Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste
Institut für Informatik
TU München – Prof. Carle

Grundlagen: Rechnernetze und Verteilte Systeme

Kapitel 9: Verteilte Systeme

Prof. Dr.-Ing. Georg Carle
Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste
Technische Universität München
carle@net.in.tum.de
http://www.net.in.tum.de

Acknowledgements:
Prof. Dr. Wolfgang Küchlin, Univ. Tübingen

Übersicht

1. Einführung und Motivation
   - Bedeutung, Beispiele
2. Begriffswelt und Standards
   - Dienst, Protokoll, Standardisierung
3. Direktverbindungsnetze
   - Fehlererkennung, Protokolle
   - Ethernet
4. Vermittlung
   - Vermittlungsprinzipien
   - Wegwahlverfahren
5. Internet-Protokolle
   - IP, ARP, DHCP, ICMP
   - Routing-Protokolle
6. Transportprotokolle
   - UDP, TCP
7. Verkehrssteuerung
   - Kriterien, Mechanismen
   - Verkehrssteuerung im Internet
8. Anwendungsorientierte Protokolle und Mechanismen
   - Netzmanagement
   - DNS, SMTP, HTTP
9. **Verteilte Systeme**
   - **Middleware**
   - **RPC, RMI**
   - **Web Services**
10. Netzsicherheit
    - Kryptographische Mechanismen und Dienste
    - Protokolle mit sicheren Diensten: IPSec etc.
    - Firewalls, Intrusion Detection
11. Nachrichtentechnik
    - Daten, Signal, Medien, Physik
12. Bitübertragungsschicht
    - Codierung
    - Modems

Gliederung - Kapitel 9: Verteilte Systeme

9.1 Definition eines Verteilten Systems

- "Ein verteiltes System ist eine Menge voneinander unabhängiger Computer, die dem Benutzer wie ein einzelnes, kohärentes System erscheinen."

  [Tanenbaum, van Steen: Verteilte Systeme, Pearson Studium, 2. Auflage, 2008]

- "Ein System, mit dem man nicht arbeiten kann, weil ein Rechner ausgefallen ist, von dem man noch nie etwas gehört hat.“

  [Leslie Lamport]

Verteilte Systeme

Eigenschaften Verteilter Systeme

- Unterschiede zwischen den verschiedenen Computern werden verborgen
- Benutzer und Anwendungen können auf konsistente und einheitliche Weise mit dem verteilten System zusammenarbeiten
- Verteilte Systeme sollen erweiterbar und skalierbar sein

Beispiele

- Netzwerk aus Workstations mit gemeinsamen Dateidiensten und gemeinsamer Benutzerverwaltung
- Informationssystem für Arbeitsabläufe
- World Wide Web

Ziele für Verteilte Systeme

- Benutzer und Ressourcen verbinden
  - Den Benutzern ermöglichen, auf entfernte Ressourcen zuzugreifen
  - Unterstützung für kontrollierte gemeinsame Benutzung
- Transparenz
  - Zugriff – verbirgt Unterschiede in der Datendarstellung
  - Position – verbirgt Ort der Ressource
  - Migration – verbirgt Möglichkeit, Ressource an anderen Ort zu verschieben
  - Relokation – verbirgt Verschiebung von Ressource während Nutzung
  - Replikation – verbirgt, dass eine Ressource repliziert ist
  - Nebenläufigkeit – verbirgt gleichzeitige Nutzung konkurrierender Benutzer
  - Fehler – verbirgt Ausfall und Wiederherstellung einer Ressource
  - Persistenz – verbirgt Speicherart (Hauptspeicher oder Festplatte)

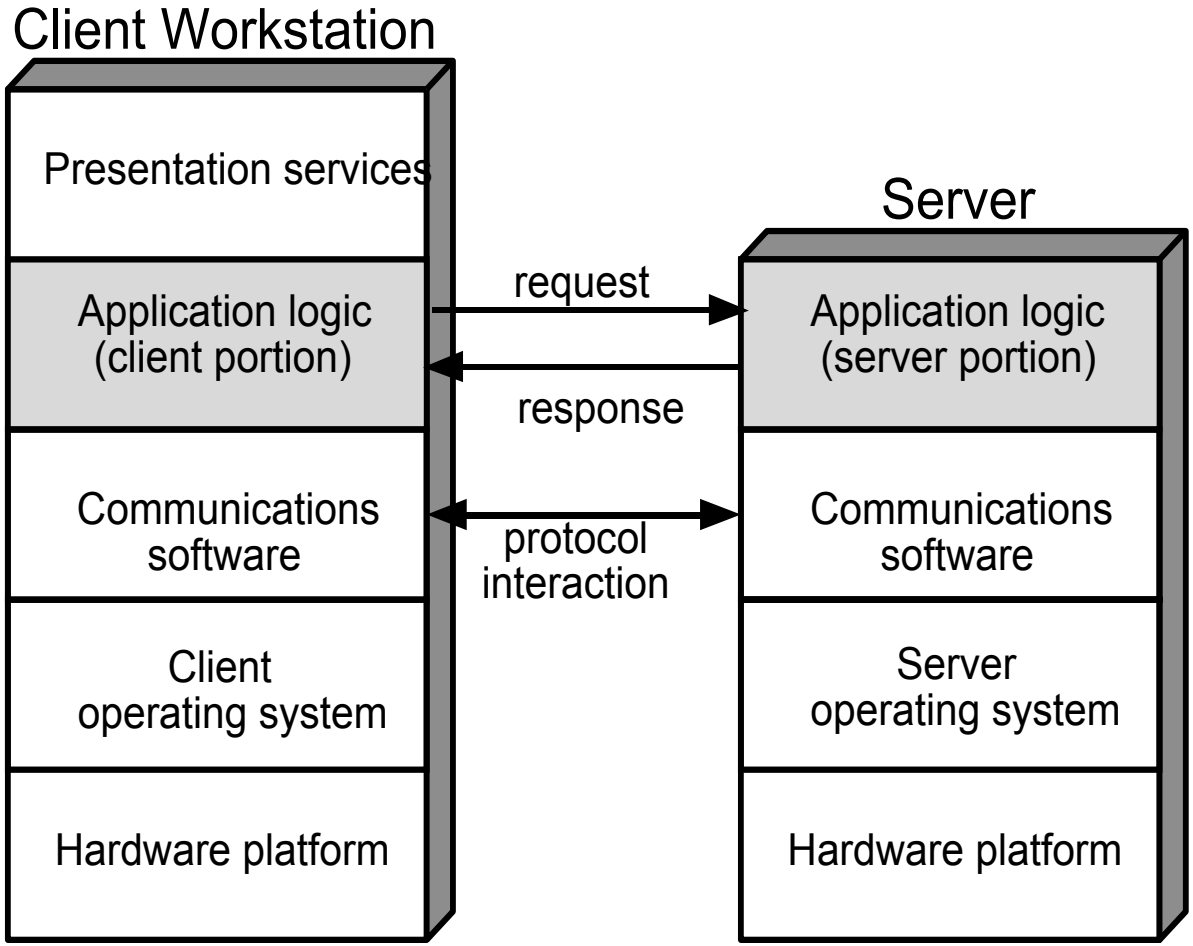
  ⇨Vor- und Nachteile von Transparenz
- Offenheit
  - Vollständige Schnittstellenspezifikation (⇨ Schnittstellendefinitionssprache IDL – Interface Description Language):
    Festlegen von Namen der verfügbaren Funktionen, Typen der Übergabeparameter und Rückgabewerte
- Skalierbarkeit

9.2 Middleware

- Ziele einer Middleware
  - Einführung einer **zusätzlichen Schicht** zwischen Betriebssystem und Anwendung, um **höhere Abstraktionsebene** zur Unterstützung verteilter Anwendungen zu erhalten.
  - Lokale Ressourcen einzelner Knoten sollen weiterhin vom (lokalen) Betriebssystem verwaltet werden.
- Mögliche Modelle (Paradigmen) für Middleware
  - Modell „**Datei**“: Behandlung aller lokaler und entfernter Ressourcen als Datei (Beispiele: Unix, Plan9)
  - Modell „**Prozeduraufruf**“: lokaler und entfernter Prozeduraufruf (Beispiel: RPC)
  - Modell „**verteilte Objekte**“: Objekte können lokal oder auf transparente Weise entfernt aufgerufen werden (Beispiel: RMI)
    - Schnittstelle besteht aus den Methoden, die das Objekt implementiert.
    - Verteiltes System kann so realisiert werden, dass sich ein Objekt auf einer Maschine befindet, seine Schnittstelle aber auf vielen anderen Maschinen bereitgestellt wird
  - Modell „**verteilte Dokumente**“: Dokumente mit verweisen, wobei Ort des Dokuments transparent ist (Beispiel: WWW)
  - Modell „**Nachrichtenorientierte Middleware**“: Nachrichtenwarteschlangen-systeme für persistente asynchrone Kommunikation

Die Rolle von Middleware

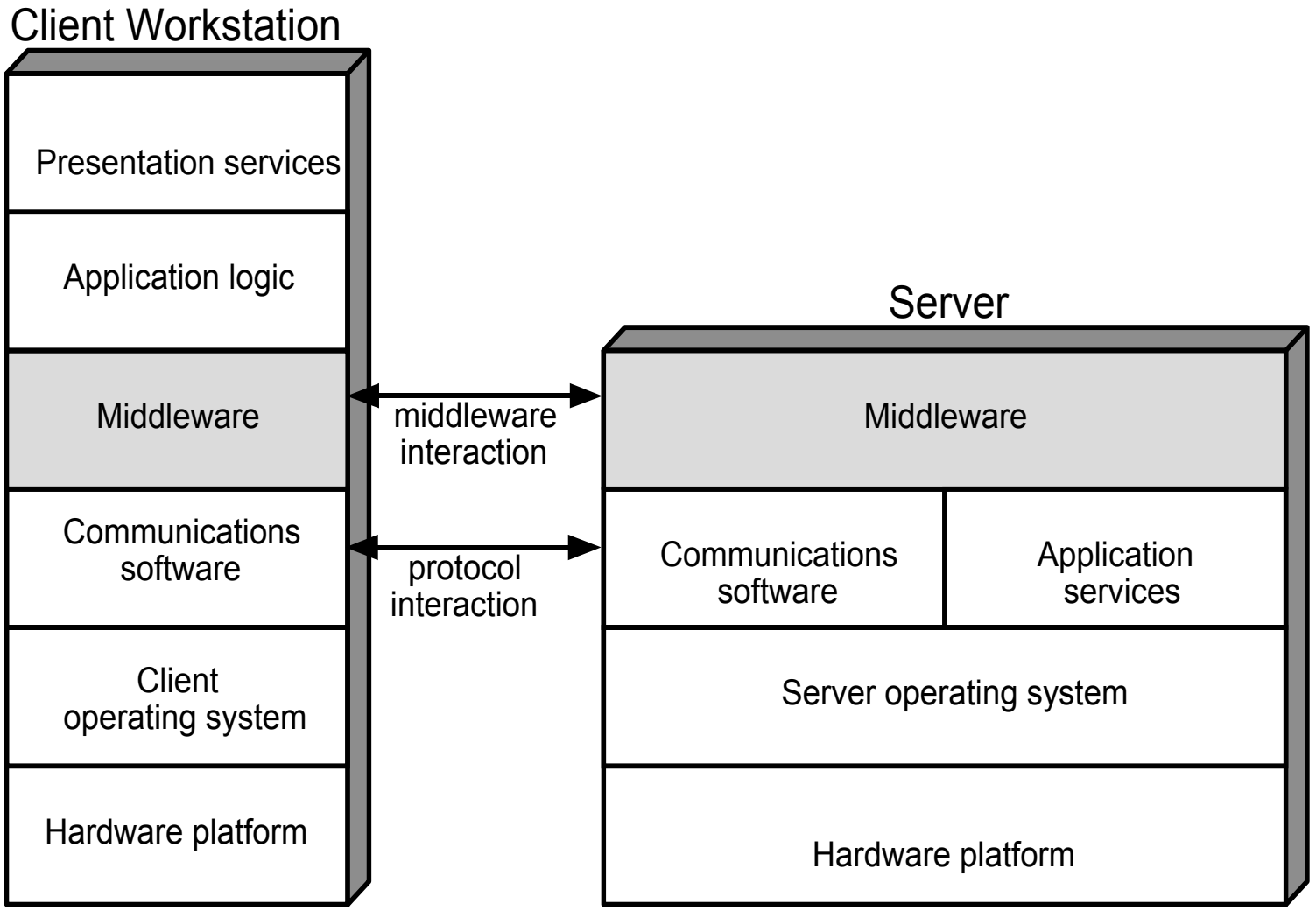
- Client/Server-Kommunikation **ohne** Middleware



Quelle: „Operating Systems“, Stallings, Abb.13-7

Die Rolle von Middleware

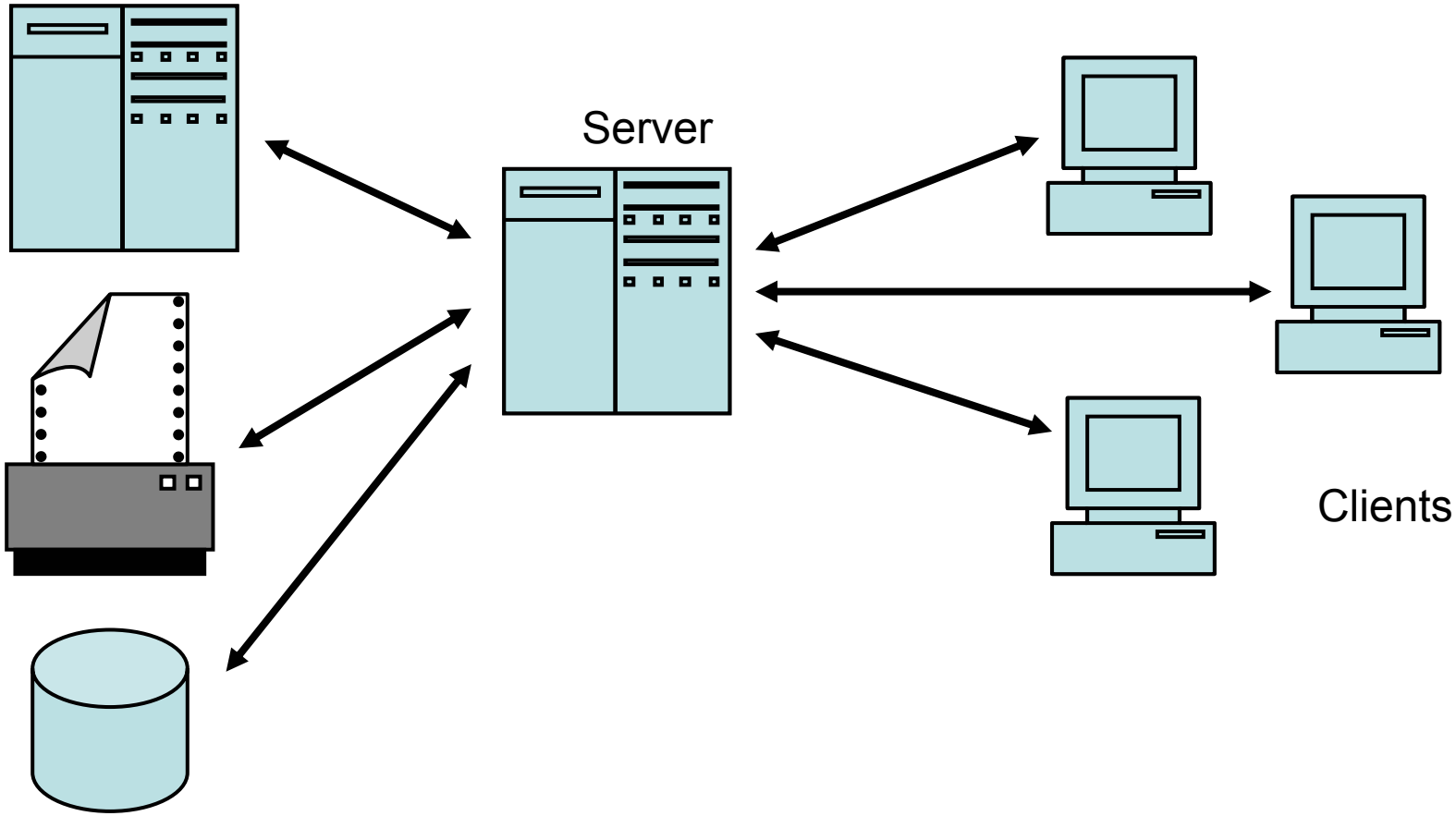
- Client/Server-Kommunikation **mit** Middleware



Quelle: „Operating Systems“, Stallings, Abb.13-12

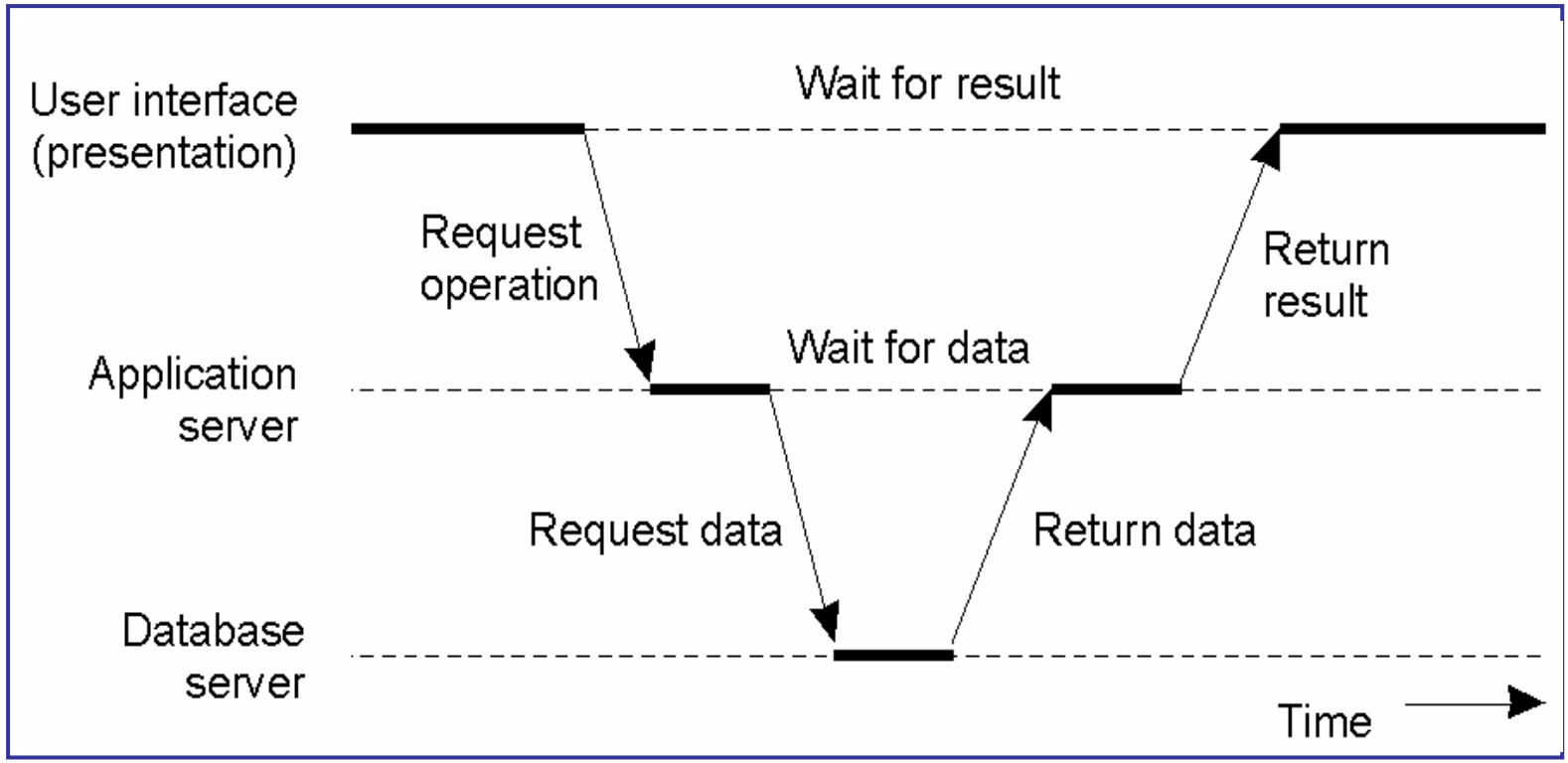
Three-Tier-Modell

- Client/Server-Modell: Two-Tier-Modell
- Server selbst ist auch Client ⇨ Three-Tier-Modell



Three-Tier-Modell

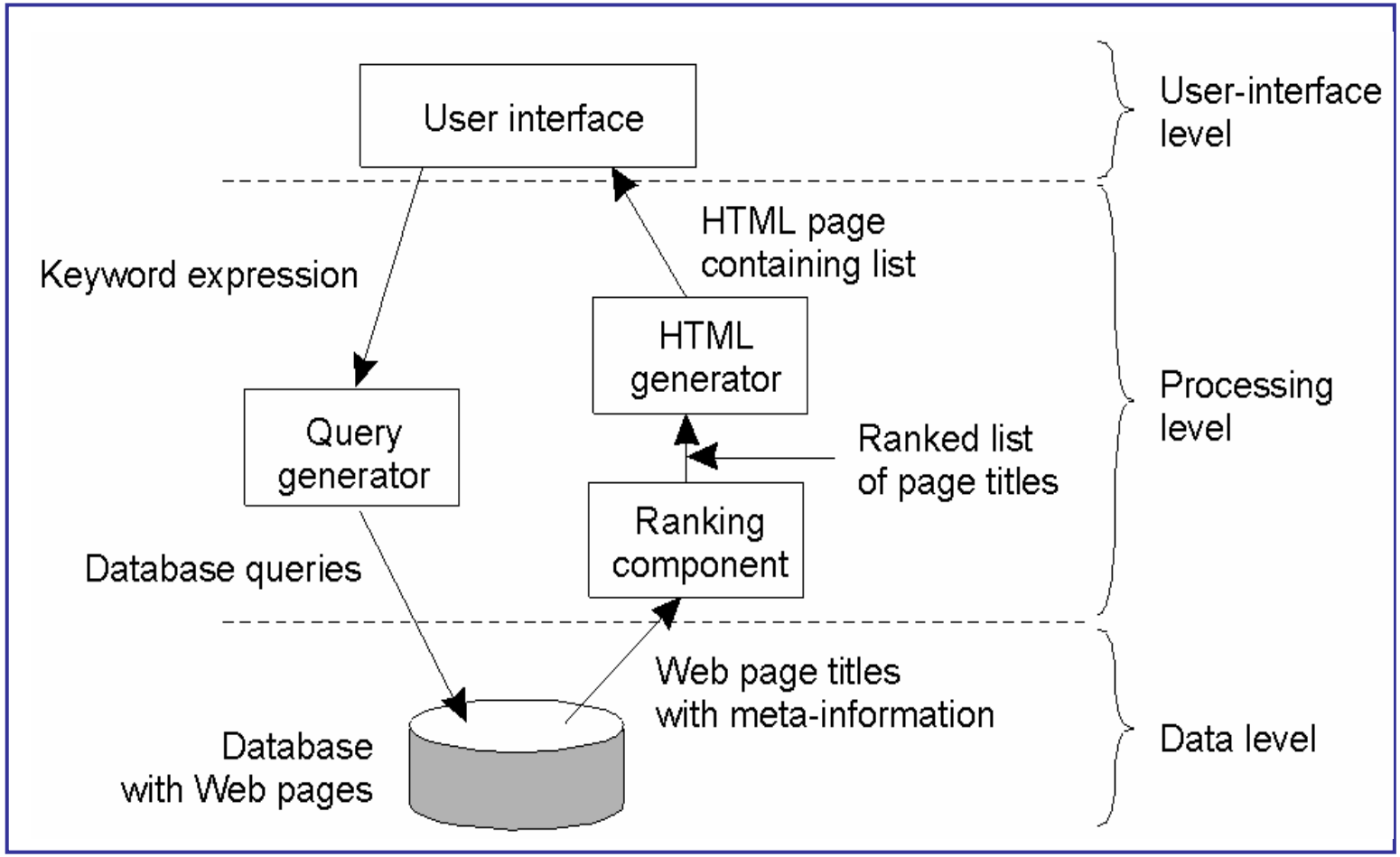
- Erweitertes request-reply Verhalten



Quelle: „Distributed Systems“, Tanenbaum, van Steen, Abb.1-30

3+ -Schichten Client/Server-Modell

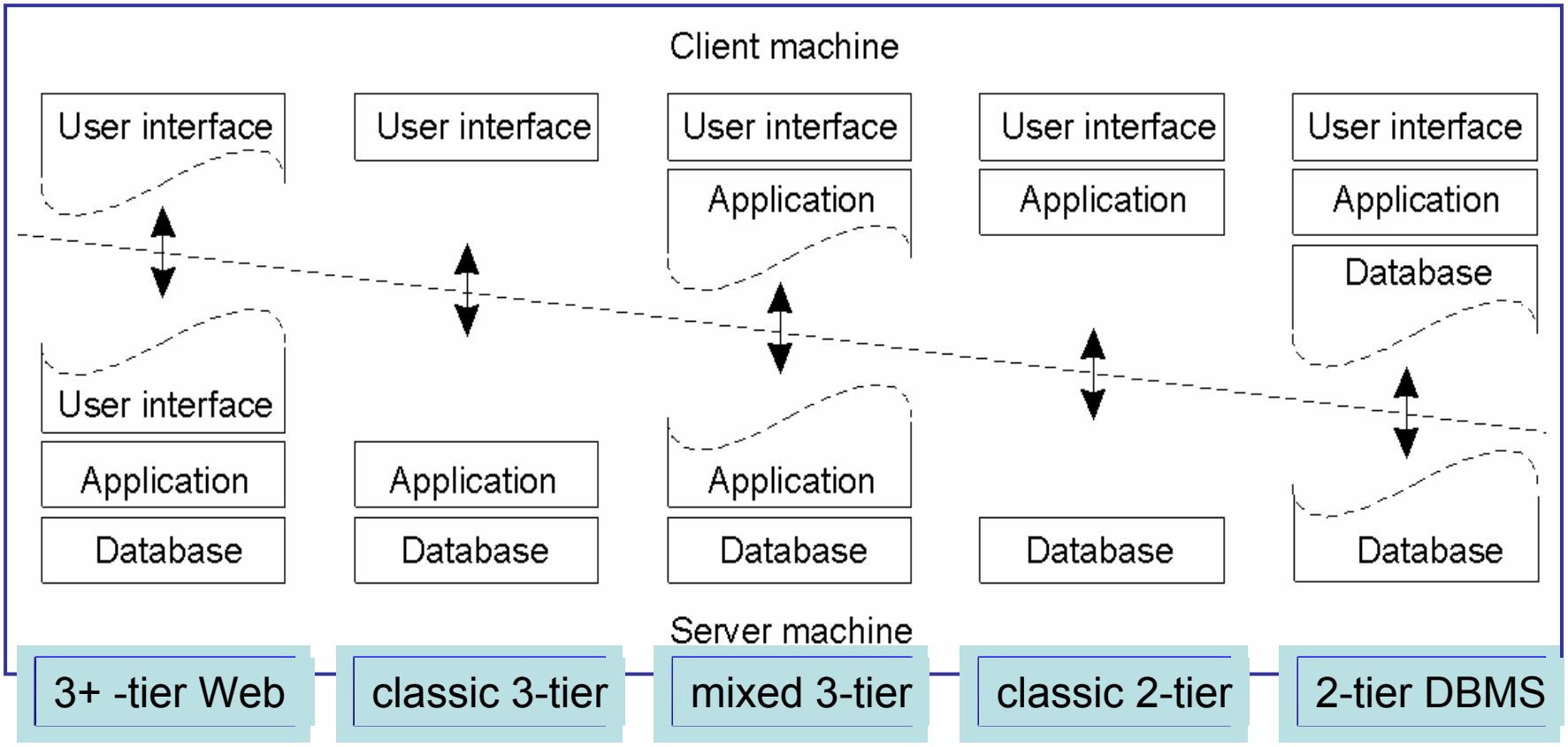
- Zwischenschichten in der Mitte, z.B. Web-Schicht
  Beispiel: Suchmaschine



Quelle: „Distributed Systems“, Tanenbaum, van Steen, Abb.1-28

Client/Server-Modell: Aufgabenverteilung

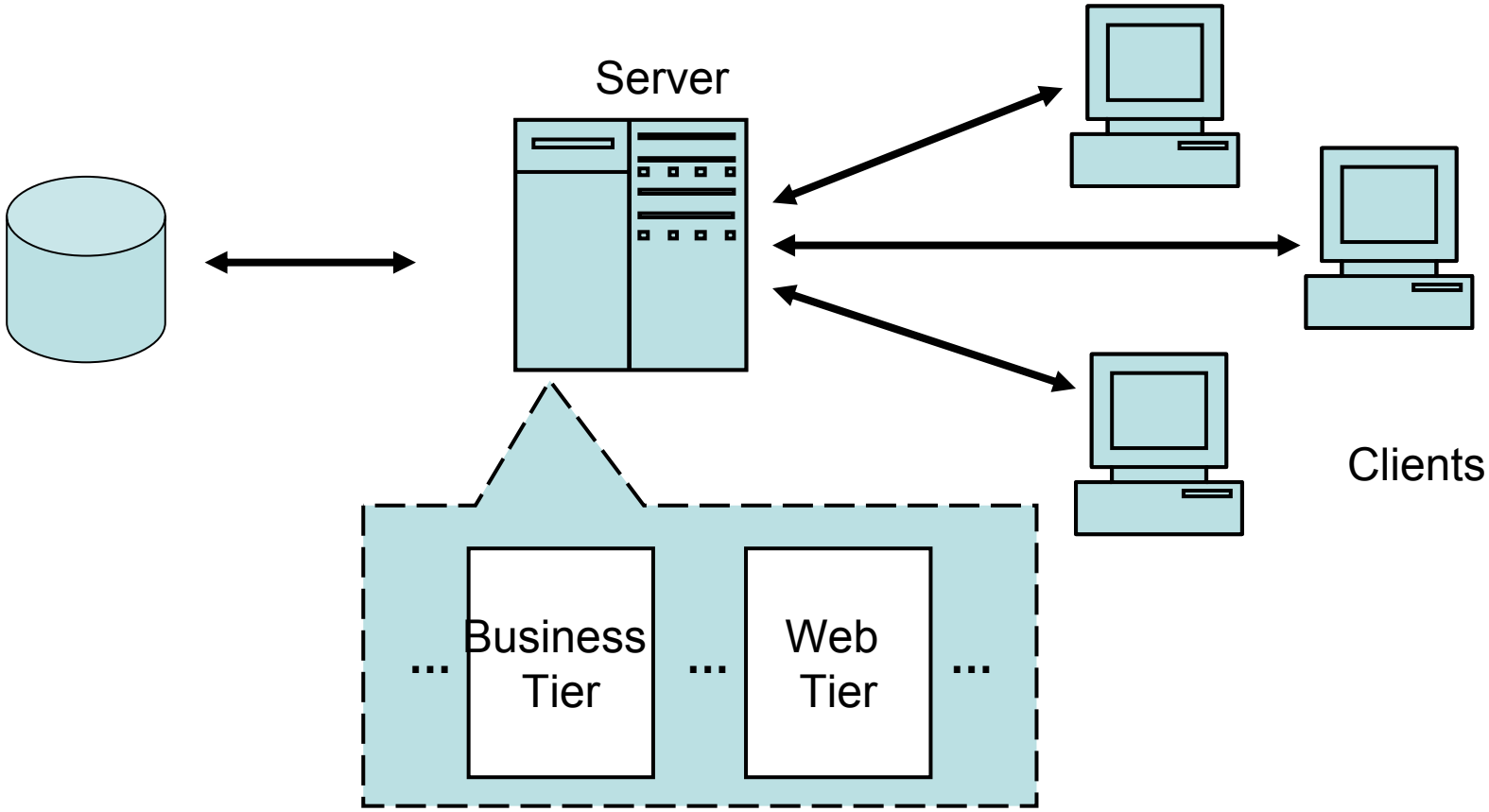
- Wie wird die Anwendung zwischen Server und Client verteilt?
  - Thin Client → Fat Client



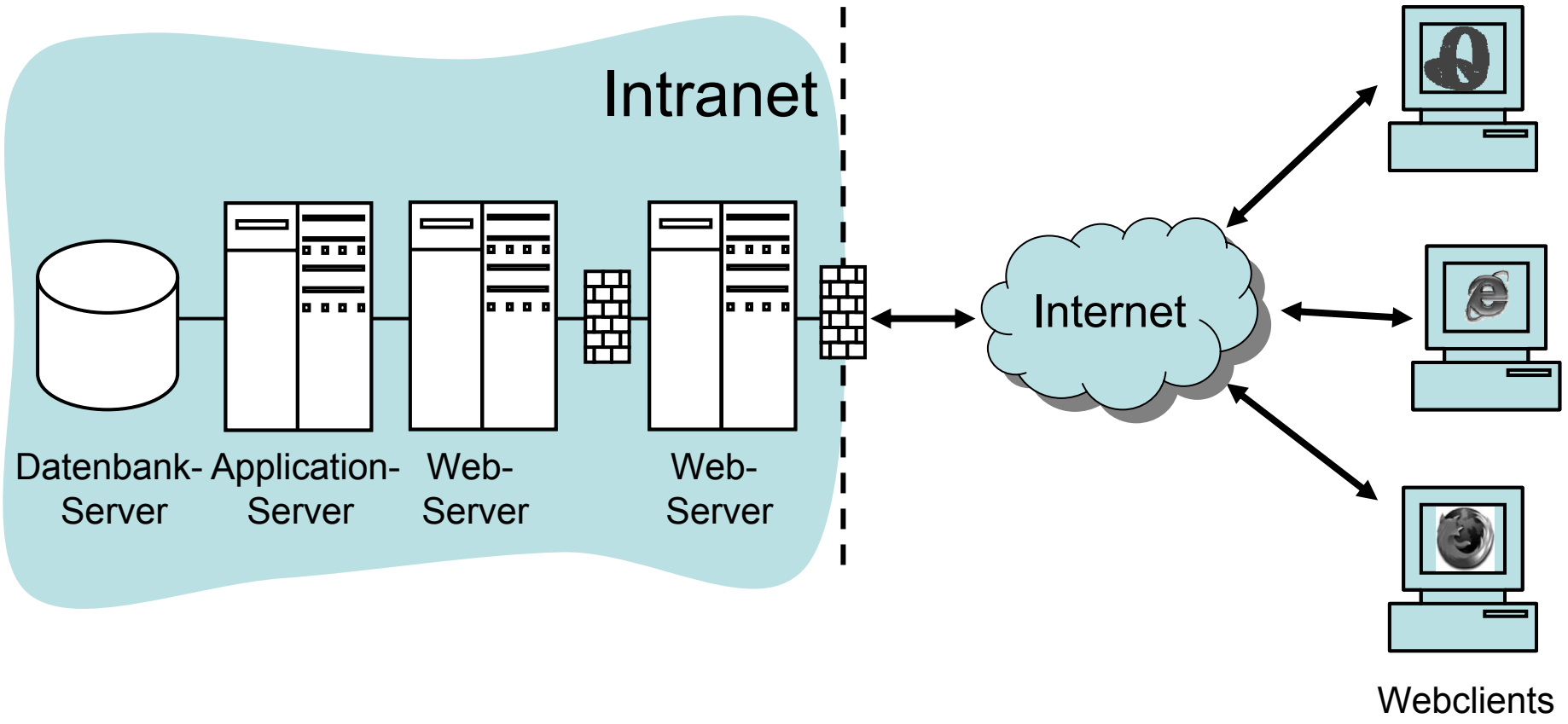
Quelle: „Distributed Systems“, Tanenbaum, van Steen, Abb.1-29

Multitier-Modell

- Einteilung in Komponenten gemäß der Anwendungslogik

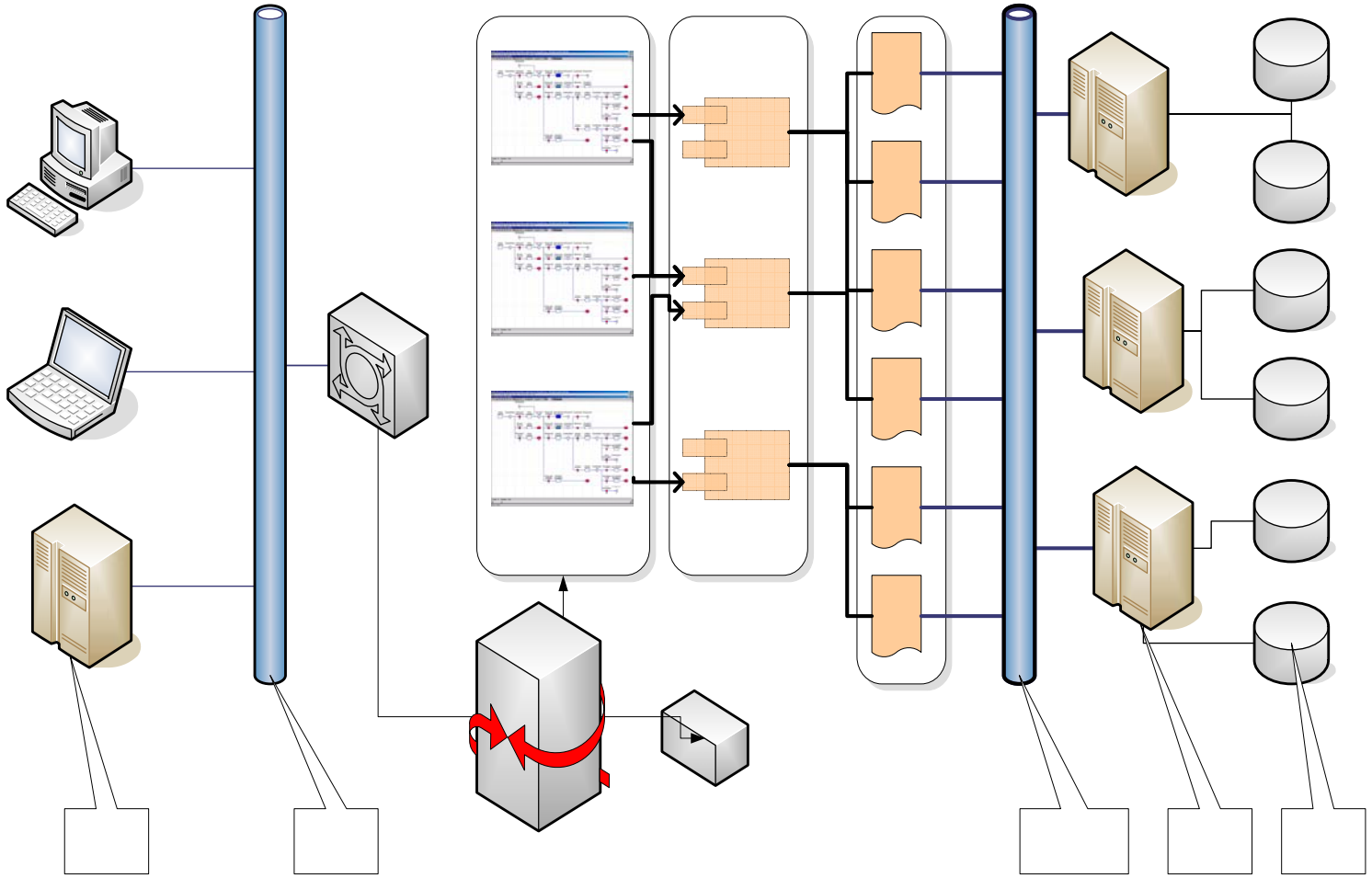


Beispiel: Multi-Tier-Internet-Anwendung



nach „Verteilte Systeme und Anwendungen“, Hammerschall, Abb.13-7

Die IBM Referenzarchitektur



- Horizontale Verteilung: ein Server wird physisch in logisch äquivalente Teile unterteilt
- Vertikale Verteilung: logisch unterschiedliche Komponenten auf unterschiedlichen Maschinen

Die IBM Referenzarchitektur

- Client Tier: Vielzahl unterschiedlicher Clients
- Multichannel Integration
  - verschiedene Zugänge: WAP-Handy, Geldautomat, Palmtop, Laptop, 3270
  - Umsetzung der Client-Protokolle und Erzeugung der Client Views
- Application Tier
  - Workflow System implementiert Geschäftsprozesse
    - basierend auf Geschäfts-Komponenten
    - WAS (Websphere Application Server) Process Server implementiert WS-BPEL (Web Services Business Process Execution Language) interpretiert Regeln
  - Geschäftskomponenten integrieren einzelne Dienste zu Business Funktionen (z.B. Authentifizierungs-Dienst benötigt für Auszahlung)
  - Einzeldienste konventionell oder als Web-Services
- EAI (Enterprise Application Integration) Schicht
  - bindet konventionelle Systeme ein
  - verbindet (klassische) Anwendungen (high volume application mediation)
- Host / Datenbanken
  - wie bisher

9.3 Remote Procedure Call (RPC)

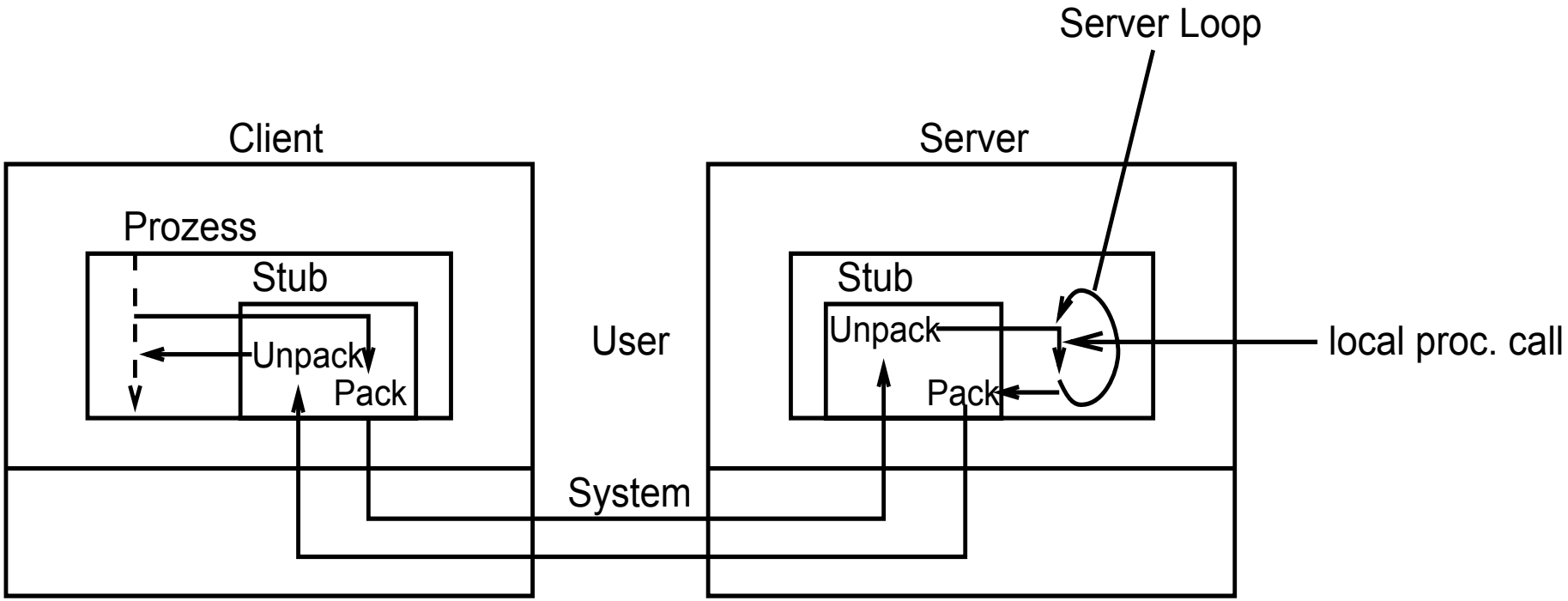
- Entfernter Funktionsaufruf
  - Client kann Funktion des Servers direkt aufrufen
  - ohne *explizites* Verschicken von Nachrichten auf Programmierebene
  - Implizit durch Verarbeitung im (automatisch generierten) Stummel (Stub):
    - Beim Aufruf: Prozedurname und Parameter werden in Nachricht verpackt *(marshalling)*
    - Nachricht wird an Server geschickt
    - Beim Server: Nachricht wird ausgepackt *(de-marshalling)* und der entsprechende Aufruf wird ausgeführt
    - Ergebnis wird wieder in Nachricht verpackt und zurückgeschickt

- Zu lösende Probleme
  - Unterschiedliche lokale Darstellungen
  - Definition der Schnittstelle
  - Ausfall von Client bzw. Server

Remote Procedure Call (RPC)

- Bei bekannten Datentypen automatische Erzeugung von Code
  - Erzeugung von zwei Stummel (*stub*) Prozeduren für Ein- / Auspacken, Versenden und Empfangen
- Ablauf:
  - Client ruft Client-stub auf, der den Namen der fernen Prozedur trägt
  - Client-stub benachrichtigt Server-stub (und blockiert)
  - Server-stub ruft eigentliche Prozedur auf und schickt Ergebnis zurück
  - Client-stub wird deblockiert, Ergebnis wird ausgepackt und der Client-stub terminiert mit fernem Ergebnis als Ergebnis seines Aufrufs
- Daten müssen in einer Standardrepräsentation verschickt werden
  - Client und Server können auf verschiedenen Architekturen laufen

Schema des RPC

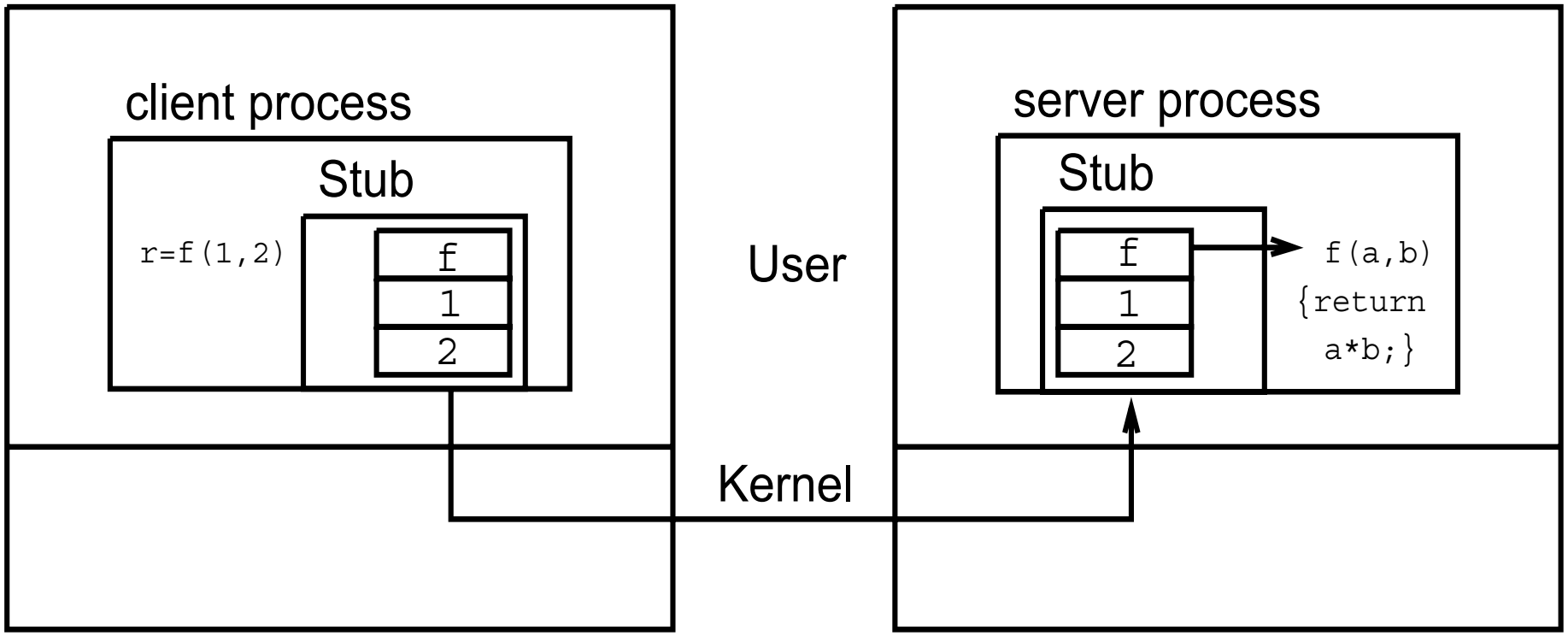


Remote Procedure Call (RPC)

- *parameter marshalling* (aufreihen, zusammenstellen)
  - Verpacken von Parametern einschließlich Konversion in Standarddarstellung
  - Code kann automatisch generiert werden
- *unmarshalling* (oder demarshalling)
  - Auspacken einschließlich Konversion in lokale Darstellung
- Server-Loop
  - Code kann ebenfalls automatisch generiert werden
  - Server ruft in Schleife den Server-stub immer wieder auf und bearbeitet so einen Auftrag nach dem andern

Schema des Parameter Marshalling

- Beispiel: Multiplikation zweier Zahlen über RPC



Remote Procedure Call (RPC)

- Grund-Annahme: Heterogenität
  - Client und Server können grundverschieden sein
    - verschiedene Prozessoren
    - verschiedene Betriebssysteme
    - verschiedene Programmiersprachen
  - Keine Codeübertragung
    - keine Übertragung von Objekten als Parameter
  - Daten müssen in einer Standardrepräsentation verschickt werden
    - XDR - eXternal Data Representation
  - Schnittstellendefiniton
    ⇨ Sprach-unabhängige Datendefinitionssprache (IDL)
    - Für jede Programmiersprache erzeugt ein IDL-Compiler Sprach-spezifische Stubs

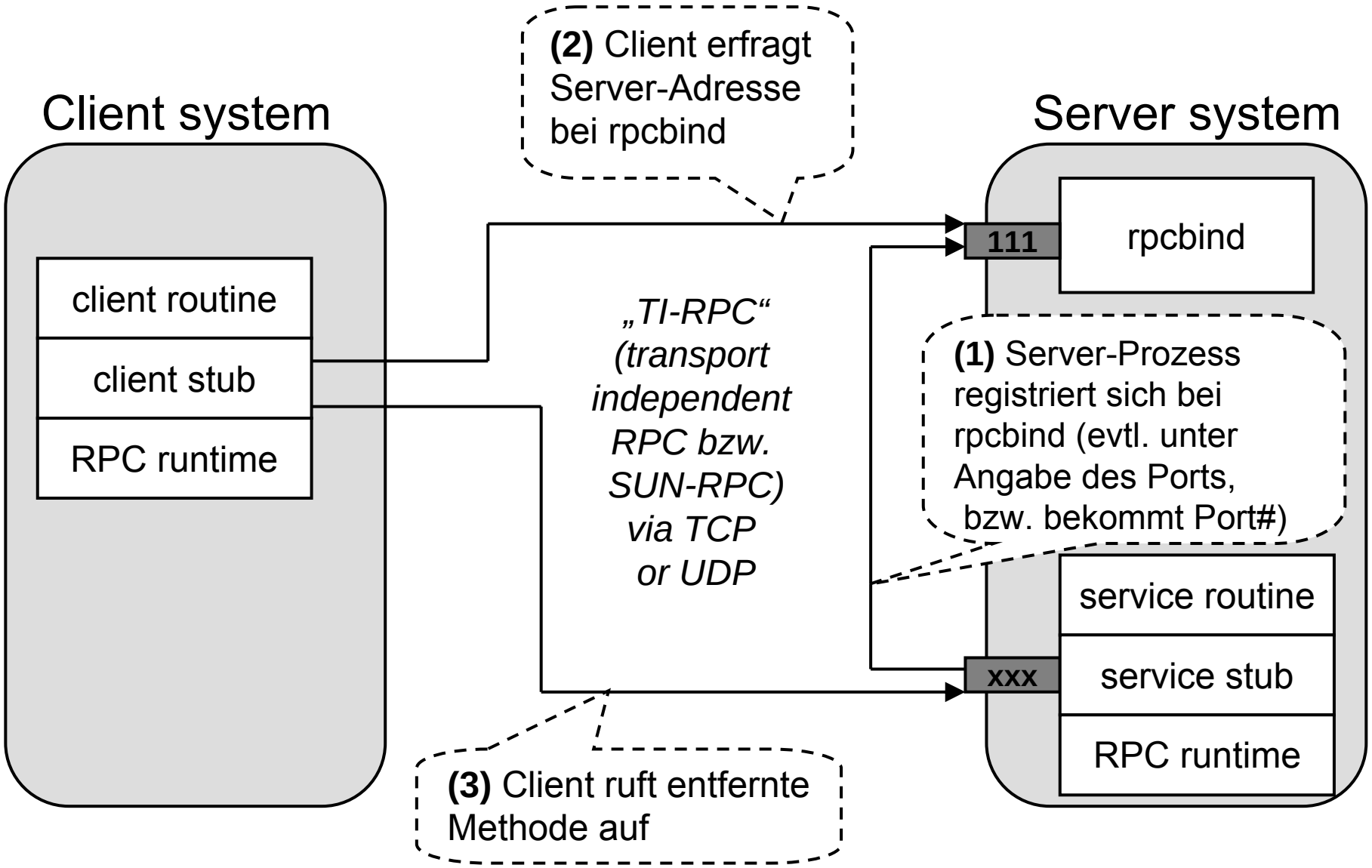
RPC – Dynamisches Binden

- Durch die RPC-Methode sind Aufrufer und gerufene Prozedur entkoppelt:
  - nicht in einem gemeinsamen Programm vereinigt
  - können zu verschiedenen Zeiten gestartet werden

⇨ **dynamisches Binden (*dynamic binding*)**

- Beispiel: statisch: `mobject.add(int)`
  dynamisch: `invoke(mobject, “add“, int)`
- Beim statischen binden sind Namen und Transportadresse des betreffenden Dienstes zur Übersetzungszeit bekannt.
- Beim dynamischen Binden werden die Namen und die Transportadressen der verfügbaren Dienste in einem Namens-Server, rpcbind genannt, abgespeichert.
- Programmbeginn: Client-stub kennt Partner-Adresse noch nicht
- Bei Aufruf von Client-stub: Anfrage an zentralen *Binder* nach Server, der die Prozedur in der benötigten Version zur Verfügung stellt.
- Server melden sich beim Binder betriebsbereit unter Angabe von Name, Versions-Nr. und Adresse + evtl. id, falls Name nicht eindeutig.
- Zur Laufzeit: Binder reicht dem Client die Server-Information weiter, und der Client-stub wendet sich danach direkt an den Server.

Transport-Indeptendent RPC



Fehlerbehandlung in RPC-Systemen

- Durch die Entkopplung zwischen Klient und Server kann es zu folgenden Fehlern kommen:

1. Der Klient findet den Server nicht.
2. Die Auftragsnachricht Klient/Server geht verloren.
3. Die Antwortnachricht Server/Klient geht verloren.
4. Der Server stürzt nach Auftragserhalt ab.
5. Der Klient stürzt nach Auftragsvergabe ab.

Fehlerbehandlung in RPC-Systemen

Behandlungsmöglichkeiten sind u.a.:

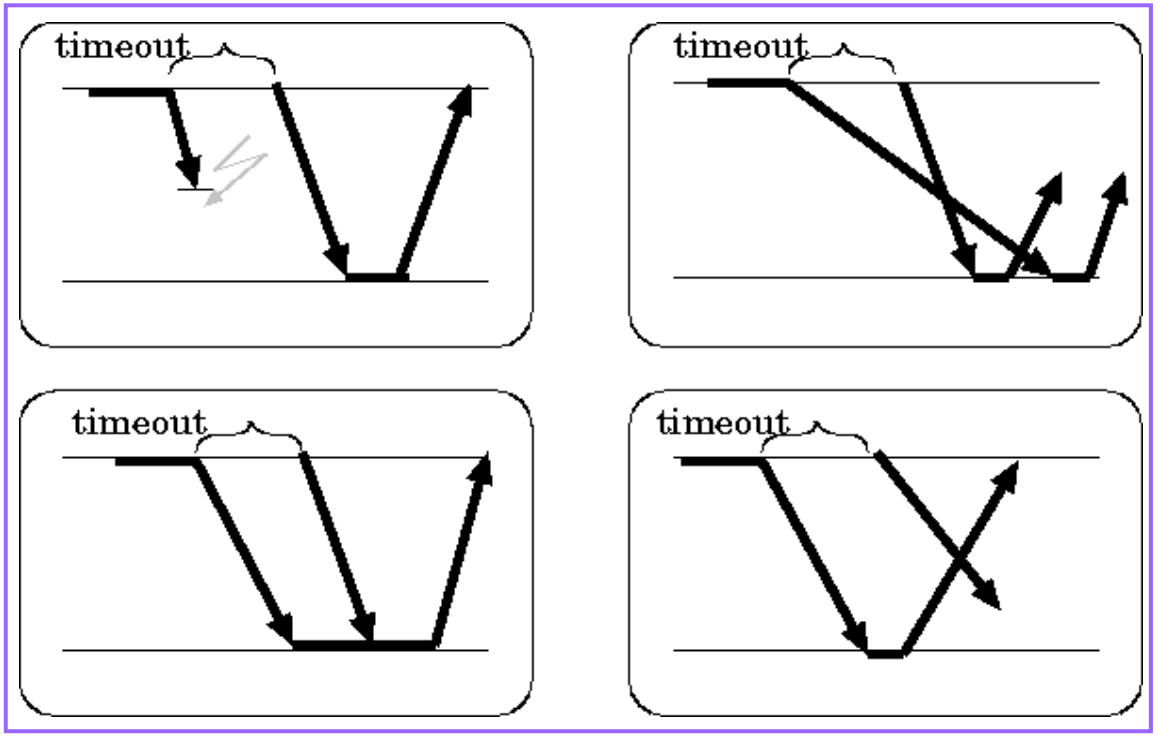
Zu 1: ***No Server.*** Stub-Prozedur gibt eine Fehlermeldung zurück.

- Fehlerwert, z.B. -1
  - genügt nicht im allgemeinen, da er auch ein legales Resultat sein könnte.
- *Exceptions*
  - In C: Simulation durch signal handlers, z.B. mit einem neuen Signal SIGNOSERVER
  - Signalverarbeitungsroutine könnte darauf hin mit Fehler umgehen
    Nachteile: Transparenz geht verloren, sowie Signale werden nicht in allen Sprachen unterstützt

Fehlerbehandlung in RPC-Systemen

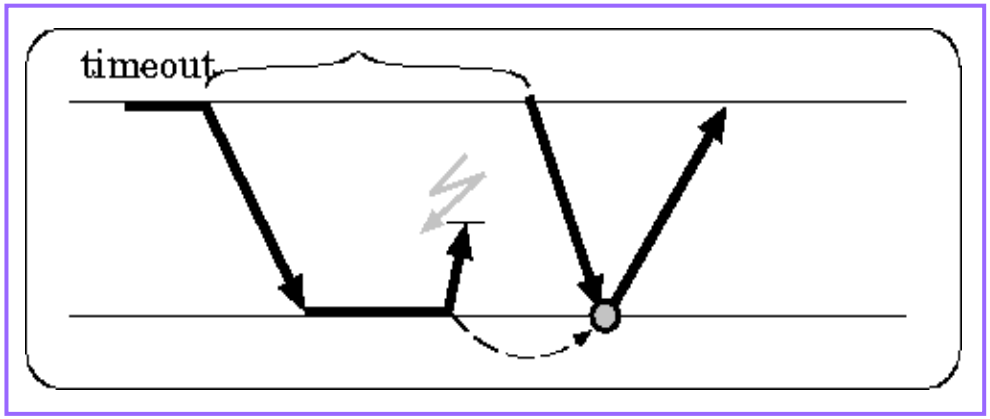
Zu 2: ***Lost Request.*** Sender startet einen Timer und verschickt den Auftrag nach Timeout neu.

- Kennzeichnung der Aufträge als Original oder Kopie kann verhindern, dass derselbe Auftrag (z.B. Buchung) mehrmals bearbeitet wird.



Zu 3: ***Lost Reply***.

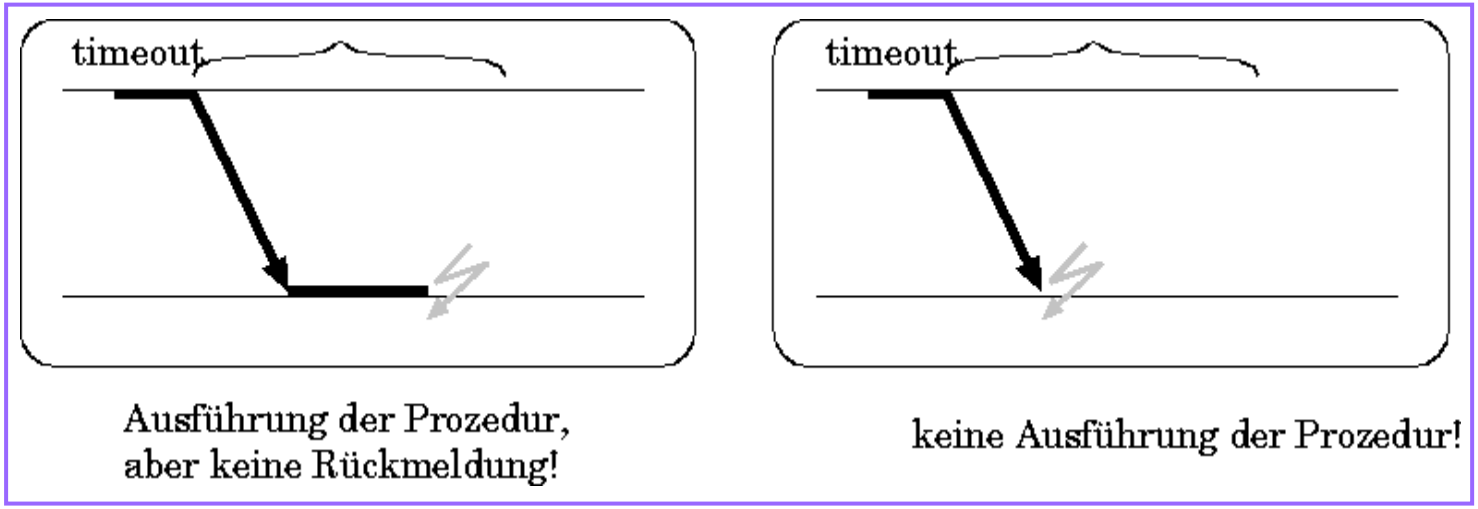
- Manche Aufträge können problemlos wiederholt werden (Lesen eines Datums), andere nicht (*relative update*; Buchung).
- Buchungsaufträge müssen als Originale und Kopien gekennzeichnet werden.



Fehlerbehandlung in RPC-Systemen

Zu 4: ***Server Crashes***.

- Abstürze des Servers vor Auftragseingang fallen in Kategorie 1 (no server)
- Späterer Absturz **vor** Auftragsbearbeitung: Wiederholung des Auftrags (nach reboot)
- Späterer Absturz **nach** Auftragsbearbeitung: Wiederholung nicht unbedingt möglich
- Problem: Klient kennt die Absturzursache nicht.



Fehlerbehandlung in RPC-Systemen

Drei Konzepte der RPC-Abwicklung:

1. ***At least once semantics***. Das RPC-System wiederholt den Auftrag so lange, bis er quittiert wurde.
2. ***At most once semantics***. Das RPC-System bricht nach Timeout ab mit Fehlermeldung.
3. ***Keine Garantie***. Das RPC-System gibt irgendwann auf. Der Auftrag kann nicht oder auch mehrmals bearbeitet worden sein.

- Ideal wäre: exactly once semantics. Dies ist im Allgemeinen aber nicht zu realisieren.

Fehlerbehandlung in RPC-Systemen

Zu 5: ***Client Crashes***.

- Klient-Absturz vor Auftragsvergabe oder nach Auftragsbestätigung hier irrelevant.
- Absturz während der Auftragsverarbeitung führt zu einer Waise (Prozess ohne Eltern; ***orphan***).
- Probleme:
  - Verbrauch von CPU-Ressourcen
  - Blockierung anderer Prozesse
  - Fehlerhafte Zuordnung einer Antwort beim Client

Fehlerbehandlung in RPC-Systemen

- Methoden, um Waisen aus dem System zu entfernen:

1. Löschung (Extermination)
   - Notieren jeder Auftragsvergabe beim Klienten auf sicherem Medium
   - Nach reboot werden (unquittierte) offene Aufträge storniert (Löschung, Extermination)
   - Problem: großer Aufwand, sowie keine Erfolgsgarantie (z.B. bei fehlender Konnektivität zum Server)
   - Schlussfolgerung: keine relevante Methode
2. Reinkarnation (Reincarnation)
   - Zeit wird in Epochen eingeteilt
   - Jeder Client-reboot startet neue Epoche
   - Prozesse der alten Epoche werden auf dem Server beendet
   - Überlebt doch einer (z.B. durch verlorene Epochen-Meldung), so tragen seine Resultate veralteten Epochen-Stempel

Fehlerbehandlung in RPC-Systemen

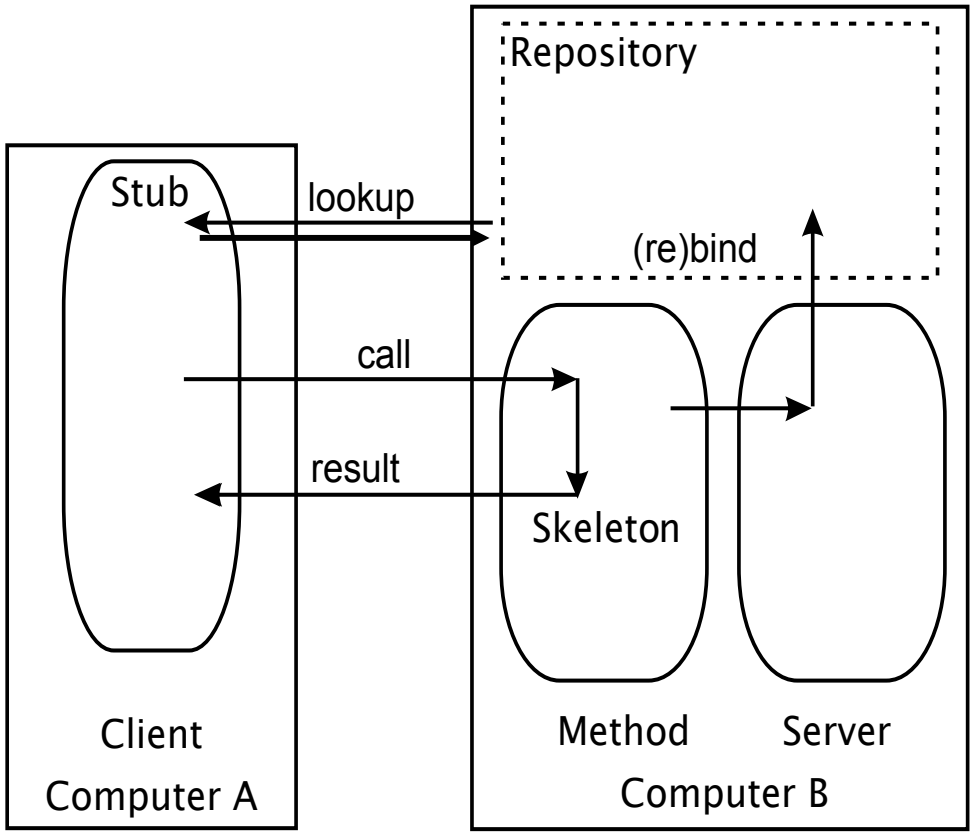
3. Freundliche Reinkarnation (gentle Reincarnation)
   - Server fragen bei Start einer neuen Epoche nach, ob Eltern der Aufträge noch leben
   - Nur wenn sich Eltern nicht melden, werden die Aufträge beendet

4. Verfall (Expiration)
   - Auftragsbearbeitung wird mit Timeouts versehen
   - Nach Timeout müssen sich Eltern melden und dadurch den Timer neu starten
   - ansonsten wird der Prozess beendet
   - Problem: richtigen Wert für Timeout festlegen (RPCs haben stark variierende Anforderungen)

9.4 Java Remote Method Invocation (RMI)

- Entfernte Prozeduren → entfernte Methoden
- RMI = RPC in Objektsystemen
  - Parameter können Objekte sein (Erschwernis)
    - Umgang mit Zeigern und mit Code
    - Objekte in Bytestrom übertragen (serialisieren)
    - verzeigerte Objekte (Listen, Bäume, Graphen): Objektgraphen
  - Alle Information in der Klassendefinition gekapselt (Erleichterung)
- Java RMI ist eine Java-spezifische Realisierung des RPC
  - benutzt Java Objekt-Serialisierungsprotokoll
- Common Object Request Broker Architecture (CORBA)
  - Kapselung von Objekten verschiedener Programmiersprachen

RMI – Schema



- Repository: Verzeichnis der aufrufbaren Objekte
- Server registriert mit bind() bzw. rebind() ein Objekt beim Repository
- Clients fragen mit lookup() beim Repository nach einem Objekt und machen es lokal zugänglich
- Der Client bindet sich zum verteilten Objekt, durch Laden einer Objektschnittstelle (Proxy) in den Adressraum des Clients
- Beim Aufruf im Client wird ein 'Stub'-Objekt aktiviert, das die Eingabeparameter an 'Skeleton'-Objekt übergibt, welches die gewünschte Methode aufruft.
- Returnwert wird nach Terminierung der Methode an das Stub-Objekt zurückgeschickt, das den Wert an das aufrufende Objekt übergibt.
- Der Einsatz von Stub und Skeleton erfolgt transparent

Aufgabe von verteilten RPC-Systemen

- Verteilte RPC Systeme zielen auf die Lösung der Kommunikationsprobleme, die auf der **Heterogenität** der beteiligten Systeme beruhen:
  - Unterschiedliche Programmiersprachen
  - Unterschiedliche Rechner
  - Unterschiedliche Betriebssysteme
  - Unterschiedliche Datenrepräsentation
  - Unterschiedlicher Maschineninstruktionssatz

Lösungsansatz bei RPC-Systemen

- Stub und Skeleton bilden Aufrufschnittstelle und erledigen den eigentlichen Datenaustausch
- Marshaling, Unmarshaling zur (De-)Serialisierung
- Gemeinsame IDL (Interface Description Language) ermöglicht Kommunikation auch zwischen unterschiedlichen Programmiersprachen
  - Für jede beteiligte Sprache ein IDL-Compiler
- Unterstützung entfernter Referenzen für Objekte

Probleme bei RPC

- Einschränkung hinsichtlich der übertragbaren Daten
  - Nur einfache Datentypen, die in allen unterstützten Programmiersprachen repräsentierbar sind, und
  - Referenzen auf entfernte Objekte, sowie
  - Komplexe Datentypen, die sich aus den zuvor genannten zusammensetzen
- Komplexität bei Typanpassung verbleibt beim Programmierer
- Life-Cycle-Management wird dem Programmierer auferlegt
  ⇨ Gefahr von Fehlern
- Sender und Empfänger müssen die übertragbaren Datentypen zum Zeitpunkt der Kompilierung bereits kennen.
  ⇨ Keine Unterstützung von Polymorphie
  (Polymorphie: Bezeichner kann je nach Kontext einen unterschiedlichen Datentypen annehmen)

Lösung von Java RMI

- Heterogenität stellt kein Problem dar, da **Homogenität** durch die Java JVM gewährleistet ist.
  - Externe IDL nicht erforderlich (stattdessen Java Interfaces)
  - Keine Einschränkung hinsichtlich der übertragbaren Datenstrukturen.
  - Java Objekt-Serialisierung ermöglicht exakte Typenprüfung
  - Dynamic Code Loading: Der den Kommunikationsfluss steuernde Programmcode kann auch erst während der Programmausführung zur Verfügung gestellt werden.
  - Java Objekt-Serialisierung und Dynamic Code Loading ermöglichen den Einsatz von Polymorphie und aller darauf aufbauenden Programmiermuster
  - Network Garbage Collection wird unterstützt

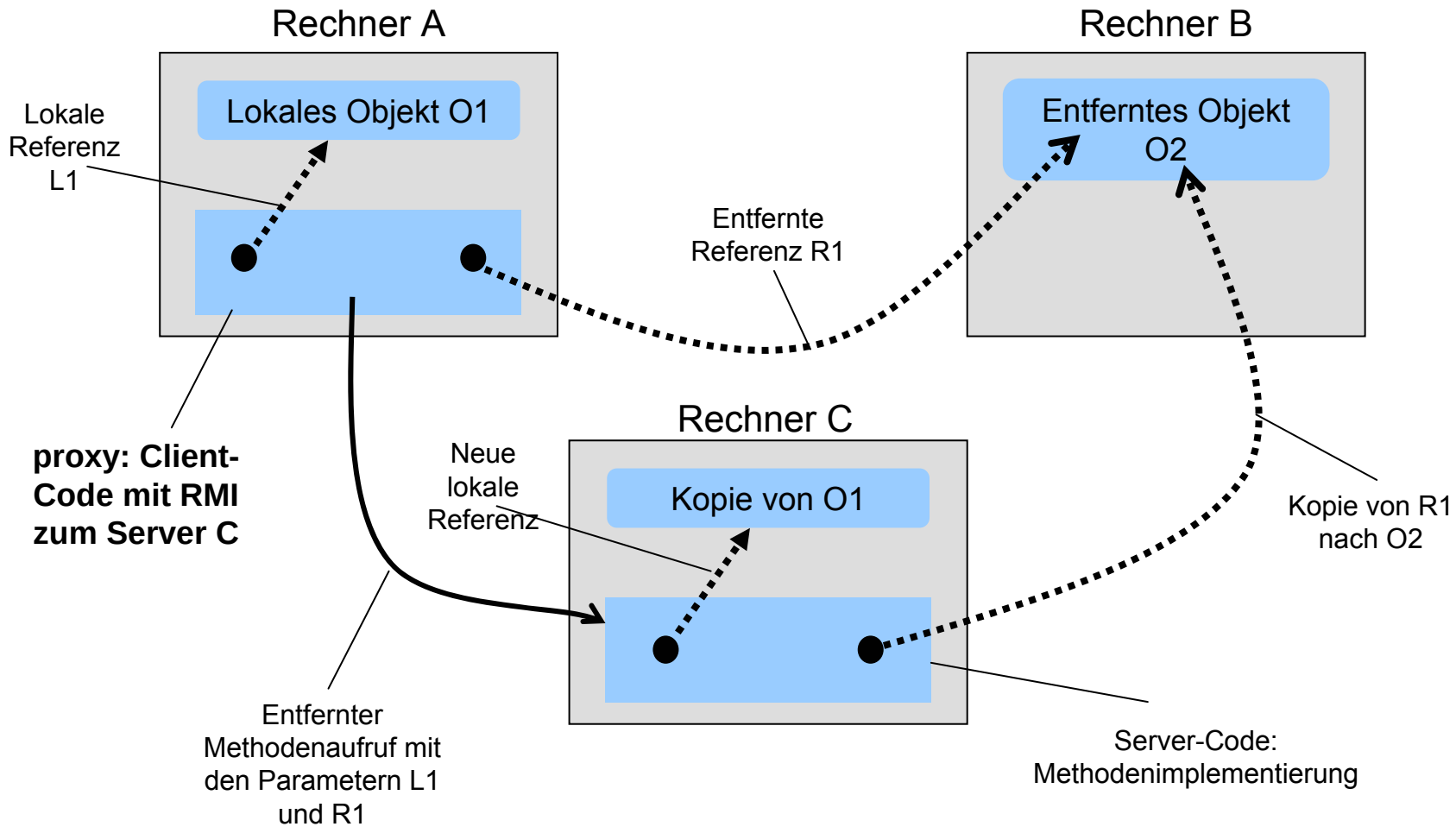
Parameterübergabe und Rückgabewerte

- Java allgemein:
  - Parameter (und Rückgabewerte) werden jeweils kopiert: call by value.

    Hinweis: Objektvariablen bilden dabei keine Ausnahme. Da es sich bei ihnen jedoch um Referenzen handelt, entspricht ihre call by value-Übergabe der Semantik von call by reference. Änderungen durch die aufgerufene Methode entfalten also Wirkung.

- Java RMI:
  - Lokale Datentypen und lokale Objekte werden kopiert:
    call by value
  - Entfernte Objekte durch Kopie der Objektreferenz (des entsprechenden proxies/stubs):
    call by reference

Veranschaulichung der Parameterübergabe



Quelle: Tanenbaum, Distributed Systems, 2. Aufl., Abb. 10-8

- Lokale Objekte werden als Kopie übergeben
- Entfernte Objekte werden als Referenz übergeben (und bleiben entfernt)

Gliederung - Kapitel 9: Verteilte Systeme

Inhalte von Kapitel 9, Teil 2

- Service-Orientierte Architekturen
- Corba
- Web-Technologien
  - Java Server Pages
  - Java Servlets
- Sprache XML
  - XML Tags
  - Name Spaces
  - XML-Schemata
  - Validierung von XML-Dokumenten
  - Werkzeugunterstützung für XML
  - Transformation in andere XML-Formate, oder andere Sprachen
- Web Services
  - Schichtenarchitektur
  - Simple Object Access Protocol - SOAP: Mechanismus zur Repräsentation/zum Austausch von Daten
  - Web Services Description Language - WSDL
  - Simple API for XML Parsing - SAX
  - Universal Description and Integration UDDI

9.5 Definition Service Oriented Architectures

- SOA ist ein Paradigma für die Strukturierung und Nutzung verteilter Funktionalität, die von unterschiedlichen Besitzern verantwortet wird.

  [Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS) , 2006] c.f. oasis-open.org

- Ein Dienst in einer Service-Orientierten Architektur hat (idealerweise) folgende Eigenschaften
  - Dienst ist in sich abgeschlossen und kann eigenständig genutzt werden.
  - Dienst ist über ein Netzwerk verfügbar.
  - Dienst hat eine veröffentlichte Schnittstelle. Für die Nutzung reicht es, die Schnittstelle zu kennen. Kenntnisse über die Details der Implementierung sind hingegen nicht erforderlich.
  - Dienst ist plattformunabhängig, d.h. Anbieter und Nutzer eines Dienstes können in unterschiedlichen Programmiersprachen auf verschiedenen Plattformen realisiert sein.
  - Dienst ist in einem Verzeichnis registriert.
  - Dienst ist dynamisch gebunden, d.h. bei der Erstellung einer Anwendung, die einen Dienst nutzt, muss der Dienst nicht vorhanden sein. Er wird erst bei der Ausführung lokalisiert und eingebunden.

9.6 CORBA

- Common Object Request Broker Architecture
- Allgemeiner Architektur-Standard für Entwicklung von Client/Server Anwendungen
- Verschiedene konkrete Implementierungen: ORBs.
- Definiert von der Object Management Group (OMG)
  - Zusammenschluss von über 750 Unternehmen, Software-Entwicklern und Anwendern.
  - 1989 gegründet.
- Allgemeine Kommunikationsinfrastruktur zwischen verteilten Objekten, wobei für den Entwickler die Kommunikation weitestgehend transparent ist.

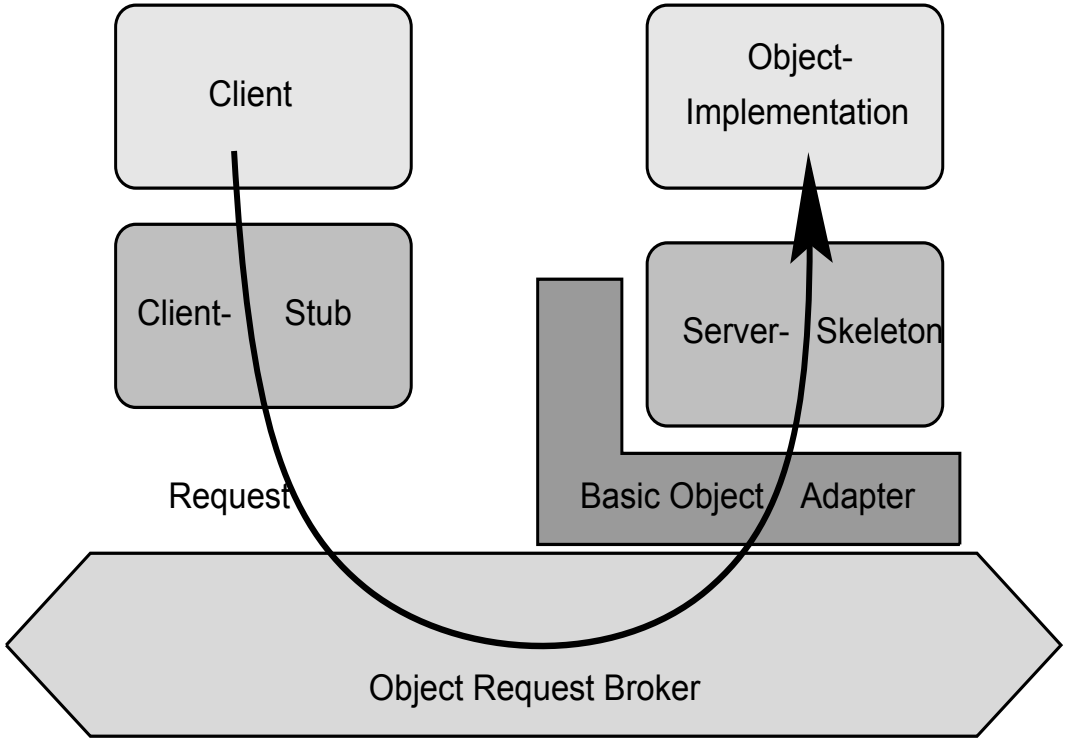
CORBA

- Merkmale von CORBA
  - Objektorientierung
  - Sprachunabhängigkeit
  - Kommunikationsmechanismen für verteilte Systeme
  - Allgemeines Konzept von kommunizierenden Objekten
  - Plattformunabhängigkeit
  - Herstellerunabhängigkeit
  - Anbindung anderer Komponentensysteme
- CORBA geht daher nach folgendem Prinzip vor
  - Die Schnittstellen werden von der Implementierung streng getrennt.
- Durch separate Definition der Schnittstellen kann die Kommunikation unabhängig von der jeweiligen Implementierung betrachtet werden.
  - IDL (Interface Definition Language): Neutrale Spezifikationssprache beschreibt die Schnittstellen der beteiligten Objekte
  - ORB (Object Request Broker): Kommunikation zwischen den Objekten

Merkmale von CORBA

- Kommunikationsmechanismen
  - Kommunikation zwischen den Objekten ist völlig transparent
    - Der ORB verdeckt
      - Auffinden des Zielobjekts
      - Übertragung der Daten
      - Etwaige Konvertierungen zwischen Datenformaten.
  - Kommunikation selbst ist plattform- und sprachunabhängig.
    - Seit CORBA 2.0 arbeiten auch Object Request Broker verschiedener Hersteller zusammen (durch das Internet Inter-Orb Protocol - IIOP).
- Allgemeines Konzept von kommunizierenden Objekten
  - Die bisherige starre Einteilung in Client und Server entfällt, in CORBA existieren gleichberechtigte Objekte.
    - Objekt A kann Server für ein Objekt B sein, während B gleichzeitig Serverfunktionalität für ein Objekt C anbietet.
    - Festlegung: Server ist das Objekt, das ein IDL-Interface implementiert.

Grundprinzip von CORBA



- Mit Hilfe der IDL wird ein Interface definiert.
- IDL-Compiler erzeugt aus dieser Schnittstellenbeschreibung Source Code in der gewünschten Sprache für den Client-**Stub** und für den Server-**Skeleton**.
- Server wird implementiert und ist über das Skeleton für andere Objekte zugänglich. Über den *Basic Object Adapter* (**BOA**) meldet sich der Server beim ORB an und ist jetzt bereit, Aufrufe anderer Objekte zu empfangen.
- Der Client kann nun über den Stub auf den Server zugreifen. Dieser Zugriff läuft über den ORB.

Grundprinzip von CORBA

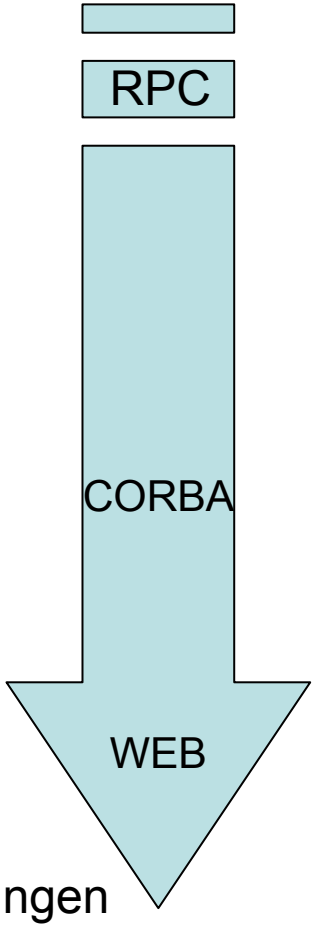
- Ablauf entfernter Methodenaufruf:
  - Object Request Broker fängt Aufruf ab und lokalisiert das Zielobjekt
  - Übergabeparameter werden verpackt und an den Server geschickt.
  - Dort werden die Parameter wieder entpackt und die Methode auf dem Server ausgeführt.
  - Resultat wird verpackt und an den Aufrufer zurückgesendet.
  - Gesamter Vorgang wird vom ORB verdeckt.
- Client benötigt für entfernten Methodenaufruf eine *Referenz* auf das entfernte Objekt: *Object-Reference*
  - eindeutige ID eines bestimmten Objekts
- Angesprochen wird die Server-Komponente über die automatisch generierte ”Stub-Klasse“ ⇨ hohe Typsicherheit

Object Request Broker – Grundfunktionalität

- Statische und dynamische Aufrufe von Methoden
  - Statischer Aufruf: sichere Typprüfung
  - Dynamische Aufrufe: höhere Flexibilität
- Kommunikation auf Hochsprachen-Niveau
  - Es ist für Entwickler nicht notwendig, Parameter „einzupacken“ (marshaling) oder Befehle in einer Kurzform zu übertragen
- Selbstbeschreibendes System
- Jeder ORB besitzt eine Datenbank, das sog. Interface Repository
  - Enthält Meta-Informationen über die bekannten Interfaces
  - Daten werden automatisch verwaltet und gepflegt, i.a. durch den IDL-Compiler
- Transparenz zwischen lokalen und entfernten Aufrufen
- Umwandlungen zwischen Datenformaten (z.B. little endian/big endian, usw.) werden vom ORB durchgeführt
- Kompatibilität bzgl. Art und Größe der Typen durch IDL gewährleistet

Gründe für den Niedergang von CORBA

- Technische Gründe
  - Komplexität von CORBA
  - Unterstützung von C++ fehlerträchtig
  - Sicherheitsmängel
    - unverschlüsselter Datenaustausch
    - pro Dienst ein offener Port in Firewall erforderlich
  - Viel Redundanz, keine Kompression
  - Keine Thread-Unterstützung
  - Fehlende Unterstützung von C#, .NET, DCOM
  - Fehlende Integration des Web
    - Aufkommen von XML, SOAP
    - ⇨ E-business Lösungen generell ohne CORBA
- Soziale Gründe / Verfahrensfehler
  - Zu viele Köche im Standardisierungsprozess
  - Z.T. Fehlende Referenzimplementierungen
  - Ungetestete Innovationen in Standards
  - Hohe Lizenzgebühren für kommerzielle Implementierungen
  - open-source Implementierungen zu spät
  - Mangel an erfahrenen Entwicklern



Quelle: Michi Henning, ACM Queue, http://www.acm.org/acmqueue/digital/Queuevol5no4_May2007.pdf

9.7 Web Services: Grundidee und Definitionen

- HTML (HyperText Markup Language) als Beschreibungssprache zur Darstellung von Dokumente im World Wide Web ist schlecht geeignet zur Maschine-Maschine-Kommunikation
- Grundidee für Web Services: Einsatz Web-basierter Service-Orientierter Architektur
  - Darstellung der Informationen mit einer dafür besser geeigneten Sprache ⇨XML
  - Verwendung von Elementen der Web-Architektur, u.a. Beibehaltung von HTTP zum Transport dieser Daten

Web Services - Gründe für das Interesse

Vorzüge

- Web Services basieren auf offenen Protokollen bzw. Spezifikationen
  - Beschreibung der Schnittstelle: WSDL (Web Service Description Language)
  - Kommunikation: SOAP (Simple Object Access Protocol)
  - Finden von Diensten: UDDI (Universal Description Discovery and Integration)
  - Spezifikation über XML-Grammatiken
- Heterogene Plattformen (J2EE, .Net etc.) werden unterstützt
- Grundlage zur Realisierung der Service-orientierten Architektur mittels WSDL (Web Services Description Language)
- Web Services werden von "großen Organisationen" (IBM, Sun Microsystems, SAP, Microsoft, ...) unterstützt

Mögliche Nachteile

- Leistungsfähigkeit von SOAP / XML ggf. geringer anderer Leistungsfähigkeit anderer Middleware-Lösungen

9.8 HTML und XML: Markup

- Markup: Informationen, die einem Dokument beigefügt werden, selbst aber nicht unmittelbar dargestellt werden.

- Bsp.: HTML-Markup:

  <h2>Markup zur Textformatierung</h2>

  Unter Markup versteht man Informationen,

  die einem Textdokument beigefügt sind.

HTML – Hypertext Markup Language

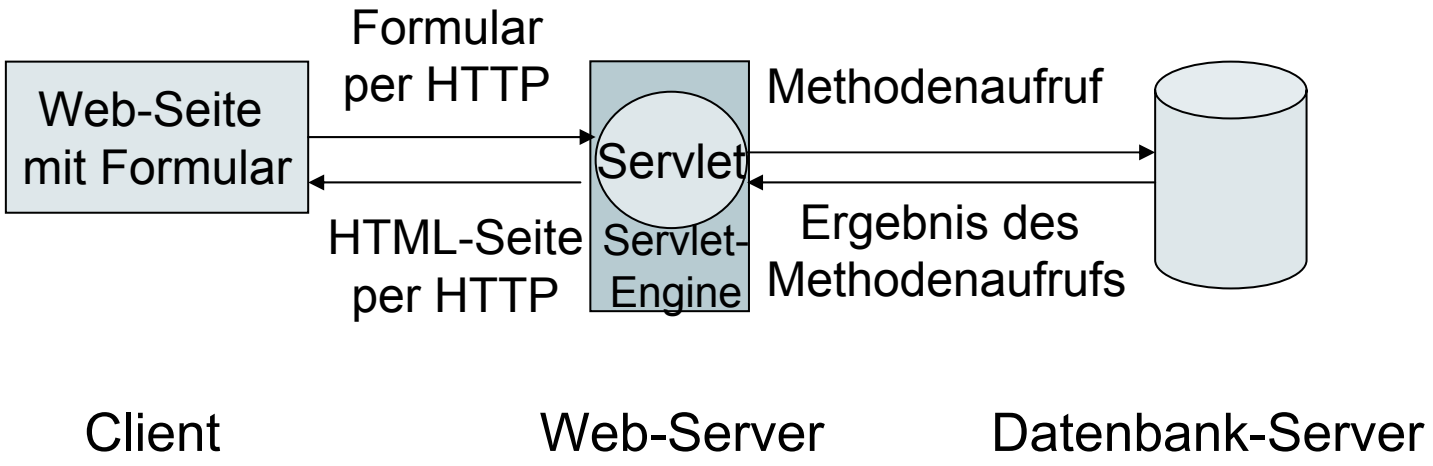
- HTML definiert primär Layout eines Web-Dokuments
  - nur sekundär auch Struktur
- Auszeichnungssprache
  - paarweise öffnende und schließende Tags
  - Hierarchische Gliederung
- Tags
  - zur Textformatierung
    - `<i>kursiv</i>`
  - zur Spezifikation von Hypertext-Links
    - `<A HREF="http://www.w3c.org"> W3 Konsortium </A>`
  - zum Einbinden von Multimediaobjekten und Applets
    - `<img src="logo.gif" alt="Alternativtext">`
  - für Formulare

Web-Anwendungen

- Dynamische Web-Seiten-Erzeugung
  - CGI-Skripte bzw. -Programme
  - Active Server Pages (heute ASP.Net)
  - PHP
  - Java Servlets
  - Java Server Pages

Servlets

- Problem: HTML Dokumente als Files sind statisch
- Idee: Generiere HTML-Dokumente dynamisch durch Programm
- Servlet: Ein Java-Programm, das auf dem Server als Reaktion auf einen http-request (GET oder POST) gestartet wird
- HTML-Seite wird vom Servlet generiert.
- Beispiel: Servlet in 3-tier-Architektur



Java Server Pages (JSP)

- JSP: Eine HTML-Seite mit eingebettetem Java-Code, der auf Server ausgeführt wird und Teile der Seite dynamisch generiert.
- Lösung für folgendes Problem: Es ist umständlich, die statischen Teile der HTML-Seite durch das Servlet in print-statements zu generieren.
- Idee: Schreibe statische Teile als HTML in Dokument und bette dynamische Teile durch Programmcode darin ein (spezieller HTML-Kommentar).
- JSP wird von Webserver in Servlet übersetzt

```
<html>
<body>

<%-- Kommentar --%>
<% //Java-Code %>

</body>
</html>
```

Skriptlet <% ... %>

Kommentar <% --...--%>

Direktive <% @ ... %>

Ausdruck <% = ... %>

Deklaration <%! ...%>

SGML – Standardized General Markup Language

- In den 80er Jahren bei IBM entwickelt (Goldfarb)
- ISO Standard 1986
- Tags zur Annotation (mark-up) eines Textes
  - zur Textformatierung
    - `<i>kursiv</i>`
- Ziel: repräsentiere Industrie-Dokumentationen
  - elektronisch
  - unabhängig von konkreten Text-Satzsystemen
  - bilde auf jeweiliges Medium ab (z.B. Web oder Druck)
  - Industriequalität (Novell-Handbücher: 150.000 Seiten)
- Problem: sehr mächtig, sehr komplex

SGML, HTML, XML

- Bewertung von SGML: Idee prima, aber SGML zu komplex
- HTML: Formatiere Dokumente für das Web
  - Vordefinierte Menge von Tags, Semantik fixiert
  - Werden von Browsern interpretiert
  - bilden *Document Type*, der mittels SGML definiert ist
- XML: definiere Dokumentstruktur allgemein
  - Minimale Sprache, kleines subset von SGML („SGML- -“)
  - Erweiterbar
  - Abbildung Struktur ⇨ layout separat über style sheets
    ⇨ auch für Datenserialisierung nützlich

XML – eXtensible Markup Language

- Offener Standard (www.w3.org)
- Strukturdefinition (Grammatik einer Dokumentfamilie)
  - Document Type Definition (DTD)
  - XML-Schema
- Platform-unabhängig (ASCII)
- Allgemein einsetzbar
- Leichte maschinelle Zugänglichkeit der Information
  - Textbasiert
  - Strukturiert
- Werkzeuge
  - Editoren, Browser, ...
  - Parser
  - APIs
  - Datenbank-Schnittstellen

XML – eXtensible Markup Language

- Beschreibung strukturierter Daten (kein Layout)
- Maschinen- und Menschen-lesbar (ASCII-Text)
- wohlgeformte XML-Dokumente
  - paarweise öffnende und schließende Tags
    - HTML erlaubt auch Ausnahmen: `<br>`
  - keine Überlappung der Tags erlaubt
  - alle Tags kleingeschrieben
  - Attributwerte in doppelten Anführungszeichen
- Inline-Schreibweise mit Attributen

```
<autor nachname="Stevens" vorname="Richard"/>
```

- gemischte Schreibweise

```
<autor geschlecht="männlich">
    Stevens, W. Richard
</autor>
```

XML – Beispiel

Kopf

```
<?xml version="1.0"?>
```

Rumpf

```
<literaturverzeichnis>
        <buch>
                <autor>Stevens, W. Richard</autor>
                <titel>UNIX Network Programming</titel>
                <verlag>Prentice Hall</verlag>
                <erscheinungsjahr>1990</erscheinungsjahr>
                <isbn>0-13-949876-1</isbn>
                <stichwort>Netzwerk</stichwort>
                <stichwort>Netzwerk-Programmierung</stichwort>
        </buch>
        <buch>
                ....
        </buch>
</literaturverzeichnis>
```

XML – Syntax: Namensräume

- XML-Namensräume (XML Name Spaces)
  - Werden benutzt, um in einem Dokument mehrere XML-Sprachen zu mischen
  - Werden durch URIs dargestellt
  - Die entsprechende Adresse muss nicht existieren
  - Wenn eine URL als Namensraum verwendet wird, wird unter dieser Adresse ggf. zusätzliche Informationen zu der XML-Sprache angeboten, z. B. eine Dokumenttypdefinition (DTD) oder ein XML-Schema.
- Ziel: Vermeidung von Mehrdeutigkeiten bei Tags
- Definition mittels `xmlns`-Attribut oder dem `xmlns:`-Präfix
- Wert des Attributs ist Name des Namespaces
- Beispiel:

```
<?xml version="1.0"?>
<da:literaturverzeichnis
            xmlns:da="http://www.in.tum.de/diplArb">
    <da:buch> ... </da:buch>
</da:literaturverzeichnis>
```

XML Document Type Definition (DTD)

- Dokumenttypdefinition (Document Type Definition, DTD, auch Schema-Definition oder DOCTYPE)
  - Sprache zur Beschreibung von Dokumenttypen, d.h. zur Beschreibung der Stuktur von Dokumenten (Beachte: Für XML-Dokmente existieren auch andere Schema-Sprachen, z.B. XML Schema)
  - Formale Grammatik (DTD-Syntax selber ist kein XML)
  - Spezifiziert Elemente, Attribute, Entitäten
  - Spezifikation von Dokumenttypen erlaubt Validierung von Dokumenten
  - XML-Editor der DTD (Grammatik) kennt kann nur gültige Eingaben zulassen
  - Einbindung im selben Dokument oder ausgelagert in externes Dokument
  - Beispiel:

```
<!ELEMENT publication (proceedings | article)>
<!ELEMENT proceedings ((author)*, title, conference)>
...
<!ELEMENT conference (#PCDATA)>
<!ATTLIST conference
  year CDATA #required>
```

XML-Schema

- Sprache zum Definieren von Strukturen für XML-Dokumente.
- Im Gegensatz zu XML-DTDs wird die Struktur in Form eines XML-Dokuments beschrieben.
- Zahlreiche Datentypen werden unterstützt.
- Basis-Datentypen
  - `string, date, time, integer, double, boolean`
- komplexere Strukturen
  - Einschränkung des Wertebereichs
  - Listen
  - Vereinigung und Kombination verschiedener Typen
  - Vererbung

XML-Schema – Beispiel

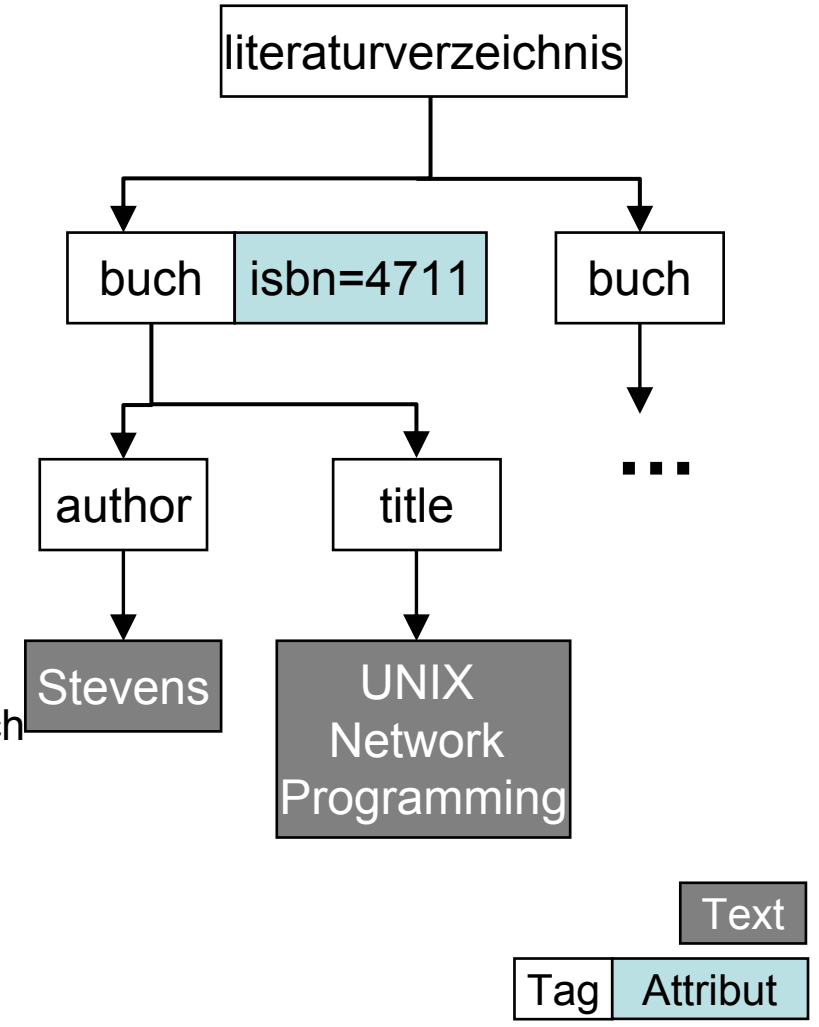
```
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
    elementFormDefault="qualified">
    <xs:element name="literaturverzeichnis">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence>
            <xs:element name="buch" maxOccurs="unbounded">
                <xs:complexType>
                    <xs:sequence>
                        <xs:element name="autor" type="xs:string"
                         maxOccurs="unbounded"/>
                        <xs:element name="titel" type="xs:string"/>
                        <xs:element name="untertitel" type="xs:string"
                         minOccurs="0"/>
                        <xs:element name="verlag" type="xs:string"/>
                        <xs:element name="erscheinungsjahr" type="xs:string"/>
                        <xs:element name="isbn" type="xs:string"/>
                        <xs:element name="stichwort" type="xs:string"
                         maxOccurs="unbounded"/>
                        <xs:element name="abstract" type="xs:string"
                         minOccurs="0"/>
                        <xs:element name="kommentar" type="xs:string"
                         minOccurs="0"/>
                    </xs:sequence>
                </xs:complexType>
            </xs:element>
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
    </xs:element>
</xs:schema>
```

Vom W3C im XML-Schema `http://www.w3.org/2001/XMLSchema` vorgegeben:

- Basistypen `element, complexType, sequence, …`
- Datentypen `string, integer, …`

Werkzeugunterstützung für XML

- APIs zum Parsen von XML-Daten
- SAX
  - *Simple API for XML*
  - Ereignisorientierter Ansatz
  - Dokument wird komplett durchlaufen
  - Beginn / Ende jedes Tags wird über Callback-Methoden mitgeteilt
- DOM
  - *Document Object Model*
  - Erlaubt, gezielt auf einzelne Teile des Dokuments zuzugreifen
  - Baumorientierter Ansatz
  - Applikation bekommt bekommt Baum nach Verarbeitung des Dokuments übergeben
  - höherer Speicherbedarf als SAX
- Beide Ansätze in J2SDK enthalten
  - Zusammengefasst in *Java API for XML Processing (JAXP)*



XML Standard Familie

Von W3C standardisiert (www.w3.org)

- XML (1998)
- CSS (1998): Cascading Style Sheets (layout: Stylesheet-Sprache für strukturierte Dokumente)
- Namespaces (1999)
- XSLT 1.0 (1999) XSL Transformations (Programmiersprache zur Transformation von XML-Dokumenten)
- XPath 1.0 (1999) Zugriff auf Teile eines Dokuments
- XHTML 1.0 (2000), (Extensible HTML). "A Reformulation of HTML 4 in XML 1.0"
- DOM Level 2, Document Object Model, Core Specification (2000)
- XML Schema (2001) Grammatik-Sprache für XML-Dokumentfamilien
- XLink 1.0 (2001): XML Linking Language (Spez. für Hyperlinks)
- XML Base (2001) (Spezifikation von Datenbank URIs für Dokument-Teile)
- XSL 1.0 (2001) Extensible Stylesheet Language (layout)
- XPointer (2002) : XML Pointer Language (Spezifikation von Pfaden in URIs)
- XQuery 1.0 (2002) XML Query Language (Abfragesprache für Datenbanken)
- XInclude (2002) XML Inclusions

XML Zusammenfassung

- Umfangreicher Tool Support
- Generalized Markup
  - Trennung von Struktur und Darstellung
  - XML Parser $\Rightarrow$ Information Access
  - CSS, XSL, XSLT $\Rightarrow$ Darstellung (Layout, Rendering)
  - Sichten $\Rightarrow$ Flexibilität und Konsistenz
- Document Type Definition (DTD, Schema)
  - Klassenbildung + Validierung
- Persistenz (inkl. XML Datenbanken)
- Erweiterte Link-Fähigkeit
- Multi-Medial, International

9.9 Definition von Web Services

A Web service is a software system designed to support interoperable machine-to-machine interaction over a network.

*It has an interface described in a machine-processable format (specifically **WSDL**).*

*Other systems interact with the Web service in a manner prescribed by its description using **SOAP** messages, typically conveyed using HTTP with an **XML** serialization in conjunction with other Web-related standards.*

David Booth et al.: *Web Service Architecture*

W3C Working Group Note 11 February 2004
http://www.w3.org/TR/ws-arch/

Definition von Web Services

A web service is a piece of business logic, located somewhere on the Internet, that is accessible through standard-based Internet protocols such as HTTP or SMTP. Using a web service could be a simple as logging into a site or as complex as facilitating a multi-organization business negotiation.

Chappell / Jewell:
„Java Web Serivces“
O‘Reilly, 2002

Web Services

- Komponentenmodell unter Verwendung von Web-Technologien
  - zentral: XML (Serialisierung und Schnittstellenbeschreibung)
- Motivation:
  - Löst ähnliche Probleme wie CORBA
  - Aber offener / allgemeiner als CORBA
- Bisher: große monolitische Informationssysteme
  - Client / Server / Datenbank zu eng verwoben
  - Schlecht dokumentierte Schnittstellen, proprietäre Formate
  - CORBA ORB‘s nicht überall verfügbar, beschränkt inter-operabel
  - Re-compilation bei kleinsten Änderungen der CORBA IDL

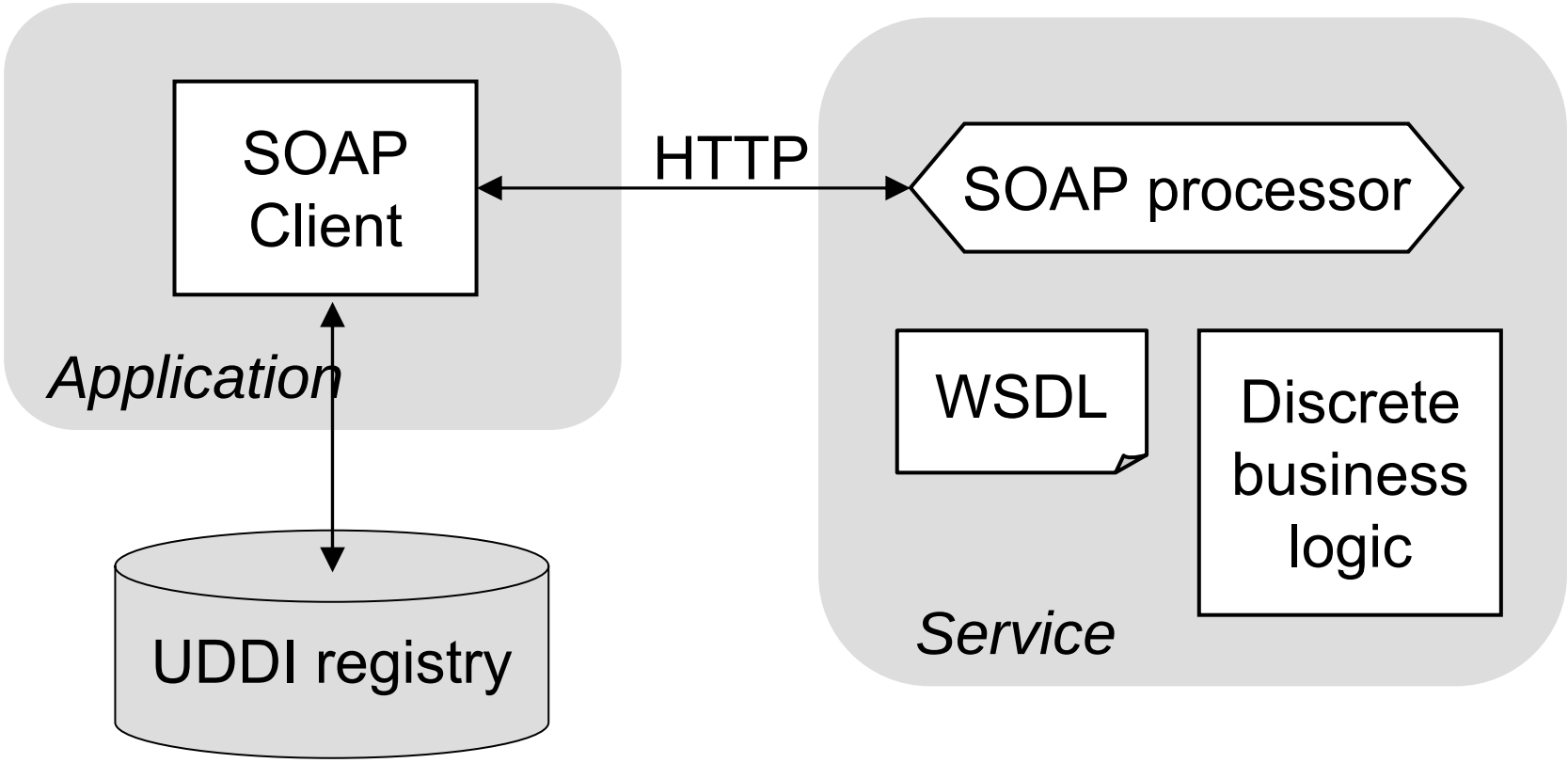
Web Services

- Vision: Integration verschiedener Business-Komponenten
  - über Abteilungs- und Unternehmensgrenzen hinweg
  - mit Web-basierten Technologien (XML / HTTP)
- Integration durch Schaffung von Standards
  - vor allem: XML
  - im Unterschied zu z.B. CORBA (z.B. XML statt IIOP)
- Merkmale von Web Services
  - XML-basiert ⇨ plattformunabhängig
  - lose Kopplung
  - grobgranular ⇨ mehrere Methoden bilden einen Dienst
  - Unterstützung von entfernten Methodenaufrufen
  - Unterstützung von Dokumentenaustausch

Web Services – Schlüsseltechnologien

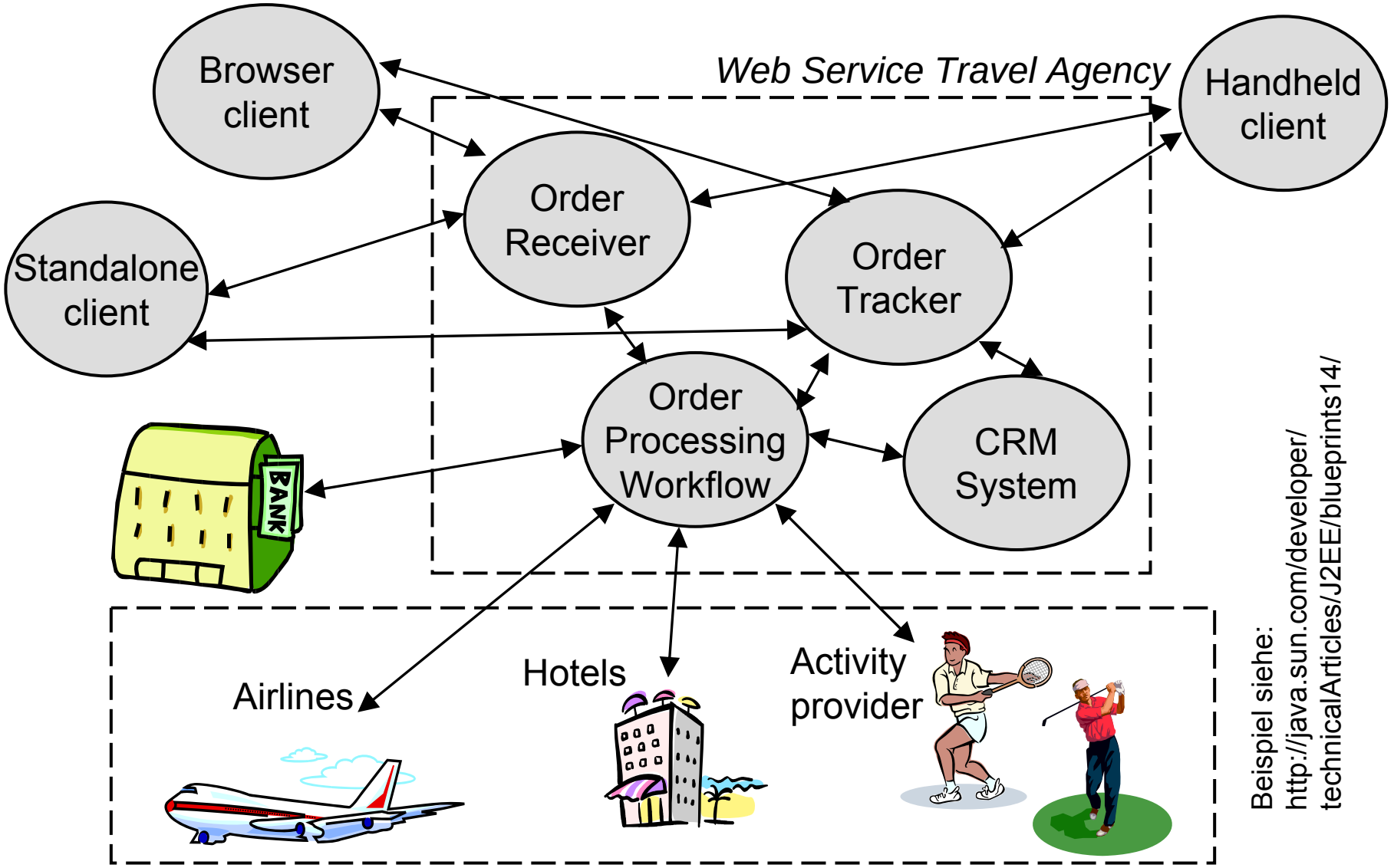
- **XML**
  - Universelle Beschreibungssprache
  - Selbst-dokumentierend
  - Robust gegen Änderungen: Empfänger überliest irrelevante Einträge
- **WSDL** (Web Service Description Language)
  - Interface Beschreibung von Diensten (analog CORBA IDL)
- **SOAP** (Simple Object Access Protocol)
  - Kommunikation zwischen Diensten („XML-RPC“)
  - Transportiert XML-serialisierte Werte und Methoden-Aufrufe
- **UDDI** (Universal Description, Discovery and Integration)
  - Suchen von Diensten
  - Weltweiter Verzeichnisdienst für Web Services

Web Services – einfaches Szenario



Chappell / Jewel: „Java Web Services“, O‘Reilly, 2002, Abb.1-1

Web Services –Szenario



XML-RPC

- Idee: Entfernter Methodenaufruf ohne neue Technologien
  - Serialisierung in XML-Dokument
    - Methodenname
    - Parameter
  - Verschicken über HTTP
- Verfügbare Datentypen
  - `<int>`
  - `<double>`
  - `<string>`
  - `<boolean>`
  - `<base64>`
    - Bytefolge
  - `<dateTime.iso8601>`
    - Beispiel: `<dateTime.iso8601>20060125T11:15:12</dateTime.iso8601>`

XML-RPC – Prozeduraufruf

```
HOST /xml-rpc.app HTTP/1.1
Content-type: text/xml
Content-length: 255

<?xml version="1.0"?>
<methodCall>
   <methodName>calcMaximum</methodName>
   <params>
      <param>
         <value><int>47</int></value>
      </param>
        <param>
         <value><int>23</int></value>
      </param>
   </params>
</methodCall>
```

XML-RPC – Prozedurantwort

```
HTTP/1.1 200 OK
Content-Type: text/xml
Content-Length: 158

<?xml version="1.0" ?>
<methodResponse>
   <params>
      <param>
         <value><int>47</int></value>
      </param>
   </params>
</methodResponse>
```

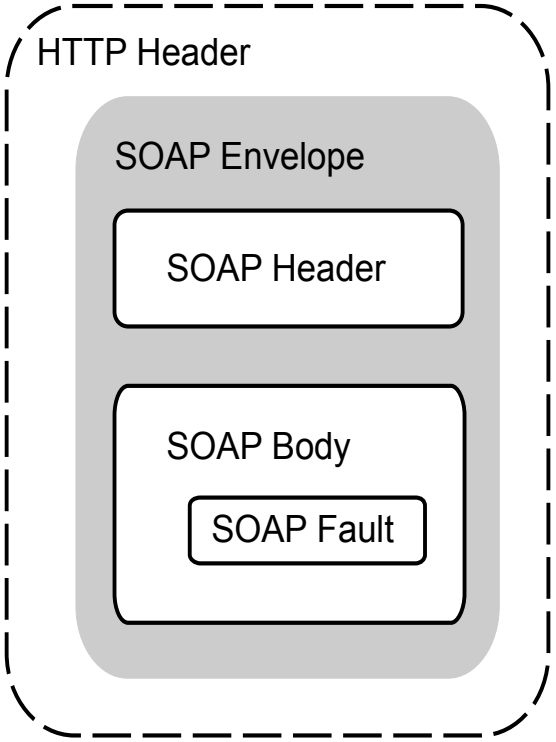
XML-RPC – Bewertung

- Vorteil
  - Sehr einfach und schlank
- Nachteile
  - ungenaue Codierung der Datentypen
    - z.B. Probleme mit Datumstyp: keine Zeitzone
  - Aufwändige Codierung binärer Daten (base64)
- Fehlende Metainformation zu den Methoden
  - könnten nur im Request-/Response-Header von HTTP beigefügt werden (⇨ nicht self-contained)
- Weiterentwicklung zu SOAP

SOAP

- *Simple Object Access Protocol*
- XML-basiertes Nachrichtenprotokoll
- Arbeitet auf bestehenden Transportprotokollen (HTTP, SMTP)
- Aufbau einer SOAP Nachricht
  - Envelope
    Header
    - optional
    - für Metainformationen

    Body
- kann vollständig im Dokument-Teil eines HTTP-Requests übertragen werden.



SOAP – Nachrichtenformat

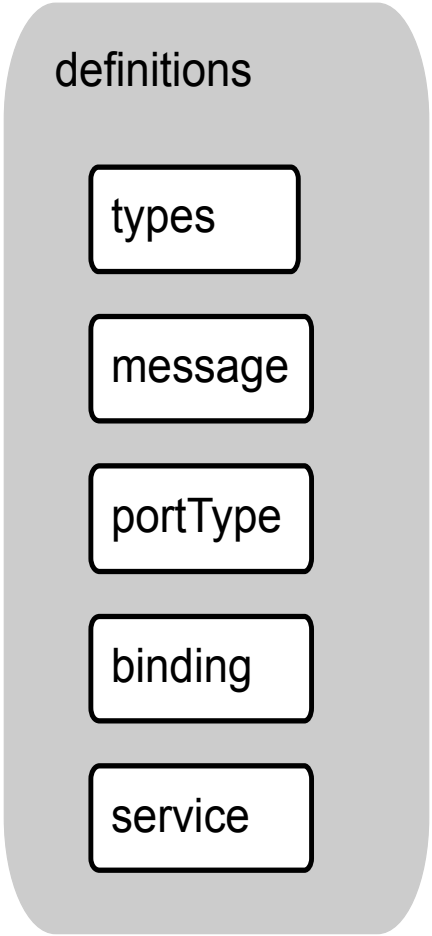
```
<SOAP-ENV:Envelope xmlns:SOAP-ENV=
   "http://www.w3.org/2003/05/soap-envelope/">
     <SOAP-ENV:Header>
               <!-- Header-Information -->
      </SOAP-ENV:Header>
     <SOAP-ENV:Body>
                <!-- Body-Information -->
      </SOAP-ENV:Body>
</SOAP-ENV:Envelope>
```

WSDL – Web Services Description Language

- Interface Definition Language for Web Services
- Basiert auf XML Schema
- Aufbau:
- Data Type Definitions
  - Beschreibung der Datentypen, die in Nachrichten vorkommen
- Abstract Operations
  - Die Operationen, die durch die Nachrichten ausgelöst werden
- Service Bindings
  - Abbildung der Nachrichten auf Transportprotokolle

WSDL – Web Services Description Language

- Data Type Definitions
  - types – verwendete Datentypen als XML Schema
  - message – Definition der Nachrichten mit Parametern
- Abstract Operations
  - operation – Definition, welchem Dienst (Prozedur, Queue etc) die Nachricht zur Behandlung übergeben werden soll
  - portType – Abstrakter (Service-) Port als Menge von Operationen
  - binding – Abbildung eines Port Type auf einen konkreten Transportmechanismus (Protokoll)
- Service Bindings
  - port – Netzwerkadresse für ein Binding
  - service – Menge von Port Types, die gesamthaft einen logischen Dienst darstellen.



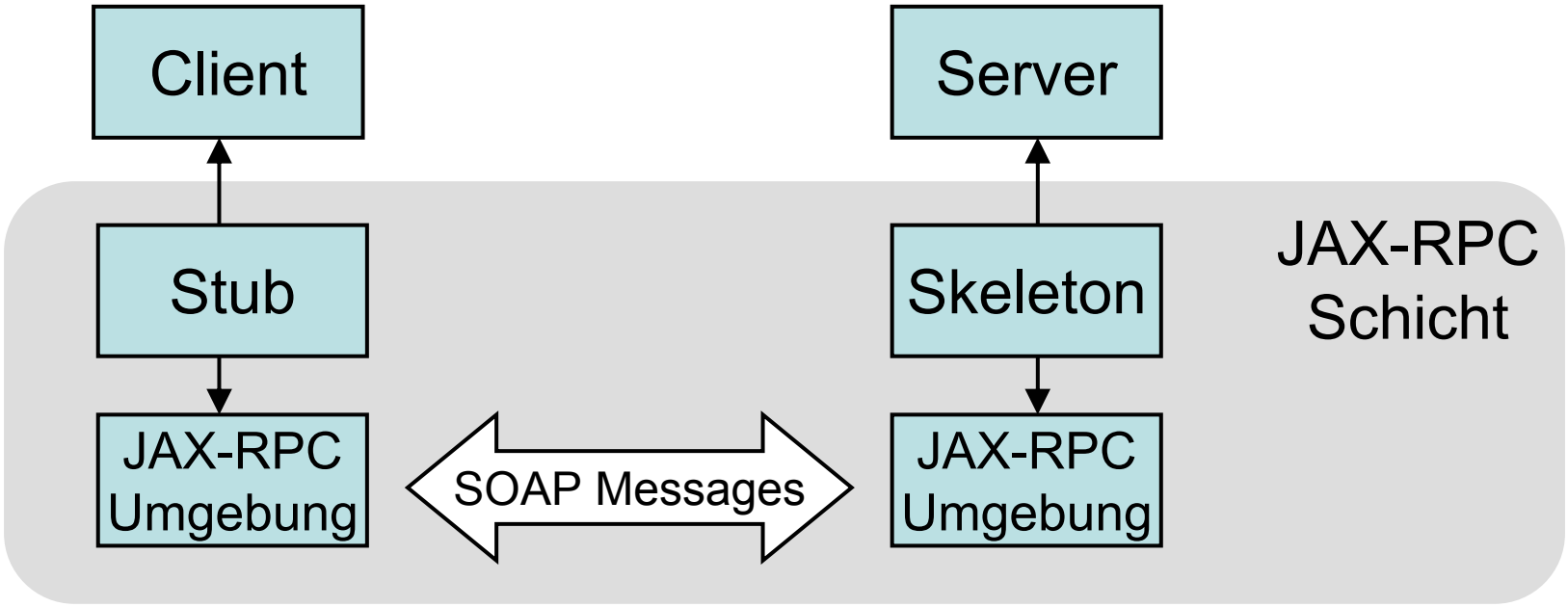
UDDI

- Anforderungen
  - Veröffentlichen von Web Services
  - Finden von Web Services
- Anbieter von UDDI-Repositories: IBM, SAP und Microsoft
- Benutzung
  - Web-Interface
  - API z.B. JAXR (Java API for XML Registries)
- Beschreibung der Web Services mittels XML-Datenstrukturen
  - Business Entity: Kontakt, Beschreibung, Beziehung zu anderen Geschäftseinheiten, …
  - Service: Web Service oder andere Dienstleistungen
  - Binding: Technische Beschreibung, Access point URL, Verweis auf Spezifikation
  - …
- am wenigsten genutzter Standard

Java Web Service Developer Pack

- Im JWSDP u.a. enthalten:
  - Java Architecture for XML Binding (JAXB)
    - Generierung von Java Klassen aus DTDs
  - Java API for XML Processing (JAXP)
    - SAX (Simple API for XML Parsing)
      - ereignisgesteuerter Parser
    - DOM (Document Object Model)
      - Objekt Repräsentation in Form eines Baums
  - Java API for XML-based RPC (JAX-RPC)
    - Methodenaufrufe und Rückgabewerte als SOAP Nachricht
    - Erzeugung von Stubs und Ties (Skeletons) aus WSDL Beschreibung
  - SOAP with Attachments API for Java (SAAJ)
    - Erstellen und Verschicken von SOAP Nachrichten mit Anhängen
    - Asynchroner Nachrichtenaustausch

JAX-RPC



Thomas Stark: „J2EE“, Abb.12-2
Addison-Wesley, 2005