

Kühllastberechnung (auch Kältebedarf)

Grundzüge der Berechnung

Erfassen aller anfallenden und ein strömenden Wärmemengen

Beschickung mit Kühlgütern unterschiedlicher Temperatur. Der Kältebedarf wird auf einen Tag gerechnet als nichts anderes festgelegt wird.

$$1 \text{ d} = 24 \text{ h/d} = 86400 \text{ s/d}$$

Einflussgrößen auf den Kältebedarf.

- Abzuführender Wärmestrom aus dem Kühl Gut.

1. einfaches kühlen: Abkühlwärmestrom

2. Tiefkühlen: Abkühlwärmestrom

Gefrierwärme

Unterkühlungswärme

- Wärmemenge des Verpackungsmaterials

- Atmungswärme des Kühlguts

für Obst, Gemüse, Blumen usw. Mikro.

Stoffwechselvorgänge mit Mikroorganismen produzieren Wärme, mit Absinken der Temperatur kommen diese Vorgänge zum Erliegen.

- Reaktionswärme

chemische Umsetzungen können in unbelebten Produkten zu einer Wärmeentwicklung führen. Zum Beispiel steigt nach dem Schlachten die Temperatur noch etwas an.

Beim Einfall von außen durch Decken, Wände, Fußboden usw.

1. K-Werte der Bauteile

2. einströmender Wärmestrom mit $\dot{Q} = k \times A \times \Delta T$

Weiterhin wird berechnet:

abzuführende Wärmemenge aus den Wärmefall durch:

- Personen

- Türöffnungsverluste

- sämtliche elektrische Geräte

- Ventilatoren mit Wärme Äquivalent

Abkühlwärmestrom

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m} \times c_1 \times (t_1 - t_{L \text{ oder } E})}{\tau} = \frac{\dot{m} \times c_1 \times (t_1 - t_{L \text{ oder } E})}{86400 \times d}$$

\dot{m} = Kühlmassenstrom

c_1 = spezifische Wärmekapazität vor dem Erstarren kJ/kg K

t_1 = Einbringtemperatur τ = Zeit s

$t_{L \text{ oder } E}$ = Lagertemperatur vor dem Gefrieren oder Erstarrungstemperatur nach Tabelle (K)

d = Tage bis zum kompletten Abkühlen

Beispiel: Kühlung von Blumenkohl 100 t Blumenkohl Einbringtemperatur 20 °C

Kühlraumtemperatur 0 °C Lagertemperatur Abkühlung innerhalb von vier Tagen

$c_1 = 3,89 \text{ KJ/kg K}$

$$\frac{100 \text{ t} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{t}} \times 3,89 \frac{\text{KJ}}{\text{kgK}} \times 20^\circ - 0^\circ}{86400 \frac{\text{s}}{\text{d}} \times 4 \text{ d}} = 22,51 \text{ KW}$$

Atmungswärme des Kühlgutes

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m} \times q_{AT}}{\tau}$$

q_{AT} = spez. Atmungswärme des Kühlgutes wird nur für einen Tag berechnet.

τ = Abkühldauer s

\dot{Q} = Wärmeleistung in KW

Beispiel: Atmungswärme für Blumenkohl

$$\frac{100t \times 1000 \frac{kg}{t} \times 4,5 \frac{KJ}{kg}}{86400 \frac{s}{d} \times 1 d} = 5,2 KW$$

Abzuführende Wärmemenge aus dem Verpackungsmaterial

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m}_v \times c_v \times (t_1 - t_2)}{\tau}$$

\dot{m}_v = Masse des Verpackungsmaterials in kg

c_v = spezifischer Wärmehalt des Verpackungsmaterials kJ/kg K

τ = Abkühldauer

\dot{Q} = Wärmeleistung in KW

Wärmeeinfall durch Wände, Decken, Fußboden etc.

K-Wert auch U-Wert

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{s_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_i}}$$

Schichtdicke der Wärmedämmung

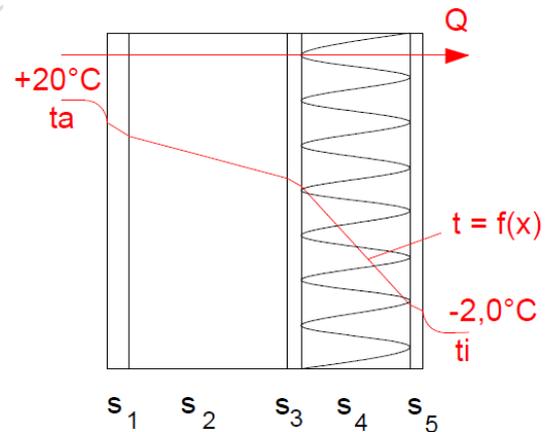
$$s_{WD} = \lambda_{WD} \left[\frac{1}{K} - \left(\frac{1}{\alpha_a} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_i} \right) \right]$$

K (U) = Wärmegangkoeffizient W/m²K

$\frac{1}{\alpha}$ = Wärmeübergangswiderstand

λ = Wärmeleitfähigkeit W/mK

s = Schichtdicke m



innen		$\frac{1}{\alpha_i}$	außen		$\frac{1}{\alpha_a}$
	Wand	0,13		Mittlere Windgeschwindigkeit (4 m/s)	0,04
	Fußboden nach unten gerichtet	0,17		Windgeschwindigkeit 1 m/s	0,08
	Decke nach oben gerichtet	0,10		Windgeschwindigkeit 3 m/s	0,05
				Windgeschwindigkeit 5 m/s	0,04
				Windgeschwindigkeit 7 m/s	0,03
				Windgeschwindigkeit 10 m/s	0,02

k-Wertberechnung nach Tabellenverfahren

Um eine Übersicht zu gewinnen wird der k-Wert in einzelnen Schritten berechnet.

Anlegen einer Tabelle, damit gewinnt es an Übersichtlichkeit

Bauteilbezeichnung: Außenwand			Index	AW 51
Baustoffart	Dichte kg/m ³	Stärke m	λ	$R_\lambda = \frac{s}{\lambda}$
Wärmeübergang				
Ra (Wärmeübergangswiderstand)(Außen)				0,0400
Außenputz Zement		0,015	1,4	0,0107
Vollziegel	1600	0,48	0,68	0,7058
Ausgleichsputz Zement		0,015	1,4	0,0107
Dampfsperre				
Wärmedämmung				
		0,12	0,045	2,6666
Innenputz Zement		0,015	1,4	0,0107
Ri (Wärmeübergangswiderstand)(Innen)				0,1300
Summe R (Wärmeleitwiderstand)				3,4039

Kehrwert bilden zum k (U) Wert $\frac{1}{3,4039} = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$

Grundformel zum Bestimmen des Transmissionswärmeverlustes

$$\dot{Q} = k \times A \times (t_1 - t_2)$$

t_2 = Kühlraumtemperatur

t_1 = Umgebungstemperatur

- Temperatur zu anderen Räumen
- Fußbodentemperatur
- Außentemperatur: $t_a = 32^\circ\text{C}$ Binnenklima
 $t_a = 29^\circ\text{C}$ Küstenklima

Und Zuschläge für direkte Sonneneinstrahlung nach Himmelsrichtung und Wandfarbe.

Berechnung des Temperaturverlaufes an den Grenzschichten

Bei einer Außentemperatur von -15° und einer Innentemperatur von 20° ergibt sich beim obigen Beispiel folgender Temperaturverlauf.

$$\begin{aligned} -t_1 &= t_a - k \times \Delta T_{ges} \times \frac{1}{\alpha_a} & -15^\circ + 0,28 \times 35 \times 0,04 &= -14,6^\circ \text{ Oberflächentemperatur Wand Außen} \\ -t_2 &= t_1 - k \times \Delta T_{ges} \times \frac{s}{\lambda} & -14,6^\circ + 0,28 \times 35 \times 0,0107 &= -14,5^\circ \text{ Temperatur Grenzschicht Putz} \\ -t_3 &= t_2 - k \times \Delta T_{ges} \times \frac{s}{\lambda} & -14,5^\circ + 0,28 \times 35 \times 0,7058 &= -7,58^\circ \text{ Temperatur Ziegel} \\ -t_4 &= t_3 - k \times \Delta T_{ges} \times \frac{s}{\lambda} & -7,58^\circ + 0,28 \times 35 \times 0,0107 &= -7,48^\circ \text{ Temperatur Ausgleichsputz} \\ -t_5 &= t_4 - k \times \Delta T_{ges} \times \frac{s}{\lambda} & -7,48^\circ + 0,28 \times 35 \times 2,6666 &= 18,65^\circ \text{ Temperatur Isolierung} \\ -t_6 &= t_5 - k \times \Delta T_{ges} \times \frac{s}{\lambda} & 18,65^\circ + 0,28 \times 35 \times 0,0107 &= 18,75^\circ \text{ Oberflächentemperatur Wand Innen} \end{aligned}$$

Lufttemp. in °C	Wasserdampf­sättigungsdruck in PA									
	von 25,9°C bis 10,9°C									
	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
25	3169	3188	3208	3227	3246	3266	3284	3304	3324	3343
24	2985	3003	3021	3040	3059	3077	3095	3114	3132	3151
23	2810	2827	2845	2863	2880	2897	2915	2932	2950	2968
22	2645	2661	2678	2695	2711	2727	2744	2761	2777	2794
21	2487	2504	2518	2535	2551	2566	2582	2598	2613	2629
20	2340	2354	2369	2384	2399	2413	2428	2443	2457	2473
19	2197	2212	2227	2241	2254	2268	2283	2297	2310	2324
18	2065	2079	2091	2105	2119	2132	2145	2158	2172	2185
17	1937	1950	1963	1976	1988	2001	2014	2027	2039	2052
16	1818	1830	1841	1854	1866	1878	1889	1901	1914	1926
15	1706	1717	1729	1739	1750	1762	1773	1784	1795	1806
14	1599	1610	1621	1631	1642	1653	1663	1674	1684	1695
13	1498	1508	1518	1528	1538	1548	1559	1569	1578	1588
12	1403	1413	1422	1431	1441	1451	1460	1470	1479	1488
11	1312	1321	1330	1340	1349	1358	1367	1375	1385	1394
10	1228	1237	1245	1254	1262	1270	1279	1287	1296	1304
9	1148	1156	1163	1171	1179	1187	1195	1203	1211	1218
8	1073	1081	1088	1096	1103	1110	1117	1125	1133	1140
7	1002	1008	1016	1023	1030	1038	1045	1052	1059	1066
6	935	942	949	955	961	968	975	982	988	995
5	872	878	884	890	896	902	907	913	919	925
4	813	819	825	831	837	843	849	854	861	866
3	759	765	770	776	781	787	793	798	803	808
2	705	710	716	721	727	732	737	743	748	753
1	657	662	667	672	677	682	687	691	696	700
0	611	616	621	626	630	635	640	645	648	653
-0	611	605	600	595	592	587	582	577	572	567
-1	562	557	552	547	543	538	534	531	527	522
-2	517	514	509	505	501	496	492	489	484	480
-3	476	472	468	464	461	456	452	448	444	440
-4	437	433	430	426	423	419	415	412	408	405
-5	401	398	395	391	388	385	382	379	375	372
-6	368	365	362	359	356	353	350	347	343	340
-7	337	336	333	330	327	324	321	318	315	312
-8	310	306	304	301	298	296	294	291	288	286
-9	284	281	279	276	274	272	269	267	264	262
-10	260	258	255	253	251	249	245	244	242	239

Stoff	Dichte		Stoff	Dichte	
Putze, Estriche und andere Mörtelschichten			Mauerwerk aus Hüttensteinen Nach DIN 398	1000 1400	70/100
Kalkmörtel, Kalkzementmörtel Mörtel aus hydraulischen Kalk	1800	15/35			
Leichtmörtel LM 21 nach DIN 1053, Teil 1	700		Mauerwerk aus Porensteinen Porenbeton -Blocksteinen	400 600	5/10
Zementmörtel	2000	15/35	Porenbeton -Plansteinen	800	
Kalkgipsmörtel, Gipsmörtel	1400	10			
Gipsputz ohne Zuschlag	1200	10	Mauerwerk aus Betonsteinen Hohlblöcke aus Leichtbeton		
Anhydritestrich	2100		2K Hbl, Breite = 240 mm	500	5/10
Zementestrich	2000	15/35	3K Hbl, Breite = 300 mm	600	
Gußasphaltestrich Dicke 15mm	2300	prakti. dampfd	4K Hbl, Breite = 365 mm	700	
Großformatige Bauteile			Wärmedämmstoffe		
Normalbeton nach DIN 1045 (Kies-oder Splittbeton mit ge- schlossenen Gefüge, auch gew.	2400	70/150	Holzwohle-Leichtbauplatten Nach DIN 1101 Plattendicke ≥ 25 mm	360 bis 480	2/5
Leicht- und Stahlleichtbeton Mit geschlossen Gefüge nach DIN 4219, Teil 1 und 2	800 bis 1600	70/150	Korkplatten nach DIN 18161 Wärmeleitfähigkeitsgruppe 045, 050, 055	80 bis 500	5/10
Dampfgehärteter Porenbeton nach DIN 4223	500 bis 800	5/10	Polystyrol (PS) Hartschaum Wärmeleitfähigkeitsgruppe 030,035,040		
Leichtbeton mit haufwerksporigen Gefüge und mit porugeb Zuschlägen nach DIN 4226, Teil 2	600 Bis 1600	5/15	Polyurethan(PUR) Hartschaum Wärmeleitfähigkeitsgruppe 025,030,035	30	30/100
Bauplatten			Mineralische und pflanzliche Faserdämmstoffe Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035,040,045	8 bis 500	1
Porenbeton-Bauplatten, unbewehrt, nach DIN 4166, dünnfugig verlegt	600 700 800	5/10	Schaumglas Wärmeleitfähigkeitsgruppe 045,050,055	100 bis 500	parktisch dampf- dicht
Wandbauplatten aus Leichtbeton nach DIN 18162	800 1000 1200	5/10	Holz und Holzwerkstoffe		
Wandbauplatten aus Gips nach DIN 18163	600 900 1000	5/10	Fichte, Kiefer, Tanne	600	40
Gipskartonplatten nach DIN 18180	900	8	Buche, Eiche	800	40
			Spannplatten	700	
			Harte Holzfasernplatten	1000	70
Mauerwerk einschließlich Mörtelfugen			Beläge, Abdichtstoffe, Abdichtungsbahnen		
Mauerwerk aus Mauerziegeln Nach DIN 105, Teil 1-4 Vollklinker, Hochlochklinker Keramikklinker	1800 2000 2200	50/100	Linoleum	1000	
			Kunststoffbeläge, auch PVC	1500	
			Bitumen	1100	
			Bitumendachbahnen	1200	10000bis 80000
Vollziegel, Hochlochziegel	1400/ 1800	5/10	PVC-Folie, Dicke 0,1 mm		20000bis 50000
Leichthochlochziegel mit Lochung A und B	800/ 1000	5/10	Polyethylen-Folie, Dicke 0,1mm		100000
Mauerwerk aus Kalksandsteinen nach DIN 106, Teil 1 und 2	1000 bis 2000	5/10	Aluminium-Folie, Dicke 0,05mm		parktisch dampf- dicht
			And.Metallfolien, Dicke 0,1 mm		

Es wird nun eine equivalente Luftschichtdicke errechnet.

Baustoffart	Oberflächen- temperatur	Wasserdampf- druck Pa	Spezifisches Gewicht Kg / m ³	U- Wert		Luft- schicht- dicke m	Gesamt Dicke m
Innenputz Zement	18,75°C	2158		0,015	15	0,225	0,225
Wärmedämmung	18,65°C	2145		0,12	1	0,12	0,345
Dampfsperre							
Ausgleichsputz Zement	-7,48°C	324		0,015	15	0,225	0,57
Vollziegel	-7,58°C	321	1600	0,48	5	2,4	2,97
Außenputz Zement	-14,5°C	150		0,015	15	0,225	3,195

Errechnung der Wasserdampflinie.

Bei einer Innentemperatur von 20° C und einer Luftfeuchte von 100 % beträgt der Dampfdruck 2340 Pa.

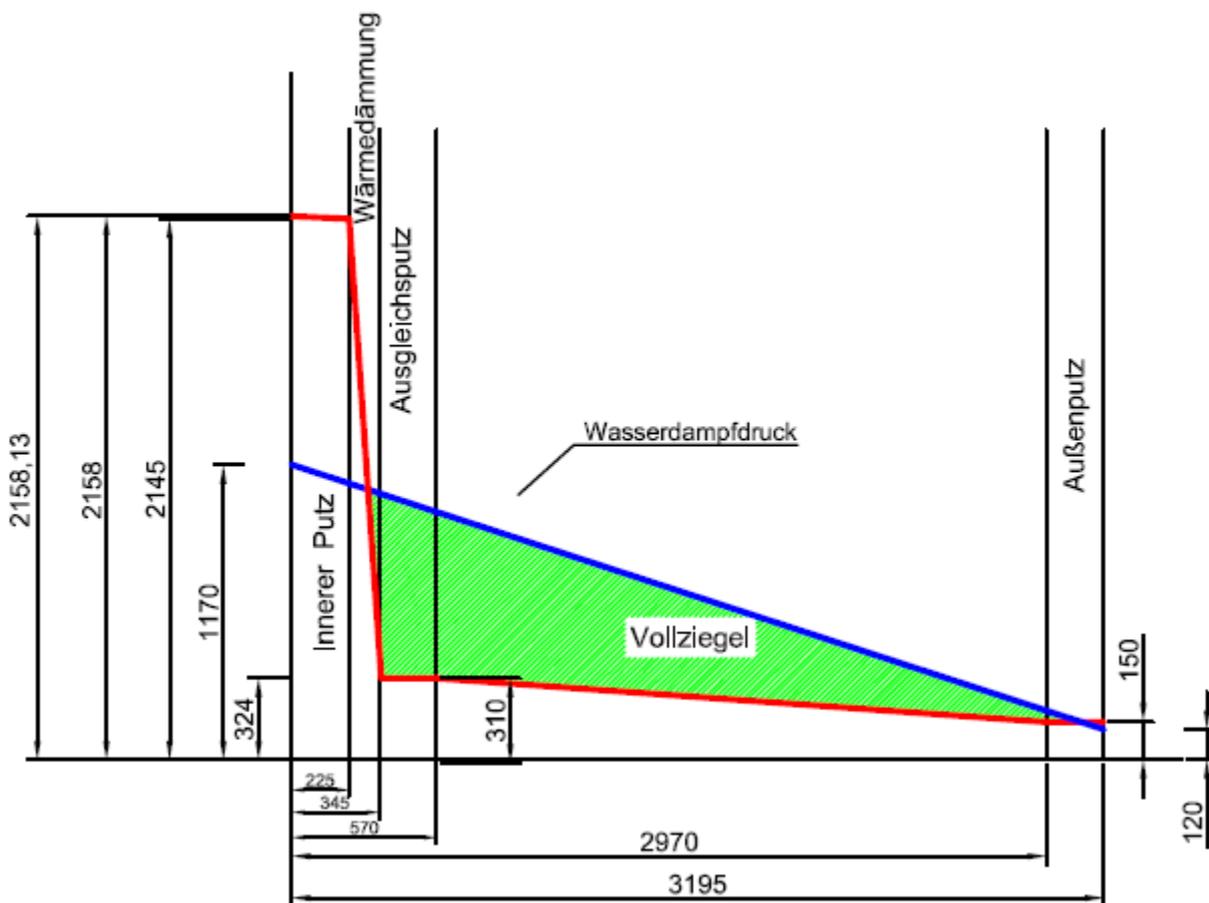
Da wir nur eine relative Feuchte von 50% haben ist der Druck $2340 \times 50 / 100 = 1170$ Pa.

Bei einer Außentemperatur von -15°C und 70% relative Feuchte ergibt sich ein Druck von 120 Pa,

Wir erkennen das in der Wärmedämmung die Taupunkttemperatur unterschritten wird.

Um Schäden zu vermeiden muß damit direkt auf die Wärmedämmung eine Dampfsperre aufgebracht werden.

Wäre die Wärmedämmung außen, würde im Vollziegel sich der Taupunkt ausbilden. Wenn der Vollziegel nun durch die Diffusion in Sommer wieder trocknet, paßiert nichts.



Haltbarmachen von Lebensmitteln durch Kälte-Tiefkühlen

1. Abkühlwärme

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m} \times c_1 \times (t_1 - t_{L \text{ oder } E})}{\tau}$$

\dot{m} = Kühlmassenstrom

c_1 = spez. Wärmekapazität vor dem Erstarren (kJ/kgK)

t_1 = Einbringtemperatur (K)

$t_{L \text{ oder } E}$ = Lagertemperatur vor dem Gefrieren oder Erstarrungstemperatur nach Tabelle (K)

τ = Zeitemrechnungsfaktor innerhalb eines Tages = 86400

2. Gefrierwärme

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m} \times r}{\tau}$$

r = Erstarrungs- bzw. Schmelzwärme nach Tabelle (kJ/kg)

3. Unterkühlungswärme

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m} \times c_2 \times (t_{L \text{ oder } E} - t_{UK})}{\tau}$$

c_2 = spez. Wärmekapazität nach dem Erstarren (kJ/kgK)

$t_{L \text{ oder } E}$ = Lagertemperatur vor dem Gefrieren oder Erstarrungstemperatur nach Tabelle (K)

t_{UK} = Unterkühlungs-, Lagertemperatur im gefrorenen Zustand (Landzeitlagerung) nach Tabelle (K)

Wärmeabgabe von Personen

$$\dot{Q}_P = \frac{i \times q \times \tau}{24}$$

\dot{Q}_P = Wärmeabgabe der Personen in W

q = Wärmeabgabe einer Person nach Tabelle abhängig von Kühlraumtemperatur W

i = Anzahl der Personen

τ = Aufenthaltszeit der Personen je Tag Std

Temperatur	Wärmeabgabe je Person	Temperatur	Wärmeabgabe je Person
20 °C	180 W	-5 °C	300 W
15 °C	200 W	-10 °C	330 W
10 °C	210 W	-15 °C	360 W
5 °C	240 W	-20 °C	390 W
0 °C	270 W	-25 °C	420 W

Wärmeabgabe Beleuchtung

$$\dot{Q}_B = P \times l_1 \times l_2 \times s_B$$

$$Q_B = \frac{i \times P \times \tau}{24}$$

\dot{Q}_B = Wärmeabgabe der Beleuchtung in W

P = Zugeführte elektrische Energie für die Beleuchtung W

s_B = Speicherfaktor Umfassungswände, Gegenstände im Raum

τ = Betriebsstunden

l_1 = Gleichzeitigkeitsfaktor

l_2 = Restwärme

i = Anzahl der Lampen

Wärmeabgabe von Maschinen und Geräten (Transportmaschinen)

$$\dot{Q}_M = \frac{P}{\eta} \times \alpha_1 \times \alpha_2$$

\dot{Q}_M = Wärmeabgabe von Maschinen und Geräten W
 α_1 = Belastung α_2 = Gleichzeitigkeitsfaktor

η = Wirkungsgrad
P = elektrische Geräteleistung W

Wärmeabgabe von Ventilator

$$\dot{Q}_V = \frac{P \times h_L}{h_B}$$

$$h_L = h_B - h_A$$

\dot{Q}_V = Wärmeabgabe des Ventilators W
 h_L = Laufzeit Ventilator am Tag Std

P = elektrisch Leistung des Ventilators W
 h_B = Betriebszeit der Kälteanlage am Tag Std

Wärmeabgabe beim Abtauen

$$\dot{Q}_H = \frac{P \times h_A}{h_B}$$

\dot{Q}_H = Wärmeabgabe beim Abtauen W
 h_A = Abtauzeit am Tag Std

P = (elektrisch) Leistung beim Abtauen W
 h_B = Betriebszeit der Kälteanlage am Tag Std

Kältebedarf für Luftwechsel

$$n = \frac{70}{\sqrt{V_R}}$$

n = Luftwechselrate errechnet (auch Tabelle 14)

V_R = Luftvolumen m³

$$\dot{Q}_L = \frac{V_R \times n \times \zeta_{L,i} \times \Delta h}{86400} \times 1000$$

eingesetzt und gekürzt

$$\dot{Q}_L = \frac{V_R \times 0,81 \times \zeta_{L,i} \times \Delta h}{\sqrt{V_R}}$$

\dot{Q}_L = Kältebedarf für Lüftung in W

$\zeta_{L,i}$ = Dichte der Luft in Kühlraum Kg/m³

$\Delta h = h_{L,a} - h_{L,i}$ Enthalpieunterschied KJ/kg

Wenn sich die Luftfeuchtigkeit nicht ändert, kann mit den absoluten Temperaturen die neue Dichte mit der Zustandsgleichung für Gase errechnet werden.

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{T_1}{T_2}$$

$$\rho_1 = \text{Rho } 0^\circ\text{C } 1,293 \text{ kg/m}^3 \quad T_1 \text{ bei } 0^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$$

Türverluste

Bei kleineren Kühlräumen genügt die Berechnung des Lastanteils durch den Luftwechsel, für größere Räume mit mehreren Türen ist die zusätzliche Berechnung der Türöffnungsverluste empfehlenswert. Nach der Nutzung sind die Anzahl der Türen Ansetzen.

$$\dot{Q}_{Tür} = (8 + (0,067 \times \Delta T_{Tür})) \times \tau_{Tür,Tag} \times \rho_{L,i} \times B_{Tür} \times H_{Tür} \times \sqrt{H_{Tür} \times \left(1 - \frac{\rho_{L,a}}{\rho_{L,i}}\right)} \times (h_{L,a} - h_{L,i}) \times \eta_{LS}$$

$$\Delta T_{Tür} = T_a - T_i$$

$\tau_{Tür}$ = Öffnungszeit in Min bezogen auf eine Tonne Warenumschlag

Schiebetüre Art der Betätigung	Art der Ware	$\tau_{Tür}$ min/t Warenumschlag
handbedient	gefrorene Tierkörper	15
	palettisiert Ware	6
mechanisch bedient	gefrorene Tierkörper	1
	palettisiert Ware	0,8

Da wir die Leistung auf einen Tag beziehen ist eine Umrechnung erforderlich.

$$\tau_{Tür,Tag} = \frac{\tau_{Tür,Tabelle} \times \text{Tonnen Warenumschlag je Tag}}{24}$$

$\rho_{L,i}$ = Dichte der Luft im Kühlraum in kg/m^3

$\rho_{L,a}$ = Dichte der dem Kühlraum umgebende Luft in kg/m^3

$h_{L,a}$ = spezifische Enthalpie der Luft außerhalb des Kühlraumes in kJ/kg

$h_{L,i}$ = spezifische Enthalpie der Luft im Kühlraumes in kJ/kg

$B_{Tür}$ = Türbreite im m

$H_{Tür}$ = Türhöhe im m

η_{LS} = Wirkungsgrad ist mit Luftschleieranlag $\eta_{LS} = 0,25$, für Räumen ohne $\eta_{LS} = 1$

$\dot{Q}_{Tür}$ = Kälteverluste je Türe in W

Kunde:

Ort:

Lage:

Grunddaten			
1. Kühlraumtemperatur: °C			
2. Wärmedämmung in cm:		K-Wert: W/m²h	
3. Innenmasse L: B: H:			
4. Raumfläche: m²		Raumvolumen: m³	
5. Außenlufttemperatur: °C	Außenfeuchte: %	Rho: kg/m³	Enthalpie: KJ/kg
6. Innenluftzustände: °C	Innenfeuchte: %	Rho: kg/m³	Enthalpie: KJ/kg
7.1 Art Kühlgut 1:	Umsatz je Tag: kg	Einbringtemperatur °C	
7.2 Art Kühlgut 2:	Umsatz je Tag: kg	Einbringtemperatur °C	
7.3 Art Kühlgut 3:	Umsatz je Tag: kg	Einbringtemperatur °C	
8. Gesamtumsatz Kühlgut je Tag m:		t	$\tau_{Tür, Tabelle}$ $\tau_{Tür} = \tau_{Tür, Tabelle} \times m/24 =$
9. Personenanzahl i:		Zeit je Person τ_H :	Wärmeabgabe je Std q:
10. Beleuchtungsart:		Leistung P:	Einschaltdauer τ_H :

Berechnungsdaten	A	x	K	x	ΔT	Spaltensumme
11. Wärmeeinströmung der Wand \dot{Q}_E Bauteil 1						W
12. Wärmeeinströmung der Wand \dot{Q}_E Bauteil 2						W
13. Wärmeeinströmung der Wand \dot{Q}_E Bauteil 3						W
14. Wärmeeinströmung der Wand \dot{Q}_E Bauteil 4						W
15. Wärmeeinströmung der Türen \dot{Q}_E						W
16. Wärmeeinströmung der Decke \dot{Q}_E						W
17. Wärmeeinströmung des FB \dot{Q}_E						W
18. Wärmeintrag durch die Hülle						W
19. Luftwechsel je Tag $n = 70/\sqrt{V_R}$						1/d
20. Enthalpiedifferenz Δh kJ/kg	$V_R \times n \times \zeta_{L,i} \times \Delta h/86,4$					
21. Lufterneuerung \dot{Q}_L						W
22. spez. Wärmekapazität vor dem Erstarren	$\dot{m} \times c_1 \times (t_1 - t_{L\ oder\ E})/86,4^*$					
23.1 Kühlgut 1 Erstarrungstemperatur: _____						W
23.2 Kühlgut 2 Erstarrungstemperatur: _____						W
23.3 Kühlgut 3 Erstarrungstemperatur: _____						W
24. spez. Wärmekapazität nach dem Erstarren	$\dot{m} \times c_2 \times (t_{L\ oder\ E} - t_{UK})/86,4^*$					
24.1 Kühlgut 1 Unterkühltemperatur: _____						W
24.2 Kühlgut 2						W
24.3 Kühlgut 3						W
25. Erstarrungsenthalpie	$\dot{m}' \times r / 86,4^*$					
25.1 Kühlgut 1						W
25.2 Kühlgut 2						W
25.3 Kühlgut 3						W
26. Atmungsenthalpie (nur ein Tag)	$\dot{m} \times q_{At} / 86,4^*$					
26.1 Kühlgut 1						W
26.2 Kühlgut 2						W
26.3 Kühlgut 3						W
27. Verpackungsmaterial	$\dot{m}' \times c_V \times (t_1 - t_{UK})/86,4^*$					
27.1 Material 1						W

27.2 Material 2					W
27.3 Material 3					W
28. Kühlgutwärmestrom		23+24+25+26+27			W
Wärmestrom je Person q:	W/h	$\dot{Q}_P = q \times i \times \tau_h / 24$			
29. Wärmestrom der Personen:					W
Beleuchtungswärmestrom P:	W/h	$\dot{Q}_L = P \times i \times \tau_h / 24$			
30. Beleuchtungswärmestrom:					W
31. Wärmestrom durch die Türe:		$\dot{Q}_{Tür} = (8 + (0,067 \times \Delta T_{Tür})) \times$			W
		$\tau_{Tür,Tag} \times \rho_{L,i} \times B_{Tür} \times H_{Tür} \times \sqrt{H_{Tür} \times \left(1 - \frac{\rho_{L,a}}{\rho_{L,i}}\right) \times (h_{L,a} - h_{L,i}) \times \eta_{LS}}$			
32. Gesamtwärmestrom \dot{Q} :		18+21+28+29+30+31			W
33. Betriebszeit der Kälteanlage: _____	h_B				
34. Vorläufige Verdampferleistung:		$\dot{Q}_{0,vorläufig} = \dot{Q} \times 24 / h_B$			W
35. Errechnete Verdampferleistung:		$\dot{Q}_0 = \dot{Q}_{0,vorläufig} + 20\%$			W
36. Verdampfertyp:		Verdampferanzahl "i":			
37. Verdampfungstemperatur: _____ °C		Verdampferleistung P_{Vda} :		W	
38. Gewählte gesamte Verdampferleistung $\dot{Q}_{0,gewählt} = P_{Vda} \times i$					W
39. Abtauzeit je Tag h_A :	Std	Abtauleistung P_A :		W	
40. Abtauung $Q_A = P_A \times i \times h_A / h_B$					W
41. Leistung Ventilator P_A :		$h_L = h_B - h_A$			
42. Lüfter $\dot{Q}_L = P_L \times i \times h_L / h_B$					W
43. notwendige Verdampferleistung $\dot{Q}_{0,nötig} = \dot{Q}_{0,vorläufig} + Q_L + Q_A$					W

*86,4 ist nur gültig, wenn es genau ein Tag ist. (bei 40 Std = $86,4 \times 40 / 24 = 144$)

\dot{m} = Kühlmassenstrom kg/d

c_1 = spezifische Wärmekapazität vor dem Erstarren kJ/kg K

c_2 = spezifische Wärmekapazität nach dem Erstarren kJ/kg K

c_V = spezifische Wärmekapazität des Verpackungsmaterials kJ/kg K

t_1 = Einbringtemperatur τ = Zeit s d = Tage bis zum kompletten Abkühlen

$t_{L \text{ oder } E}$ = Lagertemperatur vor dem Gefrieren oder Erstarrungstemperatur nach Tabelle (K)

t_{UK} = Unterkühlungs-, Lagertemperatur im gefrorenen Zustand (Landzeitlagerung) nach Tabelle (K)

q_{AT} = spez. Atmungswärme des Kühlgutes wird nur für einen Tag berechnet. kJ/kg

r = Erstarrungs- bzw. Schmelzwärme nach Tabelle (kJ/kg)

τ_h = Arbeitszeit der Mitarbeiter (Eingabe in Stunden) Std

$\rho_{L,i}$ = Dichte der Luft im Kühlraum in kg/m³

$\rho_{L,a}$ = Dichte der dem Kühlraum umgebende Luft in kg/m³

$h_{L,a}$ = spezifische Enthalpie der Luft außerhalb des Kühlraumes in kJ/kg

$h_{L,i}$ = spezifische Enthalpie der Luft im Kühlraum in kJ/kg

$B_{Tür}$ = Türbreite in m $H_{Tür}$ = Türhöhe in m

η_{LS} = Wirkungsgrad ist mit Luftschleieranlage $\eta_{LS} = 0,25$, für Räumen ohne $\eta_{LS} = 1$

$\dot{Q}_{Tür}$ = Kälteverluste je Türe in W

h_B = Betriebszeit der Kälteanlage

h_L = Betriebszeit des Lüfter

h_A = Betriebszeit der Abtauung

i = Anzahl

P_{Vda} = Verdampferleistung

P_A = Wärmestrom der Abtauung

\dot{Q}_L = Wärmestrom vom Lüfter

\dot{Q}_A = Abtauwärmestrom

\dot{Q} = Gesamtwärmestrom

\dot{Q}_0 = Errechnete Verdampferleistung

$\dot{Q}_{0,vorläufig}$ = Verdampferleistung

$\dot{Q}_{0,gewählte}$ = gewählte Verdampferleistung

$\dot{Q}_{0,nötig}$ = Notwendige Verdampferleistung