

„Kühlung mit Fernwärme“

Einsatzbereiche verschiedener Kältemaschinen

DI Ernst Meißner

12. Februar 2007



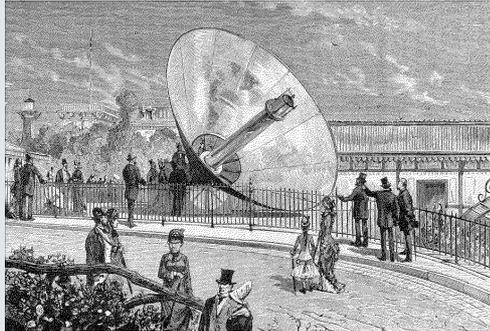
TBM Technisches Büro Meißner

ernst.meissner@utanet.at

Inhalt

- Kurzbeschreibung Sorptionskühlung
- Thermisch getriebene Kältemaschinen
- Kälteabgabesysteme/Gesamtsysteme
- Wirtschaftlichkeit
- Zusammenfassung

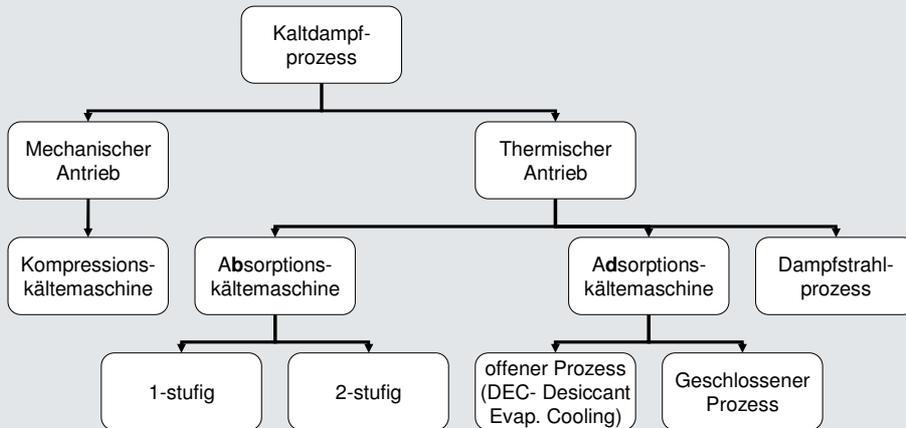
Kurzbeschreibung Sorptionskühlung



Weltaustellung 1878 in Paris

Mouchot produzierte am 29. Sept. den ersten Eisblock aus Sonnenenergie
(Leihgabe: Olythus-Verlag)

Einteilung der Kältemaschinen



NACHHALTIGwirtschaften

Vergleich mechanisch mit thermisch getriebenen Kältemaschinen

Kompressionskältemaschine

COP_{mittel} = 1 ... 3

Absorptionskältemaschine

COP_{mittel} = 0,6 ... 0,75 (1-stufig)

bm
FFG
5
ENERGIE SYSTEME der Zukunft

NACHHALTIGwirtschaften

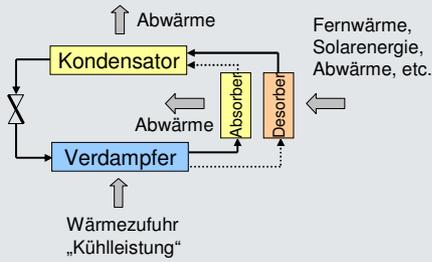
Thermisch getriebene Kältemaschinen

Verfahren	Geschlossener Kältemittelkreislauf		Offener Kältemittelkreislauf	
	flüssig	fest	flüssig	fest
Verfahrensprinzip	Kaltwassererzeugung		Luftentfeuchtung und Verdunstungskühlung	
Sorptionsmittel	flüssig	fest	flüssig	fest
Kälte-/Sorptionsmittel	Wasser/Wasser-Lithiumbromid Ammoniak/Wasser	Wasser/Silicagel Ammoniak/Salz	Wasser/Kalciunchlorid Wasser/Lithiumchlorid	Wasser/Silicagel Wasser/Lithiumchlorid-Zellulose
Marktverfügbare Technologie	Absorptions-Kältemaschine (1-stufig, 2-stufig)	Adsorptions-kältemaschine	-	DEC - Desiccant Evaporative Cooling
Marktverfügbar Leistung	35 kW - 5 MW (1-stufig) 250 kW - 5 MW (2-stufig)	70 kW - 1 MW	-	20 - 350 kW (pro Modul)
COP (Leistungszahl)	0,6 - 0,75 (1-stufig) 1,0 - 1,2 (2-stufig)	0,3 - 0,7	> 1	0,5 - >1
Typische Antriebstemperatur	75 - 110 °C (1-stufig) 140 - 180 °C (2-stufig)	60 - 90 °C	45 - 70 °C	45 - 90 °C

bm
FFG
6
ENERGIE SYSTEME der Zukunft

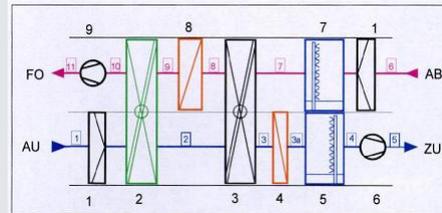
Thermisch getriebenen Kältemaschinen

Adsorptionskältemaschine



$$\text{COP}_{\text{mittel}} = 0,3 \dots 0,7$$

DEC-Anlage



Zuluftseite: 1 ... Luftfilter, 2 ... Sorptionsrad, 3 ... WRG (rotierender Rekuperator), 4 ... Nacherhitzer, 5 ... Verdunstungsbefeuchter Zuluft, 6 ... Zuluftventilator, AU ... Außenluft, ZU ... Zuluft
 Abluftseite: 7 ... Verdunstungsbefeuchter Abluft, 8 ... Lufterhitzer zur Trocknung des Sorptionsrades, 9 ... Abluftventilator, AB ... Abluft, FO ... Fortluft

$$\text{COP}_{\text{mittel}} = 0,5 - >1$$

Thermisch getriebene Kältemaschinen – Einsatzbereich Kühlung mit Fernwärme

Rahmenbedingungen

- Antriebstemperatur kleiner/gleich 70 °C (Sommer-Vorlauftemperatur im Großteil der österreichischen Fernwärmenetze)
- Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf sollte möglichst groß sein (niedrige Rücklauftemperaturen).

NACHHALTIGwirtschaften

Thermisch getriebene Kältemaschinen - Einsatzbereich Kühlung mit Fernwärme

Antriebswärme Q_G
(z.B.: 70/65 °C)

“Nutzkälte” Q_E
(z.B.: 16/12 °C)

Abwärme Q_C+Q_A
(z.B.: 24/28 °C)

Absorptionskältemaschine (1-stufig)

9

NACHHALTIGwirtschaften

Thermisch getriebene Kältemaschinen – Einsatzbereich Kühlung mit Fernwärme

Adsorptionsmaschinen und DEC-Anlagen (VL 70 °C):

- Grundsätzlich geeignet (ab Antriebstemperaturen > 60 °C)
- Anlagen derzeit erst ab ca. 50 – 70 kW lieferbar
- Hohe spezifische Anlagenkosten bei Kleinanlagen
- Adsorptionsmaschinen: Niedrigste erzielbare Kaltwasservorlauf-temperatur bei Antriebstemperatur 70 °C ca. 10 °C
- Kombination mit „Booster“-Solaranlage möglich (Erhöhung der Antriebstemperatur an heißen Tagen).

10



Thermisch getriebene Kältemaschinen – Einsatzbereich Kühlung mit Fernwärme

Absorptionsmaschinen (VL 70 °C):

- Nur einzelne Maschinen geeignet (erforderliche Antriebstemperaturen grundsätzlich über 70 bis 75 °C)
- Nur einstufige Maschinen möglich, d.h. COP bei 70 °C ist niedrig
- Niedrigste erzielbare Kaltwasservorlauftemperatur bei Antriebstemperatur 70 °C ca. 10 - 12 °C
- Kombination mit „Booster“-Solaranlage möglich (Erhöhung der Antriebstemperatur an heißen Tagen).




11




Kälteabgabesysteme/Gesamtsysteme

Grobe Rahmendaten zur Abschätzung der Kühllast

Innere Kühllast:

Pro Person	8 – 12 W/m ²
Beleuchtung	2 – 10 W/m ²
EDV	3 – 20 W/m ²

Äußere Kühllast:

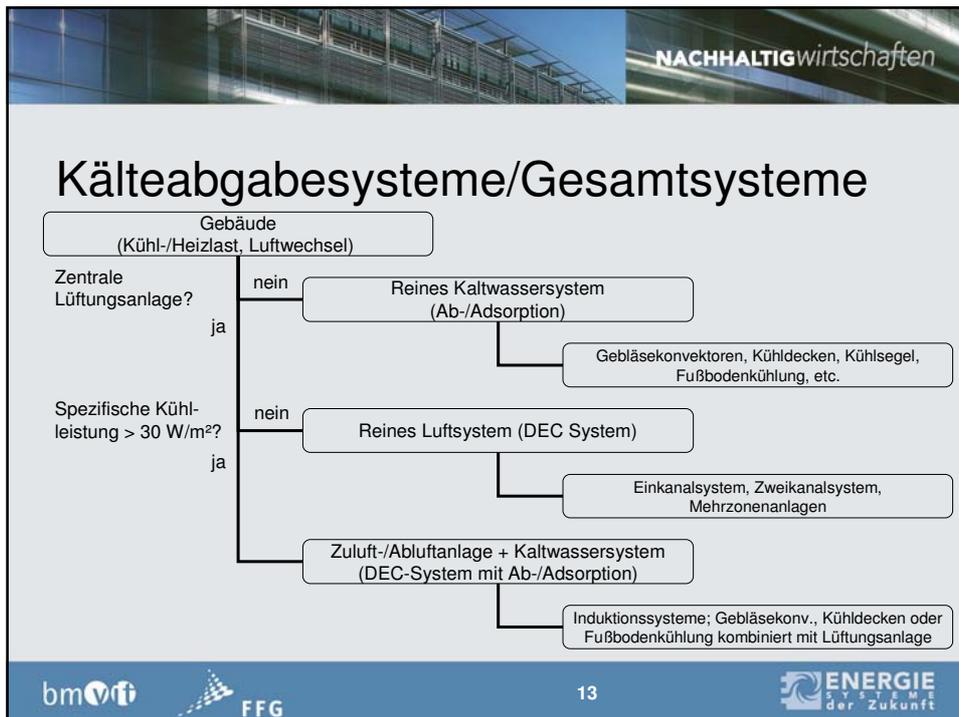
Solareintrag	spezifische Berechnung erforderlich
Lüftung	abhängig von Auslegung und Einstellung der Lüftungsanlage, Luftwechselrate und Wärmerückgewinnung

Summe **30 bis 50 W/m²** bei therm. optimierten Gebäuden




12





NACHHALTIGwirtschaften

Kälteabgabesysteme/Gesamtsysteme

- Luft-Systeme
- Luft-Wasser-Systeme
- Wasser-Systeme
- (Luft-Kältemittel-Systeme)

Klimatisierungssystem		Raumhöhe in m					
		$\Delta T = T_{\text{Raum}} - T_{\text{Zufuhr}}$					
	System	Luftwechsel pro Std. [h ⁻¹]	2.4 T=6°C	2.7 T=8°C	3.0 T=10°C	3.5 T=12°C	4.0 T=15°C
A	Luft-system	3	15	20	30	40	60
A	Luft-system	4	20	30	40	55	80
A	Luft-system	5	25	35	50	70	100
A	Luft-system	6	30	45	60	85	120
B	Induktion/Fan Coil	10	50	75	100	140	200
C	Kühldecke		60	60	60	60	60
D	Kühlboden		20	20	20	20	20
A	+C	2	70	75	80	90	100
A	+C	3	75	80	90	100	120
A	+C	4	80	90	100	115	140
A	+C	6	85	100	100	140	180
B	+C	10	90	100	100	140	200

Maximal mögliche spezifische Kühlleistung (W/m²) unterschiedlicher Klimatisierungssysteme (Quelle: Hans-Martin Henning: Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings, Springer 2004)

14

NACHHALTIGwirtschaften

Wirtschaftlichkeitsvergleich

Ergebnisse aus der Berechnung von 4 Modellfällen im Leistungsbereich zwischen 70 und 200 kW bei Antriebs-temperatur von 70°C und 960 Volllaststunden/a

- Wirtschaftlichkeitsgrenze liegt im Best Case bei einem Strompreis von 11 Cent/kWh bei ca. 3 Cent/kWh Fernwärme
- Kältepreise bei 70 kW Absorption zwischen 16 Cent/kWh (FW 2,8 Cent/kWh) und 19 Cent/kWh (FW 5 Cent/kWh)
- Kältepreise bei 200 kW DEC (53.000 m³/h) zwischen 17 Cent/kWh (FW 2,8 Cent/kWh) und 20 Cent/kWh (FW 5 Cent/kWh).

Kältekosten (70 kW Kaltwasser) pro kWh und Jahr

Systemkosten Kälteerzeugung ohne Verteilsystem, Auslegung für Antriebs-temperatur 70°C, Kälteverteilung 12/16°C, Rückkühlung 24/28°C, Kompression COP=2, Absorption COP=0,65, Förderungen von 30% berücksichtigt, Betrachtungszeitraum 15 Jahre, 960 Volllaststunden/a, Strompreis 11 Cent/kWh

bm
FFG
15
ENERGIE SYSTEME der Zukunft

NACHHALTIGwirtschaften

Zusammenfassung 1

- Antriebstemperatur von 70°C bei Adsorptionskältemaschinen und DEC möglich, bei Absorptionskältemaschinen im absolut kritischen Bereich (üblich > 75°C)
- Starker Einfluss des COP bei niedrigen Antriebstemperaturen
- Lösungen mit „Solarbooster“ möglich
- Spezifische Anlagen-Investitionskosten im kleineren Leistungsbereich sind überproportional hoch.

Spezifische Anlagen-Investitionskosten [Euro/kW]

♦ Systemk. Absorption ♦ Systemk. Adsorption
— Potenziell (Systemk. Absorption) — Potenziell (Systemk. Adsorption)

bm
FFG
16
ENERGIE SYSTEME der Zukunft

Zusammenfassung 2

- Starke Abhängigkeit von Fernwärmepreis (kritische Grenze bei Antriebstemperatur von 70°C und Anlagen unter 150 kW Kälteleistung bei ca. 3 – 3,5 Cent/kWh)
- Mindest-Anlagengröße für Wirtschaftlichkeit bei Antriebstemperatur 70°C:
 - Absorptionsmaschine ca. 100 – 150 kW
 - Adsorptionsmaschine ca. 150 – 200 kW
 - DEC ca. 200 – 250 kW (ca. 50.000 m³/h)
- Zentrale Kälteanlagen mit Kältenetzen interessant
- Volllaststundenanzahl > 700 - 900 h/a – d.h. Verwaltungs- und Bürogebäude, Gewerbe/Industrie, Einkaufszentren, Krankenhäuser, etc.