

Absorptionswärmepumpen

Prof. Dr.-Ing. Mario Adam

Fachhochschule Düsseldorf, Lehrgebiet Regenerative Energiesysteme



Einsatzbereiche von Wärmepumpen - Einleitender Überblick



(Absorptions-)Wärmepumpen - Was ist das?

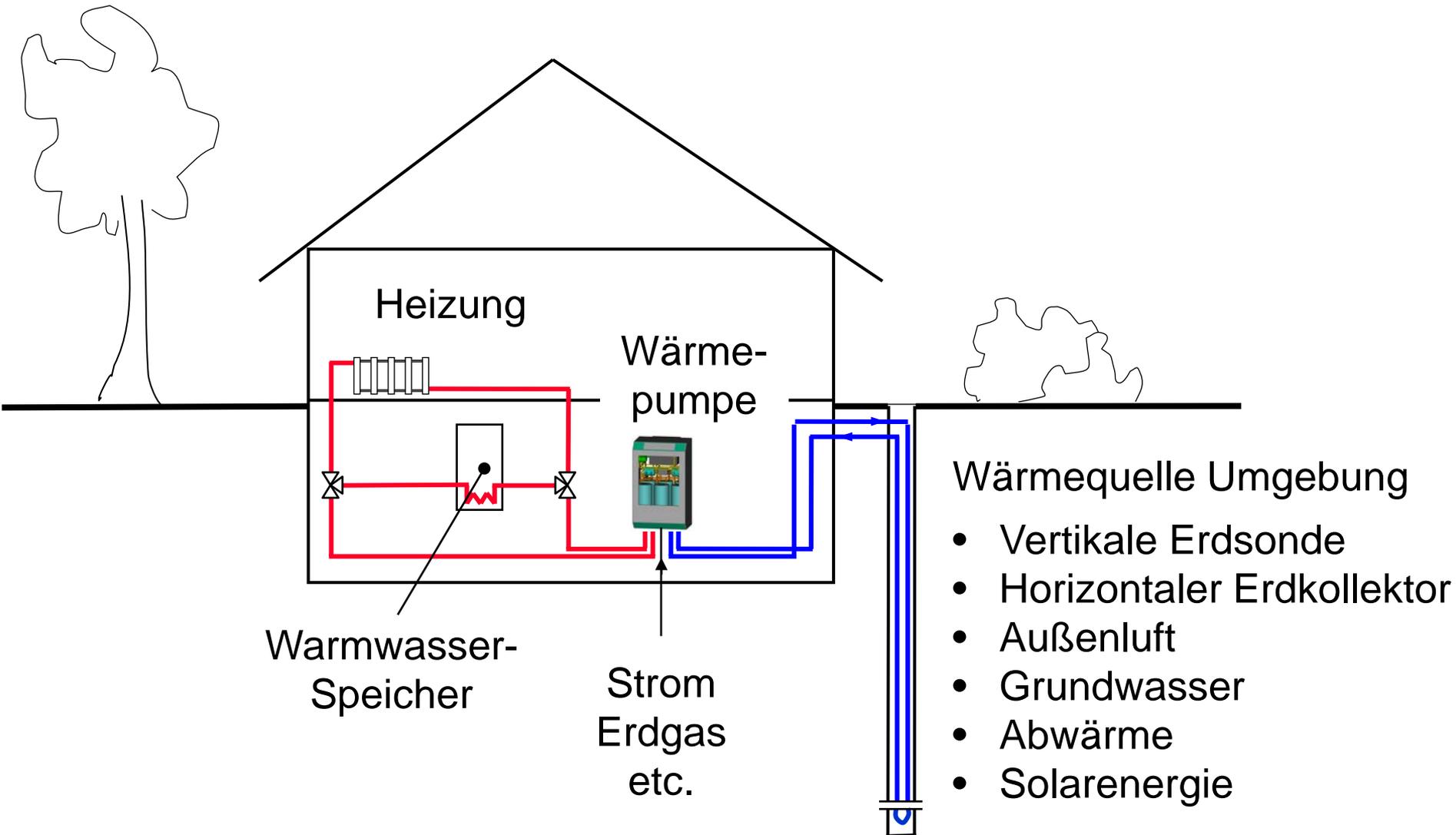


Absorptions-Wärmepumpen - Interessante neue Entwicklungen



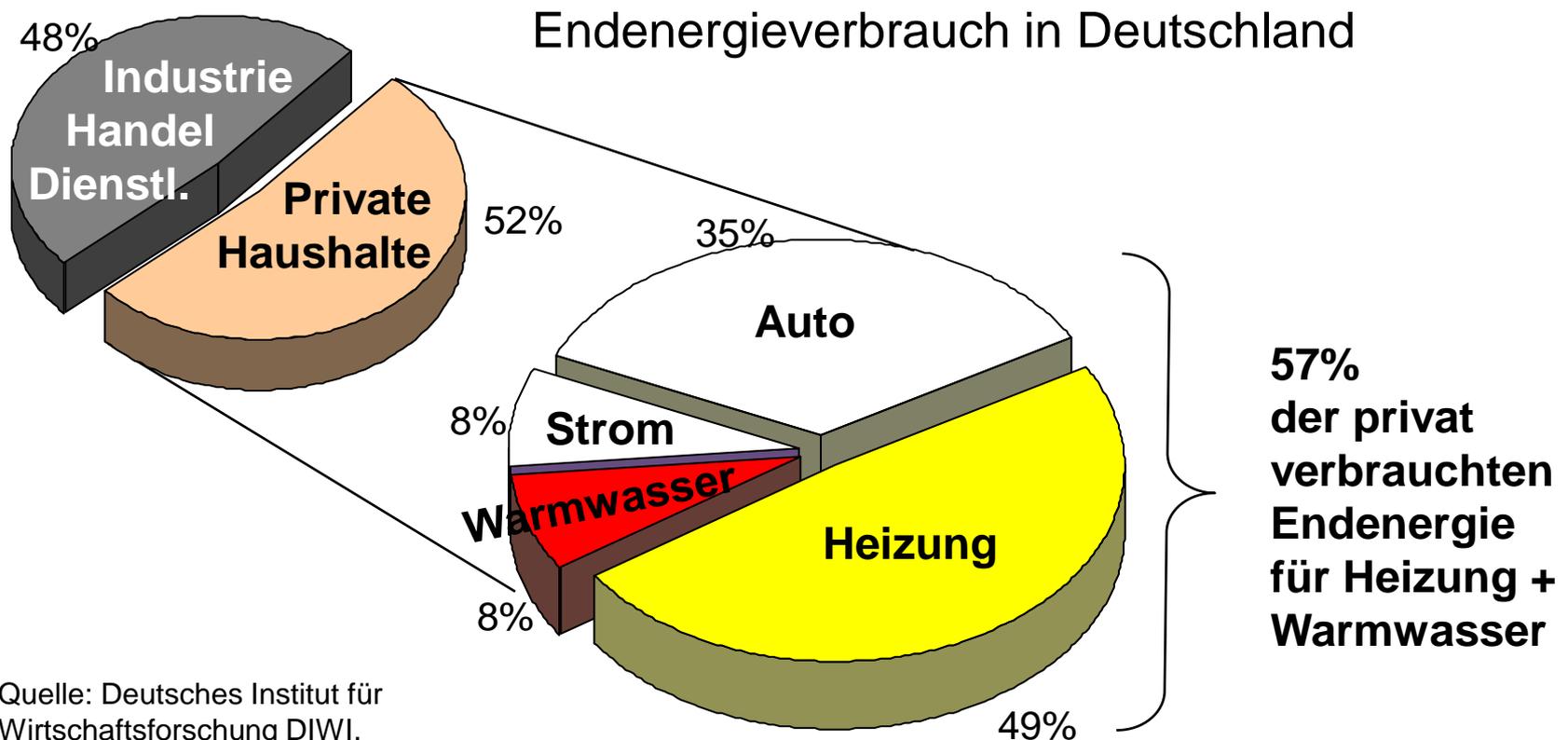
Anwendung Wärme/Kältespeicher - Option für die Zukunft

Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser



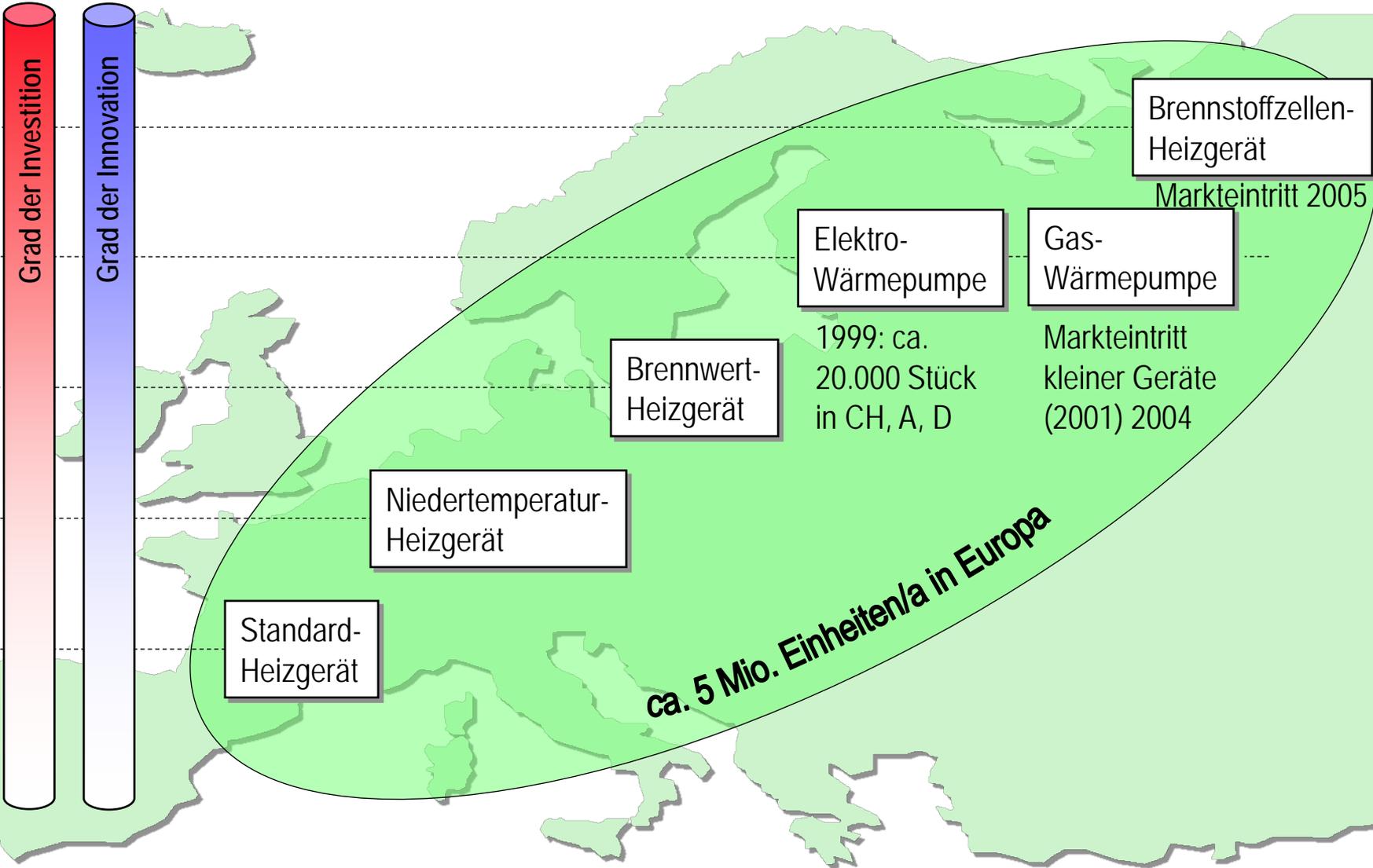
Einsatzbereiche von Wärmepumpen

- Beheizung + Warmes Wasser, z.B. in privaten Haushalten
- Allgemein: Wärme + Kälte, z.B. in Industrie, Handel, Dienstleistung



Quelle: Deutsches Institut für
Wirtschaftsforschung DIWI,
Institut für Energetik, 1995

Heizgerätemarkt in Europa



Quelle: Vaillant

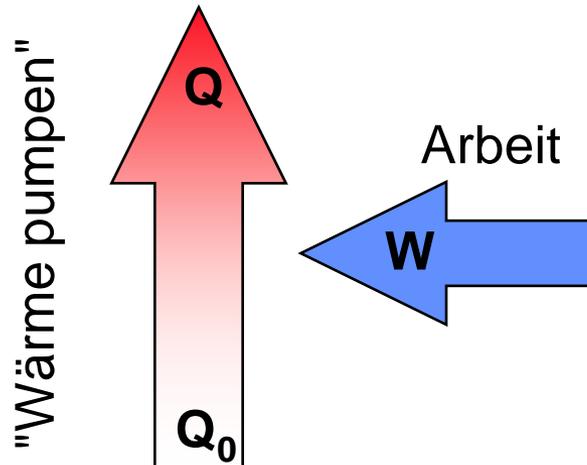
Wärmepumpen zur Raumheizung

Übersicht

Art	Anzahl in BRD	Anmerkungen
Elektro-Wärmepumpe	ca. 50.000 Stück	typisch: Ein-/Zweifamilienhaus, Neubau
Ab/Adsorptions-Wärmepumpe	ca. 200 Stück	typisch: mittlere bis große Leistungen (AWT-Gerät mit 22 und 40 kW) neue Ansätze bei kleinen Leistungen
Gas/Dieselmotor-Wärmepumpe	ca. 500 Stück	typisch: große Leistungen (Thermoinsel von Thyssen Bauen&Wohnen) Fichtel&Sachs-Kleinaggregat nicht als WP, sondern als BHKW vermarktet USA, Japan: viele Klima/WP-Geräte
Vuileumier-Wärmepumpe (Stirling-Prozeß)	-	abgebrochene Entwicklung der Firmen Junkers und Viessmann

Wärmepumpen - Das Prinzip

Wärmereservoir
mit hoher Temperatur T



„Wärme“-Reservoir
mit niedriger Temperatur T_0

Beispiele

Heizungswasser
Duschwasser
Prozesswärme

Strom
Erdgas
Diesel

Erdreich
Außenluft
Grundwasser
Abwärme
Sonnenenergie

Energetische Bewertung

Energiebilanz

$$Q = Q_0 + W \quad (- \text{ "Verluste" })$$

Arbeitszahl („Wirkungsgrad“)

$$\beta = Q / W$$

$$= (Q_0 + W) / W$$

$$= 1 + Q_0 / W$$

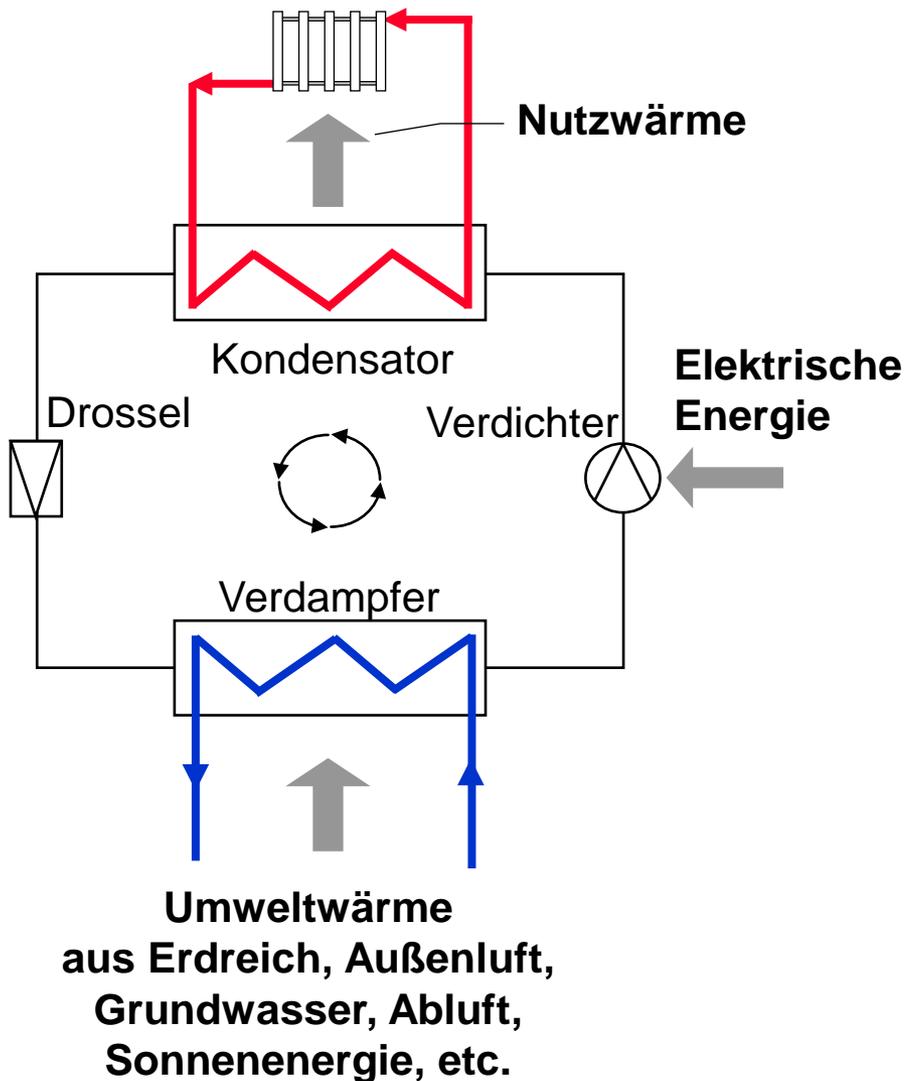
$$> 1 \quad (\text{d.h.} > 100 \%)$$

umso größer, je kleiner der
Temperaturhub $T - T_0$

Arbeitszahl bei Raumheizung
und Antriebsenergie

- Strom: ca. 4
($\cdot 0,33 = 1,3$ Primärenergie)
- Gas: 1,3 bis 1,5

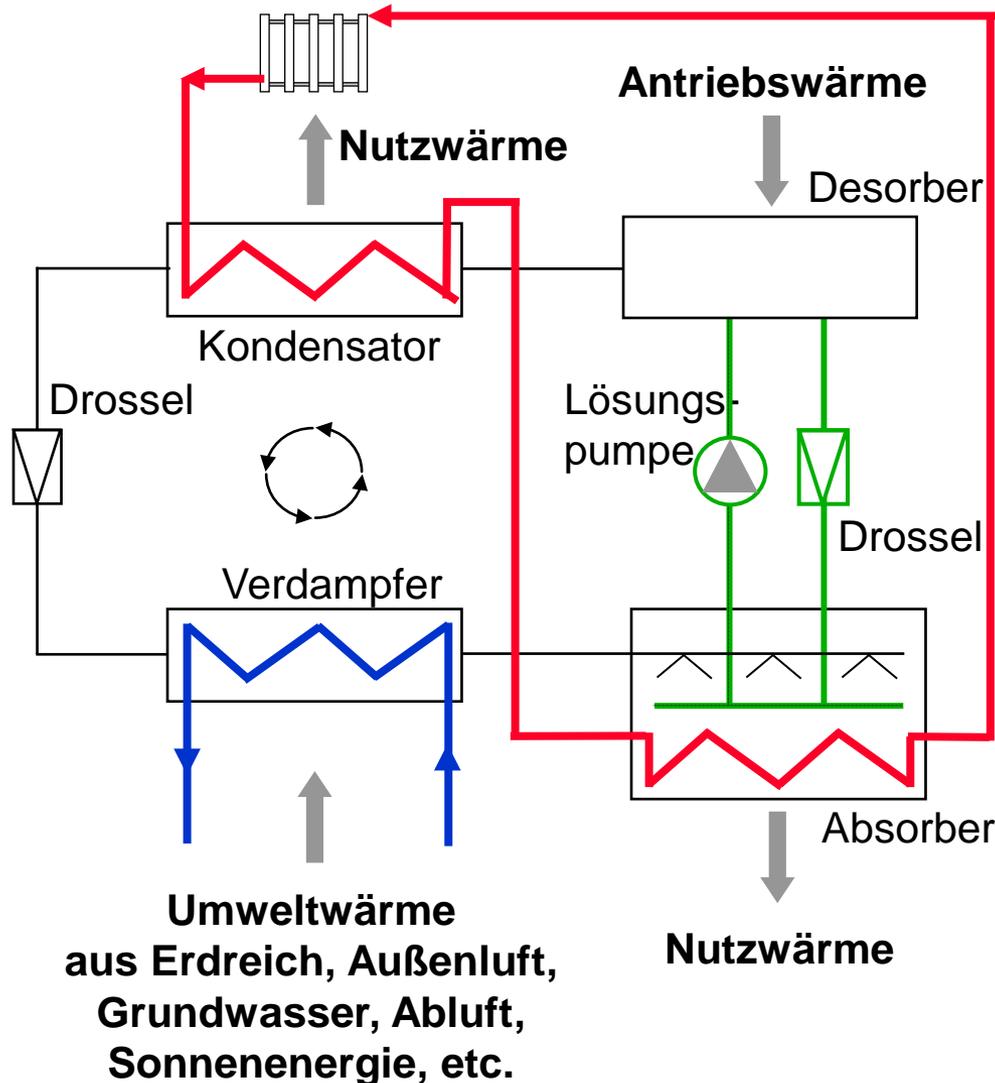
Kreisprozess Elektro-Wärmepumpe



Kreisprozess mit einem Kältemittel
(z.B. HFKW)

- mechanischer Verdichter (z.B. Kolbenverdichter):
Druck- und damit Temperaturerhöhung
- Kondensator:
Verflüssigung bei hoher Temperatur,
Nutzung der Kondensationswärme
- Drossel:
Entspannen des Kältemittels,
Druck- und Temperaturabsenkung
- Verdampfer:
Verdampfung mit Umweltwärme bei
niedrigem Druck, niedriger Temperatur

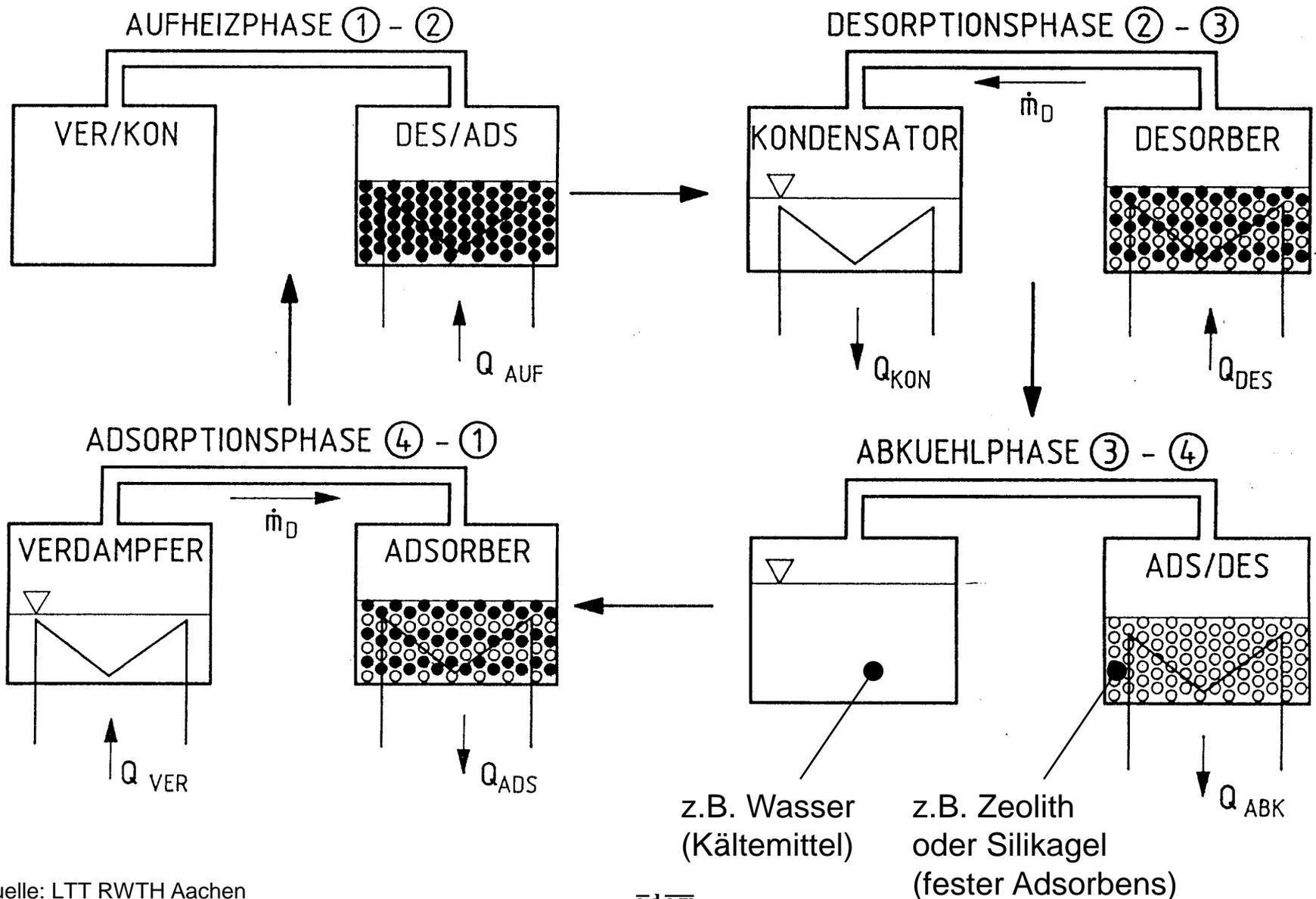
Kreisprozess Absorptions-Wärmepumpe



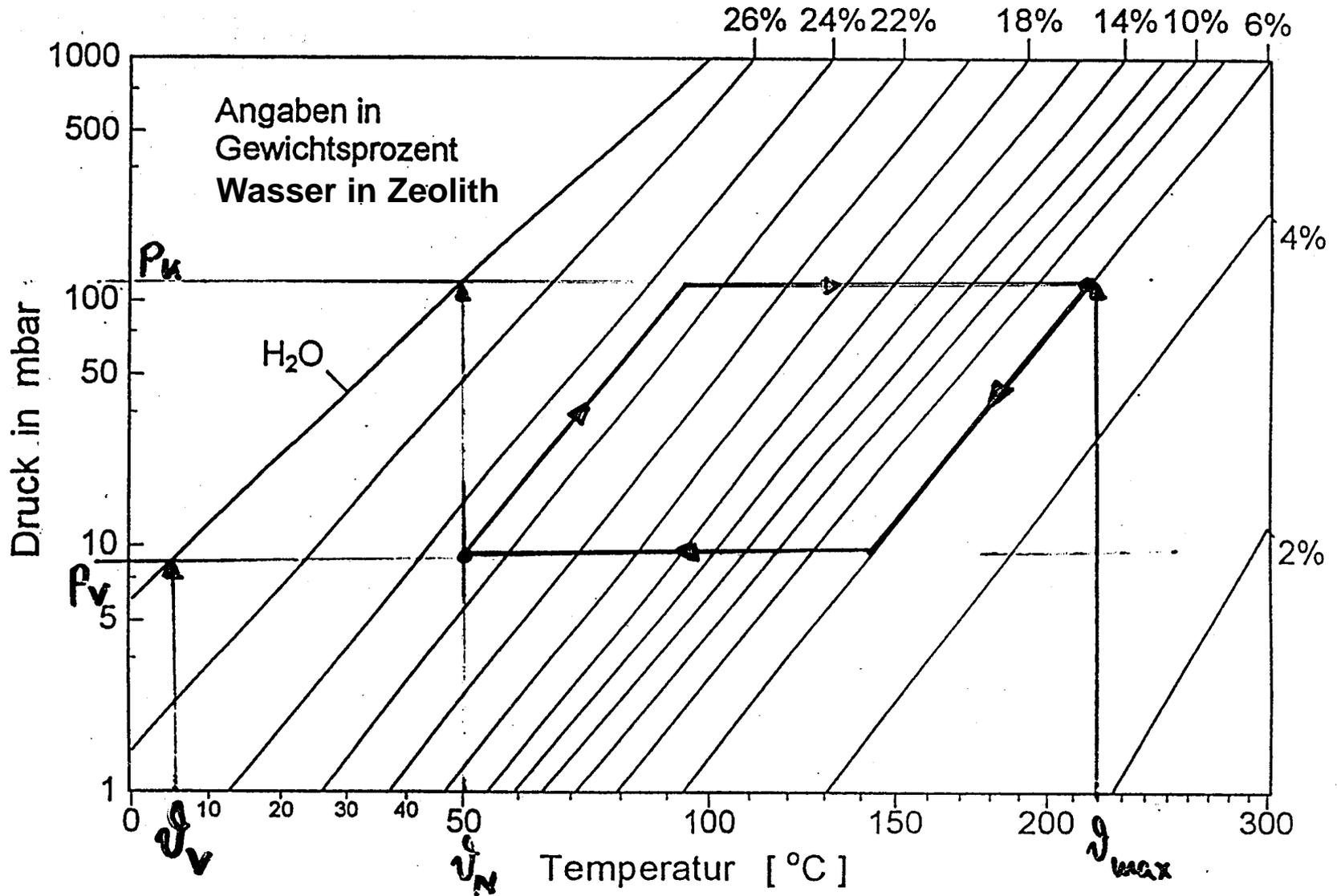
Kreisprozess mit Kältemittel +
Absorptionsmittel
(z.B. Ammoniak + Wasser)

- Kondensation, Drosselung, Verdampfung wie Elektro-WP (hier zirkuliert nur das Kältemittel)
- thermischer Verdichter: Temperatur- und damit Druck-erhöhung des Absorptions-/Kältemittelgemisches im Desorber, gleichzeitig Verdampfung, Austreibung des Kältemittels
- Absorber: Absorption des Kältemittels

Adsorptions-Wärmepumpe, periodisch arbeitend

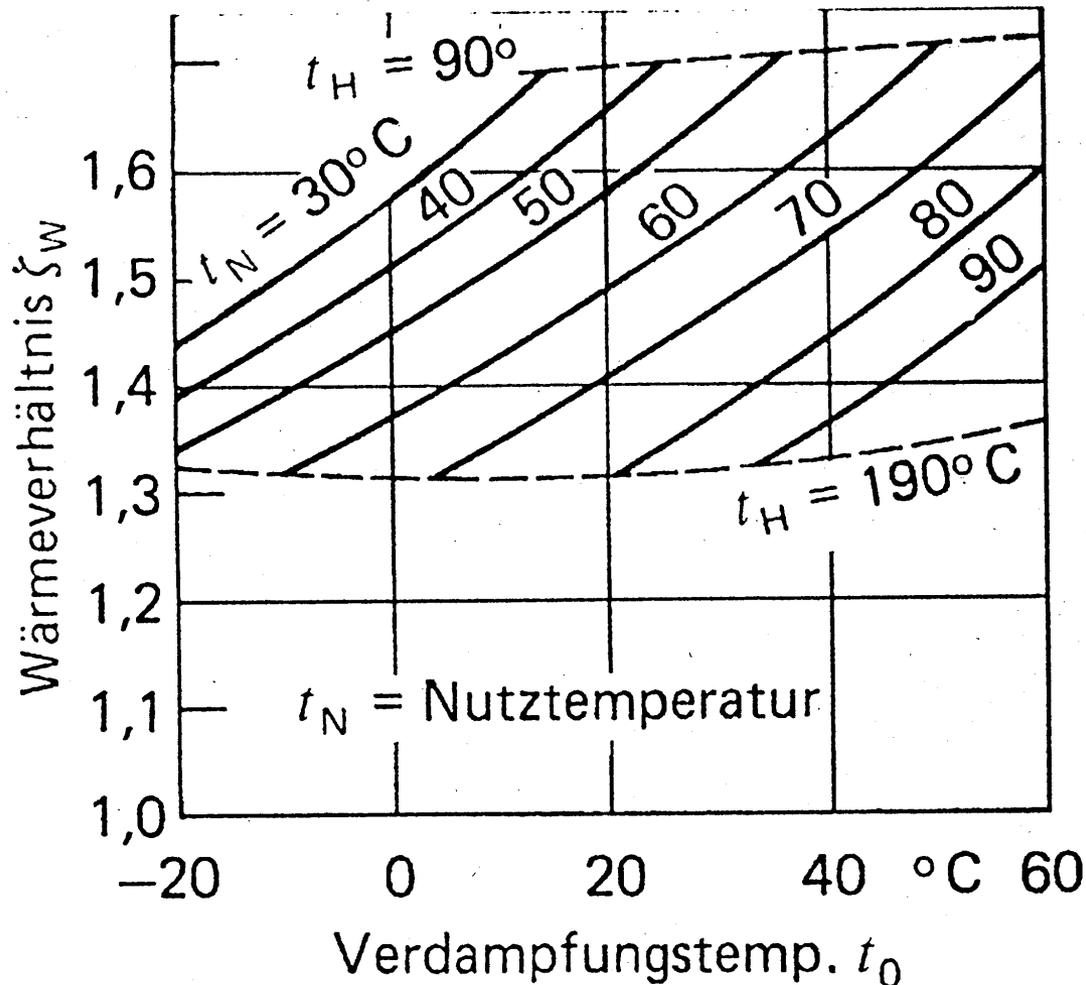


Sorptionsprozess im Dampfdruckdiagramm



Reale Arbeitszahlen von Absorptions-WP

- Ammoniak / Wasser -



Arbeitszahl
= Wärmeverhältnis
= Nutzen / Aufwand

Nutzen: entnommene Wärme in
Kondensator und Absorber

Aufwand: zugeführte Wärme im
Desorber (Antriebsenergie der
Lösungspumpe vernachlässigbar)

Gratis: zugeführte
Umgebungswärme im Verdampfer

t_N : Nutztemperatur

t_H : Heiztemperatur

Sorptionsprozesse - Was ist das?

Wirkprinzip

- Wirkprinzip basiert auf Zwei- oder Mehrstoffgemischen, deren Siedepunkte beträchtlich von der Konzentration abhängen
- Kalter Kältemitteldampf wird im Adsorbens unter Wärmeabgabe absorbiert ("gierig aufgesaugt") → Temperaturhub
- Verdampfungs-, Kondensations- und Antriebstemperatur bestimmen die Prozesseckpunkte

Besonderheiten gegenüber Elektro-Wärmepumpen

- thermische Verdichtung → Antriebsenergie Wärme
- kontinuierliche oder periodische Prozessführung
- periodischer Prozess: Prozesszustände werden zeitlich nacheinander durch Wärmezufuhr und Wärmeabfuhr realisiert; auch Feststoffe als Adsorbens möglich, z.B. Zeolith oder Silikagel mit Wasser als Kältemittel
- höhere primärenergetische Arbeitszahlen (130 bis 150 % bei Raumheizung)

Sorptions-Wärmepumpen

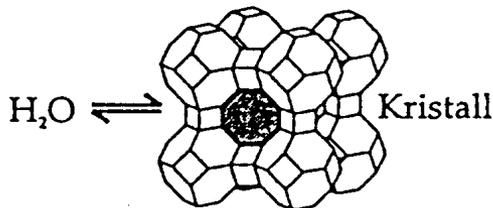
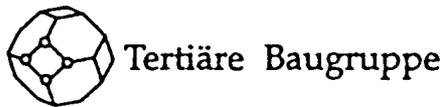
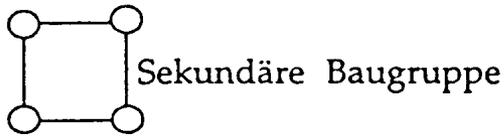
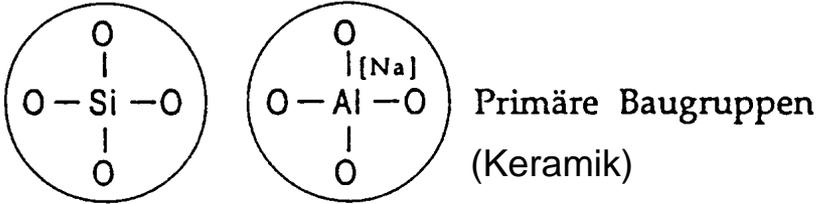
aktuelle neue Ansätze bei kleinen Leistungen

Hintergrund: negative Entwicklungserfahrungen in den 80er Jahren

Vorteil: hohe primärenergetische Arbeitszahlen

Stoffsystem	Entwicklungsansätze
Ammoniak/Wasser	<ul style="list-style-type: none">• Fa. Creatherm/CH, DAWP, 3.5 kW, $\varepsilon = 1.43$ bei 0/35 °C (Lizenznahme Buderus/Nefit, Markteintritt 2001, gestoppt)• Fa. Rhenag, Thyssengas, Electrolux/S, Novem/NL Kühlschränk & Warmwasserspeicher, Prototyp (ISH 97, 99)• DLR Köln, Labormuster, 7-20 kW, $\beta_a = 1.55$ angestrebt• Fa. Heliotherm/A, 16 kW, $\varepsilon = 1.6$ bei 5/35°C (ISH 97, Patent DLR Köln - inzwischen abgebrochen)
Lithiumbromid/ Methanol	<ul style="list-style-type: none">• Fa. Buderus/RWTH Aachen, Labormuster, 5 kW, $\beta_a = 1.42$ angestrebt (inzwischen abgebrochen)
Zeolith/Wasser	<ul style="list-style-type: none">• Fa. Vaillant/RWTH Aachen, 10 kW, $\beta_a = 1.35$ angestrebt Prototypen, geplanter Markteintritt 2004

Zeolith / Wasser - Ein attraktives neues Stoffsystem



Zeolith

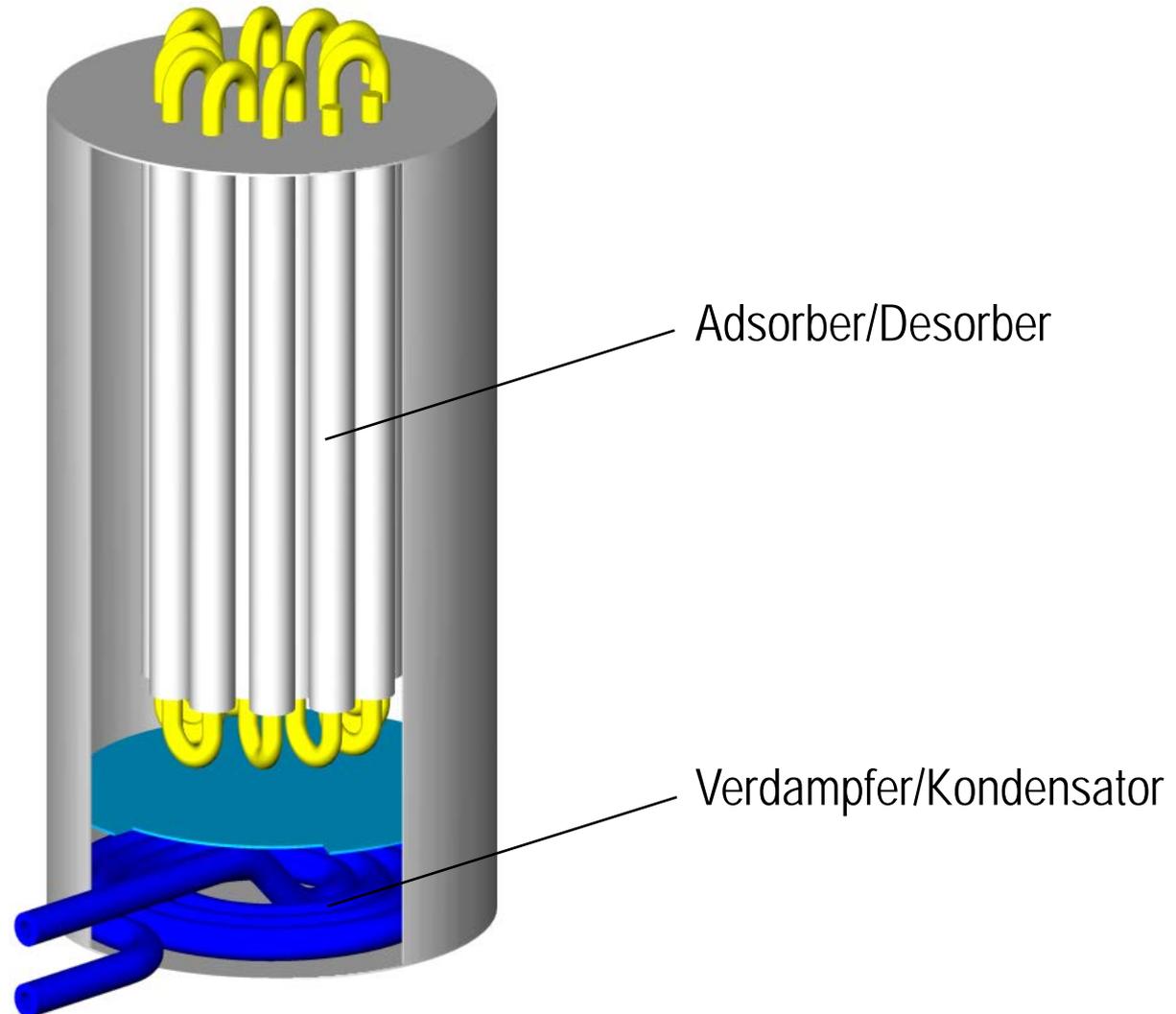
- vergleichbar einer Keramik
- Granulat, Pulver, Stäbchen, ...
- Verwendung insbesondere in Waschmitteln zur Enthärtung des Wassers (→ Adsorption der Calcium-Ionen)
- weltweit ca. 2 Mio. Tonnen pro Jahr

Vorteile

- unproblematisches Stoffsystem: ungiftig, nicht brennbar, ...
- einfache Apparate (Zeolith = verfahrenstechnischer Apparat für den Stoffaustausch)
- Separierung der ansonsten gekoppelten Wärme-, Strömungs- und Stoffaustauschvorgänge
- Preis: ca. 5 DM/kg bei Abnahme im Tonnenbereich

Zeolith-Wärmepumpe von Vaillant

Das Wärmepumpenmodul



Zeolith-Wärmepumpe von Vaillant

Generator/Adsorber mit
Zeolith

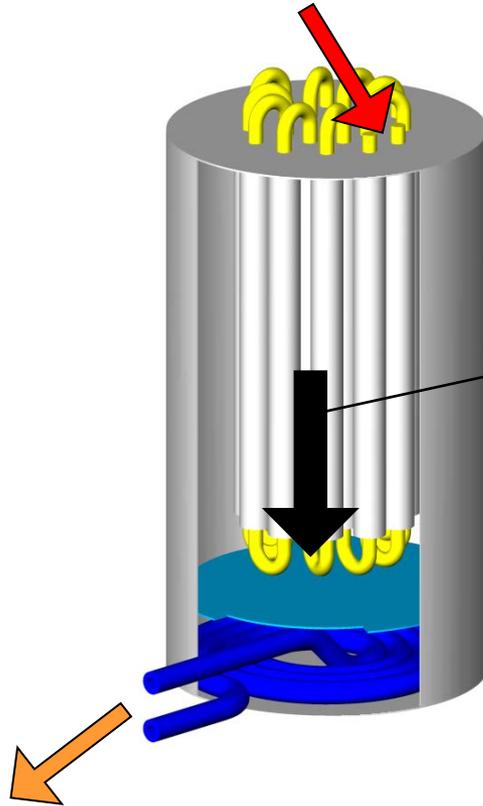


Zeolith-Wärmepumpe von Vaillant

Periodische Betriebsweise

Desorptions- / Kondensationsphase

Brennerwärme



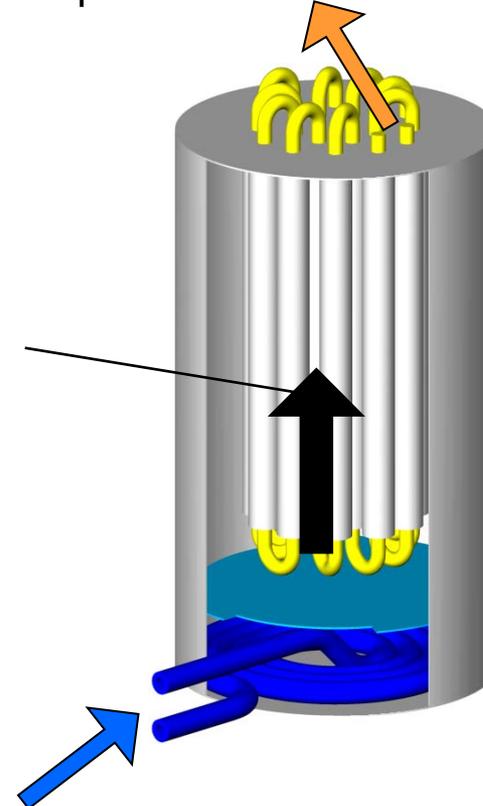
Wasserdampf-
Massenstrom

Kondensationswärme

Quelle: Vaillant

Adsorptions- / Verdampfungsphase

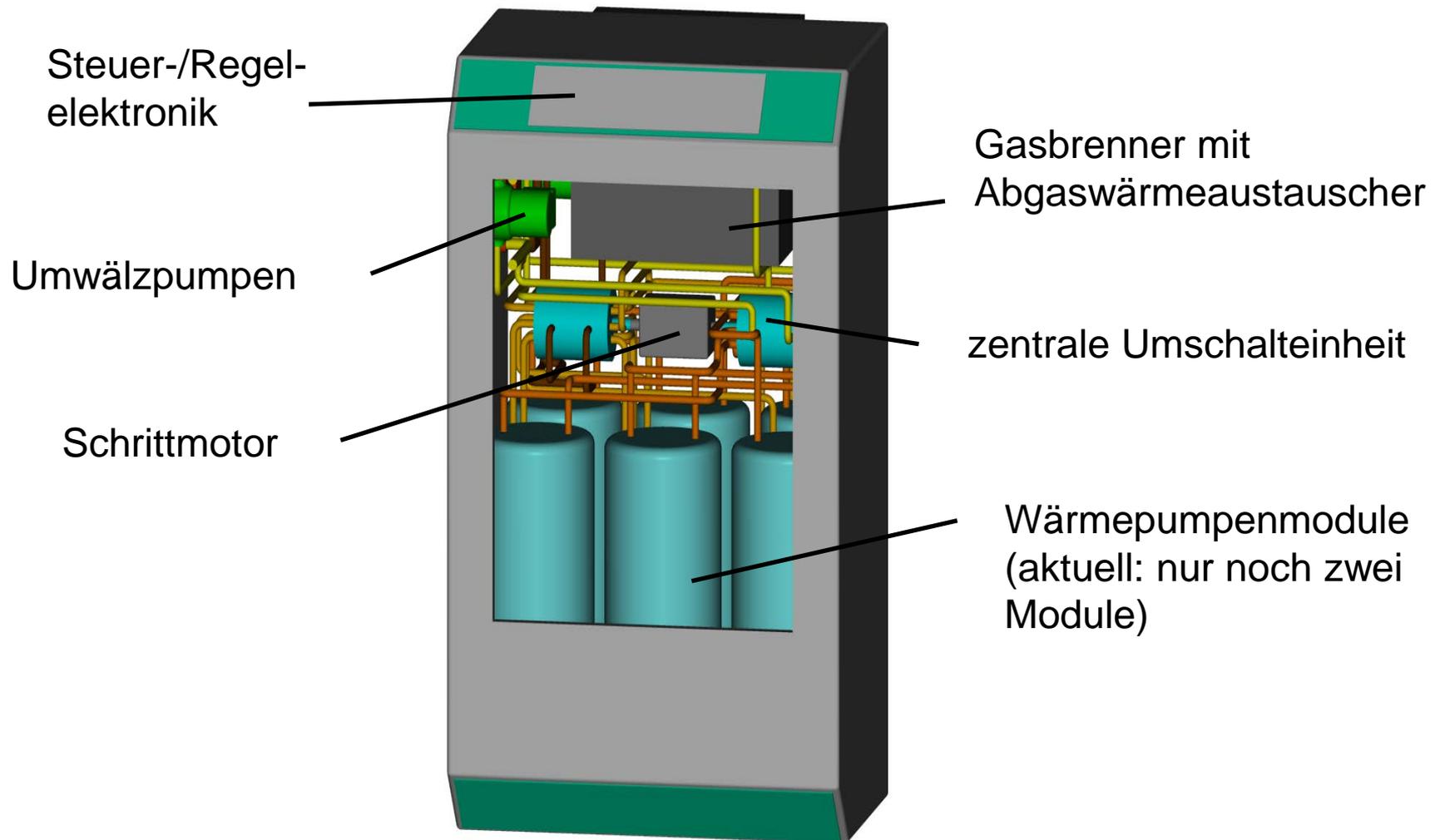
Adsorptionswärme



Verdampfungswärme

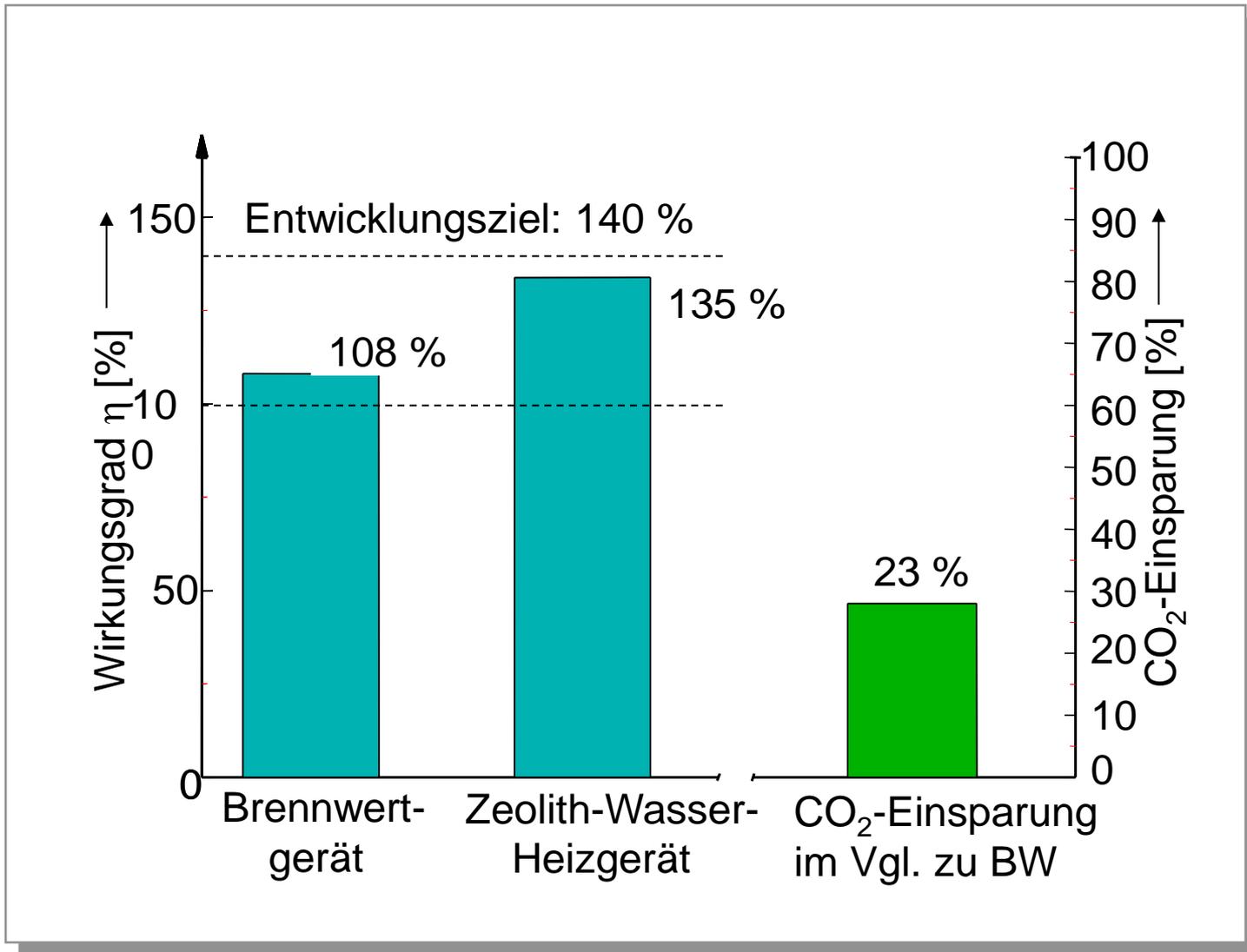
Zeolith-Wärmepumpe von Vaillant

Gesamtdesign



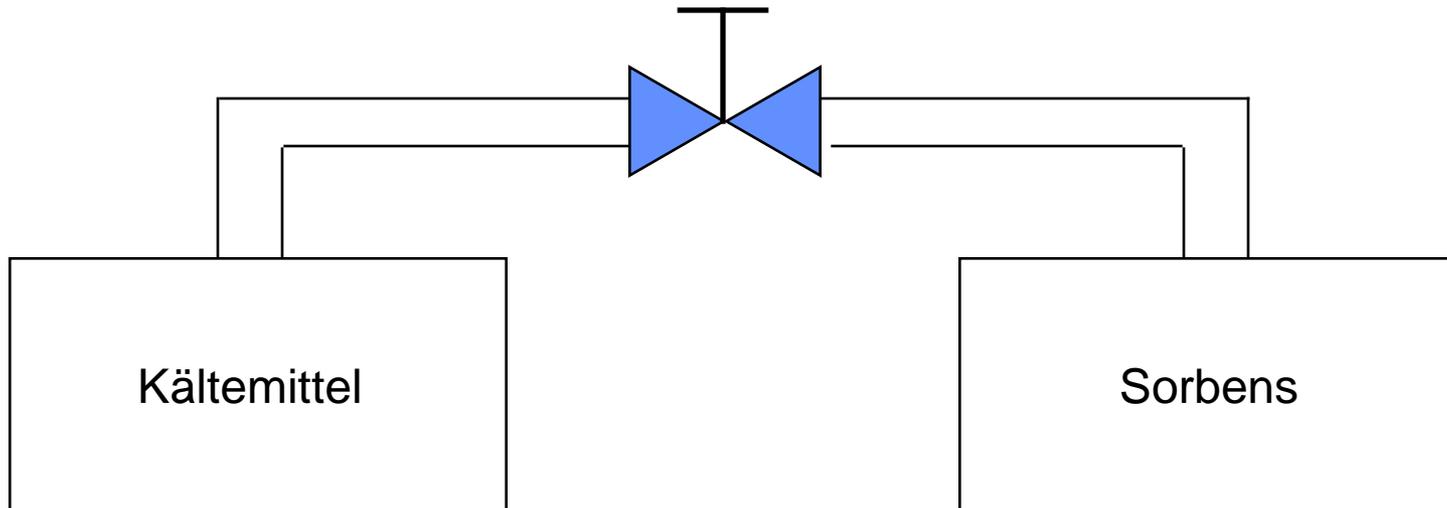
Zeolith-Wärmepumpe von Vaillant

Einsparpotential



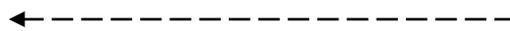
Periodischer Sorptionsprozess - Wärme/Kältespeicher

Wärme/Kälte-Verluste = f (Dichtigkeit des Ventils)



Periodischer Prozeß

Kondensation



Austreibung

Verdampfung



Absorption

Wärmespeicherung mittels (Ad-)Sorptions

Vorteile von Sorptionsspeichern

- hohe Energiedichten (siehe rechts)
- nahezu keine Wärmeverluste (physikalisch/chemische Speicherung statt thermischer Speicherung)
- hohe Umweltverträglichkeit

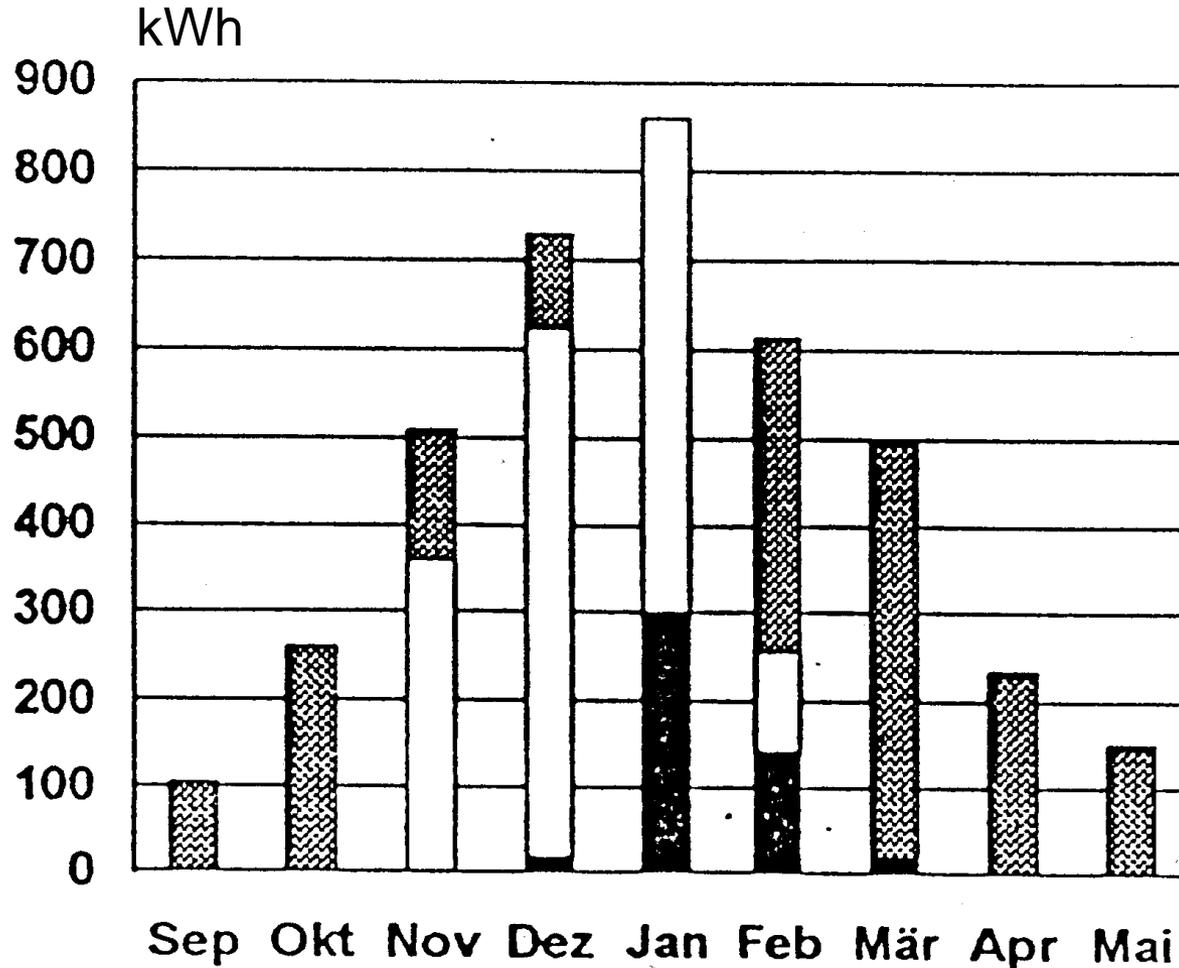
Speichertyp	Typische Energiedichten
Wasser	58 kWh/m ³ bei $\Delta\vartheta = 50$ K
Latent	50 - 120 kWh/m ³
Adsorption	150 - 250 kWh/m³

Stand der Technik

- Projekt Fa. UFE Solar, Eberswalde, und Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg: saisonaler Sorptionsspeicher mit Stoffsystem Silikagel/Wasser zur solaren Wärmeversorgung eines Niedrigenergiehauses (ca. 90 % solare Deckung = 3600 kWh/a bei 30 m² Solarkollektor und 6 m³ Speicher)
- Projekt TU München: Versuchsanlage eines Zeolith/Wasser-Wärmespeichers mit einer Speicherkapazität von 1400 kWh und einer Zeolithmenge von 7000 kg

Solarer Sorptionsspeicher im Niedrigenergiehaus

UFE Solar / FhG ISE



■ Solaranlage
□ Sorptionsspeicher
■ Zusatzheizung

90 % solarer Deckungsgrad
mit 30 m² Solarkollektoren
6 m³ Sorptionsspeicher

Standort : Freiburg
**jährlicher Heiz-
energiebedarf : 4000 kWh**

Sorptionstechnik: Viele Vorteile, aber kaum Geräte !

Wieso ?

Allgemein

- hohe Investitionskosten für aufwendige Ammoniak/Wasser-Maschinen, mit negativen Auswirkungen vor allem im kleinen Leistungsbereich

Wärmepumpen im kleinen Leistungsbereich, Raumheizung

- negative Erfahrungen der Heizgerätehersteller Ende der 70er, Anfang der 80er Jahre (Ammoniak/Wasser-Maschinen auf Basis der ARKLA-Kältemaschine)
- langwierige Suche nach geeigneten alternativen Stoffsystemen für den Hausheizungsbereich
- langsamer Entwicklungsfortschritt bei alternativen Konzepten (<-- Geld, Technik, ...)

Wärmepumpen im großen Leistungsbereich, Industrie/Gewerbe

- Konkurrenz zu gasmotorisch betriebenen Kompressionswärmepumpen

Wärme-/Kältespeicher

- noch junge Technologieentwicklung von Adsorptionssystemen

Absorptionswärmepumpen

Zusammenfassung



Technologie

Verwendung zum Heizen unter Nutzung von Umgebungswärme oder gleichzeitig zum Heizen und Kühlen (wie alle Wärmepumpen)

Antriebsenergie Wärme: Verbrennung, Solarenergie, ...

hohe primärenergetische Wirkungsgrade (130-150% bei Raumheizung, =f(Temperaturhub))



Stand Heute

Kühlen: Massenprodukt in USA, Japan; sonst Nische v.a. bei großen Leistungen

Heizen: Exot



Chancen für die Zukunft

Neues Arbeitsstoffsystem Zeolith / Wasser

Neuer Anlauf der Heizgerätehersteller und der Gaswirtschaft

Anwendung als verlustloser Wärme/Kältespeicher z.B. für Solarenergie