



Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ergebnisse Arbeitspaket 1

Abschließende Projektvorstellung
5. September 2008

Prof. Dr.-Ing. Michael Kauffeld

Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Gliederung

- ☐ Aufgabenstellung
- ☐ Technologiedatenblätter
- ☐ Modelltechnologien
- ☐ Energieeinsparungen
- ☐ Kältemittelverluste
- ☐ Schlussfolgerungen



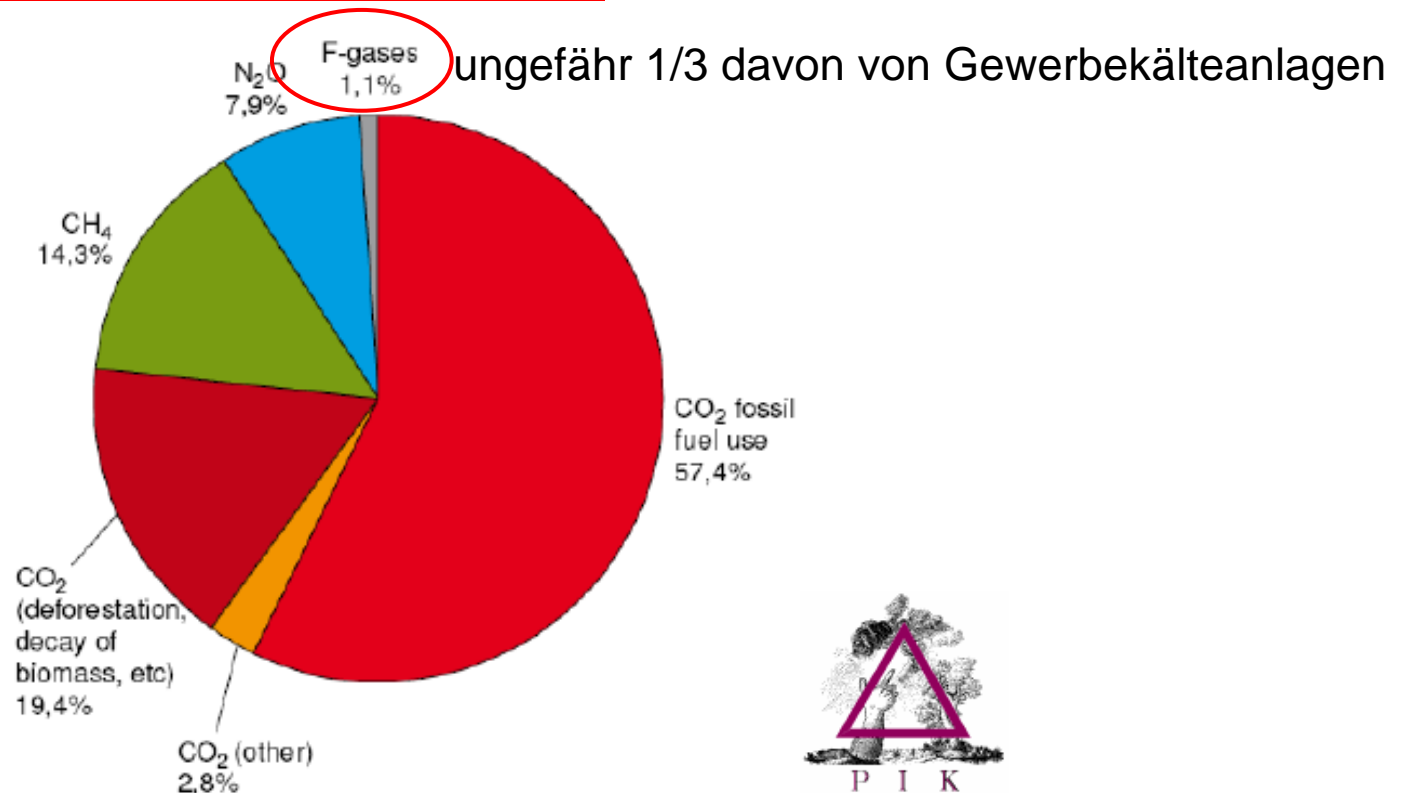
Aufgabenstellung AP1

Überblick zur Verfügbarkeit verschiedener Modelltechnologien in relevanten Anwendungen

- ☐ Koordination durch Michael Kauffeld
- ☐ Bearbeitung: 10/2006 bis 4/2008
- ☐ Marktübersicht zu umweltrelevanten Leistungsdaten und Kosten verschiedener Auslegungsvarianten für Supermarktkälteanlagen
- ☐ Zugleich Vorarbeit für Arbeitspakete 2 und 3 des Projektes
- ☐ Vorstellungen bei / in :
 - Co₂olfood-Konferenz im Mai 2007
 - IEA Workshop Peking, China im August 2007
 - Energiesparseminar des VDKF im Oktober 2007 und der Landesregierung BW im Februar 2008
 - GTZ Jahrbuch 2008
 - Ki Luft- und Kältetechnik 4/2008
 - IIR Gustav-Lorentzen-Conference Kopenhagen 09/2008



Globale Emission von anthropogenen Treibhausgasen in 2004



Gewerbekälte

Zentrale Kälteanlage: zwischen 50 und 80 % der Emissionen sind indirekte Treibhausgasemissionen aus Energieverbrauch der Anlage.

IPCC/TEAP: Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System. 2005



Technologiedatenblätter

Überblick zur Verfügbarkeit verschiedener
Modelltechnologien in relevanten Anwendungen

A Dezentrale steckerfertige Kühlmöbel

B Verflüssigungssätze

C Zentrale Verbundanlagen



Für jede Technologie

Kälte-Daten

- 1 Einsatzzweck
- 2 Kälteleistungsbereich
- 3 Art der Kälteübertragung
- 4 Kältemittelart
- 5 Kältemittelfüllmenge

Leckage

- 6 Typische Leckageraten
- 7 Quelle der Leckage-Information
- 8 Art der Ableitung
- 9 Verbleib des Kältemittels bei Außerdienststellung

Energie

- 10 Energieverbrauch
- 11 Möglichkeit zur Wärmerückgewinnung
- 12 Weitere Möglichkeiten der Energieeinsparung
- 13 Klima- und Einsatzbedingungen unter denen die jeweiligen Angaben gewonnen wurden

Lebenszykluskosten

- 14 Investition / Komponentenkosten
- 15 Installationskosten
- 16 Betriebskosten
- 17 Wartungsintervalle
- 18 Wartungskosten



Für jede Technologie

Marktanteil	19 Anzahl installierter Geräte und Anlagen
	20 Regionale Verbreitung
Betriebserfahrungen	21 Jahre Betriebserfahrung
	22 Angaben zur Zuverlässigkeit
	23 evtl. besondere Probleme
	24 Beschreibung besonderer Eigenschaften wie Flexibilität
	25 Einsatzmöglichkeit bei Erneuerung eines Supermarktes
Bezugsquellen	26 Relevante Angaben zur Sicherheit der Anlage / des Gerätes
	27 Hersteller
	28 evtl. Importeure
	29 Komponentenhersteller
	30 Betreiber



A. Steckerfertige Geräte

- A 1. Flaschenkühler mit HFKW R134a
- A 2. Flaschenkühler mit Kohlenwasserstoffen (R600a, R290)
- A 3. Flaschenkühler mit Kohlendioxid (R744)
- A 4. Tiefkühltruhen mit HFKW (R134a, R404A)
- A 5. Tiefkühltruhen mit Kohlenwasserstoffen (R600a, R290)
- A 6. Tiefkühltruhen mit Kohlendioxid (R744)
- A 7. Kühltruhen mit HFKW (R134a, R404A)
- A 8. Kühltruhen mit Kohlenwasserstoffen (R600a, R290)
- A 9. Kühltruhen mit Kohlendioxid (R744)
- A 10. Kühlthecken mit HFKW (R134a, R404A)
- A 11. Kühlregale mit HFKW
- A 12. Kühlregale mit Kohlendioxid (R744)

Kühltruhen kommen überwiegend als „umschaltbare“ Tiefkühltruhen vor



C. Zentrale Verbundanlagen

		1	2	3	4
a	Verflüssiger	luftgekühlt	Luftgekühlt, WRG	wassergekühlt, Brauch- oder Heizwasser (WRG)	wassergekühlt, Wasserkühlung in Kühler auf dem Dach
b	Kältemittel NK	HFKW (R134a, R404A, R410A oder R507A)	KW (R290 oder R1270)	R717 ¹⁾	R744
c	Kälteverteilung NK	Direkt- verdampfung (nur HFKW + R744)	Kälteträger einphasig, flüssig	Kälteträger zweiphasig, verdampfend	Kälteträger zweiphasig, schmelzend
d	Kältemittel TK	HFKW (R404A oder R507A)	KW (R290 oder R1270)	R717 ¹⁾	R744
e	Kälteverteilung TK	Direkt- verdampfung (nur HFKW + R744)	Kälteträger einphasig, flüssig	Kälteträger zweiphasig, verdampfend	Kälteträger zweiphasig, schmelzend

1) R723 – eine Mischung aus Ammoniak und Dimethylether der Firma Schick hat ähnliche Eigenschaften in Bezug auf Toxizität und würde im Supermarktbereich zu ähnlichen Anlagen führen; jedoch mit ca. 20 K niedrigeren Verdichtungs-temperaturen und Dank verbesserter Öllöslichkeit mit geringfügig besseren Wärmeübergangszahlen /Kraus2007/.

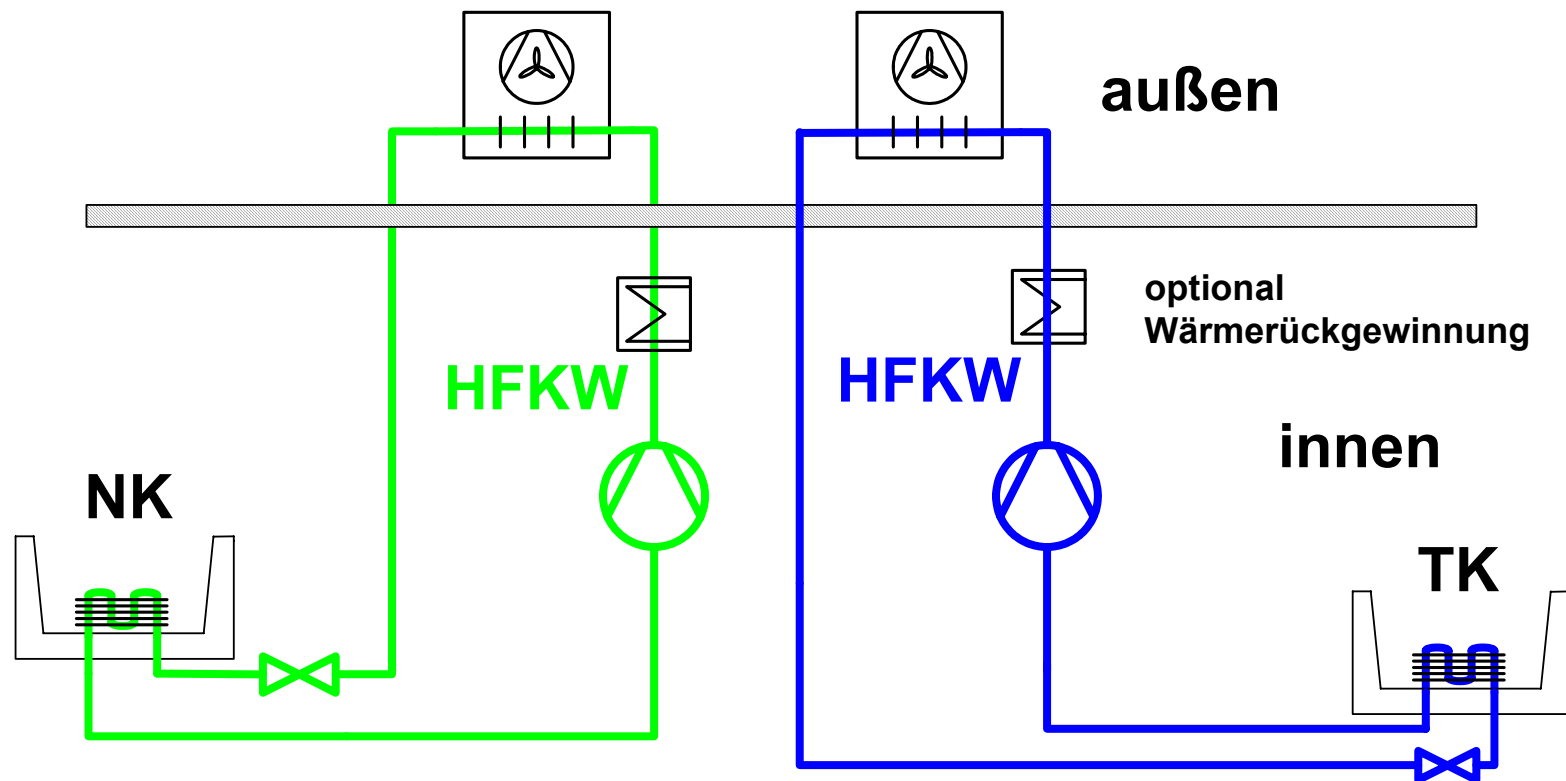


C. Zentrale Verbundanlagen

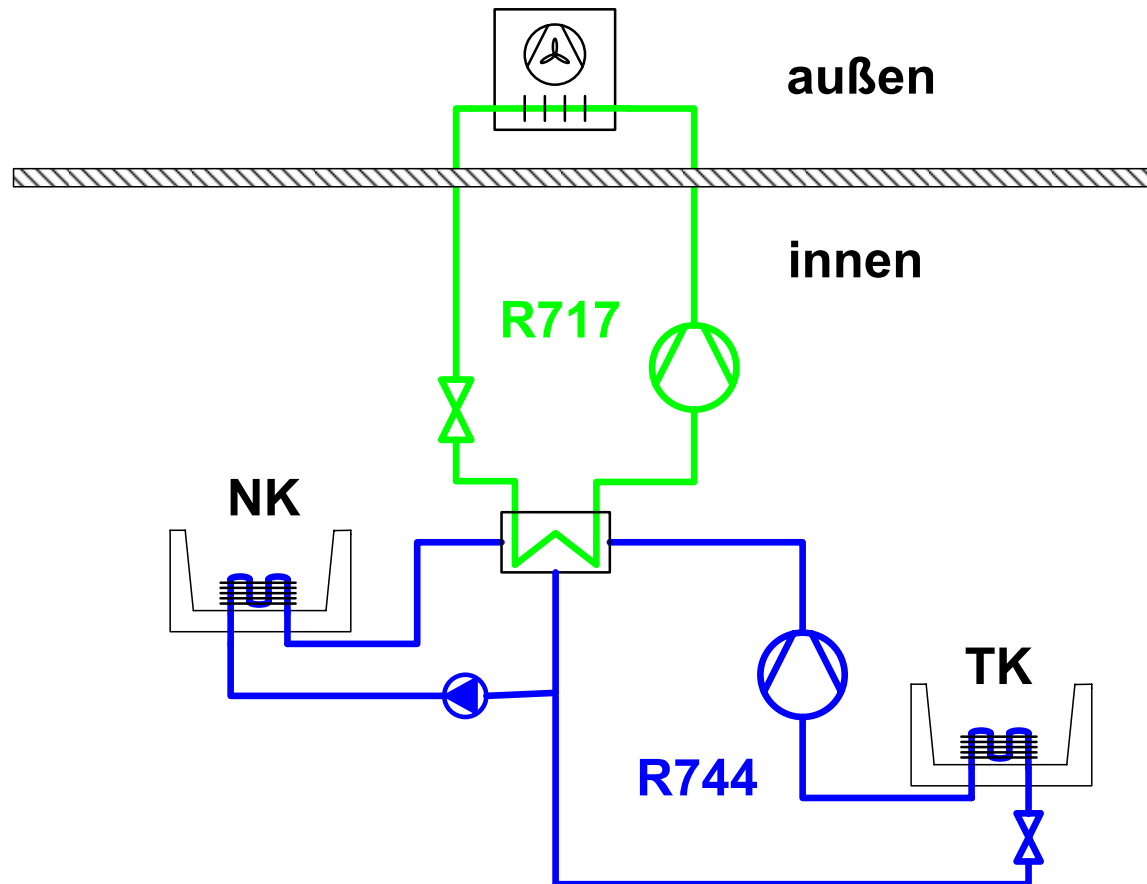
- C1: HFKW Direktverdampfung
- C2: HFKW indirekt
- C3: HFKW indirekt flüssig + verdampfend
- C4: HFKW indirekt Eisbrei
- C5: HFKW/R744-Kaskade
- C6: HFKW indirekt/R744-Kaskade
- C7: HFKW/R744-Kaskade – NK CO₂
- C8: Indirekte Ammoniakkälteanlage
- C9: R717/R744 Kaskade: R717 in Kaskade mit R744 – Kälteverteilung für NK mit flüssigem Kälte­träger
- C10: R717/R744 Kaskade: R717 in Kaskade mit R744 – Kälteverteilung für NK mit verdampfendem Kohlendioxid
- C11: Kohlenwasserstoff indirekt
- C12: Kohlenwasserstoff / R744 Kaskade
- C13: R744 Direktverdampfung
- C14: R744 Direktverdampfung in Kaskade zu (HF-)KW
- C15: Distributed Systems
- C16: Convenipack



Zentrale Verbundanlagen - Referenzanlage

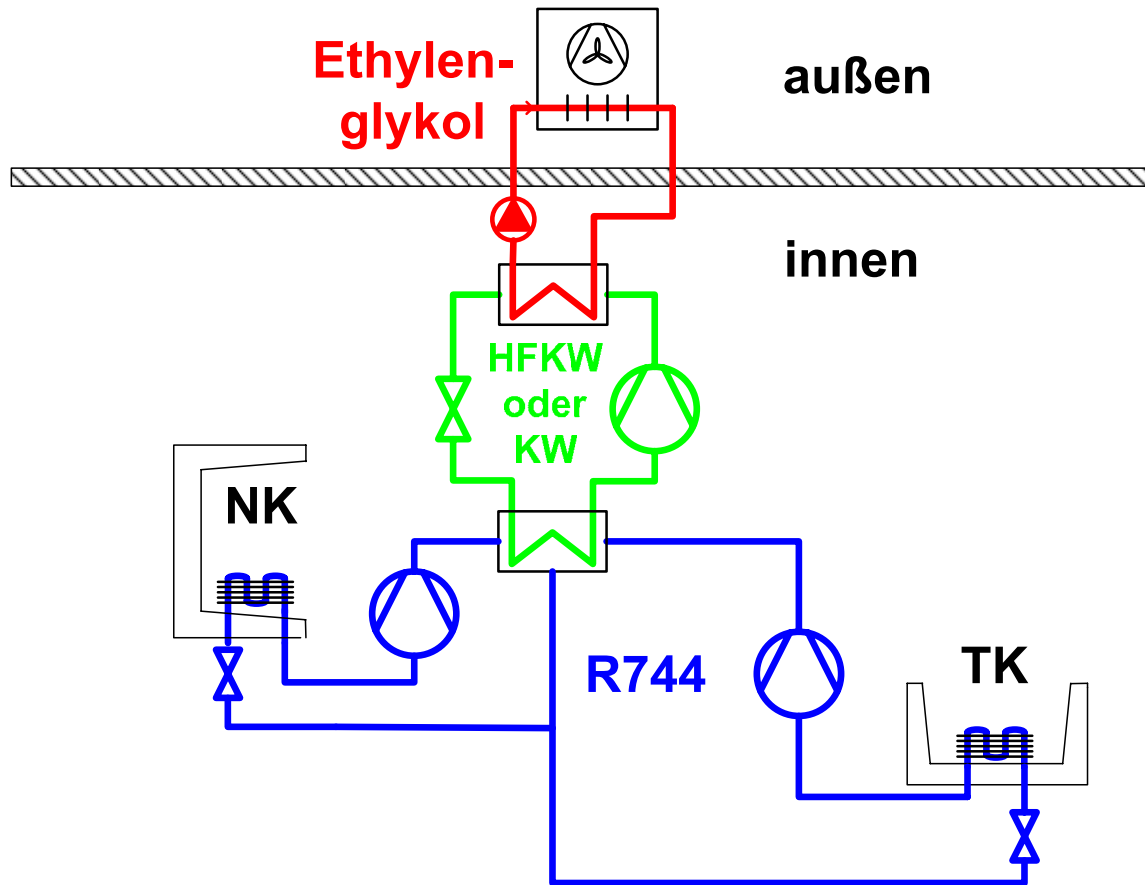


- C1 HFKW Direktverdampfung: R404A Supermarkt-Verbundkälteanlage mit Direktverdampfung (a1+b1+c1+d1+e1); z. T. R134a für Normalkühlung (Minimal-Märkte) Varianten verwenden Wärmerückgewinnung, d.h. a2 oder a3 anstatt a1

[illegible]

C10 R717/R744 Kaskade: R717 in Kaskade mit R744 – Kälteverteilung für NK mit verdampfendem Kohlendioxid (a1+b3+c3+d4+e1)

Zentrale Verbundanlage mit CO₂-Kaskade



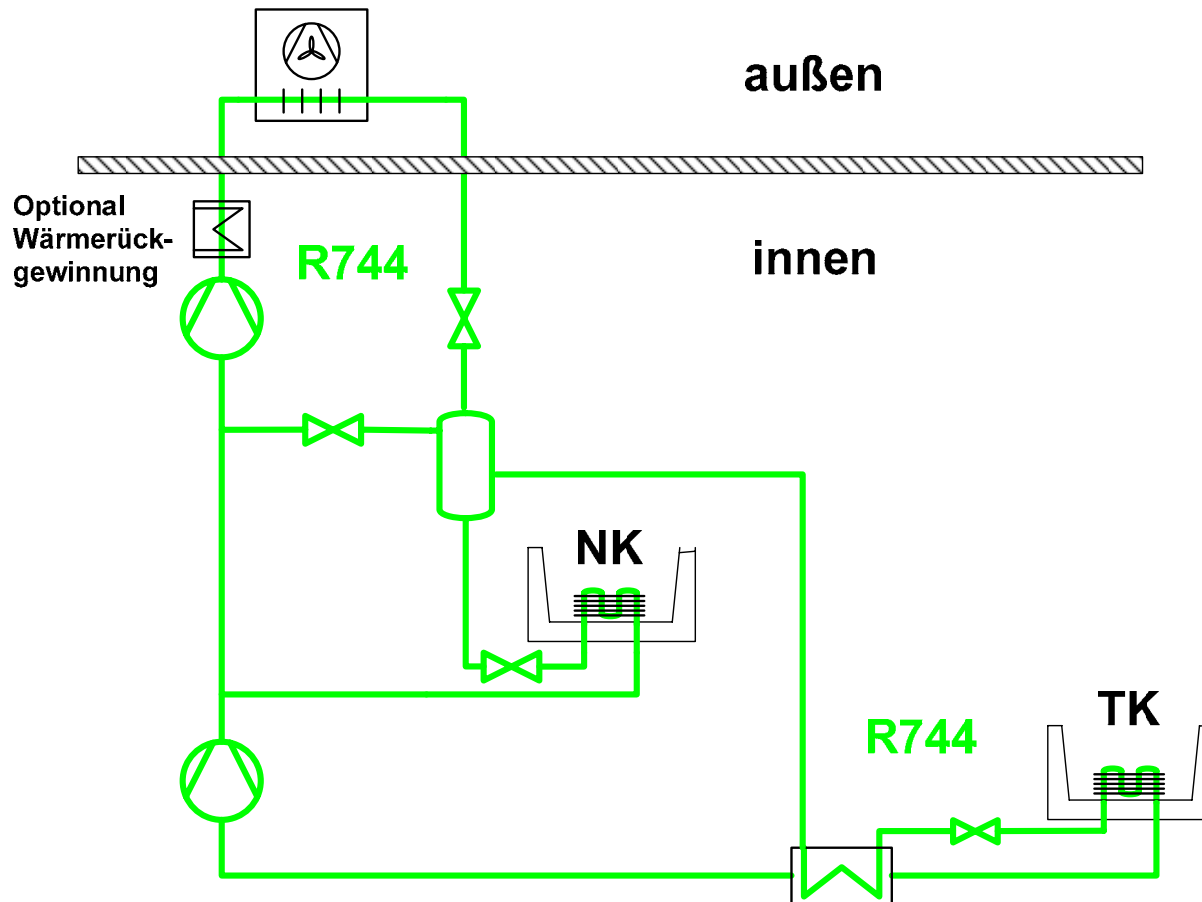
C14 R744-Direktverdampfungs-Kaskade NK + TK

Zentrale Verbundanlage mit CO₂-Kaskade

- Energetisch vorteilhafte CO₂-Anlage für TK und NK – beide unterkritisch; Energieverbrauch unter dem einer vergleichbaren R404A-Anlage
- Alle Komponenten verfügbar, da Druck unter 40 bar
- Fabrikgefertigte HFKW- oder KW-Anlage als obere Stufe mit stark reduzierter Füllmenge, z.B. 10 kg für 24 kW NK und 10 kW TK
- Einfache Wärmerückgewinnung bei wassergekühlten Verflüssiger

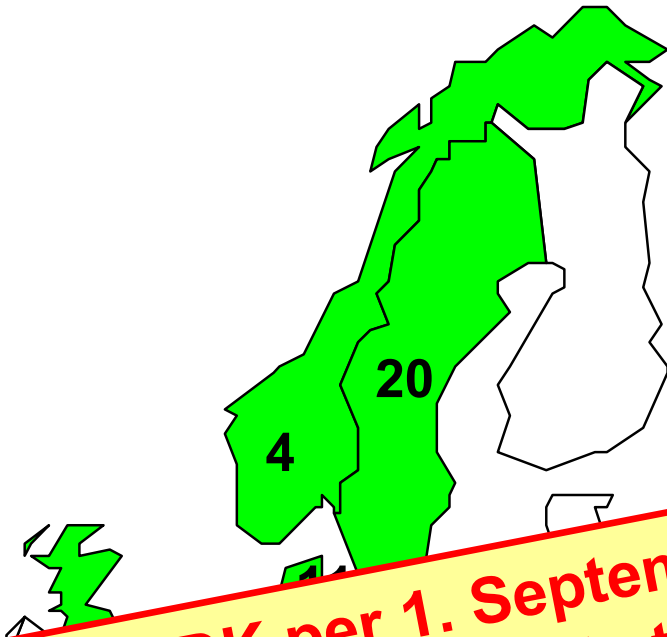


Zentrale Verbundanlagen



C13 R744 Direktverdampfung: Kohlendioxid im gesamten Markt (transkritisch) (a1+b4+c1+d4+e1), Zum Teil in Kombination mit Wärmerückgewinnung, d.h. a3 anstelle von a1

Transkritische CO₂-Anlagen



- ☐ Über 50 transkritische Supermarktkälteanlagen bis August 2007 gebaut
- ☐ Energieverbrauch günstig in Nord-/Mitteleuropa
- ☐ Energieverbrauch höher als Standard R404A-Anlagen in Südeuropa

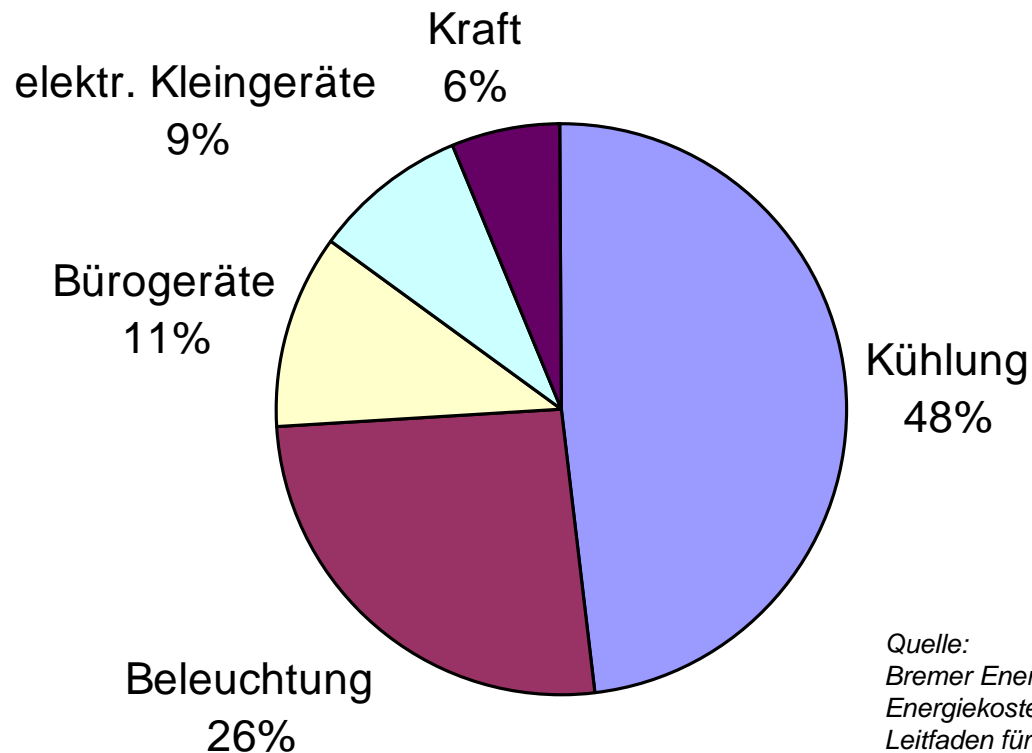
Stand in DK per 1. September 2008:
Mehr als 100 installierte transkritische R744-Anlagen.
Anlagen stammen neben EPTA und Carrier von
advansor, Knudsen Køling und Fischer; Installation durch
Verschiedene Kälteanlagenbauer

- ☐ Anteil kann unter 40 bar gehalten werden
- ☐ Hohe Stillstandsdrücke beachten !



Energieverbrauch senken

Elektrische Energieverbraucher in einem typischen Supermarkt

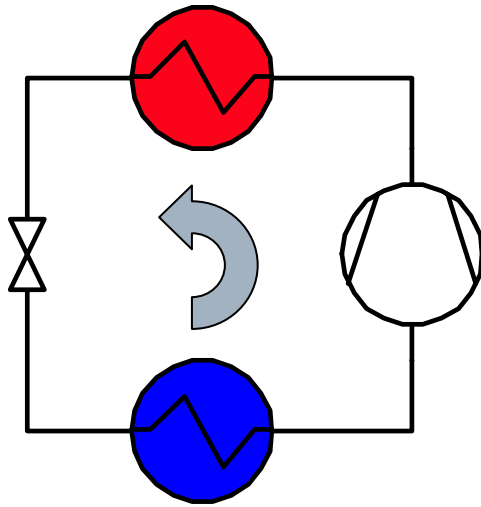


Quelle:
*Bremer Energie-Konsens: Lebensmittelhandel aktuell –
Energiekosten senken – Umwelt schonen. Ein praktischer
Leitfaden für die effiziente Nutzung von Kühlmöbeln.
www.energiekonsens.de, 5. Januar 2007*

... darüber hinaus Öl oder Gas für Heizung und Heißwasser

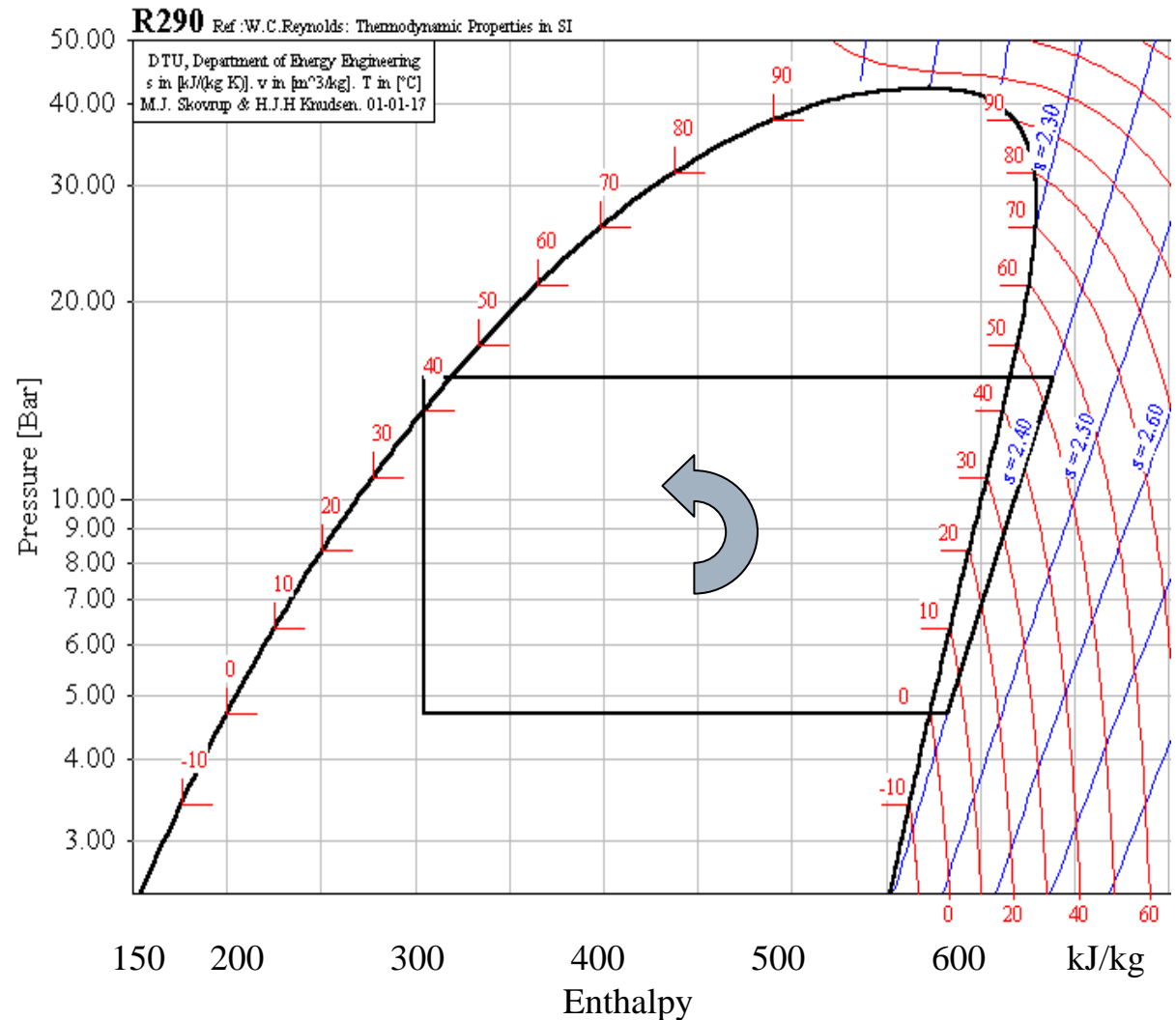


Thermodynamik des Energieeinsparens



Kälteleistungszahl des Carnot-Vergleichsprozesses:

$$\epsilon_{K \text{ Carnot}} = \frac{T_k}{T_w - T_k}$$



Möglichkeiten zur Energieverbrauchssenkung (1/3)

Verdichter

- Verbesserte Verdichter
- Zweistufige Verdichtung mit Zwischenkühlung
- Drehzahlregelung des Verdichters
- Antrieb (teilweise) durch Expansionsmaschine

Expansionsventil

- Verbesserte Expansionsventile
- Expansionsmaschinen

Kreislauf

- Innerer Wärmeübertrager
- Economizer
- Optimierte Kältemittel



Möglichkeiten zur Energieverbrauchssenkung (2/3)

Verdampfer / Verflüssiger

- Verbesserte Verdampfer / Verflüssiger
- Überflutete Verdampfer
- Bedarfsgesteuerte Abtauung der Verdampfer
- Heißgasabtauung
- Verbesserter Verdampfer-Lüfter und/oder –Lüftermotor
- Drehzahlregelung der Lüfter
- Lüftermotor außerhalb des Gerätes
- Verbesserte Luftströmung in offenen Kühlregalen
- Absenkung der Verflüssigertemperatur
 - Anpassung der Verflüssigungs- an die Außenlufttemperatur
 - Verdunstungskühlung des Verflüssigers
 - Wärmeabgabe an das Erdreich
- Freie Kühlung

Möglichkeiten zur Energieverbrauchssenkung (3/3)

Kälteanlage

- Glasdeckel / Glastüren
- Verbesserte Isolierung
- Infrarot reflektierende Schirme oder Baldachine
- Kantenheizung / Taupunktregelung
- Siphon im Tauwasserablauf der Kühlmöbel
- Verbesserte Beleuchtung
- Wärmerückgewinnung
- Kältespeicher
- Intelligente Regelung



Verbesserte Verdampfer

- ☐ Jedes Kelvin höhere Verdampfungstemperatur spart ca. 3 % Energie
- ☐ 68 % verbesserter k-A-Wert kann zu einer 3,3 K höheren Verdampfungstemperatur führen
- ☐ Überflutete Verdampfer → 30 bis 40 % Energieeinsparung mit R744 berichtet
- ☐ Innerer Wärmeübertrager in Kombination mit zweistufiger Entspannung kann überflutete Verdampfung nachempfinden und ca. 17 % Energie sparen
- ☐ Bedarfsgerechte Abtauung (Standard zeitgesteuerte Abtauung verbraucht ca. 3 bis 5 % der gesamten Energie einer Kälteanlage)
- ☐ Verwendung von Verdampferabtauluftklappen unterbindet Luftströmung während des Abtauens und spart ca. 50 % der Abtauenergie
- ☐ Heißgasabtauung

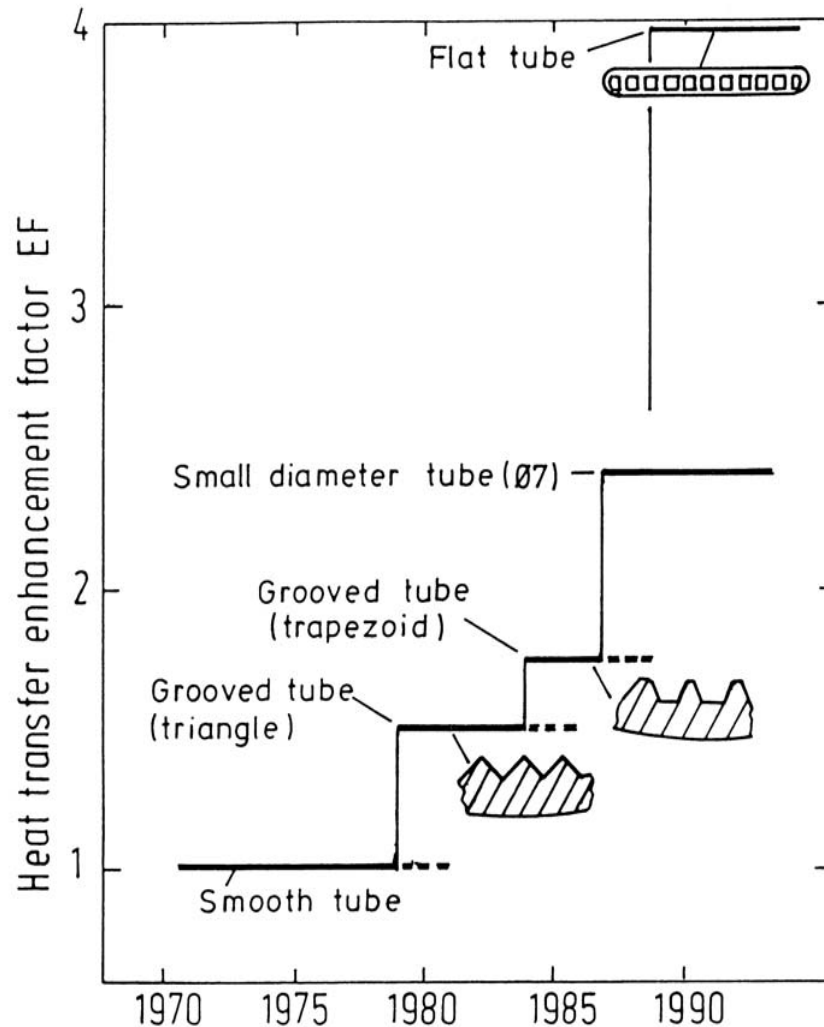


Verflüssiger

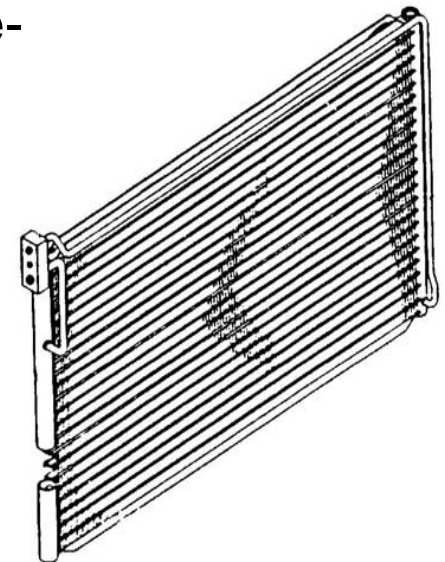
- Jedes K niedrigere Verflüssigungstemperatur senkt den Energieverbrauch um ca. 3 %
- Gleitende Verflüssigungstemperatur (mit Außentemperatur) → 20 % Energieeinsparung in schwedischem Supermarkt
- Verdunstungsverflüssiger → zwei- bis dreifache Leistung
- Wärmeabgabe an Erdreich; bei mangelnder Aufnahme-kapazität nur Unterkühlungswärme an Erdreich abführen
→ Wärmabgabe ans Erdreich spart ca. 18 bis 22 % Energie
- Wärmerückgewinnung → Supermärkte und angrenzende Gebäude können beheizt werden
Nur ein Teil der Kälteanlage für hohe Heiztemperatur, Rest für Vorwärmung
- Evtl. zusätzliche Wärmepumpe als Wärmetransformator verwenden



Steigerung des Wärmeübergangs durch Minichannel



- Energieverbrauch reduziert
- Füllmengenreduzierung von bis zu 80 %
- Lebensdauer erhöht, da komplett aus Aluminium
- Minichannel-Wärme-übertrager in NK-Kälteanlagen (flüssiger KT) → 14 % Energieeinsparung



Glastür und Glasdeckel

- Typischer deutscher Supermarkt hat
 - Offene NK-Regale mit automatischen Nachtrollos
→ 13 % Energieeinsparung und
 - Offene TK-Truhen mit manuellen Nachtabdeckungen
- Glastüren/-deckel reduzieren Energieverbrauch mit [25] ... 40 bis 70 %; Türöffnungsfrequenz wichtiger Parameter, z.. TK-Regal mit Türöffnung alle 100 Sekunden erhöht en Energieverbrauch mit 28 %
- Verbesserte Produktqualität
- Um 35 % reduzierter Energieverbrauch für Abtauung
- Verfügbar ohne elektrische Glas- und Rahmenheizung
→ 200 W Energieeinsparung pro Volltür [elektrische Heizung und Kälteleistung zur teilweisen Abfuhr dieser Wärme)
- Furcht vor Verkaufsrückgang, US-Studie zeigt erhöhten Warenumsatz auf Grund behaglicherer Raumtemperatur
- Zum Vergleich: CFD-optimierter Luftschleier vor offenen Kühlregalen senkt Energieverbrauch nur um 6 % (NK Frischfleisch-Regal)



Energieverbrauchssenkung im Betrieb

- Korrektes Befüllen der Kühl-/Gefriermöbel
- Luftfeuchtigkeit im Verkaufsraum
- Reinigung von Verdampfer und Verflüssiger

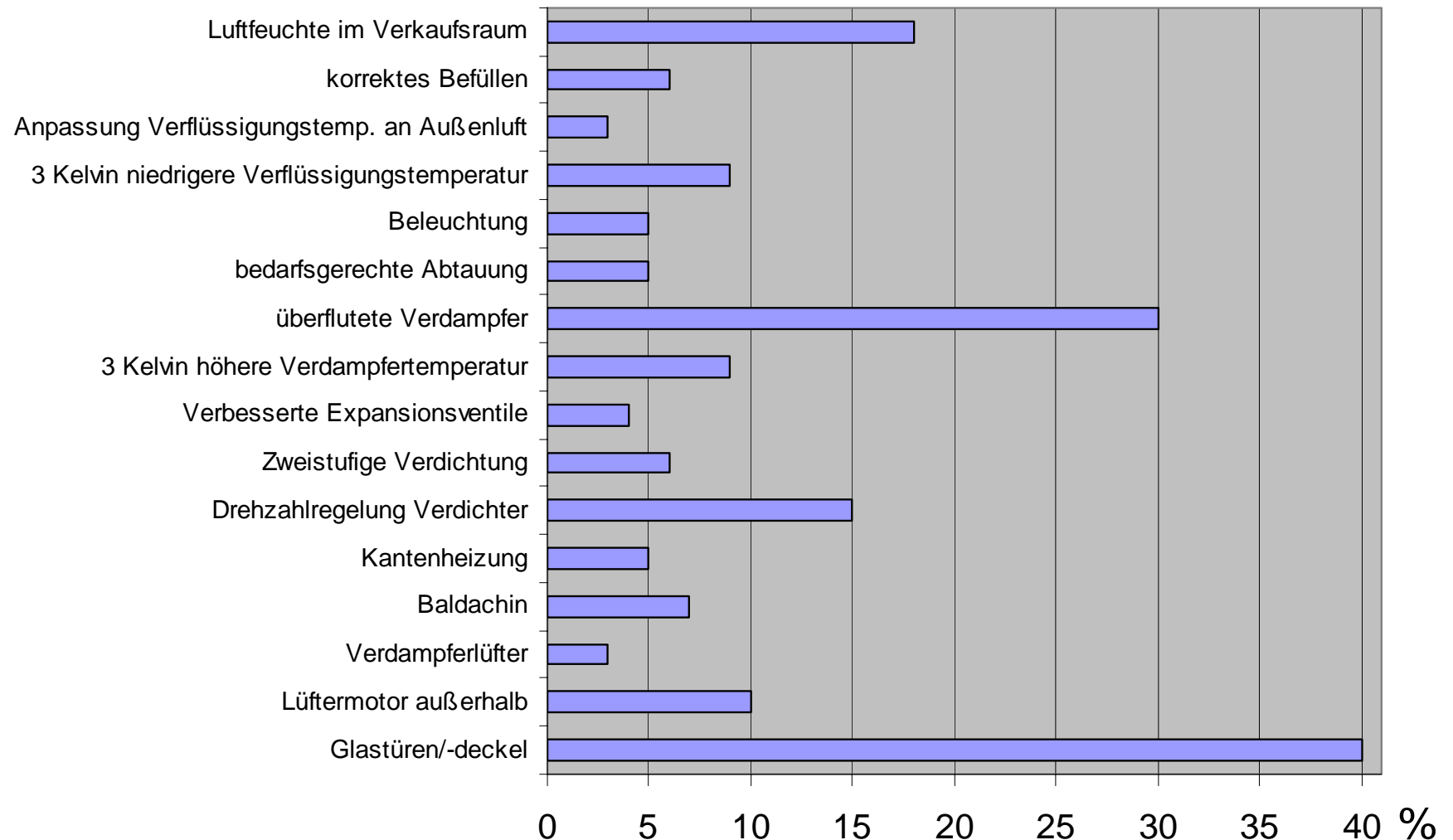
→ Alle 3 zusammen 10 bis 15 % Energieeinsparung

Reduzierter Energieverbrauch senkt Betriebskosten

→ Erhöhung des Gewinns



Potential bei ausgewählten Maßnahmen

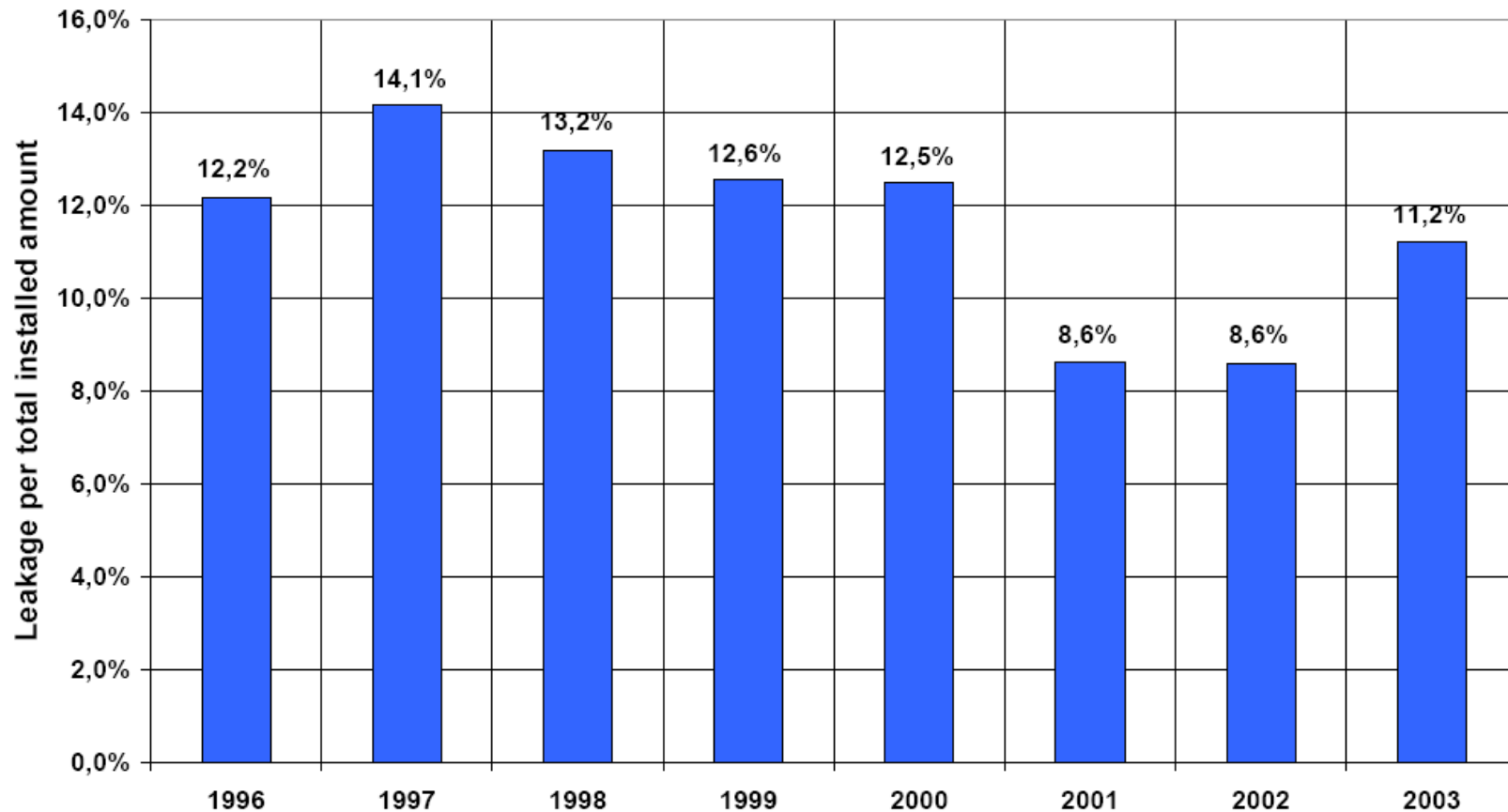


... viele davon lassen sich kombinieren



Kältemittelleckagen

Total leakage (~ 450 stores) 1996-2003



Engsten, K.; Lindh, L.: Refrigerant Management: The Issue of Minimizing Refrigerant Emissions. Department of Energy Technology, Royal Institute of Technology, Stockholm, Schweden, 2004



Kältemittelverluste für AP2

Szenario 1: Referenzsituation in 2006

→ **Verlustrate von 10 % pro Jahr, dazu 15 % bei Entsorgung nach 10 Jahren und 1,5 % bei Befüllung insgesamt auf 10 Jahre gemittelt 11,65 % jährliche Verlustrate**

Szenario 2: verbesserte Situation unter Einfluss der EU Verordnung (EG) Nr. 842/2006

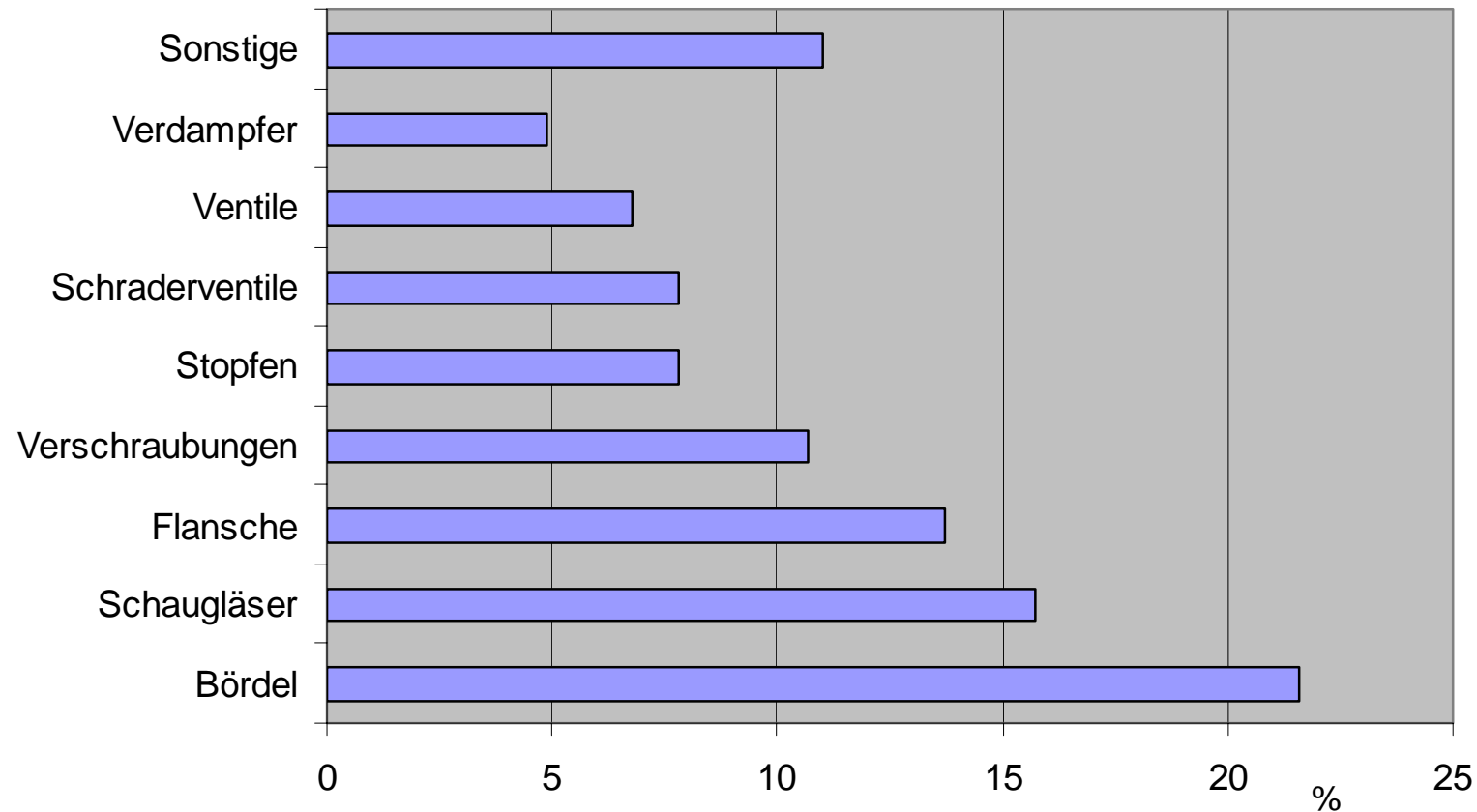
→ **Verlustrate 6,15 % pro Jahr**

Szenario 3: hohe Anlagendichtigkeit entsprechend VDMA Standard 24243-1

→ **Verlustrate 2,65 % pro Jahr**



Kältemittelleckagen



*Forschungsrat Kältetechnik e.V.: Dichtheit von Kälteanlagen.
Bericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 11340, Dezember 1999*



Zusammenfassung

- ☐ (HFKW-) Supermarktkälteanlagen sind nie ganz dicht → direktes GWP
- ☐ Energieeinsparung in Supermärkten bis 50 % möglich bei sehr kurzen Amortisationszeiten → Reduzierung des indirekten GWP
- ☐ Hermetisch dichte Verbundanlagen mit HFKW oder Anlagen ohne HFKW sind möglich, jedoch bisher teurer
- ☐ R744 sehr gut für TK-Stufen in Kaskaden geeignet
- ☐ Viele effiziente HFKW-freie / -reduzierte Anlagen bei entsprechender Gesetzgebung, z.B. Dänemark, Norwegen und Schweden
- ☐ Steckerfertige Geräte mit KW sind energetisch besser als solche mit HFKW oder R744



Ergänzungen, Fragen?

Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Michael Kauffeld

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik
Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik

Moltkestr. 30
76133 Karlsruhe

Tel.: 0721 925 1843
Fax: 0721 925 1915
E-Mail: michael.kauffeld@hs-karlsruhe.de

