

Ohmsches Gesetz und Leistung

Das Formelrad: Zwei bekannte Größen legen die anderen beiden fest. Gesuchte Größe wählen, dort die Formel mit den zwei bekannten Werten nehmen.

U

$$U = R \cdot I$$

$$U = P / I$$

$$U = \sqrt{P \cdot R}$$

I

$$I = U / R$$

$$I = P / U$$

$$I = \sqrt{P / R}$$

P

$$P = U \cdot I$$

$$P = I^2 \cdot R$$

$$P = U^2 / R$$

R

$$R = U / I$$

$$R = U^2 / P$$

$$R = P / I^2$$

U Spannung in V (Volt)

R Widerstand in Ω (Ohm)

I Strom in A (Ampere)

P Leistung in W (Watt)

Merke: Gilt für Gleichstrom und ohmsche Last — bei Motoren und anderen Wechselstromverbrauchern kommt $\cos \varphi$ dazu.

Beispiel: Heizpatrone spannungsfrei gemessen: $26,5 \Omega$, Netz $230 \text{ V} \rightarrow I = 230 \text{ V} / 26,5 \Omega = 8,68 \text{ A}$ und $P = (230 \text{ V})^2 / 26,5 \Omega = 1996 \text{ W}$.



Leistung bei Gleich-, Wechsel- und Drehstrom

Gleichstrom $P = U \cdot I \quad I = \frac{P}{U}$

Wechselstrom $P = U \cdot I \cdot \cos \phi$

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \phi}$$

Drehstrom $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \phi}$$

Schein- und Blindleistung (Wechselstrom: $S = U \cdot I$)

Drehstrom: $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$

$$P = S \cdot \cos \phi \quad Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

P	Wirkleistung in W, kW
Q	Blindleistung in var, kvar
U	Drehstrom: Außenleiterspannung 400 V

S	Scheinleistung in VA, kVA
cos φ	Leistungsfaktor, ohmsche Last = 1
I	Drehstrom: Strom je Außenleiter

Merke: $\sqrt{3}$ nur bei Drehstrom. Bei $\cos \phi = 1$ sind 1 kW rund 4,3 A an 230 V und rund 1,4 A an 400 V Drehstrom. Bei $\cos \phi < 1$ ist S immer größer als P.

Beispiel: Heizregister 9 kW, 400 V, $\cos \phi = 1$: $I = 9000 \text{ W} / (\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}) = 13,0 \text{ A}$



Leitungswiderstand und Spannungsfall

Widerstand
eines Leiters

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{l}{\gamma \cdot A}$$

Spannungsfall
Drehstrom

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot l \cdot I \cdot \cos \phi}{\gamma \cdot A}$$

Spannungsfall
Wechselstrom

$$\Delta U = \frac{2 \cdot l \cdot I \cdot \cos \phi}{\gamma \cdot A}$$

Spannungsfall
Gleichstrom ·
in %

$$\Delta U = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\gamma \cdot A}$$

$$\Delta U \text{ in \%} = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100$$

ΔU	Spannungsfall in V
l	einfache Leitungslänge in m
A	Querschnitt in mm ²
ρ	Cu 0,0179 · Al 0,0286 Ω·mm ² /m

U	Nennspannung in V
I	Betriebsstrom in A
γ	Cu 56 · Al 35 m/(Ω·mm ²) bei 20 °C

Merke: Der Faktor 2 enthält schon Hin- und Rückleiter — die Länge nicht zusätzlich verdoppeln. Grenzen: 4 % (DIN VDE 0100-520, ab Hausanschlusskasten), 3 % (DIN 18015-1, Wohngebäude ab Messeinrichtung).

Beispiel: 65 m, 16 A, 2,5 mm² Cu, Drehstrom 400 V, cos φ 0,95 → ΔU = 12,22 V → 3,06 %



Leitungsquerschnitt: die drei Kriterien

Drei Kriterien bestimmen den Querschnitt — **der ungünstigste gewinnt.**

1 · Strombelastbarkeit (gG-Sicherung: auch $I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$)

$$I_B \leq I_n \leq I_Z$$

$$I_Z = I_{\text{tab}} \cdot f_{\text{Temp}} \cdot f_{\text{Häufung}}$$

2 · Spannungsfall (Drehstrom; Wechselstrom / DC: 2 statt $\sqrt{3}$, DC: $\cos \phi = 1$)

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot l \cdot I \cdot \cos \phi}{\gamma \cdot \Delta U_{\text{zul}}}$$

3 · Abschaltbedingung

$$Z_S \cdot I_a \leq U_0$$

Immer auf den nächsten Normquerschnitt aufrunden (mm²):

1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
240													

I_B Betriebsstrom in A

I_Z zulässige Belastbarkeit der Leitung

f Faktoren für Umgebungstemperatur und Häufung

I_n Nennstrom der Sicherung in A

I_{tab} Tabellenwert VDE 0298-4 (30 °C, ein Stromkreis)

ΔU_{zul} erlaubter Spannungsfall (3 % von 400 V = 12 V)

Beispiel: 16 A Drehstrom, $\cos \phi$ 0,95, B16, 50 m, Verlegeart B2 → Belastbarkeit: 1,5 mm² trägt nur 15 A, also 2,5 mm² · Spannungsfall (3 %): $A = 1,96 \text{ mm}^2 \rightarrow 2,5 \text{ mm}^2$ · Abschaltung: rechnerisch schon mit 1,5 mm². Ergebnis: **2,5 mm² Cu.**



Abschaltbedingung im TN-System und RCD

Abschaltbedingung im TN-System

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0 \quad Z_{s, \max} = \frac{U_0}{I_a}$$

CHARAKTERISTIK	I_a (oberer Wert)	16 A: $I_a \rightarrow Z_{s, \max}$
B	$5 \times I_n$	80 A $\rightarrow 2,875 \, \Omega$
C	$10 \times I_n$	160 A $\rightarrow 1,4375 \, \Omega$
D	$20 \times I_n$	—

Abschaltzeit bei 230 V: 0,4 s (Endstromkreise: Steckdosen bis 63 A, fest bis 32 A) · 5 s (Verteilungs- und größere Endstromkreise).

Messwert: $Z_s \leq 2/3 \cdot U_0/I_a$ (DIN VDE 0100-600): B16 $\approx 1,92 \, \Omega$, C16 $\approx 0,96 \, \Omega$.

RCD (FI) — Auslösefenster, unverzügter RCD

$$I_{\Delta n}/2 < I_{\Delta} \leq I_{\Delta n}$$

$$t \leq 300 \, \text{ms bei } I_{\Delta n}, \leq 40 \, \text{ms bei } 5 \cdot I_{\Delta n}$$

Z_s	Schleifenimpedanz in Ω	U_0	Außenleiter gegen Erde (230 V)
I_a	Auslösestrom des Schutzorgans in A	$I_{\Delta n}$	Bemessungsdifferenzstrom (z. B. 30 mA)
I_{Δ}	gemessener Auslösestrom in mA	t	Auslösezeit in ms

Merke: Rechnung = Planungswert, den Nachweis liefert die Messung (VDE 0100-600). Mit RCD als Fehlerschutz: $Z_s \cdot I_{\Delta n} \leq U_0$. Typ S: 130–500 ms bei $I_{\Delta n}$.



Motor: Bemessungsstrom und Anlaufstrom

Bemessungsstrom (Drehstrom)

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \phi \cdot \eta}$$

Aufgenommene Leistung

$$P_{\text{auf}} = \frac{P}{\eta}$$

Faustregel 400 V: etwa 2 A pro kW

ANLAUFART	ANLAUFSTROM (NÄHERUNG)
direkt	$6-8 \times I_N$
Stern-Dreieck	$2-2,7 \times I_N$
Sanftanlauf	$2,5-4 \times I_N$

I_N Bemessungsstrom (Rechenwert) in A

P abgegebene Wellenleistung vom Typenschild

P_{auf} aufgenommene elektrische Leistung

η Wirkungsgrad (z. B. 0,90 für 90 %)

$\cos \phi$ Leistungsfaktor vom Typenschild

U Außenleiterspannung (400 V)

Beispiel: 7,5 kW, 400 V, $\cos \phi$ 0,85, η 90 % $\rightarrow I_N = 7500 \text{ W} / (1,732 \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,85 \cdot 0,90) \approx 14,2 \text{ A}$. Den Motorschutz stellst du auf den Strom vom Typenschild ein, nicht auf den Rechenwert.



Widerstands-Farbcode (IEC 60062)

4 Ringe: 2 Ziffern · 5 und 6 Ringe: 3 Ziffern — dann Multiplikator, Toleranz (6. Ring: TK)

R = Ziffern · Multiplikator

FARBE	ZIFFER	MULTIPLIKATOR	TOLERANZ	TK ppm/K
 schwarz	0	× 1	—	250
 braun	1	× 10	±1 %	100
 rot	2	× 100	±2 %	50
 orange	3	× 1 k	—	15
 gelb	4	× 10 k	—	25
 grün	5	× 100 k	±0,5 %	20
 blau	6	× 1 M	±0,25 %	10
 violett	7	× 10 M	±0,1 %	5
 grau	8	× 100 M	±0,05 %	1
 weiß	9	× 1 G	—	—
 gold	—	× 0,1	±5 %	—
 silber	—	× 0,01	±10 %	—

Merke: Gold und Silber stehen nie vorn — steht eine davon außen, liest du verkehrt herum.

Beispiel: braun – schwarz – orange – gold → 10 · 1.000 Ω = 10 kΩ ±5 %



SI-Vorsätze umrechnen

$$\text{Zielwert} = \text{Wert} \cdot 10^n$$

$$n = \text{Exponent}_{\text{von}} - \text{Exponent}_{\text{nach}}$$

ZEICHEN	VORSATZ	FAKTOR
G	Giga	10^9
M	Mega	10^6
k	Kilo	10^3
—	Basiseinheit	$10^0 = 1$
m	Milli	10^{-3}
μ	Mikro	10^{-6}
n	Nano	10^{-9}
p	Piko	10^{-12}

Merke: Jeder Schritt sind drei Kommastellen. **m** ≠ **M**: Zwischen 1 mΩ und 1 MΩ liegen neun Zehnerpotenzen.

Beispiele: 1500 mA = 1,5 A · 1500 W = 1,5 kW · 4,7 nF = 4700 pF



Analogsignal 4–20 mA

Signal → Messwert

$$\text{Messwert} = \text{Anfang} + \frac{I - 4 \text{ mA}}{16 \text{ mA}} \cdot (\text{Ende} - \text{Anfang})$$

Messwert → Signal

$$I = 4 \text{ mA} + \frac{\text{Messwert} - \text{Anfang}}{\text{Ende} - \text{Anfang}} \cdot 16 \text{ mA}$$

SIMATIC S7 (4–20 mA) · Spannung an der Bürde

$$\text{Rohwert} = \frac{I - 4 \text{ mA}}{16 \text{ mA}} \cdot 27648$$

$$U_{\text{Bürde}} = I \cdot R_{\text{Bürde}}$$

4 mA

Anfang

8 mA

ein Viertel

12 mA

Mitte

16 mA

drei Viertel

20 mA

Ende

Merke: Durch 16 teilen, nicht durch 20 — die Spanne ist 16 mA. Bürde 250 Ω macht aus 4–20 mA genau 1–5 V. NAMUR NE 43: ≤ 3,6 mA (z. B. Drahtbruch) und ≥ 21 mA (z. B. Kurzschluss) sind Ausfallinformation, kein Messwert.

Beispiel: Drucksensor 0–16 bar, gemessen 12,4 mA → 0 bar + (12,4 mA – 4 mA) / 16 mA · 16 bar = 8,4 bar



Aderfarben heute und in Altanlagen

HEUTE (HD 308 S2, SEIT 2003)	FARBE
PE · Schutzleiter	 grün-gelb
N · Neutraleiter	 blau
L1 · Außenleiter 1	 braun
L2 · Außenleiter 2	 schwarz
L3 · Außenleiter 3	 grau

FRÜHER	FARBEN	ACHTUNG
BRD bis ~1965	L schwarz · N grau · PE rot	Roter PE. Grau war N, nicht L3
BRD 1965–2003	L schwarz/braun/schwarz · N blau · PE grün-gelb	Zwei schwarze Außenleiter möglich
DDR (TGL)	teils PE rot · N grau oder blau	In Ostdeutschland weiter anzutreffen
Klassische Nullung	PEN kombiniert, oft grau oder rot	Kein getrennter PE vorhanden

Grundregel: In Altanlagen nie nach Farbe klemmen. Die alten Farben sind Erfahrungswerte ohne Normbeleg. Freischalten, Spannungsfreiheit feststellen, Adern messtechnisch zuordnen — und beim Wiederanschluss dauerhaft kennzeichnen. Grün-gelb ist ausschließlich dem Schutzleiter vorbehalten.

Beispiel: Im Altbau kommt schwarz, grau, rot aus der Decke. Bis etwa 1965 war **grau der Neutraleiter und rot der Schutzleiter** — nicht L3 und ein weiterer Außenleiter.

