

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE
LUZERN**

Technik & Architektur

FH Zentralschweiz



Der direkteste Weg zur richtigen Formel

Die Formelsammlung für
Elektro-Fachpersonen



Mehr Informationen
über unseren Bachelor
Gebäudetechnik | Energie!



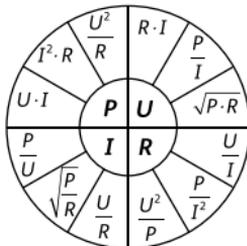
Der direkteste Weg für alle Elektrofachpersonen

Gebäudetechnik ist die gute Wahl, wenn Sie Gebäude gestalten und funktionsfähig machen wollen. Als Ingenieurin oder Ingenieur der Gebäudetechnik stellen Sie sicher, dass Gebäude effizient betrieben werden und ihre Energie selber nachhaltig produzieren.

Das praxisorientierte, innovative und interdisziplinäre Studium der Hochschule Luzern – Technik & Architektur ist das einzige Gebäudetechnik-Studium der Schweiz. Bei uns studieren Sie zusammen mit Architekten, Innenarchitektinnen und Bauingenieuren realitätsnah an konkreten Projekten. Sie nutzen das europaweit einzigartige Labor für Gebäudetechnik. Wir legen Wert darauf, dass die Ausbildung dem entspricht, was die Gebäudetechnik-Branche heute und morgen braucht.

Für Berufsmaturandinnen und Berufsmaturanden sowie erfahrene Praktikerinnen und Praktiker. Mehr Informationen und Anmeldung:
www.hslu.ch/gebaeudetechnik

Grundlagen und Gleichstrom (DC=Direct Current)



P	Leistung	W
U	Spannung	V
I	Stromstärke	A
R	Widerstand	Ω

Ohmsches Gesetz

$$U = R \cdot I$$

$$R = \frac{U}{I}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

U	Spannung	V
R	Widerstand	Ω
I	Stromstärke	A

Stromdichte

$$J = \frac{I}{A} \quad A = \frac{I}{J} \quad I = A \cdot J \quad A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

J	Stromdichte	A/mm²
I	Stromstärke	A
A	Leiterquerschnitt	mm²
d	Leiterdurchmesser	mm

Widerstand eines Leiters

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

Widerstand einer Leitung:
Leitungslänge mal 2 (Hin- und Rückleiter)

R	Leiterwiderstand	Ω
ρ	spez. Widerstand ($\rho_{cu} = 0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ bei 20°C)	Ω mm²/m
l	Leiterlänge	m
A	Leiterquerschnitt	mm²

Temperatureinfluss auf den Widerstand

$$R_2 = R_1 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta) \quad R_1 = \frac{R_2}{(1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta)}$$

$$\Delta R = R_2 - R_1 \quad \Delta R = R_1 \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta$$

$$\Delta \vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 \quad \Delta \vartheta = \frac{\Delta R}{\alpha \cdot R_1}$$

$$\alpha = \frac{\Delta R}{\Delta \vartheta \cdot R_1}$$

R₁	Anfangswiderstand bei ϑ_1	Ω
R₂	Endwiderstand	Ω
ΔR	Widerstandsänderung	Ω
α	Temperaturkoeffizient ($\alpha_{cu} = 0,004 \text{ 1/K}$ bei ϑ_1)	1/K
Δϑ	Temperaturänderung	K
ϑ₁	Anfangstemperatur (Referenztemp. für ϑ_1 : 20°C)	°C
ϑ₂	Endtemperatur	°C

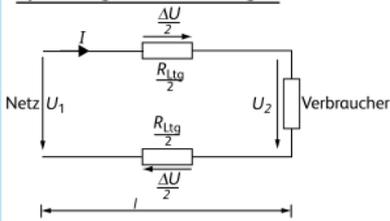
Leistung bei Änderung der Spannung bzw. der Stromstärke

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = P_1 \cdot \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2 \quad P_1 = P_2 \cdot \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2$$

$$I_2 = I_1 \cdot \sqrt{\frac{P_2}{P_1}} \quad U_2 = U_1 \cdot \sqrt{\frac{P_2}{P_1}}$$

P₁	Leistung vor der Änderung	W
P₂	Leistung nach der Änderung	W
U₁	Spannung vor der Änderung	V
U₂	Spannung nach der Änderung	V
I₁	Stromstärke vor der Änderung	A
I₂	Stromstärke nach der Änderung	A

Spannungsfall an Leitungen



$$\Delta U = U_1 - U_2 \quad \Delta U = R_{Ltg} \cdot I \quad R_{Ltg} = \frac{\Delta U}{I}$$

$$R_{Ltg} = \frac{\rho \cdot 2 \cdot l}{A} \quad A = \frac{\rho \cdot 2 \cdot l}{R_{Ltg}} \quad l = \frac{R_{Ltg} \cdot A}{\rho \cdot 2}$$

ΔU	Spannungsfall	V
U_1	Netzspannung	V
U_2	Verbraucherspannung	V
R_{Ltg}	Leitungswiderstand	Ω
I	Leiterstrom	A
ρ	spez. Widerstand	$\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ($\rho_{cu} = 0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ bei 20°C)
l	Leitungslänge	m
A	Leiterquerschnitt	mm^2

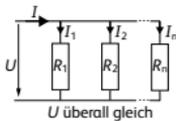
Schaltungen von Widerständen

Parallelschaltung

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad R_1 = \frac{R_2 \cdot R}{R_2 - R}$$

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}} \quad R_1 = \frac{1}{\frac{1}{R} - \frac{1}{R_2} - \dots - \frac{1}{R_n}}$$

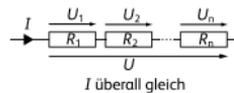
$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$



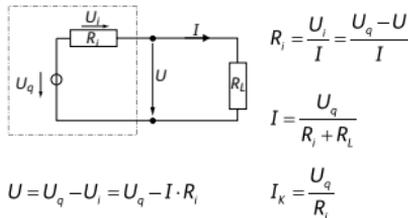
R	Gesamtwiderstand	Ω
$R_1, R_2 \dots R_n$	Einzelwiderstände	Ω
U	Gesamtspannung	V
$U_1, U_2 \dots U_n$	Teilspannungen	V
I	Gesamtstrom	A
$I_1, I_2 \dots I_n$	Teilströme	A

Serienschaltung

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$



Belastete Spannungsquelle



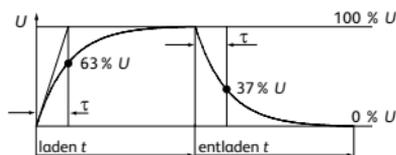
$$R_i = \frac{U_i}{I} = \frac{U_q - U}{I}$$

$$I = \frac{U_q}{R_i + R_L}$$

$$U = U_q - U_i = U_q - I \cdot R_i \quad I_k = \frac{U_q}{R_i}$$

U	Klemmenspannung	V
U_q	Quellenspannung (Leerlaufspannung)	V
I	Laststrom	A
R_i	Innenwiderstand	Ω
U_i	innerer Spannungsfall	V
I_k	Kurzschlussstrom	A

Laden und Entladen eines Kondensators

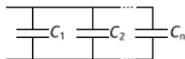


τ	Zeitkonstante	s
C	Kapazität	F
R	Widerstand	Ω
t	Lade- und Entladedauer	s

$$\tau = R \cdot C \quad R = \frac{\tau}{C} \quad C = \frac{\tau}{R} \quad t \approx 5 \cdot \tau \quad \tau \approx \frac{t}{5}$$

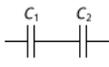
Schaltungen von Kondensatoren

Parallelschaltung



$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Serienschaltung



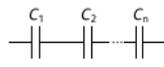
$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

C Gesamtkapazität

$C_1, C_2 \dots C_n$ Einzelkapazitäten

F

F



$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

Elektrische Arbeit (Wirkenergie)

$$W = P \cdot t$$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$t = \frac{W}{P}$$

W elektrische Arbeit, Energie

Ws

P Leistung

W

t Zeit

s

Energiekosten

$$K = \frac{T \cdot W}{100} = \frac{T \cdot P \cdot t}{100}$$

K Energiekosten

Fr.

T Arbeitspreis (Tarif)

Rp/kWh

W Energie

kWh

P Leistung

kW

t Zeit

h

Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta}$$

$$P_2 = P_1 \cdot \eta$$

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n$$

$$P_v = P_1 - P_2$$

η Wirkungsgrad (Leistungsverhältnis)

$\eta_1, \eta_2 \dots \eta_n$ Einzelwirkungsgrade ...

P_1 aufgenommene Leistung

W

P_2 abgegebene Leistung

W

(Nennleistung)

W

P_v Verlustleistung

W

Mechanische Leistung

$$P = \frac{m \cdot g \cdot \Delta h}{t}$$

$$m = \frac{P \cdot t}{g \cdot \Delta h}$$

$$\Delta h = \frac{P \cdot t}{g \cdot m}$$

$$t = \frac{m \cdot g \cdot \Delta h}{P}$$

m Masse

kg

g Erdbeschleunigung 9,81 m/s²

Δh Höhendifferenz

m

t Zeit

s

P mechanische Leistung

W

Elektrowärme

$$P = \frac{m \cdot c \cdot \Delta \vartheta}{t \cdot \zeta}$$

$$t = \frac{m \cdot c \cdot \Delta \vartheta}{P \cdot \zeta}$$

$$m = \frac{t \cdot P \cdot \zeta}{c \cdot \Delta \vartheta}$$

$$\zeta = \frac{m \cdot c \cdot \Delta \vartheta}{t \cdot P}$$

$$\Delta \vartheta = \frac{t \cdot P \cdot \zeta}{m \cdot c}$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta \vartheta$$

P Leistung

kW

m Masse

kg

c Spezifische Wärmekapazität kJ/kgK ($c_{H_2O} = 4,19$ kJ/kgK)

$\Delta \vartheta$ Temperaturdifferenz

K

t Zeit

s

ζ Wärmenutzungsgrad

...

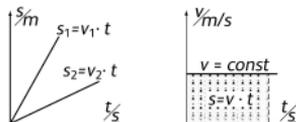
Q Wärmemenge

kJ

Grundlagen der Mechanik

Gleichförmige Bewegung

$$v = \frac{s}{t}$$



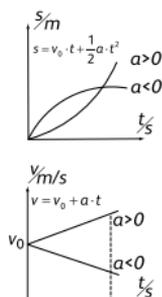
v	Geschwindigkeit	m/s
s	Strecke, Weg	m
t	Zeit	s

Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$a = \frac{v}{t}$$

$$v = v_0 + a \cdot t$$

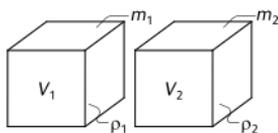
$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$



v	Geschwindigkeit	m/s
v_0	Anfangsgeschwindigkeit	m/s
a	Beschleunigung	m/s ²
s	Strecke, Weg	m
t	Zeit	s

Dichte

$$\rho = \frac{m}{V}$$

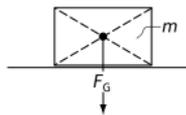


ρ	Dichte	kg/m ³
m	Masse	kg
V	Volumen	m ³

Kraft / Gewichtskraft

$$F = m \cdot a$$

$$F_G = m \cdot g$$



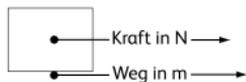
F	Kraft	N
m	Masse	kg
a	Beschleunigung	m/s ²

F_G	Gewichtskraft	N
m	Masse	kg
g	Fallbeschleunigung	m/s ²

wobei
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Arbeit

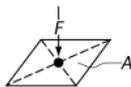
$$W = F \cdot s$$



W	Arbeit	J
F	Kraft	N
s	Weg	m

Druck

$$p = \frac{F}{A}$$



p Druck
 F Kraft
 A Fläche

Pa
N
m²

Umrechnungen Druckeinheiten

Druck	Pa	mbar	kPa	mWS*	bar
Pa	1	0,01	0,001	0,000102	0,00001
mbar	100	1	0,1	0,0102	0,001
kPa	1'000	10	1	0,102	0,01
mWS*	9'810	98,1	9,81	1	0,0981
bar	100'000	1'000	100	10,2	1

*Die Zahlenwerte für die Umrechnung von mWS beziehen sich auf eine Dichte von 1'000 kg/m³.

Energie

Einige Energieformen

Energieform	Gleichung
Lageenergie	$W_L = m \cdot g \cdot h$
Bewegungsenergie	$W_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
Elektrische Energie	$W = P \cdot t$
Thermische Energie	$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$

Notizen

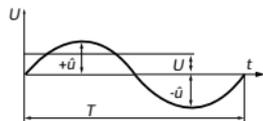
Wechselstrom (AC=Alternating Current)

Effektiv- und Scheitelwert

$$\hat{i} = \sqrt{2} \cdot I \quad I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}} \quad \hat{u} = \sqrt{2} \cdot U \quad U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$$

I	Effektivwert der Stromstärke	A
\hat{i}	Scheitelwert der Stromstärke	A
U	Effektivwert der Spannung	V
\hat{u}	Scheitelwert der Spannung	V
$\sqrt{2}$	Scheitelfaktor 1,414	

Frequenz und Periodendauer



$$f = \frac{1}{T} \quad T = \frac{1}{f}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

f	Frequenz	Hz
T	Periodendauer	s
	Kreisfrequenz	1/s

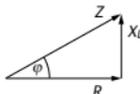
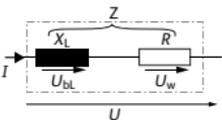
Kapazitiver Blindwiderstand



$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{U_{bc}}{I} \quad C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C}$$

X_C	kapazitiver Blindwiderstand	Ω
f	Frequenz	Hz
C	Kapazität	F
U_{bc}	kapazitive Blindspannung	V
I	Stromstärke	A

Widerstandsdreieck einer Spule



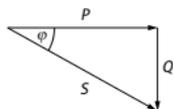
$$Z = \frac{U}{I} \quad R = \frac{U_w}{I} \quad X_L = \frac{U_{bl}}{I}$$

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

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} \quad R = Z \cdot \cos \varphi \quad Z = \frac{R}{\cos \varphi}$$

X_L	induktiver Blindwiderstand	Ω
R	Wirkwiderstand	Ω
Z	Scheinwiderstand	Ω
U_{bl}	induktive Blindspannung	V
U_w	Wirkspannung	V
U	Gesamtspannung	V
I	Stromstärke	A
φ	Phasenverschiebungswinkel	°

Wechselstromleistung



Leistungsfaktor

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Scheinleistung

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{Q}{\sin \varphi}$$

$$S = U \cdot I$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Blindleistungsfaktor

$$\sin \varphi = \frac{Q}{S}$$

Wirkleistung

$$P = S \cdot \cos \varphi$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2}$$

S	Scheinleistung	VA
P	Wirkleistung	W
Q	Blindleistung	var
$\cos \varphi$	Leistungsfaktor	...
$\sin \varphi$	Blindleistungsfaktor	...
I	Stromstärke	A
U	Spannung	V

Blindleistung

$$Q = S \cdot \sin \varphi$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Induktiver Blindwiderstand



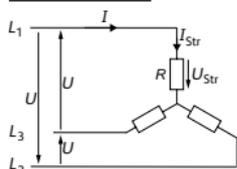
$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = \frac{U_{bl}}{I}$$

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

X_L	induktiver Blindwiderstand	Ω
f	Frequenz	Hz
L	Induktivität	H
U_{bl}	induktive Blindspannung	V
I	Stromstärke	A

Drehstrom

Sternschaltung



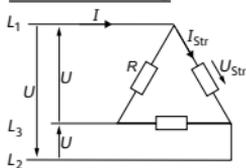
$$U_{Str} = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

$$U = \sqrt{3} \cdot U_{Str}$$

$$I = I_{Str}$$

I	Leiterstrom	A
I_{Str}	Strangstrom	A
U	Leiterspannung (= Netzspannung)	V
U_{Str}	Strangstromspannung	V
R	Strangwiderstand	Ω
$\sqrt{3}$	Verkettungsfaktor 1,73	

Dreieckschaltung



$$I = \sqrt{3} \cdot I_{Str}$$

$$I_{Str} = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

$$U = U_{Str}$$

$$R = \frac{U_{Str}}{I_{Str}}$$

$$I_{Str} = \frac{U_{Str}}{R}$$

$$I_{Str} = \frac{U_{Str}}{R}$$

Drehstromleistung symmetrische Belastung

Scheinleistung

$$S = \sqrt{3} \cdot I \cdot U = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{Q}{\sin \varphi}$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \quad U = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot I} \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Wirkleistung

$$P = S \cdot \cos \varphi = \sqrt{S^2 - Q^2} \quad P = \sqrt{3} \cdot I \cdot U \cdot \cos \varphi$$

Blindleistung

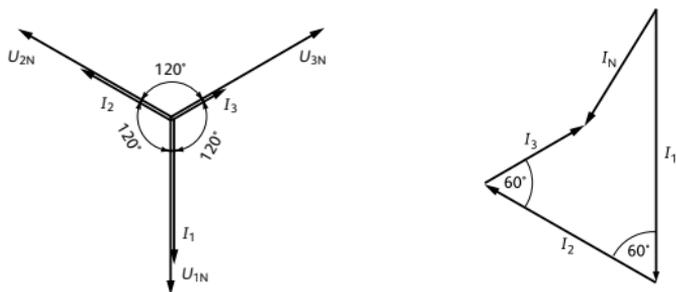
$$Q = S \cdot \sin \varphi = \sqrt{S^2 - P^2} \quad Q = \sqrt{3} \cdot I \cdot U \cdot \sin \varphi$$

Wirkleistung von ohmschen Verbrauchern

$$P_Y = \frac{U^2}{R} \quad P_{\Delta} = 3 \cdot \frac{U^2}{R} \quad P_{\Delta} = 3 \cdot P_Y$$

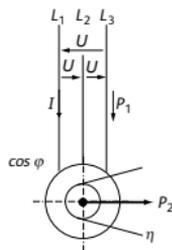
S	Scheinleistung	VA
P	Wirkleistung	W
P_{Δ}	Wirkleistung bei Dreieckschaltung	W
P_Y	Wirkleistung bei Sternschaltung	W
Q	Blindleistung	var
$\cos \varphi$	Leistungsfaktor	...
$\sin \varphi$	Blindleistungsfaktor	...
I	Leiterstrom	A
U	Leiterspannung	V
R	Strangwiderstand	Ω
$\sqrt{3}$	Verkettungsfaktor 1,73	

Konstruktion Neutralleiterstrom (unsymmetrisch ohmsch belastet)



Verbraucher

Drehstrommotoren



$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot I \cdot U \cdot \cos \varphi$$

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot I \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta$$

$$I = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

η	Wirkungsgrad	...
P_1	aufgenommene Leistung	W
P_2	abgegebene Leistung (Nennleistung)	W
$\cos \varphi$	Leistungsfaktor	...
I	Leiterstrom	A
U	Leiterspannung	V
$\sqrt{3}$	Verkettungsfaktor 1,73	

Drehstrommotoren, Drehfeldzahl und Schlupf

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

$$p = \frac{60 \cdot f}{n_s}$$

$$f = \frac{p \cdot n_s}{60}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 \%$$

$$n = n_s \left(1 - \frac{s}{100 \%} \right)$$

f	Frequenz	Hz
n	asynchrone Drehzahl (Läuferdrehzahl)	1/min
n_s	synchrone Drehzahl (Drehfeldzahl)	1/min
p	Polpaarzahl	...
s	Schlupf	%

Transformator (verlustlos)



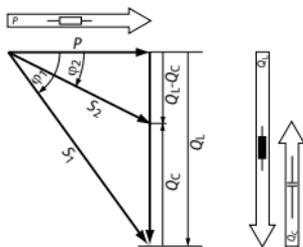
$$\ddot{u} = \frac{U_1}{U_2}$$

$$\ddot{u} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

\ddot{u}	Übersetzungsverhältnis	...
U_1	Eingangsspannung	V
U_2	Ausgangsspannung	V
I_1	Primärstrom	A
I_2	Sekundärstrom	A
N_1	Primärwindungszahl	...
N_2	Sekundärwindungszahl	...

Kompensation (Leistungsfaktorverbesserung)



$$\cos\varphi \rightarrow \varphi \rightarrow \tan\varphi$$

$$Q_C = P \cdot (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

$$C = \frac{Q_C}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2}$$

$$\tan\varphi_1 = \frac{Q_L}{P}$$

$$\tan\varphi_2 = \frac{Q_L - Q_C}{P}$$

Q_C	kapazitive Blindleistung	var
Q_L	induktive Blindleistung	var
P	Wirkleistung	W
S_1	Scheinleistung unkompensiert	VA
S_2	Scheinleistung kompensiert	VA
$\cos\varphi_1$	Leistungsfaktor unkompensiert	...
$\cos\varphi_2$	Leistungsfaktor kompensiert	...
C	Kompensations-Kondensator	F
U	Spannung	V
f	Frequenz	Hz

Beleuchtungstechnik

$$\Phi_N = E_m \cdot A \quad E_m = \frac{\Phi_N}{A}$$

$$\Phi_N = n \cdot \Phi_L \cdot \eta_B$$

Planung für Neuanlagen

$$n = \frac{E_m \cdot A \cdot p_v}{\Phi_L \cdot \eta_B} \quad E_m = \frac{n \cdot \Phi_L \cdot \eta_B}{A \cdot p_v}$$

$$\eta_v = \frac{\Phi_L}{P}$$

$$\eta_B = \eta_R \cdot \eta_{Lo}$$

$$W_F = \frac{1}{p_v}$$

Φ_N	Nutzlichtstrom	lm
E_m	mittlere Beleuchtungsstärke	lx
A	Fläche	m ²
n	Anzahl Lampen	...
Φ_L	Lichtstrom einer Lampe	lm
η_B	Beleuchtungswirkungsgrad	...
p_v	Planungsfaktor	...
η_v	Lichtausbeute	lm/W
P	Leistung einer Lampe	W
η_R	Raumwirkungsgrad	...
η_{Lo}	Leuchten-Betriebswirkungsgrad	...
W_F	Wartungsfaktor	...

Größen und Einheiten

Griechisches Alphabet

Alpha	A	α	Ny	N	v
Beta	B	β	Xi	Ξ	ξ
Gamma	Γ	γ	Omikron	O	o
Delta	Δ	δ	Pi	Π	π
Epsilon	E	ϵ	Rho	ρ	ρ
Zeta	Z	ζ	Sigma	Σ	σ
Eta	H	η	Tau	T	τ
Theta	Θ	θ/ϑ	Ypsilon	Y	υ
Iota	I	ι	Phi	Φ	ϕ
Kappa	K	κ	Chi	X	χ
Lambda	Λ	λ	Psi	Ψ	ψ
My	M	μ	Omega	Ω	ω

Vorsätze

Deka	Hekto	Kilo	Mega	Giga	Tera	Peta
da	h	k	M	G	T	P
10	10 ²	10 ³	10 ⁶	10 ⁹	10 ¹²	10 ¹⁵
10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹	10 ⁻¹²	10 ⁻¹⁵
d	c	m	μ	n	p	f
Dezi	Zenti	Milli	Mikro	Nano	Piko	Femto



Der direkteste Weg um Gebäude effizienter zu machen

Gebäudetechnik, das richtige Studium für Elektro-Fachpersonen, die Ingenieurinnen und Ingenieure werden wollen. Vollzeit oder berufsbegleitend.

Bestellen Sie die Formelsammlung:
www.hslu.ch/formelsammlung