Power Delivery in Data Centers

Ausgewählte Kapitel der Systemsoftware, WS 2020/21

2. Februar 2021

Milan Stephan

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg





Gründe für eine Analyse

Rechenzentrum:

- Hoher Energieverbrauch
- Festes Leistungsbudget
- Profitmaximierung

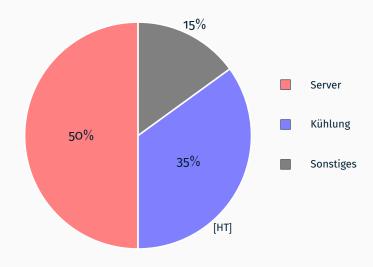
Mit besserer Effizienz:

- Mehr Arbeit verrichten → mehr Profit
- lacktriangle Weniger Energieverbrauch ightarrow Umweltschutz

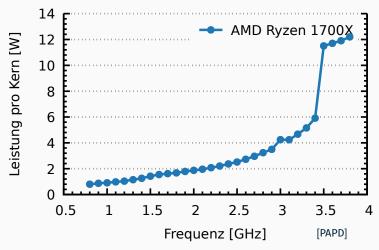


Grundlagen

Anteiliger Energieverbrauch eines Rechenzentrums

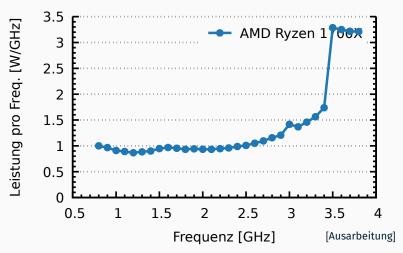


Server 1/4: Prozessoren



- Leistungsaufnahme: $P = V^2 f$
- Hohe Frequenzen benötigen höhere Spannung

Server 1/4: Prozessoren



- Leistungsaufnahme: $P = V^2 f$
- Hohe Frequenzen benötigen höhere Spannung

Server 2/4: Persistenter Speicher

Festplatten:

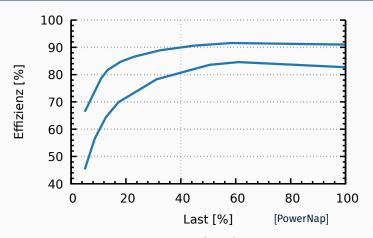
- Rotierende Scheiben, Reibungsverluste
- Oft im Verbund (z.B. RAID)
- Verhältnismäßig lange Anlaufzeit



Solid-State Laufwerke:

- Sehr geringer Energiebedarf im Leerlauf
- Deutlich höherer Preis für gleiche Kapazität
- Gut als Zwischenspeicher einsetzbar

Server 3/4: Netzteile



- Hohe Wandlungsverluste bei geringer Auslastung
- Ab etwa 40% Last >80% effizient
- Oft überdimensioniert, um kompatibel zu sein

Server 4/4: Fazit



Weitere Komponenten:

- Hauptspeicher skaliert mit Zahl und Größe der Module
- Rest: Annahme eines konstanten Energiebedarfs

Fazit:

- Nicht "Energie-proportional"
- Server mit wenig Last verbrauchen viel Energie

Kühlung und Klimatisierung

In den Servern:



- Kühlkörper für größere Oberfläche
- Lüfter zum Wärmeabtransport

Im Rechenzentrum:

- lacktriangle Computer Room Air Handler (Luft o Wasser)
- Wärmepumpe (Wasser → Wasser)
- lacktriangle Kühlturm (Wasser ightarrow Luft)

Ansätze zur Optimierung

Ansätze zur Optimierung: Überblick

Auf Rechenzentrums-Ebene:

- Konsolidierung (phys. Server zu VMs)
- Aufteilung
- Netzwerkspeicher
- Bessere Netzteilauslastung
- Höhere Betriebstemperatur
- Energiepuffer

Optimierungen an Servern:

- Spurt zum Schlafenlegen (lange in Schlafzuständen)
- Spannungs- und Frequenzskalierung

Konsolidierung [SC]

Herausforderungen



- Vielzahl an physischen Servern
- Server mit wenig Rechenlast benötigen Energie

Konsolidierung [SC]

Herausforderungen

- Vielzahl an physischen Servern
- Server mit wenig Rechenlast benötigen Energie

Optimierung

- Physische Server auf Virtuelle Maschinen abbilden
- Viele VMs mit wenig Last können sich einen Host teilen
- Einsparung: 87% bei 10 VMs mit etwa 6% CPU Last
- VM-Migration zur Lastverteilung und Wartung



Netzwerkspeicher [ES]

Herausforderungen

- Tatsächliche Belegung ggf. gering
- Festplatten in Servern häufig gespiegelt



Netzwerkspeicher [ES]

Herausforderungen

- Tatsächliche Belegung ggf. gering
- Festplatten in Servern häufig gespiegelt

Optimierung

- Zentraler Datenspeicher
- Speichereffizientere Redundanz
- Weniger, dafür größere Festplatten
- Einsparung: 81%

Bessere Netzteilauslastung [PowerNap]

Herausforderungen

- Netzteile oft nicht ausgelastet
- Geringe Effizienz bei wenig Last



Bessere Netzteilauslastung [PowerNap]

Herausforderungen

- Netzteile oft nicht ausgelastet
- Geringe Effizienz bei wenig Last



Optimierung

- Zusammenschalten mehrerer kleiner Netzteile
- Dynamische Zuschaltung bei Mehrbedarf
- Für Redundanz ein zusätzliches Gerät
- Einsparung: 26%

Höhere Betriebstemperatur [HT]

Herausforderungen

- Kühlung ebenfalls großer Verbraucher
- Tiefe Temperatur ggf. nicht notwendig



9

Höhere Betriebstemperatur [HT]

Herausforderungen

- Kühlung ebenfalls großer Verbraucher
- Tiefe Temperatur ggf. nicht notwendig

9

Optimierung

- Erhöhen der erlaubten Betriebstemperatur
- Reduzierung der Lüfterdrehzahl
- Wärmere Raumluft erlauben
- Einsparung: 22%

Spannungs- und Frequenzskalierung [PAPD]

Herausforderungen

- Kritische Systeme mit Zeitgarantien
- Schlecht skalierende Anwendungen



Spannungs- und Frequenzskalierung [PAPD]

Herausforderungen



- Kritische Systeme mit Zeitgarantien
- Schlecht skalierende Anwendungen

Optimierung

- Umverteilung der verfügbaren Leistung
- Prioritäts- und Lastklassen
- Abschaltung einiger Kerne, um andere zu beschleunigen
- Rückmeldung der Anwendung über geleistete Arbeit

Zusammenfassung

Technik	Einsparung	Einschätzung
Konsolidierung	87%	sinnvoll
Netzwerkspeicher	81%	sinnvoll
Netzteile	26%	wenn Enterprise
Hohe Temperatur	22%	bedingt sinnvoll
Sp. u. Freq. Skalierung	-	sinnvoll

Fazit

Rechenzentrum:

- Hoher Energieverbrauch
- Festes Leistungsbudget
- Profitmaximierung

Optimierungen durch:

- Weniger, besser genutzte Hardware
- Betriebsbedingungen

Mit besserer Effizienz:

- Mehr Arbeit verrichten → mehr Profit
- lacktriangle Weniger Energieverbrauch ightarrow Umweltschutz



Literaturquellen 1/2

- PAPD: A. Guliani and M. M. Swift. Per-Application Power Delivery. In Proc. of the Fourteenth EuroSys Conference 2019, pages 1–16, 2019.
- PowerNap: D. Meisner, B. T. Gold, and T. F. Wenisch. PowerNap: Eliminating Server Idle Power. In Proc. of the 14th Int. Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems, ASPLOS XIV, page 205–216. ACM, 2009.
- SC: M. Uddin and A. A. Rahman. Server Consolidation: An Approach to make Data Centers Energy Efficient and Green. arXiv preprint arXiv:1010.5037, 2010

Literaturquellen 2/2

- ES: B. Battles, C. Belleville, S. Grabau, and J. Maurier.

 Reducing Data Center Power Consumption Through

 Efficient Storage. 2007.

 https://storageconsortium.de/content/sites/default/files/
 downloads/wp-reducing-datacenter-powerconsumption.pdf
 (3.1.2021).
- HT: N. Ahuja. Datacenter power savings through high ambient datacenter operation: CFD modeling study. In 2012 28th Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM), pages 104–107, 2012.

Bildquellen

- Freepik (https://www.flaticon.com/free-icon/money_639365)
- 2. Dimitry Miroliubov

(https://www.flaticon.com/free-icon/planet-earth_1598431)

3. Eric Gaba, Bild bearbeitet

```
(https://search.creativecommons.org/photos/
o3cbeoc4-ad9e-46d3-8a98-f17ef6dc3b62, CC BY SA 3.0)
```

- 4. Eigenes Foto / Milan Stephan (CC BY-SA 4.0)
- 5. Freepik (https://www.flaticon.com/free-icon/snowflake_642000)
- 6. Freepik (https://www.flaticon.com/free-icon/data-server_2911789)
- 7. Freepik (https://www.flaticon.com/free-icon/server_3962016)
- 8. Freepik (https://www.flaticon.com/free-icon/power-supply_4151942)
- 9. Freepik (https://www.flaticon.com/free-icon/thermometer_2622386)
- 10. Freepik (https://www.flaticon.com/free-icon/boost_2279099)