Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften

zh aw School of Engineering

Modul Informatik-II
Kurs Informatik-3: Teil-3

www.engineering.zhaw.ch/de/engineering/studium/bachelor/informatik/studium-zurich.html

Prof. Dr. Olaf Stern
Leiter Studiengang Informatik
+41 58 934 82 51
olaf.stern@zhaw.ch

Lernziele: (Allgemein)

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
zh aw School of Engineering

- **Die Studierenden kennen die *grundlegende Architektur von Rechnern* und die wichtigsten *Architekturelemente*.**
- **Sie sind vertraut mit der *elementaren Arbeitsweise eines Computers* und der *hardwarenahen Programmierung*. Sie können diese an einfachen Beispiel erläutern.**
- **Die Studierenden kennen die grundsätzlichen Aufgaben eines *Betriebssystems*. Sie können die *typischen* Verfahren und *Algorithmen*, die bei der *Entwicklung* von *Betriebssystemen* zur Anwendung gelangen, beschreiben.**

Lernziele: (Allgemein)

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
zh aw School of Engineering

- **Die Kurse der Module Informatik I und Informatik II (der Modulgruppen "Grundlagen der Informatik I+II") vermitteln den Studierenden die *Grundlagen der Informatik, die jede / jeder Studierende unabhängig von der Wahl der Wahlpflichtmodule im Fachstudium erlangen sollte*.**
- **Die vermittelten Grundlagen *werden in den Modulen im Fachstudium vorausgesetzt*.**

Lernziele: Spezifisch Teil-3

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
School of Engineering

- **Die Studierenden kennen die grundlegenden Arten und den Aufbau von *Befehlen* für einen Computer.**
- **Sie können den Unterschied zwischen *direkter* und *indirekter Adressierung* erläutern.**
- **Sie sind vertraut mit dem Ansatz der Programmierung mit Hilfe von *mnemonischen Symbolen*, die auch in der Programmiersprache *Assembler* genutzt werden, wie auch mit *Maschinen-Code*.**
- **Sie können an Beispielen einfache *Programme* schreiben und kennen die *elementaren Programmkonstrukte* wie *bedingte* und *unbedingte Verzweigungen*, *Schleifen* und *Unterprogramme*.**

Themenüberblick Teil-3

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
School of Engineering

Technische Informatik / Rechnerarchitektur

- Einführung / Übersicht
- Grundlegende Rechnerarchitektur
- Prozessoren
- **Befehle – die „Wörter“ des Rechners**
  - **Aufbau und Arten**
  - **Direkte und indirekte Adressierung**
  - **Assembler-Sprache / mnemonische Symbole**
  - **Programm-Konstrukte: Einfache Operationen, Schleifen, Unterprogramme**
- **„Mini-Power-PC“ - Prozessormodell**
- Speicher
- „Mini-Power-PC“ (Fortsetzung)

Lerninhalte Teil-3

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
School of Engineering

- **Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners**
  - **Einführung / Motivation – Was ist ein Befehl?**
  - **Aufbau / Arten**
  - **Direkte und indirekte Adressierung**
  - **Verzweigungen und Unterprogramme**
  - **Assembler-Sprache / *mnemonische Symbole* (*Mnemonics*)**
  - **Einfaches Prozessormodel mit Befehlssatz**
  - **Beispielprogramme**
    - Einfache Addition
    - Schleifen - Summenbildung

Lerninhalte Teil-3

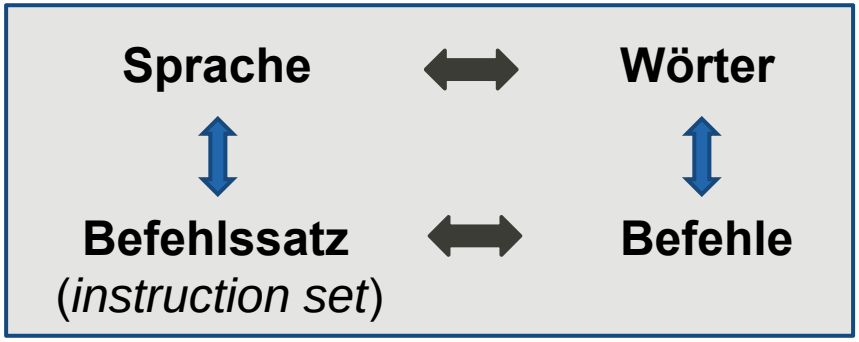
Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften
zh aw School of Engineering

- **Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners**
  - **Maschinen-Code**
    - Beispiel – vereinfachter Befehlssatz
    - Programmbeispiele

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Einführung / Motivation

- **Was ist ein *Befehl*?**
- **Was ist ein *Befehlssatz* (*instruction set*)?**



- **Mit Hilfe von *Befehlen* wird ein *Rechner gesteuert*!**

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Einführung / Motivation

- **Was ist ein *Befehl*?**
  - **Rechner soll *arithmetisch-logische Funktionen* berechnen:**

    => ***Arithmetische Funktionen*** sind i. d. R. ***1*- oder *2*-stellige mathematische Grundfunktionen**

    Beispiele: ***Addition*** und ***Subtraktion***

    Beispiel: *s* = *a* + *b*

    Zahl *a* mit **Zahl *b* addieren** und **Ergebnis** (Summe) in ***s*** schreiben.

Einführung / Motivation

- **Was ist ein *Befehl*?**
  - **Rechner soll *arithmetisch-logische Funktionen* berechnen:**

    => ***Logische Funktionen*** sind i. d. R. ***1*-** **oder *2*-stellige boolesche Funktionen**

    Beispiele: ***ODER*** und ***OR***

    Beispiel: *w* = *u* OR *v*

    Zeichenreihe *u* mit **Zeichenreihe *v*** (bitweise) ***ODER*-verknüpfen** und **Ergebnis** in ***w*** schreiben.

Aufbau / Arten

- **Schematischer Aufbau**
  - **Ein *Befehl* setzt sich aus dem *Operationscode* (*OP-Code*), ggf. *Optionen* und den *Operanden* zusammen:**

    => „*Was wird (wie) mit wem gemacht*“.

  - **Dabei ist für die *Befehle* eines Rechners (Prozessors) festgelegt, an welcher Stelle der *OP-Code* steht und an welcher Stelle in welcher Reihenfolge die *Operanden*.**

Typischer Aufbau eines *Befehls*:

OP-Code, (Option), Operand-1, Operand-2, (Operand-3)

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Aufbau / Arten

- **Schematischer Aufbau**
  - **Ein *Befehl* setzt sich aus dem *Operationscode* (*OP-Code*), ggf. *Optionen* und den *Operanden* zusammen:**

    => „*Was wird (wie) mit wem gemacht*“.

  - **Dabei ist für die *Befehle* eines Rechners (Prozessors) festgelegt, an welcher Stelle der *OP-Code* steht und an welcher Stelle in welcher Reihenfolge die *Operanden*.**

Typischer Aufbau eines *Befehls*: (Alternative – Bsp.)

OP-Code, Operand-1, Operand-2, Operand-3, (Option)

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Aufbau / Arten

- **Schematischer Aufbau**
  - **Beispiel: *s* = *a* + *b***

    Zahl *a* mit **Zahl *b* addieren** und **Ergebnis** (Summe) in ***s*** schreiben:

    => ***ADD*, *a*, *b*, *s*,-**

    Für einen Rechner bedeutet dieses:

    - ***Addiere*** den **Inhalt** des **Speichers** mit der **Adresse *a*** mit dem **Inhalt** des **Speichers** mit der **Adresse *b***

      und

    - ***Schreibe*** das **Ergebnis** in den **Speicher** mit der **Adresse *s***.

Aufbau / Arten

- **Schematischer Aufbau**
  - **Beispiel: *w* = *u* OR *v***

    Zeichenreihe *u* mit **Zeichenreihe *v*** (bitweise) über die ***ODER*-Funktion verknüpfen** und **Ergebnis** in ***w*** schreiben:

    => ***OR*, *u*, *v*, *w*,-**

    Für einen Rechner bedeutet dieses:

  - ***Verknüpfe*** (bitweise) den **Inhalt** des **Speichers** mit der **Adresse *u*** mit dem **Inhalt** des **Speichers** mit der **Adresse *v***

    und

  - ***Schreibe*** das **Ergebnis** in den **Speicher** mit der **Adresse *w***.

Aufbau / Arten

- **Schematischer Aufbau**
  - **Wie lange würde die Ausführung eines solchen *Befehls* dauern? Bzw. was ist daran sehr ungünstig und wie kann dieses verbessert werden?**

    (nachdem, was Sie bisher gelernt haben)

    => Vor der **eigentlichen Berechnung** (Operation) **muss zweimal** auf den **Speicher zugegriffen** werden und **anschliessend** noch **einmal** (in der Summe **dreimal**).

    Speicherzugriffe sind **sehr langsam** (gegenüber Operationen im Prozessor – Faktor 100 und noch schlechter).

Aufbau / Arten

- **Schematischer Aufbau**
  - **Daher werden für *arithmetisch-logische* Funktionen häufig für die *Operanden* Register verwendet** (statt auf den Speicher zuzugreifen).

    Aus: ***ADD, a, b, s,-*** **=>** ***ADD, R-1, R-2, R-3***

    Für einen Rechner bedeutet dieses nun:

    - ***Addiere*** **den Inhalt des Registers *R-1* mit dem Inhalt des Registers *R-2* und**
    - ***Schreibe*** **das Ergebnis in Register *R-3*.**

Für die Abarbeitung des Befehls ist nun kein einziger Speicherzugriff mehr erforderlich!

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Aufbau / Arten

- **Schematischer Aufbau**
  - **Daher werden für *arithmetisch-logische* Funktionen häufig für die *Operanden* Register verwendet** (statt auf den Speicher zuzugreifen).

=> **Als Folge** davon sind ***Lese-* und *Schreibbefehle* erforderlich**, mit denen die **Werte** eines **Speichers in ein Register geschrieben** oder **aus einem Register übernommen** werden.

=> Die **Anzahl** der in einem **Prozessor verfügbaren (Arbeits-) Register** ist auf **wenige beschränkt**.

Z. B. ***32***, da ansonsten die **HW sehr teuer** und **langsamer wird** (hat **direkten Einfluss** auf die **Zykluszeit**).

Aufbau / Arten

- **Befehlstypen**
  - **Anstelle eines Registers für einen *Operanden* kann auch eine *Konstante* stehen (nicht für das Ergebnis!).**

    Beispiel: ***ADD*, *R-1*, *100*, *R-2***

    Für einen Rechner bedeutet dieses nun:

    - ***Addiere*** zum **Inhalt des Registers *R-1*** den **Wert *100*** und **schreibe** das **Ergebnis** in das **Register *R-2***.

    Anmerkung: Operationen mit ***Konstanten*** **werden** häufig als **«*direkte*» Befehle** bezeichnet.

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Aufbau / Arten

- **Befehlstypen**
  - **Bei den ersten Mikroprozessoren betrug die Wortbreite *4* bzw. *8* Bit (heute i. d. R. *32* oder *64* Bit).**

Wie sollen mit *4* … *16* Bit *Op-Code* und drei *Operanden* (Register, Konstante oder Speicheradressen) **angegeben werden?**

Lösung a: Ausgezeichnetes Register, der *Akkumulator*

- Es gibt **nur zwei** oder **einen *Operanden*** und dafür ein **ausgezeichnetes Register**, den ***Akkumulator***.
- Der ***Akkumulator*** wird für **viele Operationen** implizit als **ein *Operand*** genutzt (und ggf. als dritter für das Ergebnis).

Aufbau / Arten

- **Befehlstypen**
  - **Bei den ersten Mikroprozessoren betrug die Wortbreite *4* bzw. *8* Bit (heute i. d. R. *32* oder *64* Bit).**

Wie sollen mit *4* … *16* Bit *Op-Code* und drei *Operanden* (Register, Konstante oder Speicheradressen) **angegeben werden?**

Lösung a: => Beispiel: *ADD*, *R-1*

➢ ***Addiere*** zum **Inhalt** des ***Akkumulators*** den **Wert** des **Registers *R-1*** und **schreibe** das **Ergebnis** in den ***Akkumulator***.

Aufbau / Arten

- **Befehlstypen**
  - **Bei den ersten Mikroprozessoren betrug die Wortbreite *4* bzw. *8* Bit (heute i. d. R. *32* oder *64* Bit).**

Wie sollen mit *4* … *16* Bit *Op-Code* und drei *Operanden* (Register, Konstante oder Speicheradressen) **angegeben werden?**

Lösung b: Ein Befehl ist grösser als ein Wort

- Ein **Befehl** setzt sich aus **zwei**, **drei** oder **mehr Wörtern** zusammen.
- Dafür müssen **mehrere Wörter** in das **Befehlsregister** geladen werden (dies ist auch entsprechend breiter).

Aufbau / Arten – Adressierung

- **Adressierung**
  - **Bei den ersten Mikroprozessoren betrug die Wortbreite *4* bzw. *8* Bit (heute i. d. R. *32* oder *64* Bit).**

Wie sollen mit *4* … *32* Bit *Op-Code* und Speicher adressiert werden, der i. d. R. sehr gross ist?

(***4* GiB** erfordern ***32*** Bit für die Adressierung)

Lösung a: Ein Befehl ist grösser als ein Wort – bekannt

- Ein **Befehl** setzt sich aus **zwei**, **drei** oder **mehr Wörtern** zusammen.
- Dafür müssen **mehrere Wörter** in das **Befehlsregister** geladen werden (dies ist auch entsprechend breiter).

Aufbau / Arten – Adressierung

- **Adressierung**
  - **Bei den ersten Mikroprozessoren betrug die Wortbreite *4* bzw. *8* Bit (heute i. d. R. *32* oder *64* Bit).**

Wie sollen mit *4* … *32* Bit *Op-Code* und Speicher adressiert werden, der i. d. R. sehr gross ist?

(***4* GiB** erfordern ***32*** Bit für die Adressierung)

Lösung b: ***Indirekte Adressierung***

Aufbau / Arten – Adressierung

- **Adressierung**
  - **…** **Wie sollen mit *4* … *32* Bit *Op-Code* und Speicher adressiert werden, der i. d. R. sehr gross ist?**
    (***4* GiB** erfordern ***32*** Bit für die Adressierung)

Lösung b: ***indirekte Adressierung***

- Statt eine **Speicheradresse direkt anzugeben**, wird eine **indirekte Adresse genutzt:**
  - z. B. ein **Register**: der **Inhalt** des **Register** spezifiziert die **Speicheradresse** oder / und
  - ein **Basisregister**: ein **festgelegtes Register definiert** einen **Basiswert**.

Aufbau / Arten – Adressierung

- **Adressierung**
  - **…** **Wie sollen mit *4* … *32* Bit *Op-Code* und Speicher adressiert werden, der i. d. R. sehr gross ist?**
    (***4* GiB** erfordern ***32*** Bit für die Adressierung)

Lösung b: => Beispiel: ***Load*, *R-1***

Für einen Rechner bedeutet dieses z. B. (Festlegung):

➢ ***Lade*** den **Inhalt** des durch den **Wert** des **Registers *R-1* adressierten Speichers** in den ***Akkumulator***.

Aufbau / Arten – Adressierung

- **Adressierung**
  - **Ein Programm (Programmdaten und das Programm selber) kann irgendwo im Speicher abgelegt sein.**

Wie soll der Speicherzugriff programmiert werden, wenn die absolute Speicheradresse zur Zeit der Programmierung nicht bekannt ist?

Lösung: Wiederum *indirekte Adressierung*

- Statt eine **Speicheradresse direkt anzugeben**, wird ein **Register angegeben**, dessen **Inhalt zur Adressierung mit verwendet wird; der Wert dieses Registers wird zum Programmstart festgelegt** (und ggf. gespeichert).

Aufbau / Arten – Adressierung

- „*Offset*“
  - **Häufig wird bei Lese- und Schreibbefehlen zum Wert eines Registers noch ein *Offset* addiert.**

    (=> z. B. sinnvoll für komplexe Sprünge)

    Beispiel: ***Ldoff*, *R-1*, *4*** („*Load offset*“)

    Für einen Rechner bedeutet dieses z. B. (Festlegung):

    ➢ ***Lade*** den **Inhalt** des durch den **Wert** des **Registers *R-1*** zuzüglich der **Konstanten *4* adressierten Speichers** in den ***Akkumulator***.

Aufbau / Arten – Sprungbefehle & Verzweigungen

- **Sprungbefehle / (bedingte) Verzweigungen**
  - **Häufig wird bei bedingten Sprungbefehlen ein ausgezeichnetes Register auf Null geprüft.**

    (=> Vergleich auf Null sehr einfach und schnell realisierbar.)

    Beispiel: ***Bnull*, *R-1*** („*Branch if null*“)

    Für einen Rechner bedeutet dieses z. B. (Festlegung)**:**

    - **Wenn** das **Register *R-1***, z. B. der **Akkumulator**, **Null** ist,
      - **Verzweige** zum **Inhalt** der durch den **Wert** des **Registers *R-1*** angegebenen ***Adresse.***
      - **Sonst** fahre mit dem folgenden Befehl fort.

Aufbau / Arten – Sprungbefehle & Verzweigungen

- **Sprungbefehle / (bedingte) Verzweigungen**

  In der Regel beinhaltet ein Befehlssatz viele bedingte Sprungbefehle (*Branch instructions*):

  – **Test auf *Null*, auf *grösser Null* oder auf *kleiner Null* eines (ausgezeichneten) Registers.**

  – **Test auf *Gleichheit* / *Ungleichheit* von zwei (ausgezeichneten) Registern.**

  – **Test auf *Gleichheit* / *Ungleichheit* eines (ausgezeichneten) Registers mit einer Konstanten.**

  Anmerkung: Neben dem **Akkumulator** werden häufig **spezielle Register** wie das **Statusregister**, **Interrupt-Register** oder der **Stack-Pointer** angesprochen.

Aufbau / Arten – Sprungbefehle & Verzweigungen

- **Sprungbefehle / (bedingte) Verzweigungen**

  In der Regel beinhaltet ein Befehlssatz viele bedingte Sprungbefehle (*Branch instructions*):

  Frage: **Warum gibt es so viele verschiedene Sprungbefehle, wenn doch schon einer aus Sichtweise „*Mächtigkeit*“ genügen würde?**

  => Ziel: Vereinfachung der Programmierung (Effizienz)

Aufbau / Arten – Sprungbefehle & Verzweigungen

- **Sprungbefehle / (bedingte) Verzweigungen**

  Beispiel: Umsetzung einfaches „*if*-Konstrukt“

Wie kann eine **einfache *if*-Anweisung** mit einem ***bedingten Sprung*** **mit Test auf *ungleich Null* realisiert** werden?

1. **Bedingungen berechnen** und **Resultat** in ein **Register schreiben**
2. **Test** des **Registers** auf **Null**

   a) **Test ist positiv** => **kein Sprung** (Programmfortsetzung)
   => **Ausführung der Befehle der *if*-Anweisung**

   b) **Test negativ** => **Sprung** zum **1. Befehl nach** der ***if*-Anweisung**

Aufbau / Arten – Sprungbefehle & Verzweigungen

- **Sprungbefehle / (bedingte) Verzweigungen**

  Beispiel: Umsetzung einfaches „*if-else*-Konstrukt“

  Wie kann eine **einfache *if-else*-Anweisung** mit einem ***bedingten Sprung*** **mit Test auf *ungleich Null* realisiert** werden?

  Wie ***if*-Konstrukt** mit zusätzlichem **unbedingten Sprung** am **Ende** der **Befehle** des ***if*-Teils** an das **Ende** der ***if-else*-Anweisung** und zusätzlichem **unbedingten Sprung** zum **1. Befehl** des ***else*-Teils** falls **Test negativ ausgeht**.

Aufbau / Arten – Sprungbefehle & Verzweigungen

- **Sprungbefehle / (bedingte) Verzweigungen**

  Beispiel: Umsetzung einfaches „*while*-Konstrukt“

Wie kann eine **einfache *while*-Schleife** mit einem ***bedingten Sprung*** **mit Test auf *ungleich Null* realisiert** werden?

1. **Bedingungen berechnen** und **Resultat** in ein **Register schreiben**
2. **Test** des **Registers** auf **Null**

   a) **Test positiv** => **kein Sprung** (Programmfortsetzung)
   => **Ausführung der Befehle des *Schleifenkörpers***
   => **Rücksprung zum Beginn (Schritt 1)**

   b) **Test negativ** => **Sprung** zum **1. Befehl nach** dem ***Schleifenkörper***

Aufbau / Arten – Sprungbefehle & Verzweigungen

- **Sprungbefehle / (bedingte) Verzweigungen**

  Beispiel: Umsetzung «*for*-Konstrukt»

Realisierung einer einfachen *for*-Schleife mit einem *bedingten Sprung* mit Test auf ungleich Null?

Aufbau / Arten – Sprungbefehle & Verzweigungen

- **Sprungbefehle / (bedingte) Verzweigungen**

  Beispiel: Umsetzung «*for*-Konstrukt»

  1. ***Schleifenzähler*** (Voraussetzung > 0) **initialisieren** über ein **Register**
  2. ***Schleifenkörper*** durchlaufen (**Befehle** ausführen)
  3. ***Schleifenzähler*** (Register) um ***1*** **reduzieren**
  4. **Test** des ***Schleifenzählers*** (Registers) auf **Null**
     a) **Test negativ => Sprung** zum **1. Befehl** des ***Schleifenkörpers*** (Schritt 2)
     b) **Test positiv => kein Sprung**

Aufbau / Arten – Sprungbefehle & Verzweigungen

- **Sprungbefehle / (bedingte) Verzweigungen**

  Beispiel: Umsetzung «*case/switch*-Konstrukt»

  Realisierung einer einfachen *case/switch*-Anweisung mit einem *bedingten Sprung* mit Test auf ungleich Null?

  Am **einfachsten** über eine **Folge** von ***if*-Anweisungen**

  [Alternativ kann eine **Tabelle** mit **Sprungadressen** genutzt werden, die **zuvor indiziert** wurde. Manche **Befehlssätze** sehen dafür ein bereits **ausgezeichnetes Register** vor, das „***Jump-Register***“].

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Aufbau / Arten – „*Unterprogramme / Prozeduren*“

- **Strukturierte Programme sind ohne Prozedur-Aufrufe / Unterprogramme nicht denkbar.**

Realisierung eines einfachen *Prozedur*-Aufrufs?

Beim Aufruf einer Prozedur / eines Unterprogramms:

Aufbau / Arten – „*Unterprogramme / Prozeduren*“

- **Strukturierte Programme sind ohne Prozedur-Aufrufe / Unterprogramme nicht denkbar.**

Realisierung eines einfachen *Prozedur*-Aufrufs?

Beim Aufruf einer Prozedur / eines Unterprogramms:

- **Wird wie bei einer Verzweigung das Programm an einer anderen Stelle fortgesetzt**

  => Über einen unbedingten Sprungbefehl.

Aufbau / Arten – „*Unterprogramme / Prozeduren*“

- **Strukturierte Programme sind ohne Prozedur-Aufrufe / Unterprogramme nicht denkbar.**

Realisierung eines einfachen *Prozedur*-Aufrufs?

Beim Aufruf einer Prozedur / eines Unterprogramms:

- Wird wie bei einer Verzweigung das Programm an einer anderen Stelle fortgesetzt
- **Müssen Parameter (Argumente) übergeben werden**

  => Über Abspeichern der Werte an vereinbarten Stellen (Speicher bzw. spezielle Register).

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Aufbau / Arten – „*Unterprogramme / Prozeduren*“

- **Strukturierte Programme sind ohne Prozedur-Aufrufe / Unterprogramme nicht denkbar.**

Realisierung eines einfachen *Prozedur*-Aufrufs?

Beim Aufruf einer Prozedur / eines Unterprogramms:

- ...
- **Wird das Ergebnis der Prozedur / des Unterprogramms zurückgegeben**

=> Ebenfalls über Abspeichern der Werte an vereinbarten Stellen (Speicher bzw. spezielle Register).

Aufbau / Arten – „*Unterprogramme / Prozeduren*“

- **Strukturierte Programme sind ohne Prozedur-Aufrufe / Unterprogramme nicht denkbar.**

Realisierung eines einfachen *Prozedur*-Aufrufs?

Beim Aufruf einer Prozedur / eines Unterprogramms:

- ...
- **Wird zum ursprünglichen Programm zurückgekehrt**

  => Über einen unbedingten Sprungbefehl an die zuvor abgespeicherte Adresse des Befehlszählers des aufrufenden Programms; dieses wird dann normal fortgesetzt.

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Aufbau / Arten – „*Unterprogramme / Prozeduren*“

- **Strukturierte Programme sind ohne Prozedur-Aufrufe / Unterprogramme nicht denkbar.**
  - **Beim verschachtelten Aufruf von *Prozeduren* / *Unterprogrammen* müssen die erforderlichen Registerinhalte jeweils abgespeichert und wiederhergestellt werden.**
  - **Die dafür geeignete Datenstruktur wird über einen *Stack* realisiert, i. d. R. als *LIFO-Warteschlange.***

    [vgl. Kurs Algorithmen & Datenstrukturen und Informatik 2]
  - **Zur Vereinfachung der Verwaltung wird häufig ein „*Stack Pointer*“– realisiert über ein festgelegtes Register – zur Verfügung gestellt.**

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Aufbau / Arten – Hauptgruppen

- **Befehlsgruppen (elementare):**
  - **Einfache *arithmetische* und *logische* Befehle**
  - ***Lade-* oder *Speicher-Befehle* (*Load* / *Store*)**
  - **Kontrollfluss: *bedingte* / *unbedingte Sprünge* (*Branch*)**
  - **Sonderfunktionen (z. B. *Stack*-Verwaltung, *Interrupts*, …)**
- **Adressierung / Operandenangabe**
  - ***Absolut*: Werte / Adressen absolut im Befehl angegeben**
  - ***Indirekt*: Werte / Adressen aus Registerinhalt**
  - **Verwendung *Offset*: Wert / Adresse aus Registerinhalt und einem im Befehl absolut angegebenen Wert zusammengesetzt.**

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
School of Engineering

Programmbeispiele:

- **„Prozessormodell“ (vereinfacht):**
  - **Wortbreite: *2* Byte (*16* Bit),**
  - **Zahlendarstellung: *2-er-Komplement, 16* Bit mit *MSb* und *MSB* („*most significant bit/byte*“) je ganz links**
  - **Arbeitsspeicher: *1* KiB (2^{10} Bytes)**
  - **Register: *Befehlsregister*, *Befehlszähler*, *Akkumulator* „*Akku*“, *Arbeitsregister* „*R1*“, „*R2*“ und „*R3*“, *Carry-Flag***
  - **Cache*: keiner***
  - ***Zykluszeit*: 200 ns**
  - ***CPI*: *1* (alle Befehle)**

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Programmbeispiele:

- **„Prozessormodell“ (vereinfacht):**
  - **Befehlssatz (Ausschnitt - vereinfacht):**
    - **ADD *Rnr*** => *Akku* := *Akku* + «*Rnr*$^{+}$»
    - **ADDD *#Zahl*** => *Akku* := *Akku* + *#Zahl*
    - **LWDD *Rnr*, *#Adr*** => «*Rnr*$^{+}$» := Inhalt Speicher(*Adr*)
    - **SWDD *Rnr*, *#Adr*** => Inhalt Speicher(*Adr*) := «*Rnr*$^{+}$»
    - **SRA** => *Akku: Verschieben (arithmetisch) nach rechts*
    - **SLA** => *Akku: Verschieben (arithmetisch) nach links*

Bei der Notation handelt es sich um *mnemonische Symbole* (kurz *Mnemonics*)

$^{+}$*nr* ist *0*, *1*, *2* oder *3* (und steht für Register *Akku*, *R1*, *R2* bzw. *R3*)

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
School of Engineering

Programmbeispiele:

- **Code mit *mnemonischen Symbolen*:**
  - **Ist erheblich „*lesbarer*“ (für Programmierer) als *Maschinen-Code***
  - **Ein Compiler, der Programme mit *mnemonischen Symbolen* in *Maschinen-Code* übersetzt, ist ein *Assembler*-Compiler.**
  - **Code auf Basis von *mnemonischen Symbolen* wird entsprechend auch als *Assembler-Code* (oder *Assembler-Programm*) bezeichnet, der Umfang der Symbole als *Assembler* (*-Sprache*).**

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Programmbeispiele mit *mnemonischen Symbolen*:

- **Einfache Addition**
  - **Gegeben sind folgende (abstrakte) Anweisungen:**

    s := b + a
    r := 4 + b
    s := s + r (***a*** und ***b*** seien ***Integer-Zahlen*** **mit** der Länge ***16*** **Bit**)
  - **Das *Programm* liegt ab Speicher(offset) *100* im Speicher**
  - **Die *Daten* liegen ab Speicher(offset) *200* im Speicher, d. h. die Variable *a* liegt im Speicher mit den Adressen *200* und *201*, die Variable *b* im Speicher mit den Adressen *202* und *203.***
  - **Nach Ende des Programms soll das Ergebnis (die Variable *s*) im Speicher mit den Adressen *204* und *205* abgelegt sein.**

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Programmbeispiele mit *mnemonischen Symbolen*:

- **Einfache Addition**
  - **Wie könnte ein äquivalentes Programm mit *mnemonischen Symbolen (Assemblerprogramm) lauten?***

Programm-Code:

s := b + a

r := 4 + b

s := s + r

```
100  LWDD R0, #202   ; Akku := Inhalt Speicher(202 + 203) = b
102  LWDD R1, #200   ; R1 := Inhalt Speicher(200 + 201) = a
104  ADD R1          ; Akku := Akku + R1 = s
106  ...
```

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Programmbeispiele mit *mnemonischen Symbolen*:

- **Einfache Addition**
  - **Wie könnte ein äquivalentes Programm mit *mnemonischen Symbolen (Assemblerprogramm) lauten?***

Programm-Code:

s := b + a
r := 4 + b
s := s + r

=> s := b + a
r := b + 4
s := s + r

```
100 LWDD R0, #202   ; Akku :=  Inhalt Speicher(202 + 203) = b
102 LWDD R1, #200   ; R1 :=  Inhalt Speicher(200 + 201) = a
104 ADD R1          ; Akku := Akku + R1          = s
106 SWDD R0, #204   ; Inhalt Speicher(204 + 205) := Akku = s
108 LWDD R0, #202   ; Akku :=  Inhalt Speicher(202 + 203) = b
110 ADDD #4         ; Akku := Akku + 4           = r
112 SWDD R0, #206   ; Inhalt Speicher(206 + 207) := Akku = r
114 LWDD R0, #204   ; Akku :=  Inhalt Speicher(204 + 205) = s
116 LWDD R1, #206   ; R1:=  Inhalt Speicher(206 + 207)  = r
118 ADD R1          ; Akku := Akku + R1          = s
120 SWDD R0, #204   ; Inhalt Speicher(204 + 205) := Akku = s
```

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Programmbeispiele mit *mnemonischen Symbolen*:

- **Einfache Addition**
  - **Wie lang ist die Ausführungszeit näherungsweise*?***

Programm-Code:

```
s := b + a
r := 4 + b
s := s + r
```

5 Ladebefehle: ***5 * 200 ns***

3 Speicherbefehle: ***3 * 200 ns***

3 Additionsbefehle: ***3 * 200 ns***

=> Ausführungszeit: ***2200 ns***

Anmerkung: Ein allfälliger **Überlauf** bei der Addition wurde vernachlässigt!

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Programmbeispiele mit *mnemonischen Symbolen*:

- **Einfache Addition**
  - **Wie lang ist die Ausführungszeit näherungsweise*?***

Programm-Code:

```
s := b + a
r := 4 + b
s := s + r
```

5 Ladebefehle: ***5 * 200 ns***

3 Speicherbefehle: ***3 * 200 ns***

3 Additionsbefehle: ***3 * 200 ns***

=> Ausführungszeit: ***2200 ns***

Geht das mit den gegebenen Befehlen nicht besser?

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Programmbeispiele mit *mnemonischen Symbolen*:

- **Einfache Addition (2)**
  - **Wie könnte ein äquivalentes Programm mit *mnemonischen Symbolen (Assemblerprogramm) lauten?***

Programm-Code:

s := b + a
r := 4 + b
s := s + r

=> *s := b + a*
r := b + 4
s := r + s

```
100 LWDD R0, #202   ; Akku := Inhalt Speicher(202 + 203) = b
102 LWDD R1, #200   ; R1 := Inhalt Speicher(200 + 201) = a
104 ADD R1          ; Akku := Akku + R1          = s
106 SWDD R0, #204   ; Inhalt Speicher(204 + 205) := Akku = s
108 LWDD R0, #202   ; Akku := Inhalt Speicher(202 + 203) = b
110 ADDD #4         ; Akku := Akku + 4           = r
112 LWDD R1, #204   ; R1:= Inhalt Speicher(204 + 205)  = s
114 ADD R1          ; Akku := Akku + R1          = s
116 SWDD R0, #204   ; Inhalt Speicher(204 + 205) := Akku = s
```

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
School of Engineering

Programmbeispiele mit *mnemonischen Symbolen*:

- **Einfache Addition (2)**
  - **Wie lang ist die Ausführungszeit näherungsweise*?***

Programm-Code:

```
s := b + a
r := 4 + b
s := s + r
```

```
=> s := b + a
   r := b + 4
   s := r + s
```

4 Ladebefehle: ***4 * 200 ns***

2 Speicherbefehle: ***2 * 200 ns***

3 Additionsbefehle: ***3 * 200 ns***

=> Ausführungszeit: ***1800 ns***

Anmerkung: Ein allfälliger **Überlauf** bei der Addition wurde vernachlässigt!

=> Geht das noch besser?

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Programmbeispiele mit *mnemonischen Symbolen*:

- **Einfache Addition (3)**
  - **Wie könnte ein äquivalentes Programm mit *mnemonischen Symbolen (Assemblerprogramm) lauten?***

Programm-Code:

s := b + a
r := 4 + b
s := s + r

=> s := b * 2
s := s + 4
s := s + a

```
100 LWDD R0, #202 ; Akku :=  Inhalt Speicher(202 + 203) = b
102 SLA           ; Akku := Akku * 2 (Shift arithmetisch) = 2 * b
104 ADDD #4       ; Akku := Akku + 4 = 2 * b+4
106 LWDD R1, #200 ; R1:=  Inhalt Speicher(200 + 201)     = a
108 ADD R1        ; Akku := Akku + R1                    = s + a
110 SWDD R0, #204 ; Inhalt Speicher(204 + 205) := Akku   = s
```

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Programmbeispiele mit *mnemonischen Symbolen*:

- **Einfache Addition (3)**
  - **Wie lang ist die Ausführungszeit näherungsweise*?***

Programm-Code:

```
s := b + a
r := 4 + b
s := s + r
```

=> s := b * 2
s := s + 4
s := s + a

2 Ladebefehle: ***2 * 200 ns***

1 Speicherbefehle: ***1 * 200 ns***

2 Additionsbefehle: ***2 * 200 ns***

1 Shift-Operation: ***1 * 200 ns***

=> Ausführungszeit: ***1200 ns***

Anmerkung: Ein allfälliger **Überlauf** bei der Addition wurde vernachlässigt!

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Programmbeispiele mit *mnemonischen Symbolen*:

- **„Prozessormodell“ (vereinfacht): Befehlssatz**
  - CLR *Rnr* => «*Rnr*» := *0*
  - ADD *Rnr* => *Akku* := *Akku* + «*Rnr*»
  - ADDD *#Zahl* => *Akku := Akku + #Zahl*
  - INC => *Akku* := *Akku* + *1*
  - DEC => *Akku := Akku - 1*
  - LWDD *Rnr*, *#Adr* => «*Rnr*» := Inhalt Speicher(*Adr*)
  - SWDD *Rnr*, *#Adr* => Inhalt Speicher(*Adr*) := «*Rnr*»
  - SRA => *Akku: Verschieben arithmetisch nach rechts*
  - SLA => *Akku: Verschieben arithmetisch nach links*
  - SRL => *Akku: Verschieben logisch nach rechts*
  - SLL => *Akku: : Verschieben logisch nach links*

Anmerkung: Bei arithmetischen Operationen (ADD, ADDD, SRA, SLA) bleibt das ***MSb*** des ***MSB*** erhalten. Zudem wird das ***Carry-Flag*** (auch bei allen Schiebe-Operationen) entsprechend gesetzt.

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Programmbeispiele mit *mnemonischen Symbolen*:

- **„Prozessormodell“ (vereinfacht): Befehlssatz (2)**
  - AND *Rnr* => *Akku* := *Akku* AND «*Rnr*» (bitweise)
  - OR *Rnr* => *Akku* := *Akku* OR «*Rnr*» (bitweise)
  - NOT => *Akku* := *-Akku* (bitweise negiert, alle Bit)
  - BZ *Rnr* => Wenn *Akku* = *0*, verzweige (Adresse «*Rnr*»)
  - BNZ *Rnr* => Wenn *Akku* ≠ *0*, verzweige (Adresse «*Rnr*»)
  - BC *Rnr* => Wenn das Carry-Flag gesetzt ist, verzweige (zu Adresse «*Rnr*»)
  - B *Rnr* => Verzweige (Adresse «*Rnr*»)
  - BZD #*Adr* => Wenn *Akku* = *0*, verzweige (Adresse #*Adr*)
  - BNZD #*Adr* => Wenn *Akku* ≠ *0*, verzweige (Adresse #*Adr*)
  - BCD #*Adr* => Wenn das Carry-Flag gesetzt ist, verzweige (zu Adresse #*Adr*)
  - DBD #*Adr* => Verzweige (zu Adresse #*Adr*)

Programmbeispiele mit *mnemonischen Symbolen*:

- **Summenbildung (über einfache *for*-Schleife)**
  - **Aufgabe:**

    Realisieren Sie mit einer **einfachen *for*-Schleife:**

    $$S = \sum_{k=i}^{j} k \quad \text{mit } j > i \text{ und } i, j \in IN$$

    Beispiel:

    *Eingabe **i*** und ***j***
    ***s** = 0*
    *For **k** = **i** to **j***
    s** := **s** + **k
    Next
    *Ausgabe **s***

    Anmerkung: Das ***Programm*** liegt wiederum ab **Speicher(offset) *100*** im **Speicher**, die ***Daten*** (***i***, ***j***, ***s***) ab **Speicher(offset) *200.***

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Programmbeispiele mit *mnemonischen Symbolen*:

- **Summenbildung (über einfache *for*-Schleife)**
  - **Aufgabe: S = $\sum_{k=i}^{j} k$** (und $j > i$)

Programm-Code:

Eingabe i und *j*
s = 0
For k = i to j
    s := s + k
Next
Ausgabe s

```
100 LWDD R0, #200    ; Akku =  k
102 SWDD R0, #204    ; Summe s initialisieren und speichern
104 LWDD R0, #200    ; Akku =  k
106 INC              ; k = k + 1
108 SWDD R0, #200    ; Inkrementierten Wert speichern
110 LWDD R1, #204    ; R1 =  s
112 ADD R1           ; s = s + k
114 SWDD R0, #204    ; Summe speichern
116 LWDD R0, #200    ; k (inkrementierter Wert) laden
118 NOT              ; Akku =  Akku invertieren
120 INC              ; Akku = Akku + 1 (=> 2er-Komplement von k)
122 LWDD R1, #202    ; R1 = j
124 ADD R1           ; Akku := Akku + R1 (= j - k)
126 BNZD #104        ; Wenn j - k ≠ 0 springe zu 104 zurück
```

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Programmbeispiele mit *mnemonischen Symbolen*:

- **Summenbildung (über einfache *for*-Schleife)**
  - **Aufgabe: $S = \sum_{k=i}^{j} k$ mit $i = 4$ und $j = 8$**
  - **Analyse Programmschritte: (proportional Ausführungszeit)**

Programm-Code:

Eingabe i und j
s = 0
For k = i to j
s := s + k
Next
Ausgabe s

Initialisierung: 2 Befehle

```
100 LWDD R0, #200     ; Akku = k
102 SWDD R0, #204     ; Summe s initialisieren und speichern
104 LWDD R0, #200     ; Akku = k
106 INC               ; k = k + 1
108 SWDD R0, #200     ; Inkrementierten Wert speichern
110 LWDD R1, #204     ; R1 = s
112 ADD R1            ; s = s + k
114 SWDD R0, #204     ; Summe speichern
116 LWDD R0, #200     ; k (inkrementierter Wert) laden
118 NOT               ; Akku = Akku invertieren
120 INC               ; Akku = Akku + 1 (=> 2er-Komplement von k)
122 LWDD R1, #202     ; R1 = j
124 ADD R1            ; Akku := Akku + R1 (= j - k)
126 BNZD #104         ; Wenn j - k ≠ 0 springe zu 104 zurück
```

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
School of Engineering

Programmbeispiele mit *mnemonischen Symbolen*:

- **Summenbildung (über einfache *for*-Schleife)**
  - **Aufgabe: $S = \sum_{k=i}^{j} k$ mit $i = 4$ und $j = 8$**
  - **Analyse Programmschritte: *2 + 4 x 12 = 50***

Programm-Code:

```
Eingabe i und j
s = 0
For k = i to j
    s := s + k
Next
Ausgabe s
```

```
100 LWDD R0, #200      ; Akku = k
102 SWDD R0, #204      ; Summe s initialisieren und speichern
104 LWDD R0, #200      ; Akku =  k
106 INC                ; k = k + 1
108 SWDD R0, #200      ; Inkrementierten Wert speichern
110 LWDD R1, #204      ; R1 = s
112 ADD R1             ; s = s + k
114 SWDD R0, #204      ; Summe speichern
116 LWDD R0, #200      ; k (inkrementierter Wert) laden
118 NOT                ; Akku =  Akku invertieren
120 INC                ; Akku = Akku + 1 (=> 2er-Komplement von k)
122 LWDD R1, #202      ; R1 = j
124 ADD R1             ; Akku := Akku + R1 (= j - k)
126 BNZD #104          ; Wenn j - k ≠ 0 springe zu 104 zurück
```

Initialisierung: 2 Befehle

Schleife: 12 Befehle

wird 4x durchlaufen

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Programmbeispiele: (Variante)

- **Summenbildung (über einfache *for*-Schleife)**
  - **Aufgabe: S = $\sum_{k=i}^{j} k$** (und $j > i$)

Programm-Code:

Eingabe i und *j*
s = 0
For k = i to j
    s := s + k
Next
Ausgabe s

```
100 LWDD R0, #200    ; Akku =  i
102 LWDD R2, #200    ; R2 =  i
104 SWDD R0, #204    ; Summe initialisieren und speichern
106 NOT              ; Akku =  Akku invertieren
108 INC              ; Akku = Akku + 1 (= 2er-Komplement von i)
110 LWDD R1, #200    ; R1 =  j
112 ADD R1           ; Akku = j - i = k
114 SWDD R0, #206    ; Zähler k zwischenspeichern
116 LWDD R1, #204    ; R1 =  s
118 ADD R1           ; Summe aufaddieren
120 ADD R2           ; Summe aufaddieren
122 SWDD R0, #204    ; Summe speichern
124 …
```

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Programmbeispiele: (Variante)

- **Summenbildung (über einfache *for*-Schleife)**
  - **Aufgabe: $S = \sum_{k=i}^{j} k$** (und $j > i$)

Programm-Code:

Eingabe i und *j*
s = 0
For k = i to j
    s := s + k
Next
Ausgabe s

```
122 …
124 LWDD R0, #206     ; Zähler k laden (für Schleife)
126 DEC               ; Zähler dekrementieren
128 SWDD R0, #206     ; Zähler k zwischenspeichern
130 BNZD #116         ; Wenn Zähler k ≠ 0 springe zu 116 zurück
```

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Programmbeispiele: (Variante)

- **Summenbildung (über einfache *for*-Schleife)**
  - **Aufgabe: S = $\sum_{k=i}^{j} k$ mit *i* = *4* und *j* = *8* => Analyse Prog.-Schritte:**

Programm-Code:

Eingabe i und j
s = 0
For k = i to j
s := s + k
Next
Ausgabe s

```
100  LWDD R0, #200     ; Akku = i
102  LWDD R2, #200     ; R2 = i
104  SWDD R0, #204     ; Summe initialisieren und speichern
106  NOT               ; Akku = Akku invertieren
108  INC               ; Akku = Akku + 1 (= 2er-Komplement von i)
110  LWDD R1, #200     ; R1 = j
112  ADD R1            ; Akku = j - i = k
114  SWDD R0, #206     ; Zähler k zwischenspeichern
116  LWDD R1, #204     ; R1 = s
118  ADD R1            ; Summe aufaddieren
120  ADD R2            ; Summe aufaddieren
122  SWDD R0, #204     ; Summe speichern
124  LWDD R0, #206     ; Zähler k laden (für Schleife)
126  DEC               ; Zähler dekrementieren
128  SWDD R0, #206     ; Zähler k zwischenspeichern
130  BNZD #116         ; Wenn Zähler k ≠ 0 springe zu 116 zurück
```

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Programmbeispiele: (Variante)

- **Summenbildung (über einfache *for*-Schleife)**
  - **Aufgabe: S = $\sum_{k=i}^{j} k$ mit *i* = *4* und *j* = *8* => Analyse Prog.-Schritte:**

Programm-Code:

Eingabe i und j
s = 0
For k = i to j
s := s + k
Next
Ausgabe s

```
100 LWDD R0, #200      ; Akku =  i
102 LWDD R2, #200      ; R2 =  i
104 SWDD R0, #204      ; Summe initialisieren und speichern
106 NOT                ; Akku =  Akku invertieren
108 INC                ; Akku = Akku + 1 (= 2er-Komplement von i)
110 LWDD R1, #200      ; R1 =  j
112 ADD R1             ; Akku = j - i = k
114 SWDD R0, #206      ; Zähler k zwischenspeichern
116 LWDD R1, #204      ; R1 =  s
118 ADD R1             ; Summe aufaddieren
120 ADD R2             ; Summe aufaddieren
122 SWDD R0, #204      ; Summe speichern
124 LWDD R0, #206      ; Zähler k laden (für Schleife)
126 DEC                ; Zähler dekrementieren
128 SWDD R0, #206      ; Zähler k zwischenspeichern
130 BNZD #116          ; Wenn Zähler k ≠ 0 springe zu 116 zurück
```

Initialisierung: 8 Befehle

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Programmbeispiele: (Variante)

- **Summenbildung (über einfache *for*-Schleife)**
  - **Aufgabe: $S = \sum_{k=i}^{j} k$ Analyse Prog.-Schritte: *8 + 4 x 8 = 40***

Programm-Code:

Eingabe i und j
s = 0
For k = i to j
s := s + k
Next
Ausgabe s

```
100 LWDD R0, #200      ; Akku =  i
102 LWDD R2, #200      ; R2 =  i
104 SWDD R0, #204      ; Summe initialisieren und speichern
106 NOT                ; Akku =  Akku invertieren
108 INC                ; Akku = Akku + 1 (= 2er-Komplement von i)
110 LWDD R1, #200      ; R1 =  j
112 ADD R1             ; Akku = j - i = k
114 SWDD R0, #206      ; Zähler k zwischenspeichern
```

Initialisierung: 8 Befehle

```
116 LWDD R1, #204      ; R1 =  s
118 ADD R1             ; Summe aufaddieren
120 ADD R2             ; Summe aufaddieren
122 SWDD R0, #204      ; Summe speichern
124 LWDD R0, #206      ; Zähler k laden (für Schleife)
126 DEC                ; Zähler dekrementieren
128 SWDD R0, #206      ; Zähler k zwischenspeichern
130 BNZD #116          ; Wenn Zähler k ≠ 0 springe zu 116 zurück
```

Schleife: 8 Befehle

werden 4x durchlaufen

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
School of Engineering

Maschinensprache (*Operations-Code*):

- **Ein Befehl in *Maschinensprache* besteht aus einer festgelegten Bitfolge (i. d. R. Wortlänge oder Vielfaches davon).**
- **In einem Befehl sind – wie bereits erwähnt – auch die Operanden und Optionen kodiert.**
- **Beispiel:** ***00100x<Adresse>*** entspricht: **BD *#Adr***
  => ***00100000 01100100*** entspricht: **BD *#100***
  - **Bit 1** bis **Bit 5 spezifizieren** den **Befehl:**
    => Im Beispiel: ***BD*** steht für „***Branch direct***“, „***direkter***“ oder auch „***unbedingter***“ **Sprung**
  - **Bit 6** ist **nicht relevant** (kann den Wert ***0*** oder ***1*** haben).
  - **Bit 7** bis **Bit 16** geben eine absolute Adresse an.

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Maschinensprache (*Operations-Code*):

- **Weitere Beispiele (für das „*Prozessormodell*“)**

Maschinen-Code (Op-Code)	Mnemonics ("*Assembler*")	Kurzbeschreibung	Beschreibung
0 0 0 0 x x 1 0 | 1 < n o t u >	CLR *Rnr*	«*Rxx*» := 0	Lösche das Register «*Rxx*» (alle Bit auf 0 setzten) und das Carry-Flag (*00* bis *11* für: Akku, R-1, R-2 bzw. R-3).
0 0 0 0 x x 1 1 | 1 < n o t u >	ADD *Rnr*	*Akku* := *Akku* + «*Rxx*»	Addition zweier 16-Bit-Zahlen (Zahl im Akku und Zahl im Register «*Rxx*»; *00* bis *11* für Akku, R-1, R-2 bzw. R-3) im *2er*-Komplement; bei Überlauf wird das Carry-Flag gesetzt (= 1), sonst auf den Wert *0*.
1 < - - - - Z a h l - - - - - >	ADDD #*Zahl*	*Akku* := *Akku* + #*Zahl*	Addition der 16-Bit-Zahl im Akku mit der 15-Bit-Zahl als direkten Operanden im *2er*-Komplement; bei Überlauf wird das Carry-Flag gesetzt (= 1), sonst auf den Wert *0*. Vor der Addition wird die 15-Bit-Zahl des Operanden auf 16 Bit erweitert (mit MSb des MSB auf *1* wenn negativ, sonst auf *0*).
0 0 0 0 0 0 0 1 | n o t u s e d	INC	*Akku* := *Akku* + *1*	Der Akku (16-Bit-Zahl im *2er*-Komplement) wird um den Wert *1* inkrementiert; bei Überlauf wird das Carry-Flag gesetzt (= 1), sonst auf den Wert 0.
0 0 0 0 0 1 0 0 | n o t u s e d	DEC	*Akku* := *Akku* - *1*	Der Akku (16-Bit-Zahl im *2er*-Komplement) wird um den Wert *1* dekrementiert; bei Überlauf wird das Carry-Flag gesetzt (= 1), sonst auf den Wert 0.

- **Vollständiger Befehlssatz für das „*Prozessormodell*“ siehe Moodle bzw. ausgeteiltes Zusatzblatt.**

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Maschinensprache (*Operations-Code*):

- **Für das „*Prozessormodell*“**
  - **Alle Befehle sind gleich lang (16 Bit – ein Wort).**

    (Vereinfacht die Realisierung – muss aber nicht so sein; Befehle können auch unterschiedlich lang innerhalb eines Befehlssatzes sein.)
  - **Es gibt 22 verschiedene Befehle:**
    - 5 **arithmetische** Befehle
    - 7 **logische** Befehle
    - 2 **Lade-** / **Speicherbefehle**
    - 8 **Sprungbefehle**
    - 1 **END-Befehl**

Vollständiger Befehlssatz für das „*Prozessormodell*“: siehe Moodle bzw. ausgeteiltes Zusatzblatt.

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
zh aw School of Engineering

Maschinensprache (*Operations-Code*):

- **Für die Ausführung eines Programms muss der mit *mnemonischen Symbolen* (*Assembler*) geschriebene *Programm-Code* in *Maschinensprache*, den *Operations-Code*, übersetzt werden.**
- **Dieses erfolgt in der Regel durch einen (für die konkrete *Maschinensprache* entwickelten) *Assembler-Compiler*.**

Sowohl die *Sprache* (für eine konkrete Architektur) als auch der zugehörige *Compiler* werden *Assembler* genannt:

- ***Assembler-Sprache***
- ***Assembler-Compiler***

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Maschinensprache (*Operations-Code*):

- **Beispiel: Programm zur „*Addition*“, 3. Version**

a) *Assembler*-Code:

```
100  LWDD R0, #202      ; Akku :=  Inhalt Speicher(202 + 203)
102  SLA                ; Akku := Akku * 2 (Shift arithmetisch)
104  ADDD #4            ; Akku := Akku + 4
106  LWDD R1, #200      ; R1:=  Inhalt Speicher(200 + 201)
108  ADD R1             ; Akku := Akku + R1
110  SWDD R0, #204      ; Inhalt Speicher(204 + 205) := Akku
```

b) *Maschinen*-Code (vereinfacht)**:**

```
100  01000000 11001010  ; LWDD R0, #202
102  00001000 00000000  ; SLA
104  10000000 00000100  ; ADDD #4
106  01000100 11001000  ; LWDD R1, #200
108  00000111 10000000  ; ADD R1
110  01100000 11001100  ; SWDD R0, #204
```

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Maschinensprache (*Operations-Code*):

- **Beispiel: Programm zur „*Summenbildung*“, 1. Version**

  a) *Assembler*-Code:

```
100  LWDD R0, #200     ; Akku = k
102  SWDD R0, #204     ; Summe s initialisieren und speichern
104  LWDD R0, #200     ; Akku = k
106  INC               ; k = k + 1
108  SWDD R0, #200     ; Inkrementierten Wert speichern
110  LWDD R1, #204     ; R1 = s
112  ADD R1            ; s = s + k
114  SWDD R0, #204     ; Summe speichern
116  LWDD R0, #200     ; k (inkrementierter Wert) laden
118  NOT               ; Akku = Akku invertieren
120  INC               ; Akku = Akku + 1 (=> 2er-Komplement von k)
122  LWDD R1, #202     ; R1 = j
124  ADD R1            ; Akku = Akku + R1 (= j - k)
126  BNZD #104         ; Wenn j - k ≠ 0 springe zu 104 zurück
```

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners

Maschinensprache (*Operations-Code*):

- **Beispiel: Programm zur „*Summenbildung*“, 1. Version**

  a) *Assembler*-Code:

100	**LWDD *R0*, *#200***	=>	**01000000 11001000**
102	**SWDD *R0*, *#204***	=>	**01100000 11001100**
104	**LWDD *R0*, *#200***	=>	**01000000 11001000**
106	**INC**	=>	**00000001 00000000**
108	**SWDD *R0*, *#200***	=>	**01100000 11001000**
110	**LWDD *R1*, *#204***	=>	**01000100 11001100**
112	**ADD *R1***	=>	**00000111 10000000**
114	**SWDD *R0*, *#204***	=>	**01100000 11001100**
116	**LWDD *R0*, *#200***	=>	**01000000 11001000**
118	**NOT**	=>	**00000000 10000000**
120	**INC**	=>	**00000001 00000000**
122	**LWDD *R1*, *#202***	=>	**01000100 11001010**
124	**ADD *R1***	=>	**00000111 10000000**
126	**BNZD *#104***	=>	**00101000 01101000**

Befehle – die „*Wörter*“ eines Rechners