

# Fortgeschrittene Speicherverwaltung

## Paging

Prof. Dr.-Ing. Andreas Heil

 Licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International license. Icons by The Noun Project.

v1.0.0

# **Lernziele und Kompetenzen**

# Motivation

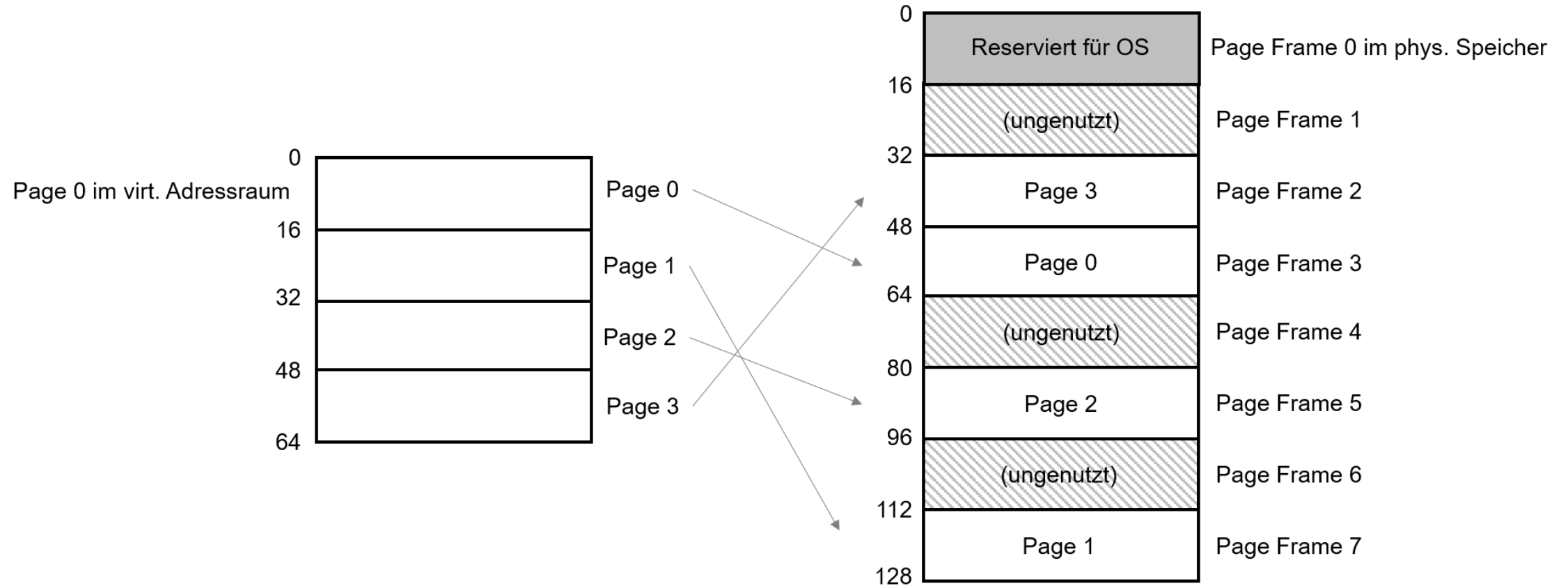
- Bisher gelernt: Segmentierung führt früher oder später dazu, dass der Speicher fragmentiert...
- Glücklicherweise nutzen Betriebssysteme noch einen zweiten Mechanismus der Speicherverwaltung: Paging
- Dabei wird der Speicher in fixe Einheiten aufgeteilt
  - Jede solche fixe Einheit heißt Page (dt. Speicherseite)
  - Der physikalische Speicher ist demnach eine Aneinanderreihung von gleichgroßen Slots
  - Jeder solcher Slot heißt Page Frame (dt. Seitenrahmen)
  - Jeder Frame kann eine Page enthalten

# Beispiel

Hier ein einfaches Beispiel:

- 64-Byte virtueller Adressraum
- 4 Pages a 16-Byte Pages
- Betriebssystem muss »nur« vier freie Page Frames finden
- Dafür gibt es eine Free List mit freien Page Frames
- Datenstruktur mit den Einträgen wo eine Page im physikalischen Speicher liegt, heißt Page Table (dt. Seitentabelle)
- Es gibt eine Page Table pro Prozess

# Zuordnung von Frames



# Paging und Address Translation (1)

- Unser Beispiel zuvor hatte ein 64-Byte Adressraum
- Nun versuchen wir Daten aus einer virtuellen Adresse `<virtual address>` in das Register `eax` zu laden
- Hierfür benötigen wir zwei Komponenten
  - Virtual Page Number (VPN)
  - Offset (innerhalb der Page)



In Assembler:

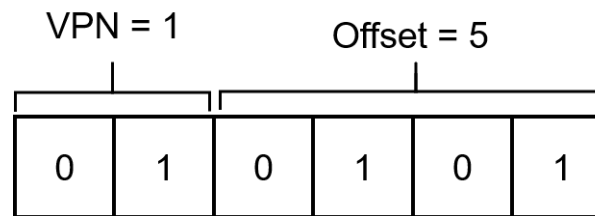
```
movl <virtual address>, %eax
```

# Paging und Address Translation (2)

- Wir haben 16-Byte Seiten in einem 64-Byte Adressraum
- Es müssen 4 Seiten adressiert werden können
- Daher die 2-Bit Virtual Page Number (VPN)
- Die restlichen Bits können zur Adressierung innerhalb der Seite verwendet werden (= Offset)

# Paging und Address Translation (2)

- Beispiel:
  - Zugriff auf virtuelle Adresse 21
  - 21 im Dezimalsystem ist 010101 Binär, ist 15 im Hexadezimalsystem
  - Somit Zugriff auf Byte5 in Page 1



In Assembler:

```
movl 15h, %eax
```



# Paging und Address Translation (3)

- Die physikalische Adresse1 von Page 1 ist 7 (= 111)
- Physical Frame Number (PFN) oder auch Physical Page Number (PPN)

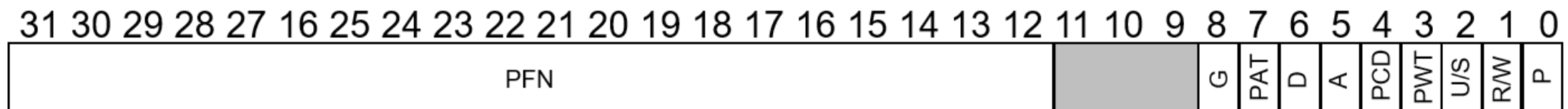


# Wo liegen Page Tables?

- Page Tables können sehr groß werden
  - Pro Eintrag 20-Bit VPN + 12-Bit Offset für 4KB Pages
  - 20-Bit VPN bedeuten 220 Adressberechnungen pro Prozess (ca. 1 Million)
  - 100 Prozesse in einem 32-Bit System bedeuten ca. 400 MB nur für die Page Tables
  - In 64-Bit Systemen nochmals einiges mehr
- Daher keine extra Hardware (Speicher) in der MMU
- Anstelle dessen werden Sie im Hauptspeicher vorgehalten
  - Konkret im virtuellen Speicher des Betriebssystems vorgehalten

# Beispiel: x86 Page-Table-Eintrag

- Present Bit (P): Liegt die Page im Hauptspeicher oder auf Disk (Swapping kommt später)
- Read/Write Bit (R/W): Darf in die Page geschrieben werden
- User/Supervisor Bit (U/S): Kann ein User-Mode Prozess auf die Page zugreifen
- PWT, PCD, PAT u. G: Beschreiben Hardware-Caching
- Accessed Bit (A): Wird für einen sog. “Least recently used page”-Algorithmus genutzt
- Dirty Bit (D): Wurde der Speicherinhalt verändert
- PFN: Page Frame Number



# Referenzen

# Bildnachweise