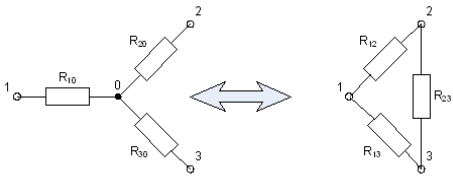
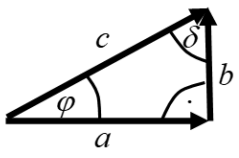


	Formel	Bemerkung	Einheit	Name	Formelzeichen
Potentielle Energie	$E_{pot} = m * g * h$	m...Masse g...Erdbeschleunigung h... Höhe	[kg] [m/s ²] [m]		
Elektr. Ladung	$Q = n * e$	Q...elektr. Ladung [C] n...Anzahl e...Elementar Ladung [C]	[C]	Coulomb	Q
Ladungsbetrag	$Q = \rho * V$ $= e * n * V$ $= e * n * A * v * t$	Q...elektr. Ladung [C] ρ ...Ladungsdichte [C/m ³] e...Elementar Ladung [C bzw. As] n...Ladungsträgerdichte [1/m ³] V...Volumen [m ³] A...Fläche [m ²] v...Strömungsgeschw. [m/s] t...Zeit [s]	[C]	Coulomb	Q
Mittlere Strömungsgeschwindigkeit der freien Elektronen	$v = \frac{I}{e * n * A}$ $I = e * v * n * A$	v...Geschw. [m/s] bzw. As] n...Ladungsträgerdichte [1/m ³] A...Fläche [m ²] I...Stromstärke [A] e...Elementar Ladung[C]	[m/s]		v
Kraft zw. zwei Ladungen	$\vec{F} \propto \frac{Q_1 * Q_2}{d^2}$ $F = \frac{Q_1 * Q_2}{4 * \pi * \epsilon * d^2}$	Q _{1,2} ...Größe der Ladung d...Abstand ϵ ...Parameter Material (Luft, Vakuum, ...)	[N]		F
Elektrische Feldstärke	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}$ $F \propto Q$ $\vec{E} = \rho * \vec{j}$ $E = \frac{U}{l}$	F...Kraft Q...Ladung E...Elektr. Feldstärke ρ ...spez. Widerstand [Ω *m bzw. Ω *mm ² /m] J...Stromdichte [A/mm ²] U...Spannung [V] l...Länge [m]	[V/m]		E
Stromstärke	$I = \frac{Q}{t}$ $I = J * A$ $I = \gamma * \frac{A}{l} * U$	Q...Ladung [C] t...Zeit [s] J...Stromdichte [A/mm ²] A...Fläche [m ²] γ ...Leitfähigkeit [S*m/mm ²] l...Länge [m] U...Spannung [V]	[A]	Ampère	I
Stromdichte	$\vec{j}_i = \frac{I_i}{A_i}$ $I = \Sigma I_i$ $\vec{j} = \gamma * \vec{E}$	J...Stromdichte I...Stromstärke [A] A...Fläche [mm ²] γ ...Leitfähigkeit [S*m/mm ²] E...Elektr. Feldstärke [V/m]	[A/mm ²]		J
Elektrisches Potential	$\varphi = \frac{E}{Q}$	φ ...Potential [V] E...Energieerhalt [J] Q...Ladung [C]	[V]	Volt	φ
Arbeit (mech.: Arbeit = Kraft * Weg; Leistung= Kraft * Geschw.)	$\Delta W = W_{12}$ $= W_1 - W_2$ $= Q * (\varphi_1 - \varphi_2)$ $W = F * l$	W...Arbeit Q...Ladung [C] φ ...Potential [V] F...Kraft [N] l...Weg [m]	[W]	Watt	W

	$W_{12} = \vec{F} * \vec{l}_{12}$ $= Q * \vec{E} * \vec{l}_{12}$ $W_{12} = Q * \varphi_{12}$ $= Q * U$	<p>W₁₂...Arbeit zw. zwei Punkten</p> <p>φ₁₂...Potentialdifferenz</p>			
Spannung	$U = \vec{E} * \vec{l}$ $U = \rho * \frac{l}{A} * I$	<p>U...Spannung [V]</p> <p>E...el. Feldstärke [V/m]</p> <p>l...Länge [m]</p> <p>ρ...spez. Widerstand [Ω*m]</p> <p>l...Länge [m]</p> <p>A...Fläche [m²]</p> <p>I...Stromstärke [A]</p>	[V]	Volt	U
Mech. Leistung	$P = \frac{W}{t}$	<p>W...Arbeit [Joule]</p> <p>t...Zeit [s]</p>	[W]	Watt	P
Elektr. Leistung	$P_{el} = \frac{U * Q}{t} = U * I$	<p>U...Spannung [V]</p> <p>Q...Ladung [C]</p> <p>t...Zeit [s]</p> <p>I...Stromstärke [A]</p>	[W]	Watt	P _{el}
Elektr. Arbeit	$W = Q * U$ $= U * I * t$	<p>W...elektr. Arbeit</p> <p>Q...Ladung [C]</p> <p>U...Spannung [V]</p>	[J]	Joule 1J = 1Ws	
Wirkungsgrad (nie >1)	$\eta = \frac{W_{Nutz}}{W_{ges}} = \frac{P_{Nutz}}{P_{ges}}$ $= \frac{P_{Nutz}}{P_{Nutz} + P_{Verlust}}$ $= \frac{P_{ges} - P_{Verlust}}{P_{ges}}$ $= 1 - \frac{P_{Verlust}}{P_{ges}}$ $\eta_{ges} = \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 \dots$	<p>η...eta</p> <p>W...Arbeit [J]</p> <p>P...Leistung [W]</p>			
Spezifischer Widerstand (rho)	$\rho = \frac{E}{J}$	<p>ρ...spez. Widerstand</p> <p>E...el. Feldstärke [V/m]</p> <p>J...Stromdichte [A/mm²]</p>	[Ω*m bzw. Ω*mm ² /m]		ρ
Leitfähigkeit	$\gamma = \frac{J}{E}$	<p>γ...Leitfähigkeit [S*m/mm²]</p> <p>E...Elektr. Feldstärke [V/m]</p> <p>J...Stromdichte [A/mm²]</p>	[S*m/mm ² bzw. S*m]	S	Siemens
Widerstand	$R = \rho * \frac{l}{A}$	<p>R...Widerstand [Ω]</p> <p>ρ...spez. Widerstand [Ω*m]</p> <p>l...Länge [m]</p> <p>A...Fläche [m²]</p>	[Ω bzw. Volt/Amp ère]	R	Ohm
Leitwert	$G = \gamma * \frac{A}{l}$	<p>G...Leitwert [S]</p> <p>γ...Leitfähigkeit [S*m/mm²]</p> <p>l...Länge [m]</p> <p>A...Fläche [m²]</p>		S	Siemens
Temperaturabhängigkeit α...negativ = Halbleiter α...positiv = Metalle	$\Delta\vartheta = \vartheta - 20^\circ C$ $R_{\vartheta} = R_{20} * (1 + \alpha_{20} * \Delta\vartheta + \beta_{20} * \Delta\vartheta^2 + \gamma_{20} * \Delta\vartheta^3 + \dots)$	<p>ϑ=20°C (Referenztemp.)</p> <p>α...Temperaturkoeffizient ersten Grades [1/K]</p> <p>β...Temperaturkoeffizient ersten Grades [1/K] (meist vernachlässigt)</p>	[Ω]		theta
		<p>P...Leistung [W]</p> <p>U...Spannung [V]</p> <p>I...Stromstärke [A]</p> <p>R...Widerstand [Ω]</p>			

<p>Aus der Mechanik: Kreis: $U = 2 \cdot \pi \cdot r, A = \pi \cdot r^2$ Kugel: $O = 4 \cdot \pi \cdot r^2, V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$ Zentrifugalkraft $F = m \cdot \frac{v^2}{r}$</p>	<p>Potentielle Energie: $W = m \cdot g \cdot h$ Kinetische Energie $W = m \cdot \frac{v^2}{2}$ (auch: $W = J \cdot \frac{\omega^2}{2}$) Arbeit einer Kraft: $W = \int \vec{F} \cdot d\vec{s} \approx F \cdot l$</p>
<p>Stromdichte J / Ladungsträgerbewegung (ρ...Ladungsträgerdichte)</p>	<p>$\vec{j} = e_0 \cdot (\rho_+ \vec{v}_+ - \rho_- \vec{v}_-)$</p>
<p>Ladungsträgerbeweglichkeit b und Leitfähigkeit γ</p>	<p>$\vec{v} = b \cdot \vec{E}$, daher: $\gamma = e_0 \cdot (\rho_+ b_+ - \rho_- b_-)$</p>
<p>Modellierte Temperaturabhängigkeit</p>	<p>$R_{\vartheta} = R_{Ref} \cdot (1 + \alpha_{Ref} \Delta\vartheta + \beta_{Ref} \Delta\vartheta^2 + \dots)$</p>
	<p>$R_{10} = \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{12} + R_{23} + R_{13}}$ $R_{20} = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{13}}$ $R_{30} = \frac{R_{13} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{13}}$ $G_{12} = \frac{G_{10} \cdot G_{20}}{G_{10} + G_{20} + G_{30}}$ $G_{13} = \frac{G_{10} \cdot G_{30}}{G_{10} + G_{20} + G_{30}}$ $G_{23} = \frac{G_{20} \cdot G_{30}}{G_{10} + G_{20} + G_{30}}$ $\rightarrow R_{12} = \frac{R_{10} \cdot R_{20}}{R_{10}} + \frac{R_{10} \cdot R_{20}}{R_{20}} + \frac{R_{10} \cdot R_{20}}{R_{30}} = R_{10} + R_{20} + \frac{R_{10} \cdot R_{20}}{R_{30}}$ u.s.w</p>
<p>div. trigonometrische Sätze: $\sin(2\alpha) = 2 \sin(\alpha) \cos(\alpha)$ $\cos(2\alpha) = 1 - 2 \sin^2(\alpha)$</p>	<p>$\sin^2(\alpha) = \frac{1}{2} [1 - \cos(2\alpha)]$ $\cos^2(\alpha) = \frac{1}{2} [1 + \cos(2\alpha)]$ $\sin(\alpha) \sin(\beta) = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)]$ $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha) = 1$</p>
<p>Euler - Beziehung:</p>	<p>$e^{ix} = \cos(x) + i \cdot \sin(x)$ $e^{ix} \equiv 1$</p>
<p>Verhältnisse im rechtwinkligen Dreieck</p> 	<p>$a^2 + b^2 = c^2$ $a = c \cdot \cos(\varphi)$ $b = c \cdot \sin(\varphi)$ $\frac{b}{a} = \tan(\varphi)$ $a = c \cdot \sin(\delta)$ $b = c \cdot \cos(\delta)$ $\frac{a}{b} = \tan(\delta)$</p>
<p>Flächen- und Volumenelemente in Koordinatensystemen: kartesisch, zylindrisch, Kugelkoordinaten</p>	<p>$dA = dx \cdot dy = r \cdot d\varphi \cdot dr = r^2 \cdot \sin(\theta) \cdot d\varphi \cdot d\theta$ $dV = dx \cdot dy \cdot dz = r d\varphi \cdot dr \cdot dz = r^2 \cdot \sin(\theta) \cdot dr \cdot d\varphi \cdot d\theta$</p>
<p>Mittelwert x(t) periodisch mit Periode T RMS</p>	<p>$\bar{x} = \frac{1}{T} \int x(t) \cdot dt$ $X = \sqrt{\frac{1}{T} \int x^2(t) \cdot dt}$</p>
<p>Gewichtskraft Masse Masse bei Volumenstrom qv Wärmemenge W zur Erwärmung einer Masse</p>	<p>$G = m \cdot g$ $m = V \cdot \rho$ $m = qv \cdot t \cdot \rho$ $W = m \cdot c \cdot \Delta\vartheta$</p>

1. Wichtige Beziehungen

<p>Aus der Mechanik: Kreis: $U = 2 \cdot \pi \cdot r, A = \pi \cdot r^2$ Kugel: $O = 4 \cdot \pi \cdot r^2, V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$ Zentrifugalkraft $F = m \cdot \frac{v^2}{r}$</p>	<p>Potentielle Energie: $W = m \cdot g \cdot h$ Kinetische Energie $W = m \cdot \frac{v^2}{2}$ (auch: $W = J \cdot \frac{\omega^2}{2}$) Arbeit einer Kraft: $W = \int \vec{F} \cdot d\vec{s} \approx F \cdot l$</p>
<p>Stromdichte J / Ladungsträgerbewegung (ρ...Ladungsträgerdichte)</p>	<p>$\vec{j} = e_0 \cdot (\rho_+ \vec{v}_+ - \rho_- \vec{v}_-)$</p>
<p>Ladungsträgerbeweglichkeit b und Leitfähigkeit γ</p>	<p>$\vec{v} = b \cdot \vec{E}$, daher: $\gamma = e_0 \cdot (\rho_+ b_+ - \rho_- b_-)$</p>
<p>Modellierte Temperaturabhängigkeit</p>	<p>$R_\vartheta = R_{Ref} \cdot (1 + \alpha_{Ref} \Delta\vartheta + \beta_{Ref} \Delta\vartheta^2 + \dots)$</p>
	<p>$R_{10} = \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{12} + R_{23} + R_{13}}$ $R_{20} = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{13}}$ $R_{30} = \frac{R_{13} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{13}}$ $G_{12} = \frac{G_{10} \cdot G_{20}}{G_{10} + G_{20} + G_{30}}$ $G_{13} = \frac{G_{10} \cdot G_{30}}{G_{10} + G_{20} + G_{30}}$ $G_{23} = \frac{G_{20} \cdot G_{30}}{G_{10} + G_{20} + G_{30}}$ $\rightarrow R_{12} = \frac{R_{10} \cdot R_{20}}{R_{10}} + \frac{R_{10} \cdot R_{20}}{R_{20}} + \frac{R_{10} \cdot R_{20}}{R_{30}} = R_{10} + R_{20} + \frac{R_{10} \cdot R_{20}}{R_{30}}$ u.s.w</p>
<p>div. trigonometrische Sätze: $\sin(2\alpha) = 2 \sin(\alpha) \cos(\alpha)$ $\cos(2\alpha) = 1 - 2 \sin^2(\alpha)$</p>	<p>$\sin^2(\alpha) = \frac{1}{2} [1 - \cos(2\alpha)]$ $\cos^2(\alpha) = \frac{1}{2} [1 + \cos(2\alpha)]$ $\sin(\alpha) \sin(\beta) = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)]$ $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha) = 1$</p>
<p>Euler - Beziehung:</p>	<p>$e^{ix} = \cos(x) + i \cdot \sin(x)$ $e^{ix} \equiv 1$</p>
<p>Verhältnisse im rechtwinkligen Dreieck</p>	<p>$a^2 + b^2 = c^2$ $a = c \cdot \cos(\varphi)$ $b = c \cdot \sin(\varphi)$ $\frac{b}{a} = \tan(\varphi)$ $a = c \cdot \sin(\delta)$ $b = c \cdot \cos(\delta)$ $\frac{a}{b} = \tan(\delta)$</p>
<p>Flächen- und Volumenelemente in Koordinatensystemen: kartesisch, zylindrisch, Kugelkoordinaten</p>	<p>$dA = dx \cdot dy = r \cdot d\varphi \cdot dr = r^2 \cdot \sin(\theta) \cdot d\varphi \cdot d\theta$ $dV = dx \cdot dy \cdot dz = r d\varphi \cdot dr \cdot dz = r^2 \cdot \sin(\theta) \cdot dr \cdot d\varphi \cdot d\theta$</p>
<p>Mittelwert x(t) periodisch mit Periode T RMS</p>	<p>$\bar{x} = \frac{1}{T} \int x(t) \cdot dt$ $X = \sqrt{\frac{1}{T} \int x^2(t) \cdot dt}$</p>

Maxwell - Gleichungen in Integraler Form:	Bei Hüllintegralen gilt: A = Oberfläche des Volumens V, bei geschlossenen Wegintegralen gilt: s = Umrandung der Fläche A
Ströme (Ladungsträgerbewegung + Verschiebungsströme) sind die Ursache des Magnetfeldes	$\oint \vec{H} \cdot d\vec{s} = \iint \vec{j} \cdot d\vec{A} + \frac{\partial}{\partial t} \iint \vec{D} \cdot d\vec{A}$
Jede zeitliche Änderung des magnetischen Feldes führt zu einem elektrischen Feld	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{\partial}{\partial t} \iint \vec{B} \cdot d\vec{A}$
Jede elektrische Ladung erzeugt ein elektrisches Feld	$\oiint \vec{D} \cdot d\vec{A} = Q = \iiint \rho \cdot dV$
Das magnetische Feld hat keine Quellen	$\oiint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$
Materialgleichungen	$\vec{j} = \gamma \vec{E} \quad \vec{D} = \epsilon_r \epsilon_0 \vec{E} \quad \vec{B} = \mu_r \mu_0 \vec{H}$

Potential/Spannung im elektrischen Feld	$\varphi = \int \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad U = \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{s}$
Elektrischer Fluss / Hüllfluss	$\Psi = \iint \vec{D} \cdot d\vec{A} \quad Q = \oiint \vec{D} \cdot d\vec{A}$
Strömungsfeld: Stromstärke	$I = \iint \vec{j} \cdot d\vec{A}$
Magnetischer Fluss	$\Phi = \iint \vec{B} \cdot d\vec{A}$
Leistungsdichte S und Leistung im Strömungsfeld	$S = \vec{E} \cdot \vec{j} \quad P = \iiint S \cdot dV$
Magnetische Spannung / Durchflutung	$V_m = \int \vec{H} \cdot d\vec{s} \quad \Theta = \oint \vec{H} \cdot d\vec{s} \dots \text{Spule: } \Theta = N \cdot I$
Magnetischer Leitwert / Widerstand	$\Lambda = \frac{1}{R_m} = \frac{\Phi}{\Theta}$
Magnetfeld bewegter Ladungen / Ströme (Gesetz von Biot -Savart)	$\vec{H} = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^3} \cdot (\vec{v} \times \vec{r}) \quad d\vec{H} = \frac{I}{4 \cdot \pi \cdot r^3} (d\vec{l} \times \vec{r}) \quad \text{da } \vec{v} = \frac{d\vec{l}}{dt}$
Energiedichte w _m und Energie W _m im magnetischen Feld	$w_m = \vec{H} \cdot \vec{B} \quad W_m = \iiint w_m \cdot dV$
Kraft auf Ladungen / Stromstärke	$\vec{F} = I \int d\vec{s} \times \vec{B} \quad \vec{F} = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B}) + Q \cdot \vec{E}$

2. Einheitenvorsätze

Name	Zeichen	Faktor		Name	Zeichen	Faktor
Yotta	Y	10 ²⁴	Quadrillion / Quadrillionstel			
Zetta	Z	10 ²¹	Trilliarde / Trilliardstel	Zepto	z	10 ⁻²¹
Exxa	E	10 ¹⁸	Trillion / Trillionstels	Atto	a	10 ⁻¹⁸
Peta	P	10 ¹⁵	Billiarde / Billiardstel	Femto	f	10 ⁻¹⁵
Tera	T	10 ¹²	Billion / Billionstel	Pico	p	10 ⁻¹²
Giga	G	10 ⁹	Milliarde / Milliardstel	Nano	n	10 ⁻⁹
Mega	M	10 ⁶	Million / Millionstel	Mikro	μ	10 ⁻⁶
Kilo	k	10 ³	Tausend / Tausendstel	Milli	m	10 ⁻³
Hekto	h	10 ²	Hundert / Hundertstel	Zenti	c	10 ⁻²
Deka	da	10 ¹	Zehn / Zehntel	Dezi	d	10 ⁻¹

3. Physikalische Konstanten sowie SI Grundeinheiten (ab 2018)

Konstante	Wert	Anzahl Stellen, SI Basiseinheit
Frequenz der Strahlung des Caesium-Atoms	$\Delta\nu_{Cs} = 9\,192\,631\,770\text{ Hz}$	10 -> Zeit t [s]
Lichtgeschwindigkeit im leeren Raum	$c_0 = 299\,792\,458\text{ m/s}$	9 -> Länge l [m]
Plancksches Wirkungsquantum	$h = 6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}\text{ Js}$	9 -> Masse m [kg]
Elementarladung	$e_0 = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}\text{ C}$	10 -> Stromstärke I [A]
Boltzmann - Konstante	$k = 1,380\,649 \cdot 10^{-23}\text{ J / K}$	7 -> Temperatur T [K]
Avogadro - Konstante	$N_A = 6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}\text{ /mol}$	9 -> Stoffmenge n [mol]
Photometrisches Strahlungsäquivalent	$K_{cd} = 683\text{ lm/W}$	3 -> Lichtstärke I _v [cd]
Ruhemasse des Elektrons	$m_e = 9,109\,534 \cdot 10^{-31}\text{ kg}$	7
Ruhemasse des Protons	$m_p = 1,672\,648\,5 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$	8
Magnetische Feldkonstante	$\mu_0 = 1,256\,637\,061\,121\,9 \cdot 10^{-6}\text{ Vs/(Am)}$	10 ca. $4\pi \cdot 10^{-7}\text{ Vs/(Am)}$
Elektrische Feldkonstante	$\epsilon_0 = 8,854\,187\,812\,813 \cdot 10^{-12}\text{ As/(Vm)}$	10 es gilt: $(\mu_0 \cdot \epsilon_0)^{-1} = c_0^2$
Stefan-Boltzmann Konstante	$\sigma = 5,670\,374\,419 \cdot 10^{-8}\text{ W/(m}^2\text{K}^4\text{)}$	10
Erdbeschleunigung (Mitteleuropa)	$g = 9,81\text{ m/s}^2$ (zw. 9,78 ... 9,8322)	Abnahme pro m Höhe: $-3,1\mu\text{m/s}^2$

abgeleitete Größen mit Einheit	Symbol	Einheit	Zeichen	wichtige Beziehungen
Ebener Winkel	φ	Radian	rad	rad = m/m ; Φ [Grad] = φ [rad] * 360 / 2π
Raumwinkel	Ω	Steradian	sr	sr = m ² / m ²
Druck, mechanische Spannung	p	Pascal	Pa	Pa = kg / s ² *m = N/m ²
Kraft	F	Newton	N	N = kg * m / s ²
Arbeit, Energiemenge	W, E	Joule	J	J = kg * m ² / s ² = Nm = Ws = As * V
Leistung, Energiestrom	P	Watt	W	W = kg * m ² / s ³ = N * m/s = J/s = V*A
Frequenz	f	Hertz	Hz	Hz = s ⁻¹
Elektrische Ladungsmenge	Q	Coulomb	C	C = As
Elektrische Spannung	U	Volt	V	V = kg * m ² / s ³ *A = W/A = J / C
Elektrische Kapazität	C	Farad	F	F = A ² * s ⁴ / kg * m ² = C / V
Elektrischer Widerstand	R	Ohm	Ω	Ω = kg * m ² / s ³ * A ² = V / A
Elektrischer Leitwert	G	Siemens	S	S = Ω ⁻¹ = s ³ * A ² / kg * m ² = A / V
Magnetischer Fluss	Φ	Weber	Wb	Wb = kg * m ² / s ² * A = Vs
Magnetische Flussdichte	B	Tesla	T	T = kg / s ² * A = Wb/m ²
Induktivität	L	Henry	H	H = kg * m ² / s ² * A ² = Wb / A
Temperatur (Celsius)	T	Grad	°C	°C 0°C = 273,15 K, 100°C = 373,15K
Lichtstrom	Φ	Lumen	lm	lm = cd * sr
Beleuchtungsstärke	E	Lux	lx	lx = cd * sr / m ² = lm / m ²