

# Übungen zu Betriebssysteme

## Ü4 – C-Module & Präprozessor

---

Sommersemester 2023

Henriette Hofmeier, Manuel Vögele, Benedict Herzog, Timo Hönig

Bochum Operating Systems and System Software Group (BOSS)



RUHR  
UNIVERSITÄT  
BOCHUM

RUB

# Agenda

3.1 Dokumentation: Manual-Pages

3.2 C-Module

3.3 make

3.4 Der C-Präprozessor

## ■ Aufgeteilt in verschiedene *Sections*

- 1 Kommandos
- 2 Systemaufrufe
- 3 Bibliotheksfunktionen
- 3p **POSIX-Beschreibungen** der Bibliotheksfunktionen
- 5 Dateiformate (spez. Datenstrukturen etc.)
- 7 verschiedenes (z. B. Terminaltreiber, IP)

- Aufgeteilt in verschiedene *Sections*

- 1 Kommandos
- 2 Systemaufrufe
- 3 Bibliotheksfunktionen
- 3p POSIX-Beschreibungen der Bibliotheksfunktionen
- 5 Dateiformate (spez. Datenstrukturen etc.)
- 7 verschiedenes (z. B. Terminaltreiber, IP)

- Angabe normalerweise mit *Section*:  
`printf(3)`

- Aufruf unter Linux:

```
$ # man [section] begriff
```

```
$ man 3 printf
```

- Aufgeteilt in verschiedene *Sections*

- 1 Kommandos
- 2 Systemaufrufe
- 3 Bibliotheksfunktionen
- 3p POSIX-Beschreibungen der Bibliotheksfunktionen
- 5 Dateiformate (spez. Datenstrukturen etc.)
- 7 verschiedenes (z. B. Terminaltreiber, IP)

- Angabe normalerweise mit *Section*:  
`printf(3)`

- Aufruf unter Linux:

```
$ # man [section] begriff  
$ man 3 printf
```

- Suche nach *Sections*: `man -f begriff`

- Suche nach Manual-Pages zu einem Stichwort:

```
user@host:~$ man -k stichwort
```

- **Achtung:** Manual-Pages unter Mac OS oft abweichend von Linux  
⇒ VM ist Referenzsystem!

- neben Funktionen elementarer Baustein für die Modularisierung
- Kapselung von zusammengehörenden
  - Funktionen und deren Implementierung
  - (Typ-)definitionen Konstanten, Makros
  - globalen Daten
- Implementierungsdetails werden verborgen
- andere Module sehen nur die Modulschnittstelle
- `static`: globale Variable/Funktion „von Aussen“ nicht zugreifbar
- **Achtung**: unterschiedliche Bedeutung von `static` für lokale und globale Variablen
  - `static` bei lokaler Variable: modifiziert Lebensdauer
  - `static` bei globaler Variable: modifiziert Sichtbarkeit

## module.c

```
// globale Variable
int global_var = 42;

// modulweite globale Variable
static int module_var = 42;

// globale Funktion
void global_func(void) {
    //...
}

// modulweite Funktion
static void module_func(void) {
    // lokale Variable (Lebensdauer: Funktion)
    int a = 42;
    a++;

    // lokale Variable (Lebensdauer: Programm)
    static int b = 42;
    b++;
}
```

- `global_var` und `global_func()` global sichtbar  
→ Namen programmweit eindeutig!
- `module_var` und `module_func()` nur innerhalb des Moduls sichtbar  
→ Namen wiederverwendbar!
- `a` und `b` nur in `module_func()` sichtbar
- Lebensdauer von `a`: Funktion  
→ Wert von `a` immer 43 nach `module_func()`
- Lebensdauer von `b`: Programm  
→ Wert von `b` mit jedem Aufruf von `module_func()` inkrementiert

- Zusammenfassen aller global sichtbaren Teile in Header-Dateien (\*.h)
  - Funktionsdeklaration (nicht -definition!)
  - (Typ-)definitionen, Konstanten, Makros
- Implementierung der Schnittstelle in \*.c-Dateien
- Andere Module inkludieren Header-Datei
  - Headerdatei beschreibt Modulschnittstelle



## main.c

```
#include <stdio.h>

static void fib_loop() {
    for(int i = 1; i < 42; ++i) {
        printf("fib(%d) = %d\n",
               i, fib(i));
    }
}

int main(int argc, char *argv[]) {
    fib_loop();
}
```

## fib.c

```
int fib(int n) {
    if(n <= 1) {
        return n;
    }

    return fib(n-1) + fib(n-2);
}
```

## main.c

```
#include "fib.h"
#include <stdio.h>

static void fib_loop() {
    for(int i = 1; i < 42; ++i) {
        printf("fib(%d) = %d\n",
            i, fib(i));
    }
}

int main(int argc, char *argv[]) {
    fib_loop();
}
```

## fib.h

```
int fib(int n);
```

## fib.c

```
#include "fib.h"

int fib(int n) {
    if(n <= 1) {
        return n;
    }

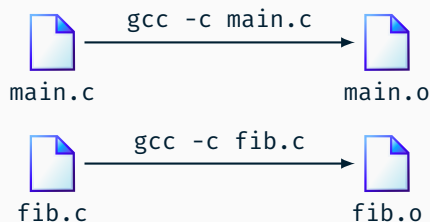
    return fib(n-1) + fib(n-2);
}
```



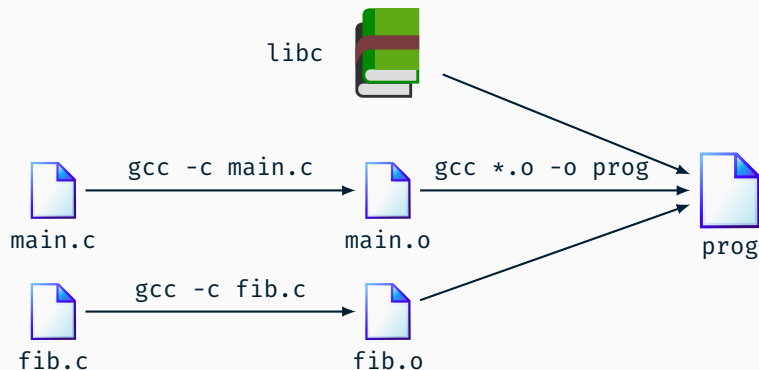
main.c



fib.c



- Schritt 1: Übersetzen der .c-Dateien zu Objektdaten
  - Ausführen des C-Präprozessors (Auflösen von `#includes`)
  - Übersetzen des Quellcodes in Binärcode (`-c` Flag des `gcc`)
  - Funktionsaufrufe in andere Module bleiben unaufgelöst



## ■ Schritt 2: Linken der Objektdaten (und Bibliotheken) zum Programm

- Zusammenfassen der Objektdaten zu einer einzelnen Binärdatei
- Auflösen von Funktionsaufrufen in andere Module  
→ Fehlermeldung falls Funktion nicht gefunden wurde

# Agenda

3.1 Dokumentation: Manual-Pages

3.2 C-Module

**3.3 make**

3.4 Der C-Präprozessor

## # .c-Dateien

lilo/sieve	1
vim 8.1	136
OpenSSH 7.9p1	269
Linux 4.19.1	> <b>26000</b>

# Make – Warum?

## # .c-Dateien

lilo/sieve	1
vim 8.1	136
OpenSSH 7.9p1	269
Linux 4.19.1	> <b>26000</b>

**X** von Hand übersetzen: zu aufwändig





# Make – Warum?

## # .c-Dateien

lilo/sieve	1
vim 8.1	136
OpenSSH 7.9p1	269
Linux 4.19.1	> <b>26000</b>

- ✗ von Hand übersetzen: zu aufwändig
- ✗ Dauer bei wiederholtem Übersetzen



# Make – Warum?

## # .c-Dateien

lilo/sieve	1
vim 8.1	136
OpenSSH 7.9p1	269
Linux 4.19.1	> <b>26000</b>

- ✗ von Hand übersetzen: zu aufwändig
  - ✗ Dauer bei wiederholtem Übersetzen
- Automatisiertes Übersetzen **modifizierter Dateien**



- Grundsätzlich: Erzeugung von Dateien aus anderen Dateien
  - für uns interessant: Erzeugung einer .o-Datei aus einer .c-Datei



- Falls Quelle(n) sich ändert wird der Befehl neu ausgeführt
- Änderung auf Basis der Modifikationszeit

- Regeldatei mit dem Namen Makefile

```
test.o: test.c test.h
```

```
gcc -c -o test.o test.c
```

- Regeldatei mit dem Namen Makefile

Target  `test.o: test.c test.h`  
`gcc -c -o test.o test.c`

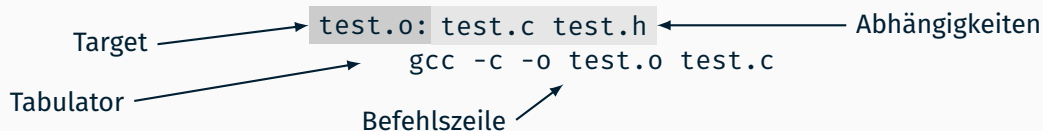
- Target (was wird erzeugt?)
  - Name der zu erstellenden Datei

- Regeldatei mit dem Namen Makefile

Target → `test.o: test.c test.h` ← Abhängigkeiten  
`gcc -c -o test.o test.c`

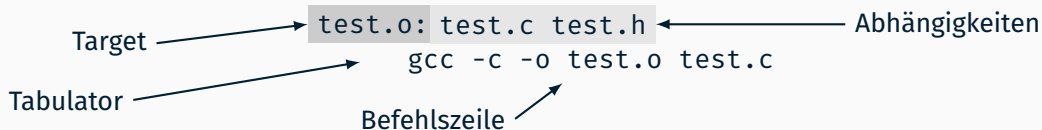
- Target (was wird erzeugt?)
  - Name der zu erstellenden Datei
- Abhängigkeiten (woraus?)
  - Namen aller Eingabedateien (direkt oder indirekt)
  - Können selbst Targets sein

## ■ Regeldatei mit dem Namen Makefile



- Target (was wird erzeugt?)
  - Name der zu erstellenden Datei
- Abhängigkeiten (woraus?)
  - Namen aller Eingabedateien (direkt oder indirekt)
  - Können selbst Targets sein
- Befehlszeilen (wie?)
  - Erzeugt aus den Abhängigkeiten das Target

## ■ Regeldatei mit dem Namen Makefile



- Target (was wird erzeugt?)
    - Name der zu erstellenden Datei
  - Abhängigkeiten (woraus?)
    - Namen aller Eingabedateien (direkt oder indirekt)
    - Können selbst Targets sein
  - Befehlszeilen (wie?)
    - Erzeugt aus den Abhängigkeiten das Target
- 
- zu erstellendes Target bei make-Aufruf angeben: `make test.o`
    - Falls nötig baut make die angegebene Datei neu
    - Davor werden rekursiv alle veralteten Abhängigkeiten aktualisiert
    - Ohne Target-Angabe bearbeitet make das erste Target im Makefile



- In einem Makefile können Makros definiert werden

```
SOURCE = test.c func.c
```

- In einem Makefile können **Makros** definiert werden

```
SOURCE = test.c func.c
```

- Verwendung der Makros mit  $\$(NAME)$  oder  $\${NAME}$

```
test:  $\$(SOURCE)$   
    gcc -o test  $\$(SOURCE)$ 
```

- In einem Makefile können Makros definiert werden

```
SOURCE = test.c func.c
```

- Verwendung der Makros mit `$(NAME)` oder `${NAME}`

```
test: $(SOURCE)  
    gcc -o test $(SOURCE)
```

- Erzeugung neuer Makros durch Konkatination

```
ALLOBJS = $(OBJS) hallo.o
```

- In einem Makefile können Makros definiert werden

```
SOURCE = test.c func.c
```

- Verwendung der Makros mit `$(NAME)` oder `${NAME}`

```
test: $(SOURCE)  
    gcc -o test $(SOURCE)
```

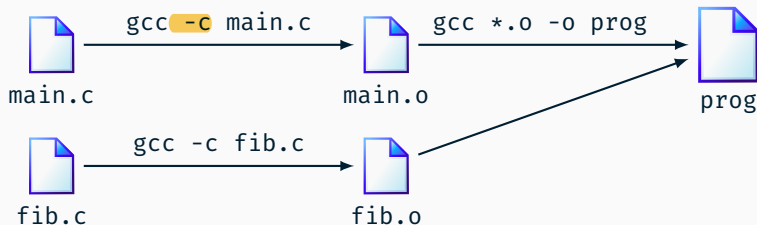
- Erzeugung neuer Makros durch Konkatination

```
ALLOBJS = $(OBJJS) hallo.o
```

- Gängige Makros:

- CC: C-Compiler-Befehl
- CFLAGS: Optionen für den C-Compiler

# Schrittweises Übersetzen



```
CC = gcc
CFLAGS = -Wall -Werror -pedantic -std=c11
CFLAGS = $(CFLAGS) -D_XOPEN_SOURCE=700
```

```
prog: main.o fib.o
    $(CC) $(CFLAGS) -o prog main.o fib.o
```

```
fib.o: fib.c fib.h
    $(CC) $(CFLAGS) -c fib.c
```

```
main.o: main.c fib.h
    $(CC) $(CFLAGS) -c main.c
```

- Rechner beim Erzeugen von ausführbaren Dateien „entlasten“
  - Zwischenprodukte verwenden und somit Übersetzungszeit sparen

# Pseudo-Targets

- Dienen nicht der Erzeugung einer gleichnamigen Datei
  - so deklarierte Targets werden immer gebaut
  - Deklaration als Abhängigkeit des Spezial-Targets **.PHONY** nötig

# Pseudo-Targets

- Dienen nicht der Erzeugung einer gleichnamigen Datei
  - so deklarierte Targets werden immer gebaut
  - Deklaration als Abhängigkeit des Spezial-Targets **.PHONY** nötig

- Beispiel: Erzeugen einer ausführbaren Datei mit `make all`

**.PHONY:** *all clean*

**all:** *lilo*

**clean:**

*rm -f lilo*

**lilo:** *lilo.o #...*  
*# build lilo*

- Konventionen
  - **all** ist immer erstes Target im Makefile und baut die komplette Anwendung
  - **clean** löscht alle durch make erzeugte Dateien
  - **Hinweis:** bei Aufruf von `rm` den Parameter `-f` verwenden  
⇒ kein Abbruch bei nicht existierenden Dateien

- C-Präprozessor bearbeitet C-Code **vor** dem Compiler
- C-Präprozessor führt Texttransformationen aus  
→ der Präprozessor hat kein Verständnis von C!
- Automatische Transformationen
  - Kommentare werden entfernt
  - Zeilen die mit \ enden werden zusammengefügt
  - ...



- Steuerbare Transformationen (durch den Programmierer)

`#include <file>`    Fügt Dateiinhalt an die aktuelle Stelle ein

- Steuerbare Transformationen (durch den Programmierer)

`#include <file>`    Fügt Dateiinhalt an die aktuelle Stelle ein

`#define <makro> <replace>`    Definiert ein Makro. Ab dieser Stelle wird jedes  
`#undef <makro>`    Vorkommen von `<makro>` durch `<replace>` ersetzt.  
`<replace>` kann auch leer sein.

- Steuerbare Transformationen (durch den Programmierer)

`#include <file>`    Fügt Dateiinhalt an die aktuelle Stelle ein

`#define <makro> <replace>`    Definiert ein Makro. Ab dieser Stelle wird jedes  
`#undef <makro>`    Vorkommen von `<makro>` durch `<replace>` ersetzt.  
`<replace>` kann auch leer sein.

`#if <cond.>`    Löscht/Behält den umklammerten Text abhängig  
`#elif, #else, #endif`    von der Bedingung

## ■ Steuerbare Transformationen (durch den Programmierer)

`#include <file>`    Fügt Dateiinhalt an die aktuelle Stelle ein

`#define <makro> <replace>`    Definiert ein Makro. Ab dieser Stelle wird jedes  
`#undef <makro>`    Vorkommen von `<makro>` durch `<replace>` ersetzt.  
`<replace>` kann auch leer sein.

`#if <cond.>`    Löscht/Behält den umklammerten Text abhängig  
`#elif, #else, #endif`    von der Bedingung

`#ifdef <makro>`    Löscht/Behält den umklammerten Text abhängig  
`#ifndef <makro>`    davon ob `<makro>` definiert wurde oder nicht

```
// kopiert Inhalte von stdio.h hierher
// z.B. Deklaration von printf()
#include <stdio.h>

int main(void) {
    printf("Hello World!\n");
}
```

# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

// PI wird ab jetzt überall durch 3.1415 ersetzt
#define PI 3.1415

int main(void) {
    printf("%f\n", PI);
}
```

# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

// falls PI bereits definiert wurde, lösche
// Definition. Ansonsten definiere PI so
// dass es immer durch 3 ersetzt wird
#ifdef PI
    #undef PI
    #define PI 3
#else
    #define PI 3
#endif

int main(void) {
    printf("%d\n", PI);
}
```

# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

#define ADD(a, b) a + b
#define MUL(a, b) a * b

// shift nach links entspricht Multiplikation mit 2
// POW2(3) --> 2^3
#define POW2(a) 1 << a

int main(void) {
    printf("%d\n", ADD(3,5)); // --> 8
    printf("%d\n", MUL(3,5)); // --> 15
    printf("%d\n", POW2(3)); // --> 8
}
```



# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

#define ADD(a, b) a + b
#define MUL(a, b) a * b

int main(void) {
    printf("%d\n", MUL(ADD(2,3), 2)); // --> ?
}
```

# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

#define ADD(a, b) a + b
#define MUL(a, b) a * b

int main(void) {
    printf("%d\n", MUL(ADD(2,3), 2)); // --> ?
}
```

■ MUL(ADD(2,3), 2)

# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

#define ADD(a, b) a + b
#define MUL(a, b) a * b

int main(void) {
    printf("%d\n", MUL(ADD(2,3), 2)); // --> ?
}
```

- MUL(ADD(2,3), 2)
- MUL(2+3, 2)

# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

#define ADD(a, b) a + b
#define MUL(a, b) a * b

int main(void) {
    printf("%d\n", MUL(ADD(2,3), 2)); // --> ?
}
```

- `MUL(ADD(2,3), 2)`
- `MUL(2+3, 2)`
- `2+3*2` // --> 8 statt 10

# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

#define ADD(a, b) (a + b)
#define MUL(a, b) (a * b)

int main(void) {
    printf("%d\n", MUL(ADD(2,3), 2)); // --> ?
}
```

# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

#define ADD(a, b) (a + b)
#define MUL(a, b) (a * b)

int main(void) {
    printf("%d\n", MUL(ADD(2,3), 2)); // --> ?
}
```

■ MUL(ADD(2,3), 2)

# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

#define ADD(a, b) (a + b)
#define MUL(a, b) (a * b)

int main(void) {
    printf("%d\n", MUL(ADD(2,3), 2)); // --> ?
}
```

- MUL(ADD(2,3), 2)
- MUL((2+3), 2)

# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

#define ADD(a, b) (a + b)
#define MUL(a, b) (a * b)

int main(void) {
    printf("%d\n", MUL(ADD(2,3), 2)); // --> ?
}
```

- MUL(ADD(2,3), 2)
- MUL((2+3), 2)
- ((2+3)\*2) // --> 10



# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

#define ADD(a, b) (a + b)
#define MUL(a, b) (a * b)

int main(void) {
    printf("%d\n", MUL(ADD(2,3), 3-1)); // --> ?
}
```

# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

#define ADD(a, b) (a + b)
#define MUL(a, b) (a * b)

int main(void) {
    printf("%d\n", MUL(ADD(2,3), 3-1)); // --> ?
}
```

■ MUL(ADD(2,3), 3-1)

# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

#define ADD(a, b) (a + b)
#define MUL(a, b) (a * b)

int main(void) {
    printf("%d\n", MUL(ADD(2,3), 3-1)); // --> ?
}
```

- `MUL(ADD(2,3), 3-1)`
- `MUL((2+3), 3-1)`

# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

#define ADD(a, b) (a + b)
#define MUL(a, b) (a * b)

int main(void) {
    printf("%d\n", MUL(ADD(2,3), 3-1)); // --> ?
}
```

- $MUL(ADD(2,3), 3-1)$
- $MUL((2+3), 3-1)$
- $((2+3)*3-1)$  // --> 14 statt 10

# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

#define ADD(a, b) ((a) + (b))
#define MUL(a, b) ((a) * (b))

int main(void) {
    printf("%d\n", MUL(ADD(2,3), 3-1)); // --> ?
}
```

■ MUL(ADD(2,3), 3-1)

# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

#define ADD(a, b) ((a) + (b))
#define MUL(a, b) ((a) * (b))

int main(void) {
    printf("%d\n", MUL(ADD(2,3), 3-1)); // --> ?
}
```

- MUL(ADD(2,3), 3-1)
- MUL(((2)+(3)), 3-1)

# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

#define ADD(a, b) ((a) + (b))
#define MUL(a, b) ((a) * (b))

int main(void) {
    printf("%d\n", MUL(ADD(2,3), 3-1)); // --> ?
}
```

- $MUL(ADD(2,3), 3-1)$
- $MUL(((2)+(3)), 3-1)$
- $((((2)+(3))) * (3-1))$

# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

#define ADD(a, b) ((a) + (b))
#define MUL(a, b) ((a) * (b))

int main(void) {
    printf("%d\n", MUL(ADD(2,3), 3-1)); // --> ?
}
```

- MUL(ADD(2,3), 3-1)
- MUL(((2)+(3)), 3-1)
- (((((2)+(3)))) \* (3-1))
- (2+3) \* (3-1) // --> 10



# Der C-Präprozessor – Beispiele

```
#include <stdio.h>

#define ADD(a, b) ((a) + (b))
#define MUL(a, b) ((a) * (b))

int main(void) {
    printf("%d\n", MUL(ADD(2,3), 3-1)); // --> ?
}
```

- `MUL(ADD(2,3), 3-1)`

- `MUL(((2)+(3)), 3-1)`

- `((((2)+(3))) * (3-1))`

- `(2+3) * (3-1) // --> 10`

- Macros sind potenziell fehleranfällig

- nur für einfache Konstantendefinition benutzen (z.B. `#define SIZE 100`)

- für alles andere (ggf. `inline`) Funktionen