Betriebssysteme (BS)

VL 14 – Zusammenfassung und Ausblick

Daniel Lohmann

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen Nürnberg

WS 11 – 8. Februar 2012

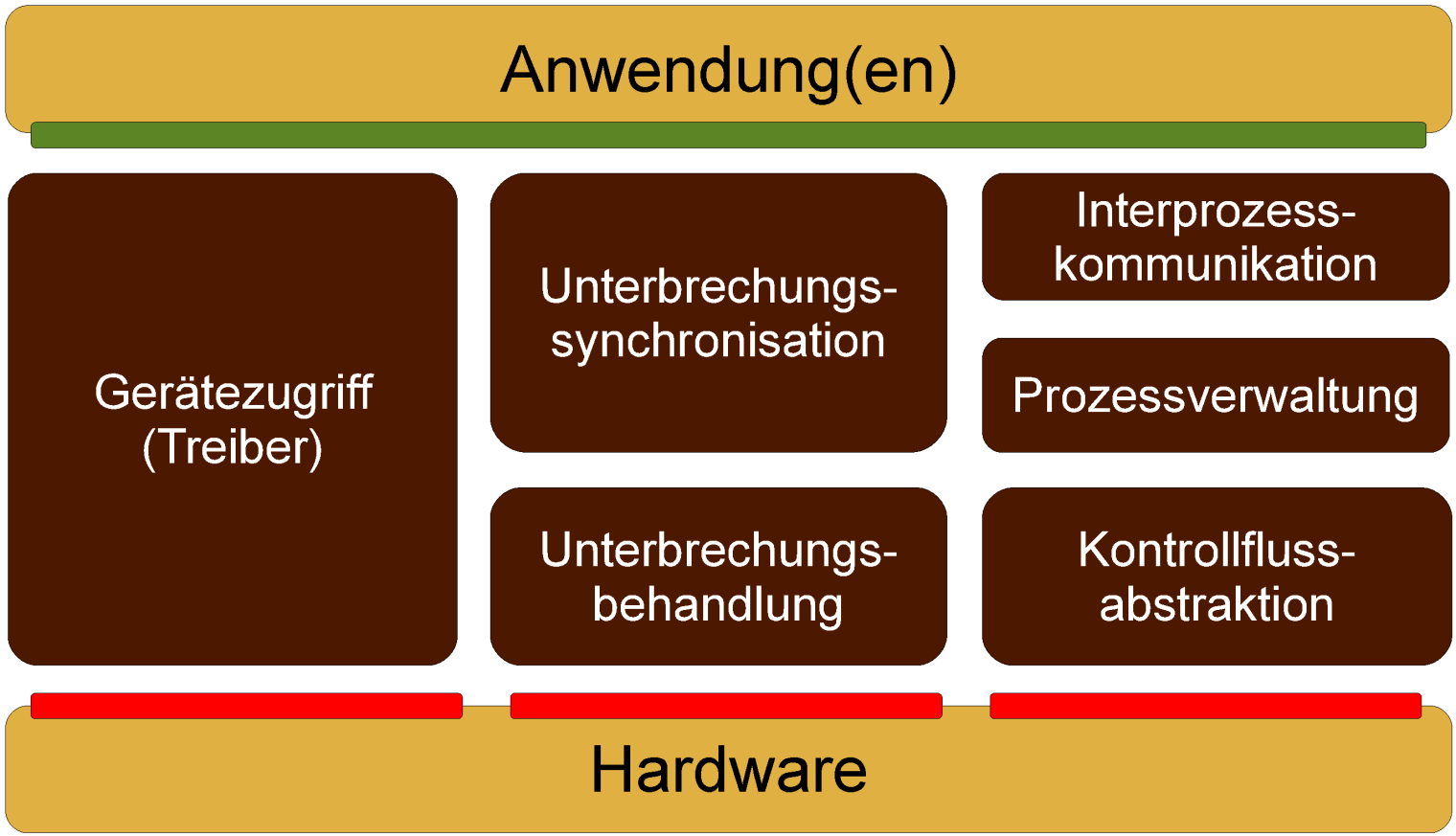
http://www4.informatik.uni-erlangen.de/Lehre/WS11/V_BS

Lernziele

⇝VL 1

- **Vertiefen** des Wissens über die interne Funktionsweise von Betriebssystemen
  - Ausgangspunkt: Systemprogrammierung
  - Schwerpunkt: Nebenläufigkeit und Synchronisation
- **Entwickeln** eines Betriebssystems *von der Pike auf*
  - OOStuBS / MPStuBS (neu!) Lehrbetriebssysteme
  - Praktische Erfahrungen im Betriebsystembau machen
- **Verstehen** der technologischen Hardware-Grundlagen
  - PC-Technologie verstehen und einschätzen können
  - Schwerpunkt: Intel x86 / IA-32

Überblick Vorlesungen



Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

- VL_1 ***Einführung***
- VL_2 ***BS-Entwicklung***
- VL_3 ***IRQs (Hardware)***
- VL_4 ***IRQs (Software)***
- VL_5 ***IRQs (Synchronisation)***
- VL_6 ***Intel IA-32***
- VL_7 ***Koroutinen und Fäden***
- VL_8 ***Scheduling***
- VL_9 ***BS-Architekturen***
- VL_{10} ***Fadensynchronisation***
- VL_{11} ***PC Bussysteme***
- VL_{12} ***Gerätetreiber***
- VL_{13} ***IPC***

Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

1. Ein Streifzug durch die PC-Architektur

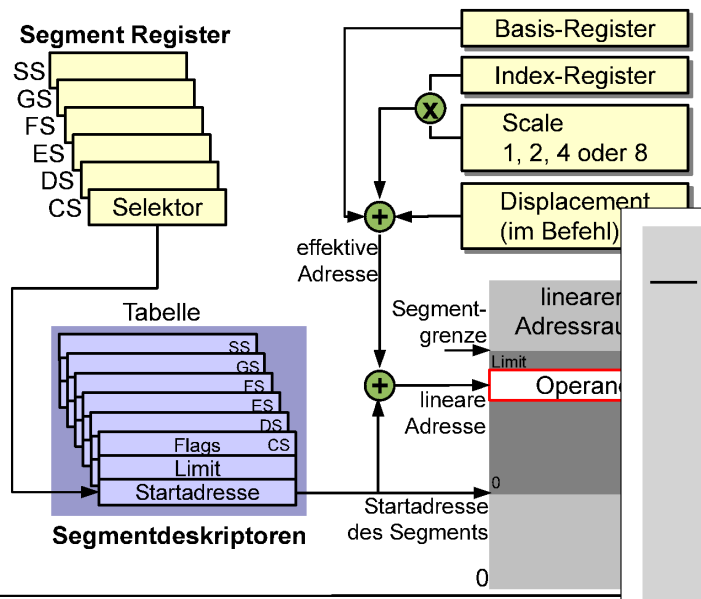
- VL_1 ***Einführung***
- VL_2 ***BS-Entwicklung***
- **VL_3** ***IRQs (Hardware)***
- VL_4 ***IRQs (Software)***
- VL_5 ***IRQs (Synchronisation)***
- **VL_6** ***Intel IA-32***
- VL_7 ***Koroutinen und Fäden***
- VL_8 ***Scheduling***
- VL_9 ***BS-Architekturen***
- VL_{10} ***Fadensynchronisation***
- **VL_{11}** ***PC Bussysteme***
- VL_{12} ***Gerätetreiber***
- VL_{13} ***IPC***

Was wir gemacht haben

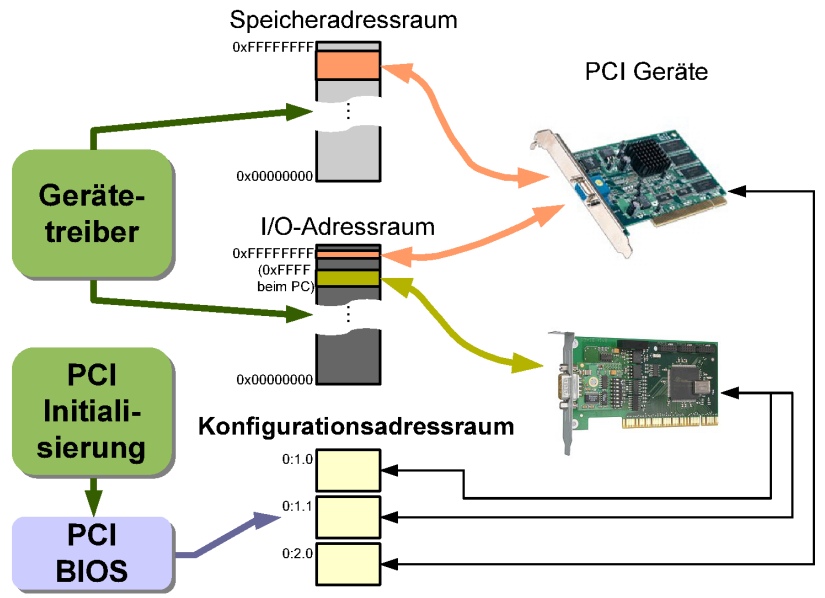
Drei inhaltliche Schwerpunkte!

1. Ein Streifzug durch die PC-Architektur

IA-32: *Protected Mode* – Segmente



Interaktion mit PCI Geräten



Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

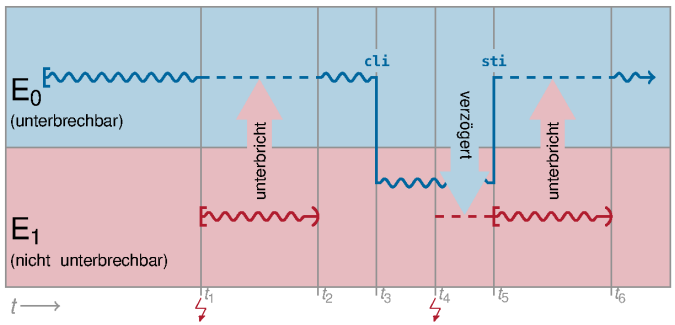
2. Kontrollflüsse und ihre Interaktionen

- VL_1 ***Einführung***
- VL_2 ***BS-Entwicklung***
- **VL_3** ***IRQs (Hardware)***
- **VL_4** ***IRQs (Software)***
- **VL_5** ***IRQs (Synchronisation)***
- VL_6 ***Intel IA-32***
- **VL_7** ***Koroutinen und Fäden***
- **VL_8** ***Scheduling***
- VL_9 ***BS-Architekturen***
- **VL_{10}** ***Fadensynchronisation***
- VL_{11} ***PC Bussysteme***
- VL_{12} ***Gerätetreiber***
- VL_{13} ***IPC***

2. Kontrollflüsse und ihre Interaktionen

Prioritätsebenenmodell

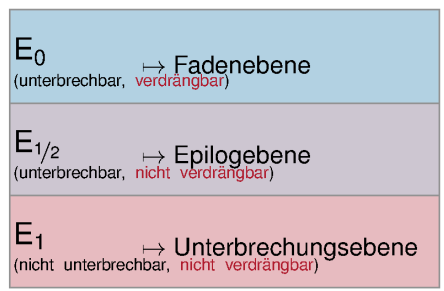
- Kontrollflüsse können die Ebene wechseln
  - Mit `cli` wechselt ein E_0-Kontrollfluss explizit auf E_1
    - er ist ab dann nicht mehr unterbrechbar
    - andere E_1-Kontrollflüsse werden verzögert (↩ Sequentialisierung)
  - Mit `sti` wechselt ein E_1-Kontrollfluss explizit auf E_0
    - er ist ab dann (wieder) unterbrechbar
    - anhängige E_1-Kontrollflüsse „schlagen durch“ (↩ S



dl Betriebssysteme (VL 5 | WS 11) 5 Unterbrechungen, Synchronisation – Prioritäts

Erweitertes Prioritätsebenenmodell

- Kontrollflüsse auf E_l werden
  1. jederzeit unterbrochen durch Kontrollflüsse von E_m (für $m > l$)
  2. nie unterbrochen durch Kontrollflüsse von E_k (für $k \leq l$)
  3. jederzeit verdrängt durch Kontrollflüsse von E_l (für $l = 0$)



Kontrollflüsse der E_0 (Fadenebene) sind **verdrängbar**.

Für die Konsistenzssicherung auf dieser Ebene brauche wir zusätzliche **Mechanismen** zur **Fadensynchronisation**.

dl Betriebssysteme (VL 10 | WS 11) 10 Fadensynchronisation – Prioritätsebenenmodell mit Fäden 10 – 10

Was wir gemacht haben

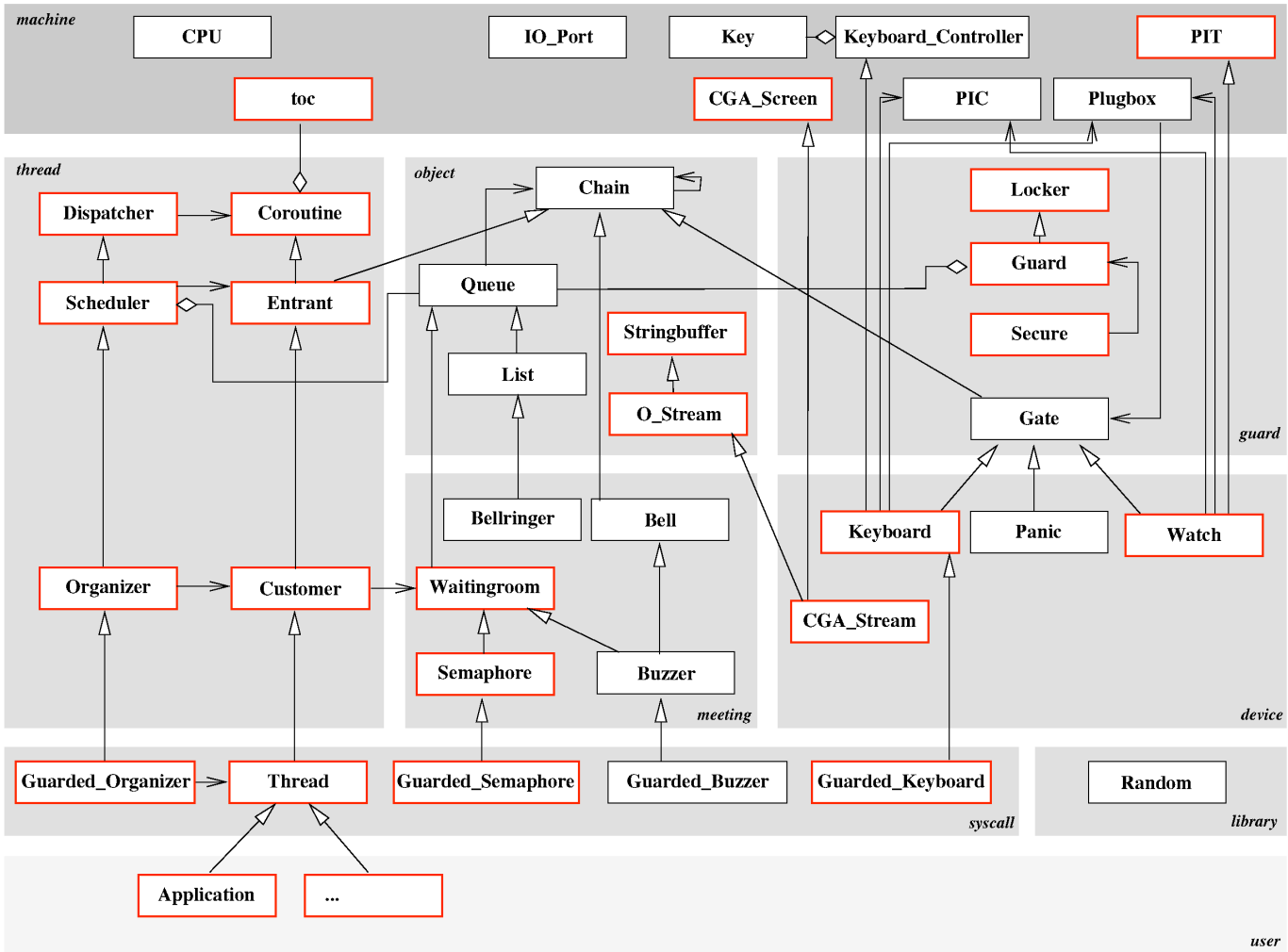
Drei inhaltliche Schwerpunkte!

2. Kontrollflüsse und ihre Interaktionen

Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

2. Kontrollflüsse und ihre Interaktionen



Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

3. BS-Konzept allgemein und am Beispiel (Windows/Linux)

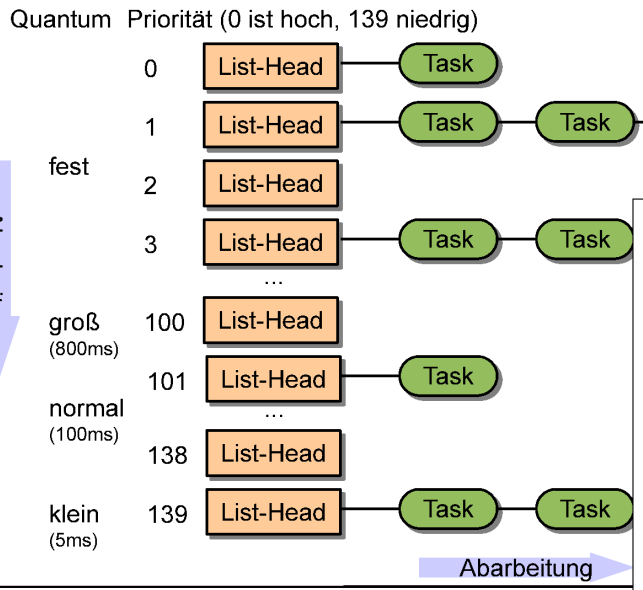
- VL_1 ***Einführung***
- **VL_2** ***BS-Entwicklung***
- VL_3 ***IRQs (Hardware)***
- VL_4 ***IRQs (Software)***
- VL_5 ***IRQs (Synchronisation)***
- VL_6 ***Intel IA-32***
- VL_7 ***Koroutinen und Fäden***
- **VL_8** ***Scheduling***
- **VL_9** ***BS-Architekturen***
- **VL_{10}** ***Fadensynchronisation***
- VL_{11} ***PC Bussysteme***
- **VL_{12}** ***Gerätetreiber***
- **VL_{13}** ***IPC***

Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

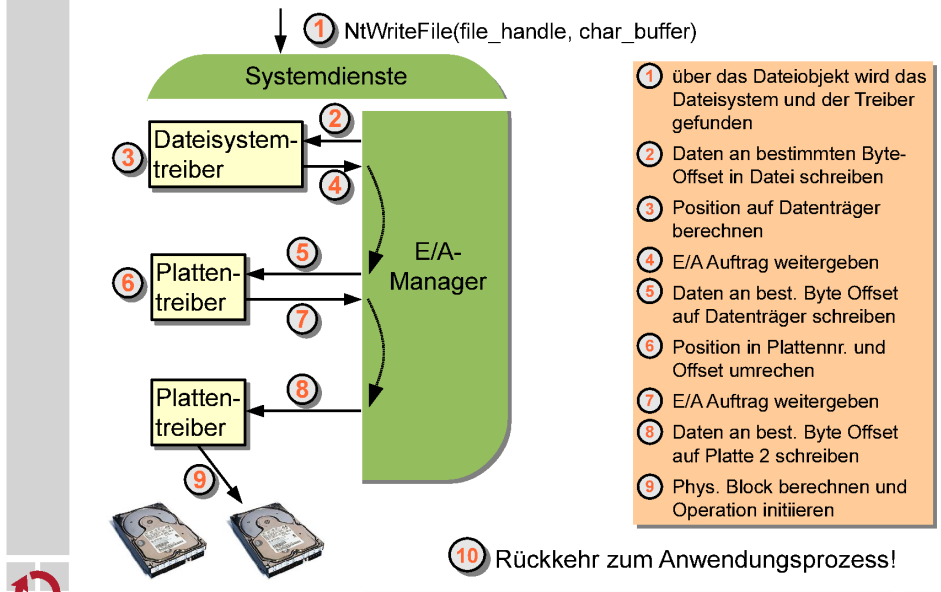
3. BS-Konzept allgemein und am Beispiel (Windows/Linux)

Multi-Level Queues



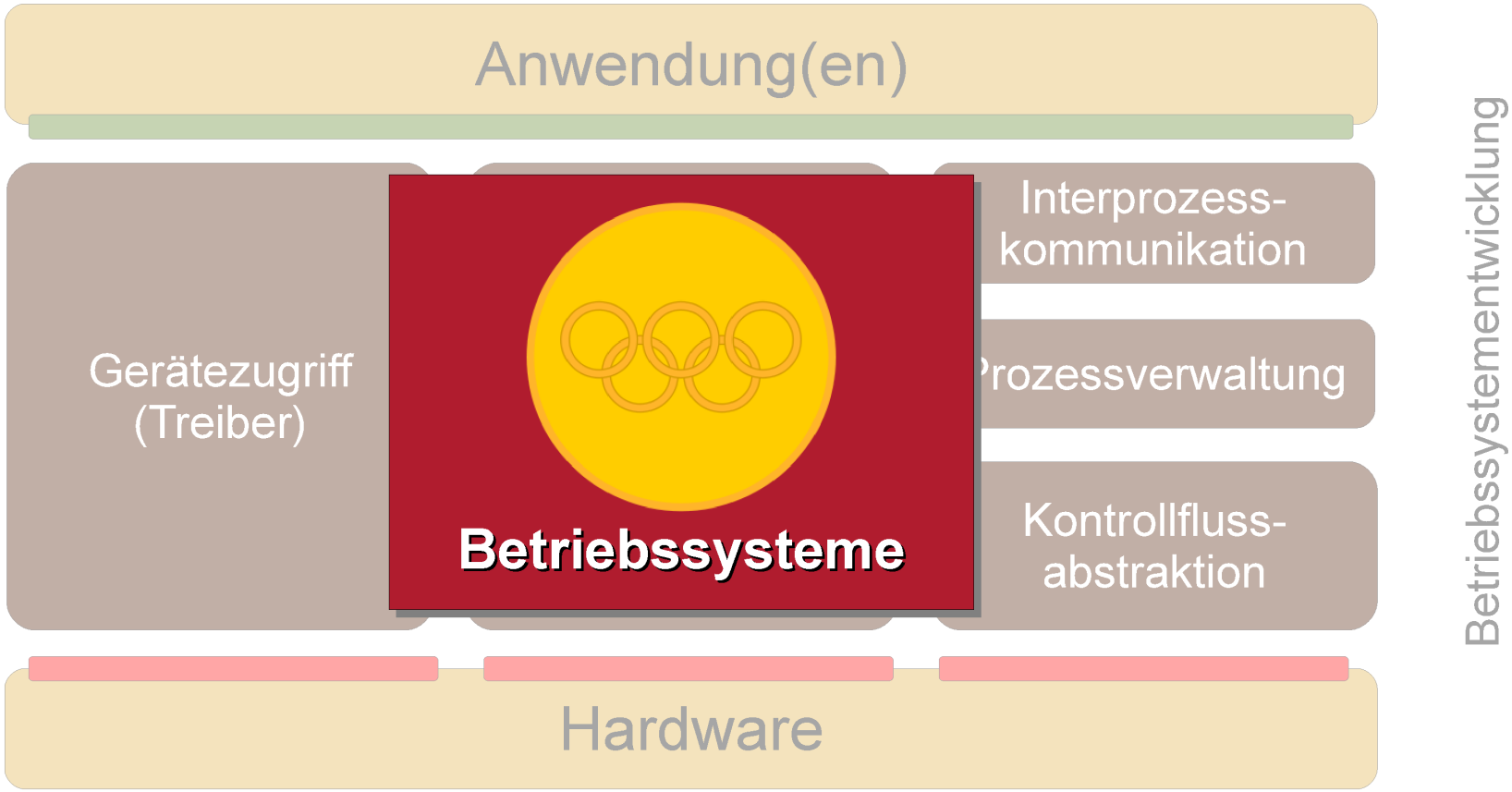
dl Betriebssysteme (VL 8 | WS 11) Fadenverwaltung

Windows – typischer E/A-Ablauf



dl Betriebssysteme (VL 12 | WS 11) Gerätetreiber 12 – 29

Zusammen eine ganze Menge!



Realitätscheck: MPStuBS $\leftrightarrow$ “richtiges BS”

Es fehlt noch eine ganze Menge. . .

- Speicherverwaltung und Prozesskonzept
- Dateisystem und Programmlader
- Netzwerk und TCP/IP
- . . .

Realitätscheck: MPStuBS $\leftrightarrow$ “richtiges BS”

Es fehlt noch eine ganze Menge. . .

- Speicherverwaltung und Prozesskonzept
- Dateisystem und Programmlader
- **Netzwerk und TCP/IP**
- . . .

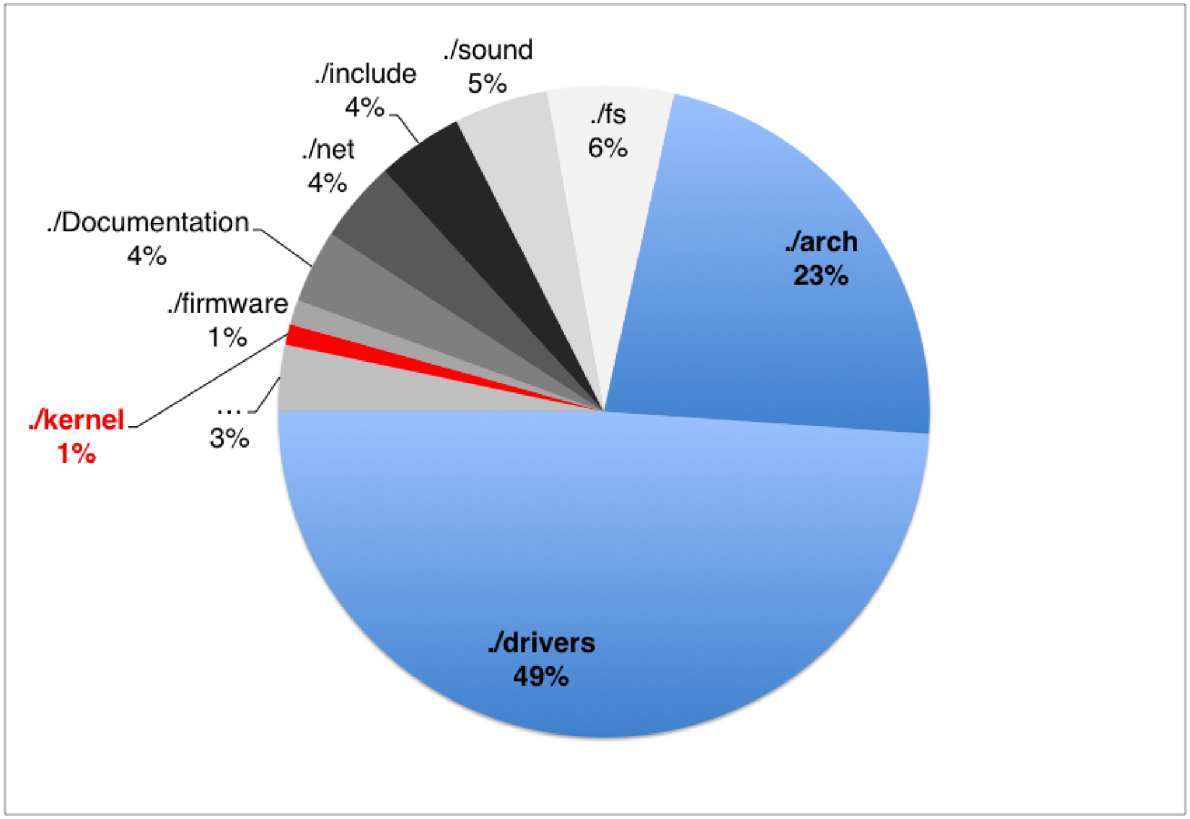
Realitätscheck: MPStuBS ↔ “richtiges BS”

Es fe

- Speic
- Datei
- **Netz**
- . . .

Bedeutung von Gerätetreibern (1)

- Anteil an Treibercode in Linux 3.2.1



Realitätscheck: MPStuBS $\leftrightarrow$ “richtiges BS”

Es fehlt noch eine ganze Menge. . .

- Speicherverwaltung und Prozesskonzept
- Dateisystem und Programmlader
- **Netzwerk und TCP/IP**
- . . .

Beispiel Linux [5]

Aug 91	Linux 0.01:	bash, Dateisystem
Jan 92	Linux 0.12:	Virtueller Speicher (Paging)
Mär 92	Linux 0.95:	X-Windows, Unix Domain Sockets (jetzt fehlte nur noch Netzwerk!)
Mär 94	Linux 1.00:	**Netzwerk und TCP/IP**

Evaluation

Evaluationsergebnisse

Globalindikator

Kapitel-Indikator - Globalfragen für alle Lehrveranstaltungs-Typen (ohne Gewichtung)

mw=1.3
s=0.5

Kapitel-Indikator - Vorlesung im Allgemeinen

mw=1.18
s=0.4

Kapitel-Indikator - Didaktische Aufbereitung

mw=1.43
s=0.68

Kapitel-Indikator - Präsentation des Dozenten

mw=1.33
s=0.47

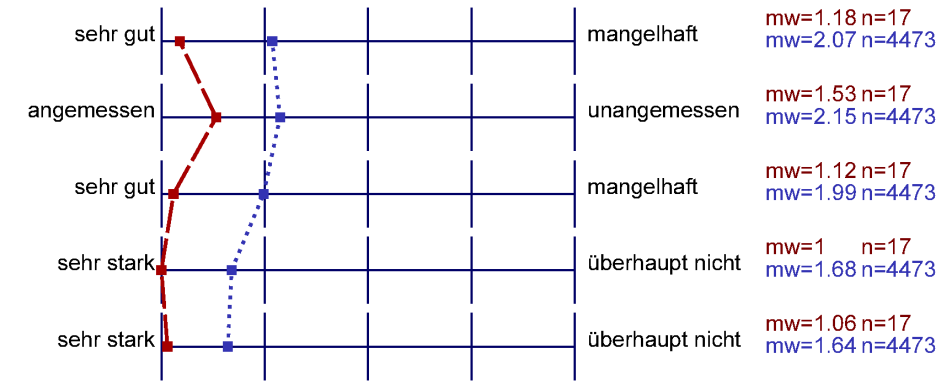
mw=1.27
s=0.44

Vergleich mit den Vorjahren

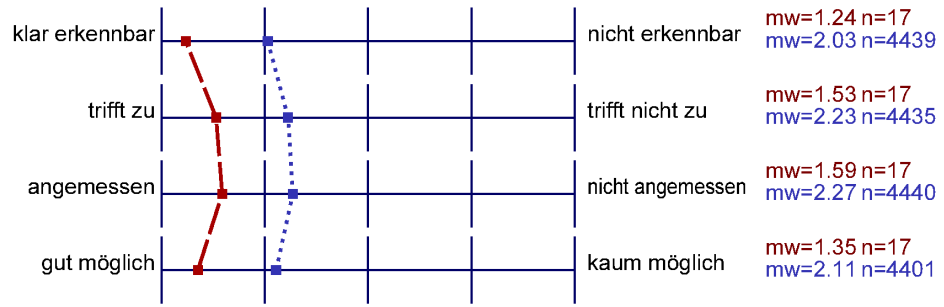
WS 11:	n=17	(53%)	mw=1.3
WS 10:	n=9	(29%)	mw=1.42
WS 09:	n=19	(100%)	mw=1.34
WS 08:	n=7	(27%)	mw=1.41
WS 07:	n=16	(50%)	mw=1.39

Profilline

Globalfragen für alle Lehrveranstaltungs-Typen (mit Gewichtung)



Vorlesung im Allgemeinen



Kommentare

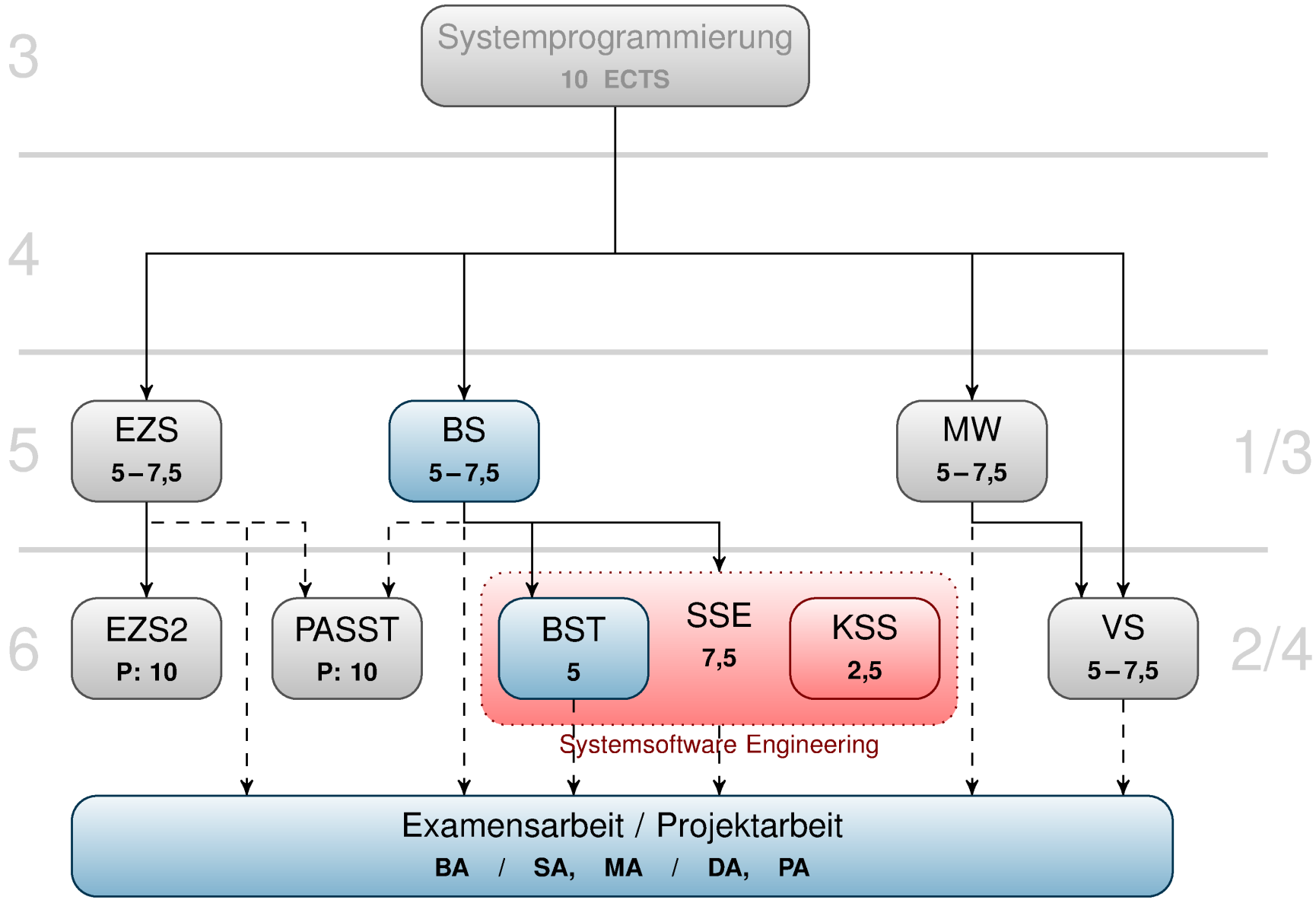
- An der Lehrveranstaltung **gefällt mir besonders**
  - Ausgedrucktes Skript war super. Ansonsten: Top, super Vorlesung, absolut empfehlenswert, weiter so, nicht nachlassen. ;-) Was sollte man auch mehr zu dieser Veranstaltung sagen?
  - Der Bezug der Vorlesung zur Übung gelingt im Allgemeinen sehr gut. Außerdem ist Betriebsystem Hamburger ein gutes Konzept.
  - Es wird nicht nur Unix/x86 gezeigt, sondern auf ein breites Spektrum an Architekturen/OSs gesetzt
  - Gute Folien
  - Ich finde es super, dass die Vorlesung auf Video aufgezeichnet wird. Das hilft enorm bei der Pruefungsvorbereitung!
  - Top Dozent, gerne wieder
  - Umsetzung der Konzepte wird anhand von realen Betriessystemen veranschaulicht

Kommentare (Forts.)

- An der Lehrveranstaltung **gefällt mir weniger**
  - Das Thema Debugging haette man kurzer fassen koennen.
  - absolut nichts zu verbessern, einfach so weitermachen!
- Weiterhin möchte ich **anmerken**
  - Top Vorlesung, gerne wieder!
  - Freue mich schon auf weitere Veranstaltungen im Master vom Lehrstuhl 4

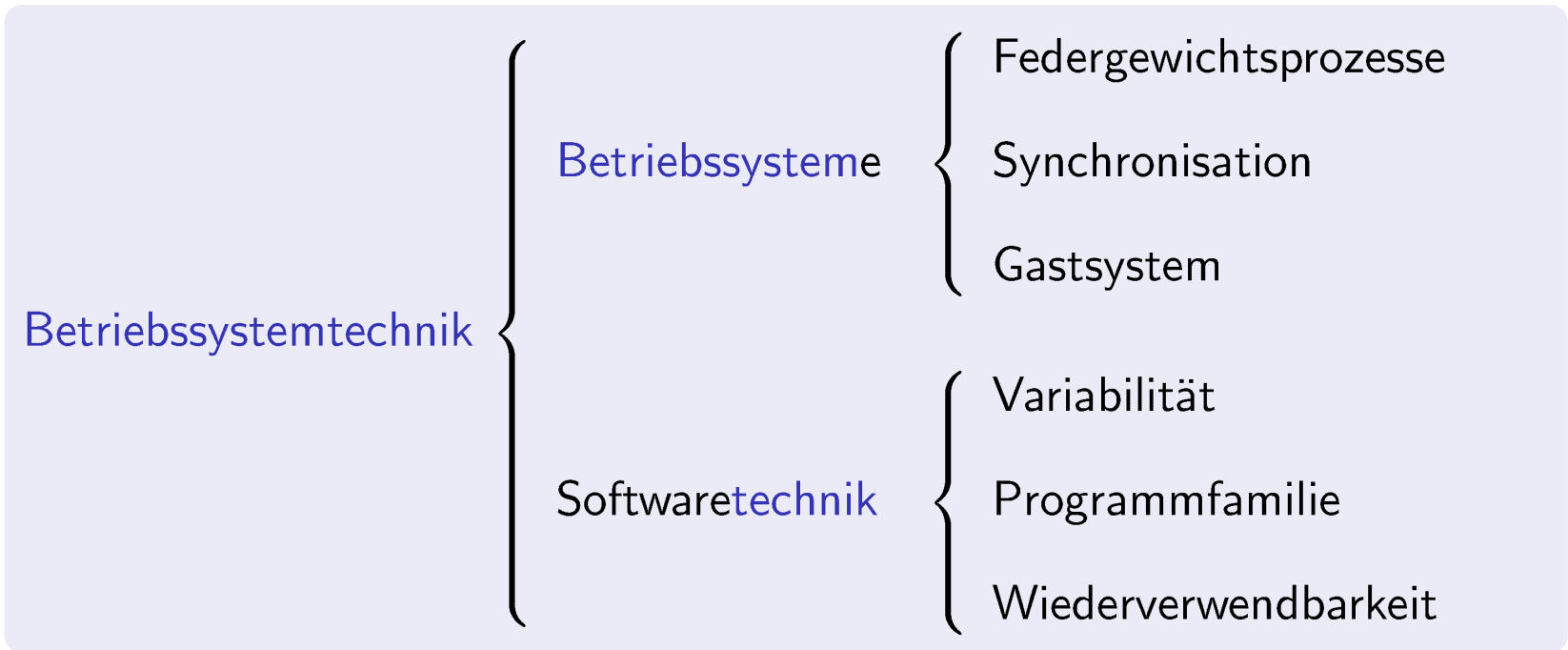
Wie geht es weiter?

(Bachelor/Master)



Ausblick: Betriebssystemtechnik (BST)

Hinter der Kulisse: BST in aller Kürze...



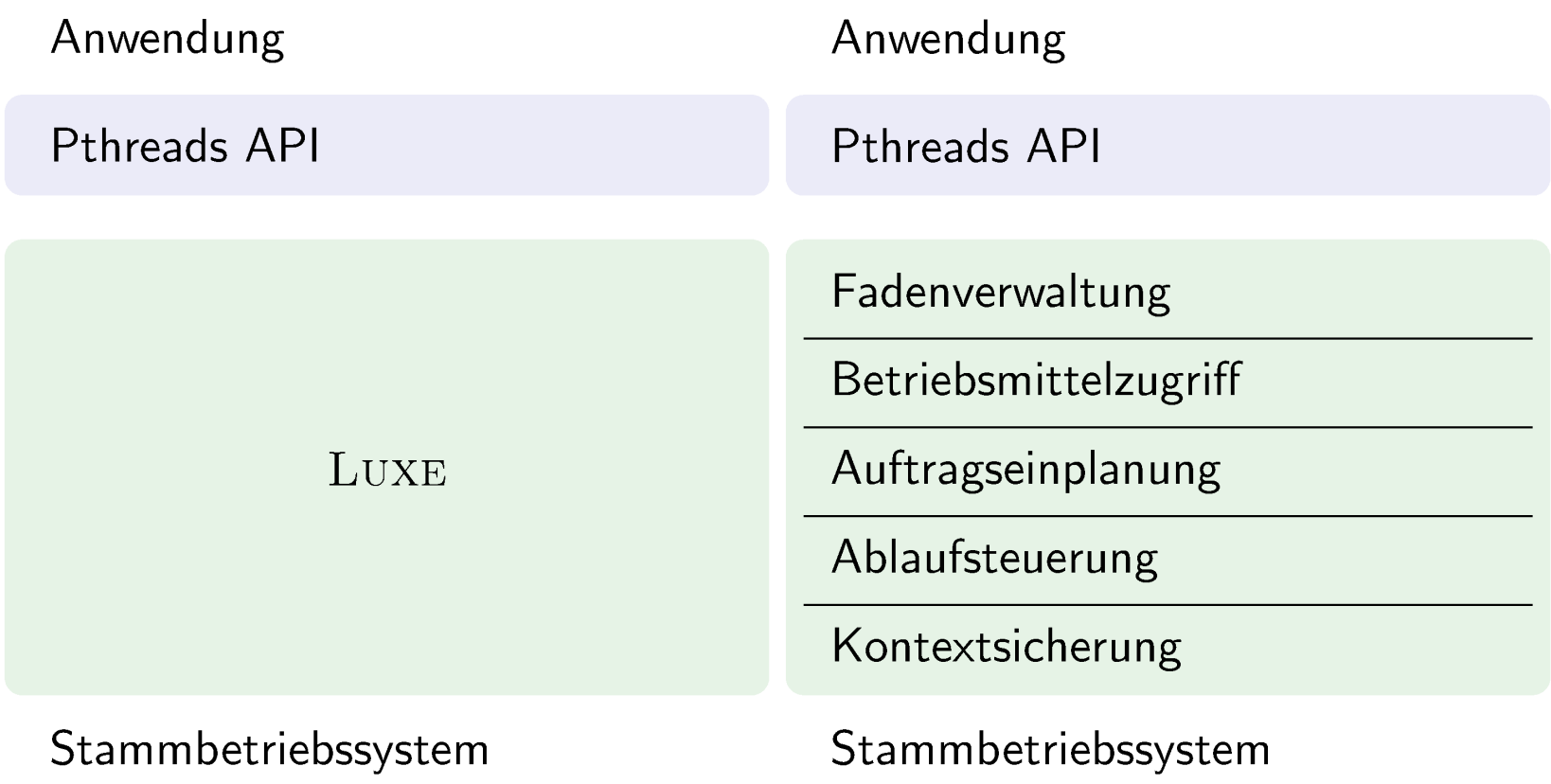
Ausblick: Betriebssystemtechnik (BST)

Softwaretechnik ↔ Betriebsysteme

Schichtenstruktur	1968	Dijkstra [5]	↪ THE
?	1969	Ritchie *et al.* [25]	↪ Unix
Botschaft	1970	Hansen [11]	↪ RC 4000
Abstraktion	1971	Liskov [17]	↪ Venus
C	1971	Ritchie *et al.* [26]	↩ Unix
Monitor	1972	Hansen [10]	↩ RC 4000
Geheimnisprinzip	1972	Parnas [20]	
Betriebssystemfamilie	1973	Parnas *et al.* [23]	
Objekt	1974	Wulf *et al.* [28]	↪ HYDRA
abstrakter Datentyp	1974	Liskov *et al.* [18]	↩ Venus
Parallelprogrammierung	1975	Hansen [12]	↩ RC 4000
Transparenz	1975	Parnas *et al.* [24]	
Benutztbeziehung	1976	Parnas [22]	
funktionale Hierarchie	1976	Habermann *et al.* [9]	↪ FAMOS
Programmfamilie	1976	Parnas [21]	

Ausblick: Betriebssystemtechnik (BST)

Pthreads *de* LUXE



Ausblick: Betriebssystemtechnik (BST)

Nomen est omen — Der Name ist ein Zeichen...

Bausatzausstattung folgerichtiger[1] Betriebssystemanbauteile $\models$ LUCSE

logical	(dt. folgerichtig)
unit	(dt. Anbauteil)
construction-set	(dt. Bausatz)
environment	(dt. Ausstattung)

(CS $\mapsto$ X) $\rightsquigarrow$ LUXE

- in bester Tradition mit Multics und Unix: (Multi $\mapsto$ Uni) $\cup$ (cs $\mapsto$ x)

[1] Als Synonym für „durchdacht“.

Ausblick: Betriebssystemtechnik (BST)

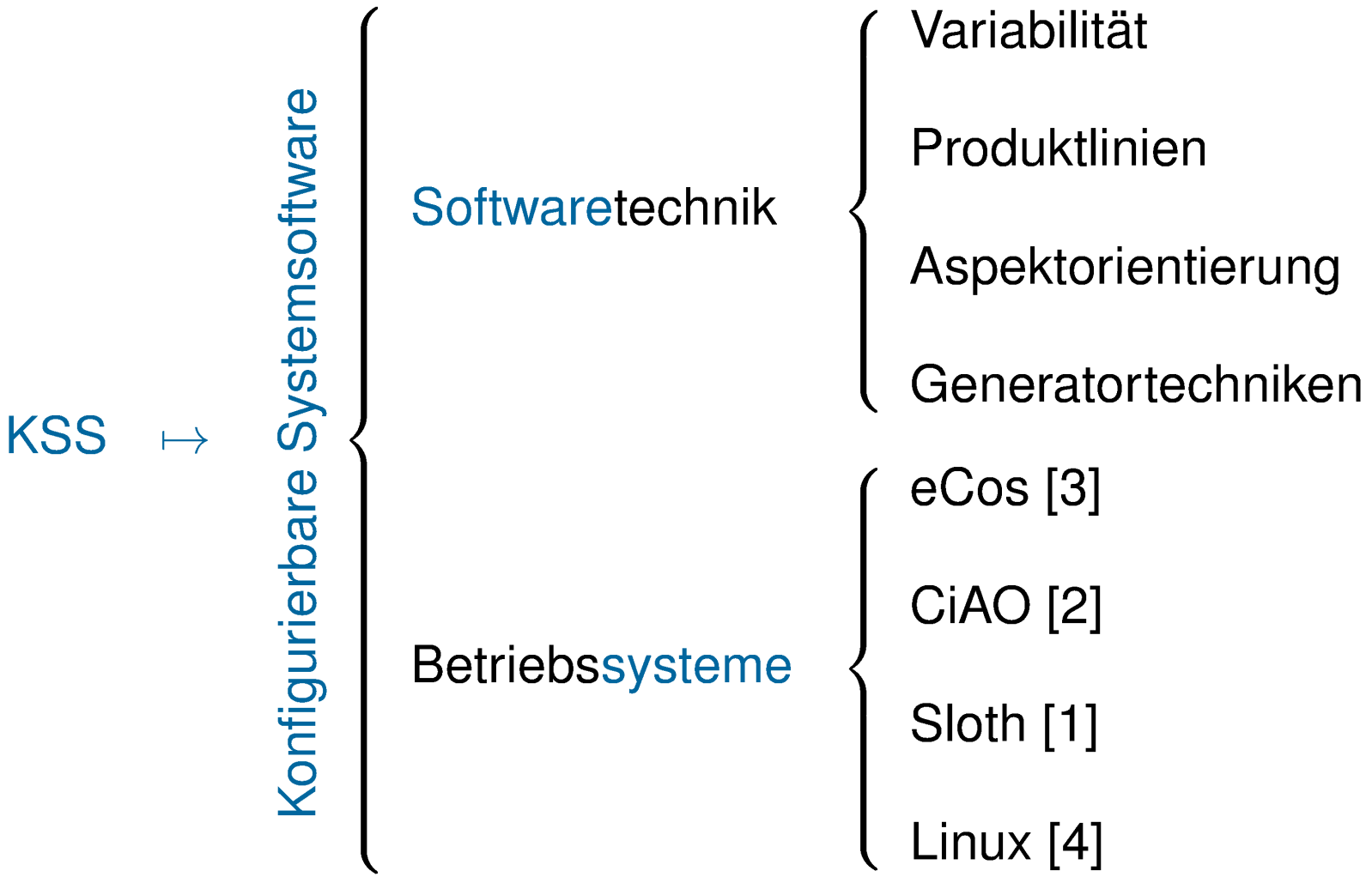
Konkurrenz — als Triebfeder

Wettbewerb zwischen den Arbeitsgruppen in Hinblick auf das Ziel, das beste Fädenangebot (engl. *threads package*) zu liefern:

- Betriebsmittelbedarf
  - Laufzeit
  - Speicher
  - ggf. Energie
- Skalierbarkeit
  - n-fädiger Betrieb
  - n-kerniger Betrieb
  - $n = 1, 2, \ldots, N$

- anwendungsfallspezifische, spezialisierte Subsystemvarianten

Hinter der Kulisse: KSS in aller Kürze...



Motivation: Special-Purpose Systems








“Between a Rock and a Hard Place”

functional and nonfunctional *requirements*

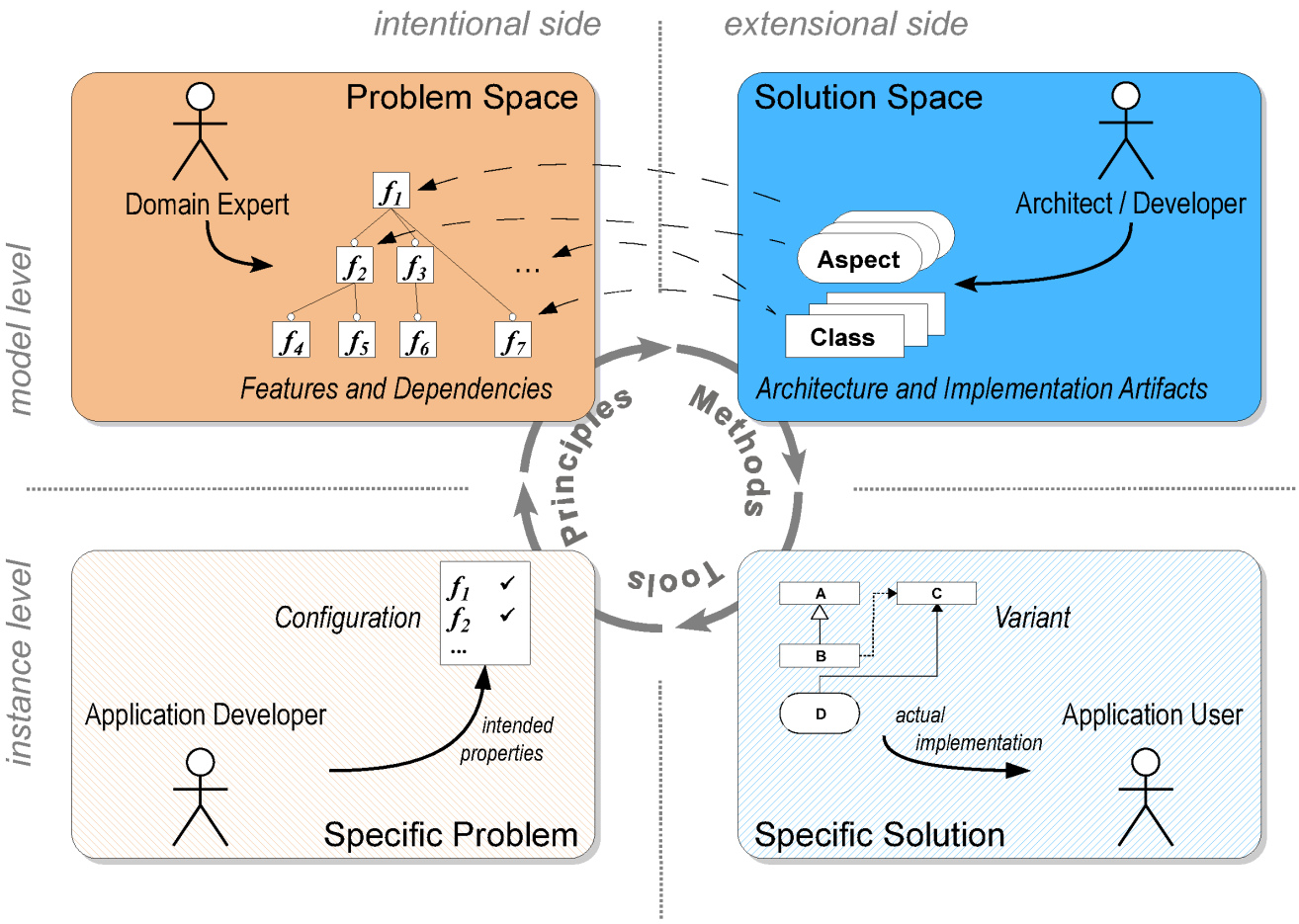
tasks
sockets
file system
...
event latency
safety
...

S y s t e m S o f t w a r e

ISA
IRQ handling
MMU / MPU
...
cache size
coherence
IRQ latency
...

functional and nonfunctional *properties*

Configurable Software ➟ Product Line



The State of the Art: eCos

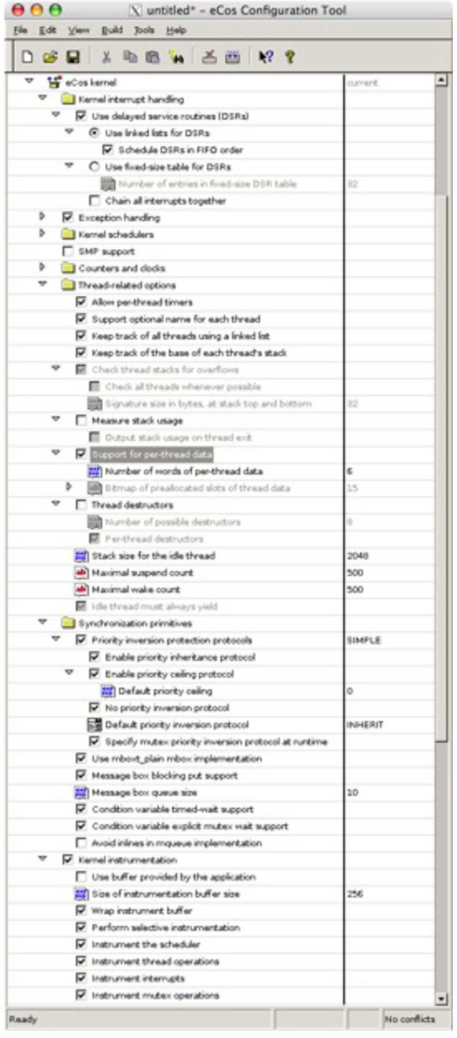
The **e**mbedded **C**onfigurable **OS**

- operating system for embedded applications
- open source, maintained by eCosCentric
- broadly accepted real-world system

More than **750** configuration options

- feature-based selection
- **preprocessor-based** implementation

➥ This has a **severe impact** on the code!



eCos – Implementation of Configurability

```
Cyg_Mutex::Cyg_Mutex() {
  CYG_REPORT_FUNCTION();
  locked      = false;
  owner       = NULL;
#if defined(CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT) && \
  defined(CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DYNAMIC)
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_INHERIT
  protocol    = INHERIT;
#endif
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_CEILING
  protocol    = CEILING;
  ceiling     = CYGSEM_                                  N_PROTOCOL_DEFAULT_PRIORITY;
#endif
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SY                                  L_DEFAULT_NONE
  protocol    = NONE;
#endif
#else // not (DYNAMIC a
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SY                                  L_CEILING
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_PRIORITY
  // if there is a default priority ceiling defined, use that to initialize
  // the ceiling.
  ceiling = CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_PRIORITY;
#else
  // Otherwise set it to zero.
  ceiling = 0;
#endif
#endif
#endif // DYNAMIC and DEFAULT defined
  CYG_REPORT_RETURN();
}
```

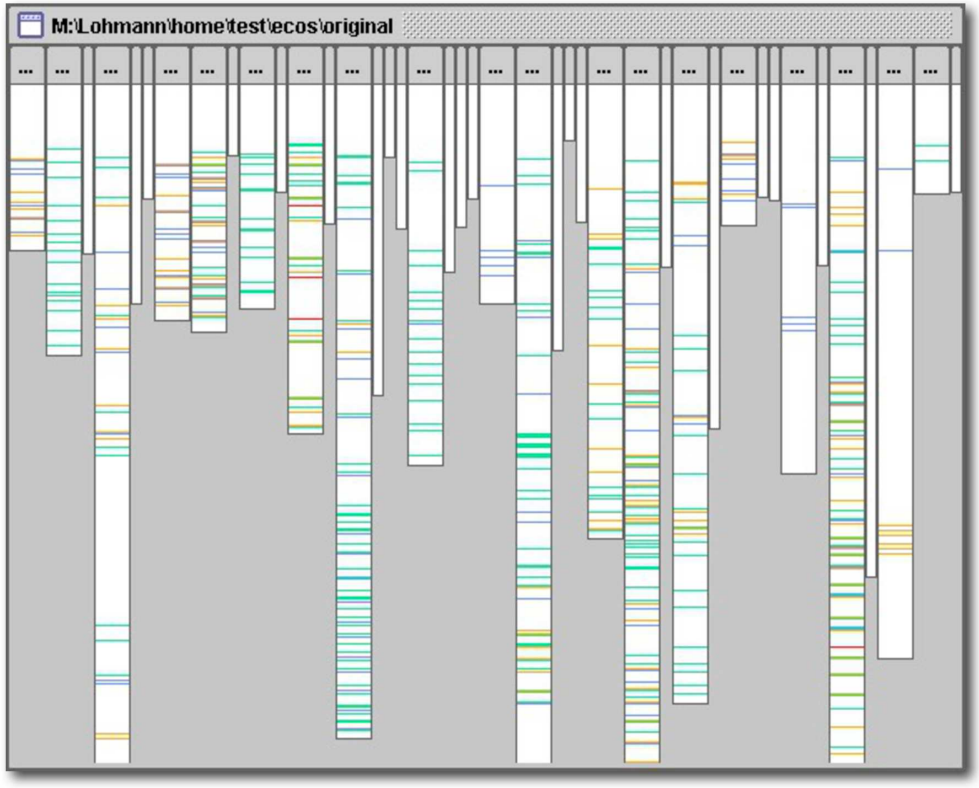
```
Cyg_Mutex::Cyg_Mutex() {
  locked      = false;
  owner       = NULL;
}
```

Mutex options:

- PROTOCOL
- CEILING
- INHERIT
- DYNAMIC

Kernel policies: Tracing | Instrumentation | Synchronization

Issue: Crosscutting Concerns



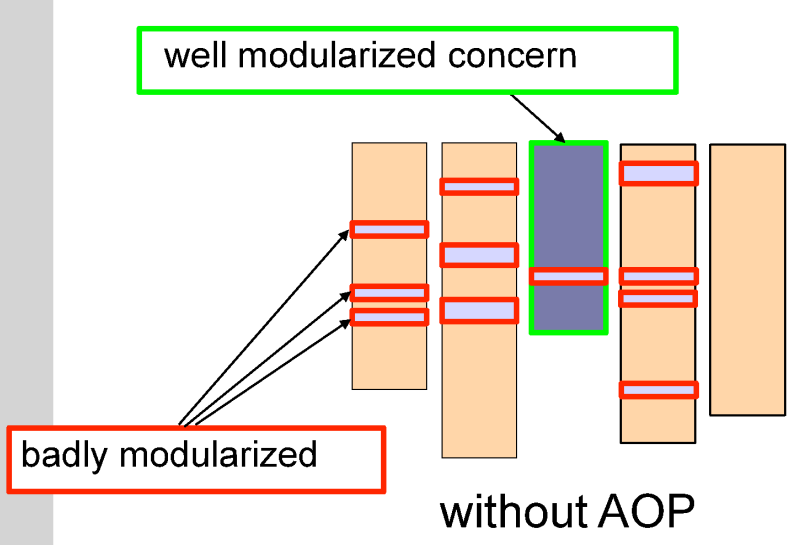
Mutex options:

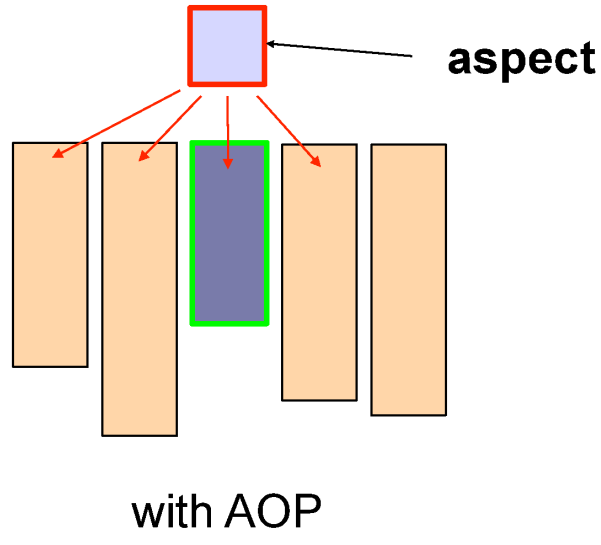
- PROTOCOL
- CEILING
- INHERIT
- DYNAMIC

Kernel policies: Tracing | Instrumentation | Synchronization

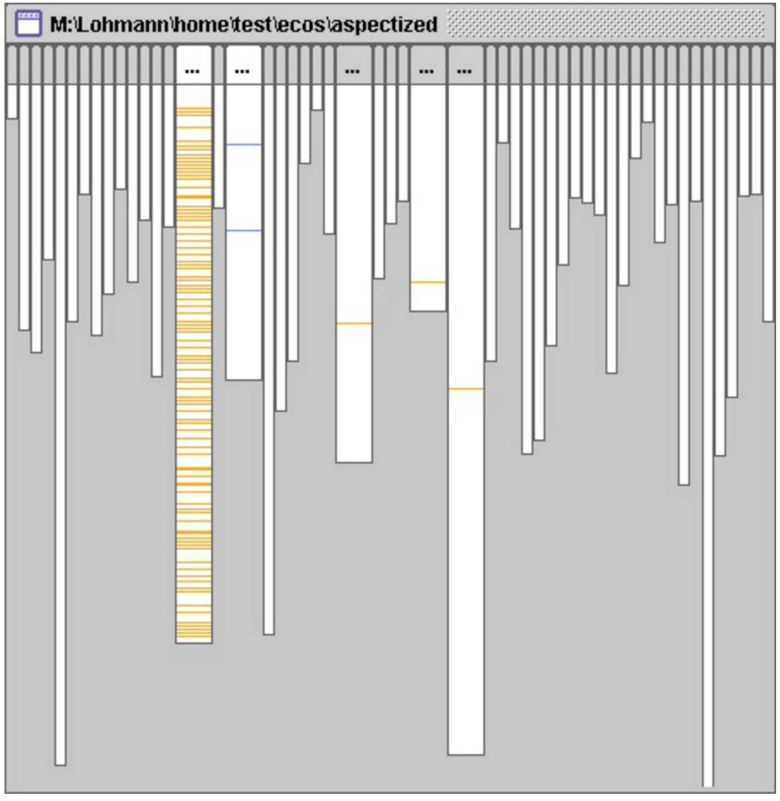
Solution Idea: Aspect-Oriented Programming

AOP provides language means to encapsulate crosscutting and scattered concerns





Qualitative Results: eCos → AspeCos



[EuroSys '06]

Kernel policies: Tracing | Instrumentation | Synchronization

Example: Synchronization in AspeCos

```
aspect int_sync {

  pointcut sync() = execution(...) // kernel calls to sync
           || construction(...)
           || destruction(...);                                  where

  // advise kernel code to invoke lock() and unlock()
  advice sync() : before() {
    Cyg_Scheduler::lock();
  }                                                              what
  advice sync() : after() {
    Cyg_Scheduler::unlock();
  }

  // In eCos, a new thread always starts with a lock value of 0
  advice execution(
  "%Cyg_HardwareThread::thread_entry(...)") : before() {
    Cyg_Scheduler::zero_sched_lock();
  }
  ...
};
```

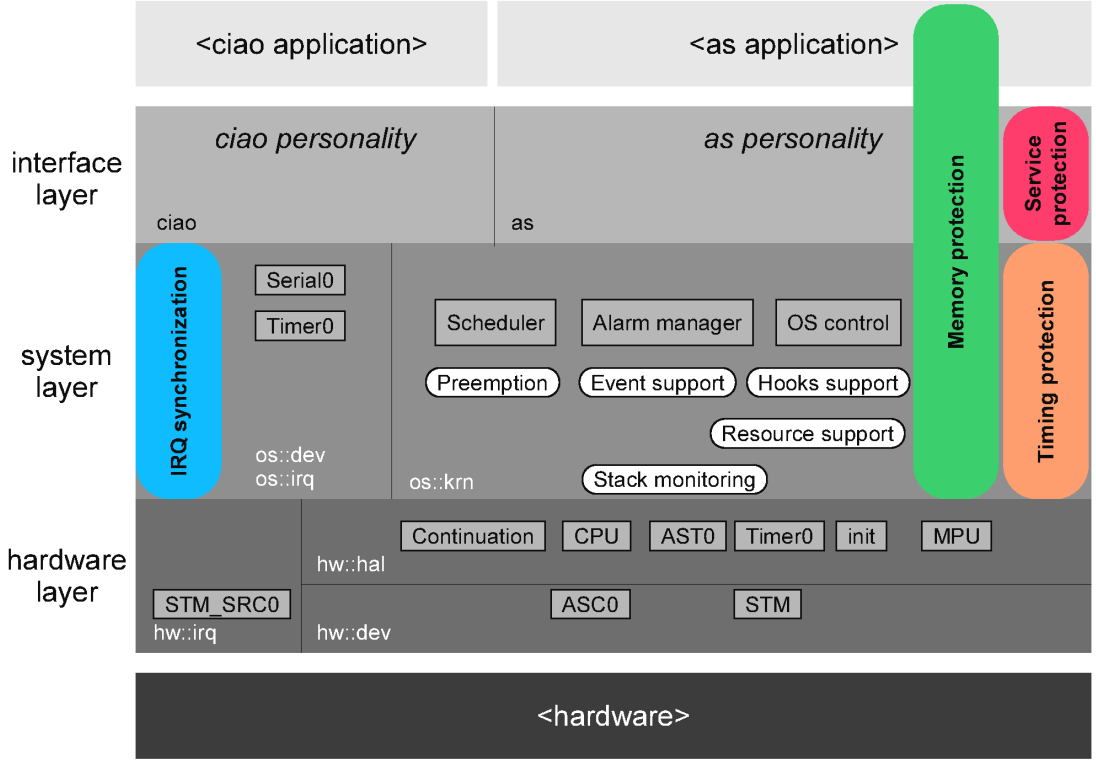
CiAO – CiAO is Aspect-Oriented

AUTOSAR

A family of aspect-oriented operating systems

[USENIX '09, AOSD '11]

- AUTOSAR-OS–like functionality
- configurability of even fundamental system policies
- achieved by aspect-aware design



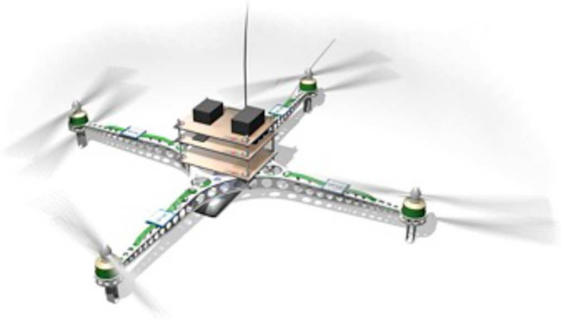
CiAO – CiAO is Aspect-Oriented

AUTOSAR

A family of aspect-oriented operating systems

[USENIX '09, AOSD '11]

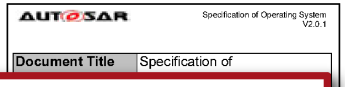
- AUTOSAR-OS–like functionality
- configurability of even fundamental system policies
- achieved by aspect-aware design



test scenario	CiAO	ProOSEK
(a) voluntary task switch	*160*	*218*
(b) forced task switch	*108*	*280*
(c) preemptive task switch	*192*	*274*
(d) system startup	*194*	*399*

Evaluation Case Study: CiAO-AS

CiAO



AUTOSAR

Specification of Operating System
V2.0.1

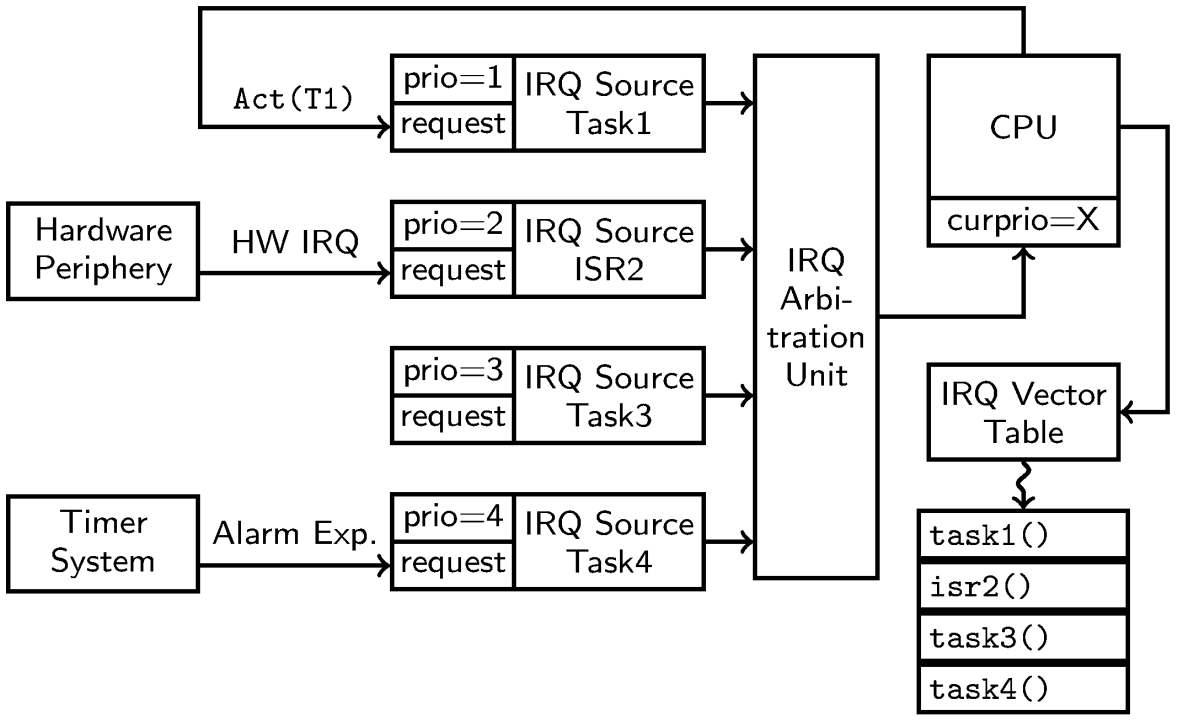
OS093: If interrupts are disabled and any OS services, excluding the interrupt services, are called outside of hook routines, then the Operating System shall return `E_OS_DISABLEDINT`

```
aspect DisabledIntCheck {
  advice call( pcOSServices() && !pcInterruptServices() )
  && !within( pcHookRoutines() ) : around() {
    if( interruptsDisabled() )
      *tjp->result() = E_OS_DISABLEDINT;
    else
      tjp->proceed();
} };
```

SLOTH: Threads as Interrupts

- **Idea: threads are interrupt handlers, synchronous thread activation is IRQ**
- Let interrupt subsystem do the scheduling and dispatching work
- Applicable to priority-based real-time systems
- Advantage: small, fast kernel with unified control-flow abstraction

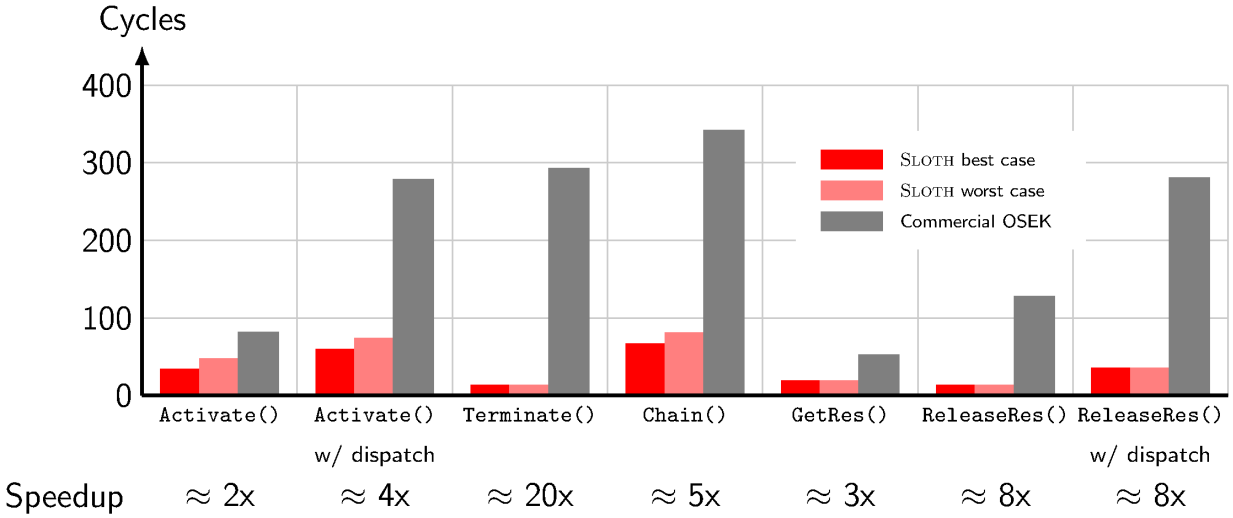
SLOTH Design

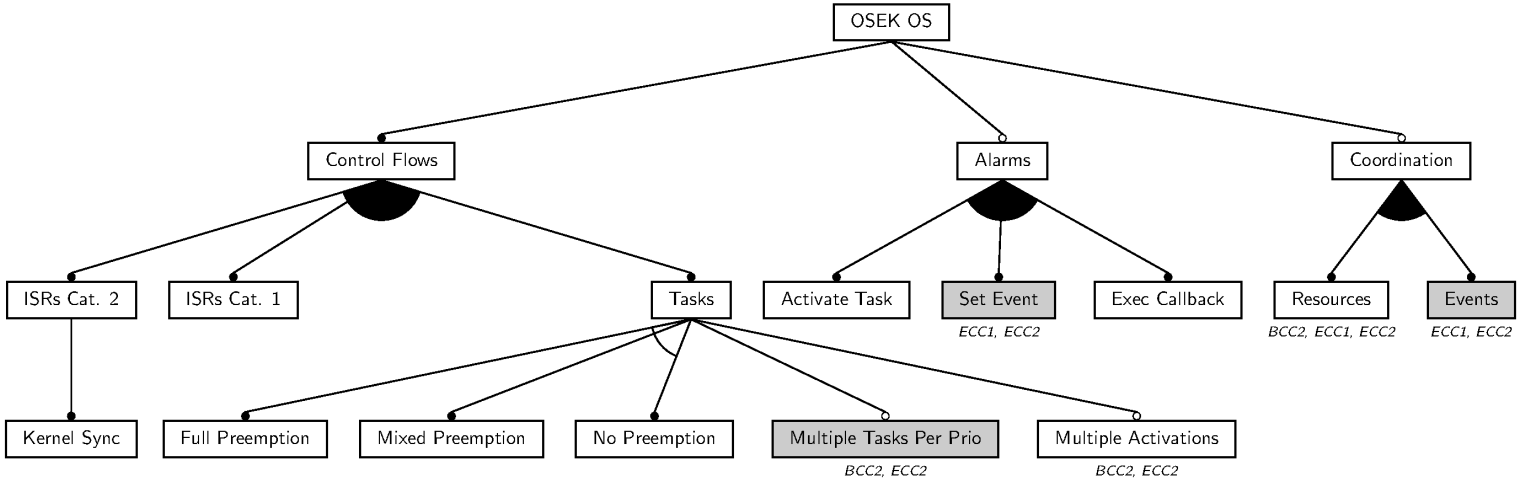


- Platform must support IR priorities and software IR triggering

Ausblick: Konfigurierbare Systemsoftware (KSS)

SLOTH [RTSS '09]

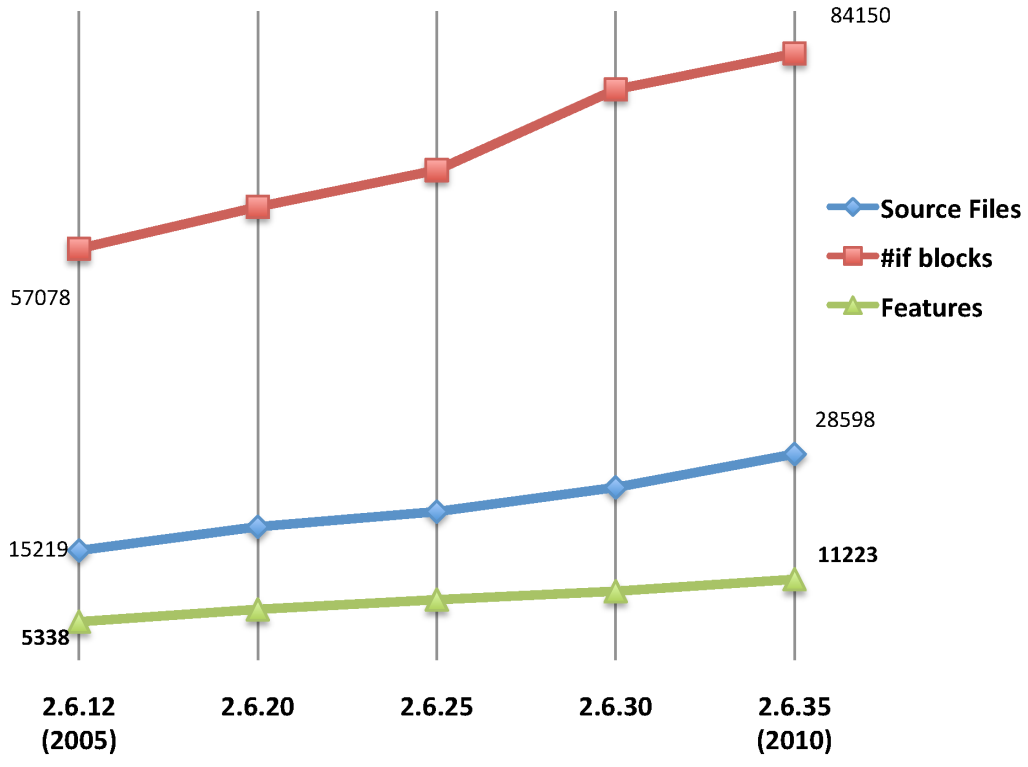




Configurability in the Large: Linux

More than **11,000** configuration options!

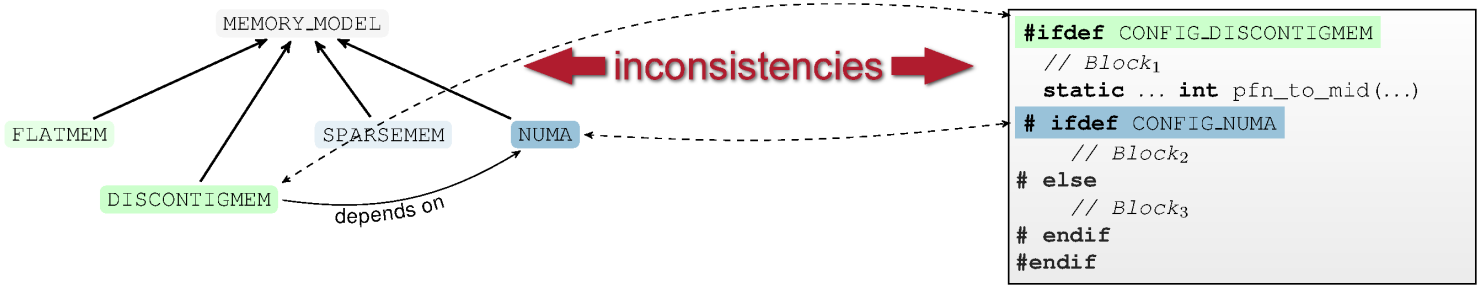
- 85,000 #ifdef blocks, sprinkled over 29,000 source files
- numbers have **doubled** within the last five years!



Configurability in the Large: Linux

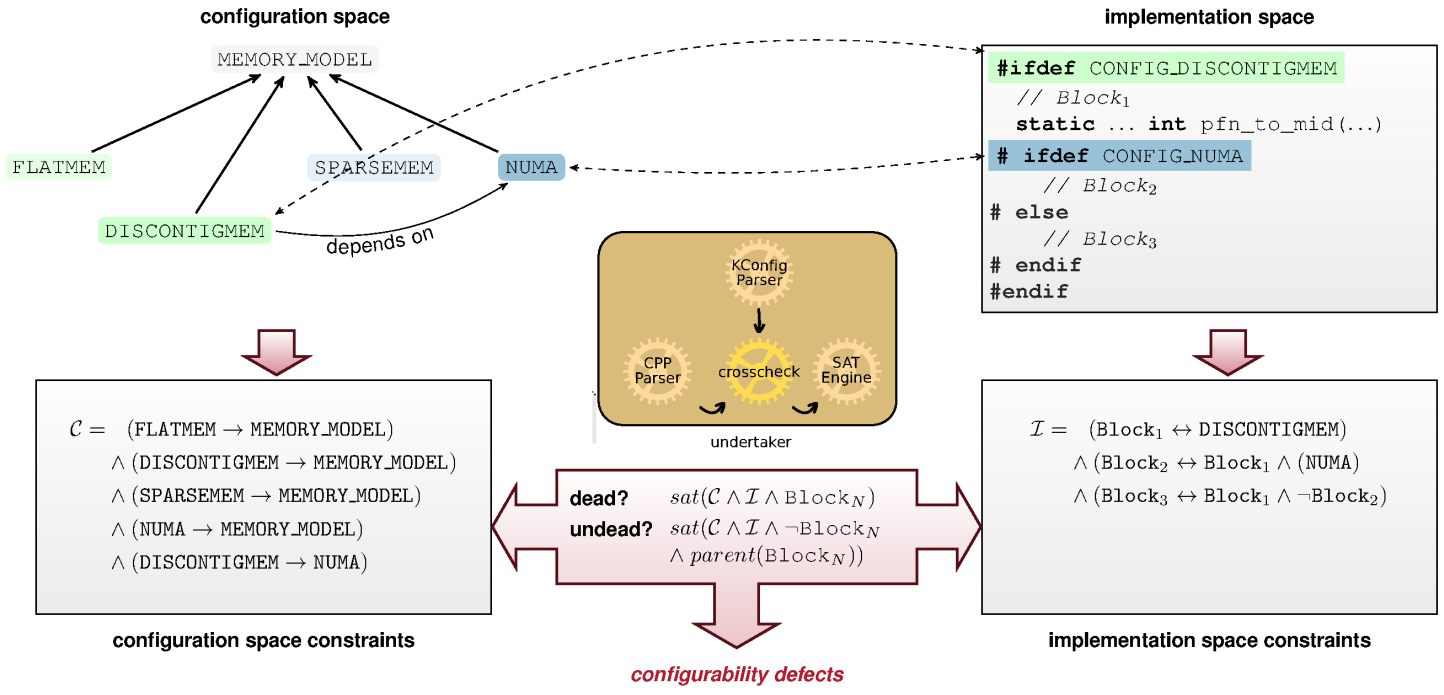
More than **11,000** configuration options!

- 85,000 #ifdef blocks, sprinkled over 29,000 source files
- numbers have **doubled** within the last five years!



The Undertaker

[EuroSys '11]



- found **1,776** defects (and that is just a lower bound!)
  - proposed fix for 364 (including 20 new bugs)
  - 123 patches submitted (49 merged into Linus-Tree)
  - removed 5,129 lines of *unnecessary* #ifdef-code
- tool suite now published as open-source project

Examensarbeiten am LS4

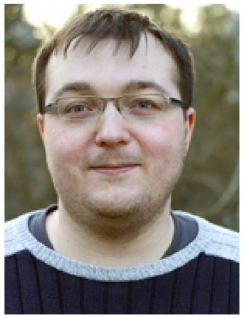
Zur Zeit im Angebot:

- **21** Bachelorarbeiten
- **18** Masterarbeiten
- **20** Studienarbeiten
- **17** Diplomarbeiten
- **11** Projektarbeiten

`http://www4.informatik.uni-erlangen.de/DE/Theses/`

Das war's :-)

Das Lehrstuhl 4 BS-Team wünscht erfolgreiche und erholsame "Semesterferien"

. . . und ein Wiedersehen
im Sommersemester 2012!

Referenzen

[1] Wanja Hofer, Daniel Lohmann, Fabian Scheler, et al. “Sloth: Threads as Interrupts”. In: *Proceedings of the 30th IEEE International Symposium on Real-Time Systems (RTSS ’09)*. IEEE Computer Society Press, Dec. 2009, pp. 204–213. ISBN: 978-0-7695-3875-4. DOI: 10.1109/RTSS.2009.18.

[2] Daniel Lohmann, Wanja Hofer, Wolfgang Schröder-Preikschat, et al. “CiAO: An Aspect-Oriented Operating-System Family for Resource-Constrained Embedded Systems”. In: *Proceedings of the 2009 USENIX Annual Technical Conference*. USENIX Association, June 2009, pp. 215–228. ISBN: 978-1-931971-68-3.

[3] Daniel Lohmann, Fabian Scheler, Reinhard Tartler, et al. “A Quantitative Analysis of Aspects in the eCos Kernel”. In: *Proceedings of the ACM SIGOPS/EuroSys European Conference on Computer Systems 2006 (EuroSys ’06)*. Leuven, Belgium: ACM Press, Apr. 2006, pp. 191–204. DOI: 10.1145/1218063.1217954.

[4] Reinhard Tartler, Daniel Lohmann, Julio Sincero, et al. “Feature Consistency in Compile-Time-Configurable System Software: Facing the Linux 10,000 Feature Problem”. In: *Proceedings of the ACM SIGOPS/EuroSys European Conference on Computer Systems 2011 (EuroSys ’11)*. Salzburg, Austria: ACM Press, Apr. 2011, pp. 47–60. ISBN: 978-1-4503-0634-8. DOI: 10.1145/1966445.1966451.

[5] Linus Torvalds and David Diamond. *Just for Fun: The Story of an Accidental Revolutionary*. HarperCollins, 2001. ISBN: 978-0066620725.