Netzprogrammierung
Interaktionsmuster
Remote Procedure Calls

Prof. Dr.-Ing. Robert Tolksdorf
Freie Universität Berlin
Institut für Informatik
Netzbasierte Informationssysteme
mailto: tolk@inf.fu-berlin.de
http://www.robert-tolksdorf.de

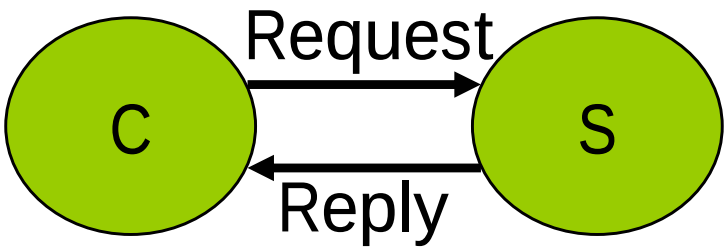
Überblick

1. Client/Server Interaktionen
2. Remote Procedure Call
3. Komponenten beim RPC
4. Fehler

Client/Server Interaktionen

Client-Server

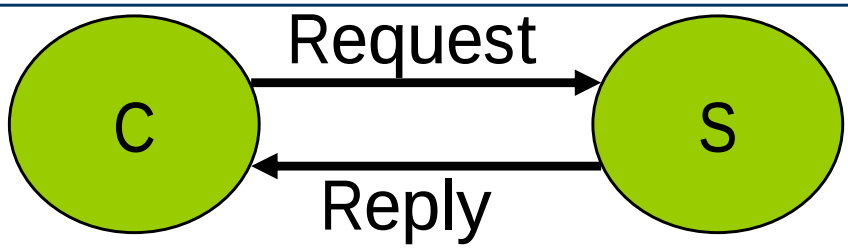
- Rechner interagieren über Rechnergrenzen durch
  - Nachrichtenaustausch (z.B. Internet Mitteilungen)
  - Fernaufruf (RPC, RMI, CORBA)
  - Simulierten gemeinsamen Speicher (Tupelraum)
  - ...
- Dominierendes Interaktionsmodell: Client/Server
- *Client*: Prozess, der Dienst von einem anderen Prozess anfordert (Anforderung, Request)
- *Server*: Prozess, der auf Anforderung eines Clients einen Dienst erbringt und Ergebnis vermeldet (Antwort, Reply)



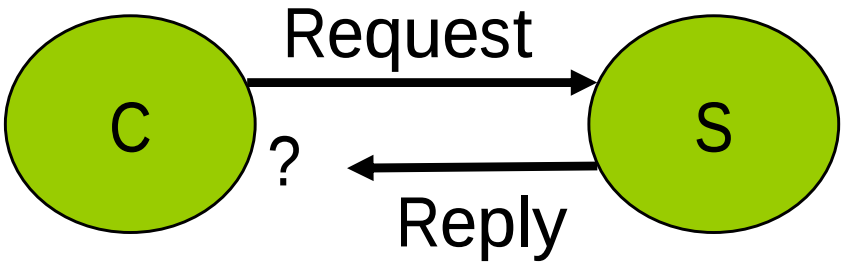
- Feste (starre) Rollenverteilung
- Fester Interaktionsablauf, z.B. keine Zwischenergebnisse vorgesehen

Interaktionssemantik

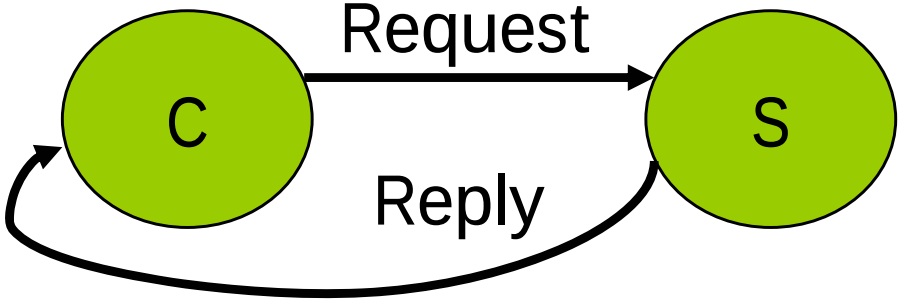
- Blockierend/synchron:
  Client wartet auf Antwort



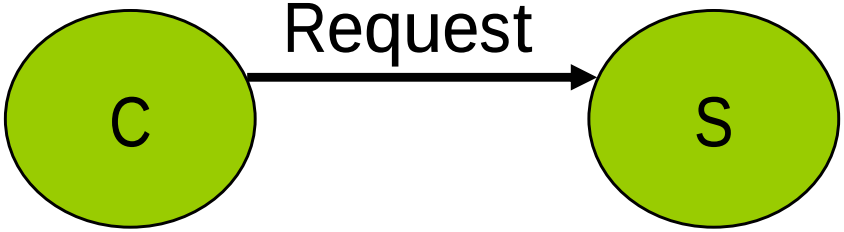
- Zurückgestellt synchron:
  Client schaut selber nach



- Asynchron:
  Ereignis oder Callback bei Ergebnis



- Einwege:
  Keine Antwort

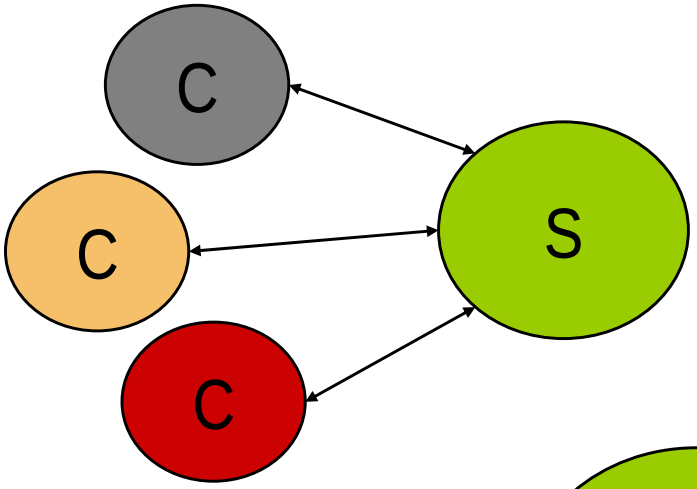


Serverzustand

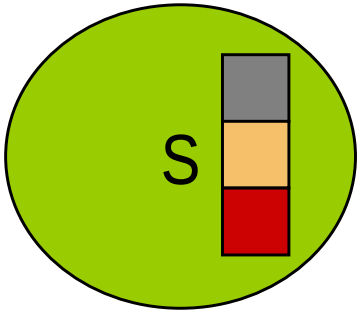
- Angebotene Dienste lassen sich unterscheiden hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Zustand des Servers:
  - Zustandsinvariante Dienste:
    - Bewirken keine Änderungen des Serverzustands
    - Beispiel: Webseitenabruf
    - Serverzustand kann durch andere Dienste geändert werden
  - Zustandsändernde Dienste:
    - Anfrage bewirkt neuen Serverzustand
    - Beispiel: Löschen auf einem FTP-Server
    - Reihenfolge der Dienstanforderungen relevant

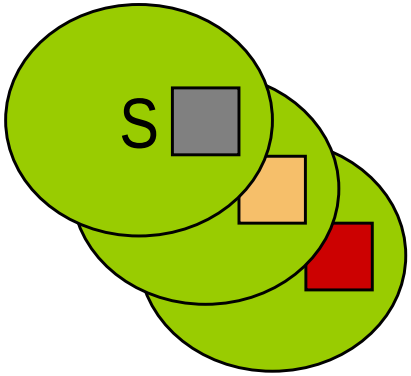
Nebenläufige Benutzung von Serverobjekten

- Mehrere Clienten stellen unabhängig voneinander Anfragen



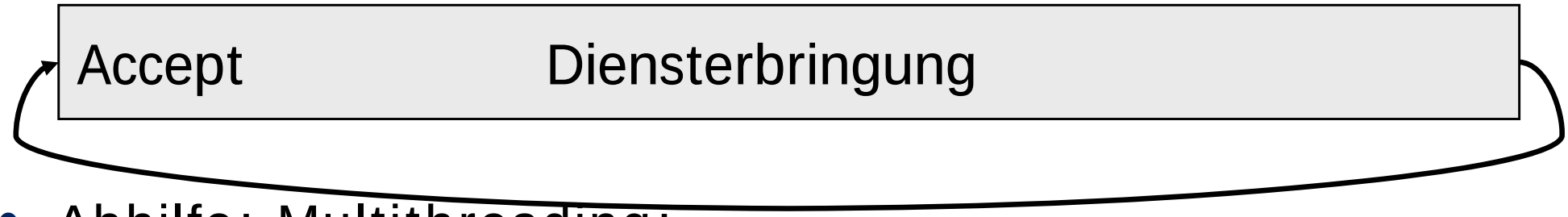
- Server kann arbeiten
  - Sequentiell/Iterativ
    - Schlechtere Antwortzeiten
    - Einfacher
  - Parallel
    - Antwortzeiten günstiger
    - Synchronisationsaufwand



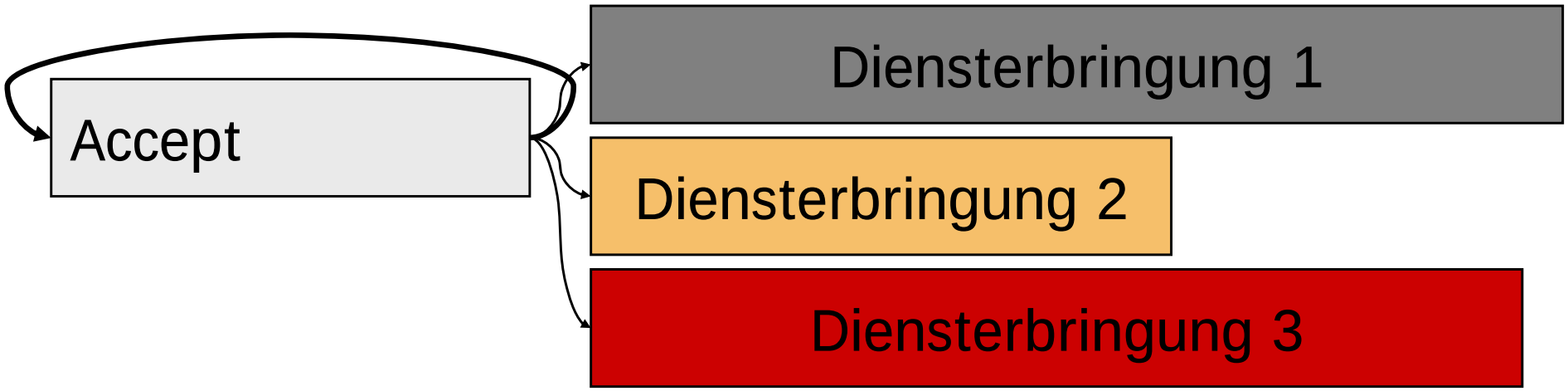


Multithreaded Server

- Das Serverprogramm ist während der Erbringung eines Dienstes nicht in der Lage, neue Verbindungen anzunehmen



- Abhilfe: Multithreading:



Erinnerung ALP IV: Threads als Java Objekte

Freie Universität Berlin

- Ausführungszweig ist Objekt
- Muß java.lang.Thread erweitern (oder java.lang.Runnable implementieren)
- Muß eine Methode run() besitzen, besitzt Methode start()
- start() erzeugt neuen Ausführungszweig und ruft run() auf
- Thread terminiert, wenn run() beendet ist
- Objekt existiert weiter

Beispiel: Alle reden durcheinander

Freie Universität Berlin

```
public class SayA extends Thread {
  public void run() {
    for(;true;System.out.print("A"));
  }
}
```

```
public class SayB extends Thread {
  public void run() {
    for(;true;System.out.print("B"));
  }
}
```

```
public class Talkshow {
  public static void main(String[] argv)
    SayA a=new SayA();
    SayB b=new SayB();
    a.start();
    b.start();
  }
}
```

```
BBBBBBBBBBBBAAAAABBBBBBBBBBB
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAB
BBBBBBBBBBBBBBBBBBBAAAABBBBB
AAABBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
BBBBBBBBBBBBAAAABAAABBBBBBBB
```

Beispiel: Multithreaded Server

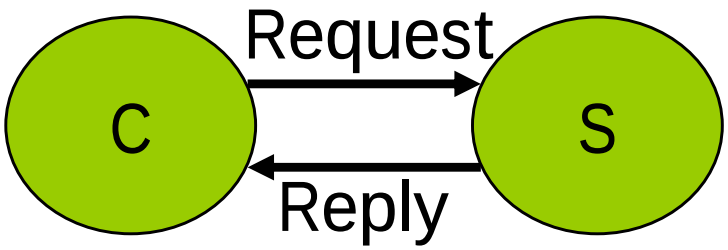
```
import java.net.*;
public class MultiServer {
  public static void main(String[] argv) {
    try{
      ServerSocket socket=
        new ServerSocket(3000);
      while (true) {
         Socket connection=socket.accept();  // Annahme Dienstaufforderung
         Handler handler= new Handler(connection);
         handler.start(); // Start nebenläufige Diensterbringung
      }
    } catch (Exception e) {
         System.err.println(e.getMessage());
    }
  }
}
```

```
import java.net.*;
public class Handler extends Thread {
  public Handler(Socket s) {}
  public void run() {...}
}
```

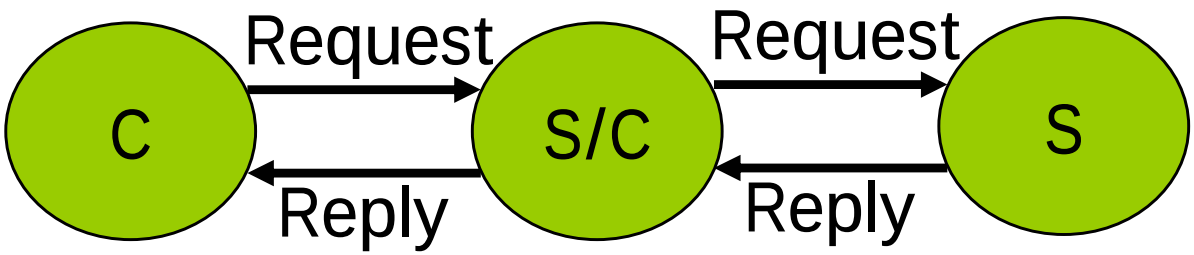
Client/Server Muster

Client-Server-Server Systeme

- Client-Server tritt selten pur auf



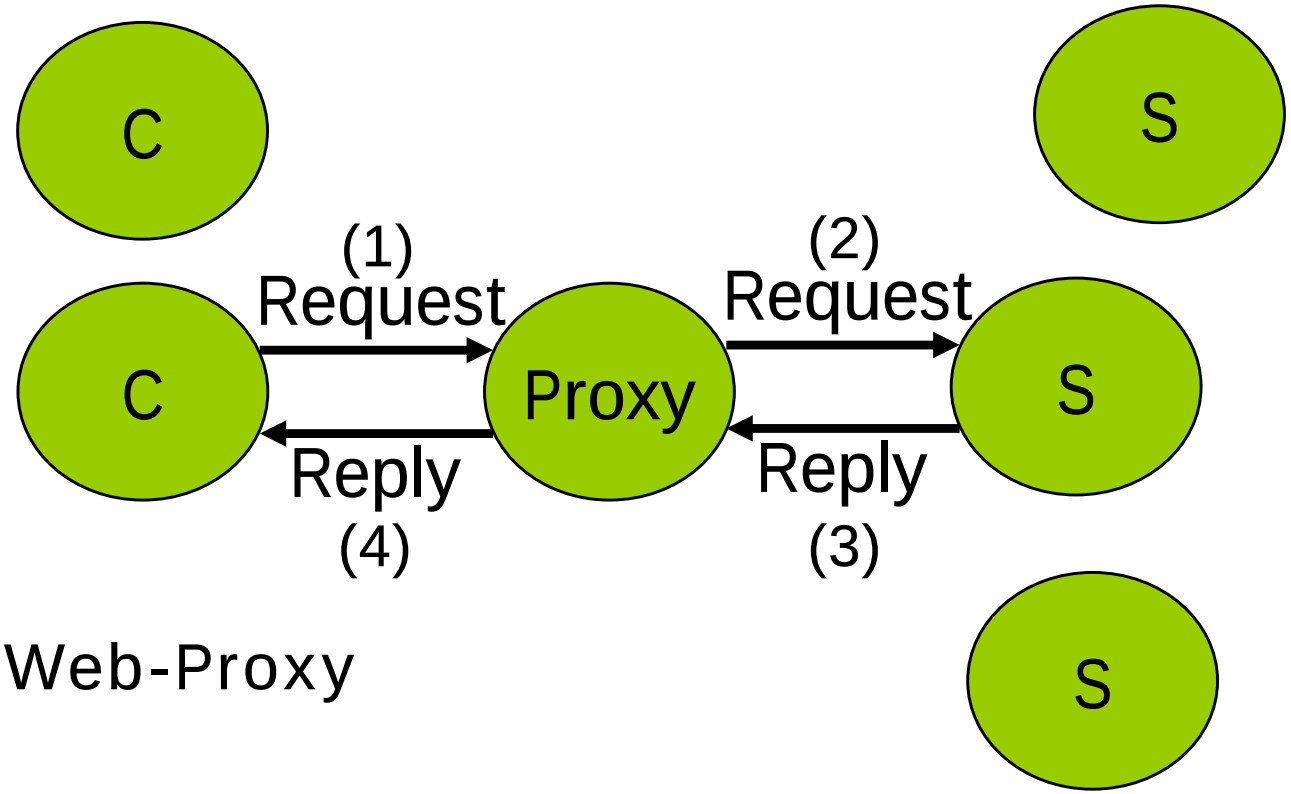
- Beispiel: 3-Tier/3-Schichten:



- Es gibt verschiedene wiederkehrende Muster solcher Client-Server-Server Systeme

Proxy

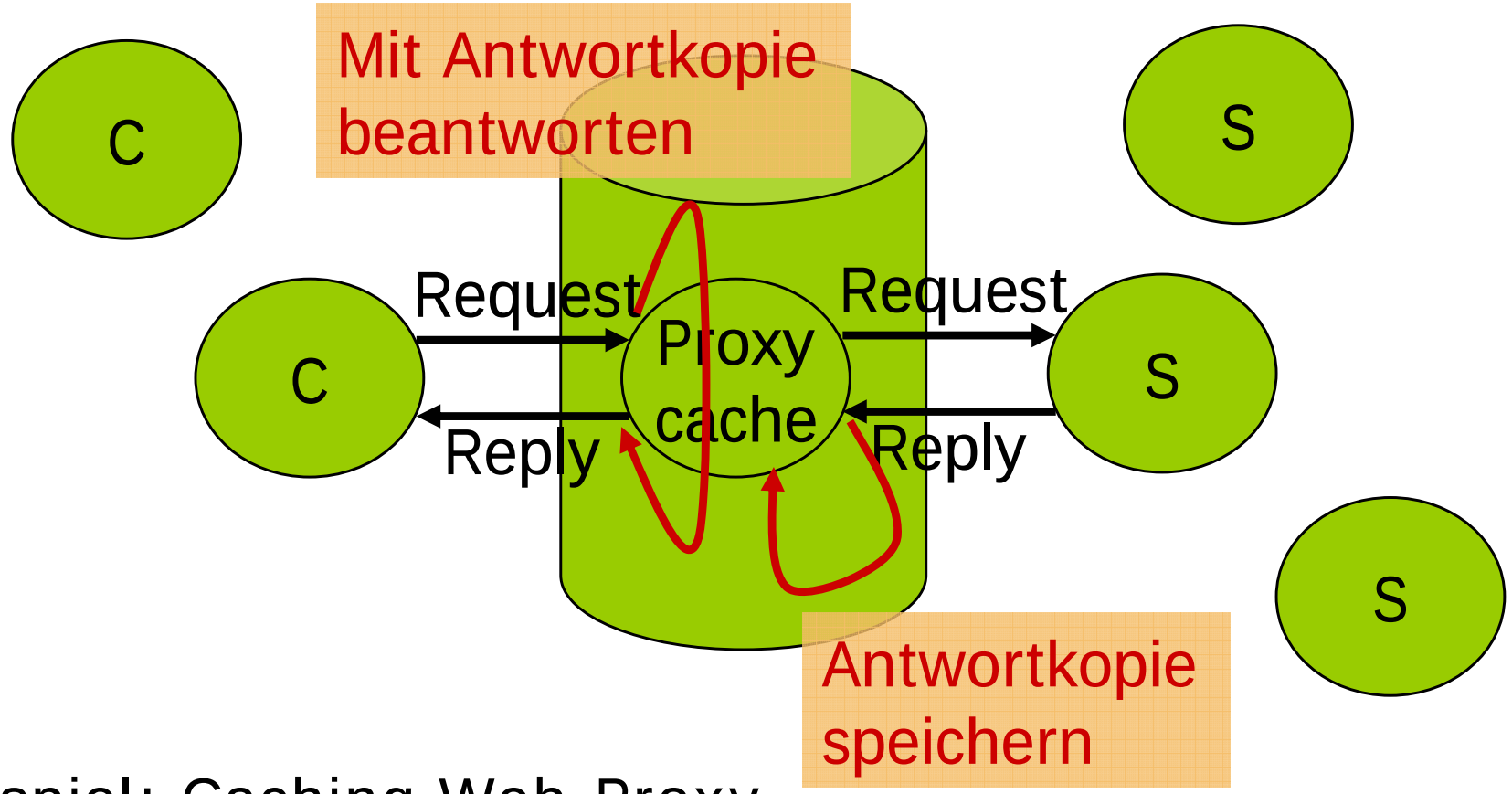
- Proxy-Objekt vertritt
  - Mehrere Clients gegenüber Servern
  - Mehrere Server gegenüber Clients



- Beispiel: Web-Proxy

Proxy mit Zwischenspeicher

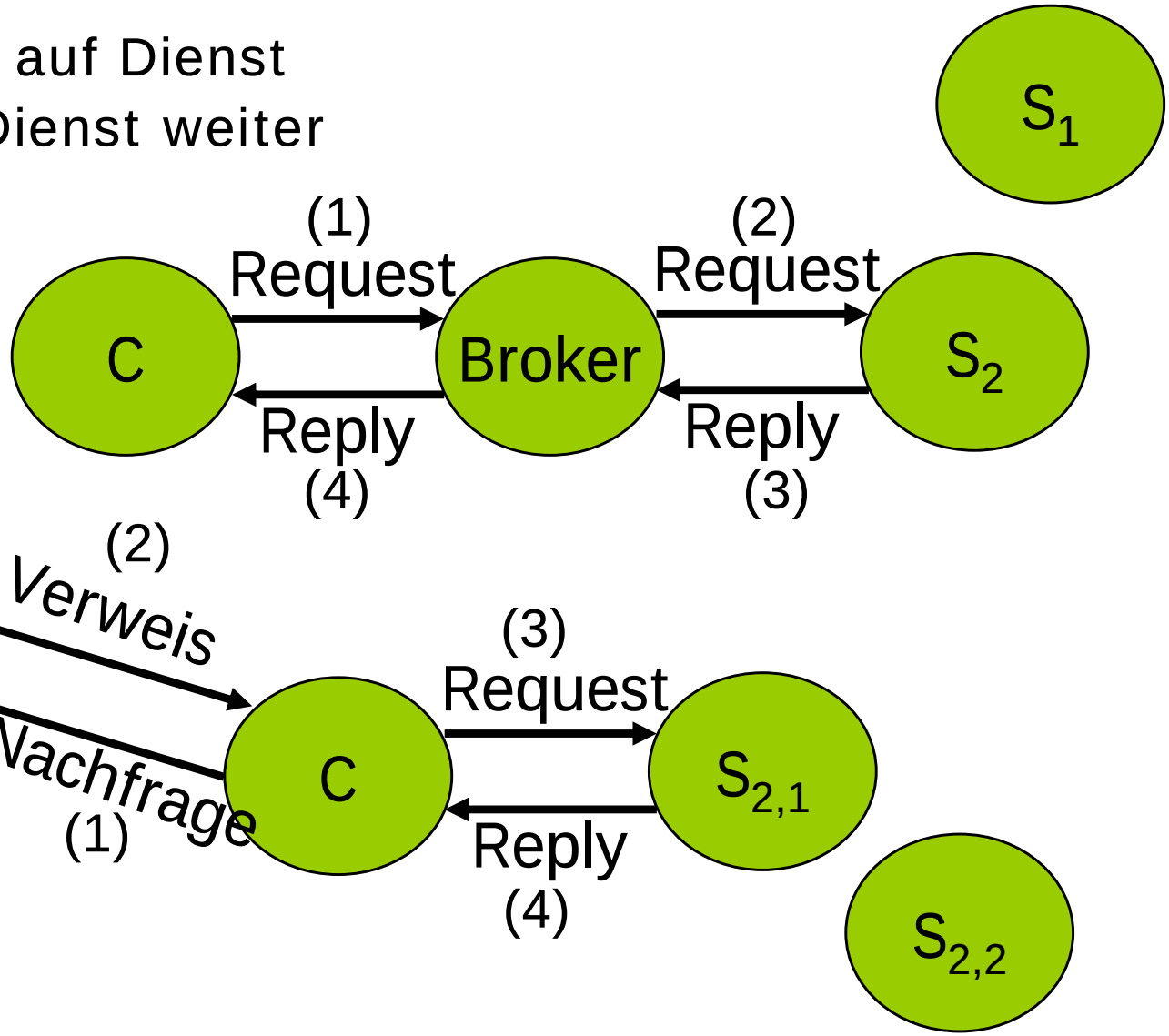
- Proxy Cache
  - Speichert erhaltene Antworten ab
  - Beantwortet Anfragen möglichst aus Zwischenspeicher



- Beispiel: Caching Web-Proxy

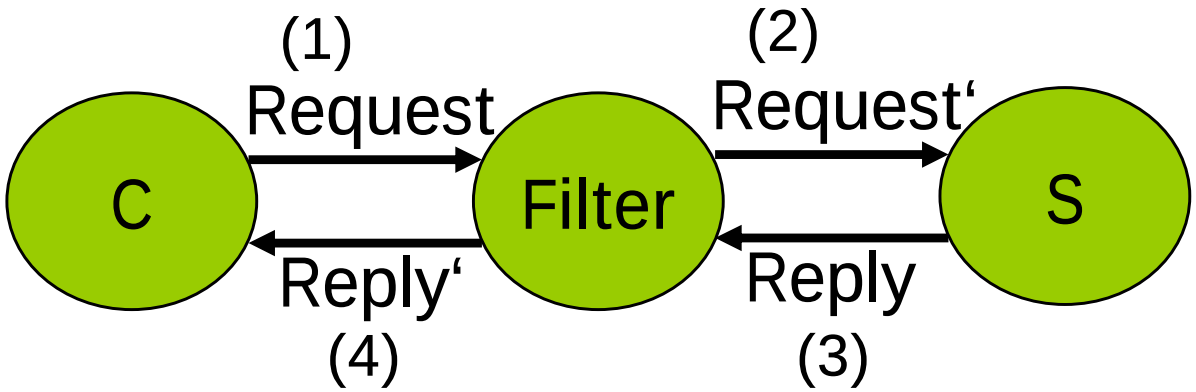
Broker, auch Trader

- Broker
  - vermittelt Verweis auf Dienst
  - leitet Anfrage an Dienst weiter
- Weiterleitend
- Verweisend
- Beispiel: CORBA



Filter

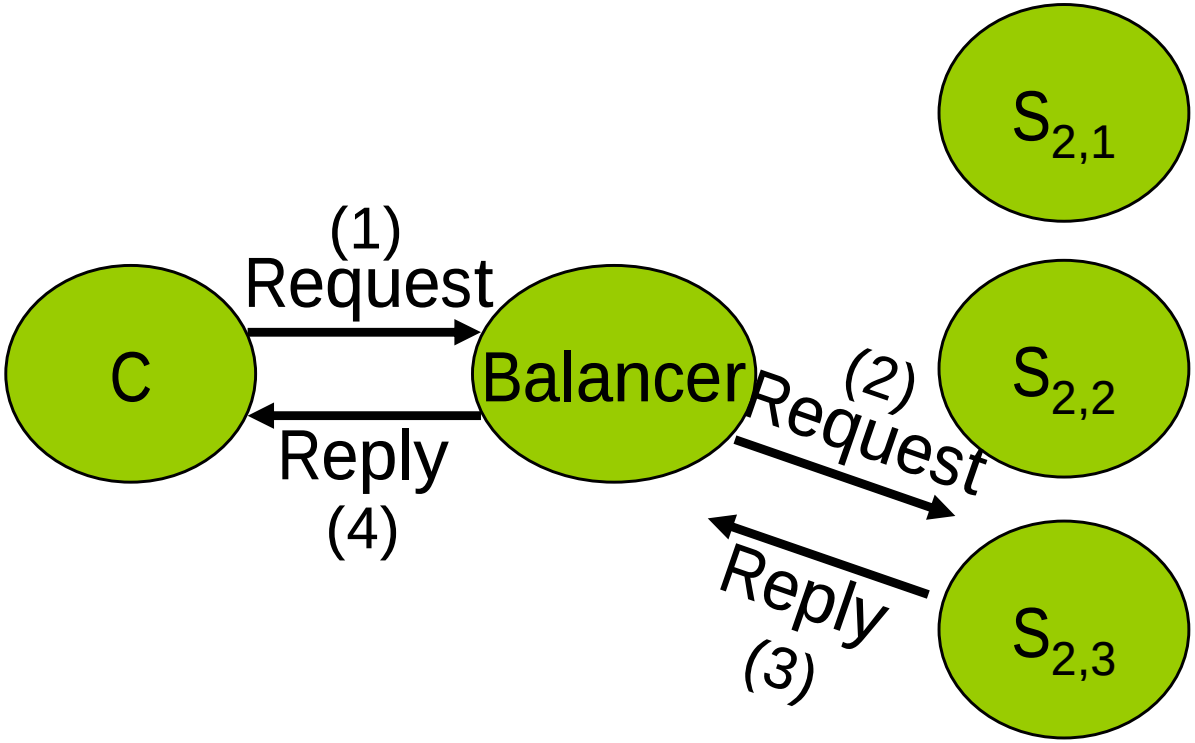
- Filter
  - leitet modifizierte Anfrage weiter
  - leitet modifizierte Antwort weiter



- Beispiel: Web-Anonymisierer

Balancer

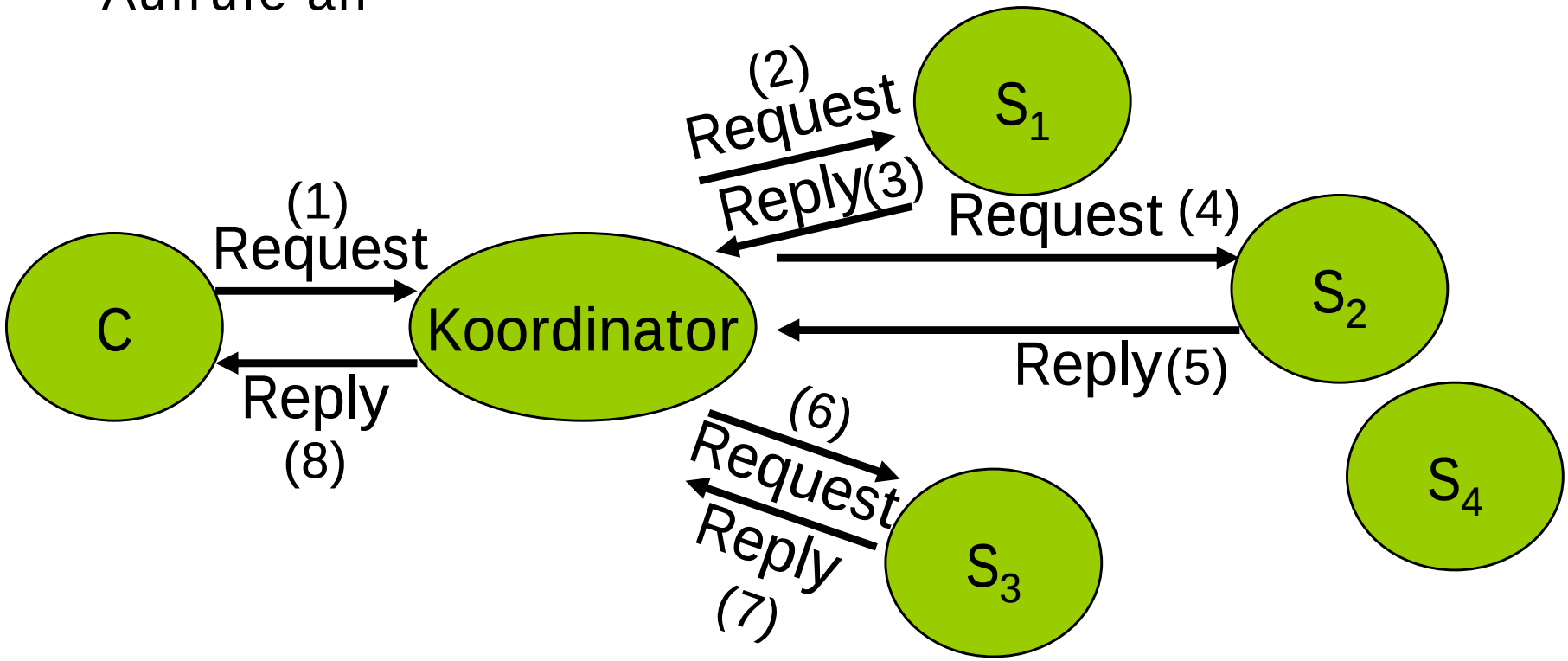
- Balancer
  - gleicht Lastverteilung durch ausgeglichene Anfragenweiterleitung aus



- Beispiel: Web-Server aus mehreren Maschinen

Koordinator

- Koordinator
  - realisiert zusammengesetzten Dienst durch entsprechende Aufrufe an



- Beispiel: Onlinetransaktion (Flugticketbuchung, Mietwagenbuchung, Kreditkartenabbuchung)

Basis für Client/Server: Remote Procedure Calls

Remote Procedure Call RPC

- Entfernter Prozeduraufruf, Remote Procedure Call, als grundlegender Mechanismus für verteilte Systeme
  - direkt implementiert (Sun RPC, HP RPC etc.)
  - weiterentwickelt (Java RMI etc.)

- [Birrell/Nelson84]:
  RPC ist ein synchroner Mechanismus, der Kontrollfluss und Daten als Prozeduraufruf zwischen zwei Adressräumen über ein schmalbandiges Netz transferiert

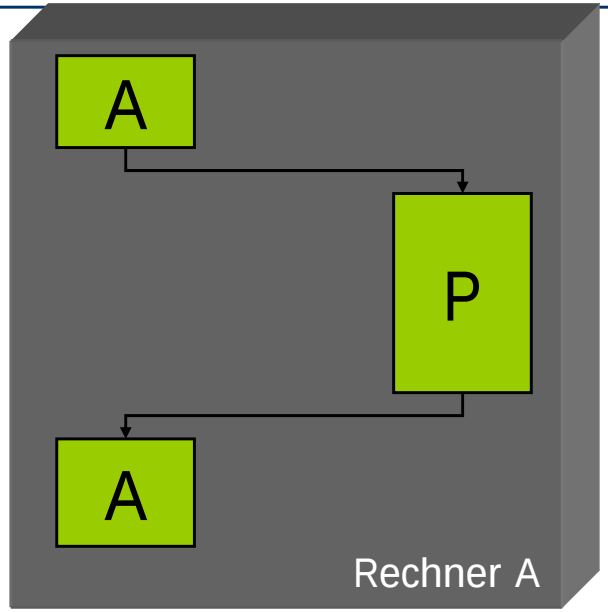
RPC Kontroll- und Datenfluss

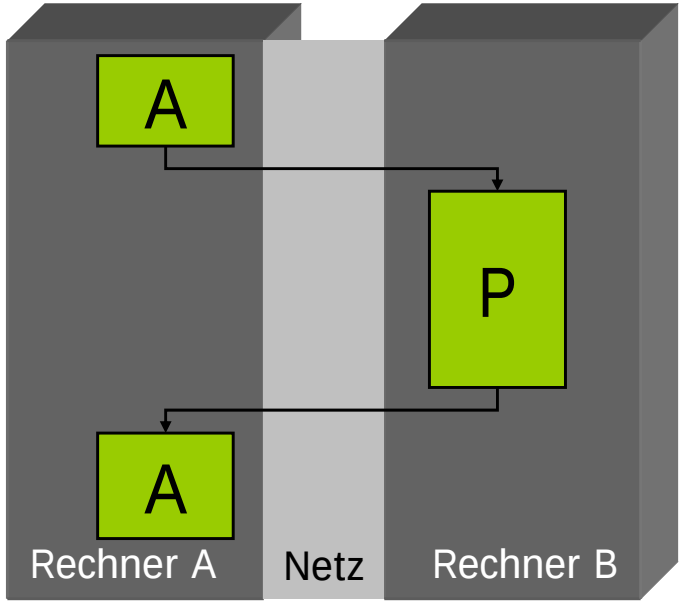
- Prozeduraufruf steuert
  - Kontrollfluss und
  - Parameter

  vom Aufrufer in eine Prozedur
- Prozedurbeendigung steuert
  - Kontrollfluss und
  - Ergebnisdaten

  zurück

- Entfernter Prozeduraufruf (Remote Procedure Call, RPC) transferiert Kontrollfluss und Daten über ein Netzwerk zwischen Rechnern





RPC Eigenschaften

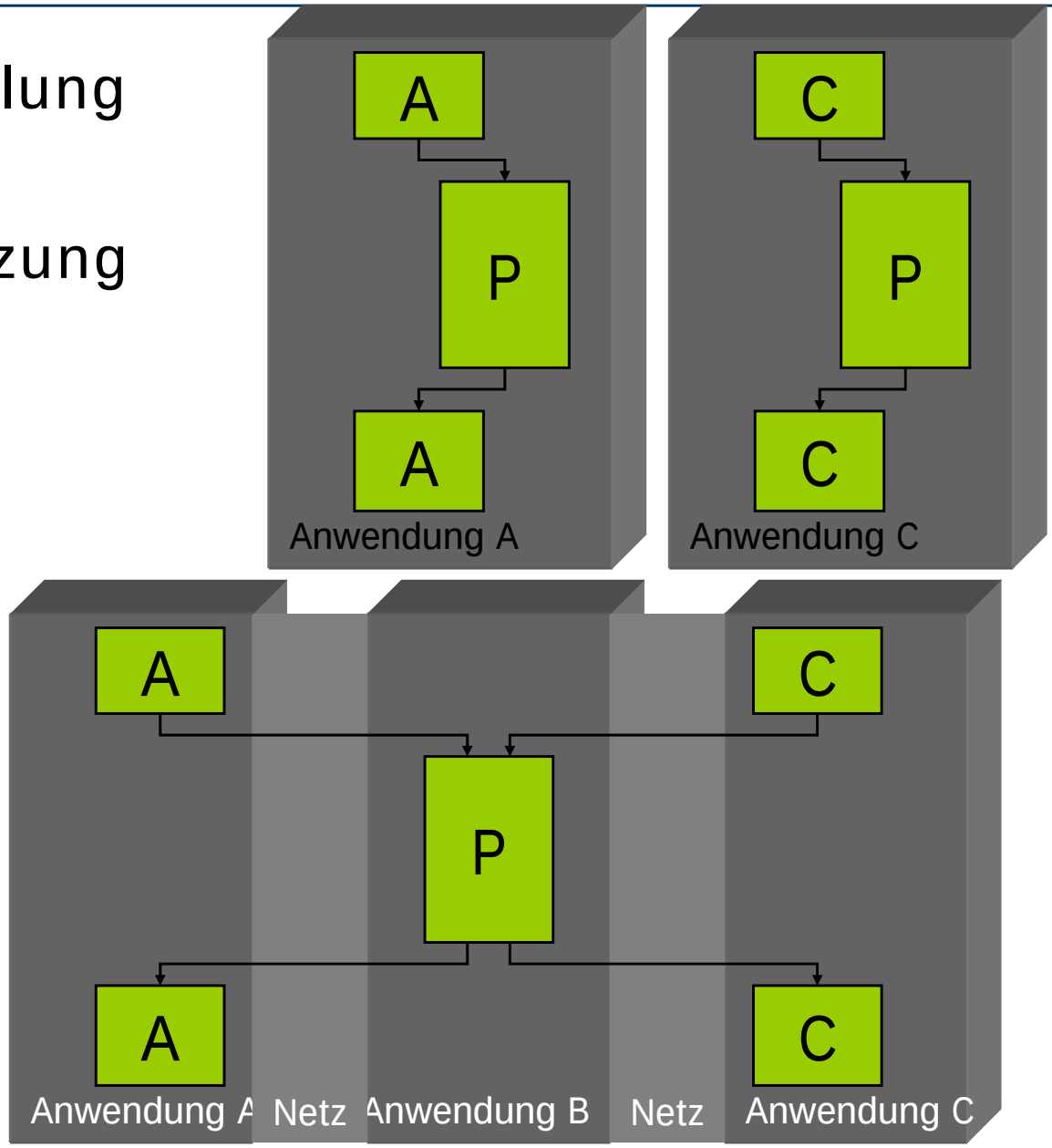
- Synchron:
  Aufrufer blockiert bis Aufgerufener Ergebnis abliefert
- Prozeduraufruf:
  Signatur der Prozedur definiert zu übertragende Daten
- Unterschiedlicher Adressraum:
  Speicheradressen (Zeiger) sind nicht semantikerhaltend übertragbar
- Schmalbandig:
  Bandbreite des Netzes ist um Dimensionen geringer als die der Kommunikationspfade innerhalb eines Rechners

Unterschiede

Lokaler Aufruf	*Entfernter Aufruf*
Aufrufer und Prozedur im selben Prozess ausgeführt	Aufrufer und Prozedur in unterschiedlichen nebenläufigen Prozessen
Aufrufer und Prozedur im selben Adressraum	Aufrufer und Prozedur in unterschiedlichen Adressräumen
Aufrufer und Prozedur in selben Hard- und Software-umgebung	Aufrufer und Prozedur in unterschiedlicher Hard- und Softwareumgebung
Aufrufer und Prozedur haben gleiche Lebensdauer	Aufrufer und Prozedur haben unterschiedliche Lebensdauer
Aufruf ist immer fehlerfrei	Aufruf ist fehlerbehaftet (Netz, Aufgerufener)
Nur Anwendungsfehler berücksichtigt	Zusätzlich Aufruffehler behandeln

Vorteile der Netzbasierung TOOD

- Bessere Aufgabenverteilung
- Bessere Lastverteilung
- Bessere Ressourcennutzung
- Bessere Modularität
- Bessere Wieder-verwendbarkeit
- Größere Offenheit
- Besser Integrationsfähigkeit
- ...

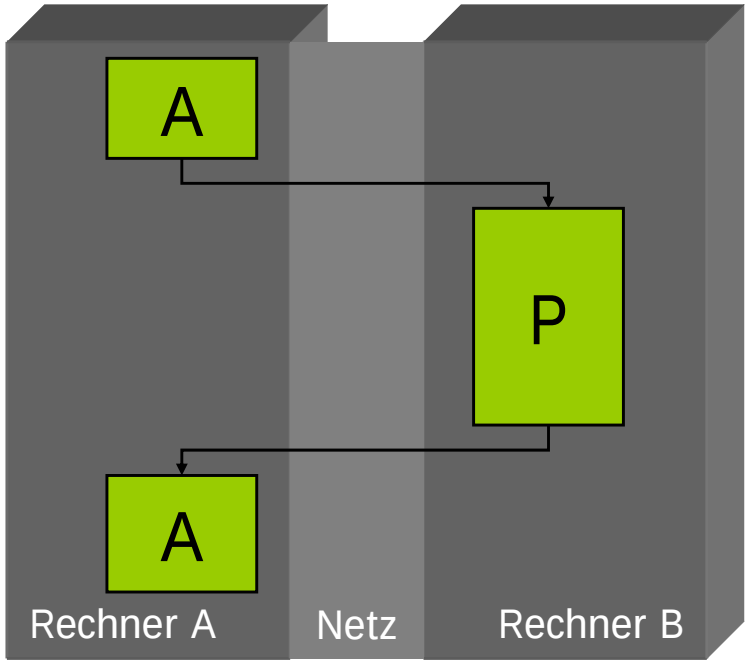


Vorteile der Prozedurabstraktion

- Klare und verständliche Semantik von RPC
- Prozeduraufrufe wohlverstanden
- Prozeduraufrufe geeignetes Mittel zur Kommunikation in Anwendungen
- Einfachheit des Mechanismus: Effiziente Implementierung möglich

Ablauf RPC

- Anhalten des Kontrollfluss auf A
- Verpacken von Parametern
- Übersenden der Parameter



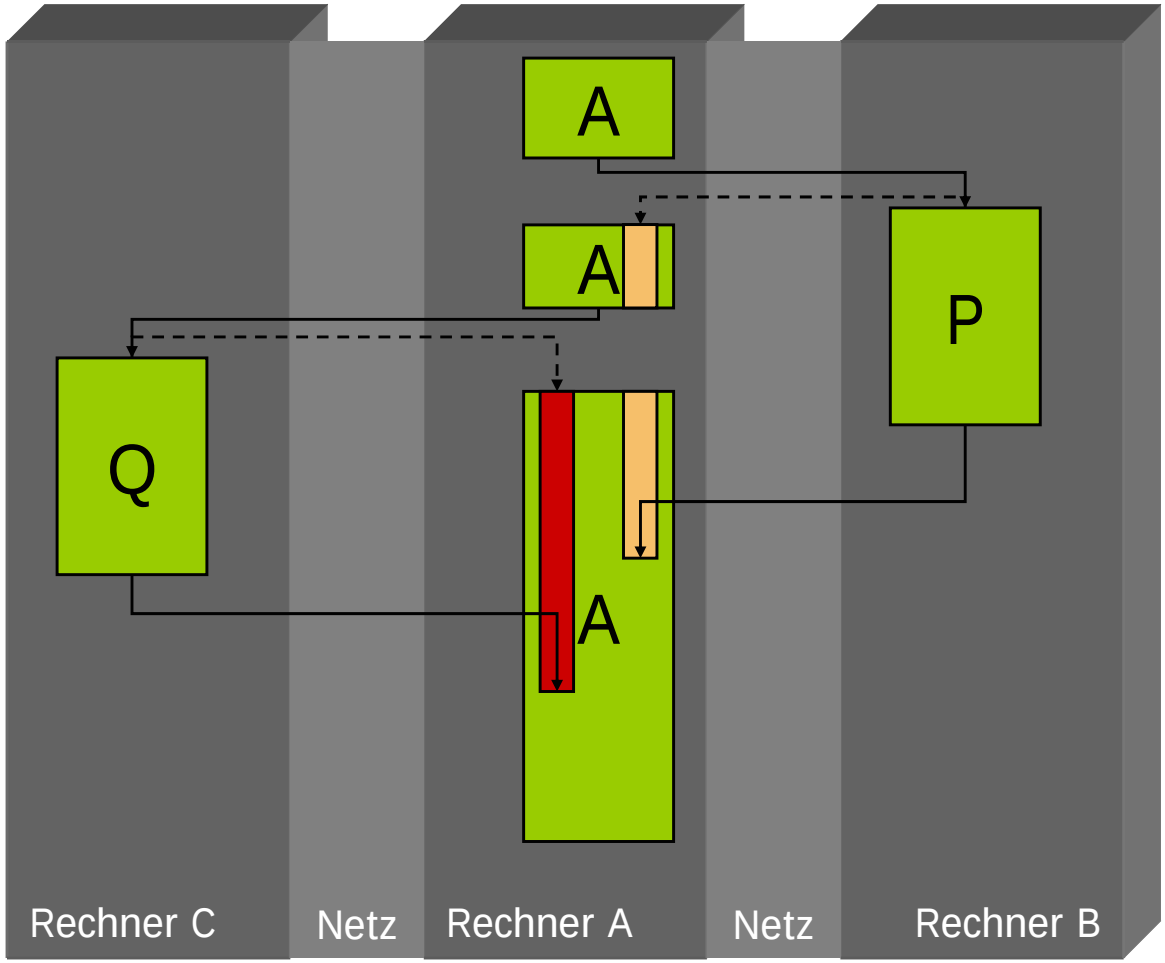
- Auspacken der Parameter
- Aufruf der Prozedur in Kontrollfluss auf B
- Verpacken des Ergebnisses
- Übersenden des Ergebnisses

- Auspacken des Ergebnisses
- Fortführen des Kontrollfluss auf A

Asynchroner RPC

- RPC ist eigentlich synchron, Klient ist blockiert
- Asynchroner RPC
  - Klient nicht blockiert
  - Holt Ergebnis später ab
- Future:
  - „Platzhalter“ für Ergebnis
  - Lesen des Futures bewirkt Blockierung bis Ergebnis da

Asynchroner RPC



- Ermöglicht größeren Grad der Nebenläufigkeit:
  - Mehrere RPCs können „offen“ sein
  - Mehrere Prozesse in Servern arbeiten an Ergebnissen

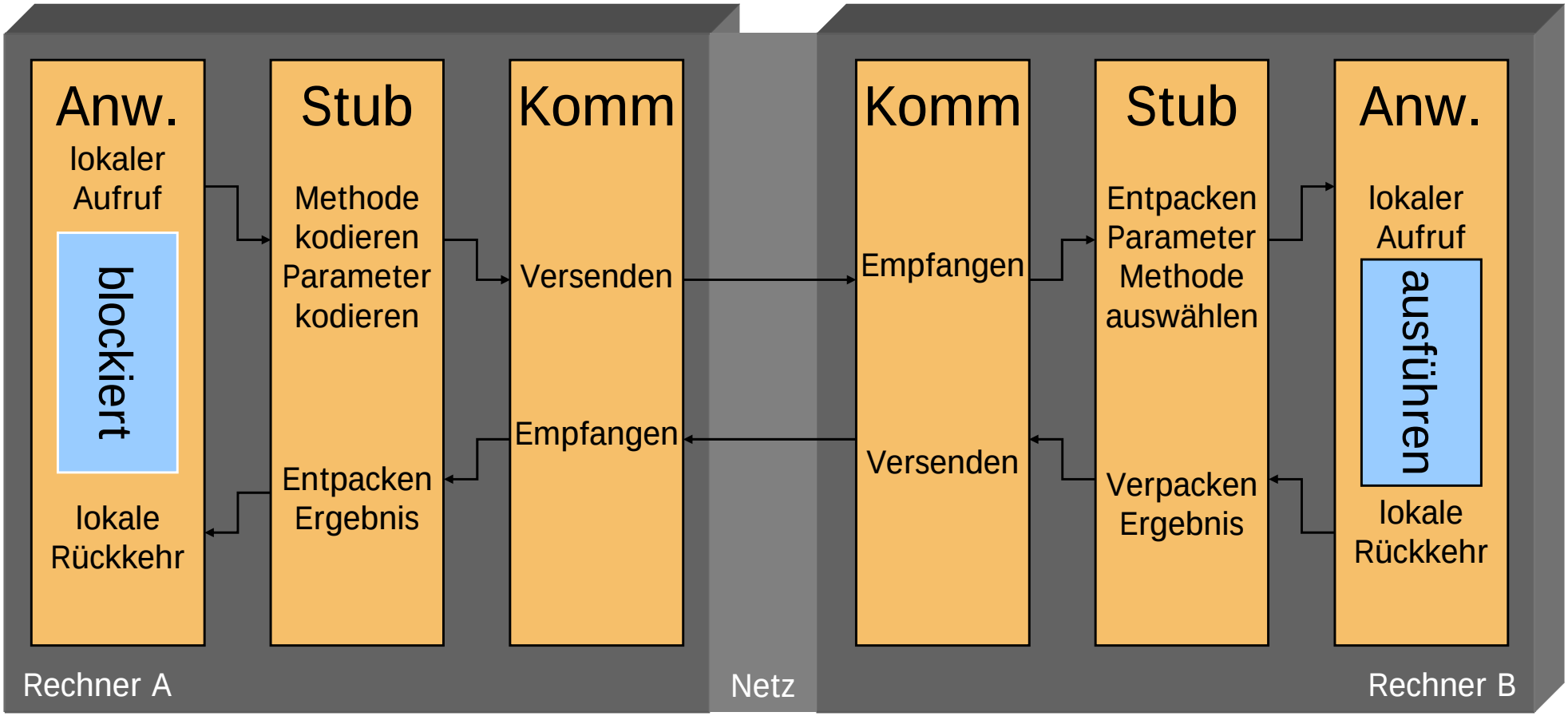
Herausforderungen

- Semantik im Fehlerfall
- Semantik von Zeigern
- Einbettung in Programmiersprachen
- Auffinden und Binden an die entfernten Prozeduren
- Protokoll des Datenaustauschs
- Eigenschaften der Kommunikation

Komponenten beim RPC

Komponenten beim RPC

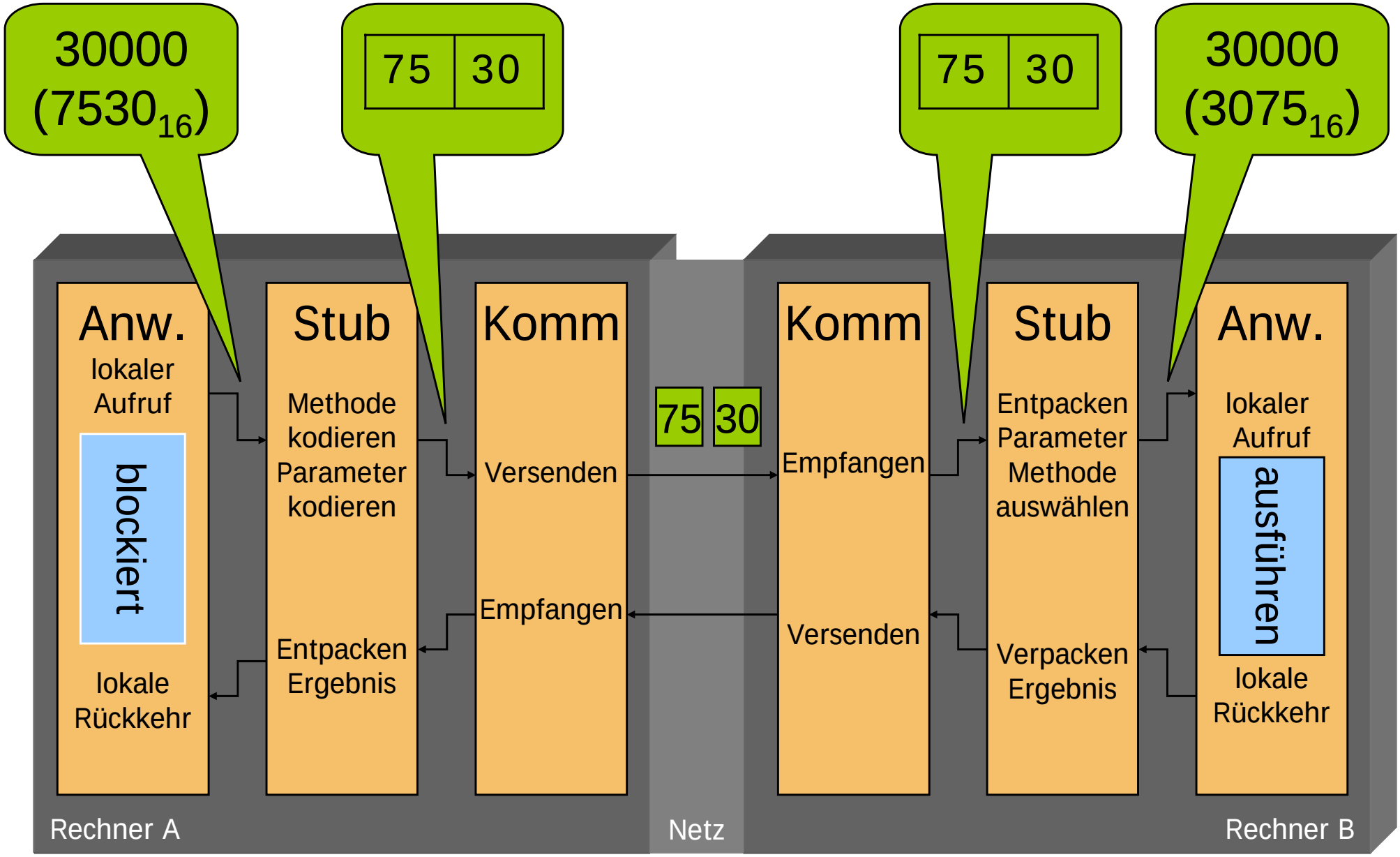
- Anwendungsprozeduren: Eigentliche Arbeit
- Stubs: Ver- und Entpacken von Daten zum Transport
- Kommunikation: Transport von Daten



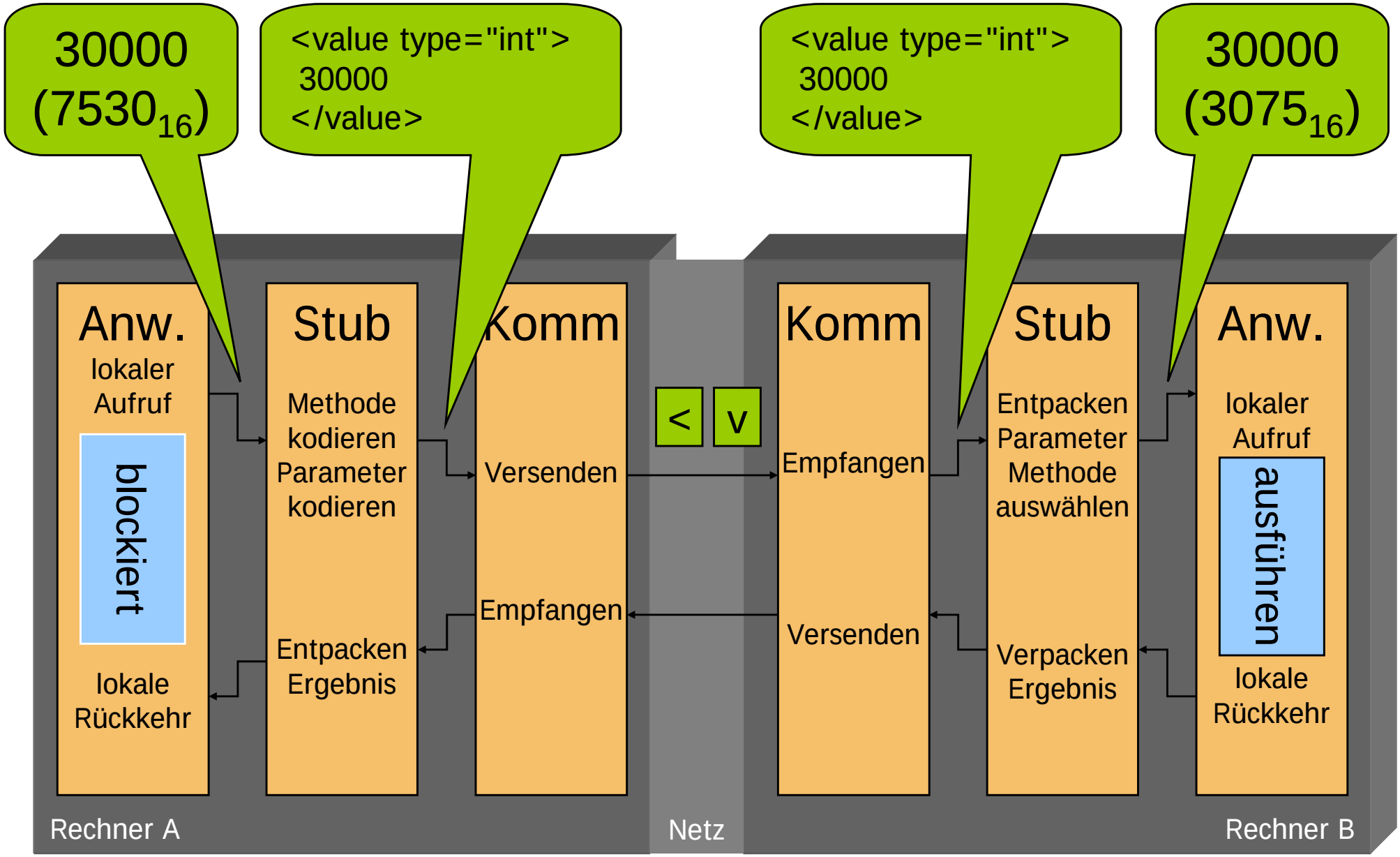
Marshalling

- Rechner können unterschiedliche Darstellung von Daten haben
  - Big-Endian („network order“): Absteigende Wertigkeit
    30000_{10} 7530_{16} 0111010100110000_2
  - Little-Endian: Aufsteigende Wertigkeit
    30000_{10} 3075_{16} 0011000001110101_2
- Komplexer bei zusammengesetzten Typen:
  - Beim Datum schon im realen Leben kompliziert:
    - Europa: dd.mm.yy (little-endian)
    - Japan: yy/mm/dd (big-endian)
    - US: mm/dd/yy („middle-endian“)
  - Datenstrukturen?
- Notwendig:
  - Externe Datenrepräsentation
  - Kodierung/Dekodierung = Marshalling

Marshalling binär

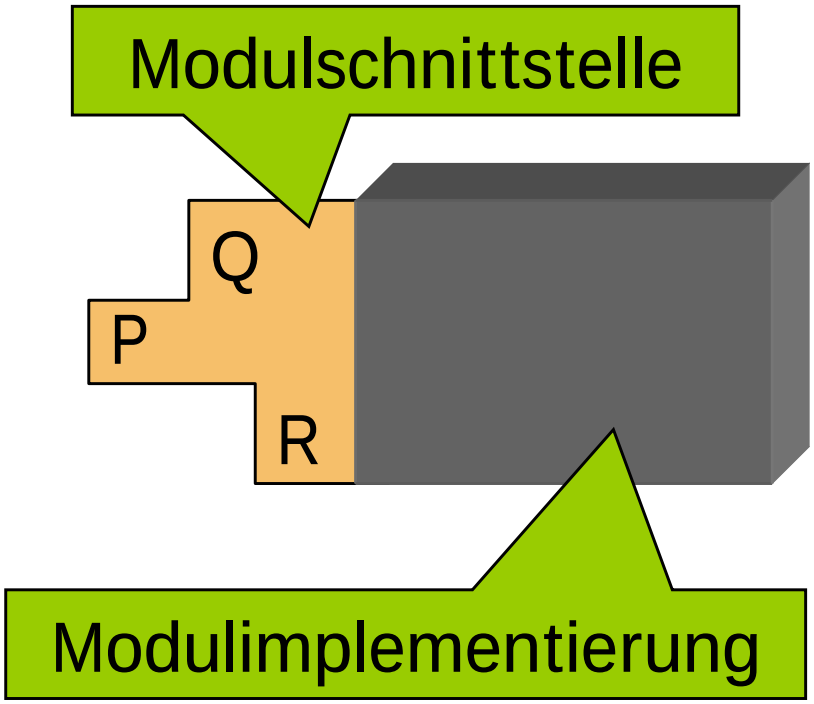


Marshalling textuell

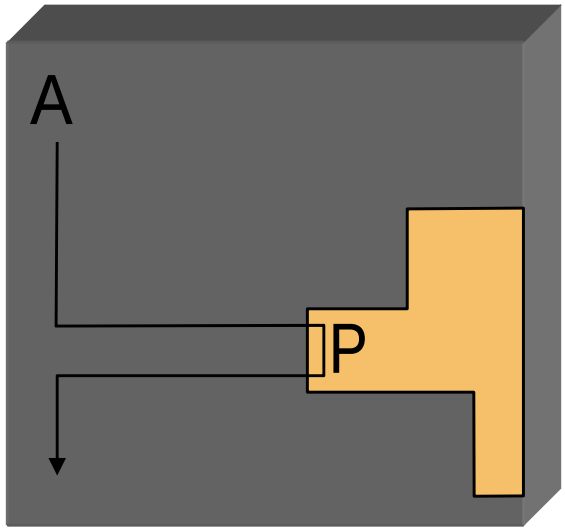


Interaktionspunkt: Schnittstellen (lokal)

- Ein Modul bietet Prozeduren zum Aufruf an:
  Das Modul *exportiert* eine Schnittstelle (Interface)
- Im Beispiel: Schnittstelle enthält Prozeduren P, Q und R
- Definiert durch Signaturen

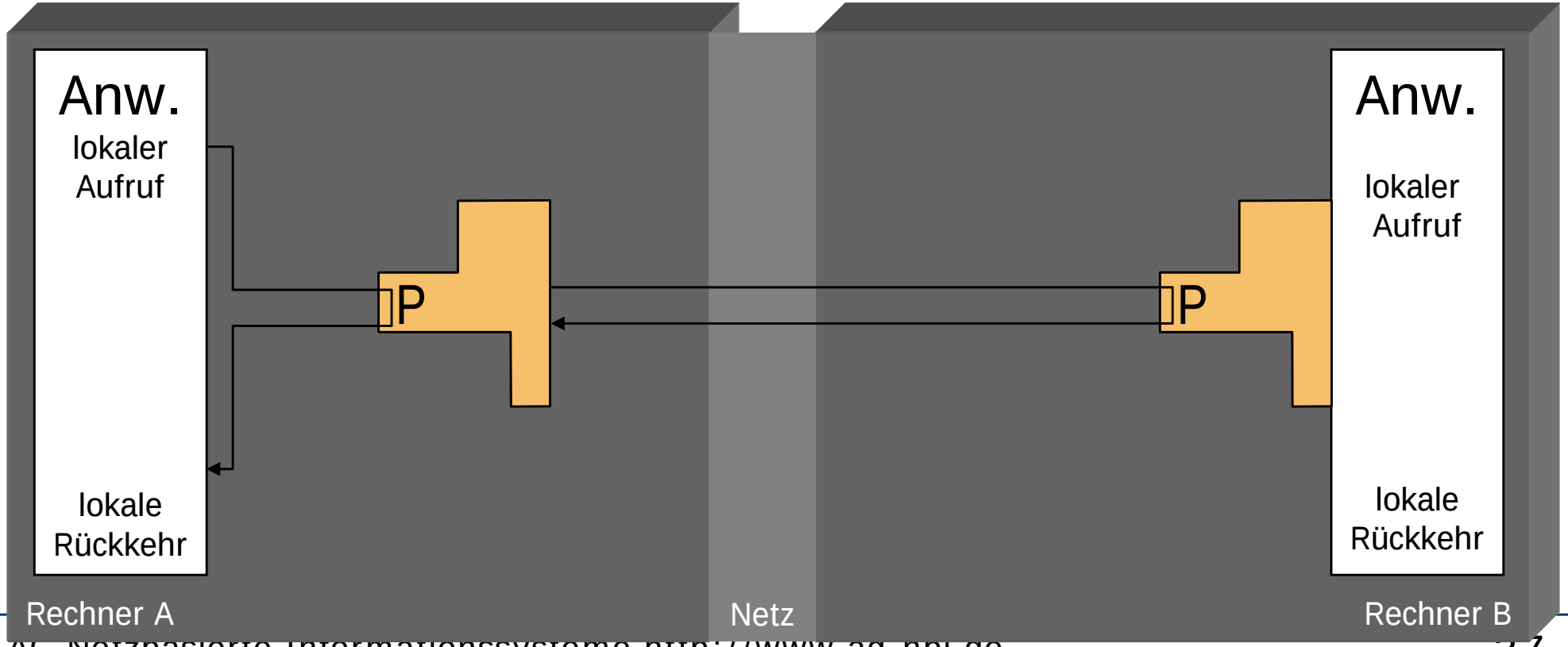


- Ein anderes Modul ruft diese Prozeduren an:
  Das Modul *importiert* eine Schnittstelle



Interaktionspunkt: Schnittstellen (entfernt)

- Anwender-Stub stellt Schnittstelle lokal bereit
- Stubs und Kommunikationskomponente leiten Aufrufe an Schnittstelle des entfernten Moduls weiter
- Stubs und Kommunikationskomponente leiten Ergebnisse des entfernten Moduls zurück



RPC Automatisierung

- Aus der Definition einer Schnittstelle kann man automatisch
  - Stub auf Aufruferseite
  - Stub auf Modulseite

  generieren

- Die Kommunikationskomponente ist generisch und muss lediglich
  - senden
  - empfangen

  können

Stubgenerierung

- Sei die die Schnittstelle mit drei Methoden
  {P(int a, int b), Q(int a, float f), int R(string s)}

- Stub für Aufrufer:
  def P(int a, int b) { sende(1); sende(a); sende(b)}
  def Q(int a, float f) { sende(2); sende(a); sende(f)}
  def R(string s) { sende(3); sende(s); empfange i}

- Stub für Modul:

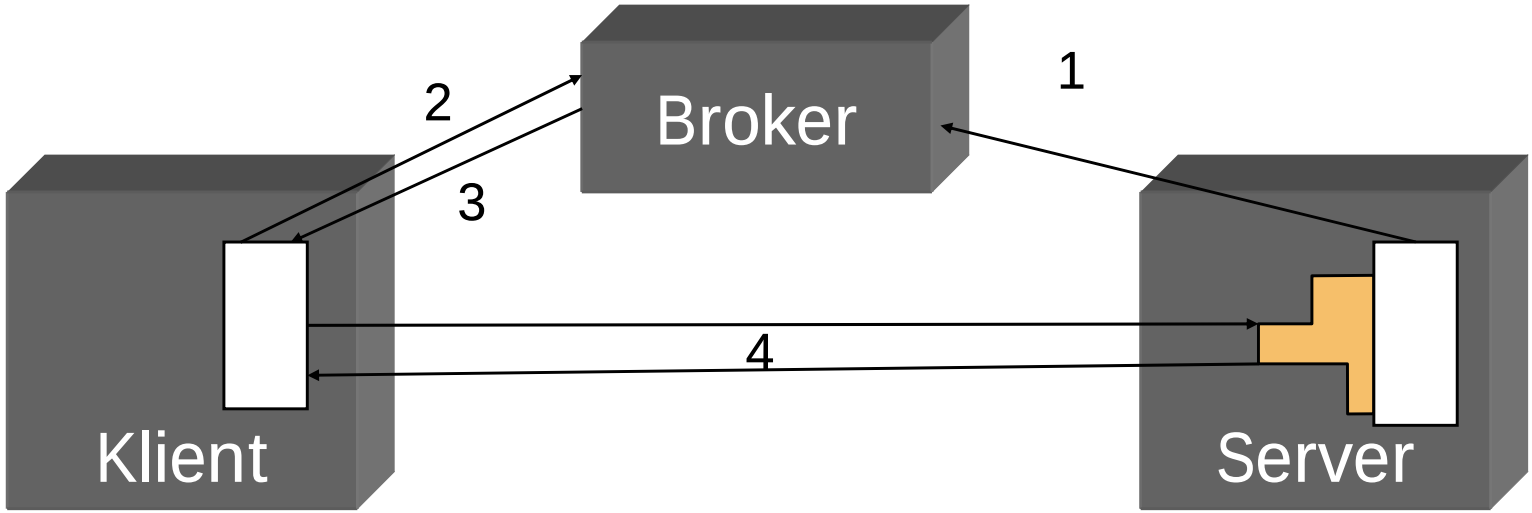
```
empfange(p_id);
switch (p_id) {
 case 1: empfange(a); empfange (b); P(a,b);
 case 2: empfange(a); empfange (f); Q(a,f);
 case 3: empfange(s); r=R(a,b); sende(r);
}
```

Bindung

- Wo schickt das Kommunikationssystem eigentlich den verpackten Prozeduraufruf hin?
- *Bindung* zwischen Aufrufer und Aufgerufenem
- Statische Bindung
  - Zur Übersetzungszeit werden Klienten an feste Serveradressen gebunden
- Halbstatische Bindung
  - Zur Startzeit des Klienten werden Serveradressen konfiguriert
  - Ermittelt aus Datenbank/Tabelle
- Dynamisch
  - Zur Aufrufzeit werden Serveradressen ermittelt
  - Serveradresse kann zwischen zwei RPCs wechseln

Vermittler

- Trader/Broker/Mediator: Komponente, die Server kennt und Referenzen auf sie vermitteln kann
  - Registrierung/Abmeldung von Servern (1)
    - Angabe der exportierten Schnittstelle
    - Referenz auf sich
  - Aufsuchen eines passenden Servers
    - Angabe einer Schnittstellenbeschreibung (2)
    - Ergebnis: Referenz (3) für RPC (4)



Designentscheidungen

- Designentscheidungen
  - Welche Informationen speichert der Broker
  - Nur Schnittstellen, weitere Informationen?
  - Nur statische Informationen, auch dynamische?
  - Welche Informationen gibt der Broker heraus?
  - Ist der Broker nur beim Auffinden von Referenzen beteiligt oder vermittelt er jeden RPC Aufruf?

- Bei allen Technologien finden wir eine Art Broker
  - Java RMI: Registry
  - OMG OMA: CORBA/ORB
  - Web Services: UDDI
  - Internet: DNS
  - ...

Fehler

Fehlerquellen / Ausfälle

- Server nicht erreichbar für RPC
  - Maschine ausgefallen
  - Netzwerk ausgefallen
  - Transportschicht maskiert Fehler durch Neuversuche etc.
  - Broker maskiert Fehler durch andere Serverwahl
  - Klient muss Fehler verarbeiten
- Server fällt während RPC Ausführung aus
  - Ausfall vor RPC ->
    Nicht erreichbar
  - Ausfall während RPC ->
    Klient wartet, Seiteneffekte realisiert
  - Ausfall nach RPC ->
    Klient wartet, Seiteneffekte eingetreten

Fehlerquellen / Ausfälle

- Klient fällt während RPC Ausführung aus
  - Server kann Ergebnis nicht abliefern
  - Neugestarteter Klient kann „alte“ RPCs absagen
  - Neugestarteter Klient kann „alten“ RPC übernehmen
  - Server kann Klient überwachen, bei Timeout und Feststellung von Klient-Ausfall RPC abbrechen
  - Server kann bei Ergebnisablieferung Timeout setzen und Ergebnis bei Ablauf verwerfen

Fehlerquellen

- Server hat Schnittstelle geändert und bietet Dienst nicht mehr an

- RPC Mitteilungen gehen verloren
  - Anforderung, Teile davon
  - Ergebnis

Ablaufsemantik

- Mix aus Fehlerquellen und Reaktion darauf ergibt unterschiedliche semantische Eigenschaften:
  - may-be Semantik:
    - Anforderungsnachricht wird abgeschickt, Empfang nicht überprüft
    - RPC wird
      - nicht ausgeführt oder
      - einmal ausgeführt
    - Passend wenn Klient kein Ergebnis braucht und kein Nebeneffekt (Beispiel: Unkritische Benachrichtigung über neue Mail)
  - at-least-once:
    - Nachrichtenempfang wird quittiert
    - Nachricht wird abgeschickt, bei keiner Antwort erneut
    - RPC wird
      - Mindestens 1 Mal ausführt
    - Problem: Mehrfache Bearbeitung mit Nebeneffekten kann zu inkonsistenten Daten führen (Beispiel: Überweisung)

Ablaufsemantik

- at-most-once:
  - Erneute Anforderung wird mit bisherigen Anforderungen abgeglichen
  - RPC wird
    - höchstens 1 Mal ausgeführt, nicht teilweise
  - Ausfall vor Verarbeitung: Nicht ausgeführt
  - Ausfall während Verarbeitung:
    Neustart, Konsistenz durch Transaktion
  - Ausfall nach Verarbeitung:
    Ergebniskopie nach Neustart versandt
- exactly-once (= at-least-once + at-most-once):
  - Anforderungswiederholungen+Duplikatvermeidung
  - RPC wird
    - genau 1 Mal ausgeführt.
  - Aber: Was genau passiert, wenn Server ausfällt?

Zusammenfassung

Zusammenfassung

1. Client-Server als dominierendes Interaktionsmuster
2. Muster mit mehreren Servern
   1. Client-Server selten pur auftretend
   2. Muster: Proxy, Proxy cache, Broker, Trader, Filter, Balancer Koordinator,...
3. Remote Procedure Call
   1. Vorteile Verteilung
   2. Unterschiede zum lokalen Prozeduraufruf
4. Komponenten beim RPC
   1. Schnittstellen
   2. Stubs
   3. Bindungen/Broker
5. Fehler
   1. Ausfälle
   2. Reaktionen auf Fehler

Literatur

- Andrew D. Birrell, Bruce Jay Nelson. Implementing remote procedure calls. ACM Transactions on Computer Systems. Volume 2, Issue 1 (February 1984) pp 39–59.