

# Systemprogrammierung Unix/Linux



TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG  
GEORG SIMON OHM

Sommersemester 2015

Hans-Georg Eßer

[h.g.esser@cs.fau.de](mailto:h.g.esser@cs.fau.de)  
<http://ohm.hgesser.de/>

## Zur Vorlesung (1)

### Termine Systemprogrammierung

Vorlesung / Praktikum:

17.–21.08.2015, 10:00–16:00, Raum HQ 305

24.–28.08.2015, 10:00–16:00, Raum HQ 305

**Web-Seite:** <http://ohm.hgesser.de/>

(Folien, Termine, sonstige Informationen)

## Hans-Georg Eßer

- Dipl.-Math. (RWTH Aachen, 1997)  
Dipl.-Inform. (RWTH Aachen, 2005)  
Promotion (Univ. Erlangen-Nürnberg, 2015)
- Chefredakteur einer Linux-Zeitschrift (seit 2000)  
und Autor diverser Linux-Bücher
- seit 2006 Lehraufträge an verschiedenen  
Hochschulen: u. a. Betriebssysteme,  
Rechnerarchitektur, Systemprogrammierung,  
Betriebssystem-Entwicklung
- Dissertation: Design und Implementation des  
Lehrbetriebssystems Ulix (Literate Programming)  
→ Kurs Betriebssystementwicklung im WS

## Zur Vorlesung (2)

### Hilfreiche Vorkenntnisse:

- **C** – Grundlagen der Programmierung in C  
(oder C++, C#, Java)  
→ C-Crashkurs (im Praktikumsteil)
- **Betriebssysteme (4. Sem.),  
Rechnersysteme (3. Sem.)**
- **Unix-Shell** – Benutzung der Standard-Shell  
*bash* unter Linux → Bash-Crashkurs

## Zur Vorlesung (3)

Nr. in SPO	Modulgruppe / Modul	SWS   Leistungspunkte im Studienplansemester					Prüfung Art u. Dauer in Min. *)		
		3.	4.	5.	6.	7.			
<b>5 Theoretische Grundlagen</b>									
12	Mathematik III (Statistik)		4	5			SchrP 90		
13	Kryptographie und Informationssicherheit	6	7				SchrP 90		
14	Algorithmen u. Datenstrukturen		6	7			SchrP 90		
<b>6 Softwaremethoden und -technologien</b>									
15	Interaktive Systeme	6	7				SchrP 90		
16	Datenbanken		6	6			SchrP 90		
17	Web-Programmierung		4	5			SchrP 90		
18	Softwarearchitektur				4	5	SchrP 90		
19	Programmiersprachen				6	7	SchrP 90		
20	IT-Anwendungen (Projektarbeit)				2	3	4	6	STA, Ref
<b>7 Systeminfrastrukturen</b>									
21	Betriebssysteme			6	7			SchrP 90	
22	Rechnersysteme	6	7					SchrP 90	
23	Rechnerkommunikation und -netze	6	7					SchrP 90	
<b>8 Fachwissenschaftliche Wahlpflichtmodule</b>									
24	Fachwissenschaftliche Wahlpflichtmodule	SysPro Unix/Linux → BS-Entwicklung?			12	15	8	10	fachspezifisch

## Kontakt

Sprechstunde: –

Fragen:

- direkt in der Vorlesung
- oder danach
- oder per E-Mail (h.g.esser@cs.fau.de, bitte nicht die Ohm-Adresse...)

## Zur Vorlesung (4)

**Aufwand: 5 ECTS (1 ECTS-Punkt ≈ 25–30 h)**  
**5 x 25 = 125 Stunden, davon:**

- 56 Stunden Präsenz (Vorlesung + Praktikum)
- ≤ 20 Stunden: Vertiefte Einarbeitung in C, insbes. Pointer
- ≤ 20 Stunden: Informationen in Fachbüchern nachlesen
- ≤ 20 Stunden: Vorbereitung des Projektvortrags, ggf. mit Probevortrag

```

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 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[6094]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62105
Sep 20 12:54:44 amd64 sshd[6094]: 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[140]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 63546
Sep 21 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[1765]: (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[1767]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 21 17:43:26 amd64 sshd[1088]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 6391
Sep 21 17:43:26 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 21 17:53:39 amd64 sshd[1268]: 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[2473]: (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[2554]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 23 02:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 23 18:04:05 amd64 sshd[6554]: Accepted publickey 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[6096]: 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[13253]: (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[6621]: (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[14841]: (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 11:30:02 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[11609]: 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 Systemprogrammierung?

- verstehen, wie Programme, Bibliotheken und Betriebssystem zusammen arbeiten
- Hauptspeicher effizient nutzen
- systemnahe Programmierung z. B. für Embedded-Systeme wichtig
- nützliche Ergänzung zu Vorlesung „Betriebssysteme“

```
Sep 19 14:20:10 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 16:18:10 amd64 sshd[10140]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 63546
Sep 21 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[17055]: (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[17878]: (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[11089]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 63397
Sep 21 17:43:26 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 21 17:53:39 amd64 sshd[13269]: 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[46741]: (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[25555]: (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 publickey 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[12416]: (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[13263]: (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_idev: events 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[29391]: 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[6621]: (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 11:30:02 amd64 sshd[9372]: Accepted rsa for esser from :ffff:87.234.201.207 port 62029
Sep 25 11:39:25 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[11866]: 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[11830]: 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

# Warum Unix/Linux?

- lange Tradition (Unix: 1969; C: 1972)
- für alle Windows-Spezialisten eine nützliche Ergänzung (Linux im Aufwärtstrend ...)
- Welt des Web stark Unix/Linux-dominiert, performante Webseiten-Entwicklung ist auch systemnah

# Gliederung (1)

1. Einleitung
2. Einführung in C und die Linux-Shell Bash
3. Software und Betriebssystem; System Calls
4. Prozesse: fork, exec, wait
5. Dateien: open, read, write, close
6. Fortgeschrittene I/O
7. Speicherverwaltung: malloc, free, memcopy
8. Nebenläufigkeit mit POSIX-Threads
9. Einführung ins Projekt

## Gliederung (2)

- Zu einigen Themen erst Grundlagen (Theorie der Betriebssysteme)
- Vorstellung der Features, die Unix/Linux hier bietet
- Programmieraufgaben dazu

Gegen Ende des Semesters: größeres Programmierprojekt

## 2. Crashkurse C und Bash

### Gliederung

1. Einleitung
2. C und Bash
3. Software/BS, System Calls
4. Prozesse
5. Dateien
6. Fortgeschr. I/O
7. Speicher
8. Threads

- *nicht* objektorientierte Programmierung
- Variablen
- Funktionen
- C-Structs
- Pointer und Arrays
- Linux-Shell Bash: Crashkurs

## 3. Software / BS / System Calls

### Gliederung

1. Einleitung
2. C und Bash
3. Software/BS, System Calls
4. Prozesse
5. Dateien
6. Fortgeschr. I/O
7. Speicher
8. Threads

- System Calls (Syscalls), Beispiele
- Syscall in Assembler aufrufen
- Syscall in C aufrufen
- Bibliotheksfunktionen
- Beispiel: Dateizugriff mit `fread()`

## 4. Prozesse

### Gliederung

1. Einleitung
2. C und Bash
3. Software/BS, System Calls
4. Prozesse
5. Dateien
6. Fortgeschr. I/O
7. Speicher
8. Threads

- Prozesskonzept unter Unix/Linux
  - Prozesskontrollblock
  - PID, Vater/Sohn, Baumstruktur
- Prozessverwaltung in der Shell
- Neue Prozesse erzeugen (`fork`)
- Programm in Prozess laden (`exec`)
- Warten auf Prozess (`wait`)
- Signalisierung (`kill`, `signal`), Signal-Handler

## 5. Dateien

### Gliederung

1. Einleitung
2. C und Bash
3. Software/BS,  
System Calls
4. Prozesse
5. Dateien
6. Fortgeschr. I/O
7. Speicher
8. Threads

- Dateisysteme unter Unix/Linux
  - Datei, Inode, Verzeichnis
  - Link, Symlink, Named Pipe
- Datei öffnen und schließen, file descriptor
- lesen, schreiben, Position
- fork und offene Dateien
- Low-Level- und Bibliotheksfunktionen (open, read, ... vs. fopen, fread, ...)

## 6. Fortgeschrittene I/O

### Gliederung

1. Einleitung
2. C und Bash
3. Software/BS,  
System Calls
4. Prozesse
5. Dateien
6. Fortgeschr. I/O
7. Speicher
8. Threads

- Standard-Eingabe, -Ausgabe und -Fehlerausgabe, inkl. file descriptors
- Bibliotheksfunktionen printf und scanf
- Pipes, dup()
- I/O-Multiplexing mit select()
- Memory-mapped files

## 7. Speicher

### Gliederung

1. Einleitung
2. C und Bash
3. Software/BS,  
System Calls
4. Prozesse
5. Dateien
6. Fortgeschr. I/O
7. Speicher
8. Threads

- Speicherverwaltung in C
- Organisation des Prozess-Speichers (Code, Daten, Stack, Heap)
- Speicher reservieren (malloc)
- Speicher freigeben (free)

## 8. Threads

### Gliederung

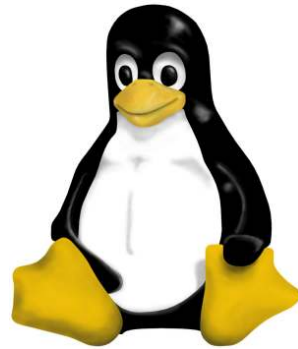
1. Einleitung
2. C und Bash
3. Software/BS,  
System Calls
4. Prozesse
5. Dateien
6. Fortgeschr. I/O
7. Speicher
8. Threads

- Nebenläufigkeit innerhalb einer Anwendung
- Speichermodell Threads
- POSIX-Threads
  - erzeugen (pthread\_create)
  - warten (pthread\_join)
- Vergleich Threads / Prozesse

# Linux

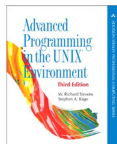
---

- Offene Kernel-Quellen:
  - nachlesen, wie etwas geht
  - ändern, was nicht gefällt
- Etabliertes Standardsystem für sehr viele Plattformen (PC Desktop / Server, Embedded etc.)



# Literatur

---



**Advanced Programming in the UNIX Environment**  
W. Richard Stevens, Stephen A. Rago  
2013 (3rd edition)



**Linux/Unix Systemprogrammierung**  
Helmut Herold (TH Nürnberg)  
2004 (3. Auflage)

**A Tutorial on Pointers and Arrays in C**  
Ted Jensen, 50 S., 2003  
<http://home.earthlink.net/~momotuk/pointers.pdf>