Karlsruher Institut für Technologie

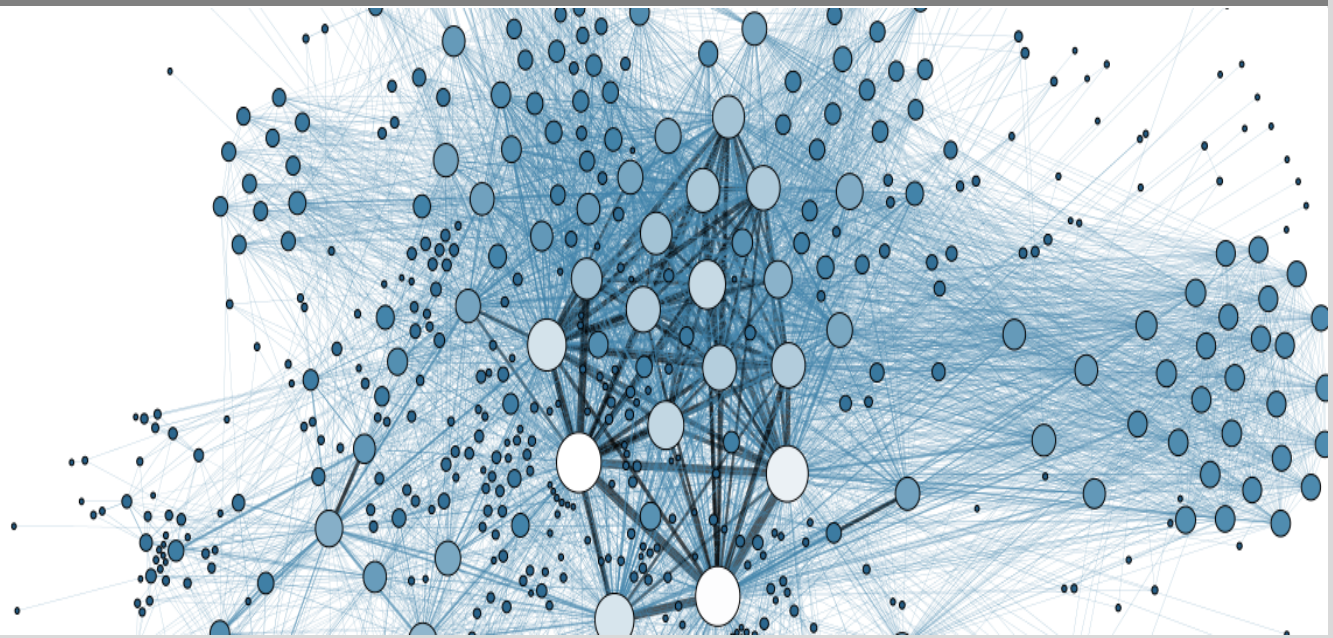
Software Design and Quality

GBI

Tutorium 2^5

Speicher, MIMA, Maschinenbefehle

Jan Zwerschke upezu@student.kit.edu | 27.11.2019



Häufige Fehler

- Reguläre Ausdrücke:
- Nur $\{$, $\}$, (,), $*$, $\cup$ und $\cdot$ dürfen verwendet werden
- $\{a\} \cdot \{b\} = \{ab\}$
- Unterschied zwischen $\{a\} * \cup \{b\} *$ und $\{a\} * \cdot \{b\} *$
- Keine äußeren Klammern
- Berechnungen mit Num, Repr haben keinen Rechenweg verlangt
- $|\varepsilon| < 8$

Speicher

- Ein **Bit** ist Zeichen aus $A = \{0, 1\}$
- Ein **Byte** ist ein Wort aus acht Bits
- Abkürzungen
  - Für Bit: `bit`
  - Für Byte: `B`

Präfixe

Dezimal

10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}
1000^{-1}	1000^{-2}	1000^{-3}	1000^{-4}	1000^{-5}	1000^{-6}
milli	mikro	nano	pico	femto	atto
m	μ	n	p	f	a
10^{3}	10^{6}	10^{9}	10^{12}	10^{15}	10^{18}
1000^{1}	1000^{2}	1000^{3}	1000^{4}	1000^{5}	1000^{6}
kilo	mega	giga	tera	peta	exa
k	M	G	T	P	E

Binär

2^{10}	2^{20}	2^{30}	2^{40}	2^{50}	2^{60}
1024^{1}	1024^{2}	1024^{3}	1024^{4}	1024^{5}	1024^{6}
kibi	mebi	gibi	tebi	pebi	exbi
Ki	Mi	Gi	Ti	Pi	Ei

Gesamtzustand eines Speichers

Zu jedem Zeitpunkt ist

- für jede **Adresse** festgelegt, welcher **Wert** dort ist
- beides meist Bitfolgen

Vorstellung: Tabelle mit zwei Spalten

Adresse	**Wert**
Adresse 1	Wert 1
Adresse 2	Wert 2
Adresse 3	Wert 3
...	...
Adresse n	Wert n

Zustand eines Speichers – formal

Definition des Speicherzustandes

Sei *Adr* die Menge aller Adressen und *Val* die Menge aller Werte. Dann ist

$$m : Adr \to Val$$

der aktuelle Zustand des Speichers. Dabei ist $m(a)$ der aktuelle Wert an der Adresse a.

Lesen und Speichern

Mem

Menge aller möglichen Speicherzustände, also Menge aller Abbildungen von *Adr* nach *Val*

$$Mem := Val^{Adr}$$

Anmerkung: Für zwei Mengen A, B gilt: $A^B := \{f : B \to A\}$.

memread

$$memread : Mem \times Adr \to Val \text{ mit } (m, a) \mapsto m(a)$$

memwrite

$memwrite : Mem \times Adr \times Val \to Mem$ mit $(m, a, v) \mapsto m'$
Für m' wird folgendes gefordert:

$$m'(a') := \begin{cases} v & \text{falls } a' = a \\ m(a') & \text{falls } a' \neq a \end{cases}$$

Eigenschaften von *memread* und *memwrite*

Eigenschaften (“Invarianten”)

Sei $(m, a, a', v) \in Mem \times Adr \times Adr \times Val$ und $a \neq a'$:

- $memread(memwrite(m, a, v), a) = v$ (Also: An a einen Wert v zu schreiben und danach bei a zu lesen gibt den Wert v zurück $\Rightarrow$ Konsistente Datenhaltung)
- $memread(memwrite(m, a', v), a) = memread(m, a)$, wenn (Also: Auslesen einer Speicherstelle ist unabhängig davon, was vorher an eine andere Adresse geschrieben wurde $\Rightarrow$ Unabhängige Datenhaltung)

Aufgaben

Aktueller Speicherzustand:

Adresse	Wert
00000	01110
00001	00100
00010	00111
00011	00000
...	...

Was ist?

- $memread(memwrite(m, memread(m, 00011), 01010), 00000)$

$\rightarrow$ 01010

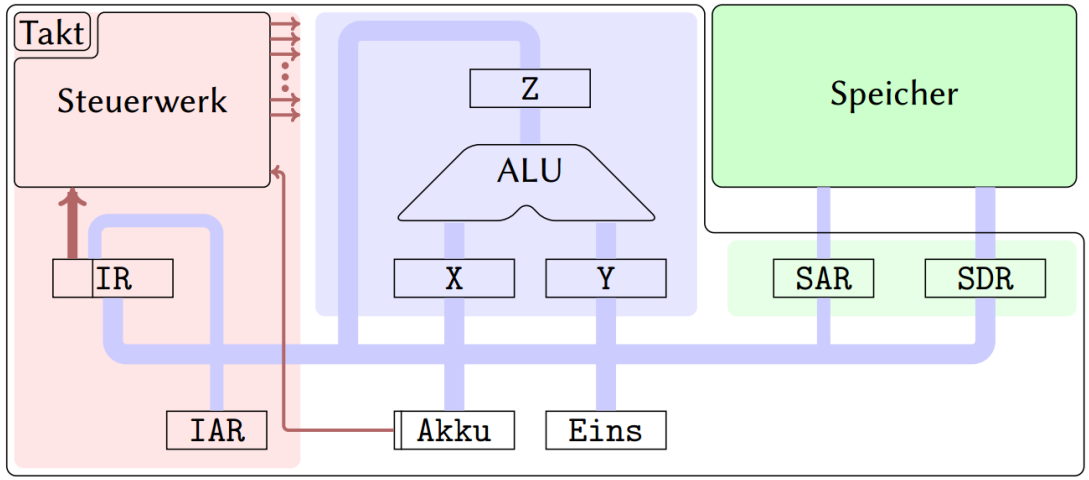
Was ist die MIMA?

- Theoretischer, idealisierter Prozessor
- Funktioniert wie ein echter Prozessor, ist aber simpler
- Nah an Technischer Informatik

Grundaufbau:

- Adressen als 20*bit* Datenwort
- Speicherworte als 24*bit* Datenwort
- Maschinenbefehle als...
  - 4*bit* Befehl und 20*bit* Adresse
  - oder 8*bit* Befehl und unwichtigem Rest

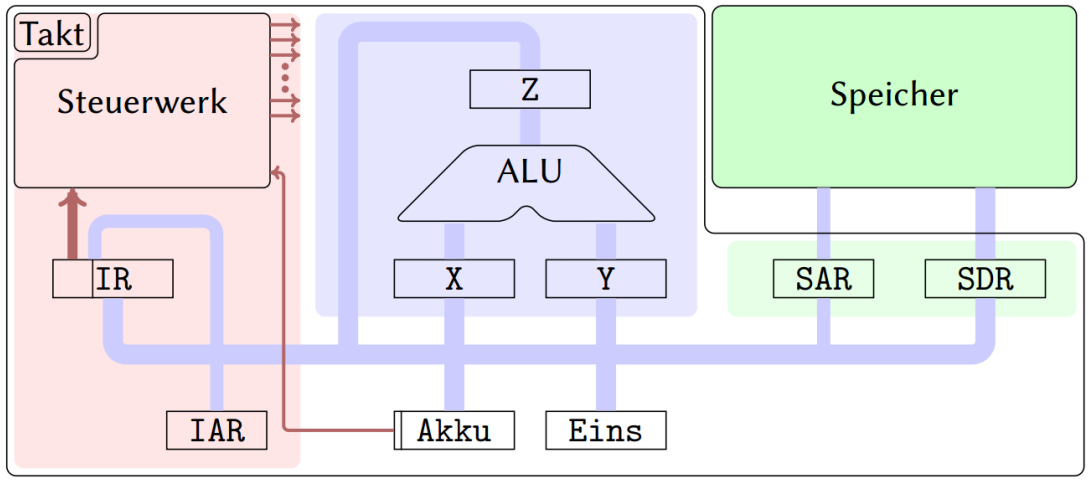
Aufbau der MIMA: Steuerwerk



Steuerwerk

- Instruction Register (IR) enthält den nächsten auszuführenden Befehl
- Instruction Adress Register (IAR) enthält die Adresse des nächsten Befehls
- Takt bestimmt die “Tickrate”, also die Geschwindigkeit
- Steuerwerk interpretiert alle Befehle und führt sie aus
- Welche Befehle es gibt: Siehe später

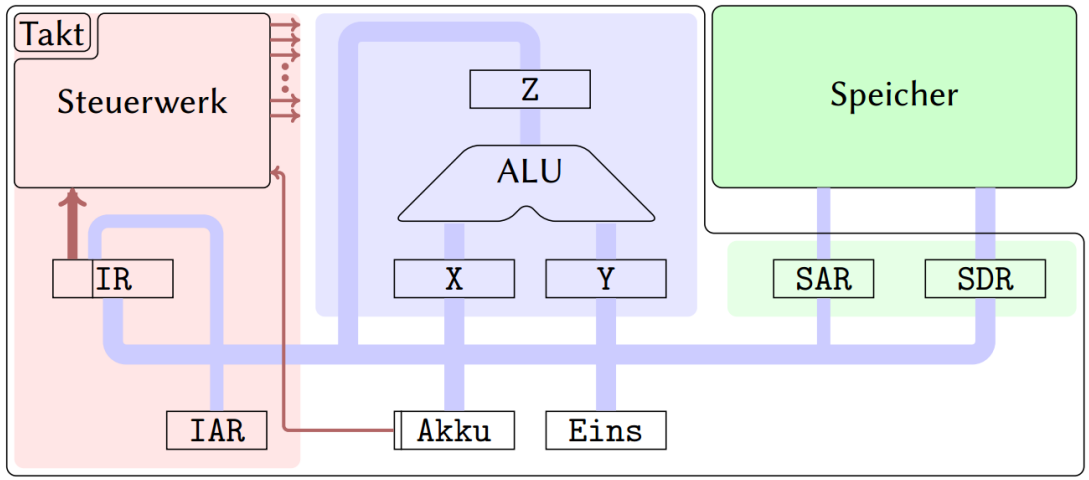
Aufbau der MIMA: Akku und Eins



Akku und Eins

- Akku dient als Zwischenspeicher für Datenworte
- Hält maximal ein Wort
- Eins liefert die Konstante 1, hält also Strom
- z.B. erhöhen des IAR

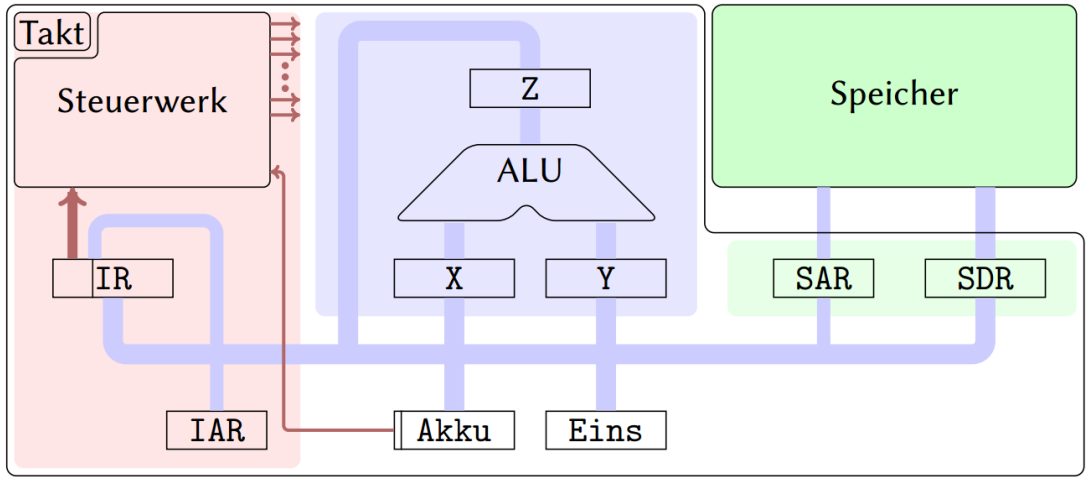
Aufbau der MIMA: ALU



Arithmetic Logic Unit (ALU) / Rechenwerk

- Durchführt arithmetische Operationen
- **mod** , **div** , $+$, $-$, ..., bitweises OR/AND/...
- X und Y sind Eingaberegister
- Z ist Ausgaberegister

Aufbau der MIMA: ALU

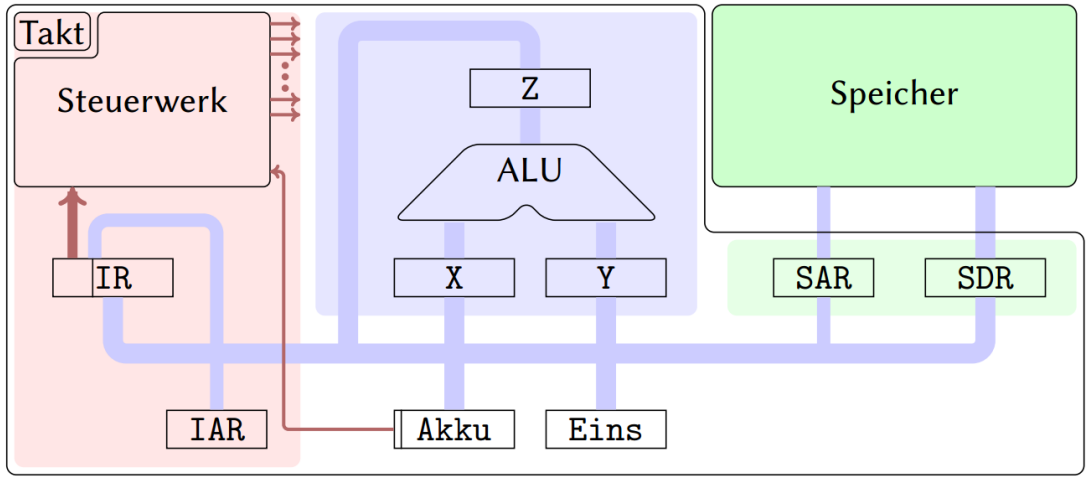


Speicher(werk)

Speicher selbst speichert Befehle und Daten. Speicherwerk besteht aus:

- Speicheradressregister (SAR) ist die Adresse, bei der im Speicher gespeichert/gelesen werden soll
- Speicherdatenregister (SDR) Datum, das bei der Adresse gespeichert werden soll/ gelesen wurde.

Aufbau der MIMA: ALU



Busse

- “Kabel” zwischen den Verbindungen
- Ein kompletter Bus überträgt entweder 1, 0, oder nichts
- Kann nur eine einzige Information auf einmal übertragen

Konventionen zu MIMA Programmen

Um MIMA Programme und dazugehörige Definitionen verständlicher zu machen, vereinbaren wir folgende Konventionen:

- Befehle (eigentlich Bitfolge) schreiben wir als Befehlname und Adresse
  - $00100000000000000000101010 \equiv STV\ 42$
- $X \leftarrow Y \equiv$ “Der Variable X wird der Wert Y zugewiesen”

MIMA Befehle

Eine MIMA-Maschine beherrscht folgende Maschinenbefehle:

Befehlssyntax	Formel	Bedeutung
LDC const	$Akku \leftarrow const$	Lade eine Konstate *const* in den Akku
LDV adr	$Akku \leftarrow M(adr)$	Lade einen Wert vom Speicher bei Adresse *adr* in den Akku
STV adr	$M(adr) \leftarrow Akku$	Speichere den Wert aus dem Akku im Speicher bei Adresse *adr*
LDIV adr	$Akku \leftarrow M(M(adr))$	Lade einen Wert vom Speicher bei der Adresse, die bei *adr* gespeichert ist, und lade den Wert in den Akku
STIV adr	$M(M(adr)) \leftarrow Akku$	Speichere den Wert im Akku bei der Adresse, die in *adr* gespeichert ist.

MIMA Befehle (2)

Eine MIMA-Maschine beherrscht folgende Maschinenbefehle:

Befehlssyntax	Formel	Bedeutung
ADD adr	$Akku \leftarrow Akku + M(adr)$	Addiere den Wert bei *adr* zum Akku dazu.
AND/*OR*/*XOR adr*	$Akku \leftarrow Akku \diamond M(adr)$	Wende bitweise Operation $\diamond$ auf Akku mit Wert bei *adr* an.

MIMA Befehle (3)

Eine MIMA-Maschine beherrscht folgende Maschinenbefehle:

Befehlssyntax	Bedeutung
NOT	Bitweise Invertierung aller Bits des Akku-Datenwortes
RAR	Rotiere alle Akku-Bits eins nach rechts
EQL adr	Setze Akku auf $11\cdots11$, falls Wert bei *adr* gleich Akku-Wert, sonst setze Akku auf $00\cdots00$.
JMP adr	Springe zu Befehlsadresse *adr*
JMN adr	Springe zu Befehlsadresse *adr*, falls Akku negativ (also erstes Bit $= 1$), sonst fahre normal fort.

MIMA Befehle: Sichern und Laden

- Befehle zum laden und Speichern in den Speicher
- LDV um Daten vom Speicher zu laden, STV um Daten in den Speicher zu schreiben
- LDC um eine Konstante zu laden
- Daten werden in einem Zwischenspeicher gelagert, der nur ein Datenwort hält: Akku.

Beispiele:

- *LDV* 9 lädt das Datum, das im Speicher bei Adresse 9 liegt, in den Akku.
- *STV* 9 speichert das Datum, das im Akku liegt, in den Speicher an Adresse 9.
- *LDC* 4 lädt die Zahl 4 in den Akku (also kein Speicherzugriff).

MIMA Befehle: Sichern und Laden

Beispielprogramm (1)

```
LDC 5
STV a1
LDC 7
STV a2
LDV a1
STV a3
HALT
```

Adresse	Wert
a_1	0
a_2	0
a_3	0

MIMA Befehle: Sichern und Laden

Beispielprogramm (1)

```
LDC 5
STV a1
LDC 7
STV a2
LDV a1
STV a3
HALT
```

Adresse	Wert
a_1	0
a_2	0
a_3	0

$\rightarrow$

Adresse	Wert
a_1	5
a_2	7
a_3	5

MIMA Befehle: Indirekte Operationen

Beispielprogramm (2)

```
LDIV 4
STV 5
LDIV 5
STIV 4
HALT
```

Adresse	Wert
4	6
5	0
6	7
7	2

MIMA Befehle: Indirekte Operationen

Beispielprogramm (2)

```
LDIV 4
STV 5
LDIV 5
STIV 4
HALT
```

Adresse	Wert
4	6
5	0
6	7
7	2

$\rightarrow$

Adresse	Wert
4	6
5	7
6	2
7	2

MIMA Befehle: Eins plus Eins

- Befehle zu arithmetischen Operationen
- Eine ALU-Operation, angewandt auf dem Wert des Akkus und dem Wert an gegebener Adresse
- Beispiele:
  - *ADD* 4 addiert den Wert im Akku mit dem Wert aus dem Speicher an Adresse 4 und legt das Resultat im Akku ab. Achtung: Addition nicht mit dem Wert 4!
  - *AND* 3 führt bitweise Verundung zwischen dem Wert im Akku und dem Wert aus dem Speicher an Adresse 4 durch und legt das Resultat im Akku ab.

MIMA Befehle: Eins plus Eins

Befehlssyntax	Formel	Bedeutung
ADD adr	$Akku \leftarrow Akku + M(adr)$	Addiere den Wert bei *adr* zum Akku dazu.
"*OP*" *adr*	$Akku$ "*OP*" $M(adr)$	Wende bitweise Operation auf Akku mit Wert bei *adr* an. $Op \in \{AND, OR, XOR\}$.

Beispielprogramm (3)

```
LDC 5
ADD 3
AND 4
STV 5
LDC 12
XOR 5
HALT
```

Adresse	Wert
3	3
4	8
5	17

MIMA Befehle: Eins plus Eins

Befehlssyntax	Formel	Bedeutung
ADD adr	$Akku \leftarrow Akku + M(adr)$	Addiere den Wert bei *adr* zum Akku dazu.
"*OP*" *adr*	$Akku$ "*OP*" $M(adr)$	Wende bitweise Operation auf Akku mit Wert bei *adr* an. $Op \in \{AND, OR, XOR\}$.

Beispielprogramm (3)

```
LDC 5
ADD 3
AND 4
STV 5
LDC 12
XOR 5
HALT
```

Adresse	Wert
3	3
4	8
5	17

Akku
=
8
$\rightarrow$

Adresse	Wert
3	3
4	8
5	8

MIMA Befehle: Bits und Bytes

- *NOT* invertiert alle Bits des Datums im Akku. Beispiel *NOT* mit 5 im Akku, angenommen der Akku speichert bis zu 8 bits:
  $5_{10} = 00000101_2$, nach der Invertierung: 11111010_2.
- *RAR* rotiert alle Bits des Datums im Akku um eine Stelle nach rechts. Beispiel mit 5 im Akku: $00000\mathbf{101}_2$ wird zu $\mathbf{1}0000\mathbf{10}_2$.
- *EQL adr* vergleicht den Wert im Akku mit dem Wert bei *addr*.
  - Setzt Akku $= 11 \cdots 11$ falls Werte gleich sind.
  - Setzt Akku $= 00 \cdots 00$ falls Werte nicht gleich sind.

MIMA Befehle: Bits und Bytes

Befehlssyntax	Bedeutung
NOT	Bitweise Invertierung aller Bits des Akku-Datenwortes
RAR	Rotiere alle Akku-Bits eins nach rechts
EQL adr	Setze Akku auf $11\cdots11$, falls Wert bei *adr* gleich Akku-Wert, setze Akku auf $00\cdots00$ sonst.

Beispielprogramm mit initialem Speicherabbild

```
LDC 5
NOT
RAR
NOT
RAR
⋮
```

```
⋮
RAR
EQL 15
EQL 0
HALT
```

MIMA Befehle: Springen

- Normalerweise wird die Instruktionsadresse nach jedem Befehl um eins erhöht
- Also Befehle werden von oben nach unten abgearbeitet
- Mit Sprüngen kann man die MIMA zwingen, zu definierten Befehlen zu springen und damit die Vorgehensreihenfolge zu beeinflussen

- *JMP adr* führt als nächsten Befehl den an Adresse *adr* aus.
- *JMN adr* führt als nächsten Befehl den an Adresse *adr* aus, **falls der Akku negativ ist**.
  - Also wenn das erste Bit im Akku negativ ist.
  - Wenn vorher ein *EQL* erfolgreich verglichen hat, wird also gesprungen.
  - Wenn der Akku positiv ist, werden die Befehle nach *JMN* normal weiter abgearbeitet.

MIMA Befehle: Springen

Befehlssyntax	Bedeutung
EQL adr	Setze Akku auf $11\cdots11$, falls Wert bei *adr* gleich Akku-Wert, setze Akku auf $00\cdots00$ sonst.
JMP adr	Springe zu Befehlsadresse *adr*
JMN adr	Springe zu Befehlsadresse *adr*, falls Akku negativ (also erstes Bit $= 1$), sonst fahre normal fort.

Beispielprogramm mit initialem Speicherabbild

```
        LDC 5
a1 :    JMN a2
        EQL 1
        JMN a1
        ⋮

        ⋮
        NOT
a2 :    JMP a3
        NOT
a3 :    HALT
```

Adresse	Wert
1	5

Aufgaben

Aufgabe: MIMA-Programm schreiben

Schreibe ein MIMA-Programm:

- Eingabe: Adresse a_1 einer positiven Zahl x.
- Ausgabe: Speichert $3 \cdot x$ in a_1.

Lösung:

LDV a_1
ADD a_1
ADD a_1
STV a_1
HALT

Aufgaben

Aufgabe: MIMA-Programm schreiben

Schreibe ein MIMA-Programm:

- Eingabe: Adresse a_1 einer positiven Zahl x.
- Ausgabe: Speichert x **mod** 2 in a_1.

Lösung:

LDC 1 // 000000000000000000000001

AND a_1

STV a_1

HALT

Aufgaben

Aufgabe: MIMA-Programm schreiben

Schreibe ein MIMA-Programm:

- Eingabe: Adresse a_1 einer positiven Zahl x.
- Ausgabe: Speichert x **div** 2 in a_1.

Lösung:

```
LDC 1
NOT
AND a1     // Setze “rechtestes” Bit auf 0
RAR
STV a1
HALT
```


That's all Folks!