L Betriebssystemarchitekturen

L.1 Entwicklung der Betriebssystemstrukturierung

- Monolithische Kerne
- Minimalkerne
- Objektbasierte, offene Betriebssysteme

1 Literatur

BAL+90. B. N. Bershad, T. E. Anderson, E. D. Lazowska and Henry M. Levy, “Lightweight Remote Procedure Call”, *ACM Transactions on Computer Systems*, Vol. 8, No. 1, pp. 37-55, Feb. 1990.

DLA+91. P. Dasgupta, R. J. LeBlanc, M. Ahamed and U. Ramachandran, “The CLOUDS Distributed Operating System”, *IEEE Computer*, Apr. 1991.

GFWK02. Michael Golm, Meik Felser Christian Wawersich, and Jürgen Kleinöder. The JX Operating System. Proc. of the 2002 USENIX Annual Technical Conference General Track 2002 USENIX Annual Technical Conference, June 10-15, 2002, Monterey, CA, pp. 45-58.

HaK93. G. Hamilton and P. Kougiouris, "The Spring nucleus: A micokernel for objects", Proceedings of the *Summer 1993 USENIX Technical Conference*, pp. 147 - 159, Cincinnati (OH, USA), Jun. 1993.

Laz93. E. Lazowska, "Recent Trends in Experimental Operating Systems Research", *Proceedings of the Twelfth Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing*, pp. 13 - 19, Ithaka (NY, USA), Aug. 1993.

Yok92. Yasuhiko Yokote, “The Apertos Reflective Operating System: The Concept and Its Implementation”, *OOPSLA ’92 – Conference Proceedings,* pp. 414-434, Vancouver (BC, Canada), published as *SIGPLAN Notices*, Vol. 27, No. 10, Oct. 1992.

L.2 Monolithische Betriebssystemkerne

- Alle Betriebssystemkomponenten zu einem Kern zusammengefasst
- Ausführung generell im privilegierten Modus

1 Vorteile

\+ Effiziente Kommunikation zwischen den Komponenten des Kerns durch Prozeduraufrufe

\+ Direkter Zugriff auf alle Datenstrukturen des Kerns jederzeit möglich

\+ Privilegierte Befehle jederzeit aufrufbar

2 Nachteile

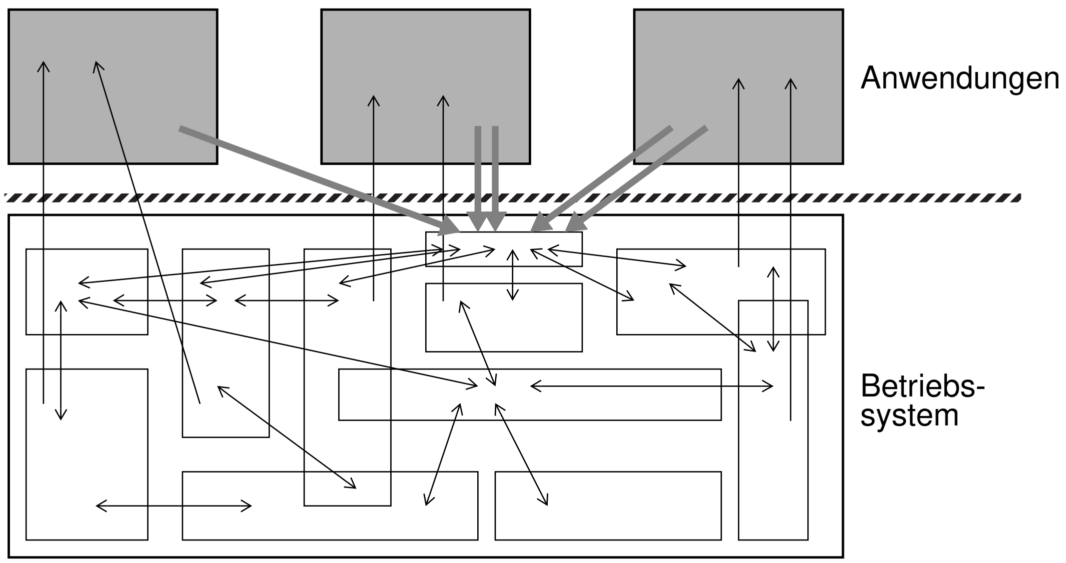
– Mechanismen strikt vorgegeben; individuelle Anpassung an Anwendungen, Erweiterung oder Reduzierung nicht möglich

– Strukturierung meist schlecht → änderungsunfreundlich und fehleranfällig

– Kein Schutz gegenüber Kernkomponenten möglich
(kritisch z. B. bei zugekauften Treibern!)

– Niedriges Abstraktionsniveau
Programmierung “direkt auf der nackten Hardware”

3 Gesamtablauf



billige, ungeschützte Interaktion
teuere, gesicherte Interaktion

Anwendung
Betriebssystemfunktion

L.3 Minimalkerne

- Auslagerung von Betriebssystemkomponenten
  - ➜ Platzierung der Komponenten in eigenen Adressräumen
  - ➜ Ausführung im Benutzermodus
- Reduktion des Kerns auf Basisfunktionalität und die Mechanismen, für die privilegierter Modus notwendig ist

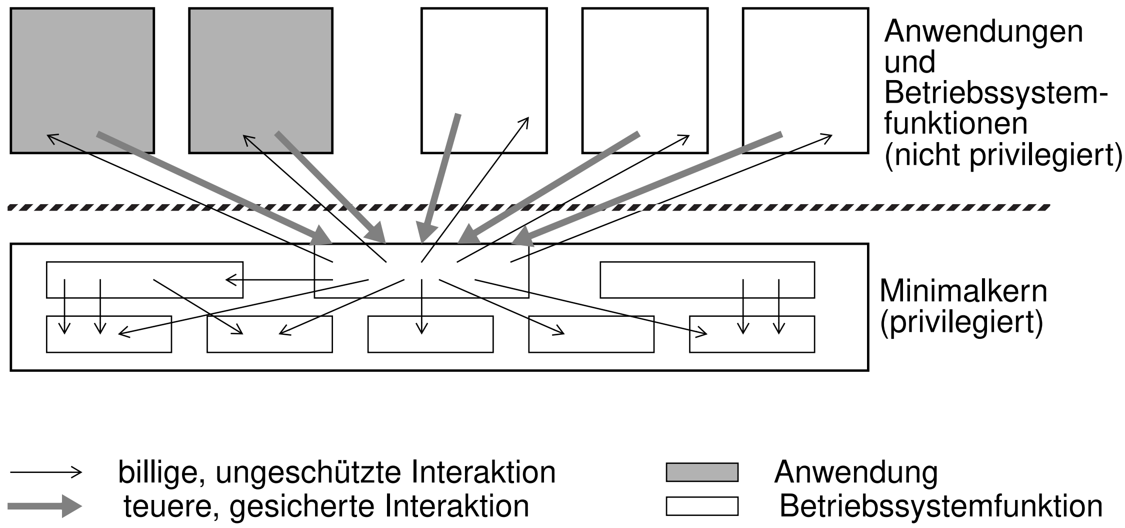
1 Vorteile

- + Bessere Modularisierung
- + Ausgelagerte Teile leichter individuell zu gestalten
  - ➔ zusätzlich angepasste Module erzeugbar
  - ➔ nicht benötigte Module können einfach weggelassen werden
- + Ausgelagerte Teile werden nicht privilegiert ausgeführt
  → mehr Sicherheit

2 Nachteile

- – Kommunikation zwischen Modulen teuer
  (RPC, 20- bis 70-facher Aufwand eines Prozeduraufrufs)
  - ➔ Module werden aus Effizienzgründen möglichst groß gehalten
  - ➔ innerhalb der Module Strukturierung beliebig
  - ➔ aus Effizienzgründen verbleiben Komponenten im Minimalkern, die nicht dorthin gehören

3 Gesamtablauf



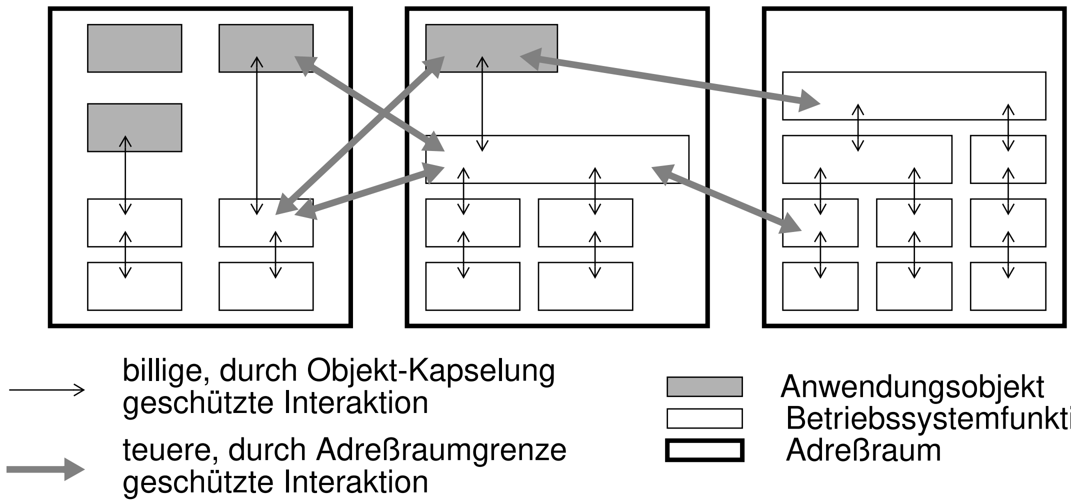
L.4 Objektbasierte, offene Betriebssysteme

- Fortführung des Wegs ’monolithischer Kern → Minimalkern’
- Weitere Modularisierung nur möglich, wenn Inter-Modul-Kommunikationskosten reduziert werden
  - ➔ Adressraumkapselung muss aufgegeben werden
  - ➔ Verlust an Sicherheit
  - ➔ Sicherheit muß anders gewährleistet werden
  - ➔ Sprachebene + typsichere objektorientierte Programmierung
- Wenn Sicherheit auf Sprachebene garantiert wird, kann auf Adreßraumgrenzen verzichtet werden, sonst nicht!
  - ➔ gleiche Modul-Interaktion Adreßraum-lokal und Adreßraum-übergreifend wünschenswert

L.4 Objektbasierte, offene Betriebssysteme (2)

+ Strukturierungsmöglichkeiten von Systemen mit ausgelagerten Komponenten mit Effizienz eines monolithischen Kerns kombinierbar

+ Individuelle Anpassbarkeit wie bei einem Minimalkern möglich
  → durch feinere Granularität der Module jedoch weit flexibler



L.5 Hardware- vs. Softwareschutzkonzepte

1 Hardware-Schutz

■ Virtuelle Adressräume durch MMU

+ sehr effiziente Code-Ausführung
  ➤ Überprüfung der Schutzkonzepte durch die Hardware

– sehr grob-granular
  ➤ Einheit: Seiten
  ➤ Rechte: Lesen, Schreiben, Ausführen

– kaum Information über Ausführungssemantik
  ➤ nur primitive Operation (Lesen, Schreiben, Ausführen)
  ➤ nur Überprüfung der Ortsinformation und der Art der Operation

2 Software-Schutzkonzepte

- zentrale Grundlagen
  - **Referenzen**
    - ➤ regeln **wo** man zugreifen darf
  - **Typen**
    - ➤ regeln **was** man damit tun darf

\+ sehr flexibel
- ➤ beliebig fein-granulare Einheiten
- ➤ beliebige Operationen abprüfbar

– erhöhter Laufzeitaufwand
- ➤ Prüfung nur zum Teil statisch möglich
- ➤ Compiler muss Code für dynamische Prüfungen einflechten
- ➤ Laufzeitsystem muss evtl. zusätzliche Unterstützung leisten

– Probleme mit niederen programmiersprachlichen Koonzepten

L.6 Objektorientierte BS: JX

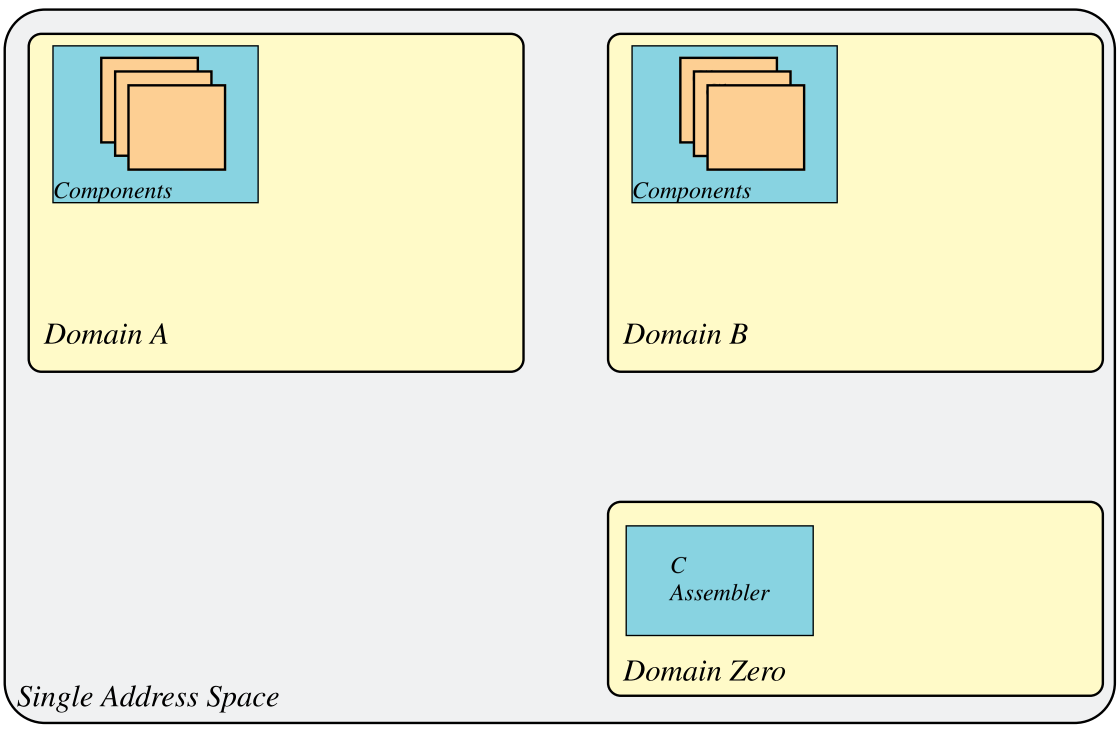
1 Grundkonzepte

- Java-basiert
- Single-Adress-Space Betriebssystem
  - Schutz durch Sprachmechanismen statt durch MMU
    - ➤ Typkonzept
    - ➤ erweiterter Byte-Code-Verifier
    - ➤ spezielle Compiler-Unterstützung
  - ➥ feingranulare, flexible und effiziente Einheiten
- Betriebssystem dynamisch erweiterbar
  - Kapselung auch zwischen Betriebssystemmodulen
  - ➥ Erweiterungen muss nicht blind vertraut werden

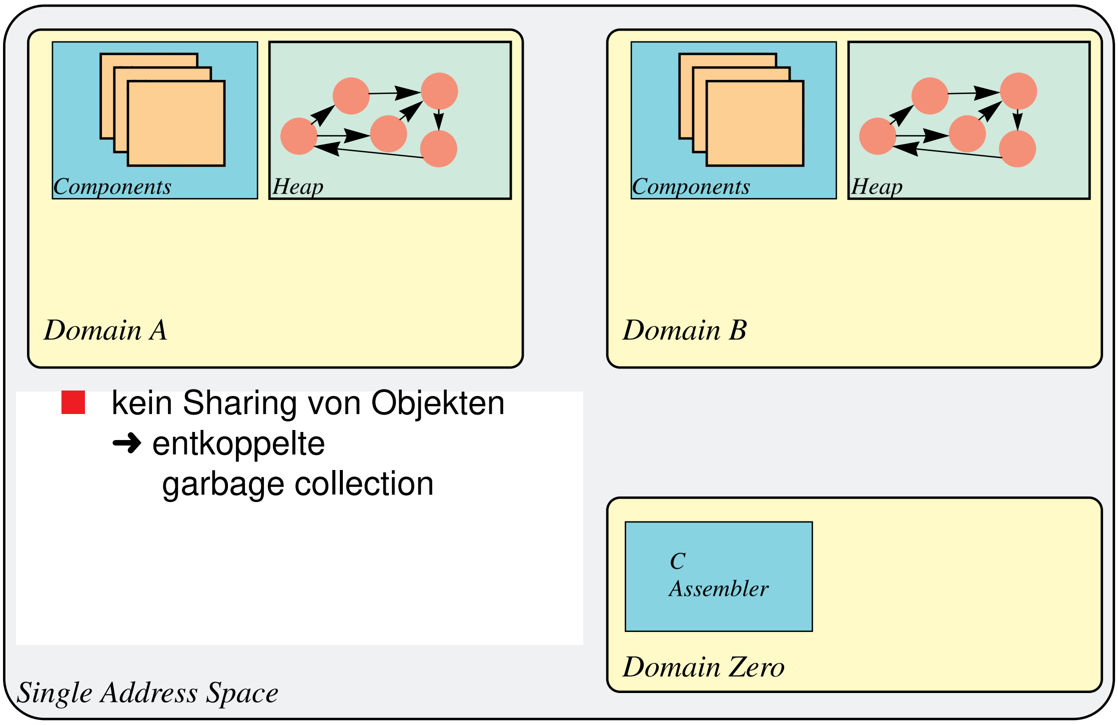
2 Architektur

- Domains
  - Schutzeinheit
  - Ressourcenverwaltung
  - Eingrenzung von Fehlverhalten
  - unabhängige Terminierung
- Komponenten
  - Code-Module (Java-Bytecode), werden in Domain geladen
  - Bytecode wird durch erweiterten Verifier überprüft
  - werden zur Ladezeit in Maschinencode übersetzt
- DomainZero
  - enthält in C und Assembler geschriebene Komponenten
  - kein Kern im klassischen Sinn — andere Domains setzen nicht darauf auf, sondern nutzen seine Dienste

2 Architektur (2) — Domains und Komponenten

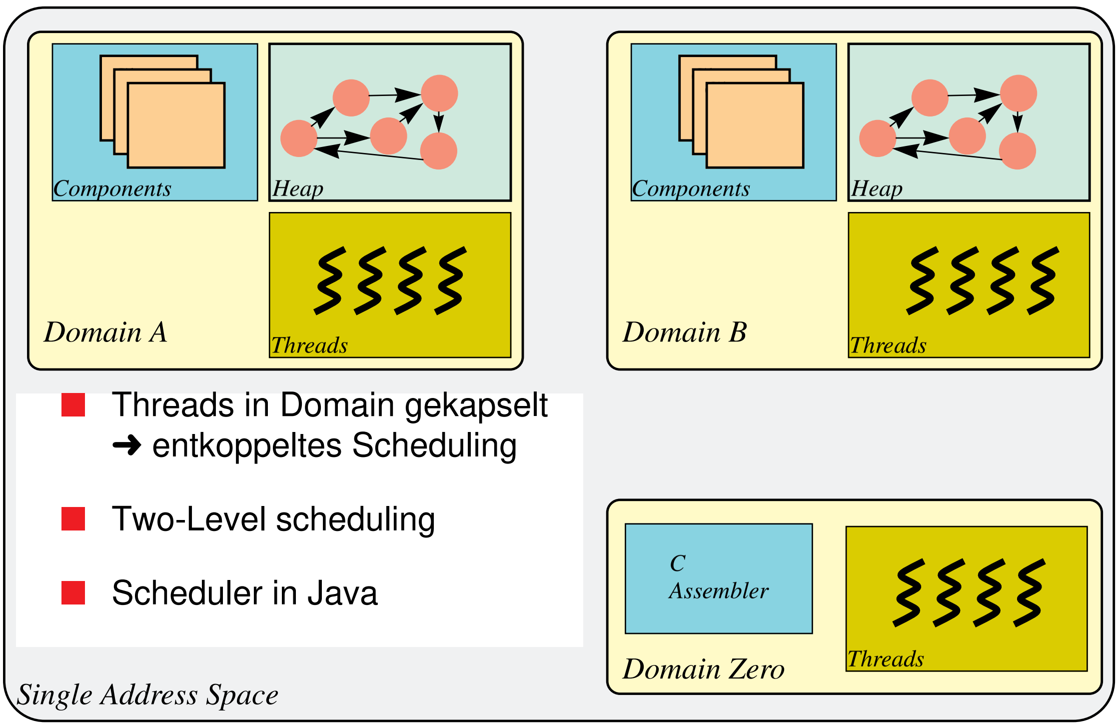


2 Architektur (3) — Objekte und Heap



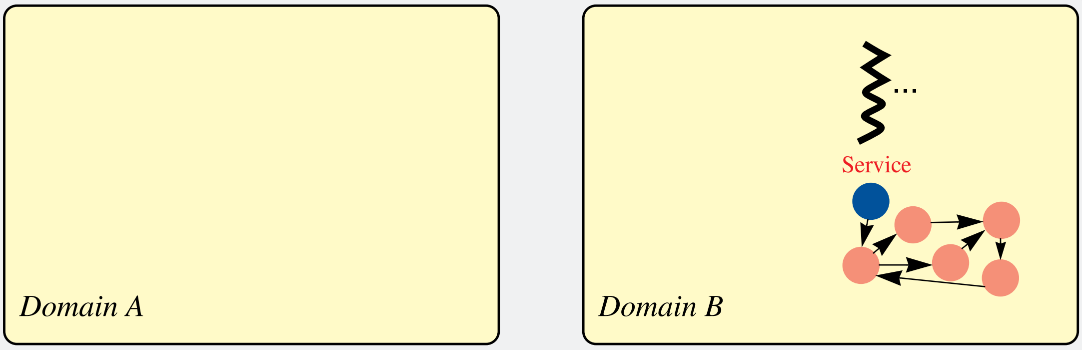
- kein Sharing von Objekten
  ➜ entkoppelte
  garbage collection

2 Architektur (4) — Threads



- Threads in Domain gekapselt
  ➜ entkoppeltes Scheduling
- Two-Level scheduling
- Scheduler in Java

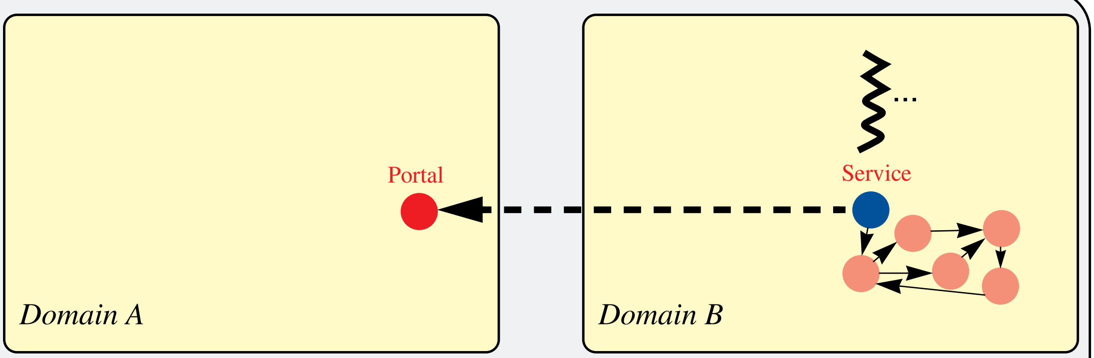
3 Inter-Domain-Kommunikation — Portale



- RMI-ähnliche Kommunikation
- Domain exportiert "Service"
- Schnittstelle wird durch Java-Interface beschrieben
- Service ist mit Service-Thread(s) verknüpft

Single Address Space

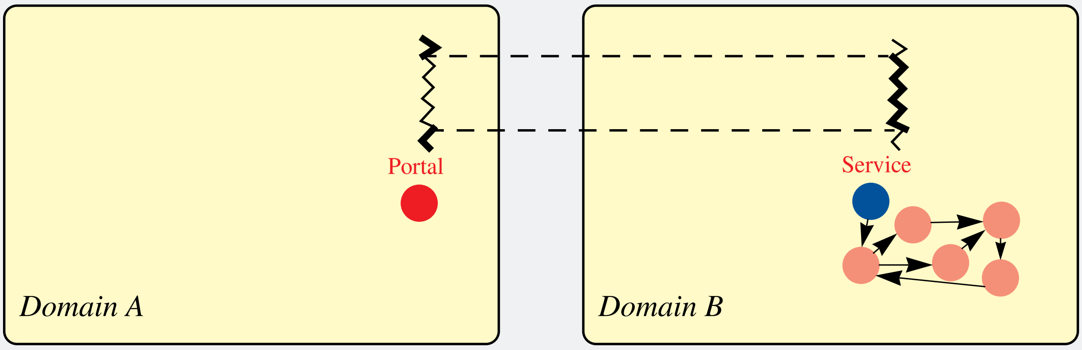
3 Inter-Domain-Kommunikation — Portale (2)



- Service wird bei Name-Service registriert
- Portal wird erzeugt

Single Address Space

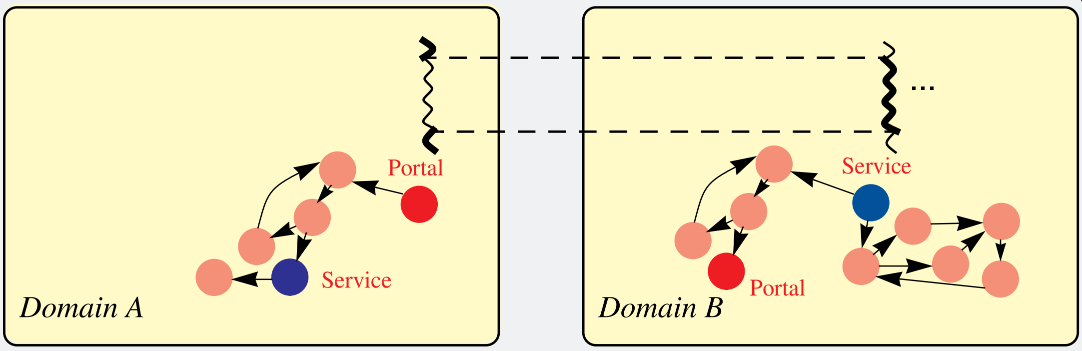
3 Inter-Domain-Kommunikation — Portale (3)



- Portal ist ein Proxy
- Bei Aufruf Thread-Umschaltung auf Service-Thread (Rendezvous, hand-off-Scheduling)

Single Address Space

3 Inter-Domain-Kommunikation — Portale (4)



- Parameterübergabe:
  - "normale" Objekte werden by-value übergeben
  - für Service-Objekte wird im Ziel-Domain ein neues Portal erzeugt

Single Address Space

3 Inter-Domain-Kommunikation — Portale (5)

- Kosten im Vergleich zu IPC-Mechanismen in anderen Forschungsbetriebssystemen:

System	IPC (cycles)
L4KA (PIII, sysenter, sysexit) (PIII, 450MHz)	800
Fiasco/L4 (PIII 450 MHz)	2610
Alta/KaffeOS	27270
JX/native (PIII 500MHz)	691

- Kosten in JX immer noch Faktor 20 gegenüber normalem Methodenaufruf
    - ➤ aber reiner Softwareschutz
    - ➤ weitere Optimierungen möglich

4 Optimierungen: Fast Portals

- Methodenaufrufe an Domain Zero
    - ◆ Domain Zero muss ohnehin vertraut werden (C- oder Assembler-Code)
        - ➤ kontrollierte Domain-Grenze überflüssig
        - ➤ einfacher Methodenaufruf ohne Threadwechsel
- Inlining
    - ◆ Inlining von kleinen Methoden durch den Compiler
- Spezielle Memory-Objekte

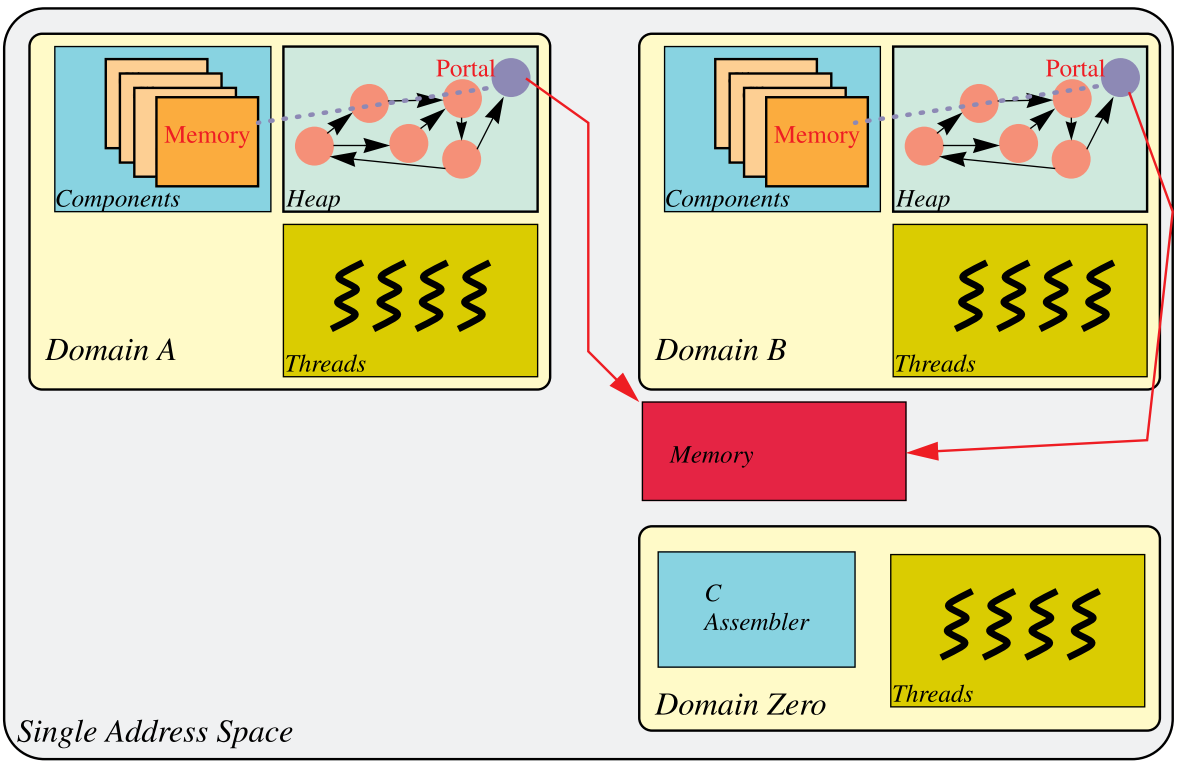
5 Optimierungen: Memory Objekte

- Probleme mit Arrays:
  - ➤ Unterbereiche nur als Kopie
  - ➤ keine Zugriffskontrolle möglich

➜ Memory-Objekte

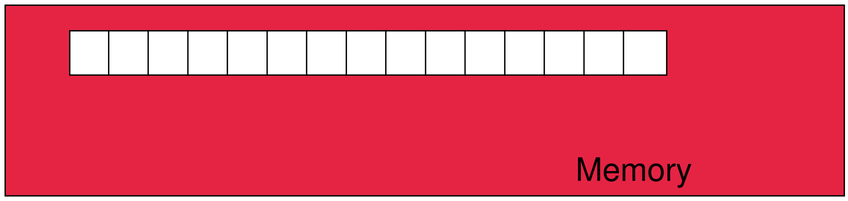
- ◆ Interface **`Memory`**
- ◆ Memory-Interface darf von keiner Klasse implementiert werden (Verifier)
- ◆ Memory-Aufrufe werden vom Compiler als direkter Speicherzugriff übersetzt
- ◆ Memory-Objekte sind nicht Teil des Objekt-Heaps
- ◆ Sharing von Memory-Objekten zwischen Domains möglich
  - ➤ Übergabe grosser Datenmengen zwischen Betriebssystem-Modulen und Anwendung (Netzwerk, Dateisystem, ...)

5 Optimierungen: Memory Objekte (2)



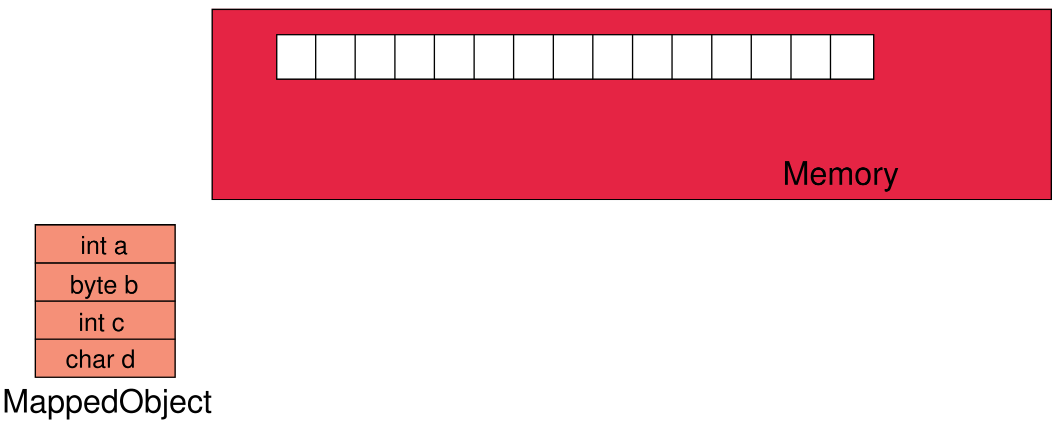
5 Optimierungen: Memory Objekte (3)

- Performance-Problem: Bereichsüberprüfung
- (teilweise) Lösung: Abbilden von speziellen Objekten auf Memory-Objekte (Mapping, Reifikation)



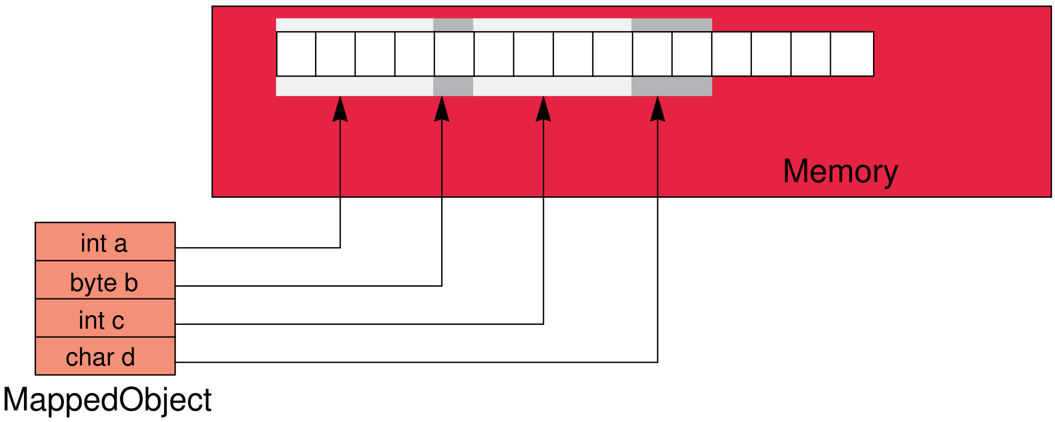
5 Optimierungen: Memory Objekte (4)

- Performance-Problem: Bereichsüberprüfung
- (teilweise) Lösung: Abbilden von speziellen Objekten auf Memory-Objekte (Mapping, Reifikation)

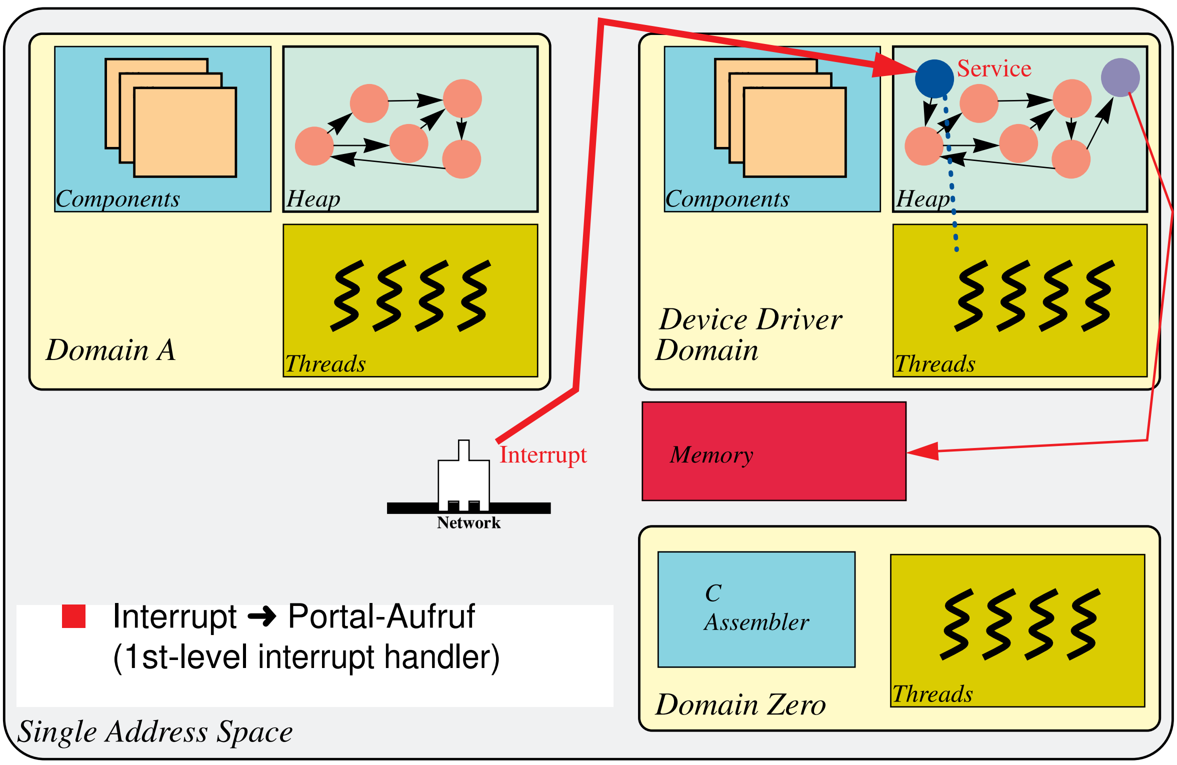


5 Optimierungen: Memory Objekte (5)

- Performance-Problem: Bereichsüberprüfung
- (teilweise) Lösung: Abbilden von speziellen Objekten auf Memory-Objekte (Mapping, Reifikation)



6 Gerätetreiber

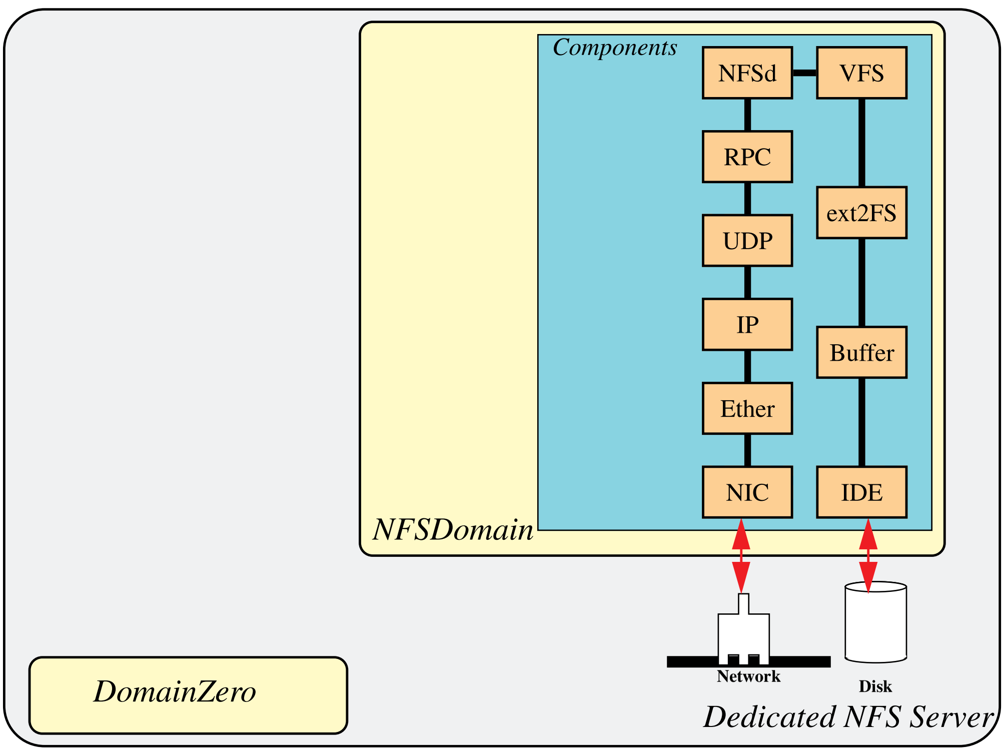


- Interrupt ➜ Portal-Aufruf (1st-level interrupt handler)

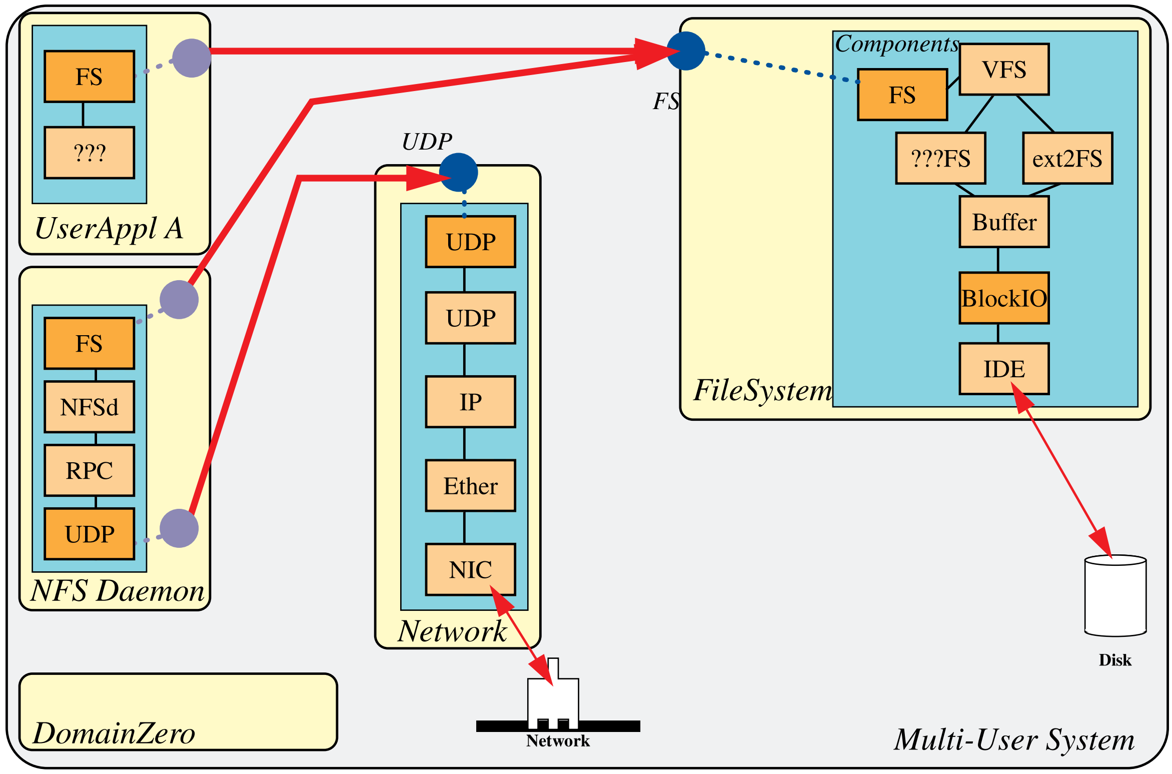
6 Gerätetreiber: Schutzproblematik

- Interrupts sind während der Ausführung des Interrupt-Handlers gesperrt
- Lösung:
  - ◆ Interrupt-Handler-Methoden müssen spezielles Interface implementieren
  - ◆ Verifier überprüft solche Methoden auf maximale Ausführungszeit
    - ➤ statische Analyse soweit möglich
    - ➤ Einfügen von Laufzeitüberprüfungen wo Ausführungszeit nicht entschiedbar
    - ➤ Laufzeitüberprüfungen können Interruptbehandlung abbrechen und Massnahmen gegen weiteres Fehlverhalten treffen (z. B. Interrupts von Gerät deaktivieren)
  - ◆ Aufteilen der Interrupt-Bearbeitung
    - ➤ kleiner vertrauenswürdiger 1st-level-Teil bearbeitet Initialisierung und DMA
    - ➤ komplexe Bearbeitung in JX-kontrolliertem 2nd-level-Teil

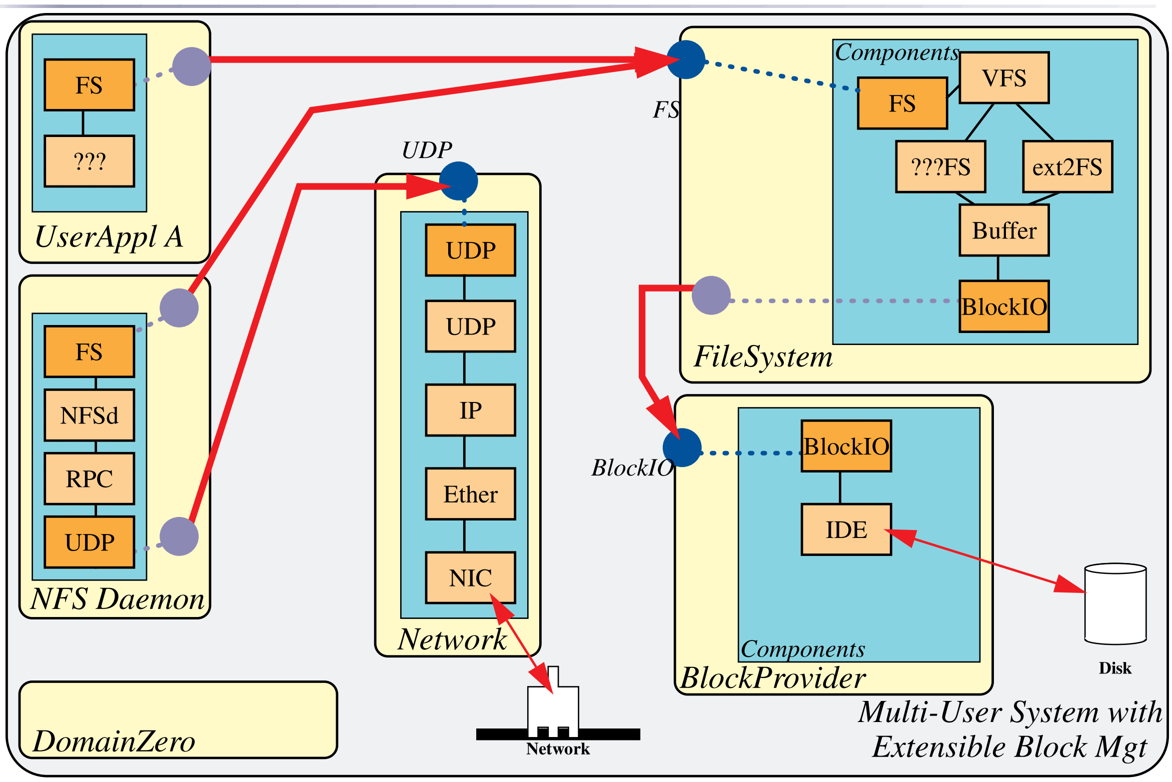
7 Betriebssystembaukasten: Spezialsystem



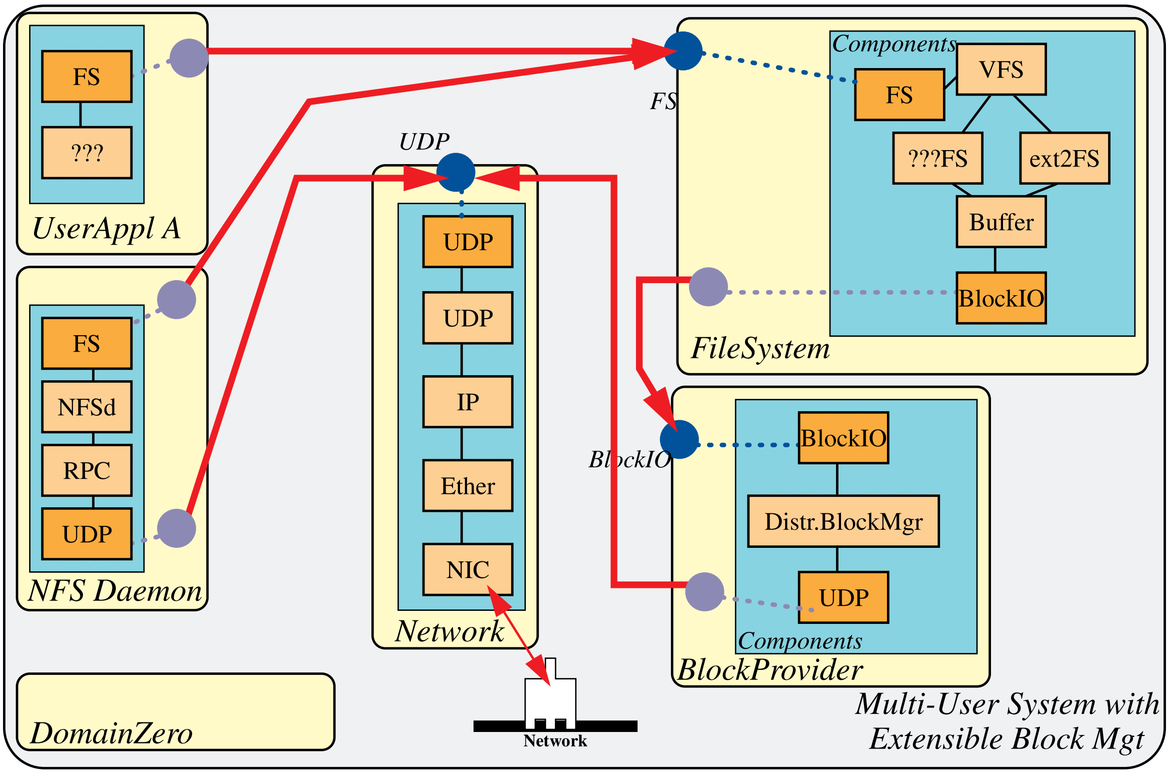
7 Betriebssystembaukasten: Multiuser-System



7 Betriebssystembaukasten: Erweiterbarkeit



7 Betriebssystembaukasten: Erweiterbarkeit (2)



8 Erweiterungsmöglichkeiten

- Betriebssystemmechanismen pro Domain
  - ➤ Scheduler
  - ➤ Garbage Collector
  - ➤ Compiler (aber: Sicherheitsproblem!)
- Erweiterter Portalaufruf
  - ➤ über Adressraumgrenzen
  - ➤ über Rechnergrenzen
    - ➥ verteiltes Betriebssystem
- "Smart Portals"
  - ➤ ganz oder teilweise replizierte Remote-Objekte (Fragment-Konzept)