

Lernzettel

Virtuelle Speicherverwaltung und Speicherzugriff:
Paging, Segmentierung, Seitentabellen, TLB

Universität:	Technische Universität Berlin
Kurs/Modul:	Technische Grundlagen der Informatik
Erstellungsdatum:	September 19, 2025



Zielorientierte Lerninhalte, kostenlos!
Entdecke zugeschnittene Materialien für deine Kurse:

<https://study.AllWeCanLearn.com>

Technische Grundlagen der Informatik

Lernzettel: Virtuelle Speicherverwaltung und Speicherzugriff: Paging, Segmentierung, Seitentabellen, TLB**(1) Grundidee der virtuellen Speicherverwaltung.**

Die virtuelle Speicherverwaltung abstrahiert den logischen Adressraum der Programme vom physischen Hauptspeicher. Sie ermöglicht Schutz, Isolation und eine effizientere Nutzung des Speichers. Zentrale Konzepte sind Paging, Segmentierung und die Adressübersetzung über Seitentabellen bzw. TLB (Translation Lookaside Buffer).

(2) Paging

Beim Paging wird der virtuelle Adressraum in gleich große Seiten (Pages) unterteilt und der physische Speicher in gleiche Rahmen (Frames). Die Zuordnung erfolgt in einer Seitentabelle.

$$VA = (VPN, \text{Offset})$$

$$PA = PFN \cdot P + \text{Offset}$$

$$P = \text{Seitengröße in Byte}$$

(3) Segmentierung

Bei der Segmentierung wird der Adressraum in logisch zusammenhängende Segmente geteilt. Jeder Segmenteintrag besitzt eine Basisadresse und eine Obergrenze (Limit). Die Übersetzung erfolgt über eine Segment Basis plus Offset.

$$\text{Base}_s, \quad \text{Limit}_s$$

$$PA = \text{Base}_s + \text{Offset}$$

$$0 \leq \text{Offset} < \text{Limit}_s$$

(4) Seitentabellen (Paging Tables)

Die Seitentabelle ordnet jeder virtuellen Seite eine physische Seitenrahmennummer (PFN) zu. Typische Felder in einem PTE (Page Table Entry) sind PFN und Valid-Bit. Viele Systeme nutzen mehrstufige Seiten Tabellen, um Speicherbedarf für Markierungen zu sparen.

$$\text{PTE} = (\text{PFN}, \text{Valid}, \text{Dirty}, \dots)$$

$$\text{VPN} \rightarrow \text{PFN}$$

Bei mehrstufigen Tabellen wird aus VPN Indizes abgeleitet, z.B.:

$$\text{Index}_1 = \left\lfloor \frac{\text{VPN}}{S} \right\rfloor, \quad \text{Index}_2 = \text{VPN} \bmod S$$

$$\text{PT}_{L1}[\text{Index}_1] \rightarrow \text{PT}_{L2}[\text{Index}_2] \rightarrow \text{PFN}$$

(5) Translation Lookaside Buffer (TLB)

Der TLB ist ein schneller Cache, der Übersetzungen von VPN zu PFN speichert. Bei einem TLB-Treffer (Hit) ergibt sich die physische Adresse direkt. Bei einem Fehler (Miss) muss die entsprechende PTE aus dem Seitentabellenspeicher gelesen werden, der TLB wird danach aktualisiert und die physische Adresse bestimmt.

TLB-Hit $\Rightarrow$ PFN vorhanden $\Rightarrow$ PA

TLB-Miss $\Rightarrow$ PTE aus Speicher lesen $\Rightarrow$ TLB aktualisieren $\Rightarrow$ PA

(6) Ablauf der Speicheradressübersetzung (ohne Abstraktheit).

Zuerst wird die Adresse via TLB abgefragt. Falls der TLB-Eintrag vorhanden ist, wird die physische Adresse direkt gebildet und der Zugriff ausgeführt. Falls nicht:

- 1) TLB-Abfrage ergibt Miss.
- 2) PTE der VPN aus der Seitentabelle lesen, ggf. aus mehrstufigen Tabellen die Laufzeit holen.
- 3) PFN ermitteln und TLB aktualisieren.
- 4) Zugriff auf den physischen Speicher mit der ermittelten PA.

(7) Leistungsaspekte und Typen von Kosten.

Page Faults entstehen, wenn die benötigte Seite nicht im physischen Speicher liegt und von der Festplatte geladen werden muss. TLB-Hits sind wesentlich schneller als TLB-Misses. Die durchschnittliche Zugriffszeit kann grob modelliert werden durch:

$$\text{EAT} = h \cdot (t_{\text{TLB}} + t_{\text{mem}}) + (1 - h) \cdot (t_{\text{TLB}} + t_{\text{mem}} + t_{\text{mem,PT}})$$

mit h als TLB-Hit-Rate, t_{TLB} Zeit für den TLB-Zugriff, t_{mem} Zeit für Speicherzugriff und $t_{\text{mem,PT}}$ Zeit für den Zugriff auf die Seitentabelle im Speicher.

(8) Typische Probleme und Gegenmaßnahmen.

- Fragmentierung: intern vs. extern (durch Paging reduziert, Segmentierung kann weiter fragmentieren).
- Kontextwechsel: TLB muss ggf. invalidiert oder angereichert werden.
- Cache-Kohärenz zwischen TLB und Page Tables.

(9) Kurzbegriffskasten (Glossar).

- Virtueller Adressraum: logische Adressen, die Programme sehen.
- Physischer Adressraum: reale Adressen im RAM.
- VPN: Virtuelle Seiten-Nummer.
- PFN: Physische Frame-Nummer.
- Offset: innerer Versatz innerhalb einer Seite oder eines Segments.
- TLB: Translation Lookaside Buffer, Cache für Adressübersetzungen.
- PTE: Page Table Entry, Eintrag einer Seitentabelle mit PFN und Statusbits.