

Österreich Schulungsunterlagen



Mit uns behalten Sie den Überblick

Thema 7:

Energetische Optimierung von Kälteanlagen

 **SCHIESSL**

»SIS« INFORMATIONEN-SYSTEM

Das Schiessl Informations-System »SIS« ist mehr als nur ein Shop!

- Alle Produkt-Infos auf einen Blick
- Mit Zubehör und Alternativen
- Schnellsuche und Direktauswahl
- Verfügbarkeit/Lagerstand
- Alle Infos tagesaktuell
- Bequem online bestellen



BRANDNEU:
Laden Sie sich jetzt Ihre Schiessl App fürs Smartphone!

...damit sind Sie immer bestens informiert!



JETZT EINLOGGEN UNTER

www.schiessl.at

www.schiessl.ch

www.schiessl-kaelte.de

...fordern Sie noch heute Ihre Zugangsdaten an.



Bundesinnung der Mechatroniker Kälte- und Klimatechnik

**Herzlich Willkommen
zu unserer Veranstaltung unter dem Motto**

**Aus der Praxis für den Praktiker-
"das sollte der Kältemonteur wissen"**

Thema 7:

Energetische Optimierung von Kälteanlagen

Referent: Dipl. Ing. Hans-Jürgen Ullrich

Diese Schulungsunterlagen wurden zur Verfügung gestellt von



SCHIESSL

Ihrem zuverlässigen Großhandelspartner

Inhalt:

	Seite	
1.	Allgemeine Betrachtungen	3
2.	Notwendigkeit zur Energieeinsparung	3
2.1	Politische und gesetzliche Rahmenbedingungen	3
2.2	Sparsamer Umgang mit den Rohstoffressourcen	4
2.3	Reduzierung des Treibhauseffektes	4
2.4	Senkung der Betriebskosten	6
3.	Schlussfolgerung für die Planung, das Errichten und das Betreiben von Kälteanlagen	6
4.	Möglichkeiten zur Reduzierung des Energieverbrauches	7
4.1	Problemkreis Verdichter	7
4.1.1	Einsatz von Verdichtern mit hoher Leistungsziffer (COP)	7
4.1.2	Richtige Kältemittelauswahl zur Erzielung hoher Leistungsziffern	9
4.1.3	Einsatz eines inneren Wärmetauschers zur Reduzierung der Leistungsaufnahme eines Verdichters	11
4.1.4	Erhöhung der Leistungsziffer und der Kälteleistung durch Unterkühlung des Kältemittels	12
4.1.5	Einsatz effektiver Verfahren zur Leistungsregelung von Verdichtern	14
4.2	Problemkreis Verdampfer und Expansionsventil	16
4.2.1	Richtige Festlegung der Verdampfungstemperatur	16
4.2.2	Optimale Einregulierung der Kälteanlage	18
4.2.3	Einsatz energieeffizienter Abtauverfahren	19
4.2.3.1	Intelligente Abtausteuerungen	19
4.2.3.2	Abtauverfahren	19
4.3	Problemkreis Verflüssiger	24
4.3.1	Richtige Auslegung der Verflüssigergröße	24
4.3.2	Regelmäßige Wartung von Verflüssigern	24
4.3.3	Abwärmenutzung von Kälteanlagen	25
4.3.4	Energieeinsparung durch Absenkung der Verflüssigungstemperatur	26
4.3.5	Energieeinsparung durch Einsatz energieeffizienter Geräte	27
4.3.6	Drehzahlregelung von Verflüssigerventilatoren	28
5.	Zusammenfassung	30
	Notizen	31 - 33

1. Allgemeine Betrachtungen

Die Kälte- und Klimaanlageanlagen haben einen sehr hohen Anteil am Energiebedarf. Nach dem Statusbericht des DKV Nr. 22 „Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte“ betrug im Jahr 1999 in Deutschland der Gesamtenergiebedarf zum Betreiben von Kälte- und Klimaanlageanlagen 77.000 GWh. Das sind etwa 16 % der gesamten Energieerzeugung. Zum Vergleich: die Energieerzeugung des Atomkraftwerkes Isar II mit einer installierten Leistung von 1300 MW beträgt ca. 11.000 GWh/a, das heißt 7 Kraftwerke arbeiten nur für den Stromverbrauch der Kälte- und Klimaanlageanlagen.

Dabei entfallen 67% des Elektroenergiebedarfes in der Kälte- und Klimatechnik auf die Nahrungsmittelkühlung (Erzeugung, Transport, Lagerung und Verkauf) - die sogenannte Gewerbekühlung.

2. Notwendigkeit zur Energieeinsparung

Folgende Gründe sprechen für die Notwendigkeit, den Energieverbrauch in diesem Bereich der Wirtschaft zu reduzieren:

2.1 Politische und gesetzliche Rahmenbedingungen

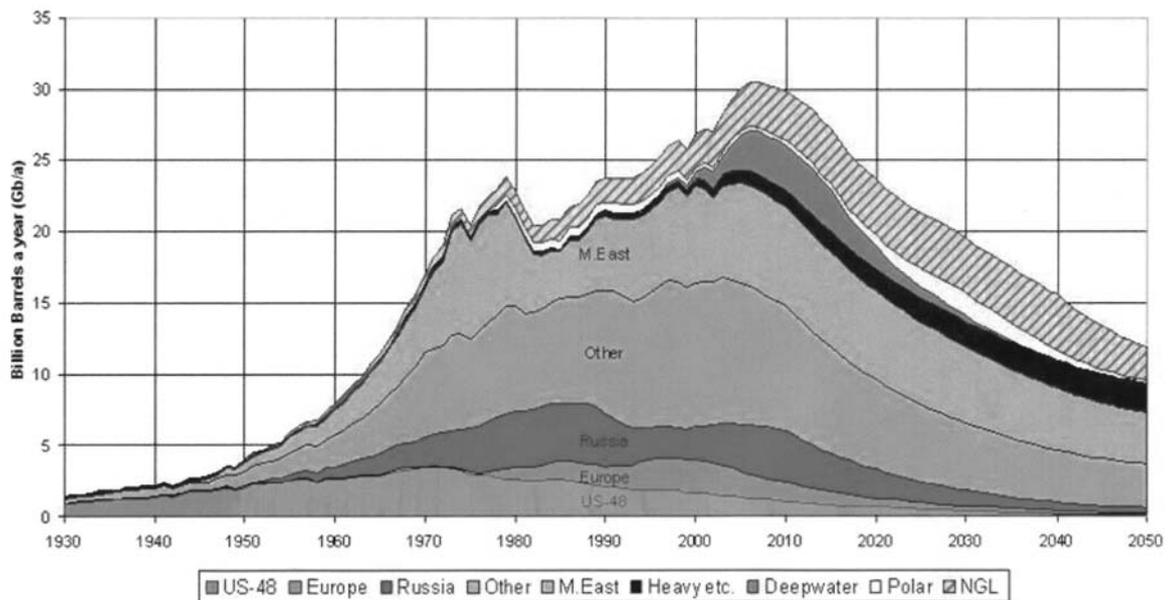
- Das Grünbuch der EU zur Energieeffizienz (stellt Optionen dar, wie bis 2020 in Europa 20% des Energieverbrauches gespart werden können)
- EU-Richtlinie 2003/0300 vom 13. 12. 2005 zur Endenergieeffizienz und zu Energiedienstleistungen
- Richtlinie 2002/91/EG vom 16. 12. 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD)

2.2 Sparsamer Umgang mit den Rohstoffressourcen

Das sind vor allem Erdöl, Erdgas und Kohle, die nur noch begrenzt verfügbar sind. In Bild 1 ist z.B. die Entwicklung der Förderquoten von Erdöl und Erdgas bis zum Jahre 2050 dargestellt. Klar erkennbar ist, daß das Fördermaximum bereits erreicht wurde. Der Bedarf wächst jedoch weiter an, besonders durch das rapide Wirtschaftswachstum in Ländern wie China und Indien.

Es ergeben sich folgende Fragen:

- Wer gibt uns das Recht, in 200 Jahren das zu verbrauchen, was die Natur in Millionen von Jahren geschaffen hat?
- Übernehmen wir auch die notwendige Verantwortung für unsere Nachfahren?



Grafik ASPO 2004 Szenario: Oil & Gas Liquids

Bild 1: Entwicklung der Förderquoten von Öl und Gas bis 2050

2.3 Reduzierung des Treibhauseffektes

Durch die von Menschen verursachten Emissionen von Treibhausgasen wie CO₂, Methan (CH₄), Stickoxide (NO_x) und F-Gase wird das Gleichgewicht zwischen Energieaufnahme von der Sonne und Wärmeabstrahlung in den Weltraum gestört und es kommt zu einer stärkeren Erwärmung der Erde mit den bekannten Auswirkungen auf das Klima. Diesem Prozeß kann nur durch Reduzierung der Emissionen von Treibhausgasen und konsequente Energieeinsparung begegnet werden.

Betrachtet man den Anteil der Kälteanlagen am Treibhauseffekt, so muß man unterscheiden zwischen:

- direktem Treibhauseffekt = Emissionen von Kältemitteln durch Leckagen und
- indirektem Treibhauseffekt = CO₂-Ausstoß durch Energieerzeugung.

Beide Effekte zusammen werden im sogenannten TEWI-Konzept einer Kälteanlage zusammengefaßt (TEWI = Total Equivalent of Warming Impact).

Im Kyoto-Protokoll, einer Klimarahmenkonvention, haben sich die Industriestaaten zu einer Reduktion der Treibhausgas-Emissionen um 5,2% bis 2012 bezogen auf das Basisjahr 1990 verpflichtet. Davon hat die EU 8% übernommen. Zur Untersetzung dieser Zielstellung wurde von der Europäischen Union für die stationäre Kälte- und Klimatechnik die EU-Verordnung 842/2006 "F-Gase-Verordnung" erlassen, die Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen von fluorierten Kältemitteln festgelegt.

Der direkte Treibhauseffekt durch Emissionen dieser Stoffe beträgt aber nur 20 bis 25%. Den weitaus größeren Anteil hat der indirekte Treibhauseffekt durch den Energieverbrauch der Anlagen, wie man aus Bild 2 sieht. Etwa 60% der Elektro-Energieerzeugung basiert in Deutschland auf der Verbrennung fossiler Brennstoffe (Kohle, Erdöl) - das bedeutet CO₂-Emissionen.



TEWI: R22 - Replacements

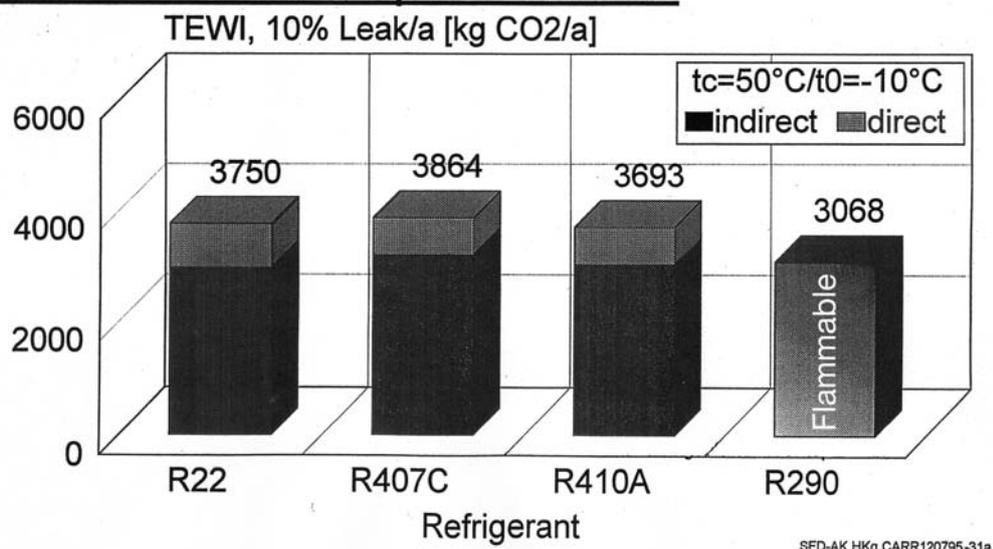


Bild 2: Direkter und indirekter Treibhauseffekt verschiedener Kältemittel

2.4 Senkung der Betriebskosten

Der Energieverbrauch einer Kälteanlage hat den größten Anteil an den Betriebskosten. Betrachtet man die Lebensdauer einer Kälteanlage, so betragen die Investitionskosten nur 20%, die Betriebskosten aber 80%. Bei der Entscheidung für eine Investition sollten deshalb die Betriebskosten mehr in den Mittelpunkt gestellt werden. Oberstes Ziel muß es sein, energieeffiziente Kälteanlagen zu bauen und diese auch effizient zu betreiben.

3. Schlussfolgerung für die Planung, das Errichten und das Betreiben von Kälteanlagen

Dieser Vortrag wendet sich in erster Linie an den Kälteanlagenbauer, der mit der Planung, der Ausführung und dem Service an Kälteanlagen im Bereich der Gewerbelkälte im kleinen und mittleren Leistungsbereich beschäftigt ist. Beim Thema Energieeinsparung könnte es sich der Kälteanlagenbauer einfach machen:

- Verantwortlich ist der Lieferant von Anlagenteilen, eine optimierte Anlagentechnik und energieeffiziente Komponenten (Motoren, Verdichter, Wärmeübertrager u.a.) zur Verfügung zu stellen.
- Oder, der Schlüssel zur Energieeinsparung liegt in der Automatisierungstechnik und der Einbindung der Kälte- und Klimaanlage in ein umfassendes Energie- und Gebäudemanagement, d. h. wir warten, bis wir eine Regelanlage bekommen, die alle Regelkreise einer Kälteanlage koordiniert und energetisch optimiert.

In den folgenden Ausführungen geht es nicht um die Entwicklung neuer Verfahren, Komponenten oder Arbeitsstoffe. Es werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie der Kälteanlagenbauer durch energieeffiziente Nutzung der vorhandenen Technik zu einer wirksamen Einsparung an Energie und Entlastung der Umwelt beitragen kann.

Der Preiskampf auf dem Markt hat leider dazu geführt, daß oft das billigste Angebot den Zuschlag bekommt. Der Auftraggeber ahnt oft nicht, daß im Endeffekt die höheren Betriebskosten über die Lebensdauer der Anlage gesehen, zu höheren Gesamtkosten und höherem umweltschädigenden Energieverbrauch führen. Hier ist ein generelles Umdenken erforderlich, wenn wir Erfolge beim Klimaschutz haben wollen. Oft kann durch geringe Mehrinvestitionen viel Energie gespart werden. Der Kälteanlagenbauer muß in der Lage sein, durch eine einfache Nutzensrechnung den Betreiber zu überzeugen, eine energieeffiziente Kälteanlage zu kaufen.

Die unter Punkt 4 aufgeführten Maßnahmen sind nur Beispiele, die zum Nachdenken anregen sollen und keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Zur besseren Übersicht wurden sie drei Problemkreisen einer Kälteanlage zugeordnet (Bild 3).

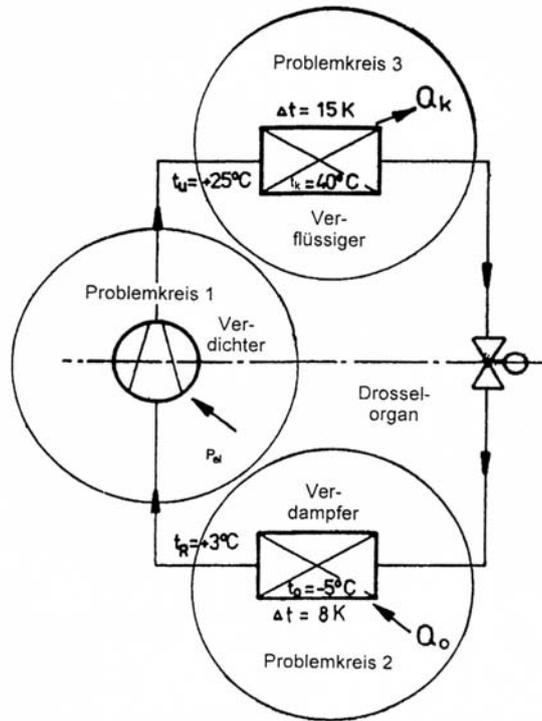


Bild 3: Problemkreise der Kälteanlage

4. Möglichkeiten zur Reduzierung des Energieverbrauches

4.1 Problemkreis Verdichter

4.1.1 Einsatz von Verdichtern mit hoher Leistungsziffer (COP)

Dem Kälteanlagenbauer steht eine breite Palette an Verdichterfabrikaten für den kleinen und mittleren Leistungsbereich in den Varianten hermetische und halbhermetische Hubkolbenverdichter und Scrollverdichter zur Verfügung. Vergleicht man für den jeweiligen Einsatzfall die Leistungsziffern, so stellt man oft beträchtliche Unterschiede fest.

Der Anlagenbauer kann diesen Vergleich sehr einfach und schnell selbst durchführen.

Dazu werden aus der Verdichtersoftware oder einem Prospekt des Verdichtertierlieferanten für den vorgesehenen Arbeitspunkt der Kälteanlage (t_o und t_k) und das gewählte Kältemittel die Kälteleistung \dot{Q}_o und die elektrische Leistungsaufnahme P_{el} entnommen. Der Quotient aus beiden Werten ist die Leistungsziffer:

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_o \text{ (in Watt)}}{P_{el} \text{ (in Watt)}}$$

Der Anlagenplaner kann mit dieser einfachen Rechnung den Verdichter mit dem niedrigsten Energieverbrauch (höchster COP) auswählen.

Die Leistungsziffern liegen heute im

Normalkühlbereich ($t_0 = -10\text{ °C}/t_k = +40\text{ °C}$) je nach Kältemittel bei COP = 2,2 bis 2,8 und im Klimabereich ($t_0 = +7,2\text{ °C}/t_k = +55\text{ °C} = \text{ARI-Bed.}$) bei COP = 2,8 bis 3,3.

Tabelle 1 zeigt einen Vergleich von Leistungsziffern.

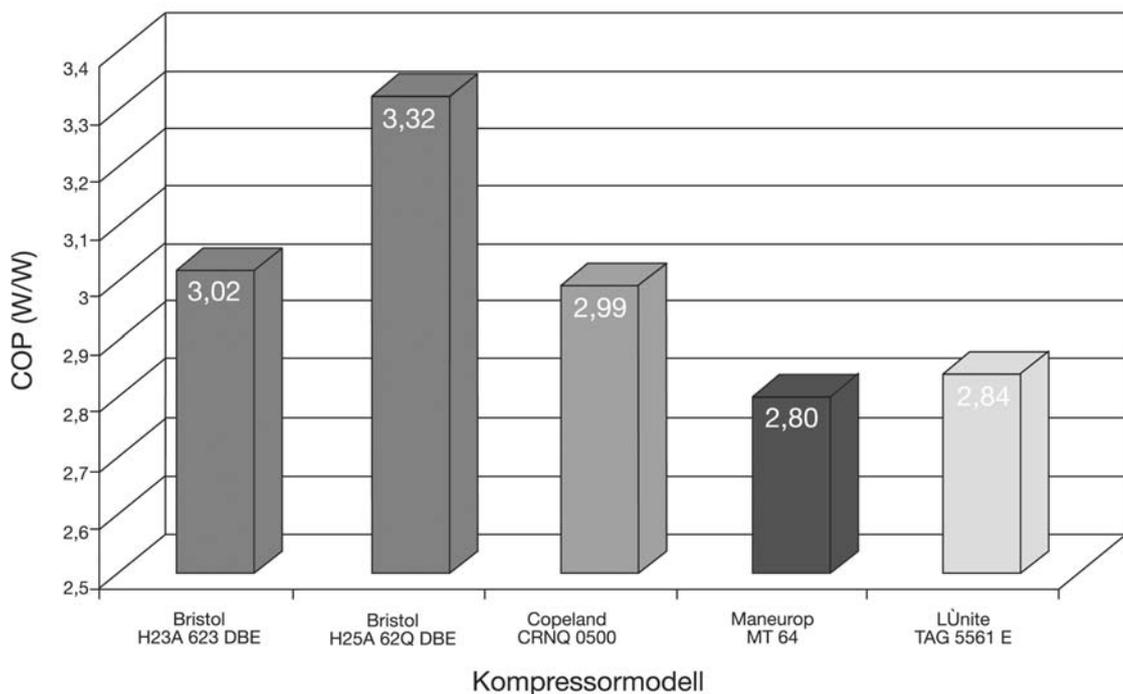
Verdichtertyp	R 134a			R 507		
	Q ₀	P _{el}	COP	Q ₀	P _{el}	COP
MTZ 36	3,242	1,39	2,33	5,564	2,54	2,19
MTZ 72	6,188	2,62	2,36	11,646	4,82	2,42
2 EC-2.2Y	3,340	1,31	2,55	6,030	2,58	2,34
4 EC-4.2Y	6,950	2,62	2,65	12,490	5,00	2,50
ZS 21	3,065	1,11	2,76	5,230	2,11	2,48
ZS 45	6,490	2,58	2,52	11,170	4,32	2,59
HAX 3/155-4	4,720	1,80	2,62	8,140	3,0	2,71
HAX 3/235-4	7,160	2,70	2,65	12,300	4,5	2,73
H 75A 38Q ¹⁾				5,431	1,941	2,80
H 75D 76Q				10,862	3,881	2,80

Leistungsangaben in kW bei $t_0 = -10\text{ °C} / t_c = +40\text{ °C}$; ¹⁾ für R 407C

Tabelle 1: Leistungsziffern diverser Verdichtertypen

In der Grafik (Bild 4) sind ebenfalls die COP verschiedener Verdichter im Klimabereich aufgetragen.

Vergleich des COP, Q₀ ca. 15 kW (ARI-Bed.)



4.1.2 Richtige Kältemittelauswahl zur Erzielung hoher Leistungsziffern

Nach dem Ausstieg aus den FCKW- und HFCKW-Kältemitteln stehen dem Kälteanlagenbauer eine breite Palette von F-Gasen (R134a, R507, R404A, R407C, R410A u. a.) sowie Kohlenwasserstoffe zum Beispiel Propan (R290), NH_3 und zur Zeit noch mit Einschränkungen CO_2 zur Verfügung.

Energetisch sehr effizient sind die Kohlenwasserstoffe bei Systemen mit direkter Verdampfung, weshalb sie auch vorrangig in Wärmepumpen zur Anwendung kommen. Bild 5 zeigt einen Vergleich der Leistungsdaten eines halbhermetischen Verdichters nach Bitzer mit dem sehr energieeffizienten Kältemittel R22. Nachteil der brennbaren Kältemittel sind das Sicherheitsrisiko und die erforderlichen sicherheitstechnischen Maßnahmen (DIN 7003 E).

Bei Einsatz in indirekten Kältesystemen (das betrifft auch NH_3), entfällt der energetische Vorteil durch den zweifachen Wärmeübergang und die erforderliche Antriebsleistung für die Pumpen (Energiebedarf ca. 15 % höher als bei Direktverdampfung).

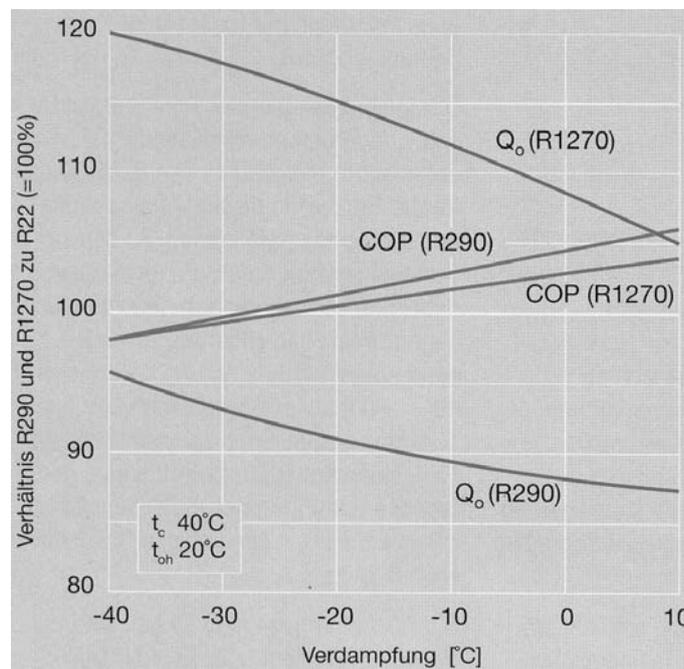


Bild 5: R290/R1270/R22 - Vergleich der Leistungsdaten eines halbhermetischen Verdichters

Anhand der unter Punkt 4.1.1 gezeigten Ermittlung der Leistungsziffer kann der Kälteanlagenbauer die verschiedenen F-Gase miteinander vergleichen und das für die jeweilige Verdampfungstemperatur energieeffizienteste Kältemittel auswählen. Bild 6 zeigt den COP-Vergleich für einen halbhermetischen Hubkolbenverdichter aufgetragen über der Verdampfungstemperatur. Danach sind zum Beispiel die Kältemittel R134a und R507 bei $t_0 = -15\text{ °C}$ energetisch gleich. Bei tieferen Verdampfungstemperaturen ist R507 bei höheren R134a effektiver einsetzbar.

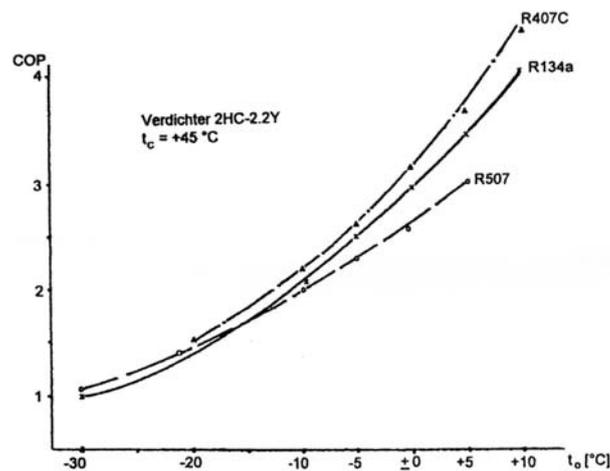


Bild 6: COP-Vergleich eines halbhermetischen Verdichters

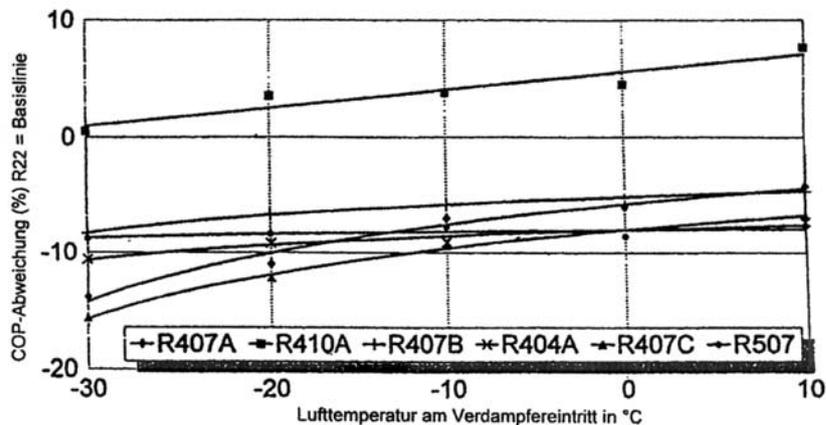


Bild 7: Relativer Kälteleistungszahlvergleich von R22 mit HFKW-Gemischen bei konstanter Kälteleistung und externen Temperaturen mit angepaßter Verdichterdrehzahl über der Lufteintrittstemperatur

Messungen des Energieverbrauches an Kälteanlagen mit CO_2 in der Praxis haben gezeigt, daß eine hohe Energieeffizienz sowohl im transkritischen Prozeß als auch besonders im unterkritischen Prozeß im Tiefkühlbereich erreicht werden kann. Hauptanwendungsbereiche dürften aber vorerst industrielle Gefrier- und Frostanlagen sowie die Tiefkühlbereiche in Supermärkten bei Anwendung von Kaskaden-Kälteanlagen sein.

4.1.3 Einsatz eines inneren Wärmetauschers zur Reduzierung der Leistungsaufnahme eines Verdichters

Von Dr.-Ing. Z. R. Huelle, Energie Engineering GmbH, Hannover wurden umfangreiche Untersuchungen über den Einfluß des Kältemittels auf das Betriebsverhalten einer einstufigen Kälteanlage mit und ohne inneren Wärmetauscher durchgeführt. Für den Vergleich wurden folgende Bedingungen gewählt:

$$\begin{aligned} \text{Kälteleistung } Q_o &= 10 \text{ kW, } t_o = -30 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{Überhitzung am Verdampfer } \Delta t &= 7 \text{ K} \\ t_k &= +50 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{Unterkühlung } \Delta t_k &= 4 \text{ K} \\ \text{Verdichtungsendtemperatur } &120 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Untersucht wurden u.a. die Kältemittel R22, R502, R404A, R507, R407C und R410A. Die besten Ergebnisse wurde mit R507 und R404A erzielt. Bei gleicher Kälteleistung wurden mit einem inneren Wärmetauscher Energieeinsparungen bis zu 15% erreicht. Zusätzlich steigt die Leistung für die Wärmerückgewinnung. In Bild 8 sind das RI-Fließbild und der Kälteprozeß im $h, \log p$ -Diagramm dargestellt.

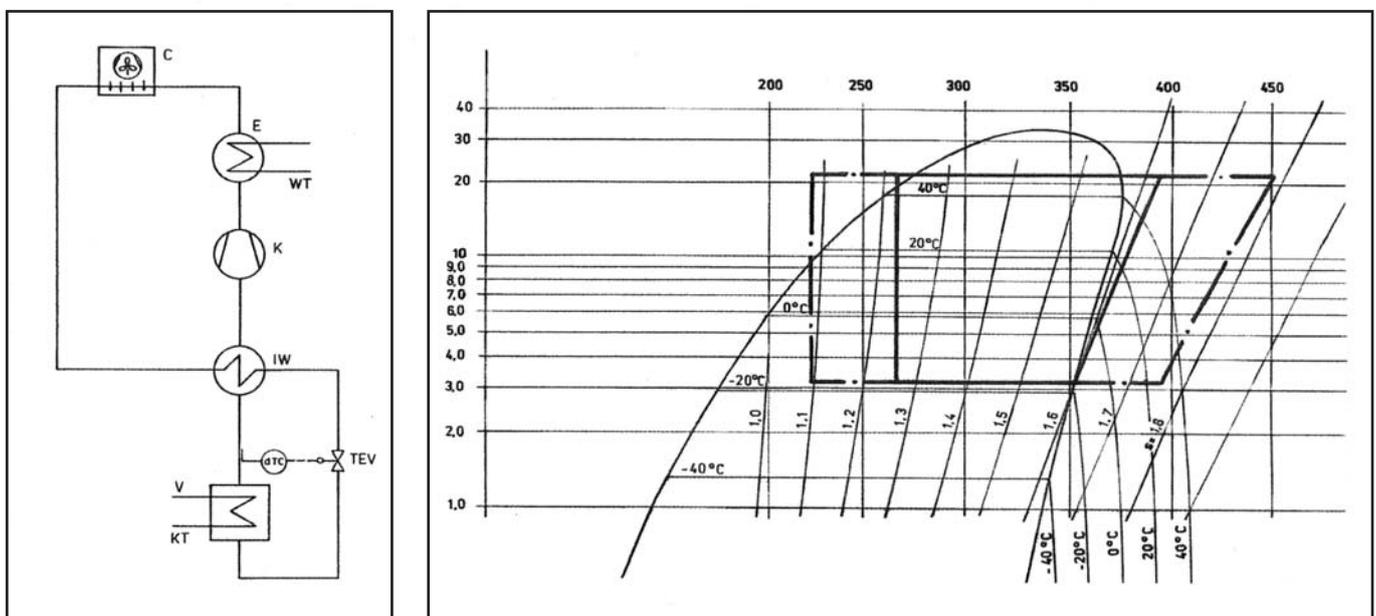


Bild 8: 1-stufiger Kälteprozess mit innerem Wärmetauscher

4.1.4 Erhöhung der Leistungsziffer und der Kälteleistung durch Unterkühlung des Kältemittels

Wie aus dem einfachen 1-stufigen Kälteprozeß im $h, \log p$ -Diagramm ersichtlich, verdampft im Drosselorgan bereits ein mehr oder weniger großer Anteil des Kältemittels je nach Druckverhältnis der Kälteanlage. Dieser Anteil muß vom Verdichter wieder verdichtet werden, ohne daß er einen Beitrag zur Kälteleistung hat. Ziel der energetischen Optimierung einer Kälteanlage muß es deshalb sein, diesen „Flashgasanteil“ so niedrig wie möglich zu halten, in dem das Kältemittel von der Entspannung zusätzlich unterkühlt wird. Derartige Schaltungen sind bei 2-stufigen Verdichtern Bild 9 und Bild 10 und bei Schraubenverdichtern als „Economiser-Schaltung“ seit längerer Zeit bekannt. Die Anwendung ist aber auch bei einstufiger Verdichtung mit Kolbenverdichtern sinnvoll und führt besonders im Tiefkühlbereich zu einem erheblichen Kältegewinn und zur Energieeinsparung. Typische Anwendung ist der Verbund im Supermarktbereich, bei dem der Kältemittelmassestrom des Tiefkühlverbundes durch den Normal-Kühlverbund unterkühlt wird.

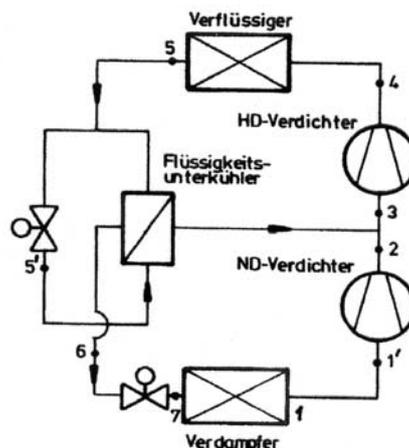


Bild 9: RI-Fließbild einer Kälteanlage mit zweistufiger Verdichtung, einstufiger Entspannung und Flüssigkeitsunterkühlung

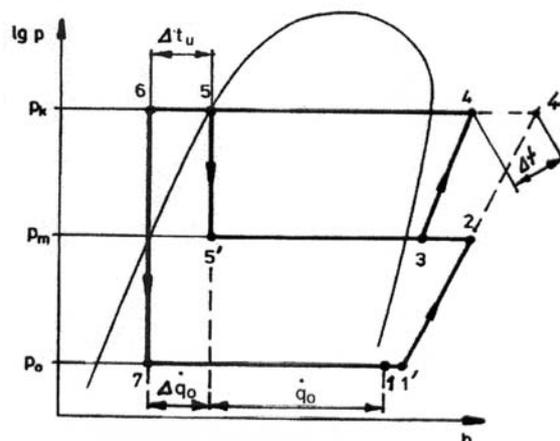


Bild 10: Zweistufige Kälteanlage mit einstufiger Entspannung und Flüssigkeitsunterkühlung im $h, \log p$ -Diagramm

Der Nutzen aus der Kältemittelunterkühlung wird aus folgendem Rechenbeispiel deutlich:

Gegeben: Halbhermetischer Verdichter Typ 4DC-7.2Y; R 507

$$t_o = -30 \text{ °C}; t_c = +40 \text{ °C}; t_{oh} = -10 \text{ °C}; \Delta t_{fl} = 30 \text{ K}$$

Damit ergeben sich gemäß Bitzer-Software 4.2 folgende technische Daten:

	ohne Unterkühlung	mit Unterkühlung	Änderung %
Kälteleistung \dot{Q}_o in kW	5,03	7,29	+45
Leistungsaufnahme P_{el} in kW	3,91	3,91	+45
COP	1,29	1,86	
Massenstrom \dot{m} in kg/h	177,2	177,2	

Bei einer Neuanlage kann ein kleinerer Verflüssigungssatz eingesetzt und damit Investitions- und Energiekosten gespart werden. Bei einer Nachrüstung einer bestehenden Anlage reduzieren sich die Verdichterlaufzeit und damit die Energiekosten.

Zur Realisierung der Unterkuhlung sind folgende Investitionskosten erforderlich:

1 Plattenwärmetauscher Typ B10x10	203,30 €
1 Thermostatisches Expansionsventil TS2, Düse 02	54,70 €
Montagematerial (Cu-Rohr, Fittings, Halterungen)	25,00 €
Montagezeit 2h á € 45,-	90,00 €
	$\Sigma = 373,30 \text{ €}$

Investitionskosten verzinst bei Zinssatz 4% und 15 Jahren Lebensdauer:

$$373,30 \text{ €} \times 1,01^{14} = \underline{646,40 \text{ €}}$$

Dem gegenüber steht folgender Nutzen:

- Laufzeitreduzierung von bisher 16h/Tag auf

$$\frac{5,03 \text{ kW}}{7,29 \text{ kW}} \times 16\text{h} = \underline{11,04 \text{ h/Tag}}$$

- Energieeinsparung:

$$3,91 \text{ kW} (16\text{h}-11,04\text{h}) = \underline{19,39 \text{ kWh/Tag}}$$

- tägliche Kosteneinsparung:

$$19,39 \text{ kWh/Tag} \times 0,14 \text{ € /kWh} = \underline{1,94 \text{ € /Tag}}$$

- Amortionszeit der Investition:

$$\frac{\text{Investkosten verzinst}}{\text{Kosteneinsparung/Tag}} = \frac{646,40 \text{ €}}{1,94 \text{ € /Tag}} = 333 \text{ Tage} \approx 1 \text{ Jahr}$$

4.1.5 Einsatz effektiver Verfahren zur Leistungsregelung von Verdichtern

Da für die Auslegung der Kälteanlagen die maximalen Lasten, z. B. höchste Umgebungstemperatur im Sommerbetrieb zugrunde gelegt werden und in der Regel im Normalkühlbereich eine Verdichterlaufzeit von 16 h/d angesetzt wird, laufen die meisten Kälteanlagen etwa 85 % ihrer Jahresbetriebszeit im Teillastbereich.

Zur Vermeidung hoher Schalthäufigkeiten des Verdichters, die die Lebensdauer reduzieren und einen hohen Energieverbrauch bewirken, sind effektive Verfahren zur Leistungsregelung erforderlich. Tabelle 2 zeigt einen energetischen Vergleich für drei gebräuchliche Arten der Leistungsregelung erstellt von der Firma Bitzer. Wie man sieht, ist die Heißgas-Bypass-Regelung eine reine Energievernichtung, da der Verdichter auch bei Teillast immer die volle Leistungsaufnahme hat. Diese Regelung sollte auf keinen Fall bei halbhermetischen Mehrzylindermaschinen angewendet werden. Energetisch relativ gut ist die Abschaltung von Zylindern oder Zylinderbänken. Negativ wirken hier nur die Reibungsverluste in den ohne Last laufenden Zylindern.

Energetisch gut ist der Einsatz von Verbundkälteanlagen mit der stufenweisen Anpassung des Saugdruckes, besonders bei Einsatz von Verdichtern mit unterschiedlicher Leistung.

Saugdruckregelung			Heißgas-Bypass-Regelung			Sauggas-Abschaltung (Zylinderabschaltung)			Schaltzustand
Q_{oeff}	P_{kl}	COP_{eff}	Q_{oeff}	P_{kl}	COP_{eff}	Q_{oeff}	P_{kl}	COP_{eff}	
88,5%	100%	1,99	88,5%	100%	1,99	88,5%	100%	1,99	"3/3"
-10 / +45°			-10 / +45°			-10 / +45°			
56,6%	79,8%	1,30	59,3%	98,1%	1,36	62,7%	67,0%	2,10	"2/3"
-20 / +42,5°			-10 / +43°			-10 / +42,5°			
25,4%	51,2%	1,11	29,8%	95,7%	0,70	32,9%	536,9%	2,00	"1/3"
-35 / +39,5°			-15 / +40,5°			-10 / +39,5°			

Tabelle 2: Energetischer Vergleich von Leistungsregelungen für Verdichter nach Bitzer

Die effektivste Art der Leistungsregelung ist jedoch die Drehzahlregelung des Verdichters mit einem optimalen Teillastverhalten. Dadurch und die höhere und konstantere Verdampfungstemperatur werden Energieeinsparungen gegenüber herkömmlicher Kälteanlagen von 20% und mehr erreicht.

Das folgende Rechenbeispiel zeigt, daß sich Frequenzumformer auch relativ schnell amortisieren können. Verglichen werden ein Verbundsatz mit 3 halbhermetischen Verdichtern geregelt mit einem Verbundregler und ein Duo-Verbund geregelt mit einem Frequenzumformer.

Variante 1: Euroverbund EV3B-51000-R507 ohne Verflüssiger
3x Bitzer 4V-6.2Y; $\dot{Q}_o = 51000 \text{ W}$ bei $t_o = -10/t_c = +45 \text{ °C}$
Bruttopreis: 11.900,- €
Schaltkasten VS 20-3VH/4 mit Verbundregler DCC 2000
Bruttopreis: 1.975,- €

Variante 2: Duo-Verbund EV2B-50700-R507 ohne Verflüssiger
Bitzer 4P-10.2Y/ 4T-8.2Y/; $\dot{Q}_o = 14000-51000 \text{ W}$
Bruttopreis: 7.912,- €
Schaltkasten ES-FP15FE mit FU-Kimo FP15FE
Bruttopreis: 6.810,- €
Mehrkosten Variante 2: 757,- €
Mehrkosten verzinst auf 15 Jahre bei 4%: 1311,- €

- Energiekosten bei Variante 1:

$$7,5 \text{ kW} \times 3 \times 16\text{h/d} \times 0,14 \text{ €/kWh} = \underline{50,4 \text{ €/d}}$$

- Einsparung 15% bei Variante 2: $0,15 \times 50,4 \text{ €/d} = \underline{7,56 \text{ €/d}}$

- Amortisationszeit: $\frac{\text{Mehrkosten verzinst}}{\text{Energieeinsparung/d}} = \frac{1211,-\text{€}}{7,56 \text{ €/d}} = 173 \text{ Tage}$

4.2 Problemkreis Verdampfer und Expansionsventil

4.2.1 Richtige Festlegung der Verdampfungstemperatur

Aus energetischer Sicht muß die Temperaturdifferenz zwischen Raumtemperatur t_R und Verdampfungstemperatur t_o so klein wie möglich gehalten werden.

Es gilt für den Normalkühlbereich:

**t_o um 1K zu tief = Reduzierung von \dot{Q}_o um 4% oder
4% höherer Energieverbrauch.**

Bei unverpacktem Kühlgut bestimmt die relative Feuchte im Kühlraum das t_o (siehe Bild 11).

Mit der Temperaturdifferenz am Verdampfer $\Delta t = t_R - t_o$ oder nach Eurovent DT1 = $t_{L1} - t_o$ legt der Anlagenplaner die Verdampfungstemperatur und damit die relative Feuchte im Kühlraum fest.

Nach der Formel für die Kälteleistung am Verdampfer

$$\dot{Q}_o = K \cdot A \cdot \Delta t \text{ (W)}$$

ergibt bei gegebener Leistung eine große Fläche A (hohe Kosten) ein kleines Δt und damit eine hohe relative Feuchte, z. B. in der Obst- und Gemüselagerung und umgekehrt (siehe Bild 11).

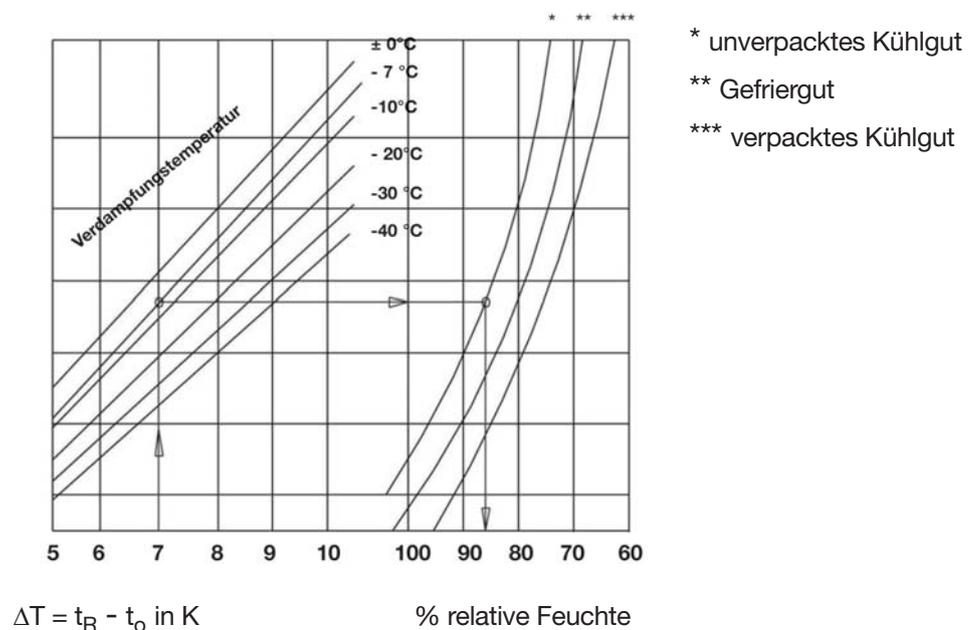


Bild 11: Ermittlung der optimalen Verdampfungstemperatur

Wird aus Kostengründen eine kleine Fläche gewählt, ergibt sich ein größeres Δt und damit eine tiefere Verdampfungstemperatur. Das führt zu einem erhöhten Energieverbrauch und zu einer größeren Warenaustrocknung.

Optimale Lagerbedingungen ergeben sich wie aus Bild 11 ersichtlich bei folgenden Werten:

- Obst- und Gemüselagerung - $\Delta t = 5$ bis 6 K
(4 K bei elektronischen Einspritzventilen)
- Fleischlagerung - $\Delta t = 7$ K
- Molkereiprodukte - $\Delta t = 8$ K
- Konserven, Getränke - $\Delta t = 10$ K.

Aus Bild 11a sieht man die Änderung der Antriebsleistung P_{el} für eine bestimmte Kälteleistung \dot{Q}_o aufgetragen über der Verdampfungstemperatur t_o . Zur Erzeugung von 24 kW Kälteleistung werden bei $t_o = -2$ °C eine elektrische Leistung von 8,5 kW und bei $t_o = -14$ °C bereits 12,5 kW benötigt. Der COP der Kälteanlage sinkt dabei von 2,94 auf 1,90.

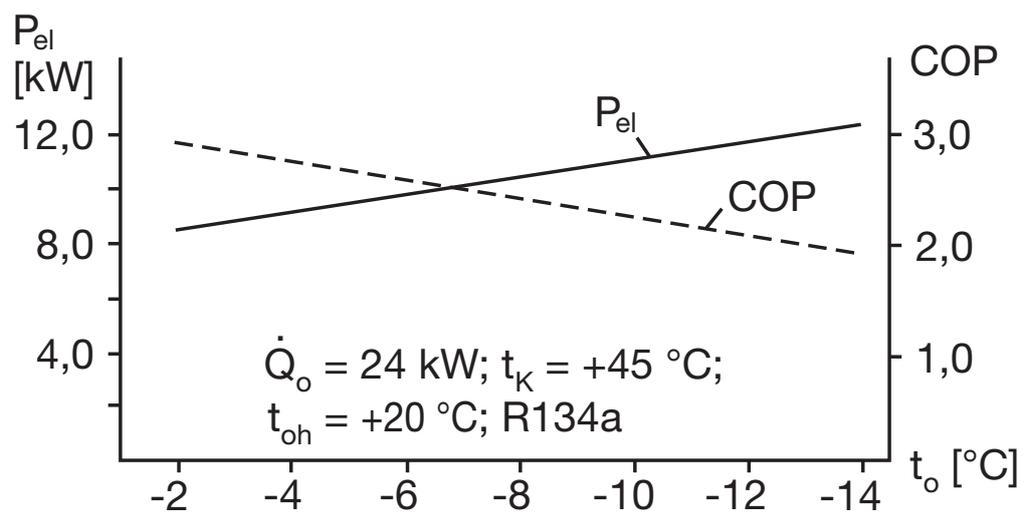


Bild 11a: Energieeinsparung und Steigerung des COP durch Anhebung der Verdampfungstemperatur t_o

4.2.2 Optimale Einregulierung der Kälteanlage

Thermostatische Expansionsventile haben vom Hersteller eine voreingestellte Überhitzung. Das entbindet den Kälteanlagenbauer aber nicht, bei der Inbetriebnahme einer Kälteanlage nach Erreichen der Kühlraumtemperatur die tatsächliche Überhitzung des Kältemittels am Verdampferausgang mittels Manometer und Oberflächenthermometer zu überprüfen (siehe Bild 12).

Zu große Überhitzung bedeutet schlechte Verdampferauslastung und erhöhten Energieverbrauch, zu niedrige Überhitzung die Gefahr von Flüssigkeitsschlägen im Verdichter.

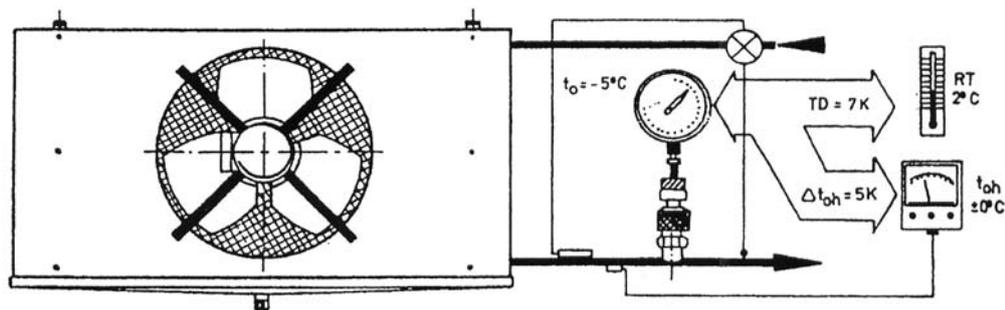


Bild 12: Einregulierung der Überhitzung am Verdampfer

Untersuchungen der Firma Küba haben ergeben, daß die optimale Überhitzung Δt_{oh} bei etwa $0,7 \times \Delta t = 0,7 (t_{\text{R}} - t_0)$ liegt, das heißt, bei einem Fleischkühlraum mit $t_{\text{R}} = +0^\circ\text{C}$ und $t_0 = -7^\circ\text{C}$ ist $\Delta t_{\text{oh}} \approx 5\text{K}$.

4.2.3 Einsatz energieeffizienter Abtauverfahren

4.2.3.1 Intelligente Abtausteuerungen

Während in älteren Kälteanlagen die Abtauung von Verdampfern noch mit Abtauuhren eingeleitet und mit einem Begrenzungsthermostaten beendet wurde, werden seit etwa 1990 fast ausschließlich elektronische Kühlstellenregler mit Abtaufunktionen eingesetzt. Aber auch bei diesen Reglern wird in der Regel ein fester Abtaurhythmus, zum Beispiel dreimal pro Tag und eine feste Abtauzeit von etwa 30 min und mehr je nach Art des Kühlraumes oder Kühlmöbels und Warenart festgelegt. Bei der Anzahl der turnusmäßigen Abtauungen werden hohe Sommertemperaturen mit hoher Luftfeuchtigkeit und Tage mit hoher Warenbeschickung zugrunde gelegt.

Das bedeutet, daß der Verdampfer im Winterhalbjahr zu häufig abgetaut wird. An Tagen ohne Warenbeschickung oder am Wochenende (kein Begang) wäre nur eine oder gar keine Abtauung erforderlich. Die Folge ist ein viel zu hoher Energieverbrauch für nutzlose Abtauungen.

Untersuchungen haben gezeigt, daß durch den Einsatz von intelligenten Bedarfsabtaureglern wie zum Beispiel des QKL mini der Firma Cool Expert oder des AK2-CC vom ADAP-KOOL-System der Firma Danfoss 30 bis 50 % aller Abtauvorgänge unterdrückt werden und damit wesentliche Energieeinsparungen erzielt werden können. Durch eine permanente Messung von Lufttemperatur und Verdampfungstemperatur bzw. -druck am Verdampfer wird sichergestellt, daß die Abtauung nur bei entsprechendem Eisansatz erfolgt.

4.2.3.2 Abtauverfahren

Bei der Vielzahl von kleinen und mittleren Kälteanlagen im Bereich der Gewerbekälte erfolgt bei Raumtemperaturen unter +2 °C die Abtauung leider überwiegend mit Elektroheizungen im Verdampfer. Untersuchungen eines führenden deutschen Herstellers von Luftkühlern haben gezeigt, daß dabei über 40 % der zugeführten Energie nicht zum Schmelzen des Eisansatzes dienen, sondern nutzlos über die Luft und das Schmelzwasser an den Raum abgegeben werden.

Das ist pure Energieverschwendung, vor allem wenn man bedenkt, daß die Leistungsaufnahmen der installierten Abtauheizungen je Luftkühler oft größer als die Antriebsleistung der Kälteverdichter sind.

In diesem Bereich liegt das größte Energieeinsparungspotenzial bei Kälteanlagen.

gen. Bei Anwendung der Heißgas- oder Kaltgasabtauung werden durch die Nutzung der latenten Wärme beim Kondensieren des Kältemittels und die direkte Wärmezufuhr in den Verdampferrohren wesentlich kürzere Abtauzeiten (etwa 8 bis 15 min) und Energieeinsparungen von 60 bis 70 % erreicht. Bild 13 zeigt einen prinzipiellen Vergleich von Heißgas- und Elektroabtauung - aufgenommen an einem Tiefkühlraum. Deutlich sichtbar sind die wesentlich längere Abtauzeit und die stärkere Lufterwärmung bei Elektroabtauung.

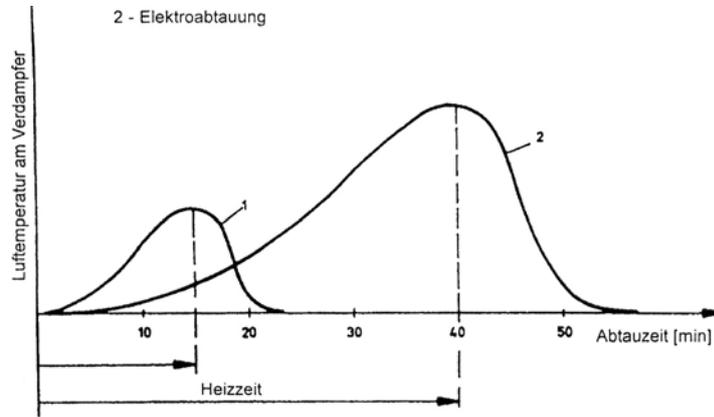


Bild 13: Temperaturverlauf und Abtauzeiten bei Elektroabtauung und Heißgasabtauung mit 4-Wege-Umkehrventil

Bei der Heißgasabtauung mittels 4-Wege-Umkehrventil (Bild 14) wird im Abtau-prozeß die Funktion der Wärmetauscher umgekehrt, das heißt, im Verflüssiger nimmt das Kältemittel beim Verdampfen Wärme auf, die es im Verdampfer beim Kondensieren zum Schmelzen des Eisansatzes wieder abgibt (Wärmepumpenprinzip).

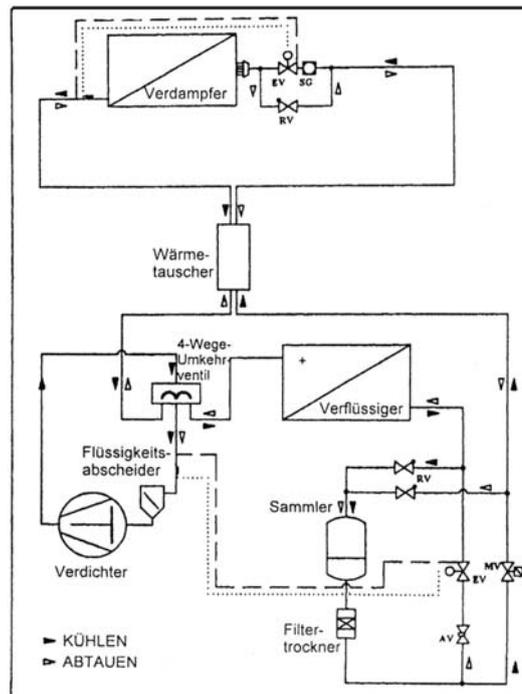


Bild 14: RI-Fließbild für eine Heißgasabtauung mit 4-Wege-Umkehrventil

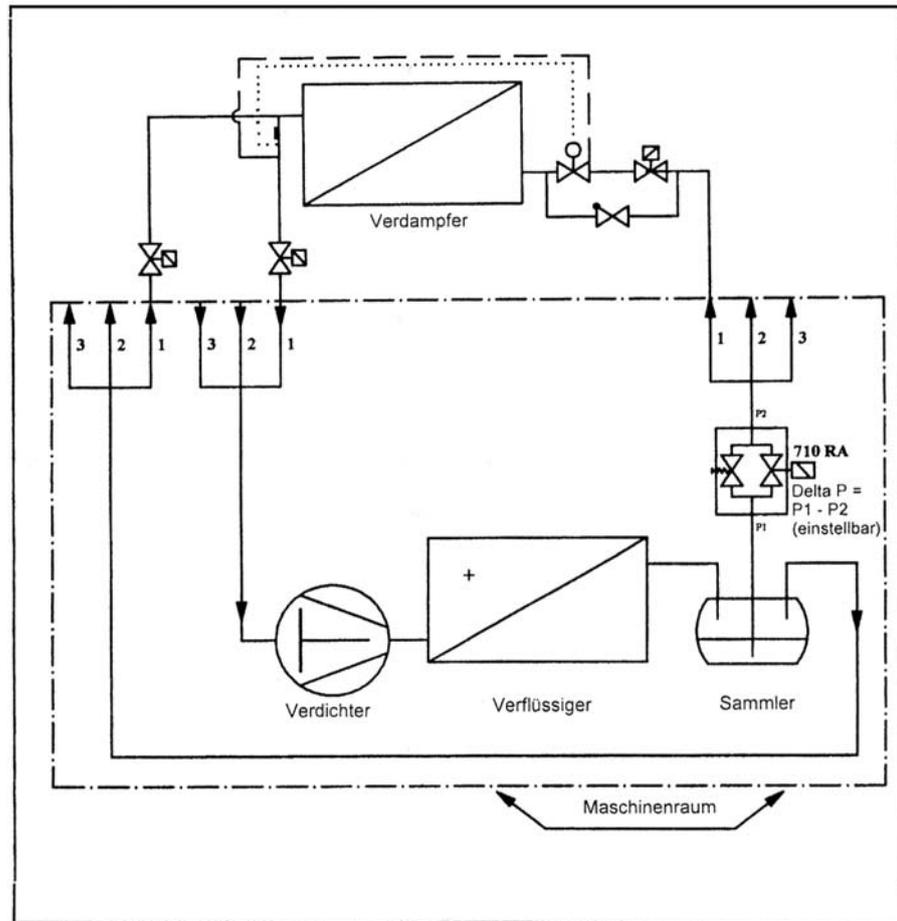


Bild 16: Kältekreislaufschemata für Kaltgas-Abtauung

Für Heiß- bzw. Kaltgasabtauungen ergaben sich geringe Amortisationszeiten wie in nachfolgendem Beispiel gezeigt wird. Das wird bei steigenden Energiepreisen in den nächsten Jahren noch mehr begünstigt.

Amortisationszeit für eine Heißgasabtauung

gegeben: Tiefkühlageraum $V = 1000 \text{ m}^3$; $\dot{Q}_o = 34 \text{ kW}$;
 $t_R = -20 \text{ °C}$
2 x SGBE 93 - Verdampfer: Abtauheizung 2 x 10,32 kW
 $P_{el_{ges}} \approx 20,3 \text{ kW}$

1. Investitionskosten:

	VK ¹⁾ €
1 4-Wege-Umkehrventil V10-2750 + Spule	239,00
1 Expansionsventil TERE 34 SW	343,60
2 Rückschlagventile NRV 19s	74,80
2 Rückschlagventile NRV 12s	50,00
1 Flüssigkeitsabscheider FA 54 mm TWIN	432,00
8 h Arbeitszeit á 45,- €	360,00
Montagematerial	<u>50,00</u>
	1549,40
- Verdampferdifferenz SGBE 93 - SGB 93	<u>-675,00</u>
¹⁾ Bruttopreis 2002	874,40

Investkosten verzinst: 1513,50 €

2. Energieeinsparung:

Elektroabtauung: $3 \times 0,5 \text{ h} \times 20,6 \text{ kW} = 30,9 \text{ kWh/d}$

Heißgasabtauung: $3 \times 10 \text{ min} \times 24,32 \text{ kW} = 12,16 \text{ kWh/d}$

(Bitzer 44G-40.2Y)

tägliche Energieeinsparung:

$$30,9 - 12,16 = 18,74 \text{ kWh} \times 0,14 \text{ €/kWh} \approx 2,62 \text{ €/Tag}$$

3. Amortisationszeit:

$$\tau = \frac{\text{Investkosten}}{\text{Energieeinsparung}} = \frac{1513,50 \text{ €}}{2,62 \text{ €/Tag}} \approx 578 \text{ Tage}$$

4.3 Problemkreis Verflüssiger

4.3.1 Richtige Auslegung der Verflüssigergröße

Aus energetischer Sicht sollte die Verflüssigungstemperatur t_c so niedrig wie technisch möglich gehalten werden. Für die Verflüssigerseite gilt folgende Faustformel:

**t_c um 1K zu hoch = 1% höherer Energieverbrauch
1,5 bis 2% niedrigere Kälteleistung.**

Luftgekühlte Verflüssiger werden im Normalkühlbereich mit einem $\Delta t = 15$ K zwischen Verflüssigungs- und Umgebungstemperatur ausgelegt. Aber auch hier kann durch eine kurze Nutzensrechnung schnell ermittelt werden, in welcher Zeit sich eine größere Wärmetauscherfläche (höhere Investitionskosten) durch ein kleineres Δt (Energieeinsparung) amortisiert. Auf alle Fälle muß aber bei der Auslegung der Verflüssigerflächen sowohl bei luft- als auch wassergekühlten Verflüssigern eine Verschmutzung (7 bis 10 % größere Fläche) einkalkuliert werden, damit es bei hohen Umgebungstemperaturen nicht zu einem vorzeitigen Ansprechen des Hochdruckwächters kommt.

4.3.2 Regelmäßige Wartung von Verflüssigern

Je nach Aufstellungsbedingungen bzw. Wasserqualität sind die Wartungszyklen für luft- oder wassergekühlte Verflüssiger festzulegen. Verschmutzte Verflüssiger haben einen schlechteren Wärmeübergang. Das führt zu einem größeren Δt und damit höherem Energiebedarf für die Kälteanlage. Die Lamellen luftgekühlter Verflüssiger sind regelmäßig zu reinigen.

Dabei ist notfalls auch durch Messung der Stromaufnahme zu prüfen, ob alle Ventilatoren eines Verflüssigers laufen. Bei Verflüssigern mit mehreren Ventilatoren können sich bedingt durch den Luftstrom durchaus alle Ventilatoren drehen, obwohl vielleicht ein Ventilatormotor defekt ist. Der Ausfall eines Ventilators führt zu einem höheren Δt und damit zu mehr Energiebedarf.

Auch wassergekühlte Verflüssiger müssen je nach Wasserqualität durch Bürsten der Rohre oder bei harten Inkrustationen (hohe Wasserhärte) chemisch durch Spülen mit Säure gereinigt werden.

4.3.3 Abwärmenutzung von Kälteanlagen

Bei jeder Kälteanlage fallen erhebliche Wärmemengen an, die über den Verflüssiger der Anlage oft nutzlos an die Umgebung abgegeben werden. Durch Nutzung dieser Wärmemengen zur Heizung oder die Warmwasserbereitung kann die Effektivität einer Kälteanlage wesentlich verbessert werden (Kälte-Wärme-Kopplung). Dem Anlagenbauer stehen dazu eine Vielzahl von Systemen und Komponenten zur Verfügung, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann.

Untersuchungen im Supermarktbereich haben gezeigt, daß die Abwärme der Kälteanlagen 84% der Jahresheizarbeit übernehmen kann. Bis zu einer Umgebungstemperatur von $t_u = -4 \text{ °C}$ reicht die Abwärme für die Beheizung von Laden, Lager und Büro sowie die Brauchwassererwärmung. Dazu ist in der Phase der Bauplanung eine enge Koordination zwischen Ladenbau und der gesamten Gebäudetechnik erforderlich.

Die Verflüssigungstemperatur soll bei Nutzung der Abwärme jedoch auf keinen Fall angehoben werden. Wie Bild 17 zeigt, steigt dabei die elektrische Leistungsaufnahme der Anlage, die Kälteleistung und die Leistungsziffer aber sinken. Man erhält nur eine höhere Wassertemperatur, aber keine höhere Verflüssigerleistung.

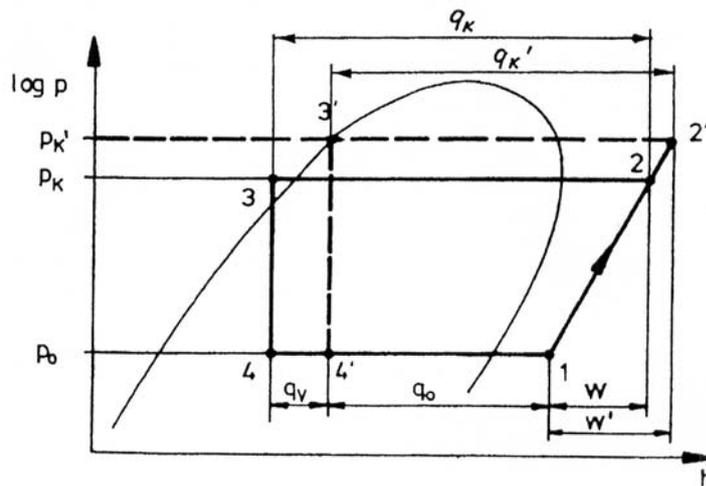


Bild 17: Abwärmenutzung einer Kälteanlage
-Auswirkungen bei Erhöhung der Kondensationstemperatur

	$t_c = +40 \text{ °C}$	$t_c = +50 \text{ °C}$
Kälteleistung \dot{Q}_o [kW]	5,92	5,08
Leistungsaufnahme P_{el} [kW]	2,20	2,38
Verflüssigerleistung \dot{Q}_k [kW]	8,12	7,46
Leistungsziffer COP	2,69	2,13

4.3.4 Energieeinsparung durch Absenkung der Verflüssigungstemperatur

Bei Kälteanlagen mit luftgekühlten Verflüssigern wird zur sicheren Funktion der Anlagen bei Betrieb mit Thermostatischen Expansionsventilen auch im Winterbetrieb die Verflüssigungstemperatur t_c in der Regel bei etwa +38 bis +40 °C konstant gehalten.

Durch den Einsatz von Elektronischen Expansionsventilen, die nur eine minimale Druckdifferenz von $\Delta p_{\min} = 3$ bar benötigen, kann im Winterhalbjahr und im Nachtbetrieb je nach Umgebungstemperatur die Verflüssigungstemperatur auf etwa +15 °C abgesenkt werden. Wie vergleichende Messungen (siehe Tabelle 2) gezeigt haben, sind dadurch erhebliche Energieeinsparungen möglich. Das kann auch durch ein einfaches Rechenbeispiel dokumentiert werden.

Tiefkühlanlage (TT)	Modulierende Steuerung von t_k in Abhängigkeit von t_u mittels EEV + Regler von Carel (Absenkung von t_k bis auf +20 °C)					
	Zeitraum	Technologie	Verbrauchte kWh insg.	Tage	kW-Durchschnitt	Energieeinsparung
	Juli - Nov. 2002	Traditionell (TXV)	54634	64	35,7	19 %
		Elektronisch (EXV)	51517	74	28,9	
	Dez. 2002 - Feb. 2003	Traditionell (TXV)	32978	48	28,6	33 %
Elektronisch (EXV)		17063	37	19,3		
März - Mai 2003	Traditionell (TXV)	28001	30	38,5	33 %	
	Elektronisch (EXV)	18768	30	25,7		

Stromverbrauch einer Tiefkühlanlage (TT) in den drei Zeiträumen

Kühlanlage (NT)	Zeitraum	Technologie	Verbrauchte kWh insg.	Tage	kW-Durchschnitt	Energieeinsparung
	Juli - Nov. 2002	Traditionell (TXV)	125700	64	82,2	19 %
		Elektronisch (EXV)	118973	74	66,8	
	Dez. 2002 - Feb. 2003	Traditionell (TXV)	46325	40	48,7	27 %
Elektronisch (EXV)		27152	32	35,3		
März - Mai 2003	Traditionell (TXV)	44164	30	61,1	29 %	
	Elektronisch (EXV)	31508	30	43,1		

Stromverbrauch einer Kühlanlage (NT) in den drei Zeiträumen

Messergebnisse der Esselunga Supermercati/Italien
(aus KKA 5/2004)

Tabelle 2:

Gegeben: Kälteanlage mit einem Bitzer-Verdichter 4DC-5.2Y
R 404A; $t_o = -10\text{ °C}$; Verdichterlaufzeit = 16h/Tag

	$t_c = +40\text{ °C}$	$t_c = +20\text{ °C}$
Kälteleistung \dot{Q}_o am Verdampfer	12,82 kW	18,57 kW
Leistungsaufnahme P_{el}	5,95 kW	4,52 kW
Leistungsziffer COP	2,15	4,10
Kälteenergie /Tag	12,82 kW x 16h	205,12 kWh/d : 18,57 kW
Änderung der Laufzeit	205,12 kWh/d	10,97 Laufstunden
Energieverbrauch	5,95 kW x 16 h = 95,2 kWh/d	4,52 kW x 10,97 h = 49,6 kWh/d

Energieeinsparung / Tag = 95,2 kWh - 46,6 kWh = 45,6 kWh

4.3.5 Energieeinsparung durch Einsatz energieeffizienter Geräte

Rechenbasis:

- Verflüssigerleistung - 100 kW
- Laufzeit d. Anlage - 15 Jahre
- Betriebsstunden / Jahr - 4000 h/a
- Energiepreis - 0,14 € / kWh
- Zinssatz - 4 %

Verflüssigertyp	GVH 065.1B/2 - ND.E	GVH 065.1C/3 - LS.E
Leistungsaufnahme der Ventilatoren	3,84 kW	1,27 kW
Energieeffizienzklasse ²⁾	E (hoch)	B (sehr niedrig)
Energieverbrauch / Jahr	15.360 kWh	5.080 kWh
Energiekosten / Jahr	2.150,- €	711,- €
Investitionskosten	3.543,- €	4.375,- €
Investitionskosten verzinst ¹⁾	6.135,- €	7.576,- €
jährliche Abschreibung	409,- €	4505,- €
Gesamtkosten / Jahr	2.559,- €	1.216,- €

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{Investkostendifferenz}}{\text{Energiekosteneinsparung}} = \frac{1441,-\text{ €}}{3,94\text{ €/Tag}} = \underline{365\text{ Tage}}$$

¹⁾ Investkosten verzinst: $a_n = a_1 \cdot q^{n-1}$

n = Laufzeit in Jahren

²⁾ Klasse | Energieverbrauch | R

A	Extrem niedrig	$R > 110$
B	Sehr niedrig	$70 < R < 110$
C	Niedrig	$45 < R < 70$
D	Mittel	$30 < R < 45$
E	Hoch	$R < 30$

a_1 = Investkosten

a_n = Investkosten verzinst

q = Zinsfaktor

Mit dem 2004 eingeführten Energielabel für luftgekühlte Verflüssiger und Rückkühler ist die Eurovent-Zertifizierung noch wertvoller für Planer und Betreiber. Man sieht auf einen Blick, wie energieeffizient ein Produkt ist.

4.3.6 Drehzahlregelung von Verflüssigerventilatoren

Früher wurden Verflüssigerventilatoren unregelmäßig betrieben oder der Verflüssigungsdruck durch Ein- und Ausschalten von Ventilatoren pressostatisch geregelt. Die Folge davon waren große Schwankungen des Verflüssigungsdruckes und bedingt durch die unterschiedlichen Einspritzmengen des Expansionsventiles auch starke Schwankungen des Verdampfungsdruckes mit den Folgen Mehrenergiebedarf und schlechte Warenqualität.

Die Drehzahlregelung der Verflüssigerventilatoren ist heute Standard. Zur Auswahl stehen folgende Verfahren:

- Phasenanschnittregelung
- Stelltransformatoren
- Frequenzumrichter
- Elektronisch kommutierte Motoren.

Die Phasenanschnittsregelung ist am preiswertesten aber energetisch nicht so effektiv wie die übrigen Verfahren. Stelltransformatoren erbringen die niedrigsten Schalldruckpegel, sind aber teuer. Energetisch am effektivsten sind die beiden letzten Verfahren. Ein umfassender Vergleich kann an dieser Stelle nicht durchgeführt werden.

Bild 18 und 19 zeigen einen Vergleich zwischen Drehzahlregelung und Ein- und Ausschaltung von Verflüssigerlüftern nach Messungen der Firma Güntner. Deutlich zu sehen sind bei der Drehzahlregelung die konstantere Verflüssigungstemperatur t_c und der niedrige Energieverbrauch W für Verdichter und Ventilatoren über das Jahr aufgetragen.

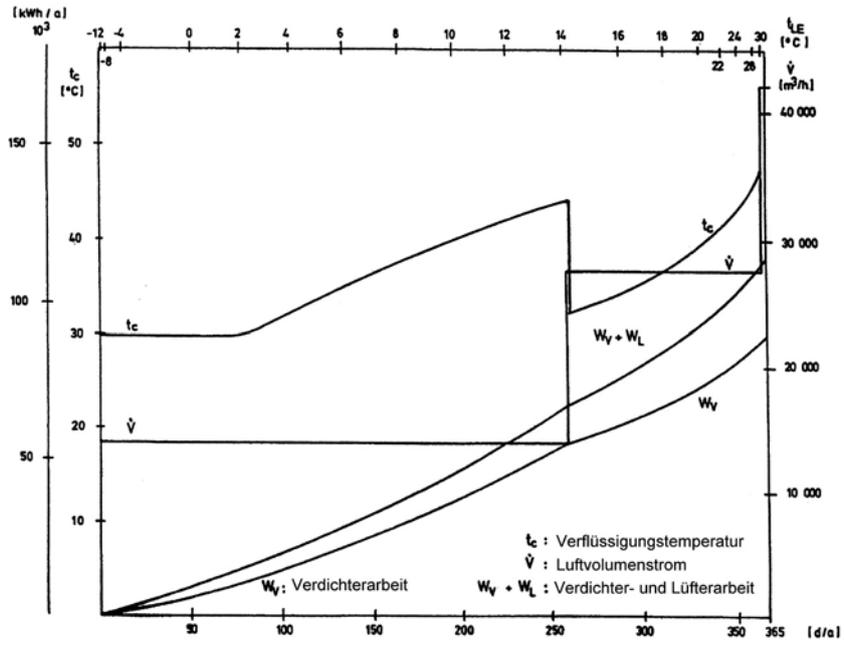


Bild 18: Pressostatische Regelung von Verflüssigerventilatoren

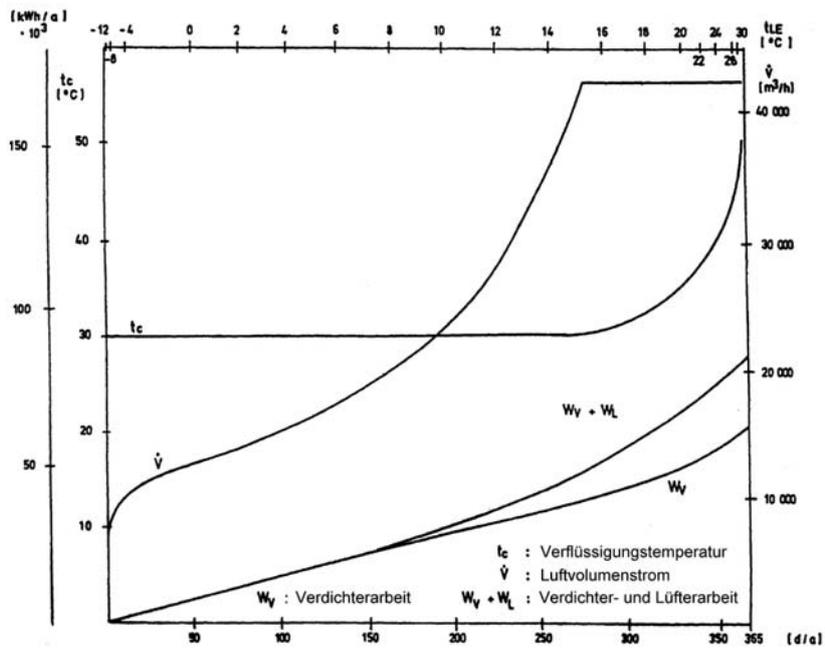


Bild 19: Drehzahlregelung von Verflüssigerventilatoren

5. Zusammenfassung

Zur Reduzierung des Treibhauseffektes reicht es nicht aus, nur eine höhere Dichtheit der Kälteanlagen zu erreichen. Der indirekte Beitrag zum Treibhauseffekt infolge des Energieverbrauches ist meistens wesentlich höher als der direkte Beitrag eines Kältemittels durch Leckagen, d. h. es müssen in Zukunft energieeffizientere Anlagen gebaut werden. Zur Erreichung dieses Zieles wurden eine Reihe von Möglichkeiten aufgezeigt. Bereits in der Planungsphase ist der Energieverbrauch während der gesamten Lebensdauer einer Anlage als Entscheidungskriterium heranzuziehen. Hier ist vor allem auch der Gesetzgeber gefragt, den Ausschreibungsmodus zu ändern.

Aber auch durch die Wartung und Service vor Ort kann der Kälteanlagenbauer viel zur Energieeinsparung beitragen.

Notizen

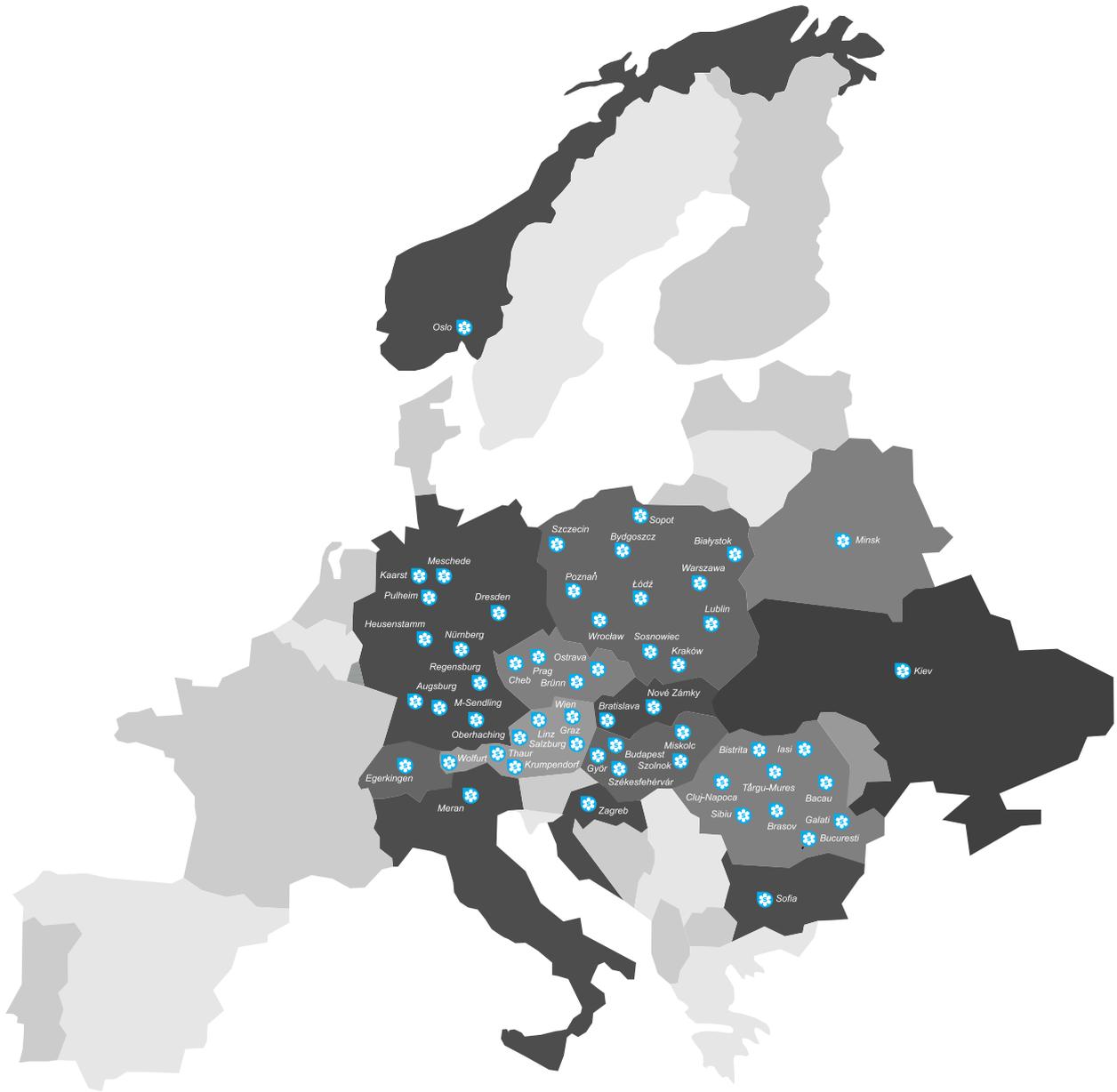
A series of 25 horizontal grey bars, evenly spaced, filling the majority of the page. These bars serve as a template for writing notes.

Notizen

A series of 25 horizontal grey bars, evenly spaced, filling the majority of the page. These bars are intended to be used as lines for writing notes.

Notizen

A series of 25 horizontal grey bars, evenly spaced, filling most of the page below the title. These bars serve as a template for writing notes.



SCHIESSL

www.schiessl-kaelte.com