

Nachname/
Last name

Vorname/
First name

Matrikelnr./
Matriculation no

Hauptklausur

06.03.2019

- 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 19 Blättern: Einem Deckblatt und 18 Aufgabenblättern mit insgesamt 5 Aufgaben.

The examination consists of 19 pages: One cover sheet and 18 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 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	12	12	12	12	12	60
Erreichte Punkte						
Note						

Aufgabe 1: Grundlagen

Assignment 1: Basics

- a) Nennen Sie ein Beispiel für eine vom Betriebssystem angebotene Abstraktion und nennen Sie den Mehrwert dieser Abstraktion.

1 pt

Name an example of an abstraction provided by the operating system and name the added value of this abstraction.

- b) Erklären Sie den Unterschied zwischen *Parallelität* und *Nebenläufigkeit/Pseudoparallelität*.

1 pt

Explain the difference between parallelism and concurrency/pseudoparallelism.

- c) Weshalb sind sehr große Speicherallokationen durch Anwendungen in der Regel selbst dann erfolgreich, wenn das System nicht genügend Speicher besitzt?

1 pt

Why do very large memory allocations from applications usually succeed even if the system does not have sufficient memory?

- d) Erklären Sie den Begriff *Kontextwechsel*.

1 pt

Explain the term context switch.

- e) Speicherzugriffe zeigen oft *zeitliche* und/oder *örtliche Lokalität*. Erklären Sie, was man jeweils darunter versteht.

2 pt

Memory accesses often show temporal and/or spatial locality. Explain the meaning of both.

Zeitliche Lokalität / temporal locality:

Örtliche Lokalität / spatial locality:

Weshalb bieten Festplatten höhere Performance, wenn die Festplattenzugriffe einem hohen Grad an Lokalität aufweisen?

1 pt

Why do hard disk drives provide higher performance if the hard disk accesses feature a high degree of locality?

- f) Kann es bei rein kooperativem Scheduling passieren, dass nach Bearbeitung eines Interrupts ein anderer Prozess ausgeführt wird als vor Eintreffen des Interrupts? Begründen Sie.

1 pt

Assuming purely cooperative scheduling, is it possible that after the processing of an interrupt a different process is executed than before the arrival of the interrupt?

- g) Weshalb ist die Unterscheidung zwischen privilegierten und nicht privilegierten Instruktionen notwendig?

1 pt

Why is the distinction between privileged and non-privileged instructions necessary?

Operationen wie das Auslesen der Systemuhr können sowohl als nicht-privilegierte Instruktionen als auch als System Calls umgesetzt werden. Welchen Vorteil haben nicht-privilegierte Instruktionen?

1 pt

Operations such as reading the system clock can be implemented both as non-privileged instructions and as system calls. Which advantage do non-privileged instructions have?

- h) Systeme bestehend aus mehreren gleichartigen Prozessoren können üblicherweise Interrupts an einen beliebigen Prozessor zustellen. Geben Sie zwei Gründe an, weshalb die Wahl des Zielprozessors Auswirkungen auf die Gesamtperformance des Systems hat.

2 pt

Systems consisting of multiple equal processors can usually deliver interrupts to an arbitrary processor. Give two reasons why the choice of the target processor affects the overall performance of the system.

**Total:
12.0pt**

Aufgabe 2: Prozesse und Threads

Assignment 2: Processes and Threads

a) Was ist der Unterschied zwischen *Kernel-Level Threads* und *Kernel-Mode Threads*? **1 pt**

Explain the difference between kernel-level threads and kernel-mode threads?

b) Was versteht man unter einem *Upcall*? **1 pt**

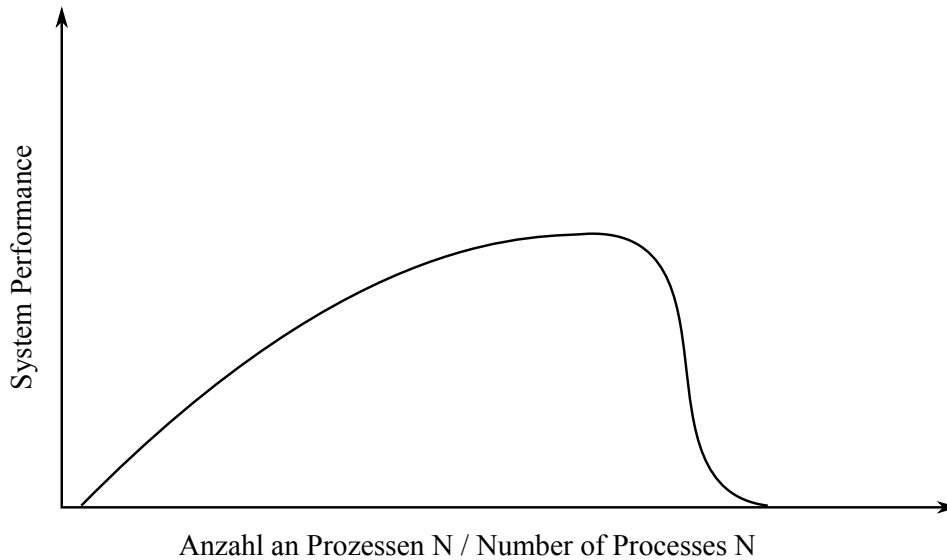
Explain the term upcall?

Erklären Sie die Bedeutung von Upcalls bei Verwendung eines M-to-N-Threadmodells. **2 pt**

Explain the importance of upcalls when using a M-to-N threading model?

c) Die folgenden Abbildung zeigt die Performance eines Rechnersystems in Abhängigkeit der Anzahl an nebenläufig ausgeführten Prozessen.

The following figure shows the performance of a computing system in dependence on the number of concurrently executed processes.



Erklären Sie, warum die Performance im linken Teil der Abbildung mit steigender Anzahl an Prozessen zunimmt.

1 pt

Explain why the system performance rises in the left part of the figure when the number of processes is increased.

Warum bricht die Performance im rechten Teil der Abbildung ein?

1 pt

Why does the system performance collapse in the right part of the figure?

Wie kann das Betriebssystem den Einbruch der Performance verhindern?

1 pt

How can the collapse of the system performance be prevented by the operating system?

d) Nehmen Sie an, dass zwei Prozesse A und B zusammen mit weiteren Prozessen nebenläufig auf einem System mit einem Round-Robin Scheduler ausgeführt werden. Die Zeitscheibenlänge des Round-Robin Schedulers wird in den folgenden Experimenten verändert. Dabei werden jeweils die Umlaufzeiten der Prozesse A und B gemessen.

Wird die Zeitscheibenlänge von T_0 auf $T_1 = 0.1 \cdot T_0$ reduziert, so erhöhen sich die Umlaufzeiten von Prozess A und von Prozess B deutlich. Erklären Sie die Ursache.

1 pt

Assume that two processes A and B are executed alongside other processes on a system with a round-robin scheduler in a concurrent way. For the following experiments, the length of the timeslice of the round-robin scheduler is changed and the turnaround times of process A and process B are measured for each experiment.

If the length of the time slice is reduced from T_0 to $T_1 = 0.1 \cdot T_0$, the turnaround times of process A and process B are considerably increased. Explain the cause.

Wird die Zeitscheibenlänge von T_0 auf $T_2 = 2 \cdot T_0$ erhöht, so nimmt die Umlaufzeit von Prozess A leicht ab, wohingegen die Umlaufzeit von Prozess B deutlich zunimmt. Erklären Sie dieses Verhalten.

2 pt

If the length of the time slice is raised from T_0 to $T_2 = 2 \cdot T_0$, the turnaround time of process A is slightly reduced whereas the turnaround time of process B is considerably increased. Explain this behavior.

e) Erklären Sie das Funktionsprinzip einer Multilevel Feedback Queue. Worin unterscheiden sich die verschiedenen Level der Multilevel Feedback Queue?

2 pt

Explain the functional principle of a multilevel feedback queue. How do the levels of a multilevel feedback queue differ from each other?

**Total:
12.0pt**

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

a) Nennen Sie einen Vorteil von indirektem gegenüber direktem Message Passing.

1 pt

Name an advantage of indirect message passing compared to direct message passing.

b) Welche Kombinationen von asynchronem bzw. synchronem Senden und Empfangen benötigen grundsätzlich gepuffertes Message Passing? Begründen Sie.

1.5 pt

For which combinations of asynchronous or synchronous send and receive is buffered message passing fundamentally required? Justify.

c) Beschreiben Sie das *Producer-Consumer-Problem*. Nennen Sie hierbei die Fälle, in denen einer der Kommunikationspartner blockieren muss.

2 pt

Describe the producer-consumer problem. Name the cases in which one of the communication partners has to block.

d) Im folgenden Codebeispiel möchte der erste Thread fortfahren, nachdem der zweite Thread eine Bedingung erfüllt. `wakeup` sei dabei ein System Call, der einen Thread fortfahren lässt, falls dieser gerade den `wait`-Systemaufruf ausführt.

Welches unerwünschte Verhalten kann auftreten? In welcher Situation tritt es auf?

2 pt

In the following code example the first thread wants to proceed after the second thread fulfills a condition. `wakeup` is a system call which unblocks a thread and lets it continue if that thread currently executes the `wait` system call.

Which unwanted behaviour can occur? In which situation does it occur?

```

        int condition = 0;
1  /* first thread */
2  while (condition == 0) {
3      /* wait until wakeup
4         is called */
5      wait();
6  }
1  /* second thread */
2  if (condition == 0) {
3      /* if false, set to
4         true and wake up
5         first thread */
6      condition = 1;
7      wakeup(first_thread);
8  }
    
```

Nennen Sie ein Synchronisierungsprimitiv, das geeignet ist, um andere Threads zu benachrichtigen, und dieses Problem nicht besitzt.

0.5 pt

Name a synchronization primitive which is suitable to notify other threads and which does not have this problem.

- e) Erklären Sie den Unterschied zwischen *Deadlock Prevention* und *Deadlock Avoidance*.

2 pt

Explain the difference between deadlock prevention and deadlock avoidance.

Beschreiben Sie ein Verfahren zur Erkennung von Deadlocks.

1 pt

Describe a method to detect deadlocks.

- f) Gegeben sei ein Einprozessorsystem mit nicht unterbrechbaren Interrupt-Service-Routinen. Eine durch einen Spinlock geschützte Resource wird sowohl in einer Interrupt-Service-Routine als auch in unterbrechbarem Kernelcode verwendet.

In welcher Situation kommt es zu einem Deadlock? Identifizieren Sie die beiden Ressourcen, auf die zyklisch gewartet wird.

2 pt

Assume a single processor system with non-interruptible interrupt service routines. A resource which is protected by a spinlock is used in an interrupt service routine as well as in interruptible kernel code.

In which situation does a deadlock occur? Identify the two resources involved in cyclic waiting.

**Total:
12.0pt**

Aufgabe 4: Speicher

Assignment 4: Memory

a) Erklären Sie die Begriffe *externe Fragmentierung* und *interne Fragmentierung*.

1 pt

Explain the terms external fragmentation and internal fragmentation.

b) Geben Sie eine Möglichkeit an, wie interne Fragmentierung bei Paging verringert werden kann und zwei Nachteile, welche sich durch diese Maßnahme ergeben.

1.5 pt

State one way to reduce internal fragmentation when using paging and give two disadvantages which are caused by this measure.

c) Wie kann es bei einem Buddy-Allokator zu externer Fragmentierung kommen?

2 pt

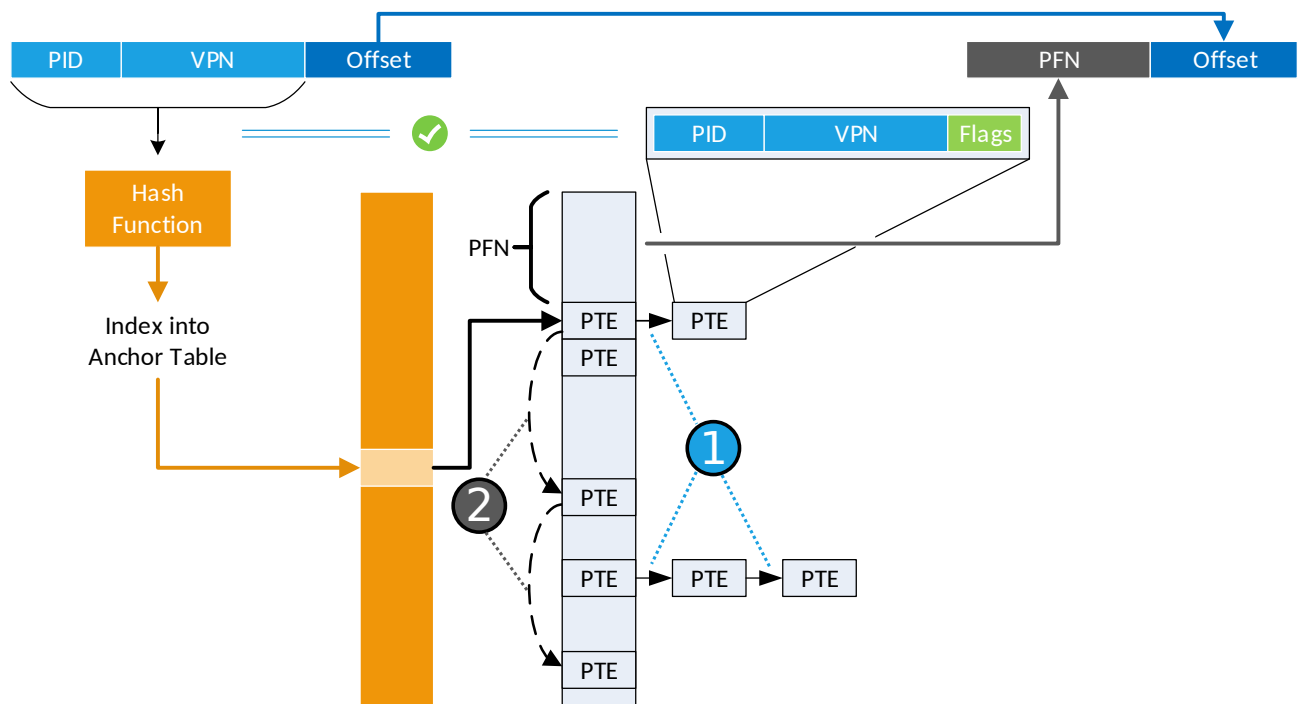
Hinweis: Eine Skizze kann die Erklärung erleichtern.

How can external fragmentation occur when using a buddy allocator.

Hint: A sketch might simplify the explanation.

Optionale Skizze / Optional sketch:

- d) Geben Sie den Namen der in der folgenden Abbildung dargestellten Struktur an. **0.5 pt**
 Give the name of the structure depicted in the following figure?



Name der Struktur / Name of the structure:

Erklären sie die Bedeutung der mit „1“ und „2“ beschrifteten Pfeile in der obigen Abbildung.

Hinweis: Die Pfeile stellen Pointer dar.

2 pt

Explain the meaning of the arrows marked with "1" and "2" in the figure above.

Hint: The arrows represent pointers.

e) Erklären Sie, warum das Betriebssystem die Struktur der TLB-Einträge auf einem System mit einem Software-Managed TLB nicht frei wählen kann.

1 pt

Explain, why the operating system cannot choose an arbitrary format for TLB entries on a system with a software-managed TLB.

- f) Nennen und erläutern sie einen Vorteil und einen Nachteil von physischen Tags gegenüber virtuellen Tags.

2 pt

Name and explain one advantage and one disadvantage of physical tagging compared to virtual tagging.

- g) Um die Latenz des L1-Caches zu reduzieren, kann man einen virtuell indizierten Cache verwenden.

Welches Kohärenzproblem tritt by Verwendung eines virtuell indizierten, physisch getaggen Caches auf?

0.5 pt

In order to reduce the latency of the L1 cache, a virtually indexed cache can be used. Which coherence problem arises when using a virtually indexed, physically tagged cache?

Erklären Sie, warum dieses Kohärenzproblem nicht auftritt, wenn die Größe des L1-Caches durch $W \times P$ begrenzt ist. W bezeichnet hierbei die Assoziativität des Caches und P die Größe der Seiten.

1.5 pt

Explain, why this coherence problem does not arise if the size of the L1 cache is limited to $W \times P$, where W is the associativity of the cache and P is the page size.

**Total:
12.0pt**

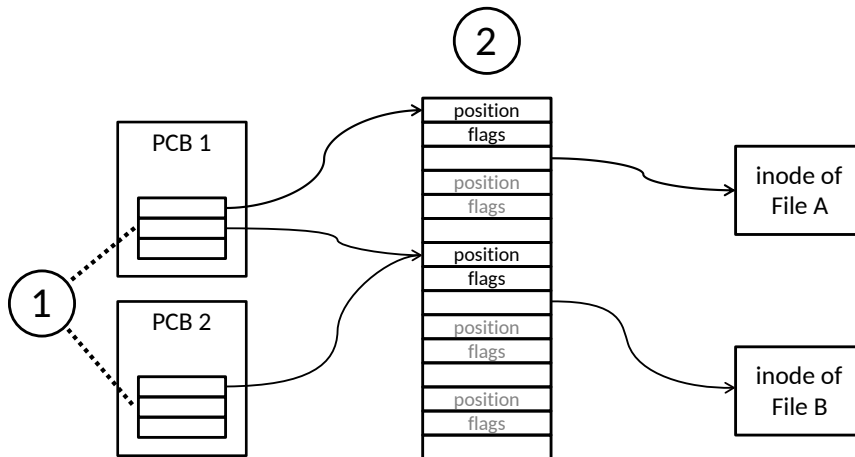
Aufgabe 5: I/O, Hintergrundspeicher und Dateisysteme

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

a) Die unten stehende Abbildung zeigt zwei Prozesse, die zwei Dateien geöffnet haben. Benennen Sie die beiden markierten Datenstrukturen, die zur Verwaltung offener Dateien benötigt werden.

1 pt

The following figure shows two processes which have opened two files. Name the two marked data structures which are necessary for managing open files.



① _____

② _____

Nennen Sie eine Information, die in dem „flags“-Feld in ② gespeichert wird.

0.5 pt

Name some information that is stored in the “flags” field in ②.

Die beiden oben dargestellten Prozesse teilen sich einen Eintrag in ②. Wie kann es auf einem Unix-System dazu kommen?

1 pt

The two processes pictured in the figure above share an entry in ②. How can this happen on a Unix system?

Ist es im abgebildeten System möglich, ausgehend von einem Eintrag in ① den Dateinamen der geöffneten Datei herauszufinden? Begründen Sie.

1 pt

In the system pictured above, is it possible to get the filename of an opened file starting from an entry in ①? Explain.

b) Anwendungen nutzen häufig Code ähnlich dem unten gegebenen, um ihre Dateien zu speichern.

Applications often use code similar to that in the snippet below for saving files.

```
1 /* open new temporary file */
2 fd = open("config.tmp", O_WRONLY | O_CREAT);
3 /* write new file contents */
4 write(fd, data, data_size);
5 /* close the temporary file */
6 close(fd);
7 /* replace the original file */
8 rename("config.tmp", "config.txt");
```

Nehmen Sie an, ein zweites Programm liest die Datei `config.txt` während des Speichervorgangs. Wie unterscheidet sich die Sicht auf den Dateinhalt, wenn die Speicherstrategie oben angewandt wird, anstatt direkt in die Ursprungsdatei `config.txt` zu schreiben?

2 pt

Assume that a second program reads the file `config.txt` during the save operation. Compare the resulting view of the file contents with an alternative saving implementation that writes directly to the original file `config.txt`.

Wegen eines Stromausfalls stürzt der Computer während des `rename`-Systemaufrufs ab, wodurch das Dateisystem in einen inkonsistenten Zustand gerät. Geben Sie zwei Möglichkeiten an, wie diese Inkonsistenzen aussehen könnten.

Hinweis: Überlegen Sie, welche Änderungen `rename` an Ordneinträgen und I-nodes durchführt.

2 pt

The computer crashes during the `rename` system call due to a power failure, leaving the file system in an inconsistent state. Give two examples of possible inconsistencies.

Hint: Consider how `rename` changes directory entries and inodes.

Mit welchem Mechanismus können solche Inkonsistenzen verhindert werden? Erklären Sie den Mechanismus kurz.

2 pt

Which mechanism could prevent these inconsistencies? Briefly explain the mechanism.

Vor der Speicheroperation wird ein Hardlink `config2.txt` angelegt, der auf `config.txt` zeigt. Welchen Dateiinhalt erhält ein Programm beim Auslesen von `config2.txt` nach der Speicheroperation? Erklären Sie.

1 pt

Before the save operation, the user creates a hardlink `config2.txt` pointing to `config.txt`. Which file contents would a program reading `config2.txt` obtain after the save operation? Explain.

c) Wofür steht die Abkürzung „DMA“?

0.5 pt

What does the abbreviation “DMA” stand for?

Ein Betriebssystem programmiert DMA-Geräte so, dass sie in den Speicher von Benutzerprogrammen schreiben. Begründen Sie, warum es dennoch möglich ist, den Adressraum während einer blockierenden I/O-Operation zu wechseln.

1 pt

An operating system programs DMA devices so that they write to the memory of user processes. Explain why it is still possible to switch the address space during a blocking I/O operation.

**Total:
12.0pt**