

# Betriebssystemtechnik

*Adressräume: Trennung, Zugriff, Schutz*

## VI. Segmentadressierung

Wolfgang Schröder-Preikschat / Volkmar Sieh

SS 2024



## Einleitung

Hochsprachenorientierte Maschine

## Segmentierung

Allgemeines

Abbildung

## Mischformen

Seitenbasierte Hybride

Segmentierte Seitenadressierung

Seitennummerierte Segmentierung

Diskussion

## Zusammenfassung



- Hardware, Betriebssystem und primäre Sprachen eines Rechensystems sollten als Einheit konzipiert werden [4]



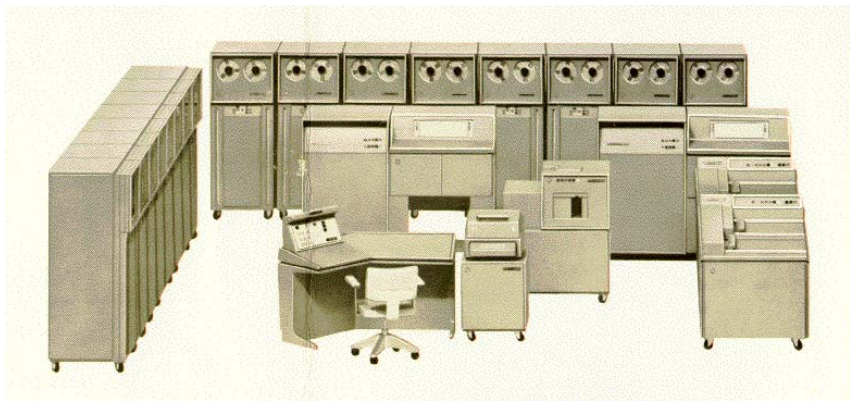
- Hardware, Betriebssystem und primäre Sprachen eines Rechensystems sollten als Einheit konzipiert werden [4]
  - Systemimplementierer/innen produzieren Systeme, die von vielen anderen Benutzer/innen aller Klassen verwendet werden
  - daher ist es vorrangig wichtig, die Maschinenhardware für die Klasse der Systemimplementierer/innen zu optimieren



- Hardware, Betriebssystem und primäre Sprachen eines Rechensystems sollten als Einheit konzipiert werden [4]
  
- die Hardware in einem entsprechenden Gesamtsystementwurf hätte die folgenden wesentlichen Eigenschaften:
  - von Benutzer/innen (anderer Klassen) verwendete Informationsstrukturen samt Operatoren sind Grundkonstrukte der Maschinensprache
  - Steuerfluss und Datenzugriffsverfahren in der Maschine gleichen denen ihrer Grundsprachen und ihrem Betriebssystem
  - das System führt implizite Funktionen für Benutzer/innen nebeneffektfrei aus und erlaubt aber auch, diese Funktionen außer Kraft zu setzen







- dem Prozessor, genauer: der CPU sind einzelne Strukturelemente der auszuführenden Programme „bewusst“





- dem Prozessor, genauer: der CPU sind einzelne Strukturelemente der auszuführenden Programme „bewusst“
  - Text- und Datenbestände sind von einem bestimmten Typ
    - Funktion, Prozedur, ...
    - Zeichen, Zahlen, Zeiger, Verbände, Felder, ...
  - Exemplare davon bilden logisch wie auch physisch **Segmente**



- dem Prozessor, genauer: der CPU sind einzelne Strukturelemente der auszuführenden Programme „bewusst“
  
  - ein **Segmentdeskriptor** erfasst sodann ein einzelnes Strukturelement oder eine Gruppe solcher Elemente (desselben Typs)
    - also nicht bloß je ein Text-, Daten-, BSS- und Stapelsegment pro Prozess
    - sondern viele Segmente pro Text, Daten, BSS — auch pro Stapel
      - beispielsweise jeden Aktivierungsblock als eigenes Segment repräsentieren
- ↪ des Programm definiert die Segmentanzahl, nicht das Betriebssystem



- dem Prozessor, genauer: der CPU sind einzelne Strukturelemente der auszuführenden Programme „bewusst“
  
- ein **Segmentdeskriptor** erfasst sodann ein einzelnes Strukturelement oder eine Gruppe solcher Elemente (desselben Typs)
  
- Hardware und Betriebssystem, die Segmentadressierung in dieser Art und Weise ermöglichen, sind damit hochsprachenorientiert ausgelegt
  - aber nur „als Einheit“ definieren sie die geeignete **abstrakte Maschine**



Einleitung

Hochsprachenorientierte Maschine

Segmentierung

Allgemeines

Abbildung

Mischformen

Seitenbasierte Hybride

Segmentierte Seitenadressierung

Seitennummerierte Segmentierung

Diskussion

Zusammenfassung



# Nichtlinearer (zweidimensionaler) Adressraum

---

Segmentierung steht für eine Strukturierung des Adressraums in Einheiten von möglicherweise verschiedener Größe



Segmentierung steht für eine Strukturierung des Adressraums in Einheiten von möglicherweise verschiedener Größe

- diese Einheiten werden als **Segment** bezeichnet
  - sie setzen sich zusammen aus gleichgroßen Elementen und
  - bilden eine lineare Folge von „Granulaten“ (Bytes, Seiten):
    - Byte  $\mapsto$  unbedingt zusammenhängend auch im realen Adressraum
    - Seite  $\mapsto$  bedingt: **seitennummerierte Segmentierung** (*paged segmentation*)



Segmentierung steht für eine Strukturierung des Adressraums in Einheiten von möglicherweise verschiedener Größe

- diese Einheiten werden als **Segment** bezeichnet
  
- die vom Prozess generierte Adresse  $la$  bildet ein Paar  $(S, A)$ :
  - $S$  ist **Segmentname** (auch Segmentnummer)  $\rightsquigarrow$  1. Dimension
    - Wertebereich für  $S = [0, 2^M - 1]$ ; bei IA-32:  $M = 13$
  - $A$  ist **Adresse**, auch **Versatz**, innerhalb des Segments  $S$   $\rightsquigarrow$  2. Dimension
    - Wertebereich für  $A = [0, 2^N - 1]$



Segmentierung steht für eine Strukturierung des Adressraums in Einheiten von möglicherweise verschiedener Größe

- diese Einheiten werden als **Segment** bezeichnet
  
- die vom Prozess generierte Adresse  $la$  bildet ein Paar  $(S, A)$ :
  
- tabellengesteuerte Abbildung von  $la$  mit  $S$  als **Segmentindex**
  - zur Auswahl des für  $S$  gültigen Segmentdeskriptors in der Segmenttabelle





Segmentname/-index identifizieren die die Adressabbildung steuernde und von der Hardware (MMU) vorgegebene Datenstruktur



Segmentname/-index identifizieren die die Adressabbildung steuernde und von der Hardware (MMU) vorgegebene Datenstruktur

- typischerweise umfassen die darin gebündelten Informationen:
  - Basis** ■ Segmentanfangsadresse im Arbeitsspeicher
    - Ausrichtung (*alignment*) entsprechend der Granulatgröße
  - Limit** ■ Segmentlänge als Anzahl der Granulate:
    - Zahl der aufeinanderfolgenden Granulatadressen:



Segmentname/-index identifizieren die die Adressabbildung steuernde und von der Hardware (MMU) vorgegebene Datenstruktur

- typischerweise umfassen die darin gebündelten Informationen:
  - Basis** ■ Segmentanfangsadresse im Arbeitsspeicher
    - Ausrichtung (*alignment*) entsprechend der Granulatgröße
  - Limit** ■ Segmentlänge als Anzahl der Granulate: für gewöhnlich Bytes
    - Zahl der aufeinanderfolgenden Granulatadressen: f. gew. Bytes



Segmentname/-index identifizieren die die Adressabbildung steuernde und von der Hardware (MMU) vorgegebene Datenstruktur

- typischerweise umfassen die darin gebündelten Informationen:

**Basis** ■ Segmentanfangsadresse im Arbeitsspeicher  
■ Ausrichtung (*alignment*) entsprechend der Granulatgröße

**Limit** ■ Segmentlänge als Anzahl der Granulate: für gewöhnlich Bytes  
■ Zahl der aufeinanderfolgenden Granulatadressen: f. gew. Bytes

**Attribute** ■ Typ (Text, Daten, Stapel)  
■ Zugriffsrechte (lesen, schreiben, ausführen)  
■ Expansionsrichtung (auf-/abwärts)  
■ Präsenzbit



Segmentname/-index identifizieren die die Adressabbildung steuernde und von der Hardware (MMU) vorgegebene Datenstruktur

- typischerweise umfassen die darin gebündelten Informationen:
  - Basis** ■ Segmentanfangsadresse im Arbeitsspeicher
    - Ausrichtung (*alignment*) entsprechend der Granulatgröße
  - Limit** ■ Segmentlänge als Anzahl der Granulate: für gewöhnlich Bytes
    - Zahl der aufeinanderfolgenden Granulatadressen: f. gew. Bytes
  - Attribute** ■ Typ (Text, Daten, Stapel)
    - Zugriffsrechte (lesen, schreiben, ausführen)
    - Expansionsrichtung (auf-/abwärts)
    - Präsenzbit
- je nach Hardware und Adressraummodell gibt es weitere Attribute
  - Privilegstufe, Klasse (*interrupt, trap, task*), Granulatgröße, ...

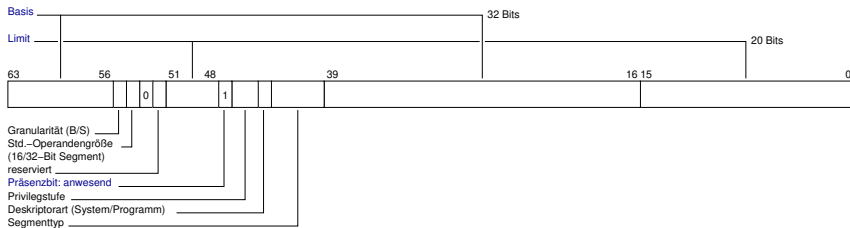


Segmentname/-index identifizieren die die Adressabbildung steuernde und von der Hardware (MMU) vorgegebene Datenstruktur

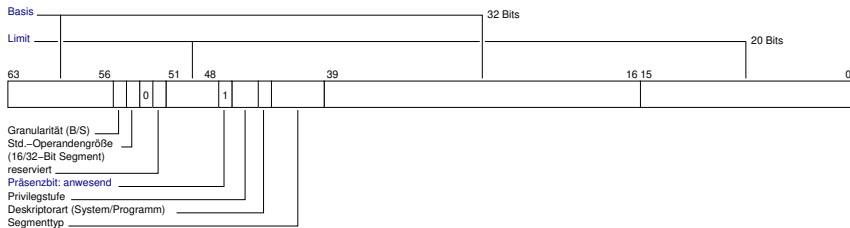
- typischerweise umfassen die darin gebündelten Informationen:
  - Basis** ■ Segmentanfangsadresse im Arbeitsspeicher
    - Ausrichtung (*alignment*) entsprechend der Granulatgröße
  - Limit** ■ Segmentlänge als Anzahl der Granulate: für gewöhnlich Bytes
    - Zahl der aufeinanderfolgenden Granulatadressen: f. gew. Bytes
  - Attribute** ■ Typ (Text, Daten, Stapel)
    - Zugriffsrechte (lesen, schreiben, ausführen)
    - Expansionsrichtung (auf-/abwärts)
    - Präsenzbit
- je nach Hardware und Adressraummodell gibt es weitere Attribute
  - Privilegstufe, Klasse (*interrupt, trap, task*), Granulatgröße, ...
  - Seiten-Kachel-Tabelle (seitennummerierte Segmentierung)



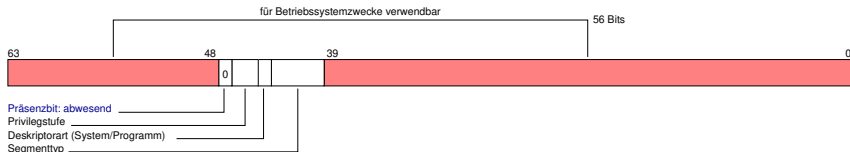
## ■ ein als „anwesend“ markiertes Segment



## ■ ein als „anwesend“ markiertes Segment

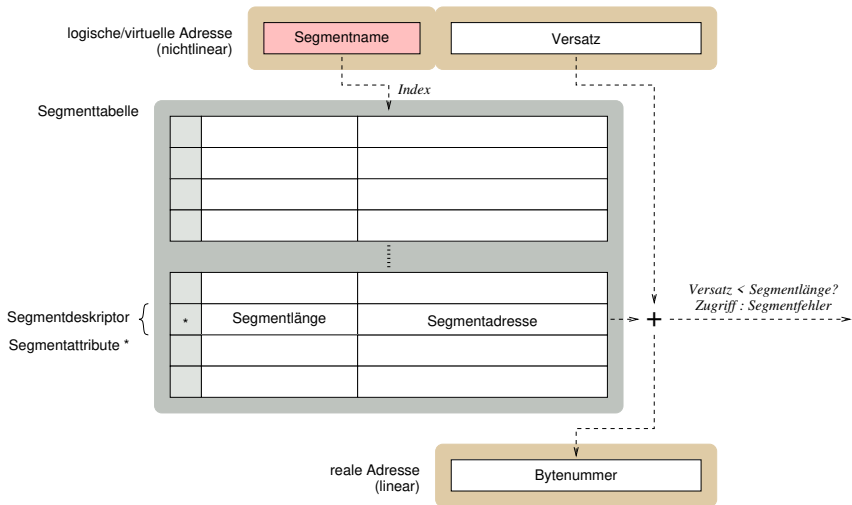


## ■ ein als „abwesend“ markiertes Segment





# Segmentbasierte Adressierung

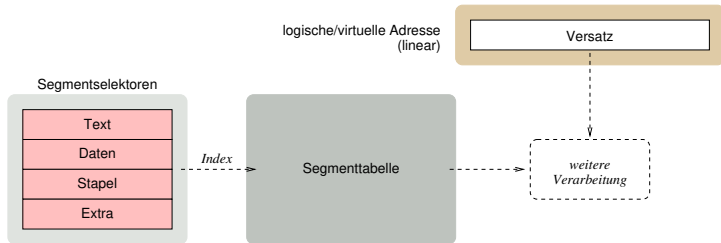


1  $ra = la < ST[sn].sd\_limit ? ST[sn].sd\_base + la : \text{segmentation violation} \sim \text{trap}$



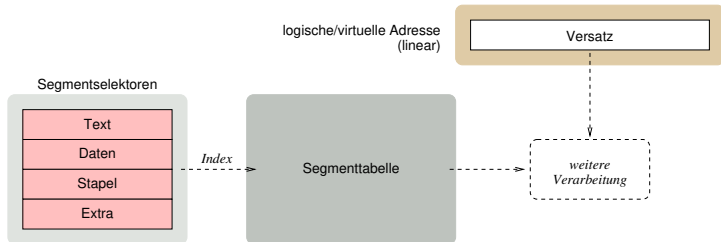
Segmentregister bzw. **Segmentselektor** (*segment selector*)

- je nach Zugriffsart selektiert die MMU implizit das passende Segment



Segmentregister bzw. **Segmentselektor** (*segment selector*)

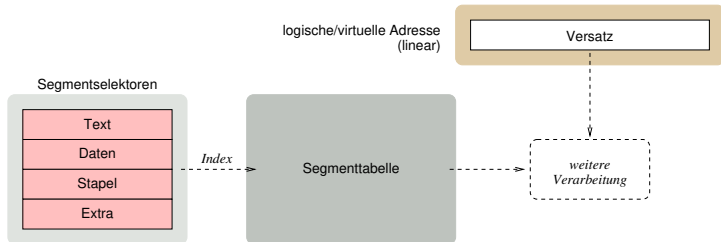
- je nach Zugriffsart selektiert die MMU implizit das passende Segment



- Befehlsabruf (*instruction fetch*) aus Textsegment
  - Operantionscode  $\mapsto$  Segmentname „Text“

Segmentregister bzw. **Segmentselektor** (*segment selector*)

- je nach Zugriffsart selektiert die MMU implizit das passende Segment

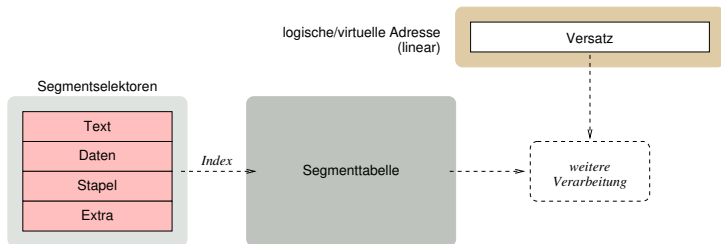


- Befehlsabruf (*instruction fetch*) aus Textsegment
  - Operationscode  $\mapsto$  Segmentname „Text“
- Operandenabruf (*operand fetch*) aus Text-, Daten-, Stapelsegment



Segmentregister bzw. **Segmentselektor** (*segment selector*)

- je nach Zugriffsart selektiert die MMU implizit das passende Segment

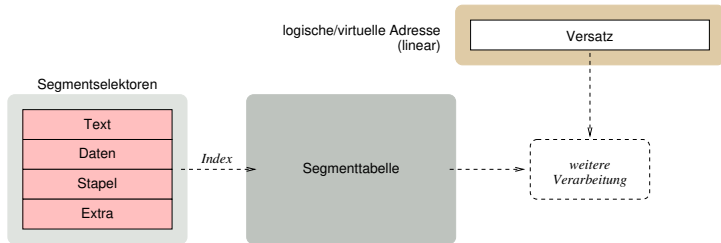


- Befehlsabruf (*instruction fetch*) aus Textsegment
  - Operationscode  $\mapsto$  Segmentname „Text“
- Operandenabruf (*operand fetch*) aus Text-, Daten-, Stapelsegment
  - Direktwerte  $\mapsto$  Segmentname „Text“



Segmentregister bzw. **Segmentselektor** (*segment selector*)

- je nach Zugriffsart selektiert die MMU implizit das passende Segment

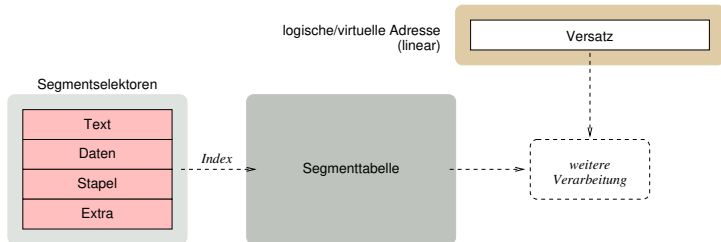


- Befehlsabruf (*instruction fetch*) aus Textsegment
  - Operationscode  $\mapsto$  Segmentname „Text“
- Operandenabruf (*operand fetch*) aus Text-, Daten-, Stapelsegment
  - Direktwerte  $\mapsto$  Segmentname „Text“
  - globale/lokale Daten  $\mapsto$  Segmentname „Daten“  $\equiv$  „Stapel“



Segmentregister bzw. **Segmentselektor** (*segment selector*)

- je nach Zugriffsart selektiert die MMU implizit das passende Segment



- Befehlsabruf (*instruction fetch*) aus Textsegment
  - Operationscode  $\mapsto$  Segmentname „Text“
- Operandenabruf (*operand fetch*) aus Text-, Daten-, Stapelsegment
  - Direktwerte  $\mapsto$  Segmentname „Text“
  - globale/lokale Daten  $\mapsto$  Segmentname „Daten“  $\equiv$  „Stapel“

■ Programme können weiterhin eindimensionale Adressen verwenden



Einleitung

Hochsprachenorientierte Maschine

Segmentierung

Allgemeines

Abbildung

Mischformen

Seitenbasierte Hybride

Segmentierte Seitenadressierung

Seitennummerierte Segmentierung

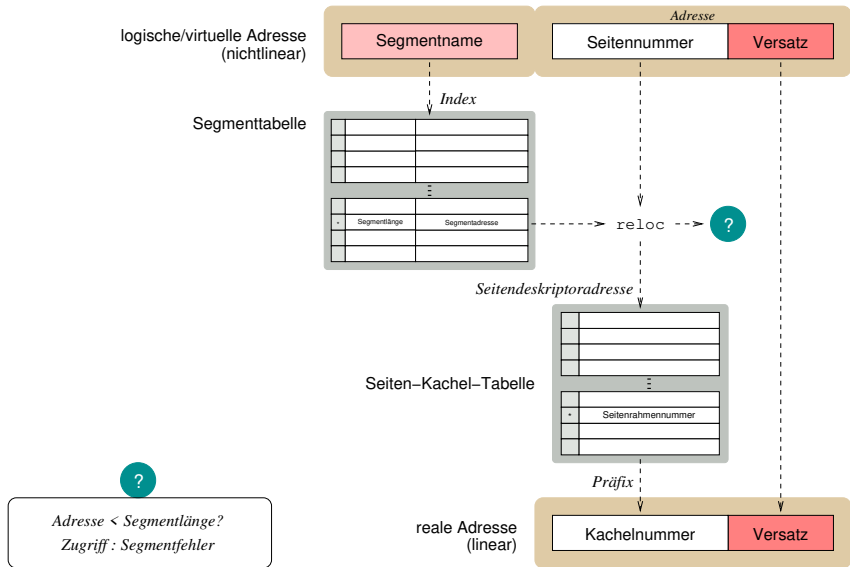
Diskussion

Zusammenfassung





# Segmentierung mit Seitenadressierung: Prinzip



# Segmentierung mit Seitenadressierung: Varianten

---



- in Abhängigkeit davon, wie sich die Seitennummer als Bestandteil der logischen/virtuellen Adresse darstellt:
  - Paar
    - $a = (p, o)$ , mit  $p = (s, d)$  und  $s, d, o \in \mathbb{N}$
    - eindimensionaler Adressraum
    - segmentierte Seitenadressierung (*segmented paging*)



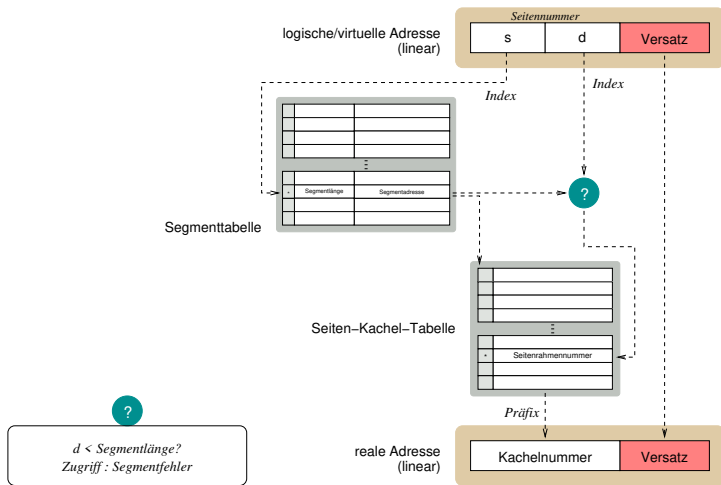
- in Abhängigkeit davon, wie sich die Seitennummer als Bestandteil der logischen/virtuellen Adresse darstellt:

- sonst**
- $a = s \wedge (p, o)$ , mit  $s, p, o \in \mathbb{N}$
  - zweidimensionaler Adressraum
  - seitennummerierte Segmentierung (*paged segmentation*)
    - die Seitentabelle ist ein dynamisches („offenes“) Feld: Prozessgröße
    - die Seitentabelle ist ein statisches Feld: Systemgröße



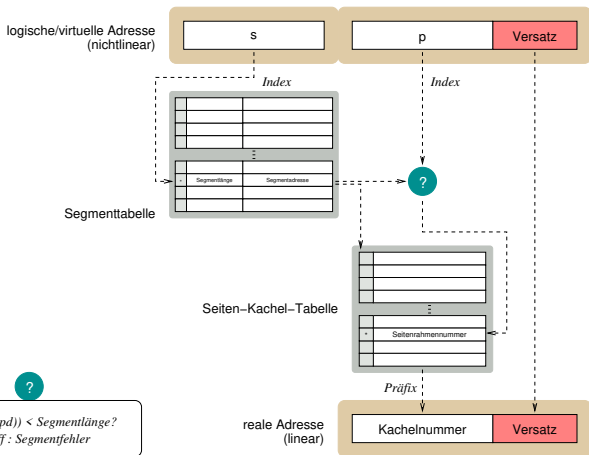
- zur Dimensionierung/Lokalisierung einer verschiebbaren (*relocatable*) Segmenttabelle dient für gewöhnlich ein Segmentregister
  - Basis** ■ Anfangsadresse der Tabelle im Hauptspeicher
  - Limit** ■ Größe der Tabelle (# von Bytes oder Segmentdeskriptoren)





1 SKT =  $la.d < ST[la.s].sd\_limit ? ST[la.s].sd\_base : \text{segmentation violation} \sim trap$   
 2  $ra = (SKT[la.d].pd\_frame * PSIZE) | (la \% PSIZE)$

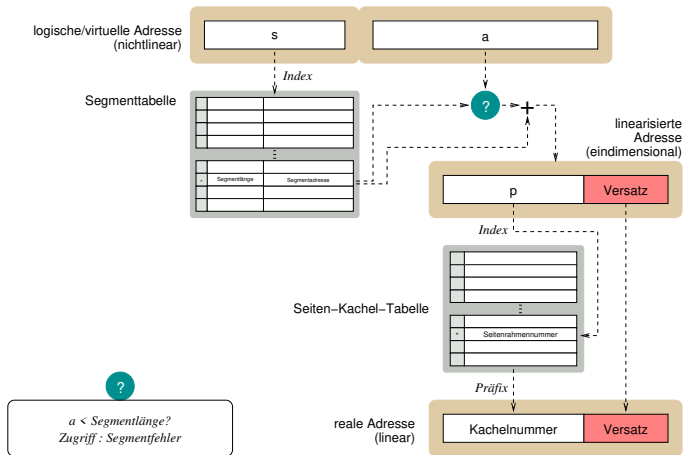




$(p * \text{sizeof}(pd)) < \text{Segmentlänge?}$   
 Zugriff: Segmentfehler

- 1 `len = la.p * sizeof(PDESCRIPTOR)`
- 2 `SKT = len < ST[la.s].sd_limit ? ST[la.s].sd_base : segmentation violation ~ trap`
- 3 `ra = (SKT[la.p].pd_frame * PSIZE) | (la % PSIZE)`





- 1  $ea^1 = la.a < ST[la.s].sd\_limit ? ST[la.s].sd\_base + la.a : \text{segmentation violation} \rightsquigarrow \text{trap}$
- 2  $ra = (SKT[ea.p].pd\_frame * PSIZE) | (ea \% PSIZE)$

<sup>1</sup>eindimensionale Adresse ea







- Version I (à la GE645/Multics)
    - der Segmentdeskriptor listet **Seitendeskriptoren**
    - er adressiert damit indirekt ein dynamisches Seitenfeld
    - alle Seiten darin sind gültig für den betreffenden Prozess
    - folglich auch alle Bytes eines jeweiligen Seitenrahmens
    - Fußbereiche von Seitenrahmen können jedoch brach liegen
- ↪ Seitenverschnitt unvermeidbar



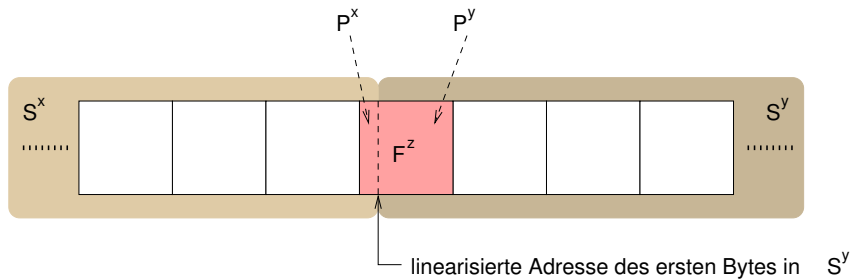
- Version II (à la IA-32)
  - der Segmentdeskriptor listet **Speicherworte**
  - er adressiert damit direkt ein dynamisches Bytefeld
  - alle Bytes darin sind gültig für den betreffenden Prozess
  - dies unabhängig davon, welche Seitenrahmen sie aufnehmen
  - folglich können Seitenrahmen partiell mitbenutzt werden
- ↪ Verschnitt darin vermeidbar



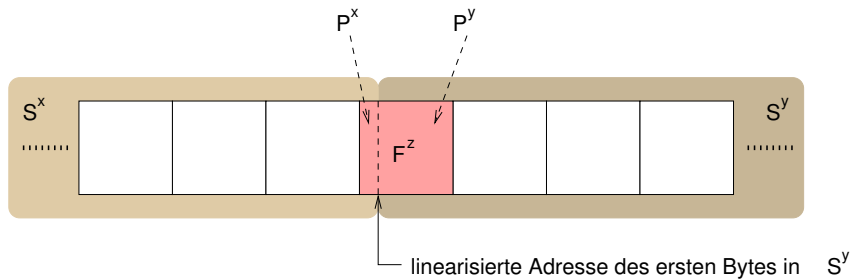
- Segmenttabellen sind Prozessgrößen (dynamische Felder) und können — je nach Prozess/Programm — sehr groß werden
  - Ausweg ist, Segmenttabellen im virtuellen Speicher zu halten
  - Seitennummerierung sowohl der Segmente als auch Segmenttabellen



# Partielle Mitbenutzung von Seitenrahmen I



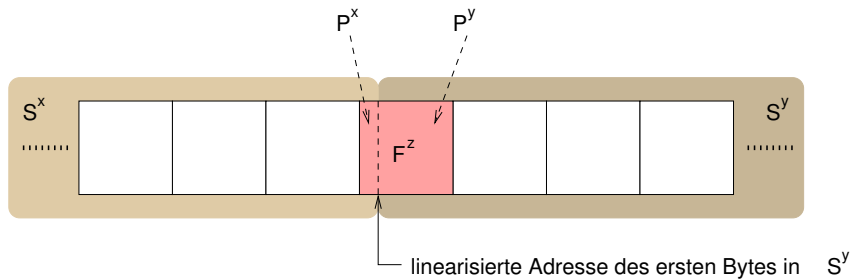
# Partielle Mitbenutzung von Seitenrahmen I



- Platzierung von Segmentkopf und -fuß in denselben Seitenrahmen  $F$ , wobei Kopf- plus Fußlänge die Seitenrahmenlänge (4 KiB) ergibt



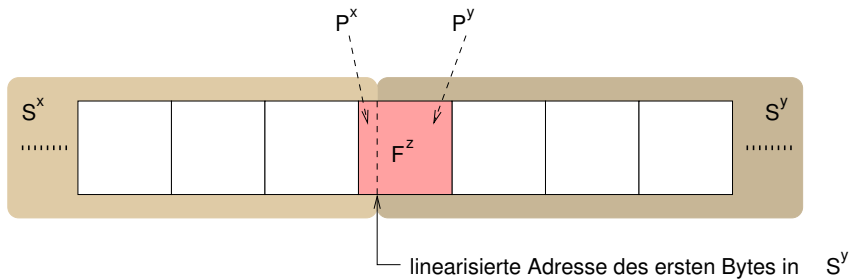
# Partielle Mitbenutzung von Seitenrahmen I



- Platzierung von Segmentkopf und -fuß in denselben Seitenrahmen  $F$ , wobei Kopf- plus Fußlänge die Seitenrahmenlänge (4 KiB) ergibt  
erste Seite ■  $P^y_{[0,4053]}$ , Kopf in Segment  $S^y$ , liegt auf  $F^z_{[42,4095]}$



# Partielle Mitbenutzung von Seitenrahmen I



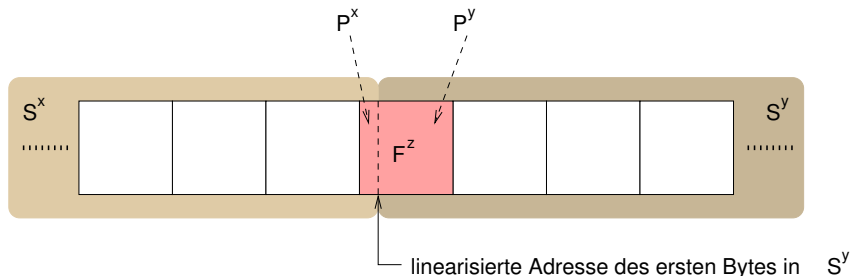
- Platzierung von Segmentkopf und -fuß in denselben Seitenrahmen  $F$ , wobei Kopf- plus Fußlänge die Seitenrahmenlänge (4 KiB) ergibt

letzte Seite ■  $P_{[0,41]}^x$ , Fuß in Segment  $S^x$ , liegt auf  $F_{[0,41]}^z$





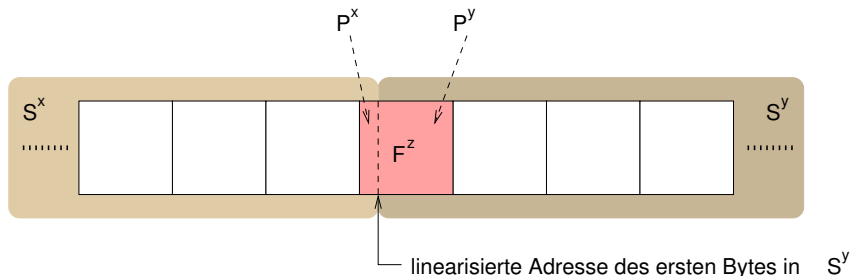
# Partielle Mitbenutzung von Seitenrahmen I



- Platzierung von Segmentkopf und -fuß in denselben Seitenrahmen  $F$ , wobei Kopf- plus Fußlänge die Seitenrahmenlänge (4 KiB) ergibt
  - erste Seite ■  $P^y_{[0,4053]}$ , Kopf in Segment  $S^y$ , liegt auf  $F^z_{[42,4095]}$
  - letzte Seite ■  $P^x_{[0,41]}$ , Fuß in Segment  $S^x$ , liegt auf  $F^z_{[0,41]}$
  - dabei können  $S^x$  und  $S^y$  demselben Adressraum (eines Prozesses) oder verschiedenen Adressräumen (zweier Prozesse) angehören



# Partielle Mitbenutzung von Seitenrahmen I



- Platzierung von Segmentkopf und -fuß in denselben Seitenrahmen  $F$ , wobei Kopf- plus Fußlänge die Seitenrahmenlänge (4 KiB) ergibt
  - erste Seite ■  $P^y_{[0,4053]}$ , Kopf in Segment  $S^y$ , liegt auf  $F^z_{[42,4095]}$
  - letzte Seite ■  $P^x_{[0,41]}$ , Fuß in Segment  $S^x$ , liegt auf  $F^z_{[0,41]}$
- falls derselbe Adressraum, kann sogar  $S^x = S^y$  gelten, d.h., Kopf und Fuß desselben Segments liegen im selben Seitenrahmen



- zu beachten ist, dass sich die **lineare Adresse** des Segmentkopfes auf einen gekachelten logischen/virtuellen Adressraum bezieht



- zu beachten ist, dass sich die **lineare Adresse** des Segmentkopfes auf einen gekachelten logischen/virtuellen Adressraum bezieht
  - diese Adresse ist die im Segmentdeskriptor stehende Segmentbasis und sie muss überhaupt nicht seitenausgerichtet (*page aligned*) sein



- zu beachten ist, dass sich die **lineare Adresse** des Segmentkopfes auf einen gekachelten logischen/virtuellen Adressraum bezieht
- innerhalb der ersten Seite in diesem Adressraum kann die Segmentbasis um einen Wert  $v \in [0, \text{sizeof}(P) - 1]$  verschoben sein



- zu beachten ist, dass sich die **lineare Adresse** des Segmentkopfes auf einen gekachelten logischen/virtuellen Adressraum bezieht
  - innerhalb der ersten Seite in diesem Adressraum kann die Segmentbasis um einen Wert  $v \in [0, \text{sizeof}(P) - 1]$  verschoben sein
  - dieser Wert  $v$  entspräche dann der Größe eines zugeteilten Speicherstücks (Segmentfuß) am Anfang eines Seitenrahmens



- zu beachten ist, dass sich die **lineare Adresse** des Segmentkopfes auf einen gekachelten logischen/virtuellen Adressraum bezieht
  - dieser Wert  $v$  entspräche dann der Größe eines zugeteilten Speicherstücks (Segmentfuß) am Anfang eines Seitenrahmens
  - der Rest von  $\text{sizeof}(P) - v$  Bytes in dem Seitenrahmen entspräche einem Speicherstück, das einem Segmentkopf zugeteilt werden könnte



- Verschnitt im Seitenrahmen vermeiden, fördert **Interferenz**, bedingt zusätzlich noch die Verwaltung unbenutzter „Seitenschnippel“ ☹
  - zwei Seiten ggf. zweier Segmente haben Anteile desselben Seitenrahmens
  - Ersetzung des Inhalts dieses Seitenrahmens kann zwei Prozesse „stören“
    - unerwarteterweise bei lokaler Seitenersetzungsstrategie ☹
    - nicht schlimmer als bei globaler Seitenersetzungsstrategie







- **Synergie** der vorteilhaften Merkmale beider Adressumsetzungsarten



- **Synergie** der vorteilhaften Merkmale beider Adressumsetzungsarten
  - einfache Platzierungsstrategie, da die Speicherzuteilung kachelorientiert und damit immer in Einheiten gleicher Größe geschieht



- **Synergie** der vorteilhaften Merkmale beider Adressumsetzungsarten
  - mehrstufige Seitentabellen fallen weg, da alle Tabellen Segmente und so jeweils in ihrer wirklichen Seitenanzahl beschränkt sind



- **Synergie** der vorteilhaften Merkmale beider Adressumsetzungsarten
  
- bessere Trennung von Belangen, da Segmente und Seiten bzw. Kacheln verschiedenen Zielen dienen
  - Segment – Abbildung und Erfassung von **Programmstrukturen**
  - Seite – Optimierung von **Systemfunktionen** der Speicherverwaltung



- **Synergie** der vorteilhaften Merkmale beider Adressumsetzungsarten
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  - Segmentierung unterstützt insbesondere **dynamisches Binden**
    - die „Bindlinge“ sind symbolisch bezeichnete, **physische Segmente**
    - d.h., Programmstrukturen, Adressräume (Seitentabellen), . . . , Dateien
- 



- ein Segment dagegen als „Seitenfeld“ zu begreifen, ist etwas anderes
  - also Seiten zu Text-, Daten- oder Stapelsegmenten zusammenstellen<sup>2</sup>
  - Programmstrukturen lassen sich damit im System nicht wirklich abbilden
    - vom Verwaltungsaufwand mehrstufiger Seitentabellen einmal abgesehen

<sup>2</sup>So, wie es von UNIX-ähnlichen Betriebssystemen (inkl. Linux) bekannt und überhaupt nach Multics [5] eben nur noch gang und gäbe ist.



Einleitung

Hochsprachenorientierte Maschine

Segmentierung

Allgemeines

Abbildung

Mischformen

Seitenbasierte Hybride

Segmentierte Seitenadressierung

Seitennummerierte Segmentierung

Diskussion

Zusammenfassung







- Segmentierung in Reinform
  - nichtlinearer (zweidimensionaler) Adressraum
  - Segmentdeskriptoren und -tabellen
  - segmentbasierte Adressierung
  - implizite Selektion von Segmentdeskriptoren, je nach Zugriffsart (IA-32)



- Segmentierung kombiniert mit Seitenverfahren
  - segmentierte Seitenadressierung
    - Seitentabelle als Prozessgröße, ein Segment
    - eindimensionale (lineare) logische/virtuelle Adresse
  - seitennummerierte Segmentierung
    - Seitentabelle als Prozessgröße, ein Segment (GE645/Multics)
    - Seitentabelle als Systemgröße (IA-32)
    - ↪ Segmenttabellen sind (für gewöhnlich) seitennummeriert organisiert







- [1] BURROUGHS CORPORATION (Hrsg.):  
*The Descriptor — A Definition of the B 5000 Information Processing System.*  
Detroit 32, Michigan, USA: Burroughs Corporation, Febr. 1961.  
(Bulletin 5000-20002-P)
- [2] LONERGAN, W. ; KING, P. :  
Design of the B 5000 System.  
In: *DATAMATION Magazine* 7 (1961), Mai, Nr. 5, S. 28–32
- [3] MAYER, A. J. W.:  
The Architecture of the Burroughs B5000: 20 Years Later and Still Ahead of the Times?  
In: *ACM SIGARCH Computer Architecture News* 10 (1982), Jun., Nr. 4, S. 3–10
- [4] MCFARLAND, C. :  
A language-oriented computer design.  
In: *Proceedings of the Fall Joint Computer Conference (AFIPS '70).*  
New York, NY, USA : ACM, 1970, S. 629–640
- [5] ORGANICK, E. I.:  
*The Multics System: An Examination of its Structure.*  
MIT Press, 1972. –  
ISBN 0–262–15012–3

