

# Informatik I: Einführung in die Programmierung

## 16. Finale: Ein Interpreter für Brainf\*ck

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg



UNI  
FREIBURG

Peter Thiemann

11.02.2020



# Motivation

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Jeder *Informatiker* sollte **mindestens 2 Programmiersprachen** beherrschen!

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung

# Brainf\*ck: Eine minimale Sprache



UNI  
FREIBURG

- Jeder *Informatiker* sollte **mindestens 2 Programmiersprachen** beherrschen!
- Python, C, Scheme, Java, Ruby, Haskell, ...

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Jeder *Informatiker* sollte **mindestens 2 Programmiersprachen** beherrschen!
- Python, C, Scheme, Java, Ruby, Haskell, ...
- Wir lernen heute eine minimale Programmiersprache kennen, ...

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Jeder *Informatiker* sollte **mindestens 2 Programmiersprachen** beherrschen!
- Python, C, Scheme, Java, Ruby, Haskell, ...
- Wir lernen heute eine minimale Programmiersprache kennen, ...
- ...bauen dazu einen **Interpreter**,

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Jeder *Informatiker* sollte **mindestens 2 Programmiersprachen** beherrschen!
- Python, C, Scheme, Java, Ruby, Haskell, ...
- Wir lernen heute eine minimale Programmiersprache kennen, ...
- ...bauen dazu einen **Interpreter**,
- ...der **Dictionaries** und **Exceptions** clever verwendet

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Jeder *Informatiker* sollte **mindestens 2 Programmiersprachen** beherrschen!
- Python, C, Scheme, Java, Ruby, Haskell, ...
- Wir lernen heute eine minimale Programmiersprache kennen, ...
- ...bauen dazu einen **Interpreter**,
- ...der **Dictionaries** und **Exceptions** clever verwendet
- ...und dürfen uns freuen, dass wir bisher eine sehr viel komfortablere Sprache verwendet haben!

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung





- Brainf\*ck kennt ganze 8 Befehle

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Brainf\*ck kennt ganze 8 Befehle
- Beschrieben 1993 von Urban Müller, der dafür einen Compiler in 240 Byte geschrieben hat.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Brainf\*ck kennt ganze 8 Befehle
- Beschrieben 1993 von Urban Müller, der dafür einen Compiler in 240 Byte geschrieben hat.
- Wird gerne für „Fingerübungen“ im Kontext Interpreter/Compiler benutzt.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Brainf\*ck kennt ganze 8 Befehle
- Beschrieben 1993 von Urban Müller, der dafür einen Compiler in 240 Byte geschrieben hat.
- Wird gerne für „Fingerübungen“ im Kontext Interpreter/Compiler benutzt.
- Brainf\*ck ist **Turing-vollständig**, d.h. alle *berechenbaren Funktionen* können implementiert werden.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Brainf\*ck kennt ganze 8 Befehle
- Beschrieben 1993 von Urban Müller, der dafür einen Compiler in 240 Byte geschrieben hat.
- Wird gerne für „Fingerübungen“ im Kontext Interpreter/Compiler benutzt.
- Brainf\*ck ist **Turing-vollständig**, d.h. alle *berechenbaren Funktionen* können implementiert werden.
- Ein „esoterische“ Programmiersprache. Andere Vertreter z.B. *Whitespace*, *Chef*, *TrumpScript*, *Shakespeare* und *JSF\*ck*.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



# Programmiersprache

Motivation

Program-  
miersprache

Befehle  
Schleifen

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



## Syntax von Brainf\*ck

- Ein **Programm** ist Folge von ASCII-Zeichen (Unicode-Wert 0 bis 127).
- Bedeutungstragend sind aber nur die acht Zeichen:  

< > + - . , [ ]
- Alles andere ist Kommentar.

Motivation

Program-  
miersprache

Befehle  
Schleifen

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



## Syntax von Brainf\*ck

- Ein **Programm** ist Folge von ASCII-Zeichen (Unicode-Wert 0 bis 127).
- Bedeutungstragend sind aber nur die acht Zeichen:

< > + - . , [ ]

- Alles andere ist Kommentar.

## Berechnungsmodell

- Ein Programm wird Zeichen für Zeichen abgearbeitet, bis das Ende des Programms erreicht wird.
- Es gibt einen ASCII-Eingabestrom und einen ASCII-Ausgabestrom (normalerweise die Konsole)
- Die **Daten** werden in einer Liste gehalten: `data`. Wir reden hier von **Zellen**.
- Es gibt einen **Datenzeiger**, der initial 0 ist: `ptr`.

Motivation

Program-  
miersprache

Befehle  
Schleifen

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung





|                             |                                              |
|-----------------------------|----------------------------------------------|
| Befehle:                    | $B = [0, 127]$                               |
| Befehlszähler:              | $pc \in \mathbb{N}$                          |
| Datenzeiger/aktuelle Zelle: | $ptr \in \mathbb{N}$                         |
| Programm:                   | $src \in \mathbb{N} \hookrightarrow B$       |
| Datenzellen:                | $data \in \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$ |

Der Zustandsraum ist ein Tupel

$$(pc, ptr, src, data, \dots) \in Z \quad (1)$$

mit Startzustand

$$(0, 0, src, \lambda n : 0, \dots) \quad (2)$$

Jeder Befehl beschreibt einen Zustandsübergang  $l(B) \in Z \hookrightarrow Z$ .

Motivation

Program-  
miersprache

Befehle  
Schleifen

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



Jeder Befehl wirkt auf  $(pc, ptr, src, data, \dots)$

- Bewege den Datenzeiger nach rechts:  $(pc + 1, ptr + 1, src, data, \dots)$

Motivation

Program-  
miersprache

**Befehle**  
Schleifen

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



Jeder Befehl wirkt auf  $(pc, ptr, src, data, \dots)$

- Bewege den Datenzeiger nach rechts:  $(pc + 1, ptr + 1, src, data, \dots)$
- Bewege den Datenzeiger nach links:  $(pc + 1, ptr - 1, src, data, \dots)$

Motivation

Program-  
miersprache

Befehle  
Schleifen

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



Jeder Befehl wirkt auf  $(pc, ptr, src, data, \dots)$

- > Bewege den Datenzeiger nach rechts:  $(pc + 1, ptr + 1, src, data, \dots)$
- < Bewege den Datenzeiger nach links:  $(pc + 1, ptr - 1, src, data, \dots)$
- + Erhöhe den Wert in der aktuellen Zelle:  
 $(pc + 1, ptr - 1, src, data[ptr \mapsto data(ptr) + 1], \dots)$

Motivation

Program-  
miersprache

Befehle  
Schleifen

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



Jeder Befehl wirkt auf  $(pc, ptr, src, data, \dots)$

- > Bewege den Datenzeiger nach rechts:  $(pc + 1, ptr + 1, src, data, \dots)$
- < Bewege den Datenzeiger nach links:  $(pc + 1, ptr - 1, src, data, \dots)$
- + Erhöhe den Wert in der aktuellen Zelle:  
 $(pc + 1, ptr - 1, src, data[ptr \mapsto data(ptr) + 1], \dots)$
- Erniedrige den Wert in der aktuellen Zelle:  
 $(pc + 1, ptr - 1, src, data[ptr \mapsto data(ptr) - 1], \dots)$

Motivation

Program-  
miersprache

Befehle  
Schleifen

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



Jeder Befehl wirkt auf  $(pc, ptr, src, data, \dots)$

- > Bewege den Datenzeiger nach rechts:  $(pc + 1, ptr + 1, src, data, \dots)$
- < Bewege den Datenzeiger nach links:  $(pc + 1, ptr - 1, src, data, \dots)$
- + Erhöhe den Wert in der aktuellen Zelle:  
 $(pc + 1, ptr - 1, src, data[ptr \mapsto data(ptr) + 1], \dots)$
- Erniedrige den Wert in der aktuellen Zelle:  
 $(pc + 1, ptr - 1, src, data[ptr \mapsto data(ptr) - 1], \dots)$
- Gebe ein ASCII-Zeichen entsprechend dem Wert in der aktuellen Zelle aus:  
`print(chr(data[ptr]), end='')`.

Motivation

Program-  
miersprache

Befehle  
Schleifen

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



Jeder Befehl wirkt auf  $(pc, ptr, src, data, \dots)$

- Bewege den Datenzeiger nach rechts:  $(pc + 1, ptr + 1, src, data, \dots)$
- Bewege den Datenzeiger nach links:  $(pc + 1, ptr - 1, src, data, \dots)$
- + Erhöhe den Wert in der aktuellen Zelle:  
 $(pc + 1, ptr - 1, src, data[ptr \mapsto data(ptr) + 1], \dots)$
- Erniedrige den Wert in der aktuellen Zelle:  
 $(pc + 1, ptr - 1, src, data[ptr \mapsto data(ptr) - 1], \dots)$
- Gebe ein ASCII-Zeichen entsprechend dem Wert in der aktuellen Zelle aus:  
`print(chr(data[ptr]), end='')`.
- Lese ein ASCII-Zeichen und lege den Wert in der aktuellen Zelle ab:  
`data[ptr] = sys.stdin.read(1)`.

Motivation

Program-  
miersprache

Befehle  
Schleifen

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



Ein Programm ohne Verzweigungen und Schleifen, das einen Großbuchstaben in den entsprechenden Kleinbuchstaben übersetzt.

```
konv.b
```

```
Lese ein Zeichen (Annahme: Grossbuchstabe)
```

```
,
```

```
Konvertiere in Kleinbuchstabe
```

```
+++++
```

```
Gebe das Zeichen aus
```

```
.
```

```
Und hier ist das Programm zu Ende
```

Probiere aus auf: <https://fatiherikli.github.io/brainfuck-visualizer/>

Motivation

Program-  
miersprache

Befehle  
Schleifen

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung





- Aus „normalen“ Programmiersprachen kennen wir die `while`-Schleife.

Motivation

Program-  
miersprache

Befehle  
Schleifen

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Aus „normalen“ Programmiersprachen kennen wir die `while`-Schleife.
- Diese Rolle spielt in Brainf\*ck das Klammerpaar `[ und ]`:

Motivation

Program-  
miersprache

Befehle  
Schleifen

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Aus „normalen“ Programmiersprachen kennen wir die `while`-Schleife.
- Diese Rolle spielt in Brainf\*ck das Klammerpaar `[` und `]`:
  - [ Falls Inhalt der aktuellen Zelle = 0 ist ( $data(ptr) = 0$ ), dann springe zum Befehl nach der **zugehörigen schließenden** Klammer (beachte Klammerungsregeln). Ansonsten setzte die Ausführung mit dem Befehl nach der öffenden Klammer fort.

Motivation

Program-  
miersprache

Befehle  
Schleifen

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Aus „normalen“ Programmiersprachen kennen wir die `while`-Schleife.
- Diese Rolle spielt in Brainf\*ck das Klammerpaar `[` und `]`:
  - `[` Falls Inhalt der aktuellen Zelle = 0 ist ( $data(ptr) = 0$ ), dann springe zum Befehl nach der **zugehörigen schließenden** Klammer (beachte Klammerungsregeln). Ansonsten setze die Ausführung mit dem Befehl nach der öffenden Klammer fort.
  - `]` Springe zurück zur **zugehörigen öffnenden** Klammer.

Motivation

Program-  
miersprache

Befehle  
Schleifen

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



# Beispiele

Motivation

Program-  
miersprache

**Beispiele**

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung

# Beispiel mit Schleife



loop.b

```
+++++      set cell #0 to 6
[ > ++++++ add 8 to cell #1
  < -      decrement loop counter cell #0
]
> +        add another 1 to cell #1
.          print ASCII 49 = '1'

-          now cell #1 is '0'
< ++++++   set cell #0 to 8
[ > .      print ASCII 48 = '0'
  < -      decrement loop counter (cell #0)
]
```

Ausgabe: 100000000

# Hello World (1)



## hello.b - Part 1

```
+++++ +++++ initialize counter (cell #0) to 10
[
    use loop to set 70/100/30/10
    > +++++ ++          add 7 to cell #1
    > +++++ +++++       add 10 to cell #2
    > +++               add 3 to cell #3
    > +                add 1 to cell #4
    <<<< -             decrement counter (cell #0)
]
> ++ .               print 'H'
> + .               print 'e'
+++++ ++ .          print 'l'
.                  print 'l'
+++ .              print 'o'
```

# Hello World (2)



## hello.b - Part 2

```
> ++ .          print ' '
<< ++++++ ++++++ ++++++ . print 'W'
> .             print 'o'
+++ .           print 'r'
----- - .     print 'l'
----- ---- .  print 'd'
> + .           print '!'
> .             print '\n'
```

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung





- Selbst einfache Operationen müssen durch kleine Programmstücke simuliert werden.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Selbst einfache Operationen müssen durch kleine Programmstücke simuliert werden.
  - Auf Null setzten (negative Werte sollten nicht auftreten!): [-]

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Selbst einfache Operationen müssen durch kleine Programmstücke simuliert werden.
  - Auf Null setzten (negative Werte sollten nicht auftreten!): `[-]`
  - Zuweisung von Konstanten an Variable ist einfach: `[-]+++ . . .`  
(ggf. Schleife verwenden)

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Selbst einfache Operationen müssen durch kleine Programmstücke simuliert werden.
  - Auf Null setzten (negative Werte sollten nicht auftreten!): `[-]`
  - Zuweisung von Konstanten an Variable ist einfach: `[-]+++ ...`  
(ggf. Schleife verwenden)
  - Addieren des Wertes der aktuellen Zelle zu einer anderen Zelle, (mit gegebenem Abstand, z.B. +3): `[->>> + <<< ]`

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Selbst einfache Operationen müssen durch kleine Programmstücke simuliert werden.
  - Auf Null setzen (negative Werte sollten nicht auftreten!): `[-]`
  - Zuweisung von Konstanten an Variable ist einfach: `[-]+++ ...`  
(ggf. Schleife verwenden)
  - Addieren des Wertes der aktuellen Zelle zu einer anderen Zelle, (mit gegebenem Abstand, z.B. +3): `[->>> + <<< ]`
  - Transfer des Wertes, falls initialer Wert der Zielzelle = 0.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Selbst einfache Operationen müssen durch kleine Programmstücke simuliert werden.
  - Auf Null setzten (negative Werte sollten nicht auftreten!): `[-]`
  - Zuweisung von Konstanten an Variable ist einfach: `[-]+++ ...`  
(ggf. Schleife verwenden)
  - Addieren des Wertes der aktuellen Zelle zu einer anderen Zelle, (mit gegebenem Abstand, z.B. +3): `[->>> + <<< ]`
  - Transfer des Wertes, falls initialer Wert der Zielzelle = 0.
  - Übertragen in zwei Zellen: `[->>>+>+<<<< ]`

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Selbst einfache Operationen müssen durch kleine Programmstücke simuliert werden.
  - Auf Null setzten (negative Werte sollten nicht auftreten!): `[-]`
  - Zuweisung von Konstanten an Variable ist einfach: `[-]+++ ...`  
(ggf. Schleife verwenden)
  - Addieren des Wertes der aktuellen Zelle zu einer anderen Zelle, (mit gegebenem Abstand, z.B. +3): `[->>> + <<< ]`
  - Transfer des Wertes, falls initialer Wert der Zielzelle = 0.
  - Übertragen in zwei Zellen: `[->>>+><<<< ]`
  - Kopieren: Erst in zwei Zellen transferieren, dann den einen Wert zurück transferieren.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



## ■ Kontrollstrukturen und logische Operatoren:

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung





- Kontrollstrukturen und logische Operatoren:
  - *If*-Anweisung ( $x \neq 0$ ):

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Kontrollstrukturen und logische Operatoren:
  - *If*-Anweisung ( $x \neq 0$ ):
    - Benutze Schleife und setze die Test-Variable am Ende auf Null (ist destruktiv für die getestete Variable!)

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Kontrollstrukturen und logische Operatoren:

- *If*-Anweisung ( $x \neq 0$ ):

- Benutze Schleife und setze die Test-Variable am Ende auf Null (ist destruktiv für die getestete Variable!)
    - Annahme, Testvariable ist aktuelle Zelle: [ ... [-]]

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



## ■ Kontrollstrukturen und logische Operatoren:

### ■ *If*-Anweisung ( $x \neq 0$ ):

- Benutze Schleife und setze die Test-Variable am Ende auf Null (ist destruktiv für die getestete Variable!)
- Annahme, Testvariable ist aktuelle Zelle: [ ... [-]]

### ■ Für die logischen Operatoren sei 0 = *False*, alles andere *True*.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



## ■ Kontrollstrukturen und logische Operatoren:

### ■ *If*-Anweisung ( $x \neq 0$ ):

- Benutze Schleife und setze die Test-Variable am Ende auf Null (ist destruktiv für die getestete Variable!)
- Annahme, Testvariable ist aktuelle Zelle: [ ... [-]]

### ■ Für die logischen Operatoren sei 0 = *False*, alles andere *True*.

### ■ Logisches *and*:

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



## ■ Kontrollstrukturen und logische Operatoren:

### ■ *If*-Anweisung ( $x \neq 0$ ):

- Benutze Schleife und setze die Test-Variable am Ende auf Null (ist destruktiv für die getestete Variable!)
- Annahme, Testvariable ist aktuelle Zelle: [ ... [-]]

### ■ Für die logischen Operatoren sei 0 = *False*, alles andere *True*.

### ■ Logisches *and*:

- Setze Ergebnisvariable auf Null. Dann ein If-Statement über dem ersten Operanden, in dem der zweite Operand auf die Ergebnisvariable transferiert wird.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



## ■ Kontrollstrukturen und logische Operatoren:

### ■ *If*-Anweisung ( $x \neq 0$ ):

- Benutze Schleife und setze die Test-Variable am Ende auf Null (ist destruktiv für die getestete Variable!)
- Annahme, Testvariable ist aktuelle Zelle: [ ... [-]]

### ■ Für die logischen Operatoren sei 0 = *False*, alles andere *True*.

### ■ Logisches *and*:

- Setze Ergebnisvariable auf Null. Dann ein If-Statement über dem ersten Operanden, in dem der zweite Operand auf die Ergebnisvariable transferiert wird.
- Annahme, Linker Op. aktuell, rechter Op. +1, Ergebnis +2:  
`>>[-]<< [ > [ > + < [-]] < [-]] >>`

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



## ■ Kontrollstrukturen und logische Operatoren:

### ■ *If*-Anweisung ( $x \neq 0$ ):

- Benutze Schleife und setze die Test-Variable am Ende auf Null (ist destruktiv für die getestete Variable!)
- Annahme, Testvariable ist aktuelle Zelle: [ ... [-]

### ■ Für die logischen Operatoren sei 0 = *False*, alles andere *True*.

### ■ Logisches *and*:

- Setze Ergebnisvariable auf Null. Dann ein If-Statement über dem ersten Operanden, in dem der zweite Operand auf die Ergebnisvariable transferiert wird.
- Annahme, Linker Op. aktuell, rechter Op. +1, Ergebnis +2:  
`>>[-]<< [ > [ > + < [-]] < [-]] >>`

### ■ Logisches *or*: Transferiere beide Operanden zur Ergebnisvariable.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung





## ■ Kontrollstrukturen und logische Operatoren:

### ■ *If*-Anweisung ( $x \neq 0$ ):

- Benutze Schleife und setze die Test-Variable am Ende auf Null (ist destruktiv für die getestete Variable!)
- Annahme, Testvariable ist aktuelle Zelle: [ ... [-]

### ■ Für die logischen Operatoren sei 0 = *False*, alles andere *True*.

### ■ Logisches *and*:

- Setze Ergebnisvariable auf Null. Dann ein If-Statement über dem ersten Operanden, in dem der zweite Operand auf die Ergebnisvariable transferiert wird.
- Annahme, Linker Op. aktuell, rechter Op. +1, Ergebnis +2:  
`>>[-]<< [ > [ > + < [-]] < [-]] >>`

### ■ Logisches *or*: Transferiere beide Operanden zur Ergebnisvariable.

### ■ Logisches *not*: Setze Ergebnisvariable auf 1. Dekrementiere Ergebnisvariable in einem If-Statement, das die Eingangsvariable abfragt.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



## ■ Vergleiche

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

**Hello World**

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Vergleiche
  - Vergleich zweier Zellen/Variablen:

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Vergleiche
  - Vergleich zweier Zellen/Variablen:
    - Dekrementieren beider Variablen, bis eine der Variablen Null wird.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Vergleiche

- Vergleich zweier Zellen/Variablen:

- Dekrementieren beider Variablen, bis eine der Variablen Null wird.
    - Falls beide Null sind, waren die Werte gleich, ansonsten entsprechend.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Vergleiche
  - Vergleich zweier Zellen/Variablen:
    - Dekrementieren beider Variablen, bis eine der Variablen Null wird.
    - Falls beide Null sind, waren die Werte gleich, ansonsten entsprechend.
  - Einfacher Vergleich mit einer Konstanten:

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



## ■ Vergleiche

### ■ Vergleich zweier Zellen/Variablen:

- Dekrementieren beider Variablen, bis eine der Variablen Null wird.
- Falls beide Null sind, waren die Werte gleich, ansonsten entsprechend.

### ■ Einfacher Vergleich mit einer Konstanten:

- Initialisiere Hilfsvariable mit 1, ziehe die Konstante mit Folge von Minuszeichen ab, starte Schleife, dekrementiere Hilfsvariable, dann addiere auf ursprüngliche Zelle die Konstante drauf, danach setze auf Null.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



## ■ Vergleiche

### ■ Vergleich zweier Zellen/Variablen:

- Dekrementieren beider Variablen, bis eine der Variablen Null wird.
- Falls beide Null sind, waren die Werte gleich, ansonsten entsprechend.

### ■ Einfacher Vergleich mit einer Konstanten:

- Initialisiere Hilfsvariable mit 1, ziehe die Konstante mit Folge von Minuszeichen ab, starte Schleife, dekrementiere Hilfsvariable, dann addiere auf ursprüngliche Zelle die Konstante drauf, danach setze auf Null.
- `>[-]+< -...- [-< +...+ [-] ] >`

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung





## ■ Vergleiche

### ■ Vergleich zweier Zellen/Variablen:

- Dekrementieren beider Variablen, bis eine der Variablen Null wird.
- Falls beide Null sind, waren die Werte gleich, ansonsten entsprechend.

### ■ Einfacher Vergleich mit einer Konstanten:

- Initialisiere Hilfsvariable mit 1, ziehe die Konstante mit Folge von Minuszeichen ab, starte Schleife, dekrementiere Hilfsvariable, dann addiere auf ursprüngliche Zelle die Konstante drauf, danach setze auf Null.
- `>[-]+< -...- [>-< +...+ [-] ] >`

## ■ Weitere Tipps: [http://www.iwriteiam.nl/Ha\\_bf\\_intro.html](http://www.iwriteiam.nl/Ha_bf_intro.html)

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



## ■ Vergleiche

### ■ Vergleich zweier Zellen/Variablen:

- Dekrementieren beider Variablen, bis eine der Variablen Null wird.
- Falls beide Null sind, waren die Werte gleich, ansonsten entsprechend.

### ■ Einfacher Vergleich mit einer Konstanten:

- Initialisiere Hilfsvariable mit 1, ziehe die Konstante mit Folge von Minuszeichen ab, starte Schleife, dekrementiere Hilfsvariable, dann addiere auf ursprüngliche Zelle die Konstante drauf, danach setze auf Null.
- `>[-]+< -...- [>-< +...+ [-] ] >`

## ■ Weitere Tipps: [http://www.iwriteiam.nl/Ha\\_bf\\_intro.html](http://www.iwriteiam.nl/Ha_bf_intro.html)

## ■ Darauf aufbauend können alle Konstrukte nach Brainf\*ck übersetzt werden.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



## ■ Vergleiche

### ■ Vergleich zweier Zellen/Variablen:

- Dekrementieren beider Variablen, bis eine der Variablen Null wird.
- Falls beide Null sind, waren die Werte gleich, ansonsten entsprechend.

### ■ Einfacher Vergleich mit einer Konstanten:

- Initialisiere Hilfsvariable mit 1, ziehe die Konstante mit Folge von Minuszeichen ab, starte Schleife, dekrementiere Hilfsvariable, dann addiere auf ursprüngliche Zelle die Konstante drauf, danach setze auf Null.
- `>[-]+< -...- [>-< +...+ [-] ] >`

## ■ Weitere Tipps: [http://www.iwriteiam.nl/Ha\\_bf\\_intro.html](http://www.iwriteiam.nl/Ha_bf_intro.html)

## ■ Darauf aufbauend können alle Konstrukte nach Brainf\*ck übersetzt werden.

## ■ Siehe Python → Brainf\*ck Compiler <https://github.com/felko/bfpy>

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



## ■ Vergleiche

### ■ Vergleich zweier Zellen/Variablen:

- Dekrementieren beider Variablen, bis eine der Variablen Null wird.
- Falls beide Null sind, waren die Werte gleich, ansonsten entsprechend.

### ■ Einfacher Vergleich mit einer Konstanten:

- Initialisiere Hilfsvariable mit 1, ziehe die Konstante mit Folge von Minuszeichen ab, starte Schleife, dekrementiere Hilfsvariable, dann addiere auf ursprüngliche Zelle die Konstante drauf, danach setze auf Null.
- `>[-]+< -...- [>-< +...+ [-] ] >`

## ■ Weitere Tipps: [http://www.iwriteiam.nl/Ha\\_bf\\_intro.html](http://www.iwriteiam.nl/Ha_bf_intro.html)

## ■ Darauf aufbauend können alle Konstrukte nach Brainf\*ck übersetzt werden.

## ■ Siehe Python → Brainf\*ck Compiler <https://github.com/felko/bfpy>

## ■ Letztendlich ist dies etwas, was *Compilerbauer* machen.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Schleife

Hello World

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



# Semantik

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

**Semantik**

Offene Fragen

Portabilität

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung

# Semantik (von 1993)



Short: 240 byte compiler. Fun, with src. OS 2.0  
Uploader: umueller amiga physik unizh ch  
Type: dev/lang  
Architecture: m68k-amigaos

The brainfuck compiler knows the following instructions:

| Cmd | Effect |
|-----|--------|
|-----|--------|

|     |       |
|-----|-------|
| --- | ----- |
|-----|-------|

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| + | Increases element under pointer       |
| - | Decreases element under pointer       |
| > | Increases pointer                     |
| < | Decreases pointer                     |
| [ | Starts loop, flag under pointer       |
| ] | Indicates end of loop                 |
| . | Outputs ASCII code under pointer      |
| , | Reads char and stores ASCII under ptr |

Who can program anything useful with it? :)

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Offene Fragen

Portabilität

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung

# Semantik (von 1993)



Short: 240 byte compiler. Fun, with src. OS 2.0  
Uploader: umueller amiga physik unizh ch  
Type: dev/lang  
Architecture: m68k-amigaos

The brainfuck compiler knows the following instructions:

| Cmd | Effect |
|-----|--------|
|-----|--------|

| --- | ----- |
|-----|-------|
|-----|-------|

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| + | Increases element under pointer       |
| - | Decreases element under pointer       |
| > | Increases pointer                     |
| < | Decreases pointer                     |
| [ | Starts loop, flag under pointer       |
| ] | Indicates end of loop                 |
| . | Outputs ASCII code under pointer      |
| , | Reads char and stores ASCII under ptr |

Who can program anything useful with it? :)

Leider lässt die Angabe der Semantik einige Fragen offen.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Offene Fragen

Portabilität

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- 1 **Zellgröße:** In der ursprünglichen Implementierung 1 Byte (= 8 Bits) entsprechend den Zahlen von 0...255. Andere Implementierungen benutzen aber auch größere Zellen.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Offene Fragen

Portabilität

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung





- 1 **Zellgröße:** In der ursprünglichen Implementierung 1 Byte (= 8 Bits) entsprechend den Zahlen von 0...255. Andere Implementierungen benutzen aber auch größere Zellen.
- 2 **Größe der Datenliste:** Ursprünglich 30000. Aber auch andere Größen sind üblich. Manche Implementierungen benutzen nur 9999, andere erweitern die Liste auch dynamisch, manchmal sogar links (ins Negative hinein).

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Offene Fragen  
Portabilität

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- 1 **Zellgröße:** In der ursprünglichen Implementierung 1 Byte (= 8 Bits) entsprechend den Zahlen von 0...255. Andere Implementierungen benutzen aber auch größere Zellen.
- 2 **Größe der Datenliste:** Ursprünglich 30000. Aber auch andere Größen sind üblich. Manche Implementierungen benutzen nur 9999, andere erweitern die Liste auch dynamisch, manchmal sogar links (ins Negative hinein).
- 3 **Zeilenendezeichen:** `\n` oder `\r\n`? Meist wird die Unix-Konvention verwendet.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Offene Fragen  
Portabilität

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- 1 **Zellgröße**: In der ursprünglichen Implementierung 1 Byte (= 8 Bits) entsprechend den Zahlen von 0...255. Andere Implementierungen benutzen aber auch größere Zellen.
- 2 **Größe der Datenliste**: Ursprünglich 30000. Aber auch andere Größen sind üblich. Manche Implementierungen benutzen nur 9999, andere erweitern die Liste auch dynamisch, manchmal sogar links (ins Negative hinein).
- 3 **Zeilenendezeichen**: `\n` oder `\r\n`? Meist wird die Unix-Konvention verwendet.
- 4 **Dateiende** (EOF): beim Ausführen von “,” wird entweder 0 zurückgegeben ohne Änderung der Zelle oder es wird (bei Implementierungen mit größeren Zellen) -1 zurückgegeben.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Offene Fragen  
Portabilität

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- 1 **Zellgröße**: In der ursprünglichen Implementierung 1 Byte (= 8 Bits) entsprechend den Zahlen von 0...255. Andere Implementierungen benutzen aber auch größere Zellen.
- 2 **Größe der Datenliste**: Ursprünglich 30000. Aber auch andere Größen sind üblich. Manche Implementierungen benutzen nur 9999, andere erweitern die Liste auch dynamisch, manchmal sogar links (ins Negative hinein).
- 3 **Zeilenendezeichen**: `\n` oder `\r\n`? Meist wird die Unix-Konvention verwendet.
- 4 **Dateiende** (EOF): beim Ausführen von “,” wird entweder 0 zurückgegeben ohne Änderung der Zelle oder es wird (bei Implementierungen mit größeren Zellen) -1 zurückgegeben.
- 5 **Unbalancierte Klammern**: Das Verhalten ist undefiniert!

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Offene Fragen  
Portabilität

Interprete-  
r-Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Alle Programmiersprachen haben mit diesen oder ähnlichen Problemen zu kämpfen.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Offene Fragen

**Portabilität**

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Alle Programmiersprachen haben mit diesen oder ähnlichen Problemen zu kämpfen.
- Speziell der Bereich der darstellbaren Zahlen ist ein Problem.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Offene Fragen

Portabilität

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Alle Programmiersprachen haben mit diesen oder ähnlichen Problemen zu kämpfen.
- Speziell der Bereich der darstellbaren Zahlen ist ein Problem.
- Oft wird festgelegt, dass es **Implementierungs-abhängige** Größen und Werte gibt (z.B. max. Größe einer Zahl).

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Offene Fragen

Portabilität

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Alle Programmiersprachen haben mit diesen oder ähnlichen Problemen zu kämpfen.
- Speziell der Bereich der darstellbaren Zahlen ist ein Problem.
- Oft wird festgelegt, dass es **Implementierungs-abhängige** Größen und Werte gibt (z.B. max. Größe einer Zahl).
- Oft gibt es **Freiheiten bei der Implementierung** (z.B. Reihenfolge der Auswertung in Ausdrücken).

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Offene Fragen

Portabilität

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung





- Alle Programmiersprachen haben mit diesen oder ähnlichen Problemen zu kämpfen.
- Speziell der Bereich der darstellbaren Zahlen ist ein Problem.
- Oft wird festgelegt, dass es **Implementierungs-abhängige** Größen und Werte gibt (z.B. max. Größe einer Zahl).
- Oft gibt es **Freiheiten bei der Implementierung** (z.B. Reihenfolge der Auswertung in Ausdrücken).
- Außerdem gibt es immer Dinge, die außerhalb der Spezifikation einer Sprache liegen (z.B. Verhalten bei unbalancierten Klammern).

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Offene Fragen

Portabilität

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Alle Programmiersprachen haben mit diesen oder ähnlichen Problemen zu kämpfen.
- Speziell der Bereich der darstellbaren Zahlen ist ein Problem.
- Oft wird festgelegt, dass es **Implementierungs-abhängige** Größen und Werte gibt (z.B. max. Größe einer Zahl).
- Oft gibt es **Freiheiten bei der Implementierung** (z.B. Reihenfolge der Auswertung in Ausdrücken).
- Außerdem gibt es immer Dinge, die außerhalb der Spezifikation einer Sprache liegen (z.B. Verhalten bei unbalancierten Klammern).
- Hier ist das **Verhalten undefiniert**, aber idealerweise wird eine Fehlermeldung erzeugt (statt erraticem Verhalten).

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Offene Fragen

Portabilität

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



Brainf\*ck-Programme, die auf möglichst vielen Implementierungen lauffähig sind, müssen ein paar Konventionen einhalten:

- Bei Zellgröße nur ein Byte annehmen. Ggfs. sogar nur den Bereich von 0–127 nutzen, da es bei einer vorzeichenbehafteten Darstellung einen arithmetischen Überlauf geben könnte!

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Offene Fragen

Portabilität

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



Brainf\*ck-Programme, die auf möglichst vielen Implementierungen lauffähig sind, müssen ein paar Konventionen einhalten:

- Bei Zellgröße nur ein Byte annehmen. Ggfs. sogar nur den Bereich von 0–127 nutzen, da es bei einer vorzeichenbehafteten Darstellung einen arithmetischen Überlauf geben könnte!
- Für die EOF-Markierung sollte vor dem Lesen die Zelle auf Null gesetzt werden. So ist die Zelle auf jeden Fall 0, falls das Eingabeende erreicht wird.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Offene Fragen

Portabilität

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



# Interpreter-Design

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

**Interpreter-  
Design**

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Modell eines Brainf\*ck Programms:  $src \in \mathbb{N} \hookrightarrow B$

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Modell eines Brainf\*ck Programms:  $src \in \mathbb{N} \hookrightarrow B$
- Operationen: nur Lesen, an beliebiger Stelle

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Modell eines Brainf\*ck Programms:  $src \in \mathbb{N} \hookrightarrow B$
- Operationen: nur Lesen, an beliebiger Stelle
- Was ist der geeignete Datentyp dafür?

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung





- Modell eines Brainf\*ck Programms:  $src \in \mathbb{N} \hookrightarrow B$
- Operationen: nur Lesen, an beliebiger Stelle
- Was ist der geeignete Datentyp dafür?
  - Einfache Lösung: **String**! Aber Schleife etwas umständlich zu implementieren.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Modell eines Brainf\*ck Programms:  $src \in \mathbb{N} \hookrightarrow B$
- Operationen: nur Lesen, an beliebiger Stelle
- Was ist der geeignete Datentyp dafür?
  - Einfache Lösung: **String**! Aber Schleife etwas umständlich zu implementieren.
  - Profi-Lösung: Induktive Datenstruktur mit Schachtelung entsprechend der Klammerstruktur; dafür muss der String in eine passende interne Datenstruktur transformiert werden.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Modell der Brainf\*ck Datenzellen:  $data \in \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

**Datenstrukturen**

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Modell der Brainf\*ck Datenzellen:  $data \in \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$
- Operationen: Lesen, Schreiben an beliebigen Stellen, Initialisieren auf 0

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Modell der Brainf\*ck Datenzellen:  $data \in \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$
- Operationen: Lesen, Schreiben an beliebigen Stellen, Initialisieren auf 0
- Was ist der geeignete Datentyp dafür?

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Modell der Brainf\*ck Datenzellen:  $data \in \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$
- Operationen: Lesen, Schreiben an beliebigen Stellen, Initialisieren auf 0
- Was ist der geeignete Datentyp dafür?
- Ein **Dictionary** passt am besten.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



Wir haben es mit drei Ein-/Ausgabeströmen zu tun:

- 1 Das Programm: einmal einlesen und dann verarbeiten.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



Wir haben es mit drei Ein-/Ausgabeströmen zu tun:

- 1 Das Programm: einmal einlesen und dann verarbeiten.
- 2 Eingabestrom: Datei oder Konsole.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung





Wir haben es mit drei Ein-/Ausgabeströmen zu tun:

- 1 Das Programm: einmal einlesen und dann verarbeiten.
- 2 Eingabestrom: Datei oder Konsole.
- 3 Ausgabestrom: Datei oder Konsole.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



Wir haben es mit drei Ein-/Ausgabeströmen zu tun:

- 1 Das Programm: einmal einlesen und dann verarbeiten.
  - 2 Eingabestrom: Datei oder Konsole.
  - 3 Ausgabestrom: Datei oder Konsole.
- Das Modul `sys` stellt zwei Datei-ähnliche Objekte für die **Standardeingabe** und **Standardausgabe** zur Verfügung: `sys.stdin` und `sys.stdout`

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



## Wo können Fehler passieren?

- Dateifehler (Existenz/Lesen/(Über-)Schreiben)
- Sollten wir besser abfangen!
- Fehler beim Interpretieren des Programms (Teilen durch 0 usw.)
- Für die Fehlersuche bei der Entwicklung erst einmal nicht abfangen, später dann schon.
- Verletzung von Sprachregeln wie z.B. Nicht-ASCII-Zeichen > 127, oder unbalancierte Klammern.
- Wir definieren einen speziellen Ausnahmetyp.

## Spezielle Exception

```
class BFEError(Exception):  
    pass
```

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen  
I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



bf.py: Main function

```
def bf(sfn, infn, outfn):  
  
    try:  
        (src,fin,fout) = open_files(sfn, infn, outfn)  
        pass # TBI: Aufruf des Interpreters  
    except IOError as e:  
        print("I/O-Fehler:", e)  
    except BFEError as e:  
        print("Abbruch wegen BF-Inkompatibilität:",e)  
    except Exception as e:  
        print("Interner Interpreter-Fehler:", e)  
    finally:  
        fout.close()
```

■ Hier gibt es noch ein/zwei Problemchen!

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

**Hauptfunktion**

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



bf.py: Main function

```
def bf(sfn, infn, outfn):  
    fout = None  
    try:  
        (src,fin,fout) = open_files(sfn, infn, outfn)  
        pass # TBI: Aufruf des Interpreters  
    except IOError as e:  
        print("I/O-Fehler:", e)  
    except BFEError as e:  
        print("Abbruch wegen BF-Inkompatibilität:",e)  
    except Exception as e:  
        print("Interner Interpreter-Fehler:", e)  
    finally:  
        if fout: fout.close()
```

- Hier gab es noch ein/zwei Problemchen!

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung

# Ein erster Entwurf des Interpreters



UNI  
FREIBURG

bf0.py

```
def bfinterpret(src, fin, fout):  
    # Program counter points into source text  
    pc = 0  
    # data pointer  
    ptr = 0  
    # data cells are stored in a dict  
    data = dict()  
  
    while pc < len(src):  
        if src[pc] == '>':  
            ptr += 1  
        elif src[pc] == '+':  
            data[ptr] = data.get(ptr,0) + 1  
        elif ...  
        pc += 1
```

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Sehr lange if-else-Anweisungen sind schwer lesbar, insbesondere wenn die Anweisungsblöcke groß werden.
- Alternative: jede Bedingung ruft eine Funktion auf oder ...
- Ein Dictionary ordnet jedem BF-Befehl (als Schlüssel) eine passende Funktion als Wert zu.
- Die Fallunterscheidung geschieht durch den Zugriff aufs Dictionary.
- Wesentliche Vereinfachung: die Hauptfunktion passt auf eine Folie!
- the pythonic way!

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



bf.py: Main interpreter loop

```
def bfinterpret(srctext, fin, fout):  
    pc = 0  
    ptr = 0  
    data = dict()  
    while pc < len(srctext):  
        (pc, ptr) = instr.get(srctext[pc],noop)(  
            pc, ptr, srctext, data, fin, fout)  
        pc += 1
```

Es fehlt noch ein dict `instr`, das mit jeder BF-Instruktion eine Funktion assoziiert, die 6 Parameter besitzt (den Zustandsraum) und die ein Paar (`pc`, `ptr`) zurückgibt.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung





```
bf.py: instr_table
```

```
instr = { '<': left, '>': right,  
          '+': incr, '-': decr,  
          '.': ch_out, ',': ch_in,  
          '[': beginloop, ']': endloop }
```

- Diese Tabelle darf erst nach den Funktionen definiert werden.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung

# Die einfachen Fälle (1)



## bf.py: Simple cases

```
noop  = lambda pc, ptr, *args: (pc, ptr)
left  = lambda pc, ptr, *args: (pc, ptr - 1 if ptr > 0 else 0)
right = lambda pc, ptr, *args: (pc, ptr + 1)
```

Beachte: Der pc wird in der Hauptschleife erhöht!

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

**Einfache Fälle**

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung

# Die einfachen Fälle (2)



bf.py: Simple cases

```
def incr(pc, ptr, src, data, fin, fout):
    data[ptr] = data.get(ptr,0) + 1
    return(pc, ptr)

def decr(pc, ptr, src, data, fin, fout):
    vold = data.get(ptr,0)
    data[ptr] = vold - 1 if vold > 0 else 0
    return(pc, ptr)
```

Beachte: Es sind beliebig viele Zellen erlaubt.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

**Einfache Fälle**

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



bf.py: I/O

```
def ch_in(pc, ptr, src, data, fin, fout):
    ch = fin.read(1)
    if ch:
        data[ptr] = ord(ch)
    return(pc, ptr)

def ch_out(pc, ptr, src, data, fin, fout):
    print(chr(data.get(ptr,0)), end='', file=fout)
    return(pc, ptr)
```

Was passiert, wenn Ein- oder Ausgabe kein gültiges ASCII-Zeichen?

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



bf.py: I/O

```
def ch_in(pc, ptr, src, data, fin, fout):
    ch = fin.read(1)
    if ch:
        data[ptr] = ord(ch)
        if data[ptr] > 127:
            raise BFEError("Non-ASCII-Zeichen gelesen")
    return(pc, ptr)

def ch_out(pc, ptr, src, data, fin, fout):
    if data.get(ptr,0) > 127:
        raise BFEError("Ausgabe eines Non-ASCII-Zeichen")
    print(chr(data.get(ptr,0)), end='', file=fout)
    return(pc, ptr)
```

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung

# Schleifen (1)



bf.py: Loop begin

```
def beginloop(pc, ptr, src, data, fin, fout):
    if data.get(ptr,0):
        return (pc, ptr)
    loop = 1;
    while loop > 0:
        pc += 1
        if src[pc] == ']':
            loop -= 1
        elif src[pc] == '[':
            loop += 1
    return(pc, ptr)
```

Frage: Was passiert bei unbalancierten Klammern?

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



bf.py: Loop begin

```
def beginloop(pc, ptr, src, data, fin, fout):
    if data.get(ptr,0): return (pc, ptr)
    loop = 1;
    while loop > 0:
        pc += 1
        if pc >= len(src):
            raise BFEError("Kein passendes ']' gefunden")
        if src[pc] == ']':
            loop -= 1
        elif src[pc] == '[':
            loop += 1
    return(pc, ptr)
```

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



bf.py: Loop end

```
def endloop(pc, ptr, src, data, fin, fout):  
    loop = 1;  
    while loop > 0:  
        pc -= 1  
        if src[pc] == ']':  
            loop += 1  
        elif src[pc] == '[':  
            loop -= 1  
    return(pc - 1, ptr)
```

Frage: Was passiert bei unbalancierten Klammern?

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



# Schleifen (2')



bf.py: Loop end

```
def endloop(pc, ptr, src, data, fin, fout):
    loop = 1;
    while loop > 0:
        pc -= 1
        if pc < 0:
            raise BFEError("Kein passendes '[' gefunden")
        if src[pc] == ']':
            loop += 1
        elif src[pc] == '[':
            loop -= 1
    return(pc - 1, ptr)
```

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Datenstrukturen

I/O

Ausnahmebehand-  
lung

Hauptfunktion

Fallunterscheidung

Einfache Fälle

I/O

Schleifen

Ausblick

Zusammen-  
fassung



# Ausblick

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

**Ausblick**

Zusammen-  
fassung



- Wir können BF-Programme schreiben und vom unserem Interpreter ausführen lassen!

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung

# Was nun?



UNI  
FREIBURG

- Wir können BF-Programme schreiben und vom unserem Interpreter ausführen lassen!
- Zum Beispiel das **Hello-World**-Programm

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung

# Was nun?



UNI  
FREIBURG

- Wir können BF-Programme schreiben und vom unserem Interpreter ausführen lassen!
- Zum Beispiel das **Hello-World**-Programm
- Oder ein Programm zum Berechnen aller Werte der **Fakultätsfunktion**

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung

# Was nun?



- Wir können BF-Programme schreiben und vom unserem Interpreter ausführen lassen!
- Zum Beispiel das **Hello-World**-Programm
- Oder ein Programm zum Berechnen aller Werte der **Fakultätsfunktion**
- Oder ein **Adventure-Spiel**

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung

# Was nun?



- Wir können BF-Programme schreiben und vom unserem Interpreter ausführen lassen!
- Zum Beispiel das **Hello-World**-Programm
- Oder ein Programm zum Berechnen aller Werte der **Fakultätsfunktion**
- Oder ein **Adventure-Spiel**
- Oder ein Programm, das BF-Programme interpretiert, also einen **BF-Interpreter geschrieben in BF**.

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



- Wir können BF-Programme schreiben und vom unserem Interpreter ausführen lassen!
- Zum Beispiel das **Hello-World**-Programm
- Oder ein Programm zum Berechnen aller Werte der **Fakultätsfunktion**
- Oder ein **Adventure-Spiel**
- Oder ein Programm, das BF-Programme interpretiert, also einen **BF-Interpreter geschrieben in BF**.
- Wie wäre es mit einem Brainf\*ck-Python Compiler (in Python oder Brainf\*ck)?

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung





- Wir können BF-Programme schreiben und vom unserem Interpreter ausführen lassen!
- Zum Beispiel das **Hello-World**-Programm
- Oder ein Programm zum Berechnen aller Werte der **Fakultätsfunktion**
- Oder ein **Adventure-Spiel**
- Oder ein Programm, das BF-Programme interpretiert, also einen **BF-Interpreter geschrieben in BF**.
- Wie wäre es mit einem Brainf\*ck-Python Compiler (in Python oder Brainf\*ck)?
- Oder umgekehrt?

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung



# Zusammenfassung

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

**Zusammen-  
fassung**



- Brainf\*ck ist eine **minimale, Turing-vollständige** Programmiersprache.
- Es ist relativ einfach, für diese Sprache einen Interpreter zu schreiben.
- Wir können auch einen Interpreter für Brainf\*ck in Brainf\*ck schreiben.
- Ähnlich können wir einen Interpreter für Python in Python schreiben.
- Solch ein Interpreter ist die Basis des PyPy Projekts, eine alternative Python-Implementierung, die oft schneller als CPython läuft.

<https://en.wikipedia.org/wiki/PyPy>

Motivation

Program-  
miersprache

Beispiele

Semantik

Interpreter-  
Design

Ausblick

Zusammen-  
fassung