

1.4 Umrechnungstabellen

Druck, Festigkeit

	Pa	bar	N/mm ²	kp/m ²	kp/cm ² at	atm	Torr
1 Pa = (= 1 N/m ²)	1	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	0,102	$0,102 \cdot 10^{-4}$	$0,987 \cdot 10^{-5}$	0,0075
1 bar	100 000 = 10 ⁵	1	0,1	10 200	1,02	0,987	750
1 N/mm ² =	10 ⁶	10	1	102 000	10,2	9,87	7 500
1 kp/m ² =	9,81	$9,81 \cdot 10^{-5}$	$9,81 \cdot 10^{-6}$	1	10 ⁻⁴	$0,968 \cdot 10^{-4}$	0,073 6
1 kp/cm ² = (= 1 at)	98 100	0,981	0,098 1	10 000	1	0,968	736
1 atm = (= 760 Torr)	101 325	1,013	0,101 3	10 330	1,033	1	760
1 Torr = $\left(= \frac{1}{760} \text{ atm} \right)$	133	0,001 33	$1,33 \cdot 10^{-4}$	13,6	0,001 36	0,001 32	1

Energie, Arbeit, Wärmemenge

	J	kJ	kWh	kcal	PSh	kp m
1 J = (= 1 Nm = 1 Ws)	1	0,001	$2,78 \cdot 10^{-7}$	$2,39 \cdot 10^{-4}$	$3,77 \cdot 10^{-7}$	0,102
1 kJ =	1 000	1	$2,78 \cdot 10^{-4}$	0,239	$3,77 \cdot 10^{-4}$	102
1 kWh =	3 600 000	3 600	1	860	1,36	3 670 000
1 kcal =	4 200	4,2	0,001 16	1	0,001 58	427
1 PSh =	2 650 000	2 650	0,736	632	1	270 000
1 kpm =	9,81	0,009 81	$2,72 \cdot 10^{-6}$	0,002 34	$3,7 \cdot 10^{-6}$	1

Leistung, Energiestrom, Wärmestrom

	W	kW	kcal/s	kcal/h	kp m/s	PS
1 W = (= 1 Nm/s = 1 J/s)	1	0,001	$2,39 \cdot 10^{-4}$	0,860	0,102	0,001 36
1 kW =	1 000	1	0,239	860	102	1,36
1 kcal/s =	4 190	4,19	1	3 600	427	5,69
1 kcal/h =	1,16	0,001 16	$\frac{1}{3 600}$	1	0,119	0,001 58
1 kp m/s =	9,81	0,009 81	0,002 34	8,43	1	0,013 3
1 PS =	736	0,736	0,176	632	75	1

1 kW = 3 412 BTU/h 1 ton of refrigeration = 3,5 kW

Temperatur

	°C (Celsius)	K (Kelvin)	°F (Fahrenheit)
°C (Celsius)	1	$K = X_c + 273,15$	$^{\circ}\text{F} = \frac{x_c}{0,56} + 32$
K (Kelvin)	$^{\circ}\text{C} = X_k - 273,15$	1	$^{\circ}\text{F} = \frac{(x_k - 273,15)}{0,56} + 32$
°F (Fahrenheit)	$^{\circ}\text{C} = 0,56 (X_f - 32)$	$K = [0,56 (X_f - 32) + 273,15]$	

Dichte

	kg/l	kg/m ³	pound per cubic inch lb/in ³
1 kg/l	1	1 000	0,036 13
1 kg/m ³	0,001	1	$0,036 13 \cdot 10^{-3}$
1 lb/in ³	27,679 7	27 679,7	1
1 lb/ft ³	0,01602	16,02	$0,578 7 \cdot 10^{-3}$
1 lb/yd ³	$0,593 27 \cdot 10^{-3}$	0,593 27	$0,214 3 \cdot 10^{-4}$
1 lb/gal (Imp)	0,099 78	99,78	$0,360 5 \cdot 10^{-2}$
1 lb/gal (U. S.)	0,119 8	119,8	$0,432 9 \cdot 10^{-2}$

Entropie-Differenz, Spezifische Wärmekapazität

Δs	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{Btu}}{\text{pound } ^\circ\text{F}}$
1 kJ/kg K	1	0,239	0,239
1 kcal/kg $^\circ\text{C}$	4,19	1	1
1 Btu/lb $^\circ\text{F}$	4,19	1	1

Wärmedurchgangskoeffizient, Wärmeübergangskoeffizient

k, α	$\frac{\text{J}}{\text{m}^2 \text{ s K}} = \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \text{ h K}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{Btu}}{\text{sq. ft. h } ^\circ\text{F}}$
$1 \text{ J/m}^2 \text{ s K} = \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$	1	3,60	0,860	0,176 1
1 kJ/m ² h K	0,278	1	0,239	0,048 9
1 kcal/m ² h $^\circ\text{C}$	1,163	4,1868	1	0,2050
1 Btu/ft ² h $^\circ\text{F}$	5,680	20,40	4,880	1

$$\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \text{ s } ^\circ\text{C}} = 41,868 \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \text{ s K}} = 150,700 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \text{ h K}} = 36\,000 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}} = 7\,380 \frac{\text{Btu}}{\text{sq. ft. h } ^\circ\text{F}}$$

Wärmeleitkoeffizient

λ	$\frac{\text{J}}{\text{m s K}} = \frac{\text{W}}{\text{m h K}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{m h K}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m h } ^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{Btu}}{\text{ft. h } ^\circ\text{F}}$	$\frac{\text{Btu in}}{\text{sq. ft. h } ^\circ\text{F}}$
$1 \text{ J/m s K} = \frac{\text{W}}{\text{m K}}$	1	3,60	0,860	0,578	6,94
1 kJ/m h K	0,278	1	0,239	0,1605	1,926
1 kcal/m h $^\circ\text{C}$	1,163	4,19	1	0,6719	8,064
1 Btu/ft. h $^\circ\text{F}$	1,730	6,23	1,488	1	12
1 Btu in/ft ² h $^\circ\text{F}$	0,144	0,519	0,124	0,0833	1

$$1 \frac{\text{cal}}{\text{cm s } ^\circ\text{C}} = 41\,868 \frac{\text{J}}{\text{m s K}} = 1,507 \frac{\text{kJ}}{\text{m h K}} = 360 \frac{\text{kcal}}{\text{m h } ^\circ\text{C}} = 242 \frac{\text{Btu}}{\text{ft. h } ^\circ\text{F}} = 2\,900 \frac{\text{Btu in}}{\text{sq. ft. h } ^\circ\text{F}}$$

Enthalpie-Differenz, Latente Wärme

Δh	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{Btu}}{\text{pound}}$
1 kJ/kg	1	0,239	0,43
1 kcal/kg	4,19	1	1,80
1 Btu/lb	2,33	0,556	1

$1 \frac{\text{cal}}{\text{g}} = \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$

Strahlungskoeffizient, Strahlungsfaktor, Strahlungskonstante

	$\frac{\text{J}}{\text{m}^2 \text{ s (K)}^4} = \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ h (K)}^4}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \text{ h (K)}^4}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h (K)}^4}$	$\frac{\text{Btu}}{\text{sq. ft. h (°R)}^4}$
$1 \text{ J/m}^2 \text{ s (K)}^4 = \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ (K)}^4}$	1	3,60	0,860	0,030 2
1 kJ/m ² h (K) ⁴	0,278	1	0,239	0,008 4
1 kcal/m ² h (K) ⁴	1,163	4,186 8	1	0,035 1
1 Btu/ft ² h (°R) ⁴	33,1	119,2	28,5	1

Wärmeübertragung

Wärmemenge je Flächeneinheit	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2}$	$\frac{\text{Btu}}{\text{sq. in}}$	$\frac{\text{Btu}}{\text{sq. ft.}}$
1 kcal/m ²	1	$2,560 \cdot 10^{-3}$	0,36
1 Btu/sq. in	390,6	1	144
1 Btu/sq. ft	2,71	$6,944 \cdot 10^{-3}$	1

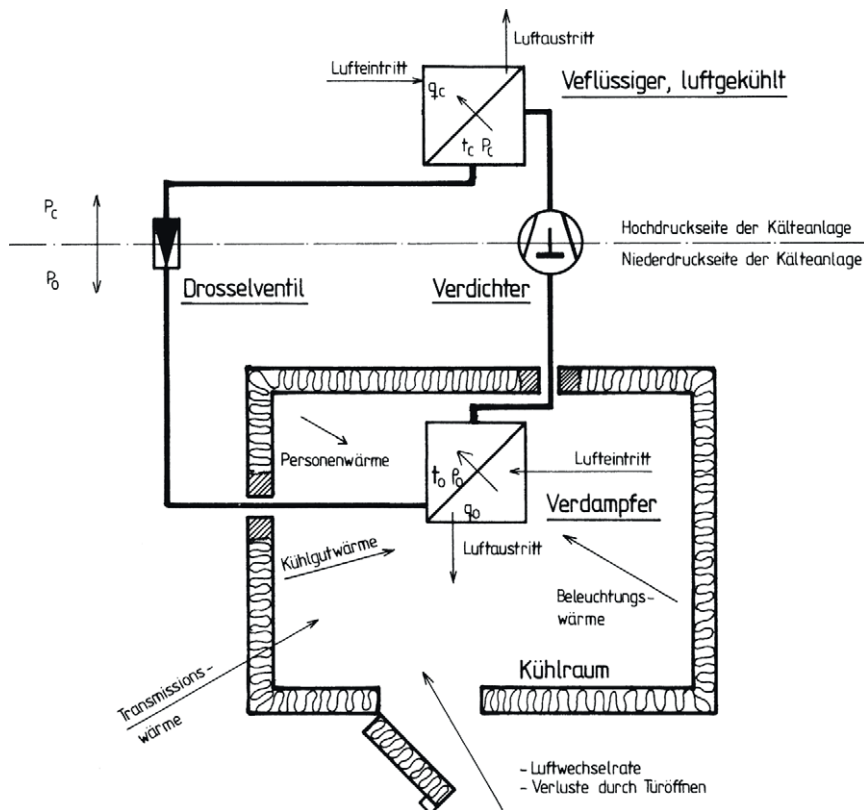
Geschwindigkeit

	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\frac{\text{ft}}{\text{s}}$	$\frac{\text{ft}}{\text{min}}$	$\frac{\text{km}}{\text{h}}$
1 m/s	1	3,28	196,8	3,60
1 ft/s	0,305	1	60	1,097
1 ft/min	0,005 08	0,016 7	1	0,018 3
1 km/h	0,278	0,911	54,7	1

5 Der Arbeitsprozess zur Kälteerzeugung im T,s-Diagramm und im log p,h-Diagramm

Kälteanlagen sind Anlagen, die unter Verwendung von Kältemitteln einem Stoff oder einem Raum Wärme entziehen und kühlen.

Kälteanlagen arbeiten mit Kältemitteln, die in einem geschlossenen Kreislauf bewegt werden. Das Kältemittel ändert bei der Zirkulation durch die Kälteanlage seinen Aggregatzustand, wobei es einerseits seiner Umgebung Wärme entzieht und verdampft und andererseits durch Abgabe der Wärme wieder verflüssigt wird.



5.1 Der Carnot'sche Kreisprozess als idealer Vergleichsprozess im T,s-Diagramm

Bezogen auf ein kg umlaufendes Kältemittel ergibt sich:

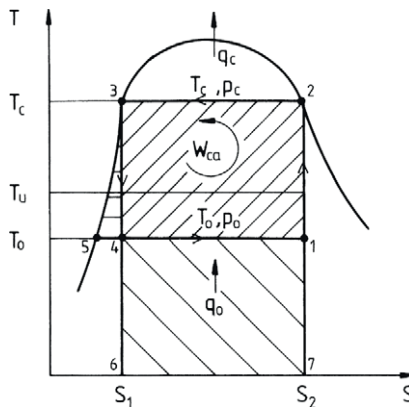
die aufgenommene Wärmemenge: $q_0 = T_0 \cdot (s_2 - s_1)$; Fläche 1 – 4 – 6 – 7 – 1

die abgeführte Wärmemenge: $q_c = T_c \cdot (s_2 - s_1)$; Fläche 2 – 3 – 6 – 7 – 2

die erforderliche Arbeit: $w_{ca} = q_c - q_0 = (T_c - T_0) \cdot (s_2 - s_1)$; Fläche 1 – 2 – 3 – 4 – 1

Expansionsarbeit: Fläche 3 – 5 – 4 – 3

Die **Leistungsziffer** ε_{ca} resultiert nun aus dem Verhältnis von Nutzen und Aufwand mit:



$$\varepsilon_{ca} = \frac{q_0}{w_{ca}} = \frac{T_0 \cdot (s_2 - s_1)}{(T_c - T_0) \cdot (s_2 - s_1)} = \frac{T_0}{T_c - T_0}$$

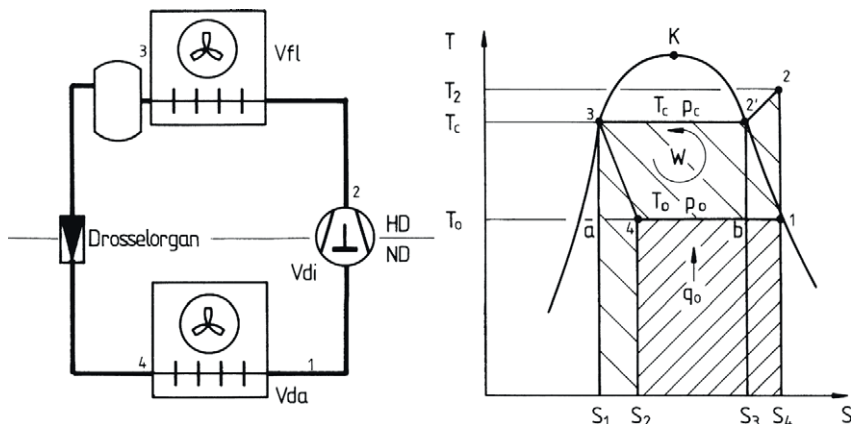
5.2 Der theoretische Vergleichsprozess im T,s-Diagramm

Der Carnot-Prozess als idealer Kreisprozess zwischen zwei Isothermen und zwei Adiabaten liefert mit ε_{ca} zwar die größte theoretische Leistungsziffer, sie ist aber nicht realisierbar, weil weder die Kompression noch die Expansion isentrop verlaufen.

Zur Veranschaulichung der realen, tatsächlichen Gegebenheiten wird die Darstellung des Kreisprozesses erweitert.

Die Drosselung vom Verflüssigungsdruck p_c auf den Verdampfungsdruck p_0 erfolgt durch das Expansionsventil, wobei die Isentrope durch eine Isenthalpe ersetzt wird, weil der Drosselvorgang bei $h = \text{const.}$ verläuft (Punkt 3 $\rightarrow$ 4).

Die Verdichtung von Nassdampf ist unerwünscht, sodass der Verdichtungsbeginn auf die rechte Grenzkurve gelegt wird (von b nach 1).



Bezogen auf 1 kg umlaufendes Kältemittel ergibt sich Folgendes:

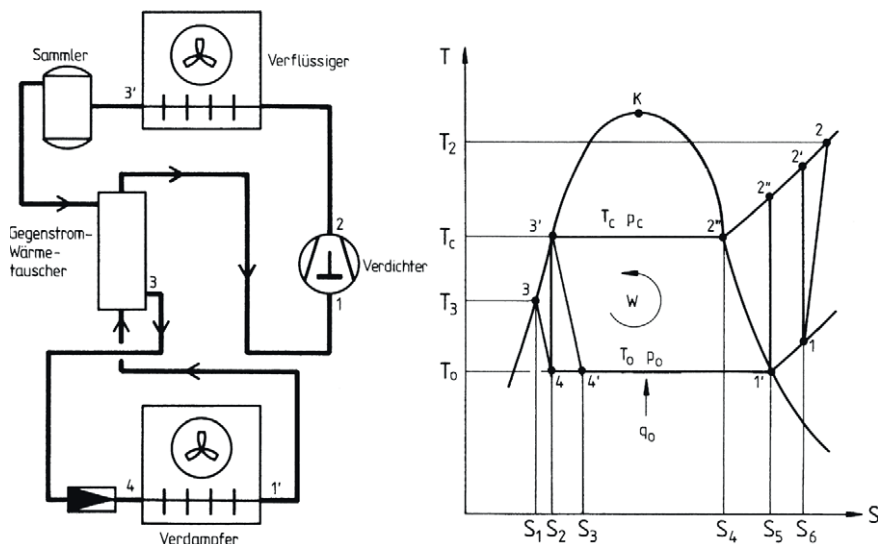
die aufgenommene Wärmemenge: Fläche 1 - 4 - s_2 - s_4 - 1

die abgeführte Wärmemenge: Fläche 2 - 3 - s_1 - s_4 - 2

die erforderliche Arbeit: Fläche 2 - 3 - s_1 - s_2 - 4 - 1 - 2

5.3 Der praktische Vergleichsprozess im T,s-Diagramm

Das nachfolgend gezeigte RI-Fließbild zeigt den Kältekreislauf mit eingebautem Sauggaswärmübertrager. Im Gegenstrom geführt, wird das verflüssigte Kältemittel unterkühlt und das Sauggas um den gleichen Enthalpiebetrag überhitzt.



Bezogen auf 1 kg umlaufendes Kältemittel ergibt sich:

die aufgenommene Wärmemenge: Fläche $1 - 4 - s_2 - s_6 - 1$

die abgeführte Wärmemenge: Fläche $2 - 3 - s_1 - s_6 - 2$

die erforderliche Arbeit: Fläche $2 - 3 - s_1 - s_2 - 4 - 1 - 2$

Leistungsziffern:

Kreisprozesse:

$$\varepsilon_{ca} = \frac{T_0}{T_c - T_0} = \varepsilon_{\max}$$

ideal, verlustfrei; nicht kältemittelabhängig; nur von T_0 und T_c bestimmt

$$\varepsilon_{is} = \frac{q_0}{w_{is}}$$

verlustbehaftet durch Drosselung; isentrope Verdichtung von trocken-gesättigtem Dampf

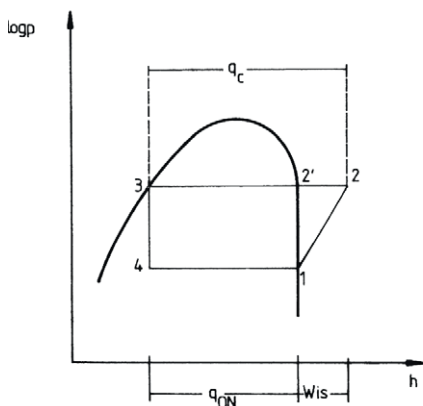
$$\varepsilon_i = \frac{q_0}{w_i}$$

verlustbehaftet durch Drosselung; polytrope Verdichtung von überhitztem Dampf; Kältemittelunterkühlung

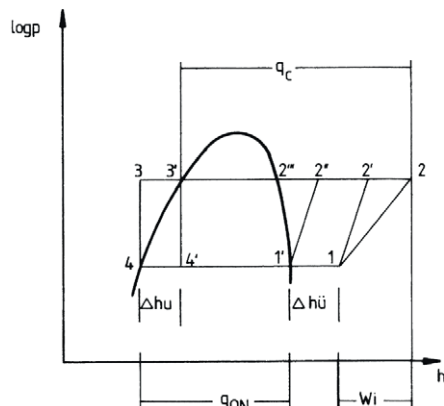
5.4 Darstellung des theoretischen und des praktischen Vergleichsprozesses im log p,h-Diagramm

Das Temperatur-Entropiediagramm veranschaulicht den Kälte-Kreisprozess insofern deutlich, als die zu- bzw. abgeführten Wärmemengen als Flächen im Diagramm erscheinen.

theoretischer Vergleichsprozess:



praktischer Vergleichsprozess:



In der kältetechnischen Praxis wird aber häufig dem log p,h-Diagramm der Vorzug gegeben, weil die Werte der spezifischen Enthalpie z. B. zur Berechnung des spezifischen Nutzkaltegewinns $q_{0N} = h_1' - h_4$ unmittelbar abgelesen werden können. Zu- bzw. abgeführte Wärmemengen erscheinen im log p,h-Diagramm als Strecken.

Kühlgut	Temperatur °C	relative Luftfeuchte %
Pflanzen und Blumen		
Erdbeerpflanzen	-2/-3	85
Flieder und Maiblumen	-4/-6	80
Lilien und Gladiolen	-4	80
Rosen	-1/-3	90
Treibsträucher	-1/-3	-
Funkia, Spirea	-4/-6	-
Hortensia	-2/-3	-
Tabak, gegen tierische Eindringlinge	-4/-10	-
Schnittblumen	+2	85
Farnkräuter	-2	-
Heckenrosen	0	-
Pelz- und Wollwaren		
Seidenzucht-Kokons, lebend gelagert	0/+4	-
Seidenzucht-Kokons, abtöten	-15/-20	-
Schmuckfedern	-2/+2	-
Pelzwaren	-2/+2	90
Wollwaren	+2/+5	80
Häute	+1/+2	95
Brot, Mehl und anderes		
Brot	+8/+10	-
Brot (Vermeidung von altbacken werden)	-25/-30	-
Mehl	+2/+4	-
Honig	+7/+10	-
Teigwaren	+8/+10	-
fertige Backwaren	+6/+8	-
Schokoladen-Lagerraum	+4/+6	-
Haferflocken, Reis, Buchweizen	+6/+6	-
Getreide, trocken; Ahorn-Sirup	+7/+7	-
Weine und Säfte		
Rhein- und Mosel-Wein	+6/+10	-
Bordeaux- und Burgunder-Weine	+10/+14	-
schwere Weine	+10/+18	-
Apfelwein	0/+1	-
Traubenmost	0/+1	90
Sirup	+7	-
Schnäpse	+3	-

Kühlgut	Temperatur °C	relative Luftfeuchte %
Verschiedenes		
Restaurationskühlräume	+2/+4	80–85
Schauvittrinen	+6/+8	–
Eiskrem-Härteraum	–25/–30	–
Kunsteis-Lageraum	–4/–6	–
Speiseeis-Konservator	–8/–12	–
künstlicher Eisbahnraum	+15	–
künstliche Eisbahn, Eis selbst	–5	–
Kriegsschiffe, Munitionsraum	+30/+38	–
Leichen-Entkleideraum	+10	–
Leichen-Pritschenraum	–5	–
Leichen-Gefrierzellen	–20	–
Leichen-Schauzellen	–5/0	–
Bücher in Bibliotheken	+18/+24	55–65
Filme	–8	–
Filmpapier	+8	–
Zigarren	+20/+22	60–70

7.5 Gefrierpunkte von Lebensmitteln und Blumen in °C

Fleisch	–1,0
Blut	–0,55
Fische	
Aale, Schollen	–0,95
Austern, Hummer	–2,0
Blaufisch	–1,0
Kabeljau	–1,05
Rochen	–1,95 bis –2,05
Schellfisch	–1,0
Steinbutt, Heilbutt	–0,9
Eier	
Eigelb	–0,54
Eiweiß	–0,45

Teil III: Elektrotechnik

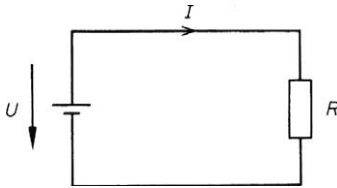
19 Formeln

19.1 Grundlagen

19.1.1 Formelzeichen und Einheiten der Elektrotechnik (Auszug)

Formelzeichen	Bedeutung	Einheitenzeichen	Bemerkung
Q	elektrische Ladung	C	Coulomb, $1\text{ C} = 1\text{ As}$
U	elektrische Spannung	V	Volt, 1 V
C	elektrische Kapazität	F	Farad, $1\text{ F} = \frac{\text{As}}{\text{V}}$
I	elektrische Stromstärke	A	Ampere
S	elektrische Stromdichte	$\frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$	
L	Induktivität	H	Henry, $1\text{ H} = \frac{\text{Vs}}{\text{A}}$
R	elektrischer Widerstand	Ω	Ohm, $1\Omega = \frac{1\text{ V}}{1\text{ A}}$
G	elektrischer Leitwert	S	Siemens, $1\text{ S} = \frac{1}{\Omega}$
ρ	spezifischer Widerstand	$\frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}}$	
κ	Leitfähigkeit	$\frac{\text{m}}{\Omega\text{mm}^2}$	
X	Blindwiderstand	Ω	
B	Blindleitwert	S	$B = \frac{1}{X}$
Z	Scheinwiderstand	Ω	
Y	Scheinleitwert	S	
W	Energie, Arbeit	Ws, Nm, J	
P	Wirkleistung	W	
Q	Blindleistung	W	$1\text{ W} = 1\text{ var}$
S	Scheinleistung	W	$1\text{ W} = 1\text{ VA}$
φ	Phasenverschiebungswinkel	rad	
$\cos \varphi$	Leistungsfaktor	1	
ΔT	Temperaturdifferenz	K	K = Kelvin

19.1.2 Der einfache elektrische Stromkreis



Elektrische Stromstärke

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{in } \frac{\text{As}}{\text{s}} = \text{A}$$

mit: I = Elektrische Stromstärke in A
 Q = Elektrische Ladung in As
 t = Zeit in s

Elektrische Stromdichte

$$S = \frac{I}{A} \quad \text{in } \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

mit: S = Elektrische Stromdichte in $\frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$
 I = Elektrischer Strom in A
 A = Leiterquerschnitt in mm^2

Ohmsches Gesetz

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{in } \frac{\text{V}}{\Omega} = \text{A}$$

mit: I = Stromstärke in A
 U = Spannung in V
 R = Widerstand in Ω

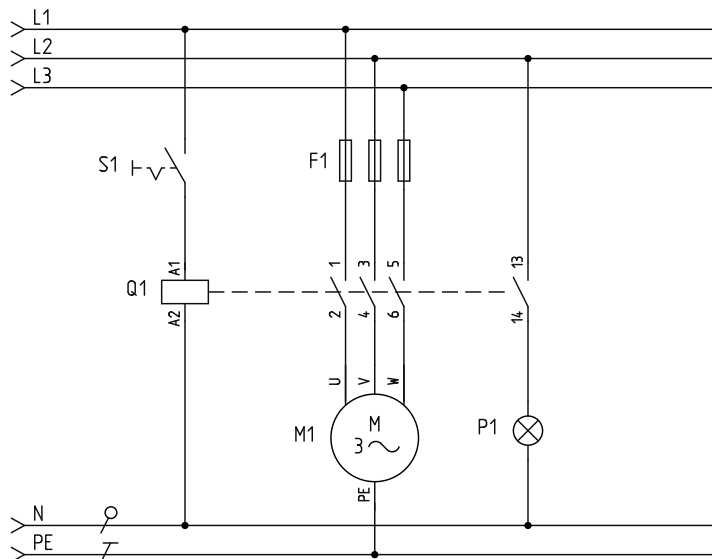
Elektrischer Leitwert

$$G = \frac{1}{R}$$

mit: G = Elektrischer Leitwert in $\frac{1}{\Omega} = \text{S}$
 R = Elektrischer Widerstand in Ω

20.3 Schaltungen von Drehstrommotoren

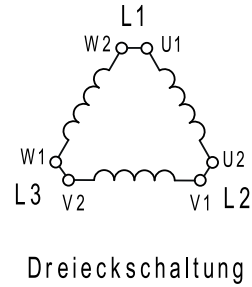
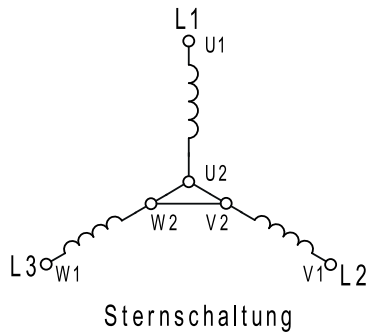
20.3.1 Direktes Einschalten



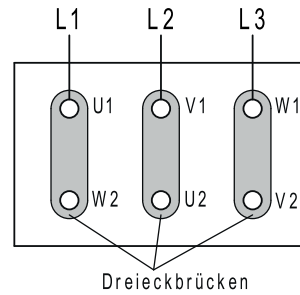
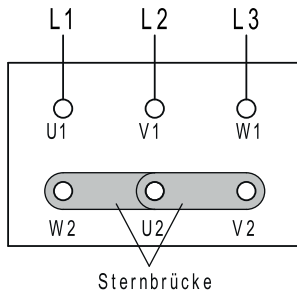
- S1 = Einschalter
- Q1 = Motorschütz
- M1 = Motor
- F1 = Motorsicherungen
- P1 = Meldeleuchte Motor EIN

20.3.2 Stern-Dreieck-Schaltung

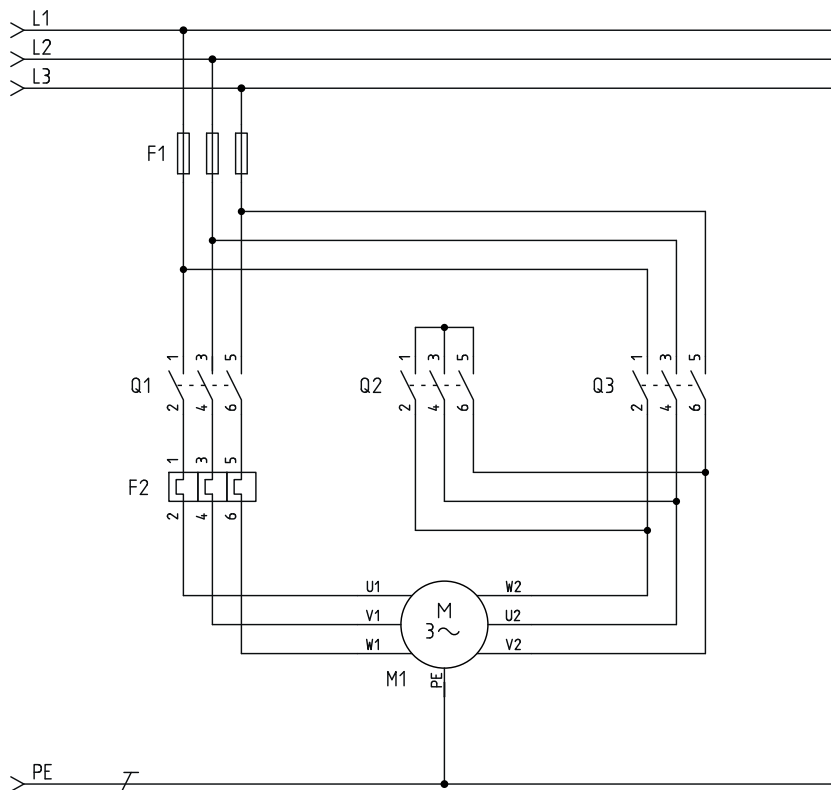
Wicklungen im Stern und Dreieck



Klemmanschluss für Drehstrom-Motorverdichter in Stern- und Dreieckschaltung



Hauptstromkreis eines Drehstrommotors in Stern-Dreieck



Q1 = Netzschütz

Q2 = Sternschütz

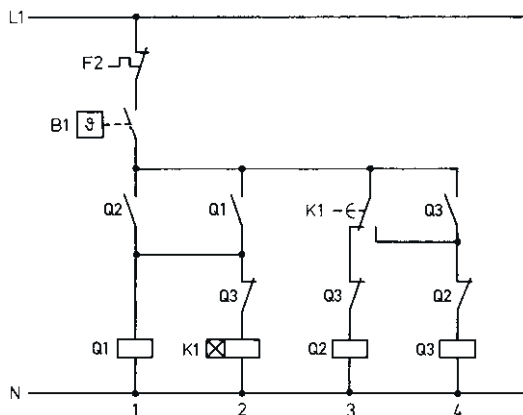
Q3 = Dreieckschütz

M1 = Stern-Dreieck-Motor

F1 = Sicherungen

F2 = Thermischer Überstromauslöser

Steuerstromkreis einer Stern-Dreieck-Schaltung

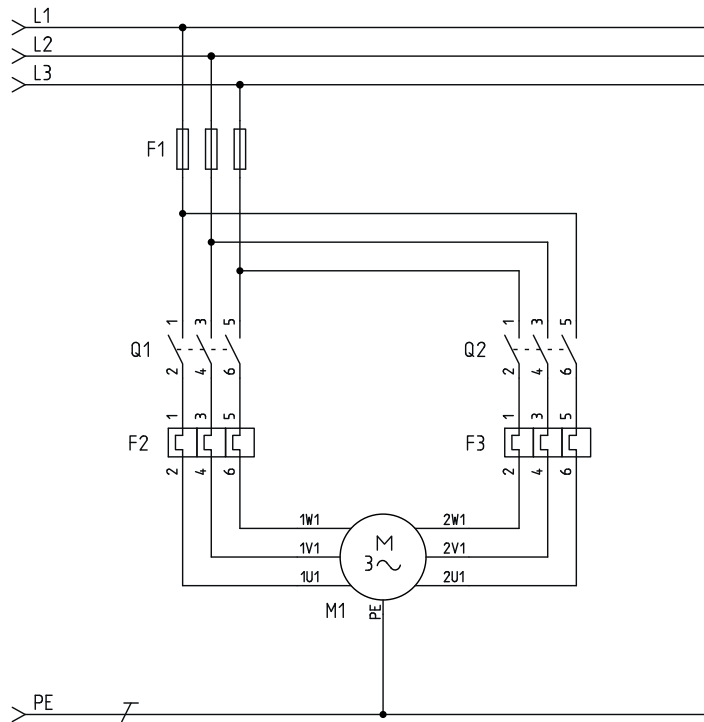


B1 = Raumthermostat

K1 = Zeitrelais für Umschaltung von Stern- auf Dreieckbetrieb

20.3.3 Teilwicklungsanlauf

Hauptstromkreis



F1 = Sicherungen

F2 = Thermischer Überstromauslöser 1. Teilwicklung

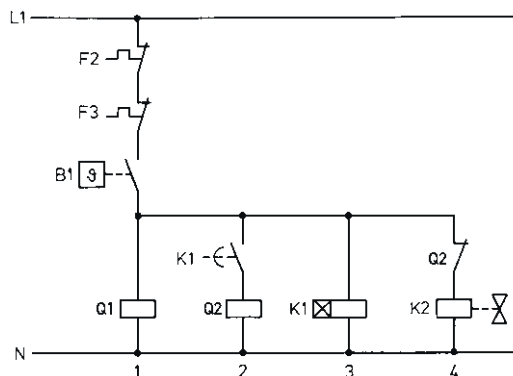
F3 = Thermischer Überstromauslöser 2. Teilwicklung

Q1 = Schütz 1. Teilwicklung

Q2 = Schütz 2. Teilwicklung

M1 = Teilwicklungsanlaufmotor

Steuerstromkreis Teilwicklungsanlauf mit Anlaufentlastung



B1 = Raumthermostat

K1 = Zeitrelais für die Zuschaltung der 2. Teilwicklung

K2 = Magnetventil Anlaufentlastung