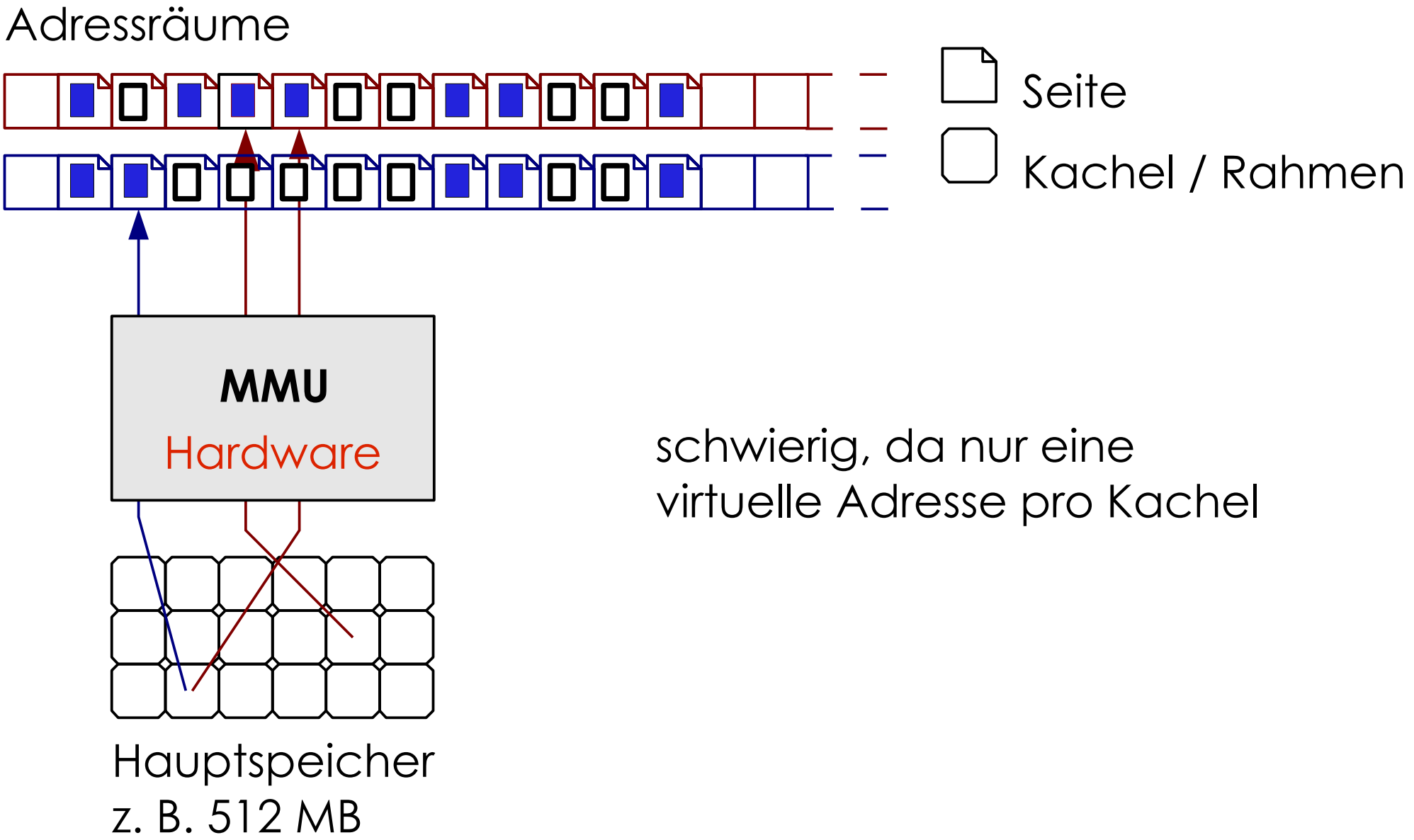
Sharing und invertierte Seitentabellen



schwierig, da nur eine
virtuelle Adresse pro Kachel

MMU-Ansteuerung: einige wichtige Details

Aufgaben

- Manipulation und Interpretation der MMU-Daten
- Atomare Operationen:
  - Eintrag einer Seite in einen Adressraum
  - Verdrängung einer Seite aus einem oder mehreren Adressräumen
- Propagation von Attributen

Kontext: Verwendung der Attribute

BS-seitig

```
void init(Kachel) {
   Kachel.modified = 0;
   Kachel.referenced = 0;
}
```

Hardwareseitig

```
 ... Prozesse arbeiten ...
→  HW setzt referenced- und
   modified-Flag
   in Seitentabllen !!!
```

basieren auf „referenced“ und „modified“ Attributen von Kacheln !!!

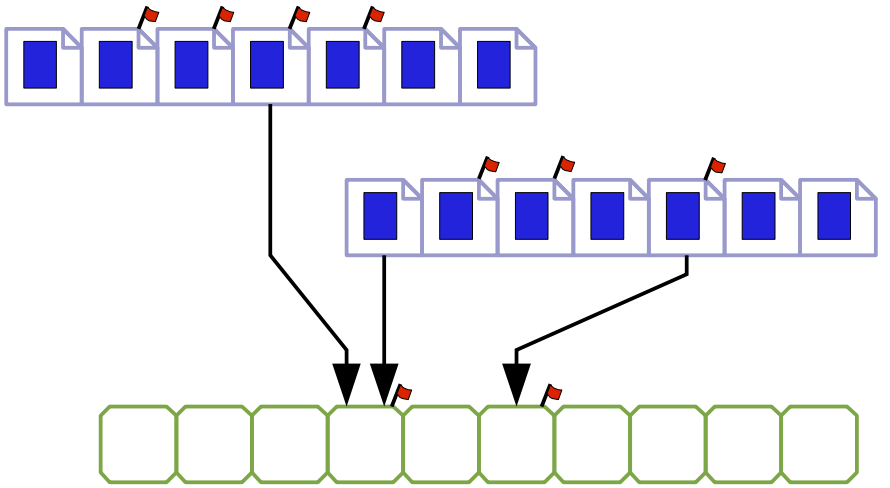
BS-seitig (später mehr Kontext)

```
void pagefault(Seiten_NR) {

   NewK = getFreieKachel();

   if (!NewK) {
      //keine Kachel mehr frei
      NewK = ErsetzungsStrategie();

      //NewK ist jedoch noch in
      //Benutzung
      if (NewK.modified)
            writeToDisk(NewK, ...);
      removeFromPT(NewK);
      //aus alten AddrRäumen entfernen

   }

}
```

Propagation von Attributen

- Kacheln können mehreren Seiten mehrerer Adressräume zugeordnet sein
- Attribute *used, modified* werden durch Hardware für Seiten (nicht Kacheln) gesetzt

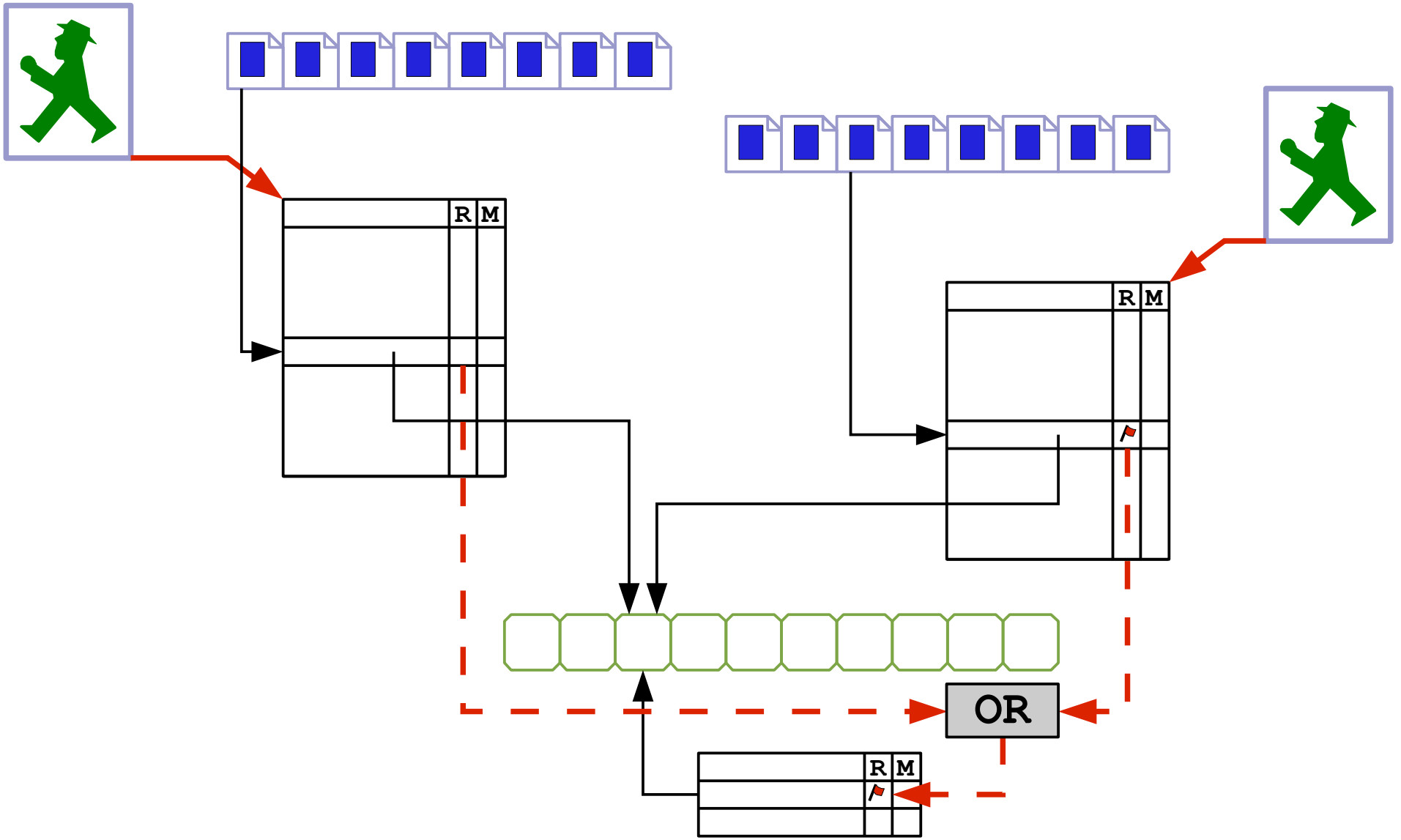
➔ notwendig:
  - Propagation der Attribute von Seiten zu Kacheln
  - Rückkehrabbildung: welchen Seiten ist eine gegebene Kachel zugeordnet



- Seite in Adressraum A: used, not modified
- Seite in Adressraum B: not used, modified

➔ Kachel: used, modified

Propagation der Seitenattribute

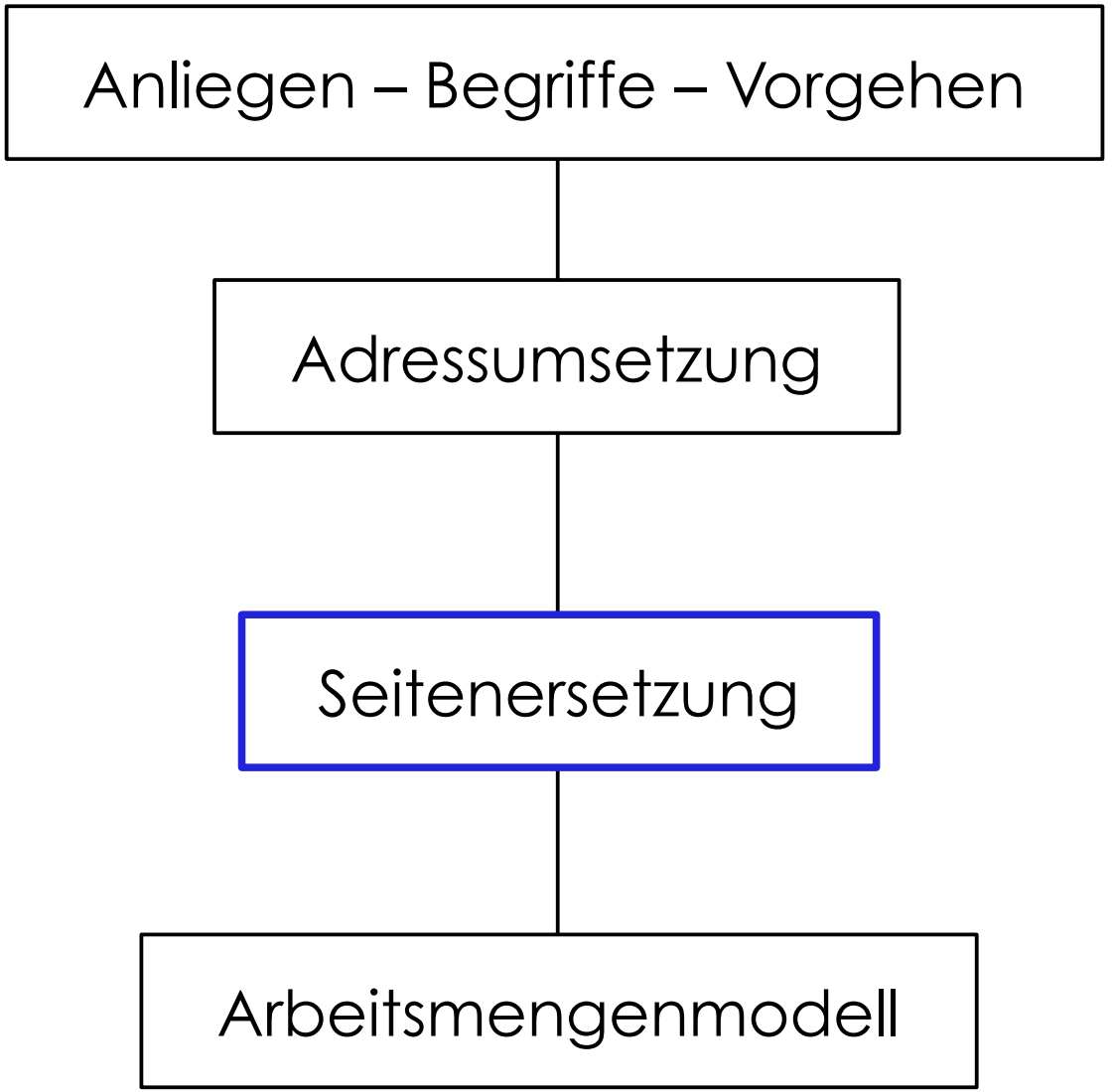


Umkehrabbildung: Kacheln zu Adressraum

Für:

- Attributpropagation
- bei Verdrängung einer Kachel:
  - Auffinden der Seitentabellen, aus denen Kachel ausgetragen werden muss
  - Später:
    Identifierung des Speicherobjektes, damit Inhalt weggeschafft werden kann

Wegweiser: Virtueller Speicher



Virtueller Speicher im Betriebssystem

Teilaufgaben

- Seitenfehler-Behandlung
- Verwaltung des Betriebsmittels Hauptspeicher
- Aufbau der Adressraumstruktur
  (Speicherobjekte und Regionen)
- Bereitstellung spezifischer Speicherobjekte
- Interaktion Prozess- und Speicher-Verwaltung

Seitenfehlerbehandlung (Überblick)

```
trap (HW) {

 • rette Register
 • Ermittlung der Seitenfehleradresse

    ◆ Regionmanager: Speicherobjekt bestimmen
    ◆ freie Kachel ermitteln oder verschaffen
    ◆ falls nötig, alten Kachelinhalt
         zurückschreiben (Prozess wartet)
    ◆ Seiteninhalt in Kachel laden
         (Prozess wartet)
    ◆ Seitentabelle aktualisieren

 •  return from trap (Instruktion wird
                      wieder aufgesetzt)
}
```

Hauptspeicher: Betriebsmittelverwaltung

Aufgaben

- gewährt und entzieht bei Knappheit Kacheln
- Buchführung → wo sind welche Kacheln?

➔ welche Kacheln werden verdrängt?

Seitenaustauschverfahren

- Seitenverdrängung
- Seitenersetzung

Seitenersetzungsverfahren

Problem

Eine Kachel wird benötigt, eine Seite ist zu verdrängen.

➔ wie und welche ??

Wie wird verdrängt?

Kachel aus Seitentabelle austragen (TLB-Eintrag löschen)
falls modifiziert → zurückschreiben auf persistenten Speicher

Welche Seite wird verdrängt?

- optimal: die Seite wird verdrängt, die am spätesten in der Zukunft benutzt werden wird
- stattdessen:
  - Betrachtung der Vergangenheit (verschiedene Algorithmen)
  - Ausnutzung des Lokalitätsverhaltens („Arbeitsmengen-Modell“)

Seitenersetzung allgemein

BS-seitig

```
void init(Kachel) {
   Kachel.modified = 0;
   Kachel.referenced = 0;
}
```

Hardwareseitig

```
 ... Prozesse arbeiten ...
→  HW setzt referenced- und
   modified-Flag
```

BS-seitig

```
void pagefault(Seiten_NR) {

   NewK = getFreieKachel();

   if (!NewK) {
     //keine Kachel mehr frei
     NewK = ErsetzungsStrategie();

     //NewK ist jedoch noch in
     //Benutzung
     if (NewK.modified)
             writeToDisk(NewK, ...);
     removeFromPT(NewK);
     //aus alten AddrRäumen entfernen

   }

   NewContent(NewK);
    //z.B. fillWithZero
   //oder readFromDisk(Seiten_Nr,NewK)

   insertIntoPT(Seiten_NR, NewK);
   //Kachel im richtigen AR, bei der
   //richtigen SeitenNR einfügen
}
```

Generelle Überlegung

Tanenbaum MOS

- Annahme:

  Ersetzungsstrategie basierend auf festen Inspektionsintervallen

wähle beliebigen Rahmen im System nach folgender Priorität:

1) **nicht benutzt, nicht modifiziert**
2) **benutzt, nicht modifiziert**
3) **nicht benutzt, modifiziert**
4) **benutzt, modifiziert**

FIFO: First in first out

Tanenbaum MOS

Verdränge ***älteste*** Seite

→ d.h. Inhalt der Kachel, die schon am längsten ihren jetzigen Inhalt hat

Vorteil

- keine Information über tatsächliches Referenzverhalten nötig
- einfach implementierbar

Nachteil

- ignoriert Lokalitätsverhalten
- BELADY's Anomalie

LRU: Least Recently Used

Tanenbaum MOS

Verdränge am ***längsten*** *nicht genutzte* Seite

Vorteil

- gilt als gute Näherung für optimalen Algorithmus

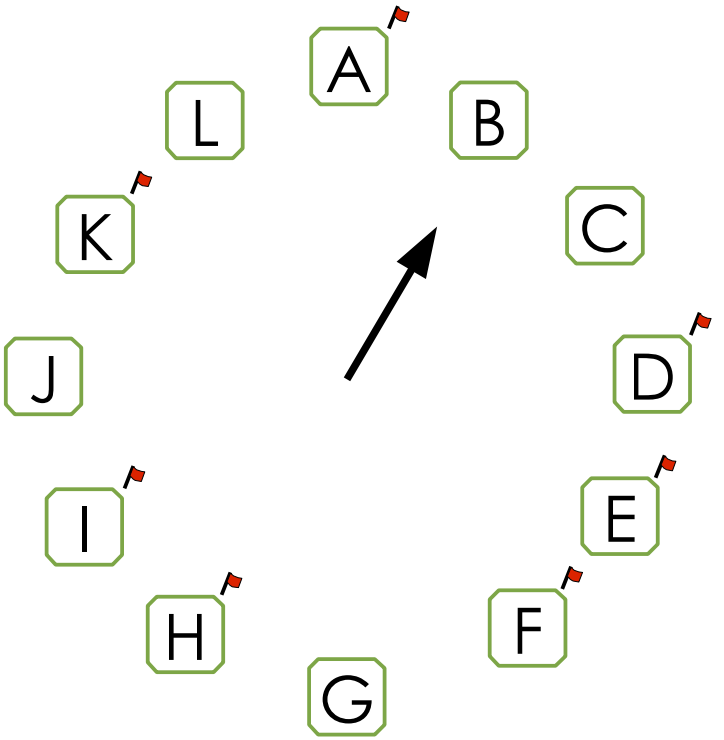
Nachteil

- aufwendige Realisierung
  jeder Speicherzugriff müsste berücksichtigt werden
  - ➔ HW-Unterstützung wird benötigt

➔ Annäherungen per Software

LRU Annäherung: Clock-Algorithmus

```
while (Kachel[i].referenced) {
  Kachel[i].referenced = 0;
  //Flag löschen
  i = (i + 1) % FRAME_COUNT;
  //Zeiger weiterdrehen
}
//Seite in Kachel Nummer i
//verdrängen
```



LRU Annäherung: Aging

- Kachel mit ältestem Inhalt wird verdrängt
- bessere Näherung: statt „0“ „1“ → feineres Altersraster
- Analogie: Geburtsjahr
  - 1982
  - 1985
  - 1986

  niedrige Zahl → hohes Alter

LRU Annäherung: Aging

```
void init(Kachel) {
   Kachel.modified = 0;
   Kachel.referenced = 0;
}
```

Hardware

```
... Prozesse arbeiten ...
→  HW setzt referenced- und
   modified-Flag
```

BS-Thread:

```
// at every „Tick“ call:

void Aging(){
  for(i = 0; i < maxK; i++) {
  SetAge(Kachel[i].referenced);
    // nächste Folien
  Kachel[i].referenced = 0;
  }
 }
```

LRU Annäherung: Aging

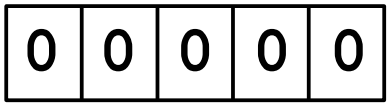
0	0	0	0	0

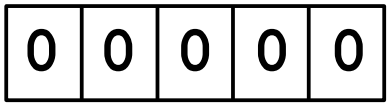
0	0	0	0	0

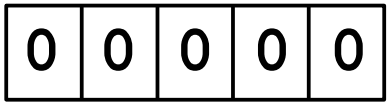
0	0	0	0	0

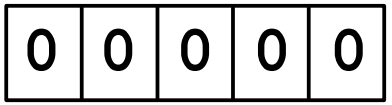
0	0	0	0	0

LRU Annäherung: Aging







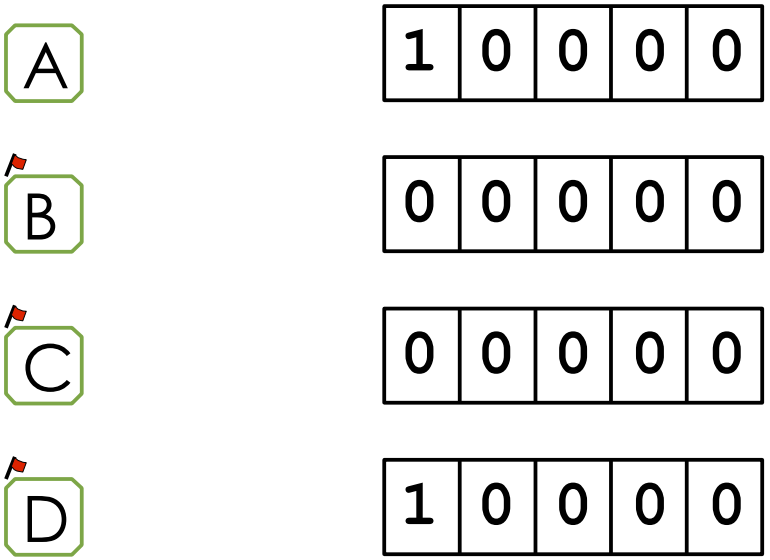


LRU Annäherung: Aging

Tick 1

A	1	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
D	1	0	0	0	0

LRU Annäherung: Aging



LRU Annäherung: Aging

0	1	0	0	0

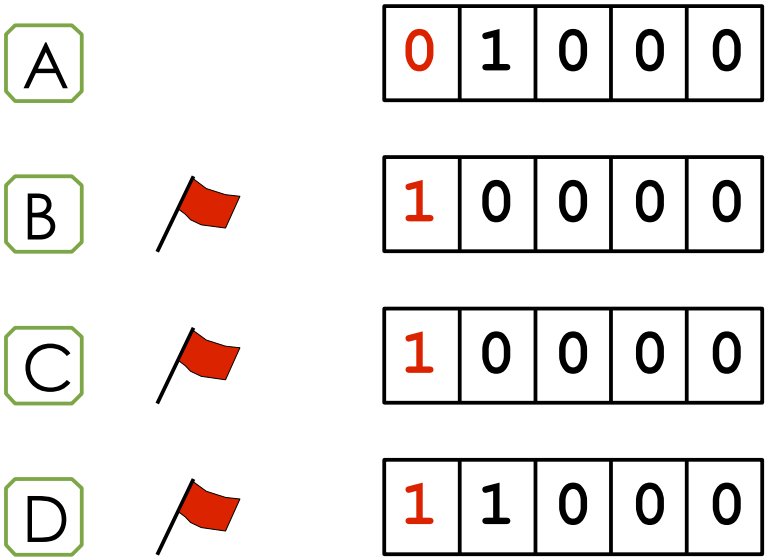
1	0	0	0	0

1	0	0	0	0

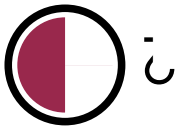
1	1	0	0	0

LRU Annäherung: Aging

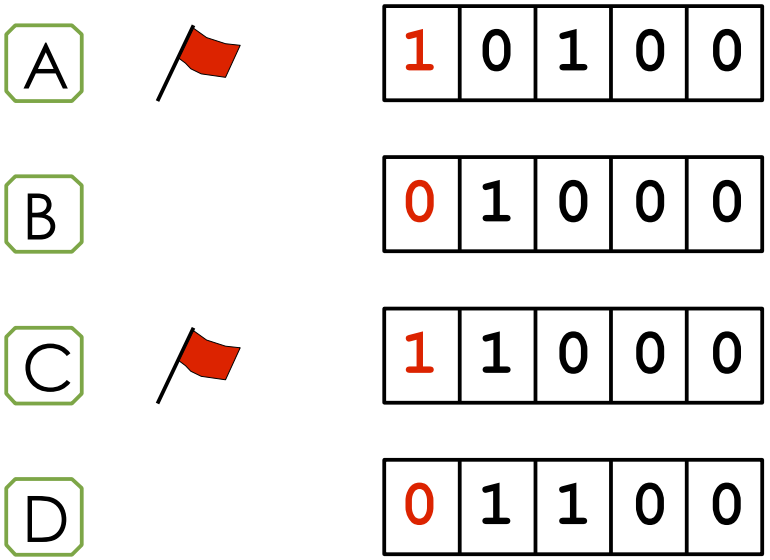
Tick 2



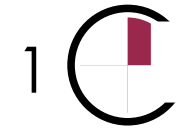
LRU Annäherung: Aging



Tick 3

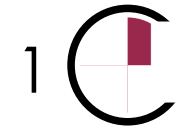


LRU Annäherung: Aging



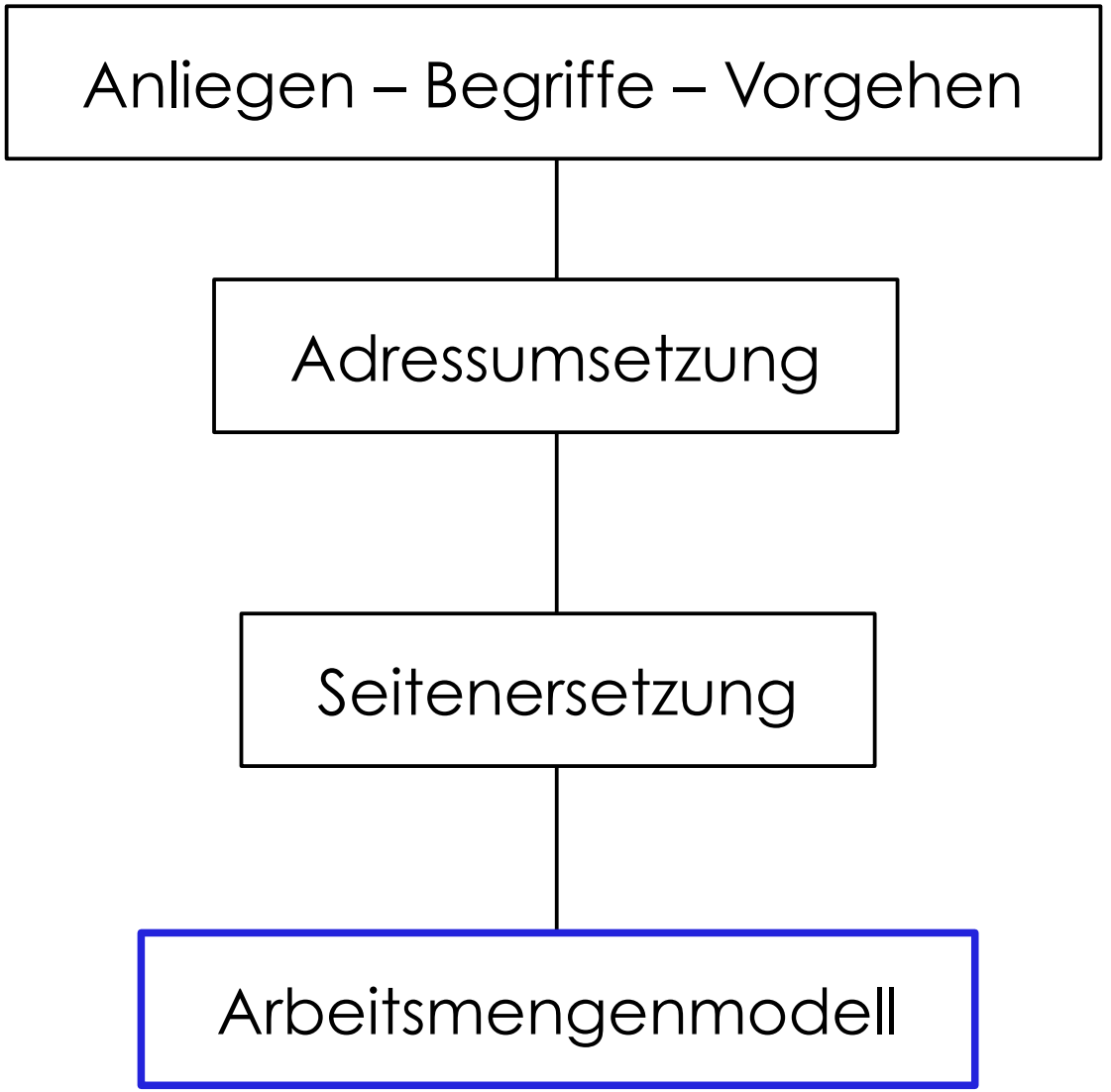
	Seitenersetzung	Age
A	1 0 1 0 0	20
B	0 1 0 0 0	8
C	1 1 0 0 0	24
D	0 1 1 0 0	12

LRU Annäherung: Aging



	Seitenersetzung	Age
A	1 0 1 0 0	20
X	0 1 0 0 0	8
C	1 1 0 0 0	24
D	0 1 1 0 0	12

Wegweiser: Virtueller Speicher



Das Arbeitsmengenmodell (Working Set)

Problem

→ Seitenfehlerhäufung bei Prozessaktivierungen

Grundgedanken

- Lokalitätsprinzip
- Betrachtung der Seitenreferenzfolge eines Prozesses durch ein „Fenster“ der Länge *T* (sog. Arbeitsmengen-Parameter)

Das Arbeitsmengenmodell (Working Set)

- Arbeitsmenge $w(t, T)$ zum Zeitpunkt t bzgl. T:
  Menge der im Intervall $[t - T, t]$ referenzierten Seiten

Erfahrung

- max ($Z(T)$): theoretisch mögliche Maximalzahl von Speicherzugriffen in T Zeiteinheiten

- $|w(t, T)| \ll \max(Z(T))$

Das Arbeitsmengenmodell (Working Set)

Vorgehen

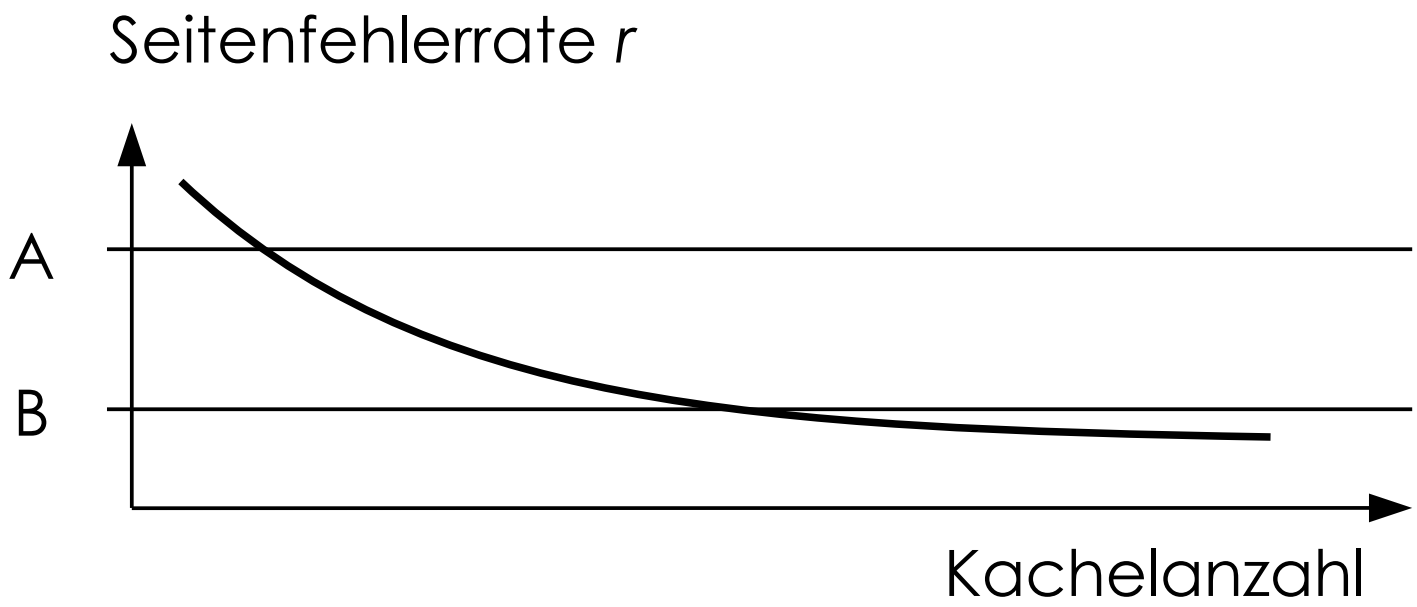
- Bestimmung der Arbeitsmenge bei jeder Seitenreferenz
- für aktive und bereite Prozesse muss sich genau die Arbeitsmenge im Speicher befinden
- Swapping, falls Rahmen fehlen
  → Prepaging bei Wiedereinlagerung

Probleme

- Fenstergröße
- Implementierung (prozesseigene Uhr!)
- „Seitenflattern“ (Thrashing)
- globale/lokale Ersetzung

Seitenfehlerrate

- Begrenzung der Anzahl von Prozessen und globaler Seitenaustausch
- Ermittlung der Kachelanzahl: abhängig von Seitenfehlerrate



Prozesslokaler vs. prozessglobaler Seitenaustausch

- Seitenaustausch global für alle Prozesse
  Problem:
  „thrashing“ falls zu viele Prozesse

- Seitenaustausch prozesslokal
  (Zuteilung von Hauptspeicher an Prozesse)

➔ Problem:
  Ermittlung der Anzahl benötigter Kacheln

	Age
A0	8
A1	3
A2	4
A3	15
A4	2
A5	6
B0	3
B1	9
B2	5
C0	12
C1	5
C2	13
C3	6
C4	3
C5	7
C6	4

Weiterer Gesichtspunkt: Wahl der Seitengröße

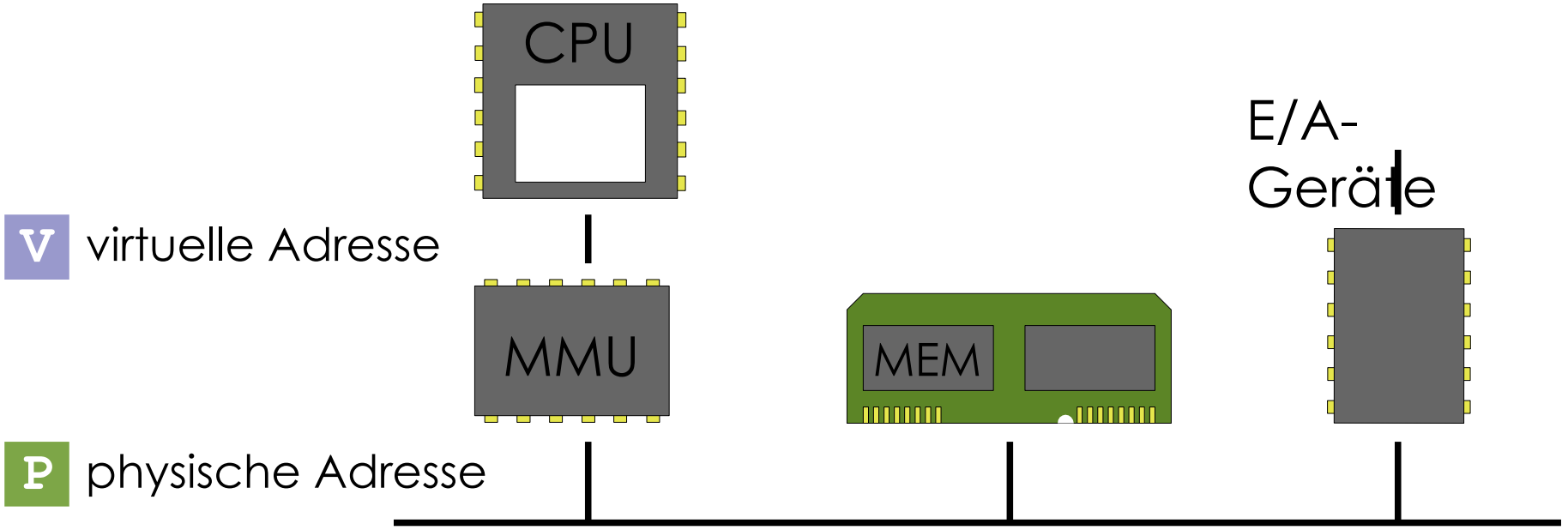
→ Betriebssystem kann Seitengröße größer wählen als durch Hardware vorgegeben

- HW mit mehreren Seitengrößen (Itanium, ARM)

Entscheidungsgesichtspunkte

- Zeit für Seiteneinlagerung
- Verschnitt durch nicht voll genutzte Seiten
- Lokalität von Zugriffen
- TLB-Ausnutzung besser bei größeren Seiten
- Größe von Verwaltungsdatenstrukturen

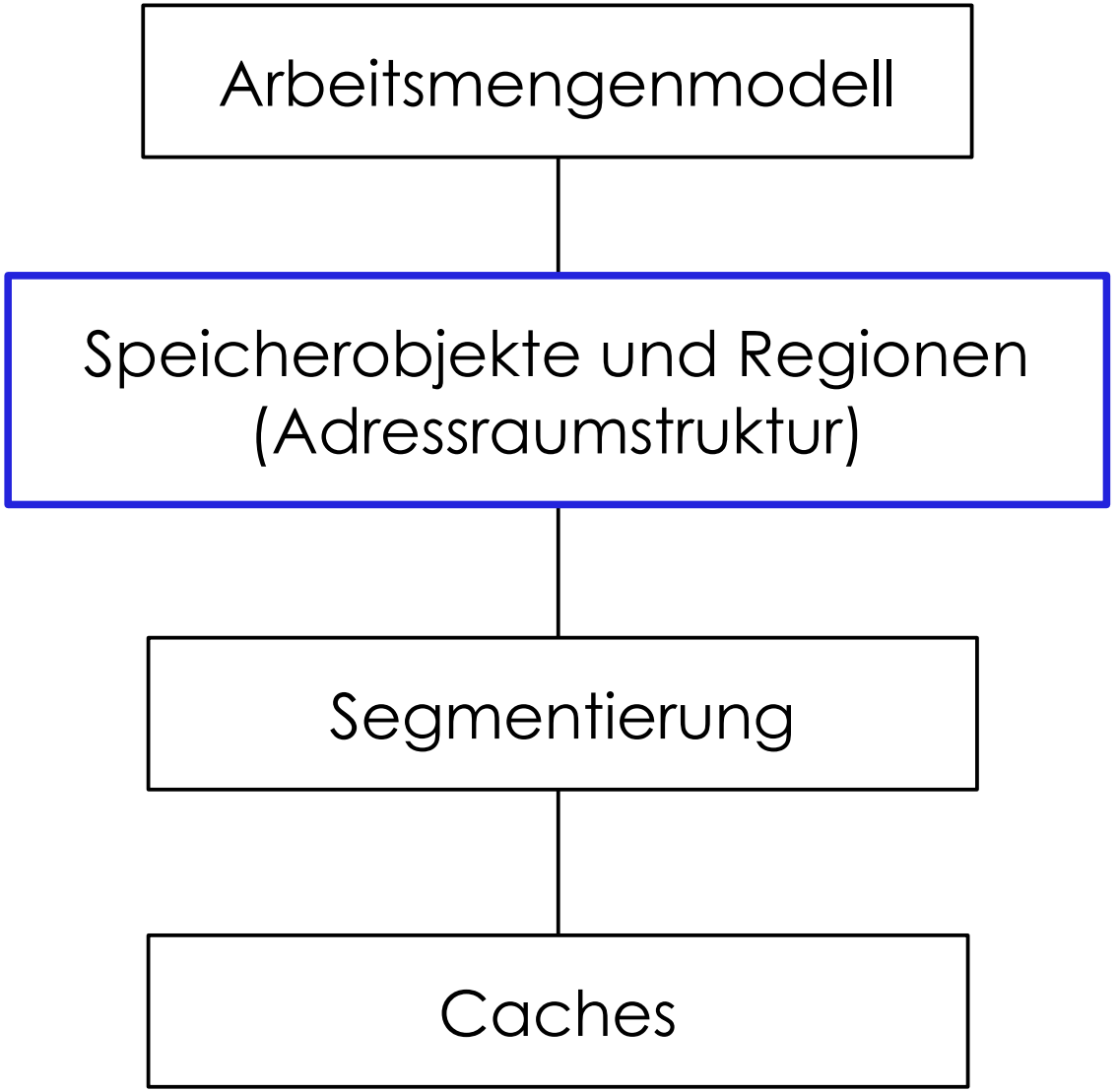
Residente Seiten



E/A – Einbindung

- häufige, aber schlechte Lösung:
  Kopieren in/aus residentem Zwischenpuffer
- ➔ besser: Residentsetzen beliebiger Adressbereiche,
  „Pinning“ - Umrechnen virtuell → real durch Treiber
- weitere Anwendung: zeitkritische Applikationen

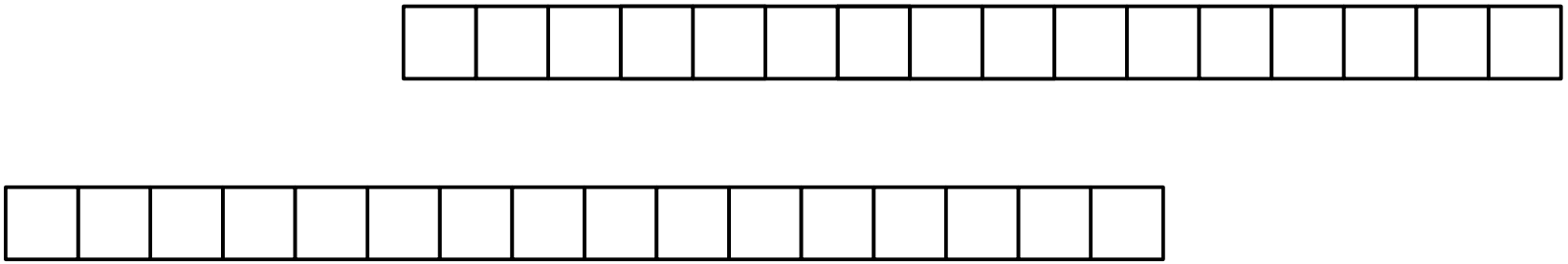
Wegweiser


Arbeitsmengenmodell
Speicherobjekte und Regionen
(Adressraumstruktur)
Segmentierung
Caches

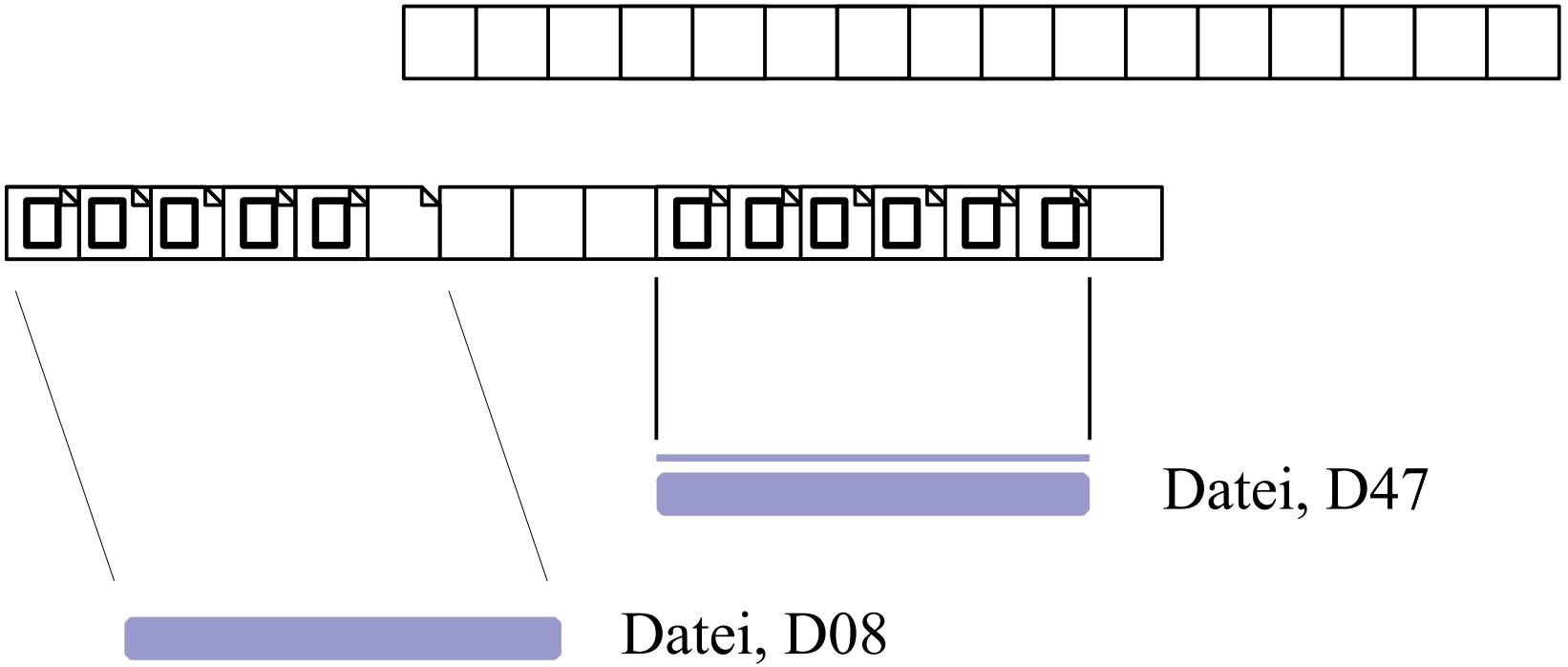
Speicherobjekte

- Text- (Code-), Daten-, ... -Segment eines Prozesses
- Dateien (nächstes Kapitel)
- Bildwiederholspeicher
- BS-Datenstrukturen
  - Thread Control Blocks
  - Seitentabellen
  - ...
- Netzwerkobjekte

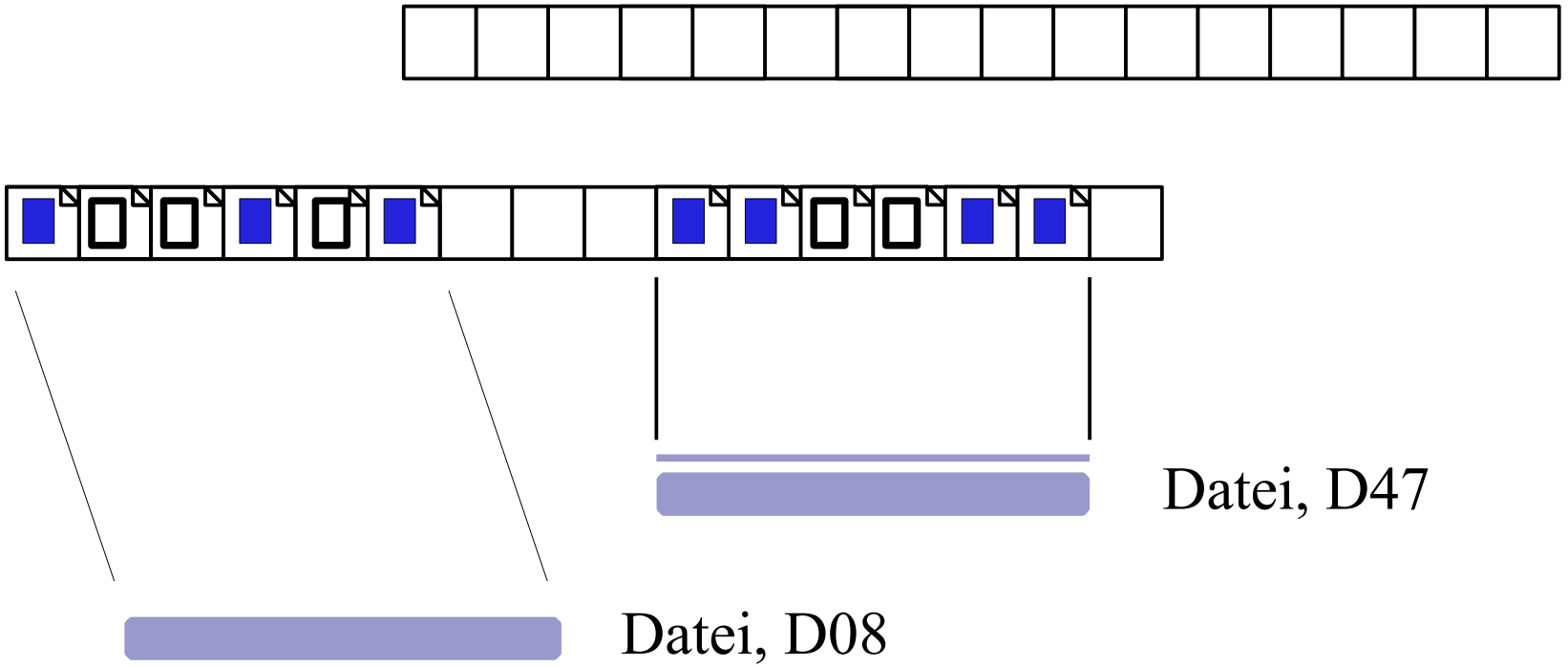
Speicherobjekte und Regionen



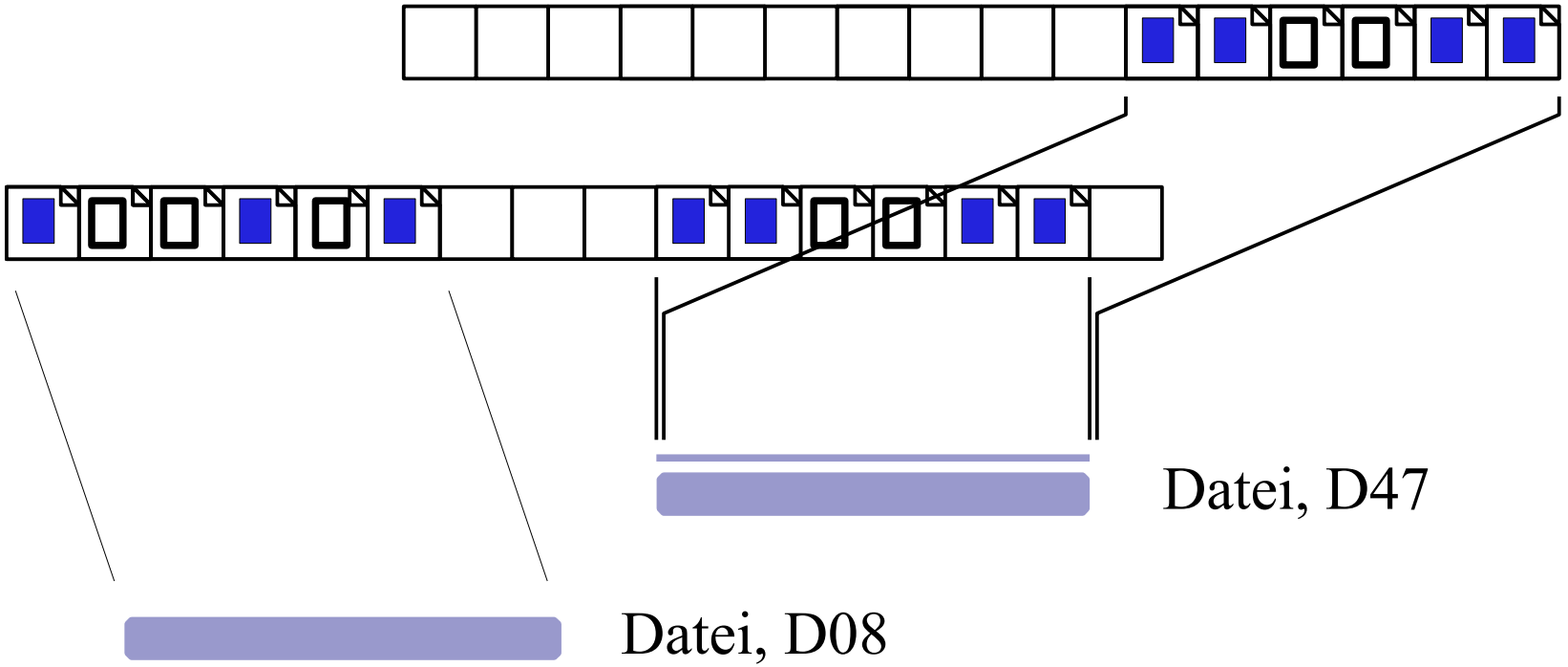
Speicherobjekte und Regionen



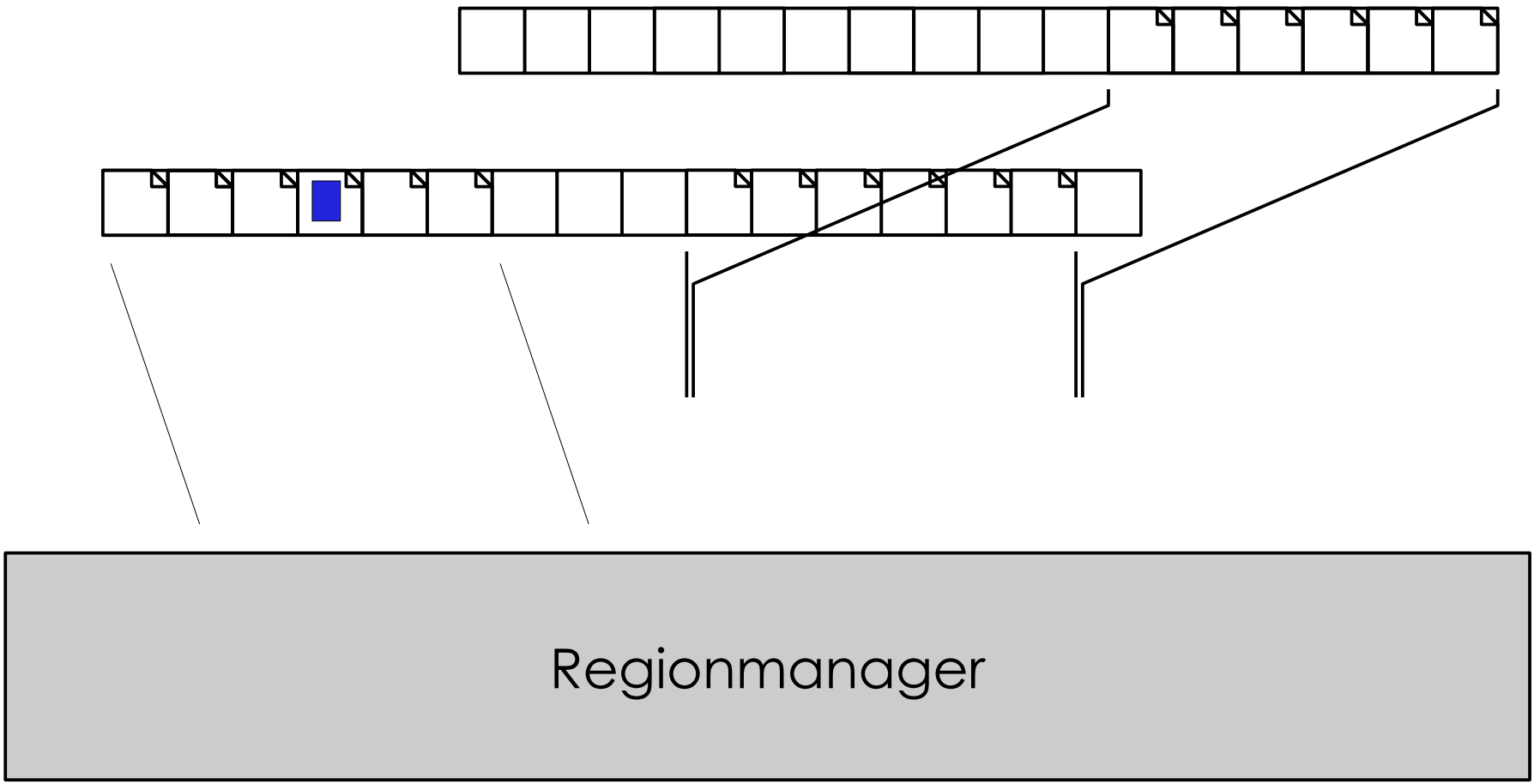
Speicherobjekte und Regionen



Speicherobjekte und Regionen



Speicherobjekte und Regionen



Aufbau der Adressraumstruktur

- Regionen im Adressraum:

  explizites oder implizites Einbinden („Mappen“) von Speicherobjekten in den virtuellen Adressraum eines Prozesses

- Operationen:

```
map(Adresse, Länge, Speicherobjekt,
                Zugriffsrechte);

lookup(Adresse, Zugriffart) ->
```

  - **Speicherobjekt, Seitennummer innerhalb Obkekt**
  - **oder nicht definiert**
  - **oder Rechteverletzung**

Aufbau der Adressraumstruktur

- z. B.

```
map( ... , ... , Datei, R );

map( ... , ... ,
     Bildwiederholspeicher, RW);
```

- implizit: bei Prozesserzeugung werden Programm-, Keller-, Daten-Regionen gebildet (in Unix: „Segmente“)

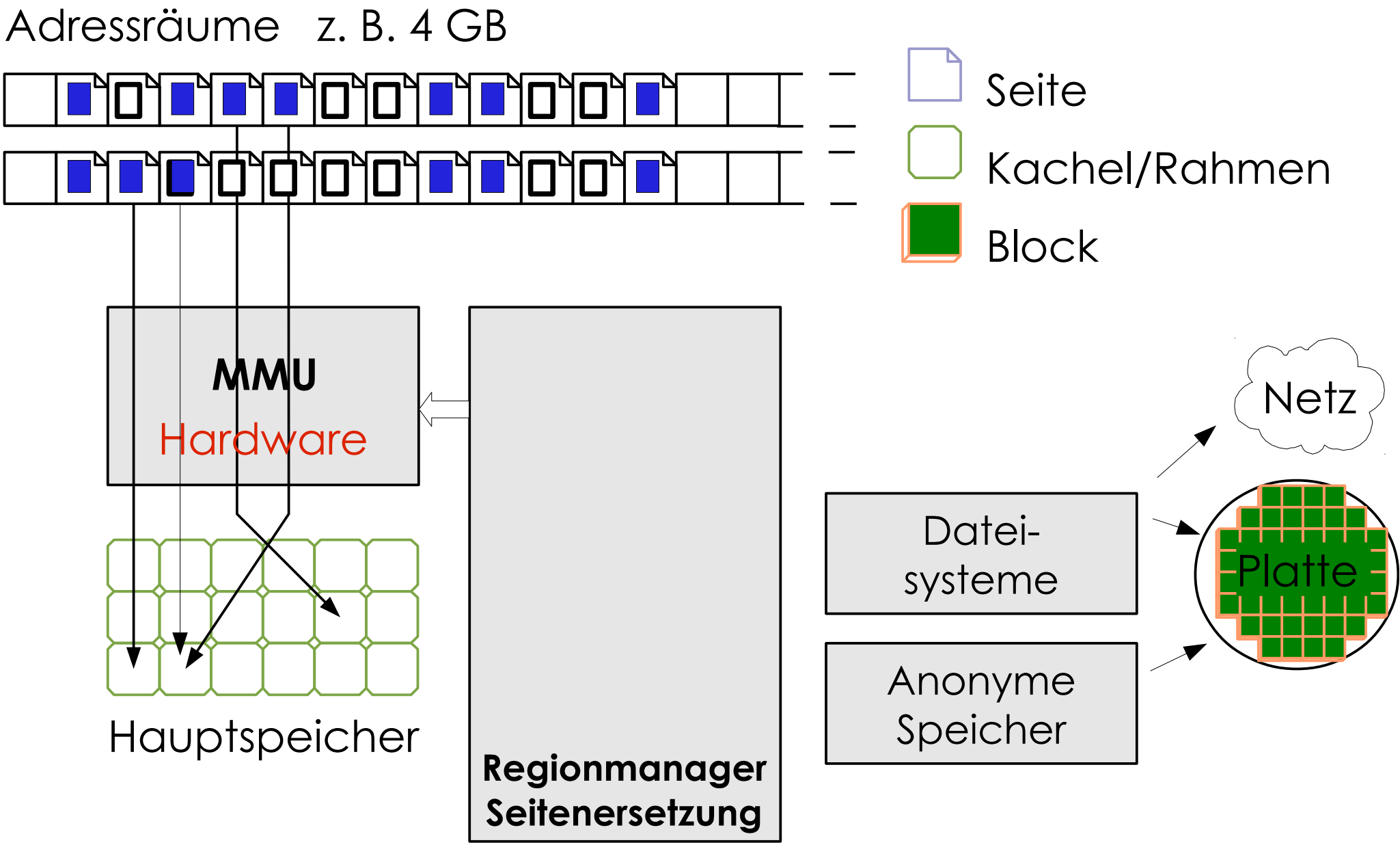
Regionmanager

- Verwaltung der Adressraum-Struktur
  - ➔ repräsentiert z. B. als verkettete Liste

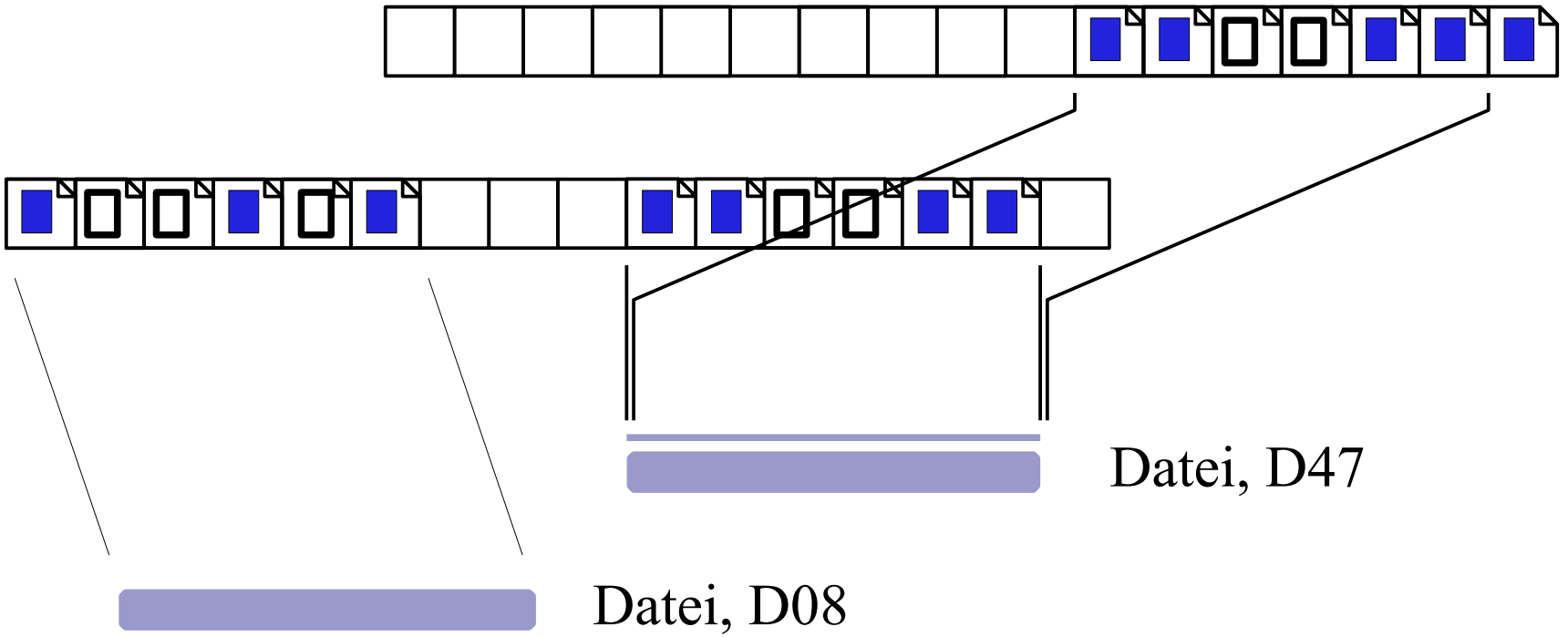
- Aufgabe bei Seitenfehler: Bestimmen von
  - Fehlerart
  - Speicherobjekt
  - Speicherseite

- Fehlerarten
  - Zugriff auf ungültigen Bereich (z.B. Pointerfehler)
  - Rechteverletzung (z.B. Schreiben in Code-Bereich)
  - Copy On Write Fault
  - sonst: Seite nicht in MMU eingetragen

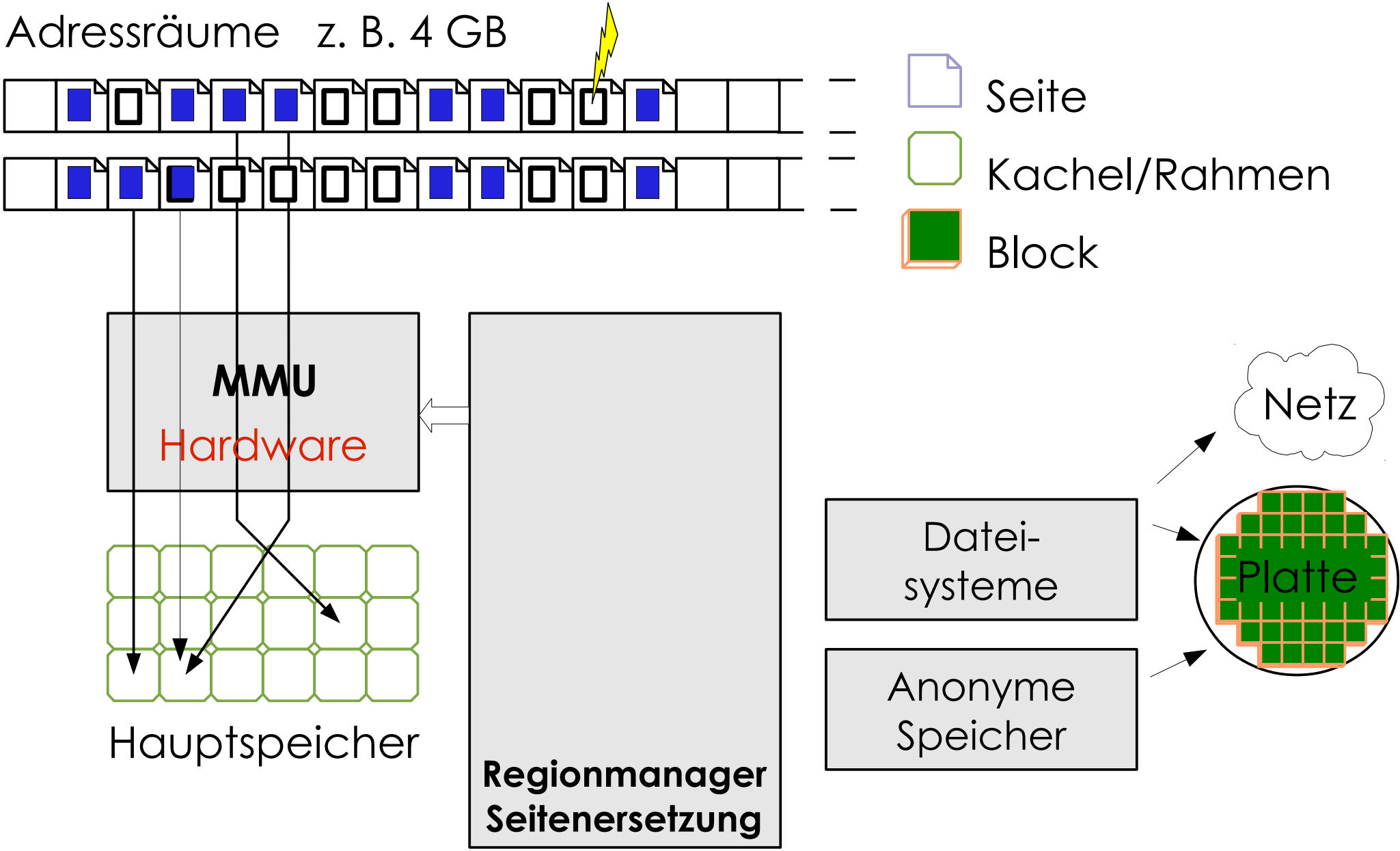
Das Zusammenspiel



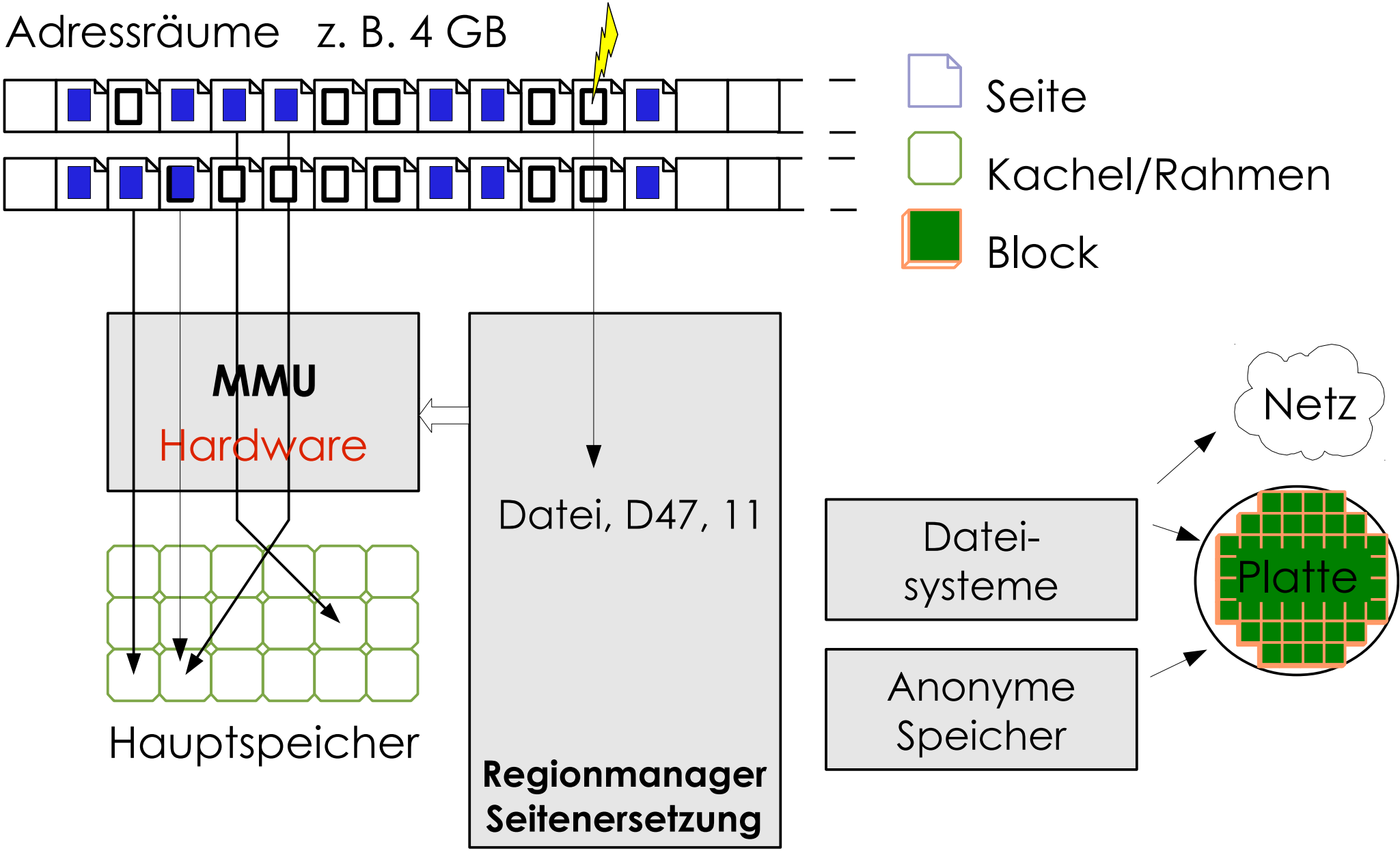
Speicherobjekte und Regionen



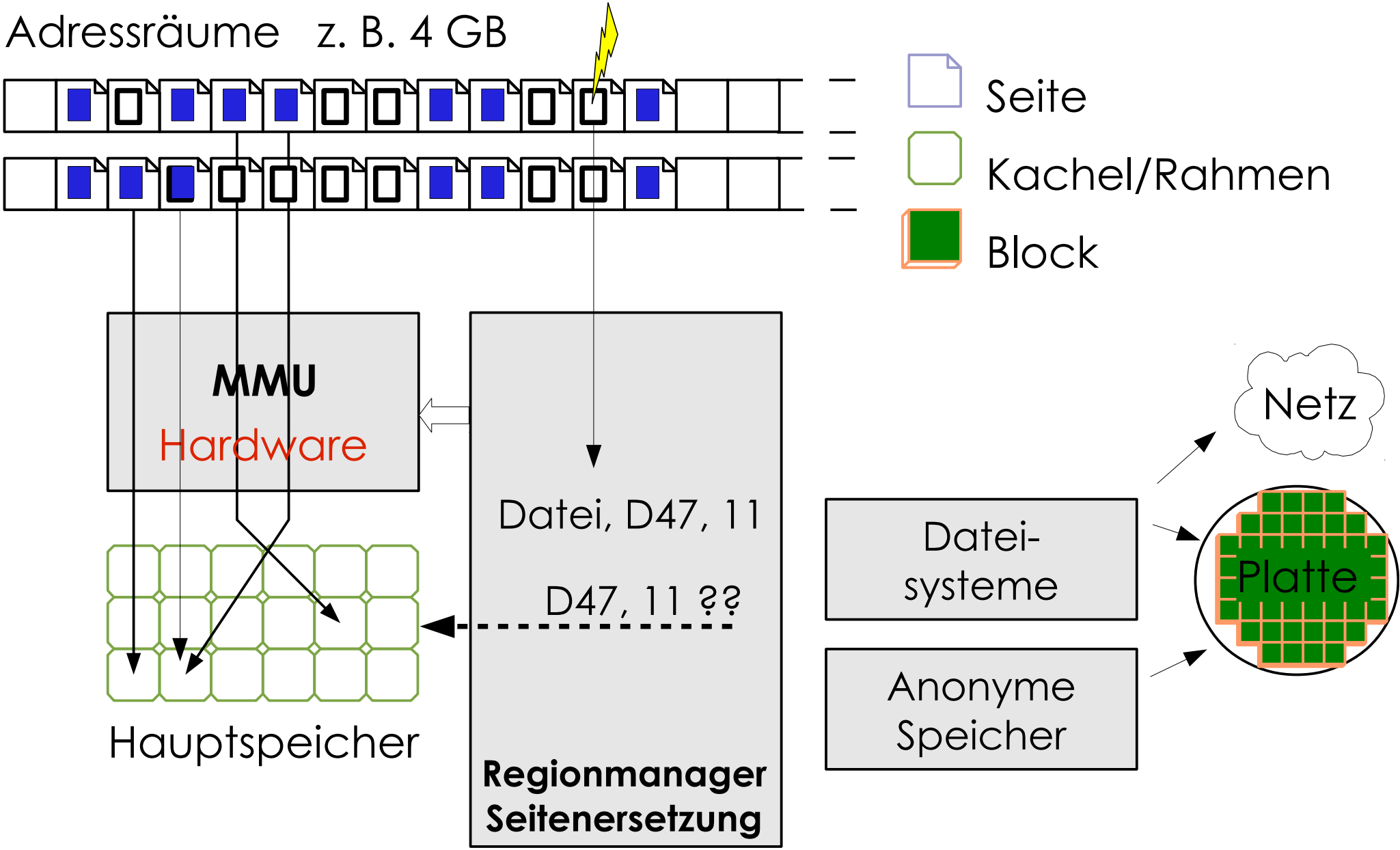
Das Zusammenspiel



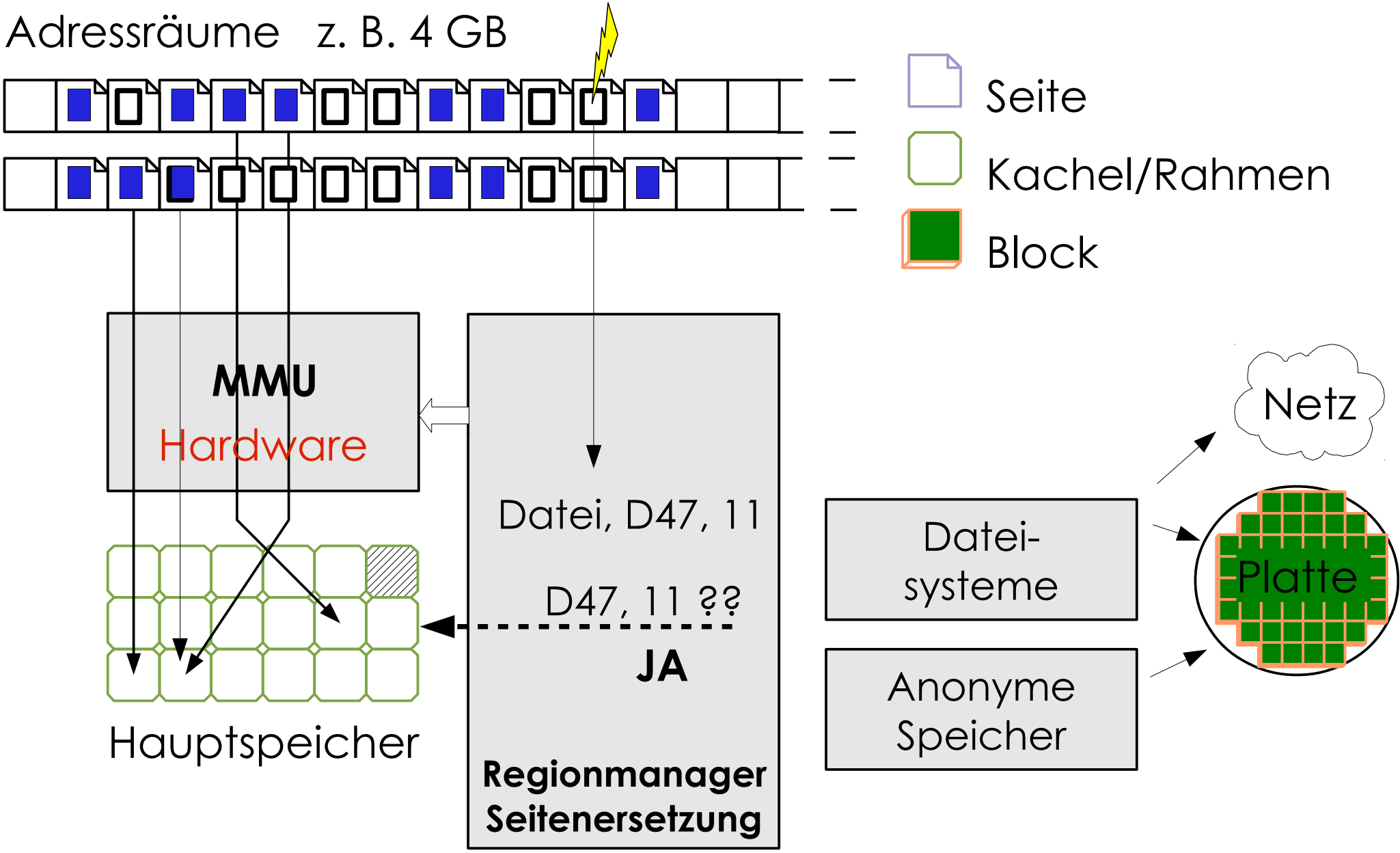
Das Zusammenspiel



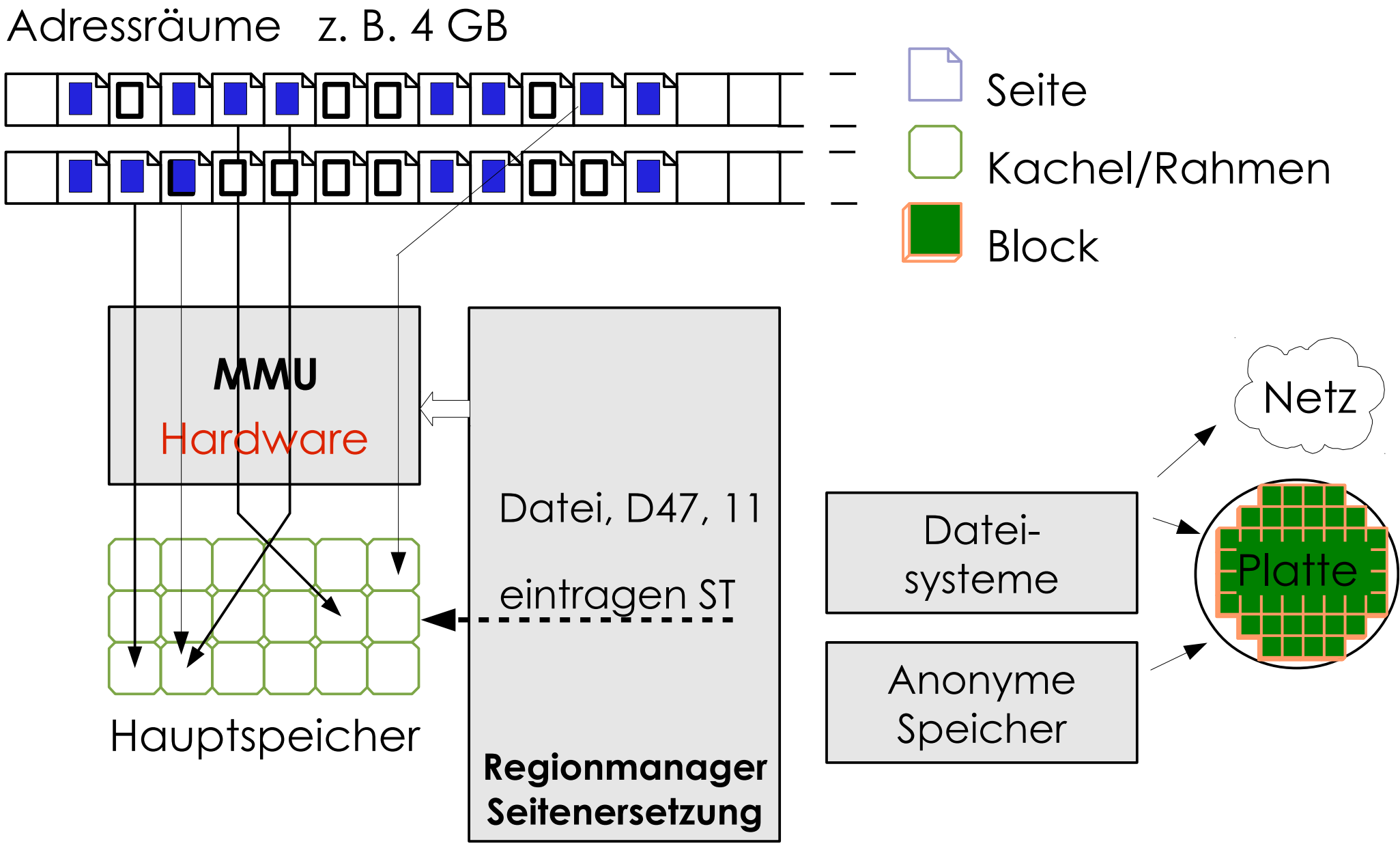
Das Zusammenspiel



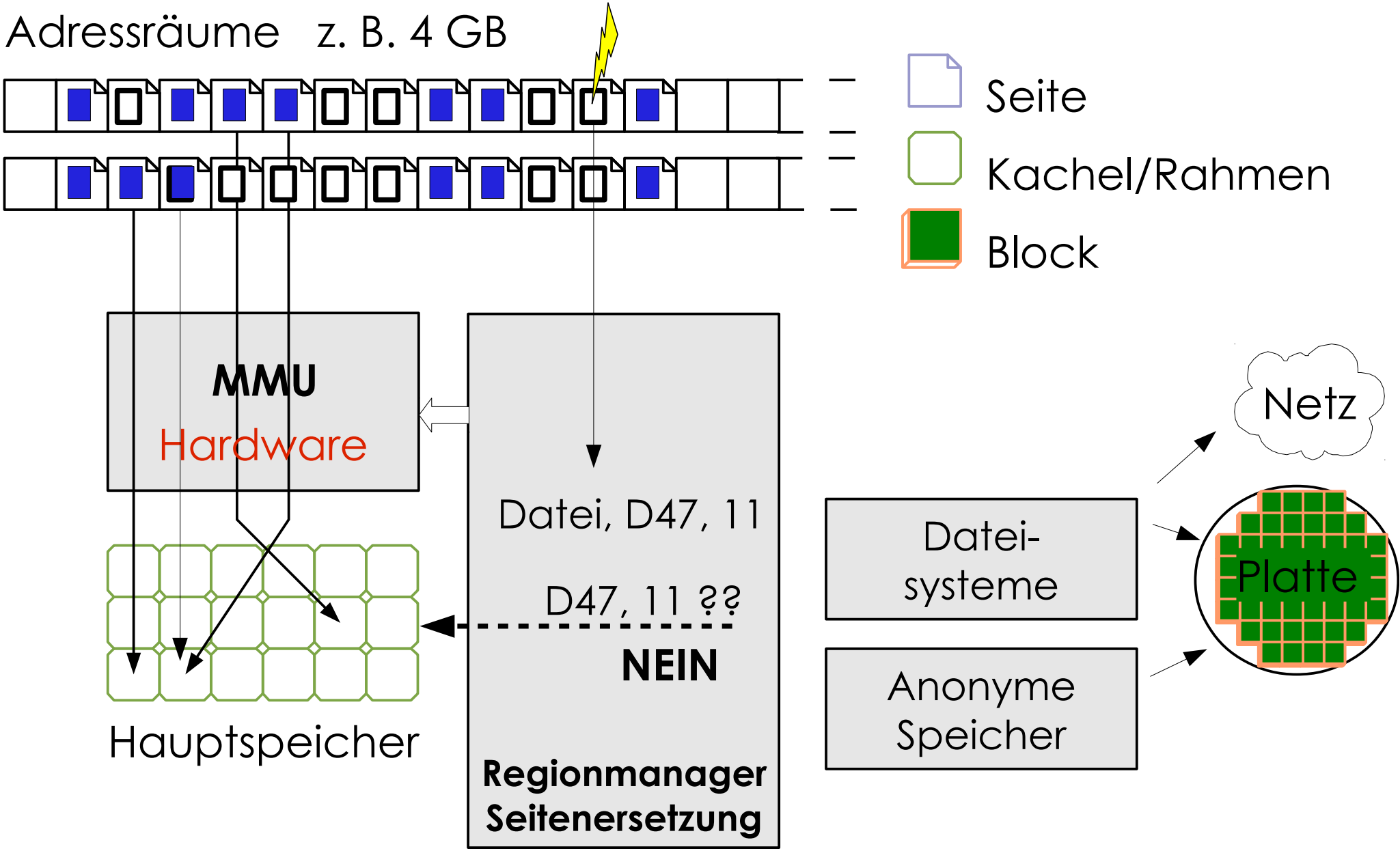
Das Zusammenspiel



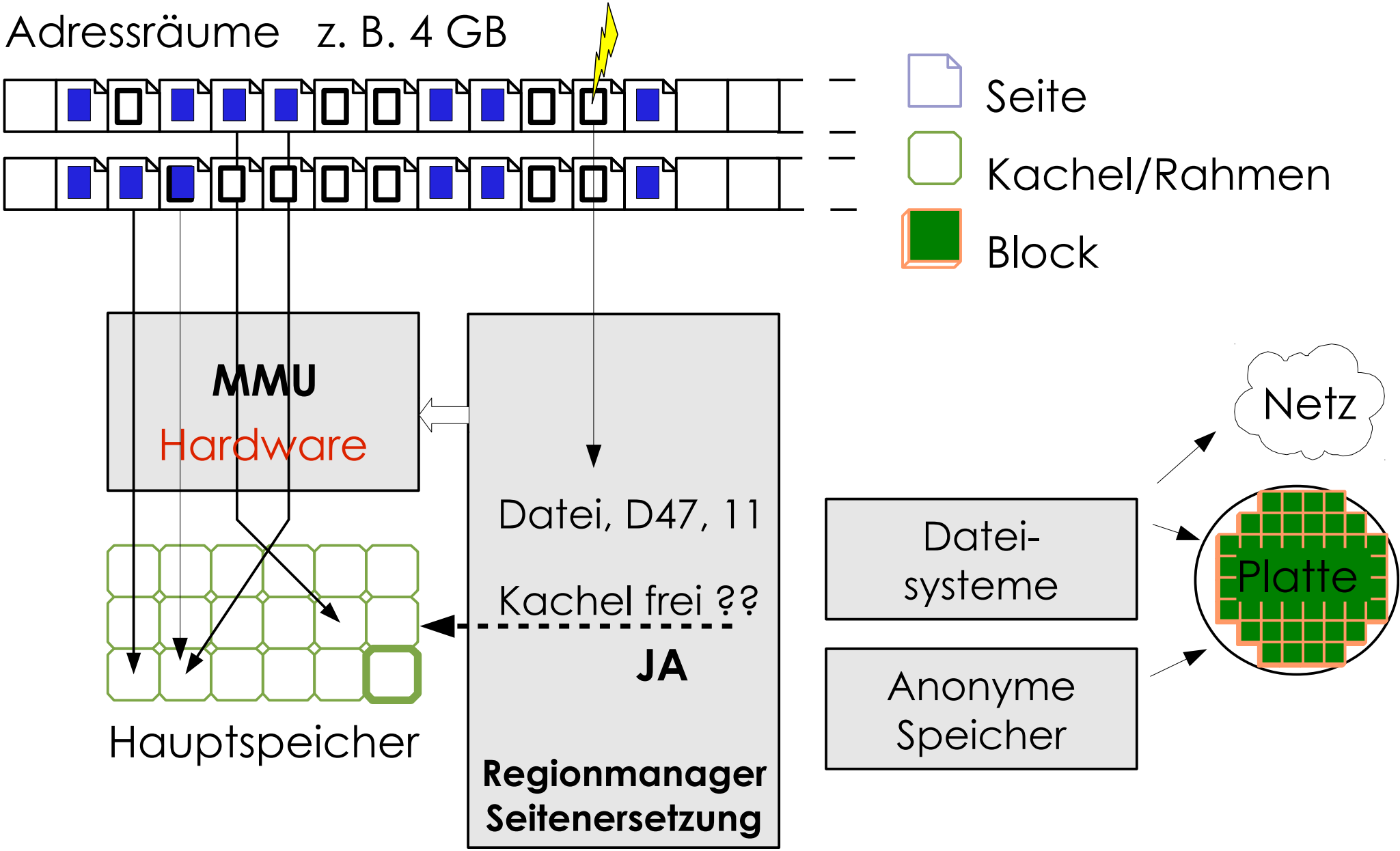
Das Zusammenspiel



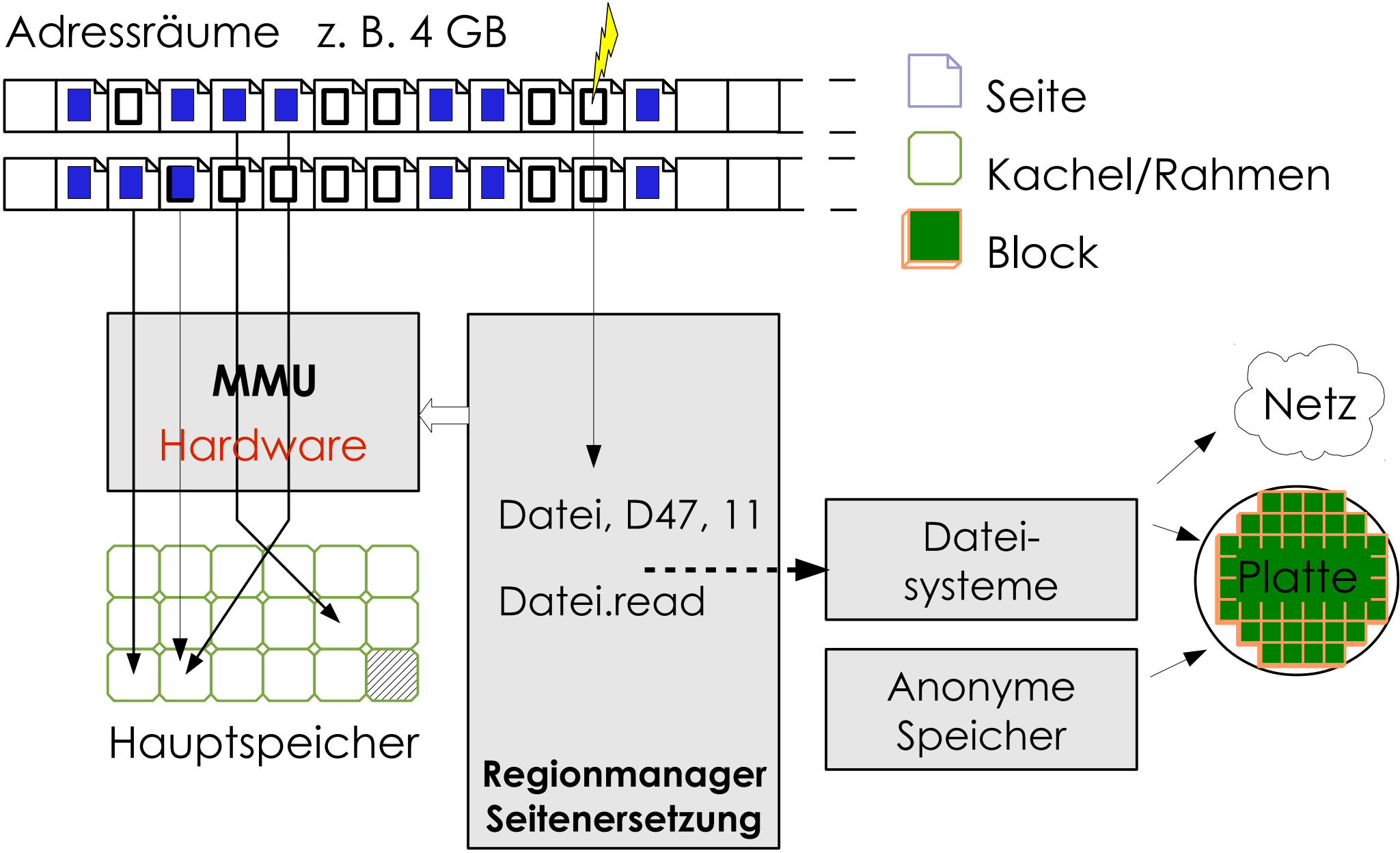
Das Zusammenspiel



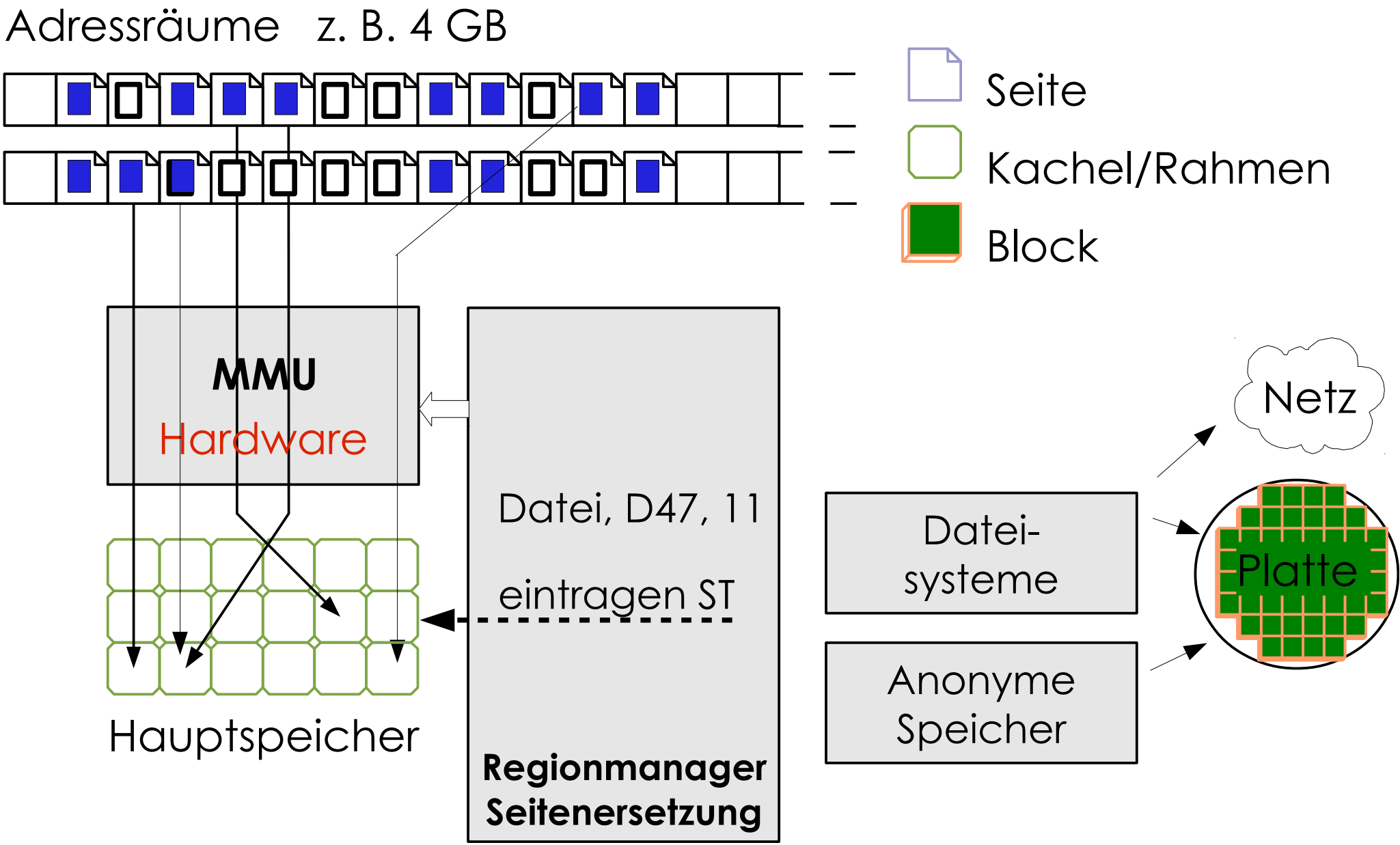
Das Zusammenspiel



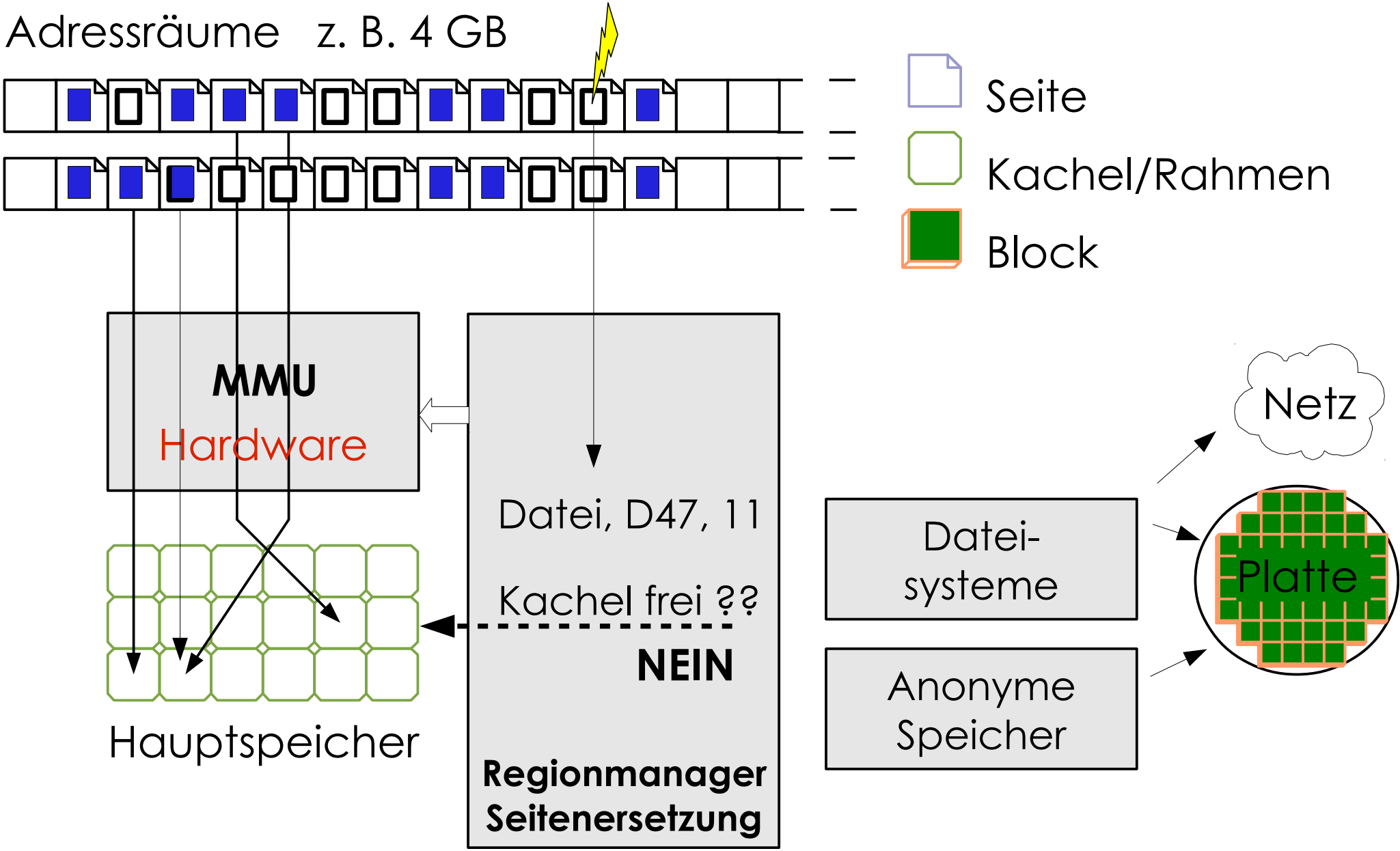
Das Zusammenspiel



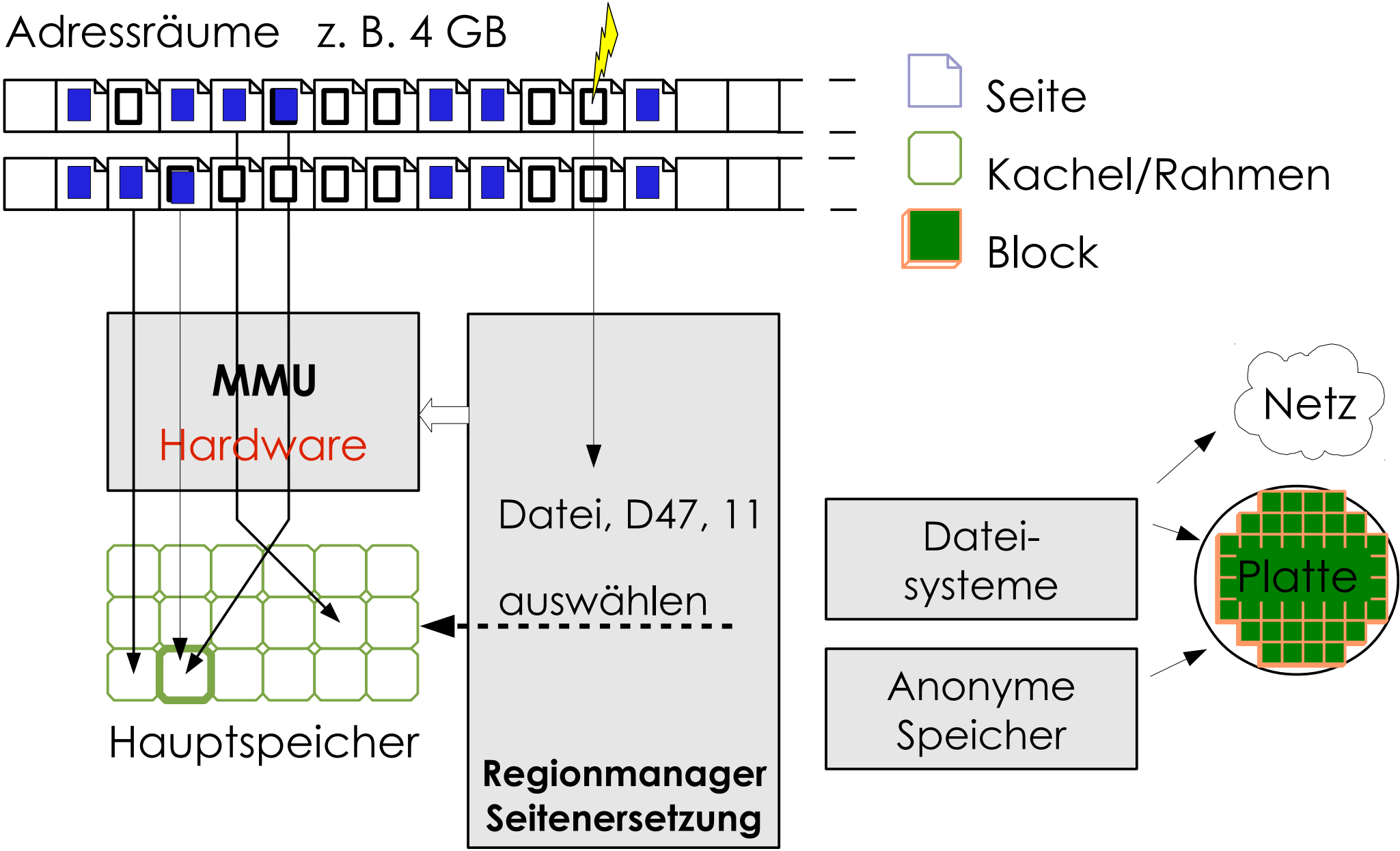
Das Zusammenspiel



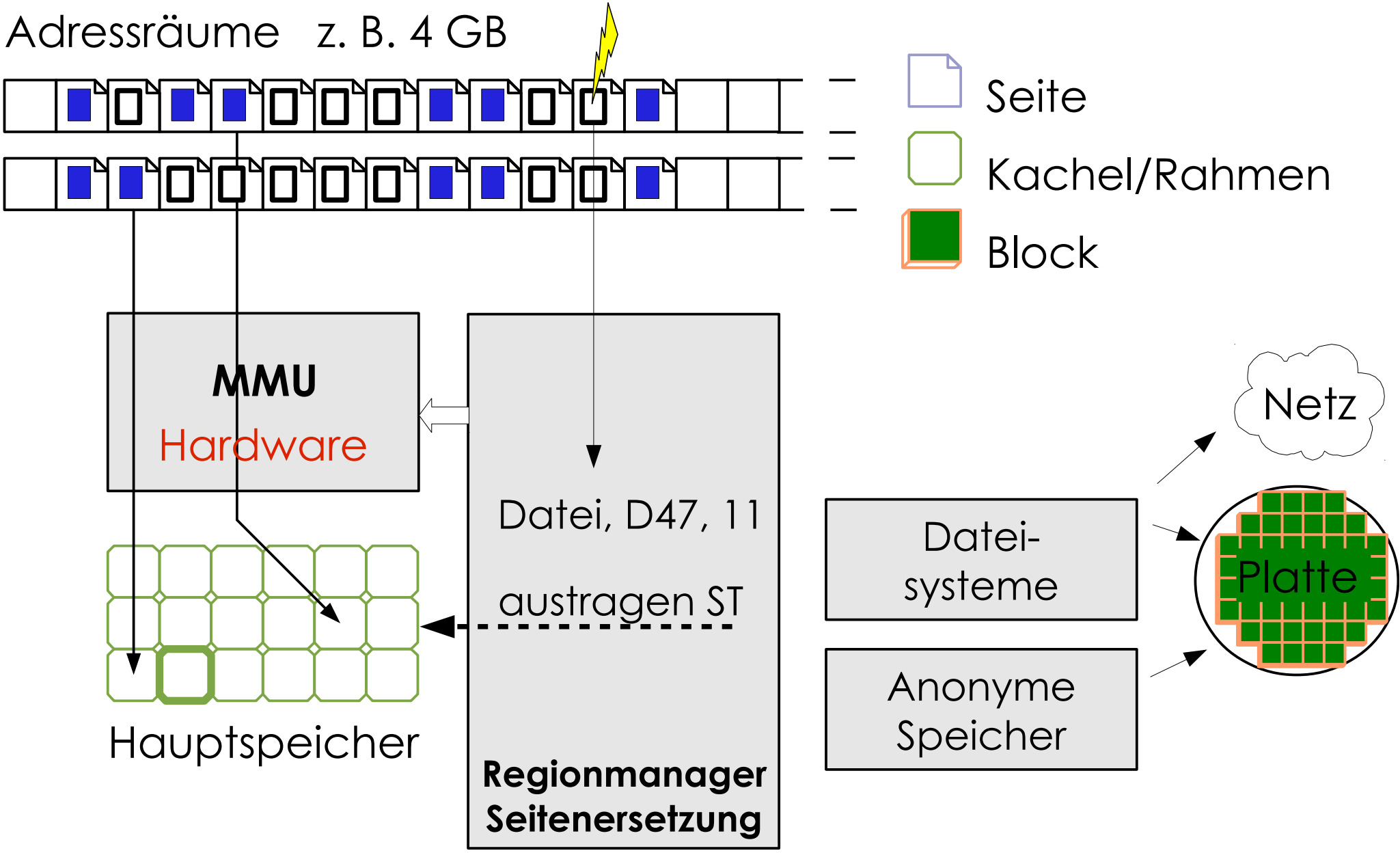
Das Zusammenspiel



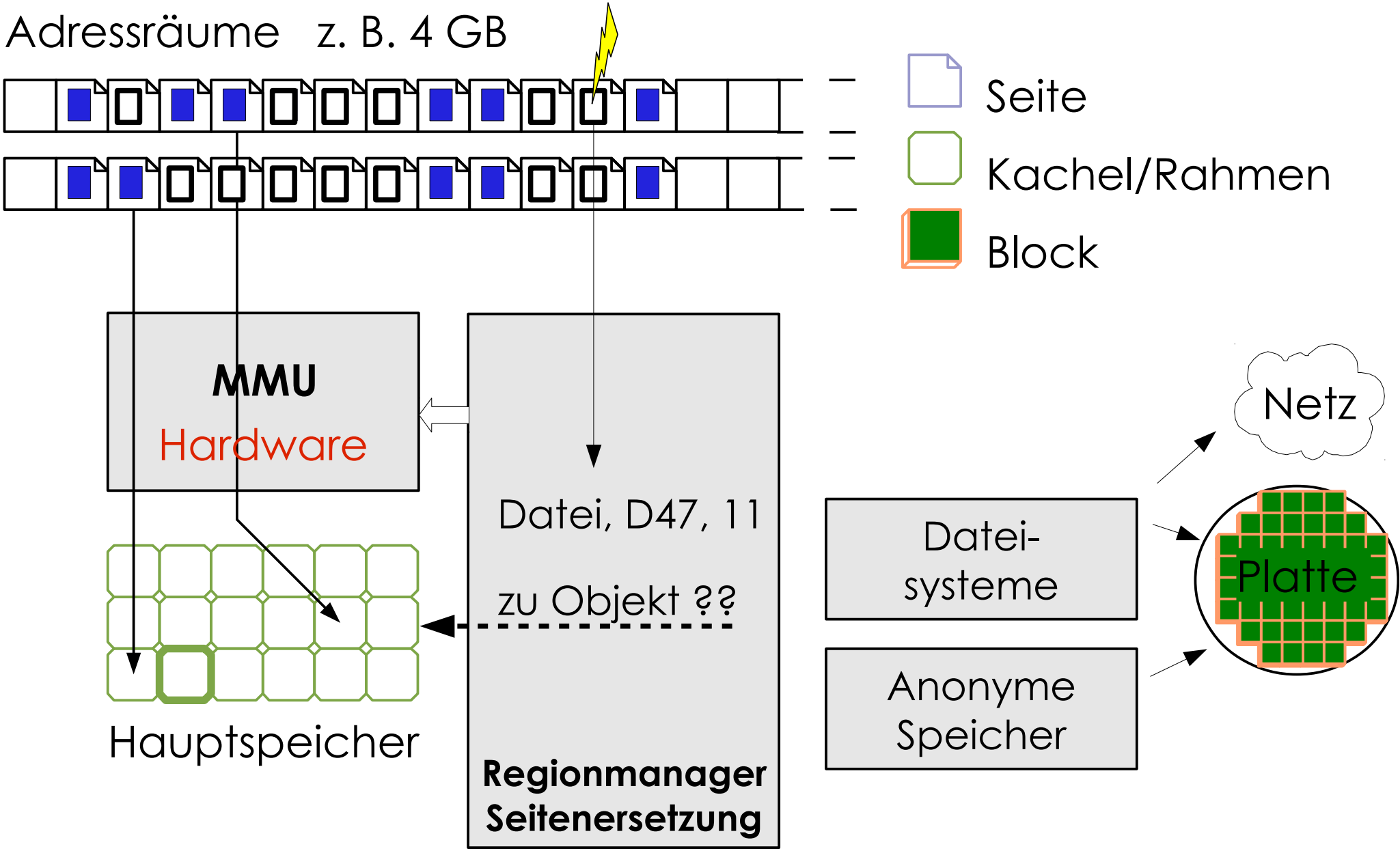
Das Zusammenspiel



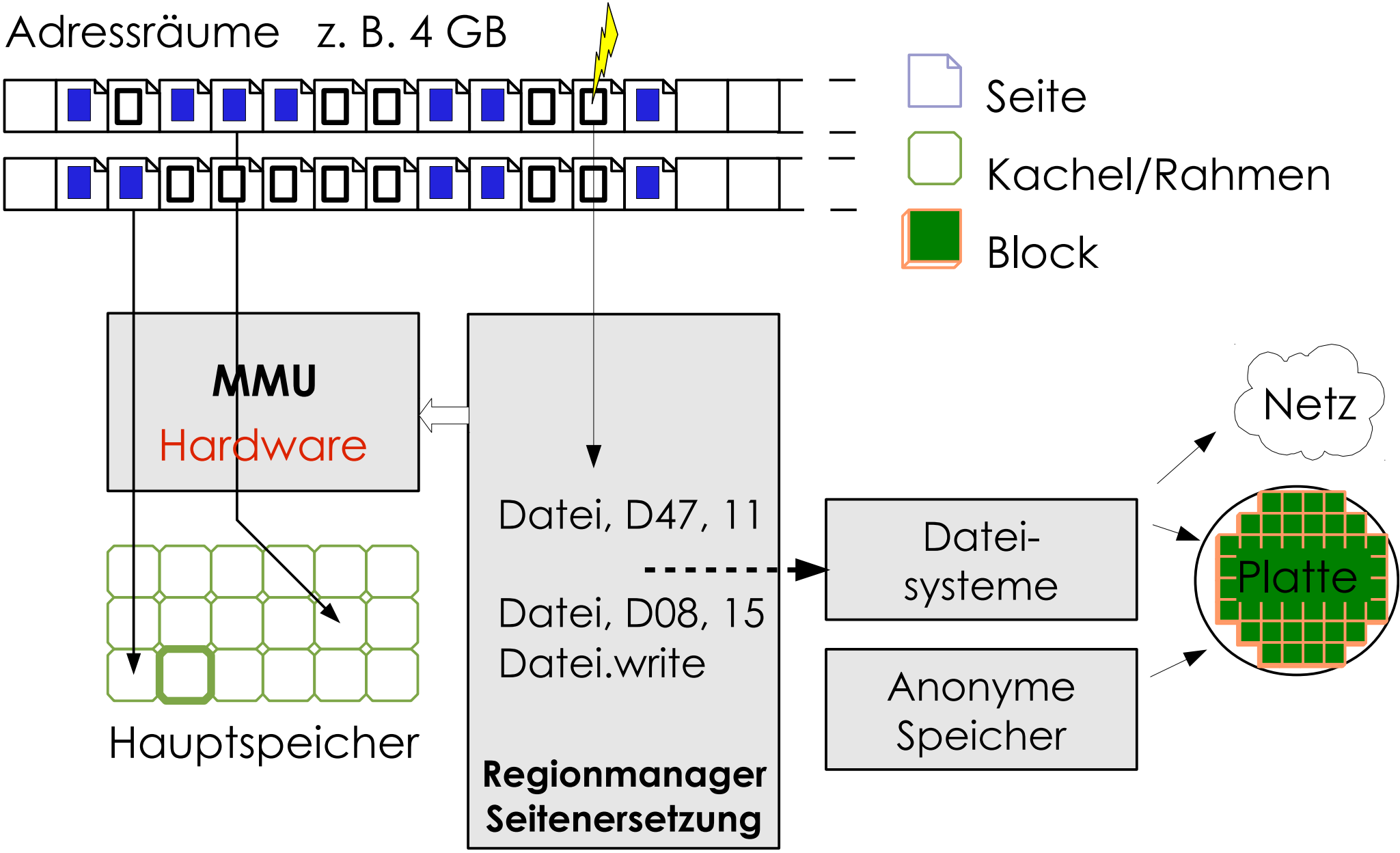
Das Zusammenspiel



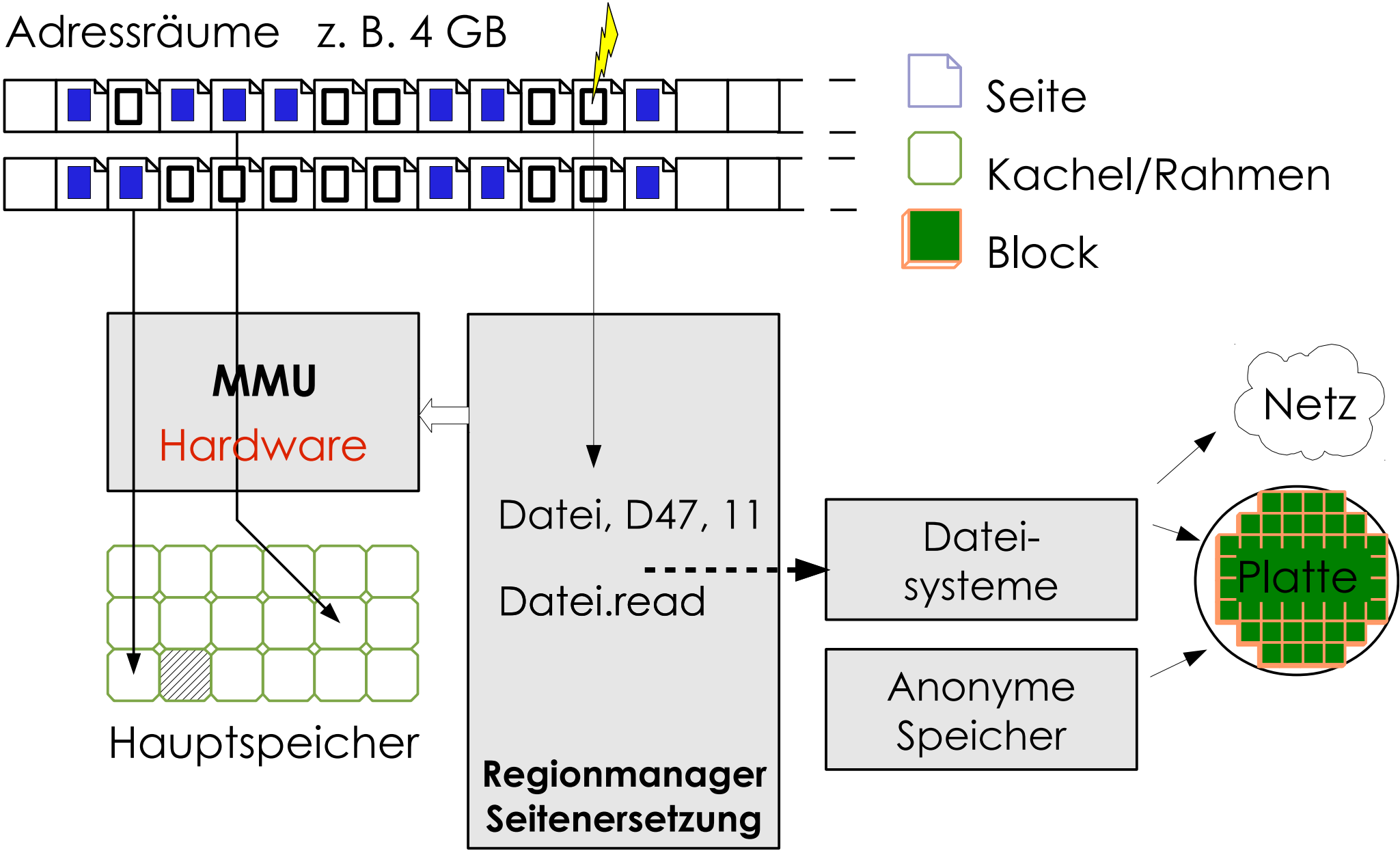
Das Zusammenspiel



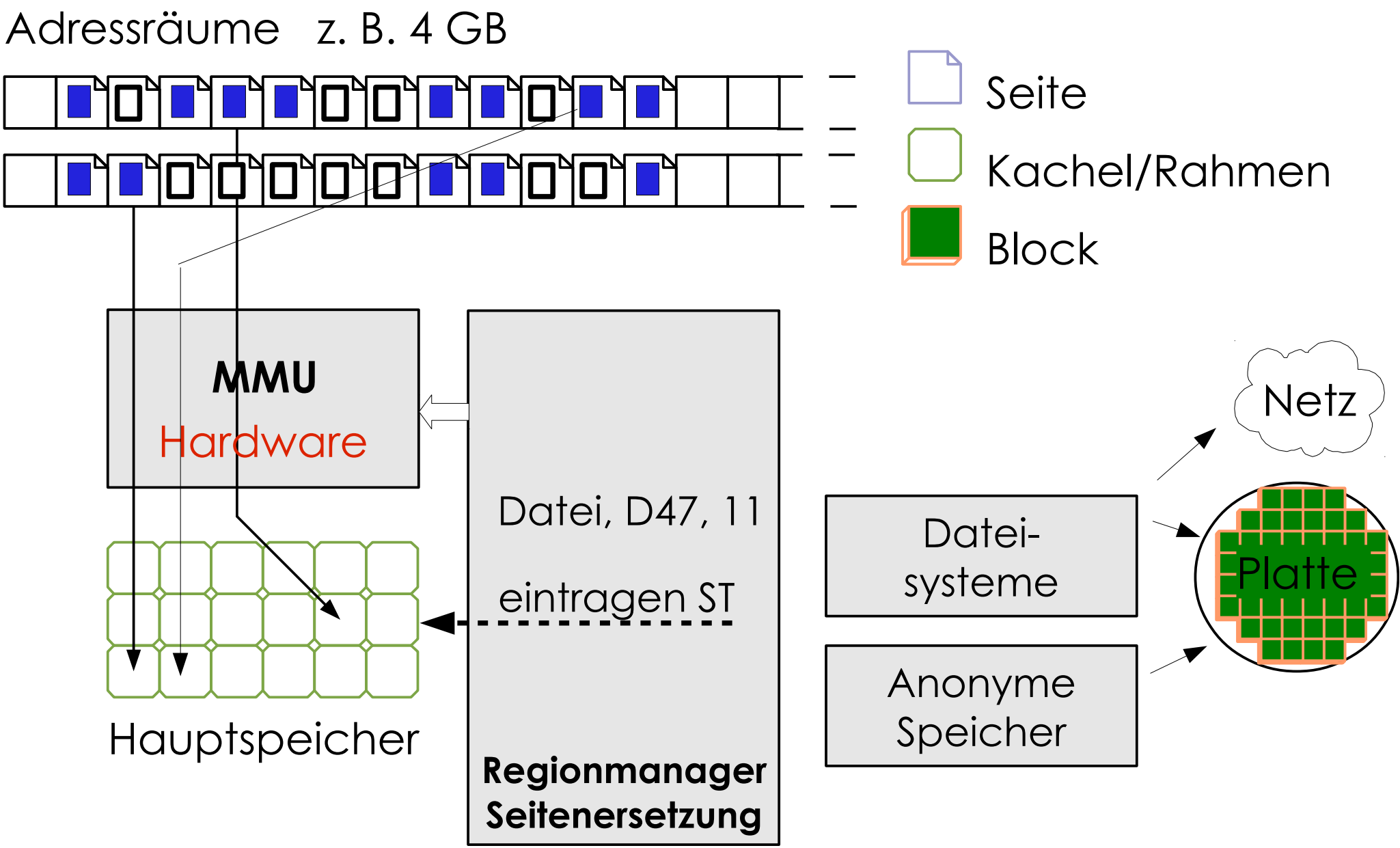
Das Zusammenspiel



Das Zusammenspiel



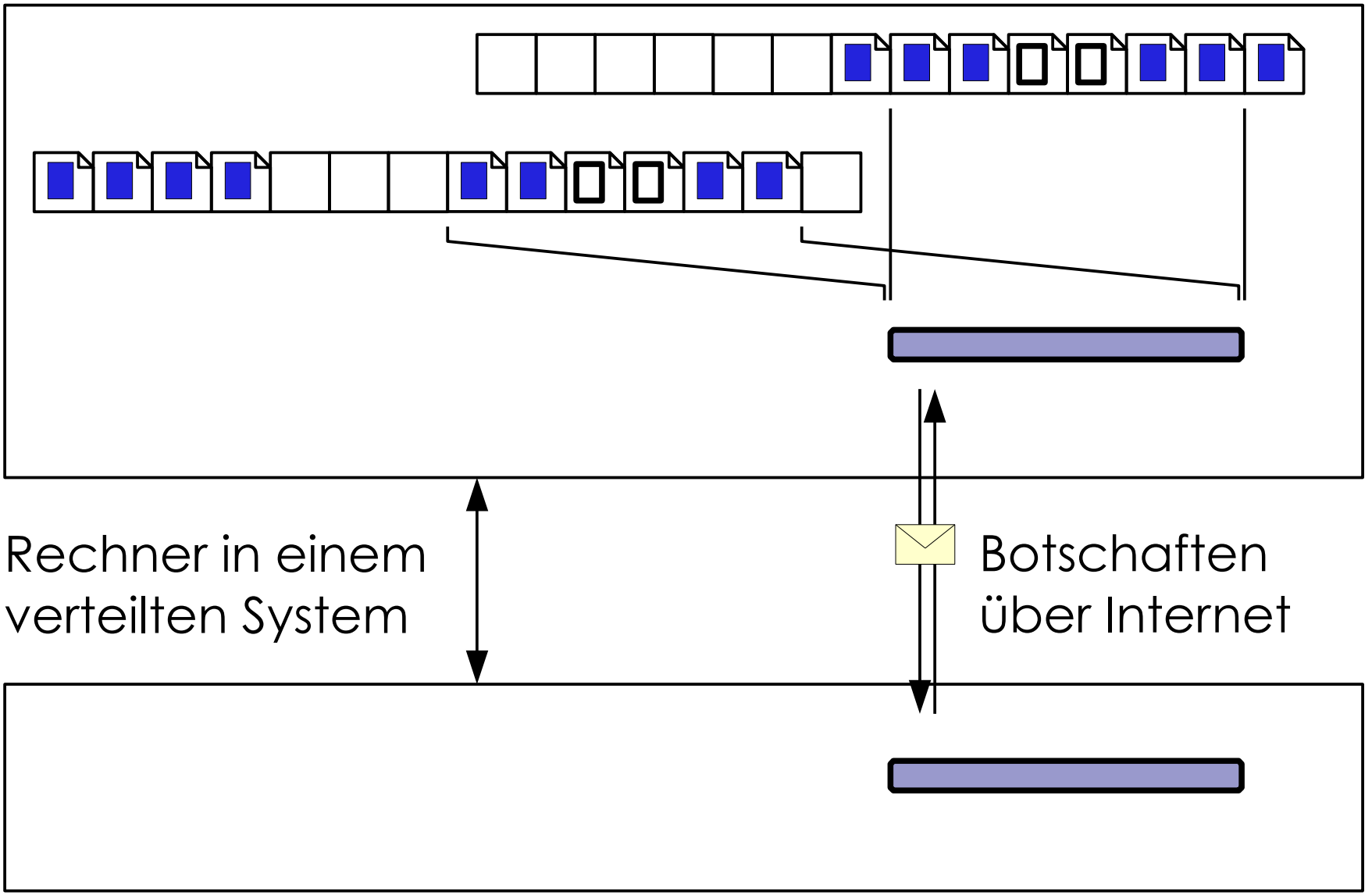
Das Zusammenspiel



Das Zusammenspiel

- Fehler
- Finde Objekt + Seite
- Suche ob Kachel schon vorhanden
- Falls ja eintragen fertig
- Falls nein, frei Kachel ???
- Falls frei Kachel vorhanden, Datei.read → eintragen in MMU #
- Falls keine freie Kchel → verdrängen (die geshared)
- Aus allen Seitentabelene austragen (Pfeile weg)
- Zu welche, Objekt gehört verdrängte Kachel? Datei.write
- Siehe oben

Speicherobjekte im Netz



Seitenfehlerbehandlung

- *MMU: welche Adresse, versuchte Operation*
- welche Region und welche Seite innerhalb dieser Region
- welches Speicherobjekt und welche Seite darin

- Anfrage bei Speicherobjekt:
  - Ist diese Speicherobjektseite schon in einer Kachel?
  - falls ja, weitergeben an MMU des auslösenden Prozesses, fertig
  - falls nein, wo ist sie sonst? (z. B. Platte)

- *Beschaffen einer freien Kachel*
- *ggf. muss eine belegte Kachel freigemacht werden*
- *Füllen der Kachel mit Inhalt (z.B. E/A von Platte)*
- *Weitergeben an MMU des auslösenden Prozesses, fertig*

Systemstrukturen für Speicherobjekte

Unix/Windows/...: „monolithisch“

- teilweise durch Prozesse (mit eigenem Adressraum) im User-Mode
- großenteils aber fest in Betriebssystem integriert

Mikrokernbasiert

- alle Speicherobjekte bereitgestellt durch „Server“-Prozesse mit eigenem Adressraum und im User-Mode

Prozesse und Speicher

Prozess-Zustand

- Seitentabellen
- mehrere parallele Aktivitäten je Adressraum: Threads

Prozess-Umschaltung

- TLB behandeln (falls kein Prozess-Identifier in TLB → löschen)
- Caches
- Botschaftenimplementierung ...