



Energieeffizienz in der Gewerbe-, Prozess- und Großkälte 07.05.2010

Dipl.-Ing. Thomas Tech,
GERTEC GmbH Ingenieurgesellschaft

Präsentation als pdf-Download unter
www.hamburg.de/kaeltenetz/298640/termine.html

Programm

08.30 h Einführung in das Thema Kälte

08.45 h Kälteerzeugungstechnologien

„Von der Kompressionskälte bis zur Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung“

09.45 h Kaffeepause

10.00 h Optionen zur Reduzierung des Energieeinsatzes bei der Kühlung

11.00 h Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit

11.30 h Besichtigung der Kältezentrale des Elbcampus

12.00 h Mittagessen

13.00 h Kältemittel (Dr. Rainer Jakobs, DMJ)

13.45 h Kondensatoren und Rückkühler (Karl Heinz Cramer, Güntner)

14.30 h Energieeinsparung in der Hydraulik (Christoph Brandt, Klimahaus)

15.15 h Wärmepumpen (Dr. Rainer Jakobs, DMJ)

16.00 h Abschlussdiskussion

Einführung

„Kälte, das Zukunftsthema der Energieeffizienz“

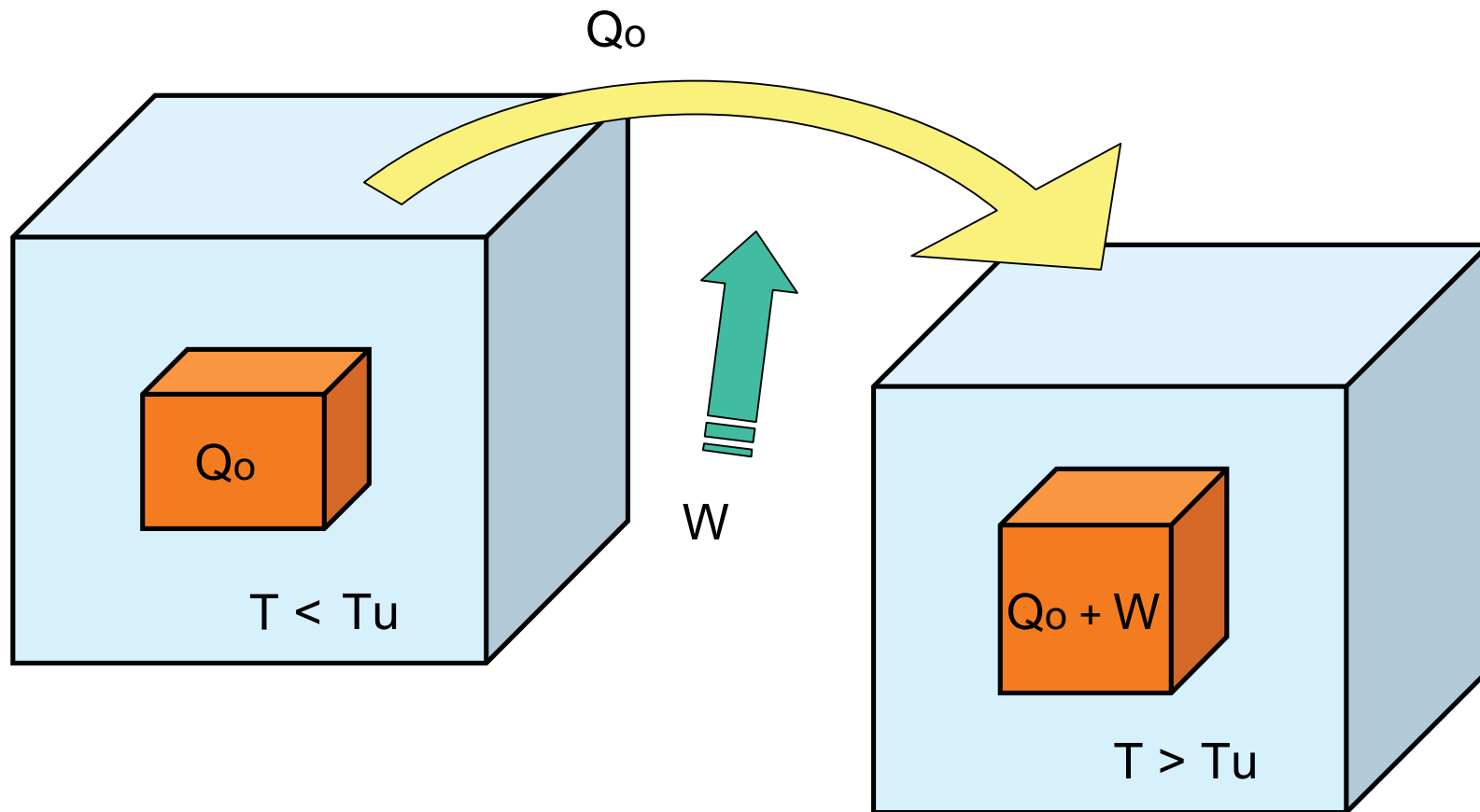
Was ist Kälte?

Physikalisch gibt es keine Kälte, nur mehr oder weniger Wärme

Kälte ist relativ und bedeutet „weniger warm als die Umgebung“

Kälteerzeugung = Abführung von Wärme

Kälteerzeugung = Wärmeabfuhr



Abführen von Wärme

- Raumluftkonditionierung
- Haltbarmachung von Nahrungsmitteln u. anderen verderblichen Produkten
- Abführung von Reaktionswärme z.B. bei chemischen Prozessen
- Wechsel von Aggregatzuständen z.B. Gasverflüssigung
- Kühlung von Sensoren z.B. von diagnostischen Geräten

Ausgangssituation in Deutschland

66.000 GWh elektr. Kälteerzeugung $\approx$ 14% des bundesweiten Strombedarfs

11.000 GWh nicht elektr. Kälteerzeugung

77.000 GWh techn. erzeugte Kälte

230.000 GWh Primärenergie $\approx$ 5% des bundesweiten Primärenergiebedarfs

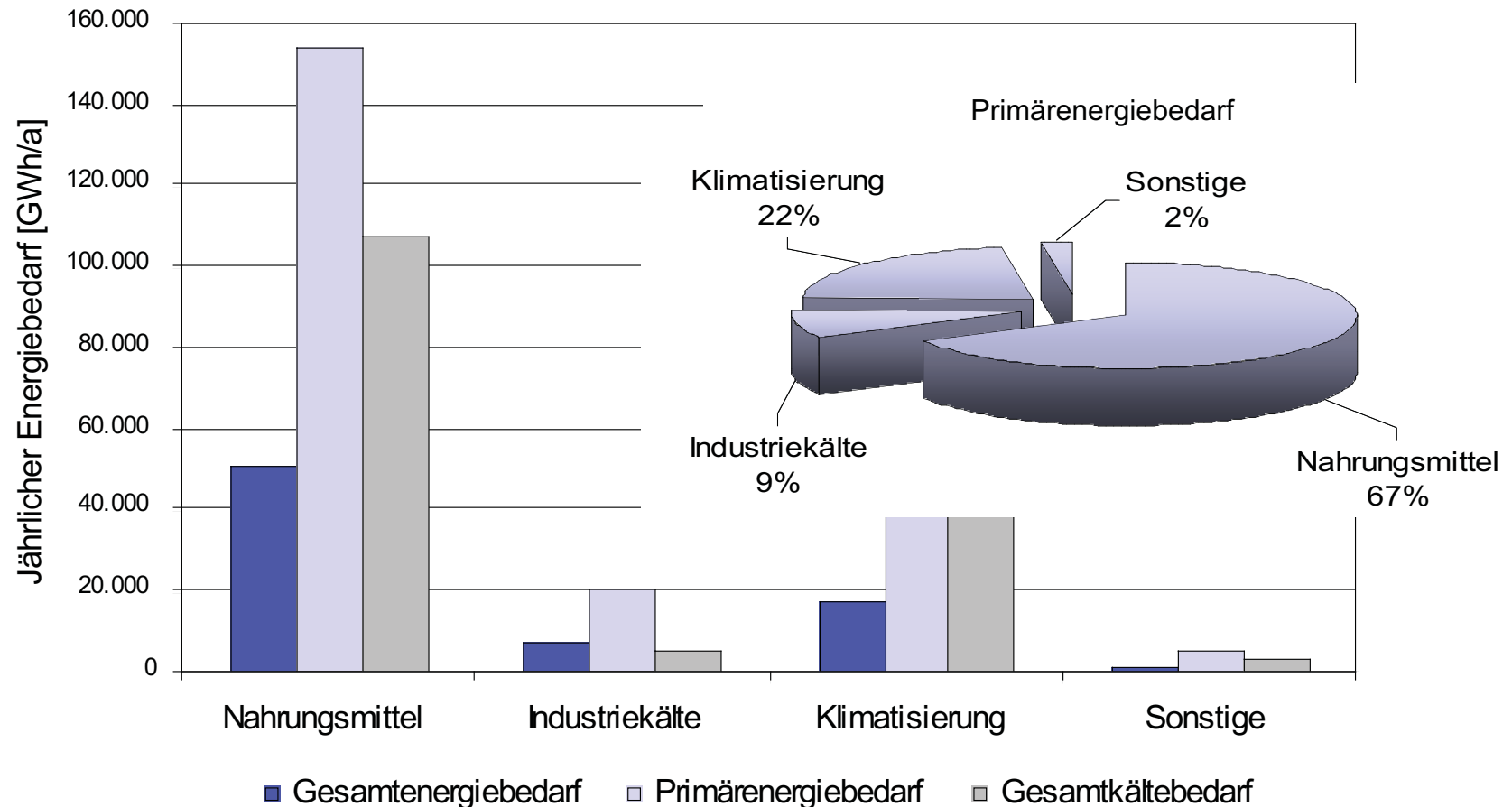
46 Mio. t Kohlendioxid $\approx$ 5,4% der bundesweiten CO₂-Produktion

Referenzjahr 1999

Tendenz steigend !!

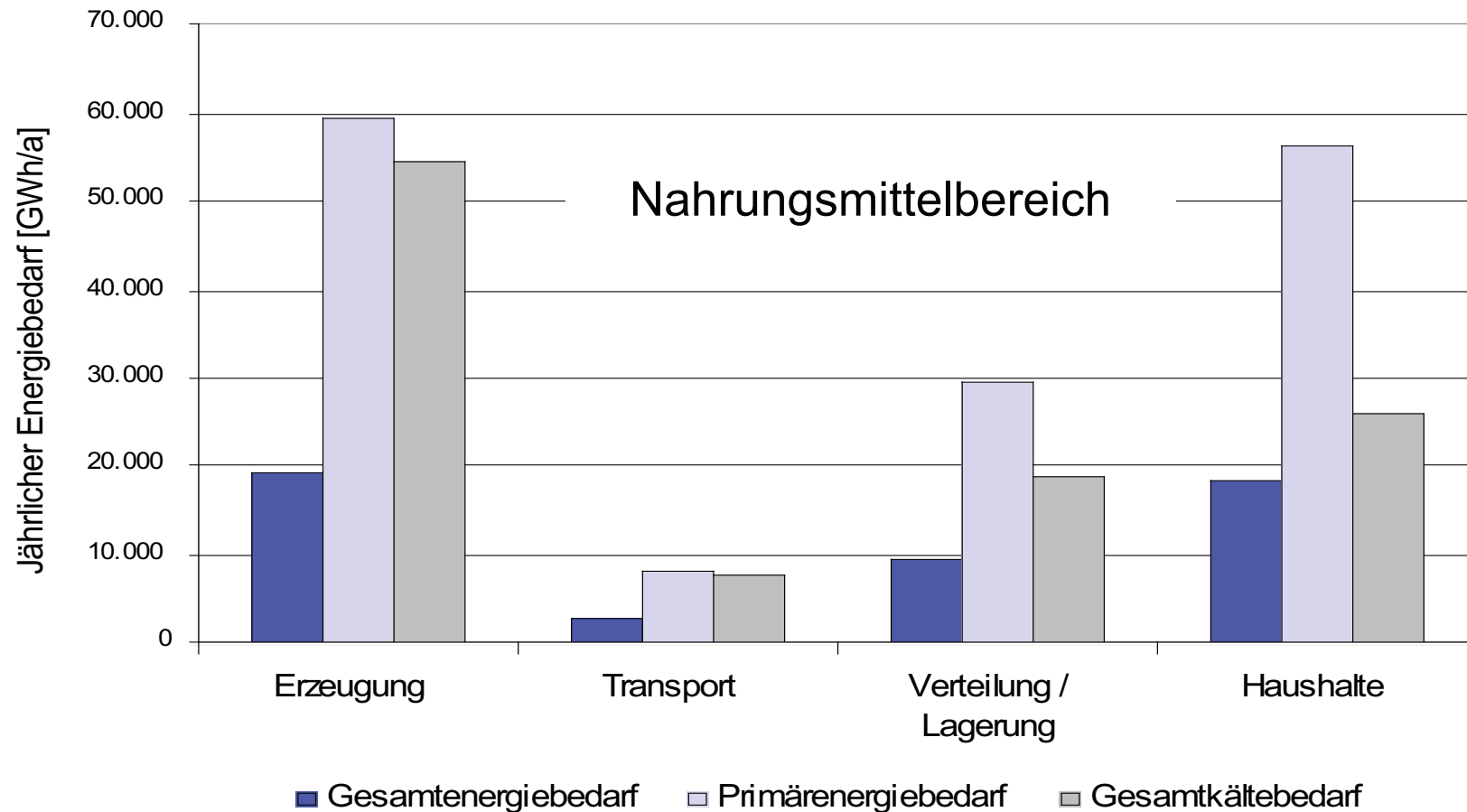
/DKV:Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte, Juni 2002/

Ausgangssituation in Deutschland nach Anwendungsbereichen



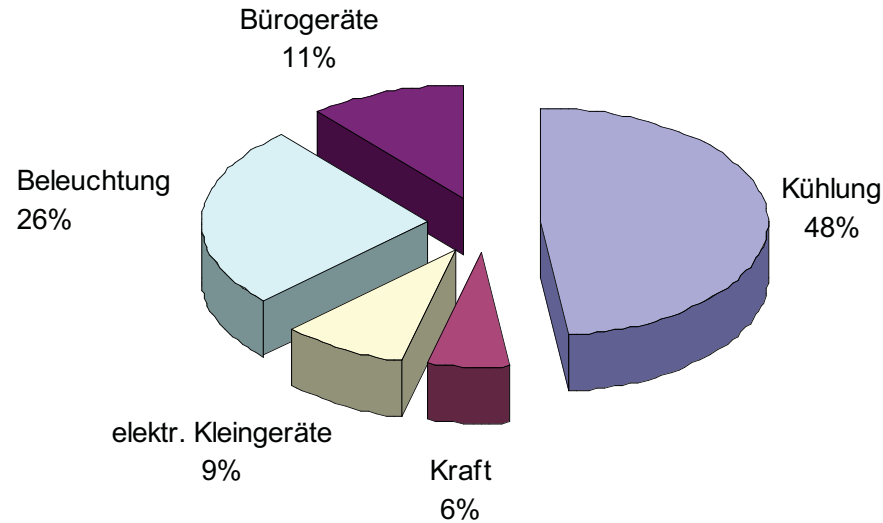
/DKV:Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte, Juni 2002/

Ausgangssituation in Deutschland - Nahrungsmittel



/DKV: Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte, Juni 2002/

Energieverbrauch im Lebensmittelhandel



Brandbreite des Stromverbrauchs:	170.....720	$\frac{kWh}{m^2_{VF} a}$
davon zur Kälteversorgung:	82.....345	$\frac{kWh}{m^2_{VF} a}$

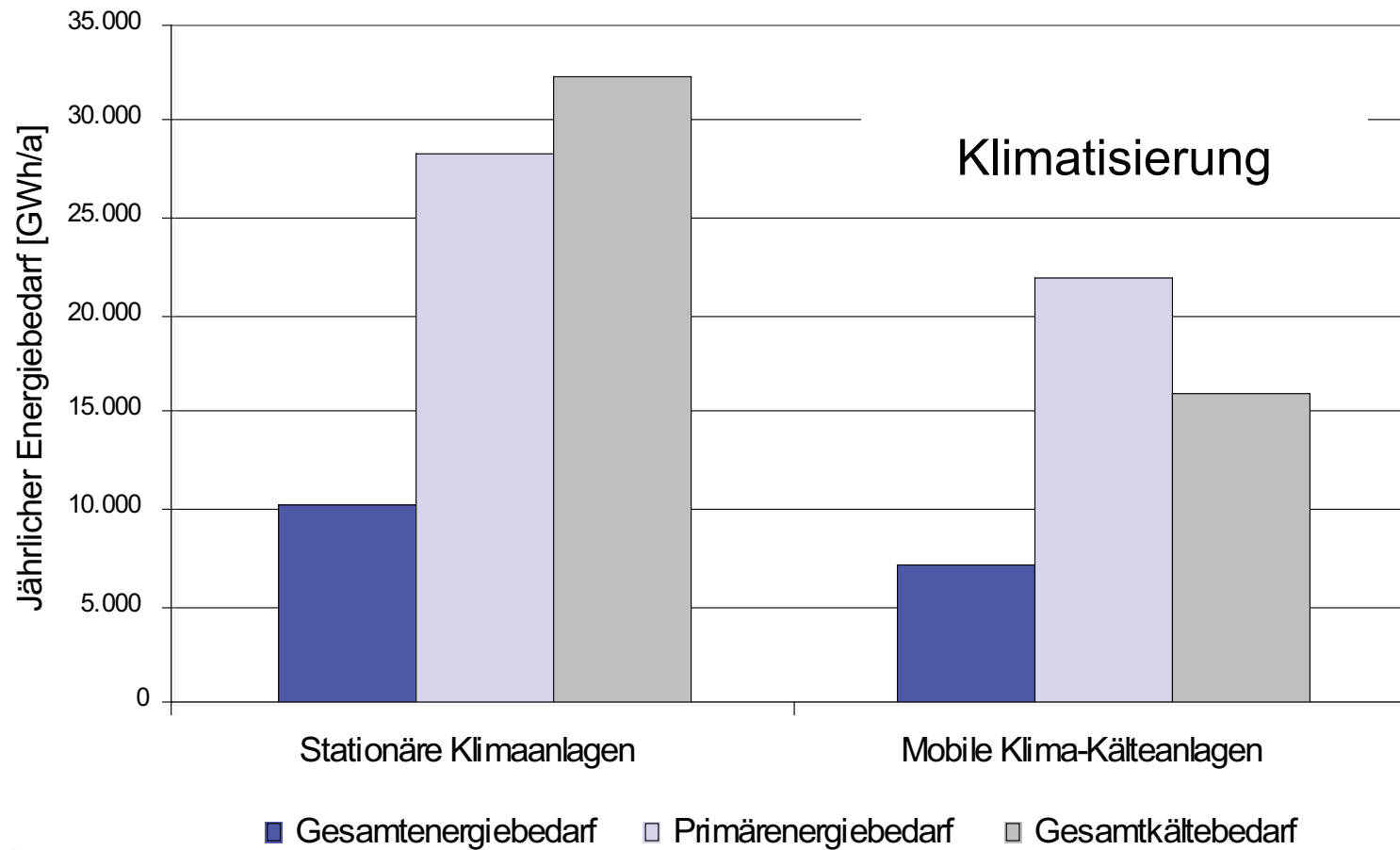
/O.Ö. Energiesparverband; 1996/

Energiekosten im Lebensmittelhandel

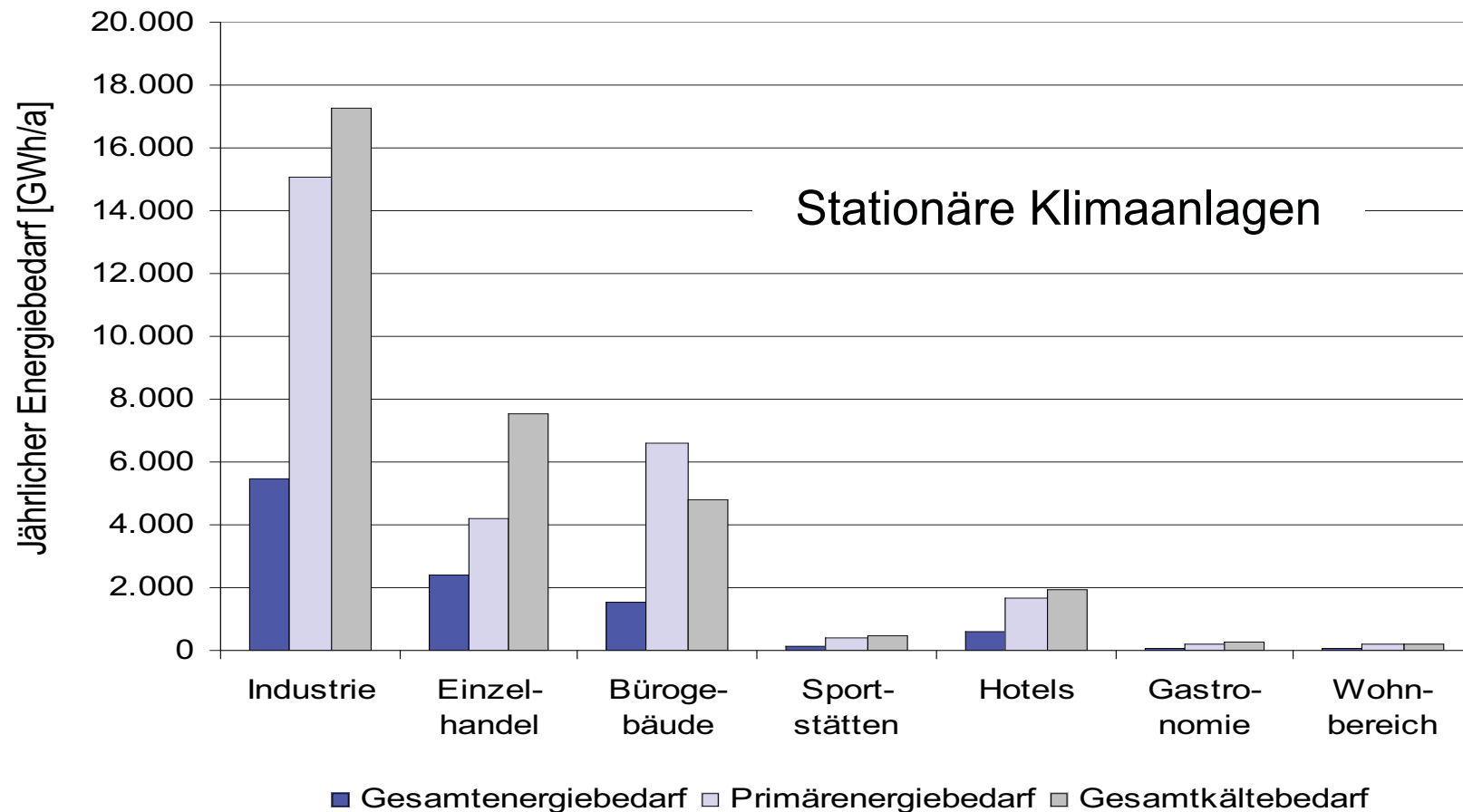


Bandbreite des Stromkosten:	20.....86	$\frac{\text{Euro}}{\text{m}^2_{\text{VF}} \text{a}}$
davon zur Kälteversorgung:	10.....41	$\frac{\text{Euro}}{\text{m}^2_{\text{VF}} \text{a}}$

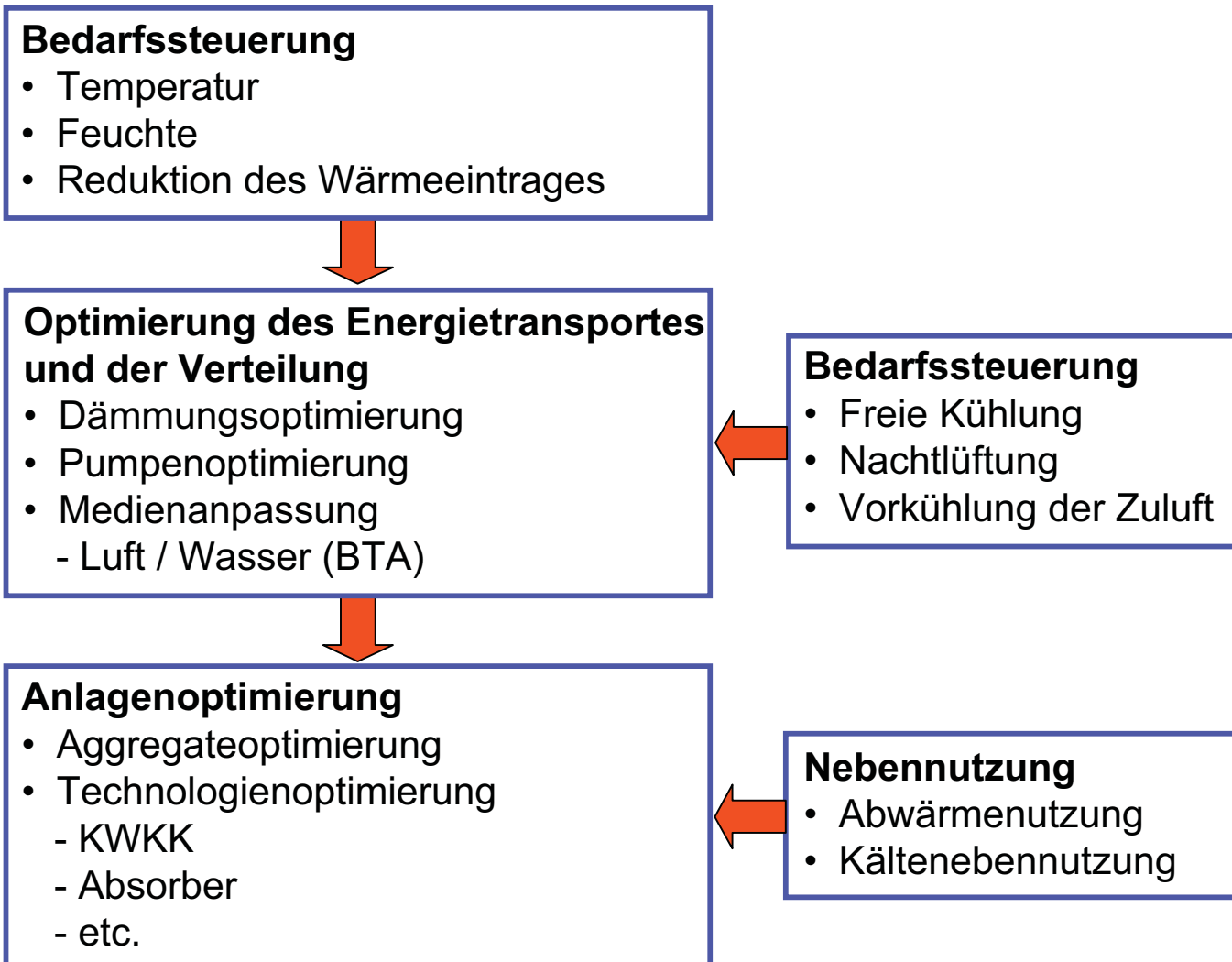
Ausgangssituation in Deutschland - Klimatisierung



Ausgangssituation in Deutschland – Stat. Klimaanlage



Wirkungsketten in der Kälteeffizienzsteuerung



Der Kältecheck



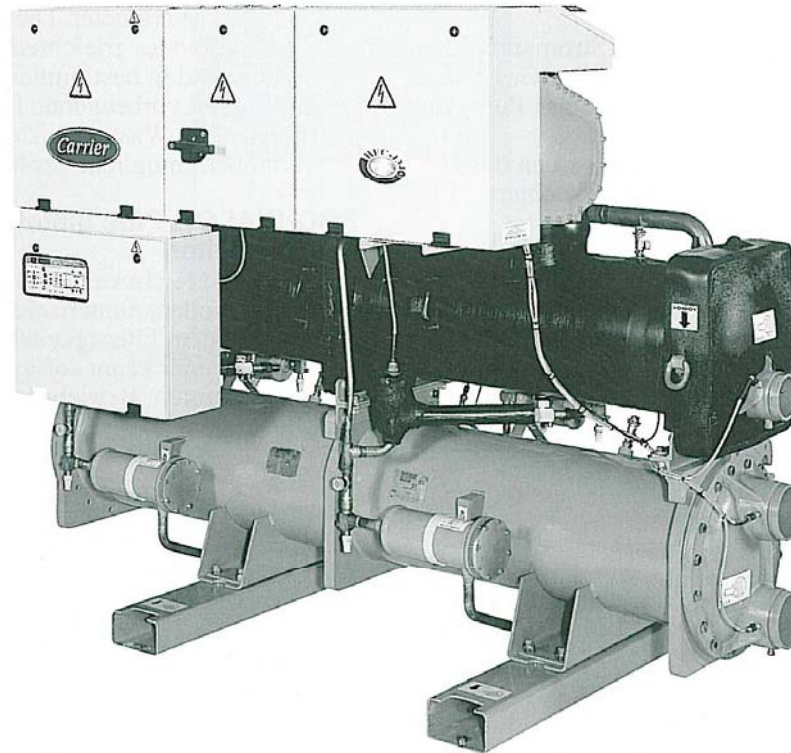
Kälteerzeugungstechnologien

Verfahren zur Kälteerzeugung / Kühlung

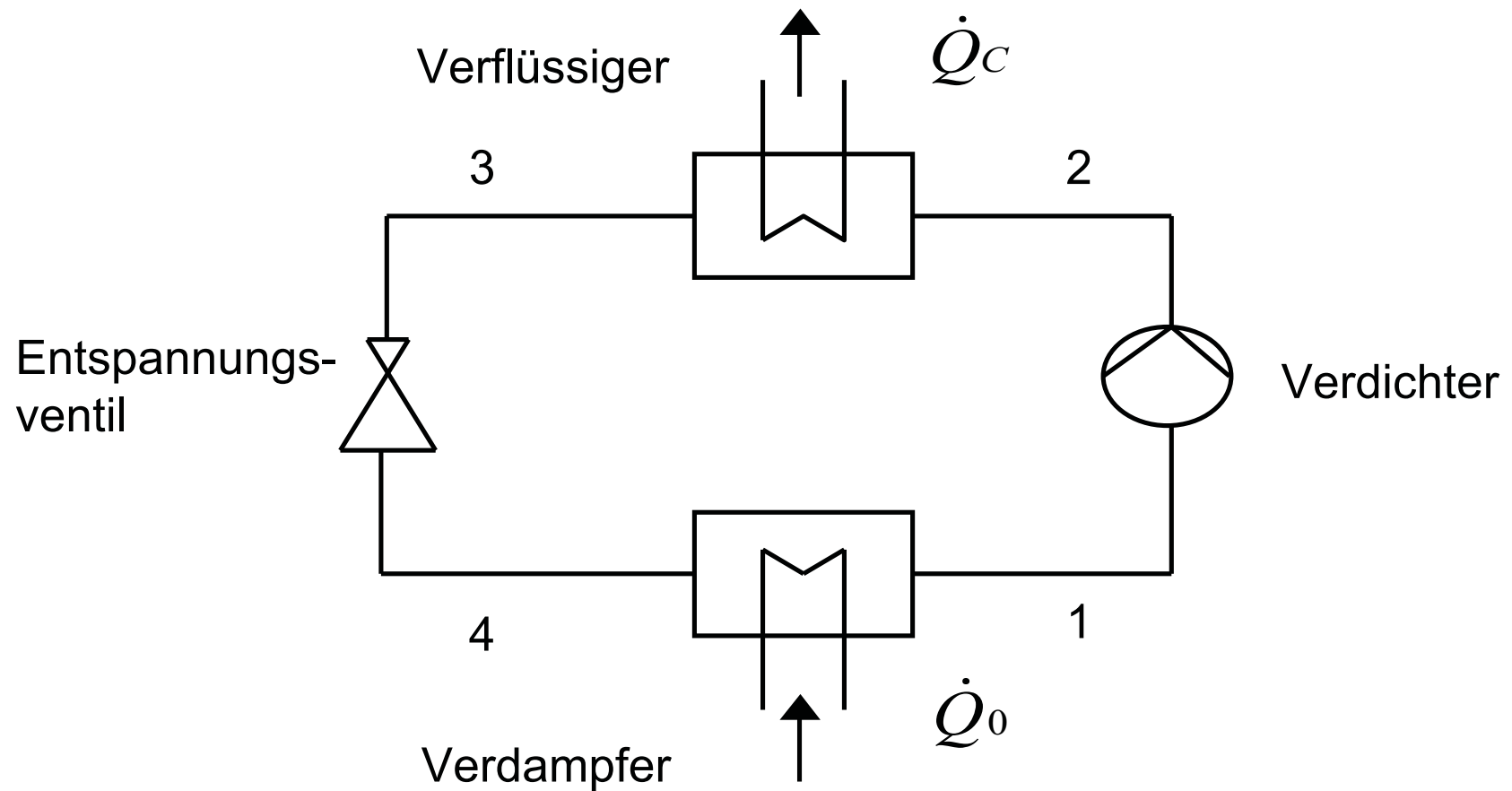
- Kompressionskälteverfahren
- Absorptionskälteverfahren
- Adsorptionskälteverfahren
- Kaltgasverfahren
- Desiccative and Evaporative Cooling (DEC) / Sorptionsgestützte Kühlung
- Erdreichkühlung - Luft
- Erdreichkühlung - Wasser
- Freie Kühlung (Rückkühlwerke)
- Kontrollierte Nachtlüftung, natürlich oder mechanisch
- Aquifer-Speicher / Kühlung mit Grundwasser
- Fensterlüftung (ohne Klimatisierung)

Die Standardkälteversorgung

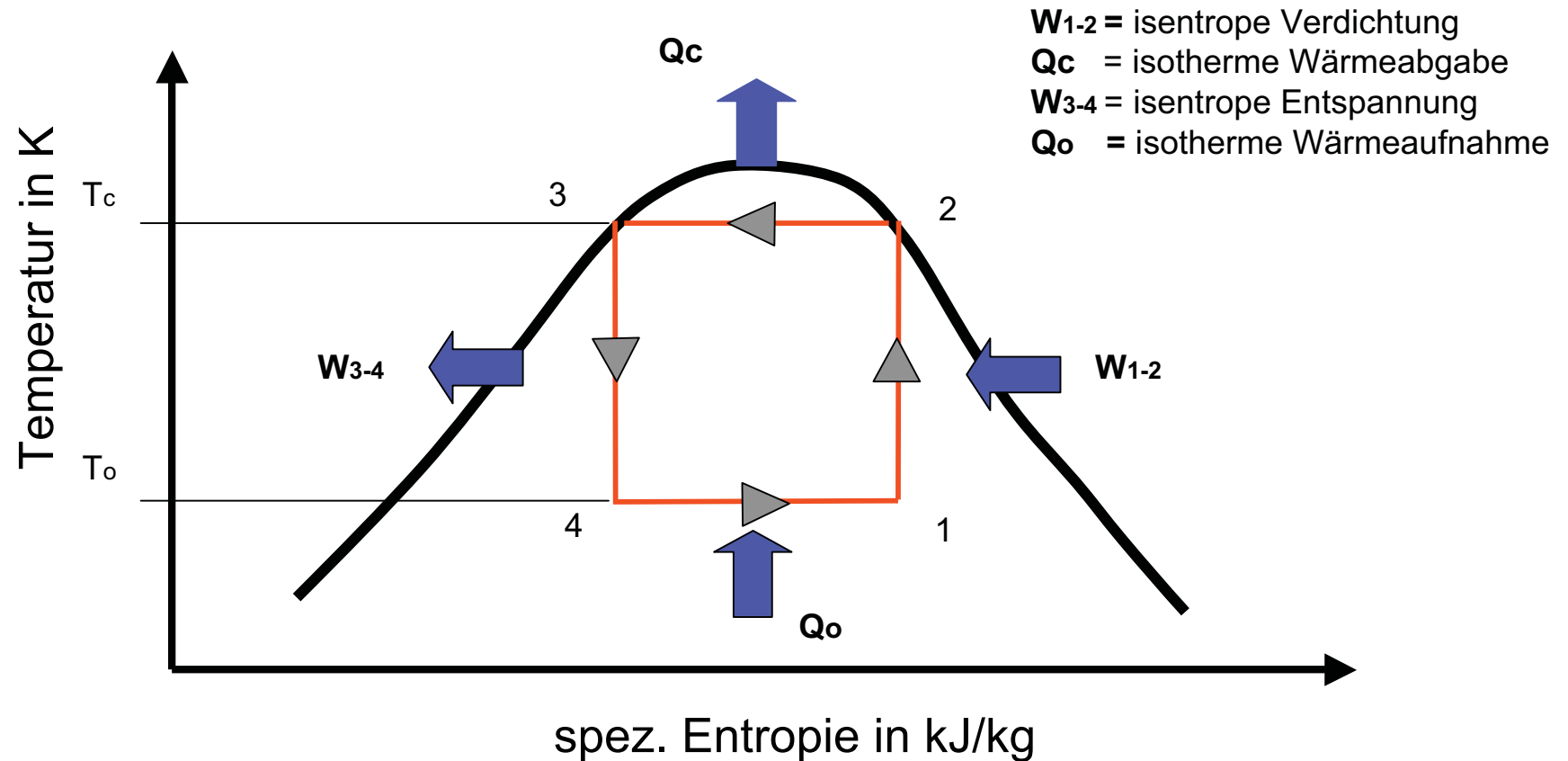
Kompressionskältemaschine



Kompressionskälteprozess

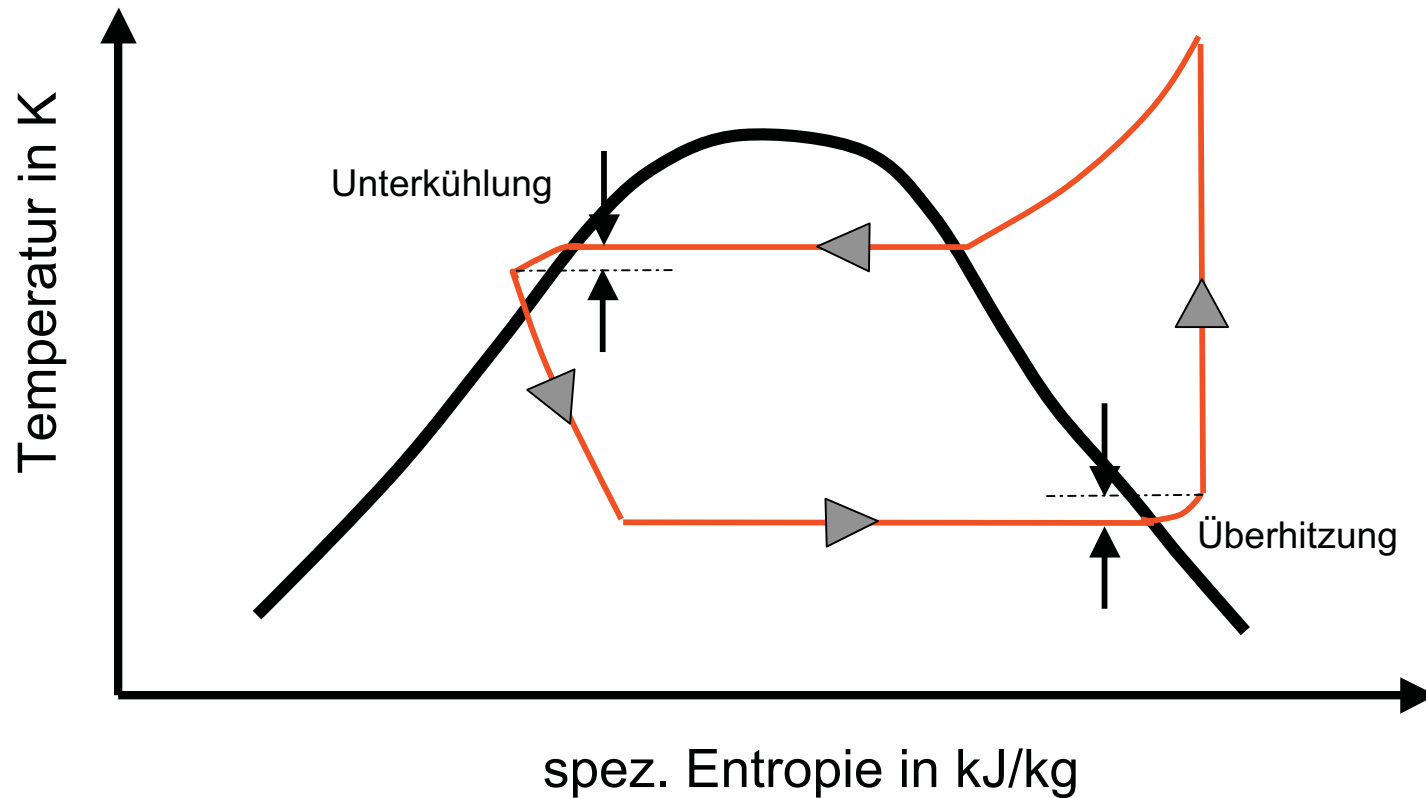


Idealer Kälteprozess im T,s-Diagramm



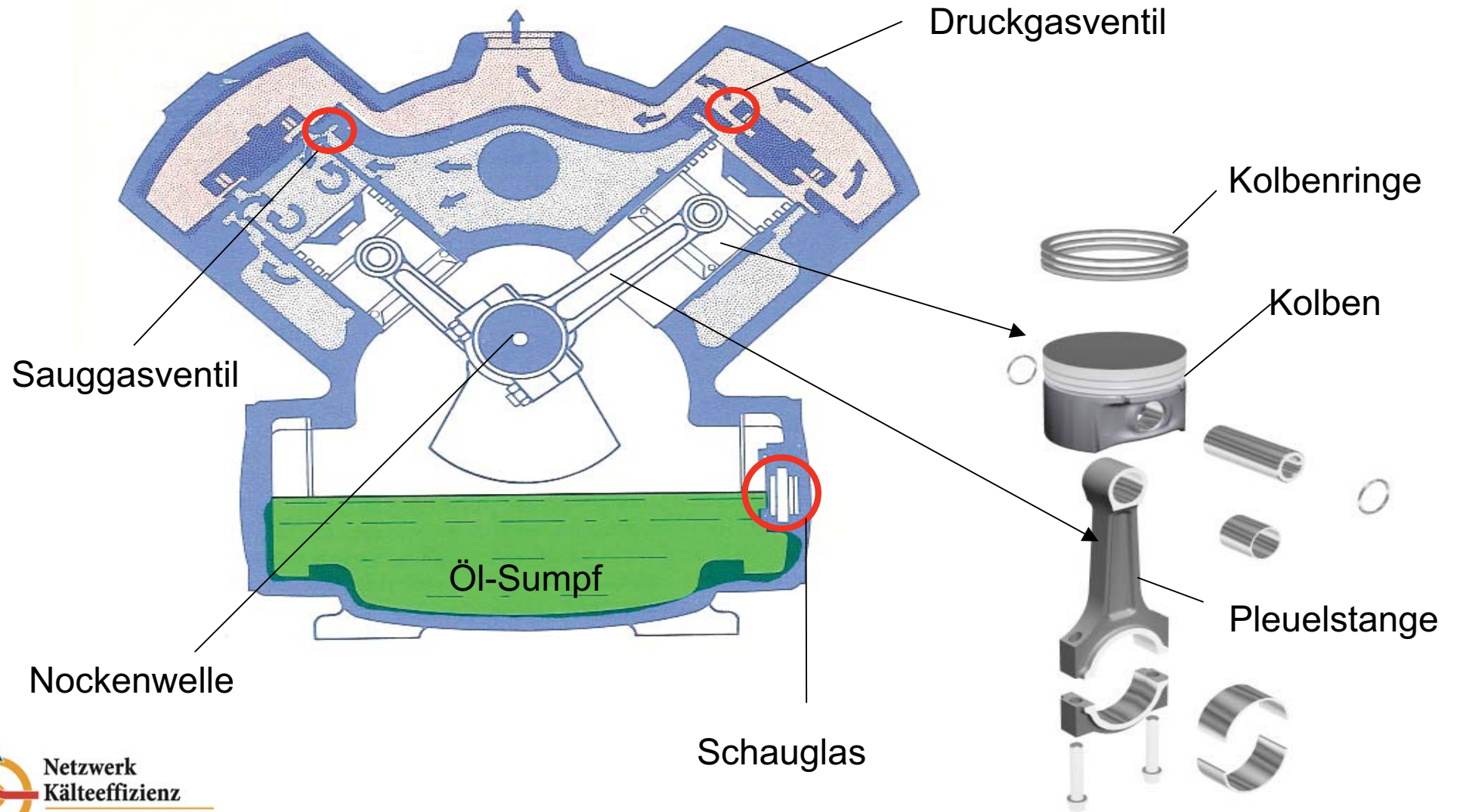
Leistungszahl des idealisierten Prozesses $\varepsilon_{\text{KM},i} = \frac{T_o}{T_c - T_o}$

Reale Anlage im T,s-Diagramm

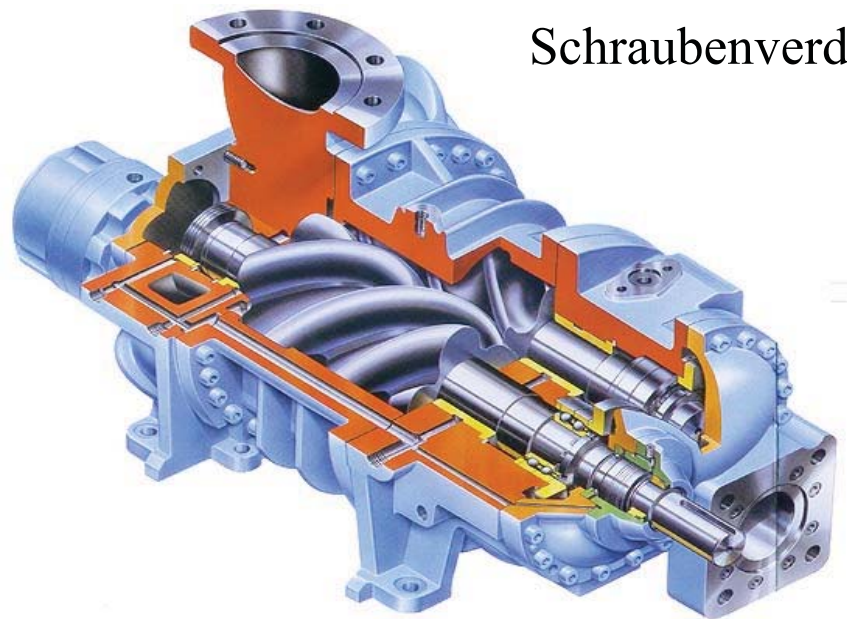


$$\text{Gütegrad } \eta_{\text{CK}} = \frac{\varepsilon_{\text{KM}}}{\varepsilon_{\text{KM,C}}} \quad (0,5 \dots 0,6)$$

Hubkolbenverdichter



Schrauben- und Turboverdichter



Schraubenverdichter



Saugseite



Druckseite

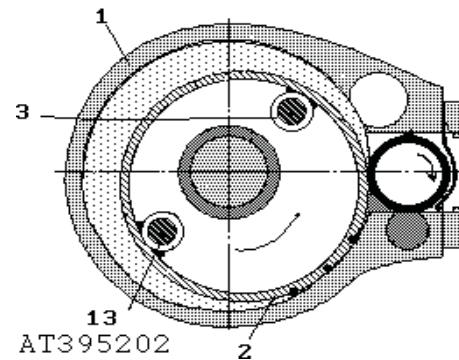


Turboverdichter

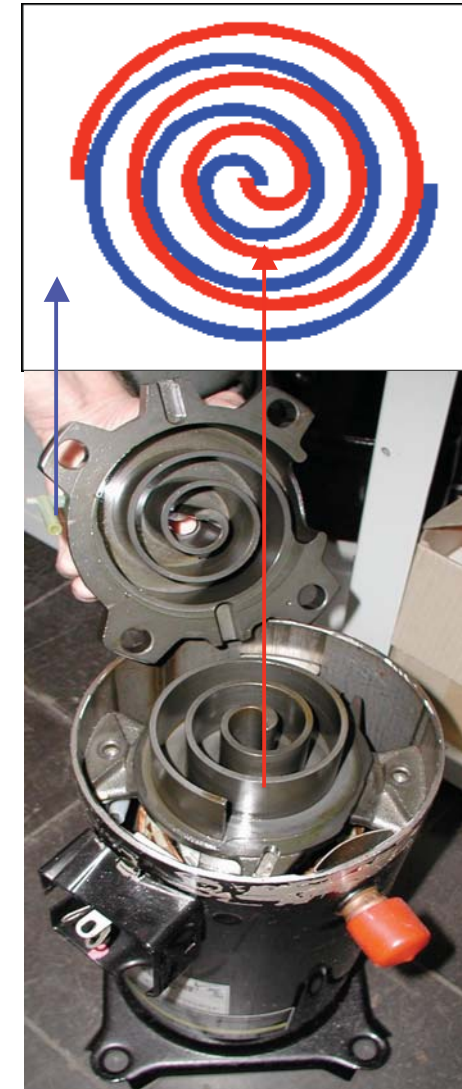
Rollkolben- und Scrollverdichter



Rollkolben-
prinzip



Spiral- oder
Scrollverdichter

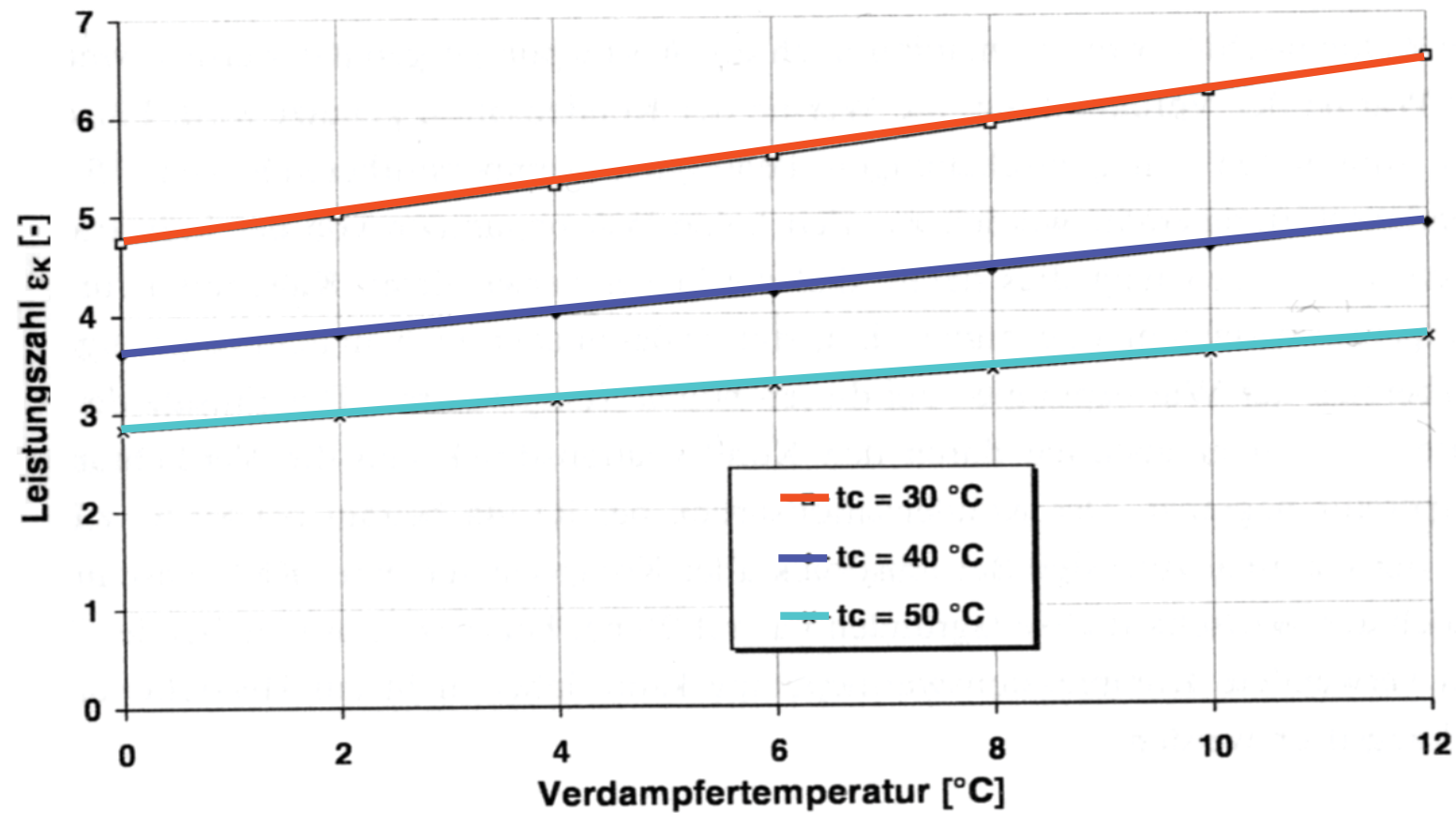


Leistungsbereiche und – zahlen verschiedener Kompressionskältemaschinen

Verdichterbauart	Q_0^* [kW]	
Hubkolbenverdichter	0,3...1200	2,4...6,5
Schraubenverdichter	60...6000	3,9...6,6
Turboverdichter	1800...30000	5,8...6,6
Rollkolbenverdichter	6,0...24	3,4...5,4
Scrollverdichter	3,0...100	3,2...4,9

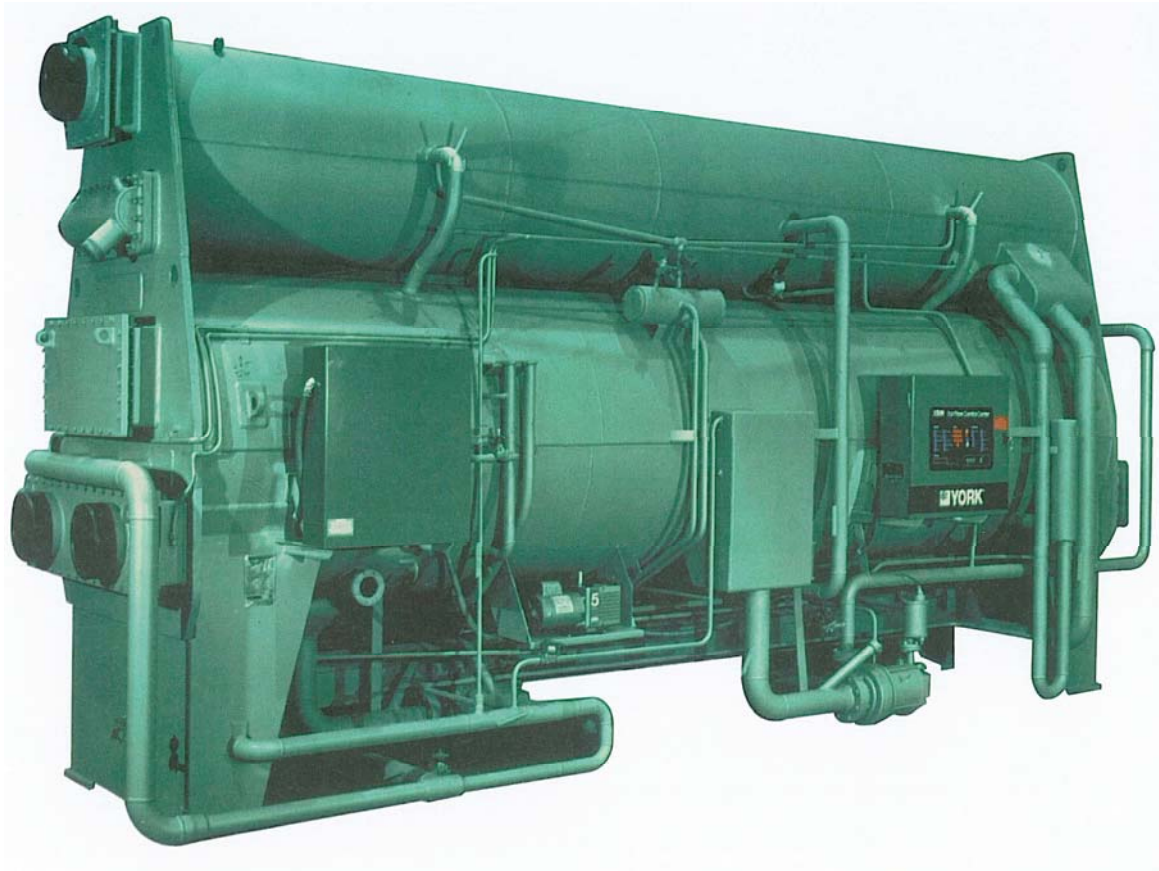
* bei R 134a, $t_0 = 0^\circ\text{C}$, $t_C = 40^\circ\text{C}$, $t_U = 35^\circ\text{C}$, $q_{0,\text{vol}} = 0,6 \text{ kW/m}^3$

$$\text{Leistungszahl } \varepsilon = f(t_0, t_c)$$

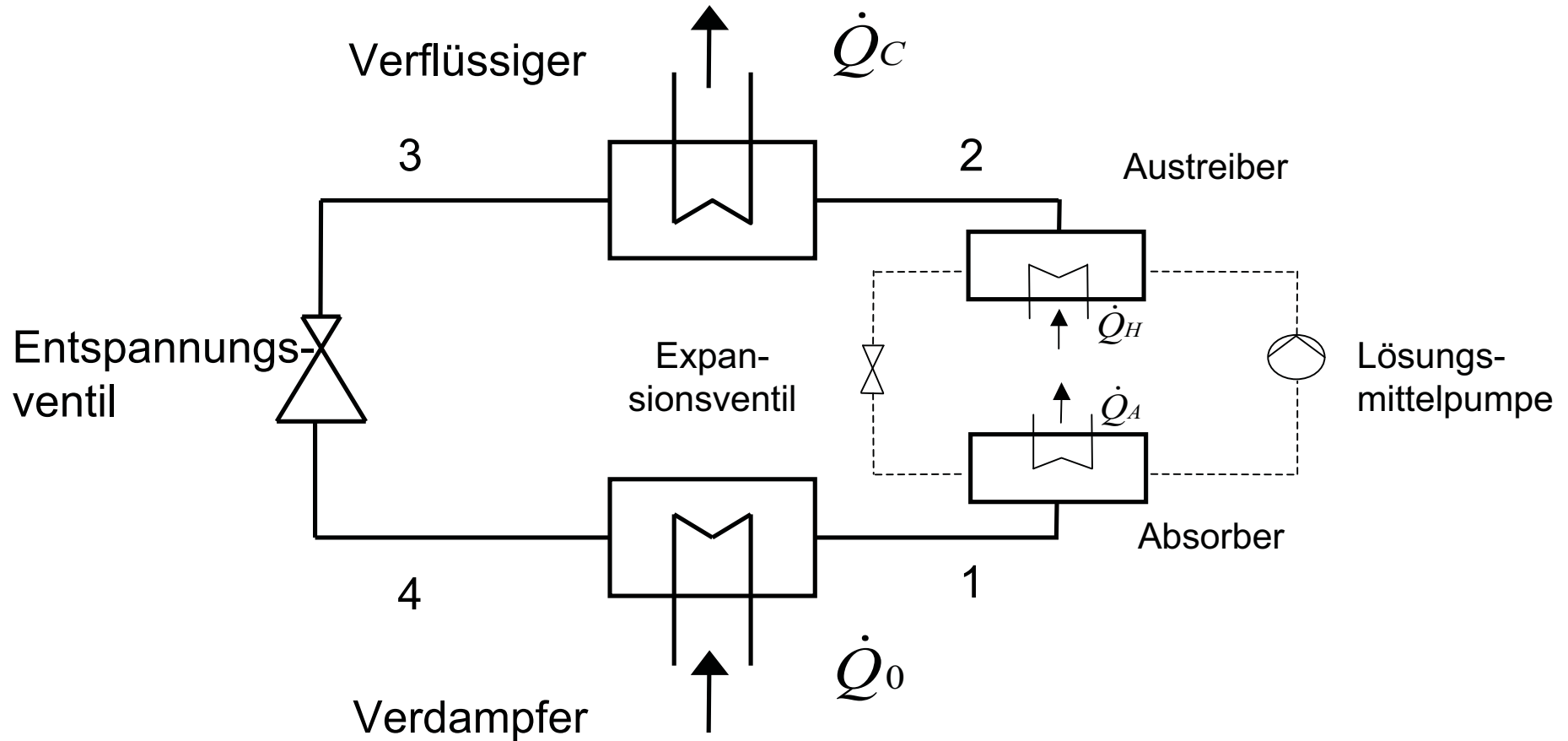


Absorptionskältemaschinen

Absorptionskältemaschine



Schema Absorptionskälteprozess



Antriebsenergie und Kältemittel der Absorptionskältemaschine

Antriebswärme	Medium			
	Heißwasser	Dampf	Erdgas/Propan	Heizöl
Abwärme	X	X		
Fernwärme	X	X		
Solarwärme	X			
Frischwärme	X	X		
Direktbefeuerung			X	X

Einsatzbereich	Kältemittel	Absorptionsmittel
Klimatisierung / Kühlung > 0°C	H ₂ O	LiBr
Prozesskälte < 0°C	NH ₃	H ₂ O

Abwärme von KKM und AbKM

Kompressionskältemaschine

Abwärme:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{Ab_{KKM}} &= \dot{Q}_C = \dot{Q}_0 + P \\ &= \dot{Q}_0 (1 + 1/\varepsilon) \\ &\text{bei } \varepsilon_K = 4 \\ \dot{Q}_{Ab_{KKM}} &= \dot{Q}_0 * 1,25\end{aligned}$$

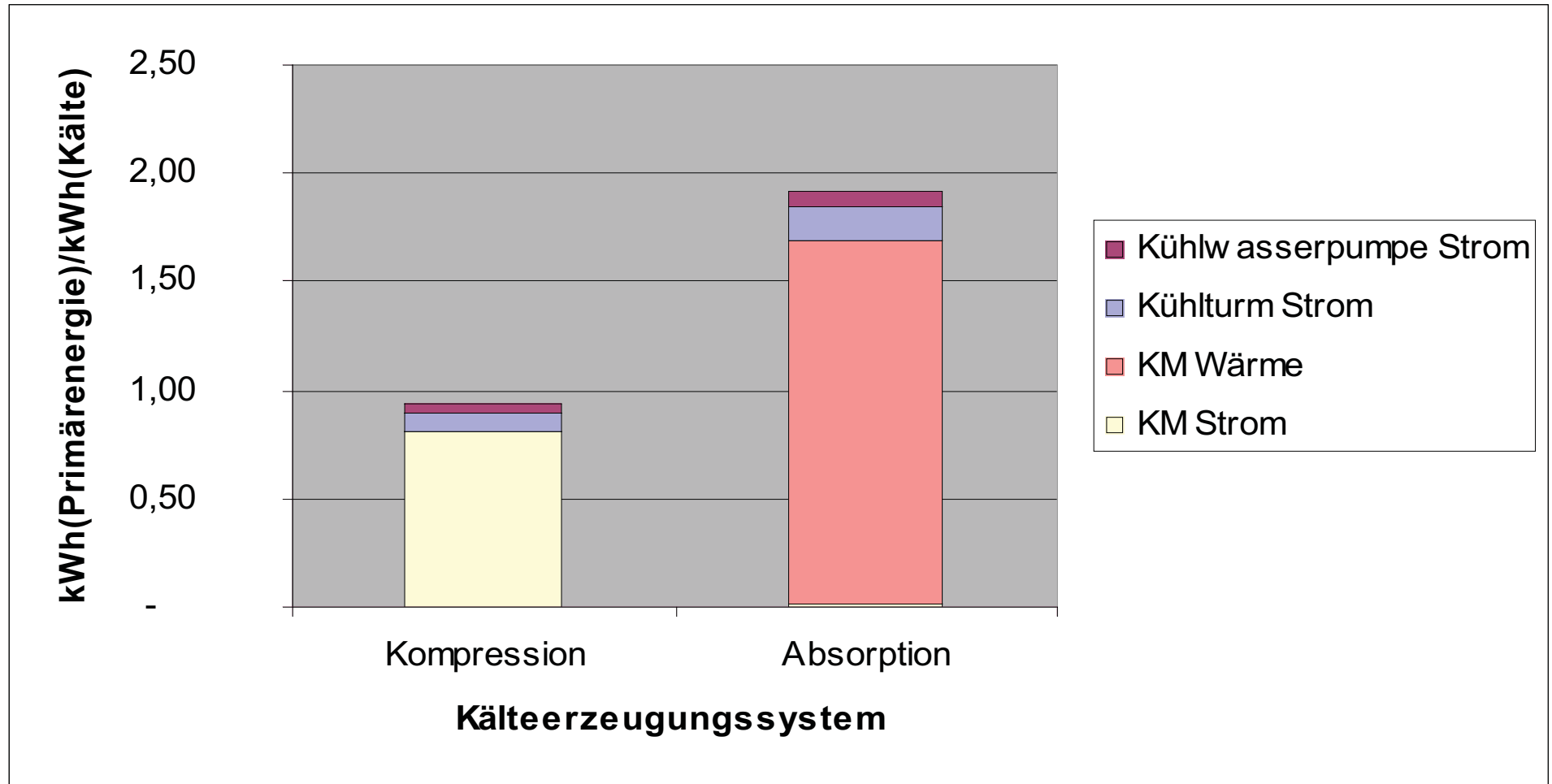
→ $\frac{\dot{Q}_{Ab_{AbKM}}}{\dot{Q}_{Ab_{KKM}}} = \frac{2,43}{1,25} = 1,94$

Absorptionskältemaschine

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{Ab_{AbKM}} &= \dot{Q}_C + \dot{Q}_A = \dot{Q}_0 + \dot{Q}_H \\ &= \dot{Q}_0 (1 + 1/\zeta_K) \\ &\text{bei } \zeta_K = 0,7 \\ \dot{Q}_{Ab_{AbKM}} &= \dot{Q}_0 * 2,43\end{aligned}$$

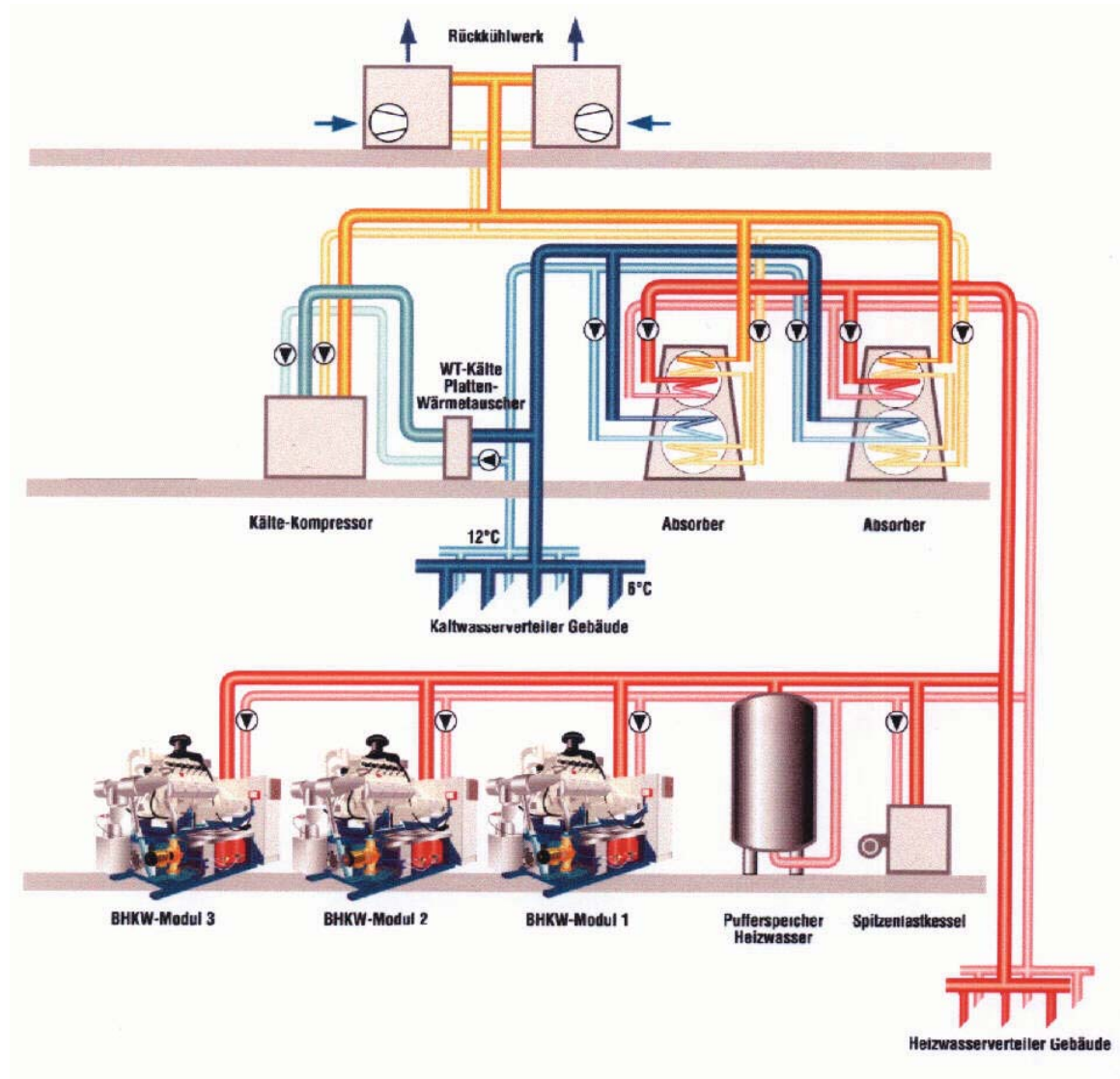
d.h. Rückkühlwerk, Kühlwasserpumpen
und deren Antriebsenergie bei AbKM
nahezu **doppelt so groß** wie bei KKM!

Effizienzvergleich KKM - AbKM



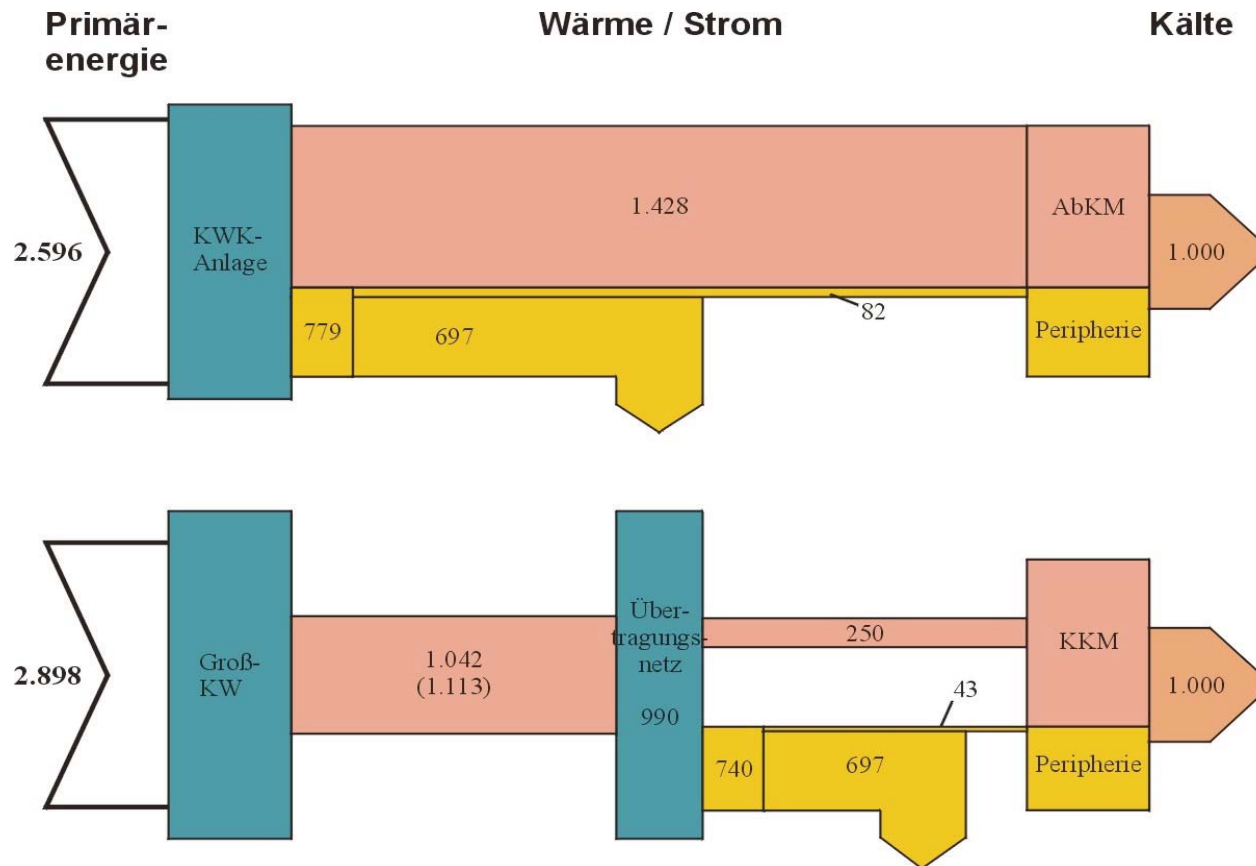
Vergleich

Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung



Effizienzvergleich

konventionelle Kälteversorgung : Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung



Primärenergieeinsparung bei unterschiedlichen Betrachtungsweisen

	5% Netz- verluste	12% Netz- verluste
mit Peripherie	10%	14%
ohne Peripherie	16 %	20%

Vergleich

Bewertung der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

KWKK ist ökologisch vorteilhaft

- + senkt den Primärenergiebedarf
- + reduziert die CO₂-Emissionen

KWKK verstetigt die Nutzung der Wärme aus der Kraft-Wärme-Kopplung

➡ Laufzeiterhöhung der KWK-Anlage, d.h. bessere Auslastung

KWKK ist wirtschaftlich bei

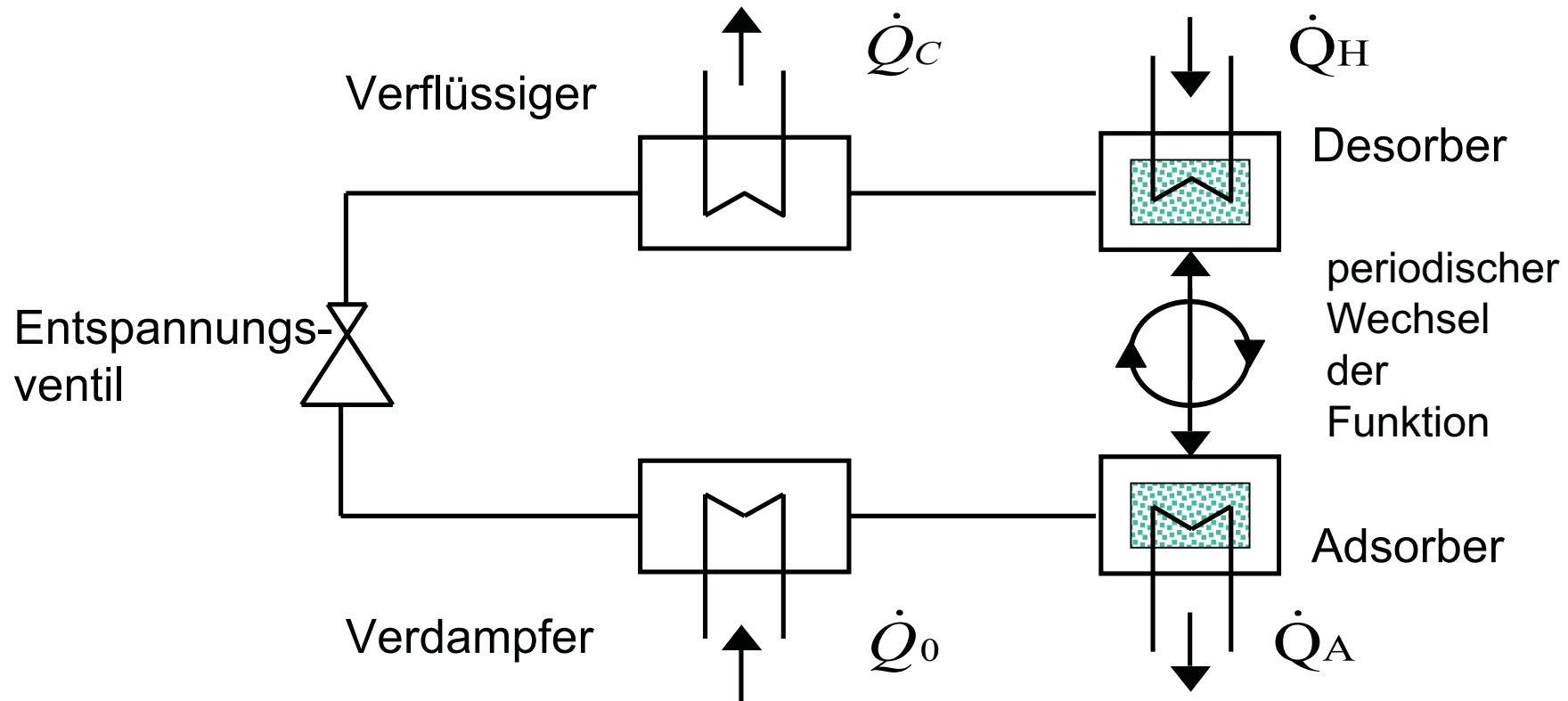
- + niedrigen Brennstoffpreisen
- + höheren Strompreisen
(insbesondere bei zweigliedriger Verbrauchsabrechnung, d.h. Leistungspreis und Arbeitspreis)
- + Nutzung der KWK-Anlage für die Not- bzw. Ersatzstromversorgung
(Verminderung von Zusatzinvestitionen)

Adsorptionskältemaschinen

Adsorptionskältemaschine



Schema Adsorptionskälteprozess

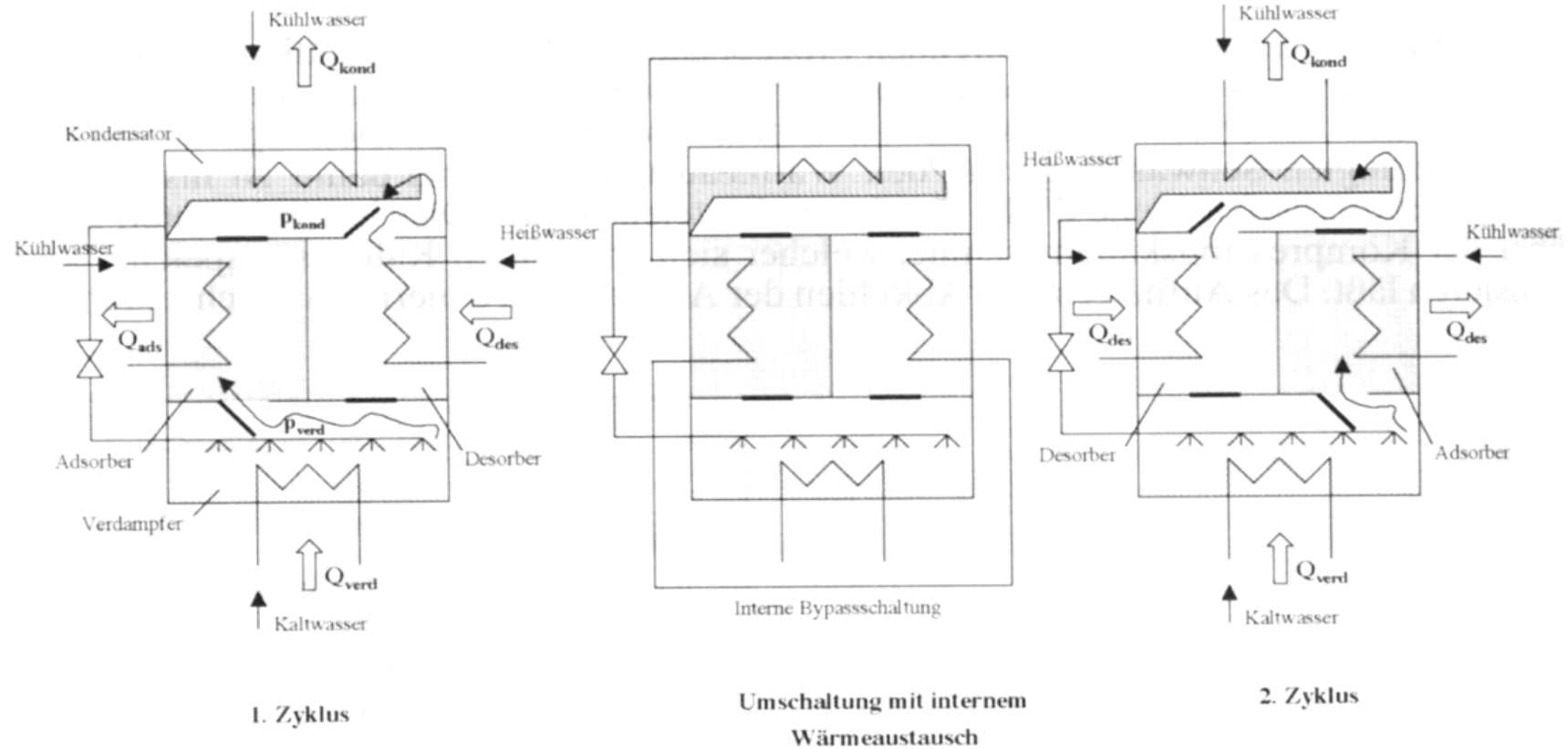


$$\dot{Q}_0 + \dot{Q}_H = \dot{Q}_c + \dot{Q}_A + \dot{Q}_V$$

$$\zeta_K = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_H} = 0,45 \dots 0,65$$

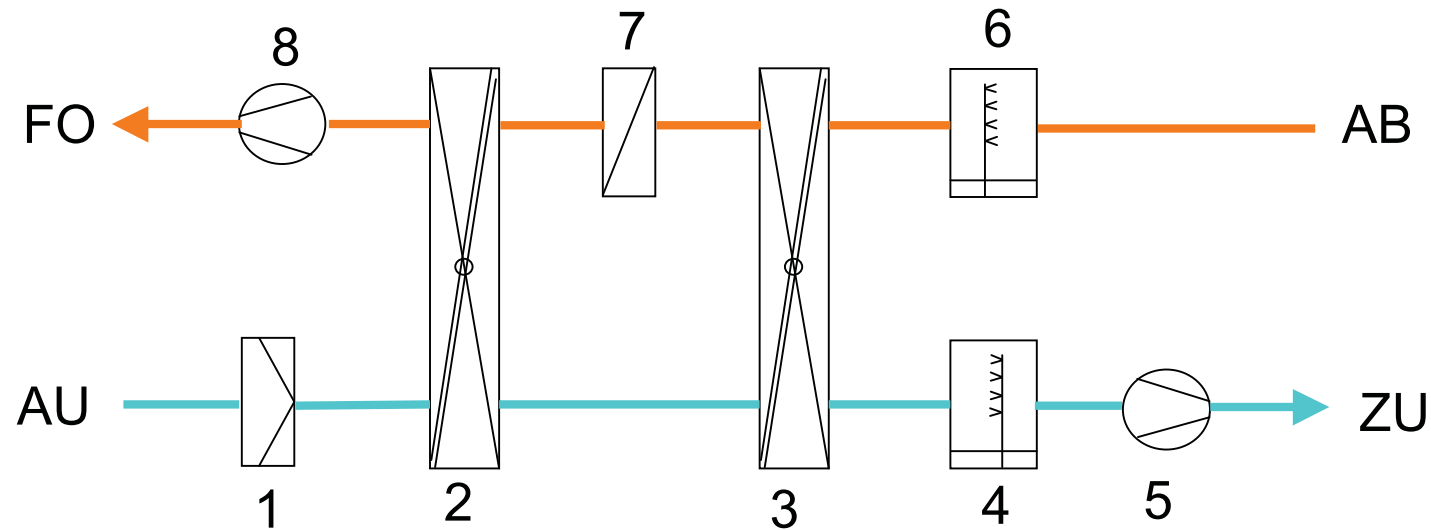
Gütegrad $\eta_c \approx 0,6$

Funktionsweise der Adsorptionskältemaschine



Desiccative & Evaporating Cooling (DEC)

Desiccative & Evaporative Cooling (DEC)



1 Filter

2 Luftentfeuchtungsrotor

3 WRG

4 Zuluftbefeuchter

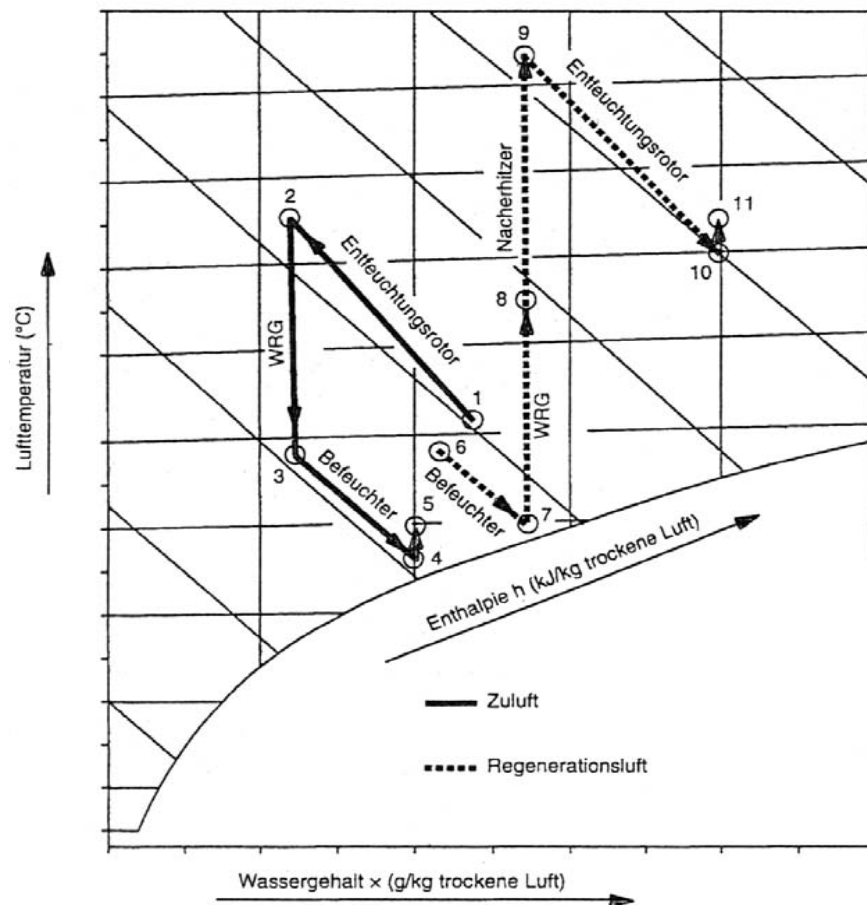
5 Zuluftventilator

6 Regenerationsluftbefeuchter

7 Regenerationsluftherhitzer

8 Regenerationsluftventilator

DEC-Kälteverfahren im h,x-Diagramm



Zuluft

- 1-2 Trocknung der Außenluft mittels Sorptionsregenerator
- 2-3 Vorkühlung der Außenluft mittels Wärmerückgewinnungssystem
- 3-4 Kühlung der Luft auf die gewünschte Zulufttemp. mittels regelbarem Verdunstungskühler
- 4-5 Erwärmung durch Leistungsaufnahme des Zuluftventilators

Regenerationsluft

- 6-7 Kühlung der Regenerationsluft (Abluft bzw. in Sonderfällen auch Außenluft)
- 7-8 Erwärmung der Regenerationsluft mittels Wärmerückgewinnungssystem aufgrund Kühlung der Zuluft (2-3)
- 8-9 Nacherwärmung der Regenerationsluft mittels Abwärme aus BHKW, Fernwärme etc.
- 9-10 Desorption der im Sorptionsregenerator enthaltenen Feuchtigkeit (1-2) durch den Regenerationsluftstrom
- 10-11 Erwärmung durch Leistungsaufnahme des Regenerationsluftventilators

DEC-Kälteverfahren



DEC-Merkmale

Nutzung von Abwärme und Solarwärme möglich

Keine Gefahrstoffe (Kältemittel), d.h. keine besonderen Anforderungen an Sicherheitstechnik u. Installationsweise

Keine hohen Drücke

Nur praxiserprobte Bauteile

Kein Rückkühlwerk erforderlich

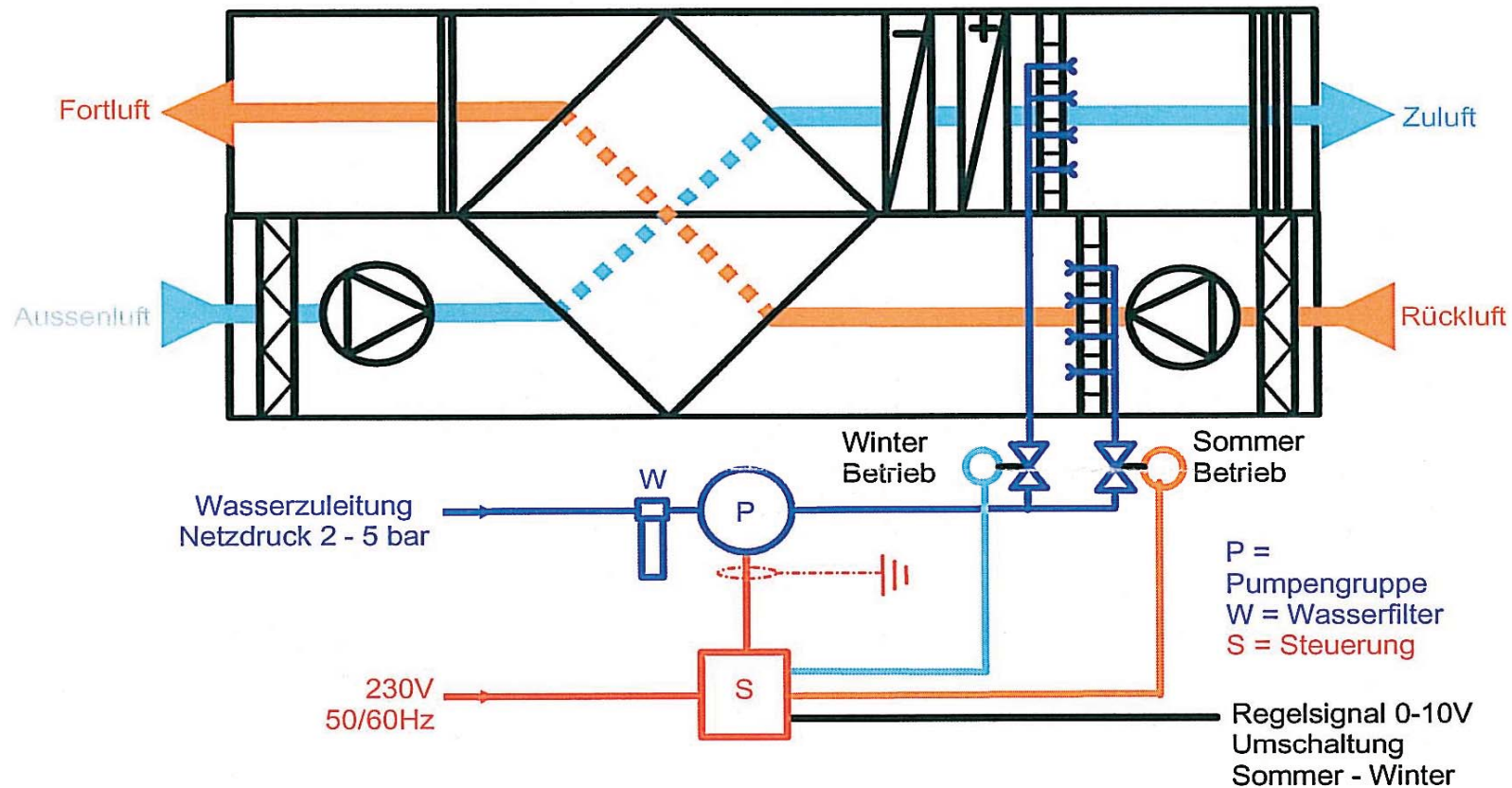
Wg. Rotationsrädern 20% höhere Baugröße als konventionelle Klimageräte

Höhere Ventilatorleistung

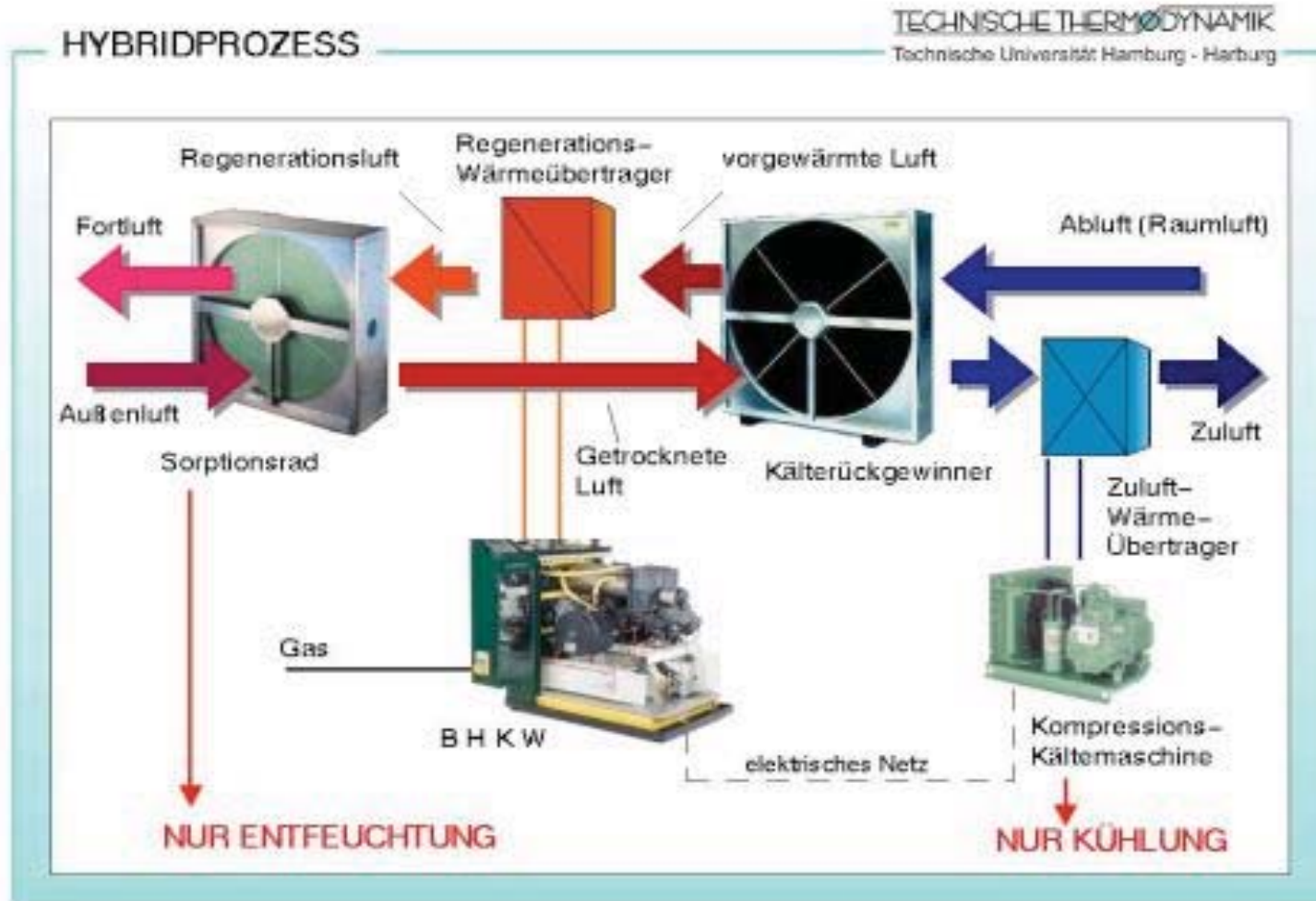
Wasseraufbereitung u. Kontrolle der Wasserqualität erforderlich

$\zeta_K = 0,6 \dots 0,9$

Hybrid-System /Wincool/



Trennung von Entfeuchtung und Kühlung



Optionen zur Reduzierung des Energieeinsatzes bei der Kühlung

Freie Kühlung

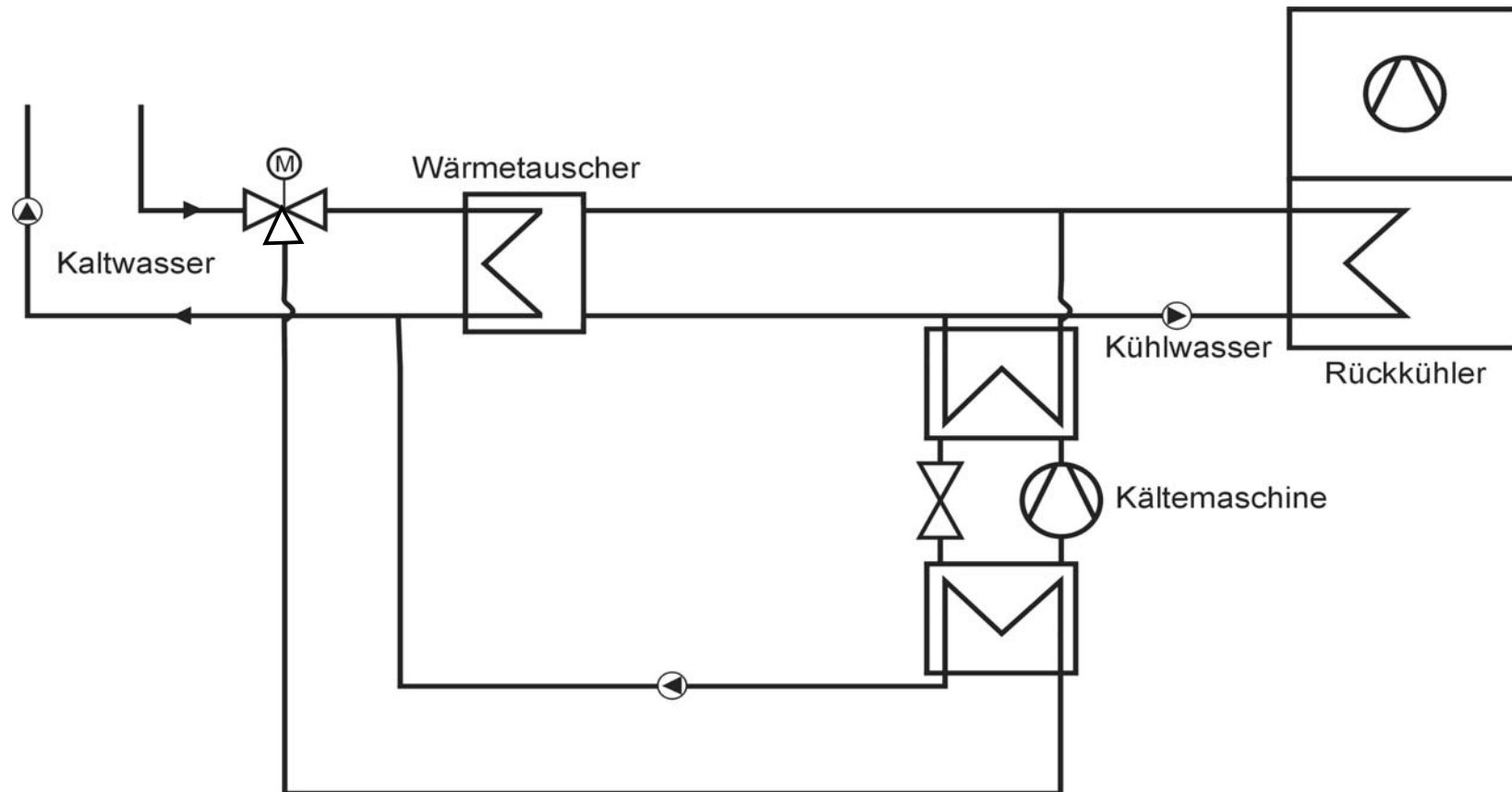
Bei Kühllasten im Winterhalbjahr z.B.

- EDV-Räume
- Fernmeldeanlagen
- Sender
- medizinische Geräte
- Kunststoff-Verarbeitungsmaschinen
- Walzen und Pressen
- Papiermaschinen

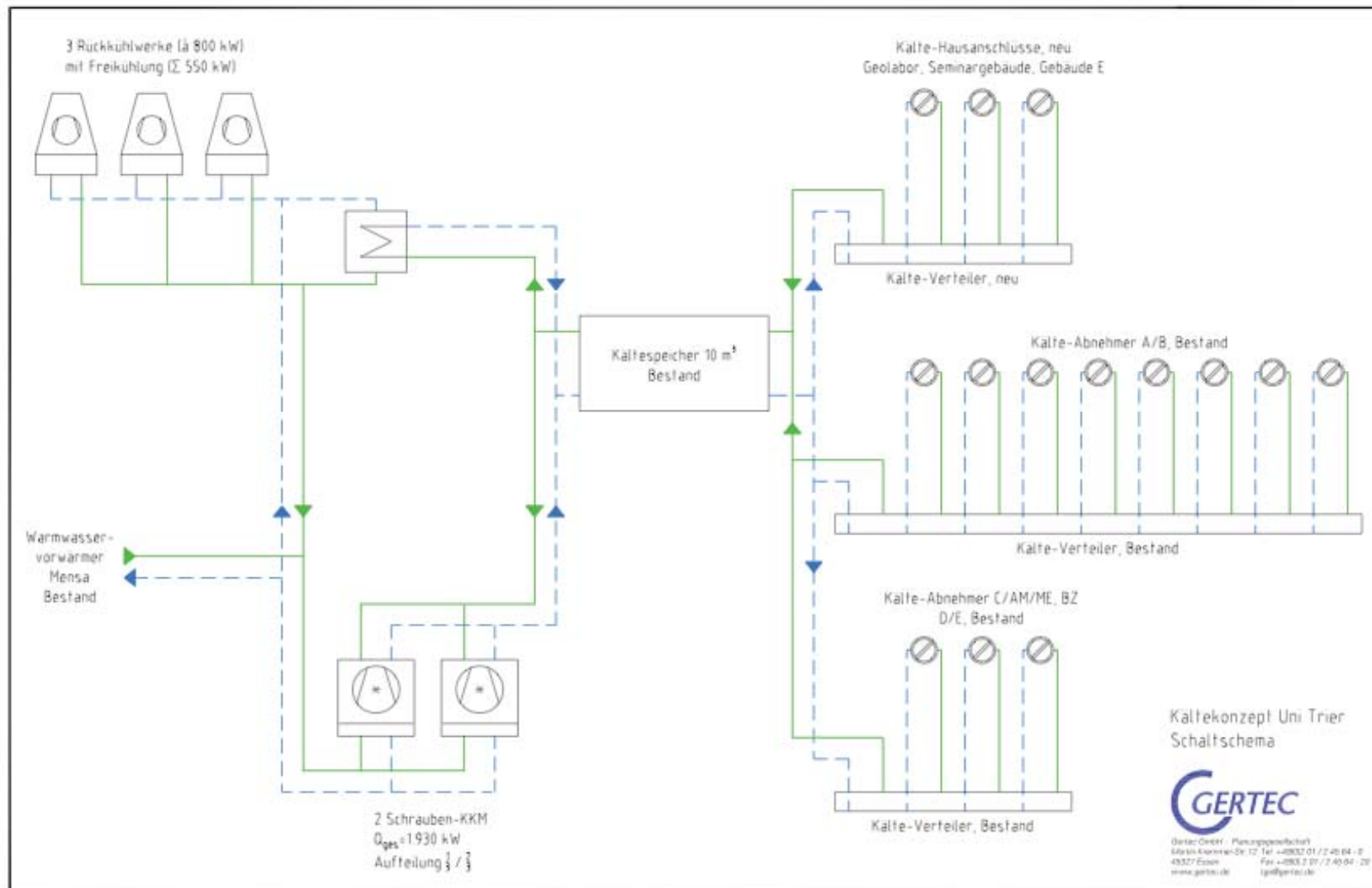
bietet sich die Kühlung mit Außenluft an, wenn die Außenluft niedriger ist als die Temperatur des Kühlmediums.

Anwendungsbereich: Kälteanlagen mit Trockenkühlung

Freie Kühlung über Wärmetauscher



Kältekonzept Uni Trier

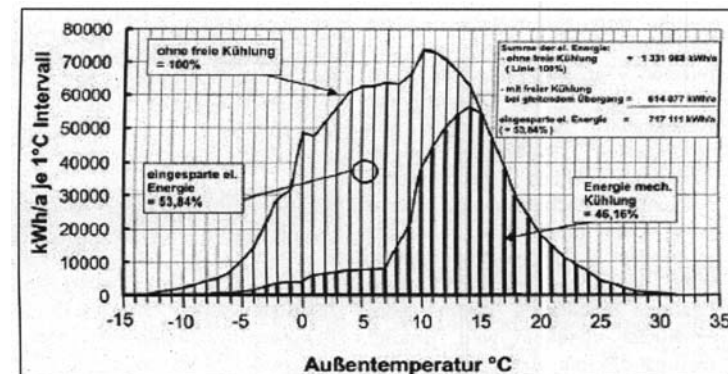


Freie Kühlung Einspareffekte

Beispiel: Anlage mit

- 2 Hubkolbenkältemaschinen à 480 kW_{Kälte}
- 2 Rückkühlwerken à 630 kW_{Rückkühlleistung}
- Kälteanforderung im Winterhalbjahr
- 18,0 / 14°C bei 100 % Last
- 16,4 / 14°C bei 60 % Last
- Systemmehrkosten ca. 80.000 €
- jährliche Stromeinsparung ca. 720 MWh
- jährliche Energiekosteneinsparung ca. 50.000 €

➔ **Kapitalrückflußzeit ca. 1,5 ... 2 Jahre**

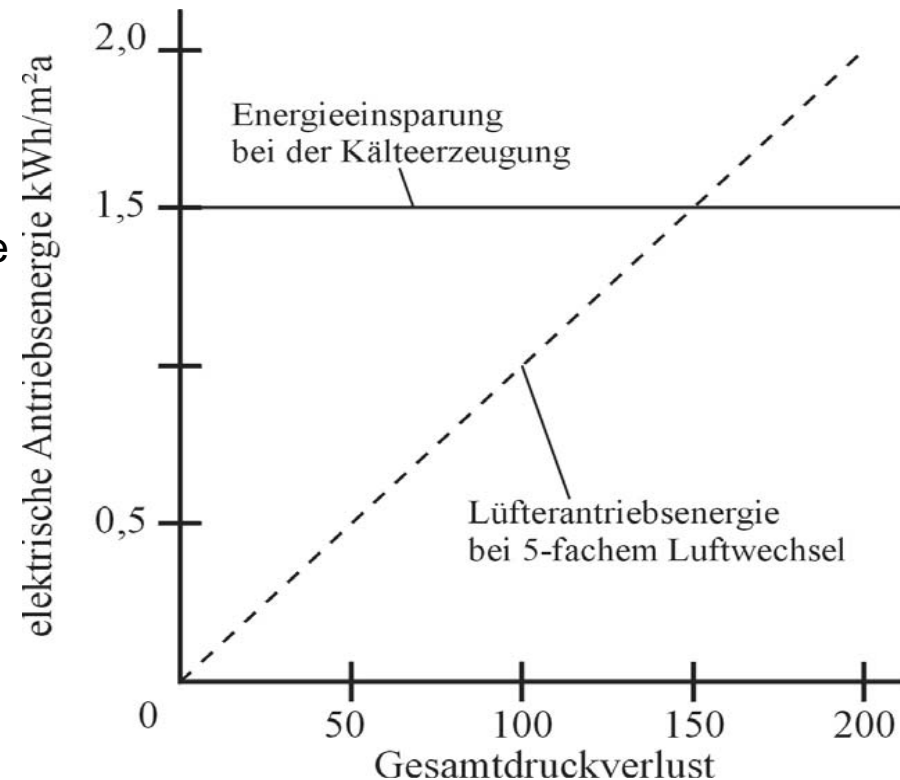


Nachtlüftung

- Betrieb der Lüftungsanlagen zur Nachtzeit
z.B. 22 – 8 h mit einem 5-fachen
Luftwechsel
- erzielbare Energieeinsparung abhängig von
 - der thermischen Speicherfähigkeit des Gebäudes (eine hohe Speicherfähigkeit ermöglicht die Absenkung der Kühllastspitze und ggf. der Antriebsenergien für die Klimatisierung)
 - dem Gesamtdruckverlust der Lüftungsanlage

Beispiel:

Bürogebäude mittleren
Baustandardsklasse



Optimierung der Rückkühlwerke

- nach Möglichkeit geschlossene oder offene Wasserrückkühlwerke einsetzen (Luftrückkühlwerke erfordern bei gleicher Kälteleistung größere Verdichter und damit mehr Antriebsenergie)
- bei Wasserrückkühlwerken: Einsatz von Axial- anstelle von Radialventilatoren
spezifische Antriebsleistungen
Radialventilatoren: 10 – 20W pro kW_{Verflüssiger}
Axialventilatoren: 6 – 10 W pro kW_{Verflüssiger}
- Regelung der Ventilator Drehzahl bzw. der Ventilatorengruppen (bei Trockenkühlern) in Abhängigkeit der Wasseraustritts- bzw. Feuchtkugeltemperatur

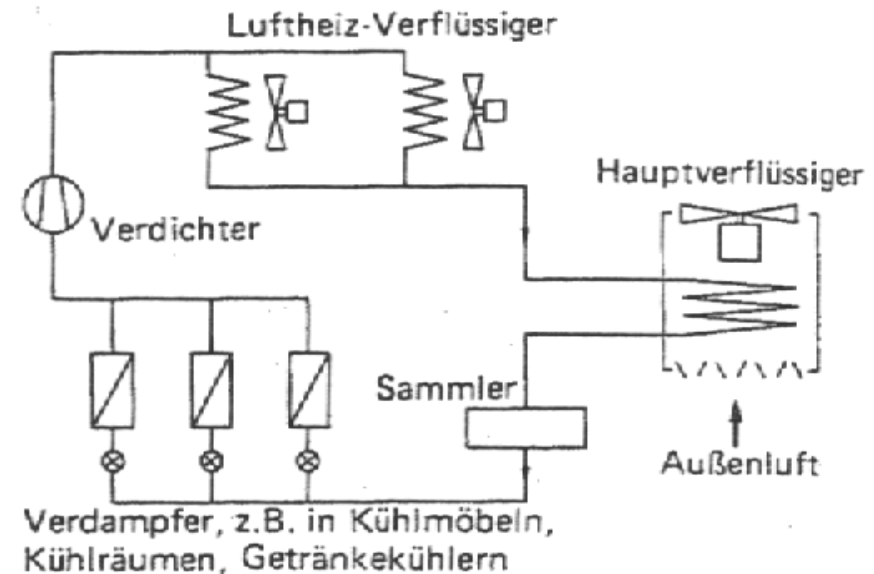
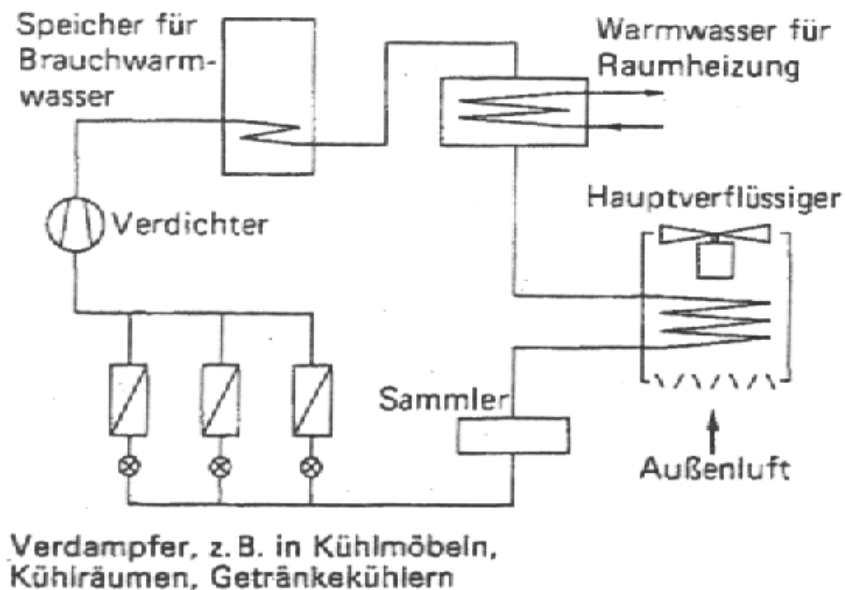
Die Kältemaschine als Wärmequelle

Abwärmenutzung

- Die Abwärme der Kältemaschine kann direkt zu Heizaufgaben genutzt werden.
- Bei den üblichen Verflüssigertemperaturen (z.B. 45°C) ist die Einbindung in Niedertemperaturheizläufe oder in die Warmwasserbereitung möglich.
- Für die Einbindung in Kreisläufe mit höherer Temperatur ist die Anhebung der Verflüssigertemperatur erforderlich. Die Anhebung ist durch die max. Verflüssigertemperatur des Kältemittels (R134a: 79°C, R22: 63°C) begrenzt. Die Leistungszahl der Kältemaschine wird reduziert. Die Wirtschaftlichkeit hängt in diesem Fall von erforderlichen Zusatzinvestitionen, vom Energieaufwand zur Abwärmenutzung und den Energiepreisen am Standort ab.

Abwärmenutzung bei luftgekühlten Verflüssigern

direkt mit zusätzlichen,
wassergekühlten Verflüssigern



mit zusätzlichen luftgekühlten
Verflüssigern

Energieaufwand und Abwärmekosten

$$P_H = (P_R - P) / Q_C = (P_R - P) / (Q_O + a \cdot P_R)$$

mit $P = Q_O / \beta_K$ Energieaufwand reiner Kühlbetrieb

und $P_R = Q_O / \beta_{KR}$ Energieaufwand Abwärmenutzung

Beispiel: $t_O = 0^\circ\text{C}$

$$t_{C \text{ Kühlbetrieb}} = 45^\circ\text{C} \Rightarrow \beta_K = 3,1$$

$$t_{C \text{ Abwärmenutzung}} = 65^\circ\text{C} \Rightarrow \beta_{KR} = 2,0$$

$$\Rightarrow P = 0,323 \text{ kWh/kWh}_{(\text{Kälte})}$$

$$\Rightarrow P_R = 0,500 \text{ kWh/kWh}_{(\text{Kälte})}$$

$$\Rightarrow \text{bei Verlustfaktor } a = 0,9 \quad P_H = 0,122 \text{ kWh/kWh}_{(\text{Abwärme})}$$

$$\Rightarrow \text{bei Strompreis von } 8 \text{ ct/kWh}$$

$$\Rightarrow \underline{\text{Abwärmekosten} \approx 1 \text{ ct/kWh}}$$

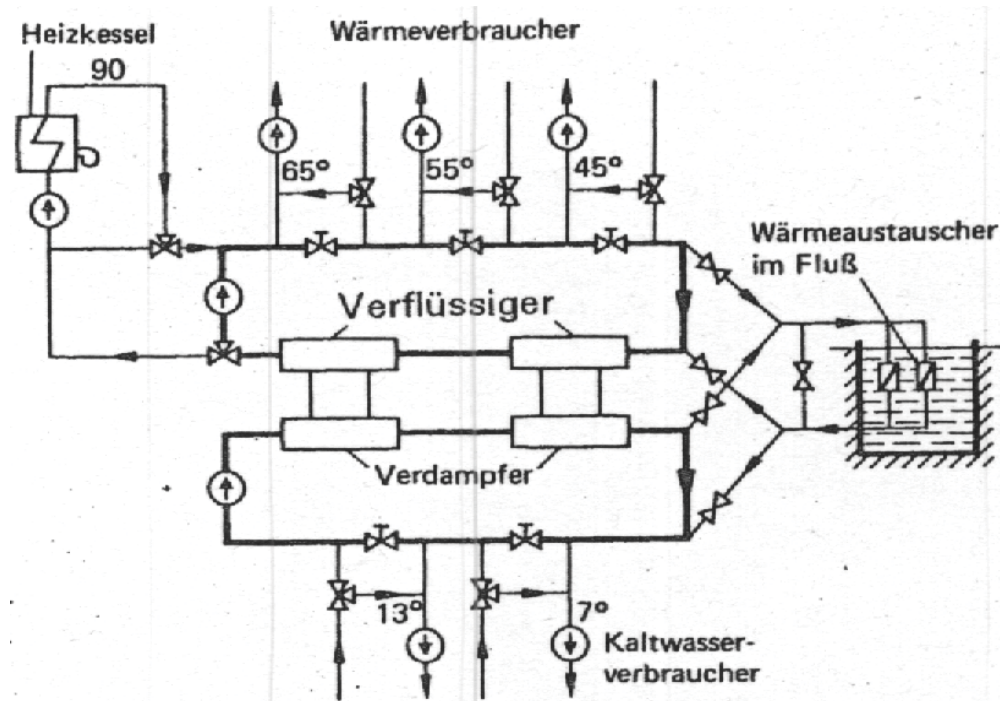
Kältemaschine als Wärmepumpe

Die Kältemaschine kann auch als Wärmepumpe betrieben werden und somit auch außerhalb der Kühlperiode zu Heizzwecken genutzt werden

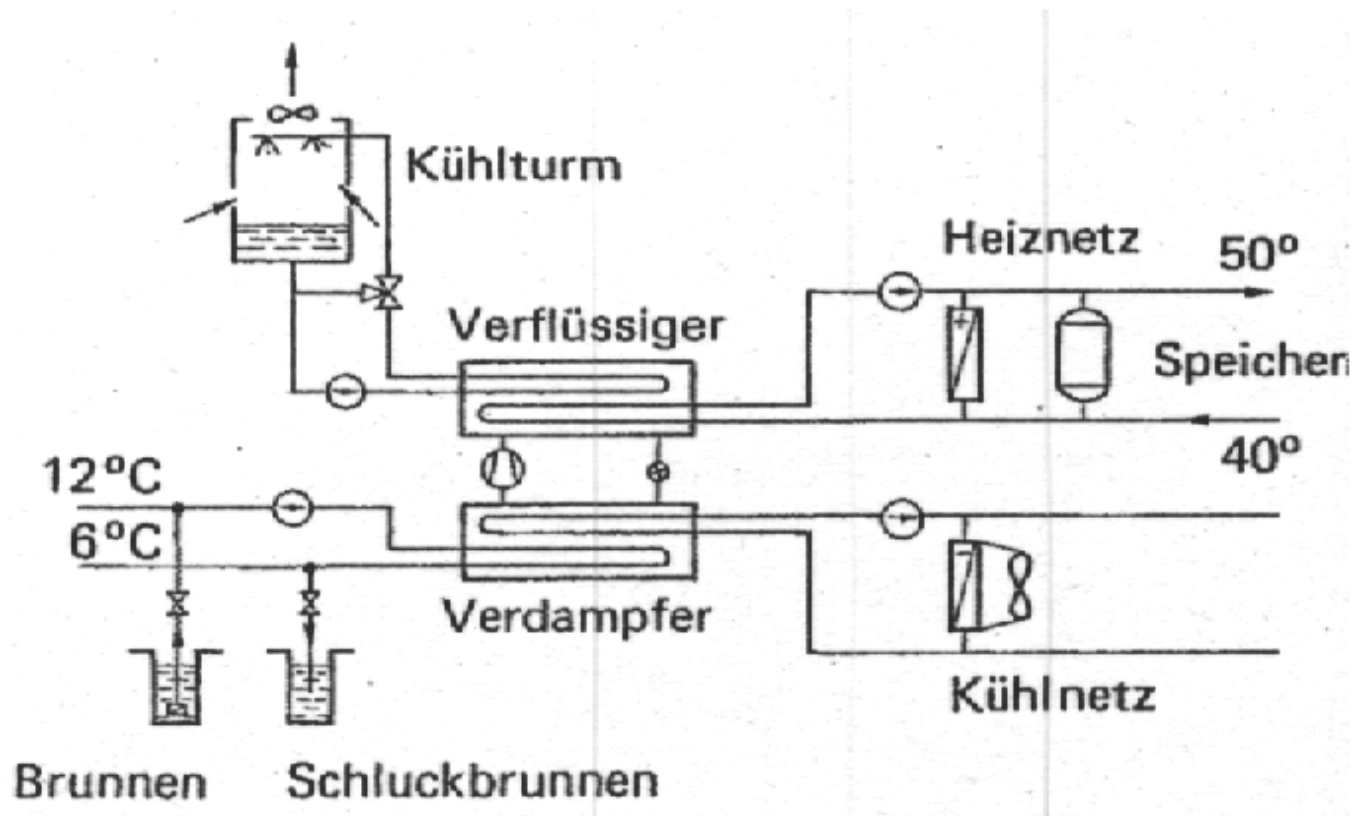
Voraussetzung: Die Nutzung einer zusätzlichen Wärmequelle in der Heizperiode

Beispiel:

Flußwasser als
Wärmesenke und -quelle



Kältemaschine als Wärmepumpe mit Grundwasser als Wärmequelle

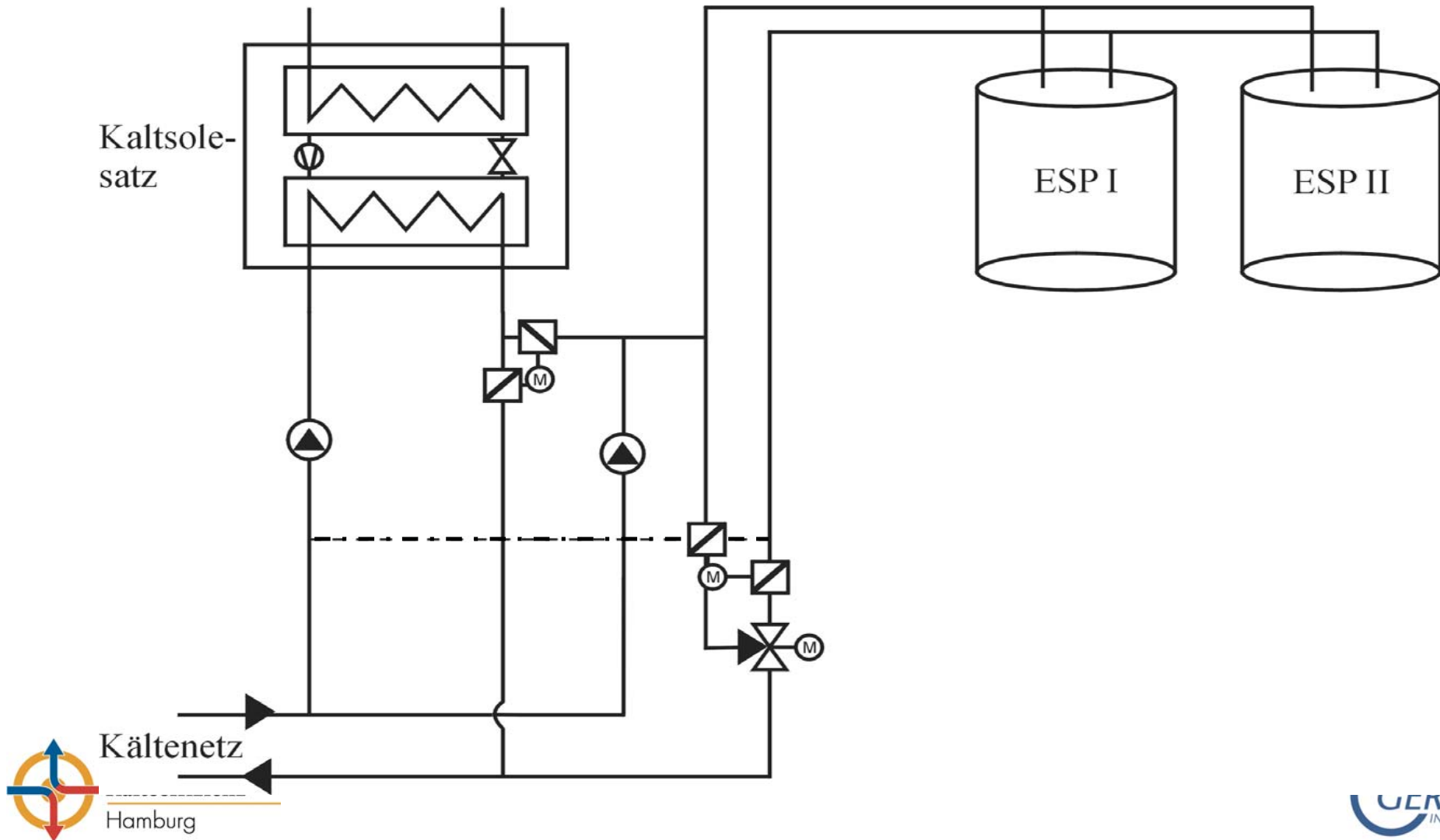


Eisspeicher

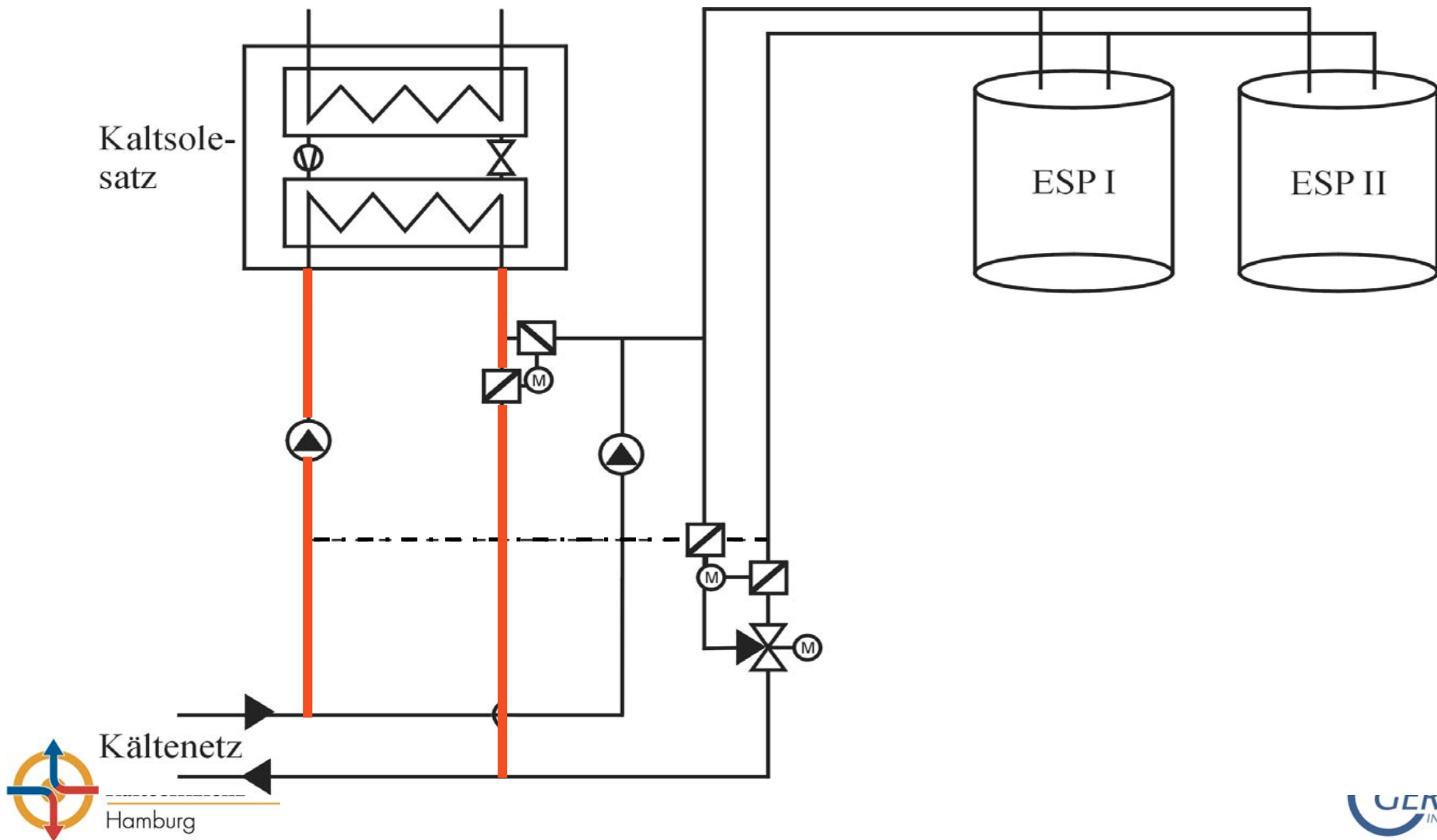
Eisspeicher sparen keine Energie, können aber die Kälteerzeugung zeitlich von der Kältenutzung trennen und ermöglichen somit

- die Reduzierung der Spitzenstromkosten
- die Erhöhung der Kälteerzeugungskapazität
- Notkälteversorgung

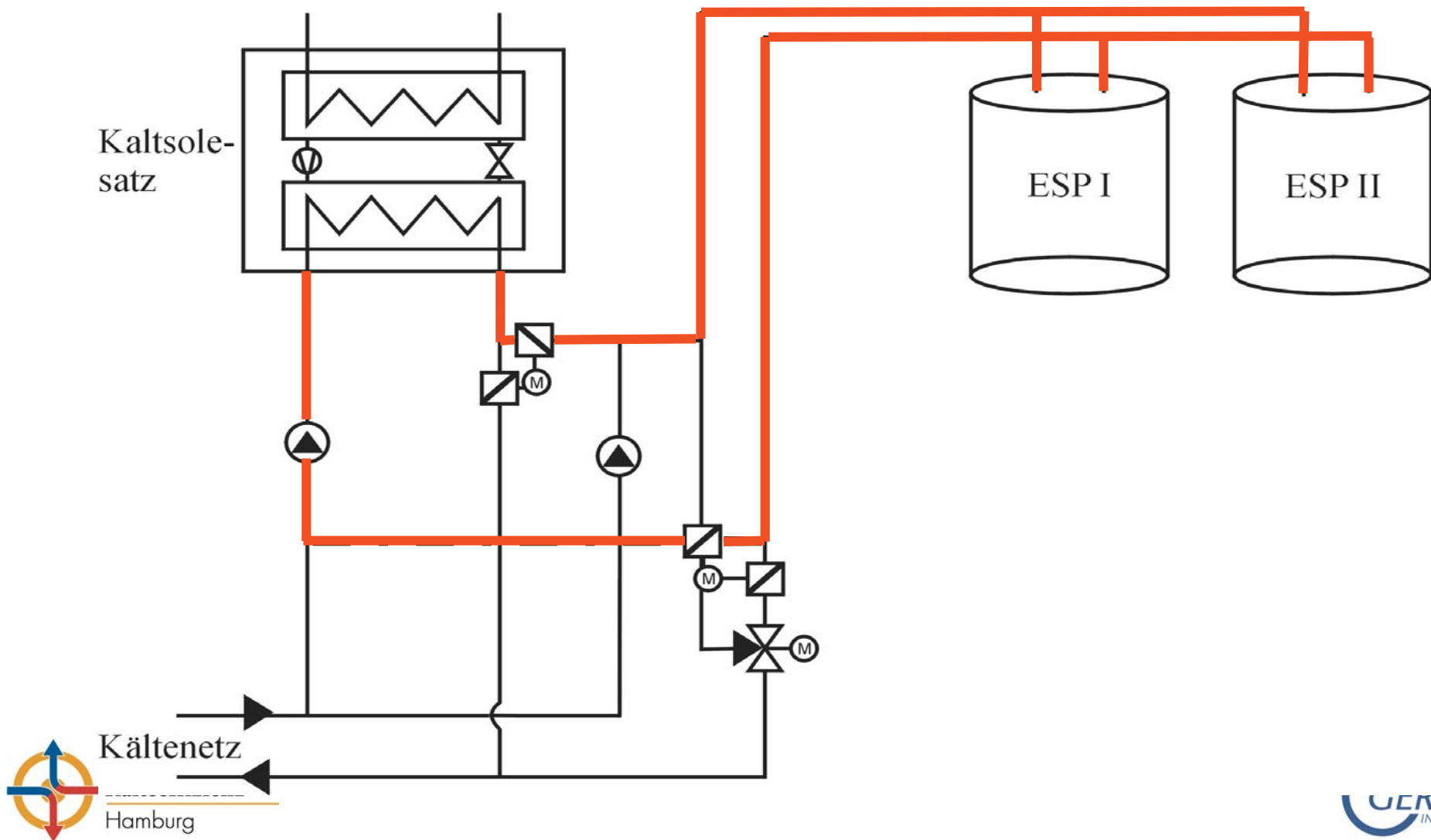
Eisspeicher Schaltschema



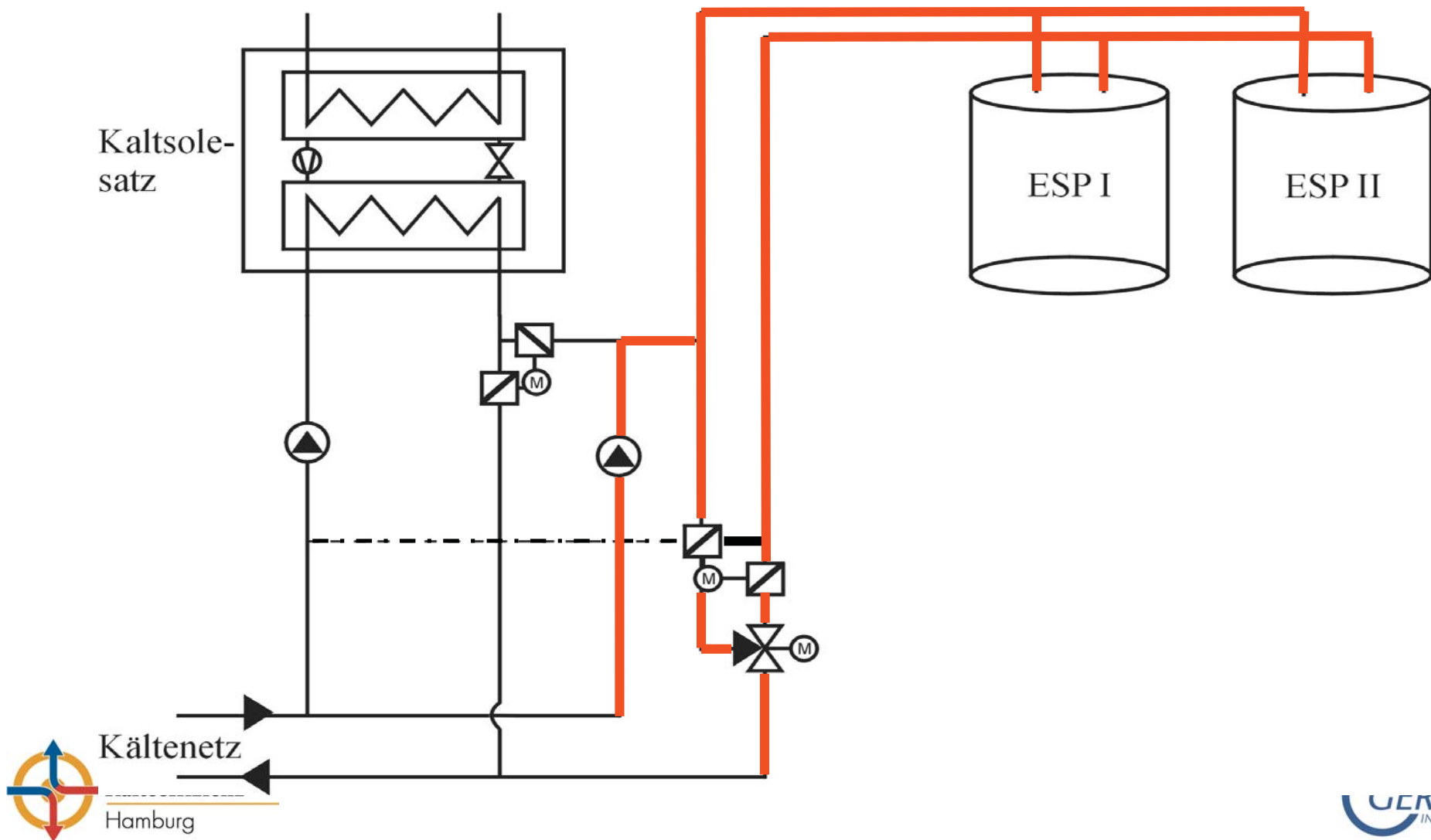
Versorgung nur aus Kältemaschine



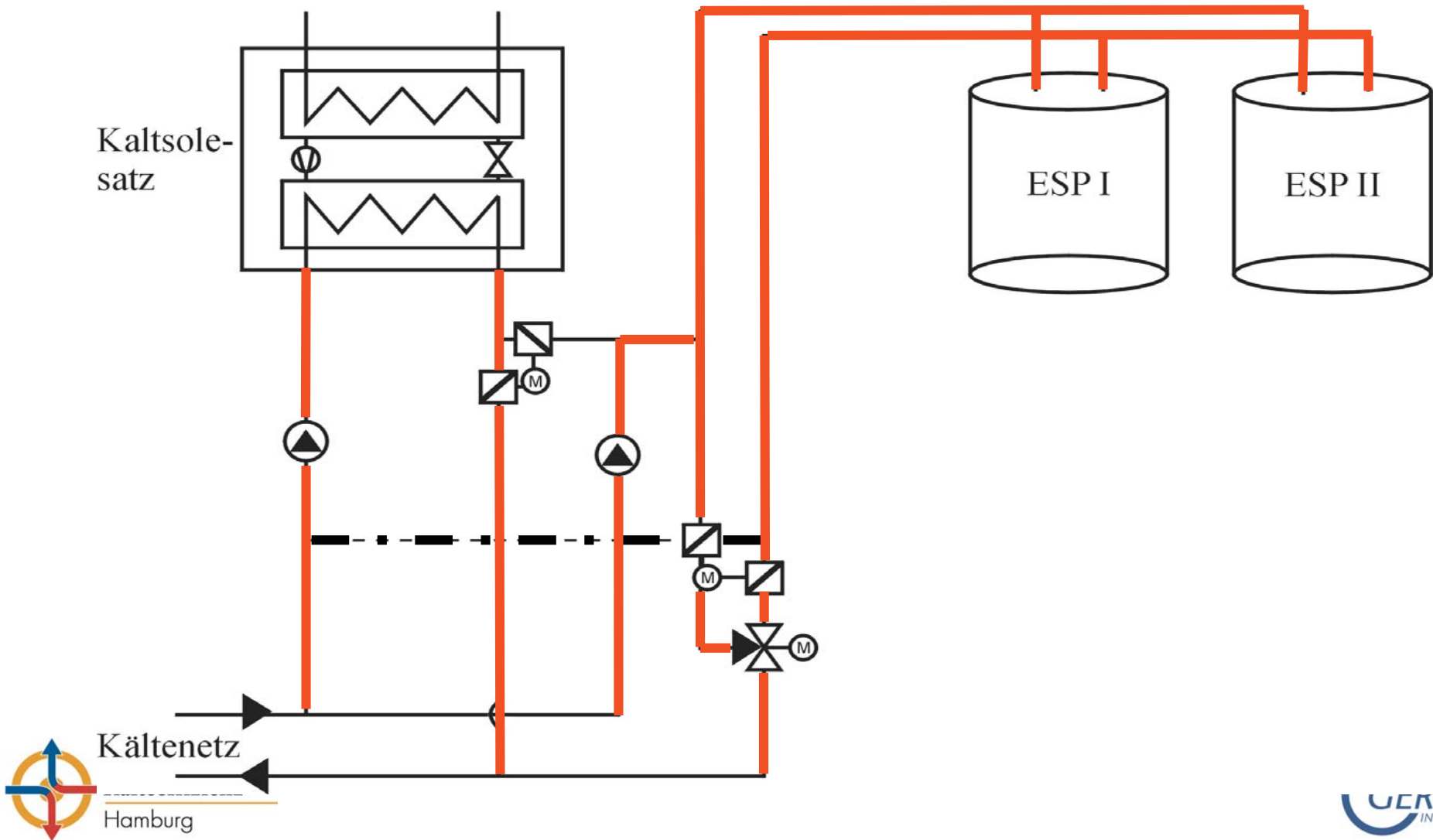
Ladung Eisspeicher



Nur Eisspeicherbetrieb



KM- und Eisspeicherbetrieb Spitzenlast

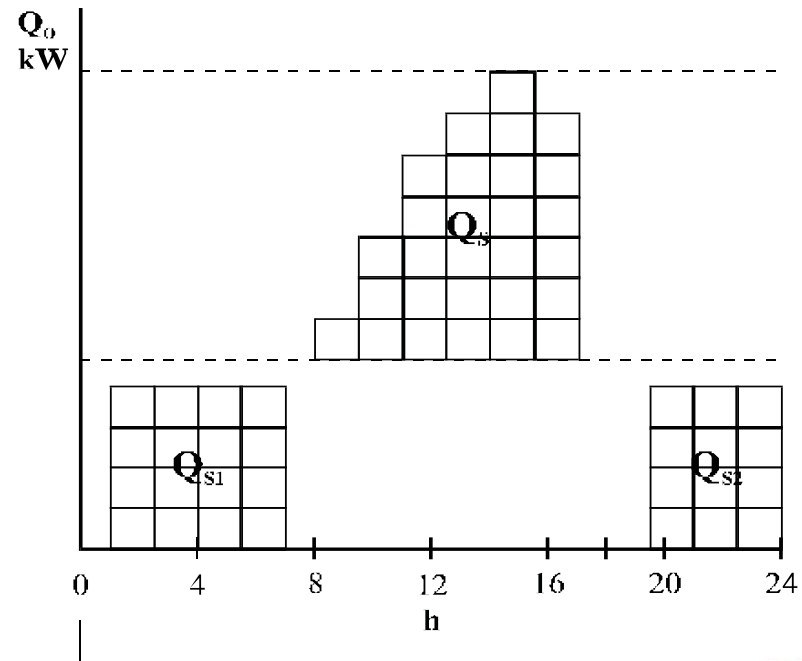


Eisspeicher Bauformen



Eisspeicher Dimensionierung

- Speichergröße = $Q_S = Q_{S1} + Q_{S2}$ (kWh)
- Speicherdichte von Eis $q = 84,4 \text{ kWh/m}^3$
- wg. Platzbedarf Kühlerrohre $q_{\text{tats}} = 40 \dots 60 \text{ kWh/m}^3$
- Speichervolumen = $V_S = Q_S / q_{\text{tats}}$



Eisspeicher Kosten

Investitionen:

ca. 45 ... 50 €/kWh

(incl. Peripherie: Platten WT, Regelung, etc.)

Einsparungen:

ggf. Ersatz einer Kältemaschine oder Reduzierung der Strombezugskosten

Beispiel:

Eisspeicherleistung $Q_s = 400 \text{ kW}$

maximale Ladedauer 9 h/a

=> Speicherkapazität $Q_s = 3.600 \text{ kWh}$ => $V \approx 70 \text{ m}^3$

Mehrinvest. Eisspeicher = Invest. Eisspeicher – Invest. Kältemaschine
bei 400 kW = $3.600 \text{ kWh} * 50 \text{ €/kWh} - 400 \text{ kW} * 200 \text{ €/kW}$
= 100.000 €

Eisspeicher Einsparung

Stromkosteneinsparung

Einsparung durch Betriebsverlagerung von der Hochtarif zur Niedertarifzeit

$$= (k_{HT} - k_{NT}) * \dot{Q}_0 / \beta * t_{B_{HT}} / \eta_{ESP} / 100$$

mit k_{HT} = Hochtarifstrompreis (8 ct/kWh)
 k_{NT} = Niedertarifstrompreis (6 ct/kWh)
 $\dot{Q}_0$ = Kälteleistung (400 kW)
 β = Arbeitszahl der Kältemaschine (3,6)
 $t_{B_{HT}}$ = Hochtarifleistungsdauer (500 h/a)
 η_{ESP} = Nutzungsgrad Eisspeicher (0,8)

≈ 1.400 €/a

Einsparung durch Spitzenlastreduzierung

$$= k_{LP} * \dot{Q}_0 / \beta$$

mit k_{LP} = Leistungspreis (60 €/kW)
= 6.700 €/a

Gesamteinsparung

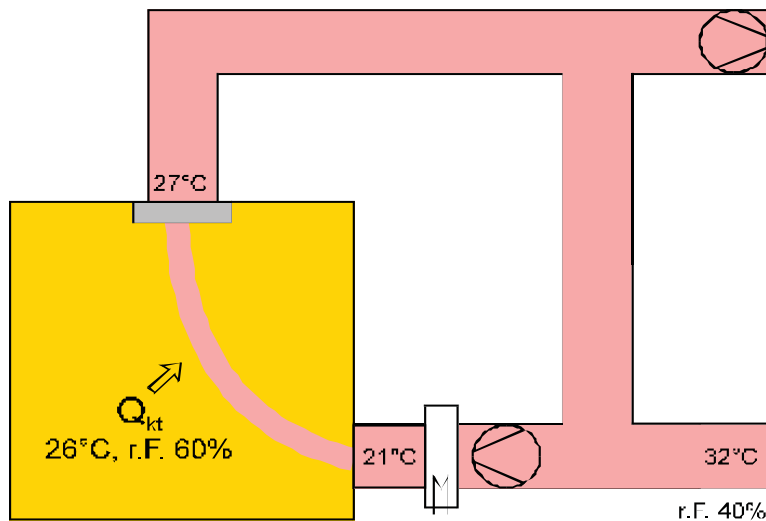
= 8.100 €/a

aber

=> Kapitalrückflußzeit ≈ 12 a

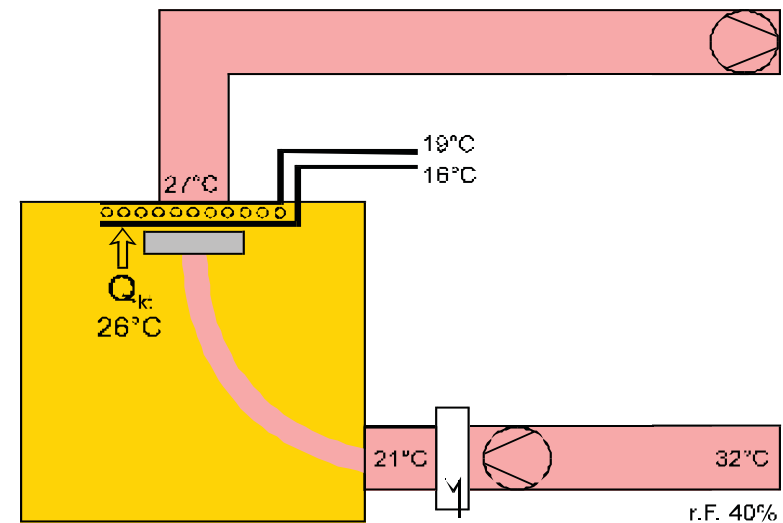
Optimierungsoptionen beim Neubau

Kühldecken und Betonkernaktivierung



Normalfall:

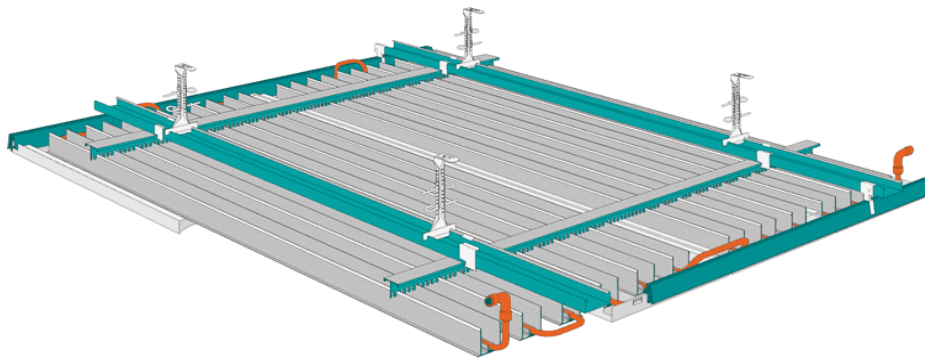
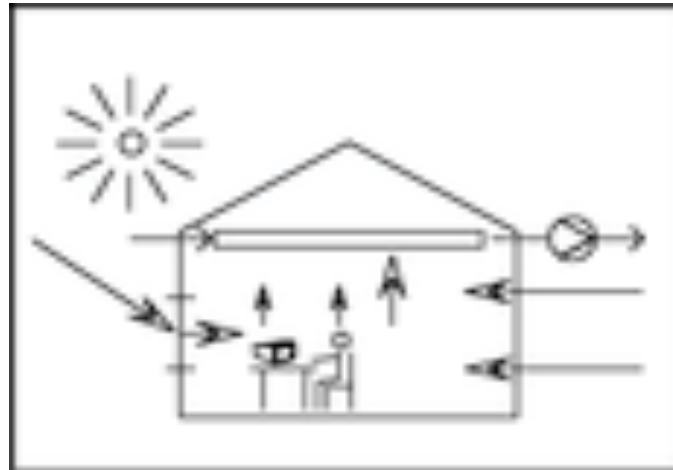
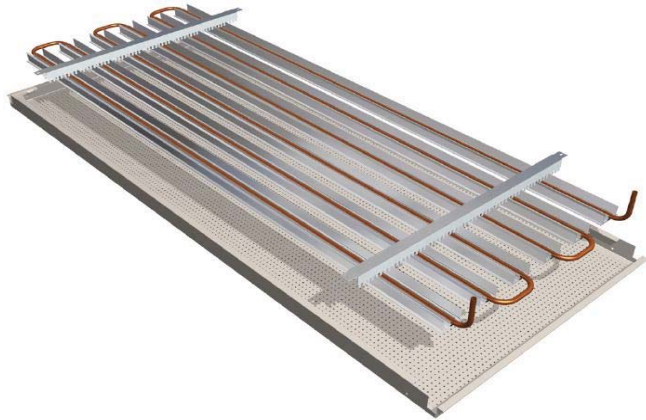
- Kühlung über erhöhten Raumlufthwechsel



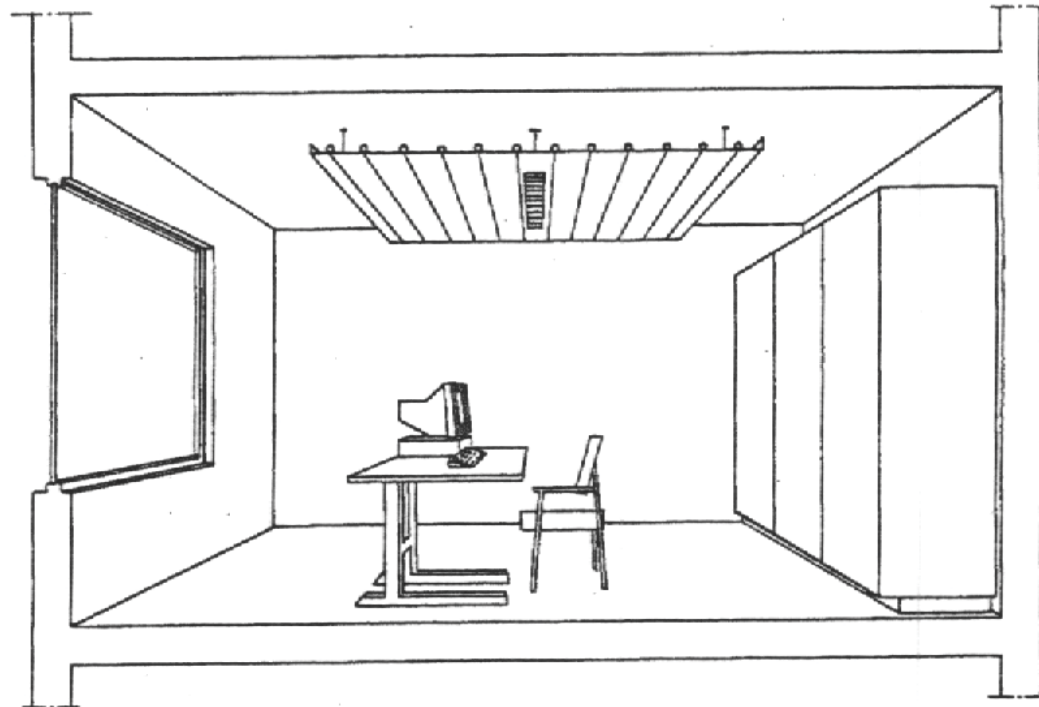
Kühldecken / Betonkernaktivierung:

- Kühlung über Wasserrohrsystem in Kühldecke, Kühlsegel, Betondecke
- Luftkühlung nur für den erforderlichen Frischluftbedarf

Kühldecken

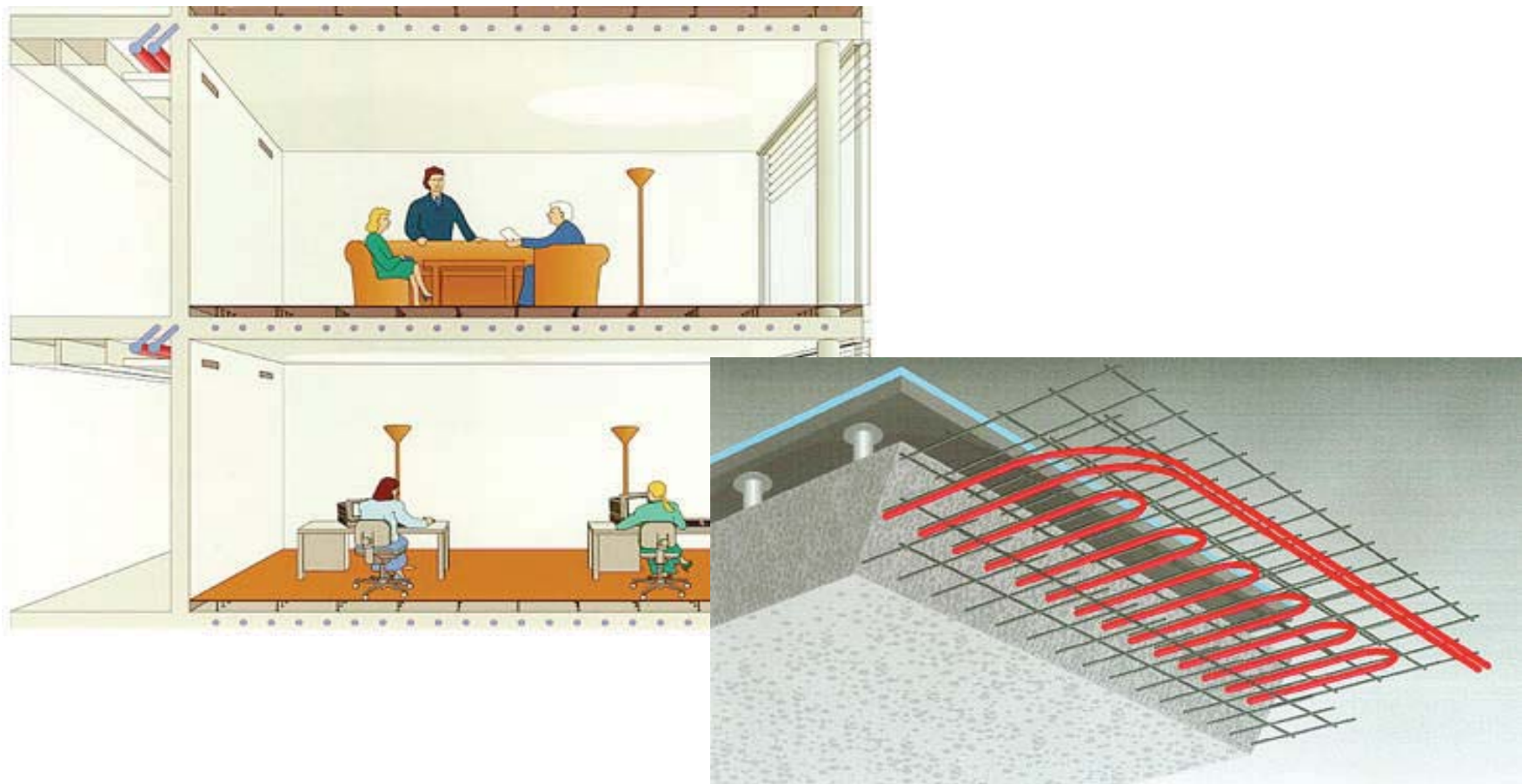


Kühlsegel



- nur zur Versorgung bestimmter Bereiche
- offene oder geschlossene Bauweise möglich
- in der Regel von der Decke abgedelt und allseitig luftumspült

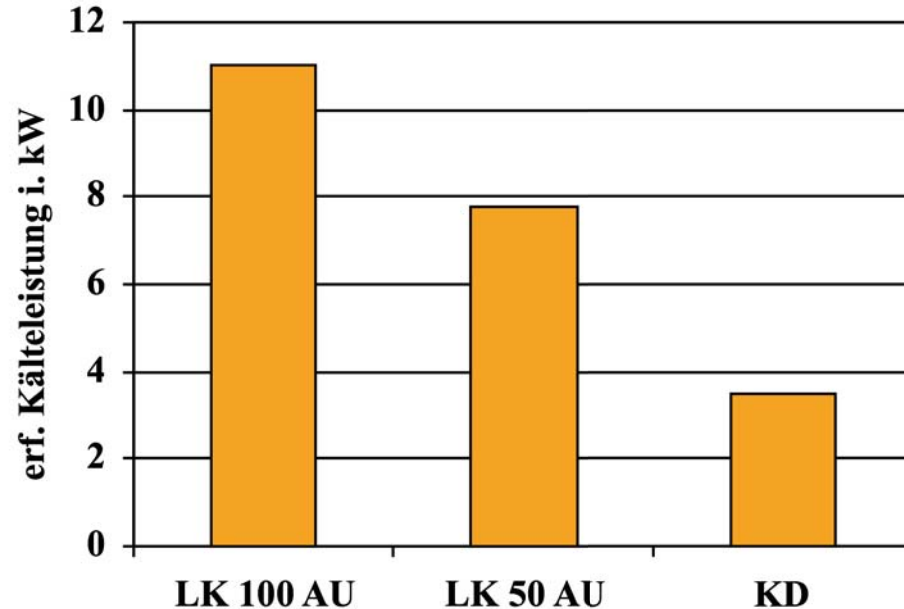
Betonkernaktivierung



Systemvergleich Kühldecke : Luftkühlung

Beispiel:

Bürraum: 32 m²
Belegung: 3 Pers.
Frischluftbedarf: 180 m³/h
Kühllast: 2.500 W
T_{Außenluft}: 32° C
r.F.Außenluft: 40 %
T_{Zuluft}: 21° C
r.F.Zuluft: 67 %
T_{Raumluft}: 26° C
r.F.Raumluft: 50 %



ohne Berücksichtigung

- der KM-Leistungszahlen (höhere Verdampfertemperaturen bei der Kühldecke)
- der Ventilator Kühllasten
- der Ventilator- und Pumpenleistungen
- der Nacherhitzerleistungen

Erdwärmetauscher (EWT)

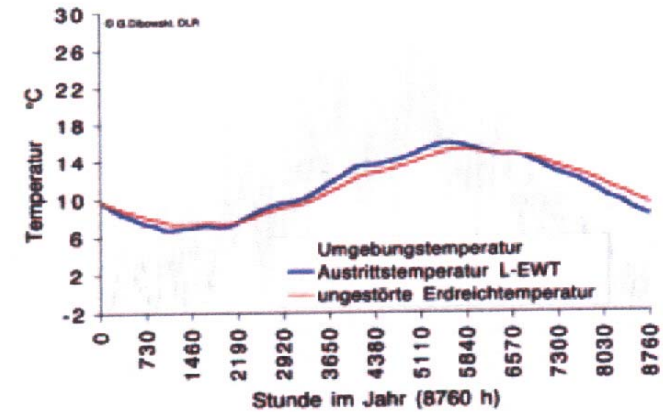
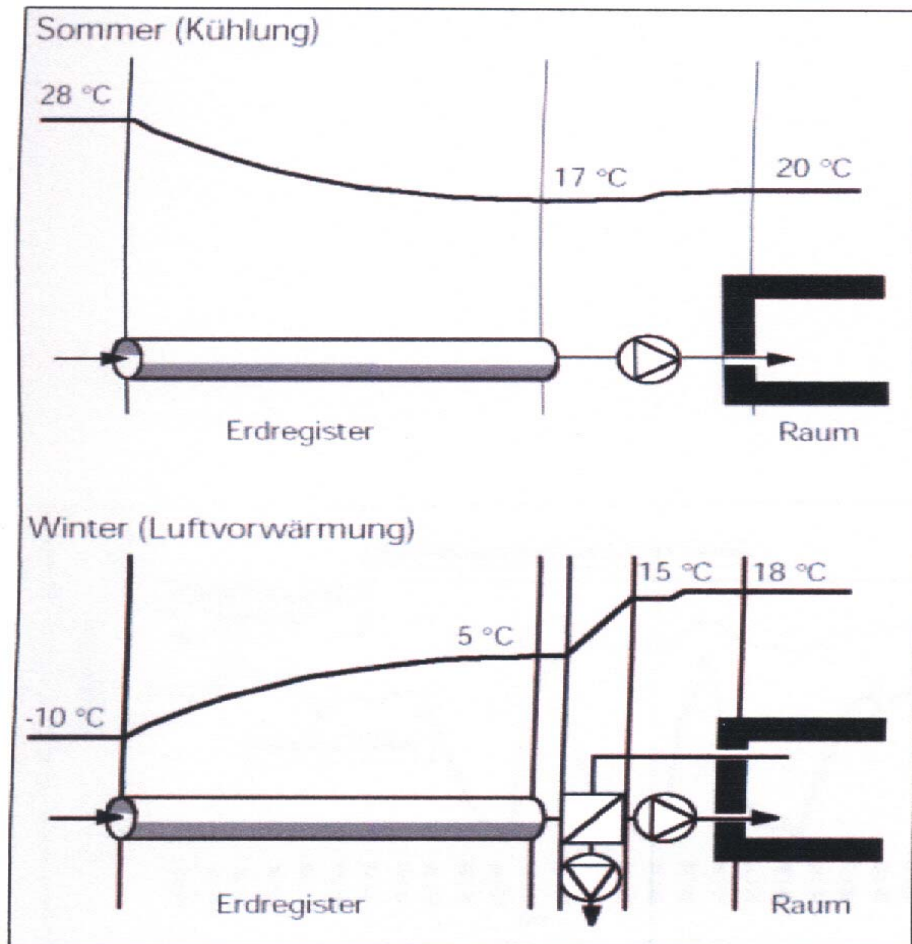
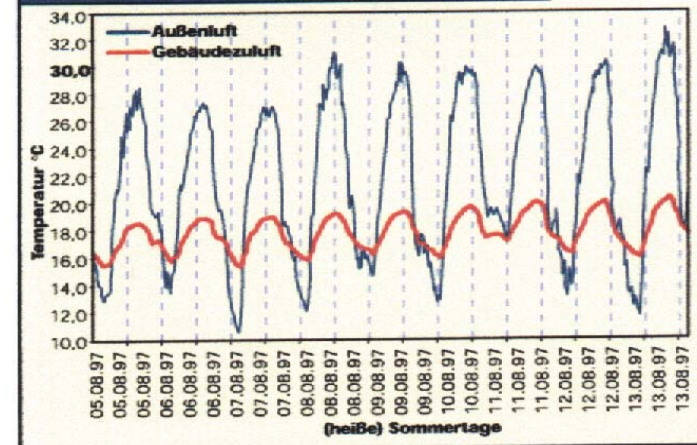


Abb 7 Luft-/Erdwärmetauscher im Sommerbetrieb (Quelle: DLR, Köln)



Planungsgrundlagen EWT

Kälteleistung abhängig von

- ➡ Verlegeart (Einzelrohr, Parallelrohr, Register)
- ➡ Verlegetiefe (1,50 ... 6,0 m)
- ➡ Bodenbeschaffenheit (leichte Erde, körnig, schwere Erde, bindig)
- ➡ Erdfeuchte (trocken, feucht, durchnässt)
- ➡ Rohrdurchmesser (D100 ... DN1700 (begehrbar))
- ➡ Rohrmaterial (PVC, PE, Beton ...)
- ➡ Rohrabstand (bei Registern möglichst groß)
- ➡ Luftgeschwindigkeit (möglichst gering)

Ziel: Anpassung der Luftaustrittstemperatur an die Bodentemperatur

EWT : besondere Aspekte

EWT-Effizienz abhängig vom Rohrdurchmesser

- kleinere Rohre (DN150 ... 450) besseres A/V-Verhältnis
 - ➔ besserer Nutzungsgrad, aber längere Strecken erforderlich
- größere Rohre 0,8 – 4,0 m² Durchmesser, begehbar
 - ➔ geringere Druckverluste, niedrigere Ventilatorleistungen, gut zu reinigen

Luftansaugung über Luftbrunnen

- 0,8 – 2,0 m über dem Erdboden
- von der Hauptwindrichtung abgewandt

Übergangszeiten oder bestimmte Tageszeiten machen die Abschaltung des EWT erforderlich, um eine unnötige Auskühlung und Nachheizung zu vermeiden

- d.h. für diese Zeiten Bypass vorsehen oder
- Frischluftzuführung über Fensterlüftung

Abfluß von Kondenswasser durch Rohrgefälle $\geq 2 \%$ sicherstellen

Eintritt von Sickerwasser durch absolut dichte Rohrverbindungen verhindern

Zulufthygiene durch Feinstfilter und ihre regelmäßige Reinigung gewährleisten

EWT - Auslegung und -kosten

Auslegung:

- i.d.R. nach der gewünschten Vorwärmung im Winter (z.B. Frostschutz)
- Ziel: Zulufttemperatur $t_{zu} \geq 2^\circ\text{C}$ bei Außenlufttemperatur von z.B. $t_{Au} = -12^\circ\text{C}$
- Dimensionierung: $A = \dot{Q}_L / k * (t_{Erd} - t_{mL})$

Investitionen

- Erdaushub (10 ... 50 €/m)
= f (Rohrinnenweite, Verlegetiefe)
- + Rohrleitung (10 ... 130 €/m)
= f (Rohrdurchmesser, Material)
- + Filter
= f (Volumenstrom, Hygieneanford.)
- + Ventilator
= f (Luftvolumenstrom, Pressung)

Betriebskosten

- Wartung
(insbesondere für EWT- und Filterreinigung)
- + Stromverbrauchskosten für den Ventilatorbetrieb

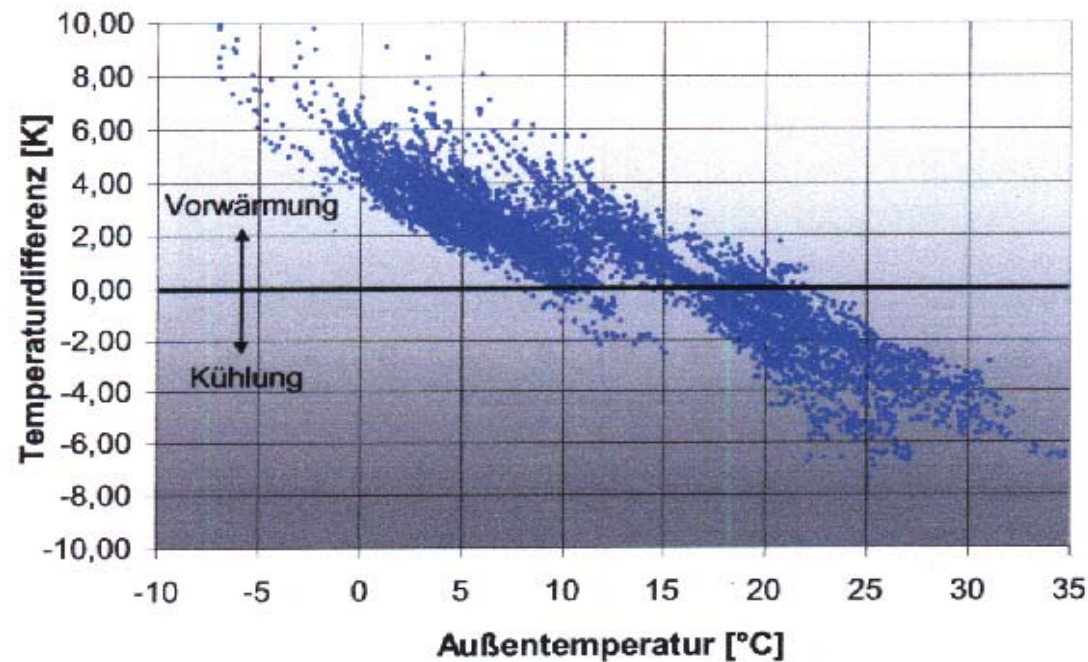
(Leistungszahl Q_{VW}/P_{el} bzw. Q_O/P_{el} zwischen 15 ... 30!)

EWT - Projekt: FH Rhein-Sieg

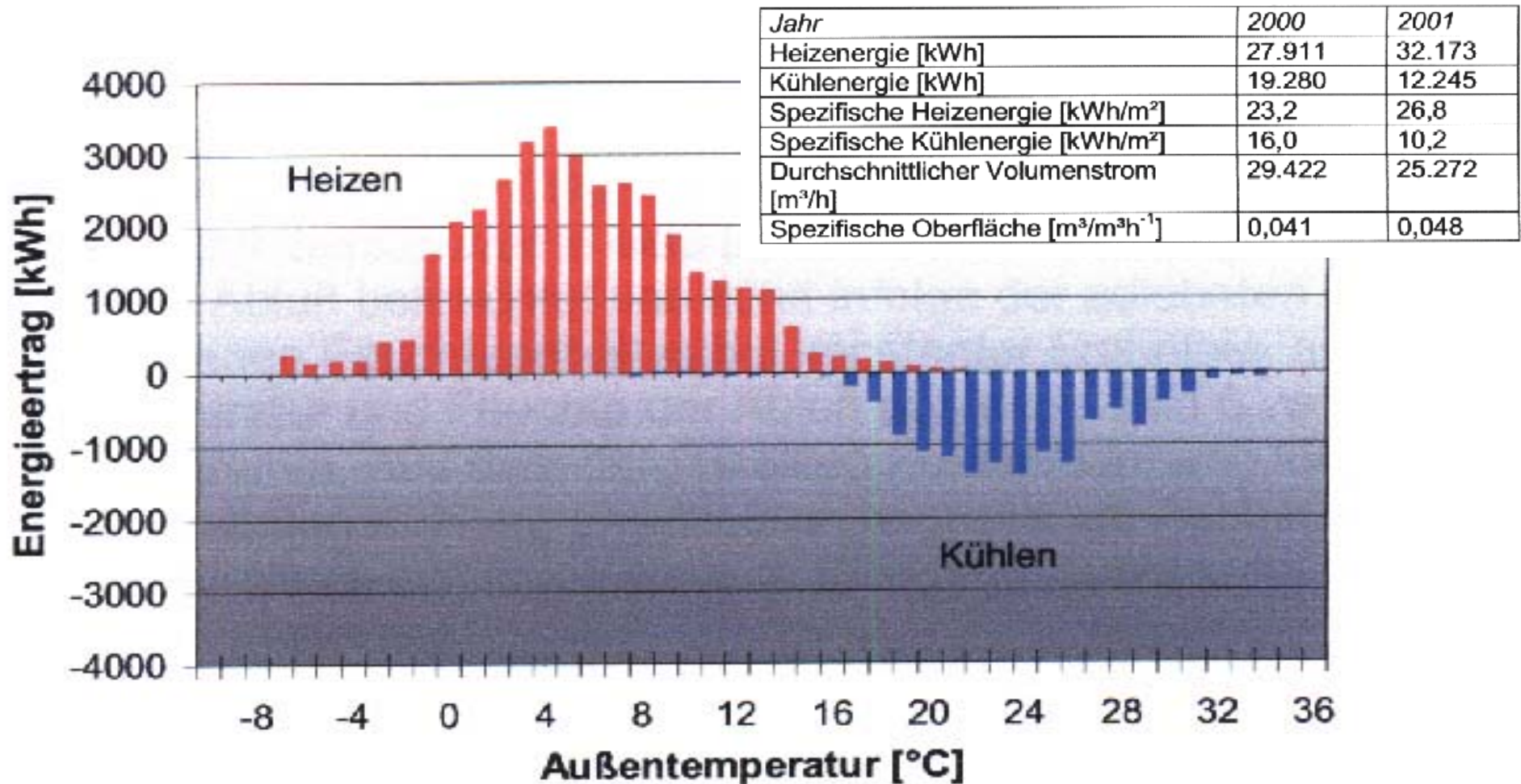
Auslegungsdaten

Anzahl der Röhren:	3	Verlegetiefe:	4 m unter Gebäude
Material:	Stahlbeton	Nennvolumenstrom:	86750 m ³ /h
Nennweite:	DN 1700	Wärmetauscherfläche:	1202 m ²
Länge:	je 75 m	Spezifische Oberfläche:	0,014 m ² /m ³ h ⁻¹

Erzielte Temperaturdifferenzen 2001



Energieertrag des Projekts



Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit

Effizienzvergleich

Effizienzkennzahlen I

Kompressionskältemaschine

Leistungszahl	$\varepsilon_K = \frac{\dot{Q}_0}{P_{Zu}}$	Arbeitszahl	$\beta_K = \frac{Q_0}{L_{Zu}}$
---------------	--	-------------	--------------------------------

Ab- bzw. Adsorptionskältemaschine

Wärmeverhältnis	$\zeta_K = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_H}$	aber auch	$= \frac{Q_0}{Q_H}$
-----------------	---	-----------	---------------------

COP (Coefficient of performance) $\longrightarrow \varepsilon_K$ bzw. ζ_K

$\dot{Q}_0$	Kälteleistung	L_{Zu}	jährl. elektr. Antriebsenergie
P_{Zu}	elektr. Antriebsleistung	$\dot{Q}_H$	therm. Antriebsleistung
Q_0	jährl. Kälteerzeugung	Q_H	jährl. therm. Antriebsenergie

Effizienzkennzahlen II

Primärenergienutzungszahl oder
Kältezahl

$$\zeta^{PE} = \frac{Q_0}{PE} = \beta_K \times \eta_{el.} \quad \text{bzw.} \quad = \zeta_K \times \eta_{th.}$$

PE Primärenergie

$\eta_{el.}$ Nutzungsgrad Stromerzeugung

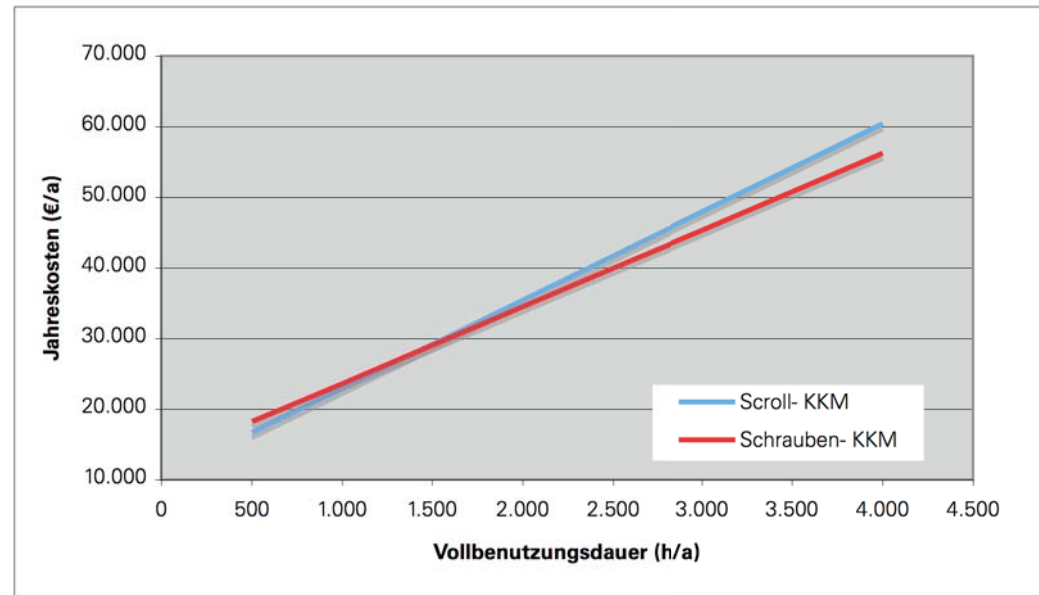
$\eta_{th.}$ Nutzungsgrad Wärmeerzeugung

Effizienzvergleich der Kältesysteme

Effizienzkennwert	Verfahren			
	Kompression	Absorption	Adsorption	DEC
Arbeitszahl	2,5...5,0	-	-	-
Wärmeverhältnis	-	0,7...1,3	0,45...0,65	0,6...0,9
Nutzungsgrad der Antriebsenergie- erzeugung	0,35	0,85	0,85	0,85
Kältezahl	0,88...1,75	0,6...1,10	0,38...0,55	0,51...0,76

Systemvergleich Kälte

System		Scroll-KKM	Schrauben-KKM
Kälteleistung	kW	500	500
Leistungszahl		4,0	4,6
el. Antriebsleistung	kW	125	109
Vollbenutzungsdauer	h/a	2.000	2.000
Kälteerzeugung	kWh/a	1.000.000	1.000.000
el. Antriebsenergie	kWh/a	250.000	217.391
Abwärme	kWh/a	1.250.000	1.217.391
Investitionen	€	90.000	110.000
Nutzungsdauer	a	15	15
Kalkulationszins	%/a	5	5
Kapitalkosten	€/a	8.671	10.598
Strompreis	€/kWh	0,10	0,10
Stromkosten	€/a	25.000	21.739
Wartungskosten	% d. Inv./a	2	2
Wartungskosten	€/a	1.800	2.200
Gesamtkosten	€/a	35.471	34.537
Kältekosten	ct/kWh	3,55	3,45
CO2-Produktion	kg/a	125.000	108.696
Abwärmennutzung	%	50	50
Wärmegutschrift	€/kWh	0,05	0,05
Wärmeerlös	€/a	31.250	30.435
CO2-Gutschrift d. AWN	kg/a	156.250	152.174
		31.250	43.478



Danke für die Aufmerksamkeit!!

