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

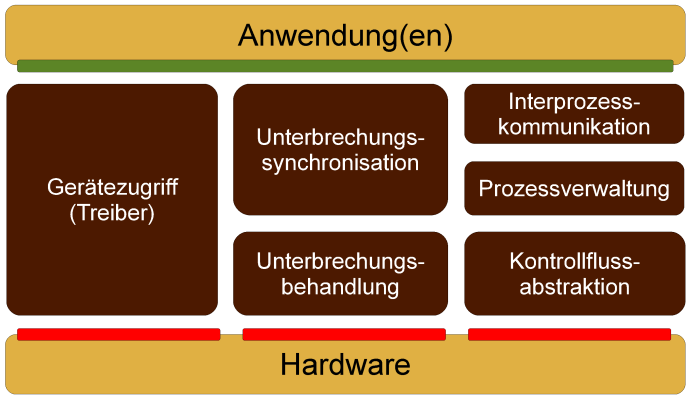
http://www4.informatik.uni-erlangen.de/Lehre/WS11/V_BS

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

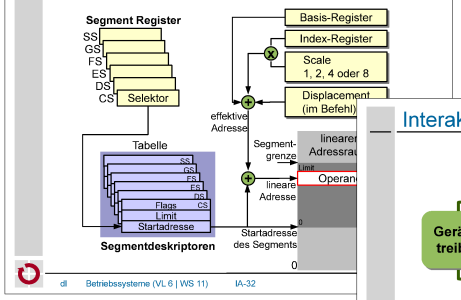
- VL_1 ***Einführung***
- VL_2 ***BS-Entwicklung***
- **VL_3** ***IRQs (Hardware)***
- VL_4 ***IRQs (Software)***
- VL_5 ***IRQs (Synchronisation)***
- **VL_6** ***Intel IA-32***
- VL_7 ***Koroutinen und Fäden***
- VL_8 ***Scheduling***
- VL_9 ***BS-Architekturen***
- VL_{10} ***Fadensynchronisation***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

Was wir gemacht haben

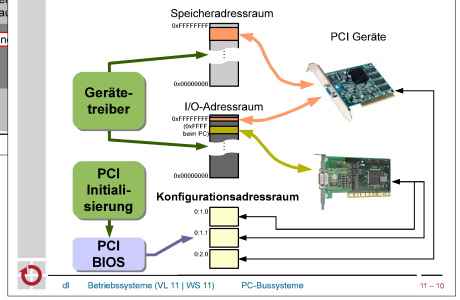
Drei inhaltliche Schwerpunkte!

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***

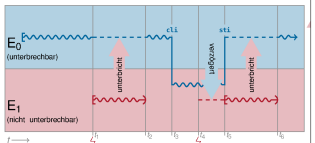
Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

2. Kontrollflüsse und ihre Interaktionen

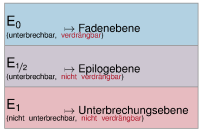
Prioritätsebenenmodell

- 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



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 Konsistenzsicherung auf dieser Ebene brauche wir zusätzliche **Mechanismen** zur **Fadensynchronisation**.

dl Betriebssysteme (VL 14 | WS 11) 14 Zusammenfassung und Ausblick – Ziele und Zielerreichung 14 – 4

Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

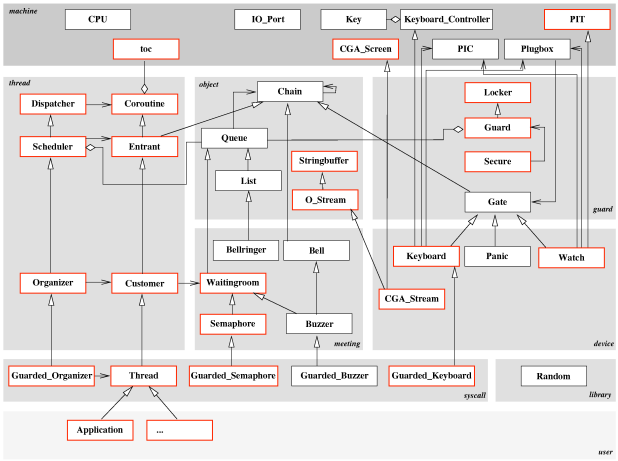
2. Kontrollflüsse und ihre Interaktionen

VL_1	***Einführung***	
VL_2	***BS-Entwicklung***	$Ü_0$ *Einführung*
VL_3	***IRQs (Hardware)***	$Ü_1$ *Ein-/Ausgabe*
VL_4	***IRQs (Software)***	$Ü_2$ *IRQ-Behandlung*
VL_5	***IRQs (Synchronisation)***	
VL_6	***Intel IA-32***	$Ü_3$ *IRQ-Synchronisation*
VL_7	***Koroutinen und Fäden***	
VL_8	***Scheduling***	$Ü_4$ *Fadenumschaltung*
VL_9	***BS-Architekturen***	$Ü_5$ *Zeitscheiben-Scheduling*
VL_{10}	***Fadensynchronisation***	
VL_{11}	***PC Bussysteme***	$Ü_6$ *Fadensynchronisation*
VL_{12}	***Gerätetreiber***	
VL_{13}	***IPC***	$Ü_7$ *“Eine Anwendung” (opt.)*

Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

2. Kontrollflüsse und ihre Interaktionen



Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

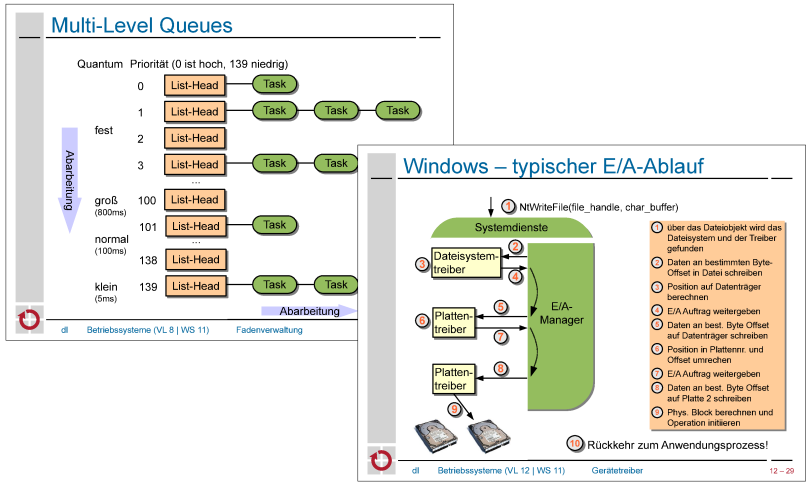
3. BS-Konzept allgemein und am Beispiel (Windows/Linux)

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***

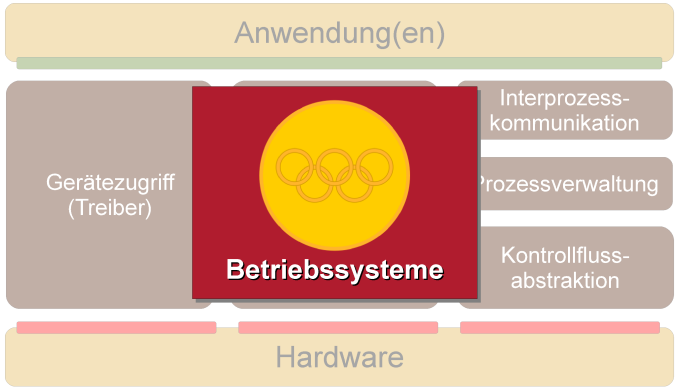
Was wir gemacht haben

Drei inhaltliche Schwerpunkte!

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



Zusammen eine ganze Menge!



Realitätscheck: MPStuBS ↔ “richtiges BS”

Es fehlt noch eine ganze Menge. . .

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

Realitätscheck: MPStuBS ↔ “richtiges BS”

Es fehlt noch eine ganze Menge. . .

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

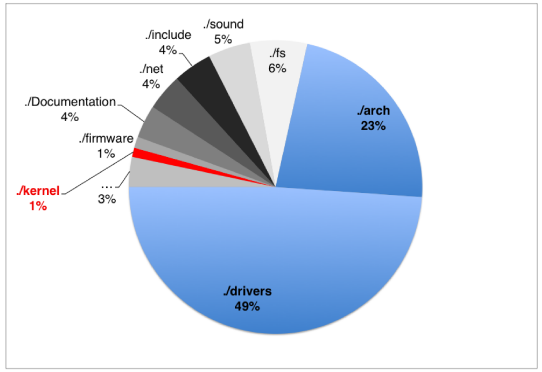
Realitätscheck: MPStuBS ↔ “richtiges BS”

Es fe

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

Bedeutung von Gerätetreibern (1)

- Anteil an Treibercode in Linux 3.2.1



Realitätscheck: MPStuBS ↔ “richtiges BS”

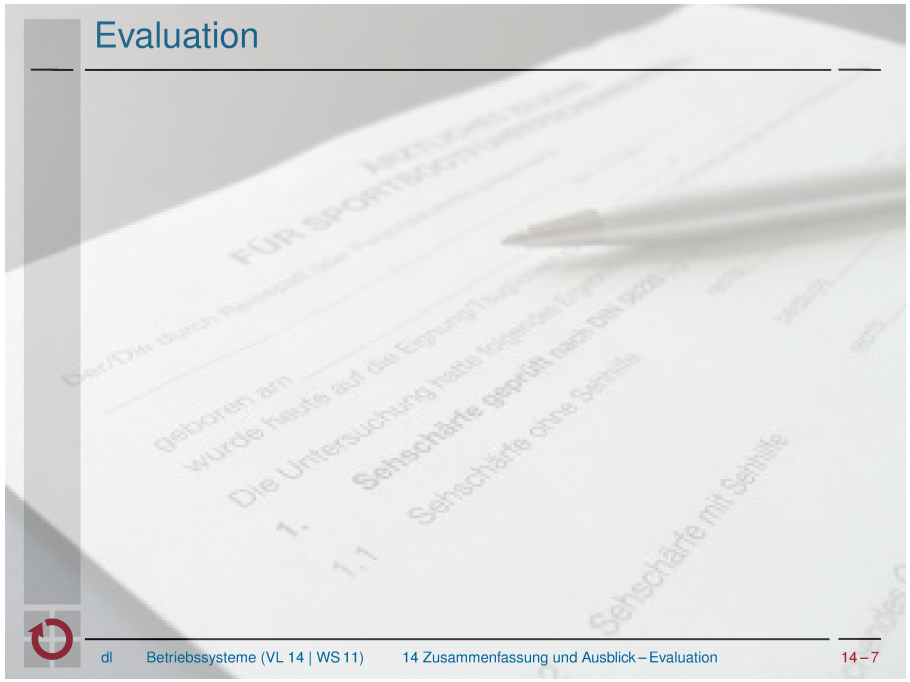
Es fehlt noch eine ganze Menge. . .

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

Beispiel Linux [5]

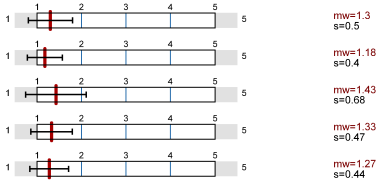
Aug 91	Linux 0.01:	bash, Dateisystem
Jan 92	Linux 0.12:	Virtueller Speicher (Paging)
Mär 92	Linux 0.95:	X-Windows, Unix Domain Sockets (jetzt fehlte nur noch Netzwerk!)
Mär 94	Linux 1.00:	**Netzwerk und TCP/IP**

Evaluation



Evaluationsergebnisse

Globalindikator



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

Kapitel-Indikator - Vorlesung im Allgemeinen

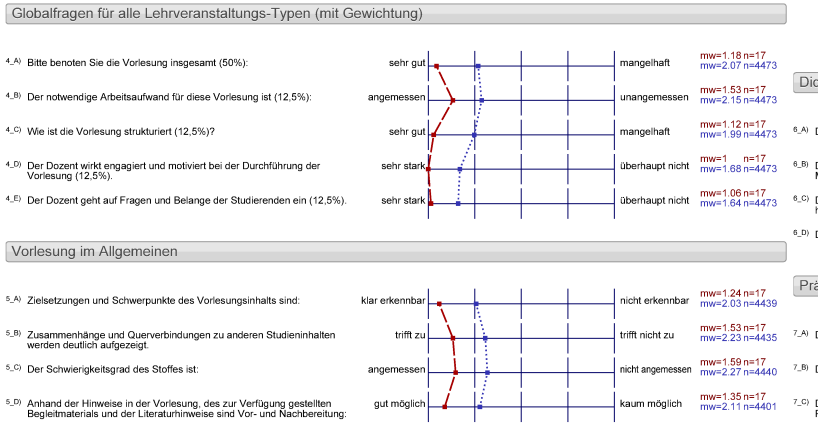
Kapitel-Indikator - Didaktische Aufbereitung

Kapitel-Indikator - Präsentation des Dozenten

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



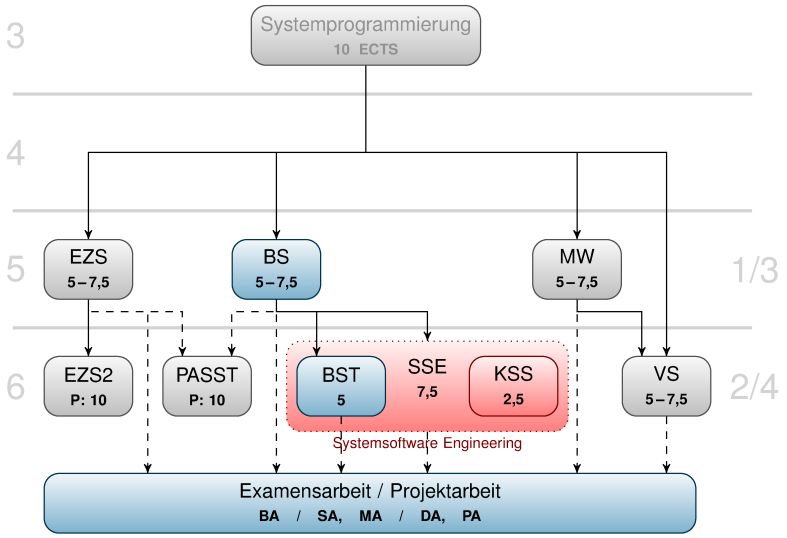
Kommentare

- 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

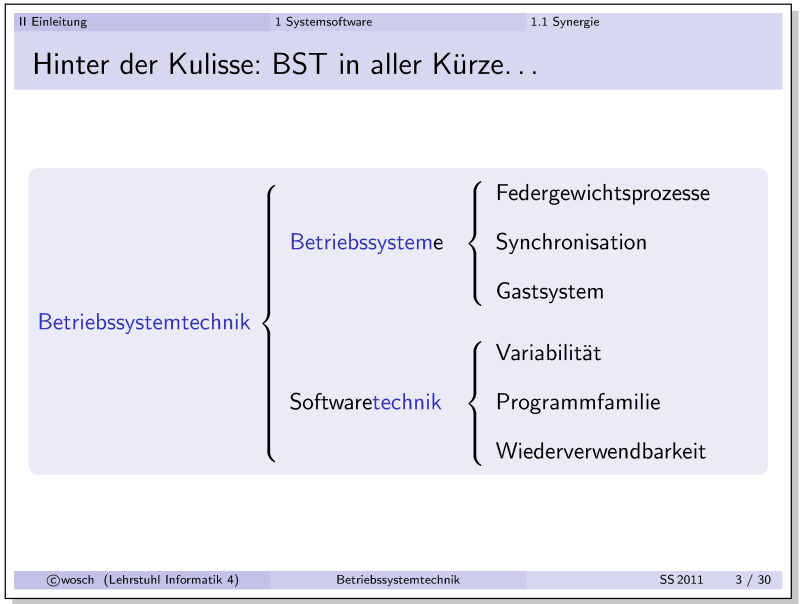
Kommentare (Forts.)

- 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)



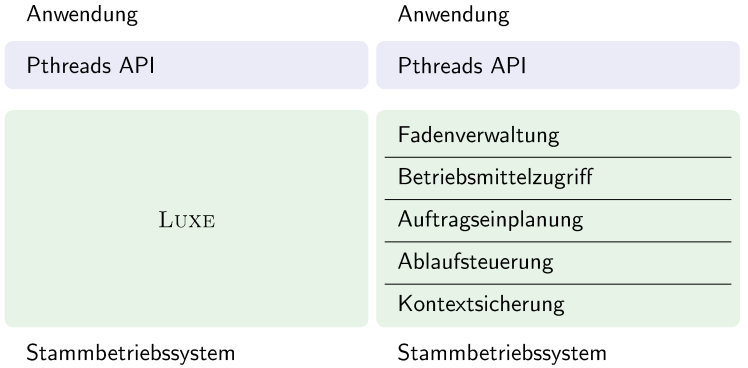
Ausblick: Betriebssystemtechnik (BST)

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 ⊨ LUCSE

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

(CS ↦ X) ⇝ LUXE

- in bester Tradition mit Multics und Unix: (Multi ↦ Uni) ∪ (cs ↦ x)

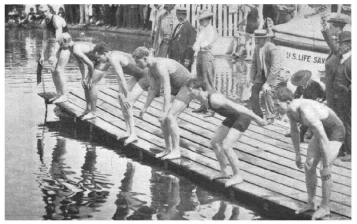
[1] Als Synonym für „durchdacht“.

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...

KSS ↦ Konfigurierbare Systemsoftware

- Softwaretechnik
  - Variabilität
  - Produktlinien
  - Aspektorientierung
  - Generatortechniken
- Betriebssysteme
  - eCos [3]
  - CiAO [2]
  - Sloth [1]
  - Linux [4]

Ausblick: Konfigurierbare Systemsoftware (KSS)

Motivation: Special-Purpose Systems

Ausblick: Konfigurierbare Systemsoftware (KSS)

“Between a Rock and a Hard Place”

functional and nonfunctional *requirements*

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

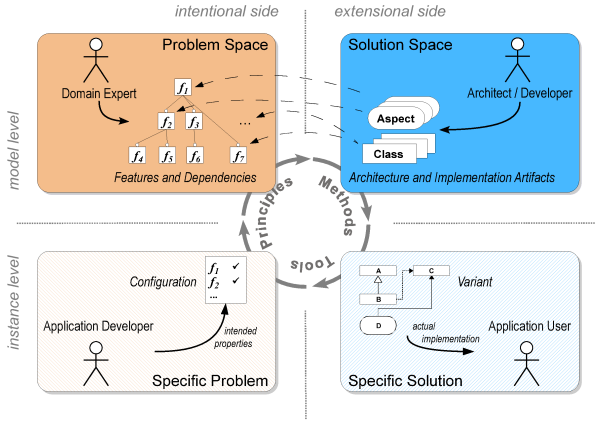
S y s t e m S o f t w a r e

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

functional and nonfunctional *properties*

Ausblick: Konfigurierbare Systemsoftware (KSS)

Configurable Software ➟ Product Line



The State of the Art: eCos

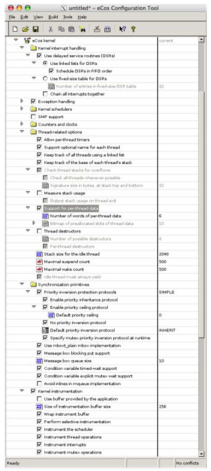
The **e**mbedded **C**onfigurable **OS**

- 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_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_PRIORITY;
#endif
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_NONE
  protocol     = NONE;
#else // not (DYNAMIC a
#ifdef CYGSEM_KERNEL_SYNCH_MUTEX_PRIORITY_INVERSION_PROTOCOL_DEFAULT_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

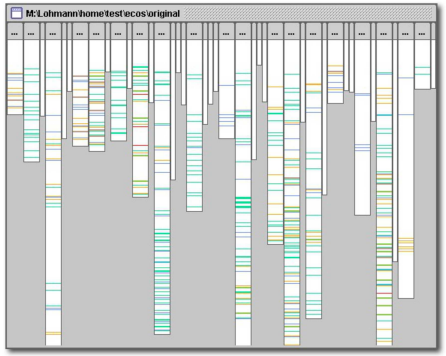
CEILING

INHERIT

DYNAMIC

Kernel policies: Tracing Instrumentation Synchronization

Issue: Crosscutting Concerns



Mutex options:

PROTOCOL

CEILING

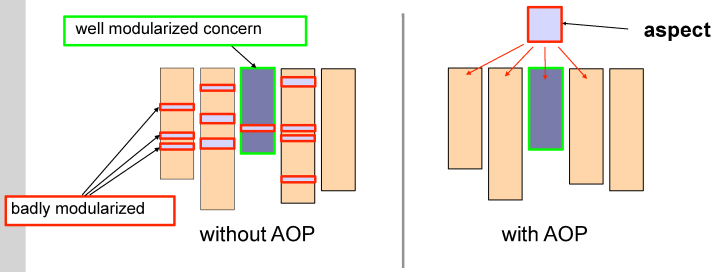
INHERIT

DYNAMIC

Kernel policies: Tracing Instrumentation Synchronization

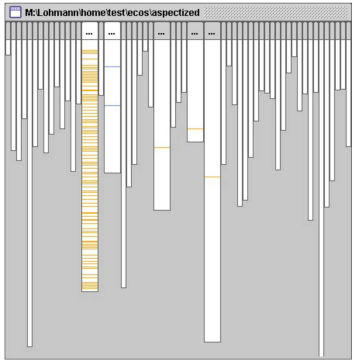
Solution Idea: Aspect-Oriented Programming

AOP provides language means to encapsulate crosscutting and scattered concerns



Qualitative Results: eCos → AspeCos

[EuroSys '06]



Kernel policies: Tracing | Instrumentation | Synchronization

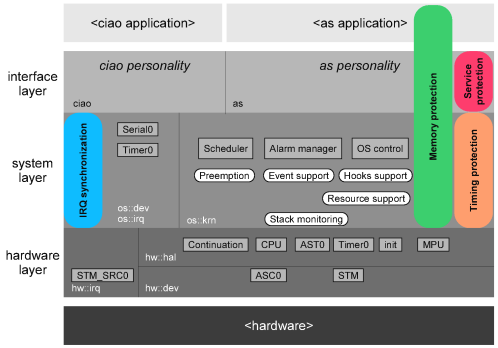
Example: Synchronization in AspeCos

```
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();
  }
  advice sync() : after() {                             what
    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

A family of aspect-oriented operating systems [USENIX '09, AOSD '11]

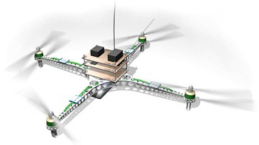
- AUTOSAR-OS–like functionality
- configurability of even fundamental system policies
- achieved by aspect-aware design



CiAO – CiAO is Aspect-Oriented

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

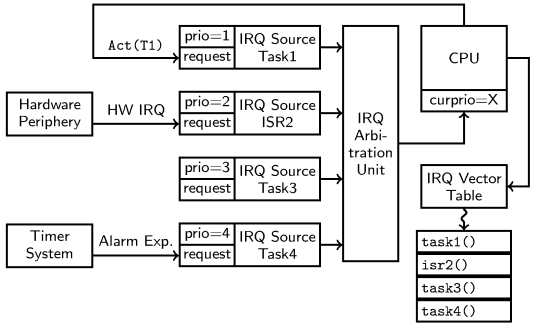
OS093: If interrupts are disabled and any OS services, excluding the interrupt services, are called outside of hook routines, then the Operating System shall return `E_OS_DISABLEDINT`

```
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

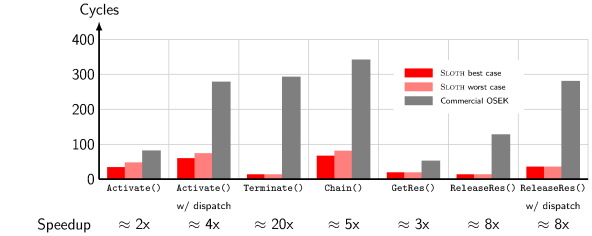
SLOTH Design

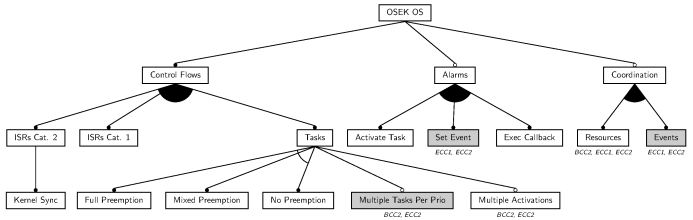


- Platform must support IR priorities and software IR triggering

SLOTH

[RTSS '09]

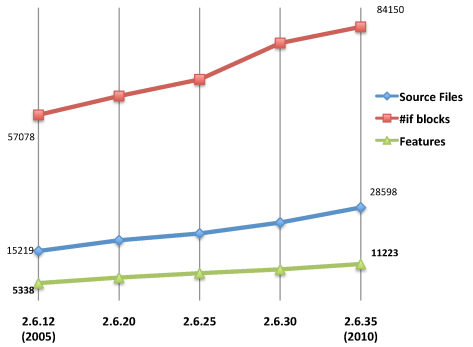




Configurability in the Large: Linux

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

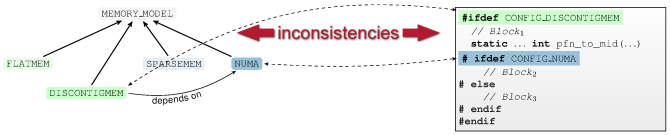
- 85,000 #ifdef blocks, sprinkled over 29,000 source files
- numbers have **doubled** within the last five years!



Configurability in the Large: Linux

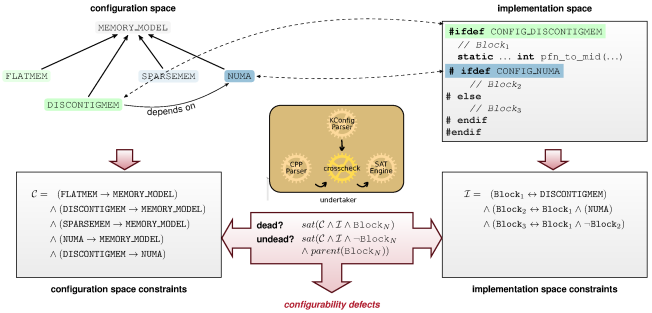
More than **11,000** configuration options!

- 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.