Systemprogrammierung

Teil 7: Werkzeuge

Programmerstellung, Fehlersuche

Prof. Dr. H. Drachenfels
Hochschule Konstanz

Version 17.0
15.1.2020

Werkzeuge: Einsatzgebiete

Erstellen von Programmen

- **Bearbeiten** von Quellcode
  Schreiben von neuem Quellcode
  Ändern von vorhandenem Quellcode
- **Transformieren** von Quellcode in ausführbaren Code
  je nach Programmiersprache mehrere Transformationsschritte erforderlich
  bei aus vielen Teilen bestehenden Programmen Wiederholen der Transformationsschritte pro Programmteil erforderlich
  bei C: Präprozessor, Compiler, Linker

Prüfen von Programmen

- **Testen** der funktionalen und nicht-funktionalen Eigenschaften
- **Fehlersuche**

Werkzeuge: Nutzen

- **Ermöglichung**
  Werkzeug Texteditor unverzichtbar zum Bearbeiten von Quellcode *(z.B. `kwrite`)*
  Werkzeug Compiler unverzichtbar zum Transformieren von Quellcode *(z.B. `gcc`)*
- **Automatisierung**
  bei aus vielen Teilen bestehenden Programmen sehr viele Arbeitsschritte,
  die Arbeitsschritte automatisch veranlassen *(z.B. mit Shell-Script oder `make`)*.
- **Optimierung**
  bei Programmänderungen nur die notwendigen Arbeitsschritte durchführen,
  unnötige Arbeitsschritte automatisch weglassen *(z.B. mit Werkzeug `make`)*
- **Qualitätssicherung**
  Mängel im Quellcode und bei Transformationsschritten entdecken / vermeiden
  (z.B. statische Codeanalyse mit `gcc` und `cppcheck`).

Bearbeiten von Quellcode: Formatierung

astyle – ein "Beautifier" für C / C++ / C# / Java-Quellcode

Aufruf-Möglichkeiten:

```
astyle [Optionen] Quelldatei ...
```

ursprünglicher Code wird nach `Quelldatei.orig` gerettet.

```
astyle [Optionen] < hässliche_Datei > verschönerte_Datei
```

- Optionen:
  Festlegung des Formatierungsstils
  (Einrückung und Klammerung von Blöcken, Platzierung von Zwischenraum, ...):
  z.B. `--style=ansi` *Einrückungs- und Klammerungsstil nach ANSI*
  z.B. `-p` *Leerstellen um Operatoren herum*
  Festlegungen der Quellsprache (bei Aufruf mit Dateiumlenkung):
  z.B. `--mode=c`
- Funktionsweise:
  korrigiert die Formatierung in den angegebenen Quelldateien

Bearbeiten von Quellcode: Suchen und Vergleichen

Bearbeiten von Quellcode bedeutet vor allem korrigieren, ändern und erweitern. Dazu müssen die relevanten Stellen im vorhandenen Code gefunden werden.

- Dateien suchen mit den Linux-Kommandos **find** und **grep**:

```
find original/ -mtime 0 -name *.c -print
```

liefert die Namen aller **.c**-*Quelldateien im Verzeichnisbaum unter* **original/**, *die innerhalb der letzten 24 Stunden geändert wurden*

```
grep -rl "gruessen()" original/
```

liefert die Namen aller Dateien im Verzeichnisbaum unter **original/**, *die die Zeichenkette* **gruessen()** *enthalten*

- Dateien und Dateibäume vergleichen mit dem Linux-Kommando **diff**:

```
diff -rq original/ backup/
```

liefert die Namen aller Dateien, die sich inhaltlich unterscheiden oder nur in einem der beiden Verzeichnisbäume vorhanden sind

```
diff original/hallo.c backup/hallo.c
```

liefert alle Zeilen aus den beiden Dateien, die sich unterscheiden

Transformieren von C-Quellcode: gcc

gcc – der GNU Präprozessor / Compiler / Assembler / Linker für C

- Aufruf:

```
gcc [Option ...] Eingabedatei ...
```

- Optionen:

`[-E|-S|-c]`	*Transformationsschritte einschränken*
`[-D`*macro*`[=`*definition*`] ...] [-U`*macro* `...] [-I`*dir* `...]`	*Präprozessor steuern*
`[-std=`*standard*`] [-pedantic] [-W`*warn* `...]`	*"Strenge" des Compilers steuern*
`[-g] [-pg]`	*Debuggen und Vermessen vorbereiten*
`[-O`*level*`]`	*Code-Optimierung steuern*
`[-L`*dir* `...] [-l`*name* `...]`	*Linker steuern*
`[-o` *outfile*`]`	*Name der Ergebnisdatei angeben*
`...`	*insgesamt über 1000 Optionen, ca. 650 Seiten Dokumentation*

- empfohlene Optionen zur **Qualitätssicherung** von C-Quellcode:

```
-W -Wall  -std=c11 -pedantic
```

vor potenziellen Fehlern warnen

Einhaltung des ISO-C11-Sprachstandards überwachen

Übersetzungseinheiten: Beispiel

Einfaches C-Programm mit zwei Übersetzungseinheiten:

```
/* hallo.c */
#include "gruss.h"
int main(void)
{
    gruessen();
    return 0;
}
```

```
/* gruss.h */
#ifndef GRUSS_H
#define GRUSS_H
void gruessen(void);
#endif
```

```
/* gruss.c */
#include "gruss.h"
#include <stdio.h>
void gruessen(void)
{
    printf("Hallo\n");
}
```

- Global sichtbare Namen in der Header-Datei (Endung `.h`) deklarieren.
- Header-Datei per `#include` in die Implementierungs-Datei (Endung `.c`) kopieren.

Übersetzungseinheiten: Compiler und Linker-Aufrufe

Compiler/Linker-Aufrufe bei Programmen mit mehren Übersetzungseinheiten:

- jede Übersetzungseinheit getrennt **übersetzen**:

```
gcc -c -I. hallo.c
gcc -c -I. gruss.c
```

Der Präprozessor kopiert `gruss.h` jeweils in `hallo.c` bzw. `gruss.c` hinein.

Option(en) `-I` geben an, wo Header-Dateien anderer Übersetzungseinheiten liegen.

- dann den Objektcode der Übersetzungseinheiten (Endung `.o`) **binden**:

```
gcc hallo.o gruss.o -o hallo
```

Das ausführbare Programm nennt man üblicherweise so wie die Übersetzungseinheit mit dem Hauptprogramm main.

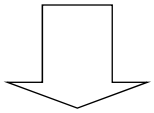
Transformieren von Quellcode: Probleme

Manueller Aufruf von Compiler und Linker zu aufwendig:

- bei Programmen mit vielen Übersetzungseinheiten viele Aufrufe notwendig
- eventuell viele Optionen pro Aufruf

Manueller Aufruf von Compiler und Linker zu fehlerträchtig:

- nach Programmänderungen Vergessen notwendiger Aufrufe
- ungünstige oder falsche Optionen bei den Aufrufen



Abhilfe durch
Automatisierung

Transformieren von Quellcode: Automatisierung

Kommandoprozeduren automatisieren die Programmerstellung:

- zur Programmerstellung erforderliche Kommandofolge in eine Datei schreiben
- die Datei ausführen, um die Kommandofolge zu wiederholen

Auch nach kleinen Programmänderungen werden alle Kommandos ausgeführt.
Das kann bei Programmen mit vielen Übersetzungseinheiten sehr lange dauern.

Build-Werkzeuge automatisieren und optimieren die Programmerstellung:

- die Abhängigkeiten zwischen den zu erstellenden Endergebnissen, Zwischenergebnissen und Quellen sowie die erforderlichen Kommandos in einem Bauplan festhalten
- für den Bauplan das Build-Werkzeug aufrufen, um Zwischen- und Endergebnisse inkrementell erstellen bzw. aktualisieren zu lassen

Es werden immer nur die laut Bauplan erforderlichen Kommandos ausgeführt.

Kommandoprozedur: Linux Shell-Script (1)

- eine **Linux-Shell** ist ein Programm, mit dem Benutzer Linux über Kommandos bedienen können *(Kommandointerpretierer)*

  Es gibt verschiedene Implementierungen, die wichtigsten unter Linux sind:

  sh Bourne Shell (für Kommandoprozeduren üblich)

  bash Bourne Again Shell (Standard für die interaktive Benutzung)

- ein **Shell-Script** ist eine Datei mit einer Folge von Linux-Kommandos:

```
#!/bin/sh
gcc -c hallo.c
gcc -c gruss.c
gcc hallo.o gruss.o -o hallo
```

- Shell-Script ausführen:

```
sh Dateiname
./Dateiname
```

für die zweite Variante muss bei der Datei das Ausführungsrecht gesetzt sein

Kommandoprozedur: Linux Shell-Script (2)

- die Bourne-Shell kennt auch Variablen, Verzweigungen und Schleifen:

```
#!/bin/sh
for s in hallo.c gruss.c ; do
  compile_command="gcc -c $s"      # Variable mit Initialisierung
  echo $compile_command            # Wert der Variablen ausgeben
  eval $compile_command            # Wert der Variablen als Kommando ausführen
  if [ $? -ne 0 ] ; then           # Rückgabewert des Kommandos prüfen
    echo build failed
    exit 1
  fi
done
link_command="gcc -o hallo hallo.o gruss.o"
echo $link_command
eval $link_command
if [ $? -ne 0 ] ; then
  echo build failed
  exit 1
fi
echo build successful
```

Build-Werkzeug: GNU make

make – das Build-Programm unter Linux *(Unix, ...)*

Aufruf:

```
make [-f Bauplan] [Ziel] ...
```

- fehlt die Option `-f Bauplan`, wird `makefile` oder `Makefile` verwendet
  Üblicherweise wird der Bauplan `Makefile` genannt,
  in speziellen Fällen werden auch Dateinamen mit Endung `.mak` oder `.mk` verwendet
- `Ziel` ist eine zu erstellende Datei oder der Name einer Regel
  fehlt das `Ziel`, wird das im Bauplan als erstes genannte Ziel bearbeitet,
  üblicherweise heißt das erste Ziel im Bauplan `all`
- sind mehrere `Ziele` angegeben, werden diese nacheinander bearbeitet

GNU make: Beispiel (1)

- einfacher Bauplan für das Programm hallo:

```
# Makefile
hallo: hallo.o gruss.o
   gcc hallo.o gruss.o -o hallo
hallo.o: hallo.c gruss.h
   gcc -c hallo.c
gruss.o: gruss.c gruss.h
   gcc -c gruss.c
```

Abhängigkeit
(hallo abhängig von zwei Objektdateien)

Kommando
(erzeugt hallo aus
zwei Objektdateien)

Tabulator vor dem Kommando nicht vergessen

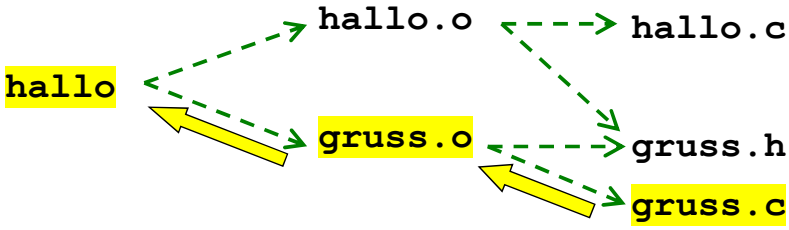
- Aufruf zum Erstellen bzw. Aktualisieren des Programms:

```
make -f Makefile hallo
make   # tut das gleiche, weil Makefile Standardname und hallo erstes Ziel ist
```

GNU make: Beispiel (2)

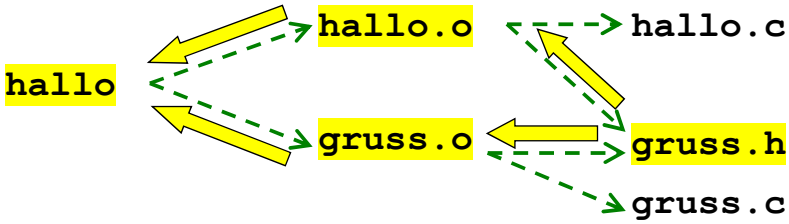
Abhängigkeiten (- - >) steuern das inkrementelle Erstellen (⟸):

- Aufruf nach Änderung von `gruss.c`



hallo.o wird nicht neu erstellt, weil unabhängig von gruss.c

- Aufruf nach Änderung von `gruss.h`



alles wird neu erstellt, weil abhängig von gruss.h

Makefile: Regeln

- **explizite Regeln**:

abhängig von — *Quelle*

Ziel

```
hallo.o: hallo.c
    gcc -c hallo.c -o hallo.o
```

Kommando (muss mit Tabulator eingerückt sein)

- **Abhängigkeitsregeln** sind explizite Regeln ohne Kommando:

```
hallo.o: hallo.c
```

- **Musterregeln** liefern das Kommando zu gleichartigen Abhängigkeitsregeln:

Ziel mit % als Platzhalter für z.B. hallo

Quelle mit % als Platzhalter für z.B. hallo

```
%.o: %.c
    gcc -c $< -o $@
```

$< ist die Quelle, auf die die Regel angewendet wird

$@ ist das Ziel, auf das die Regel angewendet wird

Makefile: explizite Regeln

```
Ziel ...: Quelle ...
<TAB>Kommando
<TAB>...
```

Anwendung auf Dateien:

- **Ziel** ist eine Datei, die mit der Regel erzeugt wird.
  Meist ein Ziel pro Regel, es sind aber auch mehrere erlaubt.
- **Quelle** ist eine Datei, die zum Erstellen des Ziels gebraucht wird.
  Keine, eine oder viele Quellen pro Regel.
- **Kommando** ist ein Befehl, der Zieldatei(en) aus Quelldatei(en) erzeugt.
  Meist nur ein Kommando pro Regel, aber auch mehrere Kommandos oder komplizierte Kommandos in Shell-Skript-Syntax möglich.

  Liefert ein Kommando einen Fehlerstatus, beendet sich make automatisch.

Makefile: Abhängigkeitsregeln

- Eine **Abhängigkeitsregel** ist eine explizite Regel ohne Kommando:

```
hallo.o: hallo.c gruss.h
gruss.o: gruss.c gruss.h
```

Abhängigkeitsregeln sind die in der Praxis am häufigsten verwendete Form der expliziten Regel

- Abhängigkeitsregeln brauchen zur Ergänzung Musterregeln, die die Kommandos festlegen, z.B.:

```
%.o: %.c
   gcc -c $< -o $@
```

die automatische Variable `$<` enthält den Namen der Quelldatei, `$@` den Namen der Zieldatei

- Abhängigkeitsregeln kann der `gcc` automatisch aus den C-Quellen erzeugen, indem er die `#include`-Anweisungen auswertet:

```
gcc -MM hallo.c gruss.c > depend
```

schreibt die Regeln mittels Umlenkung der Standardausgabe in die Datei `depend`, die Datei `depend` kann dann per `include` in das Makefile integriert werden

Makefile: Pseudoziele

- Ein **Pseudoziel** ist keine Datei, sondern ein beliebiger Name, der nur dazu dient, bestimmte Arbeitsschritte gezielt aufrufbar zu machen:

```
make Pseudoziel
```

- Aufzählung der Pseudoziele im Makefile mit einer `.PHONY`-Regel: *engl. unecht*

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

die Pseudoziele `all`, `clean`, `install`, `uninstall` haben sich als Quasistandard eingebürgert

- Die `all`-Regel zählt alle Endergebnisse des Makefiles auf:

```
all: hallo
```

Die `all`-Regel sollte immer die erste Regel im Makefile sein!

- Die `clean`-Regel löscht alle Zwischen- und Endergebnisse, die mit dem Pseudoziel `all` erzeugt werden:

```
clean:
   rm -f hallo hallo.o gruss.o
```


Makefile: Musterregeln

Eine **Musterregel** ist eine explizite Regel, bei der Quelle und Ziel ein %-Zeichen als Platzhalter für eine beliebige Zeichenkette enthalten:

- das Kommando einer Musterregel wird für Dateien ausgeführt, deren Name dem Muster entspricht und für die es keine explizite Regel gibt

GNU make hat für die wichtigsten Dateitypen **vordefinierte Musterregeln**, z.B.:

- übersetzen und binden eines beliebigen C-Programms mit nur einer Quelldatei:

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

- übersetzen einer beliebigen C-Quelle:

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

automatische Variablen für Ziel und Quelle

Die Kommandos in den vordefinierten Musterregeln sind mit Variablen definiert, um sie leicht an unterschiedliche Plattformen anpassen zu können: `CC` enthält den Namen des C-Compilers, `CPPFLAGS` die Präprozessor-Optionen, `CFLAGS` die Compiler-Optionen und `LDFLAGS` die Linker-Optionen.

Makefile: Variablen (1)

Mit **Variablen** können häufig wiederkehrende Bestandteile von Makefiles zusammengefasst und parametrisiert werden.

- Variablendefinition:

  ```
  Variable = Wert
  ```

  oder mehrzeilig

  ```
  Variable = \
    Wert \
    Fortsetzung
  ```

  Zeilenwechsel müssen mit \ maskiert werden

  Variablenname üblicherweise in Großbuchstaben
  Wert ist eine beliebige Zeichenkette

- Variablenbenutzung:

  ```
  $(Variable)
  $(Variable:suffix=ersetzung)
  ```

  Für `$(Variable)` wird der Wert der Variablen eingesetzt, bei der zweiten Form wortweise am Ende modifiziert. Dabei **rekursives Expandieren**: enthält der Wert wiederum Variablenbenutzungen, wird darauf erneut die Textersetzung angewendet usw.

  Ist eine Variable nicht definiert, wird ihr Wert als leer angenommen.

Makefile: Variablen (2)

Sonderfall **automatische Variablen**:

- vordefinierte Variablen, die bei jeder Regelanwendung einen neuen Wert erhalten, z.B.:
  - `$@` Das Ziel, auf das die Regel gerade angewendet wird
  - `$<` Die erste Quelle zum aktuellen Ziel
  - `$^` Alle Quellen zum aktuellen Ziel

- die automatischen Variablen sind in Musterregeln unentbehrlich, z.B.:

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

Makefile: Variablen (3)

Vordefinierte Variablen flexibilisieren vordefinierter Musterregeln:

- Kommandos sind in vordefinierten Musterregeln mit Variablen formuliert:

  `$(`*KOMMANDO*`)` Wert ist der zu verwendende Befehl

  `$(`*KOMMANDO*`FLAGS)` Wert ist zunächst leer

  Beispiele:

  `CC=gcc` der C-Compiler (mit Optionen `$(CFLAGS)`)

  `RM=rm -f` der Löschbefehl für Dateien

- die Werte der Variablen können bei Bedarf überschrieben werden:

  in der Aufrufumgebung `export CC="gcc -g"`

  im Makefile `CC = gcc -g`

  beim Aufruf von make `make "CC=gcc -g"`

  Wert bei Aufruf überschreibt Wert in Makefile überschreibt Wert aus Aufrufumgebung

Makefile: Rekursion

Große Softwaresysteme bestehen aus vielen Paketen, die Paket für Paket mit `make` erstellt werden müssen.

- die Pakethierarchie wird im Dateisystem als Verzeichnishierarchie abgebildet, mit einem Makefile in jedem Verzeichnis, z.B:

```
hallohallo/   Makefile
├──hallo/     Makefile hallo.c
└──hallo2/    Makefile hallo.c gruss.h gruss.c
```

Softwaresystem `hallohallo` mit Paketen `hallo` und `hallo2`

- Makefile des Softwaresystems ruft `make` rekursiv für die Pakete auf:

```
# Makefile fuer Softwaresystem hallohallo
PACKAGES=hallo hallo2
.PHONY: all clean
all clean:
   for p in $(PACKAGES); do \
     (cd $$p && $(MAKE) $@); \
   done
```

Shell-Script als Kommando

Makefile: C-Beispiel hallo (1)

```
# Makefile
# Kommando-Variablen
CC = gcc
CFLAGS = -W -Wall -std=c11 -pedantic
CPPFLAGS = -I.
RM = rm -f

# Hilfsvariablen
TARGET = hallo
OBJECTS = gruss.o
SOURCES = $(TARGET).c $(OBJECTS:.o=.c)
HEADERS = $(OBJECTS:.o=.h)

# Musterregeln
%.o: %.c
   $(CC) $(CPPFLAGS) $(CFLAGS) -c $< -o $@

...
```

Variablen für die vordefinierten C-Übersetzungsregeln

Include-Dateien im aktuellen Verzeichnis suchen

die C-Übersetzungsregel ist vordefiniert und braucht deshalb nicht angegeben zu werden

Makefile: C-Beispiel hallo (2)

```
...

# Standardziele
.PHONY: all clean
all: $(TARGET)
clean:
   $(RM) $(TARGET) $(TARGET).o $(OBJECTS) depend

depend: $(SOURCES) $(HEADERS)
   $(CC) $(CPPFLAGS) -MM $(SOURCES) > $@

# Ziele zur Programmerstellung
$(TARGET): $(TARGET).o $(OBJECTS)
   $(CC) $(LDFLAGS) $^ -o $@

# Abhaengigkeiten
include depend
```

Pseudoziele

Makefile: Empfehlungen (1)

Variablen:

- für jedes in einer Regel verwendete Kommando eine Variable definieren
  bei Kommandos mit vielen Optionen zusätzliche Variable für Optionen
- für die Liste der Übersetzungseinheiten / Quelldateien Hilfsvariablen definieren
- in Regeln, wo immer möglich, automatische Variablen verwenden

Regeln:

- wo immer möglich, Musterregeln statt expliziter Regeln verwenden
- immer zumindest die Pseudoziele **`all`** und **`clean`** vorsehen
  `all` *muss das erste Ziel im Makefile sein*
  `clean` *muss alles beseitigen, was* ***`all`*** *erzeugt*
- Abhängigkeitsregeln möglichst automatisch erzeugen
  mit einem Ziel ***`depend`*** *eine gleichnamige Datei erzeugen und per* ***`include`*** *einbinden*

Makefile: Empfehlungen (2)

Vorgehen beim Erstellen:

- mit der **`all`**-Regel beginnen

```
all: Endergebnis
```

Endergebnis ist die zu erstellende Datei (bei Bedarf auch mehrere Dateien)

- für jede bei **`all`** als Endergebnis genannte Datei eine Regel erstellen, für jede darin als Zwischenergebnis genannte Datei wiederum eine Regel, usw. bis nur noch Abhängigkeiten von Quelldateien auftreten:

```
Endergebnis: Zwischenergebnisse
    Kommando
...
Zwischenergebnis: Quelldateien
    Kommando
```

- eine **`clean`**-Regel erstellen

```
clean:
    $(RM) Endergebnis Zwischenergebnisse
```

- mit Variablen und Musterregeln die mehrfache Wiederholung von Dateinamen und Kommandos vermeiden

Prüfen von Programmen: Fehlersuche (1)

Einige wichtige Arten von Laufzeitfehlern:

- **Absturz**
  unerwartetes Programmende,
  z.B. wegen Speicherzugriffsfehler oder nicht gefangener Ausnahme
- **Endlosschleife**
  das Programm scheint zu "hängen", aber es läuft und läuft und läuft ...
- **Speicherüberlauf**
  der ganze Rechner wird langsam,
  weil das Programm sämtlichen Speicher belegt hat
- **Fehlverhalten**
  das Programm tut nicht, was es tun soll, liefert z.B. falsche Ergebnisse

Prüfen von Programmen: Fehlersuche (2)

Vorgehen bei der Suche von Laufzeitfehlern:

- Fehler **reproduzieren**

  einen Testfall erstellen, bei dem der Fehler auftritt

  oft schwierig bei Programmen mit vielfachen Abhängigkeiten von der Umgebung (Benutzer, andere Programme, Zeit, Daten in Dateien oder Datenbanken, Netzwerk, ...)

- Fehler **isolieren**

  mögliche Fehlerursachen schrittweise eingrenzen

  Hypothesen aufstellen und prüfen
  Programmteile gezielt weglassen oder abändern
  feststellen, ob ältere oder neuere Programmversionen den Fehler auch zeigen
  schrittweises Ausführen im Debugger

Fehlersuche: Debugger

Debugger erlauben es, den Programmablauf zu beobachten und zu beeinflussen, ohne den Code dafür aufwändig und fehlerträchtig abzuändern.

Funktionalitäten:

- Programm kontrolliert ausführen
  Zeile für Zeile, bis Funktionsende, bis zum nächsten Haltepunkt, ...
- Programm unter bestimmten Bedingungen anhalten lassen
  unbedingte und bedingte Haltepunkte ("Breakpoints", "Watchpoints")
- Zustand des angehaltenen Programms untersuchen
  Aufruf-Stack anzeigen, Speicherinhalte anzeigen, ...
- Zustand des angehaltenen Programms verändern
  Speicherinhalte ändern, Anweisungen überspringen, ...

Debugger: Nutzen

Mit einem Debugger lässt sich meist schnell klären:

- wo ein Programm abstürzt
  Programm mit gleichen Eingaben im Debugger laufen lassen
  oder core-Datei untersuchen
  (Linux legt bei einem Programmabsturz den gesamten Programmzustand in einer Datei `core` ab, einzuschalten mit: `ulimit -c unlimited`).
- wo ein Programm eine Endlosschleife enthält
  Programm im Debugger unterbrechen
  oder Programm "abschießen" (`kill` -6 ...), um untersuchbare `core`-Datei zu erhalten
- ob eine Hypothese zur Fehlerursache stimmt
  gezielt Haltepunkte setzen und Programmzustand analysieren
  die Hypothese selbst findet man nur durch Nachdenken!

Debugger: ddd

ddd – der GNU Data-Display-Debugger, eine graphische Benutzeroberfläche für den kommandozeilen-orientierten GNU-Debugger **gdb**.

Aufruf:

```
ddd Programm [Core-Datei | Prozessnummer]
```

- Programm:

  Die volle Funktionalität des Debuggers steht nur zur Verfügung, wenn das zu untersuchende Programm mit der gcc-Option **`-g`** übersetzt wurde.

  es wird dann Information in den Code eingebettet, die dem Debugger den Rückschluss von Adressen auf Variablen und Zeilen im Quellcode erlaubt.

- Core-Datei:

  nur beim nachträglichen Untersuchen eines abgestürzten Programms ("**Post-Mortem-Debugging**").

- Prozessnummer:

  zum nachträglichen Ankoppeln des Debuggers an ein laufendes Programm

Speicherfehler suchen: valgrind

valgrind – ein Speicherdebugger für x86-Linux

Aufruf:

```
valgrind [Optionen] Programm [Argumente]
```

- Funktionsweise:

  interpretiert x86-Maschinencode (virtueller Prozessor) und führt dabei Buch über die Speichernutzung des Programms.

  Das Programm läuft dadurch langsamer und braucht mehr Speicher.

- Fehlererkennung:

  Lesezugriff auf nicht initialisierten Speicher bei Verzweigungen

  Lese- oder Schreibzugriff auf nicht reservierten Heapspeicher

  Feldgrenzen-Überschreitung für separat auf dem Heap allokierte Felder

  Speicherlecks (**`malloc/calloc`** ohne zugehöriges **`free`**)

  doppeltes Freigeben von reserviertem Speicher (mehrfaches **`free`**)

Werkzeuge: Index