

Energieeffizientes Hochleistungsrechnen am KIT

M. Sc. Simon Raffener



Überblick

- Das KIT ist seit 2021 ein Nationales Hochleistungsrechenzentrum
- HoreKa ist einer der leistungsfähigsten Supercomputer Europas und einer der energieeffizientesten Supercomputer der Welt
- 799 Knoten, ~60.000 Cores gesamt
756 NVIDIA A100/H100 GPUs
21 PetaFLOPS Peak
- 900 kW Spitzenverbrauch



Ausgangsparameter

- Gebäude initial auf 1 MW ausgelegt
- **Höchste Energieeffizienz**
 - Warmwasserkühlung bis 750 kW
 - Vorlauf 40° C, Rücklauf 45° C
 - Luftkühlung bis 250 kW
 - Freie Kühlung bis 36° C Außentemperatur
 - Abwärmenutzung für Heizung
 - Kaltwasser aus Fernkälte
- **PuE: ~1 (bei Nachnutzung) bis 1,2 (Worst Case bei Ausfall Fernkälte)**



Erweiterung auf 2 MW

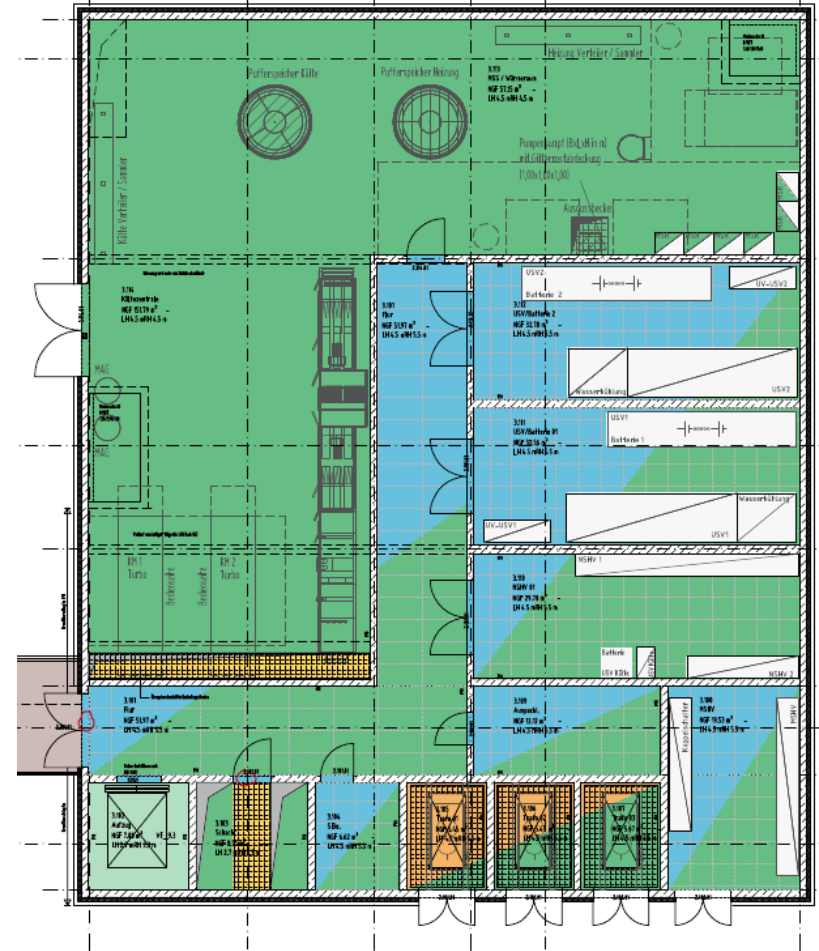
- Gebäude für 1 MW mit 25% Aufstockung bis ~2030 geplant
- **Energieverbrauch der Supercomputer** steigt aber *sehr* viel stärker als 2012 absehbar

- Analyse: Wo liegt die sinnvolle Grenze einer Erweiterung?
 - Ergebnis: **Verdoppelung auf ~1500 kW Warmwasser und ~500 kW Kaltwasser** ist wirtschaftlich machbar
 - **Rohrdurchmesser** sind entsprechend großzügig
 - Trockenrückkühler haben **faktisch 500 kW** und nicht 375 kW. Vierter Rückkühler war auch bereits vorgesehen
 - Austausch des zentralen 938 kW **Wärmetauschers** nötig
 - **Neue Pumpen** nötig
 - Stromversorgung derzeit maximal 1,8 MW. Erweiterung mit Aufbau des neuen Rechners 2025



Gebäude: EG

- Raum für **Klimatechnik**
 - Warmwasserkreislauf
 - Luftkühlung
 - Wärmetauscher für Nachnutzung
 - Puffertanks
- Räume für **Elektroinstallation**
 - Mittelspannungstrafo
 - Mittel- und Niederspannungsversorgung
 - USV mit Batterien
- Aufzug und Leitungsschächte



Gebäude: OG

■ Serverräume

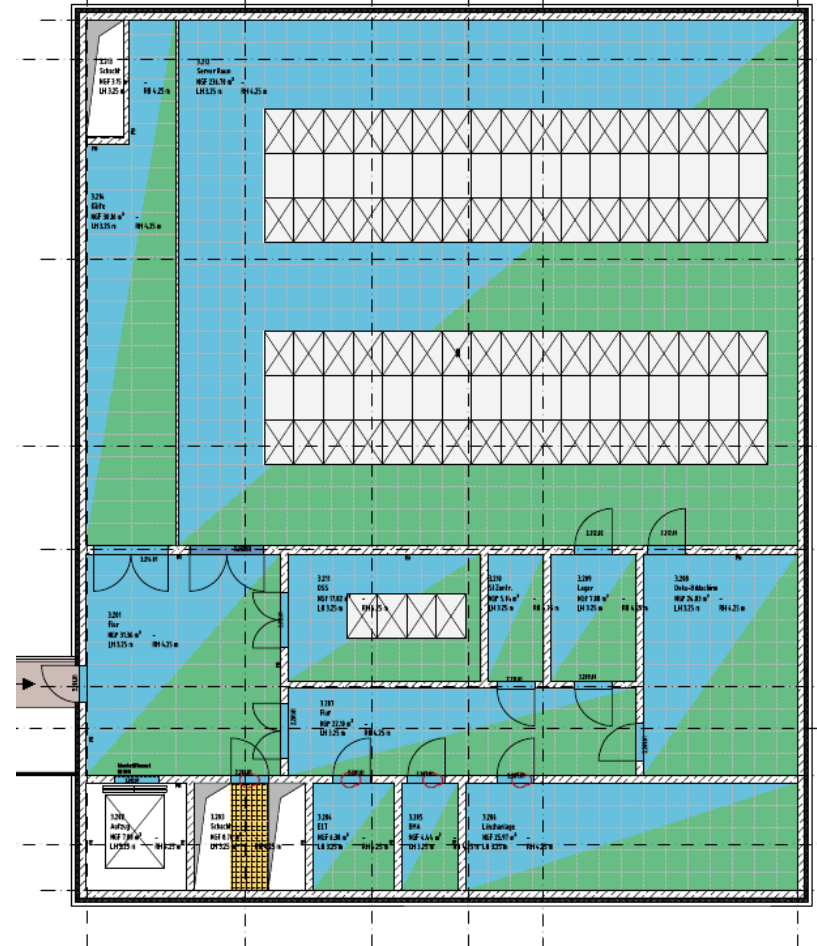
- Raum mit Supercomputer(n)
- Nebenraum für Netzwerktechnik

■ Nebenräume

- Terminal-Raum mit Arbeitsflächen
- Auspacklager
- Abstellräume
- Ehemaliges Flaschenlager (CO2)

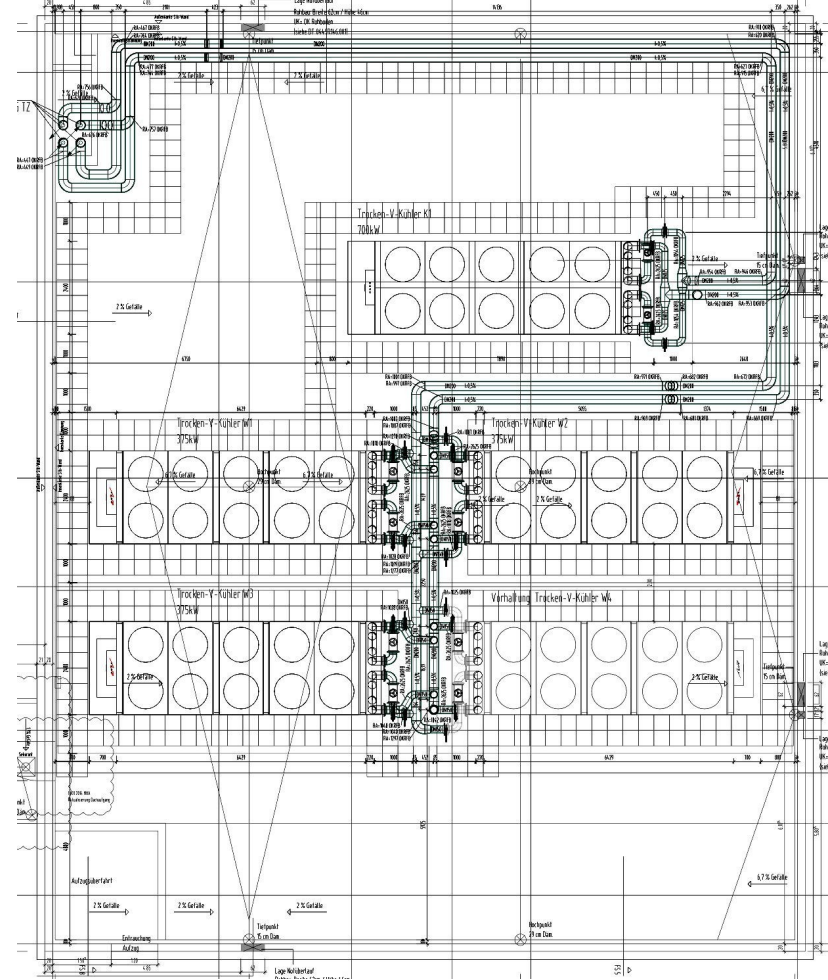
■ CoolWalls

■ Aufzug und Leitungsschächte



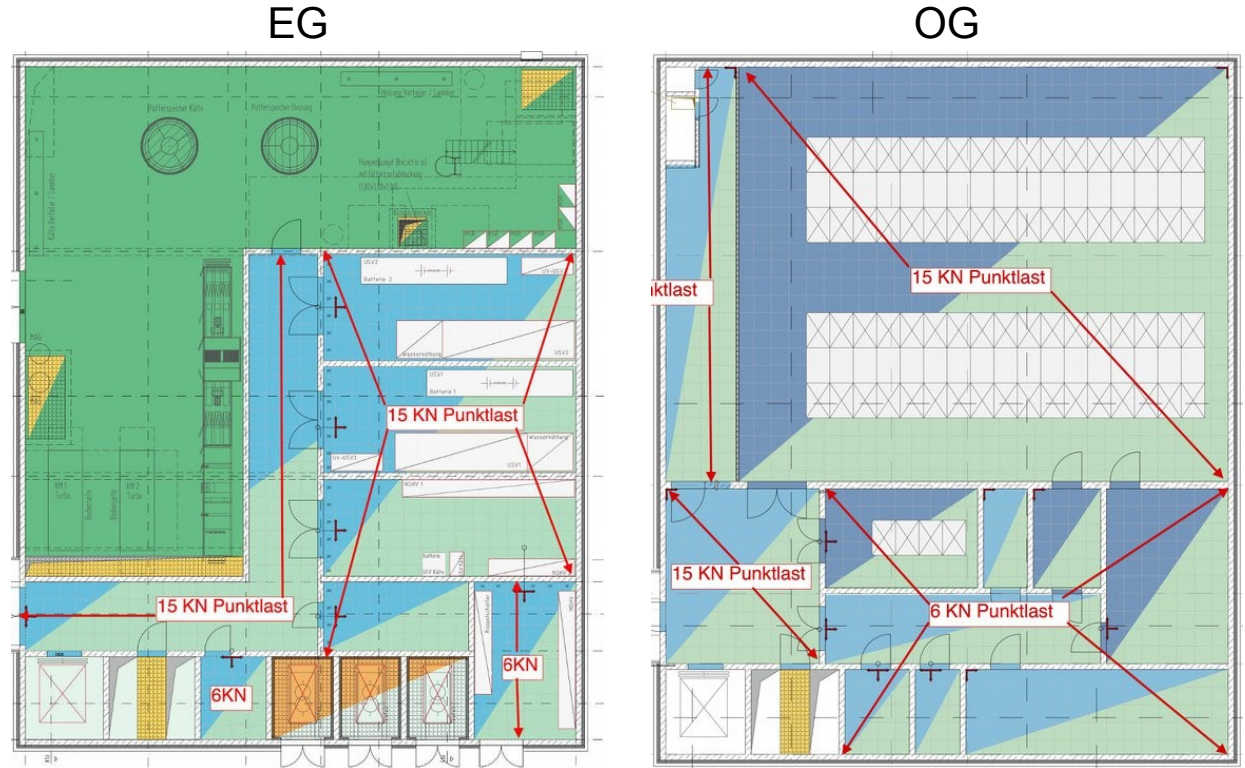
Gebäude: Dach

Trocken-Rückkühler



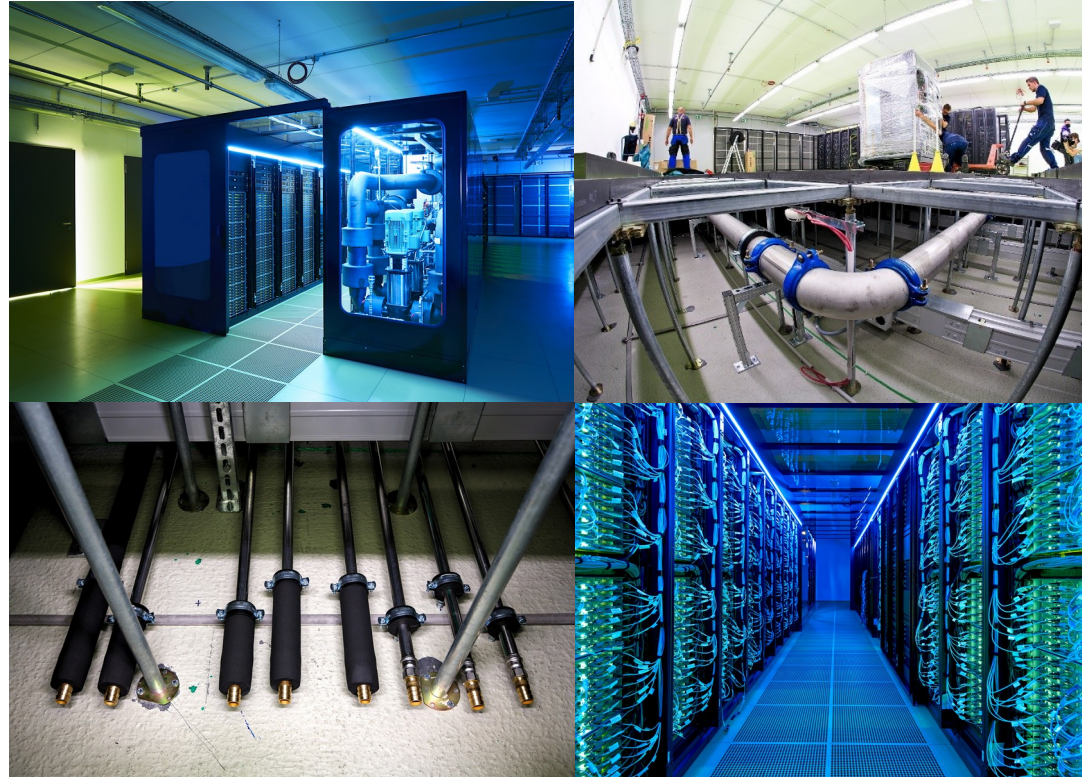
Technik: Doppelböden

- Höhe 1 m brutto, ~90 cm netto
- Punktlast Flure, Technik- und Serverräume 15 kN, sonst 6 kN



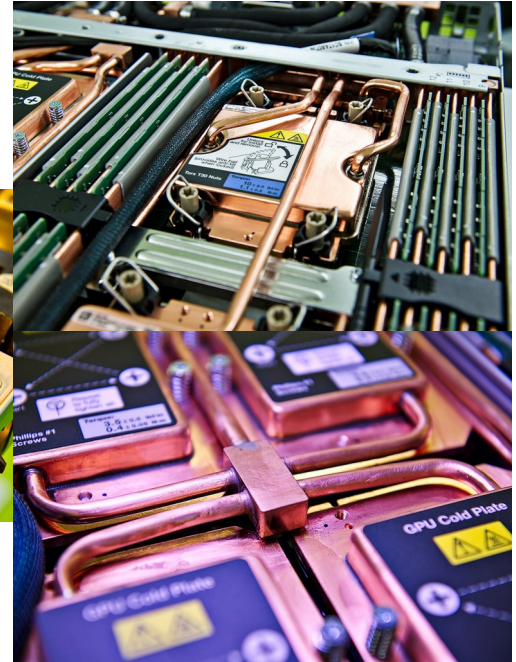
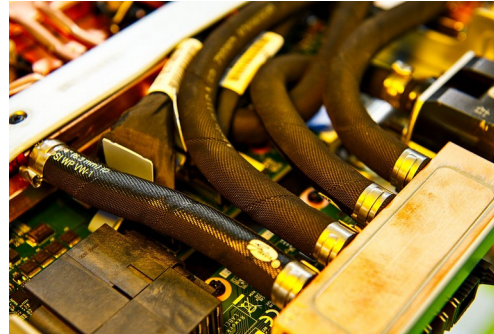
Technik: Serverraum

- Maße
 - $14,17 \times 16,70\text{m} = 226 \text{ m}^2$
 - Höhe: 3,25
- Kühlung
 - Warmwasser-Verrohrung im Doppelboden
 - Kaltgangeinhausungen
 - Luftkühlung über CoolWall
- Stromschienen im Doppelboden



Warmwasserkreislauf: Rechner

- Wärmeabfuhr über Kupferplatten, Rohre/Schläuche und Heatpipes direkt an den Komponenten (CPUs, GPUs, Speicher etc.)
- Bis 700 Watt/Chip (GPUs)
- Bis 4 kW/Server (mit GPUs)
- Bis 120 kW/Rack (max. 72 Server)
- Durchfluss bis 8 l/min pro Server
- >90% der Wärme geht ins Wasser
- Rücklauftemperatur normal 45° C, max. 55 °C



Warmwasserkreislauf: Racks

- 6-12 Server stecken in einem **Chassis** mit gemeinsamer Wasser- und Stromversorgung
- **Netzteile** in der aktuellen Generation noch nicht wassergekühlt
- Durchfluss bis zu **240 l/min**



Warmwasserkreislauf: Rechner

- “Cooling Distribution Unit” (CDU)
- Hydraulische Trennung mittels Wärmetauscher zur Anpassung der Temperatur- und Druckniveaus. Vereinfacht auch Wartungen
- Ermöglicht konstante Temperatur (45°C) auf Gebäude-Rücklauf für Nachnutzung
- Durchfluss bis $114\text{ m}^3/\text{h}$ im Maschinenkreislauf



Warmwasserkreisläufe: Gebäude

- Max. 1500 kW, Nachnutzung bis 100 kW
- Ganzjährig freie Kühlung
- Drei Kreisläufe
 - Rechner: 42°/47-50°, Reinwasser mit Biozid
 - Gebäude: 40°/45°, Trinkwasser
 - Zu den Rückkühlern Wasser mit Glykol
- Trocken-Rückkühler auf dem Dach
 - 4x500 kW für Warmwasser, 3+1 redundant
 - 1x500 kW freie Kühlung für Kaltwasser (im Winter)



Warmwasserkreisläufe: Nachnutzung

- Angeschlossenes Bürogebäude wurde 2015 zusammen mit dem RZ errichtet
 - Bauteilaktivierung für passende Temperaturniveaus
- Einspeisung in Campus-Wärmenetz derzeit nicht ökonomisch sinnvoll
 - Temperaturniveau viel zu niedrig (45 vs. >100 °C)
 - Hochtemperatur-Wärmepumpe wäre zu ineffizient
 - Es gibt bereits sehr viel größere Erzeuger mit passenden Temperaturniveaus auf dem Campus (z.B. Gaskraftwerke mit 7 MW)
- Gebäudesanierungen und Aufbau eines Niedrigtemperatur-Wärmenetzes geplant
 - Zahl der Heizstunden sinkt allerdings Jahr um Jahr

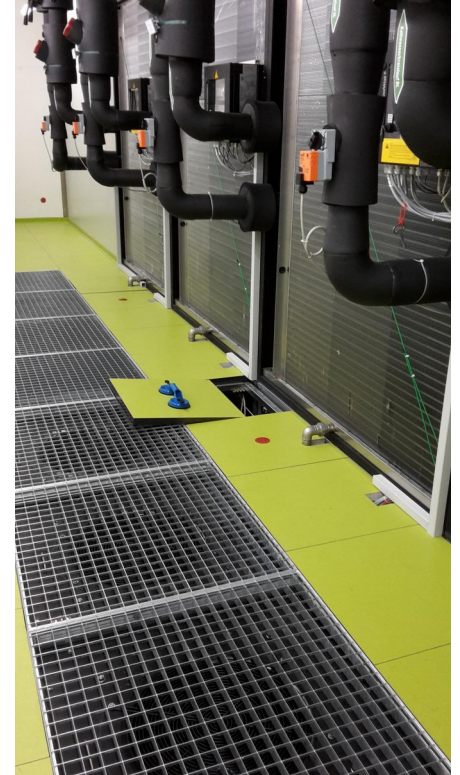


Technik: Kaltluft

- Versorgung der CoolWalls
- Max. 400 kW

- CoolWall (Weiss Klimatechnik)
 - Zieht warme Luft aus Serverraum an
 - Drückt gekühlte Luft in Doppelboden
 - Lüftungsschächte unnötig
 - 5 CoolWalls á 84 kW

- Kaltgang-Einhausung
 - Strikte Trennung von Kalt- und Warmluft. CoolWall zieht nur Warmluft an!



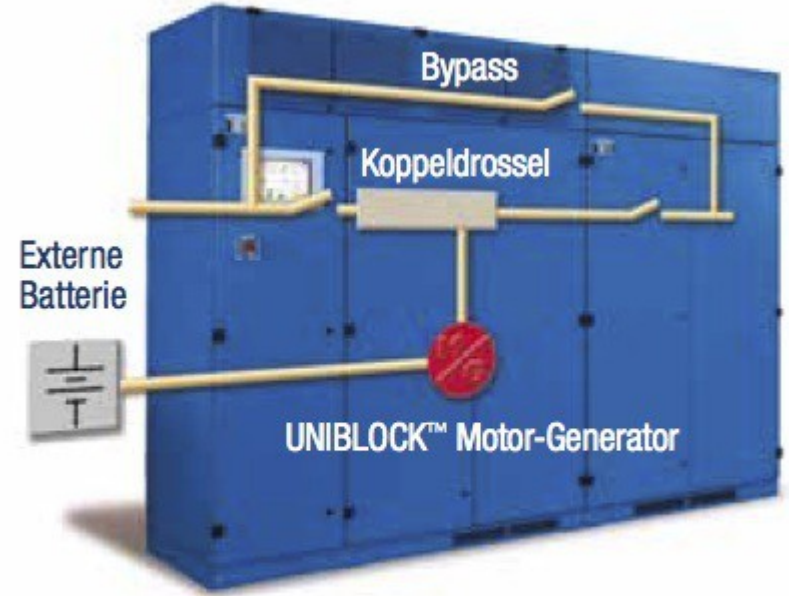
Technik: Kaltwasserkreisläufe

- Kaltwasserversorgung
 - Max. 400 kW
- 4-fach Hierarchie
 - Freie Kühlung im Winter ($\leq 4^\circ$)
 - Fernkälte (BHKW)
 - Bestandskälte (Bau 441/442, GridKa)
 - Eigene Kältemaschine (~ 660 kW)
- Nachkühlung Warmwasserkreislauf
 - Bei extrem heißen Wetterlagen durch Kaltwasser



Technik: USV

- Piller UNIBLOCK UBT+
 - 816 Batterien, 536 kWh
 - Puffert bis zu 1340 kW für 15 Minuten
 - **Motor-Generator-Kombination** immer aktiv! Keine Umschaltverzögerung, glättet den Netzstrom
- Kühlung
 - Verluste summieren sich bei 1 MW auf bis zu 50 kW
 - Auch diese Anlage ist **wassergekühlt!**



UBT+ mit externer Batterie.

Technik: Redundanzen

- Kühlung
 - Warmwasser: 4 Rückkühler (3+1)
 - Kaltwasser: 4-fach Hierarchie
- Wichtige Pumpen doppelt vorhanden
- Strom
 - Normalnetz + USV
 - Strom: 2x 20 kV Transformatoren zu je 2 MW (1+1)



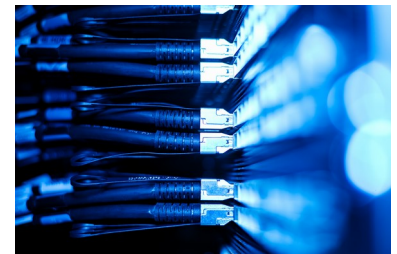
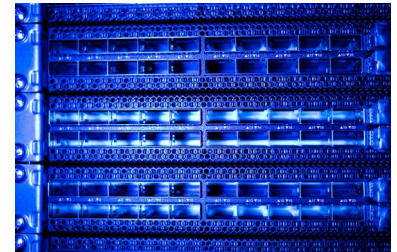
Technik: Sicherheit

- Zugang
 - Gebäude auf gesichertem Gelände des KIT
 - Schließanlage mit Berechtigungskarten
- Brandmelde- und Löschanlage
 - Rauchmelder auch im Doppelboden
 - CO₂-Löschung durch Feuerwehr mittels Tankfahrzeug
- Leckagedetektion
 - In Serverraum, USV-Raum, MSHV, NSHV



Vorteile der Direktwasserkühlung

- Server laufen **stabiler**
 - Weniger Temperaturschwankungen in den Servern und auch innerhalb der Racks
 - Deutliche niedrigere Ausfallraten von Festplatten, Speicher
- Server laufen **schneller**
 - Maximaler Chiptakt wird nur bei optimaler Kühlung erreicht. Mit Luftkühlung nicht mehr machbar (>400 Watt/Socket)
 - Bei luftgekühlten Systemen entstehen Hotspots die ganze Teile eines Racks beeinflussen. Server beeinflussen sich gegenseitig
- **Platzersparnis**
 - Mit luftgekühlten Servern wäre HoreKa doppelt so groß
 - Netzwerkverkabelung skaliert aber mit Zahl der Racks...



Warmwasserkühlung für „Tier-3“

- Direktwasserkühlung bislang nur für große Rechner („Tier-2“) wirtschaftlich
- Bei kleineren Systemen („Tier-3“) luftgekühlte Server mit wassergekühlten Racks (Rücktüren)
- Problem: Beim bwUniCluster 2.0 werden hier 33 kW/Rack erreicht
- bwUniCluster 2.0 Phase 2 (2022) war daher erstes Tier-3-System in BW mit Direktwasserkühlung
- bwUniCluster 3.0 (2024) wird zusammen mit HoreKa untergebracht

