



Universität
Münster

Energieeffizienz im Rechenzentrum

Sebastian Potthoff, Holger Angenent

CIT-Talks, 11.02.2026

Agenda

1. Überblick ISO 50001
2. Energetische Ausgangslage
3. Kennzahlen und Hebel
4. Datensammlung
5. Aktionspläne
6. Aktuelle Server-Kühltechniken

Überblick ISO 50001

- Zweck: Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften: Energieeffizienzgesetz (EnEfG)
- **Ab 300kW** *nicht redundanter* Nennanschlussleistung ist ein *EnMS*¹ oder *UMS*² einzuführen

¹EnMS: Energiemanagementsystem

²UMS: Umweltmanagementsystem

Überblick ISO 50001

- Kernelemente:
 - Energiepolitik und Ziele
 - EnPIs³/EnB⁴/SEUs⁵
 - Maßnahmen
- Betrieb/Steuerung, Beschaffung, Kompetenzen und **Bewusstsein**, Kommunikation
- Internes und externes Audit, Managementbewertung, fortlaufende Verbesserung
- PDCA⁶-Zyklus

³EnPI: Energy Performance Indicator

⁴EnB: Energy Base

⁵Significant Energy Use

⁶Plan-Do-Check-Act

Energiepolitik

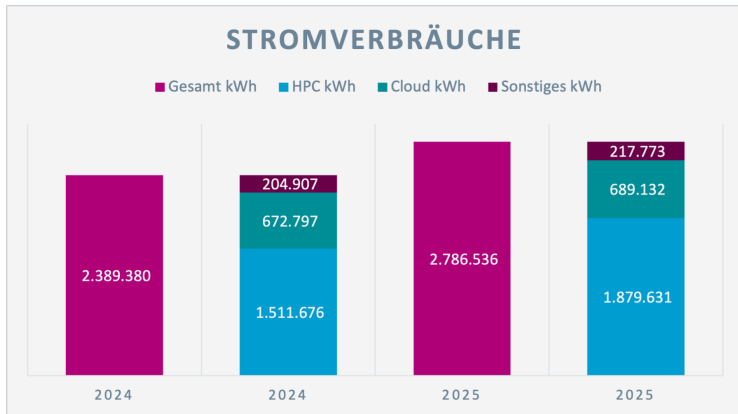
- Verpflichtung zu kontinuierlicher Verbesserung der energiebezogenen Leistung
- Bereitstellung von Ressourcen/Messinfrastruktur
- Einhaltung rechtlicher/anderer Anforderungen
- Berücksichtigung Energieeffizienz bei Beschaffung
- Transparente Kommunikation intern/extern
- Muss veröffentlicht werden

Energieziele

- Strategische Ziele
 - Einhaltung gesetzlicher Vorgaben
 - Sicherer Serverbetrieb
 - Fortlaufende Verbesserung der betrieblichen Prozesse
- Operative Ziele
 - Einhaltung der PUEs⁷ von max. 1,3
 - Nutzung der aktuellsten Kühltechnologien
 - Weitere messbare Ziele nach EnPI-Bestimmung zu definieren

⁷PUE: Power usage effectiveness (PUE-Wert setzt die insgesamt in einem Rechenzentrum verbrauchte Energie ins Verhältnis zur Energie-Aufnahme der IT-Infrastruktur)

Energetische Ausgangslage



Rechenzentrums-spezifische Kennzahlen und Hebel

- PUE als EnPI nicht geeignet, da der Betrieb des HKWs und der Fernkälte nicht innerhalb des Anwendungsbereichs liegt
- IT-Auslastung im Verhältnis zum Stromeinsatz (FLOPS/kWh)
- 2 Hauptverbraucher: HPC Cluster (ca. 65%) Uni Cloud (ca. 25%) mit unterschiedlichen Zielen
- HPC: Maximale Geschwindigkeit → Je mehr FLOPS pro kWh umso effizienter das System
- Cloud: Maximale Verfügbarkeit Flexibilität → FLOPS sind hier *eigentlich* kein geeigneter Effizienzindikator

Dennoch: Bildung einer gemeinsamen EnPI welche als *Unternehmenskennzahl* dient

EnPI HPC

- Stromverbrauch (in kWh) wird sowohl über die Stromschienen als auch über abfragbare PDUs aufgezeichnet
- Ansatz für die EnPI:

$$\sum \frac{CPUh \cdot R_{peak,CPU} + GPUh \cdot R_{peak,GPU}}{\text{Stromverbrauch}}$$

- $R_{peak,CPU} = \text{Anzahl CPU-Kerne} \cdot \text{Basistakt (GHz)} \cdot \text{FLOPS/Cycle}$
- $R_{peak,GPU} = \text{Anzahl Rechenkerne} \cdot \text{Boosttakt (GHz)} \cdot \text{FLOPS/Cycle}$
- R_{peak} ist dabei abhängig von der verbauten Hardware
- Für die FLOPS/Cycle werden die maximal möglichen FP32 Operationen herangezogen
→ sorgt für Vergleichbarkeit mit GPUs

EnPI Cloud

- Stromverbrauch (in kWh) wird sowohl über die Stromschienen als über das BMC Interface der Server aufgezeichnet
- Ansatz für die EnPI:

$$\sum \frac{\text{CPU-Std} + \text{Memory Usage} + \text{HDD Usage}}{\text{Stromverbrauch}}$$

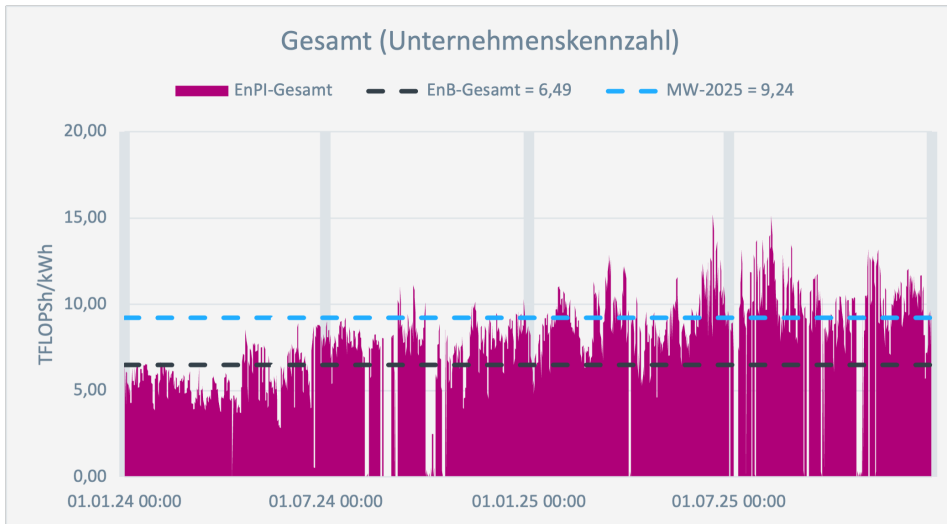
- Memory und HDD Verbrauch werden zunächst vernachlässigt
- Um mit der EnPI-HPC zusammenführen zu können:

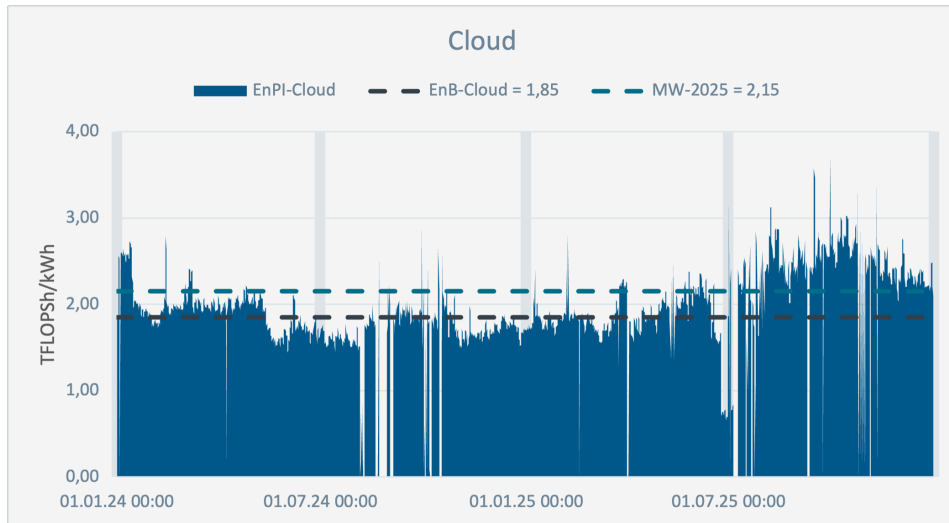
$$\sum \frac{\text{CPUh} \cdot R_{\text{peak,CPU}}}{\text{Stromverbrauch}}$$

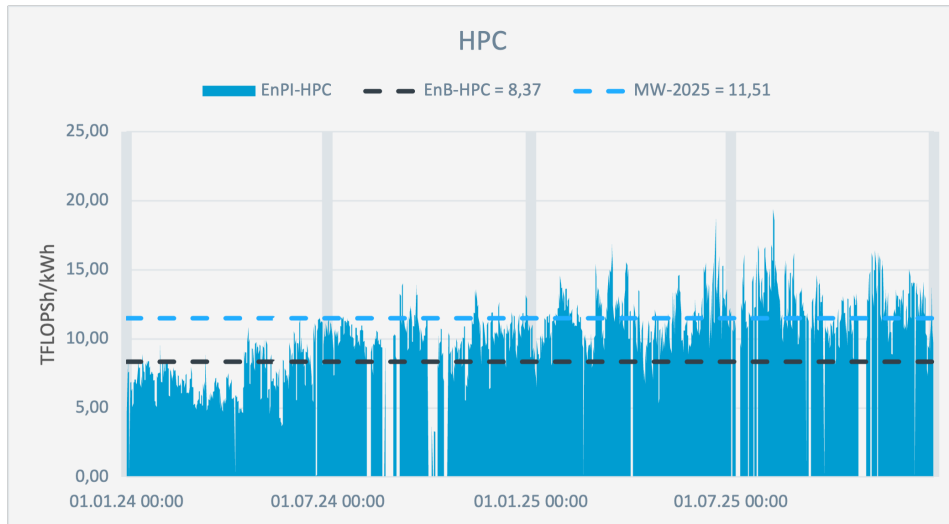
EnPI Gesamt: Unternehmenskennzahl

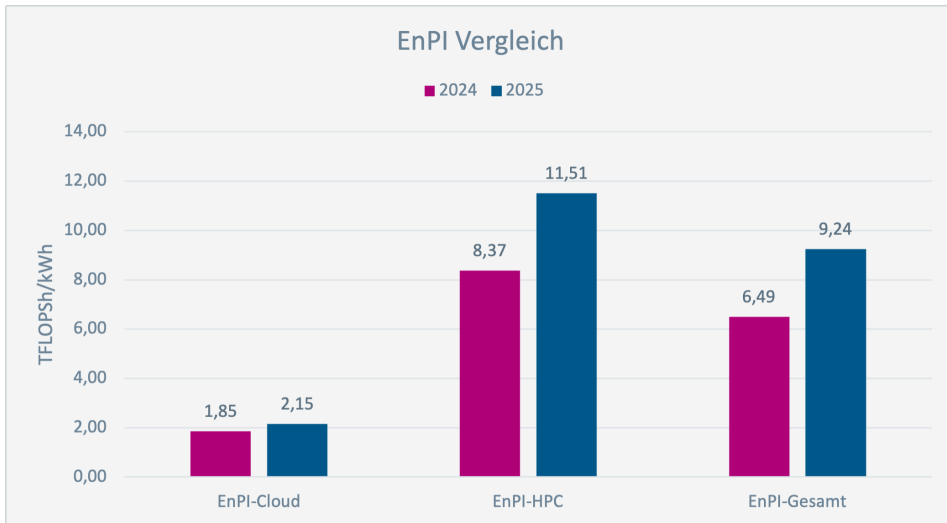
$$\begin{aligned} EnPI_{Gesamt} &= \frac{kWh_{HPC}}{kWh_{Gesamt}} \cdot EnPI_{HPC} + \frac{kWh_{Cloud}}{kWh_{Gesamt}} \cdot EnPI_{Cloud} \\ &= \frac{FLOPSh_{HPC} + FLOPSh_{Cloud}}{kWh_{Gesamt}} = \frac{FLOPSh_{HPC} + FLOPSh_{Cloud}}{(kWh_{HPC} + kWh_{Cloud} + kWh_{Sonstige})} \end{aligned}$$

- Vergleich zur energetischen Basis: EnB wird festgelegt als Mittelwert des $EnPI_{Gesamt}$ von 2024
- $EnB = 6.49 \text{ TFLOPSh/kWh}$











+



Monitoring Stack

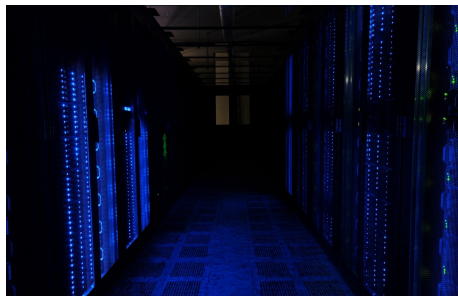
- Stromverbrauch -> Abfrage Stromschienen über Dezernat 4
- CPU Auslastung:
 - *prometheus-node-exporter* Service auf den Hosts
 - Sammlung der Daten in zentraler Prometheus Datenbank (Mimir)
 - Visualisierung Grafana: <https://grafana.uni-muenster.de>

Aktionspläne

- Kältezähler nachrüsten zur differenzierten Betrachtung der verschiedenen Kälteverbraucher
- Konzept zur Nachwärmenutzung bei Neubau des Mathe-Campus
- Größter Einfluss: Neue Server-Hardware
- **Verringerung der Leistungsaufnahme der Lüfter in Servern durch direkte Flüssigkeitskühlung einzelner Komponenten**

Herausforderungen im Bereich HPC/KI

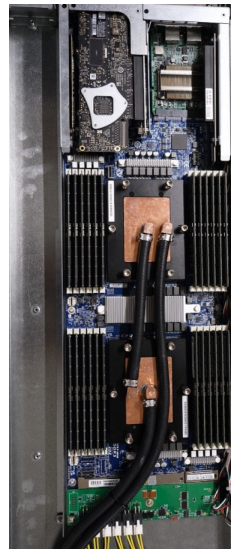
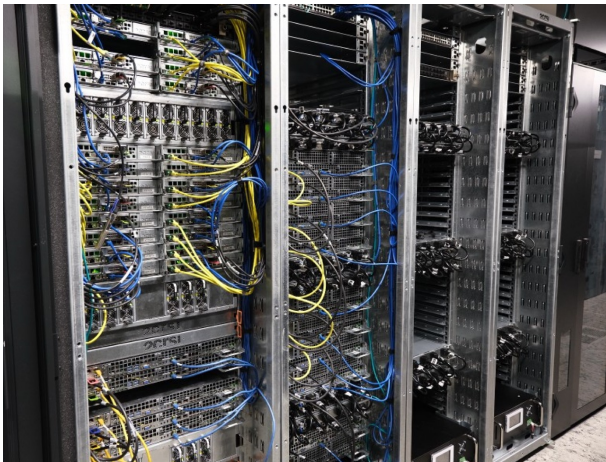
- Die Kühlung der Server wird immer aufwendiger, insbesondere mit Luft (steigende Leistungsdichte)
- Wärmenachnutzung teilweise gesetzlich vorgeschrieben
- Energie ist teuer und sollte nicht unnötig verbraucht werden (der Stromverbrauch der Lüfter durchaus relevant)
- Die Public Cloud zu verwenden ist auch kein Ausweg

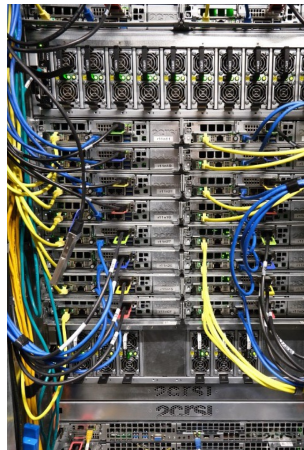


PALMA II

- Baujahr 2018
- Etwa 800 TFLOPS Rechenleistung in Linpack
- Platz 412 der TOP500 in 2018
- Etwas 200kW Stromverbrauch (mit den aktuellen Erweiterungen auch eher 250kW)
- In den neueren Racks bis zu 60kW
- Mit Luftkühlung ist etwa bei 20kW Schluss

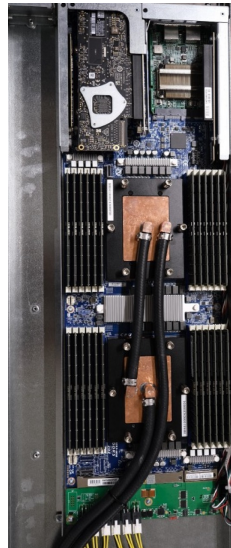






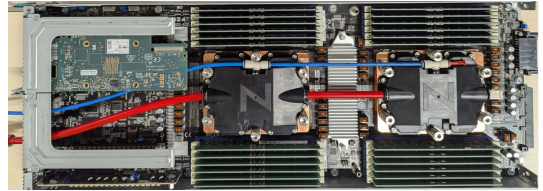
Einschränkungen der Wasserkühlung

- Gefahr für Server bei Leckagen
- Selbst mit Wasser lässt sich die Wärme bei den geplanten CPUs/GPUs nicht mehr wirklich effizient abführen (immer höhere Drücke notwendig)
- Momentan GPUs mit bis zu 1.5 kW angekündigt

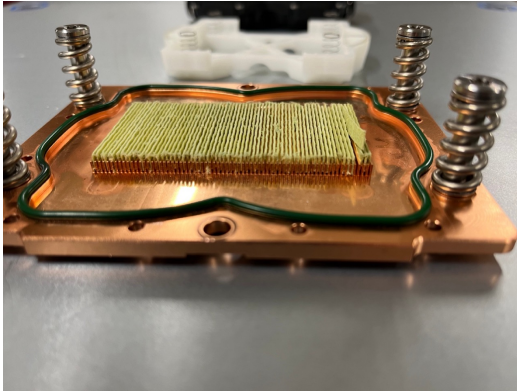


Zweiphasenkühlung mit ZutaCore

- Dielektrische Flüssigkeit als Kühlmittel
-> elektrisch nicht-leitend, kein Risiko bei einem Leck
- Kühlmittel verdampft in Coldplate auf CPU -> Phasenübergang
“verbraucht” viel Wärme
- Rekondensation in HRU, geschlossener Kreislauf
- Wenig Pumpleistung nötig
- Sehr hohes Delta T von 25°C, bzw. Temperatur im Rücklauf möglich (bis etwa 70°C)
- Keine DIMM/Netzteilkühler -> Stattdessen gekühlte Rücktür möglich, um 100% der Wärme in das zentrale Kühlwasser zu überführen

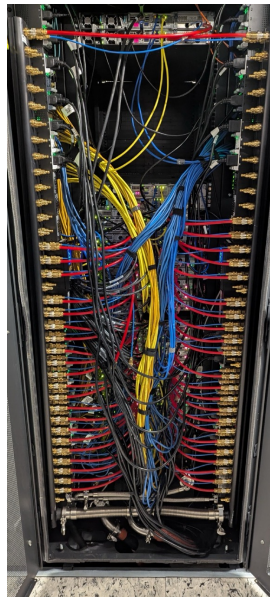
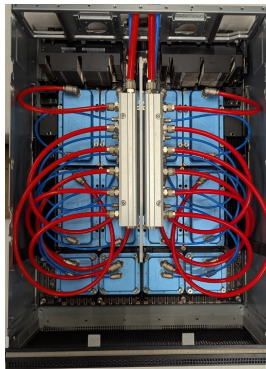


ZutaCore



PALMA III

- Mehr Rechenleistung als PALMA II (vsl. knapp 3 PFLOPS statt 800 TLFOPS)
- Passt in drei Schränke (PALMA II benötigt zwölf)
- Vsl. ähnliche elektrische Leistungsaufnahme
- -> Deutlich höhere Leistungsdichte, ohne Flüssigkeitskühlung nicht machbar.
- Kühlung mit Zutacore



Danke für Eure Aufmerksamkeit!

Vorschläge zur Verbesserung der Energieeffizienz zum Rechenzentrum gerne an:
energiemanagement@uni-muenster.de

Externes Audit, 2. Stufe, 2.-4. März 2026 -> Ziel: Zertifizierung!