

# Flüssigkeitskühlung für KI und deren Auswirkung auf Energiebedarf und Energieeffizienz

Heiko Ebermann  
Global Offering Manager Liquid Cooling

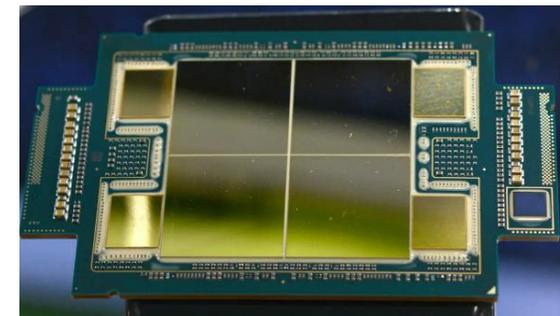
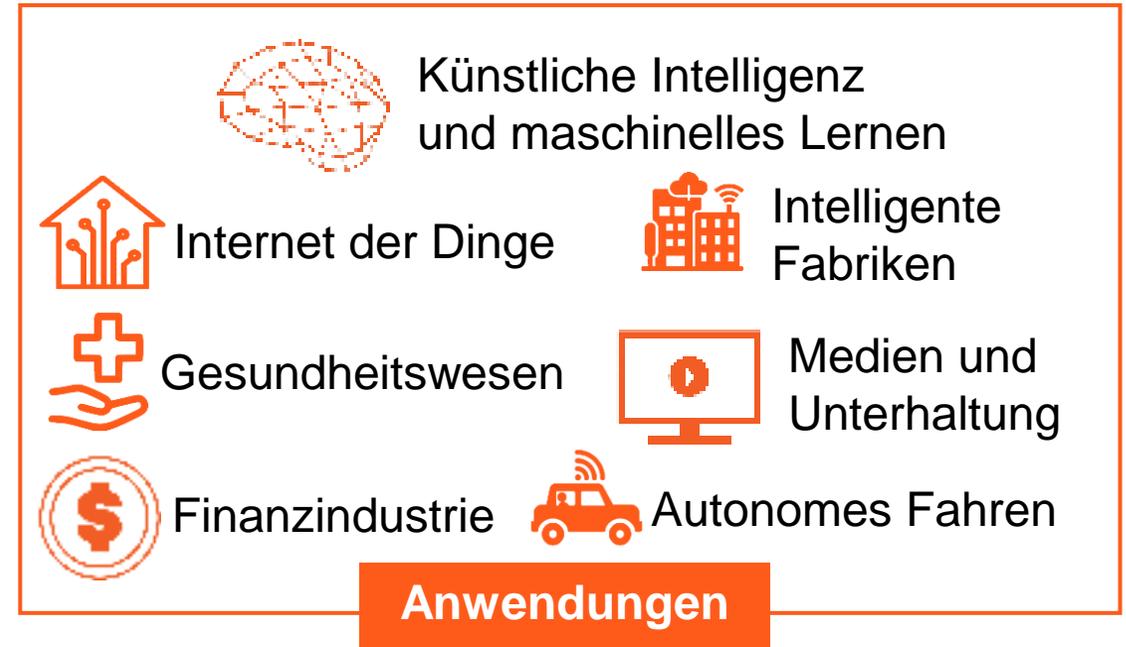
# Durchbruch bei Flüssigkeitskühlung



Direkte Flüssigkeitskühlung: Über 20 Jahre in der Nische verborgen

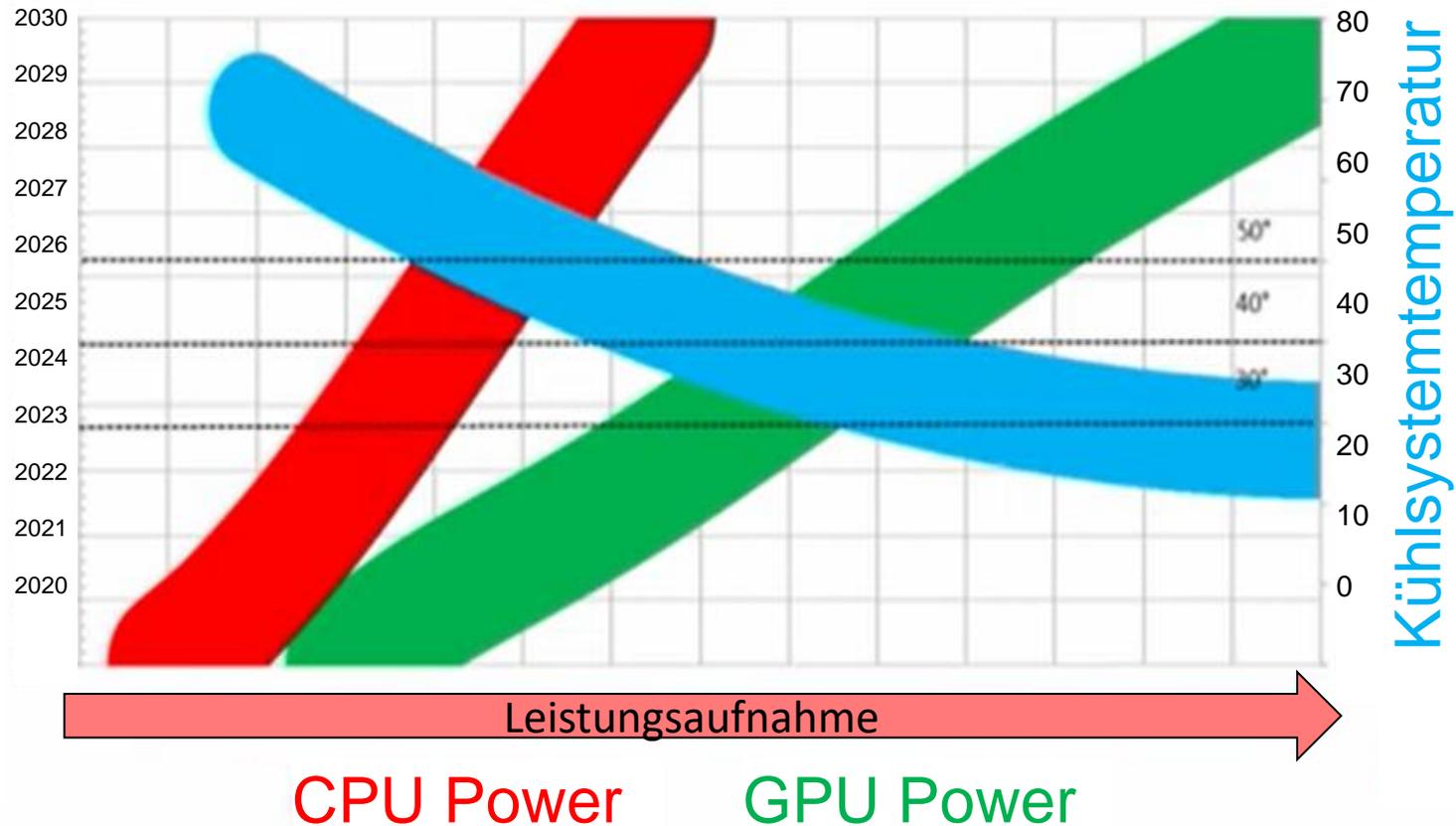
## Flüssigkeitskühlung

- In den nächsten 2 Jahren
  - Server mit 1,5 bis 2kW pro HE
  - GPUs mit über 600W bis zu 1,5kW
  - CPUs mit über 300W bis zu 600W
- Wärmestromdichten an den Prozessoren sind zunehmend für Luftkühlung zu hoch
- Trend zu niedrigeren Prozessortemperaturen und damit zur Erhöhung der Taktfrequenz führt zu mehr Rechenleistung
- Kühlfluidtemperatur höher als bei Luftkühlung
- Bis zu 100% freie Kühlung
- Bessere Abwärmenutzung
- Höhere Packungsdichte im Rechenzentrum geringerer Platzbedarf



(Bild: Carsten Spille / c't)

# Temperatur der Kühlflüssigkeit und elektrische Leistungsaufnahme



- PUE-Berechnungen müssen neu bewertet werden § !
- Wärmerückgewinnung und freie Kühlung haben Grenzen der Wirtschaftlichkeit

Höhere Leistungsaufnahme

=

Mehr Rechenleistung

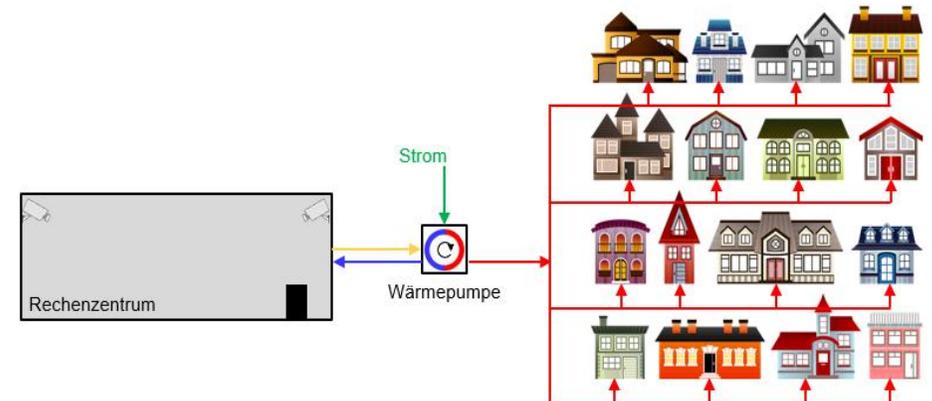
Es ist besser, kein zweites Rechenzentrum zu bauen, als ein wenig an der Kühlung zu sparen.

Optimierung nach Gesamtkostenanalyse

## Methoden der Flüssigkeitskühlung



## Möglichkeiten → Abwärmenutzung



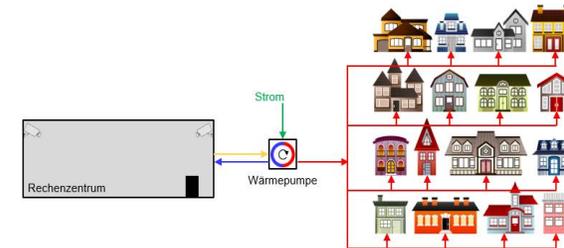
# Agenda

## Methoden der Flüssigkeitskühlung

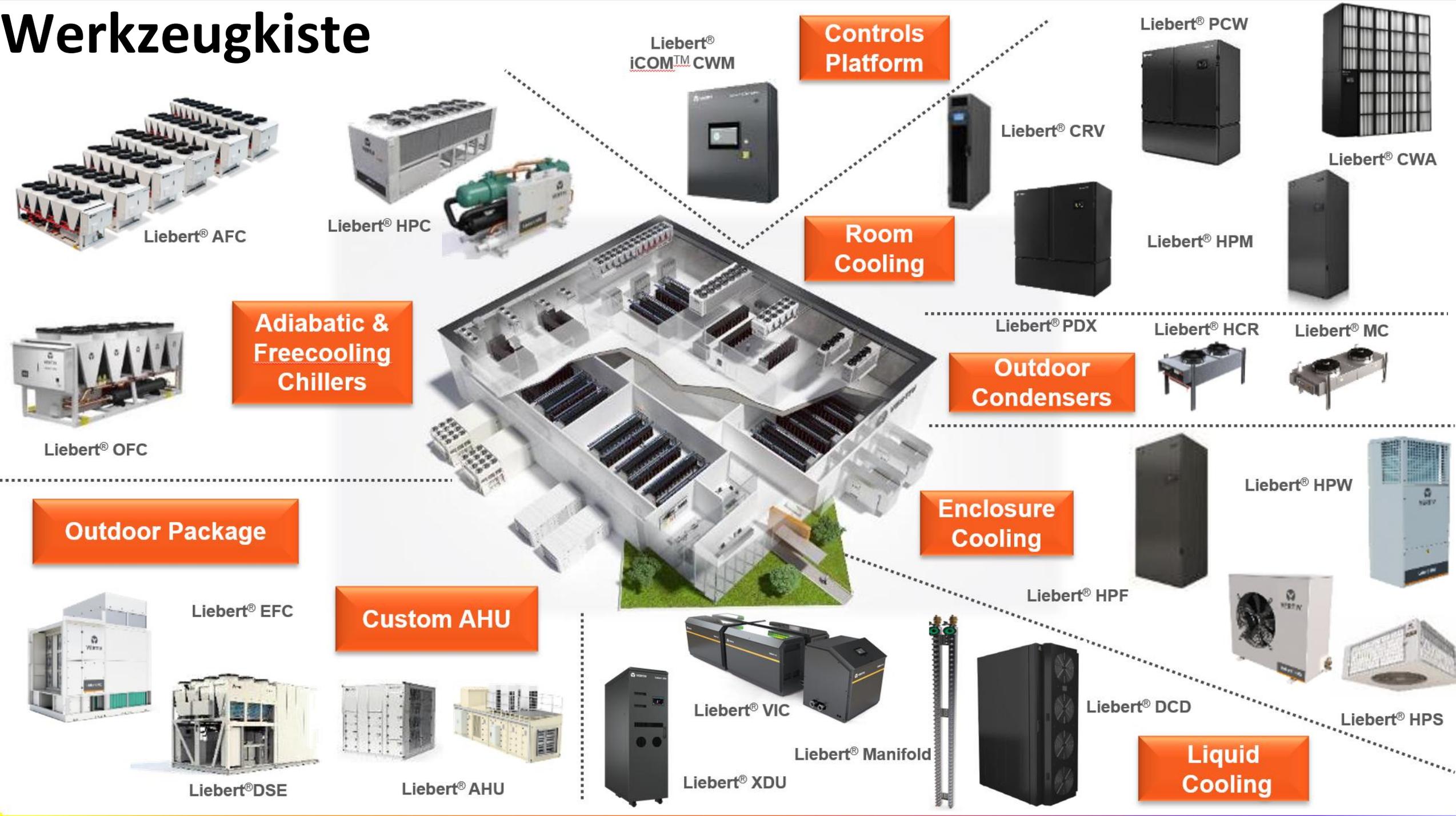
Möglichkeiten → Abwärmenutzung



6



# Werkzeugkiste



## Row & Rack Manifolds

Schrank- und Reihenverteilsysteme zur Verteilung der Kühlflüssigkeit zur IT



## Cooling Distribution Units

Wärmeübergabestationen zur Sicherstellung der Flüssigkeitsqualität für Serverkühlkörper



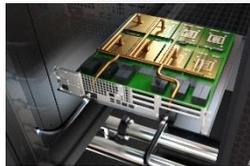
## Kaltwassersätze, Verflüssiger und Kühler

Kaltwassersätze mit Freikühlung, Kühler und Verflüssiger zur Wärmeabfuhr von IT-Kühlsystemen



## DTC Cold Plates

Kühlkörper, um die Wärme am Prozessor am Prozessor aufzunehmen, mit und ohne Phasenübergang



## Raum-Kaltwassersätze

Kaltwassersätze zur Innenaufstellung



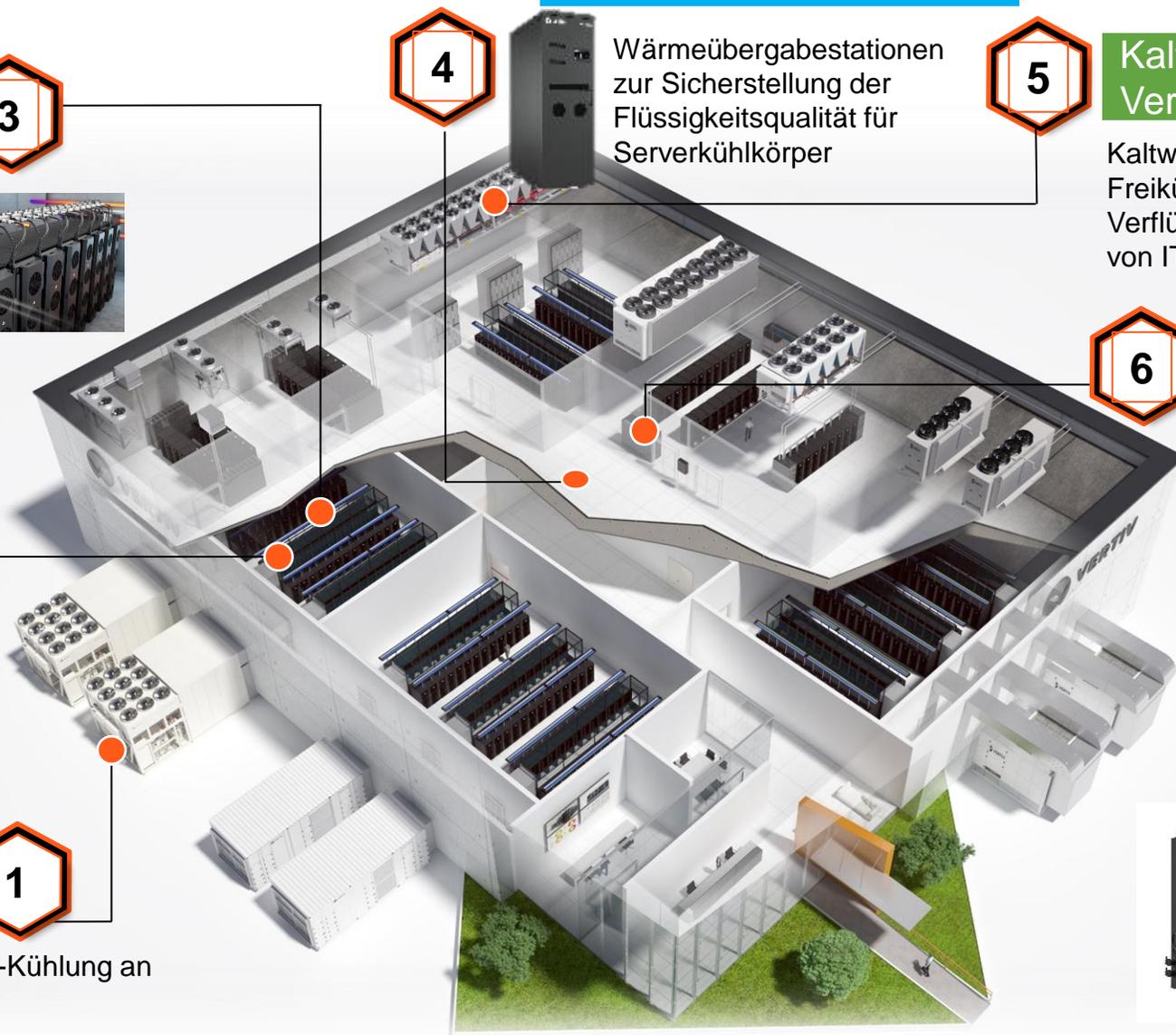
## Rückkühlung

Wärmeübertragung der IT-Kühlung an die Umgebung



## Tauchkühlung

Becken und Wärmeübergabestationen für getauchte Hochleistungs-IT



# Flüssigkeitskühlung – zwei Methoden



## Prozessorkühlung

- Flüssigkeitsdurchströmter Kühlkörper auf CPU, GPU
- Weiter Wärmequellen können angeschlossen werden
- Ca. 20% der Wärmelast bleiben luftgekühlt
- Wärmeübergabestation / hydraulische Trennung
- Kühlwasserverteiler und Kühlwassersammler
- Tropffreie Kupplungen
- Hohe Kühlleistung durch erzwungene Konvektion
- Modifikation der Server, aufwendige Kühlkörper
- Kühlung mit Phasenwechsel möglich
- 100kW pro Schrank und mehr

## Tauchkühlung

- Server werden in Flüssigkeit getaucht
- 100% der Wärme in Flüssigkeit
- Auch für einzelne Server möglich
- Tauchbecken und Wärmeübergabestation
- Kühlung nur durch freie Konvektion
- Modifizierte Server, einfache Kühlkörper
- Achtung Brandschutz
- Kühlung mit Phasenwechsel möglich
- Bis zu 200kW pro Tauchbecken
- Geringe Schallemission

# Flüssigkeitskühlung mit und ohne Phasenübergang

## Tauchkühlung

### Flüssigkeitskühlung

Becken +  
Wärmeübergabestation

- Kühlung mit freier Konvektion



### Kühlung mit Verdampfung

Becken mit  
integrierter Verflüssigung

- Kühlung durch Verdampfung am Prozessor



## Prozessorkühlung

### Flüssigkeitskühlung

Kühlkörper Flüssigkeit

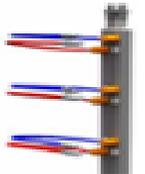


Wärmeübergabestation  
für Flüssigkeiten



### Kühlung mit Verdampfung

Verdampfer Fluid



Verflüssiger



**Kühlung mit Phasenwechsel ermöglicht deutlich höhere Wärmestromdichten**

# Wärmeübergabestationen für Chipkühlung

## Flüssigkeit – Flüssigkeit – Wärmeübergabestation

- Übergabestation für Reihen
- Wärmeabgabe an Kaltwassernetz
- Schrankbauweise
- Kühlung für viele Serverschränke
- Große Anwendungen
- Übergabestation zum Rackeinbau
- Wärmeabgabe an Kaltwassernetz
- Kompakte Bauweise 19" nur 4HE
- Kühlung pro Rack
- Kleine Anwendungen (wenige Racks)



450 bis 2300kW



19" 4HE 100kW

## Flüssigkeit – Luft - Übergabe

- Wärmeabgabe an den Raum
- Kaum Wärmerückgewinnung
- Brückentechnologie
- Meist zum Test für wenige Racks
- Warm-Kaltgang Anordnung



600mm Rack 70kW

## Verteiler und Sammler

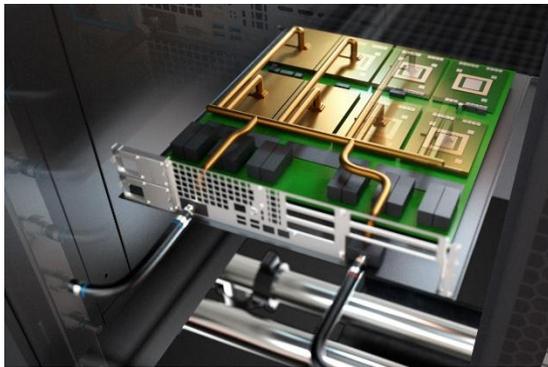
- Flüssigkeitsverteilssystem entlang der Schrankreihe und im Schrank
- Gehört zum Technik-Kühlkreislauf Technology Cooling System (TCS)
- Hohe Anforderungen an Sauberkeit
- Innerhalb des Schrankes wie eine PDU (Power Distribution Unit) verwenden
- Meist mit tropffreien Schnellkupplungen und Verbindungsschlauch ausgestattet
- Entleerung und Entlüftung
- Bei OCP selbstfindende Kupplungen
- Anpassungen bei Volumenstrom / Querschnitt und der Anzahl der Auslässe
- Für die Schrankreihe: Lösungen für Montage über den Schränken und im Doppelboden



# Prozessorkühlung



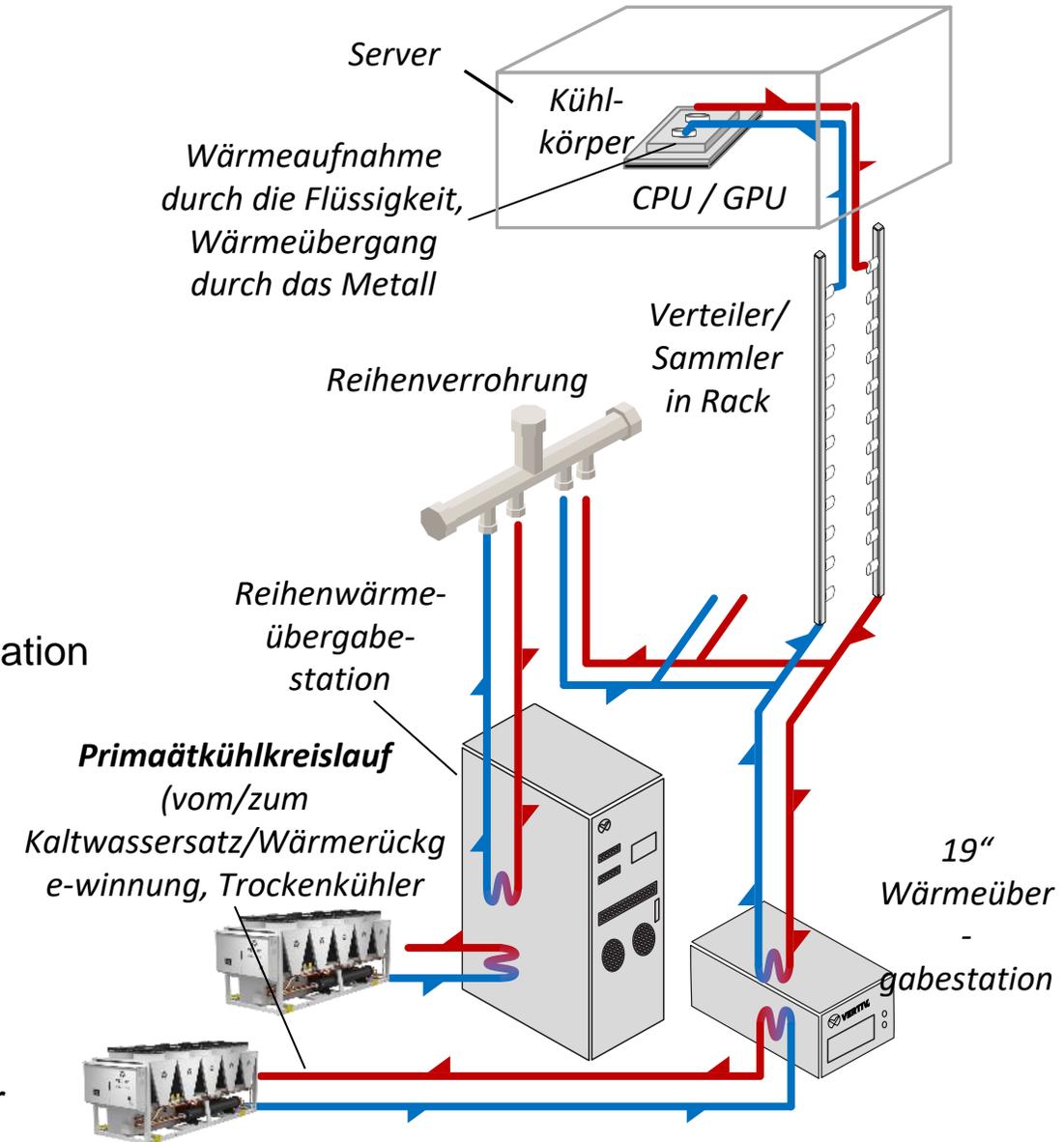
IT-Rackreihe mit Flüssigkeitskühlung und redundanten Wärmeübergabestation



Server mit Flüssigkeitskühlkörper



Flüssigkeitsgekühlte Rackserver



# Rücktürwärmetauscher

## Kaskadierte Kühlung: erst Rücktür, dann Server

- Prozessorkühlung und Rücktürwärmetauscher
- Rücktürwärmetauscher mit Lüftern
- Aufnahme der Wärmelast, die nicht von der Flüssigkeit abgeführt werden kann wird von der Rücktür aufgenommen.
- 50% bis 90% flüssigkeitsgekühlt  
10% bis 50% luftgekühlt
- Hydraulische Trennung der Serverkühlung

Auch für Hochleistungsserver mit reiner Luftkühlung

- Bis zu 80kW Kühlleistung
- Passiv oder Aktiv (mit oder ohne Zusatzlüfter)



# Tauchkühlung

## Tauchbecken und Wärmeübergabestation

- Bis zu vier Tauchbecken pro Wärmeübergabestation
- **Wärmeübergabestation** mit 240kW
  - Hohe Ausfallsicherheit durch 2n Pumpenredundanz
  - Regelung der Beckentemperatur
  - A/B Netzeinspeisung
- **Becken** mit 42HE und 52HE 19“ Einbauraum
- Einbauraum für PDU und Switche (nicht getaucht)
- Umfangreiche Überwachung der Becken:
  - Füllstand
  - Temperatur
  - Zugang (Deckel)



## Kompaktanlage zur Tauchkühlung (all-in-one)

- Becken und Wärmeübergabestation in einem Gerät
- Becken mit 24HE 19“ Einbauraum
- Ausfallsicherheit durch redundante Pumpen und A/B Netzumschaltung
- Für kleine Anwendungen und Pilotanlagen
- Bis zu 50KW Kühlleistung bei Anschluss an Gebäudekaltwassersystem
- Regelung und Überwachung wie bei geteiltem System



## Nichtleitende Flüssigkeit

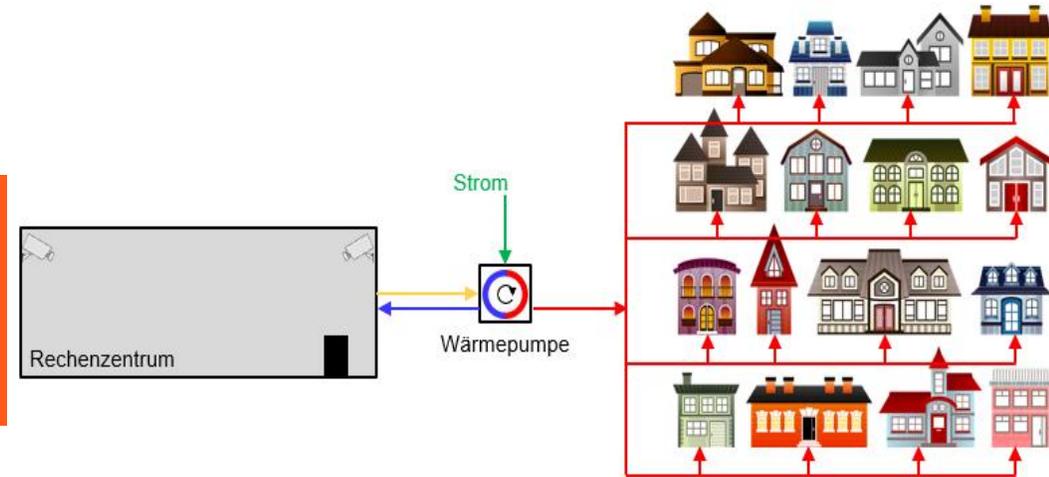
- Gehört zum Lieferumfang
- Enge Zusammenarbeit mit der chemischen Industrie
- Nicht giftig, nicht flüchtig,
- Keine Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS)
- Umfangreiche Untersuchungen zur chemischen Verträglichkeit
- Überwachung der Leitfähigkeit (Servicekonzept)
- Hoher Flammpunkt



## Methoden der Flüssigkeitskühlung



## Möglichkeiten → Abwärmennutzung



# Wie lang sind 30 Jahre?



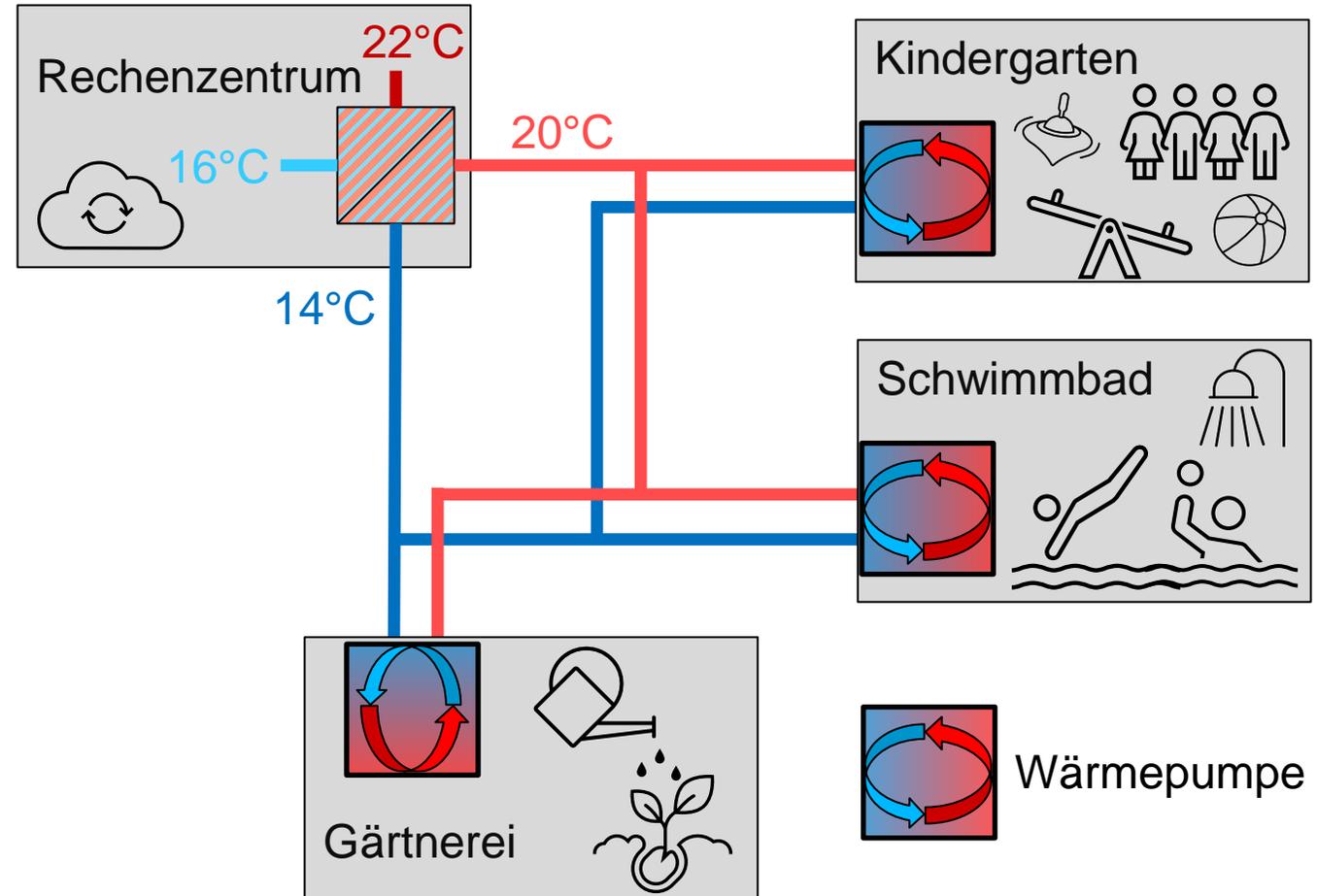
Rechenzentrum des Sachsenwerks Dresden vor dem Abbau 1995 (Quelle: Heinz Nixdorf MuseumsForum)

# Die Zeithorizonte sind sehr unterschiedlich



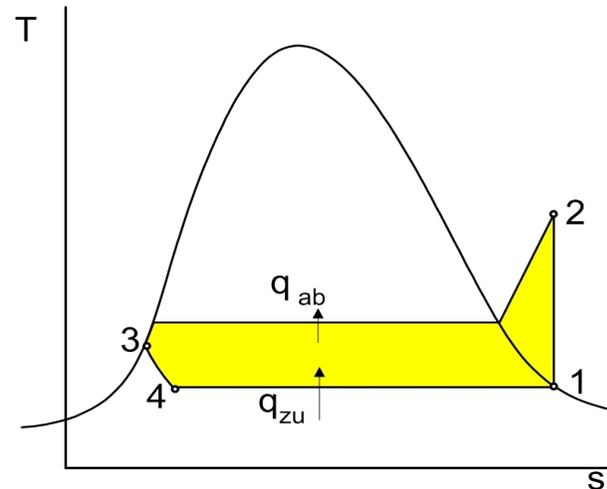
# Abwärmennutzung – Kalte Fernwärme

- Temperaturen für die Wärmerückgewinnung passen zum Rechenzentrum
- Nahwärmenetz benötigt keine Wärmedämmung
- Individuelle Wärmepumpe für jeden Nutzer entsprechend des Betriebsverhaltens
- Heizung auch nach Wegfall des Rechenzentrums möglich
- Verdampfertemperatur höher als bei üblichen Wärmepumpen
- Unterstützt die Kühlung des Rechenzentrums



# Abwärmennutzung – Wärmepumpe

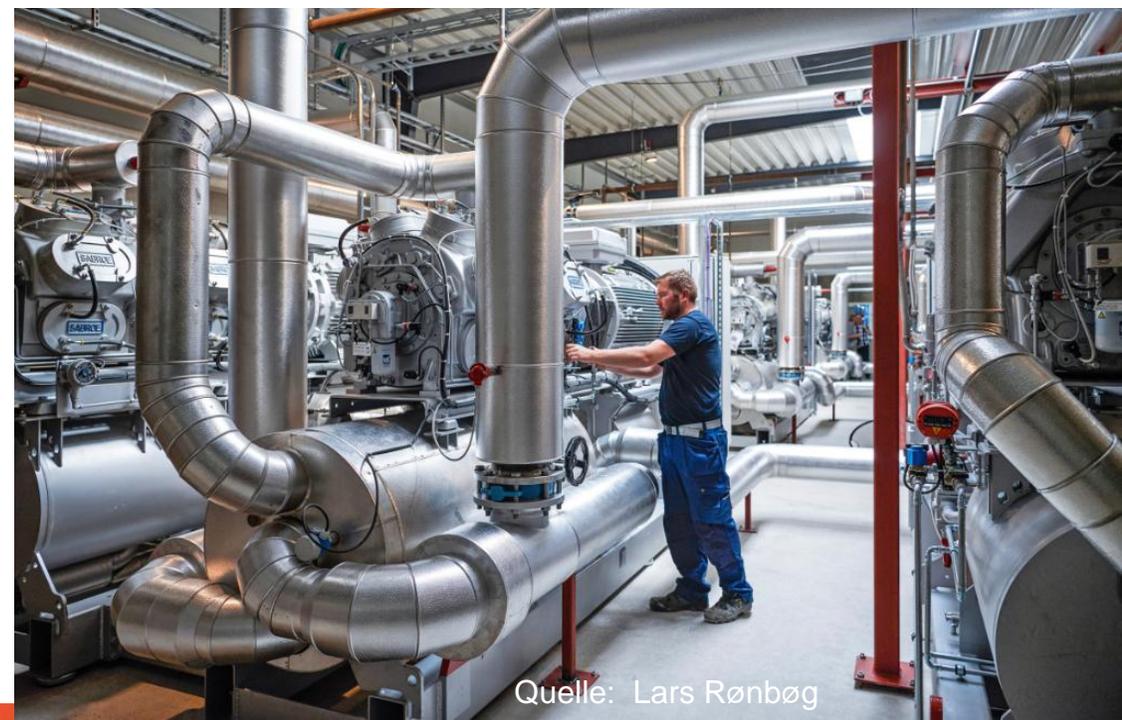
- Möglichst hohe Temperatur des Abwärme-Mediums
- Flüssigkeitskühlung ist gut geeignet
- Wärmepumpe fast immer erforderlich
- RZ-Wärme ganzjährig verfügbar
- Beste Leistungszahl der Wärmepumpe bei geringer Temperaturdifferenz zwischen Verdampfer (Wärmezuführung durch das RZ) und Verflüssiger (Nutzer der Wärme)
- Möglichst niedriges Temperaturniveau beim Nutzer
  - Flächenheizung
  - Prozesswärme in Industrie und Landwirtschaft
  - Nahwärmenetze
- Leistungszahl = Nutzwärme / elektrische Leistung



$$\varepsilon = \frac{1}{\eta_c} \eta_{WP} \quad \varepsilon = \frac{T_{warm}}{T_{warm} - T_{kalt}} \eta_{WP}$$

$\eta_{WP}$  ca. 0,5    Temperaturen T [K]

Verdampfertemp. [°C]	Verflüssigertemp. [°C]	Leistungszahl
0	80	2,2
10	70	2,9
15	55	4,1
40	60	8,3
45	55	16,4



Quelle: Lars Rønbo

# EPFL – Beispiel aus der Praxis



# Fallbeispiel aus der Praxis

## EPFL – Rechenzentrum mit Wärmerückgewinnung

EPFL – Wissenschaftliches Rechenzentrum  
École Polytechnique Fédérale de Lausanne

- Eine der größten Universitäten in der Schweiz
- Mehr als 11.000 Studenten incl. 1.800 Doktoranten
- 5.700 Beschäftigte

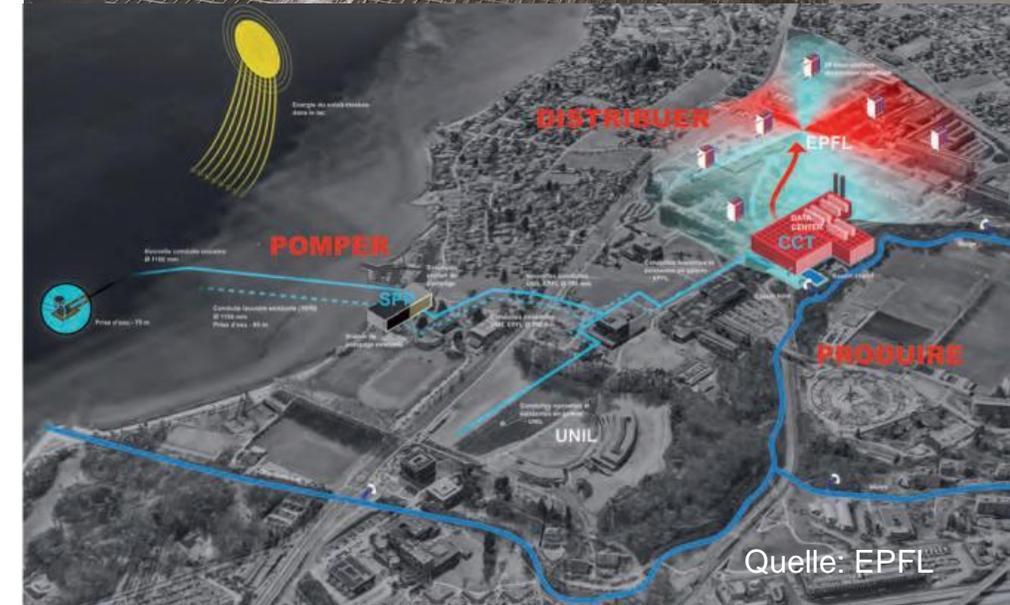
### Rechenzentrum im Detail

- 200 Schränke mit passiver Wärmetauscher-Rücktür
- Elektrische Leistungsaufnahme 4 MW
- Max. Kühlleistung 50 kW/Schrank
- Durchschnittliche Kühlleistung 20 kW/Schrank
- Schrankgröße: 56U, T 1500mm B 800 mm
- 1800mm Gangbreite



# Nahwärmenetz mit RZ-Unterstützung

- Wärmequelle und Wärmesenke  
➔ Genfer See
- Entnahmestelle 75 m unterhalb der Wasseroberfläche
- Abwärme des Rechenzentrums unterstützt die Wärmepumpe für die Campusheizung
- 24MW Campusheizung



# Vielen Dank

Heiko Ebermann  
Global Offering Manager Liquid Cooling