

Rechnerorganisation

Prof. Dr. Wolfgang Karl

Vorlesung im Wintersemester 2025 / 2026 – Foliensatz: RO25-FS18



Kapitel 11

Ausblick

➤ Stammmodul Rechnerstrukturen

Modul Rechnerstrukturen

■ Rechnerarchitektur (Disziplin)

- Allgemeine Strukturlehre mit deren Hilfsmittel
- Ingenieurwissenschaftliche Disziplin, die bestehende und zukünftige Rechenanlagen beschreibt, vergleicht, beurteilt, verbessert und entwirft.
- Betrachtet den Aufbau und die Eigenschaften des Ganzen (Rechenanlage), seiner Teile (Komponenten) und seiner Verbindungen (Globalstruktur, Infrastruktur)

Modul Rechnerstrukturen

■ Architektur



Modul Rechnerstrukturen

■ Entwurf eines Rechnersystems

- Ingenieurmäßige Aufgabe der Kompromissfindung zwischen

■ Zielsetzungen

- Einsatzgebiete, Anwendungsbereich, Rechenleistung, Energieverbrauch, Leistungsaufnahme, Zuverlässigkeit, ...

■ Randbedingungen

- Technologie, Größe, Geld, Umwelt,...

■ Gestaltungsgrundsätzen

- Modularität, Sparsamkeit, Fehlertoleranz ...

■ Anforderungen

- Kompatibilität, Betriebssystemanforderungen, Standards

Modul Rechnerstrukturen

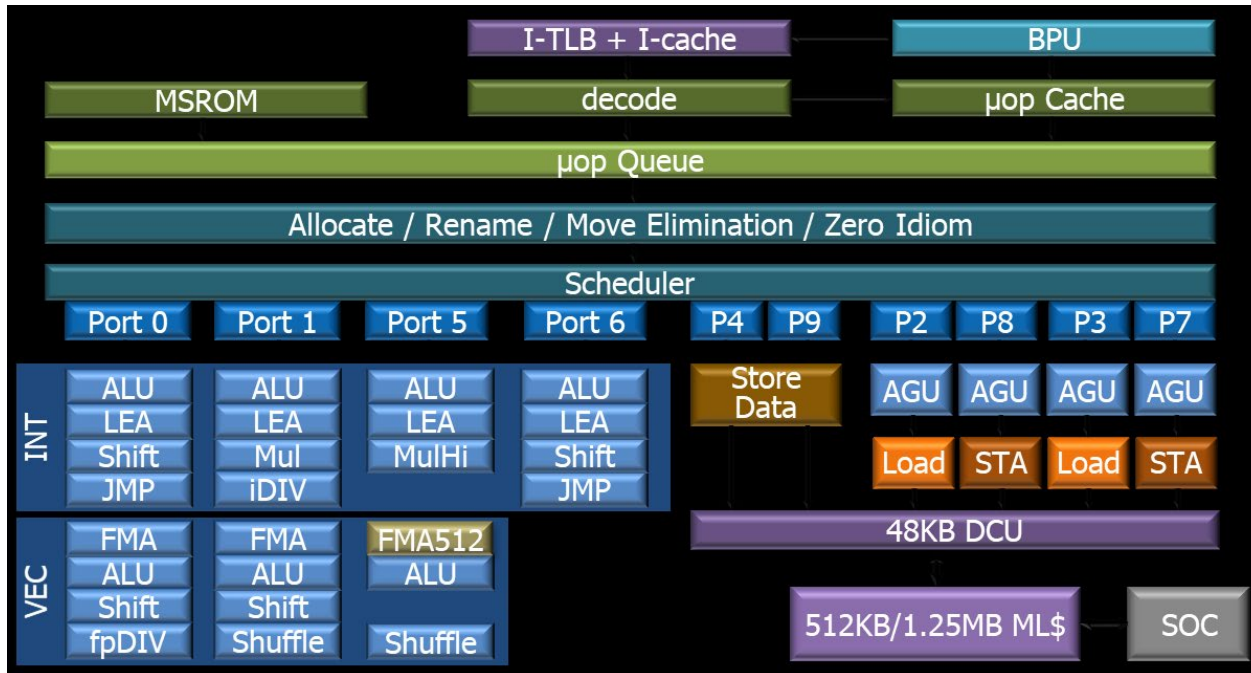
- **Verfahren zur Bewertung der Rechenleistung eines Rechnersystems**
- **Verfahren zur Bewertung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit**
- **Verfahren zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit:
Fehlertoleranz**
- **Parallelverarbeitung in Rechnerstrukturen**

Instruction Level Parallelism

- **Prozessortechniken: Von RISC zu Superskalar**
 - **Superskalartechniken**
 - **VLIW**
 - **Multithreading**

Instruction Level Parallelism

- **Prozessortechniken: Superskalartechniken**
 - **Beispiel: Intel Ice Lake SP: Sunny Cove Core Microarchitecture**



Parallele Rechnerstrukturen

■ Definition Parallelrechner:

- „A collection of processing elements that communicate and cooperate to solve large problems“ (Almase and Gottlieb, 1989)

■ Beispiele

■ Server

- Hochleistungsrechner
- Server im kommerziellen Bereich

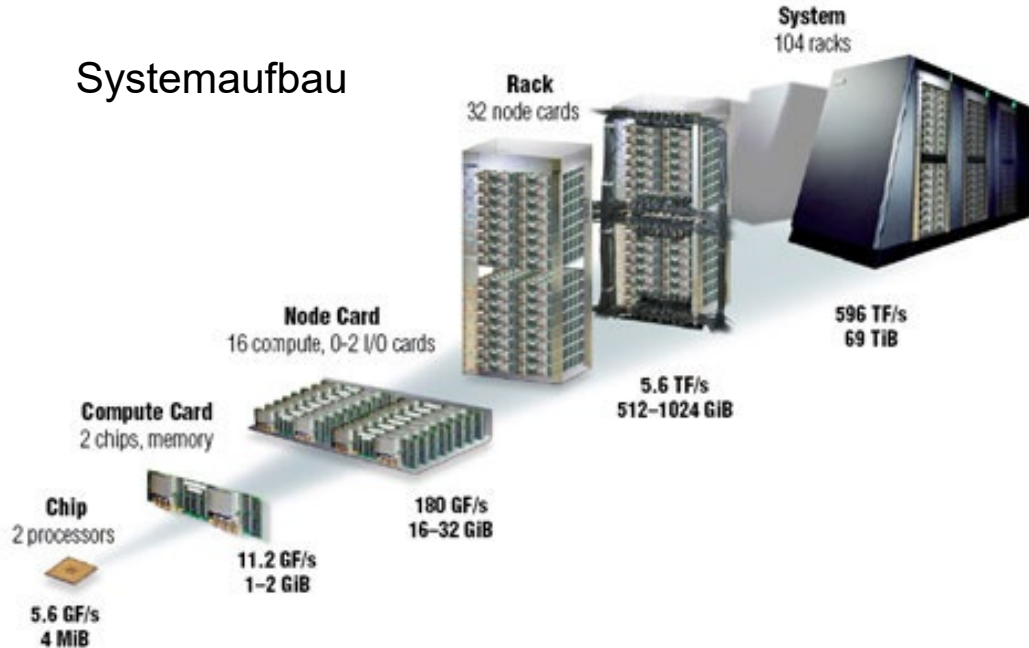
■ Moderne Prozessorarchitekturen

- Multicore- / Manycore-Prozessorchips
- Grafik-Prozessoren
- ...

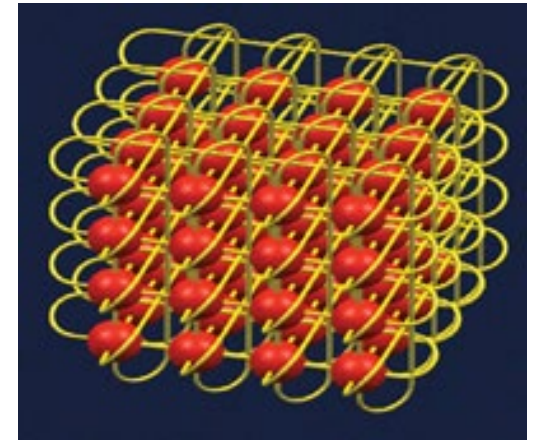
Parallele Rechnerstrukturen

- Multiprozessoren
 - Beispiel: IBM Blue Gene

Systemaufbau



Verbindungsnetzwerk

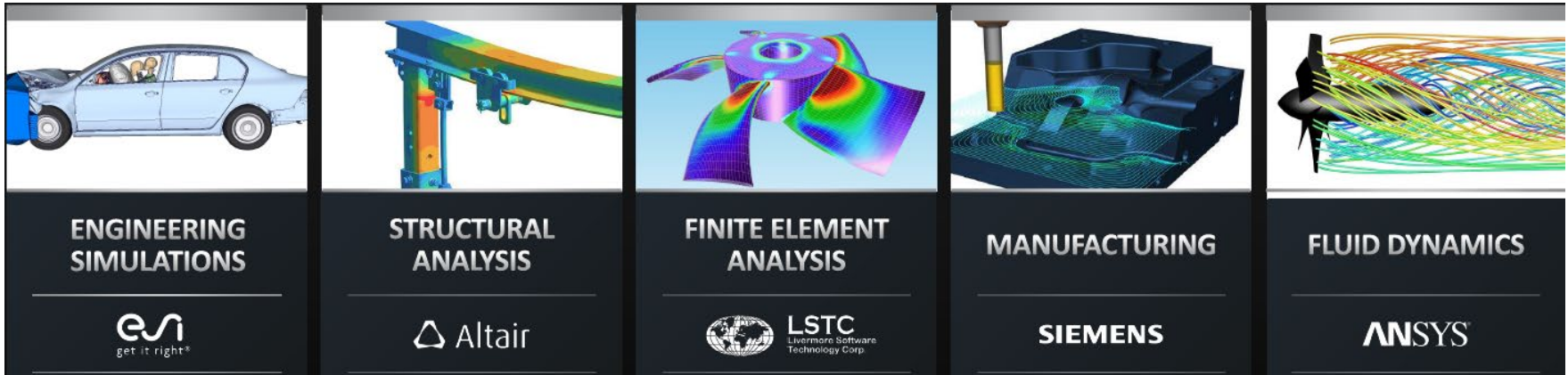


Parallele Rechnerstrukturen

■ Multiprozessoren

■ Anwendungen für Hochleistungsrechner: Technisch-wissenschaftlicher Bereich

- Rechnergestützte Simulation, z. B. Strömungsmechanik
- Modellierung der globalen klimatischen Veränderungen
- Struktur von Materialien
- Medizintechnik



Höchstleistungsrechner

TOP 500 Liste - Nr. 1 (November 2025)

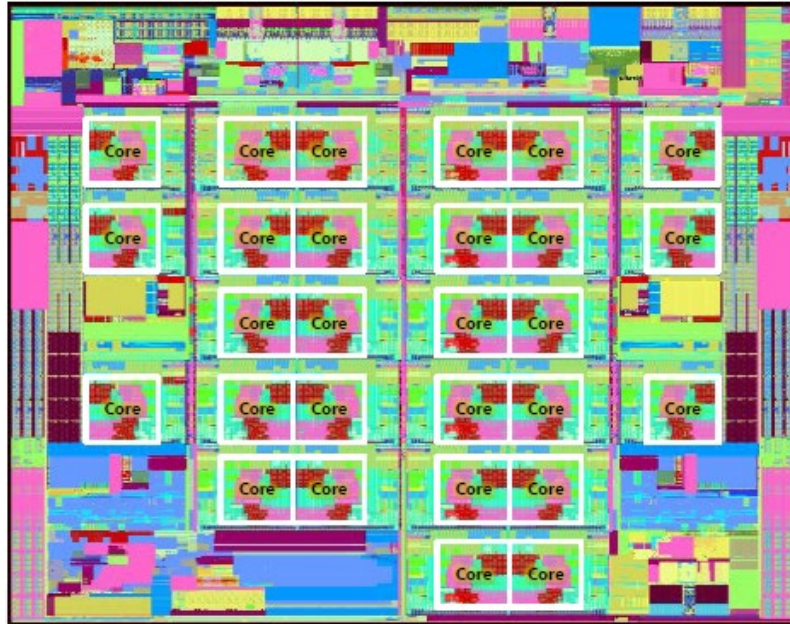
- **El Capitan - HPE Cray EX255a, AMD 4th Gen EPYC 24C 1.8GHz, AMD Instinct MI300A, Slingshot-11,**
 - Standort: DOE/NNSA/Lawrence Livermore National Lab, USA
 - Anzahl Prozessorkerne: 11.039.616
 - Rechenleistung:
 - **1,742 x 10¹⁸ Flops (Rmax)**
 - **2,746.38 x 10¹⁸ Flops (Rpeak)**
 - **3. ExaFlop-Computer!**
- Power: 29,5 MW



https://contenthub.llnl.gov/sites/contenthub/files/styles/orig/public/2024-11/El%20Capitan_Full_00354_3%20%281%29.jpg?itok=0Bgl3715

Parallele Rechnerstrukturen

- Chip-Multiprozessoren, Multi-core, Many-core
 - Beispiel: Intel Ice Lake SP



Die picture of a 28C Ice Lake-SP die

https://hc32.hotchips.org/assets/program/conference/day1/HotChips2020_Server_Processors_Intel_Irma_ICX-CPU-final3.pdf

Parallelverarbeitung

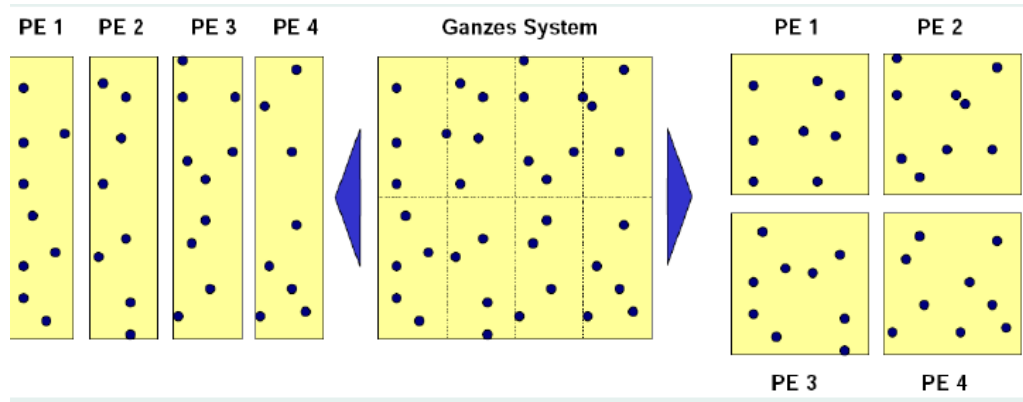
■ Parallelisierungsstrategien

■ Funktionsparallelismus / Task-level Parallelism

- Unabhängige Funktionen werden auf verschiedenen Prozessoren gleichzeitig ausgeführt.

■ Datenparallelismus

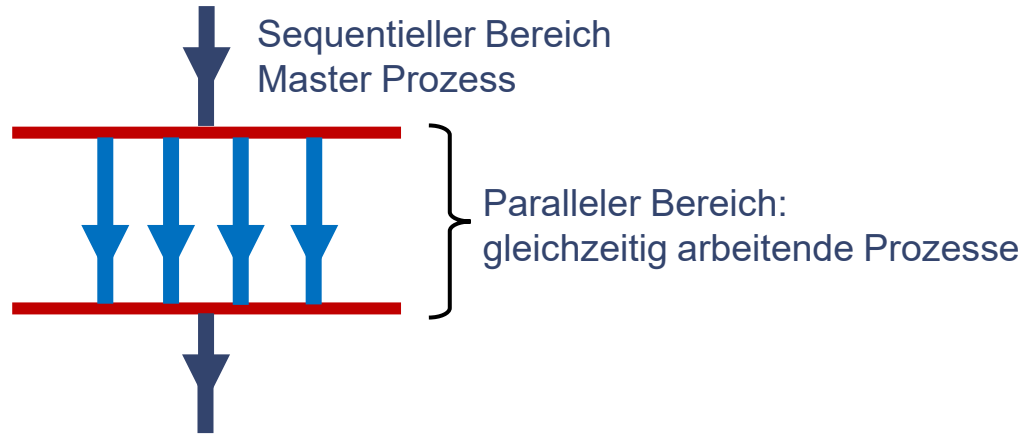
- Ein Programmcode wird gleichzeitig auf Teilmengen der Daten ausgeführt.
- **Gebietszerlegung (Domain Decomposition, Data Partitioning)**



Parallelverarbeitung

■ Parallele Programmiermodelle

- Unterstützung für die Erstellung paralleler Programme für Multiprozessoren



Parallelverarbeitung

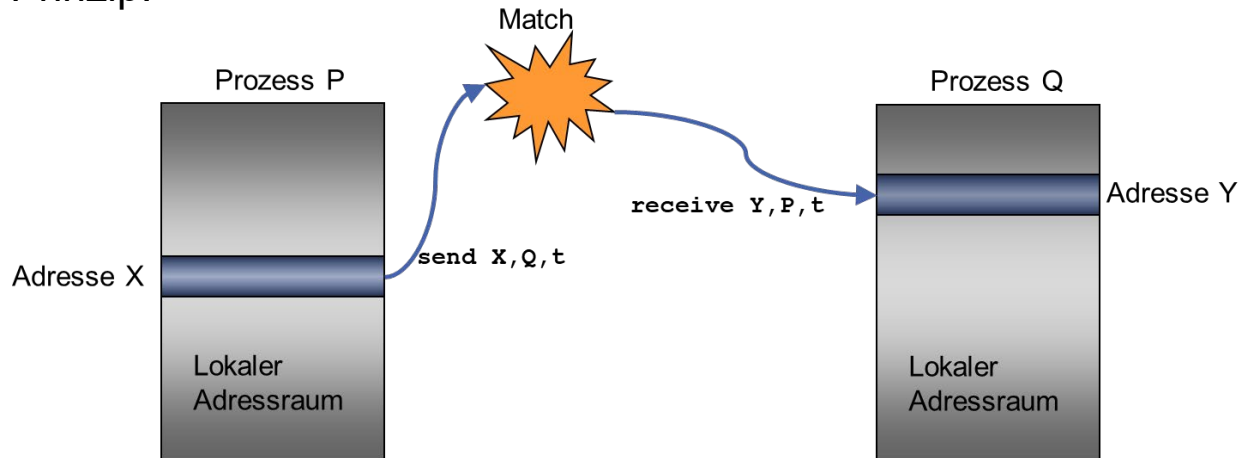
■ Parallele Programmiermodelle

■ Unterstützung für die Erstellung paralleler Programme für Multiprozessoren

■ Kommunikation und Synchronisation

- gemeinsamer Speicher (shared memory)
- nachrichtenorientierte Kommunikation

■ Prinzip:



Warehouse-scale Computers

■ Anwendungen

- Internetdienste, die täglich weltweit genutzt werden:
 - Internet-Suche
 - Soziale Netzwerke
 - E-Mail-Dienste
 - Video sharing
 - Online-shopping
 - ...

Warehouse-scale Computers

■ Aufbau

- 50.000 -100.000 Server mit Verbindungsnetzwerk



Quelle: J. Hennessy, D. Patterson: Computer Architecture – A Quantitative Approach, Morgan Kaufmann Publishers, 6th Ed., 2019, Copyright © 2019, Elsevier Inc. All rights reserved.

Heterogene parallele Rechnerstrukturen

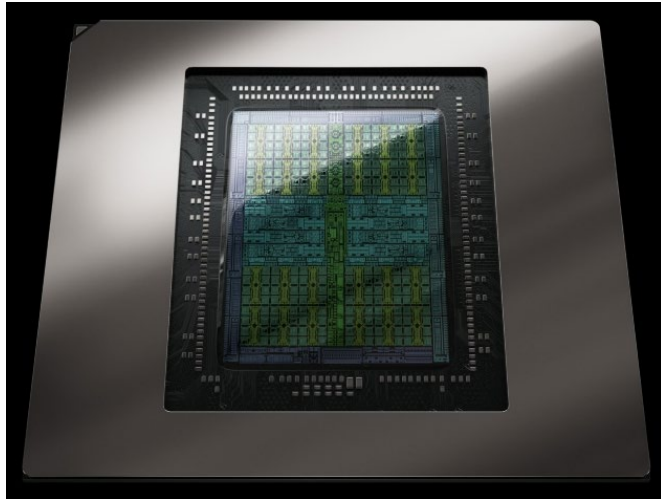
- **Domain Specific Architectures**

- **Beschleuniger, Koprozessoren**

- Ausführung von rechenintensiven Programmen (Programmteilen) auf anwendungsspezifische Prozessorarchitekturen

Heterogene parallele Rechnerstrukturen

- Domain Specific Architectures
 - Nvidia GPUs: Beispiel GeForce RTX™ 50-Serie



Quelle: <https://www.nvidia.com/de-de/geforce/graphics-cards/50-series/>

NVIDIA Blackwell-Architektur:

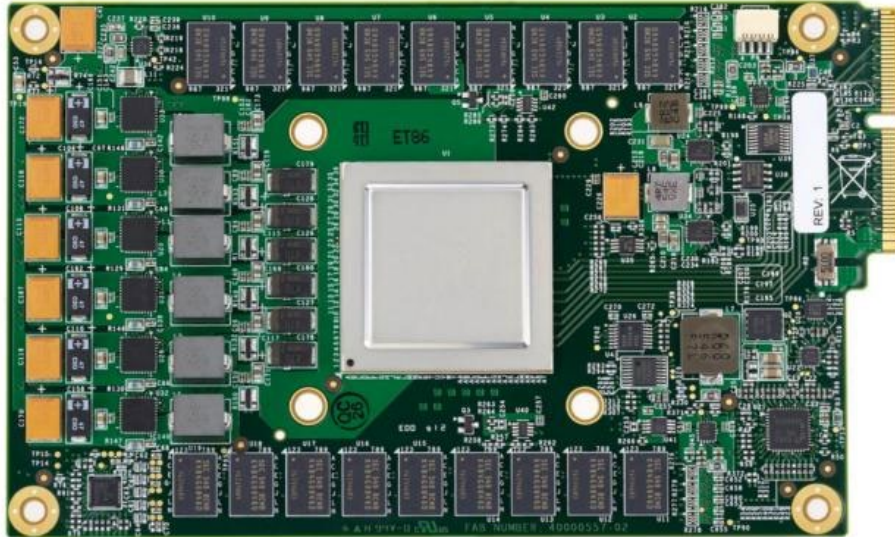
- Tensor-Recheneinheiten
- Streaming-Multiprozessoren
- Raytracing

Heterogene parallele Rechnerstrukturen

- **Domain Specific Architectures**

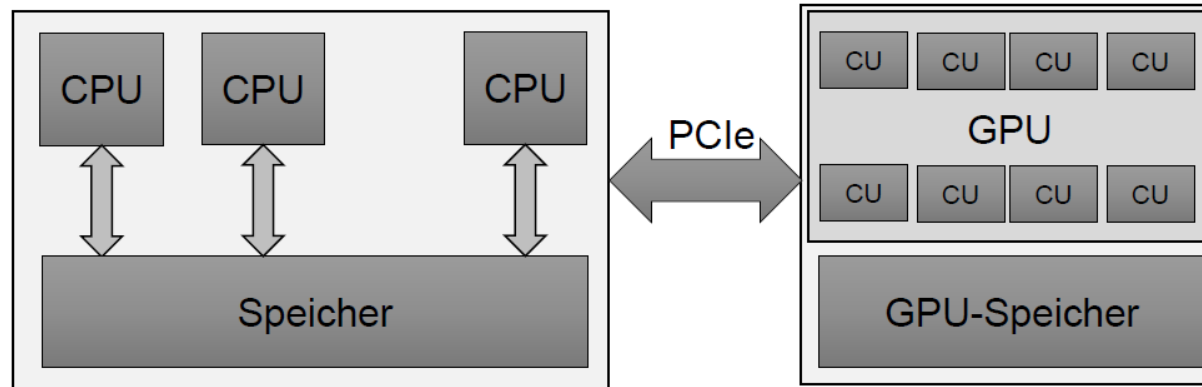
- **Google's Tensor Processing Unit (TPU)**

- Beschleunigung von KI-Anwendungen mit neuronalen Netzen



Heterogene parallele Rechnerstrukturen

- **Aufbau heterogener Systemstrukturen**
 - Beispiel: Anbindung einer GPU über PCIe

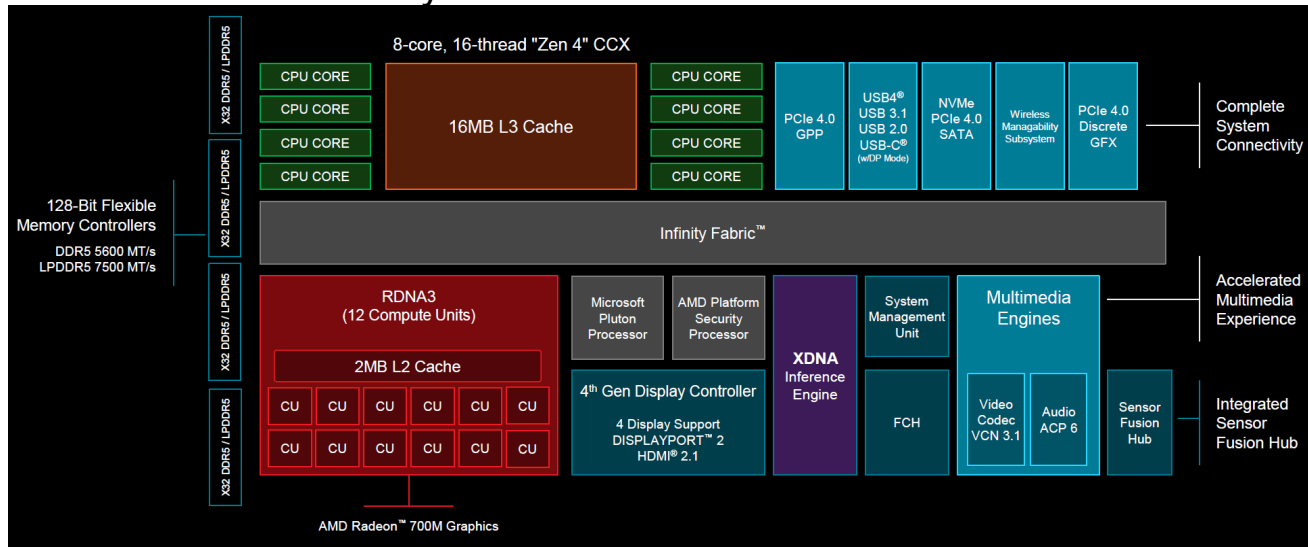


Heterogene parallele Rechnerstrukturen

■ Aufbau heterogener Systemstrukturen

- Beispiel: Integration anwendungsspezifischer Prozessorarchitekturen auf einem Chip

AMD Ryzen™ 7040 Series for Mobile



Quelle:
<https://hc2023.hotchips.org/assets/program/conference/day1/CPU2/HC%202023%20AMD%20Ryzen%207040%20Series%20Processor%208-26-2023.pdf>

Heterogene parallele Rechnerstrukturen

■ Aufbau heterogener Systemstrukturen

- Beispiel: Höchstleistungsrechner **Frontier** - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11
- 1. Exaflop-Rechner der Welt (2022)
- 74 19-inch (48 cm) Rack Cabinets; Jedes Cabinet enthält 64 Blades mit jeweils 2 Knoten (nodes).
- 9,472 AMD Epyc 7713 "Trento" 64 core, 2 GHz CPUs (606,208 cores)
- 37,888 Instinct MI250X GPUs (8,335,360 cores).
- Slingshot-11 Verbindungsnetzwerk

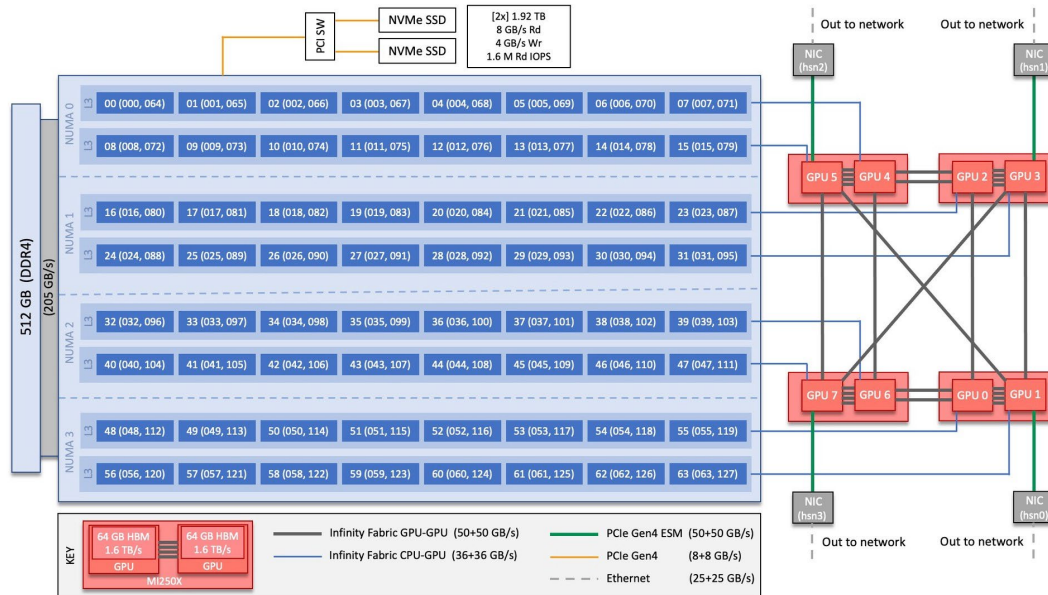


Quelle: https://docs.olcf.ornl.gov/systems/frontier_user_guide.html

Heterogene parallele Rechnerstrukturen

■ Aufbau heterogener Systemstrukturen

■ Beispiel: Höchstleistungsrechner Frontier - Knoten mit CPUs und GPUs



Quelle:
https://docs.olcf.ornl.gov/systems/frontier_user_guide.html

Lehreveranstaltungen

■ Weiterführende Vorlesungen:

- Rechnerstrukturen (Stammvorlesung)
- Mikroprozessoren I (VL im BA)

} Regelmäßig im Sommersemester

- Heterogene parallele Rechnerstrukturen (VL im MA)

} Regelmäßig im Wintersemester

■ Proseminar / Seminar

- Ausgewählte Kapitel der Rechnerarchitektur (Proseminar, Seminar)

} Winter- und Sommersemester

Vielen Dank für Ihre Teilnahme und
Aufmerksamkeit!