

Nachname/*Last name*

Vorname/*First name*

Matrikelnr./*Matriculation no*

Hauptklausur

02.03.2018

- Bitte tragen Sie zuerst auf dem Deckblatt Ihren Namen, Ihren Vornamen und Ihre Matrikelnummer ein. Tragen Sie dann auf den anderen Blättern (auch auf Konzeptblättern) Ihre Matrikelnummer ein.

Please fill in your last name, your first name, and your matriculation number on this page and fill in your matriculation number on all other pages (including draft pages).

- Die Prüfung besteht aus 14 Blättern: Einem Deckblatt und 13 Aufgabenblättern mit insgesamt 5 Aufgaben.

The examination consists of 14 pages: One cover sheet and 13 sheets containing 5 assignments.

- Es sind keinerlei Hilfsmittel erlaubt!

No additional material is allowed.

- Die Prüfung gilt als nicht bestanden, wenn Sie versuchen, aktiv oder passiv zu betrügen.

You fail the examination if you try to cheat actively or passively.

- Sie können auch die Rückseite der Aufgabenblätter für Ihre Antworten verwenden. Wenn Sie zusätzliches Konzeptpapier benötigen, verständigen Sie bitte die Klausuraufsicht.

You can use the back side of the task sheets for your answers. If you need additional draft paper, please notify one of the supervisors.

- Bitte machen Sie eindeutig klar, was Ihre endgültige Lösung zu den jeweiligen Teilaufgaben ist. Teilaufgaben mit widersprüchlichen Lösungen werden mit 0 Punkten bewertet.

Make sure to clearly mark your final solution to each question. Questions with multiple, contradicting answers are void (0 points).

Die folgende Tabelle wird von uns ausgefüllt! *The following table is completed by us!*

Aufgabe	1	2	3	4	5	Total
Max. Punkte	12	12	12	12	12	60
Erreichte Punkte						
Note						

Aufgabe 1: Grundlagen

Assignment 1: Basics

- a) Erläutern Sie kurz an je einem Beispiel, wo ein Betriebssystem Multiplexing in Zeit und Raum durchführt. **2 pt**

Explain briefly, using one example each, where an operating systems performs multiplexing in time and space.

Zeit / Time:

Raum / Space:

- b) Wie verbessert Multiprogramming die Systemauslastung bei E/A-Operationen? **1 pt**

How does multiprogramming improve the system utilization during I/O operations?

- c) Erläutern Sie die Begriffe *Interrupt Vector* und *Interrupt Service Routine*. **2 pt**

Describe the terms interrupt vector and interrupt service routine.

- d) Das Betriebssystem löst einen Interrupt aus, wenn ein Prozess eine ungültige Instruktion ausführt. **0.5 pt**

The operating system generates an interrupt when a process executes an invalid instruction.

Ja / Yes

Nein / No

e) Skizzieren Sie grafisch den üblichen Aufbau eines virtuellen Adressraums.

3 pt

Visually depict the usual layout of a virtual address space.

f) Ein Systemaufruf umfasst mehr Argumente, als CPU Register zur Verfügung stehen. Nennen Sie, in richtiger Reihenfolge, zwei zentrale Schritte, die das Betriebssystem bei der Parameterbehandlung unternehmen muss, um sich vor böswilligen Aufrufern zu schützen.

2 pt

A system call has more arguments than there are CPU registers. Give, in the right order, two important steps the operating system has to take to protect itself from malicious callers when handling the parameters.

Was muss für Pufferadressen (z. B. ein Zielpuffer beim Einlesen einer Datei) gelten, die an einen Systemaufruf übergeben wurden? Begründen Sie Ihre Antwort.

1.5 pt

What must apply to buffer addresses (e.g., a destination buffer when reading a file) which were passed to system calls? Justify your answer.

**Total:
12.0pt**

Aufgabe 2: Prozesse und Threads

Assignment 2: Processes and Threads

- a) Nennen Sie je eine Datenstruktur, die beim Erstellen eines Kernel-Level-Threads im User- bzw. Kernel-Adressraum angelegt wird.

1 pt

Name one data structure that is allocated in user address space and one that is allocated in kernel address space during the creation of a kernel level thread.

- b) Nennen Sie drei Gründe, aus denen ein Prozess terminiert werden kann.

1.5 pt

Name three reasons for terminating a process.

- c) Erklären Sie den Begriff *Preemption* im Kontext der Vorlesung. Welche Funktion muss die Hardware zur Verfügung stellen, damit *Preemption* möglich ist?

1.5 pt

Explain the term preemption in the context of the lecture. Which feature must the hardware provide for preemption to be possible?

- d) Haben *Daemon-Prozesse* in interaktiven Systemen normalerweise eine hohe oder eine niedrige Schedulingpriorität? Begründen Sie Ihre Antwort.

1.5 pt

Do daemon processes in interactive systems typically have a high or low scheduling priority? Justify your answer.

- e) Kann im Many-to-One-Threadmodell *Priority Inversion* auftreten? Begründen Sie Ihre Antwort.

1.5 pt

Can priority inversion occur in the many-to-one thread model? Justify your answer.

- f) Welche Daten über einen Zombie-Prozess muss ein POSIX-kompatibles Betriebssystem **mindestens** speichern, bis der Prozess endgültig beendet wird?

1.5 pt

*Which data about a zombie process must a POSIX-compatible operating system **at least** store until that process is terminated for good?*

- g) Macht es Sinn, den virtuellen Speicher im User-Adressraum eines Prozesses freizugeben, wenn dieser Prozess zum Zombie wird? Begründen Sie Ihre Antwort.

1.5 pt

Does it make sense to free all virtual memory in the user mode address space of a process when that process becomes a zombie? Justify your answer.

h) Betrachten Sie ein Betriebssystem, das einen Round-Robin-Scheduler mit fester Zeitscheibenlänge verwendet. Das Betriebssystem versucht, den wichtigen Threads mehr CPU-Zeit zu geben, indem es diese Threads mehrfach in die Warteschlange des Schedulers einfügt. Das System stürzt allerdings oft ab, sobald solch ein Thread blockiert.

Welches Problem ist vermutlich aufgetreten? Schlagen Sie eine Lösung für dieses Problem vor, die die übrigen Eigenschaften des Schedulers erhält.

2 pt

Consider an operating system using a round-robin scheduler with a fixed timeslice length. This operating system attempts to give more CPU time to important threads by adding these threads to the scheduler's queue multiple times. However, the system often crashes as soon as such a thread blocks.

Which problem probably caused the crash? Suggest a solution for this problem which otherwise preserves the properties of the scheduler.

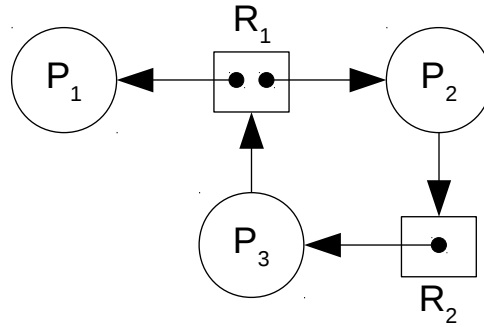
**Total:
12.0pt**

Aufgabe 3: Koordination und Kommunikation von Prozessen
Assignment 3: Process Coordination and Communication

a) Handelt es sich bei der unten dargestellten Situation um einen Deadlock? Begründen Sie Ihre Antwort.

1 pt

Is the situation displayed below a deadlock? Give a reason for your answer.



Warum lässt sich für den gegebenen Resource-Allocation-Graphen kein Wait-For-Graph erstellen?

1 pt

Why is it not possible to construct a wait-for graph for the given resource allocation graph?

b) Warum eignen sich Spinlocks nicht für kritische Abschnitte, auf die Threads bei Eintritt oft lange warten müssen (Lock Congestion)?

1 pt

Why are spinlocks not suitable for critical sections for which threads often have to wait for a long time when trying to enter (lock congestion)?

Nennen Sie ein Synchronisierungsprimitiv, das dieses Problem nicht hat.

0.5 pt

Name a synchronization primitive which does not suffer from this problem.

c) Die folgende Implementierung eines Synchronisierungsprimitivs weist wartenden Threads eine fortlaufende Nummer zu (wie „Nummern ziehen“ in einer Warteschlange).

Welche der Anforderungen an eine Lösung für das Critical-Section-Problem erfüllt dieser Code? Begründen Sie für alle der Anforderungen, warum sie erfüllt oder nicht erfüllt werden.

6 pt

The following implementation of a synchronization primitive assigns a consecutive number to waiting threads (similar to the ticket dispenser in a waiting queue).

Which of the desired properties for solutions to the critical section problem are fulfilled by this code? Give reasons for all these properties on why or why not they are fulfilled.

```
1 /* aligned to cache lines */
2 volatile int next = 0;
3 volatile int executing = 0;
4
5 lock_acquire() {
6     /* atomic version of "ticket = next; next += 1;" */
7     int ticket = fetch_and_add(next, 1);
8     /* busy wait until the counter matches */
9     while (ticket != executing) {}
10 }
11
12 lock_release() {
13     executing++;
14 }
```

Warum ist es nicht notwendig, in Zeile 13 eine atomare Instruktion für das Inkrementieren des Zählers zu verwenden?

1 pt

Why is it not necessary to use an atomic instruction in line 13 to increment the counter?

d) Gegeben sei ein System, das Message-Passing mit asynchronem Senden und synchronem Empfangen unterstützt. Erklären Sie kurz, wie man darauf aufbauend ohne Modifikation des Kernels Message-Passing mit synchronem Senden und synchronem Empfangen implementieren kann.

1.5 pt

Assume a system which supports message passing with non-blocking send and blocking receive operations. Explain briefly how it is possible to implement message passing with blocking send and blocking receive on top of this system, without modifying the kernel.

**Total:
12.0pt**

Aufgabe 4: Speicher

Assignment 4: Memory

- a) Wann erfährt in Linux ein Prozess einen *Segmentation Fault*, unter Windows auch als *Access Violation* bekannt?

1 pt

When does a process in Linux experiences a segmentation fault, also known as access violation in Windows?

- b) Welche Operation bestimmt zu einem wesentlichen Teil die Geschwindigkeit des `fork()`-Systemaufrufs?

0.5 pt

Which operation mainly determines the speed of the `fork()` system call?

Nennen und erläutern Sie eine Technik, die auf modernen Systemen eingesetzt wird, um die Geschwindigkeit von `fork()` deutlich zu erhöhen.

2 pt

Give and explain a technique that is used on modern systems to considerably increase the performance of `fork()`.

- c) Nennen Sie den in der Vorlesung vorgestellten Seitenersetzungsalgorithmus, der sich die temporale Lokalität von Seitenzugriffen zunutze macht. Wieso wird dieser in der Praxis lediglich approximiert?

1.5 pt

Name the page replacement algorithm presented in the lecture which makes use of the temporal locality of page accesses. Why is it only approximated in practice?

d) Betrachten Sie ein System, das mittels einer hierarchischen Seitentabelle virtuelle in physische Speicheradressen übersetzt. Der virtuelle Adressraum umfasst 512 GiB, die Seitengröße ist 4 KiB, eine Seitentabelle beinhaltet 512 Einträge.

Berechnen Sie die Anzahl der Stufen der Seitentabellenhierarchie.

2 pt

Consider a system that translates virtual addresses to physical addresses using a hierarchical page table. The virtual address space is 512 GiB in size, the page size is 4 KiB, a page table contains 512 entries.

Calculate the number of levels in the page table hierarchy.

Ein Programm kopiert einen 4 MiB Puffer im virtuellen Adressraum. Quell- und Zielpuffer überlappen sich nicht und sind an Seitengrenzen ausgerichtet. Die CPU verfügt über keinen Cache, jedoch einen leeren TLB. Die Wortbreite beträgt 8 Bytes. Wie viele Speicherzugriffe sind für den Kopiervorgang mindestens nötig?

3 pt

A program copies a 4 MiB buffer in the virtual address space. The source- and destination buffers do not overlap and are page aligned. The CPU does not have a cache, but has an empty TLB. The word size is 8 bytes.

How many memory accesses are at least required for the copy operation?

Das System wird mit einem Cache erweitert. Nennen Sie zwei Gründe, weshalb die Kopiergeschwindigkeit steigt.

2 pt

The system is extended with a cache. Give two reasons why the copy performance increases.

**Total:
12.0pt**

Aufgabe 5: I/O, Hintergrundspeicher und Dateisysteme

Assignment 5: I/O, Secondary Storage, and File Systems

- a) Beschreiben Sie RAID 4. Wie werden die Nutzdaten auf den Festplatten verteilt? Welche Art von Redundanz wird verwendet, und wo wird sie gespeichert?

2 pt

Describe RAID 4. How is the data distributed among the disks? What type of redundancy is used, and where is it stored?

Warum kann RAID 4 zum vorzeitigen Ausfall einer der Festplatten führen?

1 pt

Why can RAID 4 cause premature failure of one of the hard disks?

- b) Warum ist der Flash-Speicher in einer SSD meist größer als die Kapazität der SSD, die dem Betriebssystem zur Verfügung steht?

2 pt

Why is the amount of flash memory in a SSD usually larger than the capacity available to the OS?

- c) Ihr aktuelles Arbeitsverzeichnis ist `/a/b/c/`. Geben Sie zwei unterschiedliche relative Pfade für die Datei `/a/d/e` an.

1 pt

Your current working directory is `/a/b/c/`. Give two different relative paths for the file `/a/d/e`.

- d) Dateisystem-Caches verwenden die Write-Back-Strategie, um die Anzahl der Festplattenzugriffe zu reduzieren. Warum sollte hierbei sichergestellt werden, dass veränderte Daten periodisch auf die Festplatte geschrieben werden?

1 pt

File system caches use the write-back strategy to reduce the number of hard disk accesses. Why should the OS ensure that modified data is periodically written back to the disk?

- e) Welchen Vorteil bietet eine Bitmap zur Verwaltung freier Blöcke im Vergleich zu einer verketteten Liste?

1 pt

What advantage does a bitmap have over a linked list when used to track free blocks?

- f) Beschreiben Sie, wie sich die Liste der freien Blöcke aus sonstigen Metadaten des Dateisystems wiederherstellen lässt, falls sie beschädigt wird.

1 pt

Describe how the list of free blocks can be recovered from other metadata of the file system if it is damaged.

g) Gegeben sei ein Dateisystem, das die Inhalte kleiner Dateien immer direkt im Verzeichniseintrag der Dateien speichert. Wie wirkt sich dies auf die Geschwindigkeit von Dateizugriffen aus? Begründen Sie Ihre Antwort.

1 pt

Assume a file system which stores the contents of small files always directly in the directory entries of the files. How does this method affect the performance of file accesses? Justify your answer.

Lassen sich in diesem Dateisystem Hardlinks implementieren? Begründen Sie Ihre Antwort.

1 pt

Is it possible to implement hardlinks in this file system? Justify your answer.

Lassen sich in diesem Dateisystem Softlinks implementieren? Begründen Sie Ihre Antwort.

1 pt

Is it possible to implement softlinks in this file system? Justify your answer.

**Total:
12.0pt**