

Was bisher geschah



- Viele Einzelkomponenten identifiziert
 - Schaltnetze f
 ür z.B. arithmetische Funktionen (z.B. Addierer)
 - Erweiterungen für andere Funktionen an sich naheliegend
 - Logische Funktionen mit MUX, DeMUX (vgl. Übung)
 - Schaltwerke, die durch Rückkopplung Daten speichern
 - Flipflops, um einzelne Bits zu speichern
 - Register, um Gruppen von Bits zu speichern
- Komponenten zusammengefasst
 - Automaten: Zustand und Zustandsübergang mit Funktionen verbinden
 - □ Speicher: viele Bits speichern, wahlfrei zugreifen (RAM)
 - ☐ Busse: gemeinsamen Transfer mehrerer Bits darstellen

Transfer

Transfer und Verarbeitung

Programmierbare Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

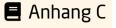
Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 2/82

Plan für dieses Kapitel





- Wie bauen wir aus all diesen Einzelkomponenten nun eine Art Rechner?
- In Teilschritten:
 - Nicht programmierbar
 - ☐ Frei programmierbar, ohne Sprünge
 - Mit Sprüngen

Teil 2: Digitaltechnik

— Schalter und Gatter

— Sequentielle Logik

— Automaten

— Register/Transfer

— Ein-/Ausgabe

Transfer
Transfer und
Verarbeitung
Programmierbare
Kontrolle
Instruktionen
Zusammenfassung
Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 3/82

Lernziele



Sie können

- die Aufgaben unterschiedlicher Busse benennen; unterschiedliche Entwürfe vergleichen und bewerten
- ... die Trennung von Kontroll- und Datenfluss-Aspekten begründen
- Mikroinstruktionen von fest vorgegeben Abläufen abgrenzen und für einfache Mikroinstruktionen Control-Strukturen finden
- . . . die für Programmierbarkeit erforderlichen Strukturen begründen
- . . . den Schritt von Mikroinstruktionen zu Instruktionen begründen
- . . . die Idee eines Prozessors als Interpreter eines Programms erläutern

Transfer
Transfer und
Verarbeitung
Programmierbare
Kontrolle
Instruktionen
Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22

Folie 4/82

Inhaltsverzeichnis



- 1. Transfer
- 1.1 Register-Register
- 1.2 Register-Speicher
- 2. Transfer und Verarbeitung
- 3. Programmierbare Kontrolle
- 4. Instruktionen
- 5. Zusammenfassung
- 6. Material

Transfer

Register-Register Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 5/82

Erinnerung: Register mit Lese/Schreib-Schnittstelle



Erinnern Sie sich an Kapitel 4, Beispiel 4.4, Folie 32:

■ Register mit Datenbus, Eingänge zum Lesen, Schreiben

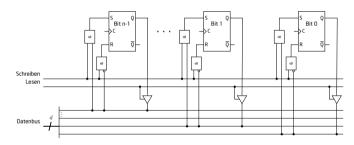


Abbildung 6.1: Eine Lesen/Schreiben/Datenbus-Schnittstelle zu einem Register, mit einzelnen Flipflops gezeigt

Transfer

Register-Register

Register-Speicher

Transfer und Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 6/82

Erinnerung: Register mit Lese/Schreib-Schnittstelle



Erinnern Sie sich an Kapitel 4, Beispiel 4.4, Folie 32:

■ Register mit Datenbus, Eingänge zum Lesen, Schreiben

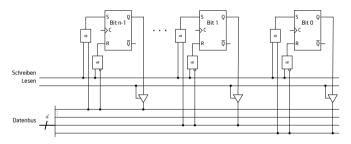


Abbildung 6.1: Eine Lesen/Schreiben/Datenbus-Schnittstelle zu einem Register, mit einzelnen Flipflops gezeigt

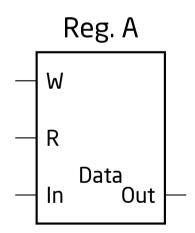


Abbildung 6.2: Vereinfachte Register-Darstellung, W/R als Write/Read-Steuerleitungen, In/Out als Anschluss an Datenbus geeigneter Breite

Transfer

Register-Register Register-Speicher

Transfer und Verarbeitung Programmierbare Kontrolle Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 6/82

Zwei Register, Kopieren dazwischen?



Angenommen:

- Zwei solche Register A, B
- Wir wollen Wert von A nach B kopieren
- Datenein-/ausgänge per Datenbus verbunden

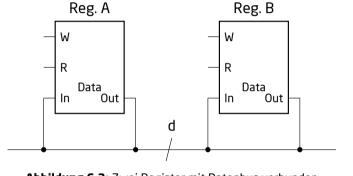


Abbildung 6.3: Zwei Register mit Datenbus verbunden

Transfer

Register-Register Register-Speicher

Transfer und Verarbeitung Programmierbare Kontrolle Instruktionen Zusammenfassung Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 **Folie 7/82**

Zwei Register, Kopieren dazwischen?



Angenommen:

- Zwei solche Register A, B
- Wir wollen Wert von A nach B kopieren
- Datenein-/ausgänge per Datenbus verbunden

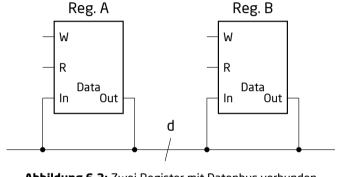


Abbildung 6.3: Zwei Register mit Datenbus verbunden

Was tun?

Register-Register Register-Speicher Transfer und Verarbeitung Programmierbare Kontrolle Instruktionen Zusammenfassung Material

Transfer

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 7/82





Grundidee

Idee 6.1

- Quellregister für Lesen konfigurieren (Eingang Read, R setzen)
- Zielregister für Schreiben konfigurieren (Eingang Write, W setzen)

Transfer

Register-Register Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22 Folie 8/82

Kopieren zwischen Registern: Kontrolle



Grundidee

Idee 6.1

- Quellregister für Lesen konfigurieren (Eingang Read, R setzen)
- Zielregister für Schreiben konfigurieren (Eingang Write, W setzen)
- Diese Eingänge werden durch separate Kontrolllogik gesetzt

Control

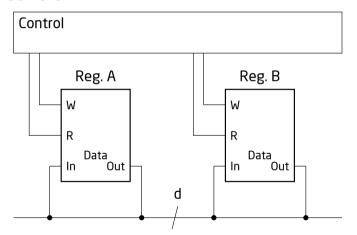


Abbildung 6.4: Zwei Register mit Datenbus verbunden, Control vorhanden

Transfer

Register-Register Register-Speicher

Transfer und
Verarbeitung
Programmierbare
Kontrolle
Instruktionen
Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22

Folie 8/82

Anglizismus



- Anglizismus: Control für dieses Steuerwerk
 - □ Alternativen? Kontrolle? Schaltwerk? Regelwerk? . . . ?
 - □ Vorteil: Control=Block; Kontrolle=allg. Konzept

Transfer

Register-Register

Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 9/82

Kopieren zwischen Registern: Kontrolle in Schritten



Kontrolle in Schritten

- Problem: Register brauchen Zeit,
 nachdem Eingänge gesetzt wurden
- Also: Kontrolle muss in Schritten vorgehen
- Am einfachsten: Durch
 Schaltwerk/endlicher Automat, mit
 Takt
- Annahmen
 - Takt nicht in Zeichnung
 - Alle Signale initial 0
 - ☐ Signale müssen explizit zurückgesetzt werden

Control als Automat

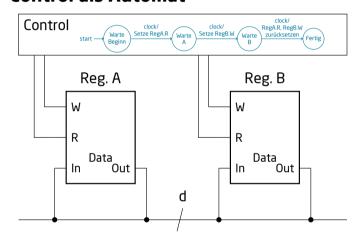


Abbildung 6.5: Zwei Register mit Datenbus verbunden, Control als endlicher Automat

Transfer

Register-Register Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 10/82

Separation von Kontroll- und Datenfluß



Wesentliche Idee: Trennung des Datenflusses (rot) von Kontrollfluss (blau)

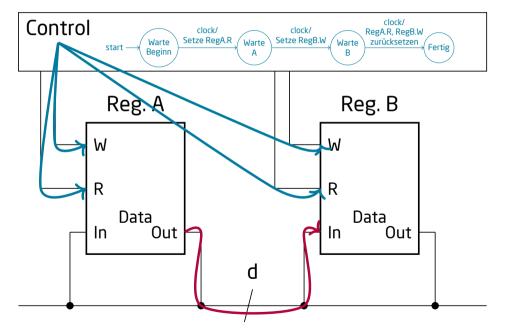


Abbildung 6.6: Trennung von Daten- und Kontrollfluss (rot, blau)

Transfer

Register-Register

Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 11/82

Zeitablauf



Zeitablauf

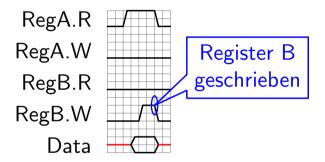


Abbildung 6.7: Zeitablauf: Kopie von Register zu Register (Data=rot: nicht relevant)

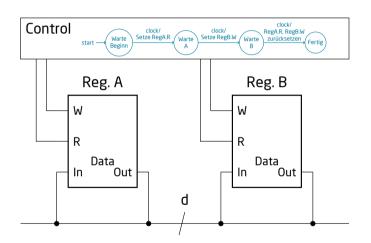


Abbildung 6.8: Zwei Register mit Datenbus verbunden, Control als endlicher Automat (Kopie des Bildes)

Transfer

Register-Register Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 12/82

Vereinfachte Darstellung: Mikroinstruktionen

HPI Hasso Plattner Institut

- Darstellung als expliziter endlicher Automat platzaufwendig
 - □ Ohnehin nur Sequenz einzelner Handlungen
- Stattdessen: Notation als Mikroinstruktionen

Beispiel Mikroinstruktionen

- Setze RegA.R aktiv
- Setze RegB.W aktiv
- Setze Eingänge RegA.R, RegB.W inaktiv
- Fertig

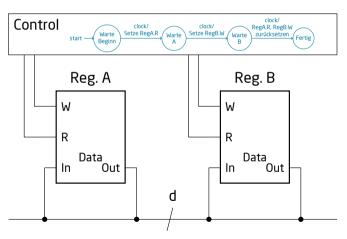


Abbildung 6.9: Zwei Register mit Datenbus verbunden, Control als endlicher Automat (Kopie des Bildes)

Transfer

Register-Register

Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 13/82

Mikroinstruktionen



Definition 6.1 (Mikroinstruktionen)

Einzelne Mikroinstruktion: Legt fest, welche Steuerleitung aktiv/inaktiv (an/aus) sind. Folge von Mikroinstruktionen: Textuelle Darstellung der Zustandsübergangsfunktion und Ausgabefunktion eines endlichen Automaten, der zur Kontrolle von Datenfluss (und Verarbeitung) genutzt wird.

Transfer

Register-Register Register-Speicher

Material

Transfer und
Verarbeitung
Programmierbare
Kontrolle
Instruktionen
Zusammenfassung

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 14/82

Inhaltsverzeichnis



1. Transfer

1.1 Register-Register

1.2 Register-Speicher

- 2. Transfer und Verarbeitung
- 3. Programmierbare Kontrolle
- 4. Instruktionen
- 5. Zusammenfassung
- 6. Material

Transfer

Register-Register

Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 15/82

Transfer zwischen Register und Speicher?



- Bis jetzt: Nur Transfer zwischen Registern
 - □ Register und Speicher: Adressen!

Transfer

Register-Register

Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 16/82

Transfer zwischen Register und Speicher?



- Bis jetzt: Nur Transfer zwischen Registern
 - Register und Speicher: Adressen!
- Grundidee wie bei Register-Register
 - ☐ Register bzw. Speicher auf Lesen setzen
 - ☐ Warten
 - Speicher bzw. Register auf Schreiben setzen
 - Warten
 - _ ...

Transfer

Register-Register

Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 16/82

Transfer zwischen Register und Speicher?



- Bis jetzt: Nur Transfer zwischen Registern
 - □ Register und Speicher: Adressen!
- Grundidee wie bei Register-Register
 - ☐ Register bzw. Speicher auf Lesen setzen
 - ☐ Warten
 - ☐ Speicher bzw. Register auf Schreiben setzen
 - Warten
- Zusätzlich: Speicher muss mit Adresse versorgt werden
 - □ D.h.: Control muss Adresse auf Adressbus ausgeben

Transfer

Register-Register

Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22

Folie 16/82

Transfer Register-Speicher: Schema



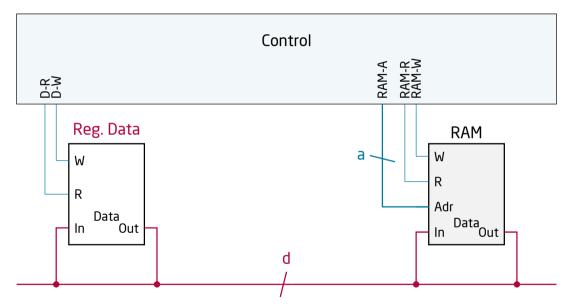


Abbildung 6.10: Transfer zwischen Register und Speicher, Adresse aus Control

Transfer

Register-Register

Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 17/82

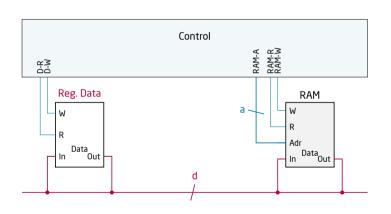
Transfer Register-Speicher: Mikroinstruktionen



Beispiel: Transfer von Speicher in Register

Mikroinstruktionen

- Setze RAM-A auf gewünschte Adresse (mehrere Bits!)
- Setze RAM-R
- Setze D-W
- Rücksetze RAM-R, D-W
- Fertig



Transfer

Register-Register Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22

Folie 18/82

Speicher-Speicher?



- Speicher-Speicher Transfer?
 - □ Direkt? Benötigt wie viele Adressbusse?
 - □ Indirekt? Mittels Register? Benötigt wie viel Zeit?

Transfer

Register-Register

Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 19/82

Frei wählbare Adresse



- Bis jetzt: Adresse war durch Kontroll-Automaten fest vorgegeben
- Was, wenn Adresse Resultat einer Berechnung, der Eingabe, . . . sein soll?
 - □ Endl. Automaten umschreiben??
- Besser: Adressbus mit Register koppeln, dort Adresse entnehmen
 - Adressregister

Transfer

Register-Register

Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 20/82

Adressregister



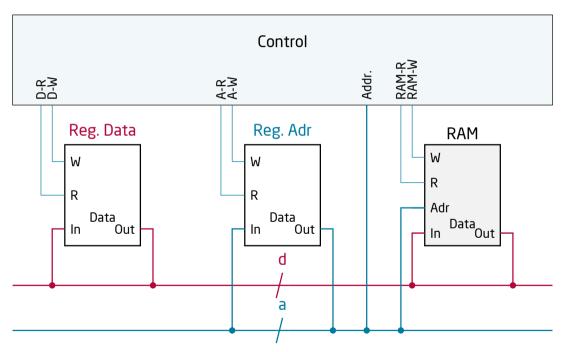


Abbildung 6.11: Adressregister, mit Adressbus verbunden

Transfer

Register-Register

Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 21/82

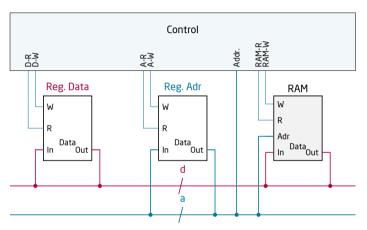
Transfer mit Adressregister



Mikroinstruktionen

Annahme: Gewünschte Adresse steht schon in Adressregister

- Setze A-R
- Setze RAM-R
- Setze D-W
- Rücksetze A-R, RAM-R, D-W
- Fertig



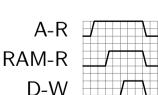


Abbildung 6.12: Signal-Zeit-Diagramm für Adressregister-basierten Register-Speicher-Transfer

Transfer
Register-Register

Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 22/82

Adress- vs. Datenregister: Diskussion



- Hier (Abbildung 6.11): Strenge Unterscheidung zwischen Datenregistern und Adressregistern
 - Vereinfacht Darstellung: Register entweder mit Datenbus oder Adressbus verbunden
 - Aber schränkt Verwendung der Register ein: mal braucht man mehr
 Adressregister, mal braucht man mehr Datenregister
- Praktischer: Universalregister
 - Mit Daten- und Adressbus verbindbar; oft verwendet
 - □ Der Einfachheit halber bleiben wir hier zunächst bei Spezialregistern

Transfer

Register-Register
Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 23/82

Adress- vs. Datenregister: Diskussion



- Hier (Abbildung 6.11): Strenge Unterscheidung zwischen Datenregistern und Adressregistern
 - Vereinfacht Darstellung: Register entweder mit Datenbus oder Adressbus verbunden
 - Aber schränkt Verwendung der Register ein: mal braucht man mehr Adressregister, mal braucht man mehr Datenregister
- Praktischer: Universalregister
 - ☐ Mit Daten- und Adressbus verbindbar; oft verwendet
 - Der Einfachheit halber bleiben wir hier zunächst bei Spezialregistern

Weiterlesen 6.1 (Spezialisierte vs. Universalresourcen)

Bei sonst gleichen Rahmenbedinung: Universalresourcen immer besser! Vgl. Warteschlangentheorie, z.B. [Ros93]

Transfer

Register-Register
Register-Speicher

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 23/82

Nomenklatur



Der Name Register-Transfer-Ebene für diese Betrachtungsebene sollte klar geworden sein $\ddot{\sim}$

Register-Register
Register-Speicher

Transfer und
Verarbeitung
Programmierbare
Kontrolle
Instruktionen
Zusammenfassung
Material

Transfer

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 24/82

Inhaltsverzeichnis



- 1. Transfer
- 2. Transfer und Verarbeitung
- 2.1 Verarbeitung
- 2.2 Datenpfad
- 3. Programmierbare Kontrolle
- 4. Instruktionen
- 5. Zusammenfassung
- 6. Material

Transfer

Transfer und Verarbeitung

Verarbeitung Datenpfad

Programmierbare Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 25/82

Datenverarbeitung?



- Bis jetzt können wir nur Daten hin- und herkopieren
- Verarbeitung erfordert Funktionen, um aus Daten neue zu berechnen
 - Arithmetische, logische, . . .
- Idee
 - Wir fügen Schaltnetze für solche Funktionen hinzu
 - ☐ Ggf. noch Register als Ergebnispuffer

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Verarbeitung

Datenpfad

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 26/82

Schaltung mit Inkrementierschaltnetz und Puffer



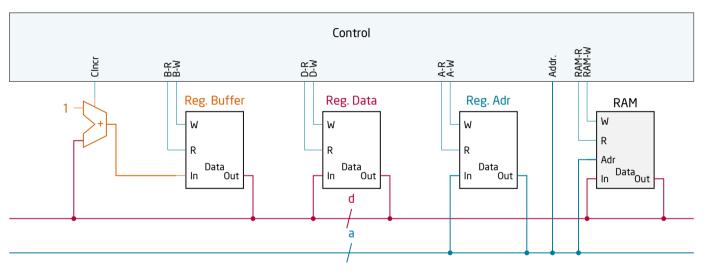


Abbildung 6.13: Inkrementierschaltznetz und Puffer hinzugefügt (orange: Funktionsberechnung)

Transfer
Transfer und
Verarbeitung
Verarbeitung

Verarbeitung

Datenpfad

Programmierbare Kontrolle Instruktionen Zusammenfassung Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 27/82

Schaltung mit Inkrementierschaltnetz und Puffer



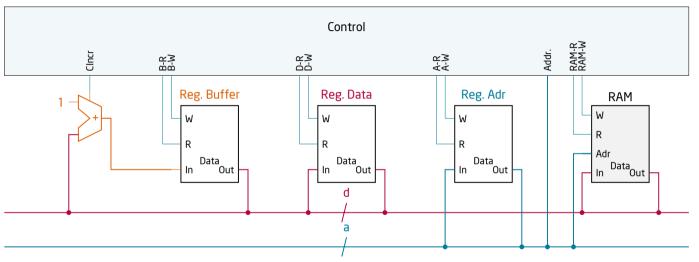


Abbildung 6.13: Inkrementierschaltznetz und Puffer hinzugefügt (orange: Funktionsberechnung)

Buffer bekommt inkrementierten Datenbus-Wert am Eingang, falls Clncr aktiv

Transfer Transfer und Verarbeitung

Verarbeitung Datenpfad

Programmierbare Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 27/82

Beispiel: Daten aus Speicher inkrementieren und in Datenregister ablegen (Phase 1: Lesen)



Mikroinstruktionen

- Operand nach Register D lesen:
 - □ Setze A-R
 - ☐ Setze RAM-R
 - ☐ Setze D-W
 - □ Rücksetze A-R, RAM-R, D-W

Zeitablauf

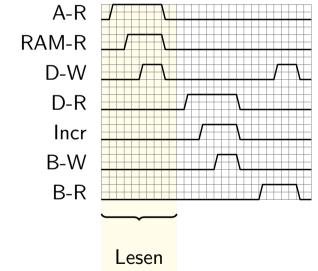


Abbildung 6.14: Zeitablauf der Mikroinstruktionen, Phase 1: Lesen

Transfer und Verarbeitung

Verarbeitung

Datenpfad

Programmierbare Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 28/82

Beispiel: Daten aus Speicher inkrementieren und in Datenregister ablegen (Phase 2: Inkrement)



Mikroinstruktionen

- Inkrementieren, nach Puffer:
 - □ Setze D-R
 - Setze Incr (aktiviert Schaltnetz)
 - Setze B-W
 - Setze Clncr (verbindert Schaltnetzausgang mit Buffer-Data)
 - □ Rücksetzen D-R, Incr, B-W, Clncr

Zeitablauf

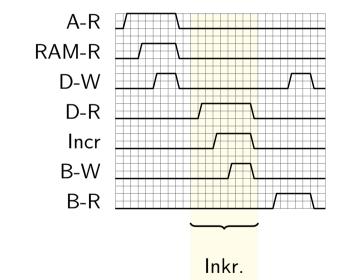


Abbildung 6.15: Zeitablauf der Mikroinstruktionen, Phase 2: Inkrementieren

Transfer

Transfer und Verarbeitung

Verarbeitung

Datenpfad

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 29/82

Beispiel: Daten aus Speicher inkrementieren und in Datenregister ablegen (Phase 3: Schreiben)



Mikroinstruktionen

- Ergebnis nach Register D schreiben:
 - □ Setze B-R
 - Setze D-W
 - □ Rücksetze B-R, D-W
- Fertig

Zeitablauf

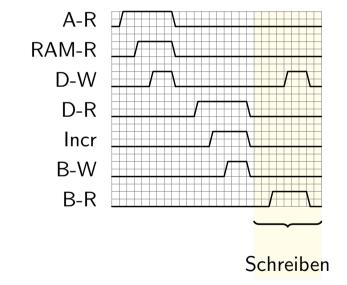


Abbildung 6.16: Zeitablauf der Mikroinstruktionen (Phase 3: Schreiben)

Transfer

Transfer und Verarbeitung

Verarbeitung

Datenpfad

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 30/82

Beispiel: Daten aus Speicher inkrementieren und in Datenregister ablegen (Überblick)



Mikroinstruktionen

- Operand nach Register D lesen:
 - ☐ Setze A-R
 - □ Setze RAM-R
 - Setze D-W
 - □ Rücksetze A-R, RAM-R, D-W
- Inkrementieren, nach Puffer:
 - Setze D-R
 - Setze Incr (aktiviert Schaltnetz)
 - Setze B-W
 - Setze Clncr (verbindert
 Schaltnetzausgang mit
 Buffer-Data)
 - □ Rücksetzen D-R, Incr, B-W, Clncr

- Ergebnis nach Register D schreiben:
 - □ Setze B-R
 - Setze D-W
 - □ Rücksetze B-R, D-W
- Fertig

Transfer

Transfer und

Verarbeitung Verarbeitung

Datenpfad

Kontrolle

Programmierbare

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

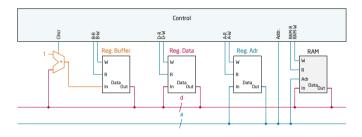
GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22 Folie 31/82

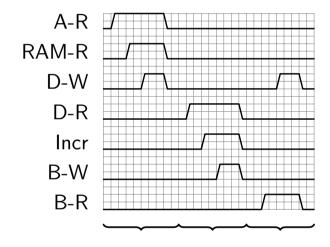
Beispiel: Daten aus Speicher inkrementieren und in Datenregister ablegen (Überblick graphisch)



Schaltung



Zeitablauf



Lesen Inkr. Schreiben

Abbildung 6.17: Zeitablauf der Mikroinstruktionen

Transfer Transfer und Verarbeitung

Verarbeitung

Datenpfad

Programmierbare Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 32/82

Unterschiedliche Funktionen?



- Fügen wir einen Dekrementierer hinzu
- Zusätzlich benötigt:
 - □ Das Dekrementier-Schaltnetz an sich
 - Der Multiplexer/Demultiplexer zwischen arithmetischen Schaltnetzen und Puffer bekommt weiteren Eingang und weitere Kontrollfunktionen

Transfer
Transfer und

Verarbeitung

Verarbeitung

Datenpfad

Programmierbare Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 33/82

Zusätzlicher Dekrementierer



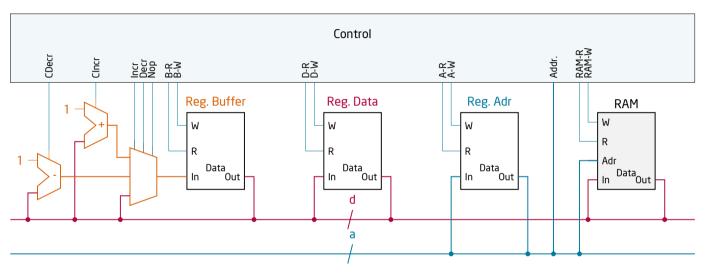


Abbildung 6.18: Weitere Funktion: Dekrementierer

Transfer
Transfer und
Verarbeitung
Verarbeitung

Verarbeitun

Datenpfad

Programmierbare Kontrolle Instruktionen Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 34/82

Verallgemeinerung: ALU



- Erweiterung auf weitere Schaltnetze/weitere Funktionen jetzt naheliegend
- Durch Control kann die gewünschte Funktion ausgewählt werden
- Zusammengefasst in sog. Arithmetisch-logische Einheit

Definition 6.2 (Arithmetisch-logische Einheit (Rechenwerk, Arithmetic-logical unit (ALU)))

- Fasst Schaltnetze zur Berechnung arithmetischer, logischer (oder ggf. auch anderer Funktionen) zu einer Einheit zusammen
 - Enthält keinen Zustand
 - □ Ggf. zählt man Pufferspeicher u.ä. zur ALU hinzu
- Control kann unter mehreren Funktionen auswählen

Transfer
Transfer und
Verarbeitung
Verarbeitung

Datenpfad

Programmierbare Kontrolle

Zusammenfassung

Instruktionen

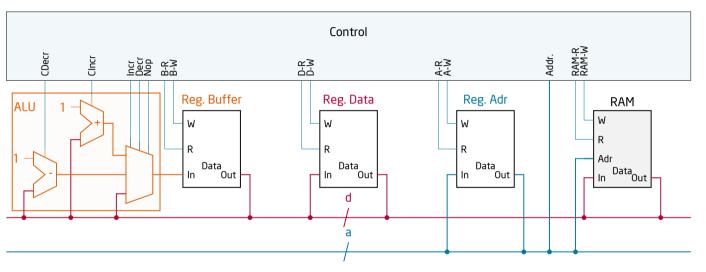
Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22

Folie 35/82

Schaltung mit ALU





Transfer Transfer und Verarbeitung

Verarbeitung

Datenpfad

Programmierbare Kontrolle Instruktionen

Zusammenfassung

Material

Abbildung 6.19: ALU eingezeichnet

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 36/82

Inhaltsverzeichnis



- 1. Transfer
- 2. Transfer und Verarbeitung
- 2.1 Verarbeitung
- 2.2 Datenpfad
- 3. Programmierbare Kontrolle
- 4. Instruktionen
- 5. Zusammenfassung
- 6. Material

Transfer
Transfer und
Verarbeitung
Verarbeitung
Datenpfad

Programmierbare Kontrolle Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 37/82

Elemente: Abstraktion



- Abstrahieren wir von Details
- Kernelemente:
 - Control
 - Speicher
 - Datenverarbeitung
 - Die ALU an sich
 - Hilfsspeicher: Pufferspeicher, Register

Definition 6.3 (Datenpfad (data path))

Der Datenpfad gruppiert ALU und Hilfsspeicher, ggf. zur Verbindung benötigte Busse, zu einer strukturellen Einheit.

Transfer
Transfer und
Verarbeitung
Verarbeitung
Datenpfad

Programmierbare Kontrolle Instruktionen

Zusammenfassung Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 38/82

Übersichtsschaltbild



- Control erzeugt Adressen für Speicher
 - Ggf. aus Register
 - Adressbus verbindet Speicher,
 Control, Register
- Control erzeugt Steuersignale für Datenpfad und Speicher
 - Wann woher lesen, wohin schreiben
 - □ Welche Funktion auswählen
- Datenbus verbindet ALU, Register, Speicher

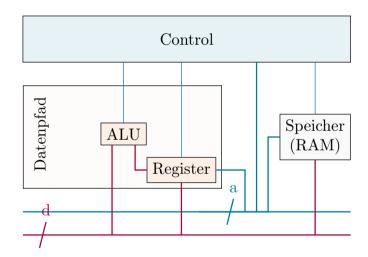


Abbildung 6.20: Übersichtsschaltbild aus Control, Datenpfad, Speicher

Transfer
Transfer und
Verarbeitung
Verarbeitung
Datenpfad

Programmierbare Kontrolle Instruktionen Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 39/82

Inhaltsverzeichnis



- 1. Transfer
- 2. Transfer und Verarbeitung
- 3. Programmierbare Kontrolle
- 3.1 Programm
- 3.2 Ausführung
- 3.3 Instruktionszähler
- 3.4 Sprünge
- 4. Instruktionen
- 5. Zusammenfassung
- 6. Material

Transfer

Transfer und Verarbeitung

Programmierbare Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 40/82

Bis jetzt: Control war fester Automat



- Control war durch einen fest vorgegebenen Automaten definiert
- In jedem Zustand wurden bestimmte Steuerleitungen an-/abgeschaltet
 - ☐ Die gleichen Aktionen kamen mehrfach vor!
- Im Prinzip: große Flexibilität, viele Steuerleitungen gleichzeitig zu schalten
 - Aber gar nicht ausgenutzt!
 - Pro Zustand immer nur eine/wenige Steuerleitungen beachtet
 - Offenbar reicht ein solcher kleiner Satz von Möglichkeiten!

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 41/82

Möglichkeiten aufzählen



Idee 6.2 (Wenige Möglichkeiten aufzählen)

Wenn nur (relativ) wenige Möglichkeiten an Steuerleitungsmanipulationen gebraucht werden, dann:

- Diese Möglichkeiten aufzählen,
 - s.o.: Mikroinstruktionen!
- einen Namen geben
 - $lue{}$ mit fester Tabelle: Name o welche Steuerleitungen setzen
 - Vgl. Tabelle 6.1
- und dann nur die Liste der Mikroinstruktionen angeben!

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 42/82

Tabelle der Mikroinstruktionen



Fabelle 6.1: Konzeptionelle Tabelle von Mikroinstruktionen und zu aktivierenden Steuerleitungen

Mikroinstruktion	SL 1	SL 2	SL 3	SL 4	SL 5	SL 6	SL 7	
A	an	an	aus	aus	an	aus	aus	
В	aus	an	an	aus	aus	aus	aus	
C	an	aus	aus	an	aus	an	an	

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 43/82

Liste wo?



- Einführen von Mikroinstruktionen ist an sich lediglich Notationserleicherung
- Ermöglicht aber durch Kompatkheit zweite Idee

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 44/82

Liste wo?



- Einführen von Mikroinstruktionen ist an sich lediglich Notationserleicherung
- Ermöglicht aber durch Kompatkheit zweite Idee

Idee 6.3 (Mikroinstruktionsliste im Speicher ablegen)

Statt

- die Liste der Mikroinstruktionen fest als endlichen Automat in Control zu verbauen
- legen wir diese Liste im Speicher ab

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 44/82

Programm



Definition 6.4 (Programm (v1))

- Ein Programm ist eine Liste von Mikroinstruktionen
- Die im Speicher abgelegt ist

Transfer

Transfer und Verarbeitung

Programmierbare Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 45/82

Inhaltsverzeichnis



- 1. Transfer
- 2. Transfer und Verarbeitung
- 3. Programmierbare Kontrolle
- 3.1 Programm
- 3.2 Ausführung
- 3.3 Instruktionszähler
- 3.4 Sprünge
- 4. Instruktionen
- 5. Zusammenfassung
- 6. Material

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 46/82

Programm ausführen?



- Statt eines endl. Automaten in Control gibt es jetzt eine Liste von Mikroinstruktionen im Speicher
- Wie werden nun wirklich Steuerleitungen geschaltet?
 - ☐ Wie wird ein Programm ausgeführt?
- Zwei Aspekte:
 - Ausführung einer einzelnen Mikroinstruktion
 - Ausführung einer Liste

Transfer

Transfer und Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

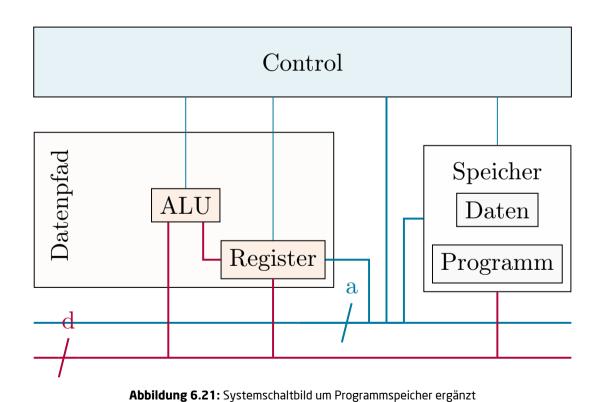
Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22 Folie 47/82

Schaltbild mit Programmspeicher





Transfer

Transfer und Verarbeitung

Programmierbare Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 48/82

Ausführung einer einzelnen Mikroinstruktion



- Angenommen, eine auszuführende Mikroinstruktion wäre Control bekannt
 - □ Z.B.: In einem Register gespeichert
- Dann einfach:
 - ☐ Mikroinstruktion in Tabelle 6.1 suchen
 - □ Die Steuerleitungen aus der entsprechenden Zeile aktivieren

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 49/82

Transport der Mikroinstruktion

HPI Hasso Plattner Institut

- Wie kommt Mikroinstruktion in Control?
- Muss aus Speicher geholt werden
- Also: Control braucht Anschluss an Datenbus!
 - □ Setzen der Adresse, Steuerleitungen Speicher kann Control ja ohnehin

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 50/82

Control mit Mikroinstruktionsregister



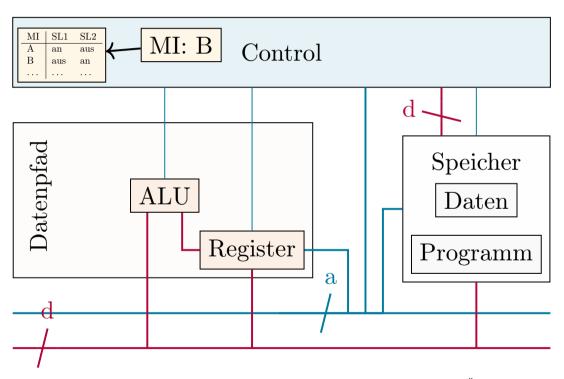


Abbildung 6.22: Control ergänzt um Register für zu bearbeitende Mikroinstruktion (MI) und Tabelle zur Übersetzung von Mikroinstruktionen in Steuerleitungsaktivierungen

Transfer

Transfer und Verarbeitung

Programmierbare Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 51/82

Interpretation



Definition 6.5 (Interpretation einer Mikroinstruktion)

Durch das Aktivieren der Steuerleitungen wird die Mikroinstruktion auf den Zustand des Systems angewandt; im allgemeinen kommt es zu einem Zustandsübergang. Sie wird interpretiert.

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 52/82

Interpretation



Definition 6.5 (Interpretation einer Mikroinstruktion)

Durch das Aktivieren der Steuerleitungen wird die Mikroinstruktion auf den Zustand des Systems angewandt; im allgemeinen kommt es zu einem Zustandsübergang. Sie wird interpretiert.

Weiterlesen 6.2 (In Tabelle suchen)

Wie sucht man effizient in Hardware in einer Tabelle? Letztlich sind das viele UND-Verknüpfungen.

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 52/82





Ablauf

- 1. Lade aktuelle Mikroinstruktion aus Speicher
 - a) Setze Speicher-Steuerleitung auf Lesen
 - b) Setze Mikroinstruktionsregister auf Schreiben
- 2. Suche Inhalt der Mikroinstruktionsregisters in Tabelle
 - a) Verknüpfe die Bits der ersten Spalte mit Inhalt des Registers
- 3. Aktiviere die Steuerleitungen gemäß entsprechender Zeile

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 53/82



- Dieser Ablauf (Folie 53) kann als endlicher Automat in Control realisiert werden
- Da unabhängig von konkreter Mikroinstruktion; stets gleich!
 - □ Control ist immer noch ein fester endlicher Automat, aber universell!
 - Nicht mehr problemspezifisch

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 54/82



- Dieser Ablauf (Folie 53) kann als endlicher Automat in Control realisiert werden
- Da unabhängig von konkreter Mikroinstruktion; stets gleich!
 - Control ist immer noch ein fester endlicher Automat, aber universell!
 - Nicht mehr problemspezifisch
- Control interpretiert die Mikroinstruktion, ist ein Interpreter

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 54/82



- Dieser Ablauf (Folie 53) kann als endlicher Automat in Control realisiert werden
- Da unabhängig von konkreter Mikroinstruktion; stets gleich!
 - Control ist immer noch ein fester endlicher Automat, aber universell!
 - Nicht mehr problemspezifisch
- Control interpretiert die Mikroinstruktion, ist ein Interpreter

Definition 6.6 (Interpreter)

Eine Vorrichtung (in Hardware oder Software), die einen Anfangszustand und (eine Folge von) Anweisungen entgegennimmt, aus einem Zustand und einer Anweisung den Folgezustand bestimmt, und durch schrittweise Anwendung der Anweisungsfolge eine Folge von Zuständen produziert.

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 54/82

Nomenklatur: CPU



Definition 6.7 (Central Processing Unit (Verarbeitungseinheit) (CPU))

Eine solche Kombination von Datenpfad und Control ist die einfachste Form einer CPU. Jede CPU enthält beide Bestandteile.

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 55/82

Inhaltsverzeichnis



- 1. Transfer
- 2. Transfer und Verarbeitung
- 3. Programmierbare Kontrolle
- 3.1 Programm
- 3.2 Ausführung
- 3.3 Instruktionszähler
- 3.4 Sprünge
- 4. Instruktionen
- 5. Zusammenfassung
- 6. Material

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 56/82

Ausführung einer Liste von Mikroinstruktionen



- Welche Mikroinstruktion wird bearbeitet?
 - ☐ Müssen wir uns in Control merken
 - Um die richtige Adresse beim Speicher abzufragen und dort die Mikroinstruktion abzuholen
- Also: weiteres Register!
 - Instruktionszähler
- Am Ende der Interpretation: Instruktionszähler um 1 erhöhen

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 57/82

Instruktionszähler



Definition 6.8 (Instruktionszähler)

Der Instruktionszähler ist ein Register des Controls.

- Streng genommen: Mikroinstruktionszähler
- Er verweist auf die aktuell auszuführende (Mikro-)Instruktion.
- Wird oft abgekürzt als Programm Counter (PC) oder Instruction Program Counter (IPC).

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

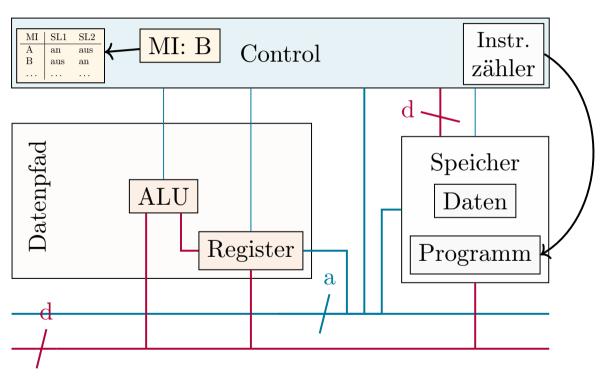
GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 58/82

Instruktionszähler: Schaubild





Transfer

Transfer und Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 59/82

Abbildung 6.23: Control um Instruktionszaehler ergänzt

Interpretationszyklus einer Liste von Mikroinstruktion



Wir erweitern Ablauf von Folie 53 (rot: neu!)

Ablauf

- 1. Lade aktuelle Mikroinstruktion aus Speicher
 - a) Setze Adressbus auf Inhalt des IPC
 - b) Setze Speicher-Steuerleitung auf Lesen
 - c) Setze Mikroinstruktionsregister auf Schreiben
- 2. Suche Inhalt der Mikroinstruktionsregisters in Tabelle
 - a) Verknüpfe die Bits der ersten Spalte mit Inhalt des Registers
- 3. Aktiviere die Steuerleitungen gemäß entsprechender Zeile
- 4. Erhöhe Instruktionszähler um 1
 - An sich denkbar: an Datenpfad/ALU übergeben
 - ☐ (In Praxis: kleines Schaltnetz in Control)
- 5. Kehre zu Schritt 1 zurück

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 60/82

HPI Hasso Plattner Institut

- Immer noch unabhängig von spezifischer Mikroinstruktion
- Also immer noch als endlicher Automat zu realisieren

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 61/82

Harvard vs. von-Neumann: Speicheraufteilung



- Abbildung 6.23 deutet evtl. an, dass Speicher in Teile für Daten und Code fest aufgeteilt ist
 - □ Sog. Harvard-Architektur
- Alternativ (und durch Abb. 6.23 nicht ausgeschlossen): Jede Speicherzelle kann für Code oder Daten verwendet werden
 - ☐ Sog. von Neumann-Architektur
 - Flexibler, aber ggf. mit Sicherheitsproblemen
- Beides denkbar; heute oft aber nicht immer von-Neumann-Architektur
 - □ Wir kommen bei Caches nochmal darauf zurück (Folien 15.39)

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 62/82

Inhaltsverzeichnis



- 1. Transfer
- 2. Transfer und Verarbeitung
- 3. Programmierbare Kontrolle
- 3.1 Programm
- 3.2 Ausführung
- 3.3 Instruktionszähler
- 3.4 Sprünge
- 4. Instruktionen
- 5. Zusammenfassung
- 6. Material

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 63/82

Unbedingte Sprünge

HPI Hasso Plattner Institut

- Bis jetzt: Nach jeder Mikroinstruktion: IPC um 1 erhöhen
- Denkbare Alternativen:
 - ☐ Mikroinstruktion gibt festen Wert für IPC vor
 - ☐ Mikroinstruktion gibt festes Inkrement für IPC vor

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 64/82

Unbedingte Sprünge



- Bis jetzt: Nach jeder Mikroinstruktion: IPC um 1 erhöhen
- Denkbare Alternativen:
 - ☐ Mikroinstruktion gibt festen Wert für IPC vor
 - ☐ Mikroinstruktion gibt festes Inkrement für IPC vor
- Konsequenz: Programm wird an anderer Stelle fortgesetzt
 - Aber letztlich nur Umordnung des Programms

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 64/82

Bedingte Sprünge



Idee 6.4 (Sprungziel von Registerinhalt anhängig!)

- Neuer Wert für IPC hängt von Zustand ab
 - ☐ Z.B. davon, ob ein Registerinhalt 0 ist
- Einfaches Beispiel für neue Mikroinstruktion
 - □ Wenn Datenpfad-Register=0: erhöhe IPC um 3
 - Andernfalls wie üblich um 1
 - Einfach durch Schaltnetz zu realisieren!

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 65/82

Bedingte Sprünge



Idee 6.4 (Sprungziel von Registerinhalt anhängig!)

- Neuer Wert für IPC hängt von Zustand ab
 - ☐ Z.B. davon, ob ein Registerinhalt 0 ist
- Einfaches Beispiel für neue Mikroinstruktion
 - ☐ Wenn Datenpfad-Register=0: erhöhe IPC um 3
 - Andernfalls wie üblich um 1
 - Einfach durch Schaltnetz zu realisieren!
- Zusammen mit unbedingten Sprüngen reicht das aus
 - ☐ Komplexere Optionen sind nur Bequemlichkeit

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Programm

Ausführung

Instruktionszähler

Sprünge

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 65/82

Inhaltsverzeichnis



- 1. Transfer
- 2. Transfer und Verarbeitung
- 3. Programmierbare Kontrolle
- 4. Instruktionen
- 5. Zusammenfassung
- 6. Material

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 66/82

Typische Folgen



Im Prinzip könnte man so programmieren: Programm als Folge von Mikroinstruktionen aufschreiben Transfer
Transfer und
Verarbeitung
Programmierbare
Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22

Folie 67/82

Typische Folgen



- Im Prinzip könnte man so programmieren: Programm als Folge von Mikroinstruktionen aufschreiben
- Aber!
 - Sehr nahe an Hardware-Details; niedriges Abstraktionsniveau
 - In typischen Programmen würden sich typische Folgen von typischen Mikroinstruktionen typischerweise häufig wiederholen
 - Die jeweils, Stück für Stück, immer wieder aus Speicher gelesen werden müssten

Transfer
Transfer und
Verarbeitung
Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22

Folie 67/82

Typische Folgen



- Im Prinzip könnte man so programmieren: Programm als Folge von Mikroinstruktionen aufschreiben
- Aber!
 - Sehr nahe an Hardware-Details; niedriges Abstraktionsniveau
 - In typischen Programmen würden sich typische Folgen von typischen Mikroinstruktionen typischerweise häufig wiederholen
 - Die jeweils, Stück für Stück, immer wieder aus Speicher gelesen werden müssten
- Typische Fälle verdienen Sonderbehandlung!
 - □ Gleiche Idee wie bei der Einführung von Mikroinstruktionen

Transfer und Verarbeitung Programmierbare Kontrolle

Instruktionen

Transfer

Zusammenfassung Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22

Folie 67/82

Von Mikroinstruktion zu Instruktion



- Wir identifizieren typische Folgen von Mikroinstruktionen
- Fassen diese zu Instruktionen zusammen
- Und fügen eine weitere Tabelle hinzu: Instruktion \rightarrow Folge von Mikroinstruktionen
- Ähnlich zu Tabelle 6.1
 - Unterschied: Folge von!
 - Auch unterschiedlich lang
- Vorteil: viel weniger Speicherzugriffe um Programm zu lesen

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

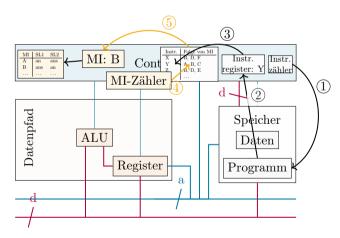
GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22

Folie 68/82

Nötige Änderungen

HPI Hasso Plattner Institut

- Instruktionsregister zusätzlich zum Mikroinstruktionsregister
- Instruktionszähler, Mikroinstruktionszähler
- Tabelle für Instruktion → Folge von Mikroinstruktionen
 - ☐ Typischerweise direkt in Control, nicht im Arbeitsspeicher



Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 69/82

Abbildung 6.24: Control ergänzt um a) Register für Instruktion, b) Tabelle um Instruktionen auf Folge von Mikroinstruktionen abzubilden, c) Mikrokinstruktionszähler

Interpretation einer Folge von Instruktionen



Zweistufiger Interpretationsprozess (vgl. Abb. 6.24):

- 1. Lade Instruktion aus Speicher:
 - a) Adresse der Instruktion in Instruktionszähler (1)
 - Von dieser Adresse Instruktion aus Arbeitsspeicher in Instruktionsregister laden (2)
 - Identifiziere für diese Instruktion Folge der Mikroinstruktionen ③
- 3. Führe diese Folge analog Folie 60 aus: 4, 5
 - a) Setze Mikroinstruktionszähler auf 1
 - b) Hole entsprechende Mikroinstruktion aus Tabelle in Control (und nicht aus Speicher wie auf Folie 60)
 - c) Für aktuelle Mikroinstruktion: Setze Steuerleitungen
 - d) Erhöhe Mikroinstruktionszähler
- 4. Modifiziere IPC (erhöhe um 1 oder berechnet, bestimmt durch Mikroinstruktion)
- 5. Kehre zu Schritt 1 zurück

Transfer Transfer und

Verarbeitung Programmierbare

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

Kontrolle

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22 **Folie 70/82**

Zwei Instruktionszähler?



- Es gibt damit zwei Instruktionszähler!
 - ☐ Ein Zähler für die auszuführende Instruktion
 - Adresse im Arbeitsspeicher
 - □ Ein Zähler für die auszuführende Mikroinstruktion (für diese Instruktion)
 - Zeigt auf eine Stelle in der Liste der Mikroinstruktionen für diese Instruktion
 - Wird für jede neue Instruktion auf 1 zurückgesetzt

Transfer

Transfer und Verarbeitung

Programmierbare Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22

Folie 71/82

Programm



Definition 6.9 (Programm (v2))

- Ein Programm ist eine Liste von Instruktionen
- Die im Speicher abgelegt ist

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 72/82

Und Hochsprachen?



Muster?

- Wir haben zusammengefasst:
 - ☐ Typische Muster von Steuerleitungs-Aktivierungen/Deaktivierungen zu Mikroinstruktionen
 - ☐ Typische Folgen von Mikroinstruktionen zu Instruktionen

Transfer

Transfer und Verarbeitung

Programmierbare Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22

Folie 73/82

Und Hochsprachen?



Muster?

- Wir haben zusammengefasst:
 - ☐ Typische Muster von Steuerleitungs-Aktivierungen/Deaktivierungen zu Mikroinstruktionen
 - □ Typische Folgen von Mikroinstruktionen zu Instruktionen
- Es gibt natürlich typische Folgen von Instruktionen
 - Zusammenfassen?
 - Das heißt dann Hochsprache, z.B. C

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare

Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 73/82

Und Hochsprachen?



Muster?

- Wir haben zusammengefasst:
 - ☐ Typische Muster von Steuerleitungs-Aktivierungen/Deaktivierungen zu Mikroinstruktionen
 - ☐ Typische Folgen von Mikroinstruktionen zu Instruktionen
- Es gibt natürlich typische Folgen von Instruktionen
 - Zusammenfassen?
 - Das heißt dann Hochsprache, z.B. C
- Hilfe: Compiler
 - Bilde Hochsprache auf Folge von Instruktionen ab

Transfer

Transfer und

Verarbeitung

Programmierbare Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 73/82

Inhaltsverzeichnis



- 1. Transfer
- 2. Transfer und Verarbeitung
- 3. Programmierbare Kontrolle
- 4. Instruktionen
- 5. Zusammenfassung
- 6. Material

Transfer
Transfer und
Verarbeitung
Programmierbare
Kontrolle
Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 74/82

Von Hochsprache zu Steuerleitungen



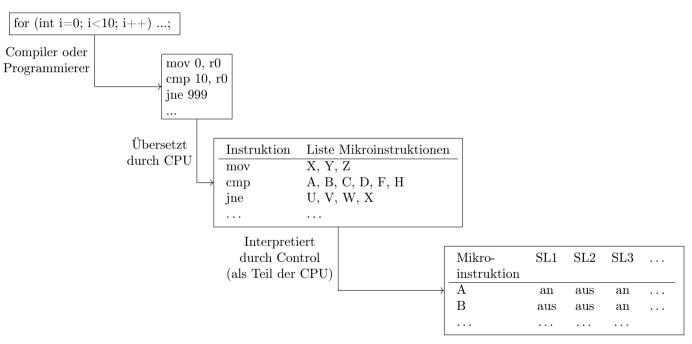


Abbildung 6.25: Von einem Hochsprache-Programm über Maschinensprache-Instruktionen zu Mikroinstruktionen zu Steuerleitungen, vermittelt durch Übersetzung und Interpretation

Transfer
Transfer und
Verarbeitung
Programmierbare
Kontrolle
Instruktionen
Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22

Folie 75/82

Zusammenfassung

HPI Hasso Plattner Institut

- Trennung von Kontrolle und Datenpfad
 - □ Durch Steuersignale verbunden
- Datenpfad gruppiert Verarbeitungsfunktionen
- Control erzeugt Steuersignal und sorgt für korrekten Ablauf: Datentransfer,
 Datenverarbeitung
- Control interpretiert Instruktionen eines Programms
 - Erzeugt entsprechende Steuersignale und bewirkt den Zustandsübergang, den die Instruktion beabsichtigt
- Programme im Speicher sind entscheidender Schritt zur freien Programmierbarkeit
- Sprünge sind einfach zu realisieren wenn man Instruktionszähler als ein beschreibbares Register auffasst

Transfer

Transfer und Verarbeitung

Programmierbare Kontrolle

Instruktionen

Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 76/82

Reality Check



- Mikroinstruktionen in echten Prozessoren deutlich komplizierter
- Z.B. mit expliziter Angabe von Operanden
- Liste von Instruktion \rightarrow Folge von Mikroinstruktionen in modernen Prozessoren veränderbar
 - Z.B. Intel Pentium seit ca. Mitte 1990; seit P6 Mikroarchitektur
 - Erlaubt "hardware bug fixing"; vgl. Pentium FDIV bug
 - ☐ I.d.R. beim Initialisieren des Prozessors
 - ☐ I.g.S. Hardware-Update, z.B. linux_firmware Paket
- Es gibt viele Varianten zu diesen Grundideen; jede konkrete Prozessor-Architektur ist ein wenig anders

Transfer
Transfer und
Verarbeitung
Programmierbare
Kontrolle
Instruktionen
Zusammenfassung

Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 77/82

Inhaltsverzeichnis



- 1. Transfer
- 2. Transfer und Verarbeitung
- 3. Programmierbare Kontrolle
- 4. Instruktionen
- 5. Zusammenfassung
- 6. Material

Transfer
Transfer und
Verarbeitung
Programmierbare
Kontrolle
Instruktionen
Zusammenfassung
Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 78/82

Referenzen I



Transfer

[Ros93] Sheldon M. Ross. *Introduction to Probability Models*. Elsevier, 1993. DOI: 10.1016/c2013-0-11417-1.

Transfer und
Verarbeitung
Programmierbare
Kontrolle
Instruktionen
Zusammenfassung
Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22

Folie 79/82

Abkürzungen I



ALU	Arithmetic-logical unit 42
-----	----------------------------

CPU Central Processing Unit (Verarbeitungseinheit) 66

IPC Instruction Program Counter 69, 99

PC Programm Counter 69, 99

Transfer
Transfer und
Verarbeitung
Programmierbare
Kontrolle

Zusammenfassung

Material

Instruktionen

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22

Folie 80/82

Glossar I



Arithmetisch-logische Einheit Die ALU fasst unterschiedliche Funktionen (im Sinne eines Schaltnetzes) zusammen. Ein Kontrollblock kann unter dieses Funktionen auswählen und dadurch die Berechnung steuern. 42

Compiler Eine Vorrichtung (in Hardware oder Software), die eine Folge von Anweisungen entgegen nimmt und eine semantisch äquivalente Folge von Anweisungen in einem anderen Formalismus (einer anderen Sprache) erzeugt. 88--90

Datenpfad Der Datenpfad gruppiert ALU und Hilfsspeicher, ggf. zur Verbindung benötigte Busse, zu einer strukturellen Einheit. 45

Harvard-Architektur Eine Rechnerarchitektur, bei der Arbeitsspeicher in separaten Speicher für Code und Speicher für Daten aufgeteilt ist. 73

Instruktion Verweis auf eine Folge von Mikroinstruktionen. 83

Transfer
Transfer und
Verarbeitung
Programmierbare
Kontrolle
Instruktionen
Zusammenfassung
Material

GDS 6: Register-Transfer

H. Karl, WS 21/22

Folie 81/82

Glossar II



Instruktionszähler Der Instruktionszähler ist ein Register des Kontrollblocks. Er verweist auf die aktuell auszuführende (Mikro-)Instruktion. Wird oft abgekürzt als PC oder IPC. 69

Interpreter Eine Vorrichtung (in Hardware oder Software), die einen Anfangszustand und eine Folge von Anweisungen entgegennimmt, aus einem Zustand und einer Anweisung den Folgezustand bestimmt, und durch schrittweise Anwendung der Anweisungsfolge eine Folge von Zuständen produziert. 63--65

Mikroinstruktionen Textuelle Darstellung der Zustandsübergangsfunktion und Ausgabefunktion eines endlichen Automaten, der zur Kontrolle von Datenfluss und Verarbeitung genutzt wird. 17

von Neumann-Architektur Eine Rechnerarchitektur, in der Arbeitsspeicher beliebig für Code oder Daten benutzt werden kann. 73

Transfer
Transfer und
Verarbeitung
Programmierbare
Kontrolle
Instruktionen
Zusammenfassung
Material

GDS 6: Register-Transfer H. Karl, WS 21/22 Folie 82/82