

Betriebssystem-Entwicklung mit Literate Programming



TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
GEORG SIMON OHM

Wintersemester 2014/15

Hans-Georg Eßer

h.g.esser@gmx.de
<http://ohm.hgesser.de/>

v1.1, 21.10.2014

Hans-Georg Eßer, TH Nürnberg
BS-Entwicklung mit Literate Programming, WS 2014/15

Foliensatz 1: Einleitung
Folie 1

Zur Vorlesung (2)

Hilfreiche Vorkenntnisse:

- **Vorlesung Betriebssysteme**
- **C** – Grundlagen der Programmierung in C (oder C++, C#, Java)
→ C-Crashkurs (im Praktikumsteil)
- **Vorlesung Systemprogrammierung Linux**
- **Unix-Shell** – Benutzung der Standard-Shell *bash* unter Linux → Bash-Crashkurs

Hans-Georg Eßer, TH Nürnberg
BS-Entwicklung mit Literate Programming, WS 2014/15

Foliensatz 1: Einleitung
Folie 3

Zur Vorlesung (1)

Termine BS-Entwicklung

Vorlesung: Di 15:45–17:15 Uhr HQ 211

Praktikum: Di 17:30–19:00 Uhr HQ 211

Webseite

<http://ohm.hgesser.de/>

(Folien, Videos, Termine,
sonstige Informationen)

Hans-Georg Eßer, TH Nürnberg
BS-Entwicklung mit Literate Programming, WS 2014/15

Foliensatz 1: Einleitung
Folie 2

Zur Vorlesung (3)

Termine im Wintersemester 2014/15

4 SWS, d. h.

- Vorlesung/Praktikum: 13 x 180 min.
Raum HQ 211.
- Nachhol-Termine für die ersten zwei Semesterwochen
→ Suche

Service / Web-Seite

- Folien und Praktikumsaufgaben
- Vorlesungs-Videos

Hans-Georg Eßer, TH Nürnberg
BS-Entwicklung mit Literate Programming, WS 2014/15

Foliensatz 1: Einleitung
Folie 4

Zur Vorlesung (4)

Kontakt

Aufwand: 5 ECTS (1 ECTS-Punkt \approx 25–30 h)

5 x 25 = 125 Stunden, davon:

- 52 Stunden Präsenz (Vorlesung + Praktikum)
- \leq 13 Stunden: Durcharbeiten der Aufgaben und Videos zu den Themen C-Programmierung und Bash-Shell (entfällt für Hörer der „Systemprogrammierung“)
- \leq 15 Stunden: Selbständige Einarbeitung in LaTeX
- \leq 20 Stunden: Lesen von Artikeln und Fachbüchern
- \leq 25 Stunden: abschließende Bearbeitung der Übungsaufgaben mit Fertigstellung der Dokumentation (nach Vorlesungsende)
- Veranstaltung etwas aufwendiger als die Systemprogrammierung

Sprechstunde: –

Fragen:

- direkt in der Vorlesung
- oder danach
- oder per E-Mail: h.g.esser@gmx.de

Hans-Georg Eßer

- Dipl.-Math. (RWTH Aachen, 1997)
Dipl.-Inform. (RWTH Aachen, 2005)
- Chefredakteur einer Linux-Zeitschrift (seit 2000) und Autor diverser Linux-Bücher
- seit 2006 Lehraufträge an verschiedenen Hochschulen: Betriebssysteme, Rechnerarchitektur, Informatik-Grundlagen, Systemprogrammierung, Betriebssystem-Entwicklung u. a.
- seit 2010 Doktorand an der Univ. Erlangen-Nürnberg – Thema: „Design, Implementation and Evaluation of the ULIX Operating System“ (OS ist komplett; Diss ~November 2014)
- Betreuung von Abschlussarbeiten (Implem. Betriebssysteme)

```
Sep 19 14:20:18 amd64 sshd[20494]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 61557
Sep 19 14:27:41 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 20 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[29278]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 20 01:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 20 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[30103]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d"")
Sep 20 02:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 20 12:46:44 amd64 sshd[6516]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62004
Sep 20 12:46:44 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 20 12:48:41 amd64 sshd[6699]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62105
Sep 20 12:54:44 amd64 sshd[6694]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62514
Sep 20 15:27:35 amd64 sshd[9077]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 64242
Sep 20 15:27:35 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 20 16:37:11 amd64 sshd[10102]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 63375
Sep 20 16:37:11 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 20 16:38:10 amd64 sshd[10140]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 63546
Sep 21 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[17658]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 21 01:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 21 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[17658]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d"")
Sep 21 02:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 21 17:43:26 amd64 sshd[8188]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 61897
Sep 21 17:43:26 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 21 17:53:39 amd64 sshd[81268]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 64391
Sep 21 18:43:26 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 21 19:43:26 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 22 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[4674]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 22 01:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 22 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[5499]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d"")
Sep 22 02:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 22 20:23:21 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 23 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[24739]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 23 01:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 23 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[2555]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d"")
Sep 23 02:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 23 18:04:05 amd64 sshd[6554]: Accepted publicity for esser from :ffff:192.168.1.5 port 59771 ssh2
Sep 23 18:04:05 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 23 18:04:34 amd64 sshd[6606]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62093
Sep 24 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[12436]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 24 01:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 24 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[1353]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d"")
Sep 24 02:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 24 11:15:48 amd64 sshd[20998]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 64456
Sep 24 11:15:48 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 24 13:49:08 amd64 sshd[23197]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 61330
Sep 24 13:49:08 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 24 15:42:07 amd64 kernel: snd_seq_mid_event: unsupported module, tainting kernel.
Sep 24 15:42:07 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 24 15:42:07 amd64 kernel: snd_seq_oss: unsupported module, tainting kernel.
Sep 24 20:25:31 amd64 sshd[29399]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62566
Sep 24 20:25:31 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 25 01:00:02 amd64 /usr/sbin/cron[662]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 25 01:00:02 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 25 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[1484]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d"")
Sep 25 02:00:02 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 25 10:59:25 amd64 sshd[8889]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 64183
Sep 25 10:59:25 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 25 10:59:47 amd64 sshd[8921]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 64253
Sep 25 11:30:72 amd64 sshd[9172]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62029
Sep 25 11:59:25 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 25 14:05:37 amd64 sshd[11554]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62822
Sep 25 14:05:37 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 25 14:06:10 amd64 sshd[11586]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62951
Sep 25 14:07:17 amd64 sshd[16160]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 63392
Sep 25 14:08:33 amd64 sshd[11630]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 63709
Sep 25 15:25:33 amd64 sshd[12930]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62778
```

1. Einführung / Motivation

Warum BS-Entwicklung?

- logische Fortsetzung der Veranstaltungen Betriebssysteme und Systemprogrammierung
- verstehen,
 - wie Programme, Bibliotheken und Betriebssystem zusammen arbeiten
 - wie Aufgaben im BS gelöst werden
 - wie das BS (mehreren) Prozessen den Zugriff auf die Hardware ermöglicht
- und das anhand von konkretem BS-Code

Eigenschaften von ULIX

- 32-Bit-System (x86)
- virtueller Speicher für BS und Prozesse, separate Adressräume (Paging)
- System Call Interface mit zugeh. Library für User-Mode-Anwendungen (Ulix-Programme)
- virtuelles Dateisystem (Disketten und Festplatten, Treiber für Minix v2)
- Mini-Shell mit integrierten Tools (pwd, cd, ls, cat, head, cp, mv, rm, ln, diff, hexdump, ps, kill u. a.)
- Implementation mit → Literate Programming

Warum Unix?

- lange Tradition (Unix: 1969; C: 1972)
- Unix-Internas (Original-Unix oder modernere Varianten wie Linux, *BSD etc.) gut dokumentiert bzw. Code frei verfügbar
- Übersichtliches Set an BS-Features (in Form von System Calls)
- kleine Unix-Systeme lassen sich mit wenig Code implementieren
 - z. B.: keine grafische Oberfläche

Warum Literate Programming

- spezielle Form der Code-Entwicklung und Code-Dokumentation
- Literate Programs sind gut geeignet für die Präsentation von komplexem Code
 - unterstützt Bottom-Up- und Top-Down-Entwicklung
 - kann auch dokumentieren, wie der Code entstanden ist (kreativer Prozess)
- Einstieg in Literate Programming ist leicht

Entwicklungsumgebung

- Virtuelle Maschine mit Debian Linux 6.0.1
- Installierte Werkzeuge:
 - C-Compiler gcc und x86-Assembler nasm
 - Linker ld, Object-File-Analyse mit objdump
 - PC-Emulatoren qemu, bochs
 - Lit. Programming: NoWeb (notangle, noweave)
- Ulix-Update-Script: update-ulix.sh
- Anmelden: ulix / ulix
- root werden: sudo su (kein Passwort)

Gliederung (1)

1. Einleitung
2. Einführung in C und die Linux-Shell Bash (Lektüre/Übungen außerhalb der Vorlesung)
3. Features eines Unix-Systems (Überblick)
4. LaTeX und Literate Programming
5. Booten, Protected Mode, Prozesse, Speicher
6. Interrupts und System Calls in Ulix
7. fork() -Implementierung im Kernel
8. Dateisysteme (mit Lektüre außerh. d. Vorl.)
9. Implementierungsprojekt

```
Sep 19 14:20:18 amd64 sshd[20494]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 61557
Sep 19 14:27:41 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 20 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[29278]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 20 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[30103]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
Sep 20 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[30103]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
Sep 20 12:46:44 amd64 sshd[6516]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62004
Sep 20 12:46:44 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 20 12:48:41 amd64 sshd[6699]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62105
Sep 20 12:54:44 amd64 sshd[6694]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62514
Sep 20 15:27:35 amd64 sshd[9077]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 64242
Sep 20 15:27:35 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 20 16:37:11 amd64 sshd[10102]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 63375
Sep 20 16:37:11 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 20 16:38:10 amd64 sshd[10140]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 63946
Sep 21 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[17055]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 21 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[17878]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
Sep 21 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[17878]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
Sep 21 17:43:26 amd64 sshd[31869]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 64391
Sep 21 17:43:26 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 21 18:43:26 amd64 /usr/sbin/cron[4674]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 22 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[5499]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
Sep 22 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[5499]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
Sep 22 20:23:21 amd64 /usr/sbin/cron[5499]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
Sep 23 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[24209]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
Sep 23 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[24209]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
Sep 23 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[24209]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
Sep 23 18:04:05 amd64 sshd[6554]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62993
Sep 23 18:04:05 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 23 18:04:34 amd64 sshd[6606]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62093
Sep 24 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[12416]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 24 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[12416]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 24 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[12416]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
Sep 24 11:15:48 amd64 sshd[20988]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 64456
Sep 24 11:15:48 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 24 13:49:08 amd64 sshd[23197]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 61330
Sep 24 13:49:08 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 24 15:42:07 amd64 kernel: snd_seq_midi events unsupported module, tainting kernel.
Sep 24 15:42:07 amd64 kernel: snd_seq_midi events unsupported module, tainting kernel.
Sep 24 20:25:31 amd64 sshd[29399]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62566
Sep 24 20:25:31 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 25 01:00:02 amd64 /usr/sbin/cron[1484]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 25 01:00:02 amd64 /usr/sbin/cron[1484]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 25 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[1484]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
Sep 25 10:59:25 amd64 sshd[8989]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 64183
Sep 25 10:59:25 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 25 10:59:47 amd64 sshd[8921]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 64253
Sep 25 11:30:02 amd64 sshd[9372]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62029
Sep 25 11:39:25 amd64 /usr/sbin/cron[11554]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
Sep 25 14:05:37 amd64 sshd[11554]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62822
Sep 25 14:05:37 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 25 14:06:10 amd64 sshd[11586]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62951
Sep 25 14:07:17 amd64 sshd[11608]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 63392
Sep 25 14:08:33 amd64 sshd[11630]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 63709
Sep 25 15:25:33 amd64 sshd[12930]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62778
```

Gliederung

Gliederung (2)

- Zu einigen Themen erst Grundlagen-Übersicht (Theorie der Betriebssysteme)
- Vorstellung der Features, die ULIX hier bietet
- Besprechung von Code-Ausschnitten
- Programmieraufgaben dazu

2. Crashkurse C und Bash

Gliederung

1. Einleitung
2. C und Bash
3. Unix-Features
4. LaTeX / LitProg
5. Booten, Prozesse, Speicher
6. Interr., Syscalls
7. fork ()
8. Dateisysteme
9. Projekt

- Wenn Sie noch keine Kenntnisse in C und/oder in der Unix-Shell (bash) haben, nutzen Sie (außerhalb der Präsenztermine) die angebotenen Crash-Kurse und Videos.
- Ich beantworte (per Mail) Fragen zu C / bash, die bei der Bearbeitung der Aufgaben auftreten.

4. LaTeX und Literate Programming

Gliederung

1. Einleitung
2. C und Bash
3. Unix-Features
4. LaTeX / LitProg
5. Booten, Prozesse, Speicher
6. Interr., Syscalls
7. fork ()
8. Dateisysteme
9. Projekt

- (Ultra-) Kurz-Einführung in LaTeX
- Prinzip des Literate Programming
- Kleine Beispiele mit LaTeX und HTML
- Übungen mit NoWeb (notangle, noweave)

3. Features eines Unix-Systems

Gliederung

1. Einleitung
2. C und Bash
3. Unix-Features
4. LaTeX / LitProg
5. Booten, Prozesse, Speicher
6. Interr., Syscalls
7. fork ()
8. Dateisysteme
9. Projekt

- Überblick Unix / ULIX
- Prozesse
- Speicher (für BS und Prozesse)
- Dateisystem, VFS
- Interrupt-Behandlung
- System Calls
- Shell
- Scheduler

5. Booten, Protected Mode, Prozesse, Speicher

Gliederung

1. Einleitung
2. C und Bash
3. Unix-Features
4. LaTeX / LitProg
5. Booten, Prozesse, Speicher
6. Interr., Syscalls
7. fork ()
8. Dateisysteme
9. Projekt

- Wie bootet ein (x86-) PC?
- x86: Real Mode vs. Protected Mode
- Prozesse
 - Process Control Block
 - Prozess-Erzeugung
 - Scheduling / Context Switch
- Speicher
 - Paging: Adressbereiche, Seitentabellen

6. System Calls in UNIX

Gliederung

1. Einleitung
2. C und Bash
3. Unix-Features
4. LaTeX / LitProg
5. Booten, Prozesse, Speicher
6. Interr., Syscalls
7. fork ()
8. Dateisysteme
9. Projekt

- Interrupts auf x86 (im Prot. Mode)
- UNIX: Interrupt Handler
- Beispiel: Timer-Handler
- Software-Interrupt (int 0x80)
- UNIX: System-Call-Interface
- Beispiel: Syscall für read ()

8. Dateisysteme

Gliederung

1. Einleitung
2. C und Bash
3. Unix-Features
4. LaTeX / LitProg
5. Booten, Prozesse, Speicher
6. Interr., Syscalls
7. fork ()
8. Dateisysteme
9. Projekt

- Mehrere Schichten
 - Hardware: Zugriff auf Disketten und Festplatten (readblock, writeblock)
 - Logisch: Minix v2 Dateisystem
 - Superblock, Maps, Inodes, Dateien, Verzeichnisse (mit Inhalten aus der Vorlesung Systemprogrammierung; Lektüre)
 - Indirektionsblöcke
 - Virtuelles Dateisystem
 - User-Mode-Funktionen (open, read, write etc.)

7. Prozess-Verdopplung mit fork()

Gliederung

1. Einleitung
2. C und Bash
3. Unix-Features
4. LaTeX / LitProg
5. Booten, Prozesse, Speicher
6. Interr., Syscalls
7. fork ()
8. Dateisysteme
9. Projekt

- fork () auf allen Ebenen:
 - fork ()-Implementierung im UNIX-Kernel
 - Was wird kopiert?
 - Was wird geändert?
 - Wie aktiviert UNIX den neuen Prozess?
 - fork () als Bibliotheksfunktion
 - fork () im Programm

9. Projekt

Gliederung

1. Einleitung
2. C und Bash
3. Unix-Features
4. LaTeX / LitProg
5. Booten, Prozesse, Speicher
6. Interr., Syscalls
7. fork ()
8. Dateisysteme
9. Projekt

- Abhängig vom Tempo, mit dem wir durch die vorherigen Themen kommen:
 - Start im laufenden Semester oder als Abschlussaufgabe
- Mittelgroßes Implementierungsprojekt
- Dokumentation im Literate-Programming-Stil

Literatur

- F. Mittelbach, M. Goossens: Der LaTeX-Begleiter, 2010, ISBN: 386894088X
- D. E. Knuth: Literate Programming, The Computer Journal, 27(2), pp. 97-111, 1984, <http://literateprogramming.com/knuthweb.pdf>
- N. Ramsey: Literate Programming Simplified, IEEE Software, 11(5):97-105, 1994, <http://literateprogramming.com/lpsimp.pdf>
- N. Ramsey: A One-Page Guide to Using noweb with LaTeX, <http://literateprogramming.com/nowebpg1.pdf>
- A. S. Tanenbaum, A. S. Woodhull: Operating Systems Design and Implementation, 3rd edition, ISBN 0131429388 bzw. 0135053765 (TB)
- W. R. Stevens, S. A. Rago: Advanced Programming in the Unix Environment, 2013, ISBN 0321637739
- Helmut Herold: Linux/Unix Systemprogrammierung, 2004, ISBN: 3827321603
- Elias Fischer: Das C-Tutorial, <http://www.c-howto.de/>
- Ted Jensen: A Tutorial on Pointers and Arrays in C, 2003, <http://home.earthlink.net/~momotuk/pointers.pdf>