

Klimatechnik für Einsteiger

Lernziele Klimatechnik (Teil 1 – 4)

Der Kursteilnehmer

- Kennt die Ziele und Aufgaben der Klimatechnik für den IT-Betrieb
- Kennt 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 für Einsteiger - Teil 1 -



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

Klimatechnik für Einsteiger – Kühlung DIN EN 50600-2-3 / 2019-08

Ziel: „Regelung der Umgebungsbedingungen“

- Ansaugtemperatur
- Relative Feuchte
- Filterung
- Luftwechsel

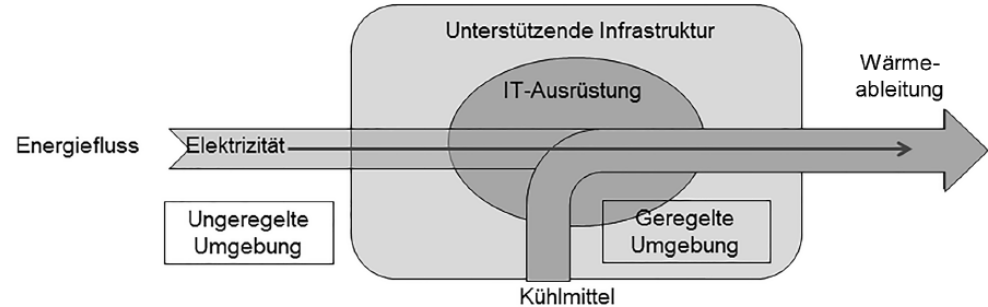
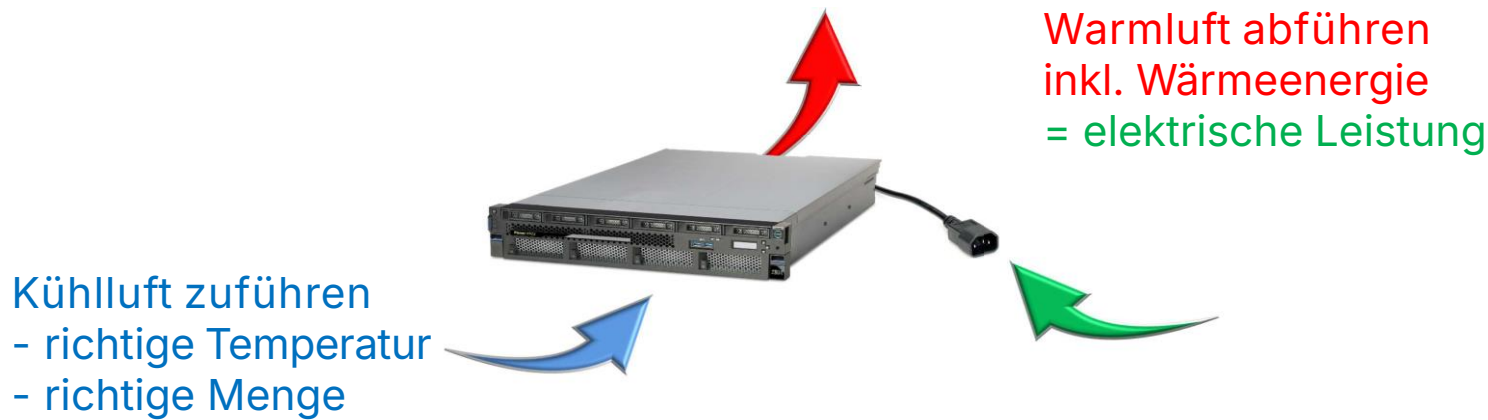


Bild 2 – Energieflussdarstellung der Regelung der Umgebungsbedingungen von Rechenzentrumsbereichen

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)

Klimatechnik für Einsteiger – Aufgaben der IT-Kühlung



+ 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

Klimatechnik für Einsteiger – IT macht „heiße“ Luft

Was passiert eigentlich im White Space?

Thermodynamisch gesehen ist ein Server ein Heizlüfter



Klimatechnik für Einsteiger – „Eiszeit der Vergangenheit“



Klimatechnik für Einsteiger

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)

Klimatechnik für Einsteiger – So einfach geht das !?



Klimatechnik für Einsteiger – So bitte auch nicht!



Klimatechnik für Einsteiger – 1. Hauptsatz der Thermodynamik

1. Hauptsatz der Thermodynamik

Robert Mayer (1814-1878)

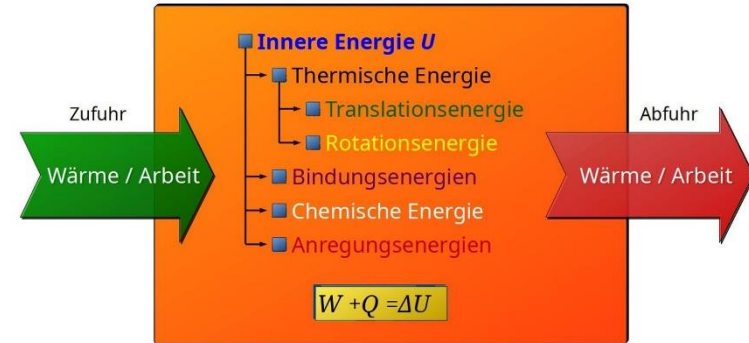
$$\text{Energie}_{\text{innere}} = W + Q$$

$W = W_{\text{pot}} + W_{\text{reib}}$ = 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.



Klimatechnik für Einsteiger – - Wieviel Kühlluft wird benötigt?

Vereinfachte Berechnung: $Q = 1,21 \times \Delta T \times V$

Q = Kälteleistung in kW / 1,21* = Umrechnungsfaktor / ΔT = Temperaturdifferenz / V = Luftstrom in m^3/s
*) für Höhe 0 m und 20°C

Anhaltswerte für 1 kW Wärme:

„Klassische“ Server

ΔT ca. 8 K \rightarrow ca. $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ = $360 \text{ m}^3/\text{h}$



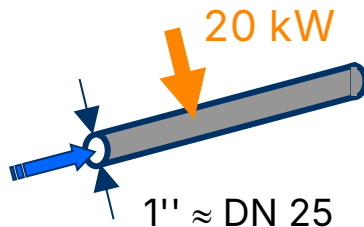
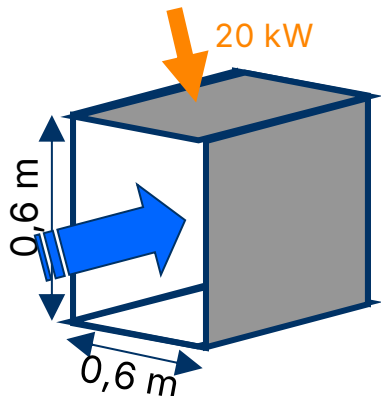
Blade Server

ΔT ca. 16 K \rightarrow ca. $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ = $180 \text{ m}^3/\text{h}$



Klimatechnik für Einsteiger – Energietransport durch Luft oder Wasser?

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



Volumenstrom bei Luft ist sehr viel größer als bei Wasser; in dem u.g. Beispiel:
→ ca. 2.050 mal

Größere Leistung, längere Strecken:
→ Flüssigkeit näher an Wärmequelle

Luft:

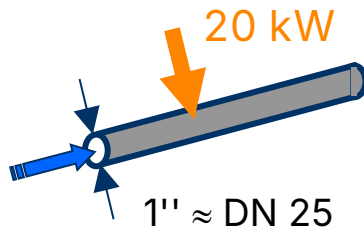
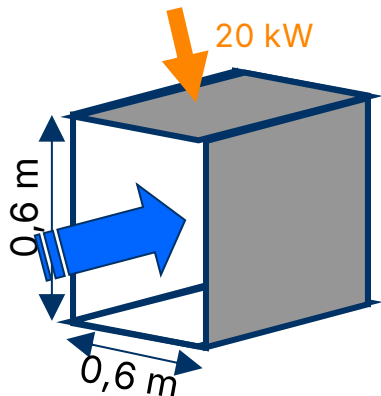
- $\Delta T = 10 \text{ K}$
- $V = 5.950 \text{ m}^3/\text{h} = 1,653 \text{ m}^3/\text{s}$
- $v = 5 \text{ m/s}$

Wasser:

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

Klimatechnik für Einsteiger – Energietransport durch Luft oder Wasser?

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



Volumenstrom bei Luft ist sehr viel größer als bei Wasser; in dem u.g. Beispiel:
→ ca. **3.450** mal

Größere Leistung, längere Strecken:
→ Flüssigkeit näher an Wärmequelle

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:

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

Klimatechnik für Einsteiger – Energietransport durch Luft oder Wasser?

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

- ΔQ 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):

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

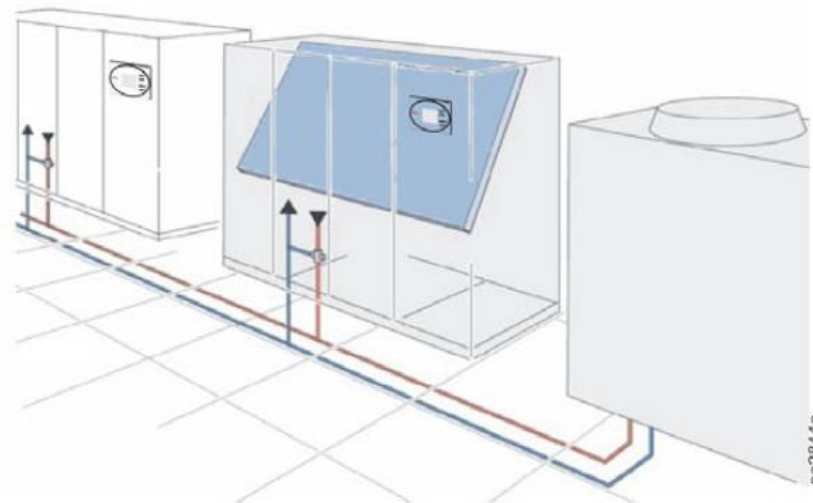
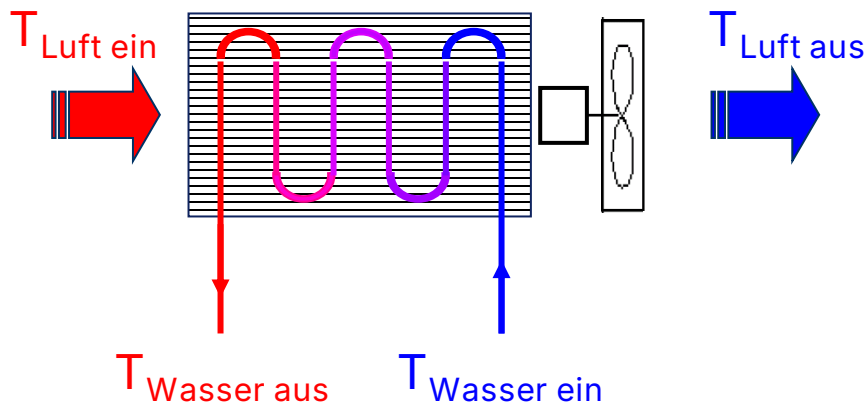
Quelle: Wikipedia

Werte für ausgewählte Materialien [\[Bearbeiten \]](#) [\[Quelltext bearbeiten \]](#)

Material	c in kJ/(kg·K)
Feststoffe bei Normalbedingungen	
Eis (0 °C)	2,06 ^[2]
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
Flüssigkeiten bei Normalbedingungen	
Wasser	4,18
Ethanol, Glycerin	2,43
Petroleum	2,14
Quecksilber	0,139

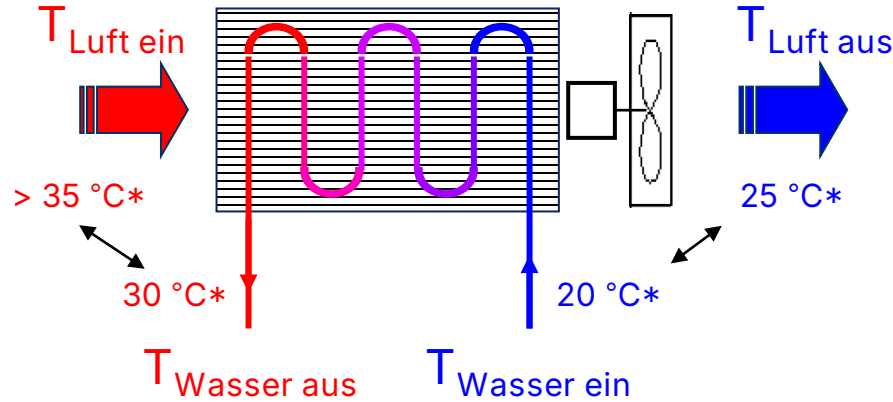
Material	c in kJ/(kg·K)
Gase (c_p) bei Normalbedingungen	
Wasserstoff	14,3
Helium	5,19
Methan	2,16
Wasserdampf (100 °C)	2,08
Butan	1,66
Luft (trocken)	1,01
Kohlenstoffdioxid	0,846
Argon	0,523
Baustoffe bei Normalbedingungen	
Holzfaserdämmstoff, Zelluloseflocken	2,1
Polystyrol	1,4
Schamotte	≈ 1
Beton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

Klimatechnik für Einsteiger – Wärmetauscher: Von der Luft ins Wasser



Coil bzw. Register

Klimatechnik für Einsteiger – Wärmetauscher: Von der Luft ins Wasser



Dabei geht „Temperatur verloren“.

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

(grober Anhaltswert)

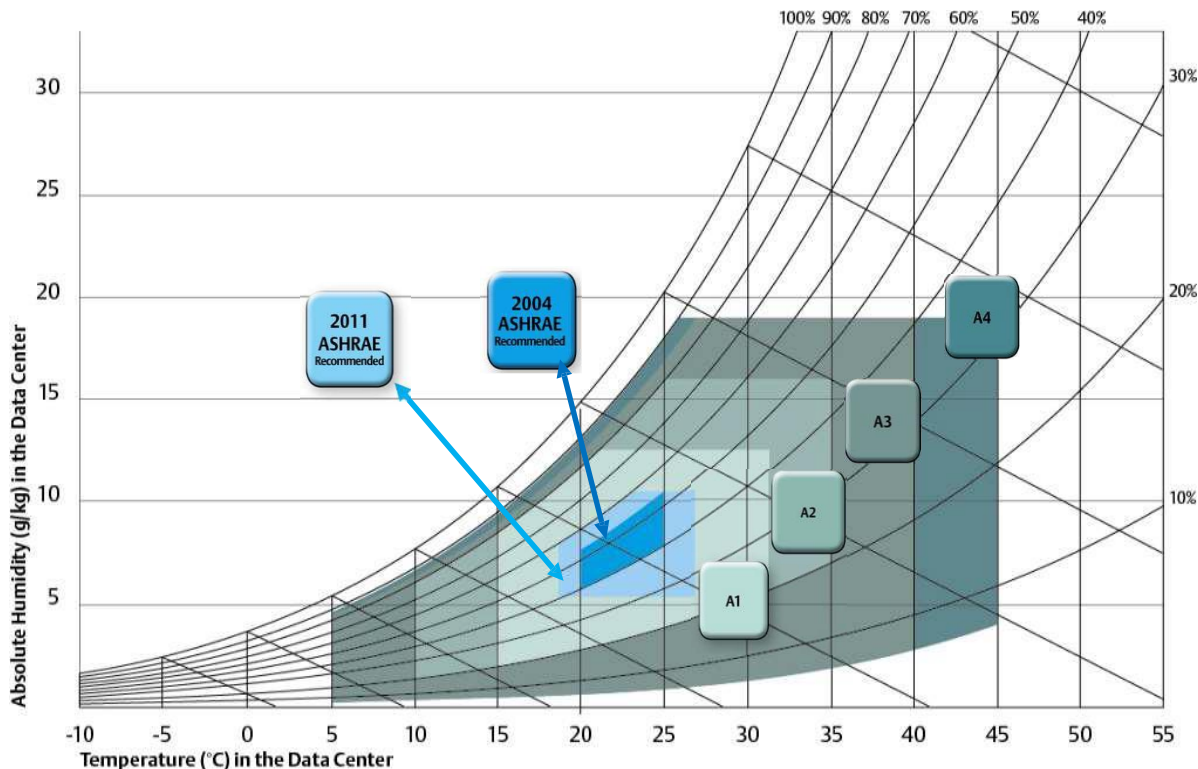
genauso auf der warmen Seite

*mit größerem WT auch weniger

Coil bzw. Register

* Beispielwerte

ASHRAE TC 9.9 – 2004 und 2011 (2015/2016): Erhöhung der empfohlenen Temperaturen



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

ASHRAE TC 9.9 – 2015/2016: Empfohlene & zulässige Spezifikationen

Table 2 ASHRAE 2015 Thermal Guidelines [1]

ASHRAE TC9.9

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

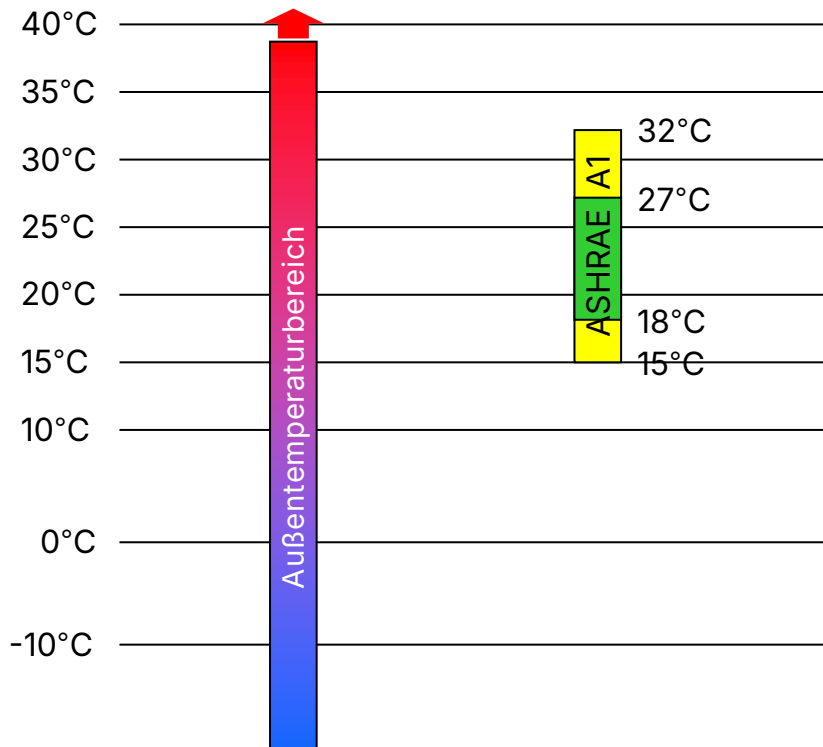
Data Center Power Equipment Thermal Guidelines and Best Practices

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>

Klimatechnik für Einsteiger – Ansaugtemperatur (IT-System)

Die richtige Ansaugtemperatur festlegen:



Fenster auf reicht nicht!

Erreichbar mit adiabater Kühlung

Darunter nur erreichbar mit

„mechanischer Kühlung“
= Kältemaschine

oder Grund- /
Frischwasserkühlung.

Klimatechnik für Einsteiger – Ansaugtemperatur (IT-System)

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

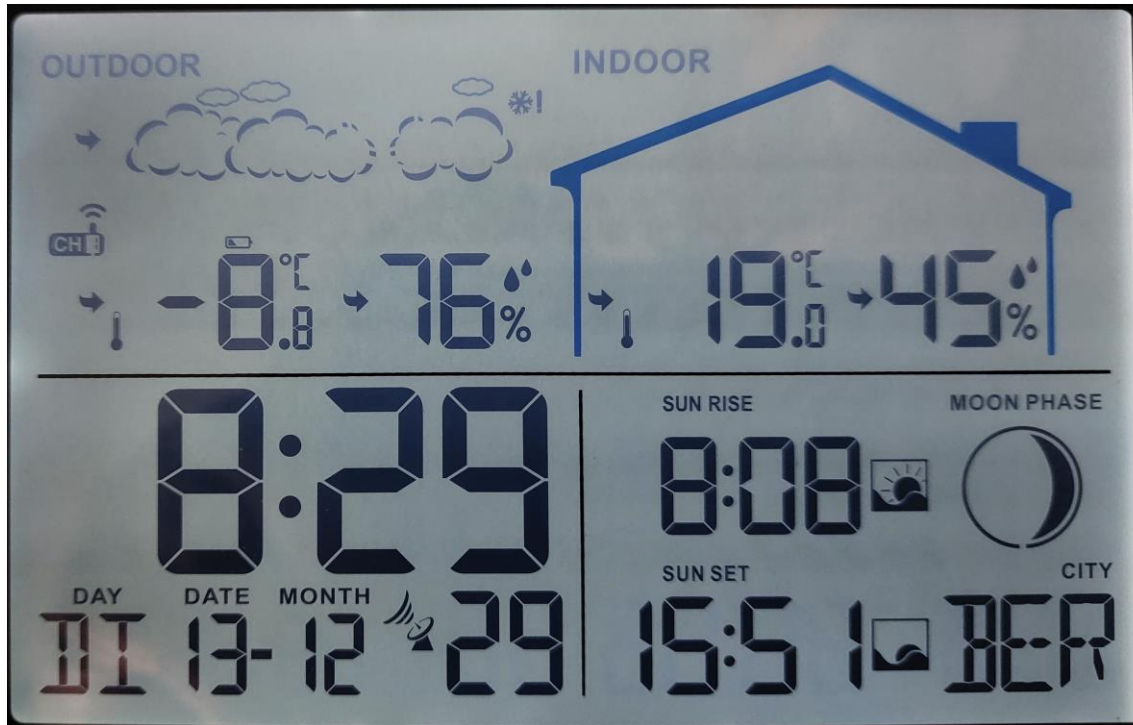
Es gilt für einen bestimmten Luftdruck p (in der Regel für den atmosphärischen Luftdruck, z. B. 100 kPa), also für isobare Zustandsänderungen.

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.

h,x-Diagramm nach Mollier – Beispiel Wetterdaten

In welchem Zustand ist die absolute Wassermenge pro kg Luft größer?



Innen

- 19°C
- 45% rel. Feuchte

Außen

- -8,8°C
- 76% rel. Feuchte

h,x-Diagramm nach Mollier

Innen

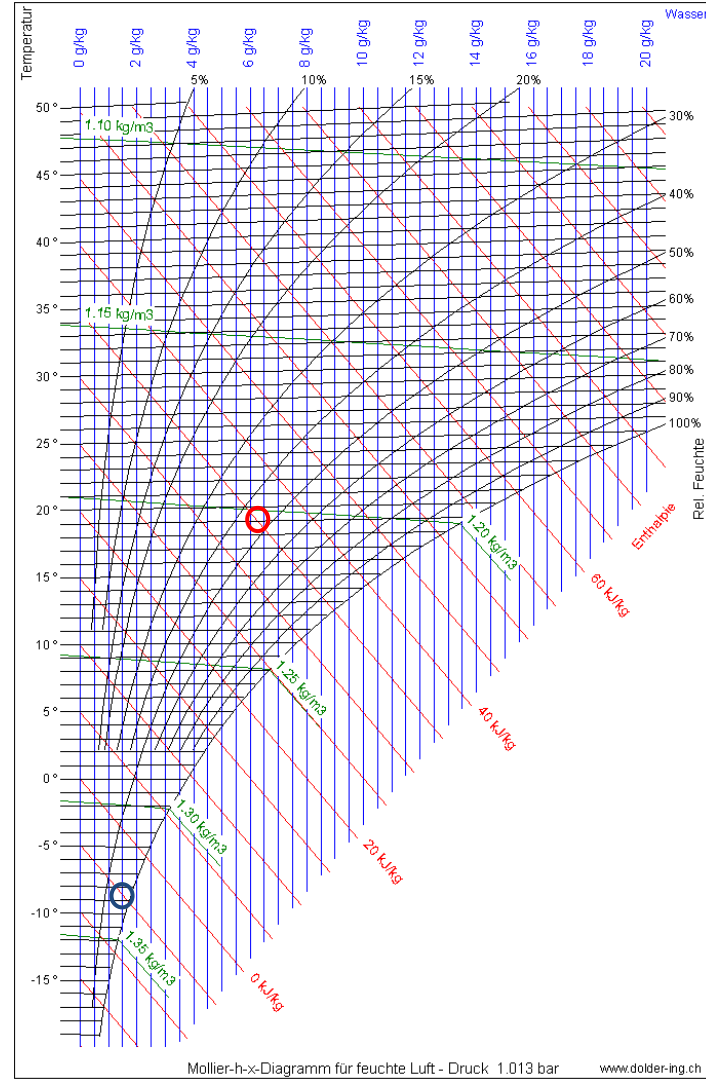
- 19°C
- 45% rel. Feuchte

⇒ ca. 6 g Wasser / kg Luft

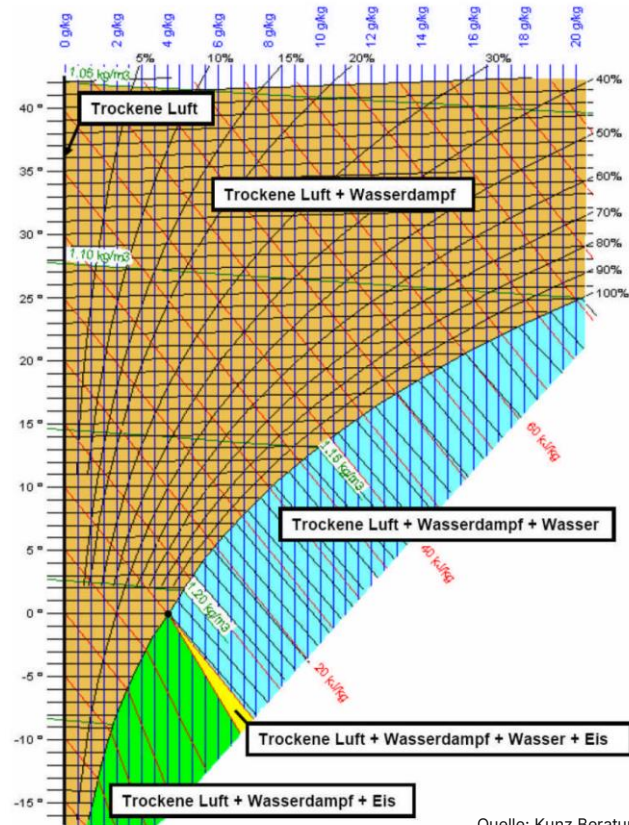
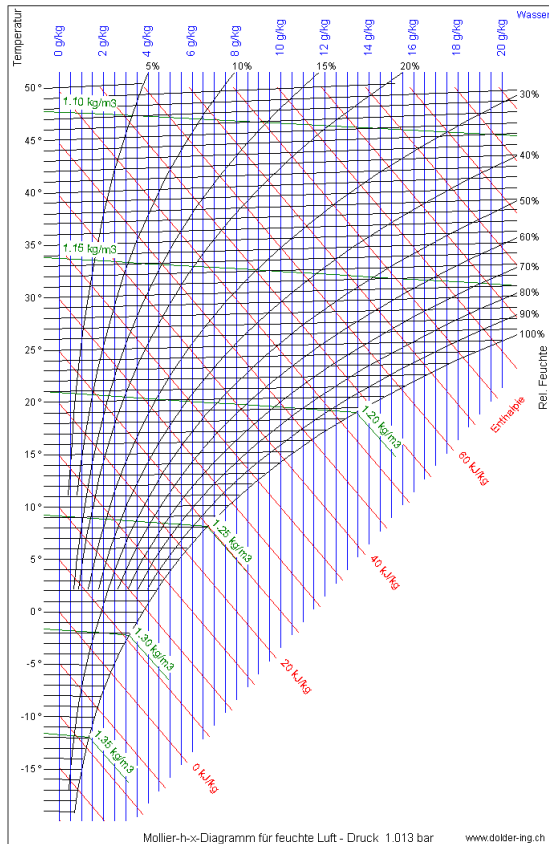
Außen

- - 8,8°C
- 76% rel. Feuchte

⇒ ca. 1,5 g Wasser / kg Luft



h,x-Diagramm nach Mollier



Quelle: Kunz Beratungen GmbH

Den hat jeder zu Hause – Funktionsprinzip Kühlschrank – leicht erklärt ...



<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: $-11,73^\circ C$
 GWP-Wert von R600a: 3

1. Kompressor

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

2. Verflüssiger

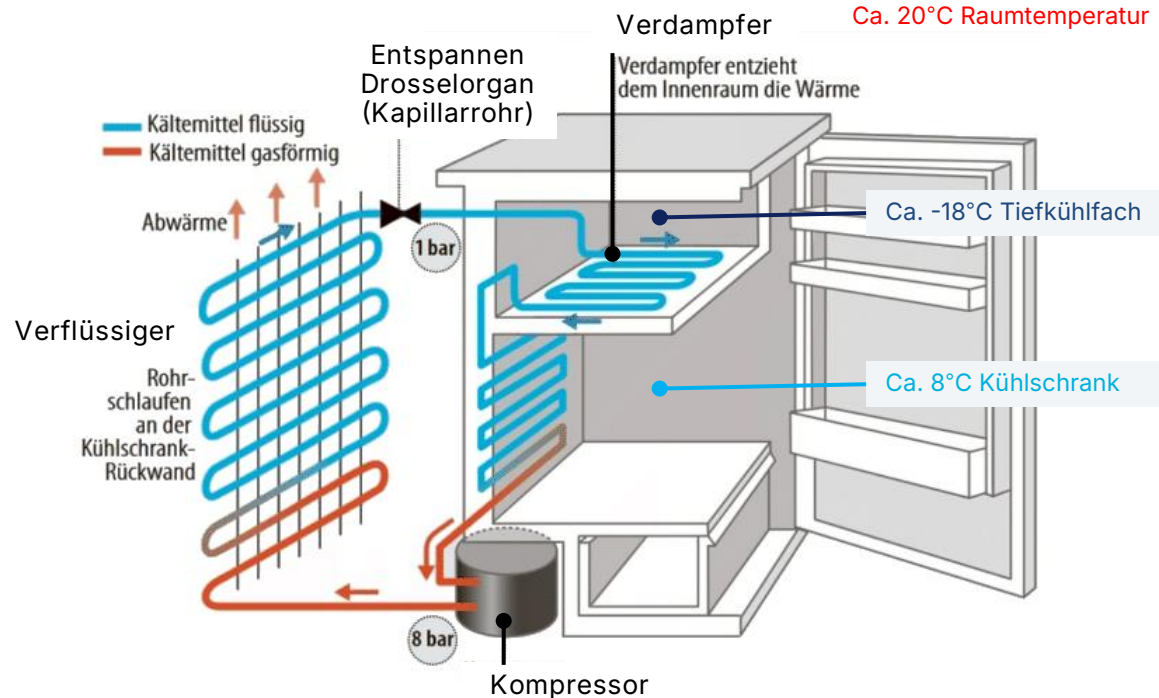
Das unter hohem Druck stehende gasförmige Kühlmittel gibt im Rohrsystem des Kondensators (Verflüssiger) an die umgebende Zimmerluft Energie ab, das Kühlmittel wird flüssig. Die dabei freiwerdende Kondensationswärme wird ebenfalls an die Umgebung abgegeben (Q_{ab}).

3. Entspannung

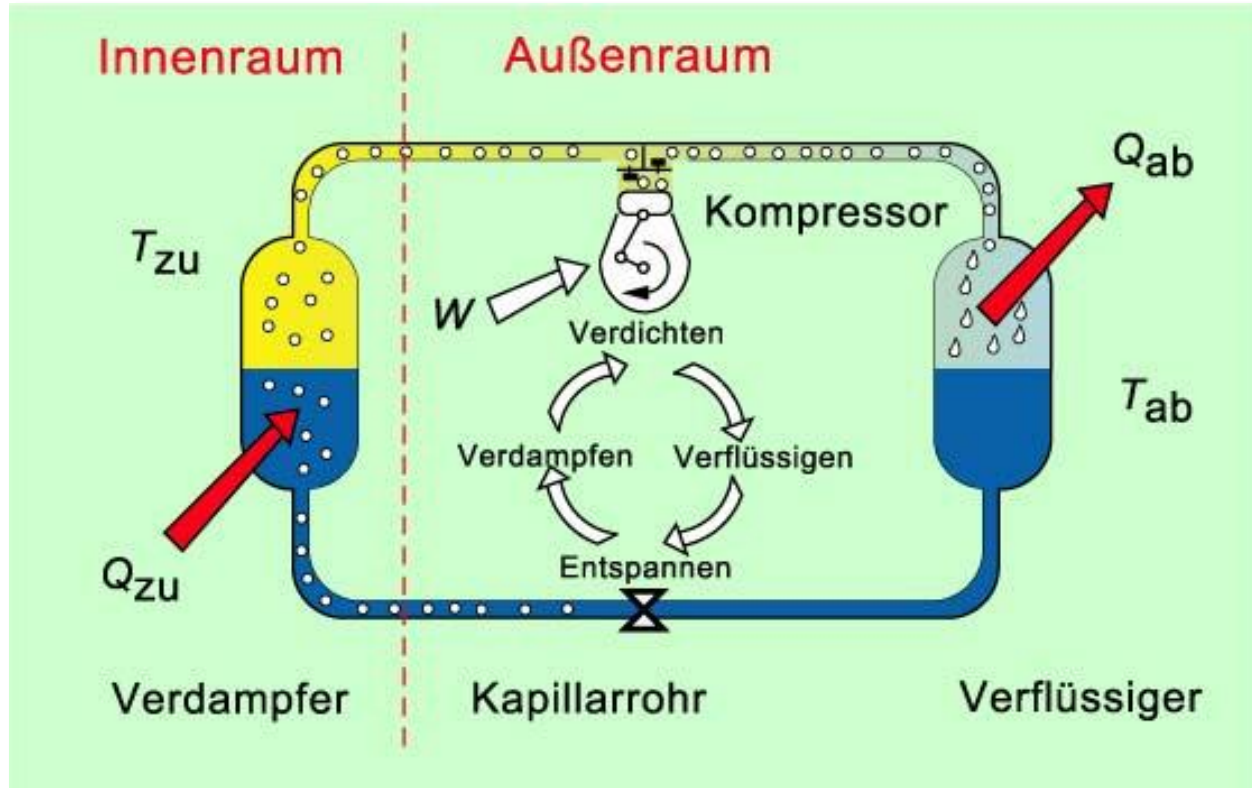
Durch ein Reduzierventil (Drossel) wird nun der Druck des flüssigen Kühlmittels soweit reduziert (auf ca. 1 bar), dass die Siedetemperatur wieder $-30^\circ C$

4. Verdampfer

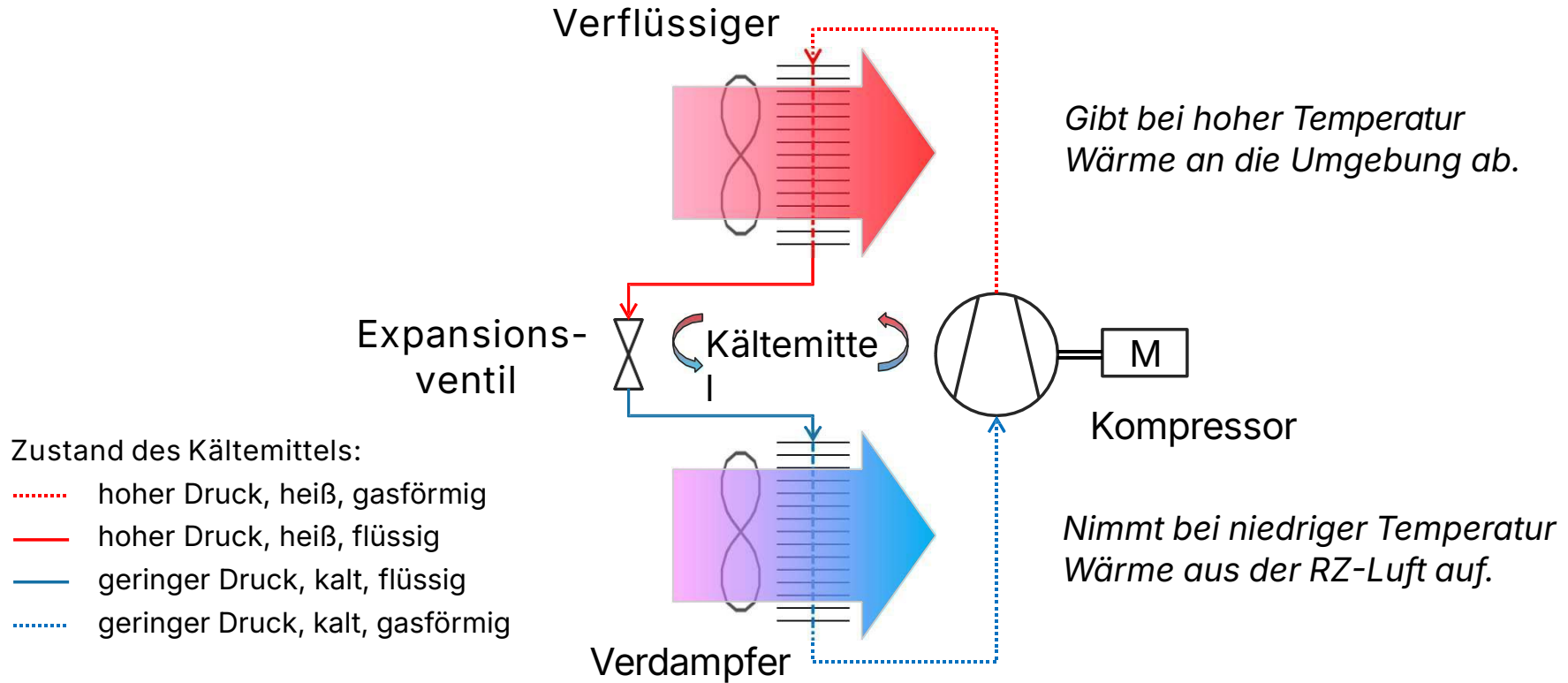
Dieses Kühlmittel gelangt in flüssiger Form bei ca. 1 bar in den Kühlschrank. Da es im Kühlschrank wärmer als $-12^\circ C$ bzw. $-30^\circ C$ ist, verdampft das Kühlmittel im sogenannten Verdampfer. Die dazu notwendige Verdampfungsenergie wird den im Schrank befindlichen Lebensmitteln entzogen (Q_{zu}).



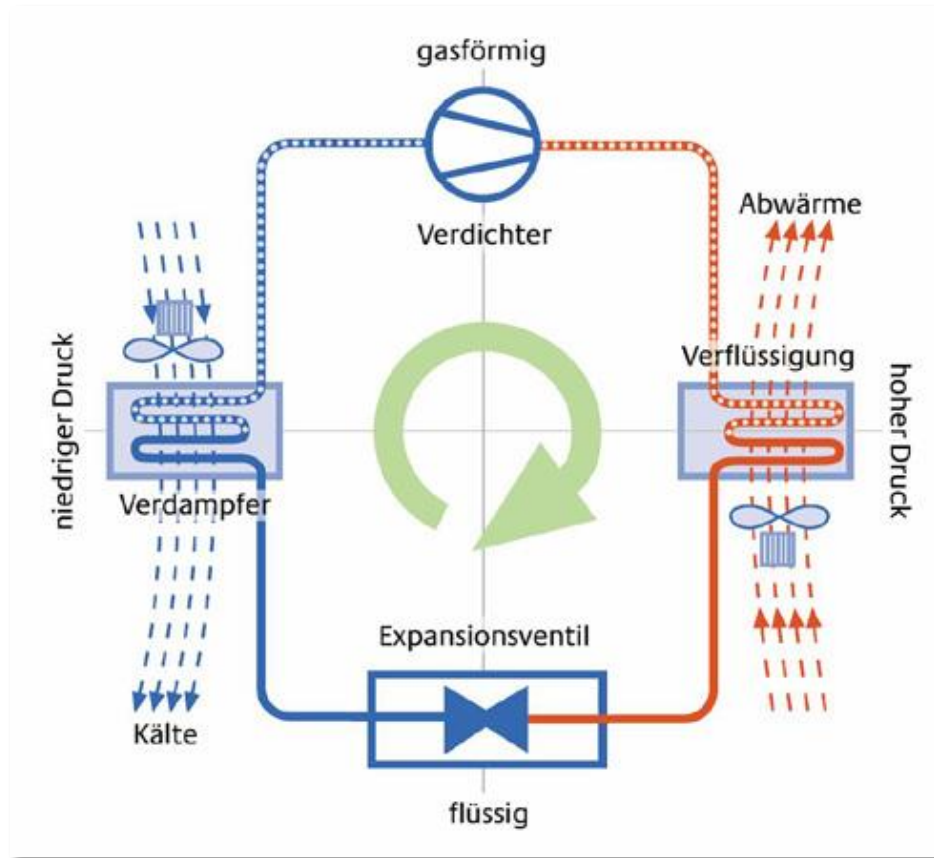
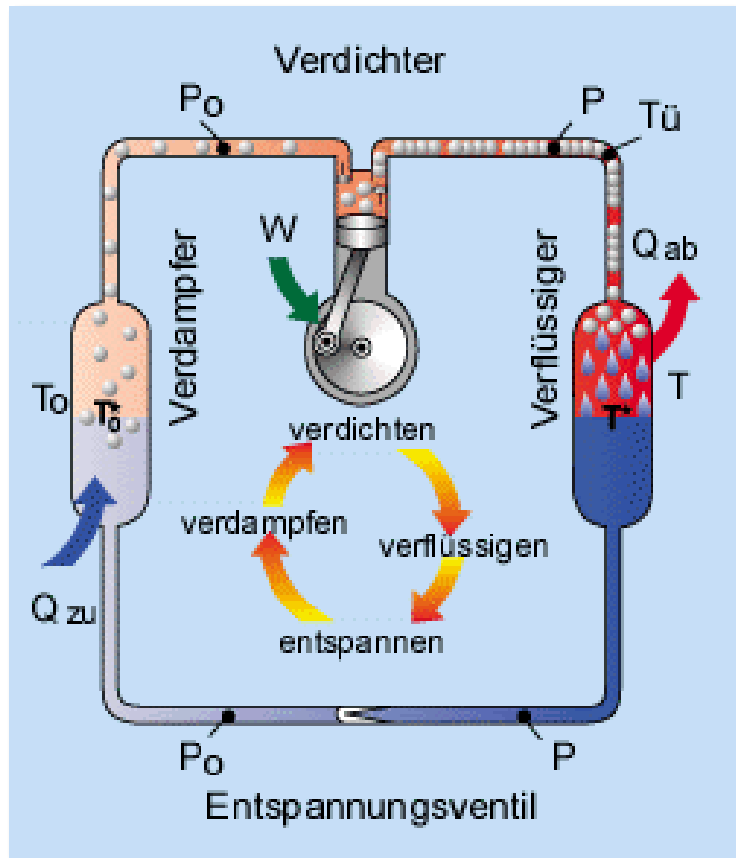
Den hat jeder zu Hause – Kompressor-Prinzip Kühlschrank



Funktionsschema Kompressionskältemaschine



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:

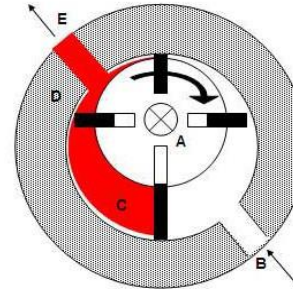
- [illegible]

Kältemaschinen/Kompressor-Typen/Bauweise (Auszug) – Das Herz der Anlagen

Schraubenkompressor



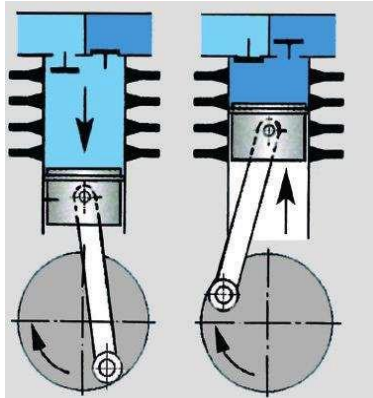
Mehrkammer-Rotationsverdichter



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

Rotationskompressor

Scrollverdichter



Kolbenkompressor

Umformer AC/DC/AC
mit Drehzahlsteuerung

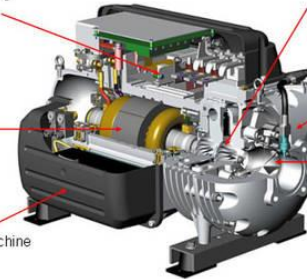
Synchronmotor
Permanentmagnet
frequenzgesteuert

Steuerung Motor,
Lager und Kältemaschine

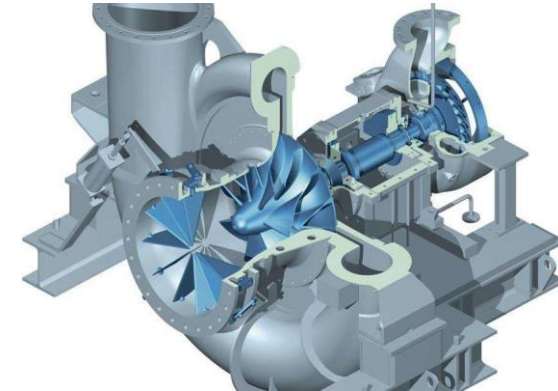
Laufkörper, zweistufig

Druck-/Temperatur-
sensoren

Dralldrossel

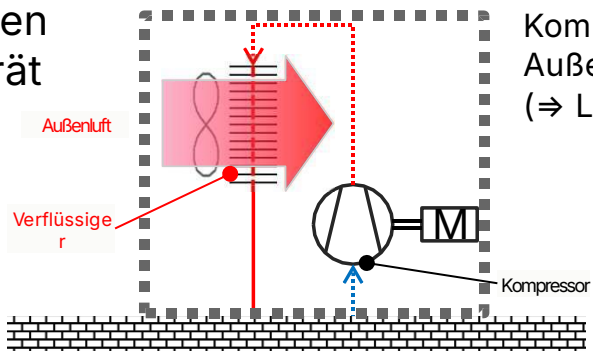


Ölfreier Turboverdichter Turbocor

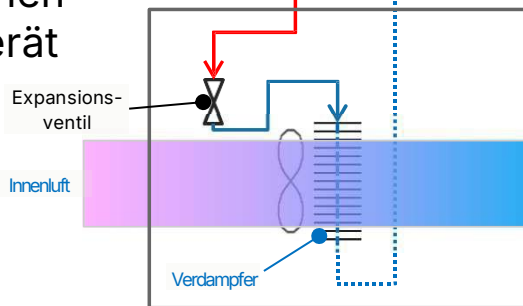


Systembauweisen - Direktverdampfer (DX = Direct Expansion)

Außen-
gerät

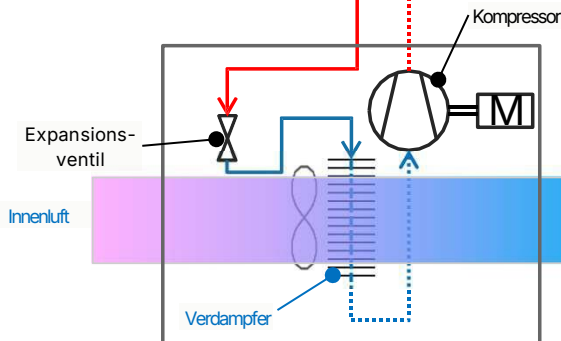
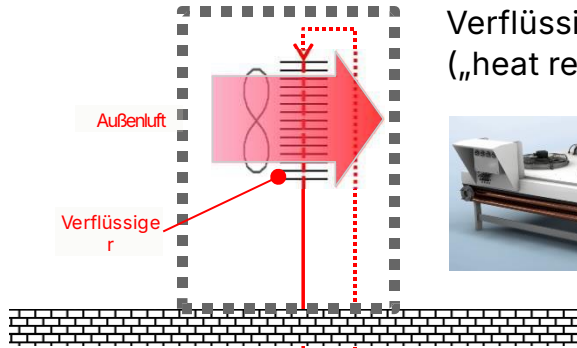


Innen-
gerät



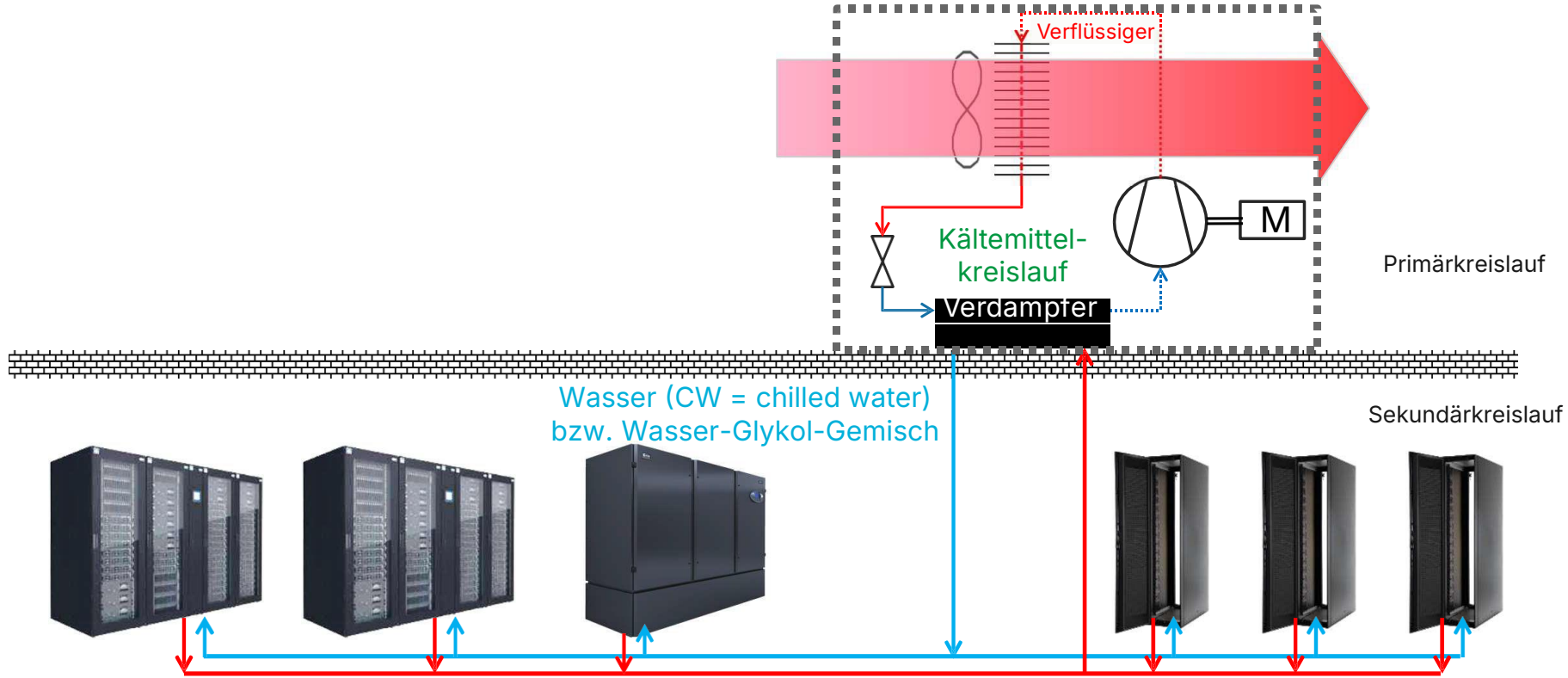
Split-Kühlgerät
Mikro-RZ

Verflüssiger
(„heat rejection“)

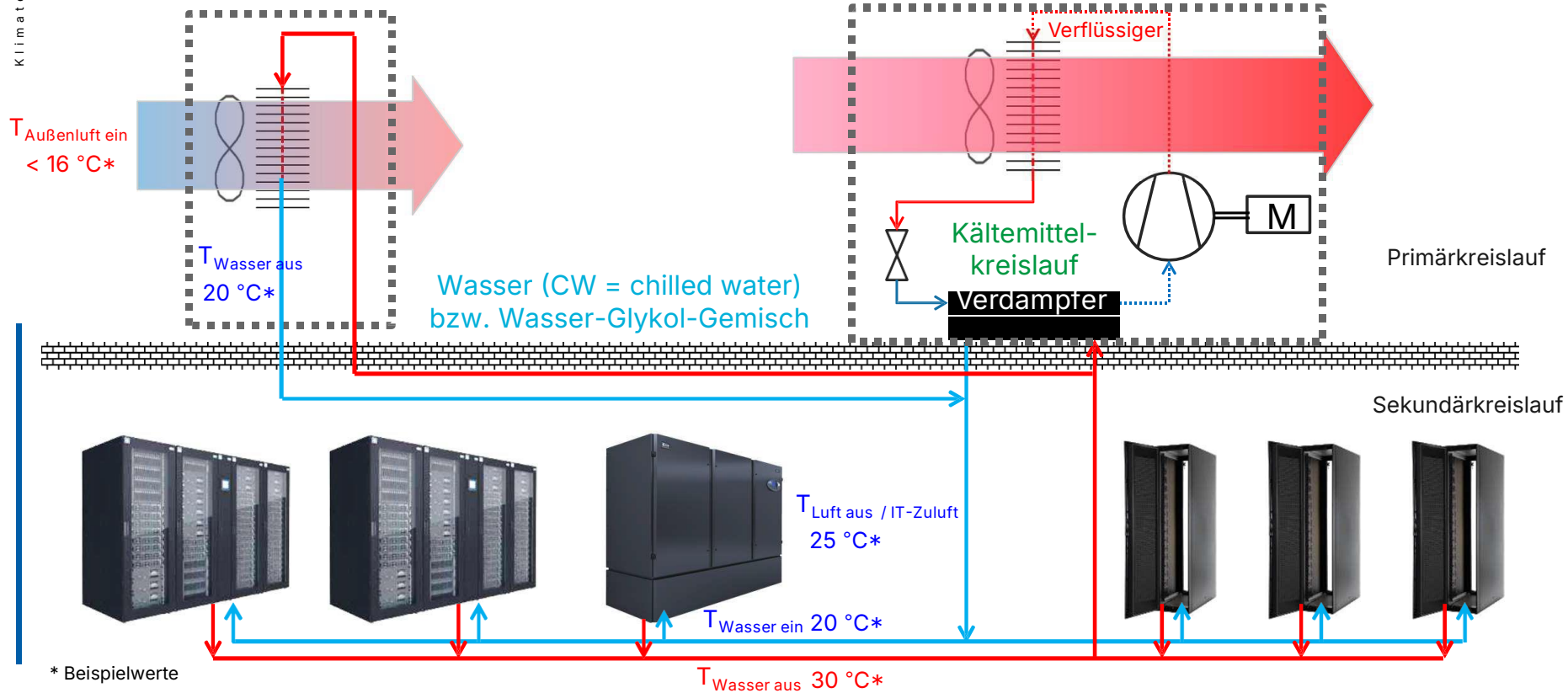


Kompressor im
Innengerät
(⇒ Lärm innen)

Systembauweisen - Kaltwassersatz (Chiller) (ohne Freikühlung)



Systembauweisen - Kaltwassersatz (Chiller) mit Freikühlung



Maximale Energieeffizienz durch Lüfterregelung – EC Lüfter

EC Lüfter (z.B. aus 150 kW Gerät)



EC Lüfter mit Drehzahlregelung

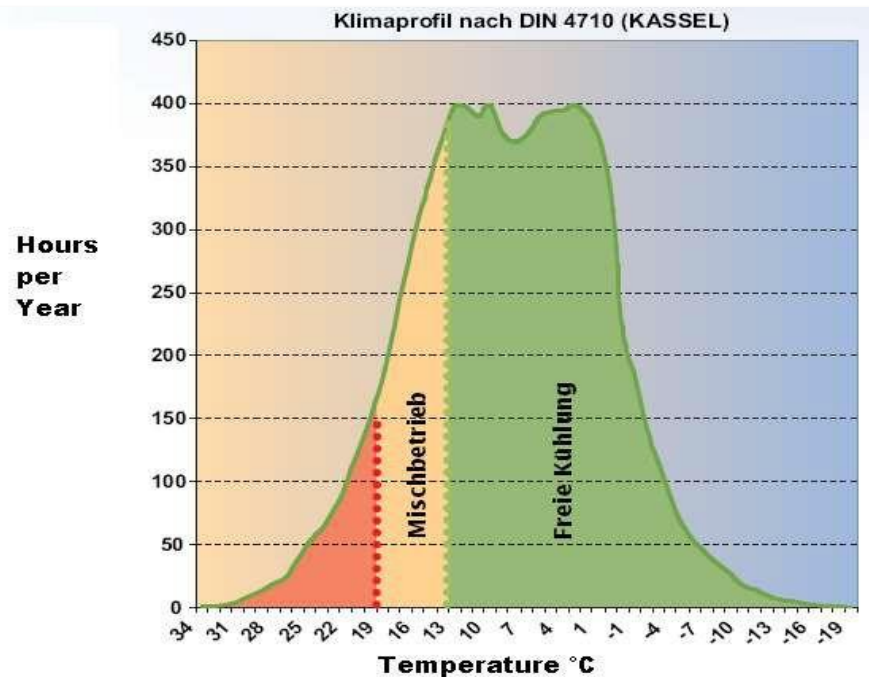
- 1/2 Drehzahl \Rightarrow 1/2 Luftmenge
aber
- 1/2 Drehzahl \Rightarrow **1/8 Leistungsaufnahme**
- Möglichst alle Kühlgeräte parallel laufen lassen
 - auch bei Teillast
 - Redundanzgeräte

Bsp.: 2 UKGs je 150 kW (N+1 Redundanz)

- Fall A: nur ein Gerät mit 150 kW im Wechsel in Betrieb
 - Leistung UKW 150 kW
 - 100% Drehzahl / 100% Volumenstrom
 - \Rightarrow **9kW Stromverbrauch**
- Fall B: beide Geräte mit je 75 kW gleichzeitig in Betrieb
 - Leistung UKW $2 \times 75 \text{ kW} = 150 \text{ kW}$
 - $2 \times 50\%$ Drehzahl / $2 \times 50\%$ Volumenstrom
 - \Rightarrow **$2 \times 1,25 \text{ kW} = 2,25 \text{ kW Stromverbrauch}$**

Energieeinsparung durch indirekte Freikühlung

- 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⁽¹⁾, spart **ca. 1.000,- €** (2.100,- €) Stromkosten pro Jahr



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

Energieeinsparung durch indirekte Freikühlung

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 ¹	7.760	7.010	7.529	6.492	5.637	5.444	5.577	5.341	5.667	6.708	3.219
Anteil ²	87 %	80 %	86 %	74 %	64 %	62 %	64 %	61 %	65 %	77 %	37 %
Jährliche Stundenanzahl unter 27°C ¹	8.720	8.727	8.728	8.399	7.817	8.198	8.114	7.865	8.637	8.593	8.312
Anteil ²	99,5 %	99,6 %	99,6 %	96 %	89 %	94 %	93 %	90 %	99 %	98 %	95 %

¹Jahrestemperaturstunden bis einschließlich 18°C/27°C

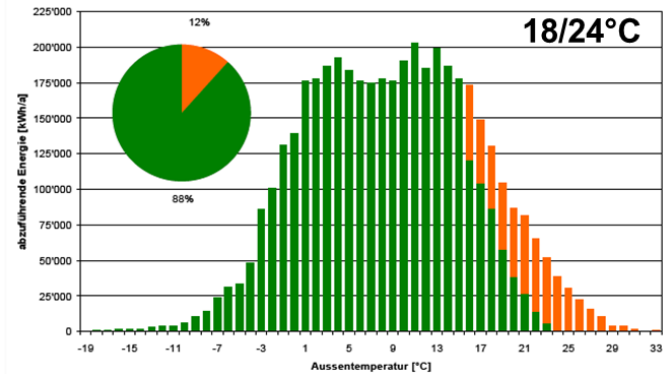
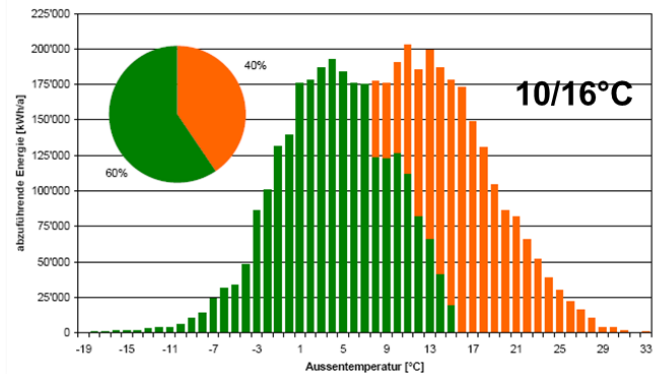
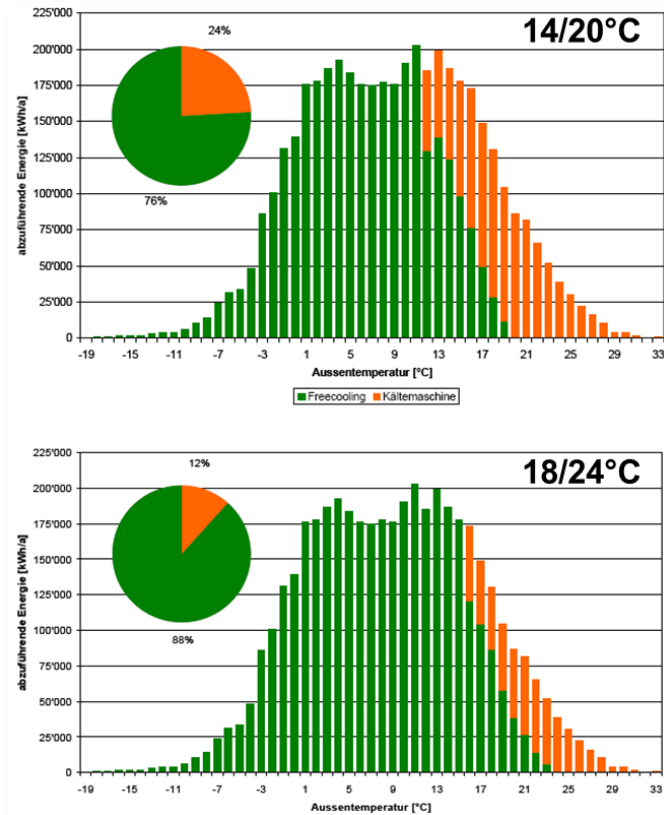
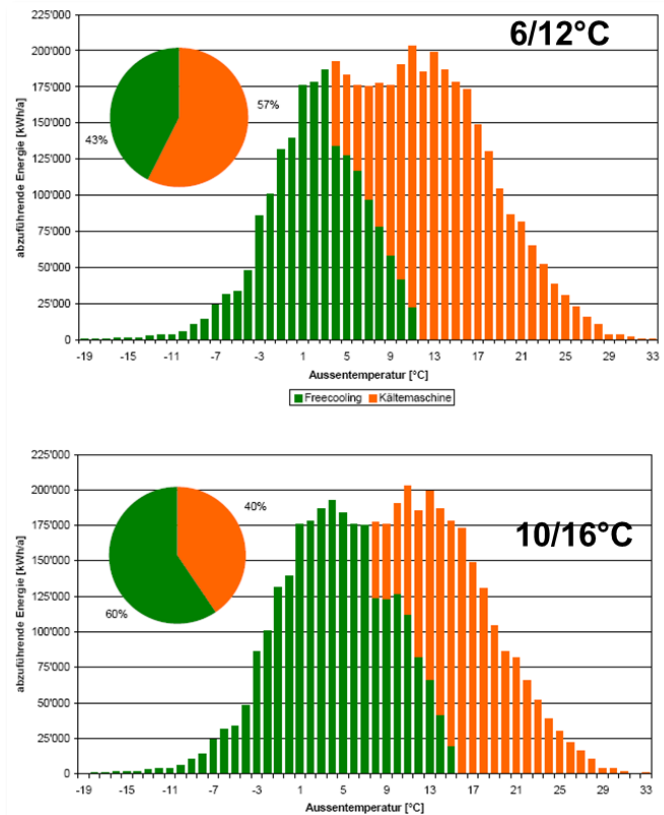
²Prozentualer Anteil der Jahrestemperaturstunden bis einschließlich 18°C/27°C

Quelle: Stulz

Energieeinsparung durch indirekte Freikühlung

Potential in Abhängigkeit
der Kaltwasser-
temperaturen:

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



Quelle: IBM

Kältemittel

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

<https://www.infraserv.com/de/leistungen/facility-management/expertenwissen/f-gase/gwp-rechner/>

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

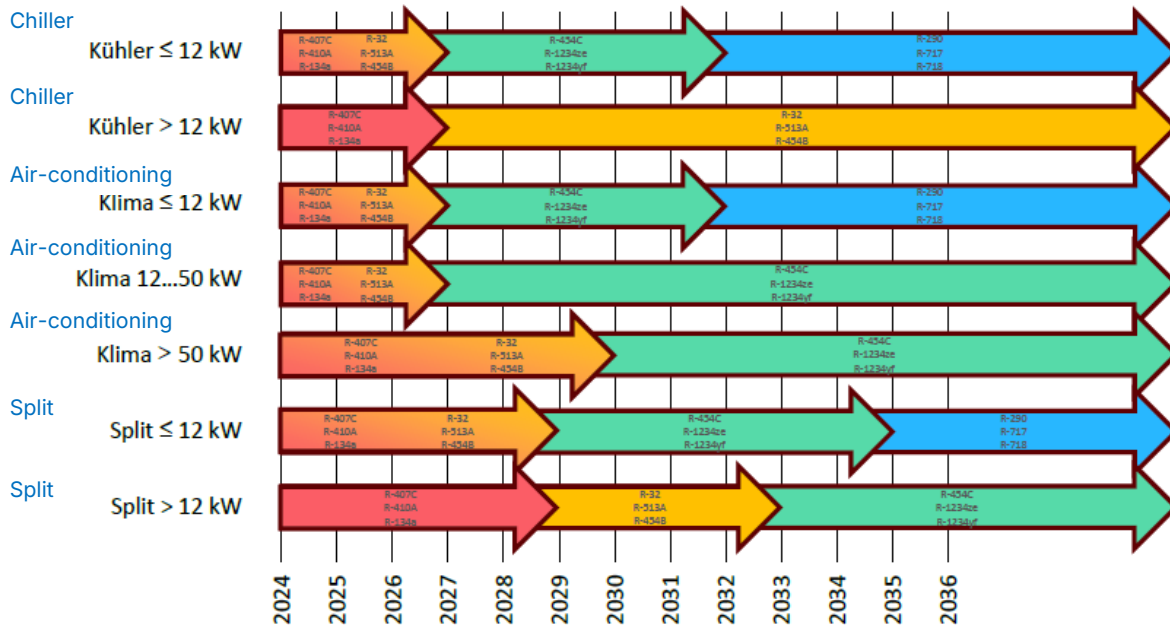
Air conditioning:

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

STULZ



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)

Komponenten Klimatechnik

Lüftungsanlage / Heizung Büros

Umluftkühlgeräte (UKG) für TGA-Technikräume

Umluftkühlgeräte (UKG) für IT-Räume

Pumpen / Pumpstationen IT / TGA

Pumpen KM

Platten-Wärmetauscher (WT)

Rückkühler (Dachaufstellung)

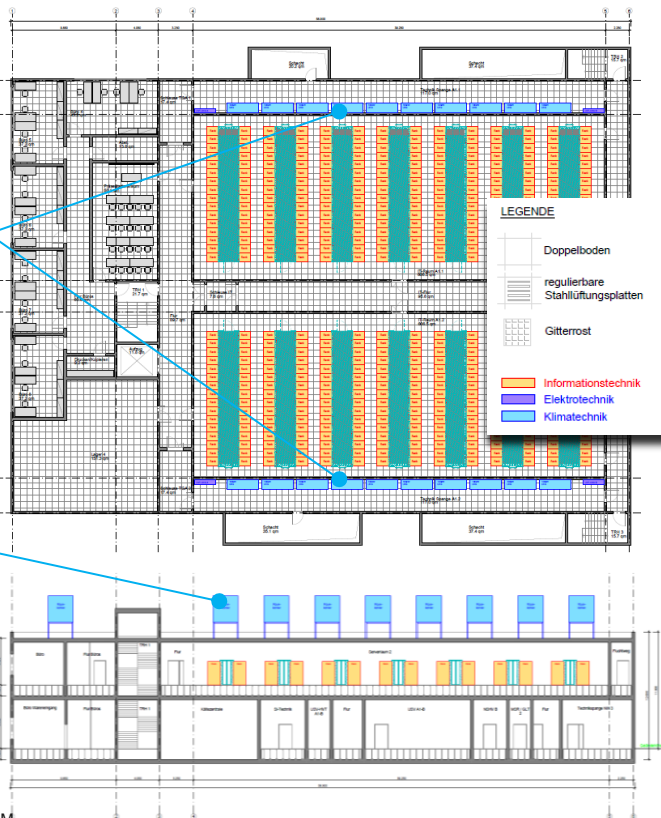
Lüftungsanlage (Zu-/Abluft)

Wärmepumpe

Kältemaschinen (KM)

Pufferspeicher

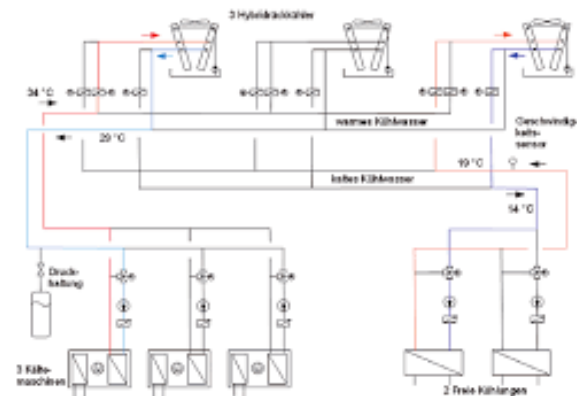
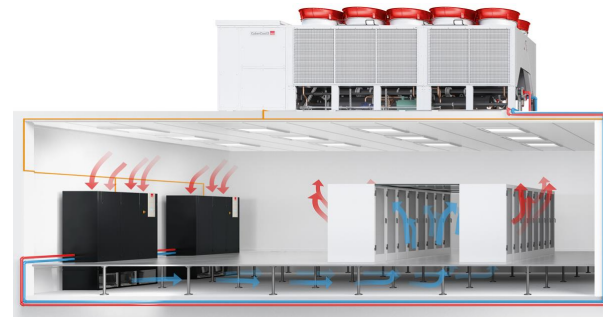
Quelle, Copyright, Eigentum: IBM



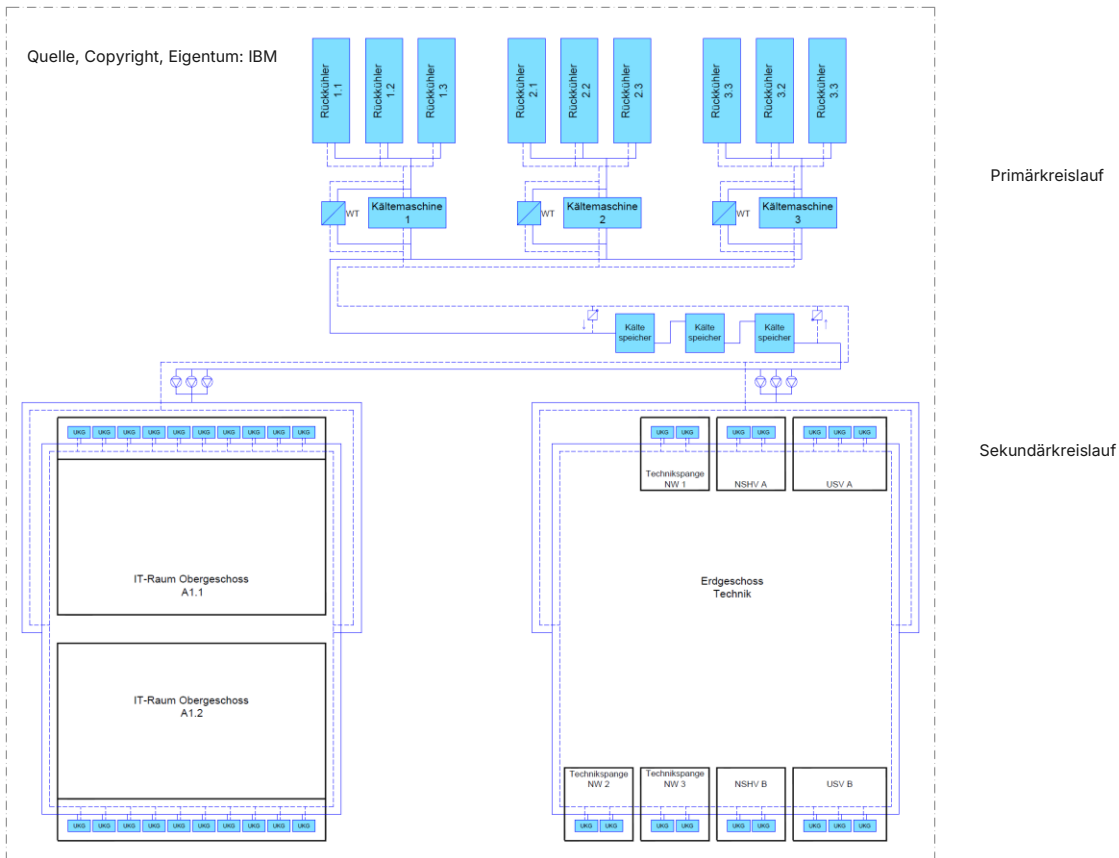
Funktionsschema Klimatechnik Rechenzentrum (Beispiel)

White Board Exercise / Gruppenübung

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

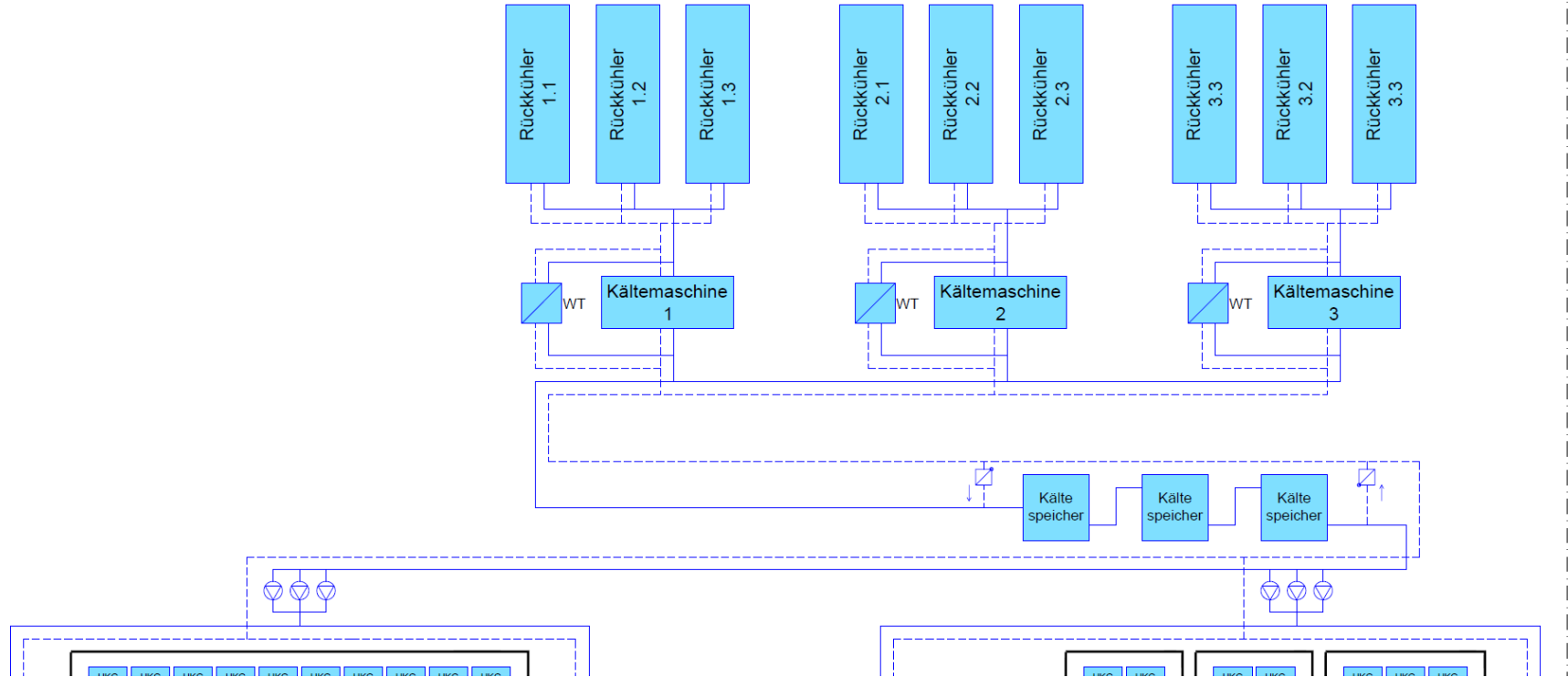


Funktionsschema Klimatechnik Rechenzentrum (Beispiel)

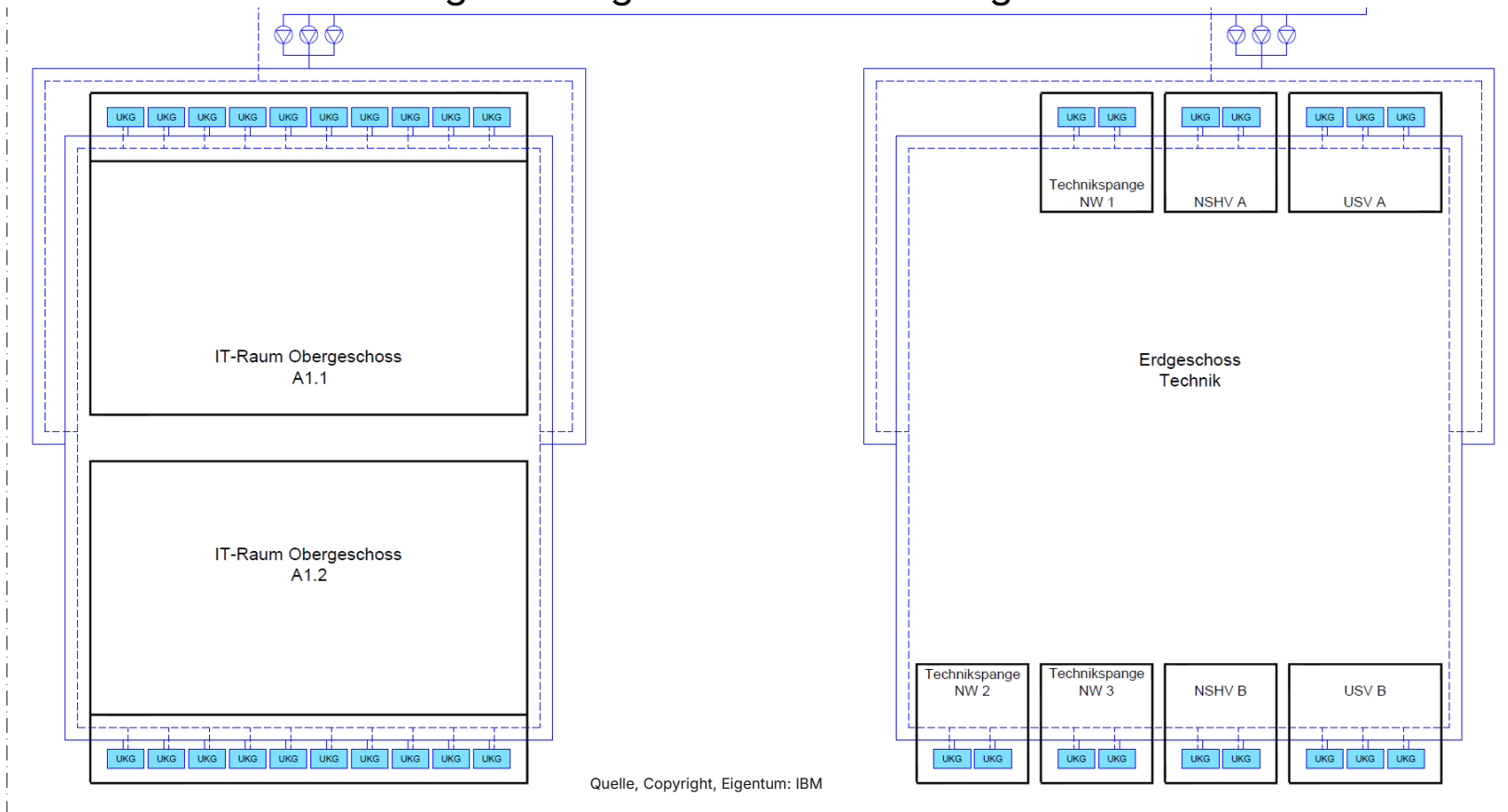


Funktionsschema Klimatechnik Rechenzentrum (Beispiel)

Quelle, Copyright, Eigentum: IBM



Klimatechnik für Einsteiger – Aufgaben der IT-Kühlung



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 /

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

Klimatechnik für Einsteiger – Die wichtigsten Anforderungen

- Größe des RZ: Fläche bzw. Zahl der Racks
- Gesamtleistung (kW bzw. MW)
- Leistungsdichte, kW je m² bzw. je Rack
- Geforderte Verfügbarkeitsklasse
- Geforderte Energieeffizienz (pPUE)
- Bauliche Gegebenheiten
- Klima am Standort
- Zukünftige Entwicklung

Klimakonzepte und Systeme - Die Auswahl ist groß

Luft- oder flüssigkeitsgekühlte IT

Raum-, Reihen-, Rackkühlung

Kaltgang- oder Warmgangeinhausung

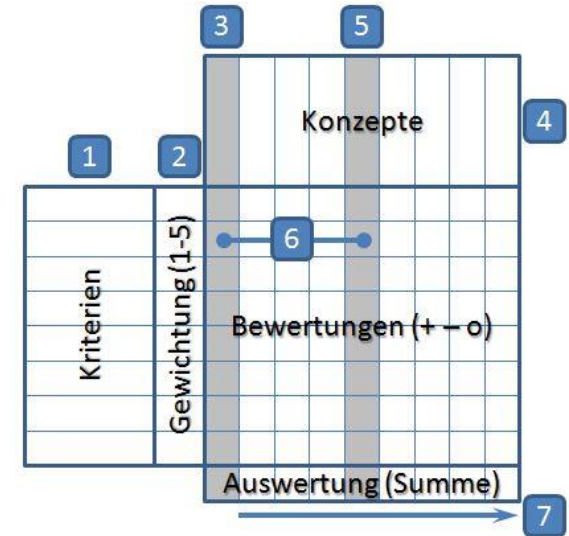
Doppelboden oder (abgehängte Decke)

Direkte / indirekte freie Kühlung

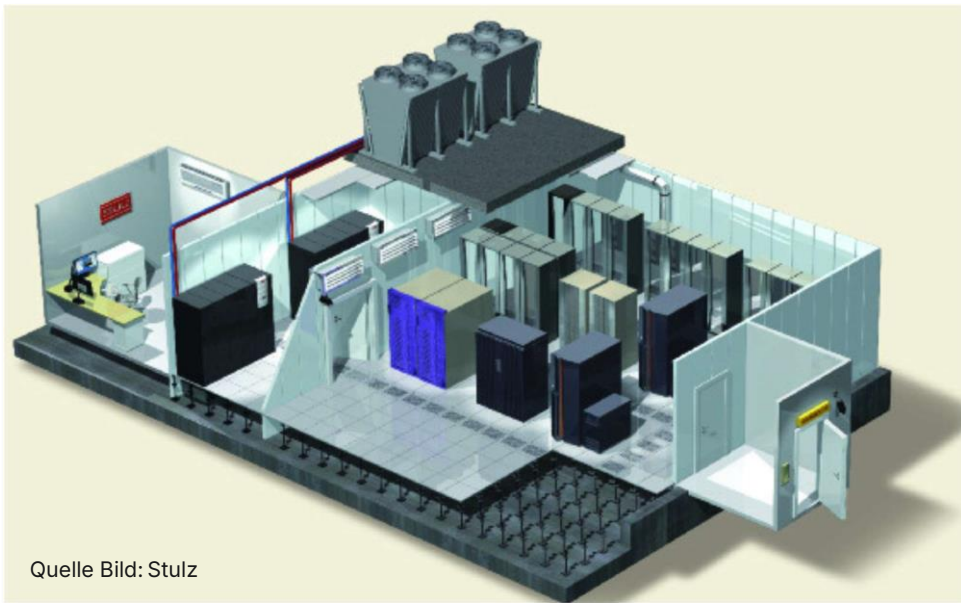
Kaltwasser oder Kältemittel

Kältemaschinen / Adiabatik / trockene Kühlung

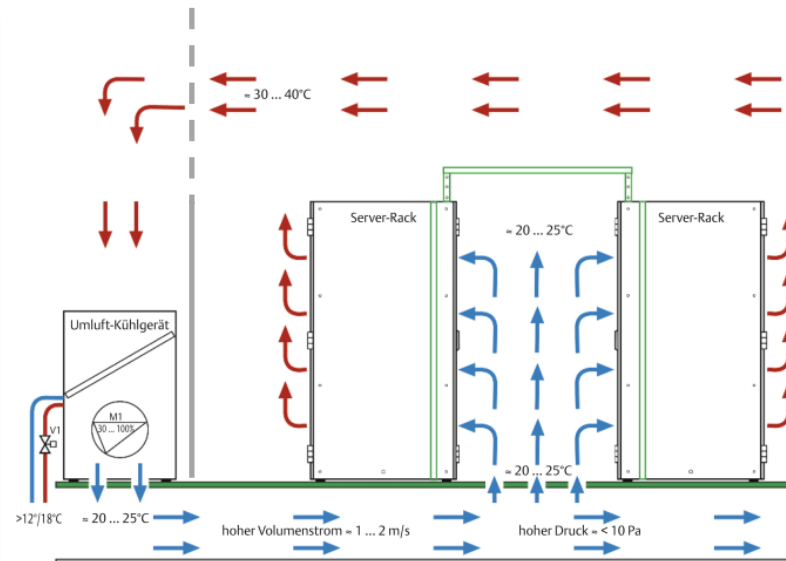
Grundwasser / Seewasser / Meerwasser



Standardklimatisierung im RZ: „Downflow“ und Doppelboden



Quelle Bild: Stulz



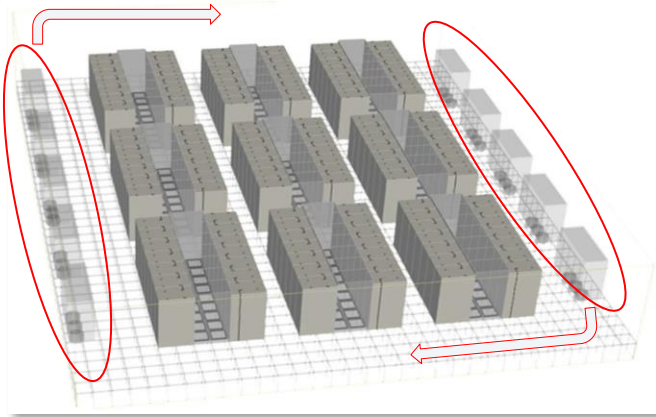
Standardklimatisierung im RZ: „Downflow“ und Doppelboden

Hinweis:

Falsche Anordnung / Darstellung
Umluftkühlgeräte zu Rackreihen!



Grenzen der Raumkühlung



- 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.

Doppelboden - Viel Platz für Hohe Leistung



Kalter Gang, Breite 180 cm!

Gitterroste vor den Schränken

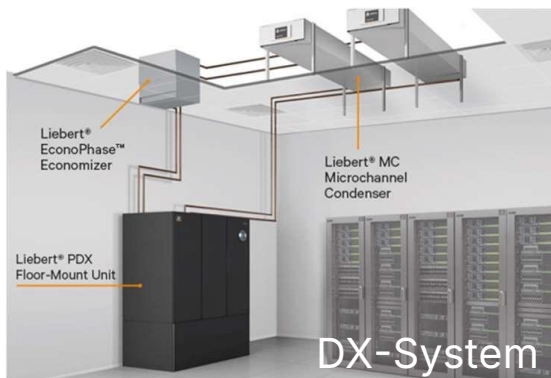
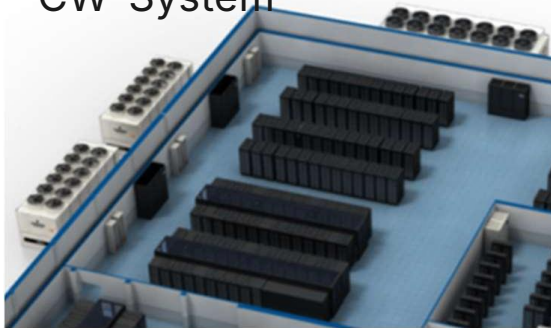
Doppelbodenhöhe 200 cm!

Hinweis: begehbarer Doppelboden ist die Ausnahme



Der Klassiker: Raumkühlung mit CW- oder DX-System

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

Geräte für "klassische" Raumkühlung



CRAH (CW)
ca. von 30 bis 220 kW
CRAH = Computer Room Air Handler



CRAC (DX)
ca. von 5 bis 150 kW
CRAC = Computer Room Air Conditioning

Chiller mit FK
ca. von 40 bis
1.600 kW



Chiller mit FK
und Adiabatik
ca. von 500 bis
1.450 kW



Verflüssiger

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

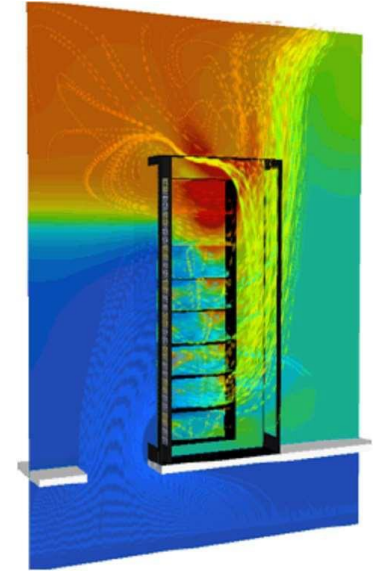
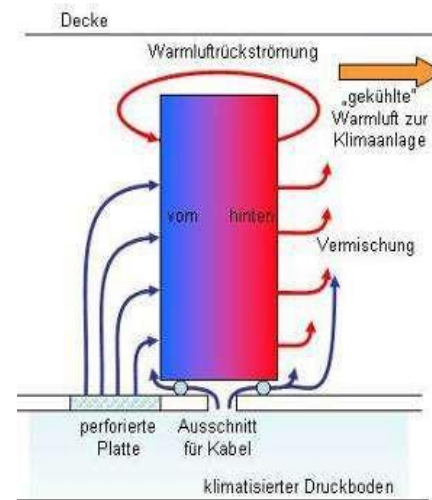
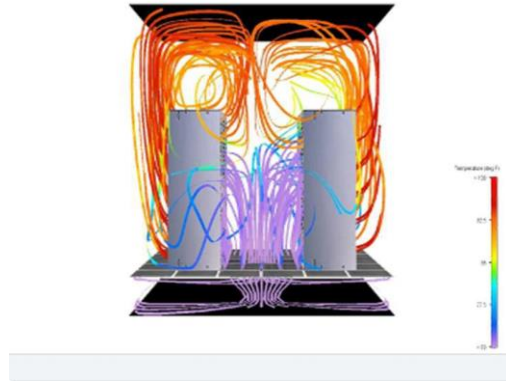
Kühlung mit Kältemittel (DX = Direct Expansion))

- 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

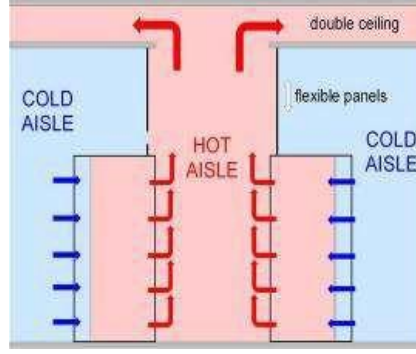
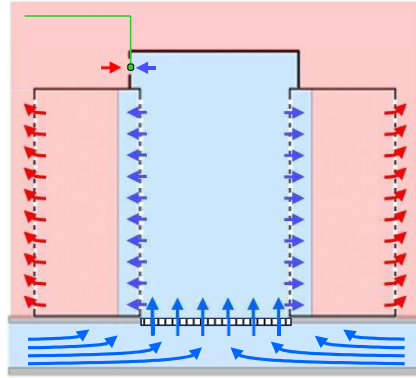
Beide Systeme (CW & DX) inkl. Luftfilterung und Feuchteregelung

Klimaprobleme der klassischen RZ-Installationen ohne Kalt-/Warmgang-Einhausung

- Kaltluftverlust
- Luftvermischung
- Warmluftrückströmung
- keine Warmluftführung zur Klimaanlage



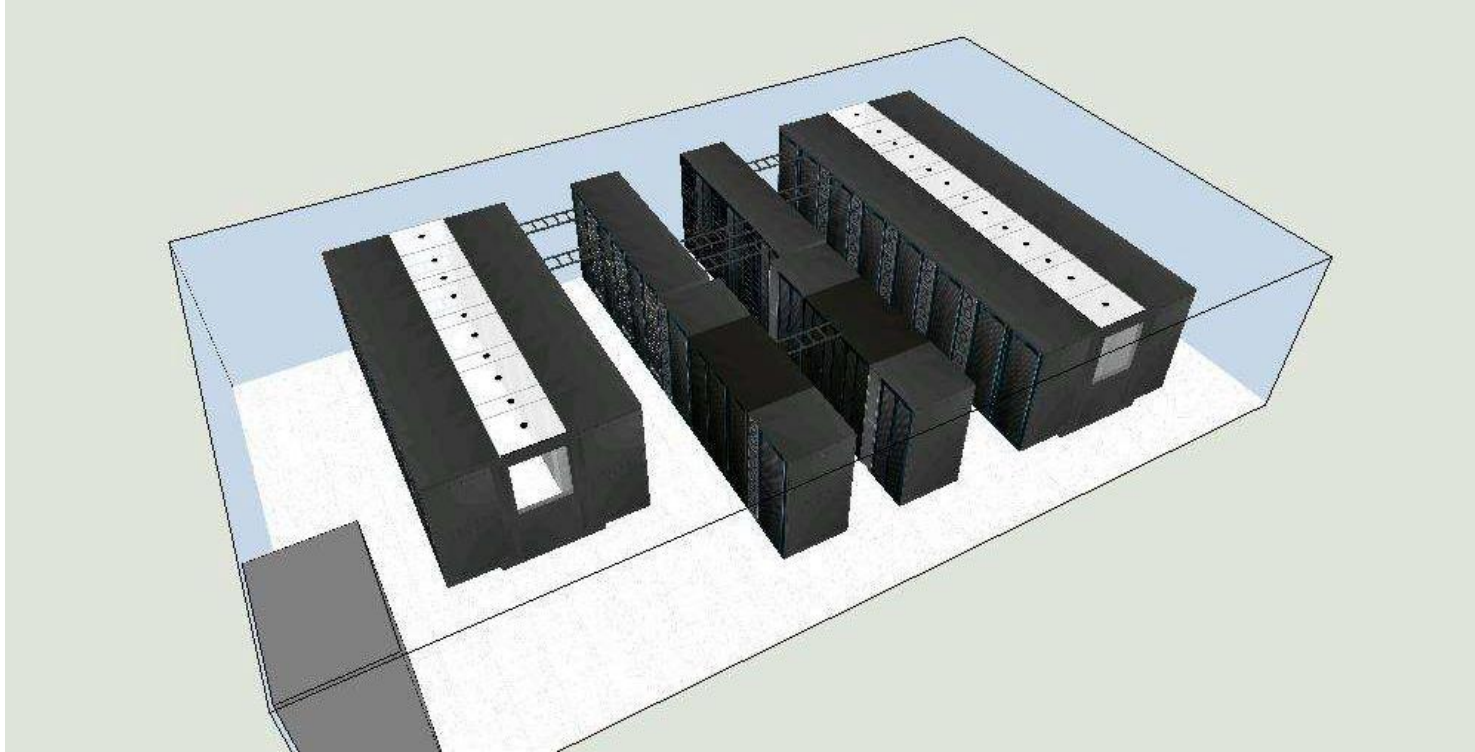
Kaltgang- vs. Warmgang-Einhausung



- 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

Bild: Stengel GmbH

„Aufgeräumtes“ RZ mit Gangeinhausung



Reihenkühlung / Reihenkühlgeräte



- 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

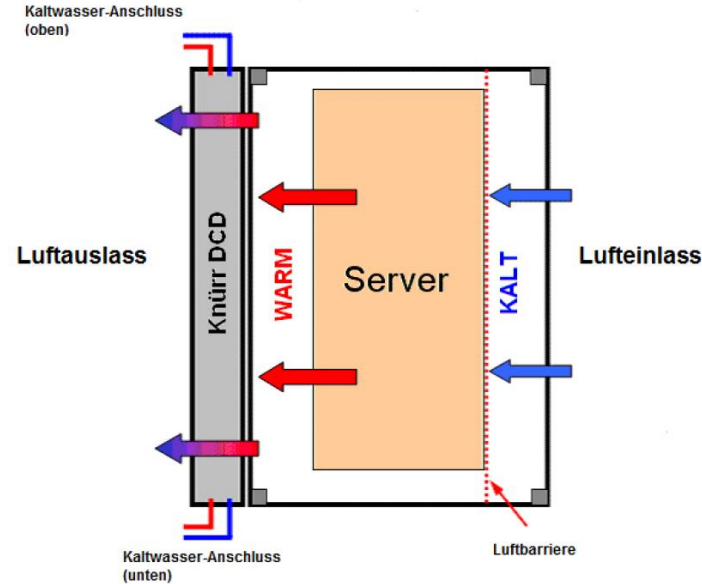
- DX: ca. 15 – 35 kW (jeweils mit passendem Rückkühler / Gerät)
- CW: ca. 30 – 60 kW (Integration in Kaltwassersystem)

Kühlung durch Rückkühltürwärmetauscher (RDHX = Read Door Heat Exchanger)

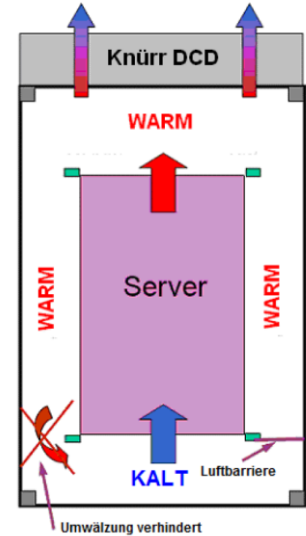
- Keine Warm-/Kaltgangtrennung nötig, da Temperatur im Raum gleich bleibt.
- Kein Doppelboden erforderlich
- Keine mechanische Kühlung
- Direkte Abwärmenutzung bedingt möglich



Quelle Abbildungen: Vertiv / Knürr

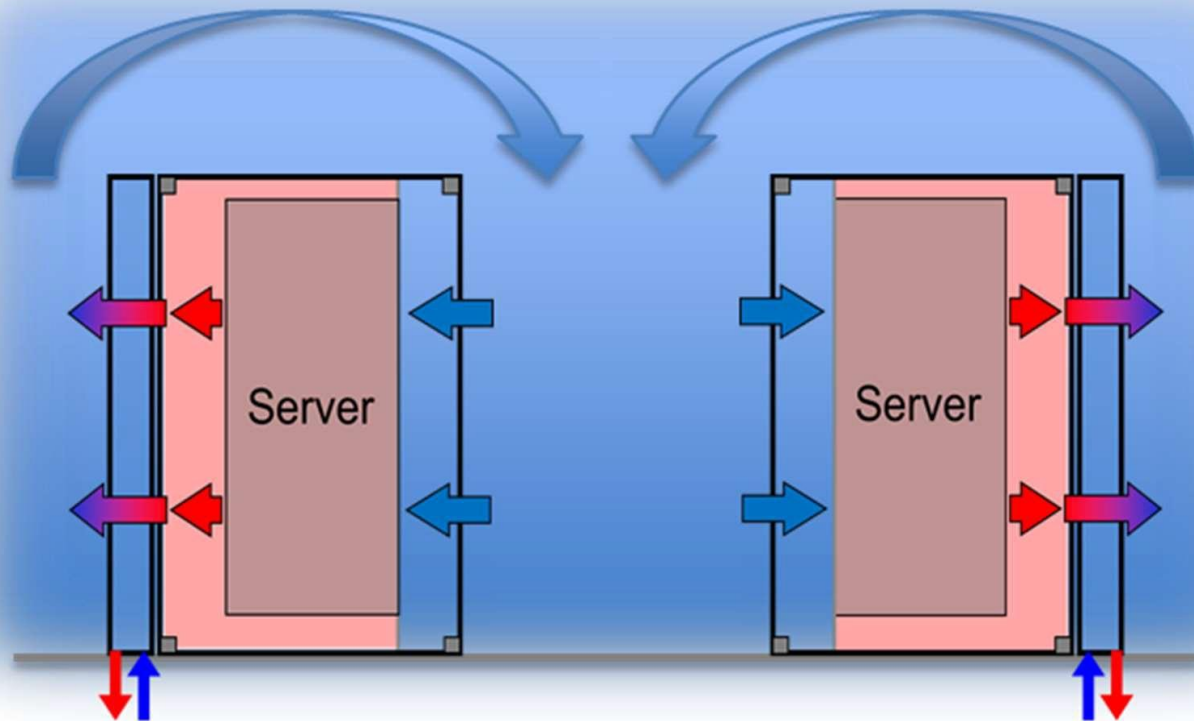


Seitenansicht Rack

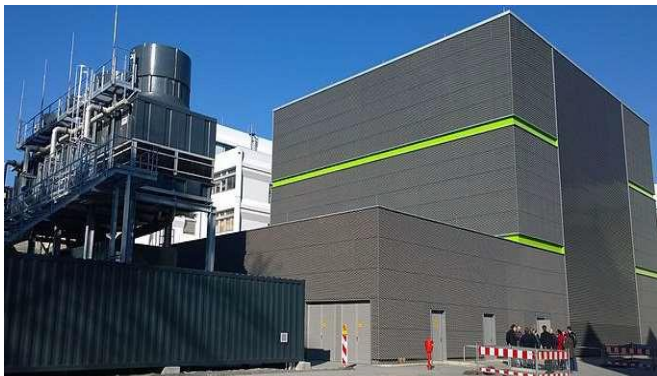
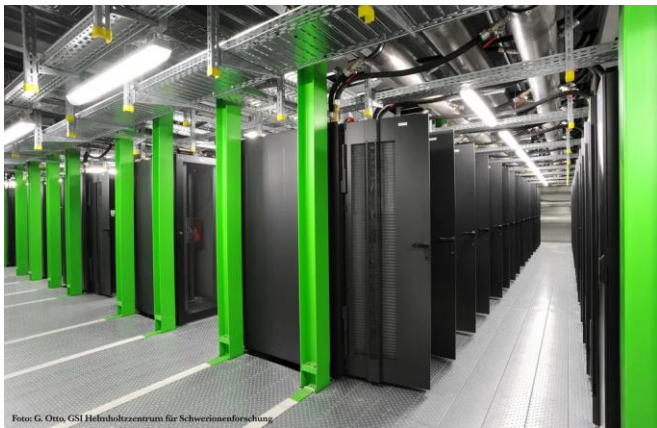


Draufsicht Rack

Luftführung für Rücktürwärmetauscher (RDHX)



Rückkühltürwärmetauscher - Vorzeigeprojekt GSI Green IT Cube



- Kompakte, sehr kostengünstige RZ-Bauweise
- Stahlbau-Würfel $27 \times 27 \times 27$
- 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

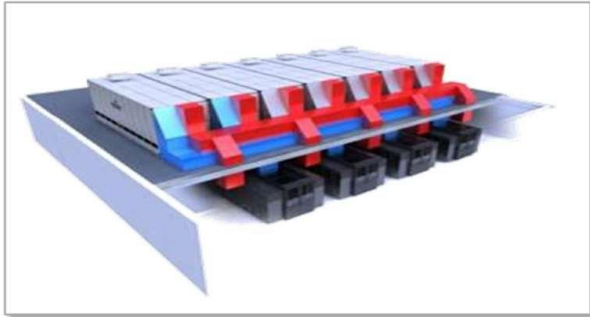
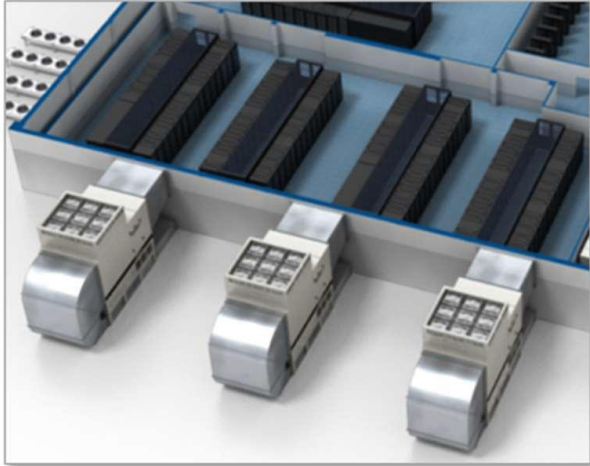
RZ-Beispiel: Direkte freie Kühlung mit Frischluft (Facebook Lulea)



- Minimaler Energieaufwand für Kühlung
 - Spezielles Gebäude für Luftführung, sehr große Öffnungen in Gebäudehülle
 - Außentemperatur -20°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.)



Indirekte freie Raumkühlung (Luft/Luft WT)



- 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

Indirekte freie Raumkühlung



Quelle Bild: Berliner Luft GmbH

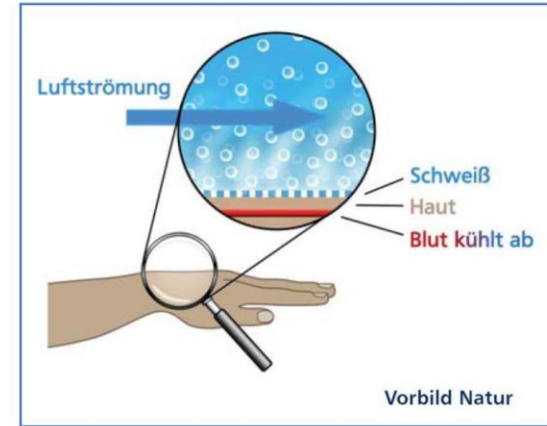
Luft/Luft Wärmeübertrager

- 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

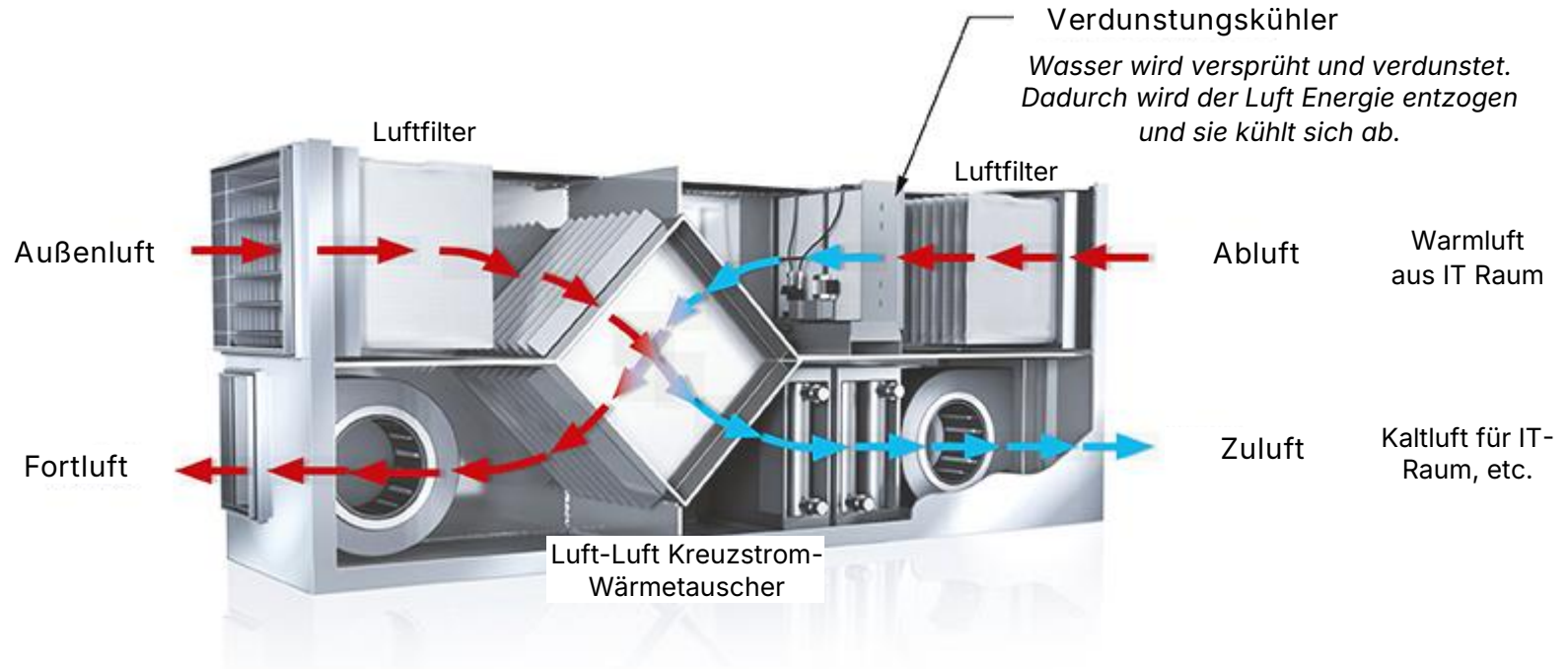
Verdunstungskühlung

- > **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 $h = (c_{pL} \cdot t) + x \cdot (r_W + c_{pD} \cdot t)$

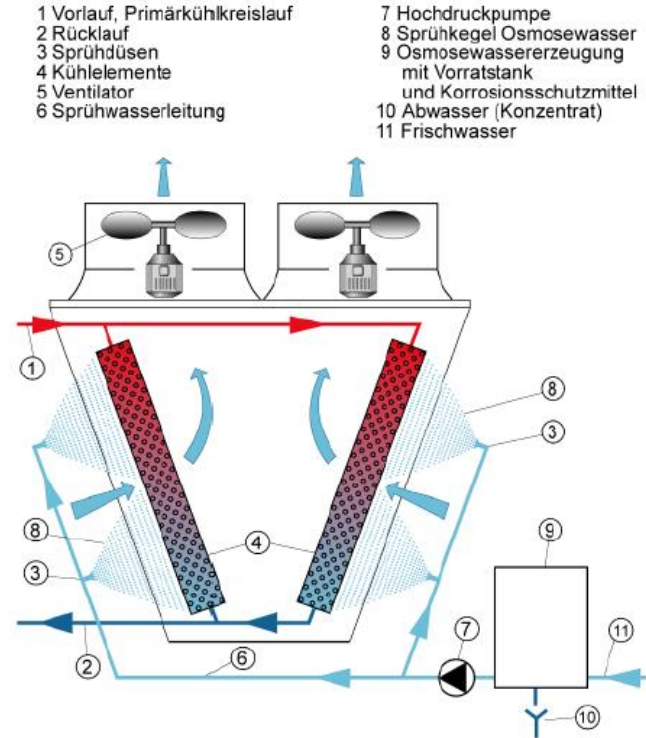


Quelle: www.spiegel.de

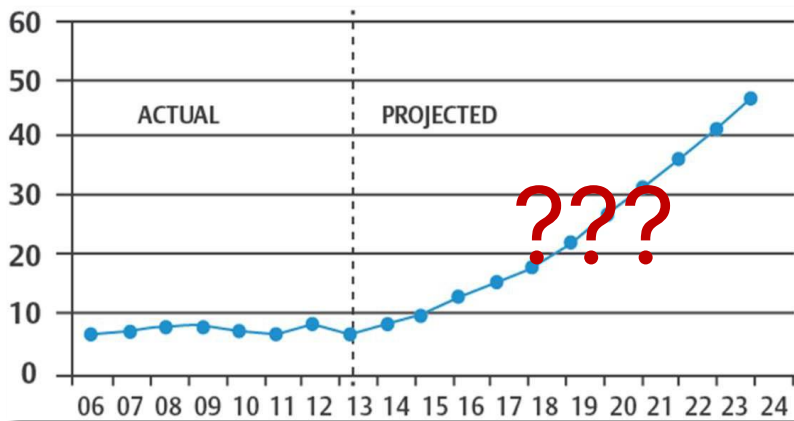
Schema adiabate Kühlung (Beispiel)



Adiabate Kühlung bzw. Verdunstungskühlung bei Rückkühlwerken



Leistungsdichte



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.

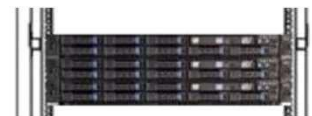
Aber es gibt zunehmend extreme Hardware für
HPC, KI, Big Data Analytics, Cloud Computing, Edge ...



OCP Rack 25 kW
(Nokia AirFrame)



hyperkonvergentes System
1.400 Watt auf 2 HE



GPU Server
5kW auf 3 HE

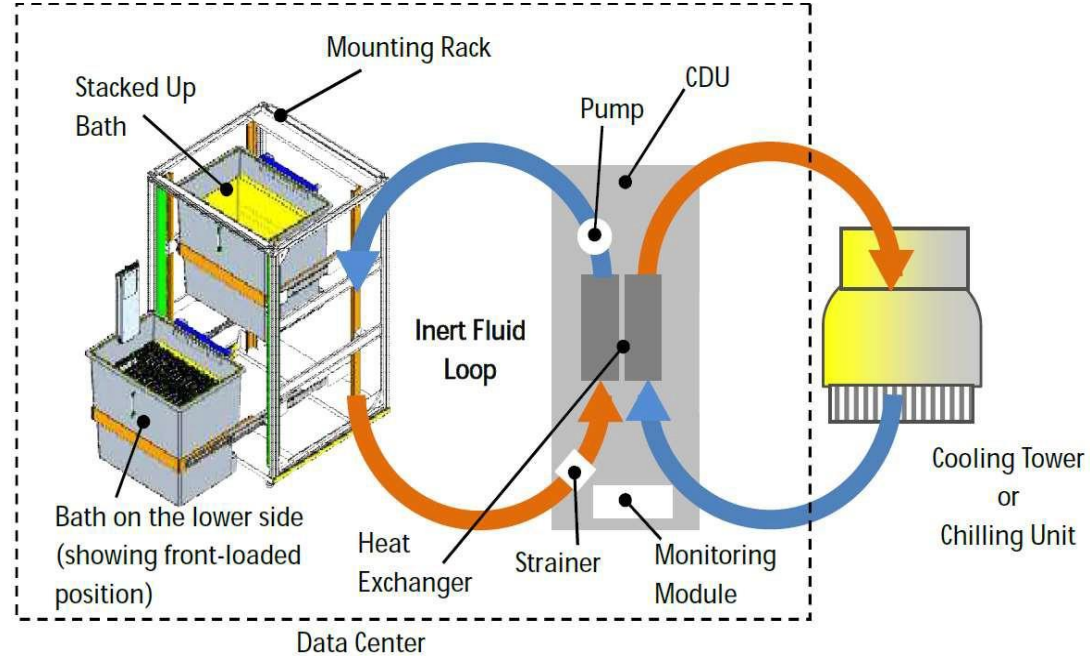
(Thomas Krenn AG)

Immersionskühlung (nicht leitende Flüssigkeit Novec)



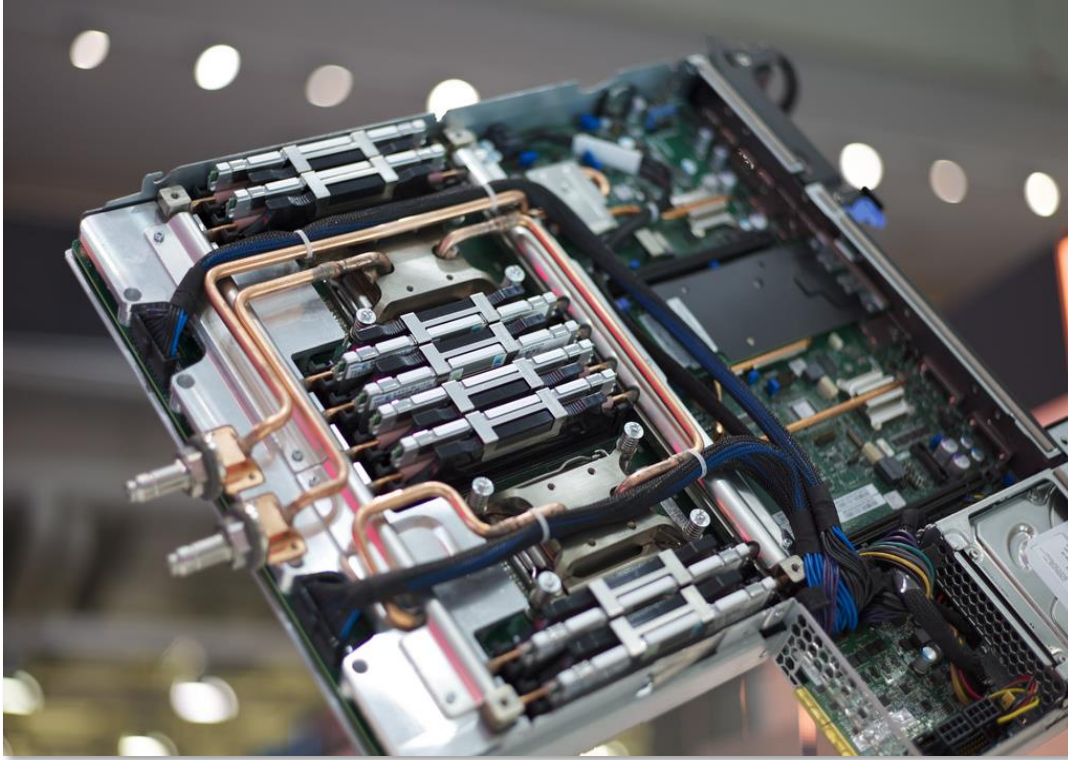
Quelle: Green Revolution Cooling / www.grcooling.com

Immersionskühlung (nicht leitende Flüssigkeit Novec)



www.fujitsu.com/global/Images/fujitsu-liquid-immersion-cooling-system-brochure.pdf

Direkte Board- / Chipkühlung mit Warmwasser – LRZ München – Super MUC, 2012



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

Quelle: IBM

Direkte Board- / Chipkühlung mit Warmwasser – LRZ München – Super MUC, 2012



Warmwasserkühlung
& Highfog Löschung

Energieverteilung /
Stromschienen

Kaltwassernetz

Quelle: IBM

Direkte Board- / Chipkühlung mit Warmwasser – LRZ München – Super MUC, 2012



Aufbau der Racks



Warmwasserfüllung der Racks

Quelle: IBM

Direkte Board- / Chipkühlung mit Warmwasser – LRZ München – Super MUC, 2012



Quelle: IBM



Wasserkühlung im Rechenzentrum – Cooling Distribution Unit (CDU) (Beispiel)

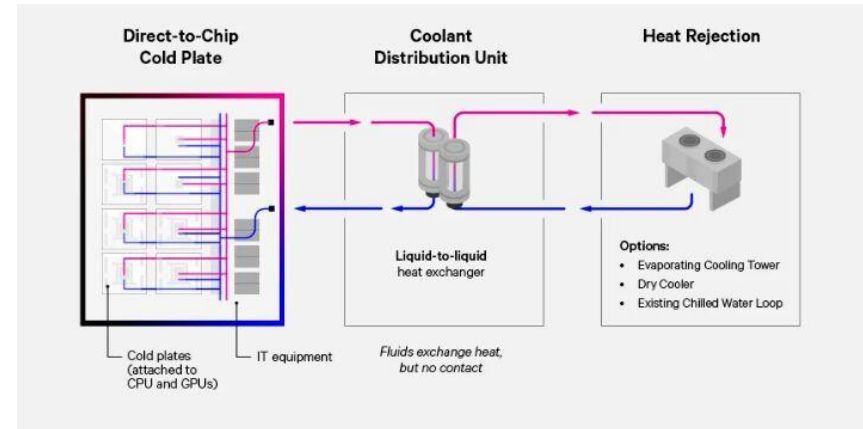


Eine CDU ist für die Flüssigkeitskühlung unabdingbar. Ohne sie wären die Prozessoren, die für KI-Anwendungen wie „ChatGPT“ notwendig sind, nicht kühlbar.

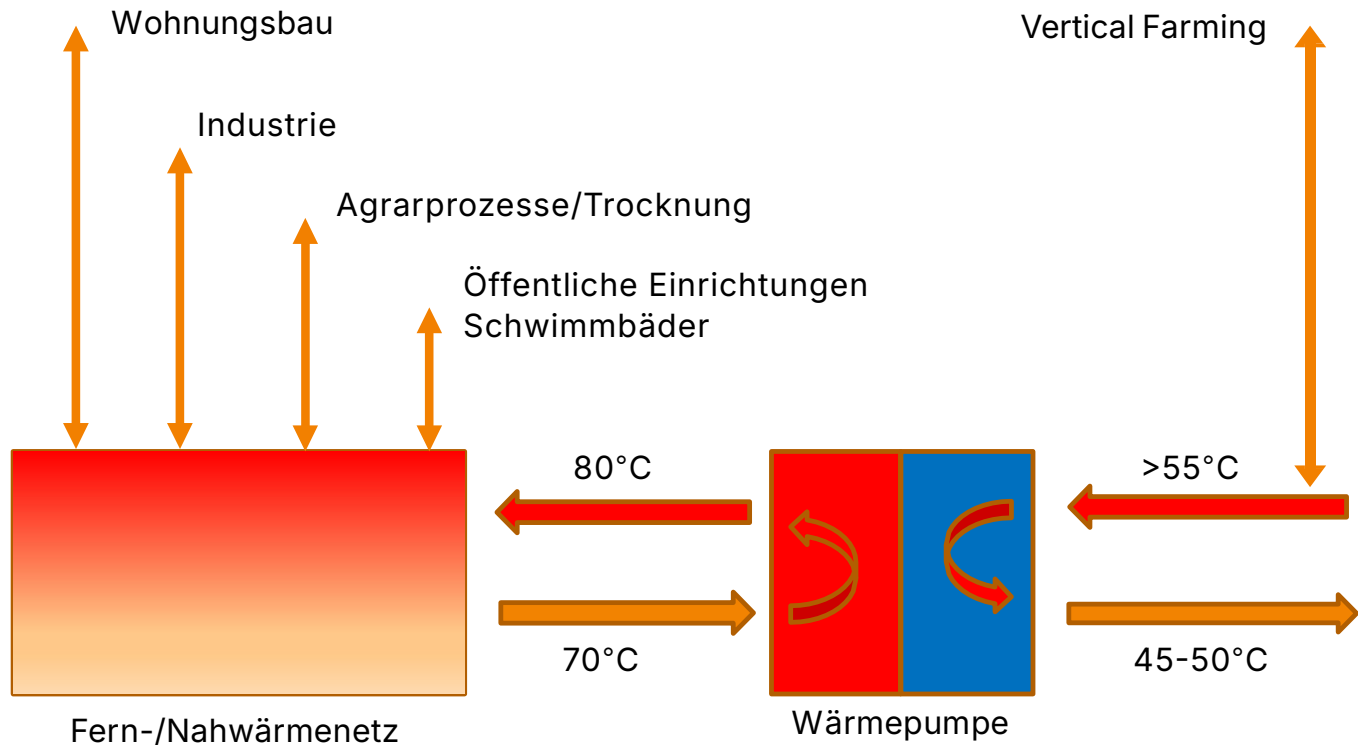
Bild: Vertiv

Quelle: Data Center Insider

Rechenzentrumsbetreiber 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.



Abwärmenutzung – Achtung: siehe Vorgaben EnEfG



Abwärmennutzung Projektbeispiele

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)

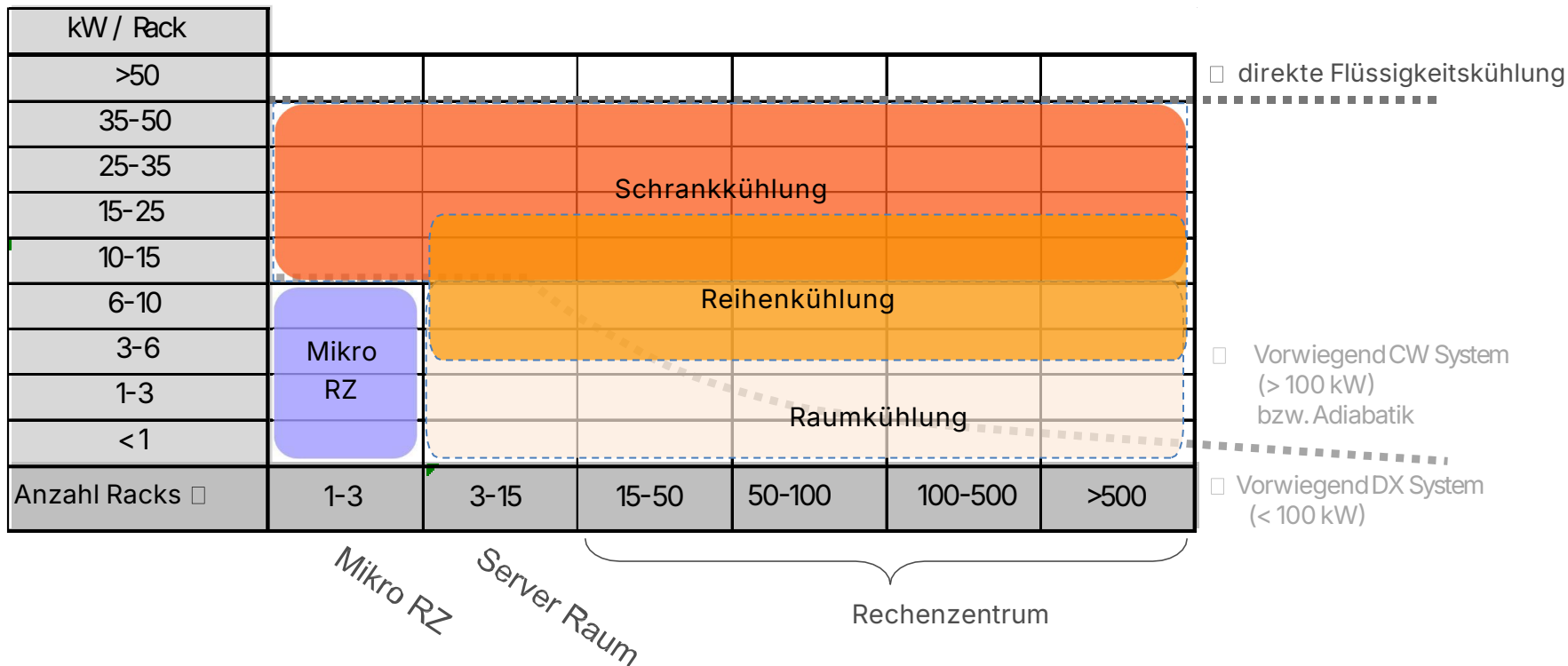
W&W AG: Nutzung der RZ-Abwärme zur Campusbeheizung

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		Rechenzentrum	Typische Leistung des Typischen (mit Freikühlung)	Teilastverhalten	Investitionskosten	Betriebskosten	Betriebskosten mit Freikühlung	Wartungsaufwand	Fazit/Bemerkung
Wassergekühlte Systeme									
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 Teilastverhalten
	- 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
Luftgekühlte Systeme									
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 Teilastverhalten
	- 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
Hybride Systeme									
Dezentrale Kälteerzeugung mit integrierter Freier Kühlung	- GE-System	klein - groß: 50 - 2.500 kW	1,2	+	+	+	+	+	Gutes Teilastverhalten
	- GES-System	klein - groß: 50 - 2.500 kW	1,1	+	+	+	++	+	Gutes Teilastverhalten - höhere Effizienz
Absorptionskälteanlage		klein - groß: 50 - 12.000 kW	1,2	0	-	+	+	+	Notwendige, hochwertige Wärmequelle
Direktverdampfer		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
Direkte Freie Kühlung							
	- Direkte-Luftkühlung	klein - groß	-	+	++	-	Hoher Aufwand Luftaufbereitung/Be- und Entfeuchtung/ Filter
Indirekte Freie Kühlung							
	- 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
Energetische Optimierung							
	- Grundwasserkühlung	Nicht überall verfügbar, Kapazitätsbegrenzung, Umweltauflagen, Genehmigung erforderlich					
	- Oberflächenwasser	Nicht überall verfügbar, Umweltauflagen, Genehmigung erforderlich					
	- Absorptionskälte	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. Abwärmenutzung.					

Fazit:

- 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.

Quelle: Jürgen Strate, IBM

Key Takeaways (Teil 1 – 4)

- 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

Klimatechnik



DCE academy - Rechte

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 den 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.

Kontakt

Dipl.-Ing. Jürgen Strate

DCE academy GmbH

Chief Education & Alliance Officer

Wallbergstr. 3/RGB
D-82024 Taufkirchen
Germany

Tel: +49 (0) 89 - 62 28 60 56

Mobile: +49 (0) 1575 - 29 01 328

E-Mail: juergen.strate@dce-academy.com

Strate Senior Management Consulting & Training Data Center

Mittelfeldweg 1/1
D-71093 Weil im Schönbuch
Germany

Mobile: +49 (0) 1575 - 29 01 328

E-Mail: strate@t-online.de