Kapitel 1 – Grundlagen

1. Mathematische Grundlagen
2. **Beispielrechner ReTI**

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Dr. Tobias Schubert, Dr. Ralf Wimmer

Professur für Rechnerarchitektur

WS 2016/17

UNI FREIBURG

ReTI (Rechner Technische Informatik)

- Ursprünglich eingeführt in [*Keller*, *Paul*] unter dem Namen ReSa.
- Hier wird ReTI zunächst abstrakt eingeführt.
  - Alle Speicher bestehen aus unendlich vielen Speicherzellen, die beliebig große ganze Zahlen aufnehmen können.
- Später wird die tatsächliche Implementierung von ReTI unter realistischen Annahmen thematisiert.

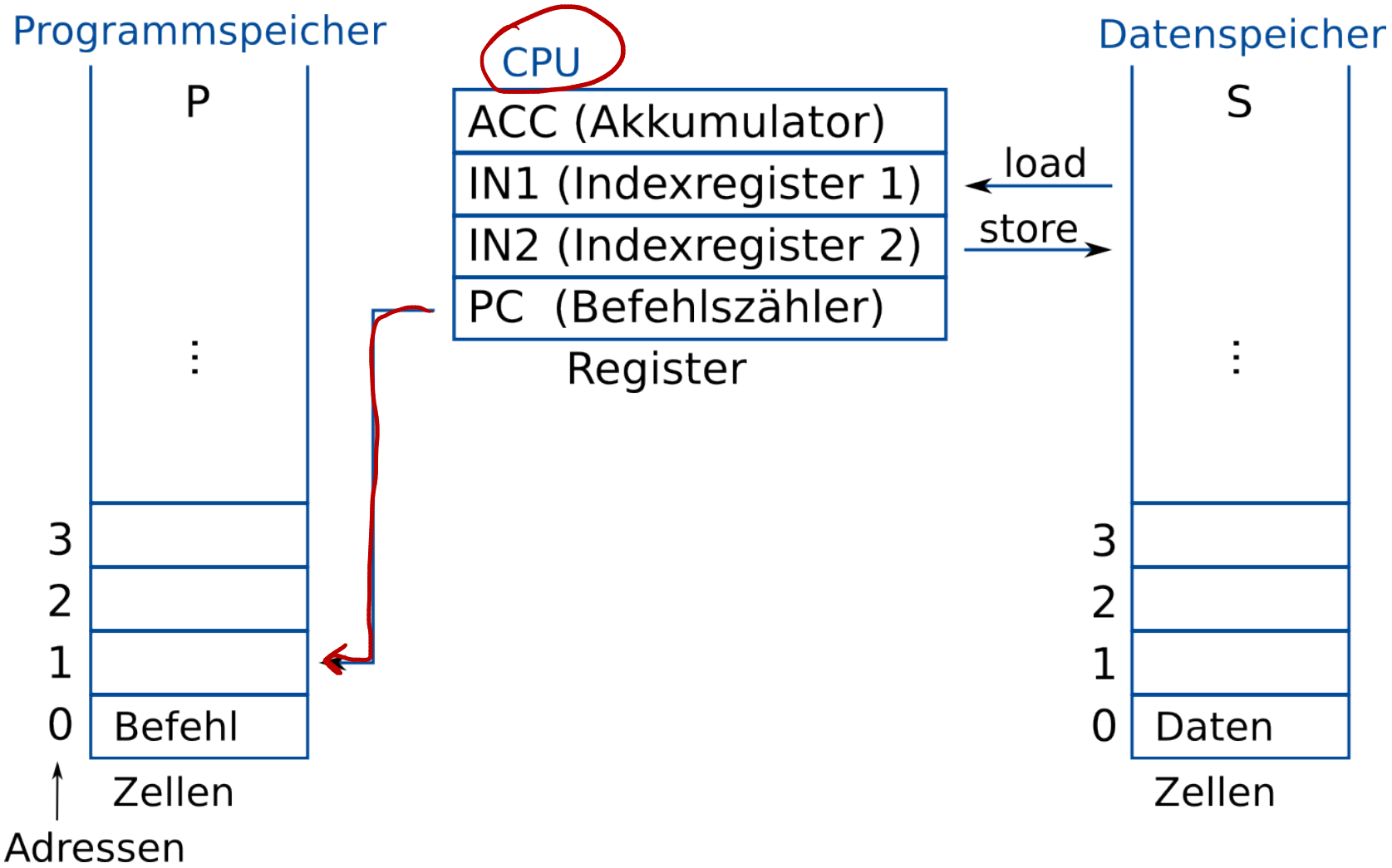
Abstrakte ReTI-Maschine

Harvard-Architektur
- getrennter Prg-/Datenspeicher

von Neumann:
gemeinsamer Prg.-/Datensp.

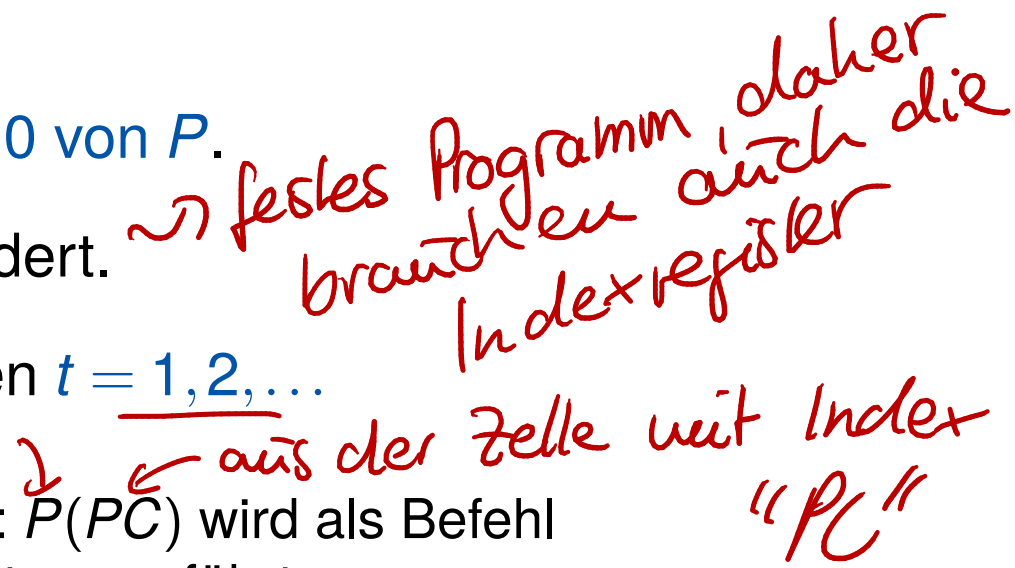
- Zwei unendlich große Speicher
  - Datenspeicher S für Daten (beliebig große Zahlen).
  - $S(i) =$ Inhalt von Zelle i des Datenspeichers, $i \in N$ Adresse.
  - Programmspeicher P für Maschinenbefehle.
  - Lade-/Speicher-, Rechen-, Sprungbefehle - siehe später.
  - $P(i) =$ Inhalt von Zelle i des Programmspeichers.
- Zentraleinheit CPU (Central Processing Unit)
  - Vier für Benutzer sichtbare Register.
  - $PC =$ Befehlszähler (Program Counter).
  - $ACC =$ Akkumulator.
  - $IN1$, $IN2 =$ Indexregister 1 und 2.

Aufbau von ReTI



Programmablauf

- Programme bzw. Daten stehen beim Start der Maschine in P bzw. S.
- Programm beginnt bei Zelle 0 von P.
- Inhalt von P wird nicht geändert.
- Maschine arbeitet in Schritten $t = 1, 2, \ldots$
  In jedem Schritt t:
  - Ausführung eines Befehls: $P(PC)$ wird als Befehl interpretiert und in Schritt t ausgeführt.
  - PC erhält neuen Wert (abhängig von Befehl).
- Bei Programmstart ist $PC = 0$.



ReTI-Befehle und ihre Wirkung

- Load/Store: Laden von Werten aus dem Datenspeicher *S* bzw. Schreiben von Werten in *S*.
- Compute: Berechnungen (hier zunächst Addition und Subtraktion).
  - Mit Werten im Datenspeicher *S*.
  - Mit Absolutwerten (Immediate).
- Indexregister: Indirekte Speicheradressierung (siehe unten).
- Sprungbefehle: Bedingte und unbedingte Sprünge.

ACC := ACC + S(i)

ACC := ACC + i

– if-Anweisungen
– Schleifen realisieren zu können.

Load/Store

Transport von Daten zwischen *ACC* und Datenspeicher.

- LOAD *i*:
  Lädt Inhalt *S*(*i*) von Speicherzelle *i* in Akkumulator *ACC*
  und erhöht *PC* um 1.

- STORE *i*:
  Speichert den Inhalt von *ACC* in *S*(*i*) und erhöht *PC* um 1.

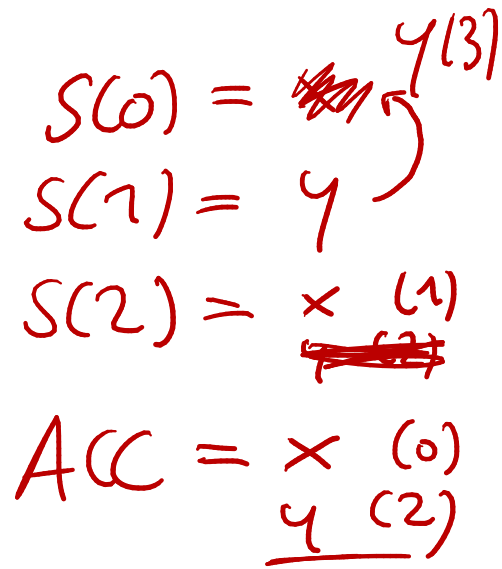
Load/Store: Übersicht

Befehl	Wirkung
LOAD i	$ACC := S(i)$ $PC := PC + 1$
STORE i	$S(i) := ACC$ $PC := PC + 1$

Beispielprogramm

Ein Programm, das Inhalte von Speicherzelle $S(0)$ $(= x)$ und $S(1)$ $(= y)$ vertauscht.

0	LOAD 0;	$ACC := S(0) = x$
1	STORE 2;	$S(2) := ACC = x$
2	LOAD 1;	$ACC := S(1) = y$
3	STORE 0;	$S(0) := ACC = y$
4	LOAD 2;	$ACC := S(2) = x$
5	STORE 1;	$S(1) := ACC = x$



Compute-Befehle

Verknüpfe den Inhalt von *ACC* mit $S(i)$ oder mit einer Konstante und speichere das Ergebnis in *ACC* ab.

- *ADD*, *SUB* = Compute *memory*-Befehle
- *ADDI*, *SUBI* = Compute *immediate*-Befehle
- Beides zusammen ergibt die Compute-Befehle.

Bei Compute memory: Interpretiere Parameter i direkt als Speicheradresse.

Befehl	Wirkung
ADD i	$ACC := ACC + S(i) \quad PC := PC + 1$
SUB i	$ACC := ACC - S(i) \quad PC := PC + 1$

Immediate-Befehle

Interpretiere Parameter i direkt als Konstante.

Befehl	Wirkung	
LOADI i	$ACC := i$	$PC := PC + 1$
ADDI i	$ACC := ACC + i$	$PC := PC + 1$
SUBI i	$ACC := ACC - i$	$PC := PC + 1$

- Anmerkung: ADDI und SUBI sind Compute Befehle. LOADI ist den Load-/Store-Befehlen zuzuordnen.

Indexregister-Befehle

Befehl	Wirkung	
LOADINj i	$ACC := S(INj + i)$	$PC := PC + 1$
	$(j \in \{1,2\})$	
STOREINj i	$S(INj + i) := ACC$	$PC := PC + 1$
	$(j \in \{1,2\})$	
MOVE S D	$D := S$	$PC := PC + 1$
	$(D \in \{ACC, IN1, IN2\},$	
	$S \in \{ACC, IN1, IN2, PC\})$	
MOVE S PC	$PC := S$	
	$(S \in \{ACC, IN1, IN2\})$	

Source Destination

Unterscheidung, ob D = PC ist oder nicht!

Beispielprogramm für Indexregister-Befehle

$S(0) = x$, $S(1) = y$
Kopiere y in Zelle $S(x)$:

0	LOAD 0;	$ACC := S(0) = x$
1	MOVE *ACC IN*1;	$IN1 := ACC = x$
2	LOAD 1;	$ACC := S(1) = y$
3	STOREIN1 0;	$S(x) = S(IN1 + 0) := ACC = y$

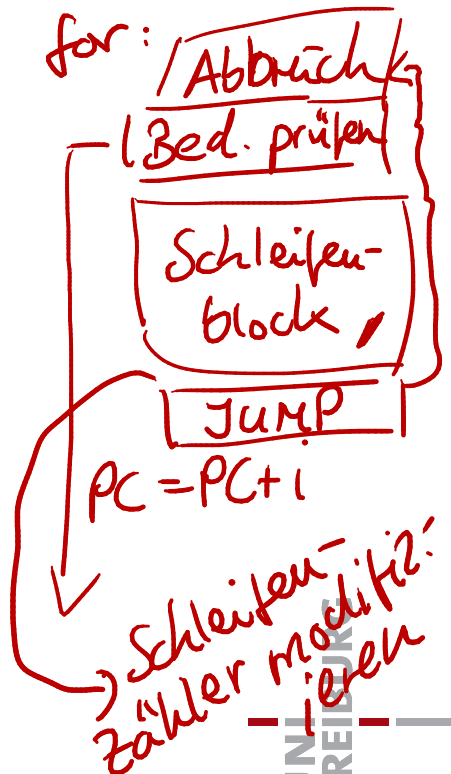
$S(x) = y$

Sprung-Befehle

Manipulation des Befehlszählers.

- JUMP für *unbedingte* Sprünge,
- JUMP_c mit $c \in \{<, =, >, \leq, \neq, \geq\}$ für *bedingte* Sprünge.
- Mit bedingten Sprüngen kann man *Programmschleifen* und *bedingte Anweisungen* realisieren!

Befehl	Wirkung
JUMP i	$PC := PC + i \quad (i \in \mathbb{Z})$
$\text{JUMP}_c\ i$	$PC := \begin{cases} PC + i, & \text{falls } ACC\ c\ 0 \\ PC + 1, & \text{sonst} \end{cases}$ $(i \in \mathbb{Z}, c \in \{<, =, >, \leq, \neq, \geq\})$



Beispielprogramm

$S(0) = x;\ S(1) = y,\ y \geq 0$

0	LOADI 0;	$ACC := 0$
1	STORE 2;	$S(2) := 0$
2	LOAD 1;	$ACC := S(1)$
3	SUBI 1;	$ACC := ACC - 1$
4	STORE 1;	$S(1) := ACC$
5	JUMP ≤ 5;	$PC := PC + 5$, falls $ACC < 0$
6	LOAD 2;	$ACC := S(2)$
7	ADD 0;	$ACC := ACC + S(0)$
8	STORE 2;	$S(2) := ACC$
9	JUMP -7;	$PC := PC - 7$

Zusammenfassung

- Mathematik erlaubt es uns, reale Zusammenhänge formal zu fassen und allgemeingültige Folgerungen aus ihnen herzuleiten.
- Rechner ReTI wird uns im weiteren Verlauf der Vorlesung als Illustrator und Anwendungsbeispiel für die vorgestellten Konzepte dienen.