

Nachname/  
Last name

Vorname/  
First name

Matrikelnr./  
Matriculation no

# Hauptklausur

## Theorie

### 02.03.2020

- 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 (including draft) pages.*

- Die Prüfung besteht aus 13 Blättern: Einem Deckblatt und 12 Aufgabenblättern mit insgesamt 5 Aufgaben.

*The examination consists of 13 pages: One cover sheet and 12 sheets containing 5 assignments.*

- Es sind keinerlei Hilfsmittel erlaubt!

*No additional material is allowed!*

- Die Prüfung ist nicht bestanden, wenn Sie aktiv oder passiv 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 assignment 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 mehreren 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	9	9	9	9	9	45
Erreichte Punkte						
Note						

## Aufgabe 1: Grundlagen

### Assignment 1: Basics

- a) Geben Sie zwei Paare von Hardware-Ressource und passender Abstraktion des Betriebssystems an.

1 pt

*Give two pairs of hardware resource and corresponding operating system abstraction.*

Hardware Resource	OS Abstraction

- b) Der folgende Systemaufruf liest `count` Bytes aus der Datei mit dem Dateideskriptor `fd` in den Puffer `buf`. Beschreiben Sie textuell, auf welche Eigenschaften die Parameter bereits vor dem Dateizugriff überprüft werden sollten. Gehen Sie davon aus, dass `buf`  $\neq$  `NULL` und `count`  $\geq$  `0` ist. Es dürfen nach der Prüfung Seitenfehler auftreten.

2 pt

*The following system call reads `count` bytes from the file with the file descriptor `fd` into the buffer `buf`. Describe textually for which properties the parameters should be checked before file access. Assume that `buf`  $\neq$  `NULL`, and `count`  $\geq$  `0`. Page faults may occur after the check.*

```
ssize_t read(int fd, void *buf, size_t count);
```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

- c) Warum sollten Interrupt Service Routinen (ISRs) möglichst kurz sein?

1 pt

*Why should interrupt service routines (ISRs) be as short as possible?*

---

---

---

---

---

---

- d) In einem hypothetischen Betriebssystem werden Interrupt Service Routinen nicht auf einem eigenen Stack ausgeführt. Erläutern Sie kurz, warum dies die Sicherheit und Stabilität des Systems gefährdet.

**1 pt**

*In a hypothetical operating system, interrupt service routines are not executed on a dedicated stack. Explain briefly why this endangers the security and stability of the system.*

---

---

---

---

---

- e) Nennen Sie zwei Aspekte, in denen sich Interrupts von Exceptions unterscheiden.

**1 pt**

*Give two aspects in which interrupts differ from exceptions.*

---

---

---

---

---

- f) Wofür stehen die folgenden Abkürzungen?

**2 pt**

*What do the following abbreviations stand for?*

PCB: \_\_\_\_\_ ASID: \_\_\_\_\_

IPI: \_\_\_\_\_ GOT: \_\_\_\_\_

- g) Erläutern Sie einen Vorteil und einen Nachteil von statischem gegenüber dynamischem Linking von Bibliotheken.

**1 pt**

*Explain an advantage and a disadvantage of static versus dynamic linking of libraries.*

---

---

---

---

---

**Total:  
9.0pt**

## Aufgabe 2: Prozesse und Threads

### Assignment 2: Processes and Threads

a) Was versteht man unter *kooperativem Scheduling*?

**1 pt**

*What is cooperative scheduling?*

---

---

---

---

Bei welchem Thread-Modell kommt kooperatives Scheduling üblicherweise zum Einsatz?

**0.5 pt**

*In which thread model is cooperative scheduling usually used?*

---

b) Im Gegensatz zur Kombination von `fork()` und `exec()` startet `CreateProcess()` unter Windows einen neuen Prozess in nur einem Systemaufruf. Welchen Vorteil neben der reduzierten Anzahl von Systemaufrufen hat dies noch?

**1 pt**

*In contrast to the combination of `fork()` and `exec()`, `CreateProcess()` on Windows creates a new process in a single system call. What advantage besides the reduced number of system calls does this offer?*

---

---

---

---

c) Der Linux-Scheduler nutzt auf Multikernprozessoren eine eigene Warteschlange für jeden Kern. Nennen Sie einen Vorteil (+) und einen Nachteil (-) dieses Ansatzes.

**1 pt**

*On multi-core procesors, the Linux scheduler uses a queue for each core. Name an advantage (+) and a disadvantage (-) of this approach.*

**(+)**

---

---

---

**(-)**

---

---

---

d) Gegeben seien drei Prozesse auf einem Einprozessorsystem.

- Es wird ein Multi-Level Feedback Queue Scheduler mit den unten stehenden Warteschlangen verwendet.
- Alle Prozesse starten in der Warteschlange 2.
- Manche der Prozesse blockieren, nachdem sie eine gewisse Zeit gelaufen sind (relativ zum Prozessstart bzw. nach der letzten Blockierphase).
- Ein Prozess, der seine Zeitscheibe komplett ausnutzt, wird in die nächste Warteschlange mit niedrigerer Priorität verschoben. Ansonsten wird er in die Warteschlange mit nächsthöherer Priorität verschoben.
- Der Scheduler wird nach jeder halben Zeiteinheit ausgeführt.

Tragen Sie in das Ablaufdiagramm ein, welcher Prozess in welchem Zeitraum ausgeführt wird (Zeile P). Geben Sie für jeden noch lebenden Prozess an, in welche Warteschlange er als nächstes eingefügt wird (Zeile Q).

**5.5 pt**

*Consider three processes on a uniprocessor system.*

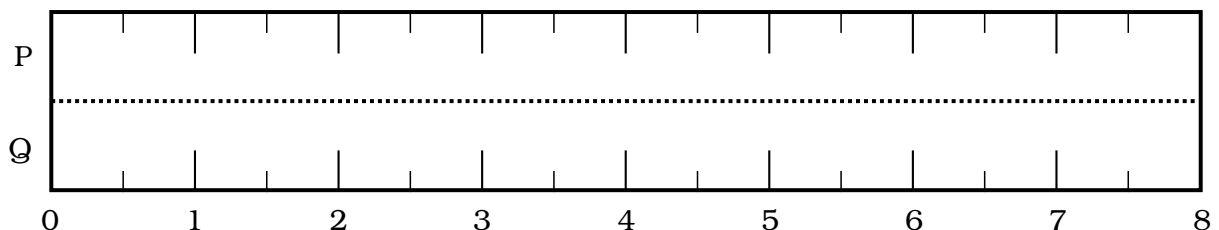
- *The system uses a Multi-Level Feedback Queue scheduler with the queues given below.*
- *Each process starts in queue 2.*
- *Some of the processes block after running for a certain time (relative to the process start or after the last blocking phase, respectively).*
- *A process that uses all of its timeslice is inserted into the next queue with lower priority. Otherwise, it is inserted into the next queue with higher priority.*
- *The scheduler is executed after each half unit of time.*

*Complete the scheduling plan by filling in which process runs in each time slot (row P). For each process still alive, specify the queue it will be inserted into next (row Q).*

Queue	Scheduler	Timeslice	Priority
1	Round Robin	1	High
2	Round Robin	1	Mid
3	Round Robin	2	Low

Process	Arrival Time	Job Length	Blocks after ...	Blocks for ...
1	0	3	0.5	2
			1.5	1
2	0.1	2.5	—	—
3	1	2	1.5	0.5

Ablaufplan/ *scheduling plan*:



**Total:  
9.0pt**

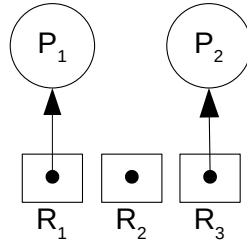
### Aufgabe 3: Koordination und Kommunikation von Prozessen

Assignment 3: Process Coordination and Communication

a) Wie nennt man den Typ des folgenden Diagramms?

0.5 pt

*How is the type of the following diagram called?*



---

Ausgehend von der abgebildeten Situation führen die Prozesse folgende zusätzliche Operationen in der jeweils angegebenen Reihenfolge aus, um Ressourcen zu allokieren (`acquire()`) bzw. freizugeben (`release()`).

Wie müssen die Prozesse geschedult werden, damit sie ohne Deadlock alle Operationen durchführen können?

1.5 pt

*Starting from the depicted situation, the processes execute the following additional operations in the respective order to acquire or release resources.*

*How do the processes have to be scheduled so that they can execute all operations without any deadlock?*

Prozess  $P_1$  / process  $P_1$ :

- 1 `acquire(R_2);`
- 2 `acquire(R_3);`
- 3 `release(R_1);`
- 4 `release(R_2);`
- 5 `release(R_3);`

Prozess  $P_2$  / process  $P_2$ :

- 1 `release(R_3);`
  - 2 `acquire(R_3);`
  - 3 `acquire(R_1);`
  - 4 `release(R_1);`
  - 5 `release(R_3);`
- 
- 
- 
- 
- 
- 
-

Erklären Sie, weshalb sich das System vor diesen zusätzlichen Operationen dennoch nicht in einem sicheren Zustand befindet.

**1.5 pt**

*Explain why the system is still not in a safe state before these additional operations occur.*

---

---

---

---

---

---

b) Wodurch unterscheidet sich ein Futex von einem klassischen Mutex? Welchen Vorteil hat dadurch der Futex?

**1.5 pt**

*How is a futex different from a classic mutex? Which advantage does the futex have?*

---

---

---

---

---

---

c) Der folgende Code implementiert eine einfache Barrierensynchronisation für  $N$  Threads, die dazu führt, dass die Threads die Funktion `barrier()` erst wieder verlassen, wenn alle  $N$  Threads die Funktion aufgerufen haben. Jeder Thread führt `barrier()` insgesamt nur ein einziges Mal aus.

Welches fehlerhafte Verhalten kann beobachtet werden? Beschreiben Sie, wie der Code verändert werden muss, um diesen Fehler zu verhindern.

**2 pt**

*The following code implements a simple barrier synchronization for  $N$  threads, which causes the threads to leave the function `barrier()` only when all  $N$  threads have called the function. Each thread executes `barrier()` only once in total.*

*Which erroneous behavior can be observed? Describe how the code has to be changed to prevent this error.*

```
1 int counter = 0;
2
3 void barrier() {
4     counter = counter + 1;
5     while (counter != N) {
6         /* wait until all N threads have called the function */
7     }
8 }
```

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Die vorliegende Implementierung der Barriere erfordert Shared Memory und ist damit nicht in jedem Fall verwendbar. Beschreiben Sie, wie sich Barrierensynchronisation mittels direktem asynchronem Message Passing implementieren lässt. Sie können dabei davon ausgehen, dass jeder beteiligte Prozess weiß, welche anderen Prozesse an der Barrierensynchronisation teilnehmen und dass jeder Prozess durch eine eindeutige bekannte Zahl (Prozess-ID) adressiert werden kann.

**2 pt**

*The presented implementation of the barrier requires shared memory and is therefore not usable in all cases. Describe how barrier synchronization can be implemented with direct asynchronous message passing. You can assume that every involved process knows which other processes participate in the barrier synchronization and that each process can be addressed by a unique known number (process ID).*

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Total:  
9.0pt**



## Aufgabe 4: Speicher

### Assignment 4: Memory

- a) Um sich vor der Meltdown-Attacke zu schützen, wird der Kerneladressbereich im Benutzermodus in großen Teilen ausgeblendet und es findet ein expliziter Adressraumwechsel bei Eintritt in den Kernel statt. Erläutern Sie welches Hardwarefeature die Kosten für diesen Wechsel reduzieren kann und wie dieses funktioniert.

1.5 pt

*To protect against the meltdown attack, the kernel address space is largely hidden from user mode and an explicit address space switch takes place when entering the kernel. Explain which hardware feature can reduce the cost of this switch and how it works.*

---



---



---



---



---



---



---

- b) Gegeben sei ein System mit vier physischen Seiten, welches den Clock-Algorithmus zur Seitenersetzung verwendet. Die Uhr schreitet in aufsteigender Reihenfolge der Rahmennummern fort, wobei die Hand initial auf Rahmen 2 (unterstrichen) zeigt und das Referenzbit für alle Seiten gesetzt (■) ist.

Vervollständigen Sie die Übersetzungstabelle für die unten angegebene Zugriffsfolge auf virtuelle Seiten. Geben Sie dabei jeweils auch die Position der Hand sowie den Zustand der Referenzbits an.

3 pt

*Consider is a system with four physical page frames, which uses the clock algorithm for page replacement. The clock advances in ascending order of frame numbers, with the hand initially pointing to frame 2 (underlined) and the reference bit for all pages being set (■).*

*Complete the translation table for the virtual page access sequence given below. Also specify the position of the hand and the state of the reference bits.*

Frames	Pages( $t_0$ )	Pages( $t_1$ )	Pages( $t_2$ )	Pages( $t_3$ )	Pages( $t_4$ )	Pages( $t_5$ )
0	1 ■	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	5 ■	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<u>2</u> ■	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	3 ■	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Zugriffsfolge/Access Sequence: **0 3 2 1 5**

- c) Durch welche Eigenschaft einer vorwärtsgerichteten Seitentabelle wird die maximale Größe des physischen Adressraums bestimmt?

**0.5 pt**

*Which property of a forward page table determines the maximum size of the physical address space?*

---

- d) Erläutern Sie für welche Szenarien die folgenden Seitentabellentypen geeignet sind. Begründen Sie Ihre Antwort.

**2 pt**

*Explain for which scenarios the following page table types are suitable. Justify your answer.*

Lineare Seitentabelle/*Linear page table:*

---

---

---

---

---

Invertierte Seitentabelle/*Inverted page table:*

---

---

---

---

---

- e) Welche drei Bedingungen müssen gelten, damit es für eine Menge von Allokationen zu externer Fragmentierung kommen kann?

**1.5 pt**

*Which three conditions must apply so that external fragmentation can occur for a set of allocations?*

(1):

---

(2):

---

(3):

---

- f) Nennen Sie ein Adressraumsegment, welches niemals Teil einer ELF-Datei ist.

**0.5 pt**

*Name an address space segment that is never part of an ELF file.*

---

**Total:  
9.0pt**

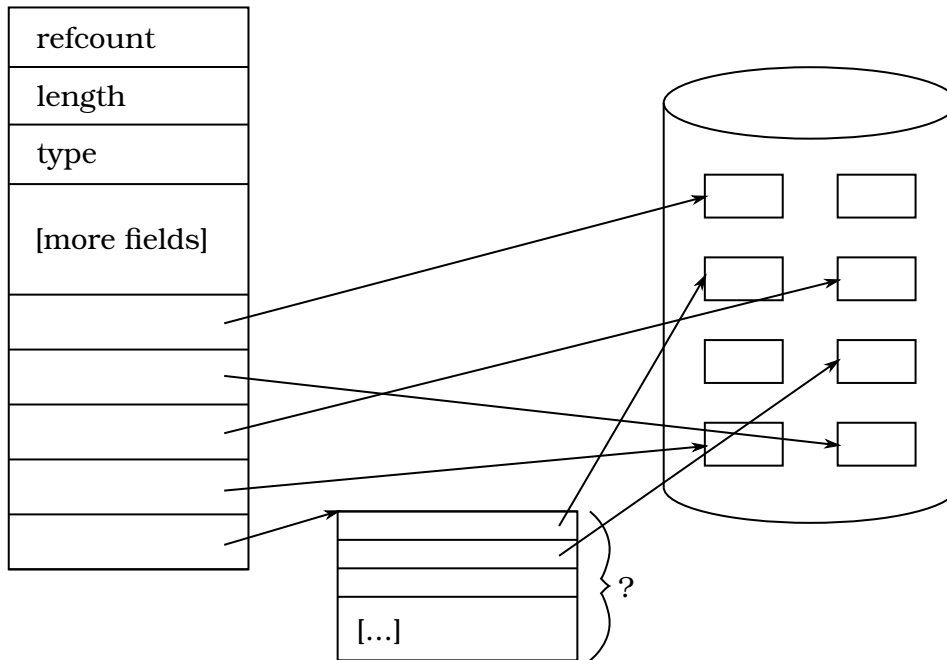
## Aufgabe 5: I/O, Hintergrundspeicher und Dateisysteme

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

- a) Die unten stehende Abbildung zeigt einen Sekundärspeicher mit Datenstrukturen eines Dateisystems. Welche Blockallokationsstrategie kommt in dem abgebildeten Dateisystem zum Einsatz?

1 pt

The figure below shows a secondary storage system with the data structures of a file system. Which block allocation strategy does the depicted file system use?




---

Benennen Sie die mit einem „?“ markierte Datenstruktur.

0.5 pt

Name the data structure marked with a ‘?’.

---

Nennen Sie ein weiteres Feld, das an der mit [more fields] markierten Stelle häufig gespeichert wird.

0.5 pt

Name another field that is often present at the row marked [more fields].

---

Berechnen Sie die maximale Dateigröße, die in dem abgebildeten Dateisystem möglich ist. Gehen Sie von einer Blockgröße von 4 KiB und von 8 B großen Pointern aus.

**1.5 pt**

*Calculate the maximum file size for the pictured file system. Assume a 4 KiB block size and a 8 B pointer size.*

---

---

---

---

---

---

---

Wofür wird das `refcount`-Feld benötigt? Wann wird das Feld vom Dateisystem inkrementiert bzw. dekrementiert?

**1 pt**

*What is the `refcount` field needed for? When does the file system increment or decrement this field?*

---

---

---

---

---

---

---

b) Moderne SSDs können auf Daten mit hoher Bandbreite bei geringer Latenz zuzugreifen. Erklären Sie, welche Rolle der Dateisystem-Cache beim Zugriff auf ein Dateisystem spielt und warum dieser Cache für solche SSDs dennoch sinnvoll ist.

**2 pt**

*Modern solid-state drives can access data with high bandwidth and low latency. Explain how the file system cache works and why such a cache is still desirable for fast drives.*

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Beschreiben Sie einen Nachteil des Dateisystem-Caches.

**1 pt**

*Describe one disadvantage of the file system cache.*

---

---

---

---

- c) Moderne Dateisysteme wie btrfs können transparent Dateien über mehrere Laufwerke replizieren. Lesefehler kann btrfs dabei mit einer Checksumme über die gesamte Datei erkennen.

*Modern file systems such as btrfs can transparently replicate files across multiple disks. Btrfs can detect read errors by calculating a checksum over the whole file.*

Welchem RAID-Level entspricht dieses Vorgehen?

**0.5 pt**

*Which RAID level does this approach correspond to?*

---

Geben Sie einen Vorteil an, den Replikation wie in btrfs im Vergleich mit einem entsprechenden RAID-System hat.

**1 pt**

*Give one advantage of replication like in btrfs compared to a corresponding RAID system.*

---

---

---

---

---

**Total:  
9.0pt**