## 1. Prozesse & Threads (10 Punkte)

a) Erklären Sie den Unterschied zwischen Prozessen und Threads. **[4 P.]**

Der wesentliche Unterschied ist, dass Prozesse über einen eigenen Speicherbereich verfügen, während sich alle (zum gleichen Prozess gehörenden) Threads den (Prozess-) Speicherbereich teilen.

b) Unix-artige Systeme (darunter auch Linux) haben eine Standardmethode für das Erzeugen neuer Prozesse. Beschreiben Sie den Start eines neuen Prozesses: Welchen System Call verwenden Sie, welche Parameter und Rückgabewerte hat er, und welche Bedeutungen haben diese? **[2 P.]**

Neue Prozesse erzeugt man durch „Forken", also mit fork().
Parameter: keine
Rückgabewert: Eine Prozess-ID pid; der Vaterprozess erhält die PID des neuen (Sohn-) Prozesses zurück, der Sohn-Prozess erhält 0 zurück. Im Fehlerfall (Prozesserzeugung gescheitert) ist der Rückgabewert -1.

c) Linux verwendet das POSIX-Thread-Modell für die Thread-Programmierung. Schreiben Sie in Pseudo-Code (darf wie ein C- oder wie Python-Programm „aussehen") ein kleines Programm, das zwei Threads erzeugt, die beide „Hello World" ausgeben. Das Programm soll erst beendet werden, wenn beide Threads beendet sind. **[2 P.]**

```
void *helloworld () {
  printf ("Hello World \n");
}
pthread_t thread[2];
for (i=0; i<2; i++) { pthread_create (&thread[i], NULL, helloworld, NULL); };
for (i=0; i<2; i++) { pthread_join (&thread[i], NULL); };
```

Threads, die mit pthread_create erzeugt werden, starten direkt – es gibt keine Funktion namens pthread_start(), pthread_run() etc.

d) Wie unterscheiden sich allgemein User- und Kernel-Level-Threads und welche Vor- und Nachteile sind damit jeweils verbunden? **[2 P.]**

Kernel-Level-Threads sind dem Kernel bekannt, genau wie Prozesse laufen sie über den Scheduler des Kernels. Im Gegensatz dazu kennt der Kernel User-Level-Threads nicht; hier sind (Thread-) Bibliotheksfunktionen für Erzeugen und Scheduling der Threads verantwortlich.

KL-Threads verursachen hohen Aufwand bei Kontext-Switches (Umschalten in den Kernel-Mode), dafür ermöglichen sie aber, dass etwa ein Thread mit I/O blockiert ist, während andere Threads (des gleichen Prozesses) weiter laufen können.
UL-Threads müssen beim Thread-Wechsel nicht in den Kernel-Mode schalten (der OS-Scheduler hat damit nichts zu tun), dafür blockiert im I/O-Fall aber der gesamte Prozess.

## 2. Prozess-Zustände (5 Punkte)

a) Nennen und erklären Sie die drei wichtigsten Zustände, zwischen denen Prozesse (und auch Threads) hin und her wechseln. **[3 P.]**

running / laufend: Der Prozess läuft gerade (hat eine CPU erhalten, die seinen Code ausführt)

ready / bereit: Der Prozess ist ausführbereit – es fehlt ihm nur eine CPU

sleeping / schlafend: Der Prozess schläft. Um wieder bereit zu werden, muss ein Ereignis eintreten (z. B. Abschluss einer I/O-Operation, nach der er aufgeweckt wird). (User-Level-Threads können natürlich nicht schlafen; Kernel-Level-Threads schon.)

b) Neben den drei Standard-Zuständen gibt es noch weitere. Beispielsweise „ausgelagert / swapped". Ein Prozess habe drei (POSIX-) Threads erzeugt. Der Prozess ist im Zustand „ready", alle drei Threads sind im Zustand „ausgelagert" – warum kann das nicht sein? **[2 P.]**

Einen Thread auszulagern, *würde* bedeuten, seine Speicherseiten auf Platte zu schreiben und aus dem Speicher zu entfernen – Threads haben aber keinen eigenen Speicher, es müsste also der Prozessspeicher ausgelagert werden. Dann wäre der Prozess im Zustand „ausgelagert" und nicht im Zustand „ready".

## 3. Interrupts (12 Punkte)

a) Nennen Sie – im Umgang mit an einen Computer angeschlossener Hardware – eine Alternative zur Verwendung von Interrupts, und erläutern Sie, warum Interrupts deutliche Verbesserungen bei Performance und Einfachheit der Programmierung liefern. **[4 P.]**

Die Alternative heißt „Polling": Das Betriebssystem wartet nicht auf einen Interrupt vom Gerät, sondern fragt den Gerätestatus regelmäßig ab und handelt dann entsprechend der erhaltenen Statusinformationen.

Beim Polling befindet sich das OS in einer ständigen Schleife, die viele unnütze Anfragen an die Hardware stellt; diese Rechenzeit geht den Prozessen verloren. Jeder Gerätetreiber muss eine weitere solche Endlosschleife im System etablieren.

b) Während der Bearbeitung eines Interrupts kommt es zu einem weiteren Interrupt. Bei der Implementierung eines Betriebssystems haben Sie verschiedene Möglichkeiten, eine solche Situation zu behandeln. Nennen Sie zwei davon und erläutern Sie Vor- und Nachteile. **[4 P.]**

1. „verschachtelte" Interrupts nicht zulassen; Interrupts landen dann in einer Warteschleife und werden erst abgearbeitet, wenn der aktuell behandelte Interrupt komplett verarbeitet wurde. Vorteil: Das ist einfach. Nachteil: Manche Interrupts sind wichtiger als andere, müssen aber trotzdem auf die (vielleicht viel Zeit benötigende) Fertigstellung der letzten Interrupt-Bearbeitung warten.

2. Interrupt-Prioritäten: Jedem Interrupt wird eine Priorität zugeordnet. Solche mit höherer Priorität können aktuell bearbeitete Interrupts mit niedrigerer Priorität unterbrechen. Nach Abarbeitung des höher priorisierten Interrupts geht es mit dem unterbrochenen Interrupt mit niedrigerer Priorität weiter. Vorteil: Wichtige Dinge werden sofort erledigt. Nachteil: Aufwendigere Implementierung, Interrupt-Handler müssen mit Unterbrechungen umgehen können.

c) Linux teilt Interrupt-Behandlungsroutinen (Interrupt Handler) in zwei Teile auf, eine *top half* und eine *bottom half* (auch *Tasklet* genannt). Wie unterscheiden sich top und bottom half, und warum führt man diese Trennung ein? **[4 P.]**

Die top half ist der eigentliche Interrupt Handler, der vom OS beim Auftreten eines Interrupts aktiviert wird. Er führt nur die wichtigsten (zeitkritischen) Dinge durch, etwa Abfragen eines Gerätestatus und Rücksetzen des Geräts („Rückmeldung: Ich habe Deinen Interrupt gesehen und bearbeitet").

Die bottom half (Tasklet) führt die restlichen Schritte durch, die nicht zeitkritisch sind und darum nicht in der top half stattfinden.

Der Sinn der Trennung ist, möglichst schnell den eigentlichen Interrupt Handler zu beenden, um (im Fall der Deaktivierung von weiteren Interrupts) Interrupts wieder zuzulassen.

## 4. System calls (6 Punkte)

a) Was ist ein Dateideskriptor und wie „erzeugen" Sie ihn? **[2 P.]**

Dateideskriptor ist ein Identifier für eine geöffnete Datei, der von allen Dateioperationen (Lesen, Schreiben, Schließen, Seek etc.) benutzt wird.

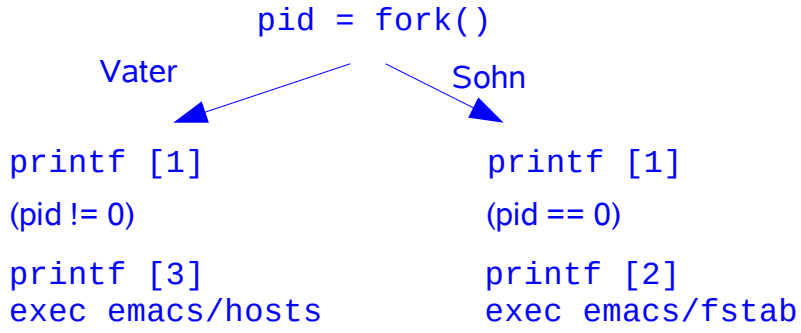
Erzeugen durch Öffnen der Datei: `fd = open (...);` `fd = creat (...);`

b) Betrachten Sie den folgenden Programmausschnitt:

```
...
int pid = fork();
printf ("%s\n","[1] Zeit für eine Fallunterscheidung");
if (pid) {
  printf ("%s\n","[2] Ich starte jetzt emacs/fstab");
  execl ("/bin/emacs", "/etc/fstab", (char *)NULL);
} else {
  printf ("%s\n","[3] Ich starte jetzt emacs/hosts");
  execl ("/bin/emacs", "/etc/hosts", (char *)NULL);
};
printf ("%s\n","[4] Zwei Editoren erfolgreich gestartet");
int pid2 = fork();
printf ("%s\n","[5] Einer geht noch...");
execl ("/bin/emacs", "/etc/resolv.conf", (char *)NULL);
printf ("%s\n","[6] Jetzt läuft auch der dritte.");
```

Wie viele Editoren startet dieses Programm? Welche Meldungen gibt es – wie oft – auf der Konsole aus? (Die Ausgaben sind mit [1] bis [5] durch nummeriert; geben Sie nur die Nummern der Meldungen aus, die auf der Konsole erscheinen.) **[4 P.]**

Das Programm startet zwei Editoren:




Und es gibt nur [1], [1], [2], [3] aus.

Der Teil ab Ausgabe [4] (also auch der zweite fork) wird nie ausgeführt, weil nach dem ersten fork() sowohl Sohn als auch Vater nach den ersten Ausgaben mit exec() ein anderes Programm nachladen.

## 5. Scheduling-Verfahren (Uni-Prozessor) (10 Punkte)

a) Aus der Vorlesung kennen Sie die Schedulung-Verfahren FCFS (First Come First Served), Shortest Job First (SJF) und Shortest Remaining Time Next (SRT).

Es gebe die folgenden vier Prozesse mit den angegebenenen Ankunftszeiten und Gesamtrechenzeiten:

| Prozess | Ankunft | Rechenzeit |
|---|---|---|
| P | 0 | 10 |
| Q | 4 | 5 |
| R | 5 | 10 |
| S | 6 | 1 |

Für First Come First Served sieht die Ausführreihenfolge wie folgt aus:

| **Zeit** | 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 | 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 | 0 1 2 3 4 5 6 7 20 |
|---|---|---|---|
| **FCFS** | P P P P P P P P P P | Q Q Q Q Q R R R R R | R R R R R S |
| **SJF** | **P** P P P P P P P P P | **S** **Q** Q Q Q Q **R** R R R | R R R R R R |
| **SRT** | **P** P P P **Q** Q **S** **Q** Q Q | **P** P P P P P **R** R R R | R R R R R R |

Ergänzen Sie für SJF und SRT (hier auf dem Blatt) die Ausführreihenfolgen. **[2 P.]**

b) Beim *Round-Robin*-Scheduling-Verfahren gibt es die Empfehlung, das Zeitquantum (nach dem ein Prozesswechsel erfolgt) etwas größer zu wählen als die typische Zeit, die zum Abarbeiten einer Interaktion nötig ist. Warum? **[2 P.]**

Weil dann (die Reaktion auf) eine Interaktion komplett in einem Quantum abgearbeitet werden kann und das System schnell auf die Eingabe etc. reagiert. Ist das Quantum kleiner, wird der interaktive Prozess unterbrochen.

c) Erläutern Sie den Begriff *Prioritätsinversion*, der im Zusammenhang mit Prioritäten-Schedulern auftaucht. Wie kann man verhindern, dass er zu Prioritätsinversion kommt? **[4 P.]**

Prioritätsinversion bedeutet: Ein Prozess mit hoher Priorität ist blockiert, wartet auf einen Prozess mit niedrigerer Priorität – letzterer kommt aber nie dran, weil immer höher-priore Prozesse laufen.

Eine Möglichkeit, das zu verhindern, ist die dynamische Anpassung der Prioritäten: Je länger ein Prozess (auf die CPU) warten muss, desto höher wird seine Priorität.

d) Was ist die Grundidee des *Fair-Share-Scheduling*? **[2 P.]**

Jeder Anwender soll seinen „gerechten" Anteil an der Rechenzeit der CPU(s) erhalten. Die Rechenzeit wird also nicht gleichmäßig auf alle Prozesse aufgeteilt, sondern die Prozesse bilden Prozessgruppen, und jede Gruppe (die z. B. einen Anwender repräsentiert) erhält den gleichen Anteil.

## 6. Scheduling-Verfahren (Multi-Prozessor) (4 Punkte)

a) Erläutern Sie das Konzept des *Gang-Scheduling*. **[2 P.]**

Auf einem System mit mehreren CPUs kann ein Prozess, der aus mehreren Threads besteht, immer so geschedult werden, dass alle Threads gleichzeitig eine CPU erhalten, also echt parallel rechnen.

b) Linux verwendet seit Kernel-Version 2.6 einen O(1)-Scheduler. Erläutern Sie, worauf sich hier die Bezeichnung O(1) bezieht. Wie findet der Linux-Scheduler den nächsten auszuführenden Prozess? **[2 P.]**

Die Zeit, die der Scheduler benötigt, um den nächsten Prozess zu finden, dem er die CPU zuteilt, ist unabhängig von der Anzahl der Prozesse im System; sie ist konstant.

Um den nächsten auszuführenden Prozess zu finden, durchsucht er zunächst ein Bitfeld, das für jede der 140 Prioritätsstufen eine „1" enthält, wenn es einen Prozess mit dieser Priorität gibt (sonst „0"). Dann nimmt er aus der höchsten Prioritätsstufe (mit „1" im Bitfeld) den ersten Prozess in der Warteschlange für diese Priorität.

## 7. Seitenersetzung (5 Punkte)

a) In der Vorlesung haben Sie verschiedene Seitenersetzungsstrategien kennen gelernt. Eine davon wurde als „optimale Strategie" vorgestellt, aber als nicht implementierbar verworfen. Beschreiben Sie die optimale Strategie und begründen Sie, warum diese nicht implementierbar ist. **[2 P.]**

Die optimale Strategie ist: Die Seite ersetzen, die am längsten nicht neu angefordert wird.

Das ist nicht implementierbar, weil die Zukunft nicht bekannt ist – es gibt keine Möglichkeit, herauszufinden, welche Seite das sein wird.

b) Wenn Sie die Strategien LRU (least recently used) und FIFO (first in, first out) vergleichen, führt eine davon in der Regel zu weniger Page Faults. Warum? **[3 P.]**

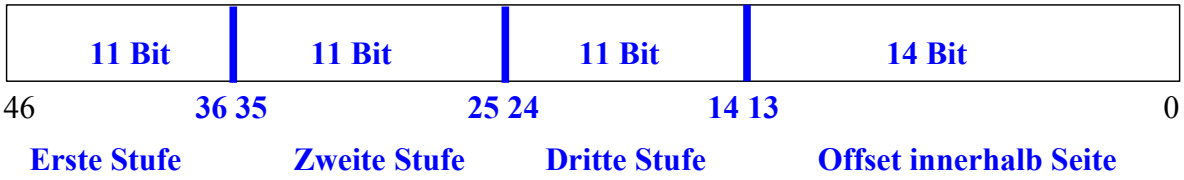
LRU verursacht i.d.R. weniger Page Faults. Das liegt an dem Lokalitätsprinzip: Nach dem Zugriff auf eine Seite ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass kurzfristig nochmals darauf zugegriffen wird.

## 8. Virtuelle Adressen (6 Punkte)

Eine CPU arbeitet mit folgenden Werten:

- Seitengröße: 16 KByte
- 47 Bit lange virtuelle Adressen
- 3-stufiges Paging; alle Seitentabellen sind gleich groß
- Seitentabelleneinträge sind 8 Byte lang

a) Wie ist eine virtuelle Adresse aufgebaut (welche Bits der Adresse haben welche Bedeutung)?




16 KByte sind 2^14 Byte, also ist der relative Offset innerhalb einer Seite 14 Bit.

47 Bit – 14 Bit = 33 Bit, darum 33 Bit / 3 = 11 Bit pro Seitentabelle

Zeichnen Sie die die Unterteilung hier auf dem Blatt ein und beschriften Sie die Abschnitte geeignet.

b) Wie viele Seitentabellen der verschiedenen Stufen gibt es? Wie groß sind diese Tabellen?

Auf der ersten Stufe gibt es eine Tabelle mit 2^11 = 2048 Einträgen.

Auf der zweiten Stufe gibt es 2^11 = 2048 Tabellen mit je 2048 Einträgen.

Auf der dritten Stufe gibt es 2^22 = 2048^2 = 4194304 Tabellen mit je 2048 Einträgen.

Jede Tabelle belegt 2048 * 8 Byte = 16 KByte, also genau eine Seite.

## 9. Speicher / Dateisysteme (5 Punkte)

In den Kapiteln zu Speicherverwaltung und zu Dateisystemen haben Sie mehrere Ähnlichkeiten in den Problemstellungen und Lösungen gesehen, beispielsweise sind die Konzepte mehrstufiger Indirektionsblöcke (Dateisystem) und mehrstufigen Pagings (Speicherverwaltung) verwandt.

a) Erläutern Sie kurz die Konzepte „Indirektionsblöcke“ und „mehrstufiges Paging“ und begründen Sie, warum es sich um verwandte Ansätze handelt. **[3 P.]**

In beiden Verfahren sind mehrstufige Zugriffe auf Adressen (auf Platte oder im Speicher) nötig:

Indirektion: Inode enthält nicht Adressen der Datenblöcke, sondern Adressen von Blöcken, die wiederum die Adressen der Datenblöcke enthalten (mehrfache Indirektion: mehrfach verschachtelt)

Mehrstufiges Paging: Um eine virtuelle Speicheradresse aufzulösen, muss man mehreren Einträgen in verschachtelten Seitentabellen folgen, bis man schließlich die physikalische Adresse des Seitenrahmens erhält.

b) Geben Sie zwei weitere Beispiele für die Verwandtschaft der beiden Themen. **[2 P.]**

Upps. Hier ging's um die Verwandtschaft von Speicherverwaltung und Dateisystemen (das ist aber aus der Aufgabenstellung nicht klar).

1. Zusammenhängende vs. nicht zusammenhängende Verwaltung gibt es auch in beiden Gebieten, inklusive interner / externer Fragmentierung.

2. Thrashing gibt es auch in beiden Gebieten.

## 10. Synchronisation (14 Punkte)

a) Was ist ein Mutex? **[2 P.]**

Ein Mittel zur Prozess-/Thread-Synchronisation, das gegenseitigen Ausschluss (mutual exclusion) gerantiert. Man schützt damit kritische Bereiche, die stets nur von einem Prozess/Thread betreten werden dürfen.

b) Der Linux-Kernel verwendet „Spin Lock“ genannte Mutexe. Diese Spin Locks legen sich nicht schlafen. Inwiefern hat das Auswirkungen auf die Verwendbarkeit innerhalb von Interrupt-Handlern? **[4 P.]**

Da Spin Locks nicht schlafen, darf man sie in Interrupt-Handlern benutzen. Interrupt-Handler sind keine Prozesse und dürfen sich darum nicht schlafen legen – es gäbe danach keine Möglichkeit, sie zu wecken.

c) Beschreiben Sie das Erzeuger-Verbraucher-Problem und skizzieren Sie mit Hilfe von Pseudo-Programm-Code eine Semaphor-basierte Lösung. (Verwenden Sie wahlweise eine an C oder an Python erinnernde Syntax; exakte Befehlsnamen etc. sind irrelevant.) **[8 P.]** *[zu viele Punkte]*

```
const N=4;              // maximale Anzahl Speicherplätze
int sem_write=N;        // Initialisierung der Semaphore
int sem_read=0;

while(1) {              // Prozess Producer
  wait (sem_write);
  write (value);        // Schreibzugriff auf Speicher
  signal (sem_read);
}

while(1) {              // Prozess Consumer
  wait (sem_read);
  read (value);
  signal (sem_write);
}
```

## 11. Dateisysteme (7 Punkte)

a) Welche Aufgabe hat unter Linux das Virtual Filesystem? **[2 P.]**

Es bildet eine Abstraktionsschicht, hinter der sich die unterschiedlichen Eigenschaften der verschiedenen konkreten Dateisysteme verbergen. So rufen Anwendungen (und auch alle Teile des Betriebssystems außer den Dateisystem-funktionen selbst) einheitliche Funktionen für den Dateizugriff auf, ohne sich über das jeweilige konkrete Dateisystem Gedanken machen zu müssen.

b) Journaling verlangsamt den Zugriff auf ein Dateisystem, weil zusätzlicher Aufwand betrieben wird. Sind davon Lese- oder Schreibzugriffe oder beide betroffen? Warum nimmt man den Performance-Verlust hin? **[2 P.]**

Es sind nur Schreibzugriffe betroffen; beim Lesen fällt kein Overhead für Journaling an.

Man nimmt den Performance-Verlust hin, weil die Dateisystem-Integrität gesichert wird.

c) Freie Blöcke eines Dateisystems muss man sich in einer Datenstruktur merken. Skizzieren Sie kurz zwei Möglichkeiten, diese Informationen effizient zu speichern. (Effizienz bedeutet dabei u.a., dass aus Geschwindigkeitsgründen für den Zugriff i.d.R. ein Zugriff auf Daten im Hauptspeicher ausreichen sollte.) **[3 P.]**

Bitmap: Jedes Bit in einer Bitmap repräsentiert einen Block. Frei = 0-Bit, Belegt = 1-Bit (oder anders rum)

Liste mit Tupeln (Anfang, Länge), gibt die freien Blöcke an.

## 12. Segmentierung (7 Punkte)

a) Erklären Sie, was Segmentierung ist. Wie funktioniert im Fall von Segmentierung die Adressübersetzung? Zeichnen Sie eine Skizze, aus der man ableiten kann, wie die Adresse in eine physikalische Adresse übersetzt wird. **[4 P.]**

Segmente sind logische Speicherbereiche, die jeweils ab 0 nummeriert sind. Adressen bestehen aus einer Segmentnummer und einer relativen Adresse innerhalb des Segments.

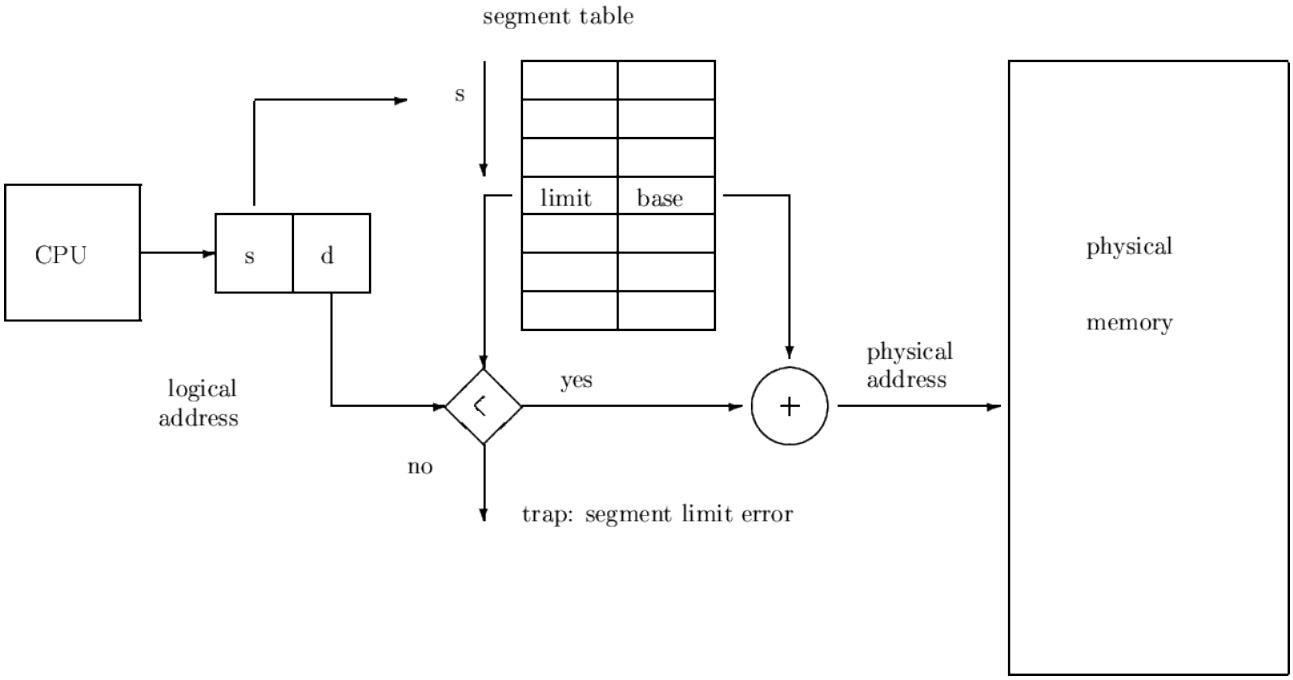



Bild: http://www.sci.csuhayward.edu/~billard/cs4560/img201.png

b) Nennen Sie zwei Vorteile, die sich aus der Verwendung von Segmenten ergeben. **[2 P.]**

1. Segmente können evtl. von mehreren Prozessen gemeinsam genutzt werden, z. B. das Code-Segment für zwei Prozesse, die das gleiche Programm ausführen.

2. Segmente erlauben eine eindeutige Trennung von Code- und Datenbereich, so ist beispielsweise kein Sprung an eine Daten-Adresse oder das Überschreiben des Programmcodes (im Code-Segment) möglich, wenn die Zugriffsrechte für die Segmente richtig gesetzt sind.

c) Warum kann ein Betriebssystem, das mit Segmentierung (ohne Paging) arbeitet, keine Programme ausführen, deren Speicherbedarf größer als der physikalisch vorhandene Speicher ist? **[1 P.]**

Segmente stehen immer vollständig im Speicher oder sind ausgelagert. Ein Programm, das größer als der Hauptspeicher ist, würde ein Code-Segment benötigen, das größer als der Hauptspeicher ist, kann sich also nie im Hauptspeicher befinden (es wäre auf ewig ausgelagert bzw. das OS würde den Start eines solchen Prozesses ablehnen).