# Computergrundlagen
# Turingmaschinen und Programmierung

**Jens Smiatek und Axel Arnold**

Institut für Computerphysik
Universität Stuttgart

Wintersemester 2015/16

# Was ist ein Computer?

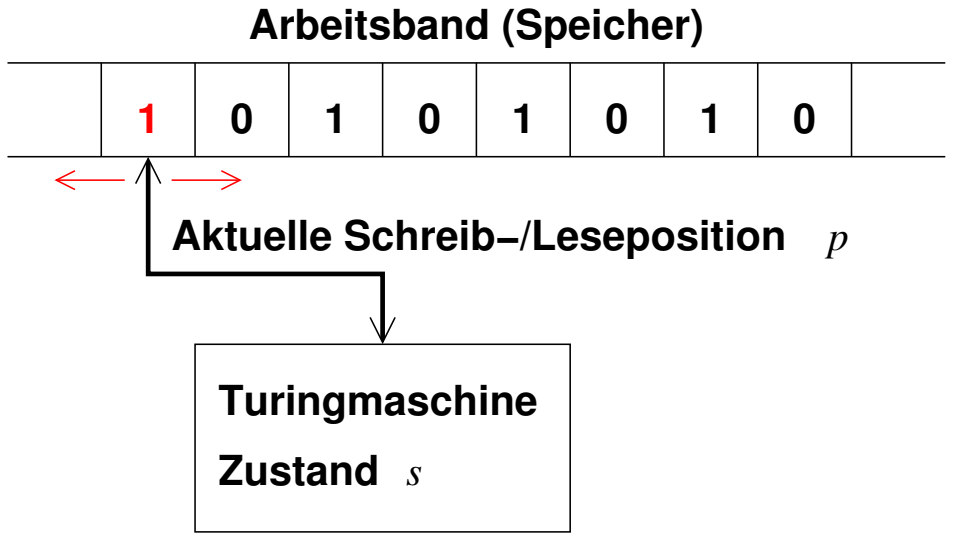
*Ein Computer (Rechner oder elektronische Datenverarbeitungsanlage) ist ein Gerät, welches mittels* ***programmierbarer Rechenvorschriften (Algorithmen)*** *Daten verarbeitet.*

Fragen:

- Was heisst programmierbar?
- Wie sehen Rechenvorschriften (Algorithmen) aus?

# Theoretische Informatik (Berechenbarkeit)

A. Turing, 1912 - 1954




- ca 1920, D. Hilbert: Was ist berechenbar, was beweisbar?
- 1931, K. Gödel: Entweder widerspruchsfrei oder vollständig!
- Nicht alles ist berechenbar!
- Wir können nicht mal bestimmen, was nicht beweisbar ist

# Implikationen

Entscheidungsproblem (David Hilbert):

**Ist eine Formel allgemeingültig?**

**Ist jede Interpretation einer formal logischen Aussage wahr?**

**Turingmaschine (Alan Turing):**
**Definition des Algorithmus und der Berechenbarkeit als formale, mathematische Begriffe**

A. Turing: *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem.* (1936)

# Turingmaschinen

Eine *Turingmaschine* ist definiert durch

- eine endliche Menge $\Gamma$, das Arbeitsalphabet, mit Leerzeichen $\sqcup \in \Gamma$
- eine endliche Menge $Z$ von Zuständen der Maschine
- den Startzustand $s \in Z$ und den Haltezustand $h \in Z$
- eine Überführungsfunktion $\delta : Z \times \Gamma \to Z \times \Gamma \times \{\leftarrow, \downarrow, \rightarrow\}$

Eine *Konfiguration* ist

- eine Zeichenkette $w$ über dem Arbeitsalphabet
- eine Position $p$ in $w$, die aktuelle Arbeitsposition
- der aktuelle Zustand $z$ der Turingmaschine

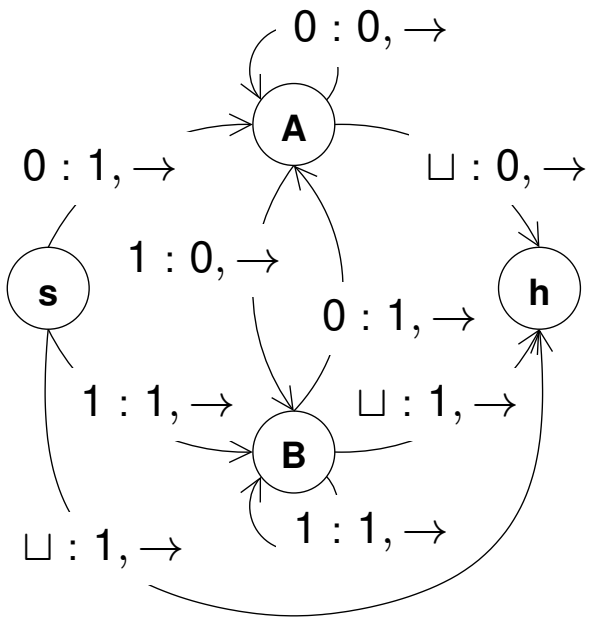
Eine Konfiguration $(w, p, z)$ führt in eine andere $(w', p', z')$ über, wenn $\delta(z, w_p) = (z', w'_p, d)$, und $d$ $p$ nach $p'$ versetzt.

Startkonfiguration: Eine Eingabe $w$, $p$ am Anfang von $w$, Zustand $s$.

# Darstellung von Turingmaschinen



Beispiel: Eine „1“ vorne einfügen




**A: „0“ gemerkt**

**B: „1“ gemerkt**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| s | 0 | A | 1 | → |
| s | 1 | B | 1 | → |
| s | ␣ | h | 1 | → |
| A | 0 | A | 0 | → |
| A | 1 | B | 0 | → |
| A | ␣ | h | 0 | → |
| B | 0 | A | 1 | → |
| B | 1 | B | 1 | → |
| B | ␣ | h | 1 | → |

Ablauf: Schreibe Zustand in das Arbeitsband vor die aktuelle Position, $\vdash$ bezeichnet Übergang

$$s101 \vdash 1B01 \vdash 11A1 \vdash 110B\sqcup \vdash 1101h\sqcup$$

# Turingmaschinen II

- Turingmaschinen können kombiniert werden
  *Beispiel: Hinter jedem Zeichen eine 0 einfügen*
- *universelle Turingmaschine*: eine Turingmaschine, die berechnet, was eine Turingmaschine tut
- *Halteproblem*: es gibt keine Turingmaschine, die entscheidet, ob eine gegebene Turingmaschine bei leerer Eingabe anhält
- Turingmaschinen und von Neumann-Computer sind äquivalent
- Church-Turing-These:

**Turing-berechenbare Funktionen sind genau die von Menschen intuitiv berechenbaren Funktionen**

# Was sind Programme?

- In dieser Vorlesung: Python, C, LaTeX, bash
- Sind das alle Typen von Programmiersprachen?

**Wie kann man Programmiersprachen klassifizieren?**

- Kein Prozessor versteht Python-, C- oder Shell-Befehle
- Was muss alles passieren, um ein Programm laufen zu lassen?

**Wie wird aus unserem Programm etwas, dass der Prozessor ausführen kann?**

# Kommunikation mit Computern

Kommunikation zwischen R2-D2 (Computer), C3-PO (Übersetzer) und Luke (Mensch?)

# Programmiersprachen

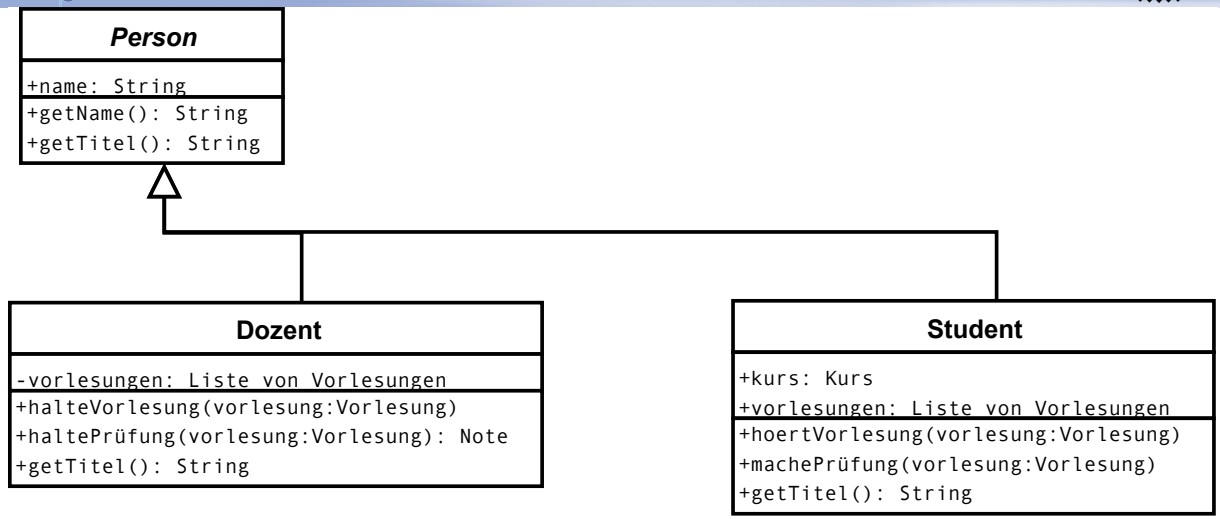
## Imperative Sprachen

*Beispiele: Python, C, Shell, BASIC...*

- Die meisten Sprachen sind imperativ
- Programme erklären, *wie* ein Problem gelöst werden soll
- Umsetzung des von Neumann-Rechners: Befehle und Schleifen
- **prozedural** heißen Sprachen, die Prozeduren kennen
  *Beispiele: alle außer einfachem BASIC*

## Deklarative Sprachen

- Keine von Neumann-artigen Befehle, kein innerer Zustand
- Rekursion anstatt Schleifen
- **funktional**, basierend auf Funktion im mathematischen Sinn
  *Beispiele: Haskell, Erlang, Scheme...*
- **logisch**, basierend auf Fakten, Axiomen und logischer Ableitung
  *Beispiele: Prolog*

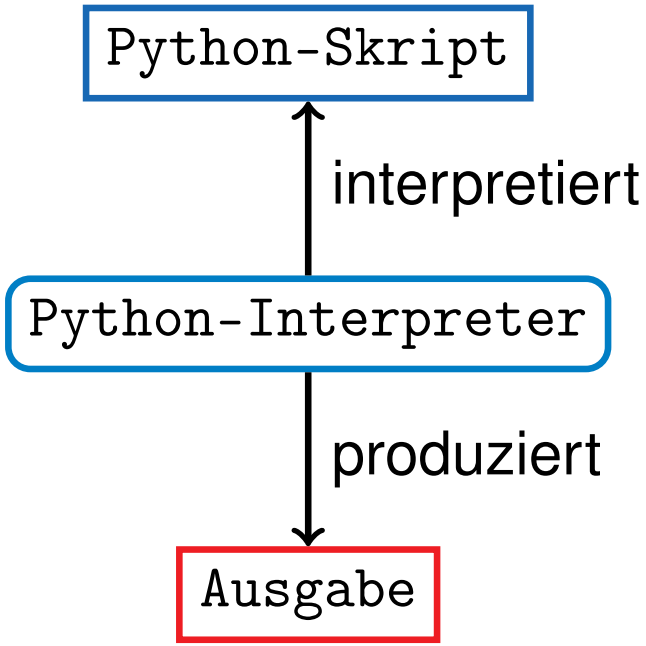


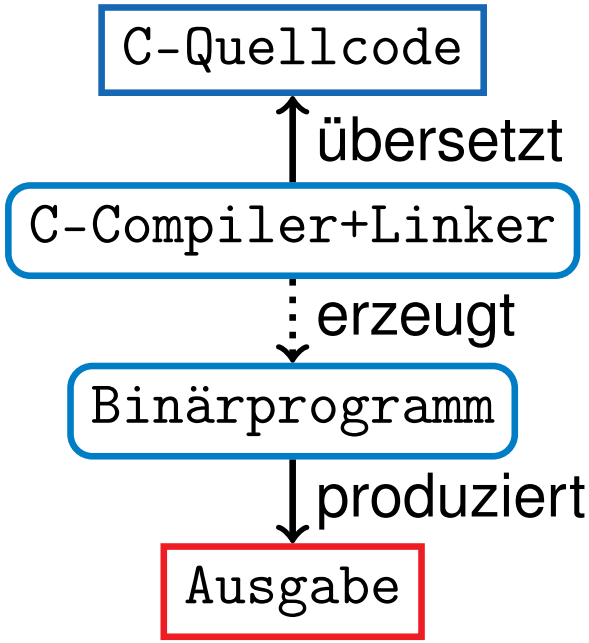

- Objektorientierung (OO) ist ein sprachunabhängiges Programmiermodell
- Ziel ist die bessere Wartbarkeit und Austauschbarkeit von Software durch starke Isolation von Teilproblemen
- Speziell darauf ausgelegt sind z.B. C++, Java, Python,...
- UML (Unified Modelling Language) beschreibt OO-Modelle

# Terminologie

- **Klasse**: beschreibt Eigenschaften und Methoden von Objekten
  *Beispiel: Klassen sind z.B. Dozent, Student, Person*
- **Objekt**: eine Instanz einer Klasse. Ein Objekt hat stets eine Klasse, aber es kann viele Instanzen geben
  *Beispiel: Maria Fyta ist ein Dozent (neutral...), ich auch*
- **Eigenschaften**: Datenelemente von Objekten
  *Beispiel:* Dozent hat Name, Titel und zu haltende Vorlesungen
- **Methoden**: Funktionen einer Klasse
  *Beispiel: Personen können ihren Namen sagen*
- **Datenkapselung**: Eigenschaften werden nur durch Funktionen der Klasse verändert
  *Beispiel: der Name einer Person kann nicht geändert werden*
- **Vererbung**: Klassen können von anderen abgeleitet werden, erben dadurch deren Eigenschaften und Funktionen
  *Beispiel: Jede Person hat einen Namen*

# Interpreter- und Compilersprachen

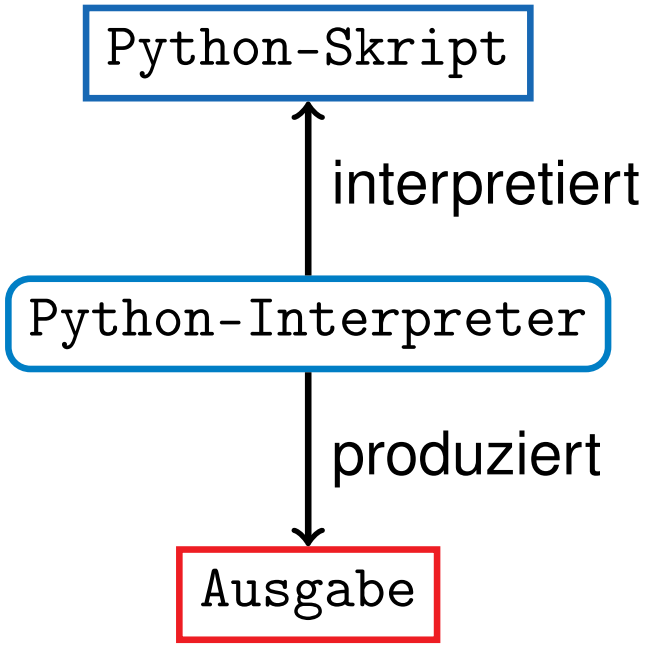


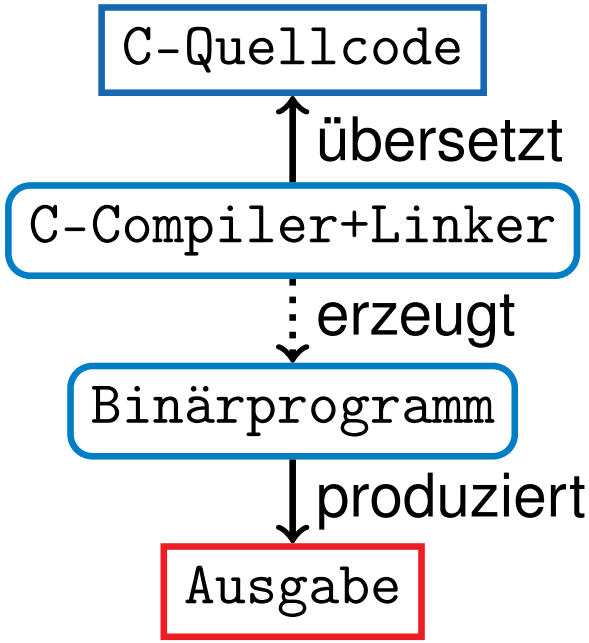




## Interpretersprachen

- Z.B. Python, Java, C#, Basic, PHP, Shellsprachen
- Das Programm wird vom Interpreter gelesen und ausgeführt
- Es wird nie in Maschinencode für den Prozessor übersetzt
- Ausnahme: Just-in-Time (JIT) Compiler

# Interpreter- und Compilersprachen




## Compilersprachen

- Z.B. C/C++, Fortran, Pascal/Delphi
- Compiler übersetzt in maschinenlesbaren Code
- Nicht portabel, erschwerte Fehlersuche, deutlich schneller
- Interpreter selbst müssen compiliert werden

# Maschinensprache

**Aber was versteht nun der Prozessor?**

Zahlenkolonnen, z.B.

```
AD 34 12 18 69 2A 8D 34
12 AD 35 12 69 00 8d 35
12
```

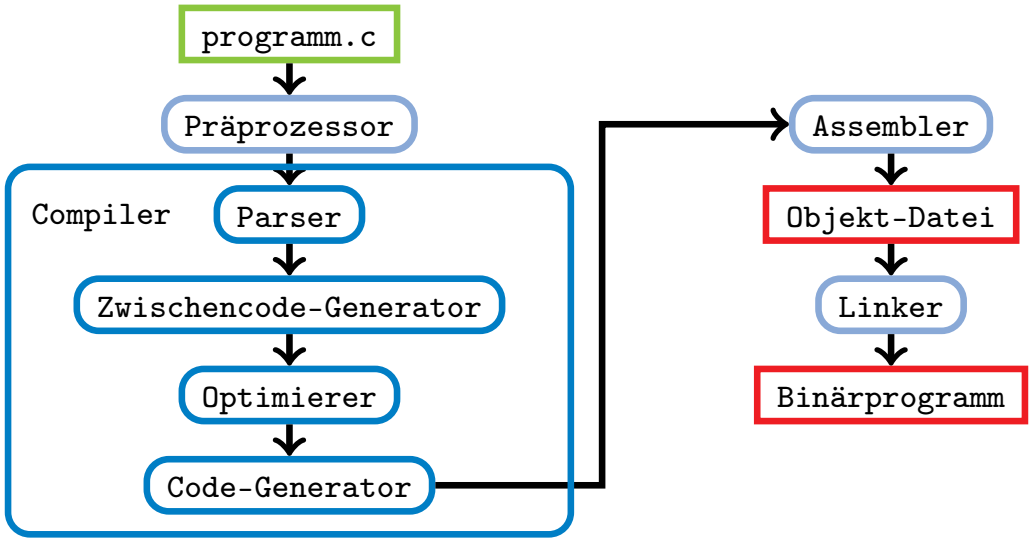
- Maschinencode für den 6502-Mikroprozessor
- Addiert 42 zur 16-bit-Zahl an Speicherstellen 1234h und 1235h

**Wie wird aus einem Programm Maschinencode?**

# Assembler

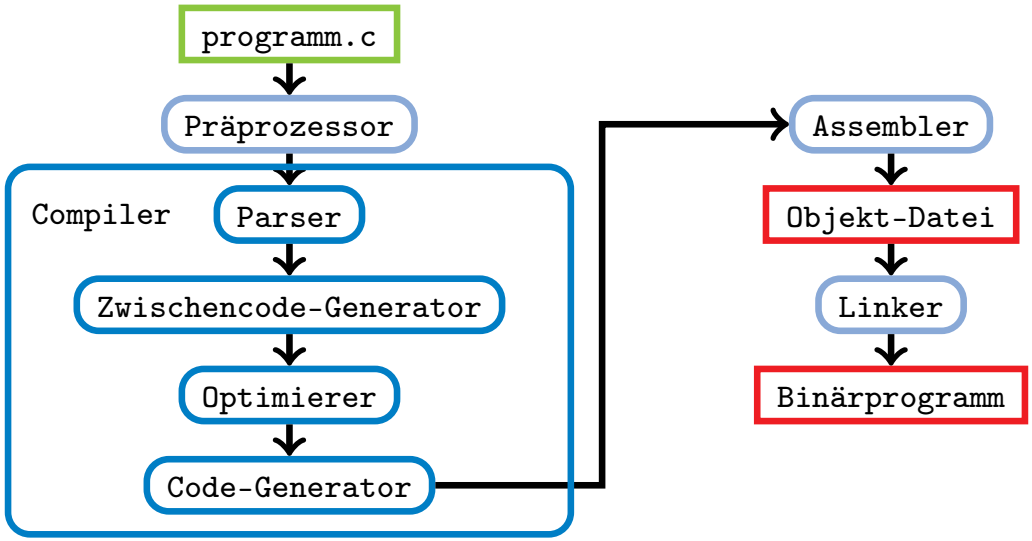
- Assembler ist die menschenlesbare Form der Maschinensprache
- Assembler bezeichnet auch das Programm, das die Befehle in Zahlen übersetzt und Labels an Speicherzellen knüpft
- Zeitkritische Anwendungen werden auch heute noch manchmal in Assembler geschrieben

# Vom Sourcecode zum Programm




- Ein Programm durchläuft viele Schritte bis zur fertigen ausführbaren Datei
- **Präprozessor**, **Compiler**, **Assembler** und **Linker** sind meist separate Programme
- meist mehrere Objektdateien aus verschiedenen Quelltextdateien

# Vom Sourcecode zum Programm



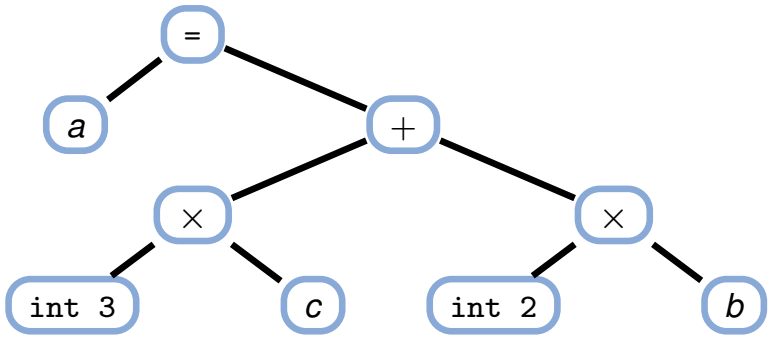

## Präprozessor

- Im Prinzip sprachunabhängig, rein textbasiert
- Bindet weitere Quelltextdateien ein
- Erlaubt den Einsatz von *Makros* (Ersetzungen)

# Der Compiler

- **Parser** übersetzt den Quellcode in einen Syntaxbaum

$$a = 2 * b + 3 * c \dots\dots\dots\dots\rightarrow$$

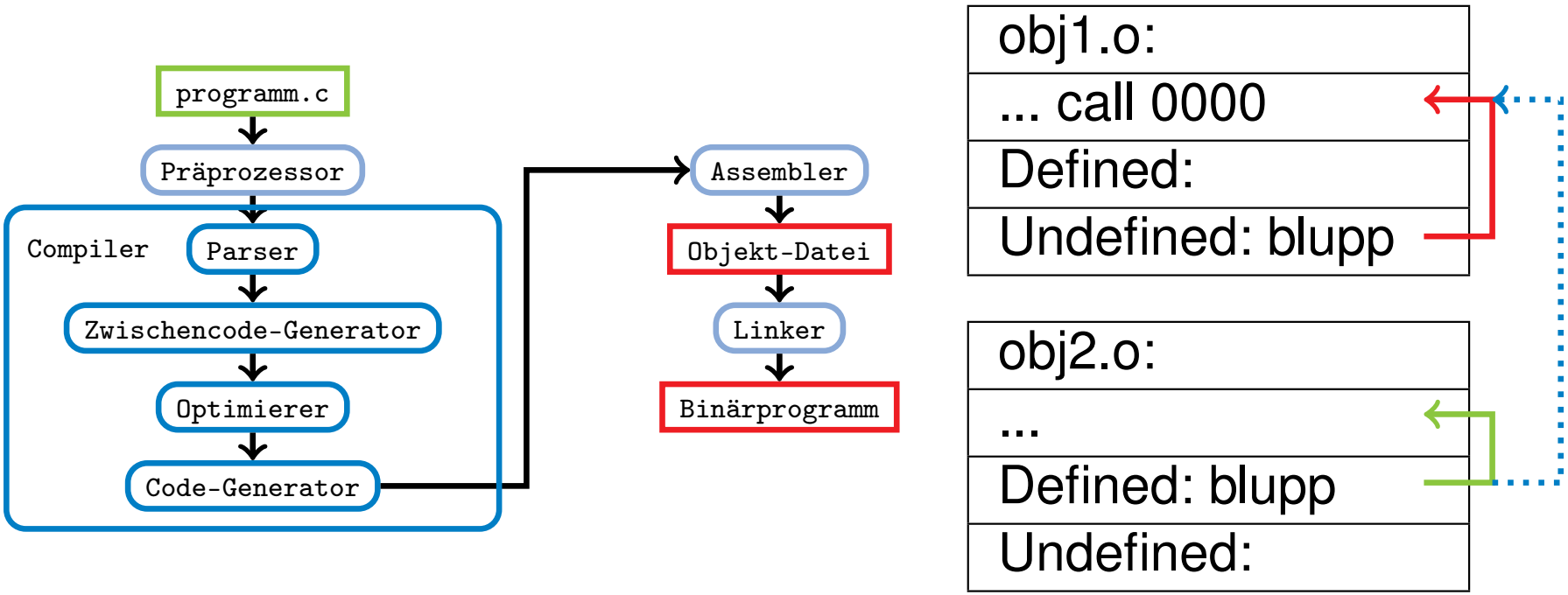



- **Zwischencode-Generator** erzeugt daraus Pseudocode, etwa:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $r1 = b$ | $r2 = r1 \times 2$ | $r3 = c$ | $r4 = r3 \times 3$ | $r5 = r2 + r4$ | $a = r5$ |

- **Optimierer** versucht, diesen zu verbessern, z.B. durch
  - Prozessorregisterzuweisung
  - Einfügen kurzer Funktionen, Entrollen von Schleifen
  - Suche nach gemeinsamen Termen, ...
- **Code-Generator** erzeugt Assembler aus dem Zwischencode

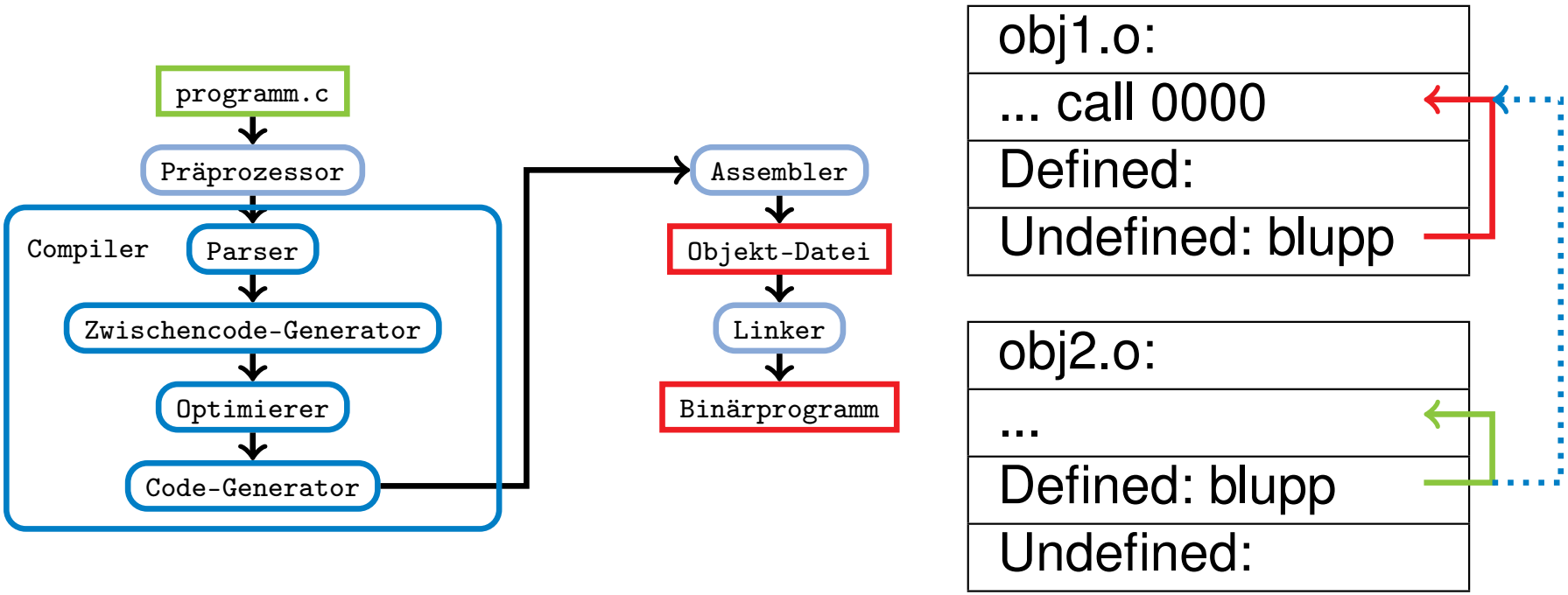
# Der Assembler




Der **Assembler** erzeugt eine Objektdatei mit

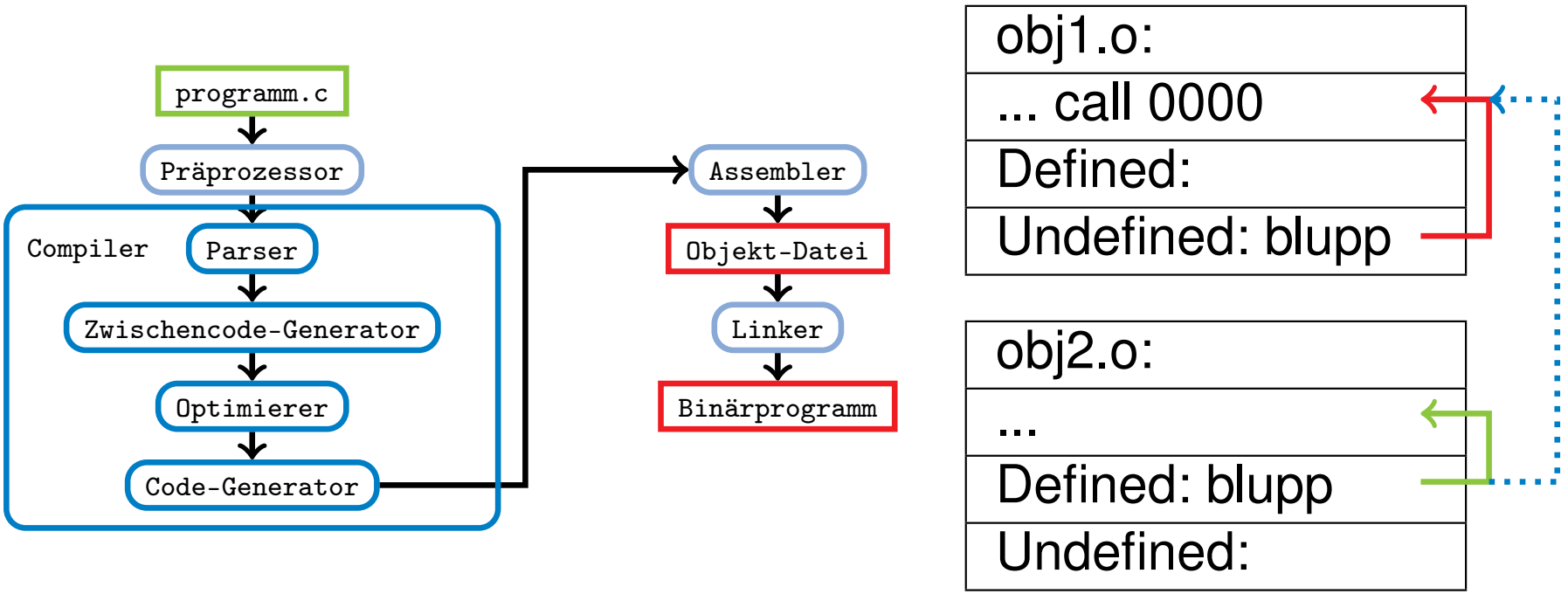
- Maschinencode
- den Speicherpositionen von globalen Variablen und Funktionen
- Stellen, an denen Stellen Information über solche Positionen aus andere Objektdateien benötigt wird

# Der Linker




- Verbindet mehrere solcher Objektdateien zu einer ausführbaren Datei (Binary) oder einer **Bibliothek**
- Bibliotheken sind Sammlungen von Objektdateien
- Der Linker verbindet Zugriffe zwischen Objektdateien
- Nur wenn alle Zugriffe aufgelöst wurden, entsteht ein Binary

# Dynamisches Linken




- Beim **dynamischen Linken** wird das Linken gegen die Bibliotheken erst beim Starten des Programms erledigt.
- Dadurch können Teile des Programms geupdated werden
- Und mehrfach benutzte Bibliotheken werden nur einmal geladen
- Erfordert spezielle dynamische Bibliotheken (.so, .dylib oder .dll)