

# Systemprogrammierung Unix/Linux

Ohm-Hochschule Nürnberg  
Sommersemester 2013

Hans-Georg Eßer

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

## Zur Vorlesung (2)

### Hilfreiche Vorkenntnisse:

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

## Zur Vorlesung (1)

### Termine Systemprogrammierung

Vorlesung: Di 15:45-17:15 Uhr Q104  
Praktikum: Di 17:30-19:00 Uhr Q204

### Web-Seite

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

(Folien, Videos, Termine,  
sonstige Informationen)

## Zur Vorlesung (3)

### Termine im Sommersem. 2013

4 SWS, d. h.

- Vorlesung/Praktikum: 15 x 180 min.  
19.03., 26.03., 09.04., 16.04., 23.04., 30.04., 07.05.,  
14.05., 28.05., 04.06., 11.06., 18.06., 25.06., 02.07.,  
09.07.2013

### Service / Web-Seite

- Folien und Praktikumsaufgaben
- Vorlesungs-Videos

# 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
- Seit 2010 Doktorand an der Univ. Erlangen-Nürnberg – Thema: Wie man das Fach „Betriebssysteme“ besser vermittelt
- Betreuung von Abschlussarbeiten (Implem. Betriebssysteme)

## Kontakt

**Sprechstunde:** –

**Fragen:**

- direkt in der Vorlesung
- oder danach
- oder per E-Mail

**Pausen:** ?

```
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[6609]: 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[6694]: 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[110]: 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[17877]: (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[111269]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 61397
Sep 21 17:43:26 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 21 18:43:26 amd64 sshd[11269]: 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 18:43:26 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 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 23 18:04:05 amd64 sshd[6554]: Accepted publickey for esser from ::ffff:192.168.1.3 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[13253]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
Sep 24 02:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 24 11:35:48 amd64 sshd[20998]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 64456
Sep 24 11:35:48 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: amd_x86_mmi_event: unsupported module, tainting kernel.
Sep 24 15:42:07 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 24 15:42:07 amd64 kernel: amd_x86_mmi_event: 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[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 11:59:25 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[11608]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 63392
Sep 25 14:09:31 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“

# 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, memcpy
8. Nebenläufigkeit mit POSIX-Threads
9. Einführung ins Projekt

```
> 19 14:20:18 amd64 sshd[20494]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 61557
> 19 14:27:41 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 20 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[29278]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
> 20 01:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 20 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[30103]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
> 20 02:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 20 12:46:44 amd64 sshd[6316]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62004
> 20 12:46:44 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 20 12:48:41 amd64 sshd[6099]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62105
> 20 12:54:44 amd64 sshd[6694]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62514
> 20 15:27:35 amd64 sshd[9077]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 64242
> 20 16:37:11 amd64 sshd[10102]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 63375
> 20 16:37:11 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 20 16:38:10 amd64 sshd[10140]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 63546
> 21 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[17055]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
> 21 01:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 21 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[17878]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
> 21 02:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 21 17:43:26 amd64 sshd[31088]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 63397
> 21 17:53:39 amd64 sshd[31269]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 64391
> 21 18:43:26 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 21 19:43:26 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 22 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[4674]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
> 22 01:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 22 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[4999]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
> 22 02:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 22 20:23:21 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 23 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[24739]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
> 23 01:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 23 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[25555]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
> 23 02:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 23 18:04:05 amd64 sshd[6554]: Accepted publickey for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62771
> 23 18:04:05 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 23 18:04:34 amd64 sshd[6606]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62093
> 24 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[12436]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
> 24 01:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 24 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[13253]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
> 24 02:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 24 11:15:48 amd64 sshd[20998]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 64456
> 24 11:15:48 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 24 13:49:08 amd64 sshd[23197]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 61330
> 24 13:49:08 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 24 15:42:07 amd64 seq_id_event: unsupported module, tainting kernel.
> 24 15:42:07 amd64 seq_id_event: unsupported module, tainting kernel.
> 24 15:42:07 amd64 kernel: seq_id_event: unsupported module, tainting kernel.
> 24 20:25:31 amd64 sshd[2939]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62566
> 24 20:25:31 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 25 01:00:02 amd64 /usr/sbin/cron[662]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
> 25 01:00:02 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 25 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[1484]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "age > "30d")
> 25 02:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 25 10:59:25 amd64 sshd[8889]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 64183
> 25 10:59:25 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 25 10:59:47 amd64 sshd[8921]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 64253
> 25 11:30:02 amd64 sshd[9372]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62029
> 25 11:59:25 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 25 14:05:37 amd64 sshd[11554]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62822
> 25 14:05:37 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
> 25 14:06:10 amd64 sshd[11586]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62951
> 25 14:07:17 amd64 sshd[11600]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 63392
> 25 14:08:33 amd64 sshd[11630]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 63709
> 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 (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

## 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

## 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()`

## 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

## 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

## 7. Speicher

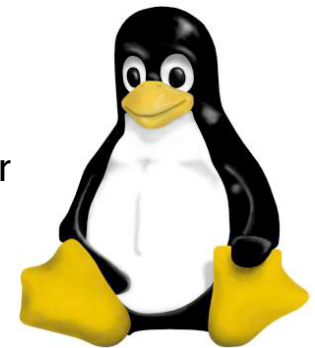
### Gliederung

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)

## Linux

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



# Literatur



**Linux/Unix Systemprogrammierung**  
Helmut Herold  
2004

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