

**Enterprise Computing
Einführung in das Betriebssystem z/OS**

**Prof. Dr. Martin Bogdan
Prof. Dr.-Ing. Wilhelm G. Spruth**

WS2012/13

Verarbeitungsgrundlagen Teil 2

Virtual Storage

Virtueller Speicher

Die Befehlsadressen und effektiven Adressen der Operanden arbeiten bei einem modernen Rechner mit einer Illusion eines Speichers, der eine andere und einfachere Struktur hat als der reale Hauptspeicher, in dem sich die Befehle und Operanden tatsächlich befinden.

Hierzu wird der virtuelle Speicher in Blöcke aufgeteilt, die alle die gleiche Größe (z.B. 4096 Bytes) haben. Diese Blöcke nennt man Seiten (pages).

Der Hauptspeicher wird in Blöcke aufgeteilt, die genauso groß wie die Seiten sind und als Platzhalter für die Aufnahme von Seiten dienen. Diese Blöcke nennt man Rahmen (frames oder pageframes).

Virtuelle Adressen adressieren Maschinenbefehle und Operanden im virtuellen Speicher.

Reale Adressen adressieren Maschinenbefehle und Operanden im (realen) Hauptspeicher.

Der virtuelle Speicher ist aus der Sicht des Programmierers ein kontinuierlicher, einfach zusammen-hängender, linearer Adressenraum.

Die Abbildungsvorschrift für die virtuelle (logische) in die reale (Physikalische) Adressumsetzung ist in einer **Seitentabelle** enthalten.

Begriffe

Wir benutzen die folgenden Begriffe:

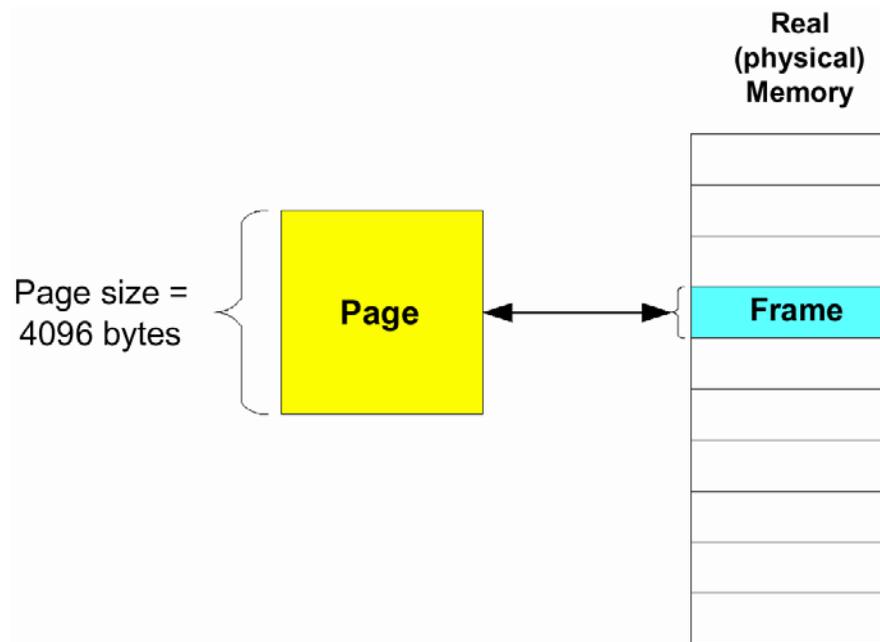
Ein Adressenraum (Address Space) ist die lineare Folge von Adressen der Bytes (oder anderer adressierbarer Einheiten) eines Speichers.

Ein **Virtueller Adressenraum** ist die lineare Folge von Adressen der Bytes eines virtuellen Speichers.

Ein **Realer Adressenraum** ist die lineare Folge von Adressen der Bytes eines realen (tatsächlich existierenden) Hauptspeichers.

Mittels der **Adressumsetzung** (Dynamic Address Translation, DAT) wird der virtuelle Adressenraum der Befehle und Operanden eines Benutzerprozesses vom realen Adressenraum des Hauptspeichers getrennt. Die Adressumsetzung bewirkt die Abbildung von virtuellen Adressen auf reale Adressen.

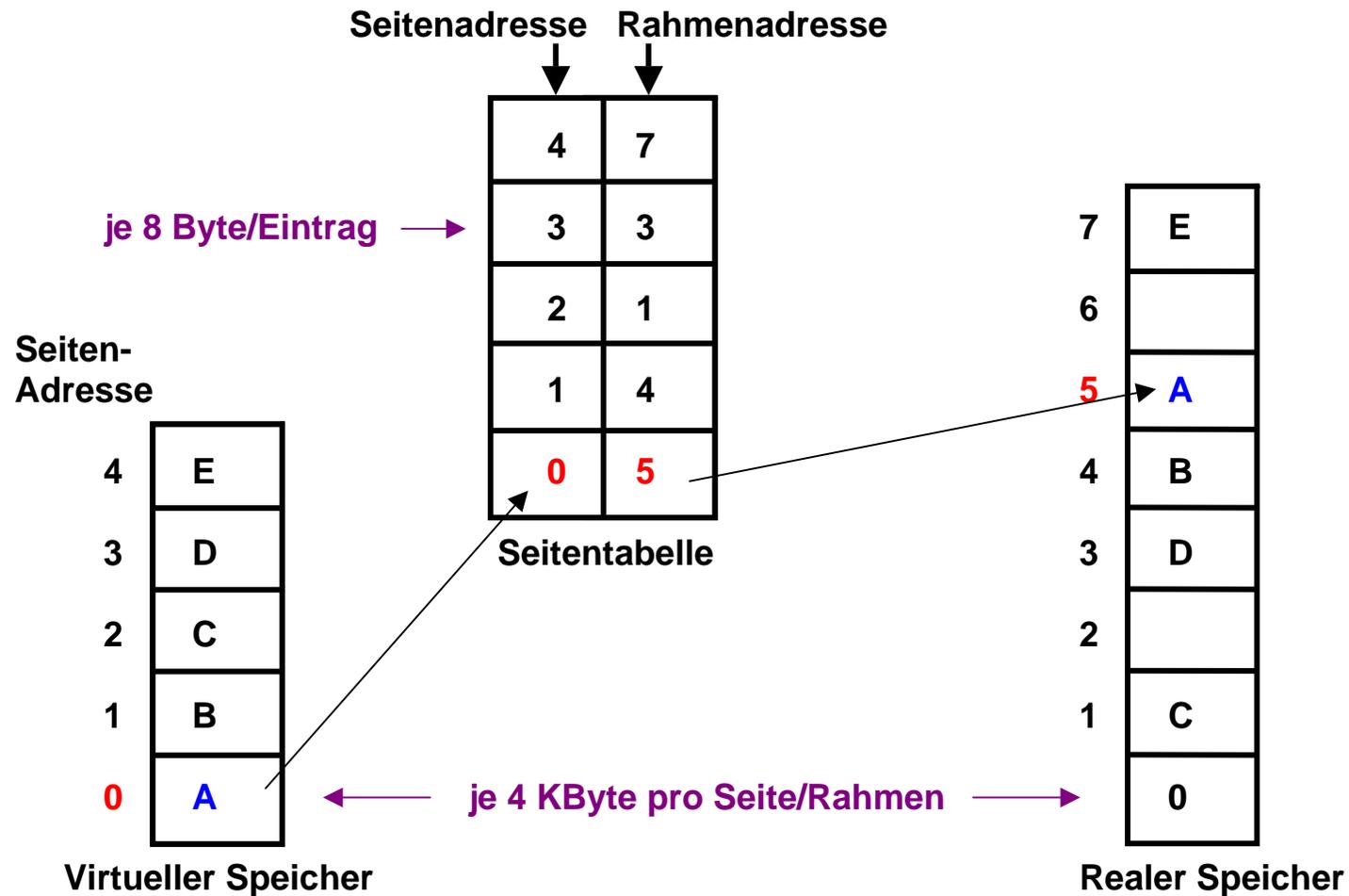
Adressumsetzung



Für die Adressumsetzung wird der Virtuelle und der reale Adressenraum jeweils in 4096 Byte große Blöcke aufgeteilt. Die Blöcke des virtuellen Speichers werden als Seiten (Pages) und die Blöcke des realen Speichers als Rahmen (Frames) bezeichnet. Die Anordnung der Bytes innerhalb einer Seite oder eines Rahmens ist identisch und wird bei der Adressumsetzung nicht verändert. Es erfolgt aber eine willkürliche Zuordnung von Seiten- zu Rahmenadressen.

Eine virtuelle bzw. reale Adresse besteht deshalb grundsätzlich aus 2 Feldern: Seiten- bzw. Rahmenadresse und Byteadresse





In dem hier gezeigten Beispiel erstreckt sich der virtuelle Speicher über 5 Seiten, der reale Hauptspeicher über 8 Rahmen. Virtuelle und reale Speicher können durchaus unterschiedliche Größen haben.

Die 5 Seiten des virtuellen Speichers speichern die Inhalte A, B, C, D und E. A hat die Seitenadresse 0. Die Adressumsetzung erfolgt mit Hilfe einer Seitentabelle. Jede Seite des virtuellen Speichers hat einen Eintrag in der Seitentabelle. Der Eintrag für Seitenadresse 0 besagt, dass der Seiteninhalt A in dem Rahmen mit der Rahmenadresse 5 abgebildet wird.

Größe des virtuellen Speichers richtig wählen

Theoretisch ist es denkbar, dass bei einem Rechner mit 64 Bit Adressen jeder virtuelle Adressenraum eine Größe von 2^{64} Bit hat. In der Praxis ist das nicht machbar, unter anderem, weil die Größe der Seitentafel im realen Speicher proportional zu der Größe aller virtuellen Speicher ist.

Seitentabellen erfordern wenige Promille der virtuellen Speichergröße an realem Hauptspeicherplatz. Zwei Promille von 2^{64} Bytes = 16 Exabyte sind 32 Terabyte.

Ein Mainframe Rechner kann 10 000 Prozesse mit getrennten Seitentabellen unterhalten. Die maximale Hauptspeichergröße eines z196 Mainframe beträgt aber „nur“ 3 TByte.

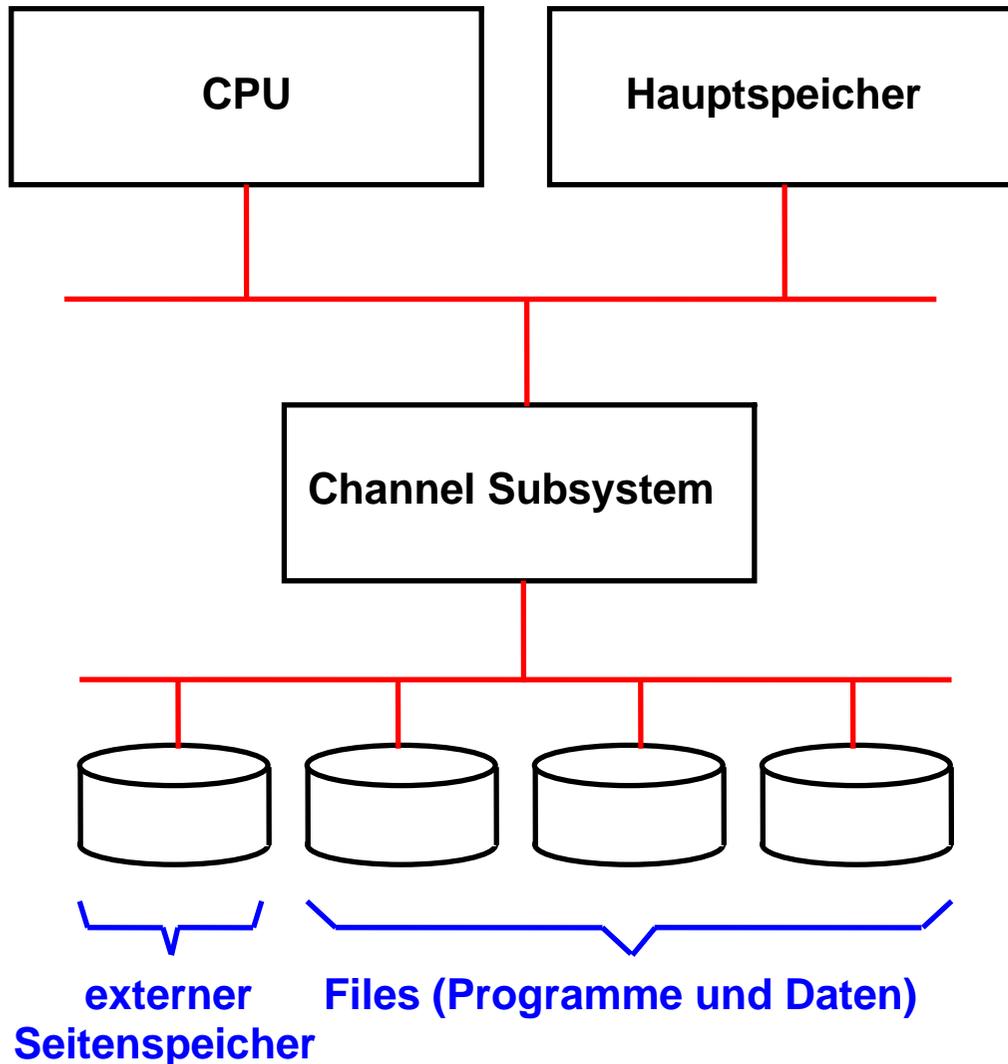
Virtuelle Speicher sollen deshalb nur so groß eingerichtet werden, wie es der Prozess erfordert.

Seitentabellen Hierarchie

Die Seitentabelle befindet sich (entweder teilweise oder ganz) im Überwacherteil des realen Hauptspeichers.

Genau genommen verwendet ein Mainframe (und auch ein x86) Rechner nicht eine einzige Seitentabelle, sondern eine 2 – 5 stufige Hierarchie von Seitentabellen. Im Gegensatz dazu verwendet die PowerPC Architektur nur eine einzige Seitentabelle

Dies sind Implementierungsdetails, die für ein Verständnis der folgenden Erläuterungen nicht benötigt werden.

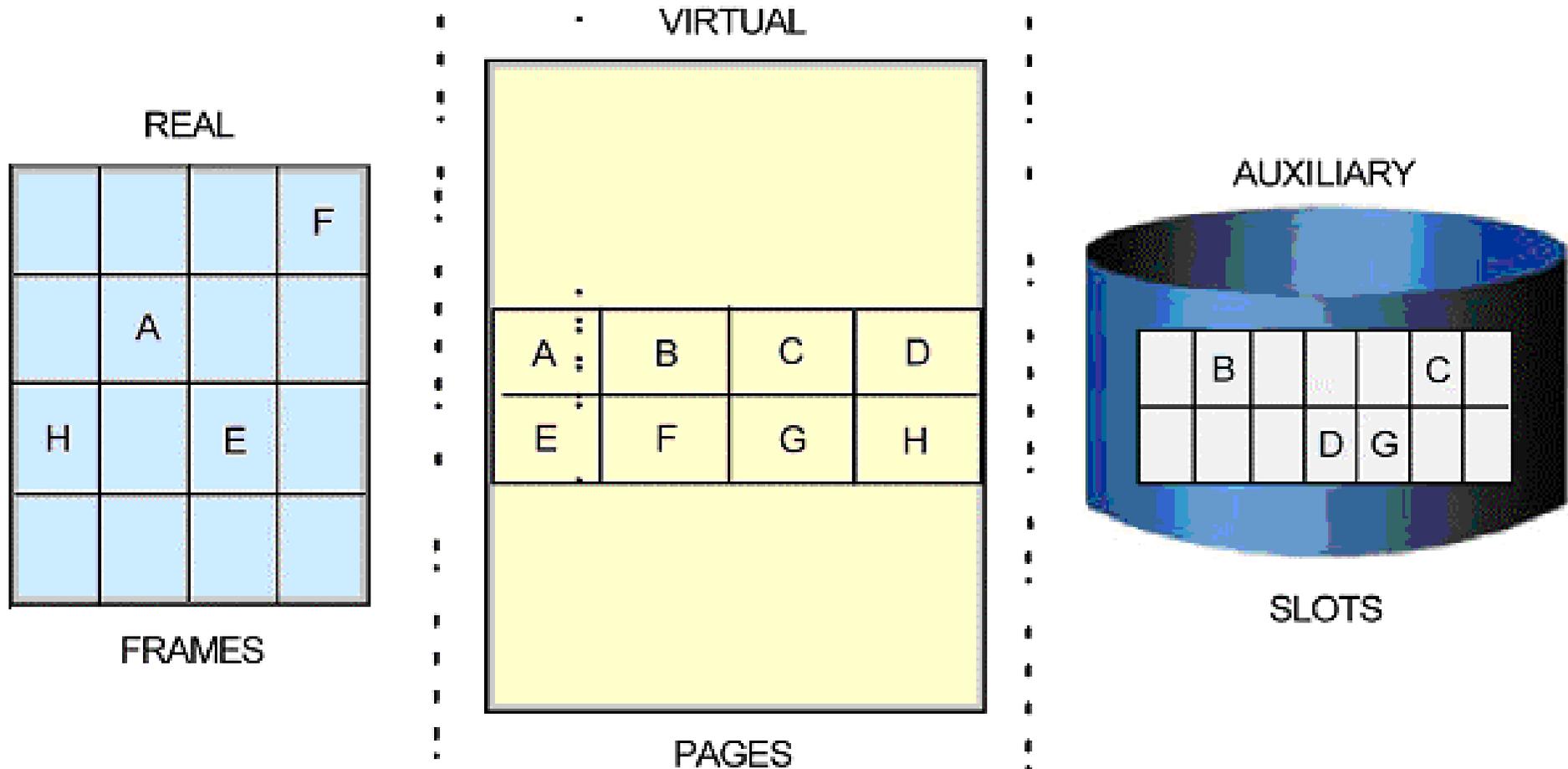


Der virtuelle Speicher kann auch größer als der reale Hauptspeicher sein.

In diesem Fall wird ein Teil des realen Hauptspeichers (Real Storage) auf einen als externer Seitenspeicher (Auxiliary Storage oder Page Data Sets) bezeichneten Plattenspeicher ausgelagert.

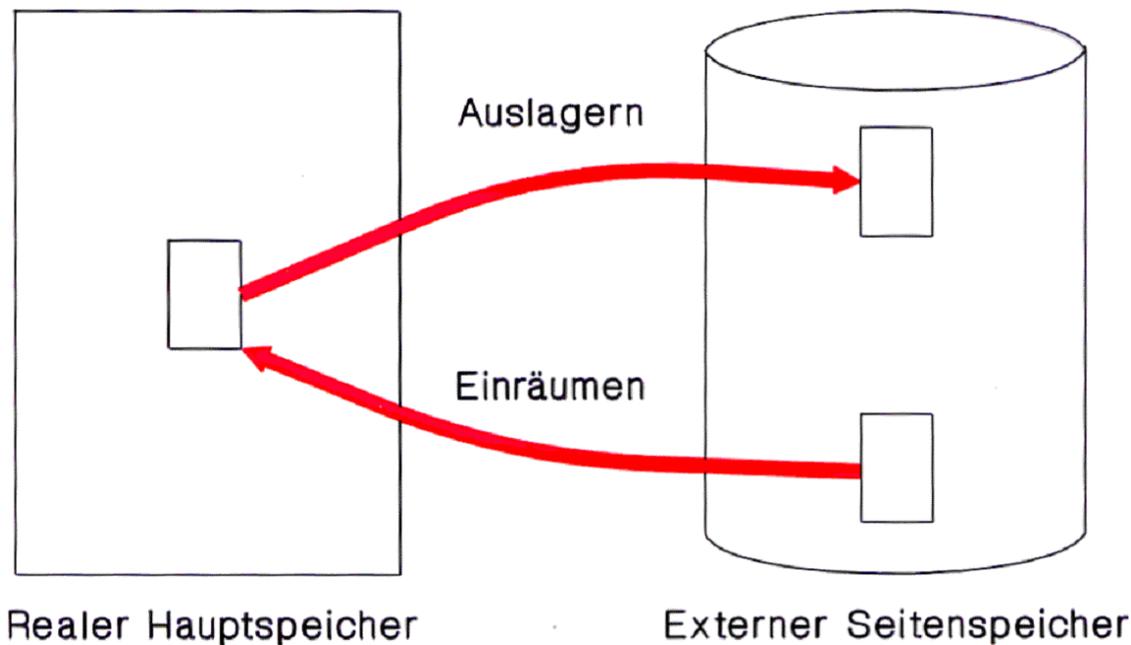
Bei einem Windows System ist dies z.B. der Bereich pagefile.sys auf der Partition C: . Bei einem Mainframe ist das in der Regel ein (oder mehrere) nur hierfür benutzter Plattenspeicher. Der externe Seitenspeicher ist hierfür in 4096 Byte große Rahmen aufgeteilt.

Sehr grob betrachtet hat das Channel Subsystem eines Mainframes die Funktion eines I/O Adapters.



In dem hier gezeigten Beispiel enthält der virtuelle Speicher die Seiten mit den Inhalten A, B, C, D, E, F, G und H. A, E, F und H sind in Rahmen des realen Hauptspeichers (Real Storage) abgespeichert. B, C, D und G befinden sich auf dem externen Seitenspeicher (Auxiliary Storage). z/OS bezeichnet die Rahmen des externen Seitenspeichers gelegentlich auch als „Slots“.

Wenn ein Benutzerprogramm auf B, C, D oder G zugreifen will, muss eine Komponente des Überwachers, der „Seitenüberwacher“ (Paging Supervisor), den Rahmen zuerst vom externen Seitenspeicher in den Hauptspeicher kopieren. Vermutlich muss er, um Platz zu schaffen, vorher den Inhalt einen anderen Rahmen des Hauptspeichers auf den externen Seitenspeicher auslagern.



Demand Paging

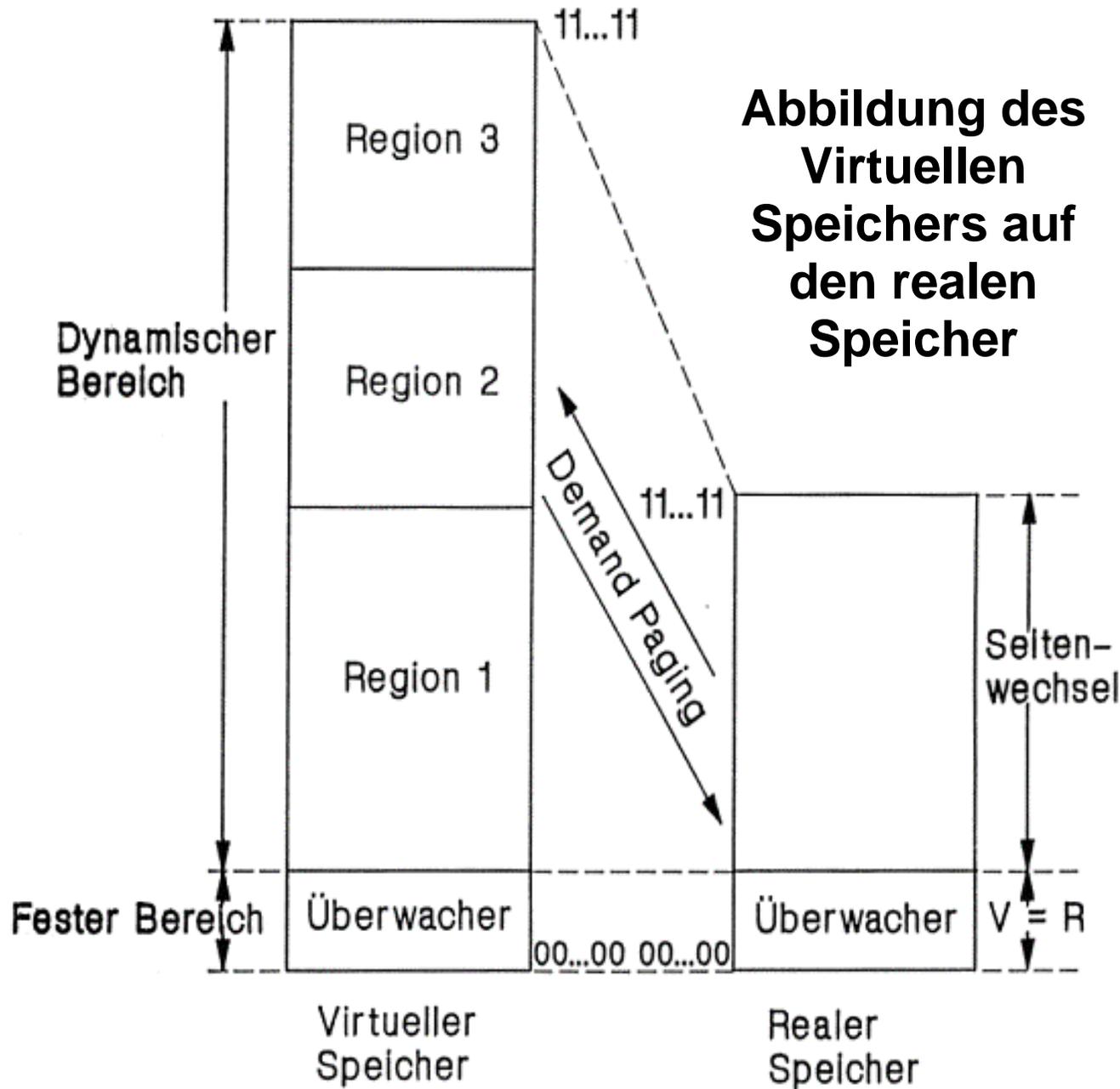
Mehrere Prozesse haben eigene (in der Regel) unabhängige virtuelle Speicher. Jeder virtuelle Speicher kann größer als der reale Hauptspeicher sein.

Der größere Teil der Seiten eines virtuellen Speichers ist in jedem Augenblick auf einem "externen Seitenspeicher", typischerweise ein Plattenspeicher, ausgelagert. Der reale Speicher besteht somit aus 2 Teilen: dem realen Hauptspeicher und dem externen Seitenspeicher.

Beim Zugriff zu einer ausgelagerten Seite (nicht in einem Rahmen des Hauptspeichers abgebildet) erfolgt eine "Fehlseitenunterbrechung" (Page Fault).

Diese bewirkt den Aufruf einer Komponente des Überwachers (Seitenüberwacher, Paging Supervisor), der die benötigte Seite aus dem externen Seitenspeicher holt und in den Hauptspeicher einliest. Evtl. muss dafür Platz geschaffen werden, indem eine andere Seite dafür auf den externen Seitenspeicher gelegt wird.

Dieser Vorgang wird als „Demand Paging“ bezeichnet.



Der Benutzer Adressenraum ist in der Regel größer als der reale Hauptspeicher. Ein Teil des Benutzerraums wird deshalb in jedem Augenblick auf den externen Seitenspeicher ausgelagert.

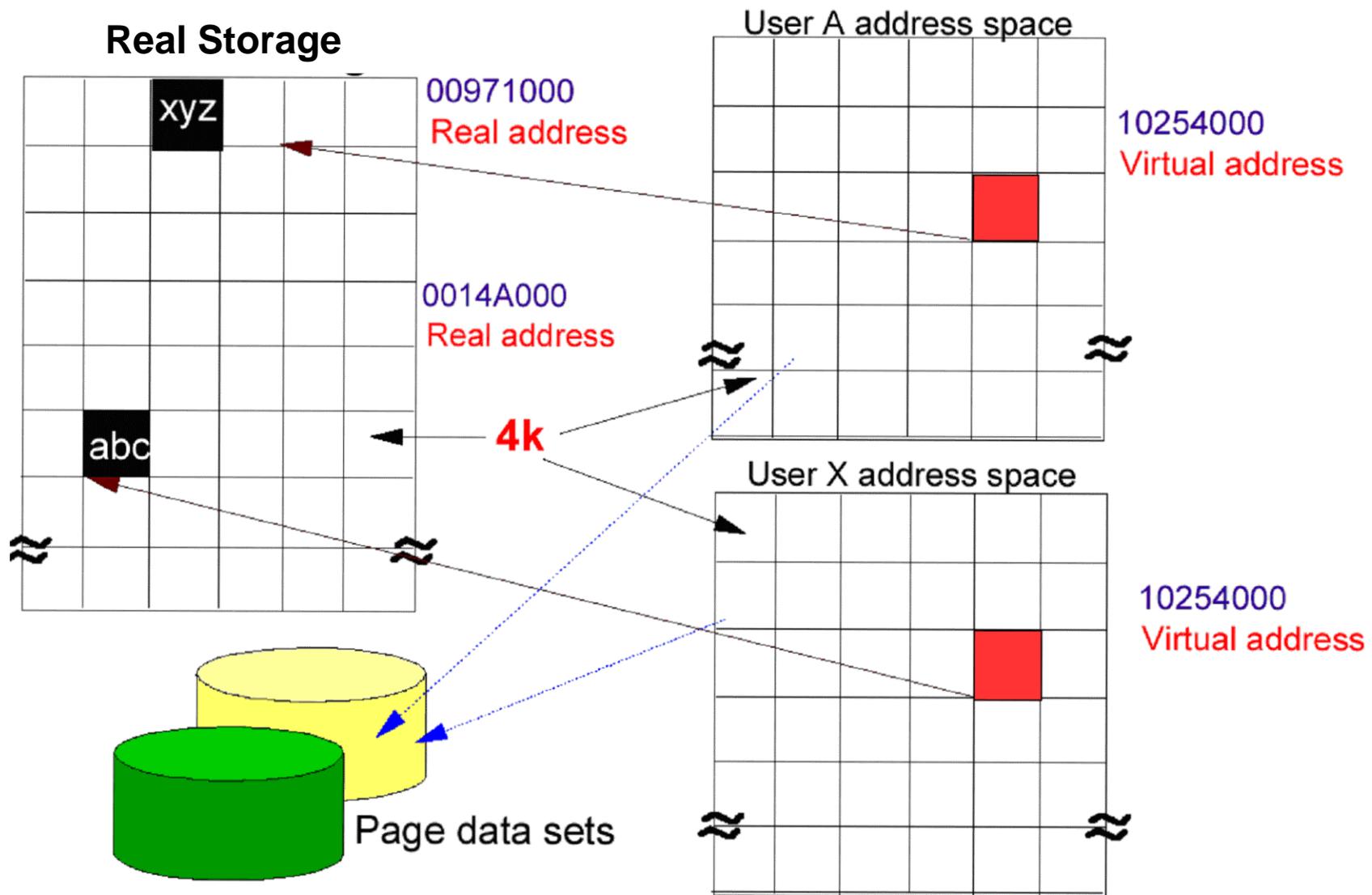
Eine Möglichkeit der Nutzung des virtuellen Speicherkonzeptes besteht darin, den virtuellen Speicher in mehrere Regions aufzuteilen, wobei in jeder Region ein Prozess läuft. Hierbei ist in jedem Augenblick ein Teil der Seiten einer jeden Region im realen Hauptspeicher abgebildet; der Rest befindet sich auf dem externen Seitenspeicher. Der Inhalt der Regionen verändert sich auf Grund des Demand Paging Konzeptes ständig; der Benutzer Adressenraum wird deshalb als der Dynamische Bereich bezeichnet.

Abbildung des Virtuellen Speichers auf den realen Speicher

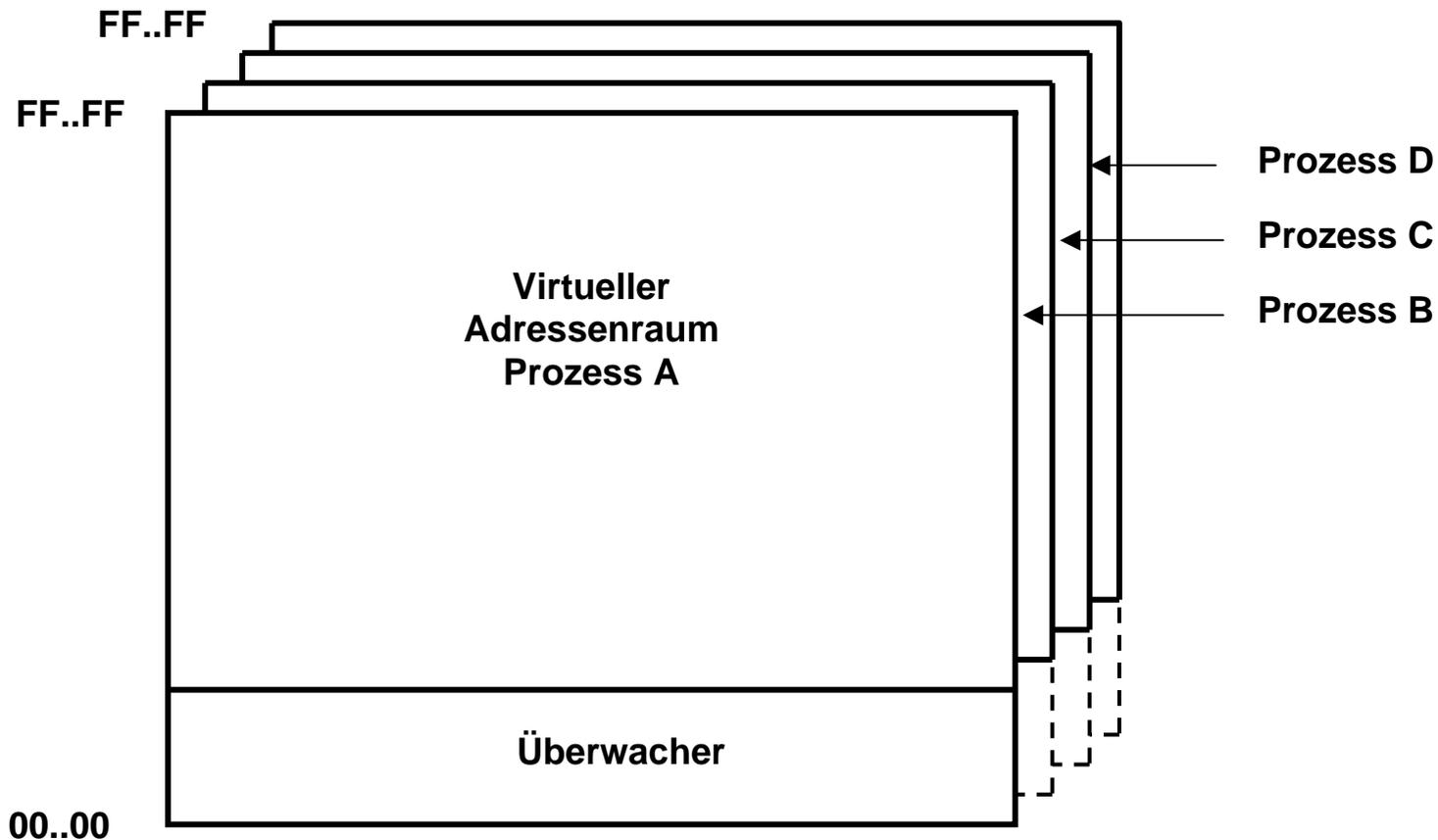
Der Inhalt der Rahmen des realen Hauptspeichers ändert sich ständig, da mittels des Demand Paging ständig Seiten zwischen dem Hauptspeicher und dem externen Seitenspeicher hin- und herbewegt werden.

Hierzu gibt es eine Ausnahme: Seiten, die den Überwacher enthalten, werden aus Performance Gründen ständig im Hauptspeicher gehalten. Weiterhin sind die virtuellen Adressen des Überwachers identisch mit den realen Adressen. Man bezeichnet den Überwacher deshalb auch als den Residenten Überwacher. Der Überwacher belegt die untersten Adressen, beginnend mit der hexadezimalen Adresse 000---000 .

Streng genommen ist diese Darstellung stark vereinfacht. Tiefer gehende Details werden aber für die folgenden Erläuterungen nicht benötigt

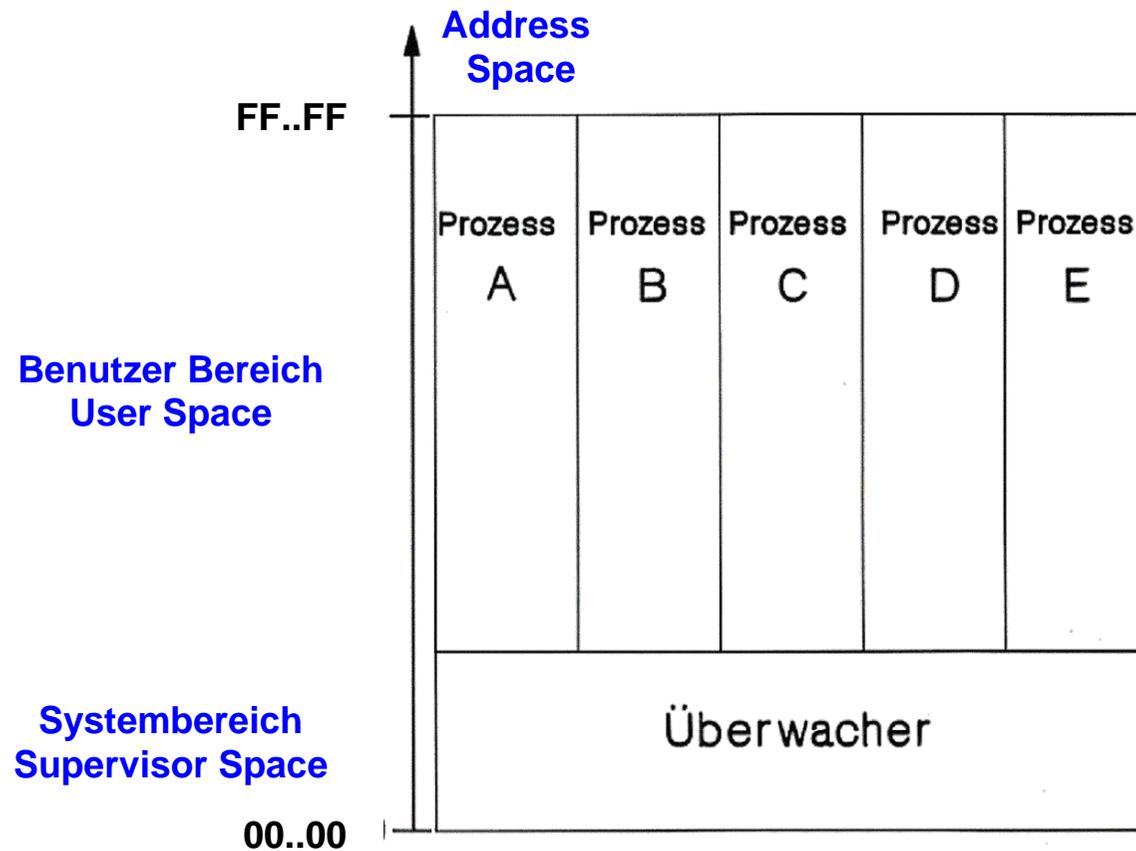


Gezeigt ist, wie zwei Seiten in getrennten virtuellen Adressräumen, aber mit identischen virtuellen Adressen, auf unterschiedliche reale Rahmenadressen abgebildet werden.



Mehrfache virtuelle Adressräume Multiple Virtual Address Spaces

Da der virtuelle Speicher sehr viel größer als der reale Hauptspeicher sein kann, ist es möglich, jedem Prozess einen virtuellen Speicher maximaler Größe zuzuordnen. In diesem Fall benutzen unterschiedliche virtuelle Speicher identische Adressen. Der Adressbereich der virtuellen Speicher geht von Hex 000..000 bis zu einer maximalen Größe, theoretisch bis zu FFF...FFF, z.B. 2^{31} oder 2^{64} Bytes.



Die Abbildung der virtuellen Adressen auf unterschiedliche reale Adressen erfolgt, in dem man jedem Prozess eine eigene Seitentabelle zuordnet.

Der Systembereich (Supervisor Space) mit dem Überwacher ist nur einmal vorhanden, und ist Bestandteil aller virtuellen Adressenräume. Für den Systembereich sind virtuelle und reale adressen identisch.

z/OS benutzt dieses Verfahren. Der virtuelle Adressenraum eines Prozesses wird als (virtual) **Address Space** bezeichnet.