ladespannung von 10 V auf 5 V verringert, so würde sich die Ladezeit ungefähr halbieren.

#### Aussage 5

Ein Auf- und Entladen eines Kondensators sollte immer über den gleichen Widerstand erfolgen.





**Aussage 1**

Bei einem kleinen Ladewiderstand lädt der Kondensator schneller und bei einem großen Ladewiderstand langsamer. Solange der Widerstand nicht unendlich groß ist, lädt er aber immer weiter, bis er nahezu voll ist.

**Aussage 2**

Diese Aussage kann man beweisen, indem man  $t = 0$  in die Auflade-Formel einsetzt.

$$i_C = \frac{U_B}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{U_B}{R} \cdot e^{-\frac{0}{\tau}} = \frac{U_B}{R} \cdot e^{-0} = \frac{U_B}{R} \cdot 1 = \frac{U_B}{R}$$

Diese Aussage ist also richtig.

**Aussage 3**

Der Aufladevorgang eines Kondensators dauert immer 5 Zeitkonstanten. Die Länge der Zeitkonstanten ist allerdings unterschiedlich. Sie berechnet sich mit untenstehender Formel.

$$\tau = R \cdot C$$

**Aussage 4**

Wie in der letzten Aussage erklärt, ergibt sich die Ladezeit aus der Zeitkonstanten und diese hängt nur von  $R$  und  $C$  ab. Eine verringerte Ladespannung beeinflusst daher zwar die Menge der Ladung, die im Kondensator gespeichert werden kann, aber nicht die Ladezeit.

**Aussage 5**

Wenn das Auf- und Entladen über den gleichen Widerstand erfolgt, ist die Aufladezeit gleich der Entladezeit. Dies ist aber nicht immer gewünscht. Deshalb werden Kondensatoren oft nicht über die Widerstände geladen, über die sie entladen werden – was für diese völlig in Ordnung ist.



Zu einem  $1000\ \Omega$  Widerstand wird ein  $1\ \text{k}\Omega$  Widerstand parallel geschaltet. Die Schaltung liegt an  $10\ \text{V DC}$ .

Welche Aussage trifft zu?

**Aussage 1**

Der Gesamtwiderstand der Schaltung verdoppelt sich.

**Aussage 2**

Die Spannungsquelle liefert einen Strom von  $2\ \text{mA}$ .

**Aussage 3**

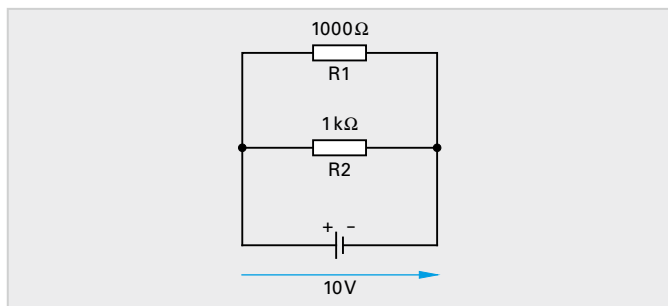
Die Spannungsquelle liefert einen Strom von  $0,2\ \text{A}$ .

**Aussage 4**

Die Spannungsquelle liefert einen Strom von  $20\ \text{mA}$ .

**Aussage 5**

An jedem Teilwiderstand liegen nun  $5\ \text{V}$  an.



**Aussage 1**

Nur bei einer Reihenschaltung von Widerständen erhöht sich der Gesamtwiderstand. Wird zu einem Widerstand ein weiterer Widerstand parallelgeschaltet, so besitzt der Gesamtwiderstand dieser Schaltung einen Wert, der kleiner ist als der kleinste Einzelwiderstand. Der Gesamtwiderstand muss hier also kleiner als 1 kΩ sein.

**Aussagen 2, 3 und 4**

Der Gesamtwiderstand der Schaltung berechnet sich aus:

$$R_{\text{gesamt}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1000 \, \Omega \cdot 1 \, \text{k}\Omega}{1000 \, \Omega + 1 \, \text{k}\Omega} = 500 \, \Omega$$

Der Strom berechnet sich nach dem ohmschen Gesetz durch:

$$I = \frac{U}{R_{\text{gesamt}}} = \frac{10 \, \text{V}}{500 \, \Omega} = 20 \, \text{mA}$$

**Aussage 4 ist somit korrekt.**

**Aussage 5**

In einer Parallelschaltung liegt an jedem Teilwiderstand die gleiche Spannung an, hier also 10 V.

Die Aussage Nr. 5 wäre dann richtig, wenn die beiden Widerstände in Reihe zueinander verschaltet wären. Denn bei einer Reihenschaltung gilt, dass an einem großen Einzelwiderstand eine große Spannung abfällt und an einem kleinen Teilwiderstand eine kleine Spannung abfällt. Sind die Teilwiderstände gleich groß, so fallen auch gleich große Teilspannungen an ihnen ab.



Zwei Kondensatoren mit je 1 mF werden parallel geschaltet und über einen Aufladewiderstand (1 k $\Omega$ ) an 10 V DC angeschlossen.

Welche Aussage trifft zu?

**Aussage 1**

Die Gesamtkapazität beträgt 0,5 mF.

**Aussage 2**

Nach ca.  $5 \tau$  liegen an jedem Kondensator ca. 5 V an.

**Aussage 3**

Nach  $5 \tau$  fließen ca. 0,01 A durch den Ladewiderstand.

**Aussage 4**

Der Aufladevorgang dauert ungefähr 10 s.

**Aussage 5**

Nach ca. 2 s ist der Kondensator zu ca. 99% aufgeladen und wird somit als praktisch vollgeladen betrachtet.



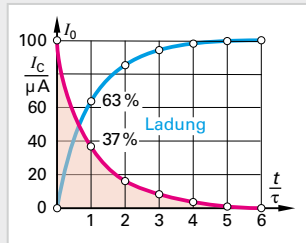
**Aussage 1**

Schaltet man Kondensatoren parallel, ergibt sich die Gesamtkapazität aus der Summe der Einzelkapazitäten. In diesem Falle wären es also:

$$C_{\text{ges}} = C_1 + C_2 = 1 \text{ mF} + 1 \text{ mF} = \mathbf{2 \text{ mF}}$$

**Aussage 2**

In diesem Bild sieht man die Ladekurve eines Kondensators. Man erkennt, dass Kondensatoren nach  $5 \tau$  praktisch vollgeladen sind. Es liegt dann die volle Ladespannung an, also in diesem Falle 10 V.



**Aussage 3**

Wie man in Aufgabe 1 (Aussage 2) sieht, kann der Strom im Einschaltaugenblick hier folgendermaßen berechnet werden:

$$i_C = \frac{U_B}{R} = \frac{10 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = \mathbf{0,01 \text{ A}}$$

Wenn der Strom im Einschaltaugenblick nur 0,01 A beträgt, muss er nach  $5 \tau$  kleiner geworden sein (siehe Ladekurve oben).

**Aussage 4**

Eine Zeitkonstante ( $1 \tau$ ) dieser Schaltung beträgt 2 s. Der Aufladevorgang ( $5 \tau$ ) dauert also  $5 \cdot 2 \text{ s} = 10 \text{ s}$

**Diese Aussage ist somit korrekt.**

**Aussage 5**

Ein Kondensator ist nach  $5 \tau$ , hier also erst nach 10 s, praktisch vollgeladen.



**Welche Aussage über eine Spule ist korrekt?****Aussage 1**

Die Induktivität einer realen Spule besitzt bei Anschluss an Gleichspannung den Wert null.

**Aussage 2**

Eine ideale Spule besitzt keinen Wirkwiderstand, sondern nur einen induktiven Blindwiderstand.

**Aussage 3**

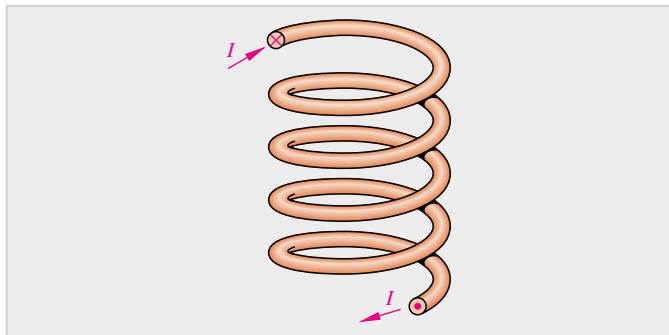
Die Induktivität einer realen Spule besitzt bei Anschluss an Wechselspannung den Wert null.

**Aussage 4**

Eine reale Spule besitzt nur dann Verluste, wenn sie an Wechselspannung angeschlossen wird.

**Aussage 5**

Die Induktivität einer realen Spule besitzt bei Anschluss an Gleichspannung den Wert unendlich.



**Aussage 1**

Die Induktivität einer Spule kann als deren „Fähigkeit“, Spannung zu induzieren, gesehen werden.

Eine Spule besitzt die Induktivität von 1 Henry, wenn sie bei einer gleichförmigen Stromänderung von 1 A pro 1 s eine Spannung von 1 V induziert. Der Wert der Induktivität einer Spule ist somit bauartbedingt, sie hängt nicht von der Art der angelegten Spannung ab.

**Aussage 2**

Eine reale Spule besteht physikalisch betrachtet aus einem Stück Draht. Dieser Draht besitzt einen Leiterwiderstand, welcher sowohl bei Gleichstrom als auch bei Wechselstrom wirksam ist. Dieser Drahtwiderstand wird bei einer idealen Spule mit  $0 \Omega$  angenommen.

**Diese Aussage ist somit korrekt.**

**Aussage 3**

Wird eine Spule an Wechselspannung angeschlossen, so wirkt neben dem ohmschen Drahtwiderstand ( $R$ ) zusätzlich der induktive Blindwiderstand ( $X_L$ ).

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Beide Widerstände müssen geometrisch addiert werden, so erhält man dann den Gesamtwiderstand der Spule an Wechselspannung. Dieser wird auch Scheinwiderstand ( $Z$ ) genannt.

**Aussage 4**

Fließt Gleichstrom durch eine Spule, so entsteht am Drahtwiderstand ( $R$ ) immer eine Verlustleistung.

**Aussage 5**

Wie in Aussage 1 beschrieben wurde, ist der Wert der Induktivität einer Spule von deren Bauart abhängig, die Art der angelegten Spannung hat darauf also keinen Einfluss.



Eine Signallampe (24 V DC/ 6 W) wird über eine 100 m lange Kupferleitung ( $A = 1,5 \text{ mm}^2$ ) an den Ausgang einer SPS (24 V DC) angeschlossen.

Welche Aussage trifft zu, wenn der Ausgang ein High-Signal liefert?

#### Aussage 1

Der gewählte Querschnitt ist für diese Leitungslänge zu gering, da die Lampe in diesem Fall eine viel zu geringe Spannung erhalten würde.

#### Aussage 2

Durch eine Verdoppelung des Leitungsquerschnittes erhöht sich die Lampenspannung um die Hälfte.

#### Aussage 3

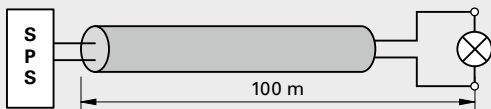
Die Lampe wird aufgrund der großen Leitungslänge erkennbar dunkler leuchten.

#### Aussage 4

Aufgrund der geringen Leistung erhält die Lampe trotz der langen Zuleitung genügend Spannung und leuchtet somit nahezu so hell wie im Nennbetrieb.

#### Aussage 5

Die Lampe wird überhaupt nicht leuchten, da der Spannungsfall aufgrund der Leitungslänge viel zu groß ist.





## Aussagen 1 bis 5

Die Spannung, welche die Lampe erhält, berechnet sich aus der Spannung, welche die SPS liefert (24 V) minus der Spannung, die auf der 100 m langen Leitung zur Lampe abfällt. Man muss demnach den Spannungsfall ( $U_V$ ) auf der Leitung berücksichtigen, da man nun eine Reihenschaltung aus Leitungswiderstand ( $R_L$ ) und Lampenwiderstand ( $R_{\text{Lampe}}$ ) an einer Gesamtspannung von 24 V betrachten muss.

$$U_V = R_L \cdot I$$

Der Leitungswiderstand  $R_L$  besteht lediglich aus einem Draht, der  $2 \cdot 100$  m lang ist. Demnach berechnet sich  $R_L$  wie folgt:

$$\begin{aligned} R_L &= \frac{\delta \cdot l \cdot 2}{A} \\ &= \frac{0,0178 \, \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \cdot 100 \, \text{m} \cdot 2}{1,5 \, \text{mm}^2} = \mathbf{2,37 \, \Omega} \end{aligned}$$

Der Lampenwiderstand ( $R_{\text{Lampe}}$ ) kann aus den Nenndaten der Lampe berechnet werden:

$$R_{\text{Lampe}} = \frac{U_{\text{Nenn}}^2}{P_{\text{Nenn}}} = \frac{(24 \, \text{V})^2}{6 \, \text{W}} = \mathbf{96 \, \Omega}$$

Durch die Reihenschaltung aus Leitungswiderstand und Lampenwiderstand fließt demnach ein Strom von:

$$I = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}} = \frac{24 \, \text{V}}{2,37 \, \Omega + 96 \, \Omega} = \mathbf{0,24 \, \text{A}}$$

Somit beträgt der Spannungsfall an der Lampe ( $U_{\text{Lampe}}$ ):

$$U_{\text{Lampe}} = R_{\text{Lampe}} \cdot I = 96 \, \Omega \cdot 0,24 \, \text{A} = \mathbf{23,4 \, \text{V}}$$

Da die Nennspannung der Lampe mit 24 V angegeben ist, kann eine Spannung von 23,4 V als ausreichend betrachtet werden.

**Die Aussage 4 ist somit korrekt.**



# FAKTEN

## kompakt

### SPANNUNGSFALL AUF LEITUNGEN

Wird z.B. ein Baustellenstrahler (z.B. 3 kW) über eine lange Kabeltrommel (z.B. 50 m) angeschlossen, so kann oftmals gut beobachtet werden, dass der Strahler nicht so hell leuchtet, wie bei direktem Anschluss ohne Kabeltrommel.

#### Erklärung:

Der Strom fließt durch den Draht der Kabeltrommel (z.B. 2,5 mm<sup>2</sup>) und verursacht dort einen Spannungsfall. Die auf dem Draht abgefallene Spannung „fehlt“ dem Baustellenstrahler, er erhält nur einen Teil der ursprünglichen Spannung. Dieser Spannungsfall wird entweder mit  $\Delta U$  (für Spannungsunterschied) oder mit  $U_V$  (für Spannungsverlust) bezeichnet.

Der Spannungsfall wird umso größer,

- je größer die Stromstärke
- je länger die Leitung
- je kleiner der Leiterquerschnitt

Deshalb erhalten elektrische Verbraucher unter Umständen nicht ihre exakte Nennspannung.

Ein gewisser Spannungsfall ist jedoch zulässig, da er unvermeidbar ist.

Die Höhe des vertretbaren Spannungsfalls wird in der VDE festgelegt:

- Hauptleitung von der Hausanschlusssicherung bis zum Zähler: max. 0,5%
- Vom Zähler bis zum Endverbraucher: max. 3%
- In der Summe von der Hausanschlusssicherung bis zum Endverbraucher:
  - In Beleuchtungsanlagen: max. 3%
  - Bei anderen elektr. Verbrauchern: max. 5%



Bei der Berechnung des Spannungsfalls muss zwischen den Spannungsarten (Gleichspannung, Wechselspannung und 3-Phasen-Wechselspannung) unterschieden werden.

Bei 3-Wechselstrom ist der Faktor 2 durch den Faktor  $\sqrt{3}$  ersetzt. Durch den Faktor Wurzel 3 sind alle Leitungswege berücksichtigt. Es wird also für  $l$  der einfache Leitungsweg eingesetzt.

Gleichstrom	1-Phasen Wechselstrom 230 V	3-Phasen-Wechselstrom 230/400 V
$\Delta U = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\gamma \cdot A}$	$\Delta U = \frac{2 \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot A}$	$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot A}$
<p><math>\Delta U</math> = Spannungsfall in V  <math>l</math> = einfache Leitungslänge in m  <math>I</math> = Stromstärke in A  <math>A</math> = Leiterquerschnitt in mm<sup>2</sup>  <math>\gamma</math> = elektrische Leitfähigkeit in <math>\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}}</math>  <math>\cos \varphi</math> = Wirkleistungsfaktor</p>		

Da der zulässige Spannungsfall nicht immer in Volt ( $\Delta U$ ), sondern oftmals in Prozent ( $\Delta u$ ) angegeben wird, hilft folgende Formel zur Umrechnung:

Gleichstrom	1-Phasen Wechselstrom 230 V	3-Phasen-Wechselstrom 230/400 V
$\Delta u = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U}$		
<p><math>\Delta u</math> = Spannungsfall in %  <math>\Delta U</math> = Spannungsfall in V  <math>U</math> = Netznominalspannung</p>	<p><math>\Delta u</math> = Spannungsfall in %  <math>\Delta U</math> = Spannungsfall in V  <math>U</math> = Netznominalspannung (230 V)</p>	<p><math>\Delta u</math> = Spannungsfall in %  <math>\Delta U</math> = Spannungsfall in V  <math>U</math> = Netznominalspannung (400 V)</p>



## BEISPIELRECHNUNG

### Zahlenbeispiel für eine 230 V Steckdose:

In einer Garage soll eine Steckdose installiert werden. Die Zuleitungslänge vom Zählerkasten bis zur Steckdose beträgt 28 m. Es ist geplant, eine Leitung vom Typ NYM-J  $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$  unter Putz zu verlegen.

### Welcher Spannungsfall ist zu erwarten?

Wir gehen davon aus, dass die Zuleitung mit einem Leitungsschutzschalter 16 A abgesichert wird.

Demnach können 16 A dauerhaft durch die Zuleitung fließen. Deshalb verwenden wir nun für die Stromstärke den Nennstrom des Leitungsschutzschalters (16 A).

$$\Delta U = \frac{2 \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot A} = \frac{2 \cdot 28 \text{ m} \cdot 16 \text{ A} \cdot 1}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \cdot 1,5 \text{ mm}^2} = 10,7 \text{ V}$$

### Ist dieser Spannungsfall zulässig?

$$\begin{aligned} 230 \text{ V} &= 100\% \\ 10,7 \text{ V} &= 4,7\% \end{aligned}$$

Da vom Zählerkasten bis zum Verbraucher nur 3% zugelassen sind, ist ein Spannungsfall von 4,6% nicht zulässig.

### Was ist nun zu unternehmen?

Der geplante Leitungsquerschnitt von  $1,5 \text{ mm}^2$  muss auf den nächstgrößeren Querschnitt ( $2,5 \text{ mm}^2$ ) angehoben werden. Damit ist eine erneute Berechnung durchzuführen:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot A} = \frac{2 \cdot 28 \text{ m} \cdot 16 \text{ A} \cdot 1}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \cdot 2,5 \text{ mm}^2} = 6,4 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} 230 \text{ V} &= 100\% \\ 6,4 \text{ V} &= 2,8\% \end{aligned}$$

Der zulässige Spannungsfall von 3% wird mit 2,8% gerade noch eingehalten.

