



# Klimatechnik für Einsteiger

## - Teil 1 -



## Der Kursteilnehmer

- Kennt die **Ziele und Aufgaben der Klimatechnik für den IT-Betrieb** sowie die Temperaturspezifikationen für Rechnerräume nach ASHRAE
- Kennt das **Grundprinzip der Kompressionskälte** – Kreislauf des Kältemittels sowie Hauptbestandteile und deren Wirkung (Kompressor – Verflüssiger – Entspannung – Verdampfer)
- Kennt die **Funktionsweise und Unterschiede** von **Direktverdampfer- (DX-)** und **Kaltwasser- (CW-)** Systemen
- Kennt die **Funktion des Freikühlbetriebes** und dessen Auswirkung auf die **Energieeffizienz** der Klimatechnik
- Kennt die **Hauptkomponenten in der Kältetechnik** und deren **Zusammenwirken** in einem Klimakonzept

## Klimatechnik im Rechenzentrum (Teil 1 – 4)

- 1 Ziele und Aufgaben der Klimatechnik
- 2 Einführung & Grundlagen
- 3 Funktionsprinzip Kompressionskälte
- 4 Die wichtigsten Komponenten / Bestandteile / Systembauweisen
- 5 Klimakonzepte & Komponenten
- 6 Beispiele / Besonderheiten / Ausblick
- 7 Zusammenfassung
- 8 Key Takeaways
- 9 Anhang / Ergänzungen

## Klimatechnik im Rechenzentrum – Teil 1

1 Ziele und Aufgaben der Klimatechnik

2 Einführung & Grundlagen

3 Funktionsprinzip Kompressionskälte

4 Die wichtigsten Komponenten / Bestandteile / S

5 Klimakonzepte & Komponenten

6 Beispiele / Besonderheiten / Ausblick

7 Zusammenfassung

8 Key Takeaways

9 Anhang / Ergänzungen

### 1. Ziele und Aufgaben der Klimatechnik

### 2. Einführung

- a. Allgemein
- b. Physikalische & thermodynamische Grundlagen
- c. Medienvergleich & Wärmetauscher Wasser – Luft
- d. Spezifikationen nach ASHRAE
- e. h,x-Diagramm nach Mollier

### 3. Funktionsprinzip Kompressionskälte

- a. Kühltisch
- b. Kompressionskältemaschine

## Ziel: „Regelung der Umgebungsbedingungen“

- Ansaugtemperatur
- Relative Feuchte
- Filterung
- Luftwechsel

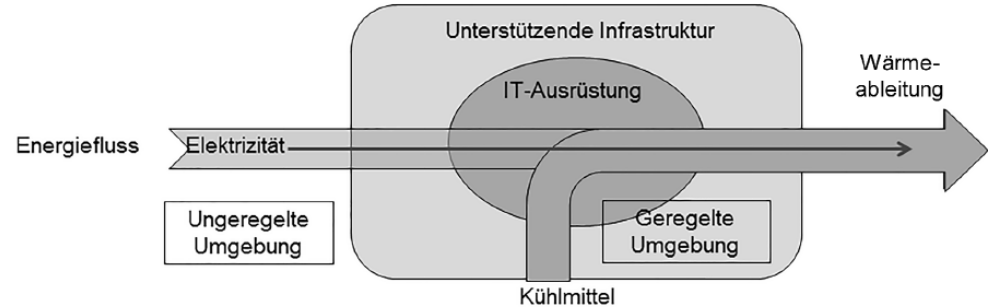
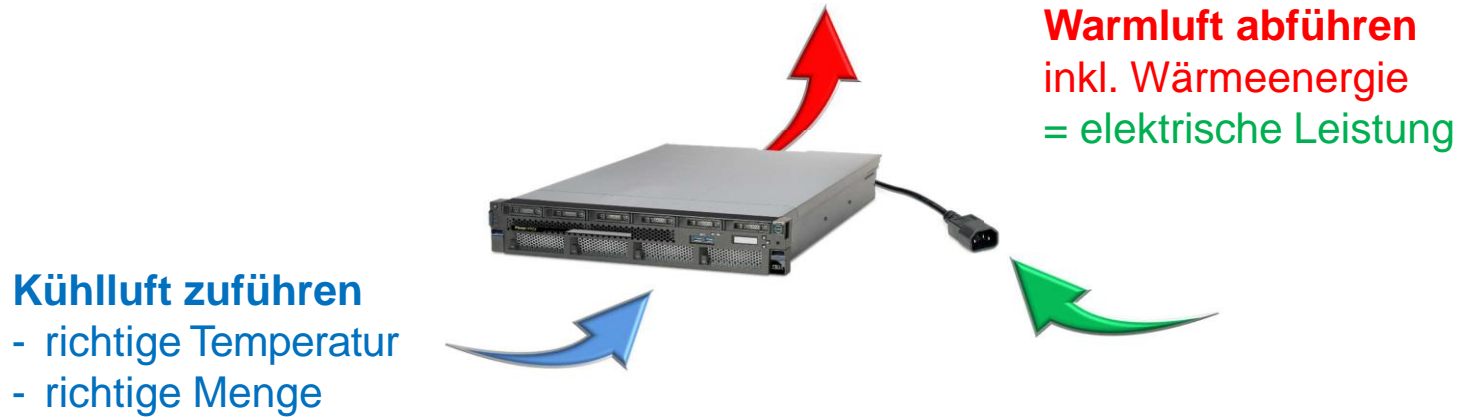


Bild 2 – Energieflussdarstellung der Regelung der Umgebungsbedingungen von Rechenzentrumsbereichen

Quelle: DIN EN 50600-2-3

- **Es müssen sehr große Luftmengen bewegt und sehr viel Wärme abgeführt werden!**
- **Verfügbarkeit der Umgebungsbedingungen wichtig! (Kontinuierlicher IT-Betrieb)**



**+ Regelung der Feuchte sowie Luftwechsel und Filterung.**

Im Rechenzentrum (IT-Hardware) wird die elektrische Energie/Leistung zu 100% in Wärmeenergie (i.d.R. „warme“ Luft) umgewandelt

## Was passiert eigentlich im White Space?

Thermodynamisch gesehen ist ein Server ein Heizlüfter







## Kein großes Problem?



- **PC (und Gamer)** vertragen höhere Temperaturen.
- Genügend Luft ist rundum verfügbar.
- Raumtemperatur in Gebäuden nicht allzu hoch:  
Fensterlüftung, Speicherfähigkeit, Klimatisierung
- Gamer sind oft nachtaktiv
- Leistungsaufnahme nur einige hundert Watt.
- Unempfindlich gegen Staub und Feuchte  
(vor allem mit SSD)





## 1. Hauptsatz der Thermodynamik

Robert Mayer (1814-1878)

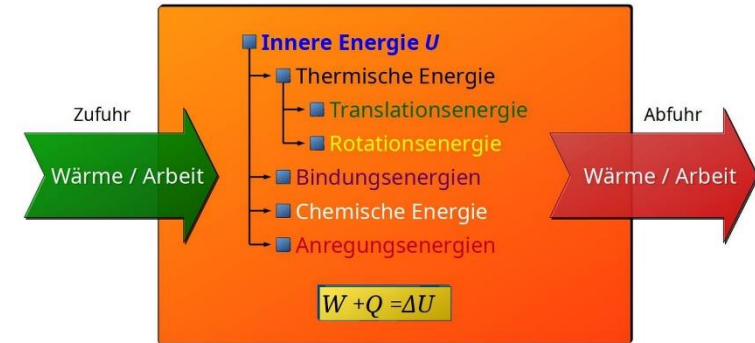
$$\text{Energie}_{\text{innere}} = W + Q$$

$W = W_{\text{pot}} + W_{\text{reib}} =$  vom oder am System verrichtete mechanische Arbeit

$Q =$  aufgenommene oder abgegebene Wärme

Er besagt:

- Jedes System besitzt eine innere Energie.
- Energie kann weder generiert / erzeugt noch vernichtet werden.
- Jede Energieform kann in eine andere umgewandelt werden.
- Die dabei entstehende Wärme ist für diesen Vorgang nicht mehr nutzbar.
- Dies begründet den Wirkungsgrad eines Systems und die Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile.



## Vereinfachte Berechnung:

$$Q = 1,21 \times \Delta T \times V$$

$Q$  = Kälteleistung in kW /  $1,21^*$  = Umrechnungsfaktor /  $\Delta T$  = Temperaturdifferenz /  $V$  = Luftstrom in  $\text{m}^3/\text{s}$

\*) für Höhe 0 m und  $20^\circ\text{C}$

## Anhaltswerte für 1 kW Wärme:

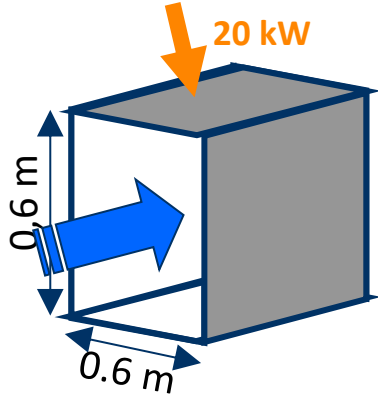
„Klassische“ Server  $\Delta T$  ca. 8 K  $\rightarrow$  ca.  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$  =  **$360 \text{ m}^3/\text{h}$**



Blade Server  $\Delta T$  ca. 16 K  $\rightarrow$  ca.  $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$  =  **$180 \text{ m}^3/\text{h}$**

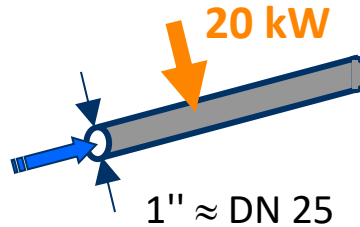


Wärmetransport durch Luft oder Flüssigkeit (Wasser, ähnlich auch für Kältemittel)



## Luft:

- $\Delta T = 10 \text{ K}$
- $V = 5.950 \text{ m}^3/\text{h} = 1,653 \text{ m}^3/\text{s}$
- $v = 5 \text{ m/s}$



## Wasser:

- $\Delta T = 6 \text{ K}$
- $V = 2,9 \text{ m}^3/\text{h} = 0,81 \text{ l/s}$
- $v = 2,1 \text{ m/s}$

Volumenstrom bei Luft ist sehr viel größer als bei Wasser; in dem u.g. Beispiel:

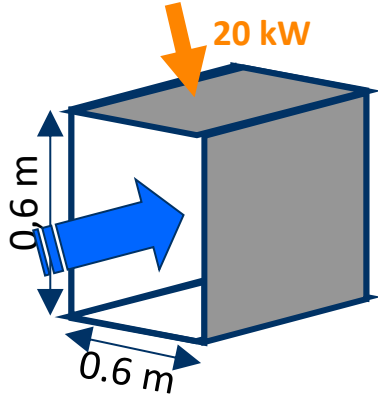
Beispiel:

→ ca. 2.050 mal

Größere Leistung, längere Strecken:

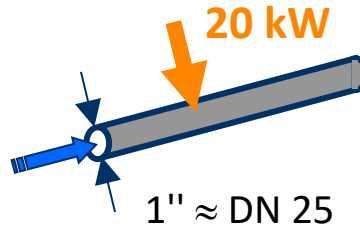
→ Flüssigkeit näher an Wärmequelle

Wärmetransport durch Luft oder Flüssigkeit (Wasser, ähnlich auch für Kältemittel)



**Luft:**

- $\Delta T = 10 \text{ K}$
- $V = 5.950 \text{ m}^3/\text{h} = 1,653 \text{ m}^3/\text{s}$
- $v = 5 \text{ m/s}$



**Wasser:**

- $\Delta T = 10 \text{ K}$
- $V = 1,72 \text{ m}^3/\text{h} = 0,478 \text{ l/s}$
- $v = 2,1 \text{ m/s}$

Volumenstrom bei Luft ist sehr viel größer als bei Wasser; in dem u.g. Beispiel:

Beispiel:

→ ca. **3.450** mal

Größere Leistung, längere Strecken:

→ Flüssigkeit näher an Wärmequelle

## Definition der spezifischen Wärmekapazität

Die spezifische Wärmekapazität eines Stoffes in einem bestimmten Zustand ist die Wärme, die einer Menge des Stoffes zugeführt oder entzogen wird, dividiert durch die zugehörige Erhöhung oder Absenkung der Temperatur und die Masse des Stoffes:

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T}$$

Dabei ist

- $\Delta Q$  die Wärme, die dem Stoff zugeführt oder entzogen wird,
- $m$  die Masse des Stoffes,
- $\Delta T = T_2 - T_1$  die Differenz von End- und Anfangstemperatur.

Die Einheit der spezifischen Wärmekapazität ist im Internationalen Einheitensystem (SI):

$$[c] = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

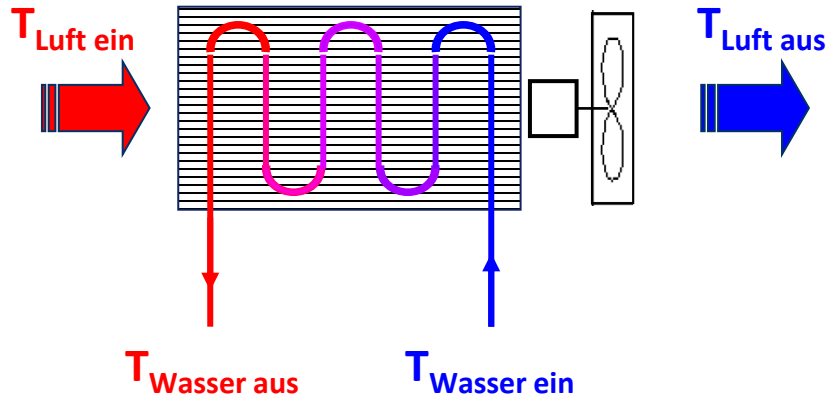
Quelle: Wikipedia

## Werte für ausgewählte Materialien [ Bearbeiten | Quelltext bearbeiten ]

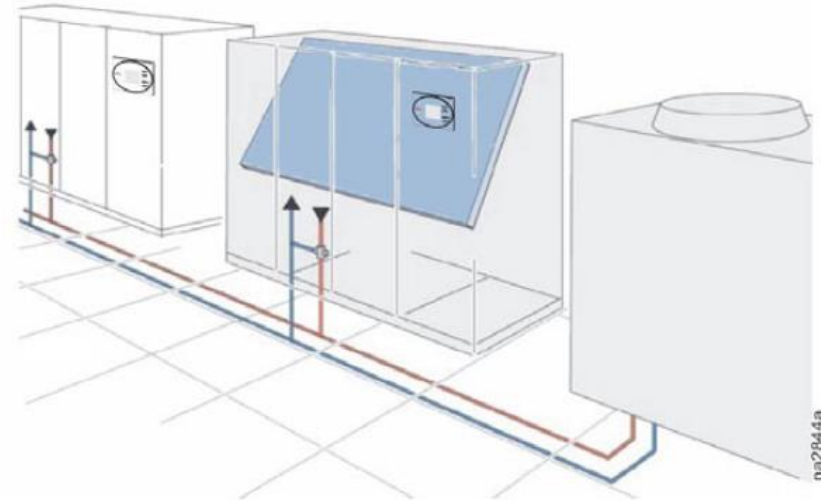
Material	c in kJ/(kg·K)
<b>Feststoffe bei Normalbedingungen</b>	
Eis (0 °C)	2,06 <sup>[2]</sup>
Holz	≈ 1,7
Gips	1,09
Aluminium	0,9
Glas	0,67–0,84
Eisen/ Gusseisen	0,452/ 0,55
Kupfer	0,382
Silber	0,235
Blei	0,129
<b>Flüssigkeiten bei Normalbedingungen</b>	
Wasser	4,18
Ethanol, Glycerin	2,43
Petroleum	2,14
Quecksilber	0,139

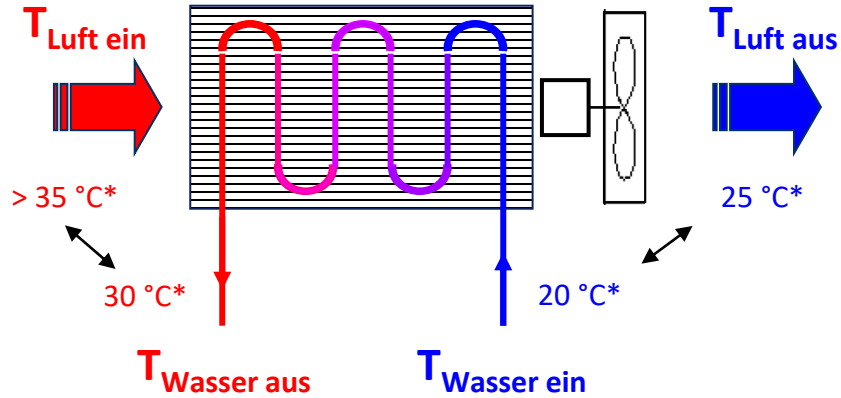
Material	c in kJ/(kg·K)
<b>Gase (<math>c_p</math>) bei Normalbedingungen</b>	
Wasserstoff	14,3
Helium	5,19
Methan	2,16
Wasserdampf (100 °C)	2,08
Butan	1,66
Luft (trocken)	1,01
Kohlenstoffdioxid	0,846
Argon	0,523
<b>Baustoffe bei Normalbedingungen</b>	
Holzfaserdämmstoff, Zelluloseflocken	2,1
Polystyrol	1,4
Schamotte	≈ 1
Beton	0,88
Mineralfaserdämmstoff	0,8





Coil bzw. Register





Coil bzw. Register

\* Beispielwerte

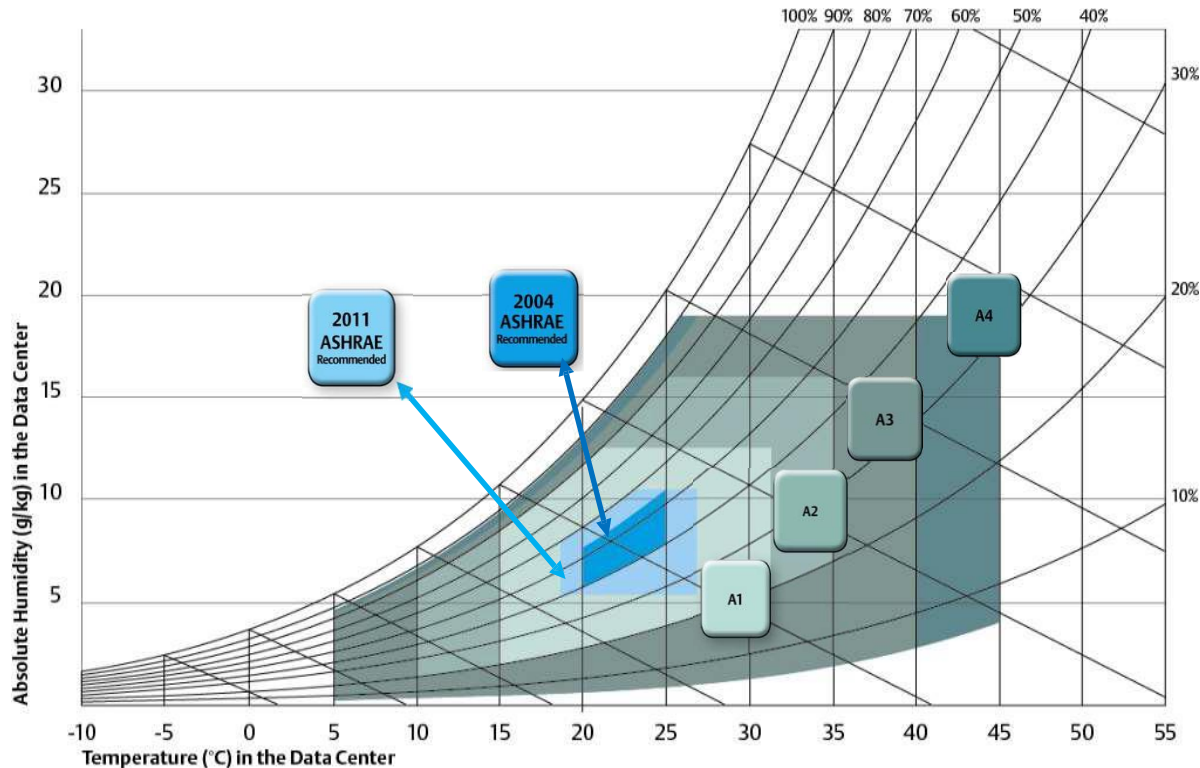
Dabei geht „Temperatur verloren“.

$T_{\text{Luft aus}}$  ca. 4 Kelvin\* höher als  $T_{\text{Wasser ein}}$

(grober Anhaltswert)

genauso auf der warmen Seite

\*mit größerem WT auch weniger



## Empfohlene (recommended) Spezifikation für Dauerbetrieb (A1) nach ASHRAE TC 9.9 2015/2016:

- Temperatur: **18 bis 27 °C**
- RH: -9 to 15°C DP and 60% RH

DP = dew point temperature = Taupunkttemperatur  
RH = relative humidity = relative Feuchte

## Zulässige/erlaubte (allowable) Spezifikation (A1) nach ASHRAE TC 9.9 2011:

- Temperatur: **15 bis 32 °C**
- -12°C & 8% RH to 17°C and 80% RH

ASHRAE = American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

**Table 2** ASHRAE 2015 Thermal Guidelines [1]

## ASHRAE TC9.9

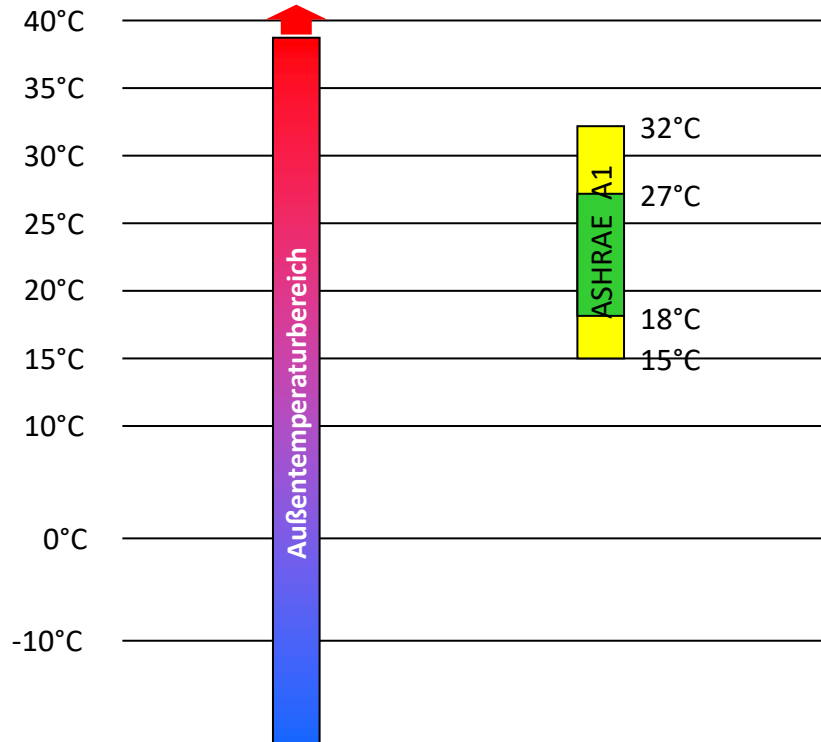
Class <sup>a</sup>	Equipment Environmental Specifications for Air Cooling						
	Product Operations <sup>b,c</sup>					Product Power Off <sup>c,d</sup>	
	Dry-Bulb Temperature <sup>e,g</sup> °C	Humidity Range, Non-Condensing <sup>h,i,k,l</sup>	Maximum Dew Point <sup>k</sup> °C	Maximum Elevation <sup>e,j,m</sup> m	Maximum Temperature Change <sup>f</sup> in an Hour (°C)	Dry-Bulb Temperature °C	Relative Humidity <sup>k</sup> %
<b>Recommended</b> (Suitable for all 4 classes)							
A1 to A4	18 to 27	-9°C DP to 15°C DP and 60% RH					
<b>Allowable</b>							
A1	15 to 32	-12°C DP & 8% RH to 17°C DP and 80% RH <sup>k</sup>	17	3050	5/20	5 to 45	8 to 80
A2	10 to 35	-12°C DP & 8% RH to 21°C DP and 80% RH <sup>k</sup>	21	3050	5/20	5 to 45	8 to 80
A3	5 to 40	-12°C DP & 8% RH to 24°C DP and 85% RH <sup>k</sup>	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 80
A4	5 to 45	-12°C DP & 8% RH to 24°C DP and 90% RH <sup>k</sup>	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 80
B	5 to 35	8% to 28°C DP and 80% RH <sup>k</sup>	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80
C	5 to 40	8% to 28°C DP and 80% RH <sup>k</sup>	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80

## Data Center Power Equipment Thermal Guidelines and Best Practices

Whitepaper created by ASHRAE Technical Committee (TC) 9.9 Mission Critical Facilities, Data Centers, Technology Spaces, and Electronic Equipment  
© ASHRAE 2016

<https://tpc.ashrae.org/FileDownload?idx=c81e88e4-998d-426d-ad24-bdedfb746178>

## Die richtige Ansaugtemperatur festlegen:



Fenster auf reicht nicht!

Erreichbar mit adiabater Kühlung

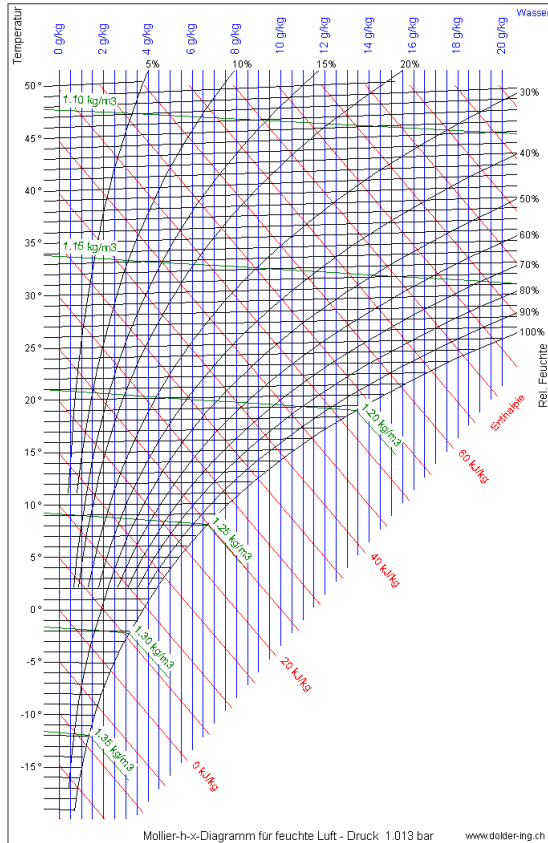
Darunter nur erreichbar mit

„mechanischer Kühlung“  
= Kältemaschine

oder Grund- / Frischwasserkühlung.

## Fakten zur Ansaugtemperatur

- Nach ASHRAE vertragen IT Geräte auf Dauer 27°C, zeitweise ohne Leistungseinbuße mindestens 32°C (Klasse A1)
- Höhere Ansaugtemperatur führt (meist) zu besserer Energieeffizienz
  - größere Zeitanteile für Freikühlung
  - oberhalb von ca. 30°C Verzicht auf mechanische Kühlung
  - höherer Wirkungsgrad von Kältemaschinen
  - aber: Leistungsaufnahme der Serverlüfter beachten!
- „Sicherheitsabstand“ für Temperaturanstieg bei Ausfall der Kühlung einhalten, abhängig vom eingesetzten IT-Equipment

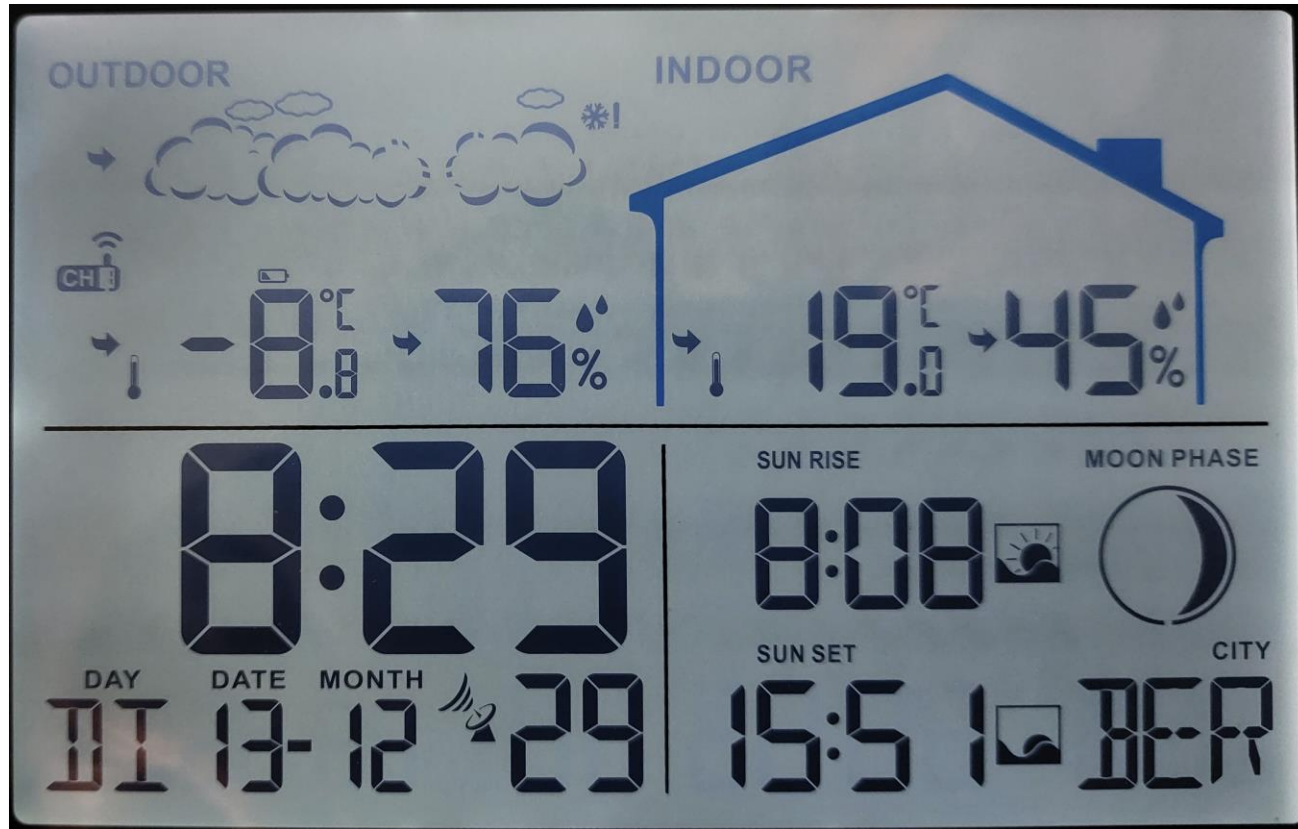


**Das Mollier-h,x-Diagramm** (früher i-x-Diagramm), Enthalpie-Wasserbeladungs-Diagramm, **ermöglicht es, Zustandsänderungen feuchter Luft durch Erwärmung, Befeuchtung, Entfeuchtung, Kühlung und Mischung verschiedener Luftmengen zu beschreiben.**

Es gilt für einen bestimmten Luftdruck  $p$  (in der Regel für den atmosphärischen Luftdruck, z. B. 100 kPa), also für **isobare Zustandsänderungen**.

Die Größen **Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Enthalpie und Dichte** können unmittelbar abgelesen werden.

Zustandsänderungen können auf **grafischem Wege** ermittelt werden. Das Diagramm wurde 1923 von Richard Mollier vorgeschlagen.



## Innen

- $19^{\circ}\text{C}$
- 45% rel. Feuchte

## Außen

- $-8,8^{\circ}\text{C}$
- 76% rel. Feuchte



# h,x-Diagramm nach Mollier

## Innen

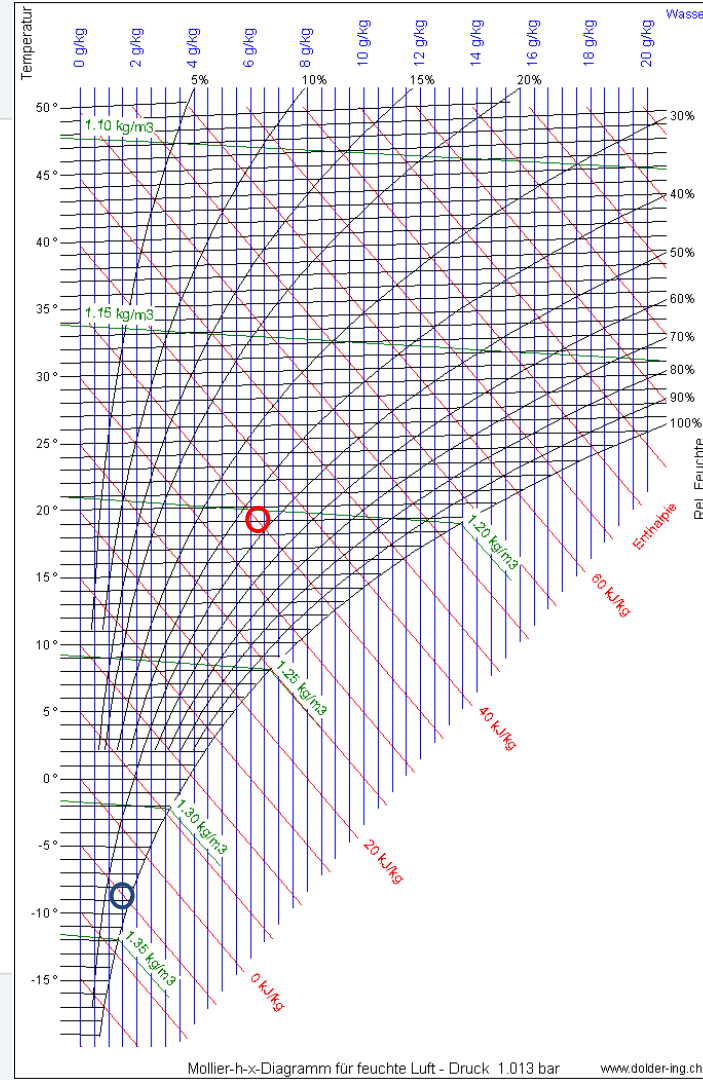
- 19°C
- 45% rel. Feuchte

=> ca. 6 g Wasser / kg Luft

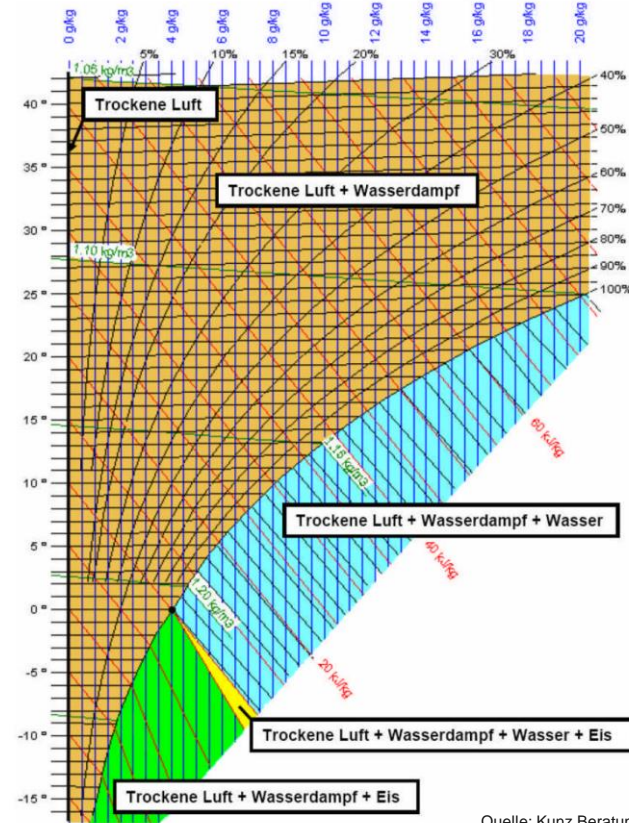
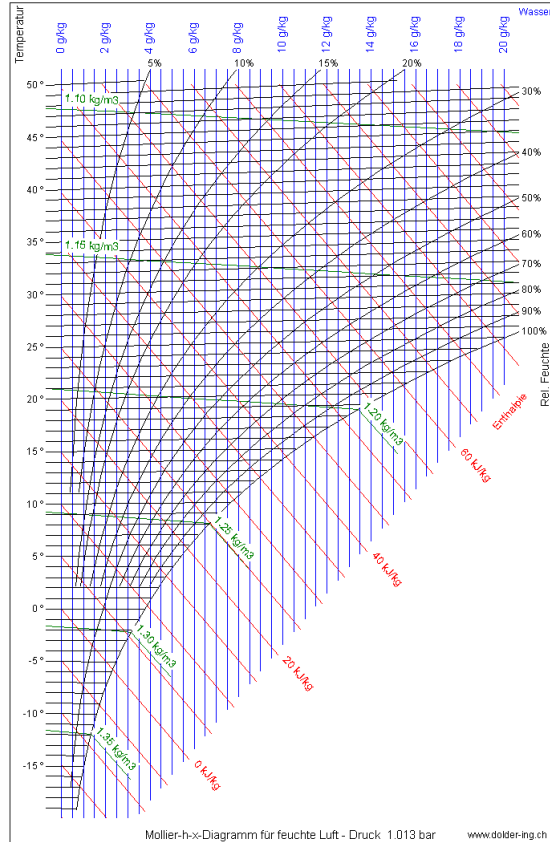
## Außen

- - 8,8°C
- 76% rel. Feuchte

=> ca. 1,5 g Wasser / kg Luft



# h,x-Diagramm nach Mollier





<https://www.youtube.com/watch?v=FegN6rscBbw>

# Den hat jeder zu Hause – Kompressor-Prinzip Kühlschrank

Beim Betrieb eines Kompressor-Kühlschranks nutzt man **zwei physikalische Phänomene** aus:

- 1) Zum Verdampfen einer Flüssigkeit ist Energie notwendig.
- 2) Die Kondensations- bzw. Siedetemperatur einer Flüssigkeit steigt mit dem Druck.

Kältemittel meist **R600a = Isobutan**  $C_4H_{10}$   
Siedepunkt bei 1.013 hPa: **-11,73 °C**  
GWP-Wert von R600a: 3

## 1. Kompressor

Mit dem **Kompressor** wird der Druck des **gasförmigen Kältemittels** auf ca. **8 bar** erhöht. Dadurch steigt die Siede- bzw. Kondensationstemperatur des Kältemittels auf Zimmertemperatur.

## 2. Verflüssiger

Das unter hohem Druck stehende gasförmige Kältemittel gibt im Rohrsystem des **Kondensators (Verflüssiger)** an die umgebende Zimmerluft Energie ab, das **Kältemittel wird flüssig**. Die dabei freiwerdende Kondensationswärme wird ebenfalls an die Umgebung abgegeben ( $Q_{ab}$ ).

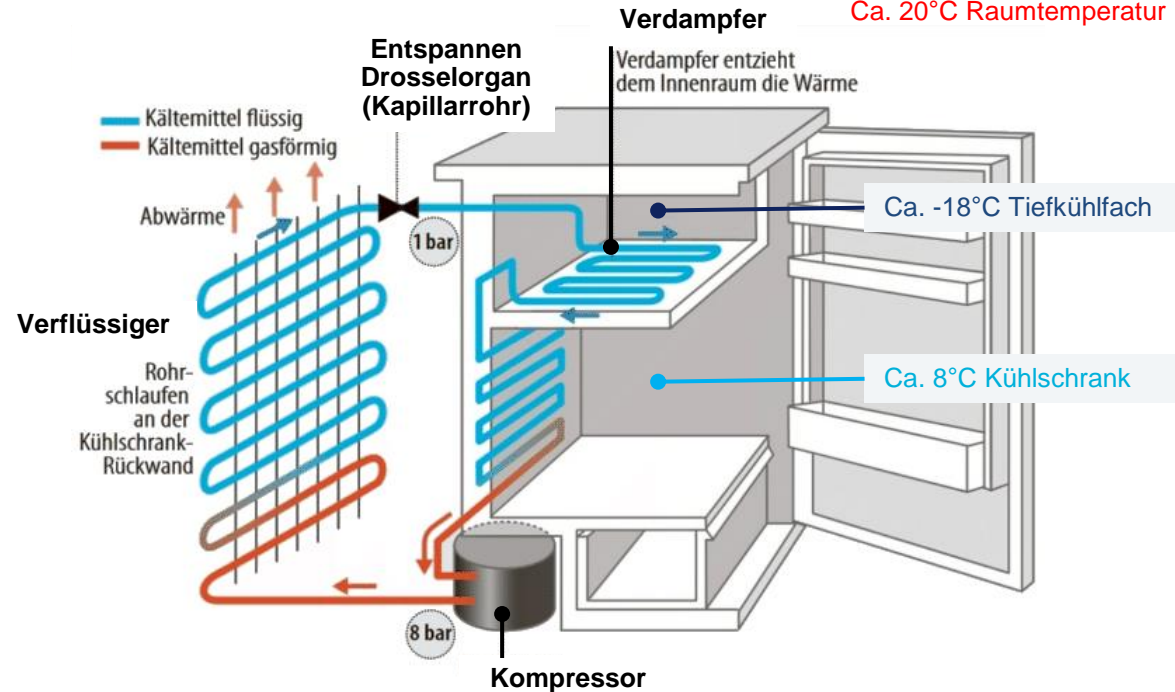
## 3. Entspannung

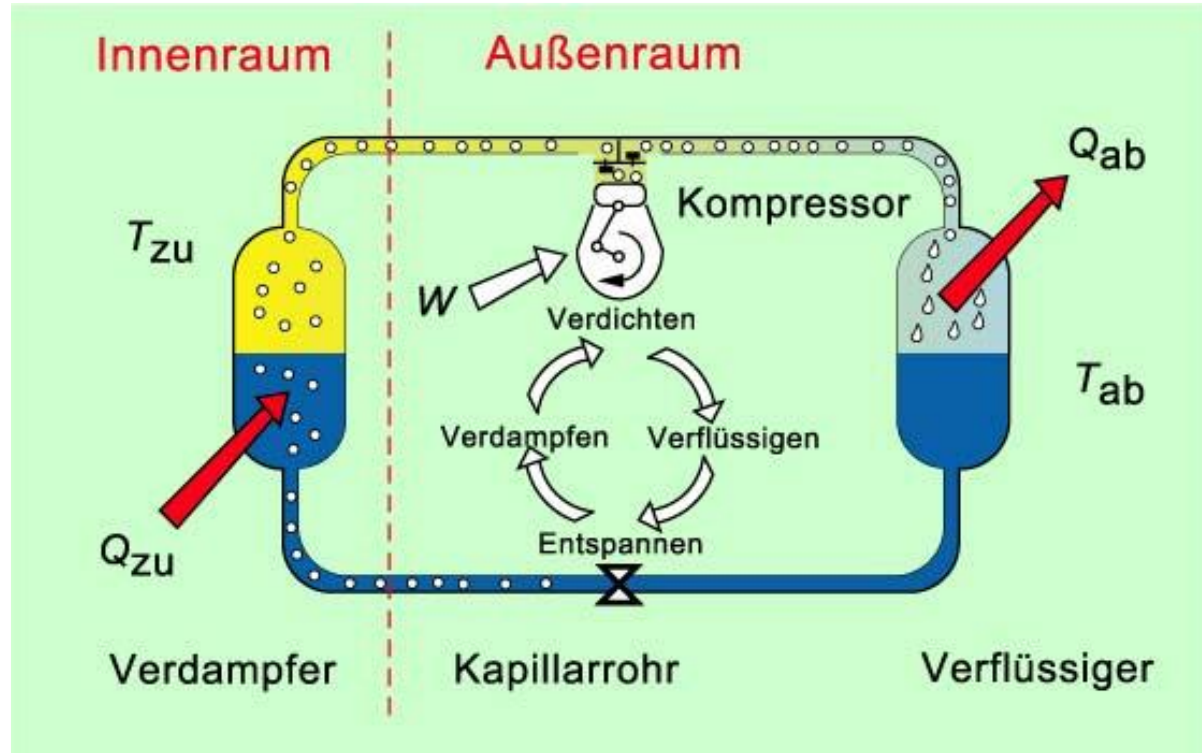
Durch ein Reduzierventil (Drossel) wird nun der Druck des flüssigen Kältemittels soweit reduziert (auf ca. **1 bar**), dass die Siedetemperatur wieder **-30°C**

## 4. Verdampfer

Dieses Kältemittel gelangt in flüssiger Form bei ca. 1 bar in den Kühlschrank.

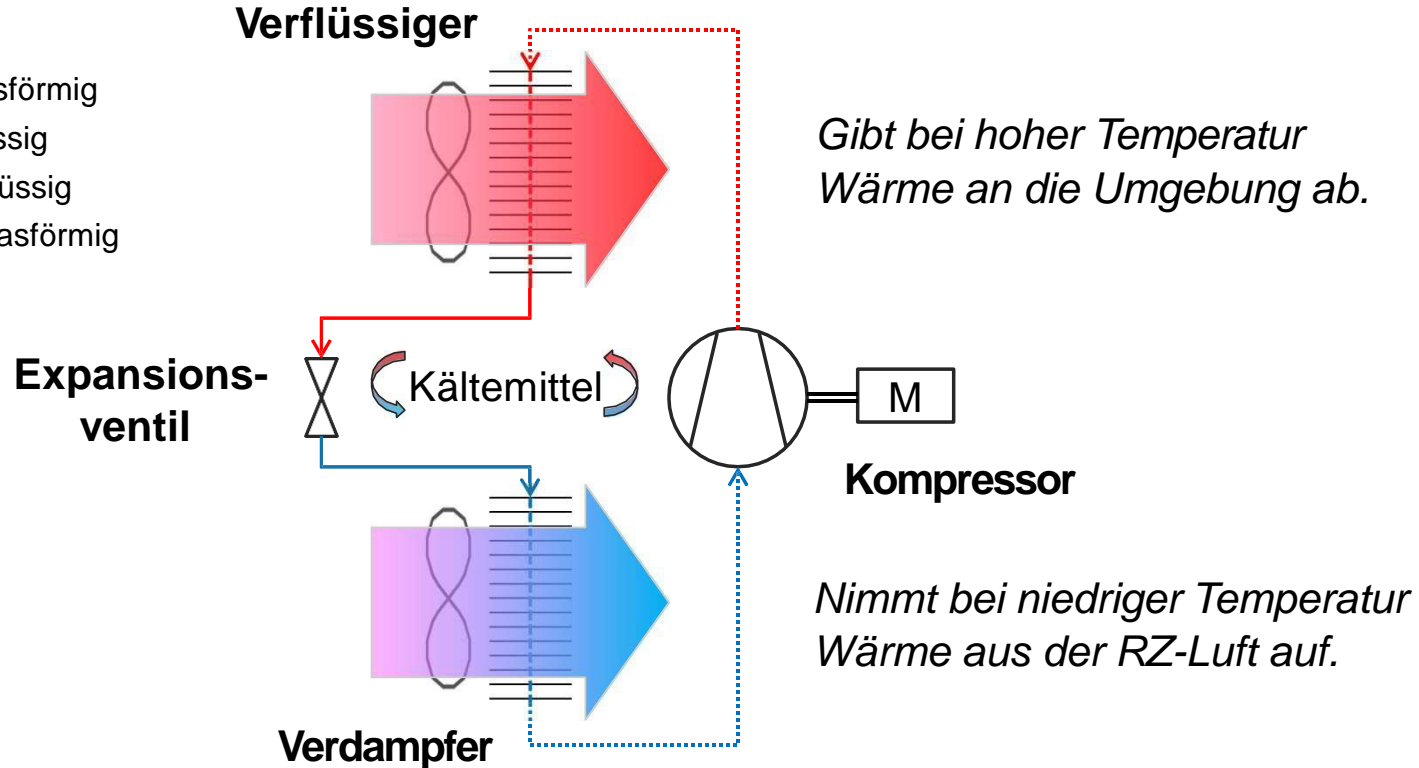
Da es im Kühlschrank wärmer als -12°C bzw. -30°C ist, **verdampft das Kältemittel** im sogenannten Verdampfer. Die dazu notwendige **Verdampfungsenergie** wird den im Schrank befindlichen Lebensmitteln **entzogen** ( $Q_{zu}$ ).





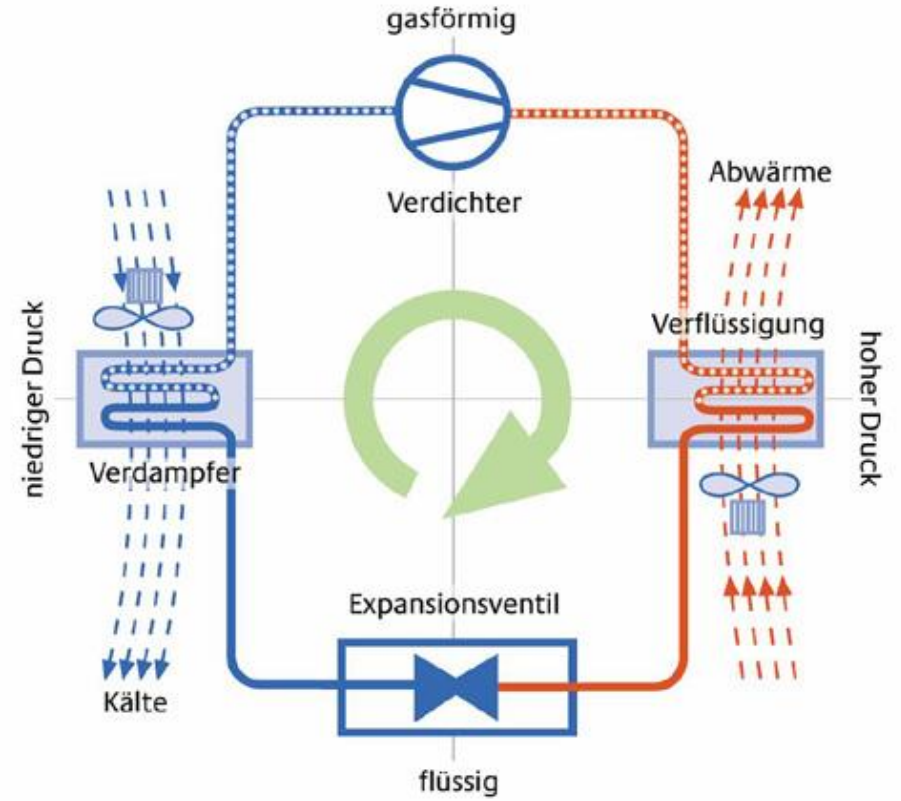
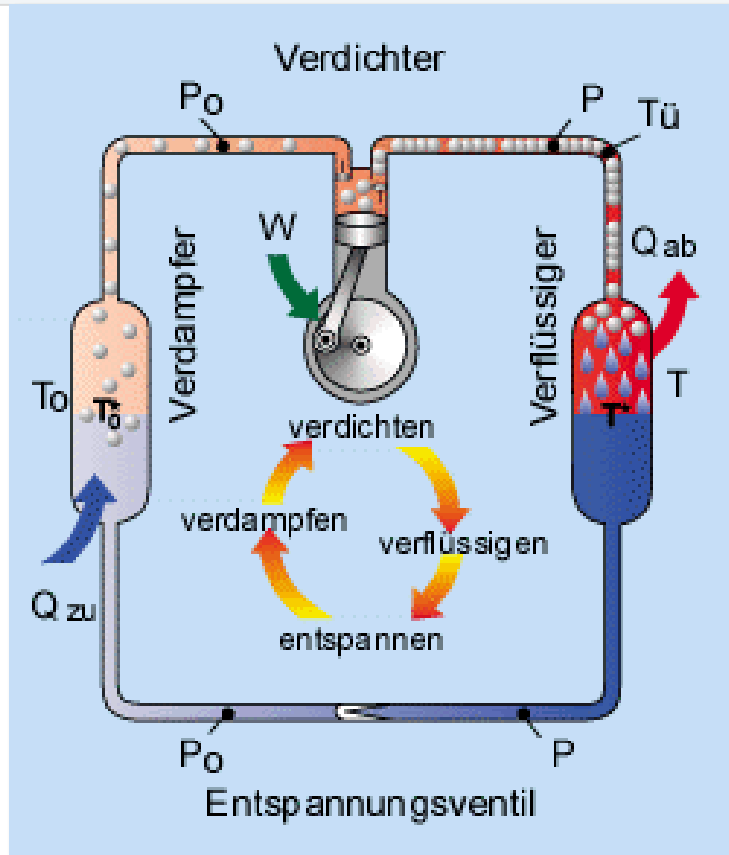
## Zustand des Kältemittels:

- ..... hoher Druck, heiß, gasförmig
- hoher Druck, heiß, flüssig
- geringer Druck, kalt, flüssig
- ..... geringer Druck, kalt, gasförmig





# Funktionsschema Kompressionskältemaschine





# Klimatechnik für Einsteiger

## - Teil 2 -





## Klimatechnik im Rechenzentrum – Teil 2

1 Ziele und Aufgaben der Klimatechnik

2 Einführung & Grundlagen

3 Funktionsprinzip Kompressionskälte

4 Die wichtigsten Komponenten / Bestandteile / Systembauweisen

5 Klimakonzepte & Komponenten

6 Beispiele / Besonderheiten / Ausblick

7 Zusammenfassung

8 Key Takeaways

9 Anhang / Ergänzungen

### 4. Die wichtigsten Komponenten / Bestandteile / Systembauweisen

- a. Übersicht
- b. Kompressor-Typen
- c. Systembauweise Direktverdampfer (DX)
- d. Systembauweise Kaltwassersatz (CW) mit/ohne Freikühlung
- e. EC-Ventilatoren
- f. Freikühlung
- g. Kältemittel

Zur Regelung der Umgebungsbedingungen notwendige Komponenten/Bestandteile:

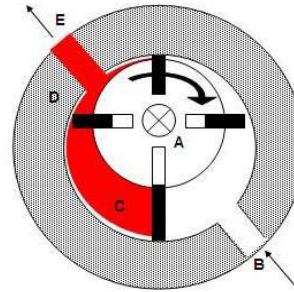
- Ventilatoren
- Kompressoren
- Wärmetauscher
- Ventile / Armaturen
- Pumpen
- Kältemittel, Wasser, Luft
- Heizungen / Befeuchter
- Filter / Aufbereitung
- Verrohrung / Kanäle
- Pufferspeicher
- Sensorik / Regelung
- Doppelboden / Einhausung / Plenum



## Schraubenkompressor



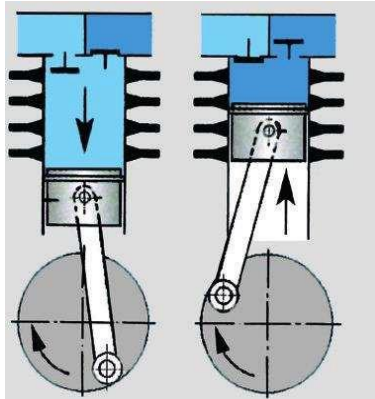
## Mehrkommer-Rotationsverdichter



- A: Rotor
- B: Ansaugöffnung
- C: Druckkammer
- D: Gehäuse
- E: Druckstutzen

## Rotationskompressor

## Scrollverdichter



## Kolbenkompressor

Umformer AC/DC/AC  
mit Drehzahlsteuerung

Laufäder, zweistufig

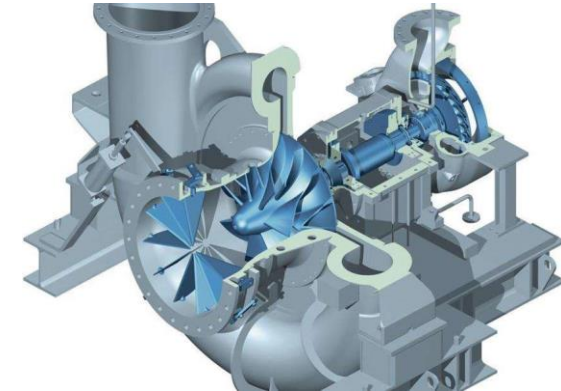
Synchronmotor  
Permanentmagnet  
frequenzgesteuert

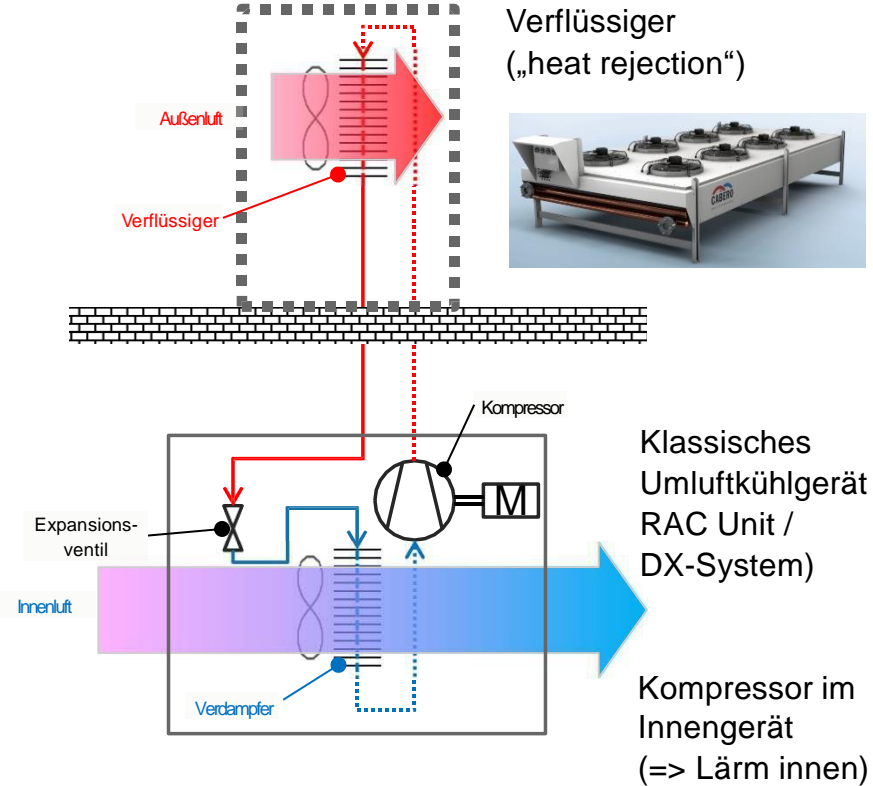
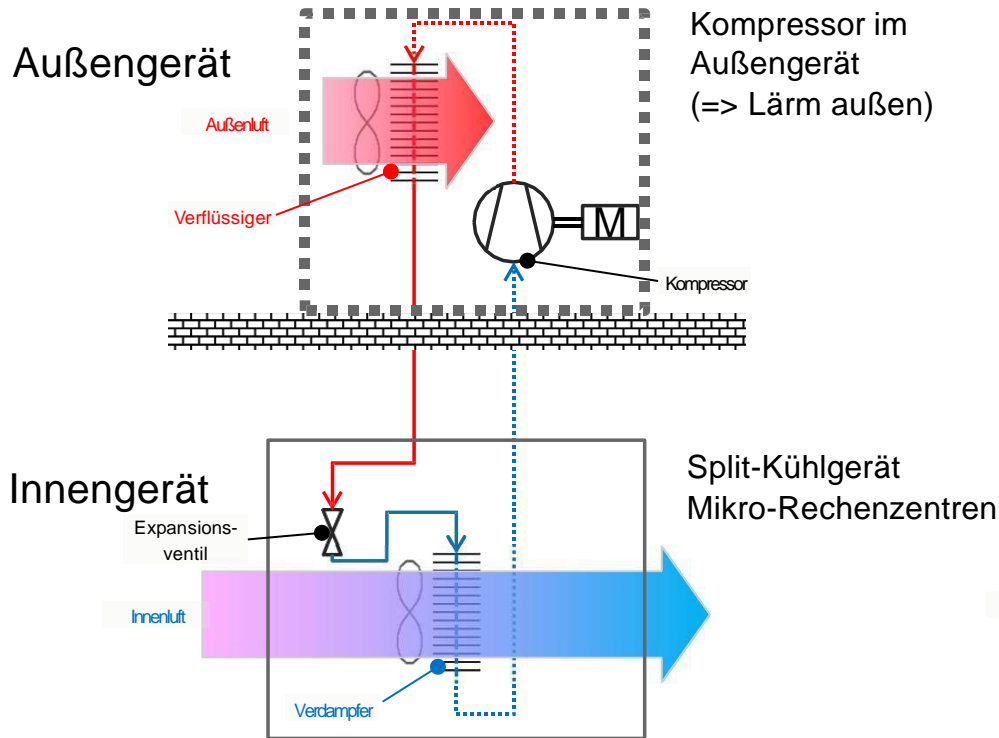
Druck-/Temperatur-  
sensoren

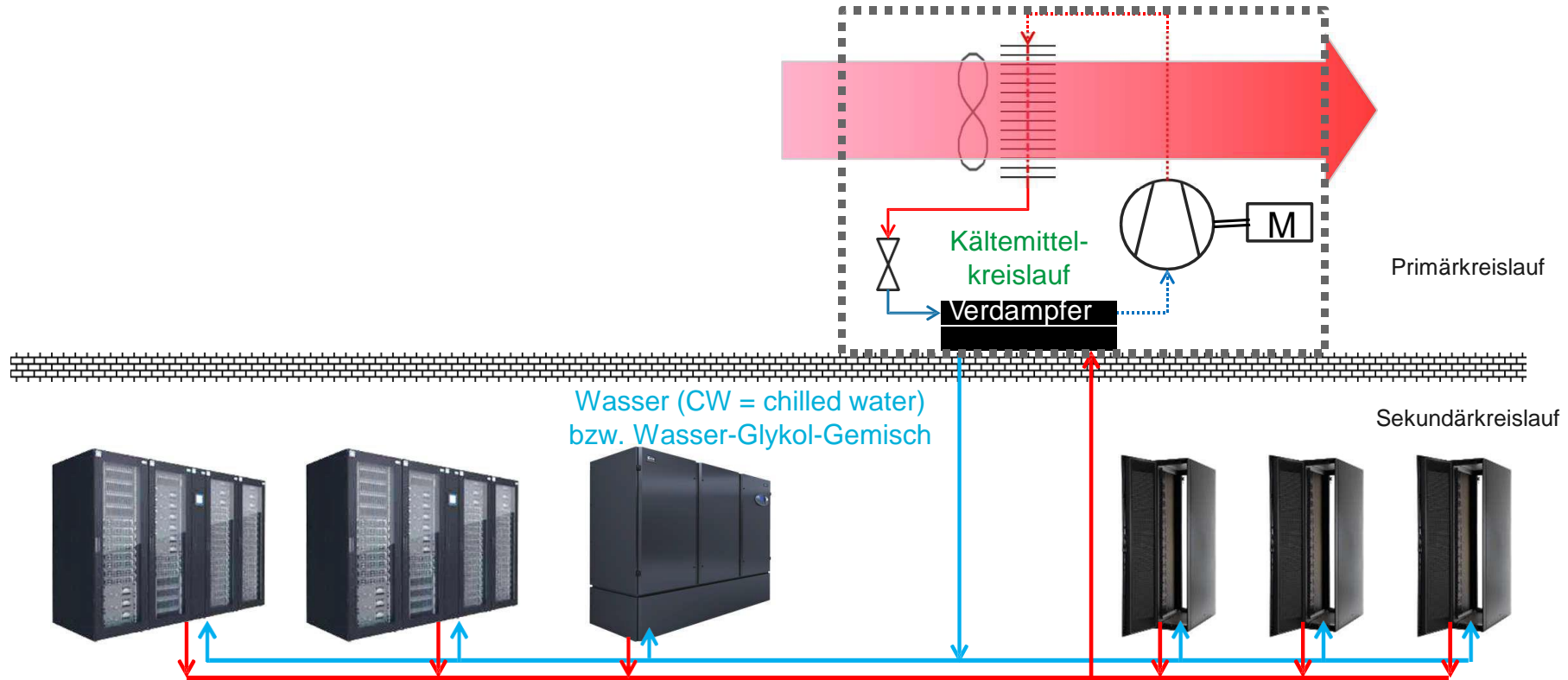
Steuerung Motor,  
Lager und Kältemaschine

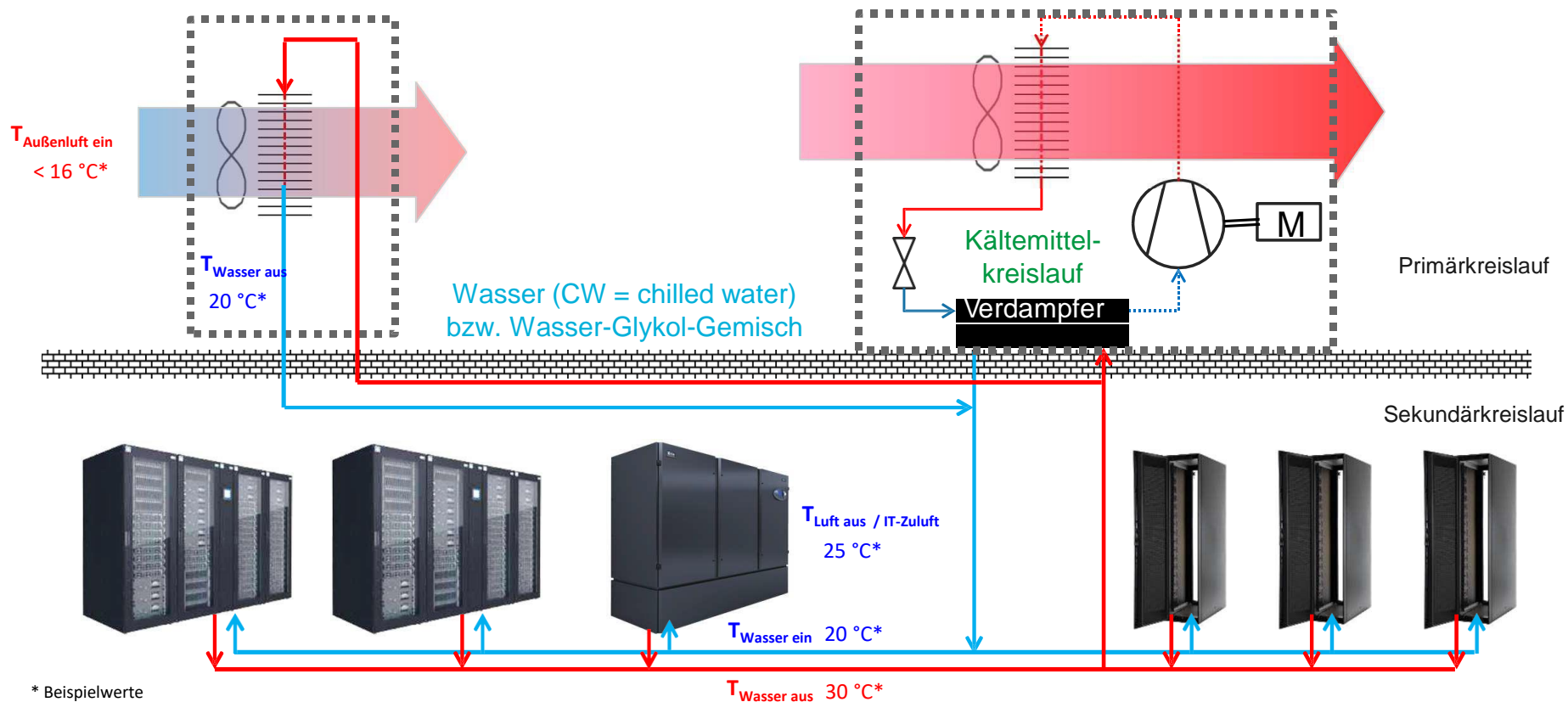
Dralldrossel

## Ölfreier Turboverdichter Turbocor









\* Beispielwerte

## EC Lüfter (z.B. aus 150 kW Gerät)

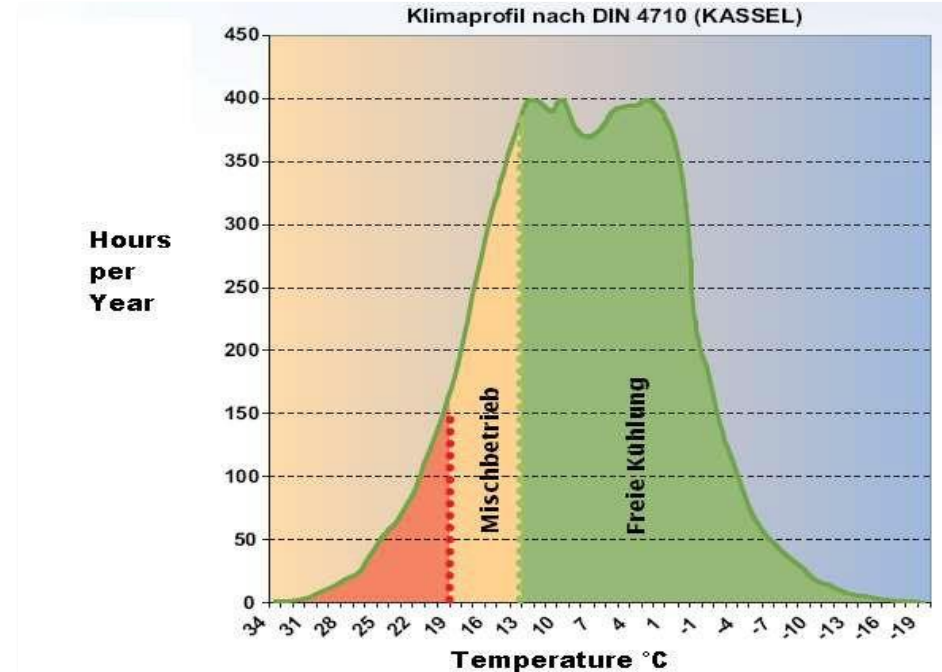


## EC Lüfter mit Drehzahlregelung

- 1/2 Drehzahl => 1/2 Luftmenge  
aber
- 1/2 Drehzahl => **1/8 Leistungsaufnahme**
- Möglichst alle Kühlgeräte parallel laufen lassen
  - auch bei Teillast
  - Redundanzgeräte



- Solange die **Außenluft um 2 – 4 Kelvin (°C) kälter ist als die Vorlauftemperatur des Kühlwassers** kann **vollständig ohne Kompressorbetrieb** gekühlt werden.
- **Jedes Kelvin (°C) mehr** bedeutet in unseren Breitengraden **ca. 2 Wochen mehr Freikühlzeit**.
- **Jedes gesparte kW<sup>(1)</sup>**, spart **ca. 1.000,- € (2.100,- €)** Stromkosten pro Jahr



<sup>(1)</sup> kW konstanter Verbrauch über das ganze Jahr: 8760 Stunden x 1 kW x 0,12 €/kWh (0,24 €/kWh) = 1.051 € (2.102 €)



Energiesparpotenzial durch zeitlichen und prozentualen Außenluftanteil der Jahrestemperaturstunden bis einschließlich 18°C/27°C (gemäß ASHRAE TC9.9 – 2011)

	Hamburg	London	Moskau	Canberra	Madrid	Istanbul	New York	Peking	Johannesburg	Paris	Sao Paulo
Jährliche Stundenanzahl unter 18°C <sup>1</sup>	7.760	7.010	7.529	6.492	5.637	5.444	5.577	5.341	5.667	6.708	3.219
Anteil <sup>2</sup>	87 %	80 %	86 %	74 %	64 %	62 %	64 %	61 %	65 %	77 %	37 %
Jährliche Stundenanzahl unter 27°C <sup>1</sup>	8.720	8.727	8.728	8.399	7.817	8.198	8.114	7.865	8.637	8.593	8.312
Anteil <sup>2</sup>	99,5 %	99,6 %	99,6 %	96 %	89 %	94 %	93 %	90 %	99 %	98 %	95 %

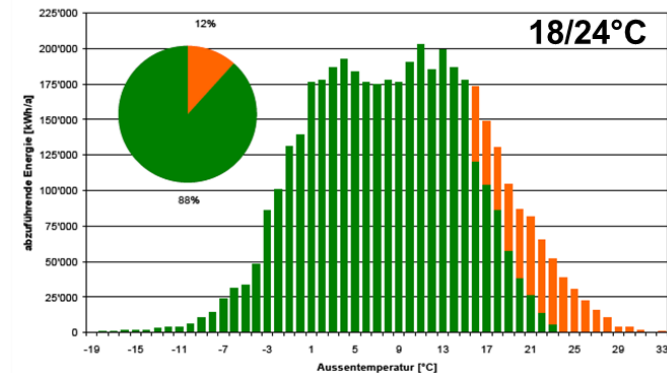
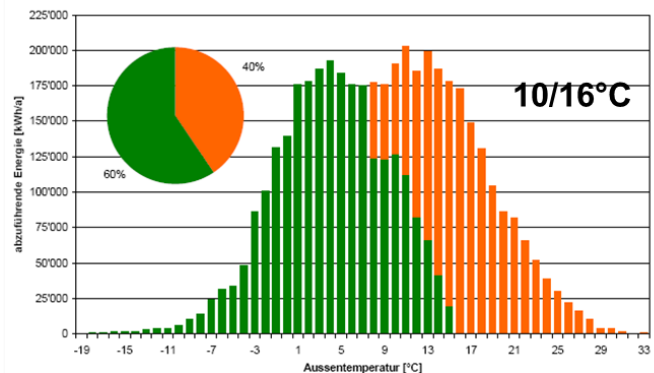
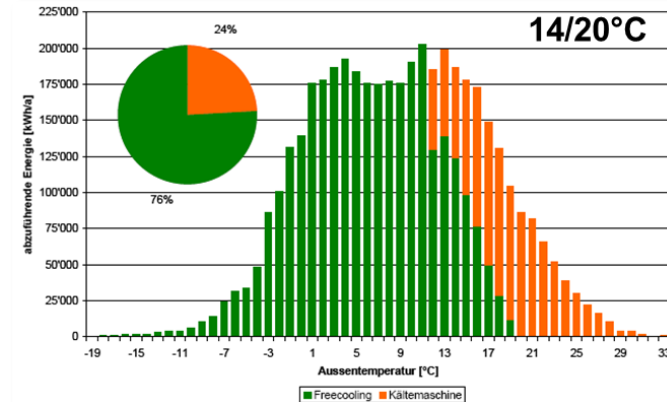
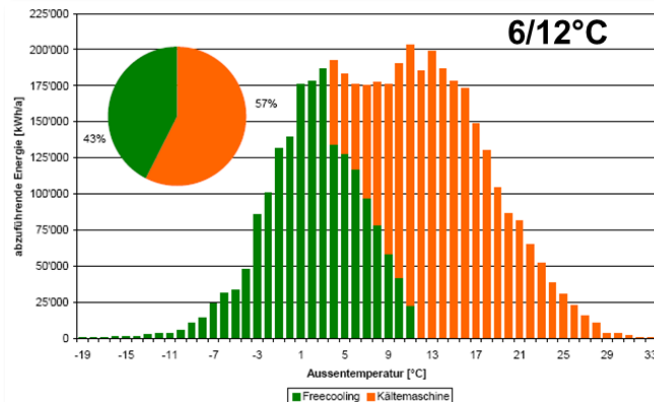
<sup>1</sup> Jahrestemperaturstunden bis einschließlich 18°C/27°C

<sup>2</sup> Prozentualer Anteil der Jahrestemperaturstunden bis einschließlich 18°C/27°C

Quelle: Stulz

## Potential in Abhängigkeit der Kaltwassertemperaturen:

Je höher die Wassertemperatur im Kühlkreislauf um so länger kann die freie Außenluftkühlung verwendet werden!



Quelle: IBM

# Vergleich von einigen typischen Kältemitteln mit Zukunftsfähigkeit

Rechtliche Grundlage: F-Gas-Verordnung (EU) 2014; => **Neu F-Gas-VO 2024**

Zulassung	Bezeichnung	GWP	Besonderheit
Empfohlen nur noch bis 2030	R404a	3.922	Keine Neuanlagen möglich!
	R410a	2.088	Häufiger Einsatz in kleineren Installationen
	R407c	1.774	Der Ersatz für R22
	R134a	1.430	Widely verwendet
	R32	675	brennbar - bedingt zukunftsfähig gem. AMEV
	R513a	631	Der Ersatz für R134a
Empfohlen nach 2030	R1234ze	7	brennbar, ca 20% weniger Leistung als R134a
	R290 (Propan)	3	brennbar
	R744 (CO2)	1	Hochdruckkältemittel
	R717 (Ammoniak)	0	Brennbar und giftig
	R718 (Wasser)	0	Geringe Marktverfügbarkeit

## Fazit:

- Der Einsatz von Kältemittel mit höheren GWP-Werten wird in Zukunft massiv reduziert und reglementiert.
- Der Einsatz von zukunftsfähigen Kältemitteln ist mit zusätzlichen, hohen Herausforderungen im Bereich Personenschutz, und -eignung, Brandschutz sowie in der Anlagentechnik verbunden.

Quelle: Jürgen Strate, IBM

# Amendment of the F-Gas Regulation 2024 – Overview of refrigerants

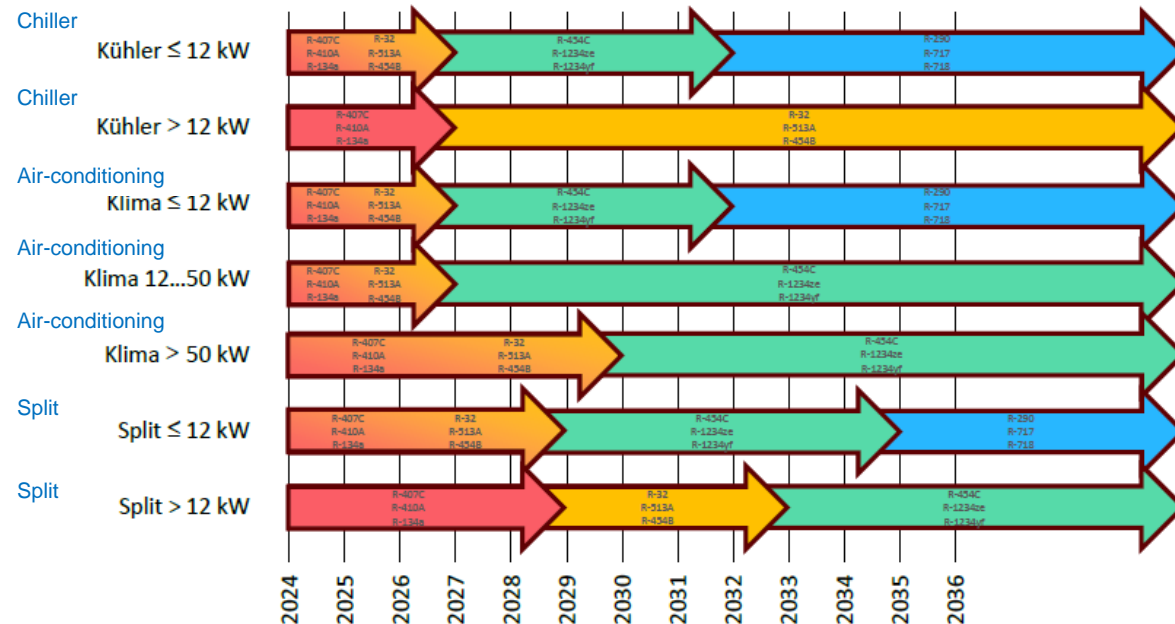
New F-Gas Regulation 2024 => see topic “Sustainability”

Definitions:

**Chiller:**  
System for cooling a heat transfer fluid for cooling, process or comfort purposes

**Air conditioning:**  
self-contained system in which air is treated to meet the requirements of a conditioned space

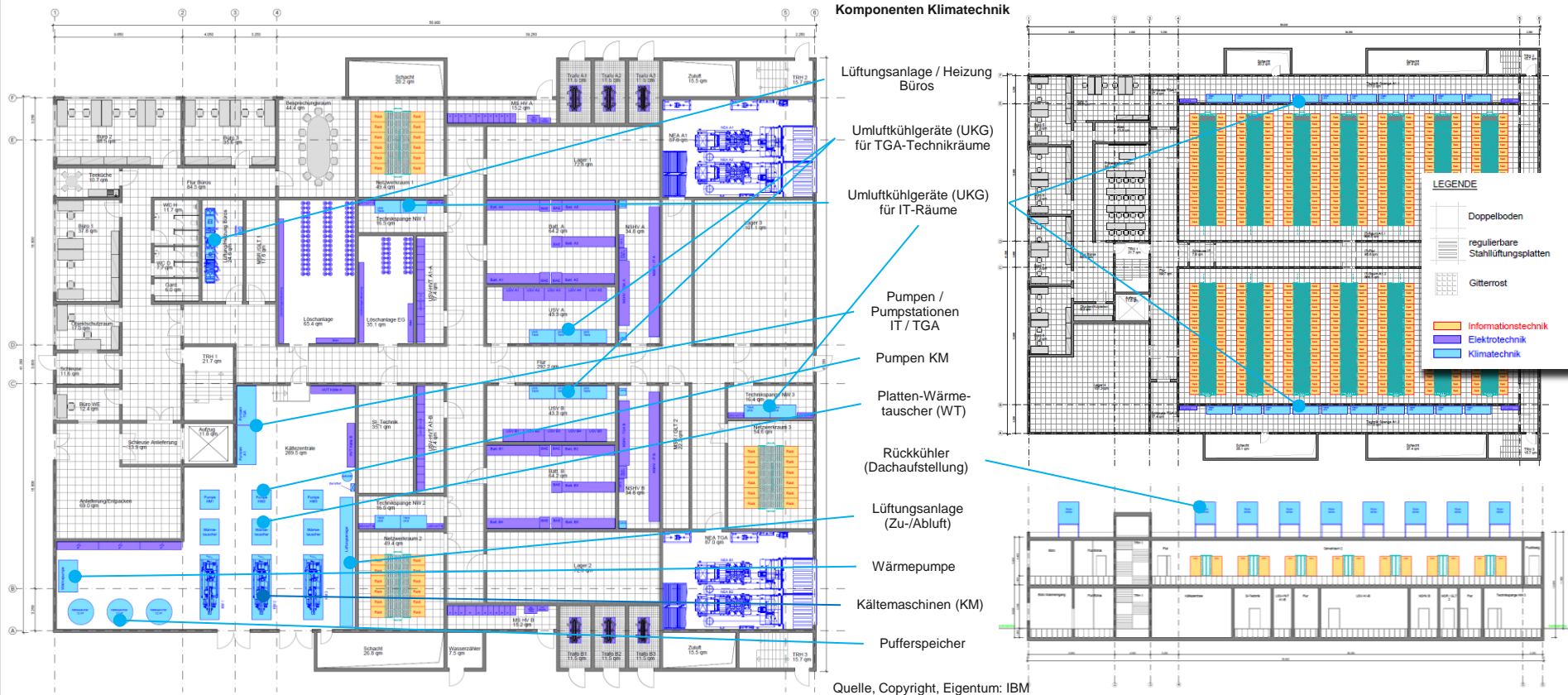
**Split:**  
System of units connected together at the point of use by refrigerant pipes



Quelle: Stulz

Refrigeration	GWP	Klasse
R-407C	1774	A1
R-410A	2088	A1
R-134a	1430	A1
R-32	750	A2L
R-513A	631	A1
R-454B	466	A2L
R-454C	150	A2L
R-1234yf	1	A2L
R-1234ze	1	A2L
R-290 (Propan)	FKW	A3
R-717 (NH3)	0	
R-718 (Wasser)	0	

# Funktionsschema Klimatechnik Rechenzentrum (Beispiel Grundriss)



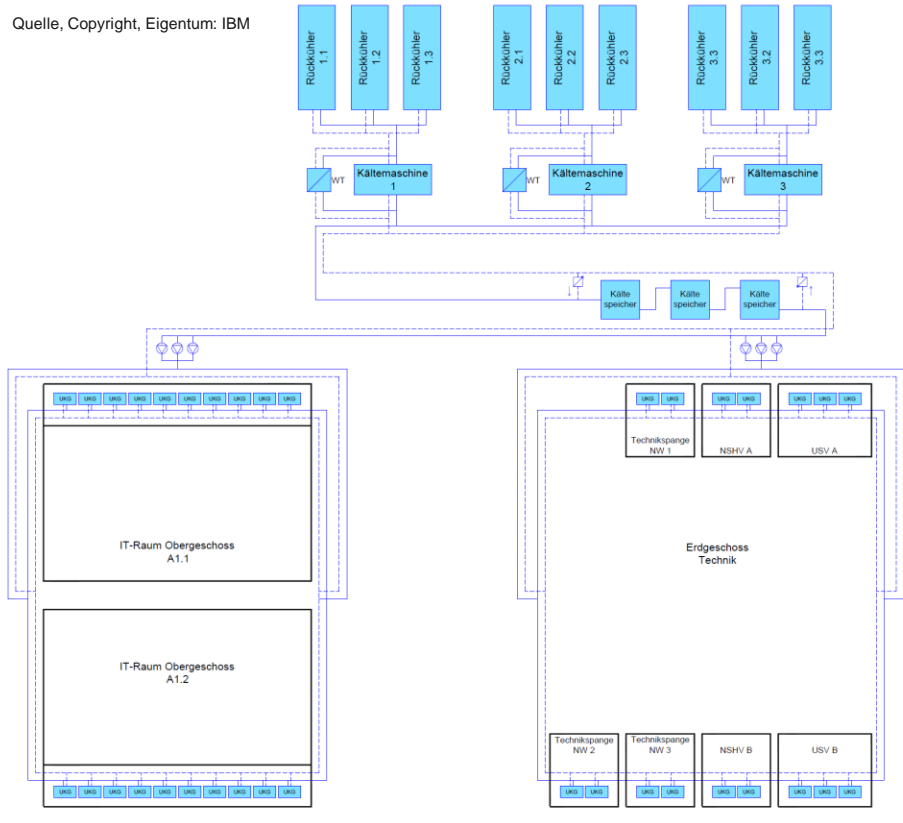
## White Board Exercise / Gruppenübung

Entwickle aus dem zuvor gezeigten  
Grundriss das zugehörige  
Funktionsschema Klimatechnik  
(grob / Hauptkomponenten)



# Funktionsschema Klimatechnik Rechenzentrum (Beispiel)

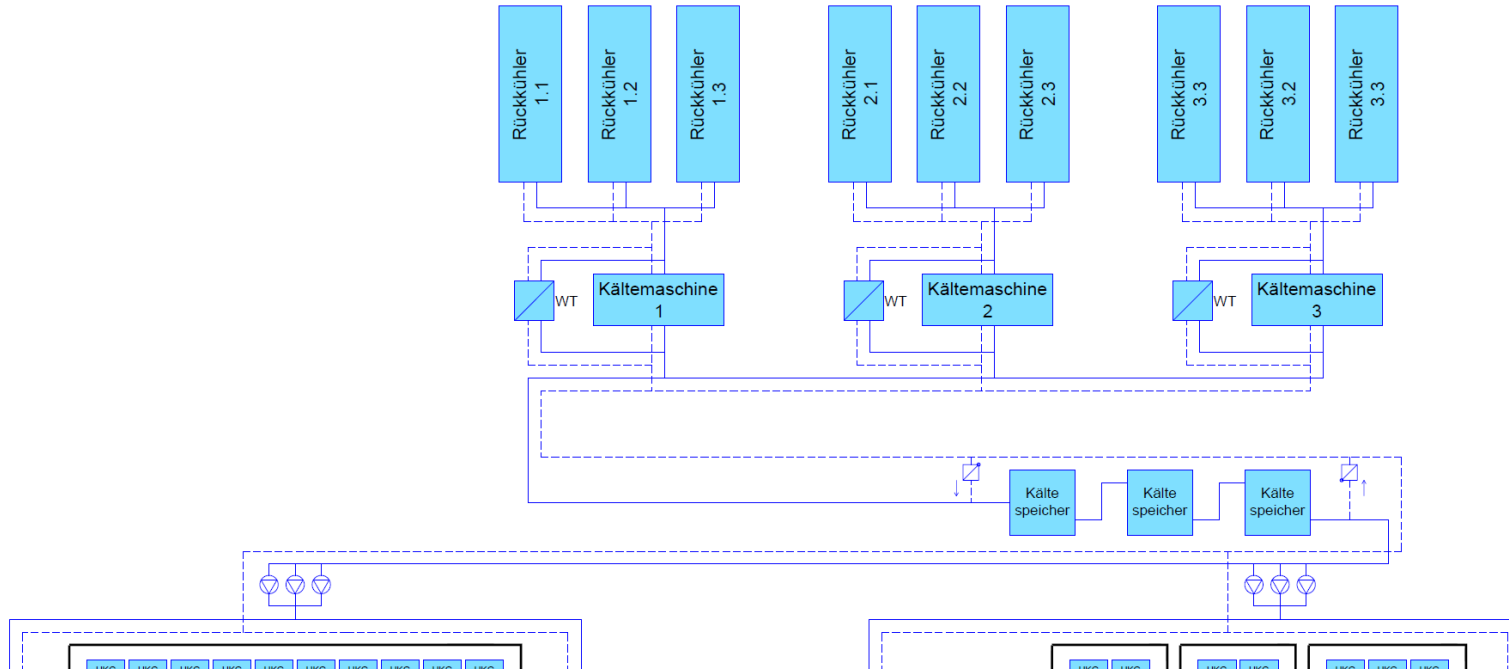
Quelle, Copyright, Eigentum: IBM



Primärkreislauf

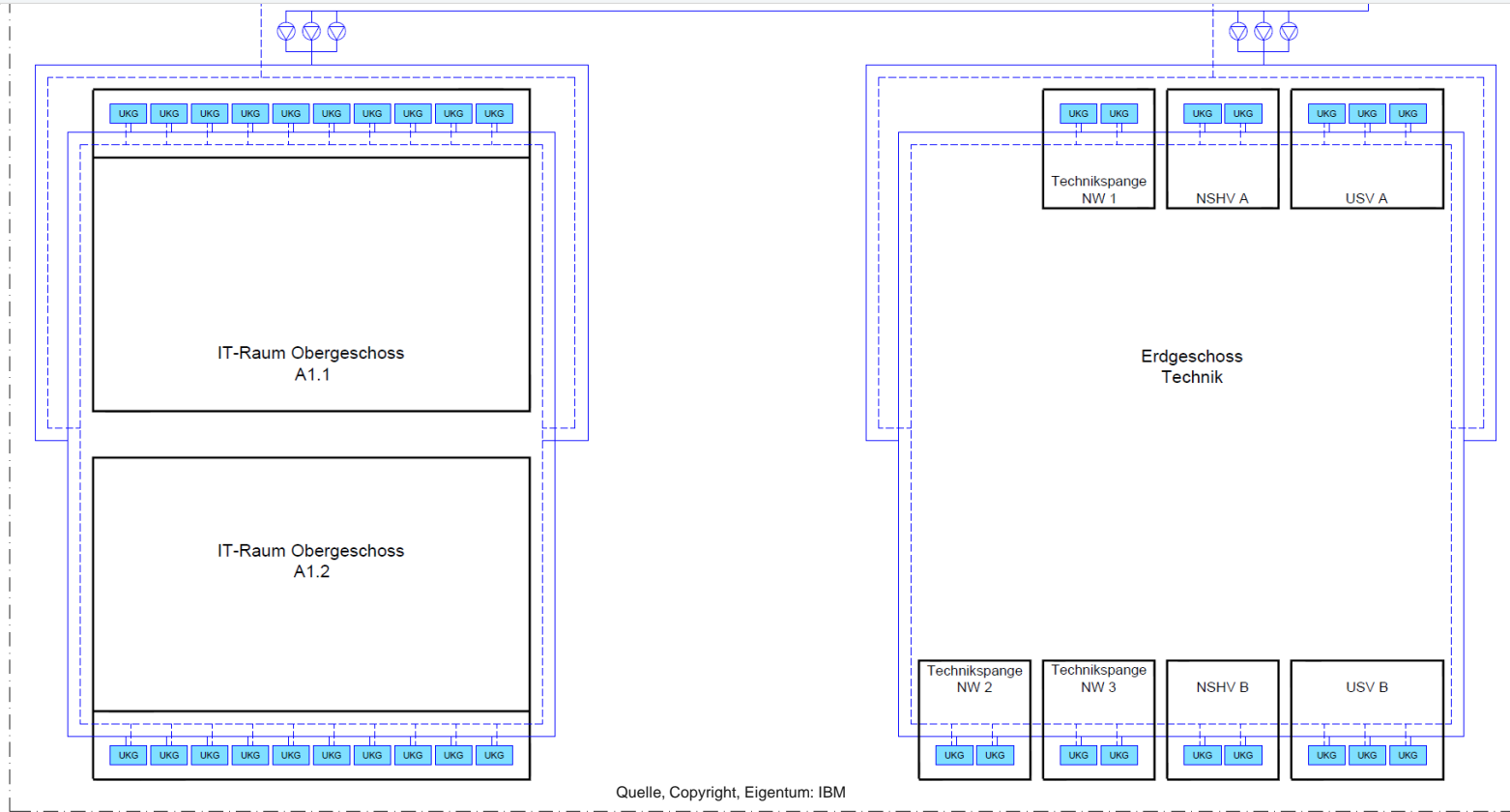
Sekundärkreislauf

Quelle, Copyright, Eigentum: IBM





# Funktionsschema Klimatechnik Rechenzentrum (Beispiel)





# Klimatechnik für Einsteiger

## - Teil 3 -



## Klimatechnik im Rechenzentrum – Teil 3

1 Ziele und Aufgaben der Klimatechnik

2 Einführung & Grundlagen

3 Funktionsprinzip Kompressionskälte

4 Die wichtigsten Komponenten / Bestandteile / S

5 Klimakonzepte & Komponenten

6 Beispiele / Besonderheiten / Ausblick

7 Zusammenfassung

8 Key Takeaways

9 Anhang / Ergänzungen

### 5. Klimakonzepte & Komponenten

- a. Die wichtigsten Anforderungen
- b. Auswahl Klimakonzepte
- c. Standard-Klimatisierung
- d. Grenzen der Raumkühlung
- e. Doppelboden
- f. CW- oder DX-Systeme
- g. Kaltgang- vs. Warmgang-Einhausung
- h. Reihenkühlung
- i. Rückkühltür-Wärmetauscher (RDHX)
- j. Adsorption- und Absorptionskälteanlage

- Größe des RZ: Fläche bzw. Zahl der Racks
- Gesamtleistung (kW bzw. MW)
- Leistungsdichte, kW je m<sup>2</sup> bzw. je Rack
- Geforderte Verfügbarkeitsklasse
- Geforderte Energieeffizienz (pPUE)
- Bauliche Gegebenheiten
- Klima am Standort
- Zukünftige Entwicklung

Luft- oder flüssigkeitsgekühlte IT

Raum-, Reihen-, Rackkühlung

Kaltgang- oder Warmgangeinhausung

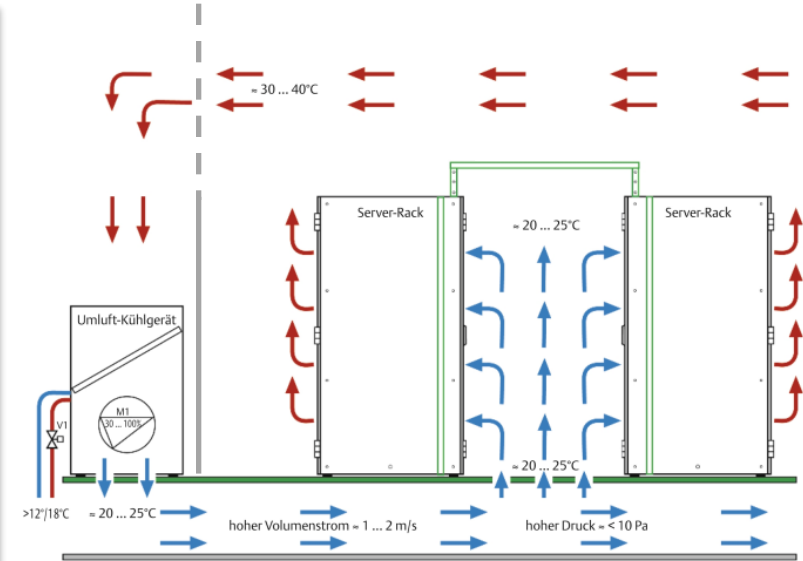
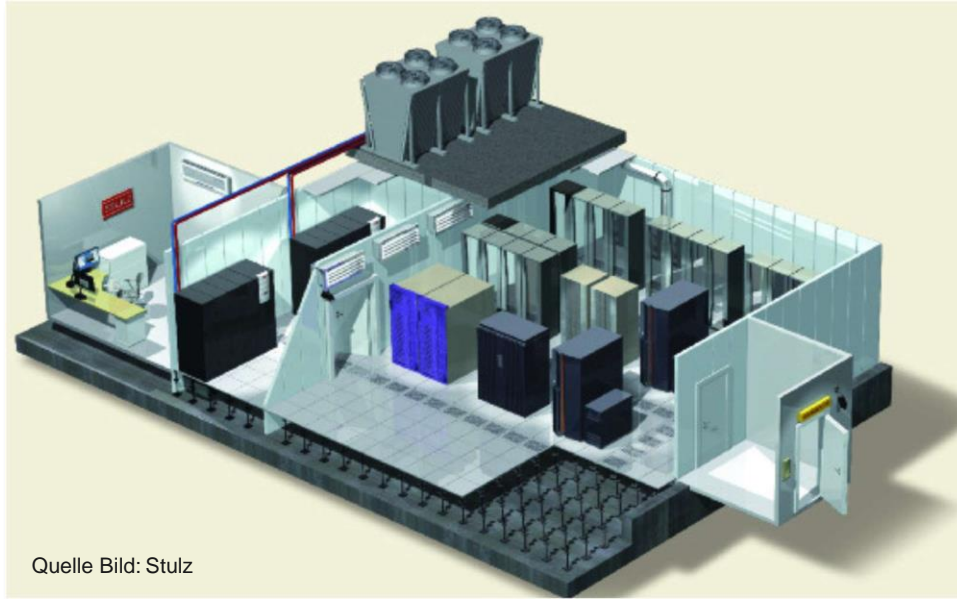
Doppelboden oder (abgehängte Decke)

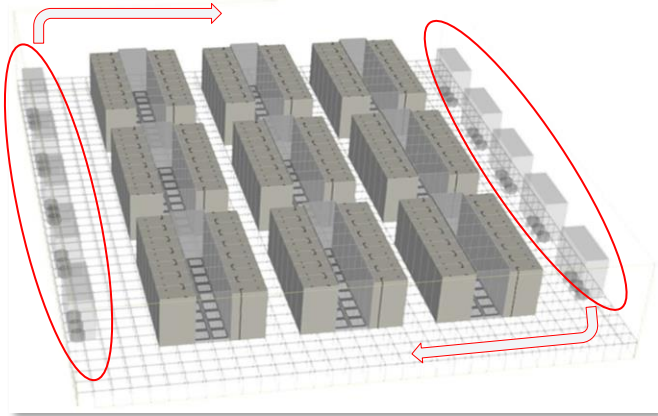
Direkte / indirekte freie Kühlung

Kaltwasser oder Kältemittel

Kältemaschinen / Adiabatik / trockene Kühlung

Grundwasser / Seewasser / Meerwasser





- Leistungsbegrenzung durch maximal verfügbare Luftmenge:
  - Platz für Umluft-Kühlgeräte  
(besonders bei 2n Redundanz)
  - Doppelbodenhöhe
- Typischer Anwendungsbereich bis ca. 5-10 kW / Rack, je kleiner der Raum desto höher möglich.



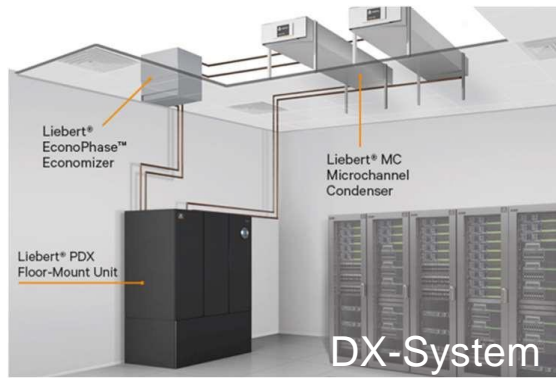
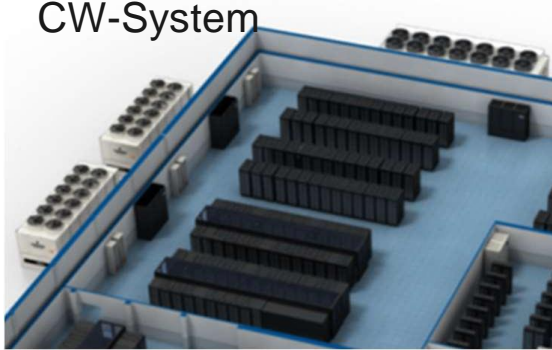
Kalter Gang, Breite 180 cm!  
Gitterroste vor den Schränken

Doppelbodenhöhe 200 cm!





## CW-System



- Gute Energieeffizienz
- CW wirtschaftlicher ab etwa 100 – 300 kW
- Trennung von Innen- und Außenluft
- Unabhängigkeit von Gebäudebauweise
- Perimeterkühlung / Umluftkühlgeräte (ULK), Kaltwasser- oder DX-Kühlung
- Innovativ: DX ULK mit gepumptem Kältemittel
- Kaltwassersätze mit freier Kühlung, evtl. auch adiabate Kühlung
- (auch Kühltürme oder Hybridkühler möglich)
- Konventioneller Aufbau im IT Raum



## **CRAH (CW)**

ca. von 30 bis 220 kW

CRAH = Computer Room Air Handler

**Chiller mit FK**  
ca. von 40 bis  
1600 kW



**Chiller mit  
FK und  
Adiabatik**  
ca. von 500 bis  
1450 kW



## **Kühlung mit Kaltwasser (CW = Chilled Water))**

- Drehzahlgeregelte Lüfter und Pumpen
- Separate Temperaturregelung
- Chiller mit Freikühlung und Adiabatik
- Wenige Chiller für viele Geräte, große Gestaltungsfreiheit für das Kaltwassersystem im Gebäude
- Konsistente Regelung von Geräten und System
- pPUE bis 1,06 möglich
- Anwendung typisch für Systeme über 100 kW

## **Kühlung mit Kältemittel (DX = Direct Expansion))**

- Drehzahlgeregelte Lüfter und Kompressoren
- Mehrere Freikühl-Optionen
- Jeweils mindestens ein Kondensator für ein Kühlgerät
- Konsistente Regelung von Geräten und System
- pPUE bis 1,12 möglich
- Anwendung typisch für Systeme unter 100 kW

Beide Systeme (CW & DX) inkl. Luftfilterung und Feuchteregelung



## **CRAC (DX)**

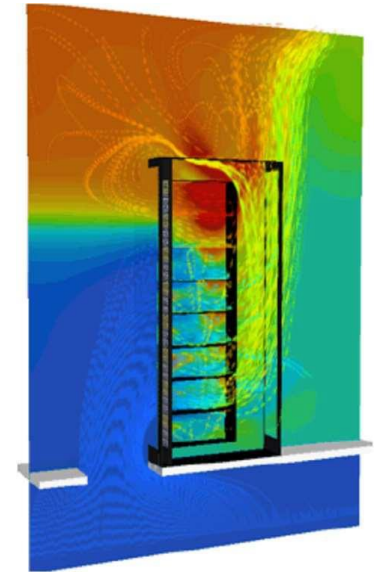
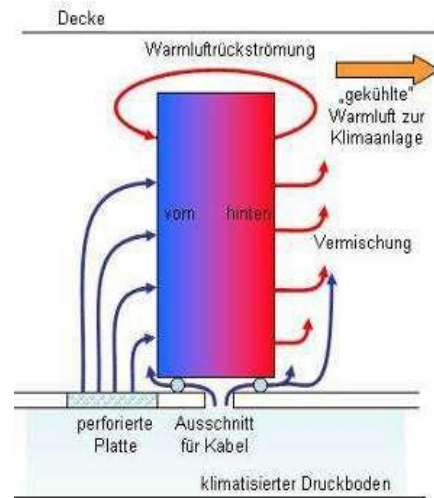
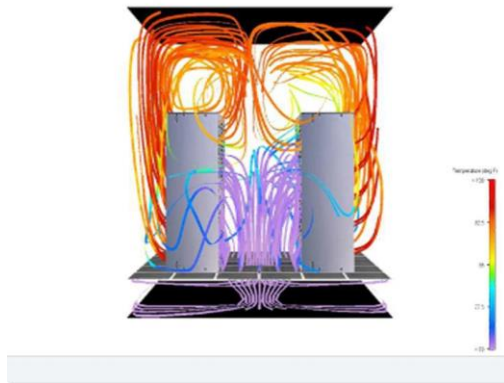
ca. von 5 bis 150 kW

CRAC = Computer Room Air Conditioning



## **Verflüssiger**

- Kaltluftverlust
- Luftvermischung
- Warmluftrückströmung
- keine Warmluftführung zur Klimaanlage



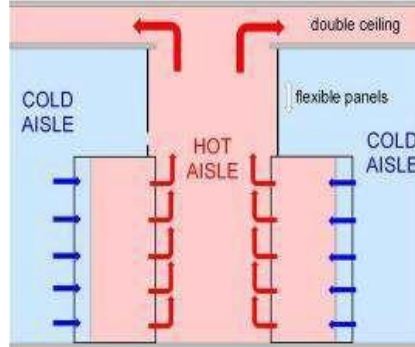
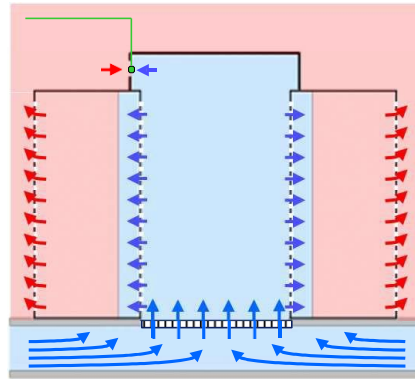
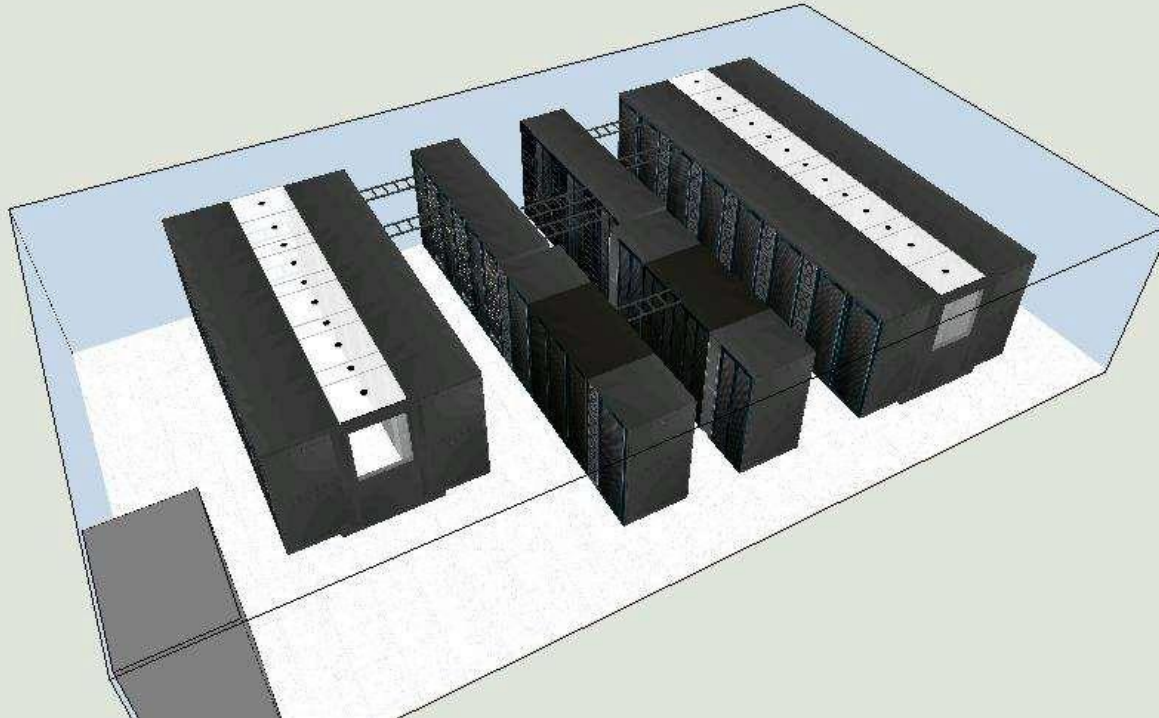


Bild: Stengel GmbH)

- Immer mit **Lufttrennung!**
- Immer mit **Lüfterregelung!**
- Kühllufttemperatur separat regeln
- **Kalt- und Warmgangeinhausung** sind **gleichwertig.**
- "Kalt" erfordert Doppelboden, ist leichter nachrüstbar.
- "Warm" erfordert Schächte bis zur abgehängten Decke bzw. Kanäle, Raum ist kalt; Kompatibilität mit anderen Kühllösungen





- Ähnlich Raumkühlung
- Kühlgeräte in Schrankreihen integriert
- Für höhere Leistungsdichten bis ca. 10 kW/Rack oder größer 10 kW/Rack
- Meist für kleinere Anlagen (Mikro-RZ) oder „Pods“ / HPC-Bereiche in größeren Rechenzentren
- Reihenkühlgeräte DX oder CW
- Effizienz und Redundanzen wie bei Raumkühlung

## Kühlgeräte zur Integration in Schrankreihen

- Breite: 300 und 600 mm
- Höhe: 2.000 und 2.200 mm
- Tiefe: 1.100 und 1.200 mm

## Kühlleistung

- DX: ca. 15 – 35 kW (jeweils mit passendem Rückkühler / Gerät)
- CW: ca. 30 – 60 kW (Integration in Kaltwassersystem)





## **CRAH (CW)**

ca. von 30 bis 220 kW

CRAH = Computer Room Air Handler

**Chiller mit FK**  
ca. von 40 bis  
1600 kW



**Chiller mit  
FK und  
Adiabatik**  
ca. von 500 bis  
1450 kW



## **Kühlung mit Kaltwasser (CW = Chilled Water))**

- Drehzahlgeregelte Lüfter und Pumpen
- Separate Temperaturregelung
- Chiller mit Freikühlung und Adiabatik
- Wenige Chiller für viele Geräte, große Gestaltungsfreiheit für das Kaltwassersystem im Gebäude
- Konsistente Regelung von Geräten und System
- pPUE bis 1,06 möglich
- Anwendung typisch für Systeme über 100 kW

## **Kühlung mit Kältemittel (DX = Direct Expansion))**

- Drehzahlgeregelte Lüfter und Kompressoren
- Mehrere Freikühl-Optionen
- Jeweils mindestens ein Kondensator für ein Kühlgerät
- Konsistente Regelung von Geräten und System
- pPUE bis 1,12 möglich
- Anwendung typisch für Systeme unter 100 kW

Beide Systeme (CW & DX) inkl. Luftfilterung und Feuchteregelung



## **CRAC (DX)**

ca. von 5 bis 150 kW

CRAC = Computer Room Air Conditioning

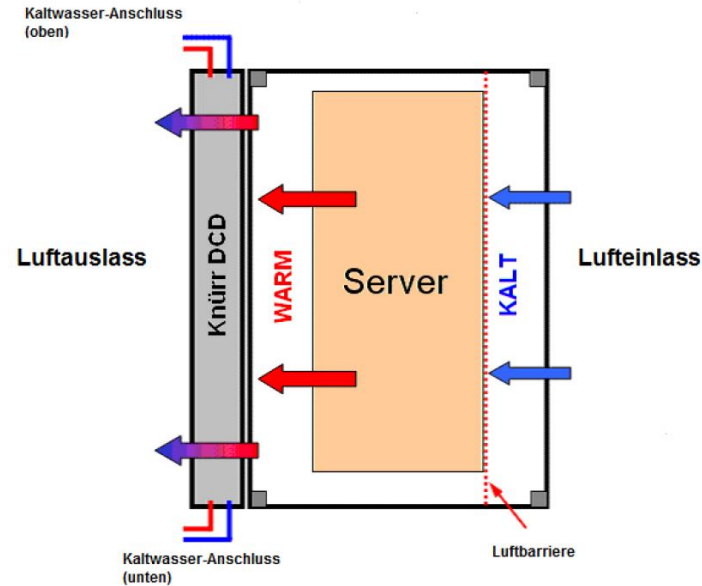


## **Verflüssiger**

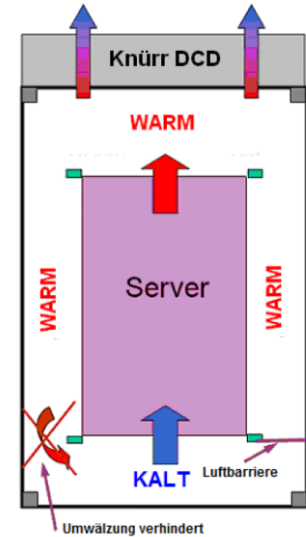
- Keine Warm-/Kaltgangtrennung nötig, da Temperatur im Raum gleich bleibt.
- Kein Doppelboden erforderlich
- Keine mechanische Kühlung
- Direkte Abwärmenutzung bedingt möglich



Quelle Abbildungen: Vertiv / Knürr

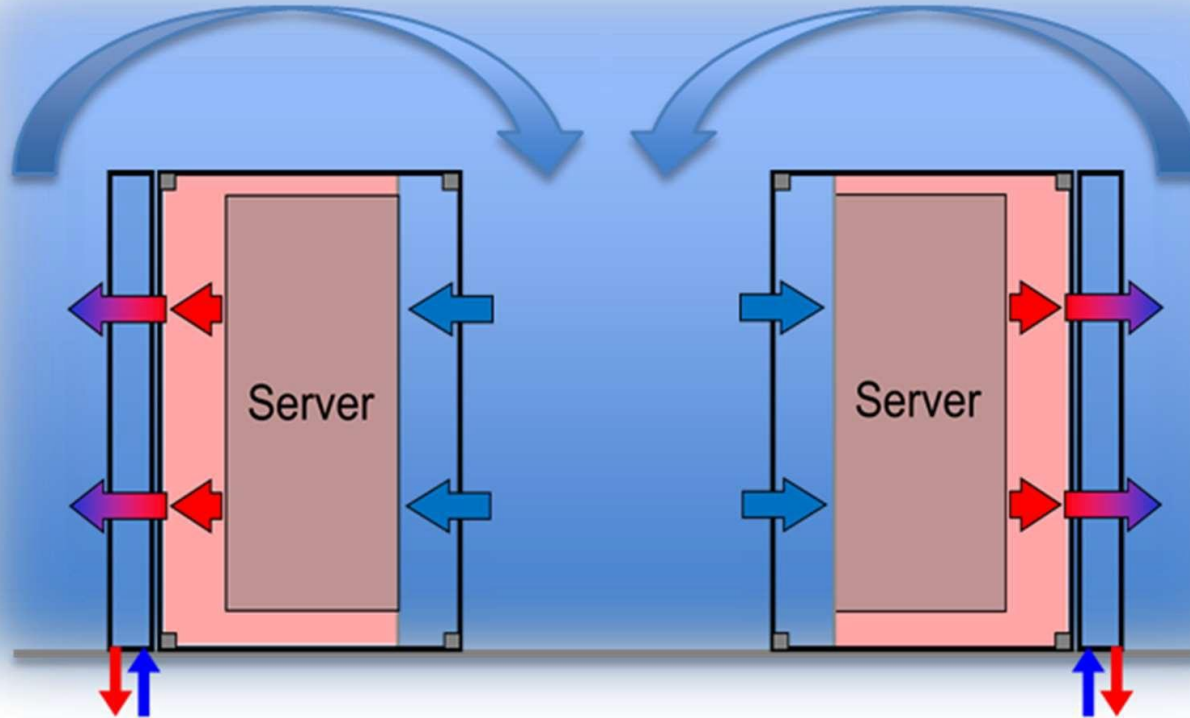


Seitenansicht Rack



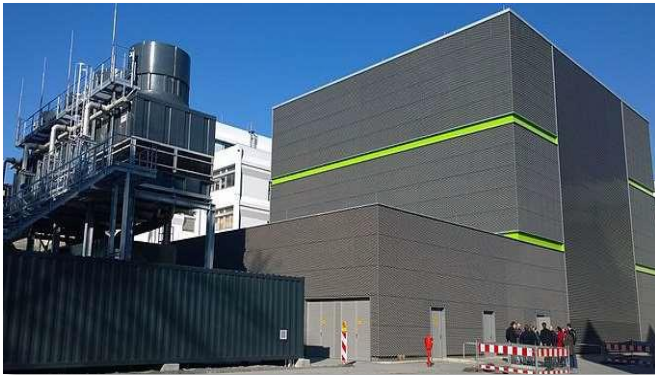
Draufsicht Rack







- Kompakte, sehr kostengünstige RZ-Bauweise
  - Stahlbau-Würfel 27 x 27 x 27
  - 768 Racks auf 6 Geschoßen, ca. 35.000 HE
  - 12 MW Kühlleistung durch Kühltürme
  - Innentemperatur immer unter 30 °C
- 
- Schrankkühlung durch passive Rücktür-WÜT
  - Direkt an der Wärmequelle, Raum ist kalt
  - Sehr gute Energieeffizienz
  - Geringster Platzbedarf von allen Lösungen
  - Wirtschaftlichste Lösung ab 10 kW/Rack
  - Einfaches, robustes System
  - HPC-Anwendungen



Bilder: Quelle GSI



# Klimatechnik für Einsteiger

## - Teil 4 -



## Klimatechnik im Rechenzentrum – Teil 4

1 Ziele und Aufgaben der Klimatechnik

2 Einführung & Grundlagen

3 Funktionsprinzip Kompressionskälte

4 Die wichtigsten Komponenten / Bestandteile / S

5 Klimakonzepte & Komponenten

6 Beispiele / Besonderheiten / Ausblick

7 Zusammenfassung

8 Key Takeaways

9 Anhang / Ergänzungen

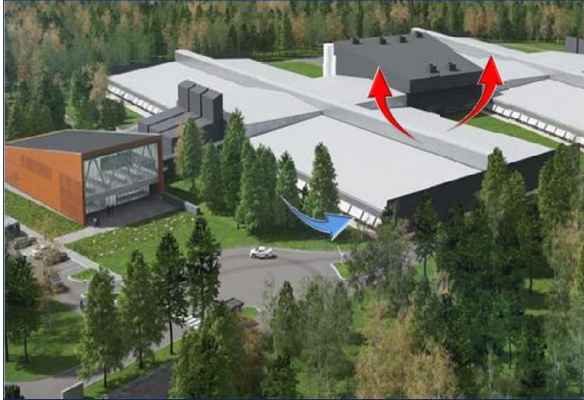
### 6. Beispiele / Besonderheiten / Ausblick

- a. Direkte freie Kühlung mit Frischluft
- b. Indirekte freie Kühlung
- c. Verdunstungskühlung (Adsorption)
- d. Entwicklung Leistungsdichte
- e. Immersionskühlung
- f. Rechnerkühlung mit Warmwasser
- g. Abwärmenutzung

### 7. Zusammenfassung

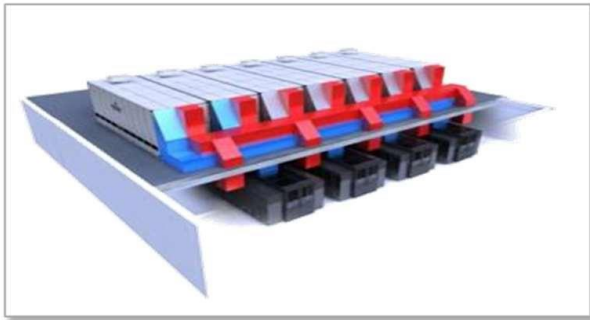
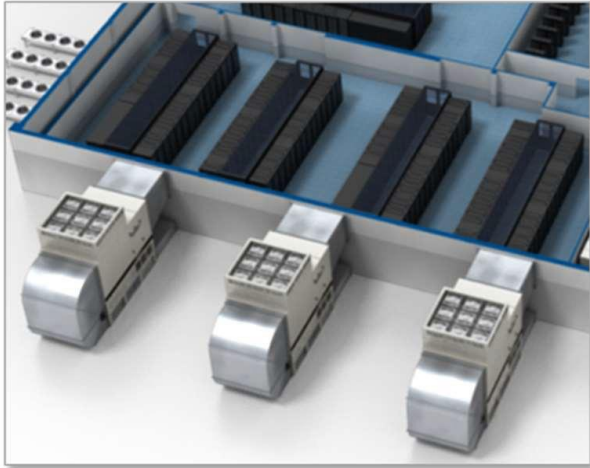
- a. „Landkarte“ der Kühllösungen
- b. Gegenüberstellung von typischen Kälteerzeugern
- c. Gegenüberstellung von typischen Freikühlverfahren & energetischen Optimierungen

### 8. Key Takeaways



- Minimaler Energieaufwand für Kühlung
  - Spezielles Gebäude für Luftführung, sehr große Öffnungen in Gebäudehülle
  - Außentemperatur  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $+25^{\circ}\text{C}$  (am Polarkreis)
  - Abmischen der Zuluft im Winter
  - Befeuchten der Zuluft im Winter
  - Relativ saubere Luft, trotzdem Filterung
  - Bei Brand o.ä. in der Umgebung abschalten
- (Georedundanz macht es möglich.)





- Geringer Energieaufwand für Kühlung
- Relativ geringe Investitionskosten
- Trennung von Innen- und Außenluft
- (Sehr) große Luft/Luft Wärmetauscher
- Spezielles Gebäude für Luftführung, große Öffnungen in Gebäudehülle
- Fast immer mit adiabater Kühlung, damit  $< 32^{\circ}\text{C}$  Innentemperatur
- Optional Zusatzkühlung mit Kältemaschine
- Konventioneller Aufbau im IT Raum





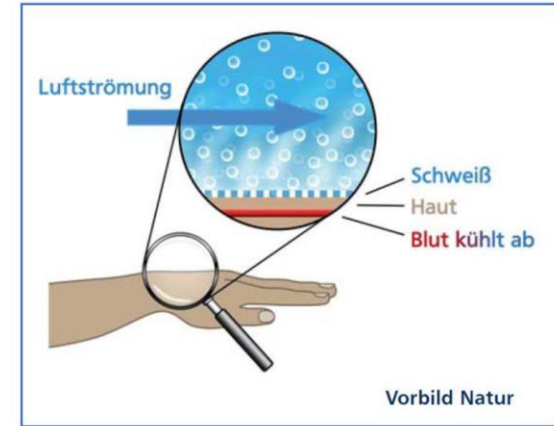
Quelle Bild: Berliner Luft GmbH

## Luft/Luft Wärmeübertrager

- Vollständige Trennung von Innen- und Außenluft
- 0 – 100% Leistungsregelung
- Integrierte adiabate Kühlung
- Optional Zusatzkühlung DX oder CW
- Automatische Optimierung Strom- vs. Wasserverbrauch
- Konsistente Regelung von Geräten und Gesamtsystem
- pPUE bis 1,03 möglich

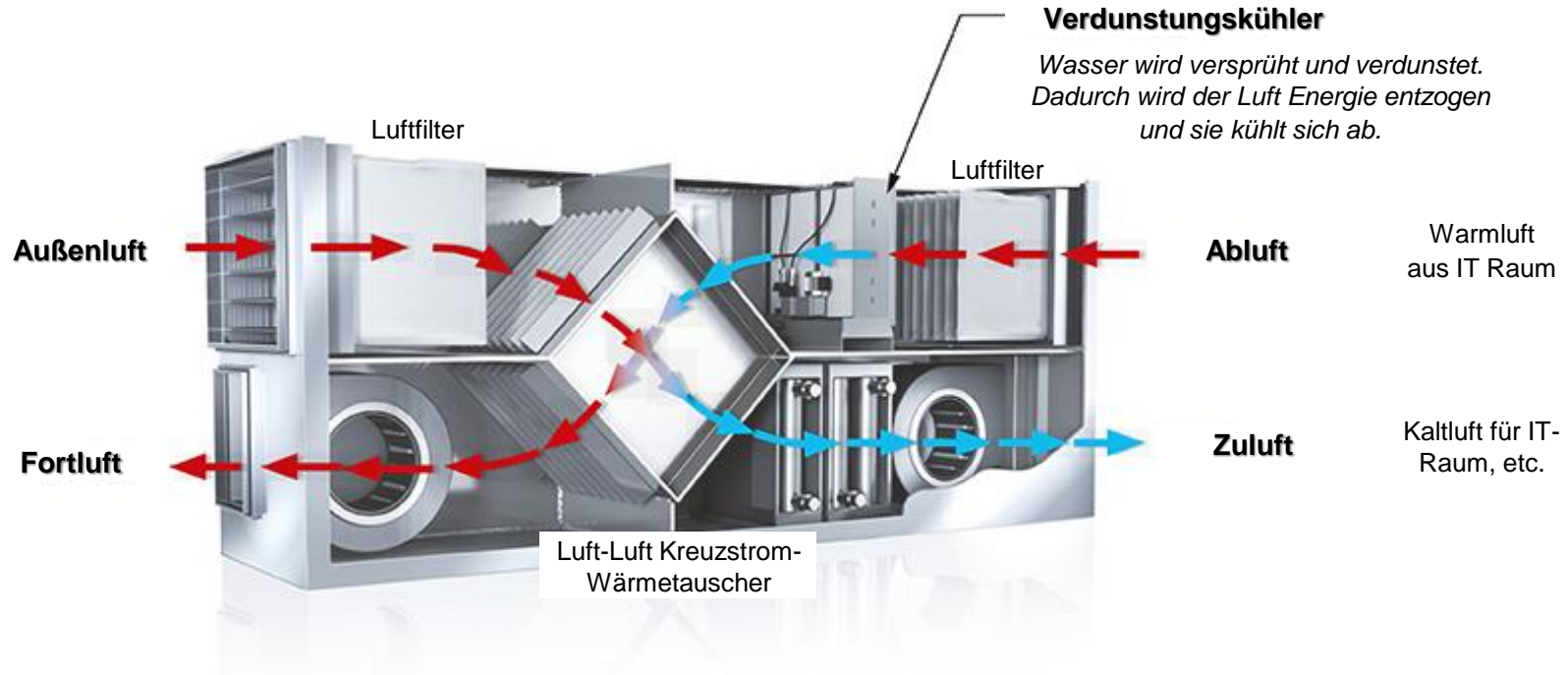
## Verdunstungskühlung

- > Adiabater (isenthalper) Vorgang:
  - > Prozess ohne externe Zu- und Abführung von (thermischer) Energie
- > Bei Zugabe von Wasser zur Luft:
  - > Verdampfungswärme des Wassers (2.500 kJ/kg) wird aus der Luft entnommen
  - > Luft kühlt um 2,5K ab pro g Wasser, das aufgenommen wird
  - > Ende bei 100% relativer Feuchte
- > Luft kann Wasser als Dampf aufnehmen und als „latente Energie“ in sich speichern
  - > Enthalpie  $h = (c_{pL} \cdot t) + x \cdot (r_W + c_{pD} \cdot t)$



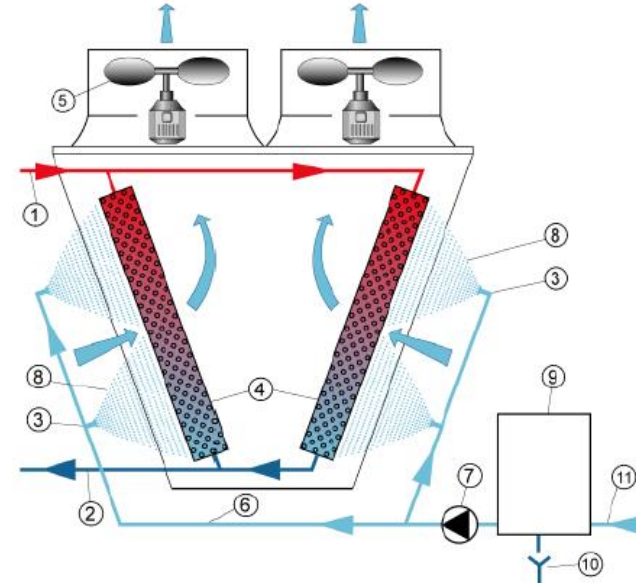
Quelle: [www.spiegel.de](http://www.spiegel.de)

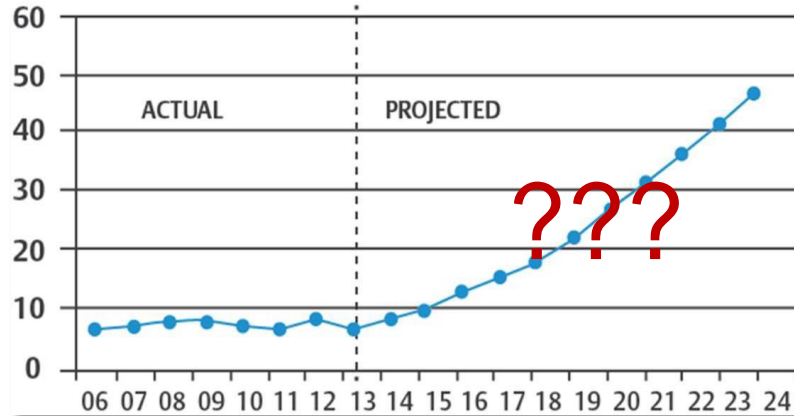






- 1 Vorlauf, Primärkühlkreislauf
- 2 Rücklauf
- 3 Sprühdüsen
- 4 Kühlelemente
- 5 Ventilator
- 6 Sprühwasserleitung
- 7 Hochdruckpumpe
- 8 Sprühkegel Osmosewasser
- 9 Osmosewassererzeugung mit Vorratstank und Korrosionsschutzmittel
- 10 Abwasser (Konzentrat)
- 11 Frischwasser





Quelle: Studie Data Center 2025  
(Emerson Network Power 2015)

„Die durchschnittliche Leistungsdichte im RZ wird in  
naher Zukunft stark ansteigen.“  
(Aussage zahlreicher Studien seit beinahe 20 Jahren)

**Tatsächlich liegt der Schnitt immer noch unter 10 kW/Rack.**

Aber es gibt zunehmend extreme Hardware für  
HPC, KI, Big Data Analytics, Cloud Computing, Edge ...



OCP Rack 25 kW  
(Nokia AirFrame)



hyperkonvergentes System  
1.400 Watt auf 2 HE



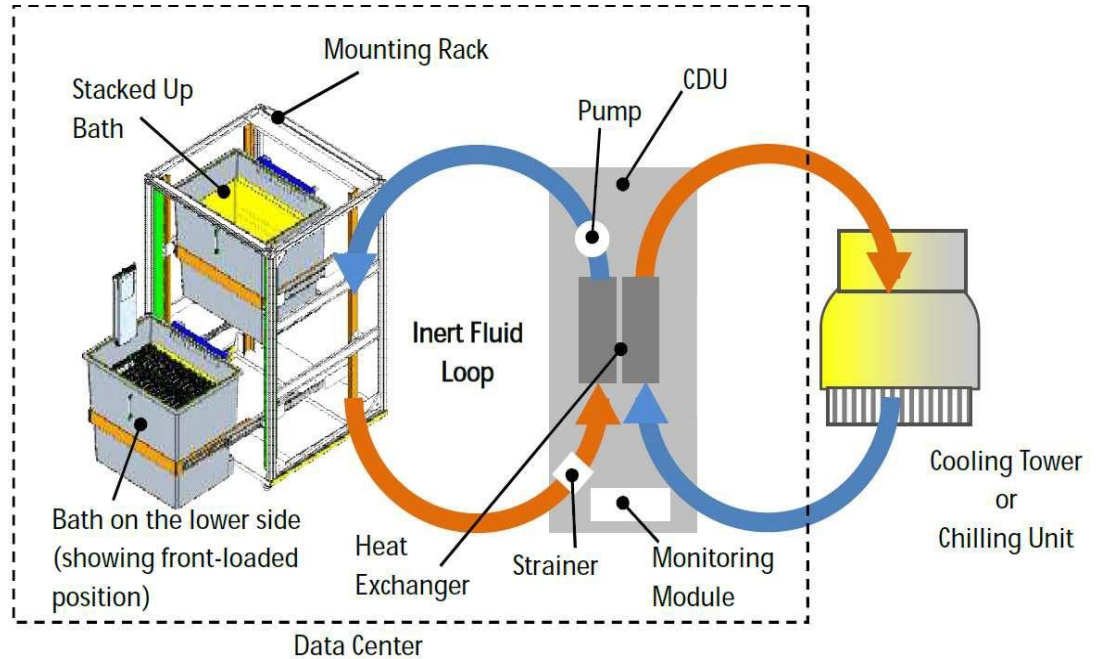
GPU Server  
5kW auf 3 HE

(Thomas Krenn AG)

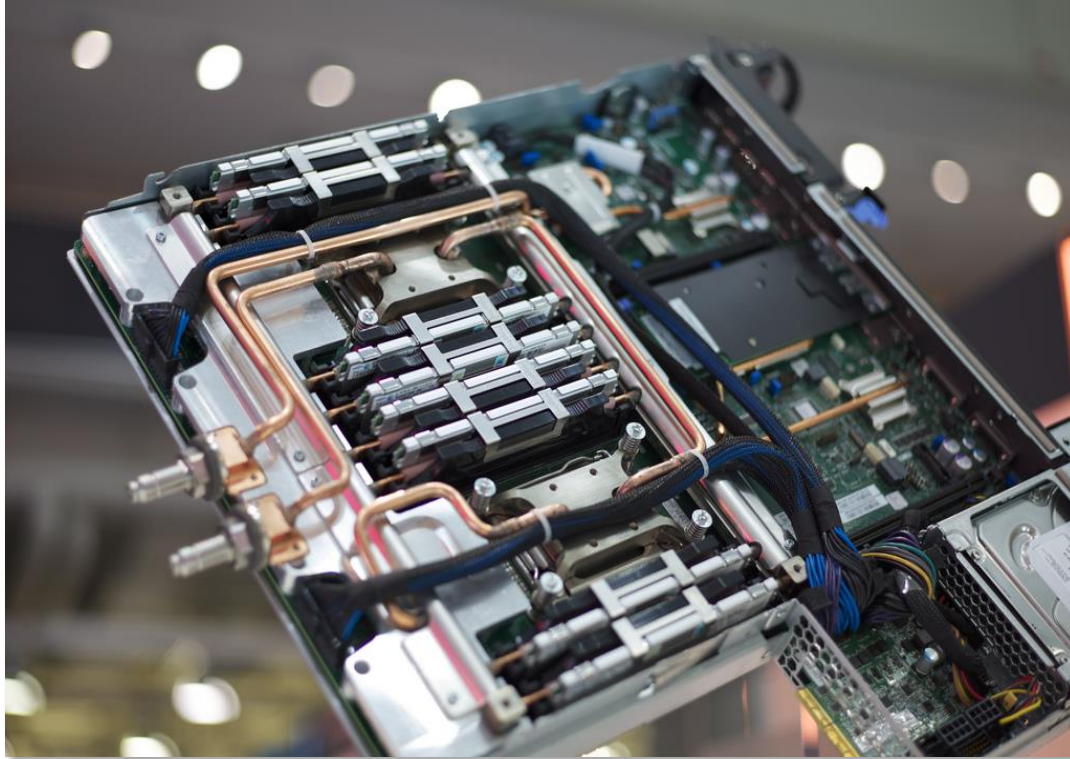


Quelle: Green Revolution Cooling / [www.grcooling.com](http://www.grcooling.com)





[www.fujitsu.com/global/Images/fujitsu-liquid-immersion-cooling-system-brochure.pdf](http://www.fujitsu.com/global/Images/fujitsu-liquid-immersion-cooling-system-brochure.pdf)



Quelle: IBM

- Wärmeabgabe > 90 % an Warmwasser
- Keine Ventilatoren erforderlich
- Temperaturbereich 50 / 55 °C



Quelle: IBM

Warmwasserkühlung  
& Highfog Löschung

Energieverteilung /  
Stromschienen

Kaltwassernetz





Aufbau der Racks



Warmwasserfüllung der Racks

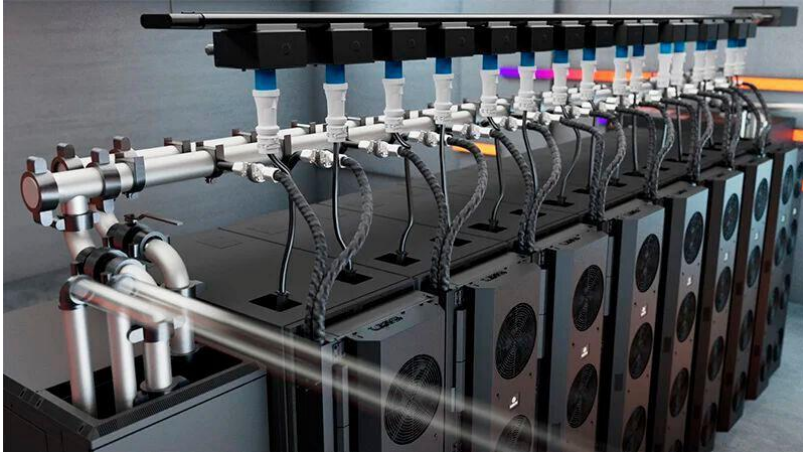
Quelle: IBM





Quelle: IBM



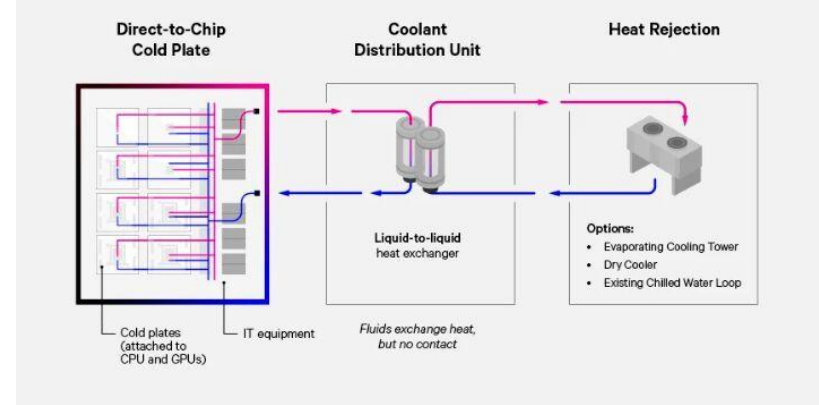


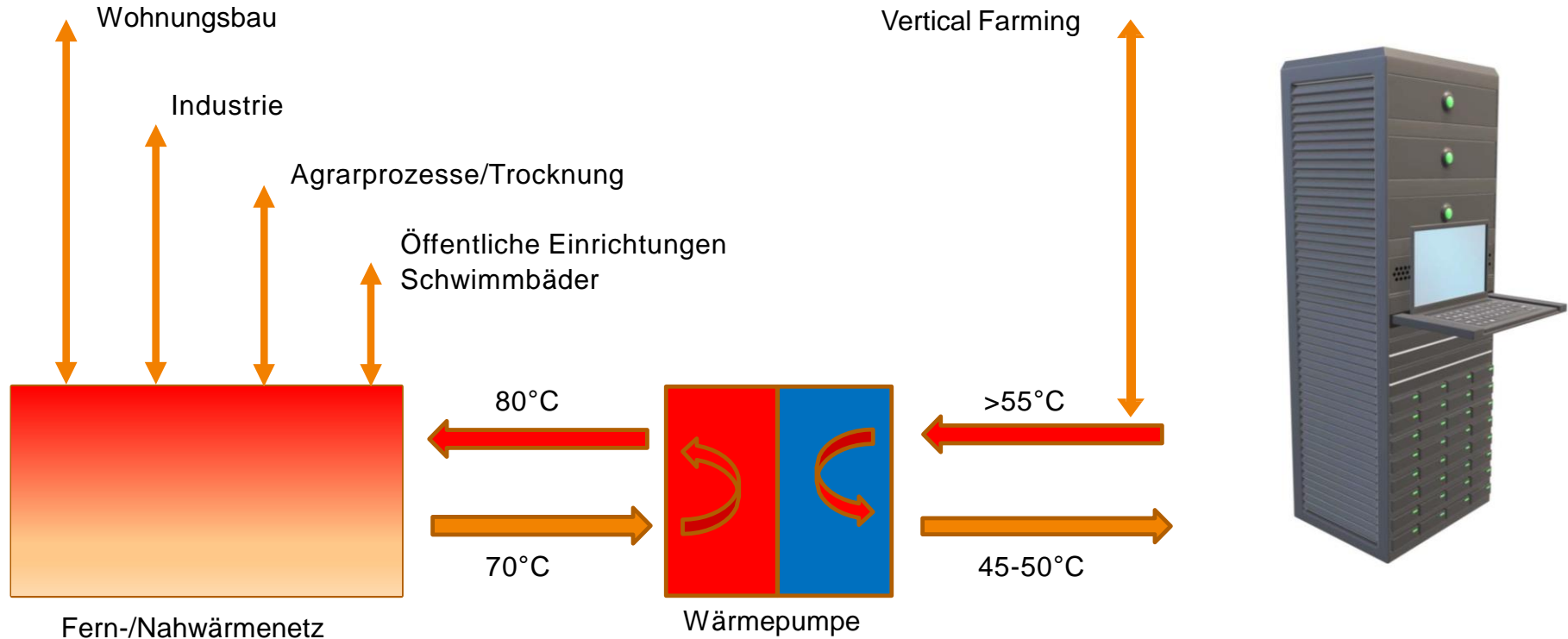
Rechenzentrationbetreiber benötigen aktuell durch die Künstliche Intelligenz (KI) und HPC eine noch nie dagewesene Menge an Rechenleistung, welche eine eben so exorbitant hohe Wärme-Entwicklung mit sich bringt. Klassische Luftkühlung reicht da nicht mehr aus, Flüssigkühlung heißt das Lösungswort. Um mit Wasser die heißen Prozessoren zu kühlen, ist eine Cooling Distribution Unit (CDU) essenziell.

Eine CDU ist für die Flüssigkeitskühlung unabdingbar. Ohne sie wären die Prozessoren, die für KI-Anwendungen wie „ChatGPT“ notwendig sind, nicht kühlbar.

Bild: Vertiv

Quelle: Data Center Insider





## VW Financial Services: “400 warme Wohnungen”

### Nutzung der RZ-Abwärme zur Beheizung des angrenzenden Neubaugebietes

- Rücklaufwasser mit 25 °C aus dem RZ versorgt eine Wärmepumpe
- Wärmepumpe liefert gekühltes Wasser mit 19°C zur RZ-Kühlung
- Wärmeübertragung an die Wärmepumpe **250 kW**

### Nutzung der Abwärme zur Beheizung des RZ Gebäudes

- Wärmeübertragung für Büro / Lüftungsanlage / Lagerflächen / Flure
- Leistung der Wärmepumpe ca. **100 kW**
- Wärmespeicher mit Notheizfunktion (elektrisch)

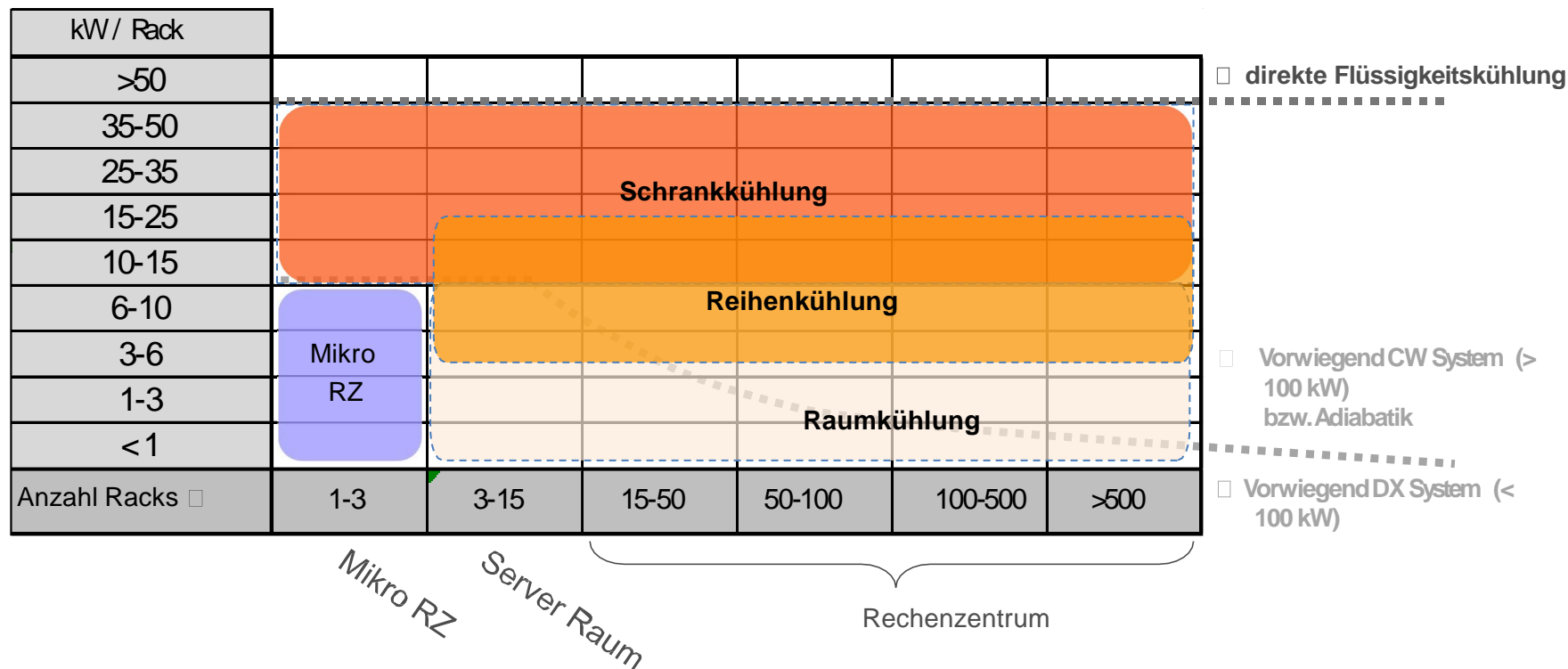
## W&W AG: Nutzung der RZ-Abwärme zur Campusbeheizung

### Wärmeauskopplung zur Beheizung des Gebäudes

- Mit der Wasser-Wasser-Wärmepumpe wird der neue Campus mit Wärme versorgt
- Dabei können ca. **150kW** Wärme aus dem RZ zur Beheizung genutzt werden
- Der Betrieb der Wärmepumpe kann parallel zur freien Kühlung verwendet werden



# „Landkarte“ der Kühllösungen / typische Anwendungsgebiete



Die dargestellten Bereiche bieten nur einen groben Anhaltspunkt, sie ersetzen keine sorgfältige Planung!



# Gegenüberstellung von typischen Kälteerzeugern der IT-Kühlung

Gegenüberstellung von einigen, typischen Kälteerzeugern der IT-Kühlung		Typische Leistung des Rechenzentrums	Typische Leistung des Rechenzentrums (mit Freikühlung)	Teillastverhalten	Investitionskosten	Betriebskosten	Betriebskosten mit Freikühlung	Wartungsaufwand	Fazit / Bemerkung
<b>Wassergekühlte Systeme</b>									
Rückkühler in Außenaufstellung und Kältemaschine getrennt; Verdichter und Verflüssiger in der Kältemaschine als Systemtrennung zwischen Erzeugung und Verbraucher	- Scrollverdichter	klein - mittel: 40 - 300 kW	1,2	+	0	0	0	0	Gutes Teillastverhalten
	- Hubkolbenverdichter	mittel - groß: 300 - 1.000 kW	1,2	-	0	0	0	0	Einsatz im RZ-Bereich rückläufig
	- Schraubenverdichter	mittel - groß: 300 - 1.500 kW	1,2	0	0	0	0	0	Günstige Lösung für konstante Last
	- Inverter-Schraube	mittel - groß: 300 - 1.500 kW	1,2	+	-	0	0	0	Günstige Lösung für variable Last
	- H2O-Turboverdichter	klein - mittel: 35 - 500 kW	1,1	+	-*	0	+	+	Keine Betriebsvorgaben (F-Gase, Druck....)
	- Turboverdichter	mittel - groß: 250 - 2.000 kW	1,1	+	- -	+	+	0	Die Lösung für größte Lasten
<b>Luftgekühlte Systeme</b>									
Rückkühler und Kältemaschine in Außenaufstellung zusammen, Verdichter und Verflüssiger in der Kältemaschine als Systemtrennung zwischen Erzeugung und	- Scrollverdichter	klein - mittel: 40 - 300 kW	1,2	+	+	0	0	+	Gutes Teillastverhalten
	- Hubkolbenverdichter	mittel - groß: 300 - 1.000 kW	1,2	-	+	0	0	+	Einsatz im RZ-Bereich rückläufig
	- Schraubenverdichter	mittel - groß: 300 - 1.500 kW	1,2	0	+	0	0	+	Günstige Lösung für konstante Last
	- Inverter-Schraube	mittel - groß: 300 - 1.500 kW	1,2	+	0	0	0	+	Günstige Lösung für variable Last
	- Turboverdichter	mittel - groß: 250 - 2.000 kW	1,1	+	-	+	+	+	Die Lösung für größte Lasten
<b>Hybride Systeme</b>									
Dezentrale Kälteerzeugung mit integrierter Freier Kühlung	- GE-System	klein - groß: 50 - 2.500 kW	1,2	+	+	+	+	+	Gutes Teillastverhalten
	- GES-System	klein - groß: 50 - 2.500 kW	1,1	+	+	+	++	+	Gutes Teillastverhalten - höhere Effizienz
<b>Absorptionskälteanlage</b>		klein - groß: 50 - 12.000 kW	1,2	0	- -	+	+	+	Notwendige, hochwertige Wärmequelle
<b>Direktverdampfer</b>		Klein: bis 50 kW	NA	+	++	- -	NA	++	Keine Freie Kühlung
Verdichter und Verflüssiger		klein: 50kW - 100kW	NA	+	++	- -	NA	+	Keine Freie Kühlung

## Fazit:

Quelle: Jürgen Strate, IBM

- Die Auswahl der Kühllösung ist abhängig von vielen, teilweise über die Lebensdauer des RZ veränderlichen Faktoren (Temperatur, Lastschwankung, Standort, Klimabedingungen, PUE-Vorgaben, Verfügbarkeitsanforderung, u.v.a.)
- pPUE (partial Power Usage Effectiveness): Anteil der Gesamt-PUE eines Rechenzentrums; pPUE der Kälteanlage (Kälteerzeugung, -transport und -übergabe) - typischer Leistungsbereich - mittlerer Klimabereich in D.

# Gegenüberstellung von typischen Freikühlverfahren und energetischen Optimierungen der IT-Kühlung

Gegenüberstellung von einigen, typischen Freikühlverfahren und energetischen Optimierungen der IT-Kühlung		Typische Leistung	Investitionskosten	Wartungsaufwand	Freikühlanteil/Jahr	Betriebsicherheit	Fazit/ Bemerkung
<b>Direkte Freie Kühlung</b>							
	- Direkte-Luftkühlung	klein - groß	-	+	++	-	Hoher Aufwand Luftaufbereitung/Be- und Entfeuchtung/ Filter
<b>Indirekte Freie Kühlung</b>							
	- Indirekte-Luftkühlung	klein - groß	-	+	+	0	Kann mit Adiabatik verbessert werden -> Effizienzsteigerung
	- Wärmerad / Kyotokühlung	mittel - groß	-	-	+	-	Technisch und baulich sehr aufwendig
	- separater Freikühler	klein - mittel	+	0	+	+	Klassische Variante, Adiabatik möglich
<b>Energetische Optimierung</b>							
	- Grundwasserkühlung	Nicht überall verfügbar, Kapazitätsbegrenzung, Umweltauflagen, Genehmigung erforderlich					
	- Oberflächenwasser	Nicht überall verfügbar, Umweltauflagen, Genehmigung erforderlich					
	- Absorbtionskälte	Kälte durch Wärme - die idealerweise frei und mit hohen Temperaturen ständig zur Verfügung steht (Abwärme ggf durch BHKW)					
	- Heißwasserkühlung der IT-Hardware	Hohe Rücklauftemperaturen erhöhen den Freikühlanteil (bis 100% Freie Kühlung möglich)					
	- Adiabatische Kühlung	Durch Wasser-Verdunstung wird die Kühlleistung der Rückkühler erhöht. Wasserverfügbarkeit beachten					
	- Kühlung durch Kältespeicher	Optimierung des Kältemaschinenbetriebs, Ausnutzung von Nachtkälte					
	- Solare Kühlung	Zu bewertender Sonderfall					
	- Wärmepumpennutzung	Die Abwärme des RZ's wird zur Beheizung von möglichst ständigen Heizwärmeverbrauchern genutzt. Abwärmennutzung.					

## Fazit:

Quelle: Jürgen Strate, IBM

- Die Verfügbarkeit von Freikühlquellen am RZ-Standort trägt maßgeblich zur Reduzierung von Betriebskosten bei.
- Auch die Standortwahl des RZ wird in den kommenden Jahren mehr und mehr von der Vermeidung von Kompressionskälte durch Nutzung von freier Kühlung bestimmt.

- Die nach **ASHRAE 2015/2016** empfohlene **Raumtemperatur** für Rechnerräume liegt zwischen **18°C und 27°C**
- Das **Grundprinzip der Kompressionskälte** – Kreislauf des Kältemittels:
  - **Kompressor – Verflüssiger – Entspannung – Verdampfer**
- **Funktionsweise und Unterschiede** von **Direktverdampfer- (DX-)** und **Kaltwasser- (CW-)** Systemen
- Die **Maximierung der Freikühlnutzung** ist besonders wichtig und steigert die Energieeffizienz in der Kältetechnik enorm
  - Die **Erhöhung der erlaubten Zulufttemperatur um 1 Kelvin (1°C)** verlängert die **Freikühlnutzung** in Deutschland **um ca. 2 Wochen**
- **EC-Ventilatoren** sind Standard zur energetischen Optimierung der Klimasteuerung.
  - Ein EC-Lüfter transportiert bei **halber Drehzahl** auch den halben Luftvolumenstrom. Die **elektrische Leistungsaufnahme** ist dabei jedoch **nur 1/8!**
- **Kalt- und/oder Warmgang-Einhausung** sind heutiger Standard zur Trennung von Kalt- und Warmluftströmungen in einem Rechenzentrum. Die konsequente Trennung von Kalt- und Warmluftströmungen setzt sich in allen Bauteilen/Komponenten fort (z.B. innerhalb der Racks).
  - **Kalt- und Warmgang-Einhausung** sind dabei **gleichwertig**





A professional headshot of a middle-aged man with short, grey hair, wearing a dark suit, white shirt, and blue tie. He is looking directly at the camera with a slight smile.

**Dipl.-Ing. Jürgen Strate**  
**Senior Management Consultant**  
**Data Center**

Mittelfeldweg 1/1  
D-71093 Weil im Schönbuch  
Phone: +49-(0)1575-2901328  
E-Mail: strate@t-online.de

## Copyright

- Alle Rechte für die gezeigten und den Teilnehmern überlassenen Schulungsunterlagen gehören der DCE academy sowie den jeweiligen Referenten der DCE academy (soweit durch Quell- und Urheberangaben nichts anders geregelt).
- Die Vervielfältigung und Weitergabe auch in Teilen an Dritte ist nicht gestattet. Ebenso die Abspeicherung und/oder Veröffentlichung in Social Media, Internet oder sonstigen Medien.

## Nutzungsrechte

- Der/die Teilnehmer/in der Schulungen erhalten ein personenbezogenes Nutzungsrecht für die in dem gebuchten Kurs vorgestellten und übergebenen Schulungsunterlagen. Das Nutzungsrecht ist nicht übertragbar auf andere Personen, auch nicht innerhalb eines Unternehmens / Organisation.