U3 3. Übung

- Vorstellen der Aufgabe 1: lilo
- Fehlerbehandlung
- Dynamische Speicherverwaltung
- Debugging mit GDB
- Generisches Sortieren mit **qsort(3)**
- Übersetzen von Projekten mit Hilfe von **make(1)**

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U3-1 Fehlerbehandlung

- Fehler können aus unterschiedlichsten Gründen im Programm auftreten
  - ➤ Systemressourcen erschöpft
    ➠ **malloc(3)** schlägt fehl
  - ➤ Fehlerhafte Benutzereingaben (z.B. nicht existierende Datei)
    ➠ **open(2)** schlägt fehl
  - ➤ Transiente Fehler (z.B. nicht erreichbarer Server)
  - ➤ ...
- Gute Software **erkennt Fehler**, führt eine **angebrachte Behandlung** durch und gibt eine **aussagekräftige Fehlermeldung** aus
- Kann das Programm trotz des Fehlers sinnvoll weiterlaufen?
  - ◆ Beispiel 1: Benutzer gibt ungültige URL in den Browser ein
    ➠ Fehlerbehandlung: Fehlermeldung anzeigen, Programm läuft weiter
  - ◆ Beispiel 2: Kopierprogramm: Öffnen der Quelldatei schlägt fehl
    ➠ Fehlerbehandlung: Fehlermeldung anzeigen, Kopieren nicht möglich, Programm beenden

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Fehler in Bibliotheksfunktionen

- Fehler treten häufig in Funktionen der C-Bibliothek auf
  - ➤ erkennbar i.d.R. am Rückgabewert (Manpage, Sektion **RETURN VALUES**)
- Die Fehlerursache wird über die globale Variable `errno` übermittelt
  - ➤ Fehlercode für jeden möglichen Fehler (siehe **errno(3)**)
  - ➤ Der Wert `errno=0` ist reserviert, alles andere ist ein Fehlercode
  - ➤ Bibliotheksfunktionen setzen `errno` im Fehlerfall (sonst nicht *zwingend*)
  - ➤ Bekanntmachung im Programm durch Einbinden von `errno.h`
- Fehlercodes können mit **perror(3)** als lesbare Strings ausgegeben werden

```
char *mem = malloc(...); // malloc gibt im Fehlerfall
if(NULL == mem) {        // NULL zurück
    perror("malloc");    // Ausgabe der Fehlerursache
    exit(EXIT_FAILURE);  // Programm mit Fehlercode beenden
}
```

◆ `perror(3)` darf nur verwendet werden, wenn die `errno` gesetzt wurde

◆ sonst mit Hilfe von `fprintf(3)` eigene Fehlermeldung auf `stderr` ausgeben

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Fehlererkennung bei fgets

```
while (fgets(buffer, 102, stdin) != NULL) {
    ...
}
// EOF oder Fehler?
```

◆ Rückgabewert `NULL` sowohl im Fehlerfall als auch bei `End-of-File`

- Erkennung im Fall von I/O-Streams mit **ferror(3)** und **feof(3)**

```
while (fgets(buffer, 102, stdin) != NULL) {
    ...
}
// EOF oder Fehler?
if (ferror(stdin)) {
    // Fehler
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U3-2 Debuggen mit dem gdb

- Ein Debugger dient zum Suchen und Finden von Fehlern in Programmen
- Im Debugger kann man u.a.
  - ◆ das Programm schrittweise abarbeiten
  - ◆ Variablen- und Speicherinhalte ansehen und modifizieren
  - ◆ core dumps (Speicherabbilder beim Programmabsturz) analysieren
    - Erlauben von core dumps (in der laufenden Shell):
      z. B. **`limit coredumpsize 1024k`** oder **`limit coredumpsize unlimited`**
- Programm muss mit der Compileroption **`-g`** übersetzt werden

```
gcc -g -o hello hello.c
```

- Aufruf des Debuggers mit gdb <Programmname>

```
gdb ./hello
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Auffinden von Fehlern mit Hilfe eines Debuggers

```
void initArray(int *array, unsigned int size) {
    int i;
    for ( i=0; i<=size; i++ ) {
        array[i] = 0;
    }
}

int main(int argc, char *argv[]) {
    int *array;
    int buf[8];
    array = buf;

    initArray(buf,8);

    while ( array != buf+8 ) {
        printf("%d\n", *array);
        array++;
    }

    exit(EXIT_SUCCESS);
}                    /* Auch unter /proj/i4sp1/pub/gdb/gdb.c */
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Referenz: Kommandos des GDBs

- Programmausführung beeinflussen
  - Breakpoints setzen:
    - **b** [<Dateiname>:]<Funktionsname>
    - **b** <Dateiname>:<Zeilennummer>
  - Starten des Programms mit **run** (+ evtl. Befehlszeilenparameter)
  - Fortsetzen der Ausführung bis zum nächsten Stop mit **c** (continue)
  - schrittweise Abarbeitung auf Ebene der Quellsprache mit
    - **s** (step: läuft in Funktionen hinein)
    - **n** (next: behandelt Funktionsaufrufe als einzelne Anweisung)
  - Breakpoints anzeigen: **info breakpoints**
  - Breakpoint löschen: **delete *breakpoint#***

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Referenz: Kommandos des GDBs

- Variableninhalte anzeigen/modifizieren
  - Anzeigen von Variablen mit: **p *expr***
    - ***expr*** ist ein C-Ausdruck, im einfachsten Fall der Name einer Variable
  - Automatische Anzeige von Variablen bei jedem Programmstopp (Breakpoint, Step, ...): **display *expr***
  - Setzen von Variablenwerten mit **set** <variablenname>**=**<wert>
- Ausgabe des Funktionsaufruf-Stacks (backtrace): **bt**
- Quellcode an aktueller Position anzeigen: **list**
- Watchpoints: Stoppt Ausführung bei Zugriff auf eine bestimmte Variable
  - **watch *expr*:** Stoppt, wenn sich der Wert des C-Ausdrucks ***expr*** ändert
  - **rwatch *expr*:** Stoppt, wenn ***expr*** gelesen wird
  - **awatch *expr*:** Stopp bei jedem Zugriff (kombiniert **watch** und **rwatch**)
  - Anzeigen und Löschen analog zu den Breakpoints

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U3-3 Dynamische Speicherverwaltung

- Verändern der Größe von Feldern, die durch **malloc()** bzw. **calloc()** erzeugt wurden:

```
int* numbers = malloc( n*sizeof(int) );
if ( numbers == NULL ) { ... }

... // Speicherbedarf gestiegen

neu = realloc( numbers, (n+10) * sizeof(int));
if(neu == NULL) { ... free(numbers); ...}
numbers = neu;
```

  - ◆ Neuer Speicherbereich enthält die Daten des ursprünglichen Speicherbereichs (wird automatisch kopiert; aufwändig)
  - ◆ Sollte **realloc()** fehlschlagen, wird der ursprüngliche Speicherbereich nicht freigegeben
    - Explizite Freigabe mit **free()** notwendig.

© Michael Stilkerich • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2011
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U3-4 Generisches Sortieren mit qsort

- Vergleich nahezu beliebiger Daten
  - ◆ alle Daten müssen die gleiche Größe haben
- qsort weiß nicht, *was* es sortiert (wie der Vergleich zu bewerkstelligen ist)
  - ◆ Aufrufer stellt Routine zum Vergleich zweier Elemente zur Verfügung
- Prototyp aus **stdlib.h**:

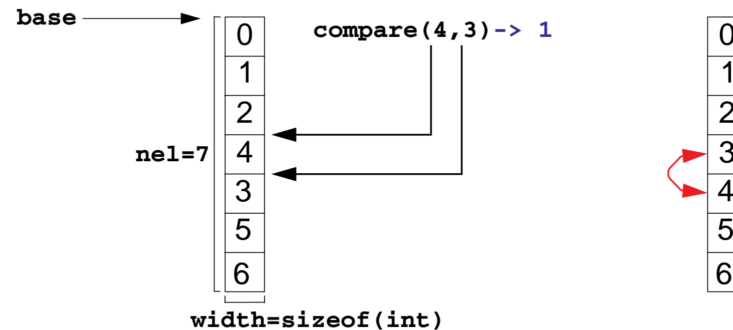
```
void qsort(void *base,
        size_t nel,
        size_t width,
        int (*compare) (const void *, const void *));
```

- Bedeutung der Parameter:
  - ◆ **base**: Zeiger auf das erste Element des zu sortierenden Feldes
  - ◆ **nel**: Anzahl der Elemente im zu sortierenden Feld
  - ◆ **width**: Größe eines Elements
  - ◆ **compare**: Vergleichsfunktion

© Michael Stilkerich • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2011
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Arbeitsweise von *qsort(3)*

- **qsort** vergleicht je zwei Elemente mit Hilfe der Vergleichsfunktion
  - ◆ sind die beiden Elemente falsch angeordnet, werden diese getauscht



- ◆ Die Funktion vergleicht die beiden Elemente und liefert:
  - < 0, falls Element 1 kleiner gewertet wird als Element 2(1, 5 : -4)
  - 0, falls Element 1 und Element 2 gleich gewertet werden (5, 5 : 0)
  - > 0, falls Element 1 größer gewertet wird als Element 2(9, 1 : 8)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Vergleichsfunktion

- Die Vergleichsfunktion erhält Zeiger auf Feldelemente
  - ◆ Beispiel: Vergleichsfunktion für `int`

```
int intCompare(const int *, const int *);
```

- `qsort()` kennt den tatsächlichen Datentyp nicht
  - ◆ Prototyp ist generisch mit `void`-Zeigern parametriert

```
void qsort(...,int (*compare) (const void *, const void *));
```

- Cast erforderlich
  - ◆ entweder innerhalb der Funktion `intCompare()`
  - ◆ oder bei der Übergabe des Funktionszeigers an `qsort()`
- `const`-Zusicherung: Funktion ändert die verglichenen Werte nicht

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Exkurs: Funktionszeiger

- Notation von Funktionstypen

```
int (*) (const void *, const void *)
```

Rückgabetyp → `int`, Funktionszeiger → `(*)`, Parameterliste → `(const void *, const void *)`

  - ◆ wird ein Name benötigt, wird dieser hinter dem geklammerten `*` notiert

- Cast wie bei allen anderen Datentypen

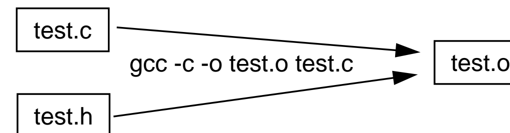
```
int intCompare(const int *, const int *); // Prototyp

int (*compare) (const void *, const void *) =
    (int (*) (const void *, const void *)) intCompare;
```

  - ◆ Funktionszeiger-Variable mit Namen `compare` wird die Adresse der typ-inkompatiblen Funktion `intCompare` zugewiesen

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

U3-5 Make

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

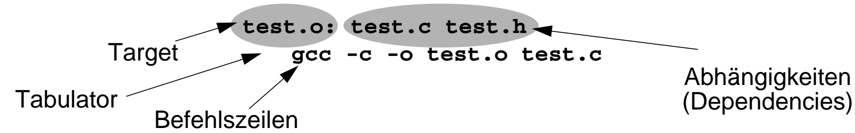


- Ausführung von *Update*-Operationen (auf Basis der Modifikationszeit)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Funktionsweise

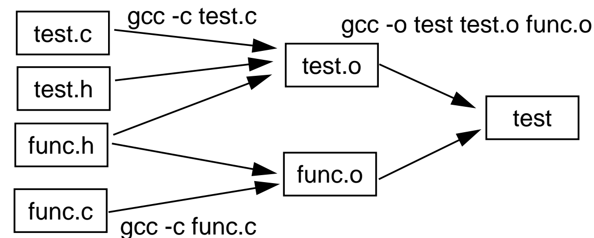
- Regeldatei mit dem Namen **`Makefile`**
  - Targets (was wird erzeugt?, hier: test.o)
  - Abhängigkeiten (woraus?, hier: test.c, test.h)
  - Befehlszeilen (wie?, hier: entsprechendes GCC-Kommando)



- das zu erstellende Target kann beim **`make`**-Aufruf angegeben werden (z.B. **`make test.o`**)
  - ohne explizite Target-Angabe bearbeitet make das **erste** Target im Makefile
    - Dieses ist normalerweise das Target **`all`**
  - jede Zeile wird in einer neuen Shell ausgeführt
    - **`cd`** in einer Zeile hat keine Auswirkung auf die nächste Zeile

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Beispiel mit mehreren Modulen




```
all: test

test: test.o func.o
    gcc -o test test.o func.o

test.o: test.c test.h func.h
    gcc -c test.c

func.o: func.c func.h
    gcc -c func.c
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Makros

- 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)
```

- Erzeugen neuer Makros durch Ersetzung in existierenden Makros

```
OBJS = $(SOURCE:%.c=%.o)
```

  - In allen Wörten, die auf den Suchstring **.c** enden, wird dieser durch **.o** ersetzt

- Erzeugung neuer Makros durch Konkatenation
  - ALLOBJS = $(OBJS) hallo.o

- Gängige Makros:
  - **CC** C-Compiler-Befehl
  - **CFLAGS** Optionen für den C-Compiler

© Michael Stilkerich • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2011
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Dynamische Makros

- **$@** Name des Targets (hier: *test*)

```
test: test.c
    $(CC) -o $@ test.c
```

- **$*** Basisname des Targets (ohne Dateiendung, hier *test*)

```
test.o: test.c test.h
    $(CC) -c $*.c
```

- **$<** Name der ersten Abhängigkeit

```
test.o: test.c test.h
    $(CC) -c $<
```

- **$^** Mit Leerzeichen getrennte Liste aller Abhängigkeiten

```
test: test.o func.o
    $(CC) -o $@ $^
```


© Michael Stilkerich • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2011
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Suffix-Regeln

- Allgemeine Regel zur Erzeugung einer Datei mit einer bestimmten Endung aus einer gleichnamigen Datei mit einer anderen Endung.
- Beispiel: Erzeugung von **.o**-Dateien aus **.c**-Dateien

```
%.o: %.c
    $(CC) $(CFLAGS) -c $<
```

- Explizite Regeln überschreiben die Suffix-Regeln

```
test.o: test.c
    $(CC) $(CFLAGS) -DXYZ -c $<
```

- Regeln ohne Kommandos können Abhängigkeiten überschreiben

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

◆ die Suffix-Regel wird weiterhin zur Erzeugung herangezogen

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 Pseudo-Targets

- Dienen nicht der Erzeugung einer gleichnamigen Datei
- Deklaration als Abhängigkeiten des Spezial-Targets **.PHONY**

```
.PHONY: all clean install
```

◆ so deklarierte Targets werden immer gebaut, auch wenn eine gleichnamige Datei bereits existiert, die aktueller als die Abhängigkeiten ist

- Aufräumen mit `make clean`

```
clean:
    rm -f $(OBJS) test
```

- Projekt bauen mit `make all` (Konvention: `all` ist immer erstes Target)

```
all: test
```

- Installieren mit `make install`

```
install: all
    cp test /usr/local/bin
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7 Beispiel verbessert

```
SOURCE = test.c func.c
OBJS = $(SOURCE:%.c=%.o)
HEADER = $(SOURCE:%.c=%.h)
CC = gcc
CFLAGS = -Wall -Werror -std=c99 -pedantic -D_XOPEN_SOURCE=600

.PHONY: all

all: test

test: $(OBJS)
	$(CC) $(LDFLAGS) -o $@ $(OBJS)

%.o: %.c
	@echo Folgende C-Datei wird neu uebersetzt: $<
	$(CC) $(CFLAGS) -c $<

# korrekte Abhaengigkeiten
test.o: test.c $(HEADER)
func.o: func.c func.h
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.