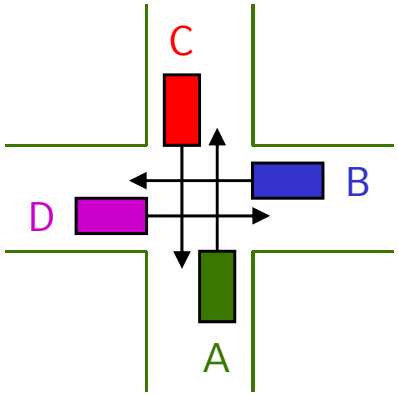
2.2 Prozesse

- Prozess-Scheduling
  - Scheduler:
    - („Faire“) Zuteilung eines Prozesses an den Prozessor
    - (Entscheidung über Swapping)
  - Scheduling-Verfahren
    - ***Round Robin*** (einfach und häufig verwendet)
      - Wartende Prozesse in einer (FIFO-) Warteschlange organisieren
      - Jeder Prozess hat für eine bestimmte Zeitspanne die CPU
      - Danach wird Prozess gegebenenfalls wieder in Warteschlange eingefügt
      - Zyklisches Abarbeiten der Warteschlange
    - ***Prioritäts-Scheduling***
      - Jedem Prozess ist eine Priorität zugeordnet
      - Prozess mit höchster Priorität bekommt den Prozessor zugeordnet
    - ***Shortest-Job-First***
      - Prozess mit der kürzesten Laufzeit bekommt Prozessor zugewiesen

2.3 Prozessverwaltung

- Probleme der Parallelität beim Multiprogramming
  - Parallel ablaufende Prozesse können voneinander abhängig sein
  - Um fehlerhaftes Verhalten zu verhindern müssen die Prozesse geeignet koordiniert werden
    - Beispiel für fehlerhaftes Verhalten: Verklemmung (***Deadlock***)
      - Ein Deadlock ist die dauerhafte Blockierung einer Menge M von Prozessen, die eine Menge S gemeinsamer Systemressourcen nutzen oder miteinander kommunizieren (|M|>1, |S|>1)
      - Anschauliches Beispiel: 4 Fahrzeuge gleichzeitig an einer Rechts-vor-Links Kreuzung



A wartet auf B
B wartet auf C
C wartet auf D
D wartet auf A

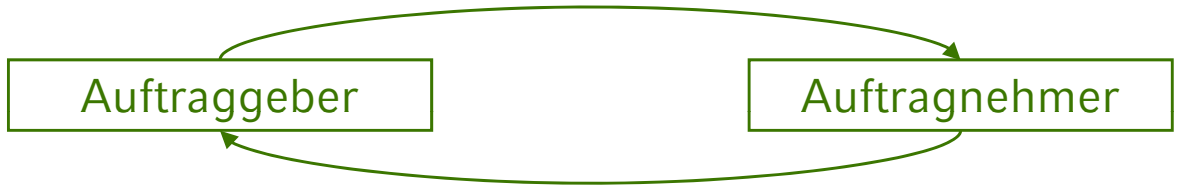
⇒ daher notwendig: ***Prozessverwaltung*** (***Prozess-Synchronisation***)

2.3 Prozessverwaltung

- Grundmuster der Prozess-Synchronisation
  - Prozesskooperation (hier nur kurz besprochen)
  - Wechselseitiger Ausschluss (hier etwas genauer besprochen)

- Prozesskooperation
  - Prozesse können zusammenarbeiten
  - Operationen eines Prozesses können voraussetzen, dass gewisse Operationen in anderen Prozessen erledigt sind
  - Grundmuster
    - Erzeuger-Verbraucher-Schema

    - Auftraggeber-Auftragnehmer-Schema



2.3 Prozessverwaltung

- Wechselseitiger Ausschluss
  - Parallel abgearbeitete Prozesse können sich gegenseitig beeinflussen
  - Beispiel: Flugbuchung
    - Algorithmus zur Reservierung von n Plätzen

```
algorithmus Reservierung
variables   n, anzpl : Nat
begin
        …
        while Buchung noch nicht abgeschlossen do {
                n = Anzahl der zu buchenden Plätze;
                anzpl = aktuelle Anzahl der freien Plätze;
                if anzpl ≥ n
                then anzpl um n verringern;
                else STOP mit Auskunft „Ausgebucht“;
                Reservierung bestätigen;
                Frage: ist Buchung abgeschlossen;    // Ja: Verlassen der while Schleife
        }
        …
end
```

2.3 Prozessverwaltung

- Variable anzpl gibt zu jedem Zeitpunkt die Anzahl noch verfügbarer Plätze an
- Zwei parallel ablaufende Prozesse A und B, die jeweils 2 Plätze buchen wollen, führen den Algorithmus aus zum Zeitpunkt anzpl = 3
- Möglicher Ablauf:

Prozess A		Prozess B	Wert der Variablen anzpl
anzpl ≥ n (3 ≥ 2) ?			3
	Prozesswechsel →		
		anzpl ≥ n (3 ≥ 2) ?	3
		anzpl um n=2 verringern	1
		Reservierung bestätigen	1
	Prozesswechsel ←		
anzpl um n=2 verringern			-1
Reservierung bestätigen			-1

2.3 Prozessverwaltung

- Effekt: es wurden 4 Plätze vergeben, obwohl nur noch 3 Plätze frei waren
- Wie ist das zu verhindern?
  - Im Algorithmus Reservierung gibt es einen Bereich, der „kritisch“ ist

    if anzpl ≥ n
    then anzpl um n verringern
    else STOP mit Auskunft „Ausgebucht“
    Reservierung bestätigen

  - Gleichzeitige Ausführung dieses ***kritischen Bereiches*** eines Algorithmus durch mehrere verschiedene Prozesse muss verhindert werden
  - ***Wechselseitiger Ausschluss***:

    „Keine zwei Prozesse befinden sich gleichzeitig in ein und dem selben kritischen Bereich“

2.3 Prozessverwaltung

- Kritischer Bereich
  - Ein ***kritischer Bereich*** ist ein Programm(stück), das auf gemeinsam benutzte Ressourcen (globale Daten, Dateien, bestimmte E/A-Geräte, ...) zugreift oder den Zugriff darauf erfordert.
  - Die Ressource wird entsprechend ***kritische Ressource*** genannt

    ⇒ Aufteilung von Programmen in kritische und unkritische Bereiche

- Wechselseitiger Ausschluss
  - Solange ein Prozess sich in einem kritischen Bereich befindet, darf sich kein anderer Prozess in diesem kritischen Bereich befinden!

2.3 Prozessverwaltung

- Anforderungen an den wechselseitigen Ausschluss
  1. *mutual exclusion*
     zu jedem Zeitpunkt darf sich höchstens ein Prozess im kritischen Bereich befinden
  2. *progress – no deadlock*
     wechselseitiges Aufeinanderwarten muss verhindert werden
     Beispiel: Prozesse A und B; kritische Ressourcen a und b;
     A belegt a,
     B belegt b,
     B möchte a belegen ⇒ muss auf A warten
     A möchte b belegen ⇒ muss auf B warten
     ⇒ Deadlock !!!
  3. *bounded waiting – no starvation*
     bei 3 Prozessen A, B, C könnten sich z.B. A und B in der Nutzung einer kritischen Ressource immer abwechseln
     ⇒ C müsste beliebig lange warten („***Verhungern***“, ***starvation***) !!!

2.3 Prozessverwaltung

- Wie können Prozesse miteinander kommunizieren?
  - Zur Realisierung des wechselseitigen Ausschlusses wäre es nützlich, wenn Prozesse untereinander (z.B. Infos über kritische Bereiche) kommunizieren könnten
  - Bisheriges Konzept, um Daten (=Informationen) zu verwalten/auszutauschen: Variablen
  - Problem:
    - Unsere Variablen waren streng genommen „***lokale***“ Variablen, die nur innerhalb des Programms (und damit innerhalb eines entspr. Prozesses) bekannt sind
    - Selbst wenn zwei Prozesse den selben Algorithmus ausführen, gibt es für jede Variable zwei unterschiedliche Versionen, d.h. jeder Prozess kann nur seine eigenen „Zettel“ lesen bzw. schreiben

    (Lokale Variablen sind in der Tat Speicheradressen, auf die nur der Prozess, der sie „vereinbart“ hat, zugreifen kann)

2.3 Prozessverwaltung

- Lösung: Variablen, die allen Programmen/Prozessen bekannt sind, d.h. „Zettel“ (Variablen), die von allen Prozessen gelesen/geschrieben werden können
- Diese Variablen sind ***globale Variablen***

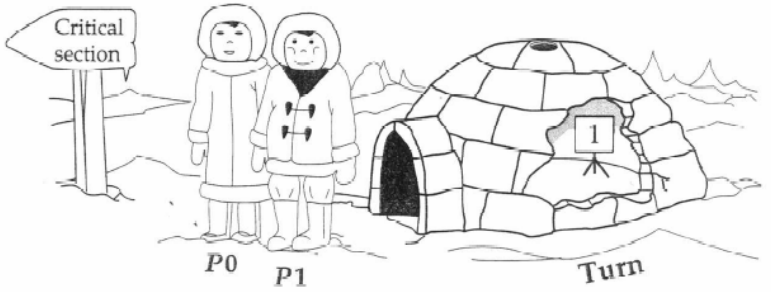
  (= Speicheradressen, auf die alle Prozesse zugreifen können)
- Wenn wir globale Variablen verwenden, wird das vor der Beschreibung eines Algorithmus gekennzeichnet
- Falls Variablen nicht explizit als global gekennzeichnet sind, sind sie als lokal zu betrachten

- Im folgenden sagen wir, eine globale Variable ist ***geschützt***, wenn sie nur durch festgelegte (typischerweise nicht näher spezifizierte) Instanzen (z.B. dem Prozess-Scheduler) veränderbar ist

  (geschützte globale Variablen sind also von allen Prozessen lesbar aber möglicherweise nur von bestimmten Instanzen schreibbar)

2.3 Prozessverwaltung

- Lösung nach Dekker (ca. 1965)
  - Prinzip:
    - globale, geschützte Variable `turn` zeigt an, welcher Prozess in kritischen Bereich eintreten darf
    - nur wenn Variable den Wert des entsprechenden Prozesses enthält, darf dieser Prozess in den kritischen Bereich
    - Nach Verlassen des kritischen Bereichs wird die Variable durch den Scheduler auf den Wert des anderen Prozesses gesetzt
    - Schema:




```
Prozess P0                    Prozess P1

…                             …
while turn <> 0               while turn <> 1
  do { nothing };               do { nothing };
< kritischer Bereich >;       < kritischer Bereich >;
turn = 1;                     turn = 0;
…                             …
```

2.3 Prozessverwaltung

- Probleme:
  - Prozesse können nur abwechselnd in den kritischen Bereich eintreten.
    Auch bei Erweiterung auf $n>1$ Prozesse (dann würde `turn` Werte von 0 bis $n-1$ annehmen) wäre die Reihenfolge des Eintritts in den kritischen Bereich festgeschrieben.
  - Terminiert ein Prozess (im unkritischen Bereich), so kann der andere nur noch einmal in den kritischen Bereich eintreten. Bei allen weiteren Versuchen, in den kritischen Bereich einzutreten würde er dann blockiert werden

  => *progress*-Eigenschaft wird verletzt!

2.3 Prozessverwaltung

– Beispiel: Flugbuchung mit nur zwei Prozessen (d.h. es dürfen nur zwei Reisebüros weltweit gleichzeitig Flüge buchen)

Prozess 0

```
...
while Buchung nicht abgeschlossen do {
    n = Anzahl der zu buchenden Plätze;
    anzpl = aktuelle Anzahl der freien Plätze;
    while turn <> 0 do { nothing; }
    if anzpl ≥ n
    then anzpl um n verringern;
    else STOP mit Auskunft „Ausgebucht“;
    Reservierung bestätigen;
    turn = 1;
    Frage nach weiterer Buchung;
}
...
```

Prozess 1

```
...
while Buchung nicht abgeschlossen do {
    n = Anzahl der zu buchenden Plätze;
    anzpl = aktuelle Anzahl der freien Plätze;
    while turn <> 1 do { nothing; }
    if anzpl ≥ n
    then anzpl um n verringern;
    else STOP mit Auskunft „Ausgebucht“;
    Reservierung bestätigen;
    turn = 0;
    Frage nach weiterer Buchung;
}
...
```

- Problem: wenn z.B. Prozess 0 endet (keine weiteren Buchungen), kann Prozess 1 nur noch eine weitere Buchung machen

2.3 Prozessverwaltung

- HW-Lösung: Unterbrechungsvermeidung
  - bei Einprozessorsystemen können Prozesse nicht echt parallel ausgeführt werden
  - Prozesswechsel während des Aufenthalts im kritischen Bereich verursacht die Probleme
  - Idee: Unterbrechungen (Prozesswechsel) im kritischen Bereich ausschließen
  - Muster:

```
…
< unkritischer Bereich >;
ab hier: verbiete Prozesswechsel (Unterbrechungen);
< kritischer Bereich >;
ab hier: erlaube Prozesswechsel (Unterbrechungen);
< unkritischer Bereich >;
…
```

Funktioniert nicht bei Multiprozessorsystemen !!! (Warum?)

2.3 Prozessverwaltung

- Beispiel: Flugbuchung

```
algorithmus Reservierung
    variables n, anzpl : Nat
    begin
        …
        while Buchung nicht abgeschlossen do {
            n = Anzahl der zu buchenden Plätze;
            anzpl = aktuelle Anzahl der freien Plätze;

            ab hier: verbiete Prozesswechsel/Unterbrechungen;

            if anzpl ≥ n
            then anzpl um n verringern;
            else STOP mit Auskunft „Ausgebucht“;
            Reservierung bestätigen;

            ab hier: erlaube Prozesswechsel/Unterbrechungen;

            Frage nach weiterer Buchung;
        }
        …
end
```

2.3 Prozessverwaltung

- Semaphore
  - Semaphore sind spezielle globale Variablen, die Signale zwischen Prozessen übertragen
  - Ein Semaphor kann entweder
    - Werte 0 oder 1 annehmen ⇒ binäres Semaphor

    oder
    - beliebige **Int**-Werte annehmen ⇒ Zählsemaphor
  - Zusätzlich wird von einem Semaphor noch eine Menge von Prozessen verwaltet (in einer Warteschlange)
  - Als Datenstruktur bietet sich für Semaphore der Record-Typ an
    - Wir müssen zwei Werte von unterschiedlichem Typ verwalten
      - Einen Wert aus {0,1} bzw. **Int**
      - Eine Menge von Prozessen (z.B. deren Ids als **Nat**)

2.3 Prozessverwaltung

- Record-Typ **BinarySemaphore**

```
RECORD BinaerSemaphor =
(
   value : {0,1},
   queue : NatList,        // Liste von ProzessIDs
)
```

- Record-Typ **Semaphore**

```
RECORD ZaehlSemaphor =
(
   value : Int,
   queue : NatList,        // Liste von ProzessIDs
)
```

2.3 Prozessverwaltung

- Realisierung eines Semaphors:
  - Ein Semaphor speichert also zwei Informationen:
    - Der Wert des Semaphors
    - Eine Liste von blockierten Prozessen (bzw. deren IDs in einer FIFO-Warteschlange)

      Eine FIFO (First-In-First-Out) Warteschlange ermöglicht
      - » Ein Objekt (hier: Prozess) an das Ende der Liste anzufügen
      - » Das erste Objekt aus der Liste zu entnehmen
      - » Damit kann immer nur das Objekt entnommen werden, das am längsten in der Liste „wartet“
  - Operationen auf Semaphor s:
    - `init`(s, Anfangswert) setzt s.value auf den Anfangswert
    - `wait`(s) versucht s.value zu dekrementieren; ein negativer Wert (bzw. „0“ bei einem binären S.) blockiert `wait`
    - `signal`(s) inkrementiert s.value; ggfs. wird dadurch die Blockierung von `wait` aufgehoben

2.3 Prozessverwaltung

Binäres Semaphor

Initialisierung	**algorithmus** init
	input s: BinarySemaphore, initialvalue: {0,1}
	begin
	s.value = initialvalue;
	end

Wait	**algorithmus** wait
	input s: BinarySemaphore
	begin
	if s.value = 1
	then s.value := 0;
	else
	blockiere Prozess und plaziere ihn in s.queue;
	end

Signal	**algorithmus** signal
	input s: BinarySemaphore
	begin
	if s.queue ist leer
	then s.value := 1;
	else
	entnehme einen Prozess aus s.queue;
	end

2.3 Prozessverwaltung

Zählsemaphor

Initialisierung

```
algorithmus init
  input s: Semaphore, initialvalue: Int
  begin
        s.value = initialvalue;
  end
```

Wait

```
algorithmus wait
  input s: Semaphore
  begin
        s.value := s.value – 1;
        if s.value < 0
        then
           blockiere Prozess und plaziere ihn in s.queue;
  end
```

entspricht: append(s.queue, prozessID);

Signal

```
algorithmus signal
  input s: Semaphore
  begin
        s.value = s.value + 1;
        if s.value <= 0   // gibt es noch blockierte Prozesse?
        then
           entnehme einen Prozess aus s.queue;
  end
```

entspricht: getAndDeleteFirst(s.queue);

2.3 Prozessverwaltung

– Programmiertechnische Nutzung von Semaphoren

```
global variable     s: BinarySemaphore;
global operation    init(s,1);
algorithm
...
begin
        ...
        wait(s);
        < kritischer Bereich >;
        signal(s);
        ...
end
```

– Einsatz:
  - Realisierung eines wechselseitigen Ausschlusses
    ⇒ binäres Semaphor
  - Verwaltung einer begrenzter Anzahl von Ressourcen
    ⇒ Zählsemaphor

2.3 Prozessverwaltung

- Beispiel: Flugbuchung

```
global variable          s : BinarySemaphore
global operation         init(s,1);

algorithmus Reservierung
    variables n, anzpl : Nat;
    begin
            …
            while Buchung nicht abgeschlossen do {
                    n = Anzahl der zu buchenden Plätze;
                    anzpl = aktuelle Anzahl der freien Plätze;
                    wait(s);
                    if anzpl ≥ n
                    then anzpl um n verringern;
                    else STOP mit Auskunft „Ausgebucht“;
                    Reservierung bestätigen;
                    signal(s);
                    Buchung abschließen?;          // Nein: Verlassen der Schleife
            }
            …
    end
```

2.3 Prozessverwaltung

- Deadlocks (siehe Seite 18):

  Ein Deadlock ist eine dauerhafte Blockierung einer Menge *M* von Prozessen, die eine Menge *S* gemeinsamer Systemressourcen nutzen oder miteinander kommunizieren ($|M| > 1$, $|S| > 1$)

  – Lösungsstrategien:
    - Vermeidung
    - Erkennung

2.3 Prozessverwaltung

- Vermeidung von Deadlocks
  - keine gleichzeitige Beanspruchung mehrerer Betriebsmittel durch einen Prozess

    … get A … release A … get B … release B …

    Das ist aber nicht immer möglich !!!
  - wenn ein Prozess mehrere Betriebsmittel gleichzeitig benötigt, muss er diese auf einmal belegen („Preclaiming“); die Freigabe kann nach und nach erfolgen

    … get A, B, C … release B … release A, C …

    Problem:

    Alle benötigten Betriebsmittel müssen vorab bekannt sein

    Ggf. werden dadurch zu viele Ressourcen belegt, nur weil die Möglichkeit besteht, dass sie benötigt werden könnten

2.3 Prozessverwaltung

- Erkennung von Deadlocks
  - notwendige Voraussetzungen für Deadlock (trifft eine nicht zu, kann kein Deadlock entstehen):
    - ***Mutual Exclusion***

      Es gibt mind. 2 Ressourcen, die nur von einem (jeweils unterschiedlichen) Prozess gleichzeitig benutzt werden
    - ***Hold and Wait***

      Ein Prozess muss eine Ressource behalten, während er auf eine weitere Ressource wartet
    - ***No Preemption***

      Eine Ressource kann einem Prozess, der sie behält, nicht wieder entzogen werden

2.3 Prozessverwaltung

- Sind alle drei Bedingungen erfüllt, muss noch eine vierte Bedingung zutreffen, damit ein Deadlock eintritt:
  - ***Circular Wait***

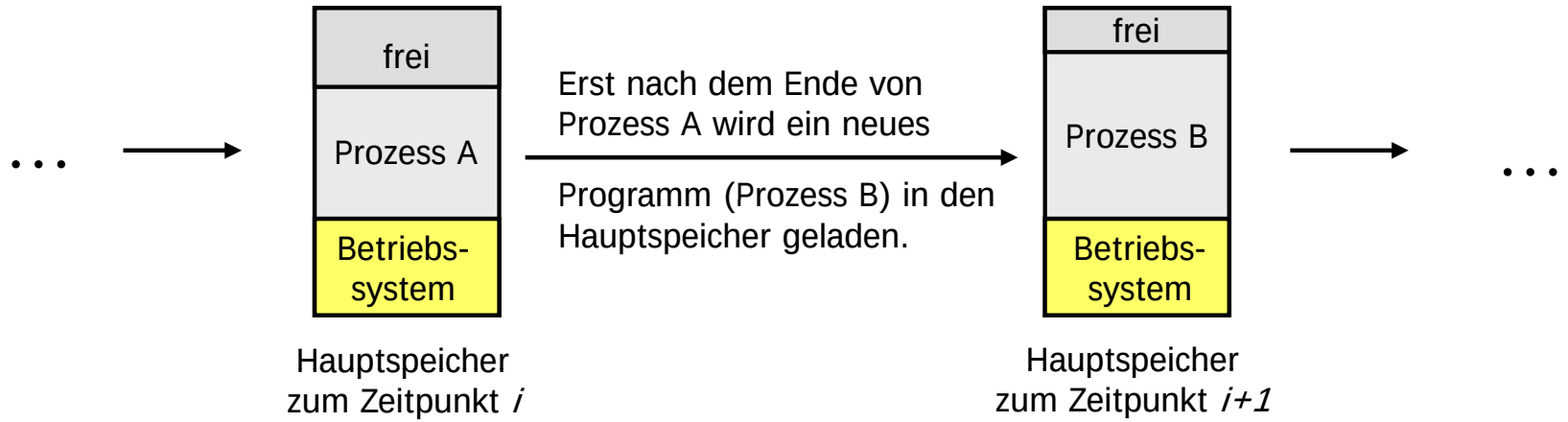
    Es existiert eine geschlossene Kette von Prozessen, so dass jeder Prozess mindestens eine Ressource hält, die von einem anderen Prozess der Kette gebraucht wird

- Praktisch kann man Deadlocks erkennen z.B. mittels
  - Time-Out-Strategien (heuristisch)
  - Wartegraphen

- Was kann getan werden um einen Deadlock zu beheben?
  - Es muss eine der drei Bedingungen auf der vorigen Folie verletzt werden, z.B. *No Preemption*: einem Prozess wird eine Ressource, die dieser gerade hält, wieder entzogen

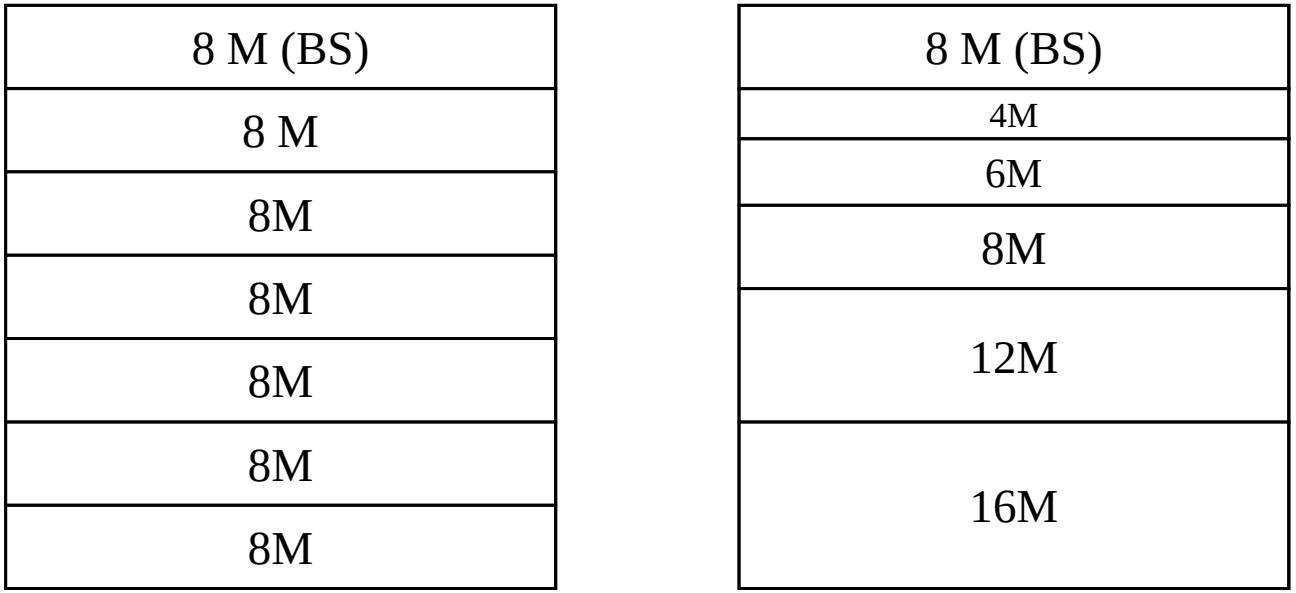
2.4 Speicherverwaltung

- Motivation:
  - beim Multiprogramming muss der Hauptspeicher mehreren Prozessen gleichzeitig zur Verfügung gestellt werden
  - Aufgaben der Hauptspeicherverwaltung
    - ***Zuteilung*** (***allocation***) von ausreichend Speicher an einen ausführenden Prozess
    - ***Schutz*** (***protection***) vor Zugriffen auf Hauptspeicherbereiche, die dem entsprechenden Prozess nicht zugewiesen sind
  - einfachster Fall: Uniprogramming



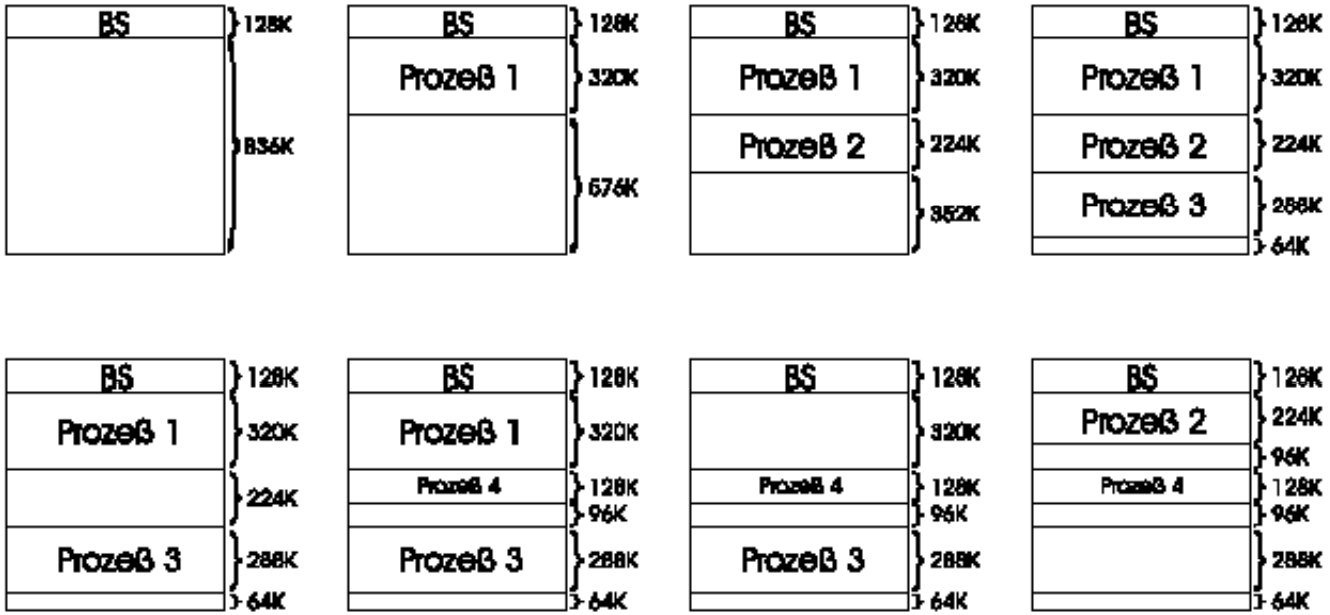
2.4 Speicherverwaltung

- Für das Multiprogramming ist eine Unterteilung (***Partitionierung***) des Speichers für mehrere Prozesse erforderlich
  - ***Feste Partitionierung*** in gleich große Partitionen
    - ABER: nicht alle Prozesse gleich groß => unterschiedlich große Partitionen
    - TROTZDEM: große Prozesse müssen zerlegt werden
    - ⇒ ***(interne) Fragmentierung***: Teile der Partitionen bleiben unbenutzt



2.4 Speicherverwaltung

- ***Dynamische Partitionierung*** in Partitionen variabeler Größe, d.h. für jeden Prozess wird genau der benötigte Speicherplatz zugewiesen
  - ***(externe Fragmentierung)***: zwischen den Partitionen können Lücken entstehen



  - Speicherbelegungsstrategien wie z.B. „Best Fit“, „First Fit“, „Next Fit“ nötig
- ***Defragmentierung*** durch Verschieben der Speicherbereiche prinzipiell möglich, aber sehr aufwändig (normaler Betriebsablauf muss komplett unterbrochen werden) !!!

2.4 Speicherverwaltung

- Nachteile der bisherigen Konzepte
  - Prozess komplett im HS, obwohl oft nur ein kleiner Teil benötigt wird
  - Platz für Programme und Daten ist durch Hauptspeicherkapazität begrenzt
  - zusammenhängende Speicherbelegung für einen Prozess verschärft Fragmentierung
  - Speicherschutz muss vom BS explizit implementiert werden
- Lösung: ***virtueller Speicher***
  - Prozessen mehr Speicher zuordnen als eigentlich vorhanden
  - nur bestimmte Teile der Programme werden in HS geladen
  - Rest wird auf dem Hintergrundspeicher (HGS) abgelegt
  - Prozesse werden ausgeführt, obwohl nur zum Teil im HS eingelagert
  - physischer Adressraum wird auf einen virtuellen (logischen) Adressraum abgebildet

2.4 Speicherverwaltung

- Virtueller Speicher
  - Frage: was ist der Unterschied zu Swapping???
  - Paging
    - ein Programm wird in Seiten fester Größe (***Pages***) aufgeteilt
    - der reale HS wird in Seitenrahmen (***Frames***) fester Größe aufgeteilt
    - jeder Frame kann eine Page aufnehmen
    - Pages können nach Bedarf in freie Frames (im Hauptspeicher) eingelagert werden
    - Programm arbeitet mit virtuellen Speicheradressen (Pages), die bei Adressierung (Holen von Befehlen, Holen und Abspeichern von Operandenwerten, usw.) in eine reale Hauptspeicheradresse umgesetzt werden müssen
    - Diese Zuordnung übernimmt das Betriebssystem und die Memory Management Unit (MMU) mit Hilfe einer Seitentabelle (page table)

2.4 Speicherverwaltung

- Prinzip des Paging:
  - um für die momentan arbeitenden Prozesse genügend Platz zu haben, werden nicht benötigte Seiten auf den HGS ausgelagert
  - wird eine Seite benötigt, die nicht im Hauptspeicher sondern nur auf dem HGS lagert, so tritt ein ***Seitenfehler*** auf
  - die benötigte Seite muss in den Hauptspeicher geladen werden
  - falls der Hauptspeicher schon voll ist, muss eine/mehrere geeignete Seiten ausgelagert werden
  - Abschließend wird die Seitentabelle entsprechend aktualisiert
- Behandlung von Seitenfehlern: ***Seitenersetzung***
  - Behandlung von Seitenfehlern muss effizient sein, sonst wird der Seitenwechsel leicht zum Flaschenhals des gesamten Systems
  - Bei der Auswahl der zu ersetzenden Seite(n) sollten immer solche ausgewählt werden, auf die möglichst nicht gleich wieder zugegriffen wird (sonst müssten diese gleich wieder eingelagert werden, auf Kosten von anderen Seiten)

2.4 Speicherverwaltung

- Seitenersetzungsstrategien (Auswahl)
  - Optimal (OPT)

    ersetzt die Seite, die am längsten nicht benötigt wird; leider nicht vorhersehbar und daher nicht realisierbar
  - Random

    zufällige Auswahl; schnell und einfach zu realisieren, aber keine Rücksicht auf das Seitenreferenzverhalten des Prozesses
  - First In, First Out (FIFO)

    ersetzt die älteste Seite im Hauptspeicher; einfach zu realisieren, aber Seitenzugriffshäufigkeit wird nicht berücksichtigt
  - Least Recently Used (LRU)

    ersetzt die Seite, auf die am längsten nicht mehr zugegriffen wurde; berücksichtigt die Beobachtung, dass Seiten, die länger nicht mehr verwendet wurden, auch in Zukunft länger nicht benötigt werden (Prinzip der Lokalität)