

# Rechner Architektur I (RAI)

# Architekturkonzepte

Prof. Dr. Akash Kumar  
*Chair for Processor Design*

# Inhalt

2

- Darstellung und Beschreibung von Rechnern
- Rechner- und Prozessorarchitektur
- Schichtenmodell des Rechners
- Hauptkomponenten des Rechners
- Verbindungsstruktur des Rechners
- Klassifikation von Rechnerarchitekturen
- Rechnersysteme
- Zusammenfassung Architekturkonzepte

# Darstellung und Beschreibung von Rechnern

3

Rechner sind dem Prinzip nach nichts anderes als hochkomplexe, oft unüberschaubare, endliche Automaten, also elektrische Schaltwerke.

Hauptbestandteile von Schaltwerken sind:

- Ein-, Ausgangsklemmen,
- Verknüpfungsglieder,
- Schaltnetze,
- Speicherglieder,
- Verbindungsnetzwerk.

Die Anzahl der inneren Zustände eines Schaltwerkes ergibt sich direkt aus der Anzahl der vorhandenen Speicherglieder.

# Schaltwerk - Rechner

4

	„einfache“ Schaltwerke	Rechner
Ein-, Ausgänge	endliche Anzahl	nahezu unendliche Vielfalt
Schaltwerke	einfache Logik	komplex, verteilt
Speicherglieder	konzentriert angeordnet	über das System verteilt
innere Zustände	überschaubar, gering	unüberschaubar, extrem
Vernetzung	einfache Rückführungen	hochkomplex, lokal, global
Darstellung	Logische Schaltung	hochkomplexe Systeme
Beschreibung	Boolesche Gleichungen	Automaten-, Architekturmodelle

Rechner können aufgrund ihrer Komplexität nicht wie Schaltwerke dargestellt und beschrieben werden. Die Darstellung und Beschreibung von Rechnern erfolgt daher auf einem relativ hohem Abstraktionsniveau (Architekturebene).

# Darstellungs- und Beschreibungsebenen

5

<b>Ebene</b>	<b>Darstellung / Beschreibung</b>
<b>Architekturebene:</b>	System- und Verhaltensdarstellung Hardware-, Architekturbeschreibungssprachen
<b>Register-Transfer-Ebene:</b>	Vernetzung von Komponenten, Module, Busse Hardwarebeschreibungssprachen
<b>Logikebene:</b>	Vernetzung von Verknüpfungs- und Speichergliedern Netzlisten, Logikplan
<b>Schaltungsebene:</b>	Bauelemente, Verbindungen, Technologie elektrische Netzwerke, Strom, Spannung, Ladung

# Einfache Modelle für Rechner

6

Für die einfache Beschreibung und Modellierung von Rechnern sind spezielle, erweiterte Automatenmodelle erforderlich.

## **Turing-Maschine**

Einfaches theoretisches Automatenmodell, das vor allem für theoretische Untersuchungen des Rechners gut geeignet ist: Berechenbarkeit – Entscheidbarkeit – Akzeptierbarkeit.

Zur Beschreibung praktischer, realer Rechner nicht geeignet.

## **von-Neumann-Rechner**

Erweitertes Automatenmodell zur Beschreibung voll programmgesteuerter Rechner. Mit diversen Erweiterungen zur Beschreibung praktischer, realer Rechner geeignet.

# Rechner- und Prozessorarchitektur

7

## Rechnerarchitektur

- Analyse und Synthese von Rechnerstrukturen und deren Organisationen
- Aufbau und Eigenschaften von Rechnern als einheitliches System
- Untersuchung des äußeren Erscheinungsbildes eines Rechners
- Weitestgehende Abstraktion von inneren Vorgängen des Rechners
- Klassifizieren, vergleichen, bewerten und entwerfen von Rechnern
- Komponenten und deren Verbindungen in der Struktur von Rechnern
- Kommunikations- und Verarbeitungsstruktur und deren Organisation
- Implementierung und Verhältnis von Hard- und Softwarerealisierung

## Prozessorarchitektur

Beschränkung auf den Prozessor (auch Mikroprozessor, Mikrocontroller) als integrierte Verarbeitungseinheit und seine Verbindungen nach außen.

# Schichtenmodell des Rechners

8

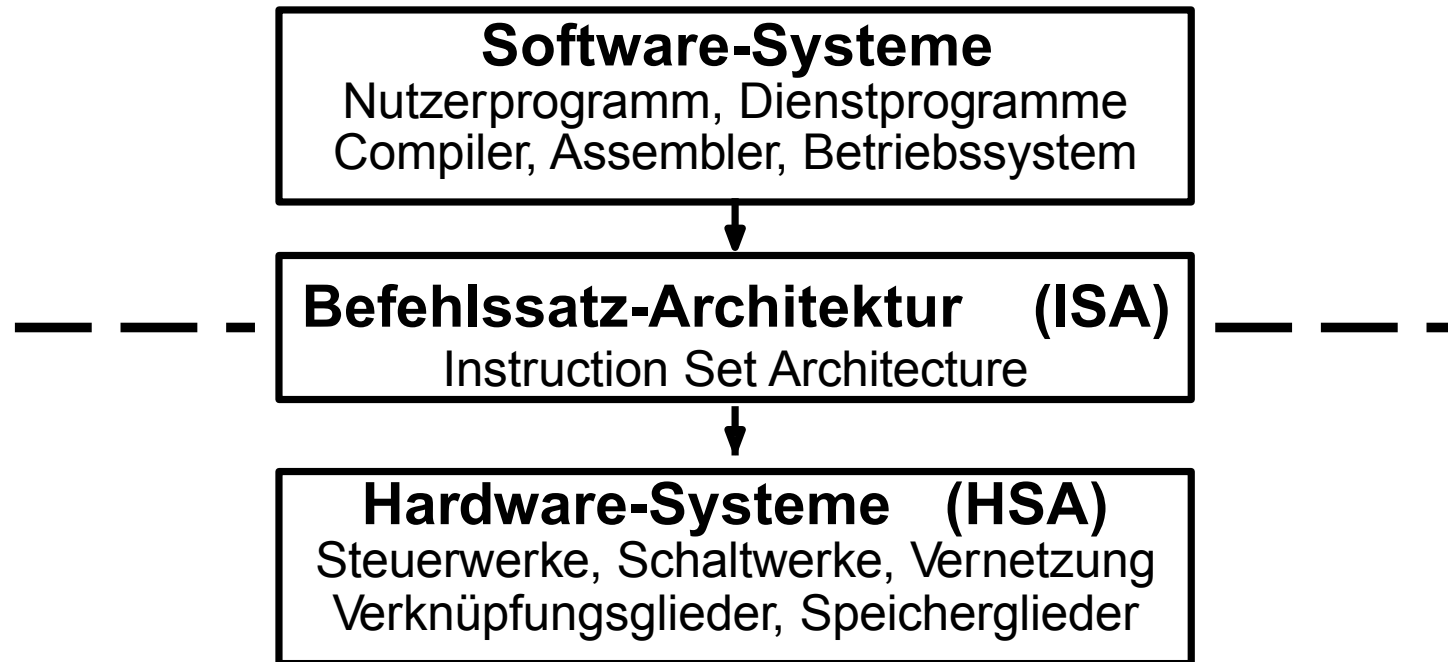




# Schichtenmodell des Rechners

9

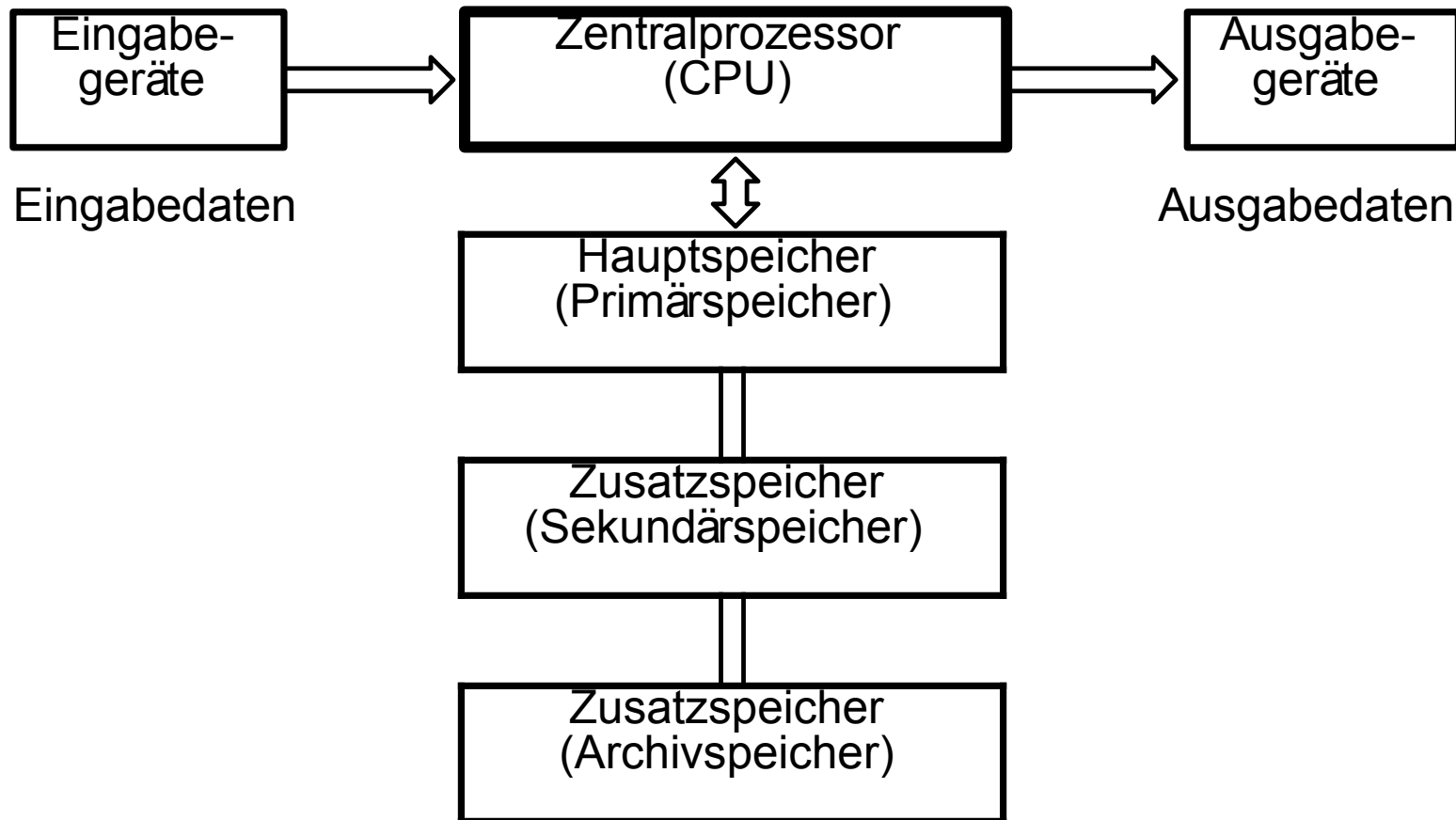
## Vereinfachtes Schichtenmodell



Der Befehlssatz als Architekturmerkmal eines Rechners, **Instruction Set Architecture (ISA)**, definiert die Software – Hardware – Schnittstelle, **Software  $\Rightarrow$  Hardware-System-Architecture (HSA)**.

# Hauptkomponenten des Rechners

10



# Hauptkomponenten

11

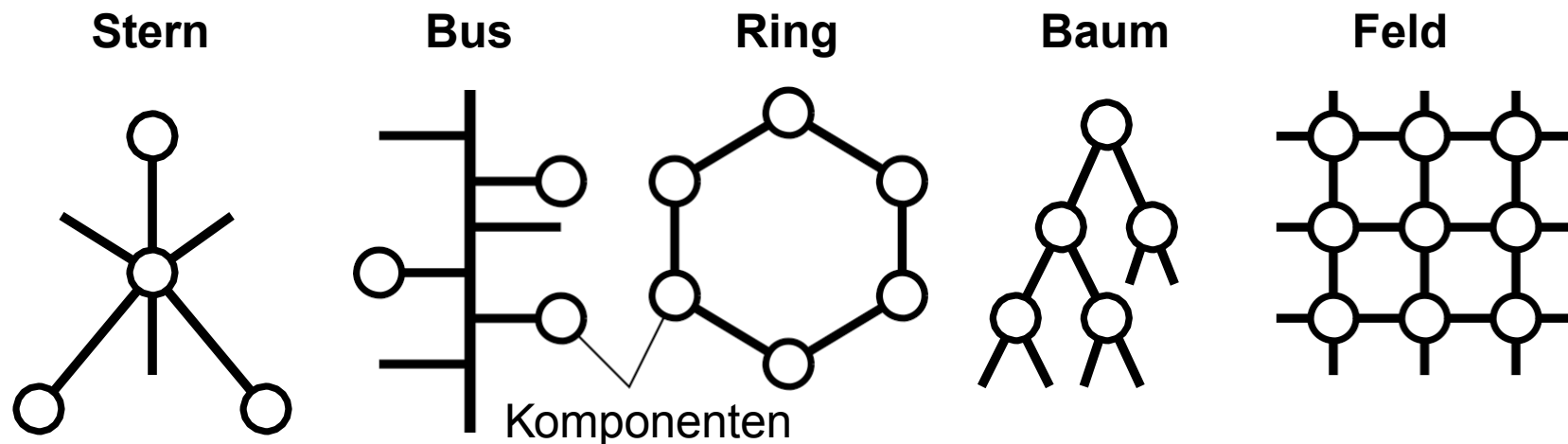
<b>CPU</b>	Zentrale Verarbeitungseinheit mit Rechenwerk und Steuerwerk (Mikroprozessor)
<b>Primärspeicher</b>	Hauptspeicher (DRAM, SRAM)
<b>Sekundärspeicher</b>	Zusatzspeicher mit direktem Zugriff (Festplatte)
<b>Archivspeicher</b>	Massenspeicher mit verzögertem Zugriff (CD, DVD, Tape)
<b>Systembus</b>	verbindet alle Komponenten des Computers miteinander (PCI-Bus)
<b>Ein-/Ausgabegeräte</b>	realisieren die Kommunikation des Computers nach aussen (Monitor, Keyboard, Maus, Drucker, Netzkarte, Modem, Sound, . . . )

# Verbindungsstruktur des Rechners

12

Die Verbindungsstruktur eines Rechners stellt ein Architekturmerkmal bzgl. der Verbindung der einzelnen Rechnerkomponenten untereinander bzw. auch zwischen den Komponenten und der Umwelt dar (Ein-/Ausgabekomponenten).

Die Verbindungen können als Stern, Bus, Ring, Baum, Feld, Crossbar (steuerbarer Kreuzschienenverteiler), ... ausgeführt sein.

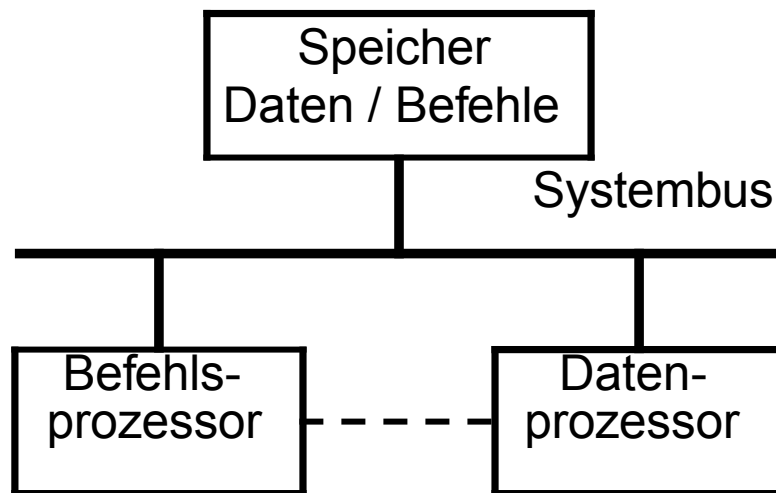


# Busstrukturen

13

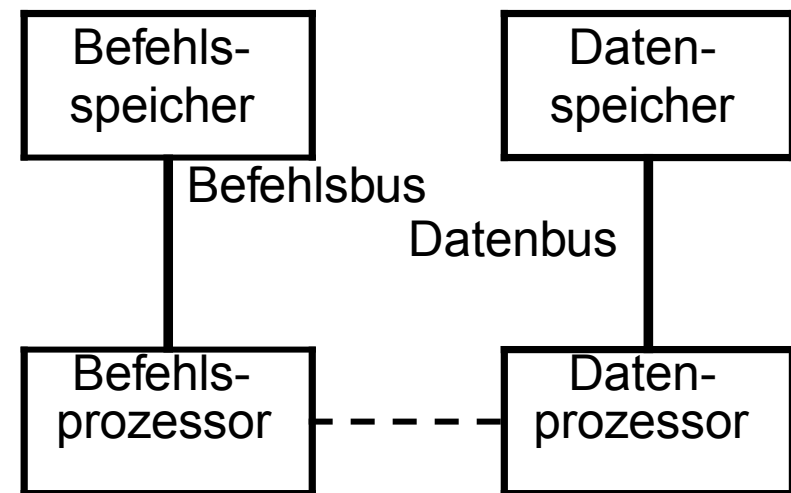
## Princeton Architektur

(J.von Neumann)



## Harvard Architektur

(H. Aiken)



Die Busse können unterteilt sein: Datenbus, Adressbus, Steuerbus, Befehlsbus.  
Weitere Komponenten und weitere abgesetzte Busse sind möglich.

# Klassifikation von Rechnerarchitekturen

14

- Ordnungsstruktur und -prinzip von Rechnerarchitekturen
- Anordnung, Organisation und Verbindungen der Rechnerkomponenten
- Operationsprinzip, Verarbeitungsprinzip, Kommunikationprinzip des Rechners
- Befehls- und Datenflüsse und deren Organisation
- Parallelität auf verschiedenen Ebenen
- Prinzip der Datenspeicherung und -konsistenz des Rechners

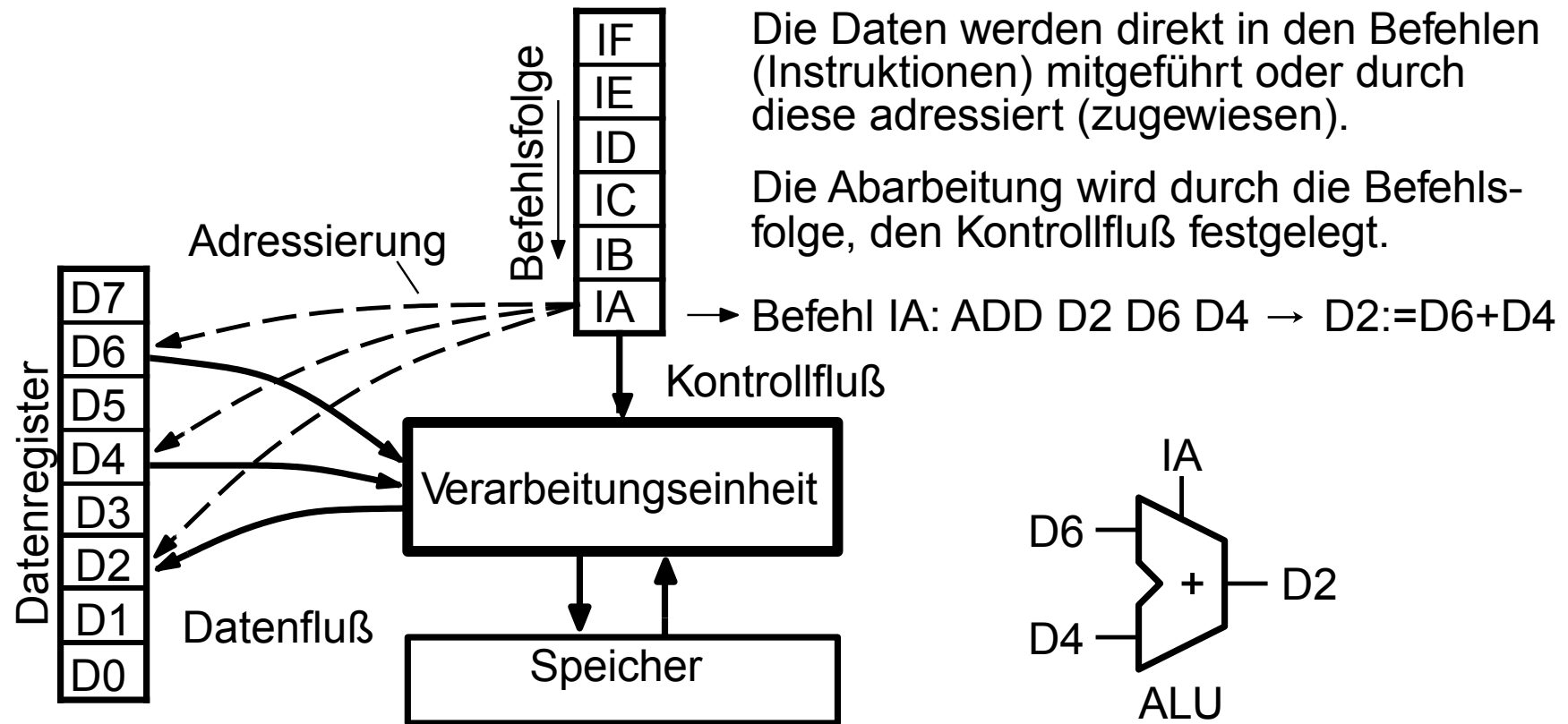
Eine eindeutige Klassifikation von Rechnerstrukturen ist nicht möglich. Vielmehr werden durch die Klasseneinteilung nur Grundprinzipien hervorgehoben. Die einzelnen Klassen können sich dabei weitgehend überdecken.

Die Zuordnung zu den einzelnen Klassen erfolgt jeweils nach der hervorzuhebenden Haupteigenschaft der Rechnerarchitektur.

Eine Architektur kann somit auch mehreren Klassen zugeordnet werden.

# Kontrollflußarchitektur

15



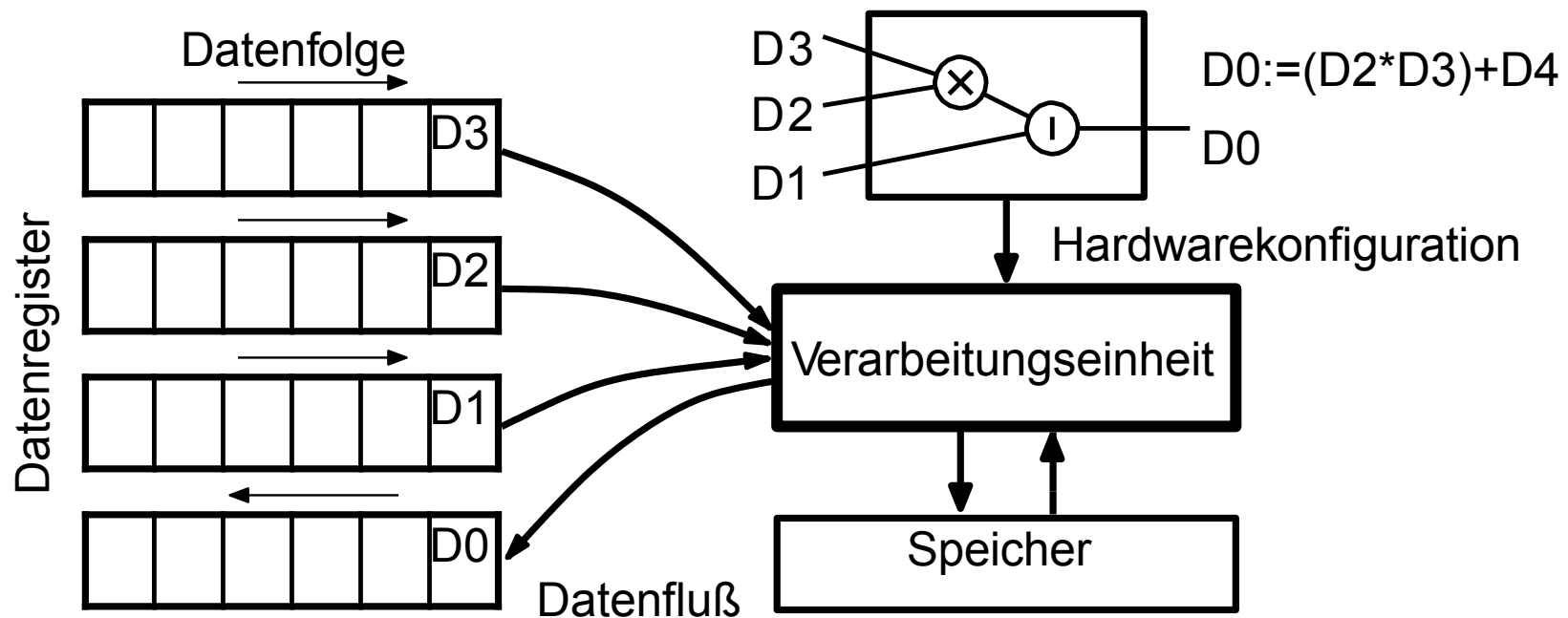
Kontroll- und Datenfluß sind orthogonal. Der Kontrollfluß steuert den Datenfluß.

# Datenflußarchitektur

16

Die Befehle werden direkt im Datenfluß mitgeführt oder in der Verarbeitungseinheit durch den Datenfluß konfiguriert.

Die Abarbeitung wird durch den Datenfluß und die Hardwarekonfiguration bestimmt.



Der Datenfluß enthält implizit den Kontrollfluß, er bestimmt die Abarbeitung.



# Kontrollflußarchitektur - Datenflußarchitektur

17

## Kontrollflußarchitektur



von-Neumann	RISC, CISC - Universalprozessor (GPP)
Harvard	ASIP - Applikationsspezifischer Befehlssatzprozessor
Superscalar	DSP - Digitaler Signalprozessor
VLIW	ASSP Applikationsspezifischer Signalprozessor
	RPA - Rekonfigurierbare Computerarchitektur
	CCM - Custom Computing Machine
	Systolische Feld-Architekturen
	Xputer, Datenflußrechner

## Datenflußarchitektur

Breites Spektrum von Architekturen zwischen Kontroll- und Datenflußarchitektur.

# Parallelitätsebenen in Rechnerarchitekturen

18

<b>Bitebene:</b> (Bit Level Parallelism)	BLP Die Bitstellen eines Datums oder mehrere Daten werden parallel verarbeitet.
<b>Befehlsebene:</b> (Instruction Level Parallelism)	ILP Mehrere Befehle eines Kontrollflusses werden parallel ausgeführt.
<b>Kontrollflußebene:</b> (Thread Level Parallelism)	MT Parallele Ausführung mehrerer Teile (Threads) eines Kontrollflusses (Multithreaded).
<b>Programmebene:</b> (Application Level Parallelism)	MP Parallele Ausführung mehrere Programme, Prozesse (Multiprocessing).
<b>Datenflußebene:</b> (Data Flow Processing)	DFP Die Datenflußverarbeitung ist vom Konzept her hochparallel.

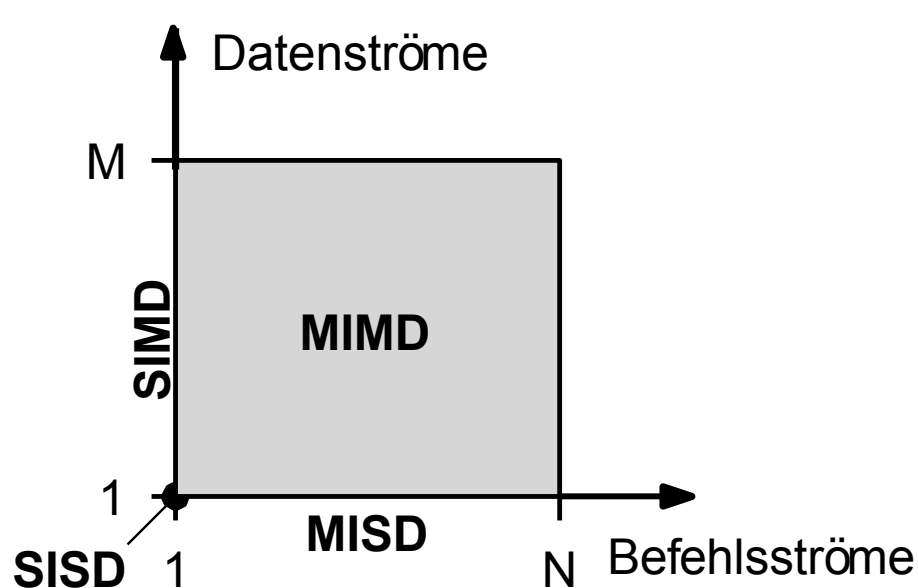
Bit- und Befehlsebenenparallelität werden feinkörnig (fine grained) bezeichnet, Kontrollfluß- und Prozeßparallelität dagegen grobkörnig (coarse grained).

# Parallelarchitekturen nach Flynn

19

## Klassifikation nach M. Flynn (1972)

Zweidimensionale Klasseneinteilung der Rechnerarchitekturen nach der Anzahl der Befehls- und Datenströme.



		Datenströme	
		Single Data	Multiple Data
Befehlsströme	Single Instruction	<b>SISD</b>	<b>SIMD</b>
	Multiple Instruction	<b>MISD</b>	<b>MIMD</b>

# Klasseneinteilung nach Flynn

20

**SISD** Single Instruction – Single Data (von-Neumann Rechnerkonzept).

**MISD** Multiple Instruction – Single Data, leere Klasse (Pipeline-Rechner ?).

**SIMD** Single Instruction – Multiple Data

**Feldrechner:** Parallele Anordnung von gleichartigen Verarbeitungseinheiten, die alle gleichzeitig den selben Befehl ausführen.

**Vektorrechner:** Anordnung der Verarbeitungseinheiten als Pipeline zur zeitlich überlappten Befehlsabarbeitung (Vektor-, Matrixoperationen).

**MIMD** Multiple Instruction – Multiple Data, Multiprocessor und Multicomputer.

**SMT:** Simultaneous Multithreaded (Intel's Hyperthreading – HT)

**MTA:** Multithreaded Architecture

**MPP:** Massively Parallel Multiprocessing

**SMP:** Symmetric Multiprocessing

**COW:** Cluster Of Workstations

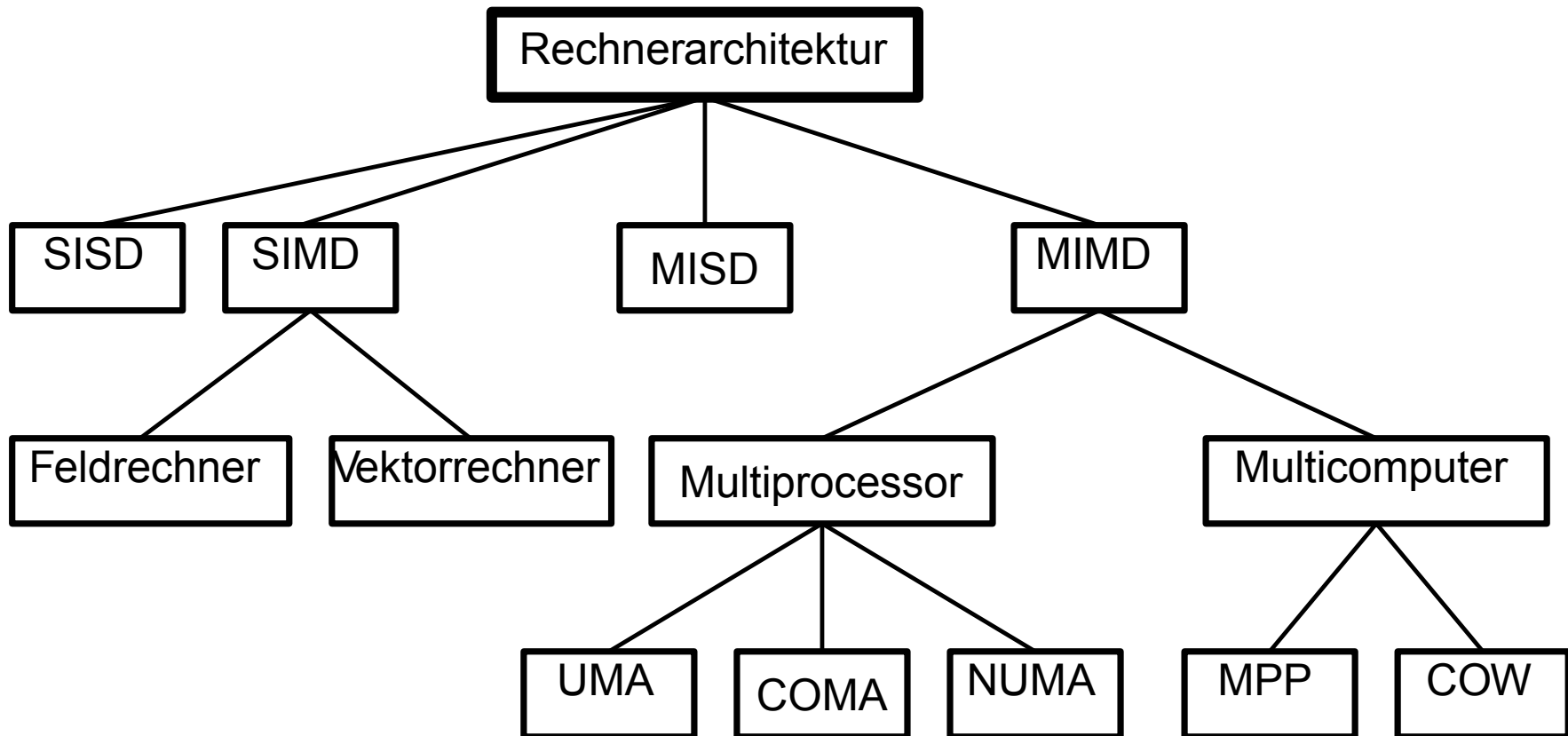
# Speicheranbindung bei MIMD-Systemen

21

<b>UMA</b>	Uniform Memory Access, globaler gemeinsamer Adressraum
<b>NUMA</b>	Non Uniform Memory Access, verteilter gemeinsamer Adressraum
<b>NORMA</b>	No Remote Memory Access, physikalisch und programmtechnisch verteilter getrennter Speicher (z.B. Cluster)
<b>COMA</b>	Cache-Only Memory Access
<b>CC-NUMA</b>	Cache Coherent NUMA
<b>NCC-NUMA</b>	Non Cache Coherent NUMA
<b>UCA</b>	Uniform Communication Architecture
<b>NUCA</b>	Non Uniform Communication Architecture
<b>DSM</b>	Distributed Shared Memory
<b>VSM</b>	Virtual Shared Memory

# Übersicht Klassifikation nach Fynn

22



# Klassifikation nach Verbindungsnetzwerken

23

## **Verbindungsnetzwerk:**

statisch oder dynamisch konfigurierbar, rekonfigurierbar Stern, Bus, Ring, Baum, Feld, Crossbar, . . .

## **Verbindungstopologie:**

regulär, irregulär oder hierarchisch

## **Verbindungsaufbau:**

zentral oder verteilt

## **Blockierungsverhalten:**

blockierend, blockierungsfrei, oder rearrangierbar blockierungsfrei

## **Betriebsverhalten:**

synchron oder asynchron

## **Vermittlungsart:**

Leitungsvermittlung, Paketvermittlung oder Cut-Through-Routing

# Klassifikation nach W. Giloi

24

Rechnerarchitektur: Element im kartesischen Produkt von Operationsprinzip und Struktur

Das Operationsprinzip definiert das funktionelle Verhalten der Architektur durch Festlegung einer Informationsstruktur und einer Kontrollstruktur. Die Informationsstruktur läßt sich als eine Menge von abstrakten Datentypen spezifizieren.

Die Struktur einer Rechnerarchitektur ist gegeben durch Art und Anzahl der Hardware-Betriebsmittel sowie die sie verbindenden Kommunikationseinrichtungen.

## **Operationsprinzipien:**

- von Neuman Operationsprinzip,
- Operationsprinzipien der Programmparallelität,
- Operationsprinzipien der Datenparallelität.



# Operationsprinzipien nach W. Giloi

25

## **Implizite Parallelität:**

- Operationsebene,
- Anweisungsebene,
- Prozeßebene,
- Programmebene.

## **Explizite Parallelität:**

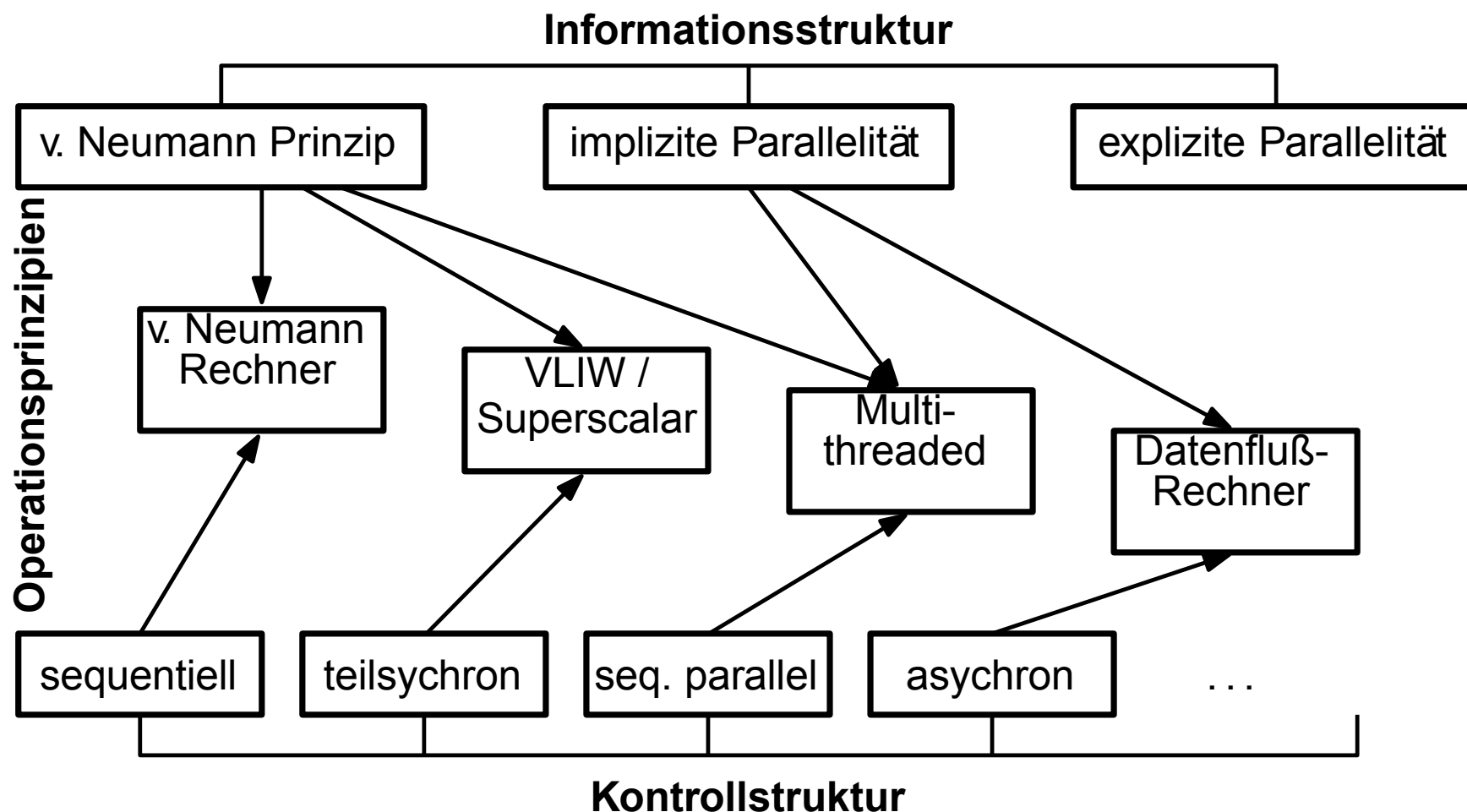
- standardisierten Programmstruktur,
- standardisierten Datenstrukturen, Datenparallelität,
- selbst-beschreibenden Informationseinheiten,
- selbst-identifizierenden Daten.

## **Streng sequentieller Kontrollfluß des v. Neumann Rechners:**

- konventioneller sequentieller Kontrollfluß für das Programm und seine Daten,
- sequentieller Kontrollfluß aber gleichzeitig parallele Ausführung mehrerer Operationen in jedem Rechenschritt,
- sequentieller Programmkontrollfluß bei assoziativem Zugriff auf die Daten,
- viele sequentielle Kontrollflüsse gleichzeitig.

# Operationsprinzipien nach W. Giloi (frei interpretiert)

26



# PMS Klassifikation (Processor, Memory, Switch)

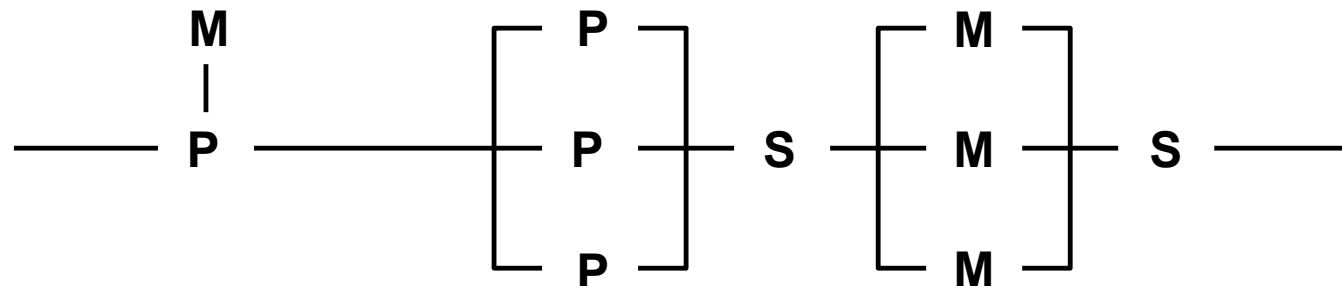
27

Hardware-Beschreibungssprache für Rechnerarchitekturen (Bell & Newell, 1971)

## PMS-Symbole:

Symbol	Bezeichnung	Bemerkung
C	Computer	vollständige Rechnerbeschreibung
P	Processor	Prozessorkomponente
M	Memory	aufteilbarer adressierbarer Speicher
S	Switch	steuerbare Verbindungskomponente (Bus, Crossbar, Mux)
...	...	...

## PMS-Darstellung auch als Strukturdiagramm:



# Rechnersysteme

28

Computertyp	Hauptanwendung
Wegwerfcomputer	Glückwunschkarten, Logistik, Identifikation
Controller	Eingebettete Systeme, Spezialanwendungen
Signalprozessor	Digitale Signalverarbeitung, Kommunikationstechnik
Personalcomputer	Universalrechner, Arbeitsplatzrechner
Workstation, Server	Arbeitsplatzrechner, Netz-Server, Daten-Server
Workstation-Cluster	Abteilungsrechner, Hochleistungsrechner
Mainframe	Großrechner, Hintergrundrechner, Stapelverarbeitung
Supercomputer	Hochleistungsdatenverarbeitung, Wetterberechnung HPC (High Performance Computing)