

WS1:
Kältemiteleininsatz und Energieeffizienz

Die Wahl des richtigen Kältemittels – Aspekte der Öko-Effizienz

Dr.- Ing. Rainer M. Jakobs
DMJ Beratung
Breuberg



Folie 1 29.09.2009 Jakobs Märkte für die Kältetechnik Treiber u. Potenziale

Kältemittel

- Anforderungen
- Aktuelle Kältemittel
- TEWI Ökoeffizienz
- Kältemittelstrategie



Folie 2 29.09.2009 Jakobs Märkte für die Kältetechnik Treiber u. Potenziale

Anforderungen

- Physikalische Eigenschaften
- Thermodynamische Eigenschaften
- Chemische Eigenschaften
- Physiologische Eigenschaften
- Wirtschaftliche Forderungen
- Ökologische Eigenschaften

Die Brauchbarkeit eines Fluides als Kältemittel hängt von seinen Eigenschaften ab. Die Anforderungen für ein ideales Kältemittel sind bei keinem Fluid zugleich anzutreffen, sodass immer Kompromisse eingegangen werden mussten und für die jeweilige Anwendung das geeignete Fluid ausgewählt und eingesetzt wird.



Vergleich der gängigsten Kältemittel (Stand 2009)

	R134a	R1234yf	R290	R1270	R22	R407C	R404A	R410A	R507	R600a	R717	R744
Formel	CF ₃ CHF ₂	CH ₂ =CFCF ₃	C ₃ H ₈	CH ₂ =CHCH ₃	CHClF ₂	R32/125/134a CH ₂ F ₂ +CF ₃ CHF ₂	R1434/125/134a CF ₃ CHF ₂ +CF ₃ CH ₃	R32/125 CH ₂ F ₂ +CF ₃ CHF ₂	R125/R143a CF ₃ CHF ₂ +CF ₃ CH ₃	C ₄ H ₁₀	NH ₃	CO ₂
Gruppe	HFKW	HFO Hydrofluorolefin	Kohlenwasserstoff (halogenfrei)	Kohlenwasserstoff (halogenfrei)	HFKW	HFKW	HFKW	HFKW	HFKW	Kohlenwasserstoff (halogenfrei)	Anorganisches Kältemittel	Organisches Kältemittel
Sicherheitsgruppe	A1	(A2)	A3	A3	A1	A1	A1	A1	A1	A3	B2	A1
ODP	0	0	0	0	0,055	0	0	0	0	0	0	0
GWP ₁₀₀	1300	4	3	3	1500	1520	3260	1720	3800	3	0	1
Molmasse [kg/kmol]	102,0	114,0	44,1	42,1	86,5	86,2	97,6	72,6	98,9	58,1	17,0	44,0
Praktischer Grenzwert [kg/m ³]	0,25		0,008	0,008	0,3	0,31	0,48	0,44	0,49	0,011	0,00035	0,07
Siedetemperatur bei 1 bar [°C]	-26,4	-29,7	-42,4	-48,0	-41,0	-37,0	-46,1	-51,8	-47,4	-11,9	-33,7	-78,6
Kritische Temperatur [°C]	101,1	94,8	96,7	92,4	96,2	86,1	72,1	70,2	70,8	134,7	132,4	31,0
Kritischer Druck [bar]	40,7	32,7	42,6	46,6	49,9	46,2	37,4	47,7	37,2	36,3	113,0	73,8
Isentropenexponent (1 bar, 0 °C)	1,10	1,11	1,12	1,15	1,18	1,13	1,13	1,19	1,10	1,08	1,31	1,30
Klimaanwendung:	t₀ =	5 °C		t_c =	50 °C		Δt_{oh} =	5 K		Q₀ =	100 kW	
Volumetrische Kälteleistung [kJ/m ³]	2232	2040	2949	3560	3566	3153	3311	4927	3367	1207	4192	----
Heißgastemperatur isentrop [°C]	58	53	59	64	74	73	60	74	59	50	114	----
Verdampfungsdruck [bar]	3,5	3,7	5,5	6,8	5,8	5,5	7,1	9,3	7,3	1,9	5,2	39,7
Verflüssigungsdruck [bar]	13,2	12,8	17,1	20,6	19,4	22,1	23,1	30,6	23,6	6,8	20,3	73,8
Druckverhältnis	3,8	3,5	3,1	3,0	3,3	4,0	3,3	3,3	3,2	3,7	3,9	1,9
Massenstrom [kg/h]	0,75	0,98	0,40	0,39	0,68	0,72	1,05	0,70	1,09	0,40	0,10	----
COP	4,73	4,49	4,64	4,61	4,78	3,99	4,01	4,27	4,00	4,80	5,06	----
Normalkühlung:	t₀ =	-5 °C		t_c =	30 °C		Δt_{oh} =	10 K		Q₀ =	100 kW	
Volumetrische Kälteleistung [kJ/m ³]	1865	1810	2610	3156	2989	2691	3153	4414	3249	1003	3146	10866
Heißgastemperatur isentrop [°C]	44	38	44	48	57	57	44	56	43	37	92	71
Verdampfungsdruck [bar]	2,4	2,6	4,1	5,0	4,2	3,9	5,1	6,8	5,4	1,3	3,6	30,5
Verflüssigungsdruck [bar]	7,7	7,7	10,8	13,1	11,9	13,6	14,3	18,8	14,7	4,0	11,7	72,1
Druckverhältnis	3,2	2,9	2,7	2,6	2,8	3,5	2,8	2,8	2,7	3,1	3,3	2,4
Massenstrom [kg/h]	0,62	0,78	0,33	0,32	0,57	0,58	0,78	0,55	0,80	0,34	0,09	0,69
COP	6,46	6,32	6,39	6,33	6,42	5,30	5,93	6,08	5,99	6,60	6,48	3,77
Tiefkühlung:	t₀ =	-30 °C		t_c =	30 °C		Δt_{oh} =	15 K		Q₀ =	100 kW	
Volumetrische Kälteleistung [kJ/m ³]	618	630	1028	1277	1139	935	1160	1699	1205	338	1085	4984
Heißgastemperatur isentrop [°C]	55	44	55	63	80	74	52	77	51	44	159	108
Verdampfungsdruck [bar]	0,8	1,0	1,7	2,1	1,6	1,4	2,0	2,7	2,2	0,5	1,2	14,3
Verflüssigungsdruck [bar]	7,7	7,7	10,8	13,1	11,9	13,6	14,3	18,8	14,7	4,0	11,7	72,1
Druckverhältnis	9,1	7,8	6,4	6,2	7,3	9,7	7,0	7,0	6,8	8,8	9,7	5,1
Massenstrom [kg/h]	0,67	0,87	0,35	0,34	0,60	0,62	0,85	0,57	0,88	0,38	0,09	0,67
COP	3,05	2,94	3,04	3,01	3,07	2,64	2,76	2,89	2,77	3,13	3,03	1,80
Variable Bedingungen:	t₀ =	-10 °C		t_c =	50 °C		Δt_{oh} =	10 K		Q₀ =	100 kW	
Volumetrische Kälteleistung [kJ/m ³]	1231	1148	1775	2175	2118	1785	1916	2933	1955	672	2373	7702
Heißgastemperatur isentrop [°C]	65	57	65	73	88	83	66	86	65	54	151	79
Verdampfungsdruck [bar]	2,0	2,2	3,5	4,3	3,5	3,2	4,3	5,7	4,5	1,1	2,9	26,5
Verflüssigungsdruck [bar]	13,2	12,8	17,1	20,6	19,4	22,1	23,1	30,6	23,6	6,8	20,3	73,8
Druckverhältnis	6,6	5,8	5,0	4,8	5,5	6,9	5,3	5,3	5,2	6,3	7,0	2,8
Massenstrom [kg/h]	0,78	1,04	0,41	0,40	0,69	0,74	1,09	0,70	1,13	0,43	0,10	0,84
COP	3,12	2,93	3,08	3,06	3,18	2,70	2,61	2,83	2,60	3,23	3,34	2,54

Kältemittel

■ Anforderungen

■ Aktuelle Kältemittel

■ TEWI Ökoeffizienz

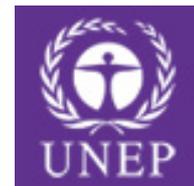
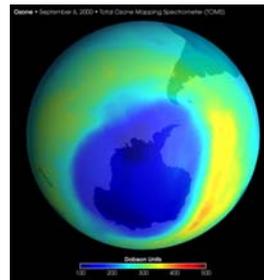
■ Kältemittelstrategie

Global Policies Globale Vereinbarungen

1987: Montreal Protocol

phase out ozone depleting substances

Verbot von ozonschädigenden Stoffen



The ozone hole
Das Ozon Loch

1997: Kyoto Protocol & post Kyoto agreements

control of greenhouse gas emissions

Kontrolle von Treibhausgasen

→ concern on high GWP refrigerants

→ Opportunities for heat pumps



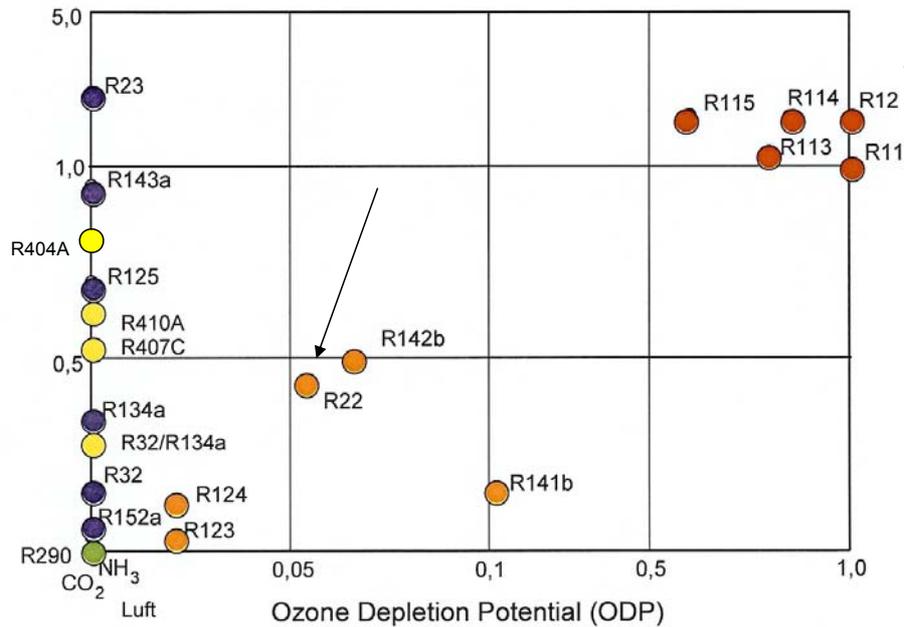
Global warming
Globale Erwärmung

Kyoto: -5% greenhouse gas emission by 2012
Post Kyoto: -25% to -40% by 2020



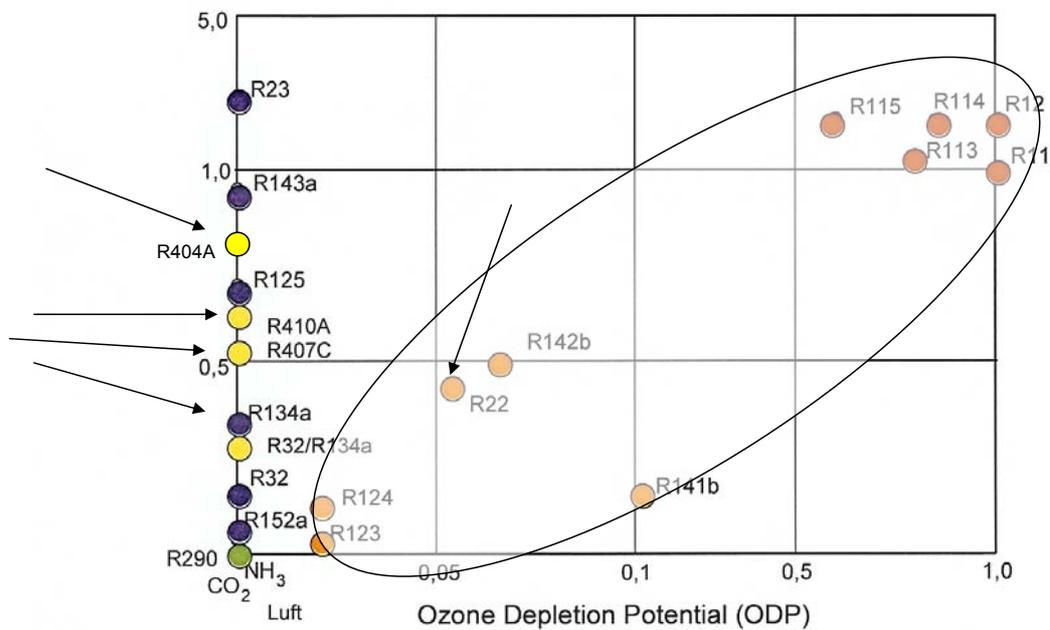
Ozone Depletion Potential (ODP) und Global Warming Potential (GWP)

Global Warming Potential (HGWP) -100a-



Ozone Depletion Potential (ODP) und Global Warming Potential (GWP)

Global Warming Potential (HGWP) -100a-



	HFKW Kältemittel ①	Halogenfreie Kältemittel ①
Haushaltsgeräte	R134a	R600a
Gewerbliche Kälteanlagen	R134a • R404A • R507A	R290 • R1270 ③ CO ₂ ②③
Industrielle Kälteanlagen	R134a • R404A • R507A	NH ₃ • CO ₂ ② KW's (petrochemische Systeme)
Wärmepumpen	R134a • R407C • R410A	R290 • NH ₃

- ① Fett gedruckte Kältemittel werden vorzugsweise eingesetzt
- ② Unterkritische Anwendung – in Kaskadensystemen und als Sekundär-Fluid
- ③ Erprobungsphase

Quelle: Bitzer KM- Report



Kältemittel

- Anforderungen
- Aktuelle Kältemittel
- TEWI Ökoeffizienz
- Kältemittelstrategie



Emissionen in Deutschland

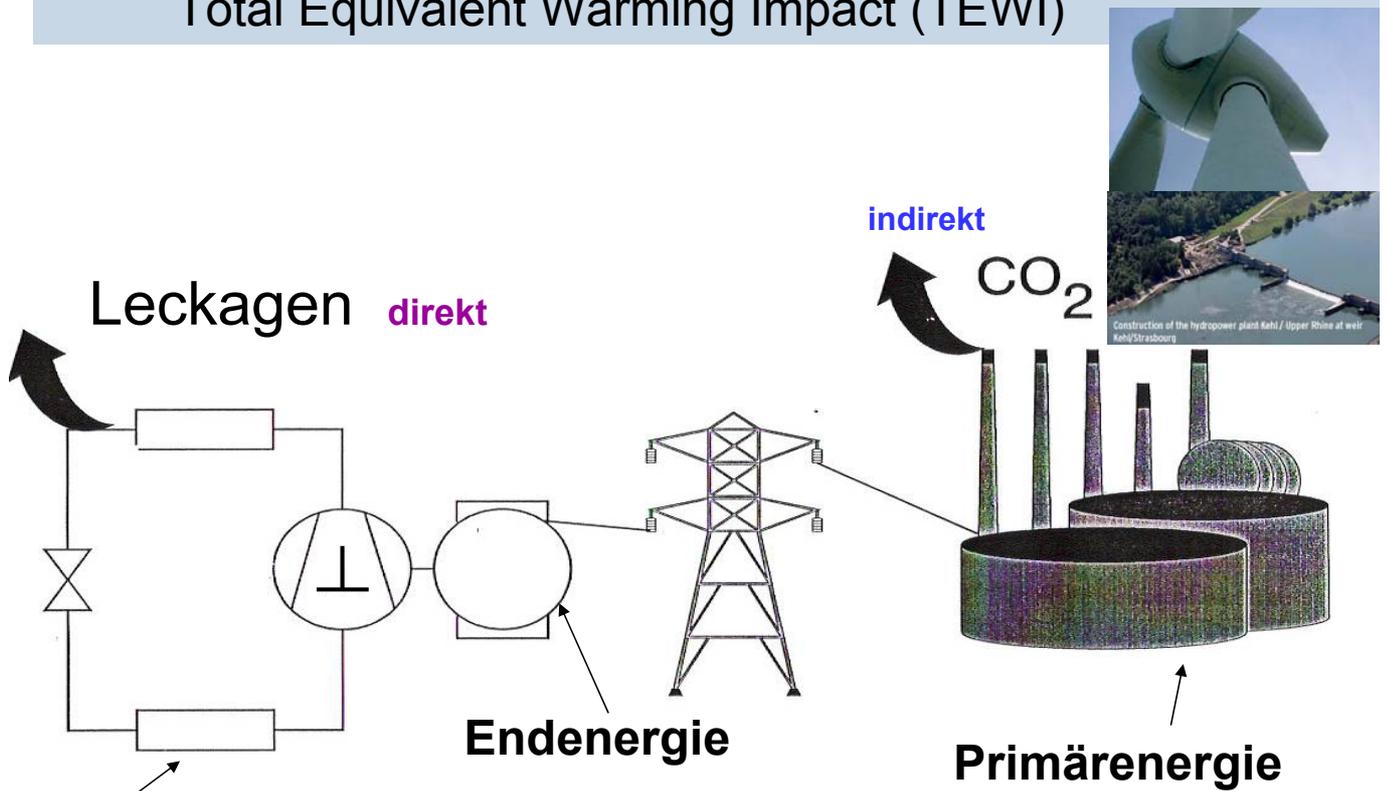


Äquivalente

F.A.Z. 6.9.09



Globale Erwärmung Total Equivalent Warming Impact (TEWI)



Kältebedarf



TEWI: Total Equivalent Warming Impact (gesamter äquivalenter Treibhauseffekt)

- Scholten, W., 1992. Das TEWI - Konzept zur Ermittlung des Treibhausbeitrages alternativer Kältemittel und Kälteerzeugungsverfahren; DKV Tagung Bremen 1992
- DKV Statusbericht Nr. 13 (1993):
Beitrag der Deutschen Kälte-Klima- und Wärmepumpentechnik zur Verringerung der Treibhausbelastung bis zum Jahre 2005
- FKT 96/03 Forschungsberichte: Aktuelle TEWI-Betrachtung von Kälteanlagen mit HFKW- und PFKW- Kältemitteln unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Rahmenbedingungen für verschiedene Anwendungsgebiete

Berechnungsansatz nach DIN 378-1

TEWI =

$$\begin{aligned} & \mathbf{GWP \cdot L \cdot n} \\ & \mathbf{+ GWP \cdot m \cdot (1 - \alpha_R)} \\ & \mathbf{+ n \cdot E_a \cdot \beta} \end{aligned}$$



$$TEWI = GWP \cdot L \cdot n + GWP \cdot m \cdot (1 - \alpha_R) + n \cdot E_a \cdot \beta$$

mit

GWP: Global Warming Potential	[-]
L: Leckrate der Kälteanlage	[kg/a]
n: Betriebszeit der Anlage	[a]
m: Kältemittelfüllmenge der Anlage	[kg]
α_R : Rückgewinnungsanteil bei der Anlagenentsorgung	[-]
E_a : Jahresenergiebedarf	[kWh/a]
β : CO ₂ -Emission je kWh Kälteleistung	[kg/kWh]



TEWI Beispielberechnung NK Discounter



$$TEWI = GWP \cdot L \cdot n + GWP \cdot m \cdot (1 - \alpha_R) + n \cdot E_a \cdot \beta$$

- R134a GWP= 1300
- L= 0,8 kg/a 2%/a m = 40 kg n=12 Jahre
- $\alpha_R = 0,95$
- $E_a = 50.000 \text{ kWh/a}$
- $\beta = 0,57 \text{ kg /kWh}$

$$TEWI = 1.300 \cdot 0,8 \cdot 12 + 12.480$$

$$+ 1.300 \cdot 40 \cdot 0,05 + 2.600$$

$$+ 12 \cdot 50.000 \cdot 0,57 = 357.080 \text{ kg} \quad 342.000$$

TEWI pro Jahr: 29.757 kg



	kg CO ₂ äquiv
■ NK beim Discounter:	29.757
■ PKW 20.000 km (0,150 kg/km):	3.000
■ Heizung Öl (0,35 kg/kWh) 150m ² 200 kWh/m ² a	10.500
■ Kühlschrank (230+21 L)A ⁺ 226kWh/a R600a	129

Das Ökoeffizienz-Konzept

- Zur Entscheidungsfindung für Technologien und bei technischen Investitionen müssen unterschiedliche Bereiche untersucht und bewertet werden.
- Häufig müssen Umwelt- und Kostenaspekte gemeinsam Berücksichtigung finden.
- Diese Bewertung ist schwer, da die Anforderungen an die Kompetenz der Entscheidungsträger sehr hoch sind.

Das Ökoeffizienz-Konzept

Ökoeffizienz ist ein Konzept zur Verminderung der Umweltbelastung und der Kosten durch sinnvolle Nutzung von Ressourcen.

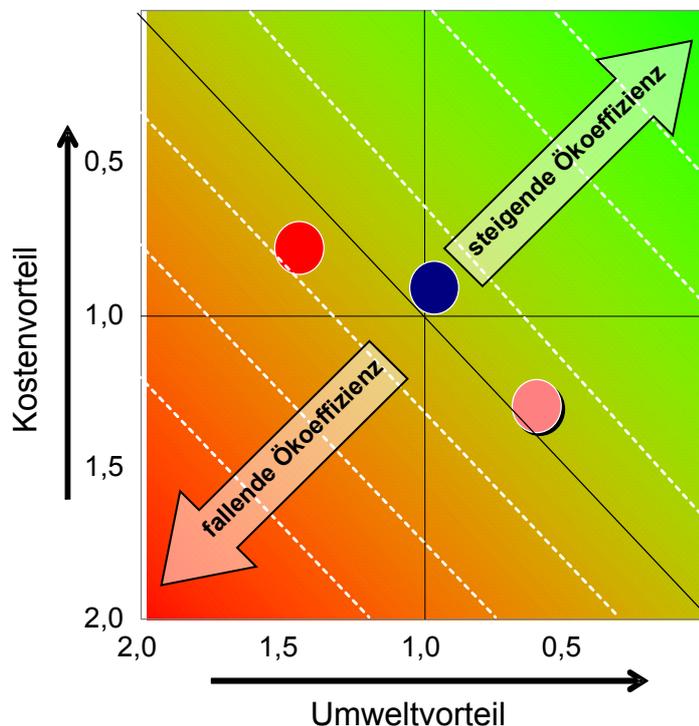
$$\text{Ökoeffizienz} = \frac{\text{wirtschaftlicher Wert eines Produktes}}{\text{Auswirkung auf die Umwelt}}$$

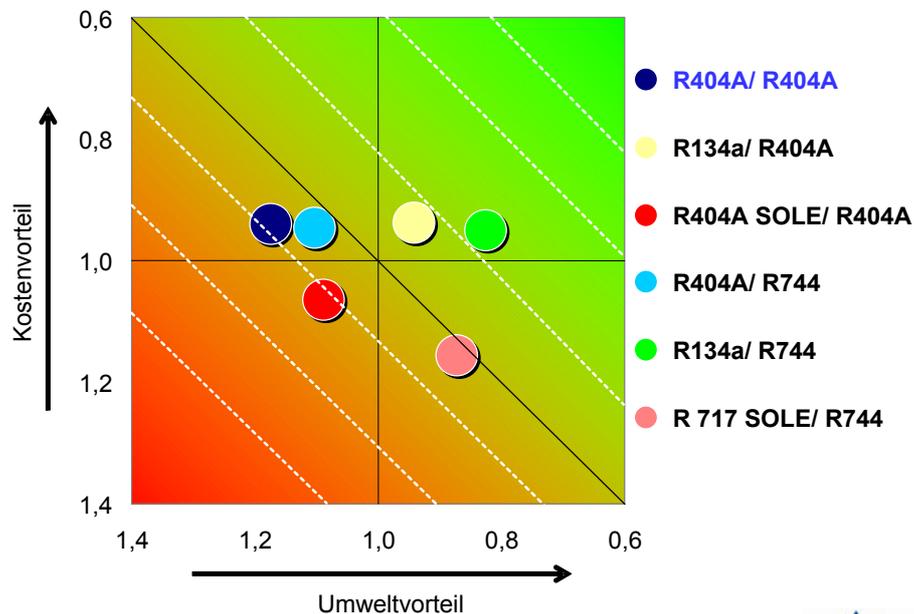
Nach der Definition des World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) ist Ökoeffizienz erreicht,

„wenn ressourcenschonende Produkte und Dienstleistungen, die menschliche Bedürfnisse befriedigen und einen Beitrag zur Lebensqualität leisten, zu wettbewerbsfähigen Preisen angeboten werden“.



Das Ökoeffizienz-Konzept





Kältemittel-Strategie

- Kältemittel mit hohem GWP vermeiden
- Kältemittelfüllung minimieren
- Anlagen hermetisieren
- Treibhauseffekt von KM hat eine direkte und indirekte Komponente. Einsatz hocheffizienter Kältemaschinen
- Bei Investitionen Gesamtkostenbetrachtung über die Lebensdauer durchführen (Ökoeffizienz Ansatz)
- Leistungszahlen verbessern
- Kontinuierliche Kontrolle der Energiekosten - Reporting
- Kein Kompromiss bei der Sicherheit der Umwelt