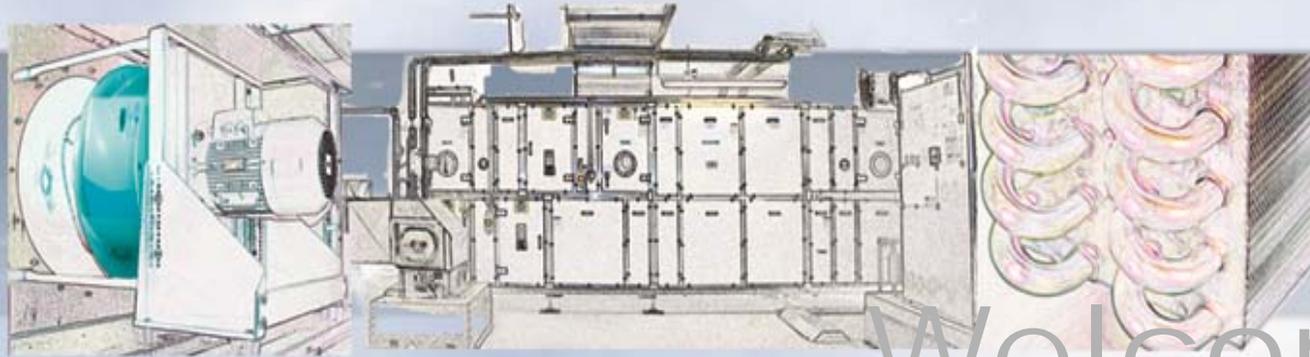


Willkommen



Welcome

Bienvenue

Raumlufttechnik Wärmepumpe

Energierückgewinnung und Energieeffizienz-
technologien in der Lüftungstechnik

Prof. Dr.-Ing. **Christoph Kaup**

c.kaup@umwelt-campus.de

Dipl.-Ing. **Christian Backes**

backes@howatherm.de



HOCHSCHULE TRIER
Umwelt-Campus Birkenfeld

Umwelt macht Karriere.

Wärmepumpe

Maschine oder Gerät, die einem Luftstrom bei niedrigerer Temperatur Wärme entzieht und bei höherer Temperatur einen Luftstrom wieder zuführt.

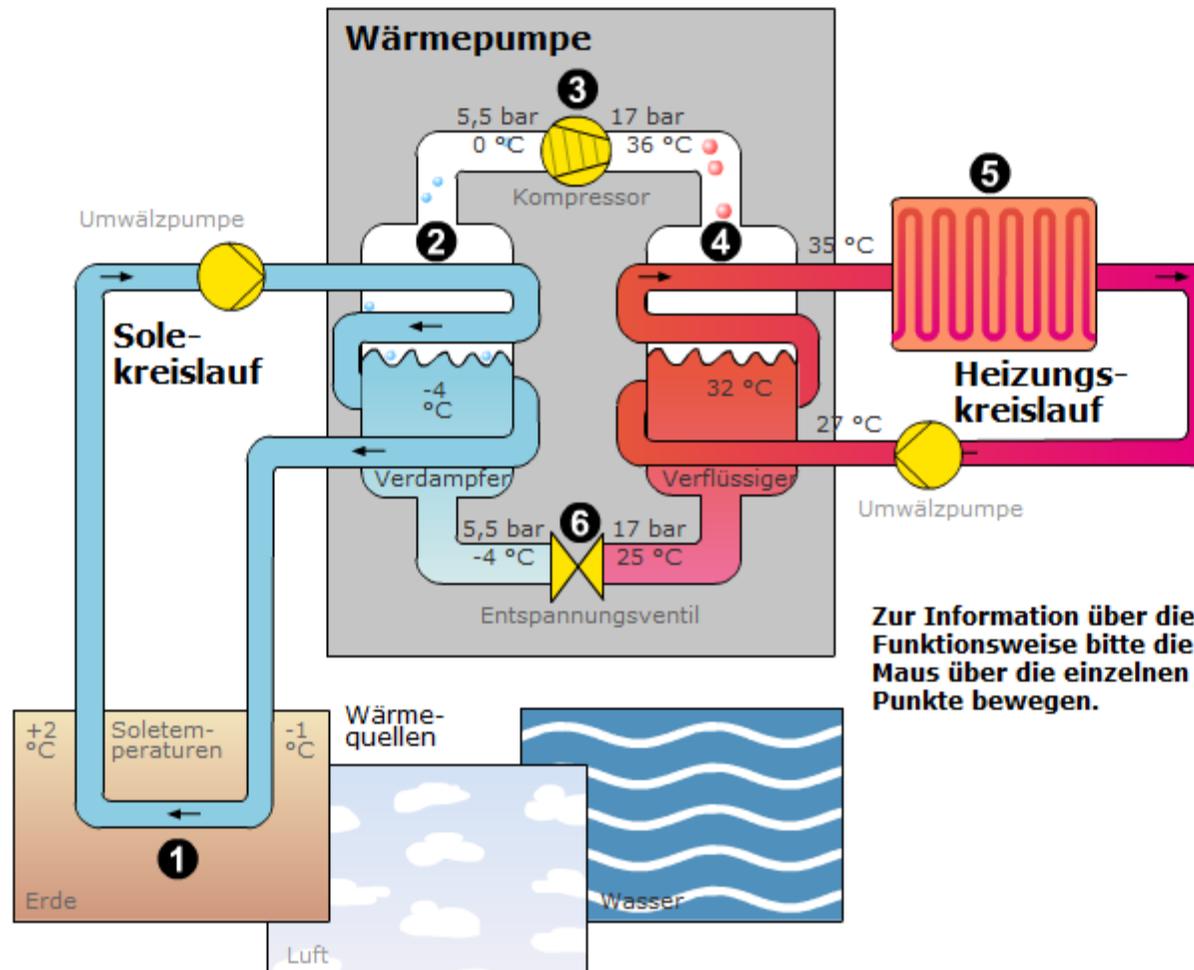
Wärmepumpen-Systeme werden bei raumluftechnischen Anlagen vornehmlich zur **Kälteerzeugung** (Luftkühlung) eingesetzt und können bei Bedarf zusätzlich zur **Wärmehückgewinnung** genutzt werden. Durch absolute Trennung der Luftströme keine Feuchte und Stoffübertragung. Material der Wärmeaustauscher in der Fortluft und Außenluft entsprechend den Anforderungen in bezug auf Statik, Wärmeaustausch, Korrosion und Verschmutzung.

Kompressor-Wärmepumpe

Kaltdampf-Wärmepumpe mit mechanischer Verdichtung des Kältemitteldampfes*). Bekannte Technik der Kältemaschine wird genutzt. Antrieb des Verdichters durch Elektro- oder Verbrennungsmotor mit Nutzung der Antriebs- Energie/-Wärme für den Heizprozess.

*) Bei Auswahl des Kältemittel-Wärmeträgers ist die Verordnung zum Verbot von bestimmten, die Ozonschicht abbauenden Halogenkohlenwasserstoffen (FCKW-Halogen-Verordnung) zu beachten.

Wärmepumpe

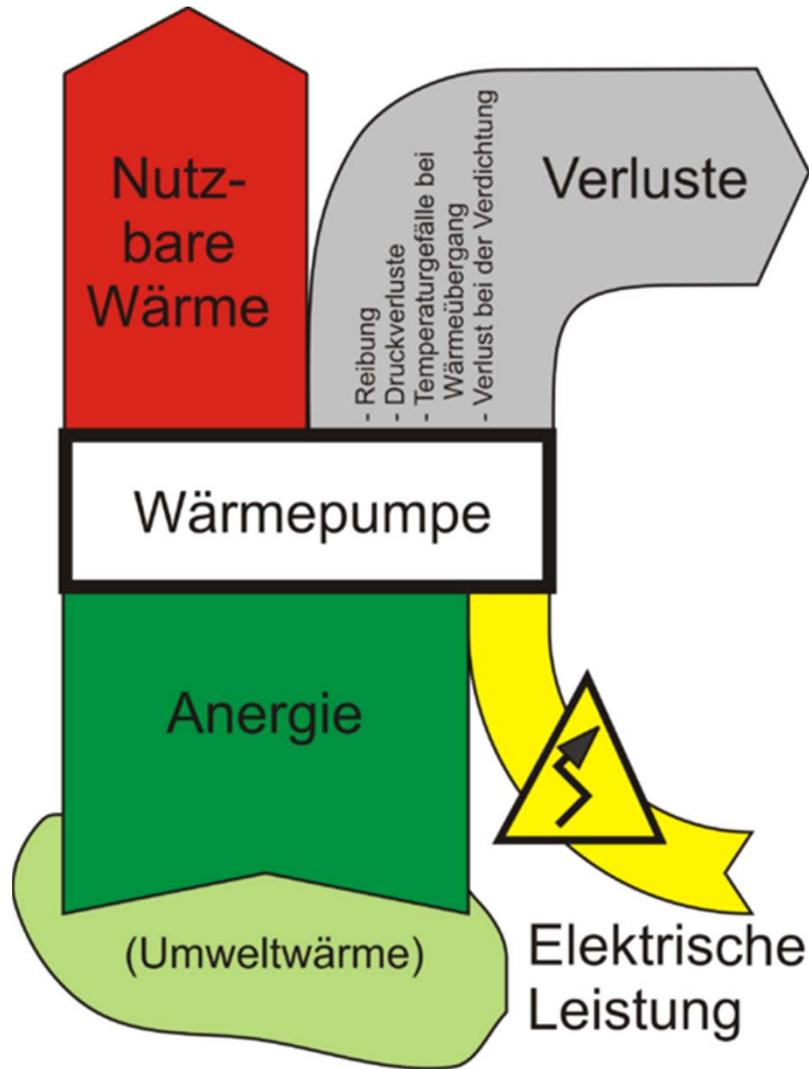


- [Deutsch]
- [English]
- [Français]
- [Português]
- [Español]
- [Svensk]
- [Suomi]
- [Česky]
- [Polski]
- [Русский]
- [Slovenski]
- [Nederlands]
- [Italiano]
- [ελληνικά]

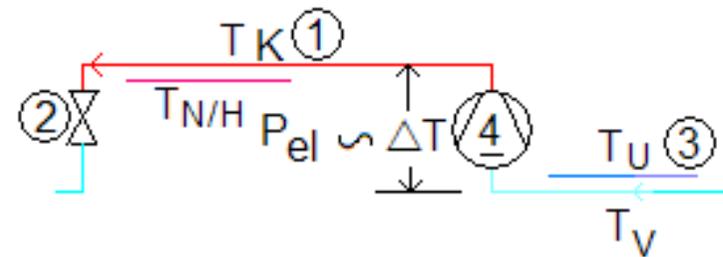
Zur Information über die Funktionsweise bitte die Maus über die einzelnen Punkte bewegen.

Glen Dimplex Deutschland

Wärmepumpe



Temperatur-Verhältnisse



Quelle Wikipedia

Effizienz der Wärmepumpe

ε = Nutzen / Aufwand (Leistungsziffer)

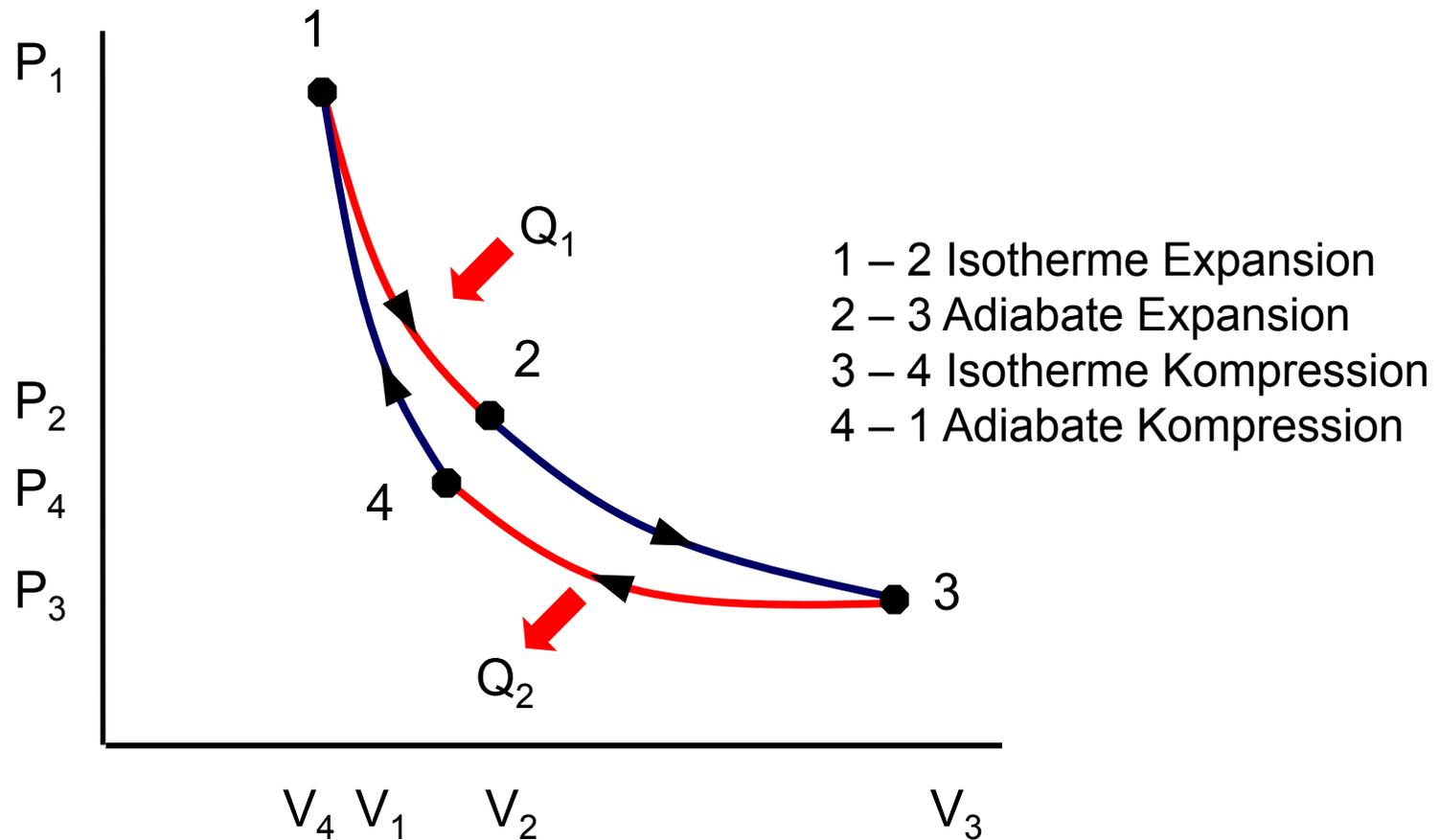
$$\varepsilon = \dot{Q}_{WP} / P_{el} = \Delta Q / \Delta W$$

\dot{Q}_{WP} Leistung der Wärmepumpe [kW]

P_{el} elektrische Leistung (Kompressor) [kW]

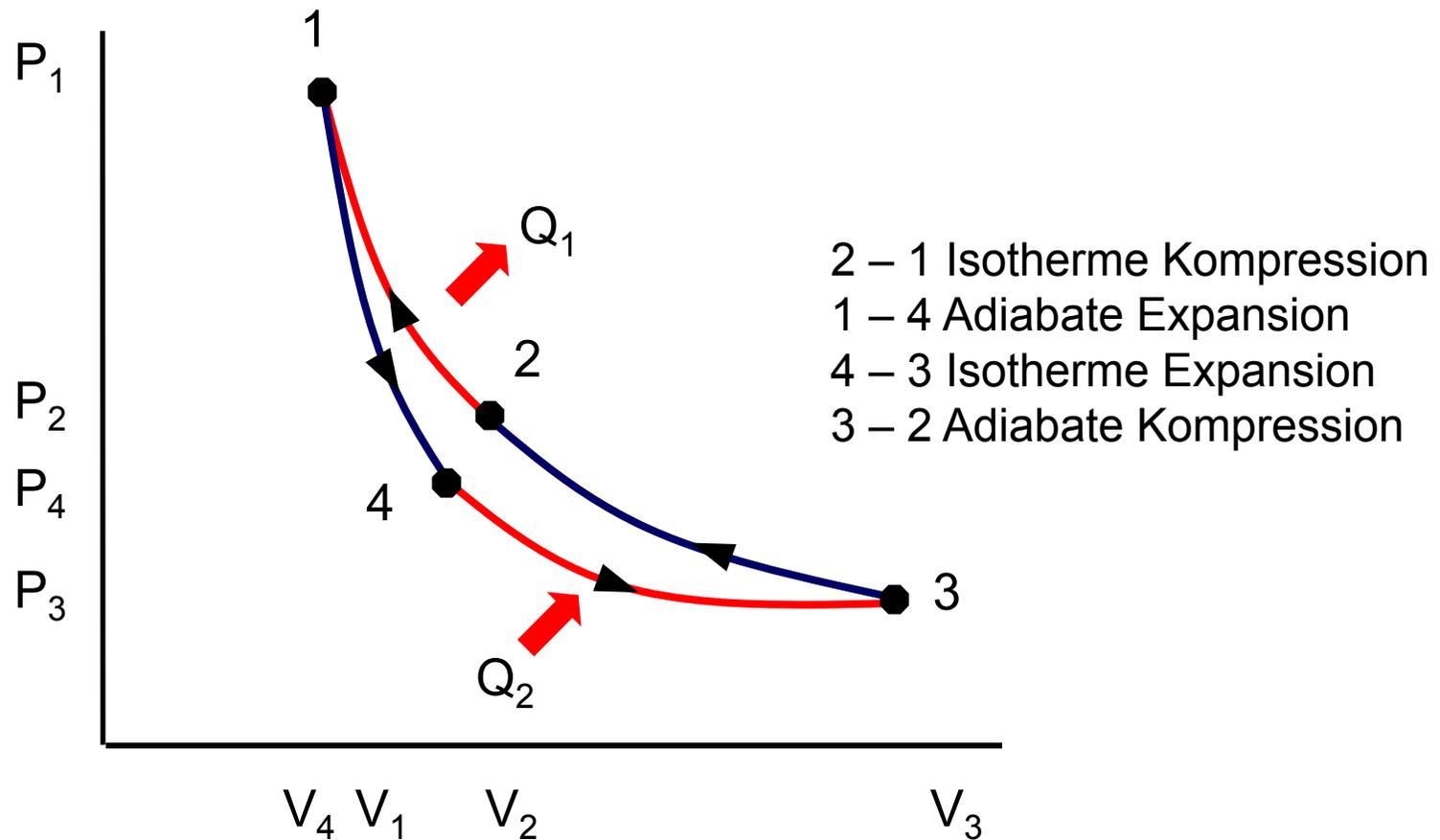
Carnot Kreisprozess

Reversible Wärmekraftmaschine



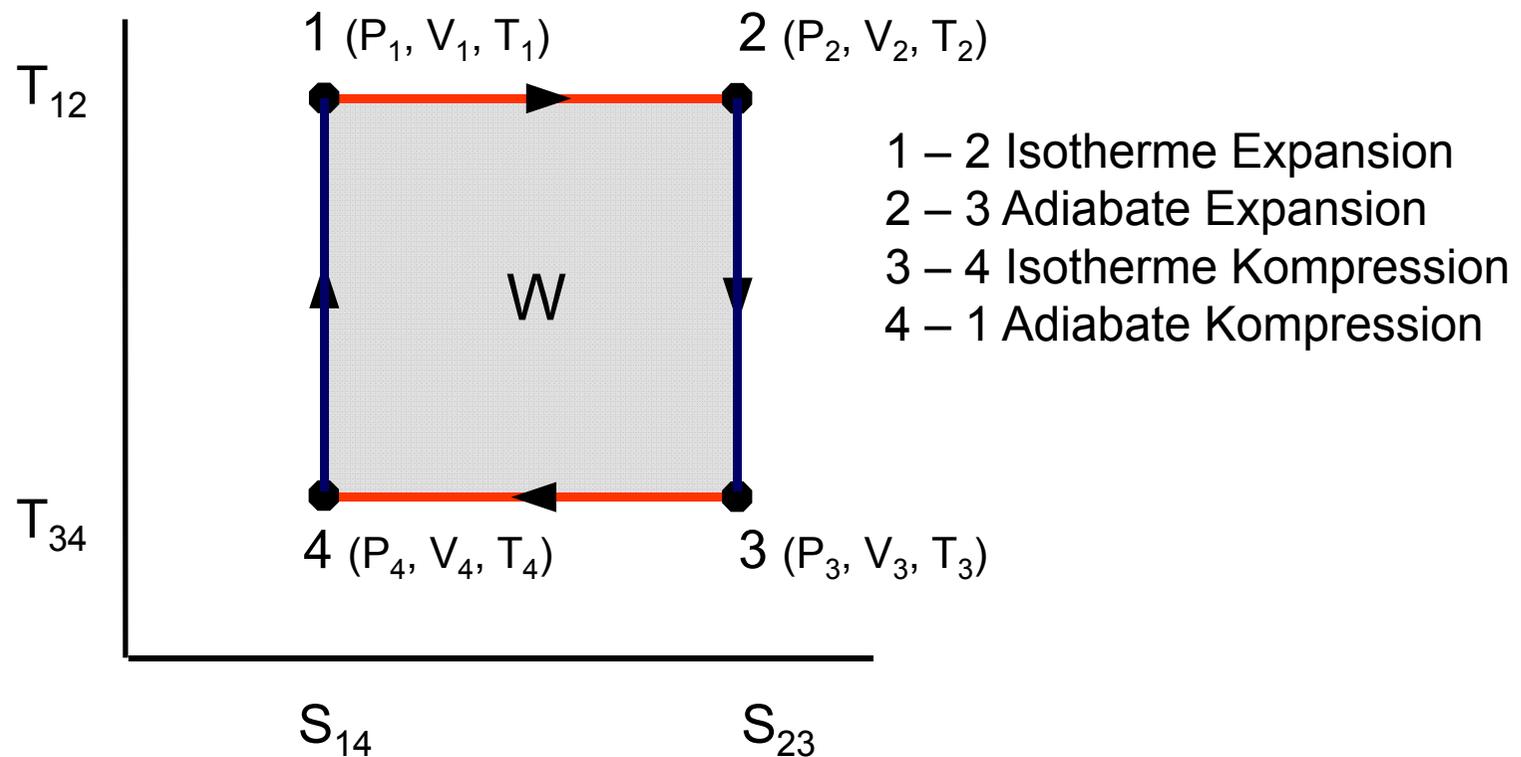
Carnot Kreisprozess

Reversible Wärmepumpe / Kältemaschine



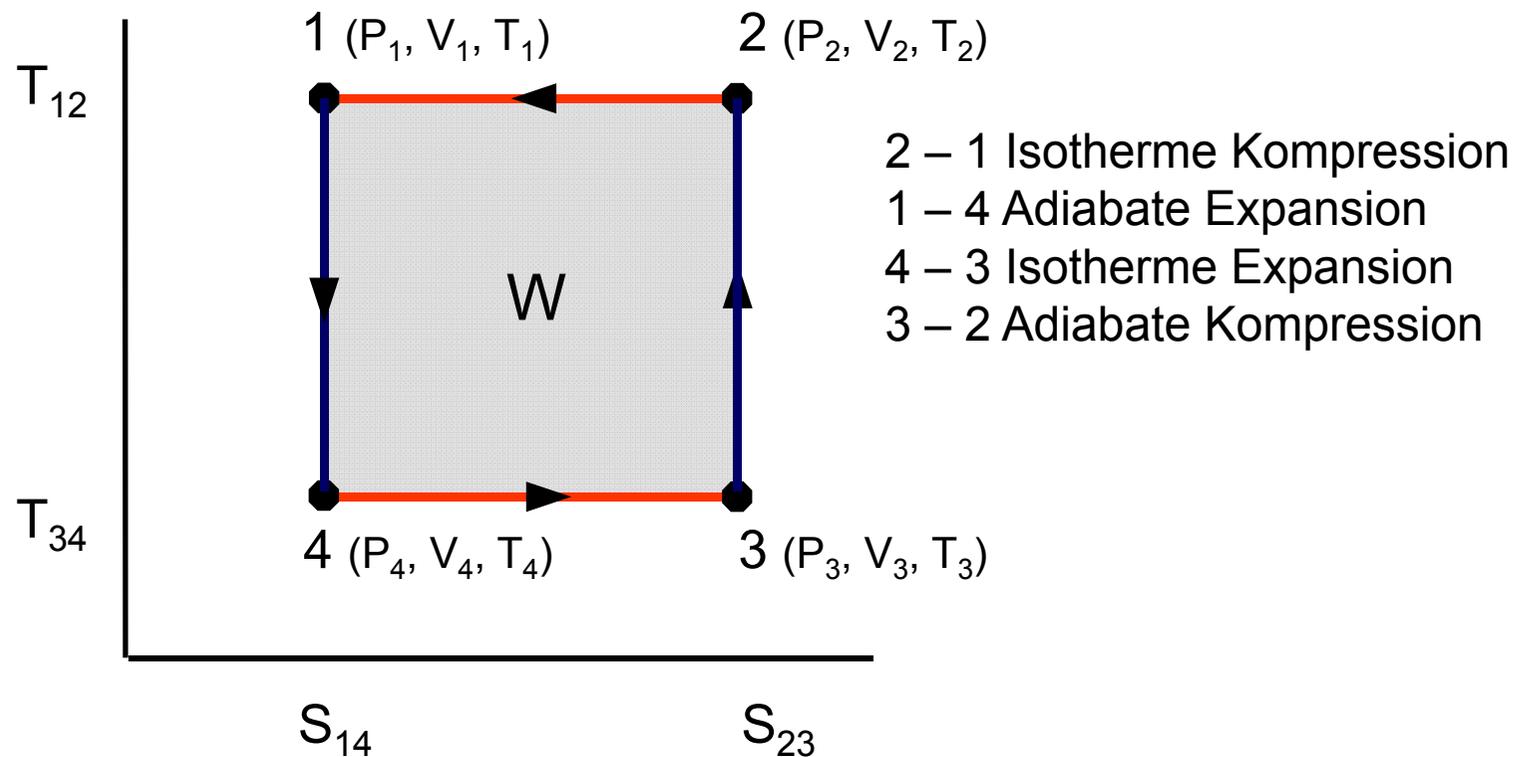
Carnot Kreisprozess

Reversible Wärmekraftmaschine



Carnot Kreisprozess

Reversible Kraftwärmemaschine



Carnot Kreisprozess

1 – 2 Isotherme Expansion

Das System wandelt Wärme vollständig in Arbeit um (bei hoher Temperatur T_1) und leistet Arbeit nach außen.

$$-\Delta Q_1 = \Delta W_{12} = R \cdot T_1 \cdot \ln (V_1 / V_2) \quad [V_1 < V_2]$$

$$-\Delta Q_1 / T_1 = R \cdot \ln (V_1 / V_2)$$

Carnot Kreisprozess

2 – 3 Adiabatische Expansion

Das System leistet Arbeit nach außen, ohne Zuführung von Wärmeenergie $\Delta Q = 0$. Die Energie für die Arbeit stammt aus der inneren Energie des Arbeitsgases, das sich abkühlt.

$$\Delta U_{23} = \Delta W_{23} = U_{T2} - U_{T3} \quad [< 0]$$

Carnot Kreisprozess

2 – 3 Isotherme Kompression

Das System gibt Wärme nach außen ab (bei niedriger Temperatur T_2) und mechanische Arbeit wird zugeführt.

$$-\Delta Q_2 = \Delta W_{34} = R \cdot T_2 \cdot \ln (V_3 / V_4) \quad [V_4 < V_3]$$

Mit Hilfe der Adiabatangleichungen (adiabatische Expansion 3 - 4) und (adiabatische Kompression 4 - 1) erhält man $V_2 / V_1 = V_3 / V_4$ und damit

$$-\Delta Q_2 / T_2 = R \cdot \ln (V_4 / V_3) = R \cdot \ln (V_1 / V_2) = -\Delta Q_1 / T_1$$

Carnot Kreisprozess

4 – 1 Adiabatische Kompression

Am System wird Arbeit von außen geleistet ohne Abführung von Wärme $\Delta Q = 0$. Die aufgewandte Arbeit wird vollständig zur Erhöhung der inneren Energie verwendet, d. h. das Arbeitsgas erwärmt sich.

$$\Delta U_{41} = \Delta W_{41} = U_{T4} - U_{T1} \quad [> 0]$$

Bilanz der mechanischen Energien und Wärmemengen

Mechanische Energien

Am System wird Arbeit von außen geleistet ohne Abführung von Wärme $\Delta Q = 0$. Die aufgewandte Arbeit wird vollständig zur Erhöhung der inneren Energie verwendet, d. h. das Arbeitsgas erwärmt sich.

$$\Delta W_{\text{ges}} = \Delta W_{12} + \Delta W_{23} + \Delta W_{34} + \Delta W_{41}$$

Bilanz der mechanischen Energien und Wärmemengen

Mechanische Energien

Da $\Delta W_{23} = -\Delta W_{41}$ folgt für die gesamte Arbeit:

$$\Delta W_{\text{ges}} = \Delta W_{12} + \Delta W_{34}$$

$$\Delta W_{\text{ges}} = R \cdot T_1 \cdot \ln (V_1 / V_2) + R \cdot T_2 \cdot \ln (V_3 / V_4)$$

$$\Delta W_{\text{ges}} = R \cdot T_1 \cdot \ln (V_1 / V_2) + R \cdot T_2 \cdot \ln (V_2 / V_1)$$

Bilanz der mechanischen Energien und Wärmemengen

Mechanische Energien

$$\Delta W_{\text{ges}} = R \cdot (T_1 - T_2) \cdot \ln (V_1 / V_2)$$

Wärmemengen

Die Wärmemenge ΔQ_1 wurde vom System aufgenommen (bei T_1) und ΔQ_2 wurde abgegeben (bei T_2).

Carnot Kreisprozess

Wirkungsgrad

η = verrichtete Arbeit / aufgenommenen Wärmeenergie

$$\eta = \Delta W_{\text{ges}} / \Delta Q_1$$

$$\eta = R \cdot (T_1 - T_2) \cdot \ln(V_1 / V_2) / (R \cdot T_1 \cdot \ln(V_1 / V_2))$$

$$\eta = (T_1 - T_2) / T_1 = 1 - T_2 / T_1 \quad [T_1 > T_2]$$

Dieser Wirkungsgrad des (reversiblen) Carnot'schen Kreisprozesses ist der höchste realisierbare Wirkungsgrad!

Carnot Kreisprozess

Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad einer Maschine ist immer kleiner 1.
Nur ein Teil der aufgenommenen Wärmeenergie kann in mechanische Arbeit verwandelt werden. Der Rest geht als Abwärme "verloren".

Dieser Wirkungsgrad des (reversiblen) **Carnot**'schen Kreisprozesses ist der **höchste realisierbare Wirkungsgrad!**
Alle vollkommen reversibel arbeitenden Maschinen hätten den gleichen Wirkungsgrad (Carnot).

Effizienz der Wärmepumpe

$$\varepsilon_{\max} = 1 / \eta_C$$

η_C Carnot Wirkungsgrad

$$\varepsilon_{\max} = 1 / \eta_C = T_{\text{Warm}} / (T_{\text{Warm}} - T_{\text{Kalt}})$$

T_{Warm} Oberes Temperaturniveau (Abgabe) [K]

T_{Kalt} Unteres Temperaturniveau (Aufnahme) [K]

Effizienz der Wärmepumpe

$$\eta_{WP} = \varepsilon_{WP} / \varepsilon_{\max}$$

η_{WP} Wirkungsgrad der Wärmepumpe

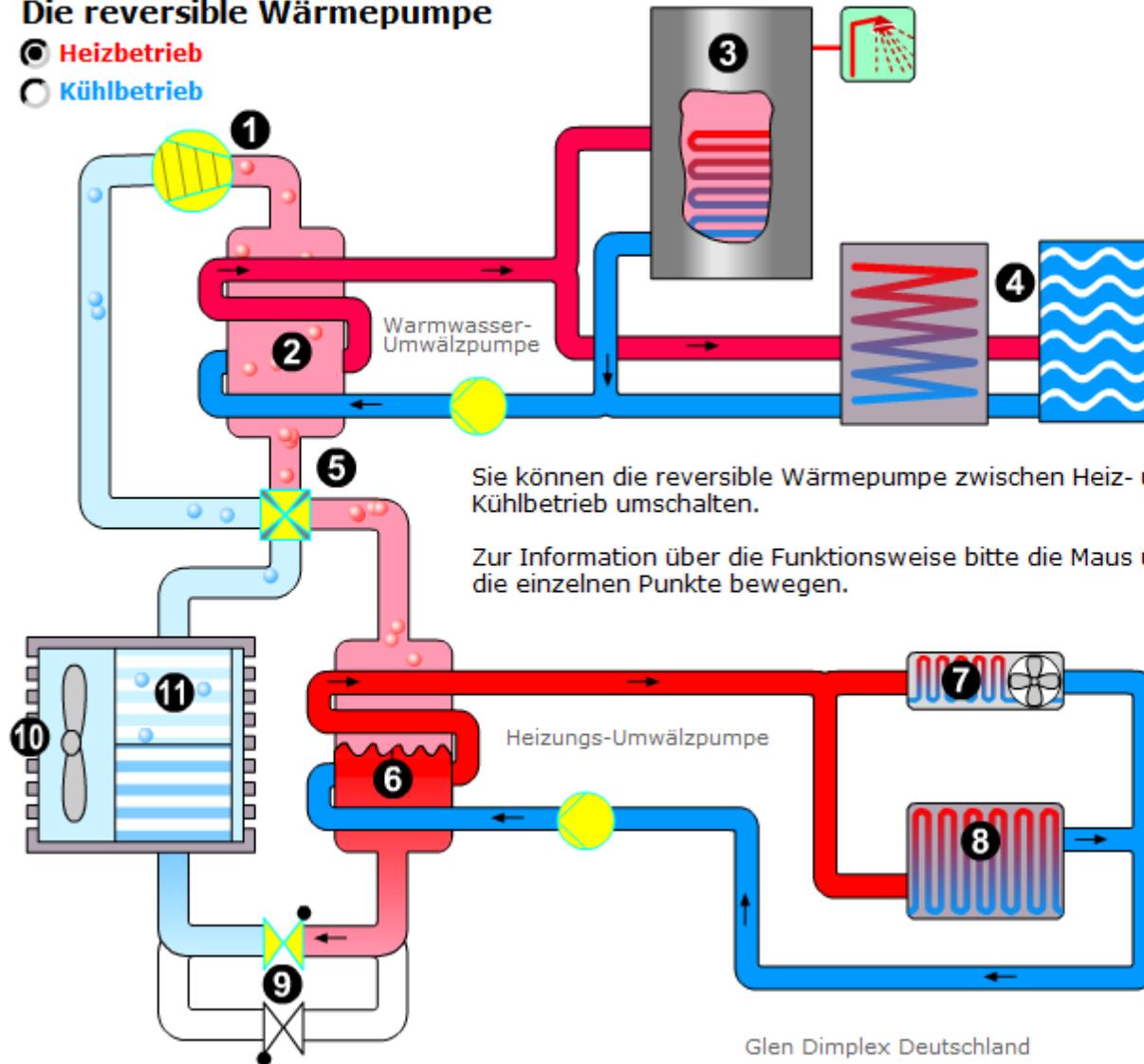
$$\eta_C = 0,45 \text{ bis } 0,55$$

$$\varepsilon_{WP} = \varepsilon_{\max} \cdot \eta_{WP}$$

$$\varepsilon_{WP} \approx 0,5 \cdot T_{\text{Warm}} / (T_{\text{Warm}} - T_{\text{Kalt}})$$

Die reversible Wärmepumpe

- Heizbetrieb
- Kühlbetrieb



Sie können die reversible Wärmepumpe zwischen Heiz- und Kühlbetrieb umschalten.

Zur Information über die Funktionsweise bitte die Maus über die einzelnen Punkte bewegen.

Glen Dimplex Deutschland

- [Deutsch]
- [English]
- [Français]
- [Português]
- [Español]
- [Svensk]
- [Suomi]
- [Česky]
- [Polski]
- [Русский]
- [Slovenski]
- [Nederlands]
- [Italiano]
- [ελληνικά]

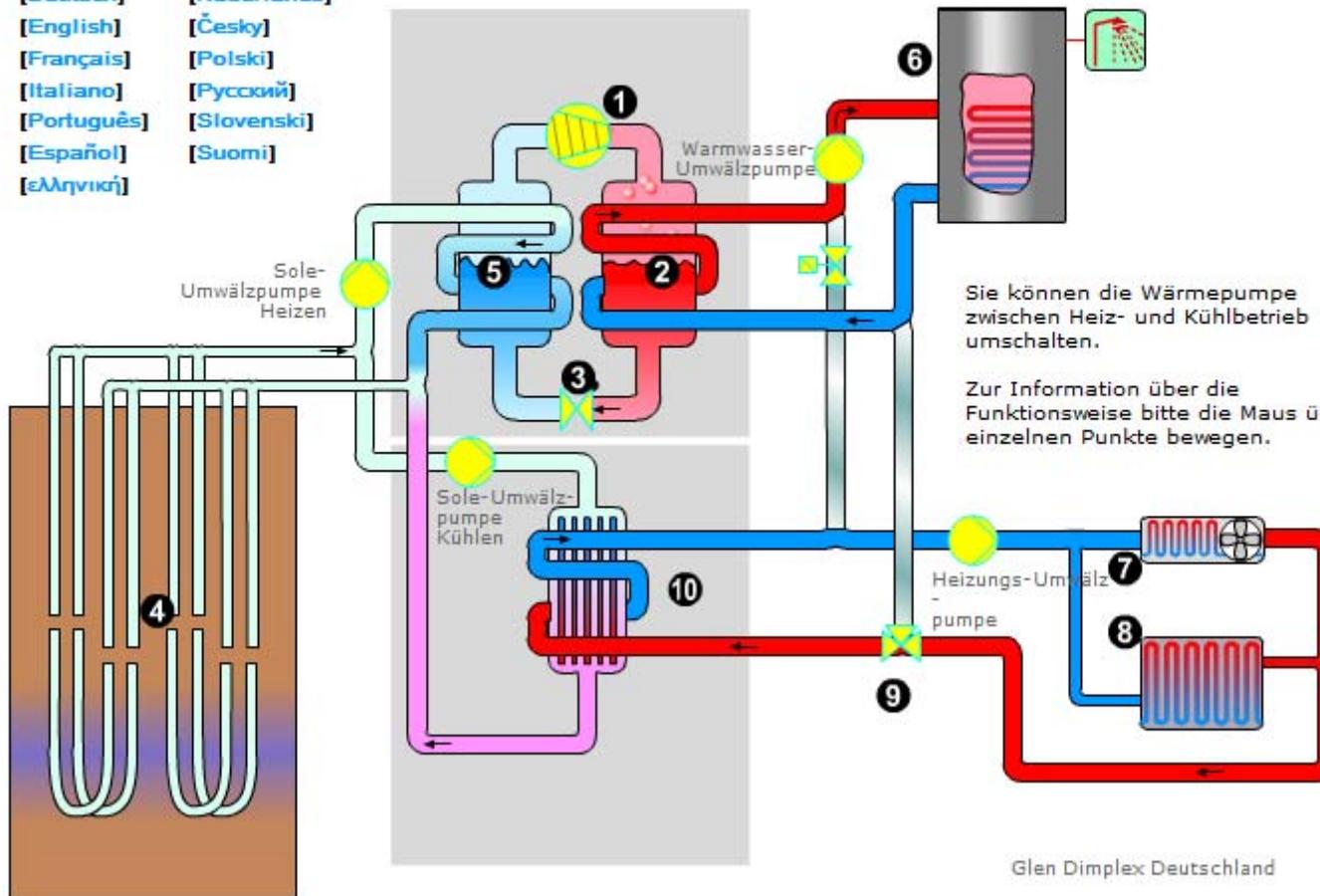
Wärmepumpe mit passiver Kühlung

- Kühlen mit paralleler Warmwasserbereitung
- Passive Kühlung (Wärmepumpe aus)

- Heizbetrieb
- Warmwasserbereitung

- [Deutsch]
- [English]
- [Français]
- [Italiano]
- [Português]
- [Español]
- [ελληνικά]

- [Nederlands]
- [Česky]
- [Polski]
- [Русский]
- [Slovenski]
- [Suomi]

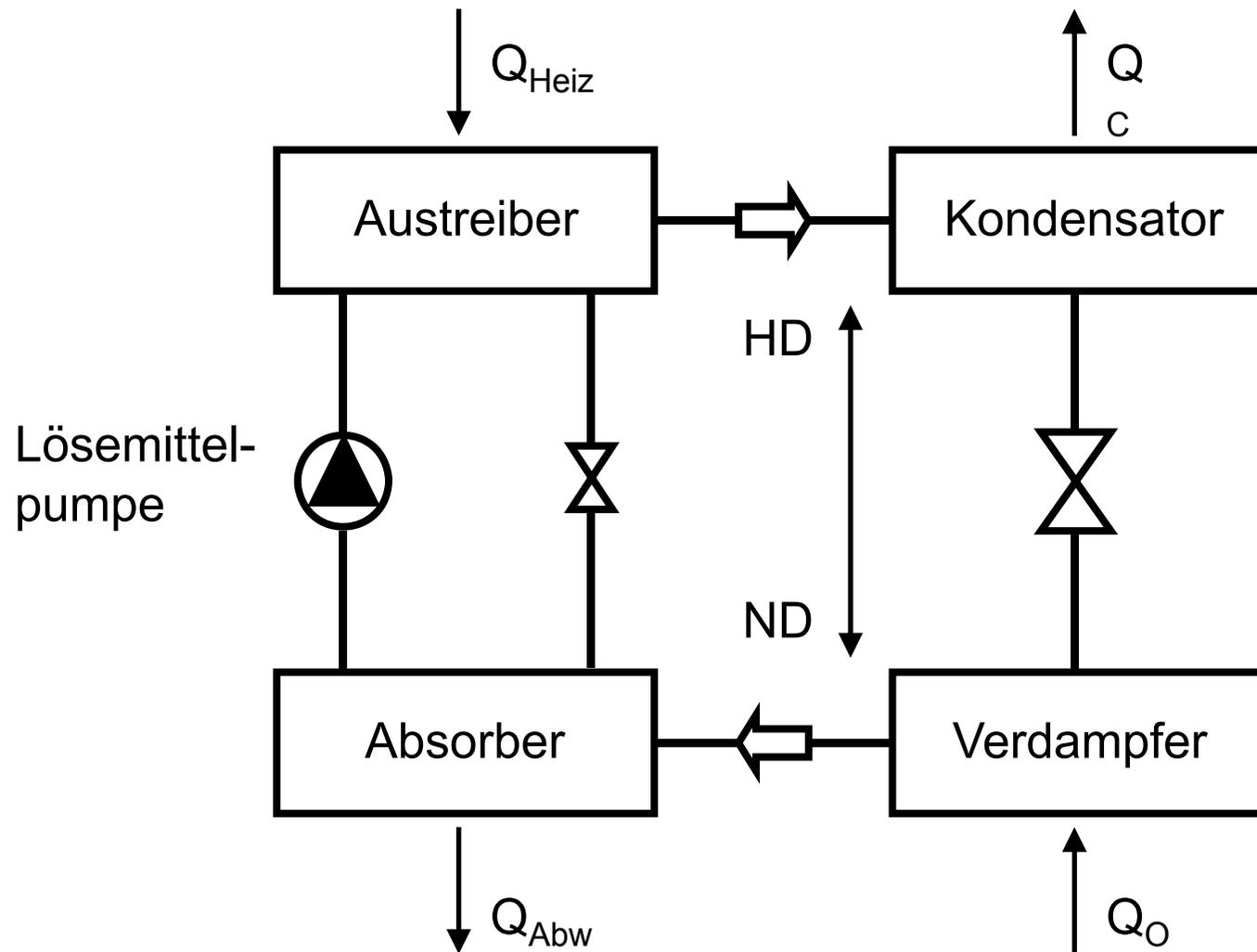


Absorptions-Wärmepumpe

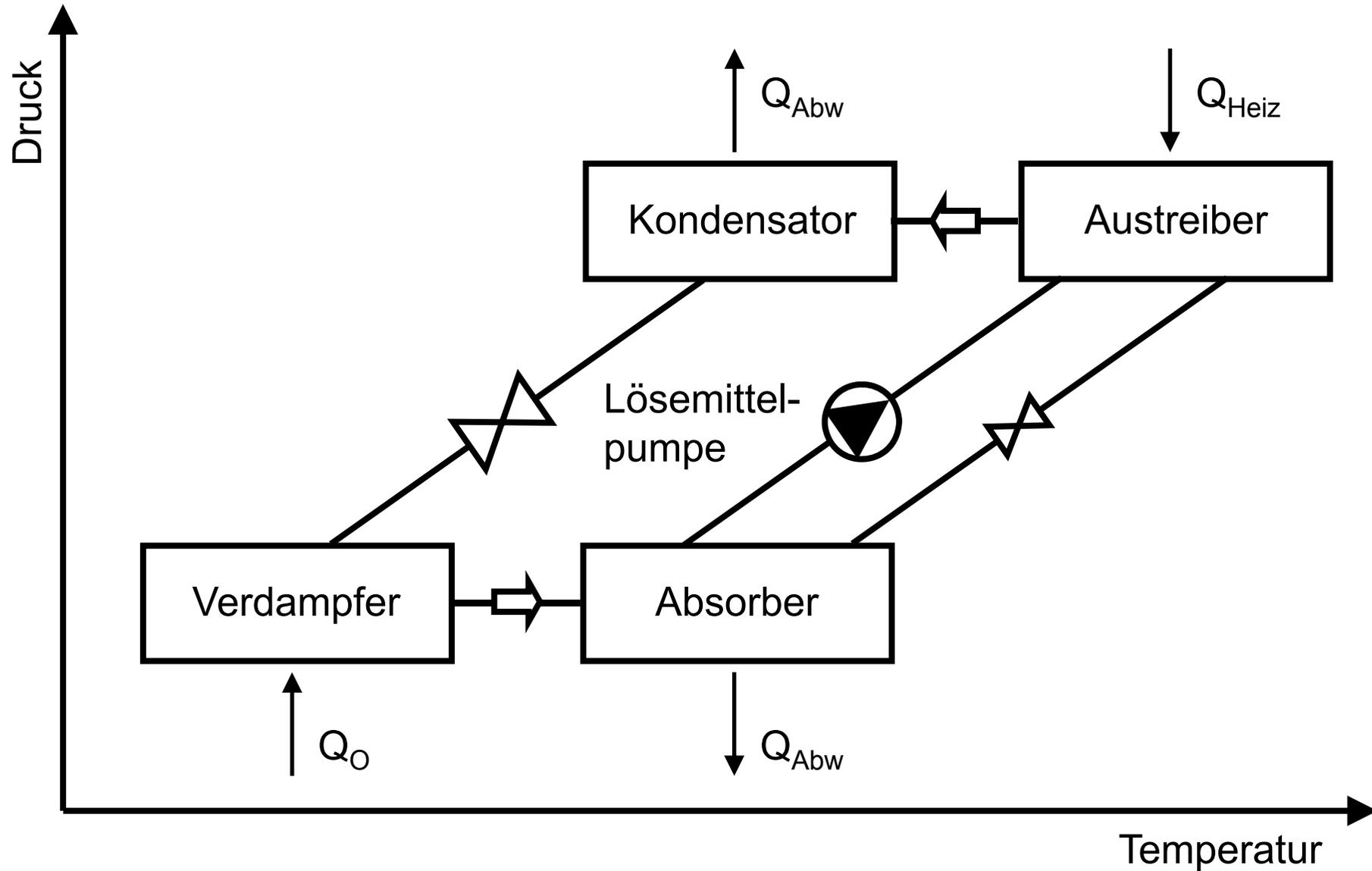
Zur Zeit nur im großtechnischen Maßstab genutzt mit den Zweistoffgemischen $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ und $\text{H}_2\text{O-LiBr}$. Außer der Wärmequelle bei niedrigerer Temperatur wird zur thermischen Verdichtung eine Antriebs-Wärmequelle von ca. 90 °C benötigt. Möglicher Temperaturhub 30 bis 50 K.

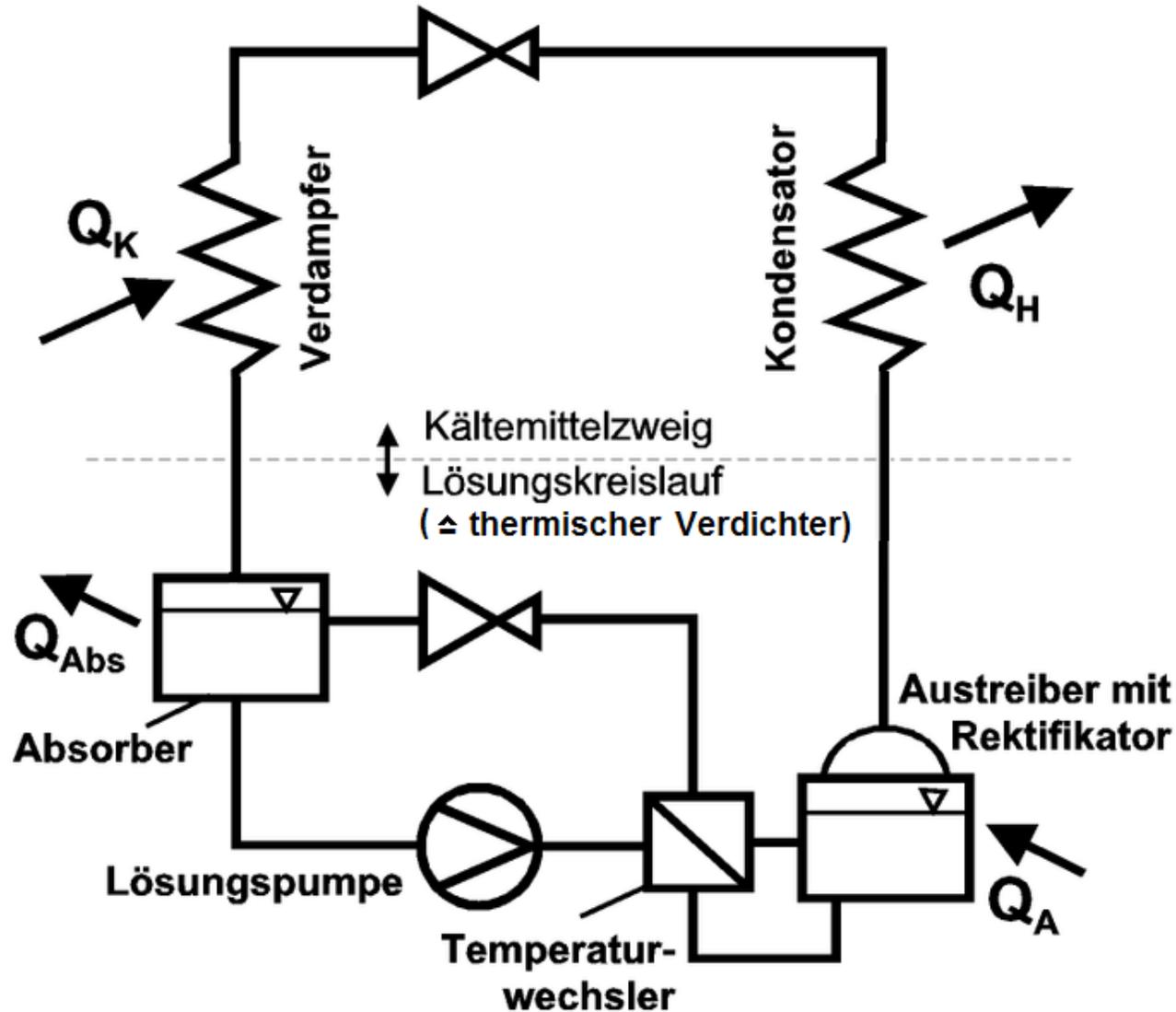
Einsatz nur sinnvoll, wenn Abwärme mit höherem Wärmepotential zur Verfügung steht und gleichzeitig eine höhere Wärmemenge auf mittlerem Temperaturniveau benötigt wird. Als Wärmequelle wird dabei die Fortluft mit niedrigerer Temperatur genutzt. Zusätzliche elektrische Antriebsleistung für die Losungspumpe erforderlich

Absorptionswärmepumpe

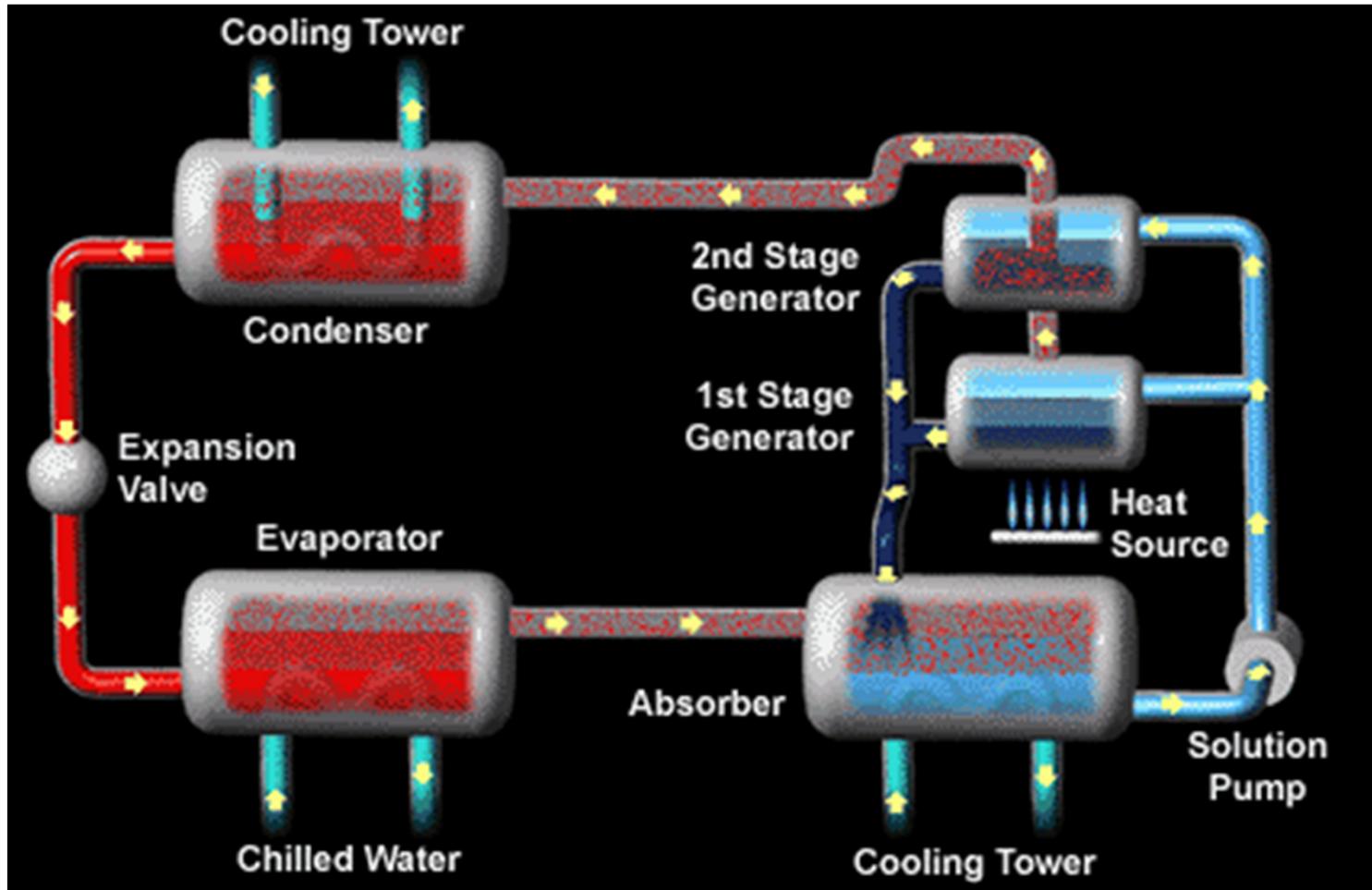


Absorptionswärmepumpe





Wärmepumpe



Quelle San Diego State University

Wärmepumpe



HOCHSCHULE TRIER
Umwelt-Campus Birkenfeld

Lithiumbromid

Neben dem Stoffpaar Ammoniak/Wasser ist auch Lithiumbromid/Wasser gebräuchlich, wobei hier allerdings Wasser das Kältemittel ist. Dadurch ist auch die niedrigste Kaltwasseraustrittstemperatur auf ca. 5 °C begrenzt. Absorptionskälteanlagen mit der Stoffkombination werden daher in der Regel im Klima-bereich eingesetzt. Die Eintrittstemperatur des Heizmediums (Heißwasser, Wasserdampf) für den Austreiber kann zwischen 80 °C und 180 °C liegen. Die Anlagen werden daher oft eingesetzt, wenn Abwärme im Bereich von 80 – 120 °C oder auch solar erzeugte Wärme zur Verfügung steht. Neben den indirekt mit Heißwasser oder Dampf beheizten Austreibern werden auch direkt mit Öl oder Gas beheizte LiBr-Absorptionskälteanlagen (kurz AKM) angeboten.

Lithiumbromid

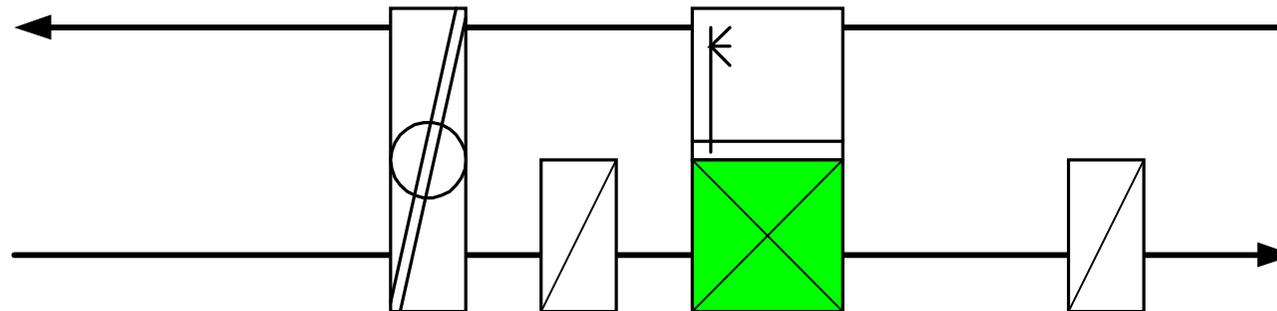
Das Wärmeverhältnis ζ liegt bei einstufigen AKM bei Nennbedingungen (Heiztemperatur: 120 °C; Kühlwassertemperatur: 29 °C) zwischen 0,6 und 0,7. Bei 2-stufigen AKM liegt es zwischen 1,0 bis 1,3.

Der Vorteil der LiBr-Absorptionskälteanlagen ist die niedrige Austreibertemperatur und die Unbedenklichkeit der Verwendung von Wasser als Kältemittel, vor allem im Wohnbereich. Da die Kälteerzeugung im Unterdruckbereich stattfindet, ist ein Zerbersten durch Überdruck ausgeschlossen, wenn die Beheizung abgesichert ist.

Desiccant evaporative cooling

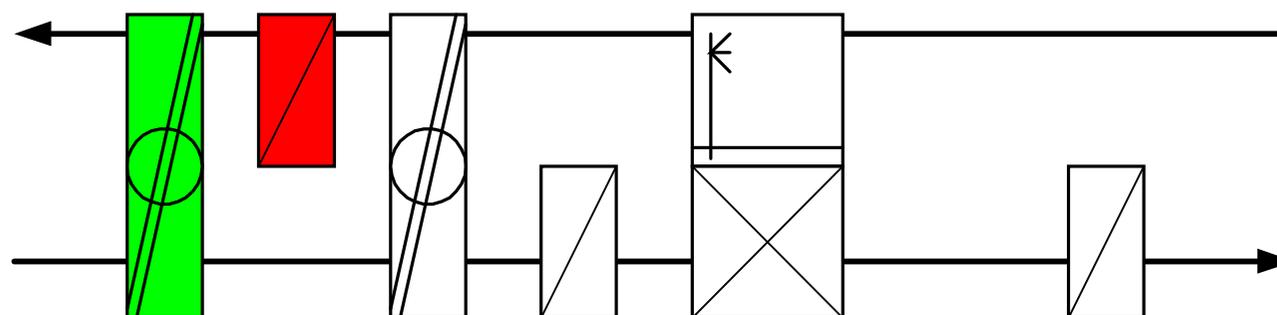
Bei DEC-Anlagen handelt es sich um thermische Kältemaschinen zur Raumklimatisierung ähnlich Absorptions- und Adsorptionskältemaschinen. Im Gegensatz zu diesen sind DEC-Anlagen jedoch offene Systeme, die in einer Kombination aus Verdunstungskühlung und Luftfeuchtigkeitsentzug unmittelbar klimatisierte Luft erzeugen.

Konventionelle RLT-Anlage



Kühlen und Entfeuchten

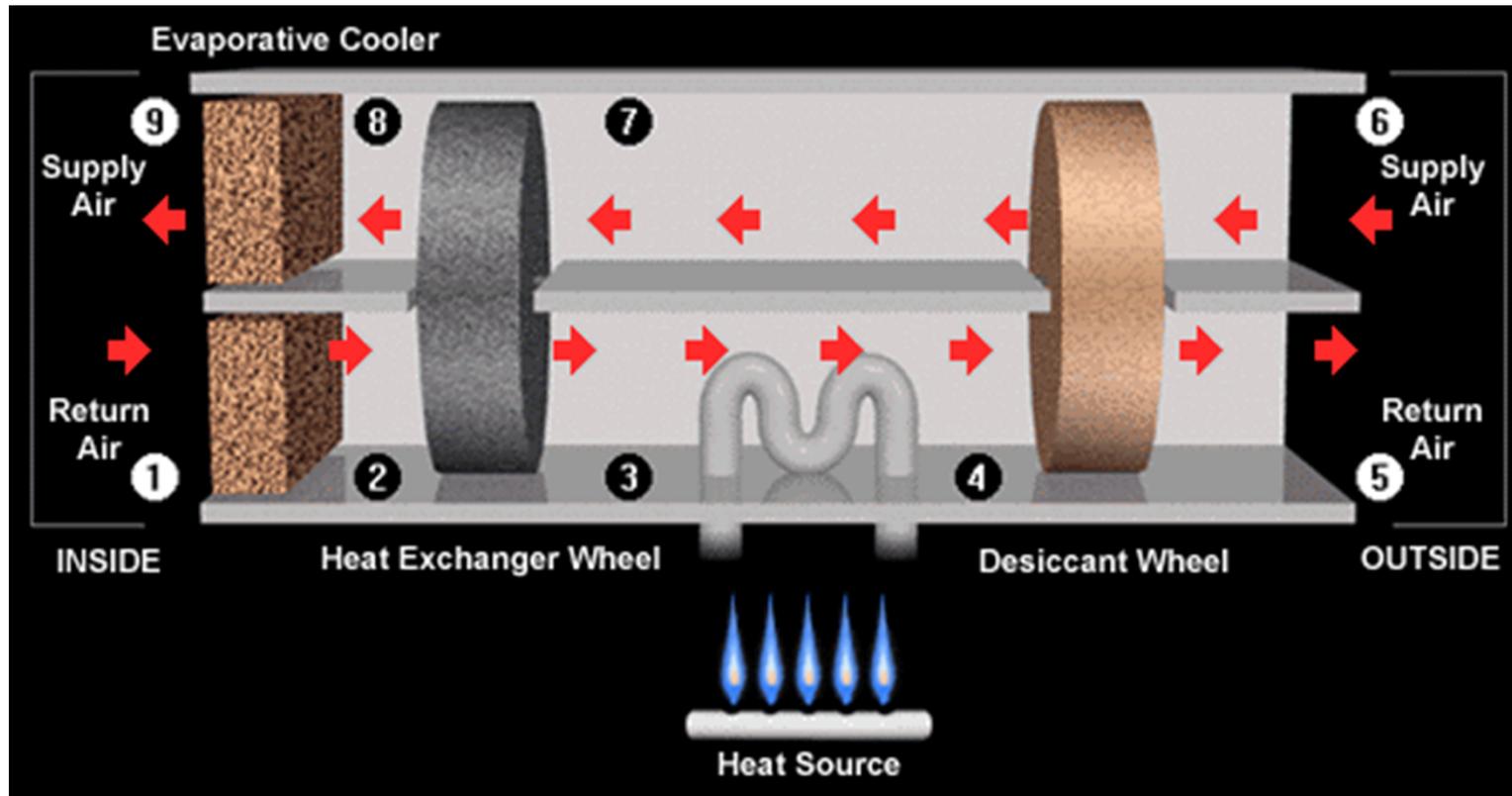
SGK-Anlage



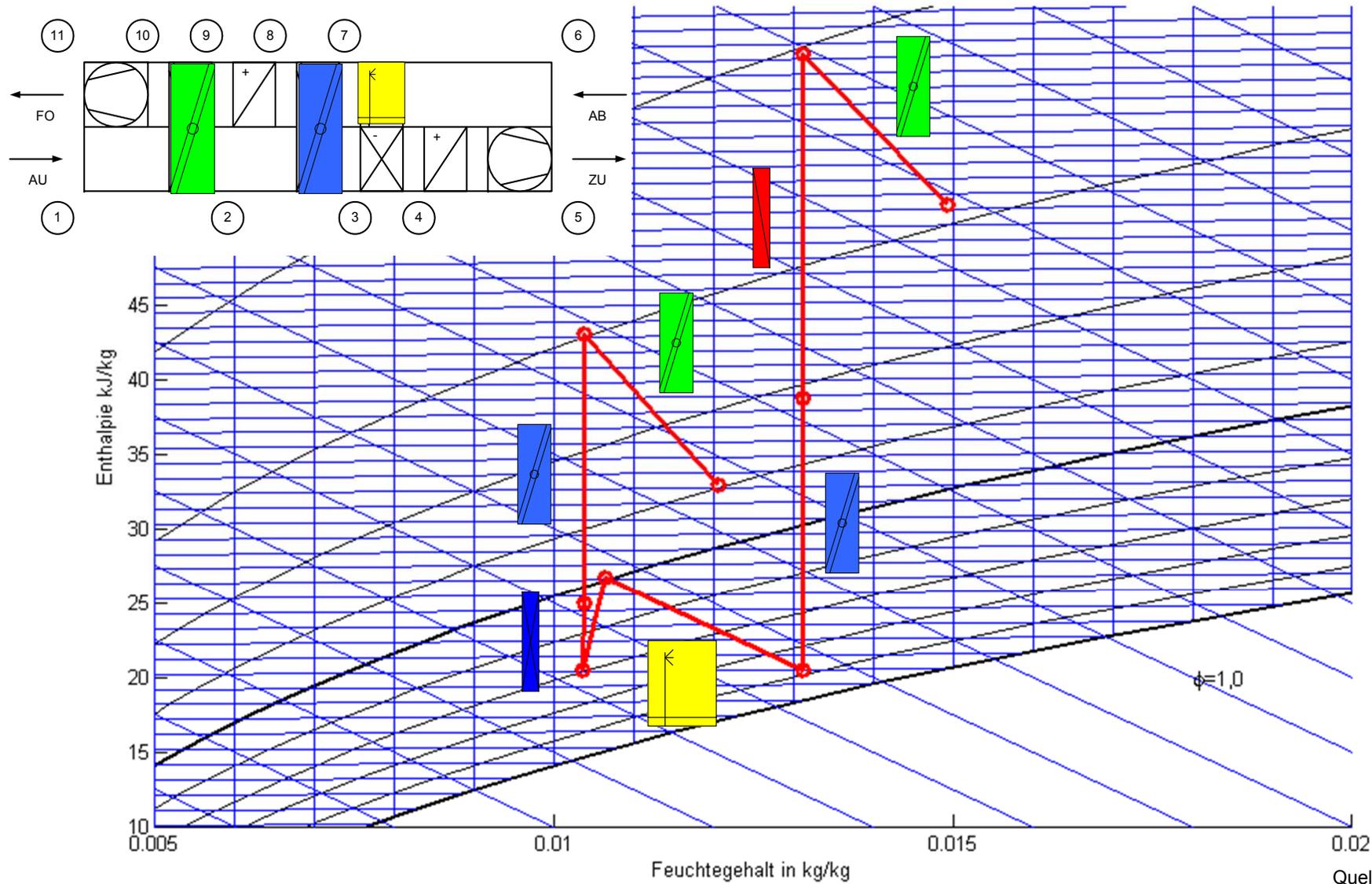
Entfeuchten

Kühlen

Quelle ILK

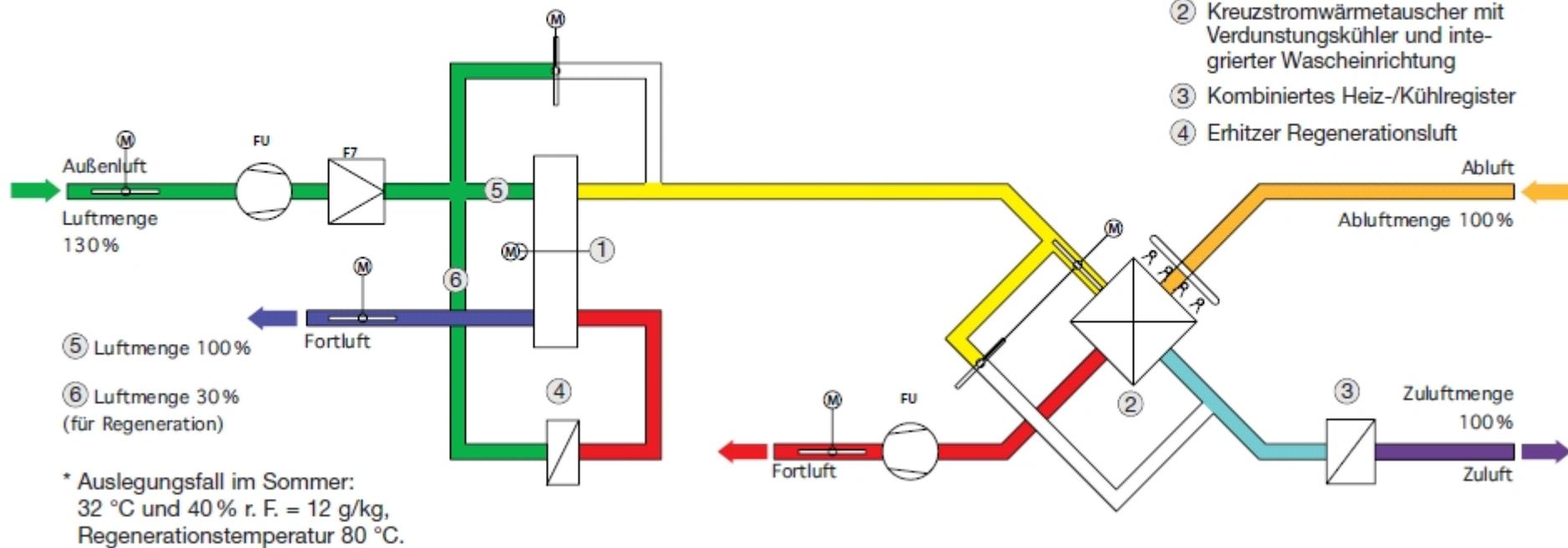


Quelle San Diego State University



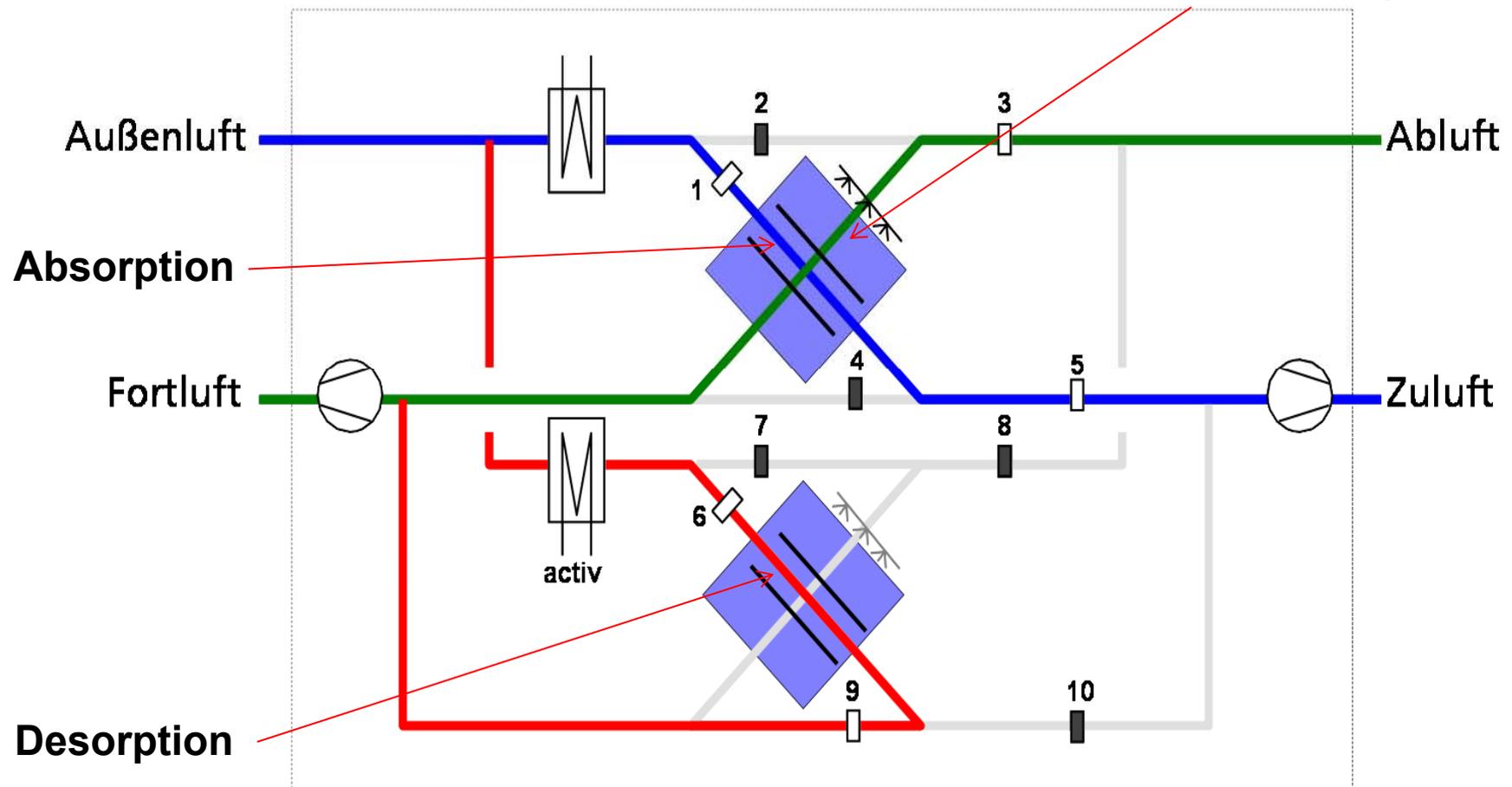
Quelle ILK

POPcool im Sommerbetrieb bei voller Entfeuchtungsleistung

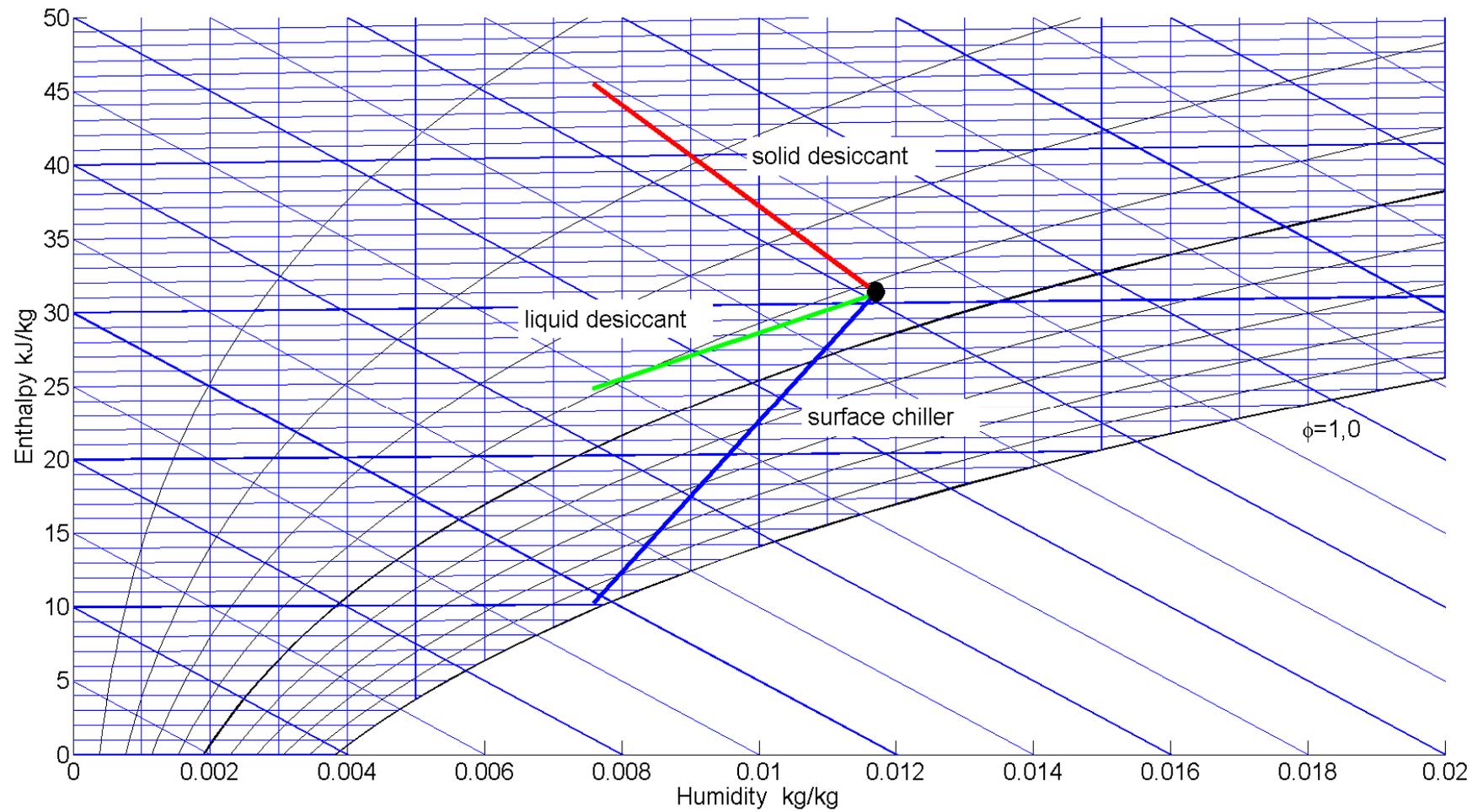


Evaporatively Cooled Sorptive Heat Exchanger

Befeuchtungskühlung

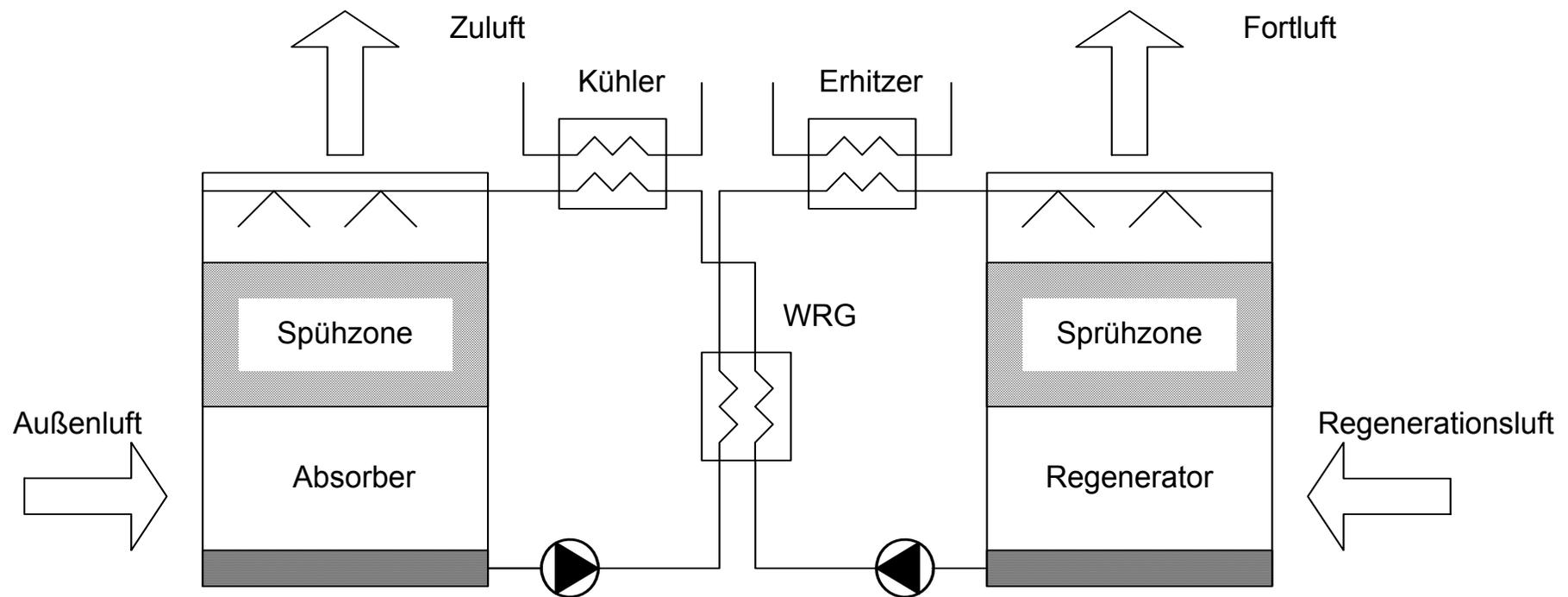


Wärmepumpe



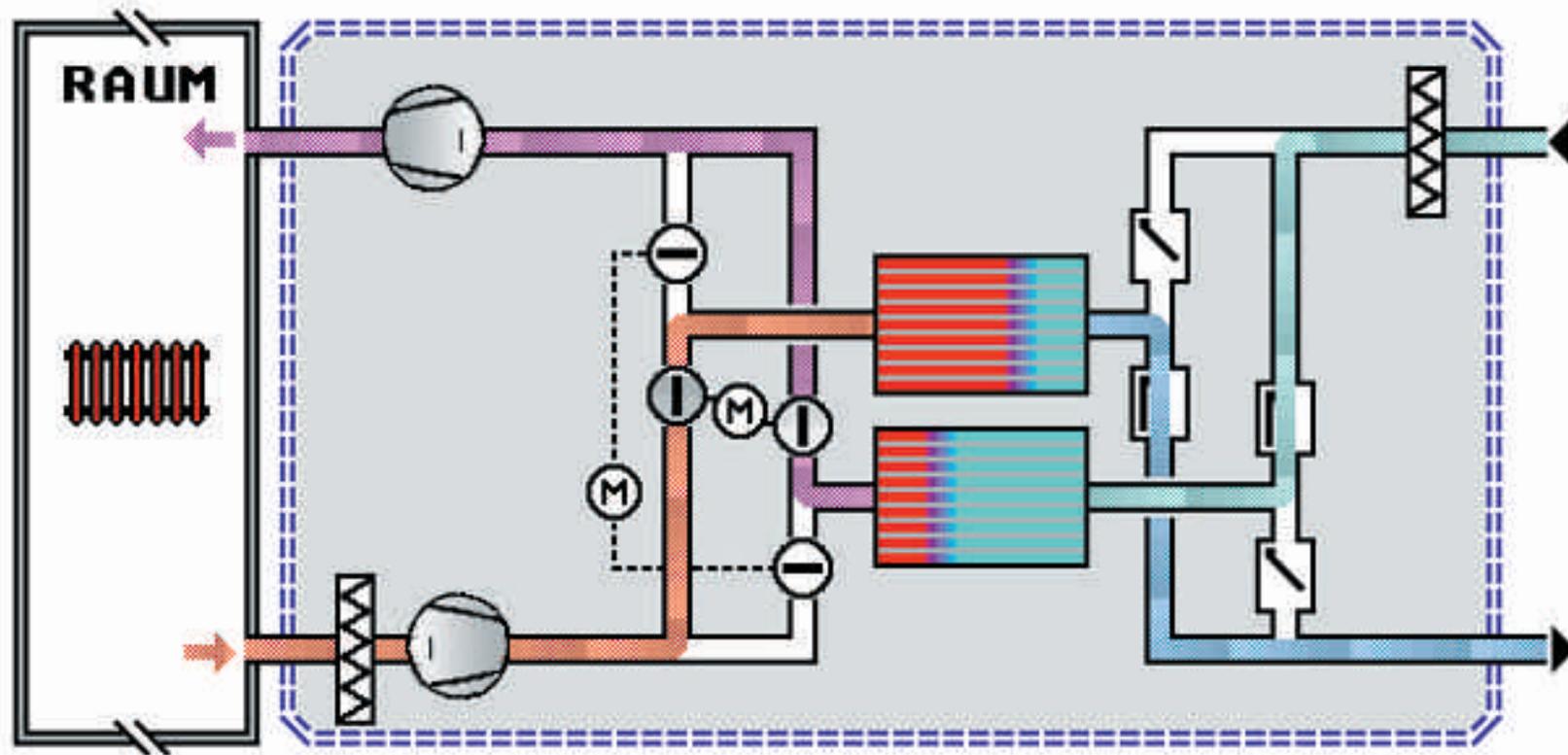
Quelle ILK

Flüssige Sorption



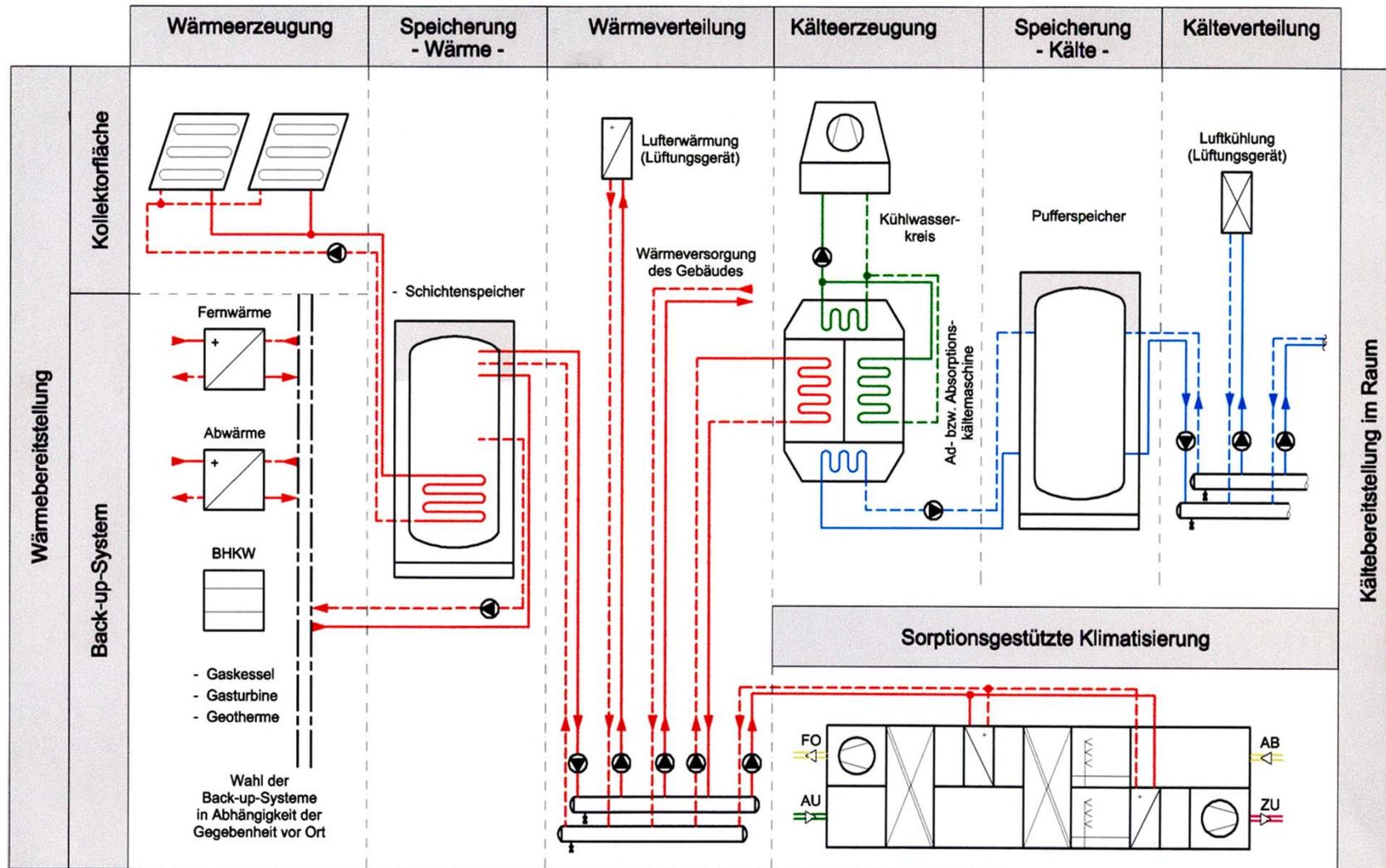
Quelle ILK

Flüssige Sorption



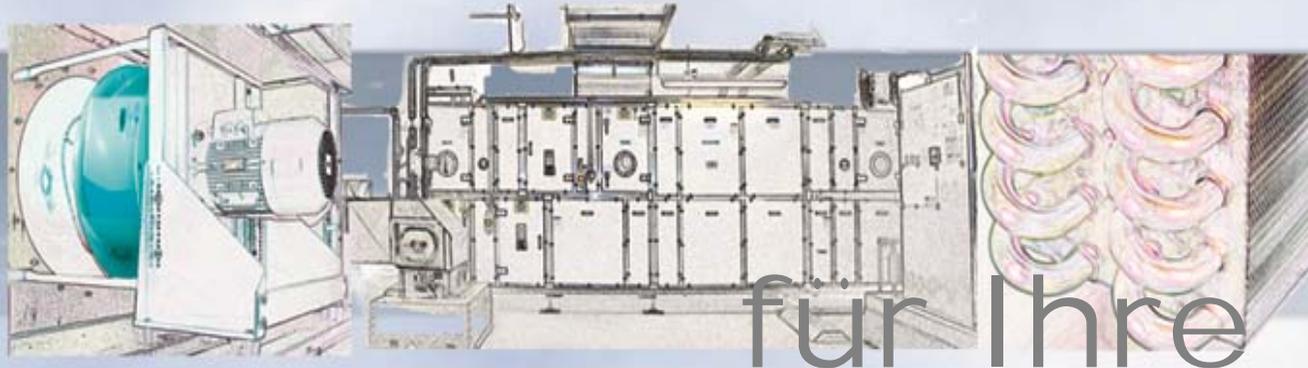
Quelle: Menerga.

Wärmepumpe



Quelle ILK

Herzlichen Dank



für Ihre
Aufmerksamkeit

Raumlufttechnik Wärmepumpe

Energierückgewinnung und Energieeffizienz-
technologien in der Lüftungstechnik

Prof. Dr.-Ing. **Christoph Kaup**

c.kaup@umwelt-campus.de

Dipl.-Ing. **Christian Backes**

backes@howatherm.de



HOCHSCHULE TRIER
Umwelt-Campus Birkenfeld

Umwelt macht Karriere.