

Durchbruch bei der IT-Flüssigkeitskühlung: Methoden und Möglichkeiten

Heiko Ebermann

Global Offering Manager Liquid Cooling

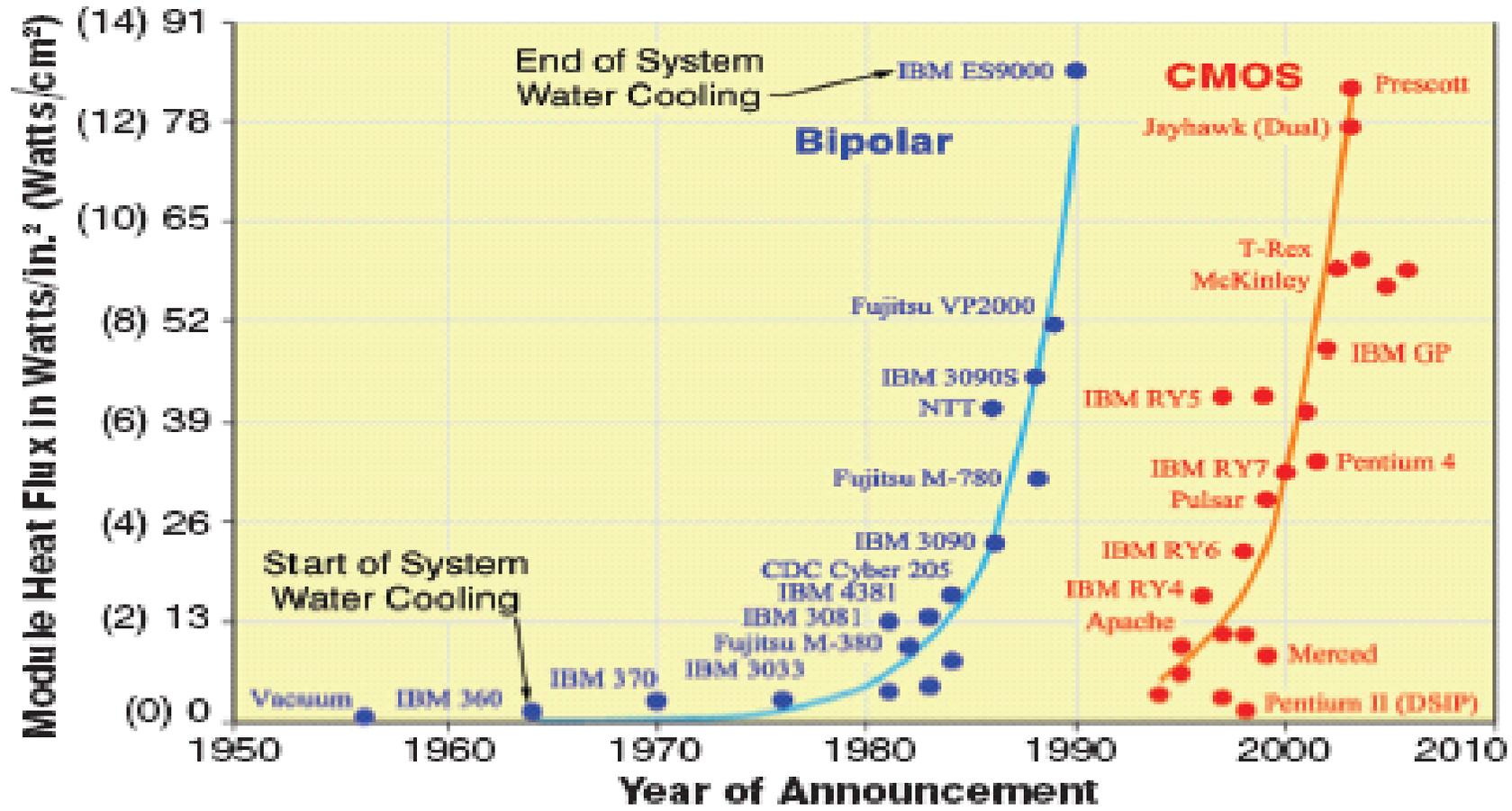
Frage 1

Wie weit ist Ihr Unternehmen mit KI?

- a) Sehr weit
- b) Sind gerade in der Planung
- c) Sind noch davon entfernt
- d) Brauchen noch bis unser Unternehmen KI nutzt

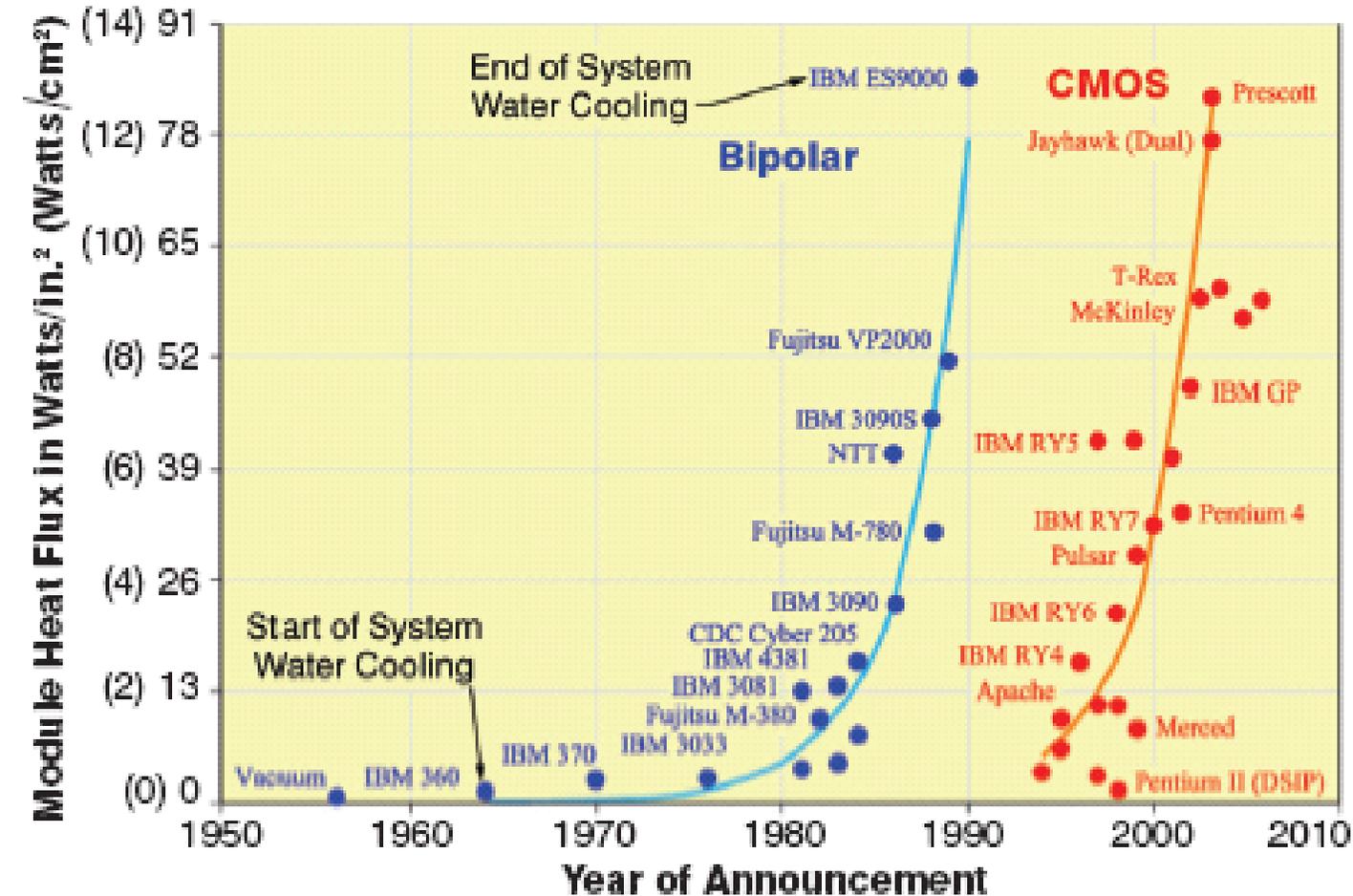
Durchbruch bei Flüssigkeitskühlung

**Geschichte wiederholt sich nicht,
aber wir können aus der Geschichte ihr lernen.**



Durchbruch bei Flüssigkeitskühlung

**Geschichte wiederholt sich nicht,
aber wir können aus der Geschichte ihr lernen**

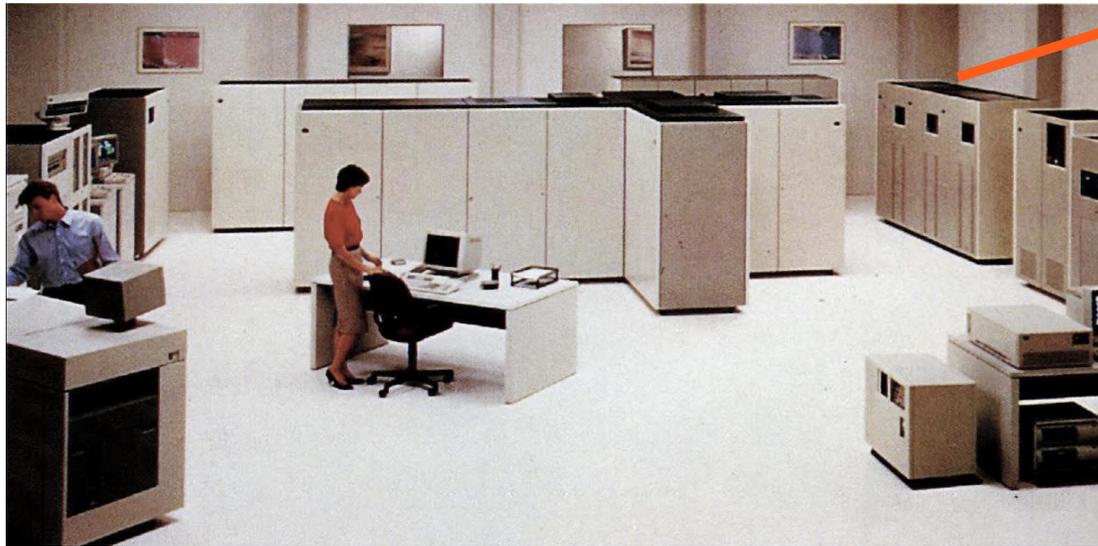


- Disruptive / neue Technologie
- Dramatischer Effizienzgewinn
- Deutlich geringerer Stromverbrauch
- Kaum noch Abwärme
- Gesamtkostensenkung
 - Beschaffung
 - Betrieb

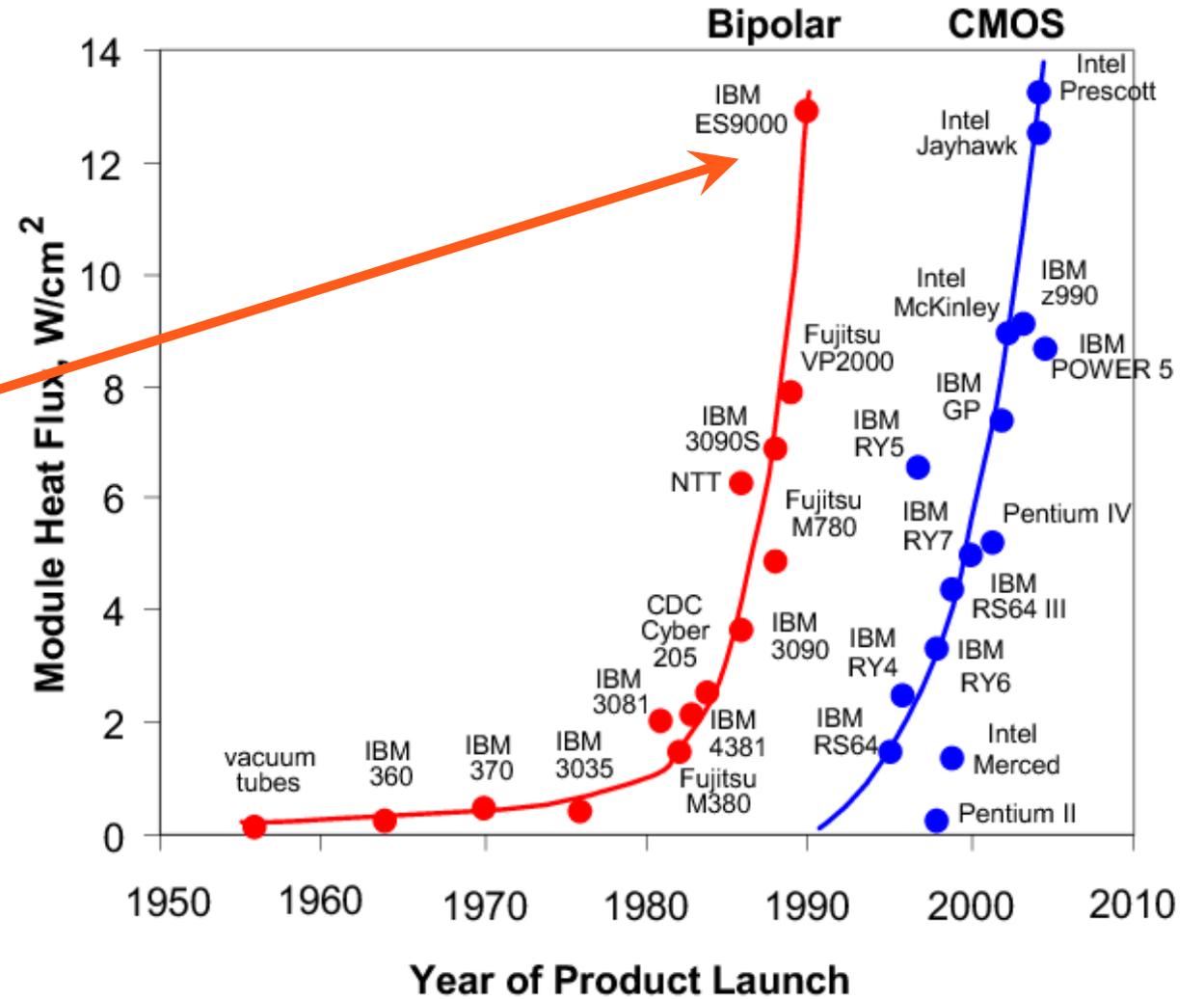
Quantensprung in der IT

Durchbruch bei Flüssigkeitskühlung

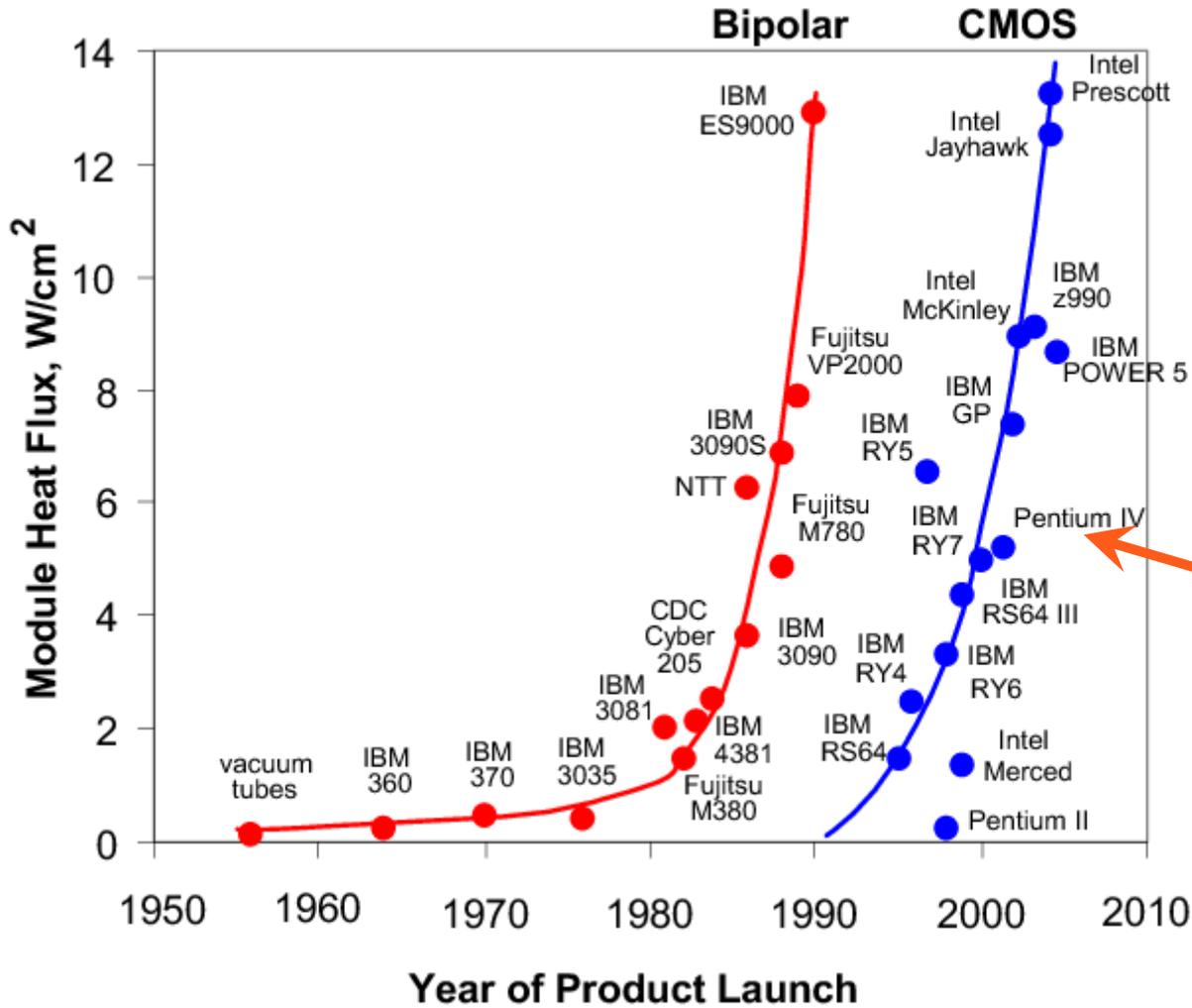
Intensive Nutzung von Flüssigkeitskühlung



Quelle: IBM ECON brochure

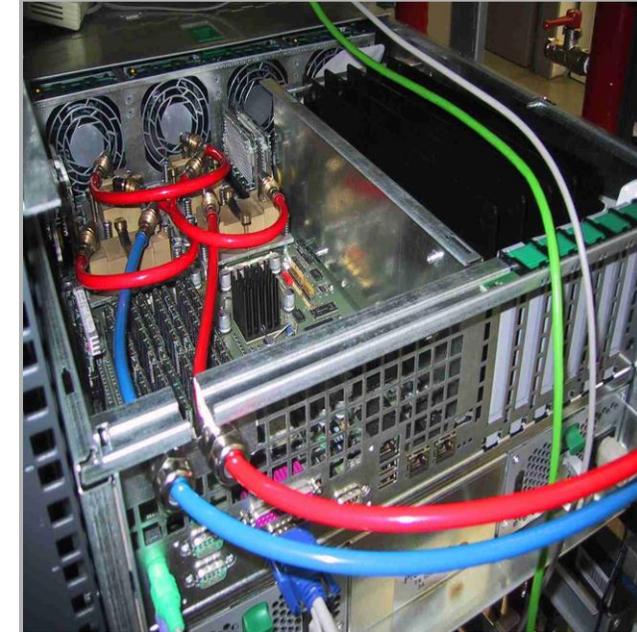


Durchbruch bei Flüssigkeitskühlung



Vor 20 Jahren:

Einstieg in die Flüssigkeitskühlung: Entwicklungspläne der Chiphersteller prognostizierten eine Wärmestromdichte, die mit Luftkühlung nicht abgeführt werden kann.

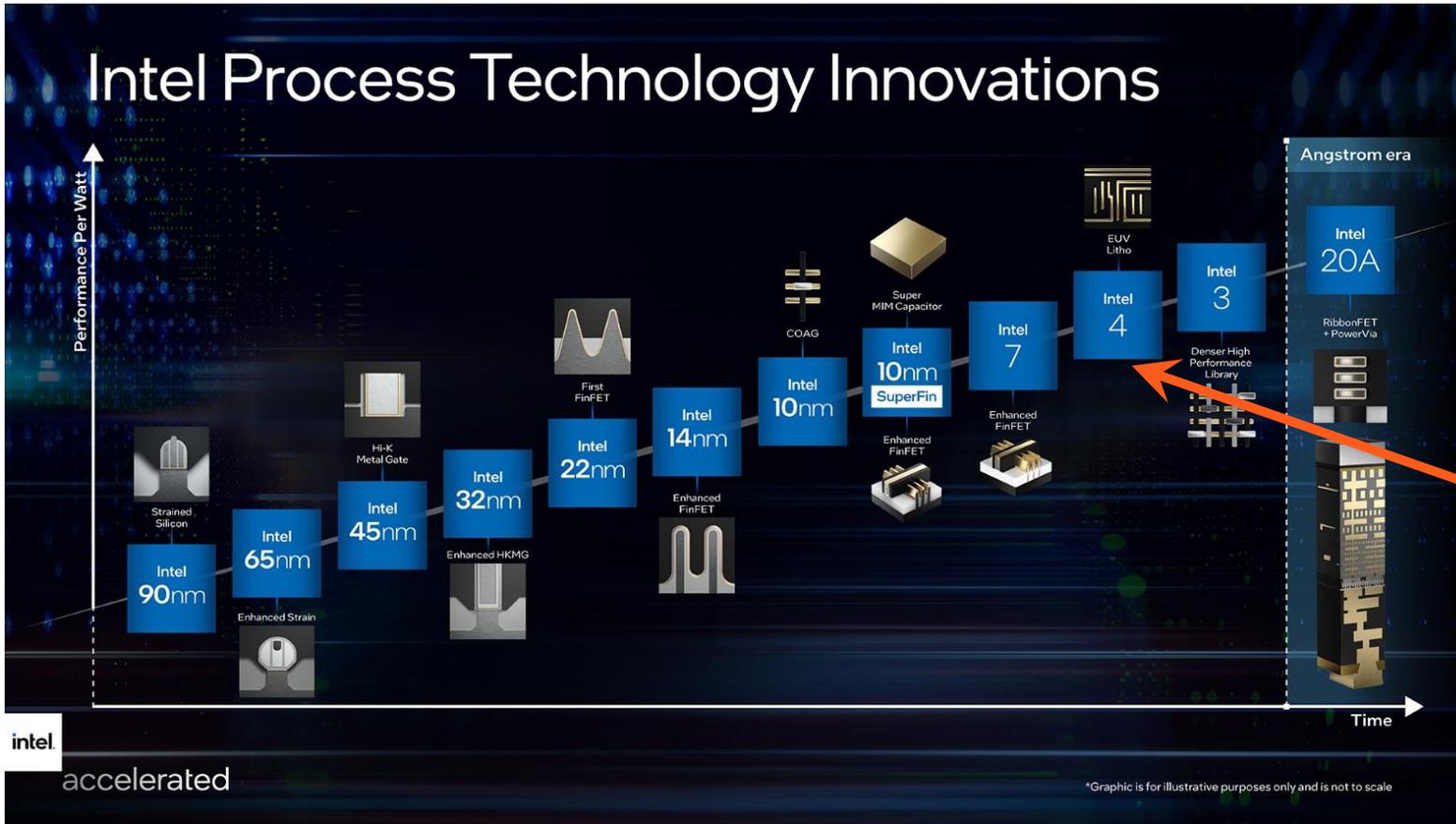


Durchbruch bei Flüssigkeitskühlung



Direkte Flüssigkeitskühlung: Über 20 Jahre in der Nische verborgen

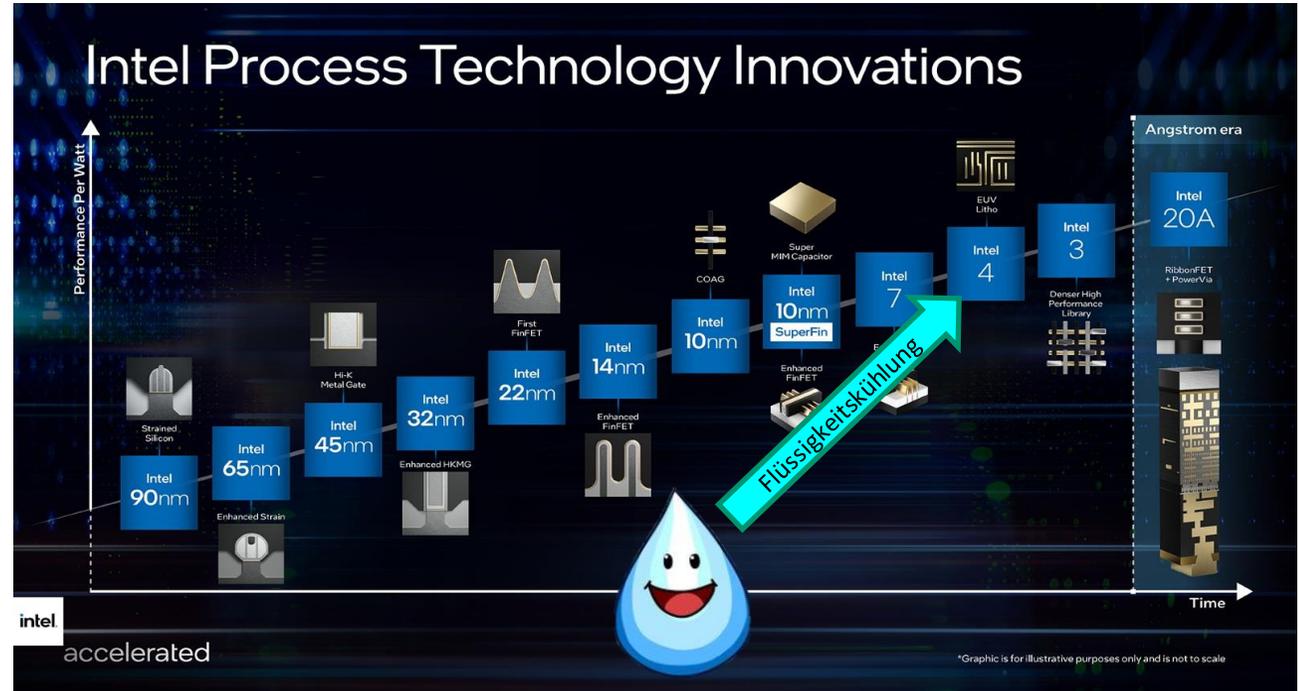
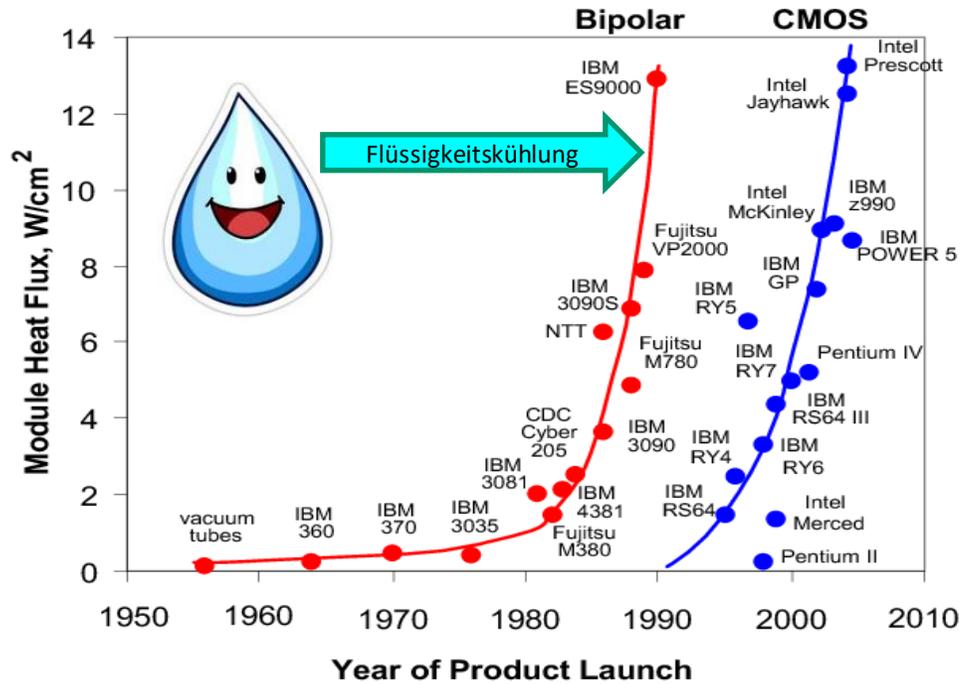
Durchbruch bei Flüssigkeitskühlung



Flüssigkeitskühlung steht am Durchbruch zur breiten Nutzung in weiten Teilen der IT

Durchbruch bei Flüssigkeitskühlung

Geschichte wiederholt sich wirklich nicht?



Quelle: IMB ECON brochure

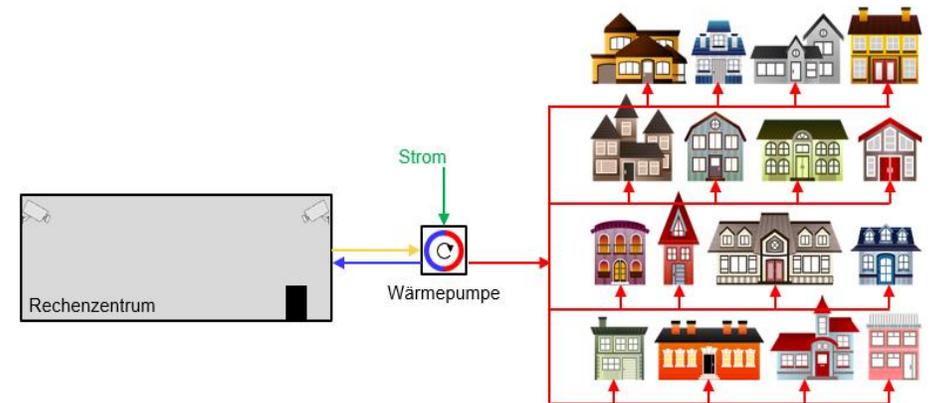
Intensive Nutzung der Flüssigkeitskühlung sind Vorboten für einen Technologiewechsel in der IT



Methoden der Flüssigkeitskühlung

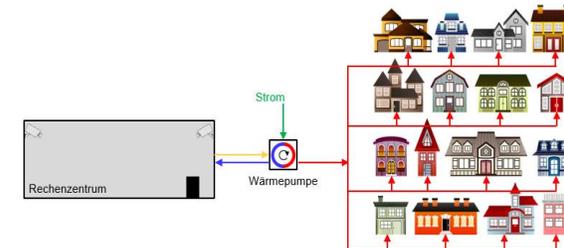


Möglichkeiten → Abwärmenutzung



Methoden der Flüssigkeitskühlung

Möglichkeiten → Abwärmenutzung



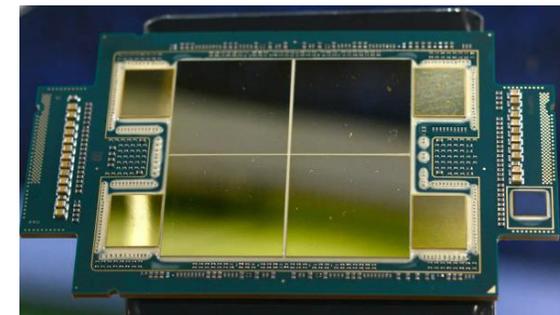
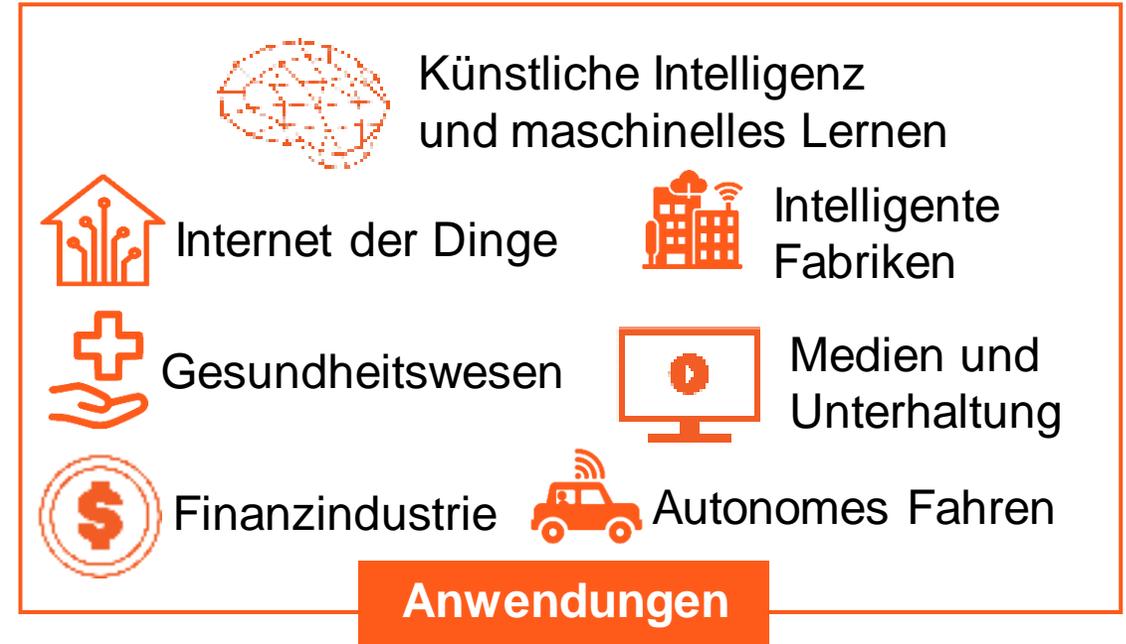
Frage 2

Warum hat Flüssigkeitskühlung einen Durchbruch in die Breite Masse?

- a) Weil für die Hochleistung Prozessoren Luft als Kühlmedium keine ausreichende Lösung ist
- b) Weil niedrigere Prozesstemperaturen zur Erhöhung der Taktfrequenz zu weniger Rechenleistung führt

Flüssigkeitskühlung

- In den nächsten 2 Jahren
 - Server mit 1,5 bis 2kW pro HE
 - GPUs mit über 600W
 - CPUs mit über 300W
- 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)

Werkzeugkiste



Liebert® AFC



Liebert® HPC

Liebert®
iCOM™ CWM



Controls Platform



Liebert® CRV



Liebert® PCW



Liebert® CWA



Liebert® HPM



Room Cooling

Adiabatic & Freecooling Chillers



Liebert® OFC



Outdoor Condensers

Liebert® PDX

Liebert® HCR

Liebert® MC



Outdoor Package



Liebert® EFC

Custom AHU



Liebert® DSE



Liebert® AHU



Enclosure Cooling



Liebert® HPW



Liebert® HPF



Liebert® HPS



Liebert® XDU



Liebert® VIC

Liebert® Manifold



Liebert® DCD

Liquid Cooling

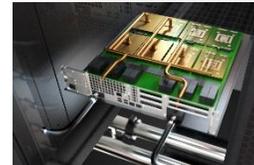
Row & Rack Manifolds

Schrank- und Reihenverteilsysteme zur Verteilung der Kühlflüssigkeit zur IT



DTC Cold Plates

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



Rückkühlung

Wärmeübertragung der IT-Kühlung an die Umgebung



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



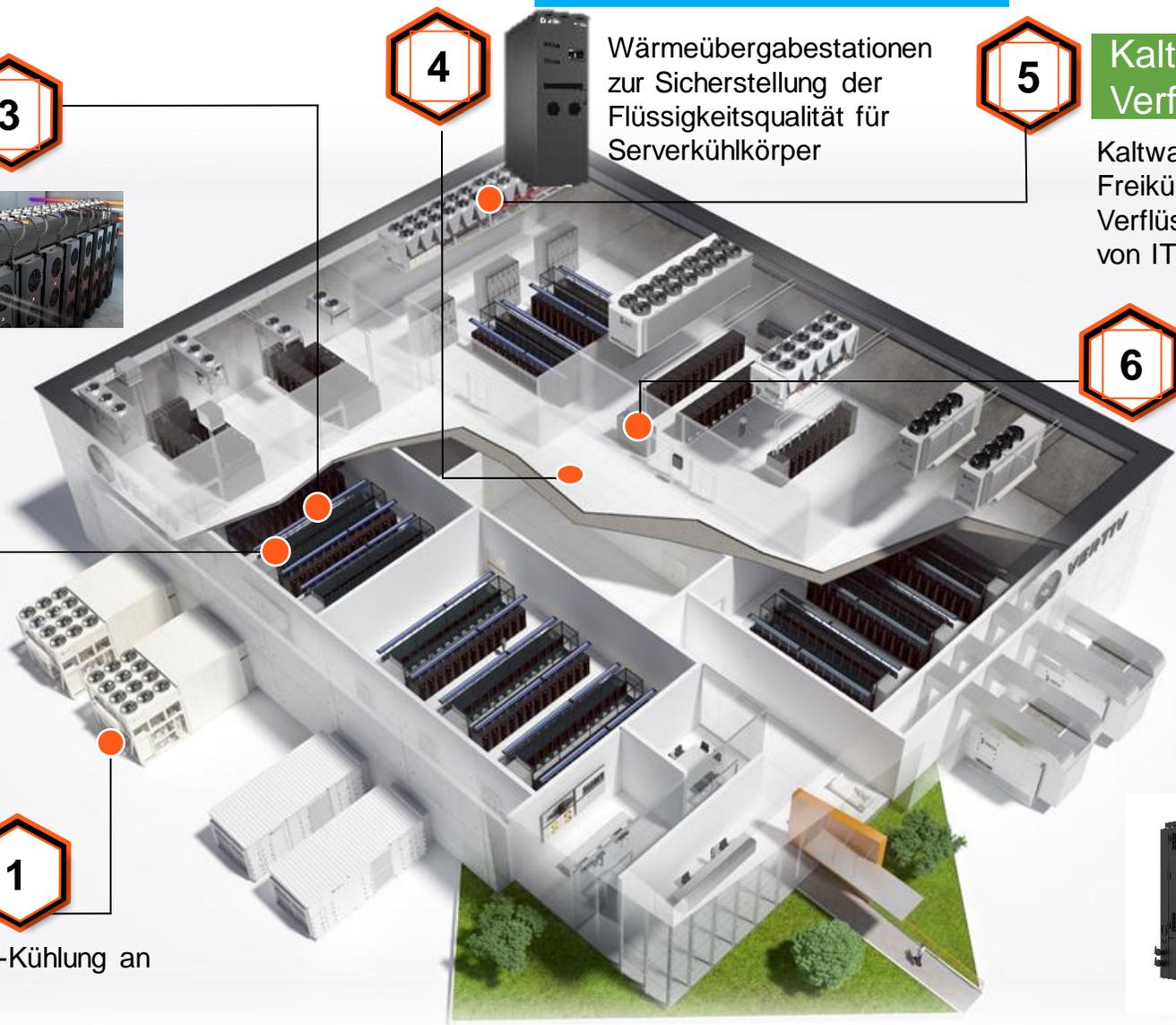
Raum-Kaltwassersätze

Kaltwassersätze zur Innenaufstellung



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

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

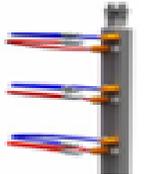


Wärmeübergabestation für Flüssigkeiten



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 1350kW



19" 4HE 100kW

Flüssigkeit – Luft - Übergabe

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



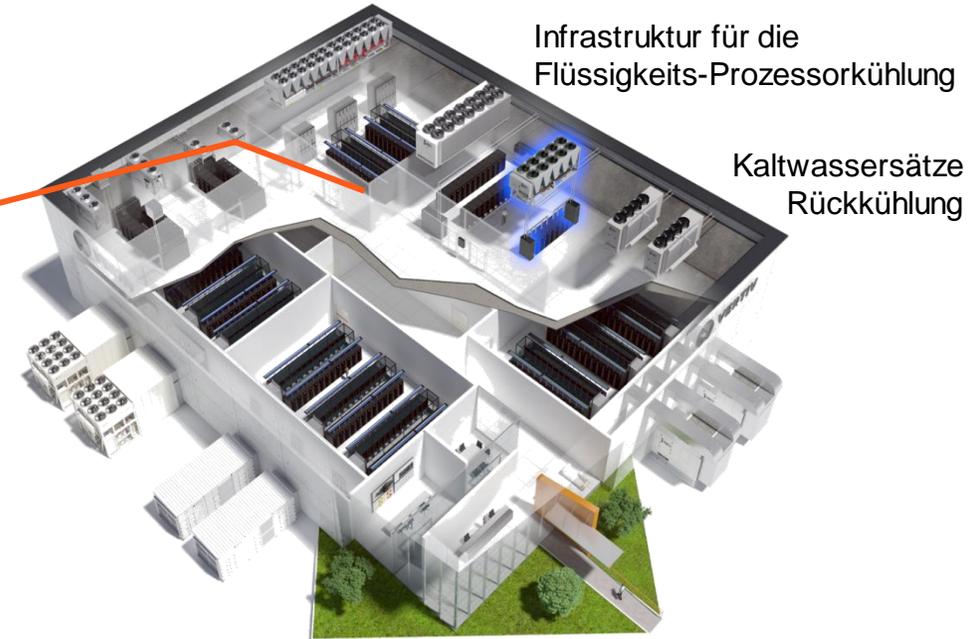
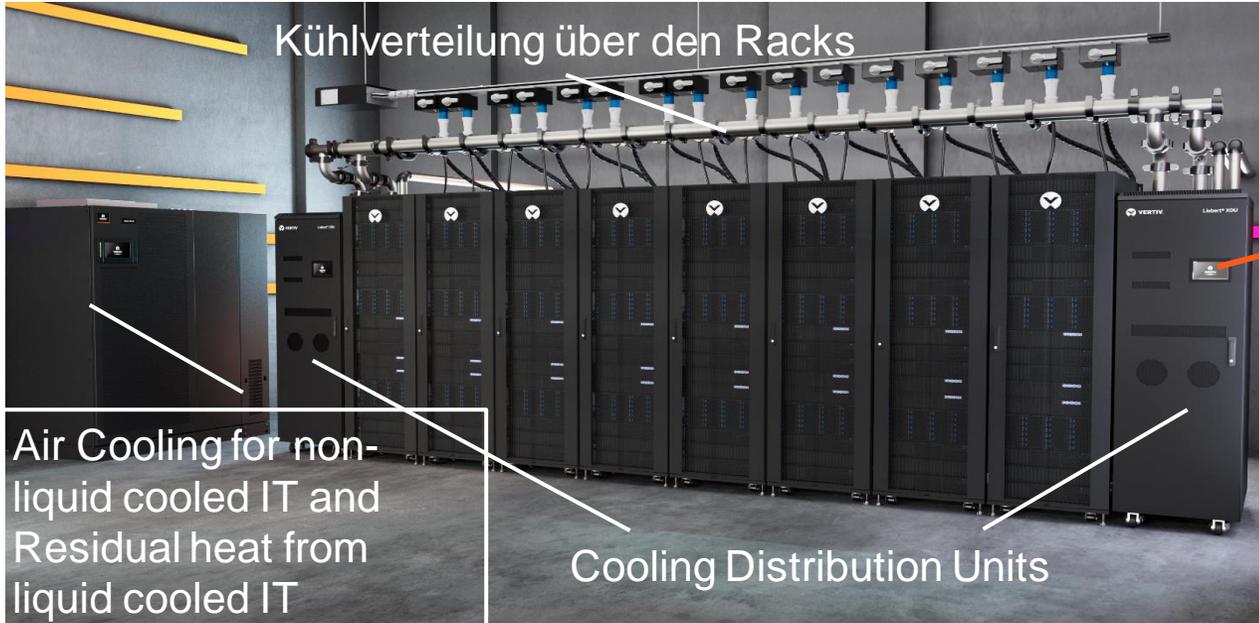
600mm Rack 70kW

Verteiler und Sammler

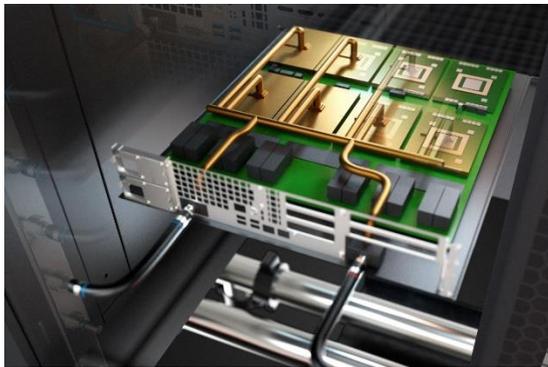
- Flüssigkeitsverteilsystem entlang der Schrankreihe und im Schrank
- Gehört zum Technik-Kühlkreislauf Technology Cooling System (TCS)
- Hohe Anforderungen an Sauberkeit
- Innerhalb des Schrankes wie eine PDU (Power Distribution Unit) verwenden
- Meist mit tropffreien Schnellkupplungen und Verbindungsschlauch 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



Flüssigkeitsgekühlter Rackserver



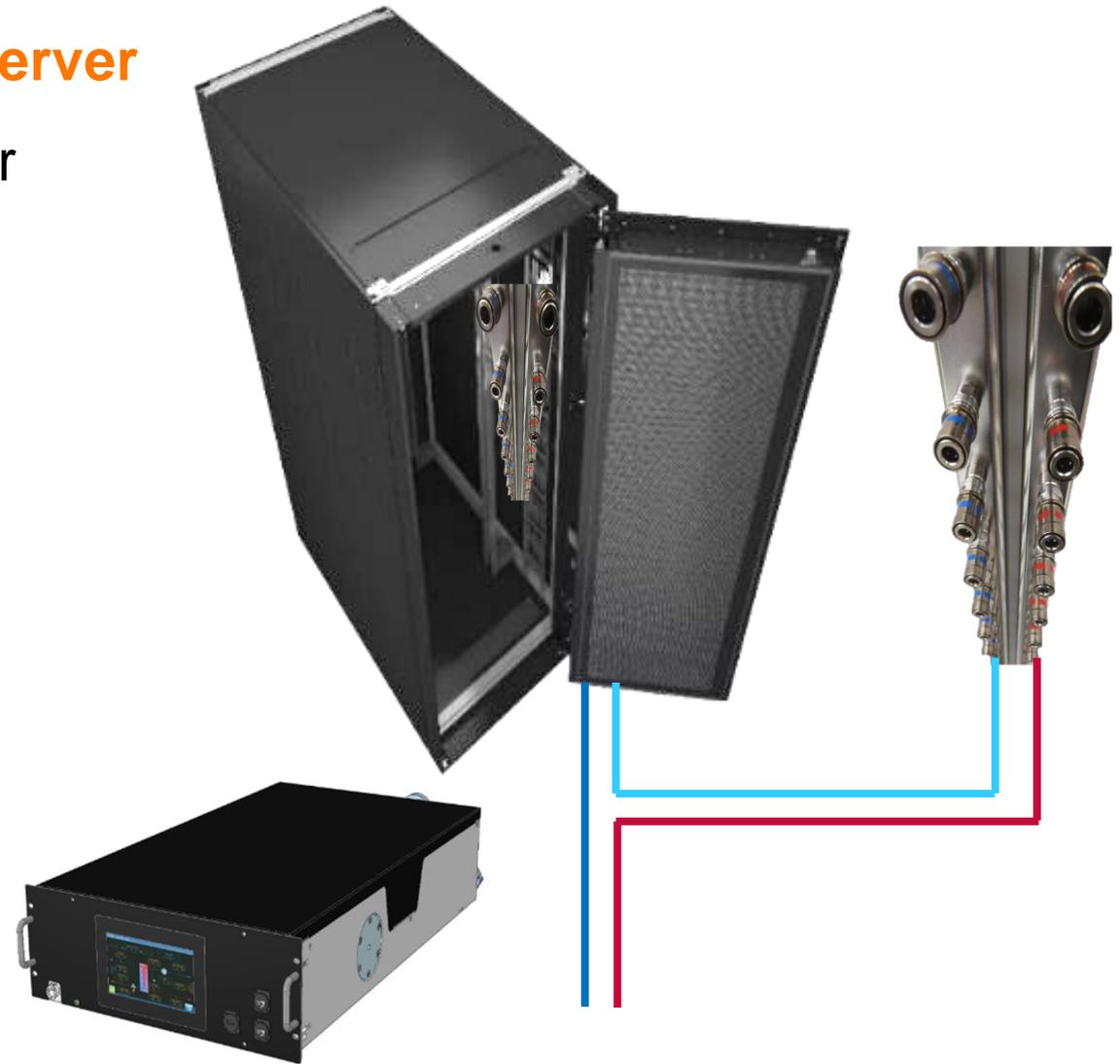
Rackverteiler zum Server



Wärmeübergabestation

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
- Kaltwasser wird zunächst in den Rücktürwärmetauscher gespeist und kühlt danach die Server
- Hydraulische Trennung der Serverkühlung
- 100 kW 19" Wärmeübergabestation



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 mit 24HE 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

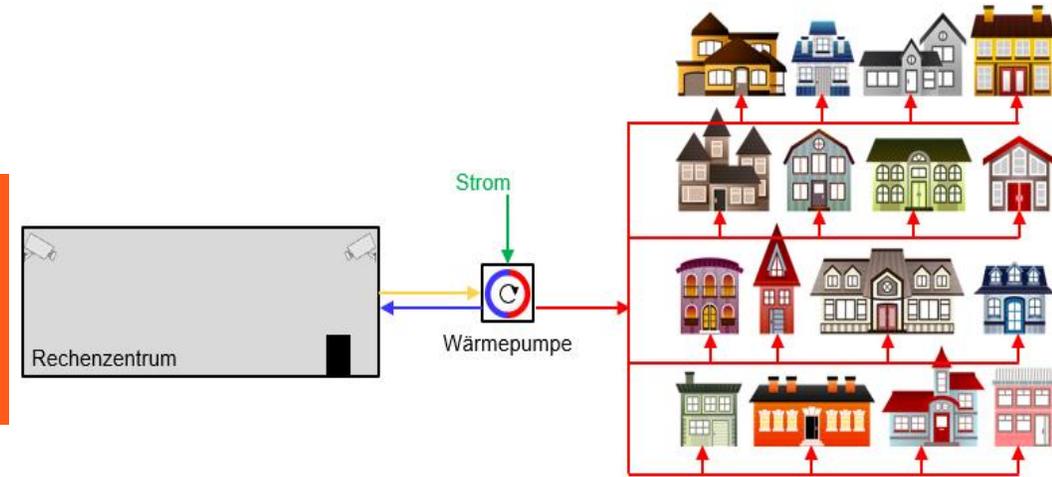
- Gehört zum Lieferumfang
- Enge Zusammenarbeit mit der chemischen Industrie
- Nicht giftig, nicht flüchtig,
- Keine Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS)
- Umfangreiche Untersuchungen zur chemischen Verträglichkeit
- Überwachung der Leitfähigkeit (Servicekonzept)
- Hoher Flammpunkt



Methoden der Flüssigkeitskühlung



Möglichkeiten → Abwärmennutzung



Wie lang sind 30 Jahre?



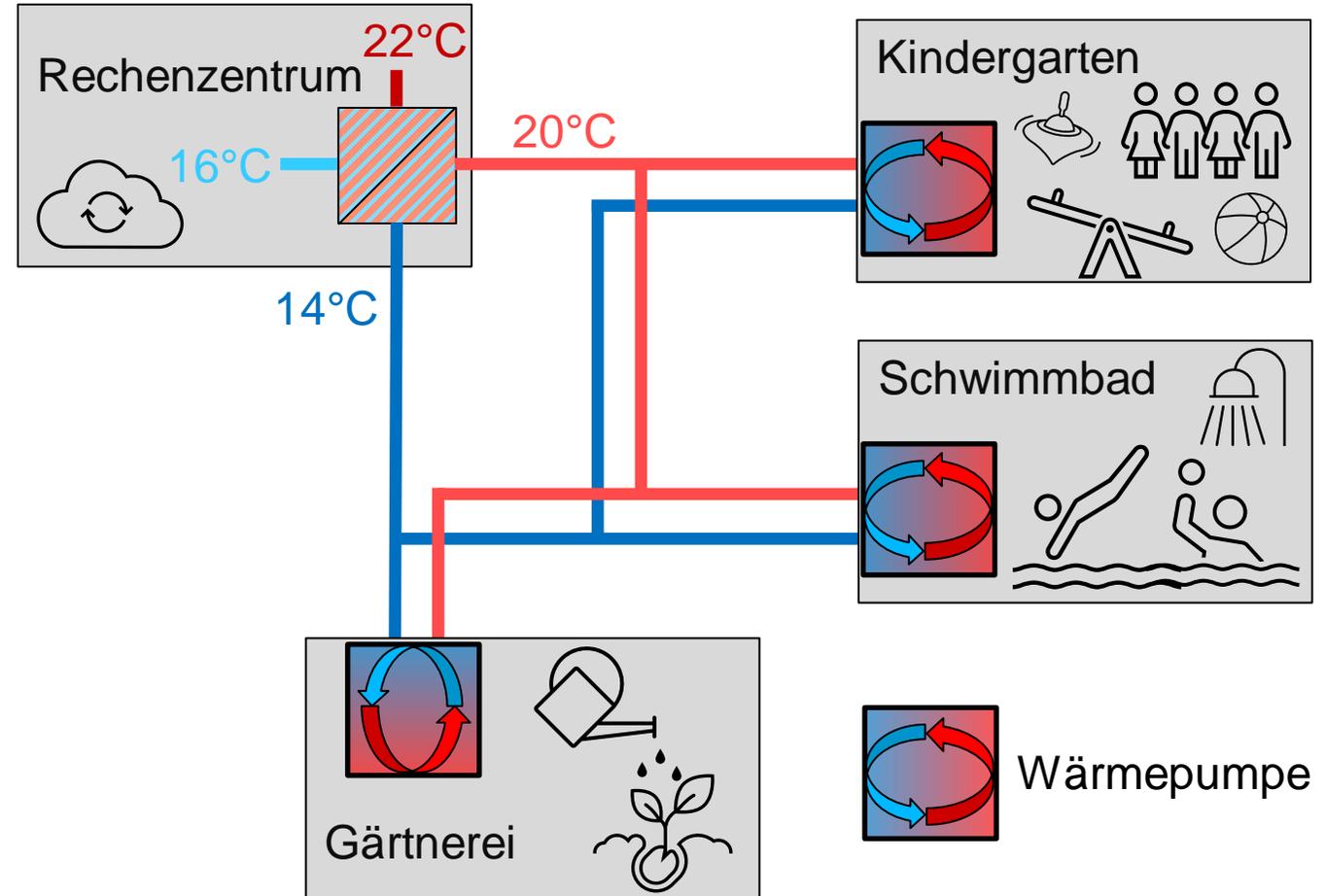
Rechenzentrum des Sachsenwerks Dresden vor dem Abbau 1995 (Quelle: Heinz Nixdorf MuseumsForum)

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



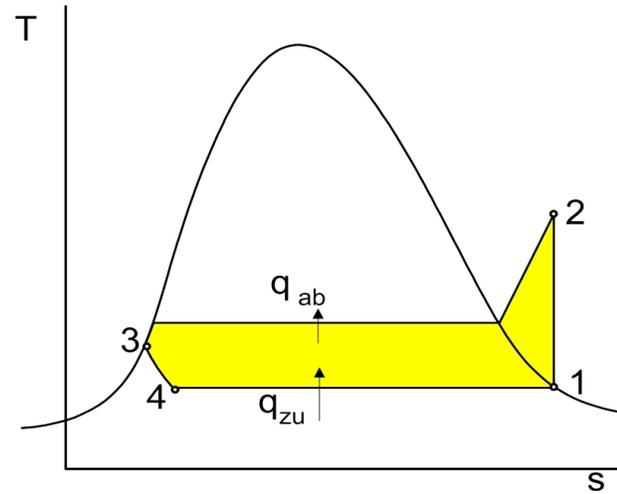
Frage 3

Wie verbessert Flüssigkeitskühlung die Möglichkeit der Abwärmekühlung?

- a) Die Kühlsystemtemperatur ist höher
- b) Die Kühlsystemtemperatur bleibt gleich
- c) Die Kühlsystemtemperatur ist niedrig

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



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

η_{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 Rønbøg

EPFL – Beispiel aus der Praxis



Quelle: EPFL



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

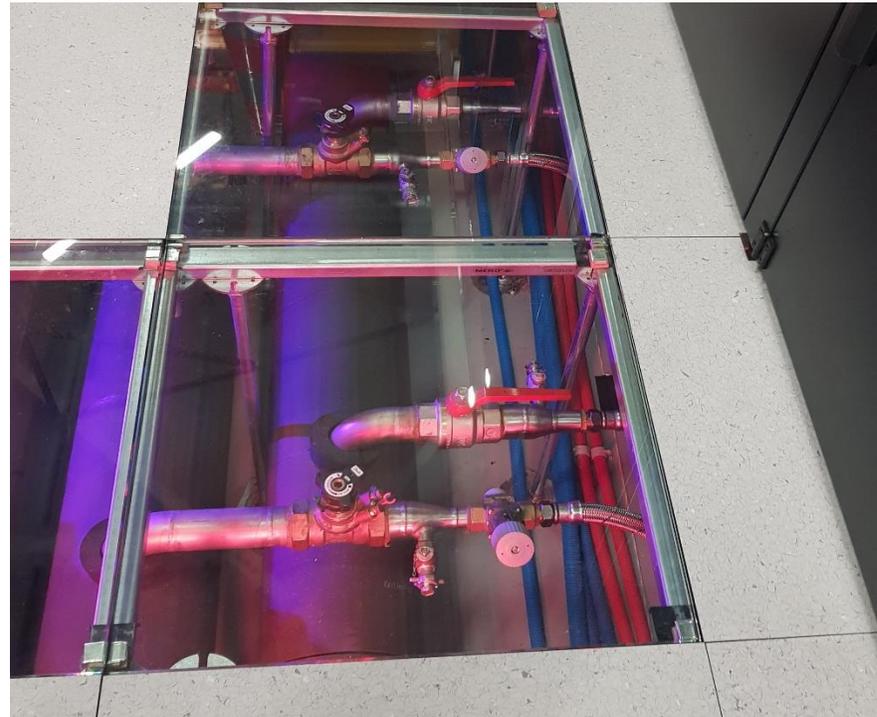
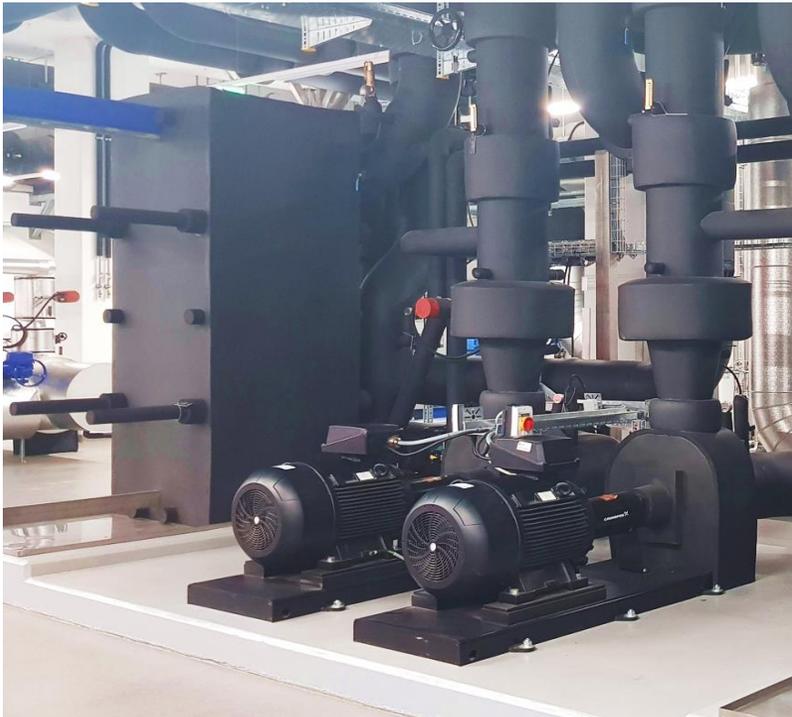
Rechenzentrum im Detail

- 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



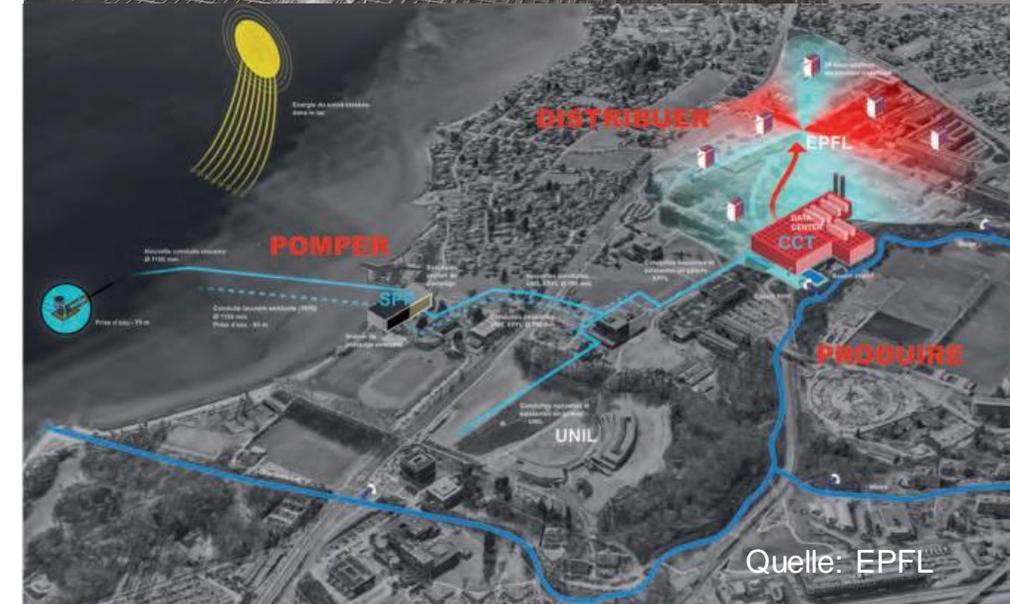
EPFL – Beispiel aus der Praxis

- 4 MW Wärmetauscher
- Kühlwassertemperatur Vorlauf 14°C, Rücklauf 22°C
- Systemdruck 2,5 bar, 1 bar Differenzdruck
- Haupteinspeisung $\varnothing 400\text{mm}$, Reihenverteilung $\varnothing 200\text{mm}$
- Schrankanschluss $\varnothing 50\text{mm}$, Anschlussset 1"



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