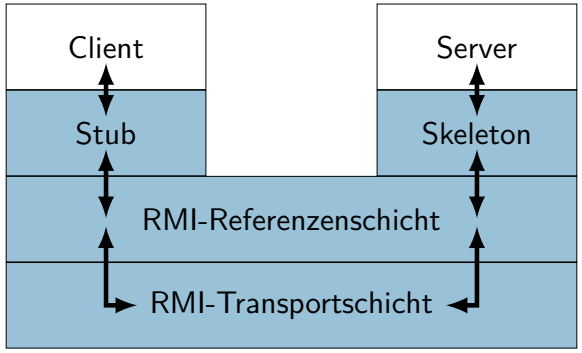
Überblick

Java RMI
- Java Remote Method Invocation
- Marshalling und Unmarshalling
- Aufgabe 1

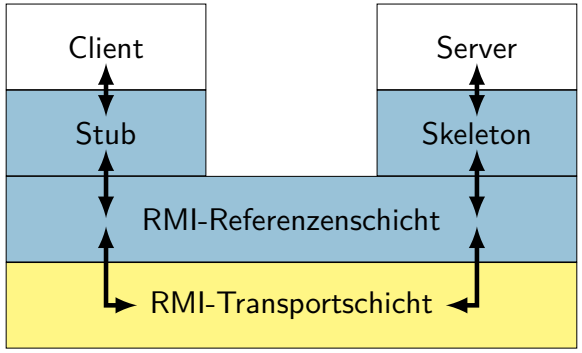
Fernmethodenaufrufe

- Remote Method Invocation (RMI)
  - Aufrufe von Methoden an Objekten auf anderen Rechnern
  - *Remote-Referenz*: Transparente Objektreferenz zu entferntem Objekt
- Beispiel: Java RMI



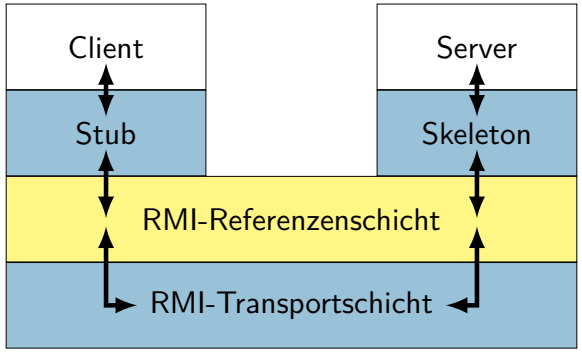
Java RMI — Transportschicht

- Datenübertragung zwischen Rechnern
- Implementierung
  - Aktueller Standard: Verwendung von TCP/IP-Sockets
  - Generell: Verschiedene Transportmechanismen denkbar

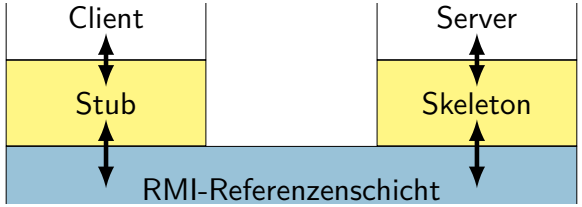


Java RMI — Referenzenschicht

- Verwaltung von Remote-Referenzen
- Implementierung der Aufrufsemantik (Beispiele)
  - Unicast, Punkt-zu-Punkt
  - Aufruf an einem replizierten Objekt
  - Strategien zum Wiederaufbau der Verbindung nach einer Unterbrechung



- Stub
  1. erhält einen Objekt-Ausgabe-Strom von der RMI-Referenzenschicht
  2. schreibt die Parameter in diesen Strom
  3. weist die RMI-Referenzenschicht an, die Methode aufzurufen
  4. holt einen Objekt-Eingabe-Strom von der RMI-Referenzenschicht
  5. liest das Rückgabe-Objekt aus diesem Strom
  6. liefert das Rückgabe-Objekt an den Aufrufer
- Skeleton
  1. erhält einen Objekt-Eingabe-Strom von der RMI-Referenzenschicht
  2. liest die Parameter aus diesem Strom
  3. ruft die Methode am implementierten Objekt auf
  4. holt einen Objekt-Ausgabe-Strom von der RMI-Referenzenschicht
  5. schreibt das Rückgabe-Objekt in diesen Strom



- *Remote-Objekt* (entferntes Objekt)
  - Kann aus einer anderen Java Virtual Machine heraus genutzt werden
  - Erst von außerhalb erreichbar, nachdem es **exportiert** wurde
- *Remote-Schnittstelle*
  - Beschreibt die per Fernaufruf erreichbaren Methoden des Objekts
  - Abgeleitet von `java.rmi.Remote` (Marker-Schnittstelle)
  - Einzige Möglichkeit mit Java RMI auf ein entferntes Objekt zuzugreifen
- *Remote-Exception* (`java.rmi.RemoteException`)
  - Muss im `throws`-Clause jeder Remote-Methode angegeben sein
  - Beim Auftreten einer Remote-Exception weiß der Aufrufer nicht, ob die Methode komplett, teilweise oder gar nicht ausgeführt wurde

- Namensdienst
  - Bekanntmachen von Remote-Objekten
  - Abbildung von Objektnamen auf Objektreferenzen
- Registry-Schnittstelle

```
public interface Registry extends Remote {
    public void bind(String name, Remote obj);
    public Remote lookup(String name);
    [...]
}
```

  - `bind()` Zuordnung eines Objekts zu einem eindeutigen Namen
  - `lookup()` Rückgabe der Remote-Referenz zu einem Namen
- Erzeugung und Verbindung zur Registry

```
public class LocateRegistry {
    public static Registry createRegistry(int port);
    public static Registry getRegistry(String host, int port);
    [...]
}
```

  - `createRegistry()` Erzeugung einer Registry auf dem lokalen Rechner
  - `getRegistry()` Holen einer Remote-Referenz auf eine Registry

- Geldbetrag `VSMoney`

```
public class VSMoney implements Serializable {
    private float amount;

    public VSMoney(float amount) {
        this.amount = amount;
    }

    public float getAmount() {  return amount;  }
}
```

- Konto `VSAccount` (Remote-Schnittstelle)

```
public interface VSAccount extends Remote {
    public void deposit(VSMoney money) throws RemoteException;
}
```

- Bank `VSBank` (Remote-Schnittstelle)

```
public interface VSBank extends Remote {
    public void deposit(VSMoney money, VSAccount account)
                                        throws RemoteException;
}
```

Java RMI – Beispiel — Remote-Objekt

- `VSBankImpl`: Implementierung der Remote-Schnittstelle `VSBank`
- Exportieren des Remote-Objekts
  - Implizit: Unterklasse von `java.rmi.server.UnicastRemoteObject`

```
public class VSBankImpl extends UnicastRemoteObject
                                implements VSBank {
   // Konstruktor
   public VSBankImpl() throws RemoteException { super(); }

   // Implementierung der Remote-Methode
   public void deposit(VSMoney money, VSAccount account)
                                        throws RemoteException {
       account.deposit(money);
   }
}
```

```
VSBank bank = new VSBankImpl();
```

  - Explizit: Aufruf von `UnicastRemoteObject.export()`

```
public class VSBankImpl implements VSBank { [...] }
```

```
VSBank b = new VSBankImpl();
VSBank bank = (VSBank) UnicastRemoteObject.exportObject(b, 0);
```

Java RMI – Beispiel — Remote-Objekt

- Konto-Implementierung `VSAccountImpl`
  - Implementierung der Remote-Schnittstelle `VSAccount`
  - Exportieren analog zu `VSBankImpl`
  - Synchronisation paralleler `deposit()`-Aufrufe
  - [Auf welchem Rechner erscheint die Bildschirmausgabe?]

```
public class VSAccountImpl implements VSAccount {
    private float amount;

    public VSAccountImpl(float amount) {
        this.amount = amount;
    }

    public synchronized void deposit(VSMoney money) {
        amount += money.getAmount();
        System.out.println("New amount: " + amount);
    }
}
```

Java RMI – Beispiel — Server

- Server-Implementierung `VSBankServer`
  - Erzeugen des Remote-Objekts
  - Exportieren des Remote-Objekts
  - Remote-Objekt mittels Registry bekannt machen

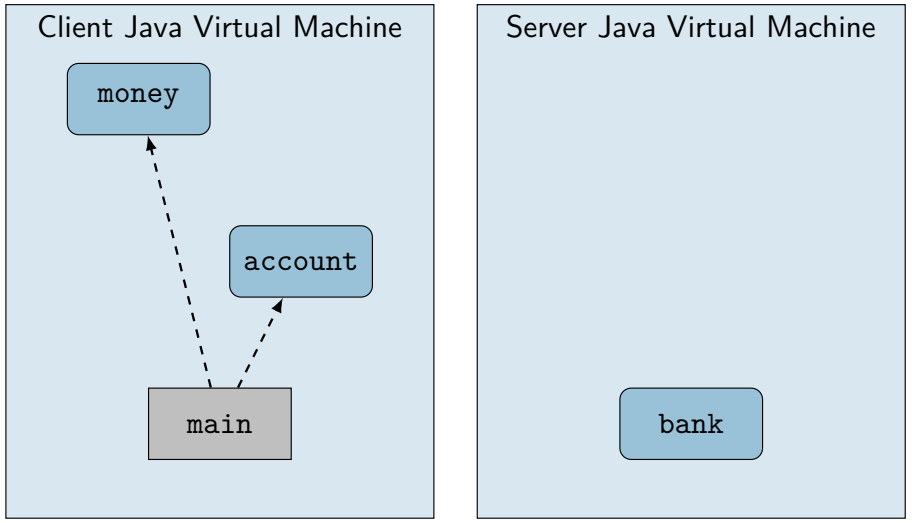
```
public class VSBankServer {
    public static void main(String[] args) throws Exception {
        // Remote-Objekt erzeugen
        VSBank bankImpl = new VSBankImpl();

        // Remote-Objekt exportieren
        VSBank bank = (VSBank)
               UnicastRemoteObject.exportObject(bankImpl, 0);

        // Remote-Objekt bekannt machen
        Registry registry =
                 LocateRegistry.createRegistry(12345);
        registry.bind("bank", bank);
    }
}
```

Java RMI – Beispiel — Client

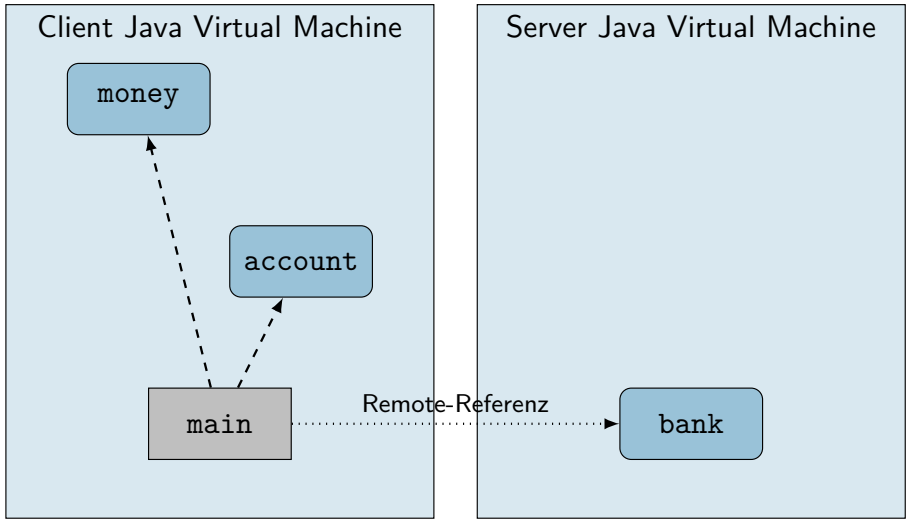
- Client-Implementierung `VSBankClient`

```
public class VSBankClient {
    public static void main(String[] args) throws Exception {
        // Geldbetrag-Objekt anlegen
        VSMoney money = new VSMoney(10.0f);

        // Account anlegen und exportieren
        VSAccount accountImpl = new VSAccountImpl(100.0f);
        VSAccount account = (VSAccount)
             UnicastRemoteObject.exportObject(accountImpl, 0);

        // Remote-Referenz holen (Annahme: Server auf faui05a)
        Registry registry =
                 LocateRegistry.getRegistry("faui05a", 12345);
        VSBank bank = (VSBank) registry.lookup("bank");

        // Geld einzahlen
        bank.deposit(money, account);

        System.exit(0);
    }
}
```

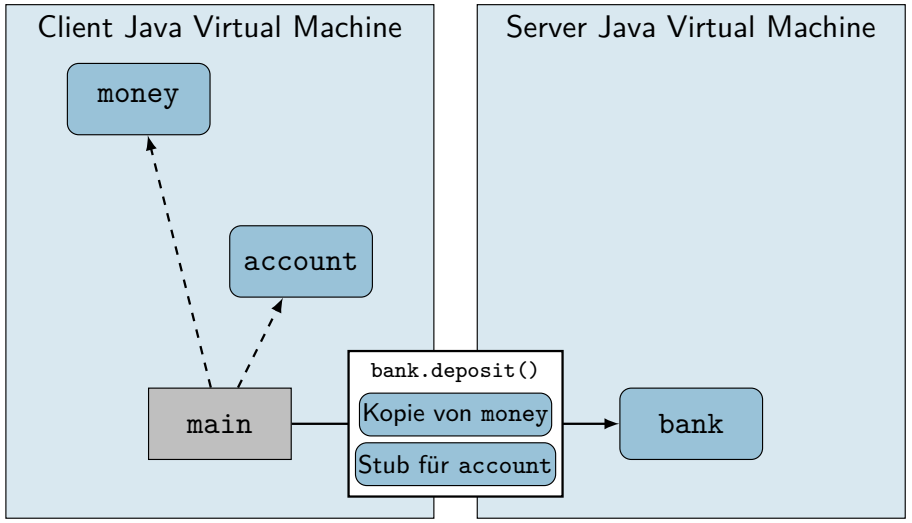
- Ausgangssituation vor Registry-Zugriff des Client



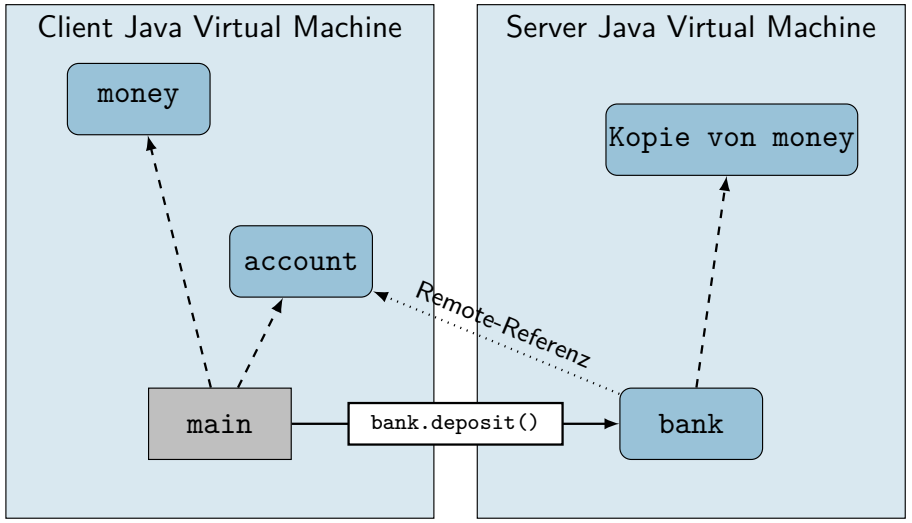
- Remote-Referenz auf `bank` von Registry holen



- Methodenaufruf von `bank.deposit()`

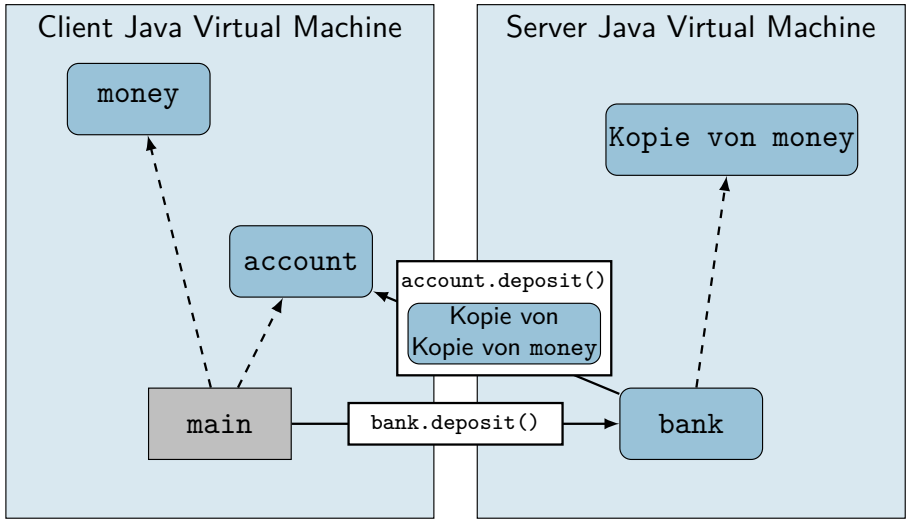


- Nach dem Auspacken der Parameter



Java RMI – Beispiel

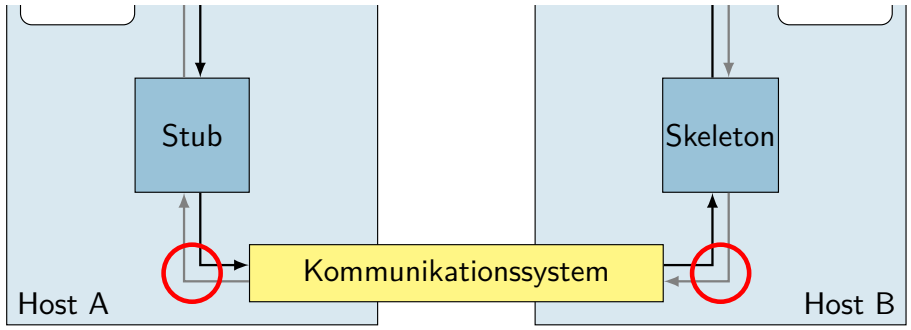
- Methodenaufruf von `account.deposit()`



Überblick

Marshalling und Unmarshalling

- Definition
  - *Marshalling*: Verpacken von Informationen in einer Nachricht
  - *Unmarshalling*: Auspacken von Informationen aus einer Nachricht
- Problemstellungen
  - Unterschiedliche Datentypen
  - Heterogenität bei der lokalen Repräsentation von Datentypen



Unterschiedliche Datentypen

- Primitive Datentypen
  - z. B. `char`, `boolean`, `int`,...
- Benutzerdefinierte Datentypen
  - z. B. `classes`
- Felder
  - z. B. `int[47]`
- Referenzen
  - z. B. `Object ref = new Object(); Object refDup = ref;`
- Ressourcen
  - z. B. `Strings`, `Threads`, Dateien,...
- ...

⇒ **Kein allgemeines Vorgehen möglich**

Heterogenität

- „Byte Sex“-Problem
  - Big Endian (Network Byte Order)
    - Most-significant byte first
    - z. B. SPARC, Motorola
  - Little Endian
    - Least-significant byte first
    - z. B. Intel x86
- Repräsentation von Fließkommazahlen
  - Allgemein
    - Vorzeichen (s)
    - Mantisse (m)
    - Exponent (e)
    - Zahlenwert: $(-1)^s * m * 2^e$
  - Variationsmöglichkeiten
    - Anzahl der Bits für m und e
    - Speicherreihenfolge von m, e und s
    - Byte-Order

Heterogenität — Lösungsvarianten

- Kanonische Repräsentation
  - Nutzung einer allgemeingültigen Form als Zwischenrepräsentation
  - z. B. IEEE-Standard

  ⇒ Eventuell unnötige Konvertierungen

  [z. B. wenn Sender und Empfänger identische Repräsentation nutzen]
- „Sender makes it right“
  - Sender kennt Datenrepräsentation des Empfängers
  - Sender konvertiert Daten

  ⇒ Multicast an heterogene Gruppe nicht möglich
- „Receiver makes it right“
  - Kennzeichnung des Datenformats
  - Empfänger konvertiert Daten

  ⇒ Bereitstellung sämtlicher Konvertierungsroutinen notwendig

  [Unproblematisch für Byte-Order-Konvertierung]

Serialisierung & Deserialisierung in Java

- Primitive Datentypen
  - Hilfsklasse `java.nio.ByteBuffer`

```
public abstract class ByteBuffer [...] {
    public static ByteBuffer allocate(int capacity);
    public static ByteBuffer wrap(byte[] array);
    public byte[] array();
    public ByteBuffer put<Datentyp>(<Datentyp> value);
    public <Datentyp> get<Datentyp>();
    [...]
}
```

  - `allocate()` Anlegen eines neuen (leeren) Byte-Array
  - `wrap()` Verwendung eines bestehenden Byte-Array
  - `array()` Rückgabe des vom Puffer verwendeten Byte-Array
  - `put*(), get*()` Einfügen bzw. Lesen von Daten aus dem Puffer
  - Beispiel: {S,Des}erialisierung eines `double`-Werts

```
double d = 0.47;
ByteBuffer buffer1 = ByteBuffer.allocate(Double.SIZE / 8);
buffer1.putDouble(d);
byte[] byteArray = buffer1.array();

ByteBuffer buffer2 = ByteBuffer.wrap(byteArray);
double d2 = buffer2.getDouble();
```

Serialisierung & Deserialisierung in Java

- Objekte
  - Objekt ⇔ Stream: `java.io.Object{Out,In}putStream`

```
public class ObjectOutputStream [...] {
    public ObjectOutputStream(OutputStream out);
    public void writeObject(Object obj); // Objekt
    [...]                                // serialisieren
}
```

```
public class ObjectInputStream [...] {
    public ObjectInputStream(InputStream in);
    public Object readObject(); // Objekt deserialisieren
    [...]
}
```

  - Stream ⇔ Byte-Array: `java.io.ByteArray{Out,In}putStream`

```
public class ByteArrayOutputStream extends OutputStream {
    public byte[] toByteArray(); // Rueckgabe des Byte-Array
    [...]
}
public class ByteArrayInputStream extends InputStream {
    public ByteArrayInputStream(byte buf[]);
    [...]
}
```

Serialisierung & Deserialisierung in Java

- Schnittstellen
  - Automatisierte {S,Des}erialisierung: `java.io.Serializable`
    - Muss von jedem Objekt implementiert werden, das von einem `Object{Out,In}putStream` serialisiert bzw. deserialisiert werden soll
    - Marker-Schnittstelle → keine zu implementierenden Methoden

⇒ {S,Des}erialisierung wird vom `Object{Out,In}putStream` übernommen

  - Manuelle {S,Des}erialisierung: `java.io.Externalizable`
    - Klassenspezifische {S,Des}erialisierung

```
public interface Externalizable extends Serializable {
    void writeExternal(ObjectOutput out);
    void readExternal(ObjectInput in);
}
```

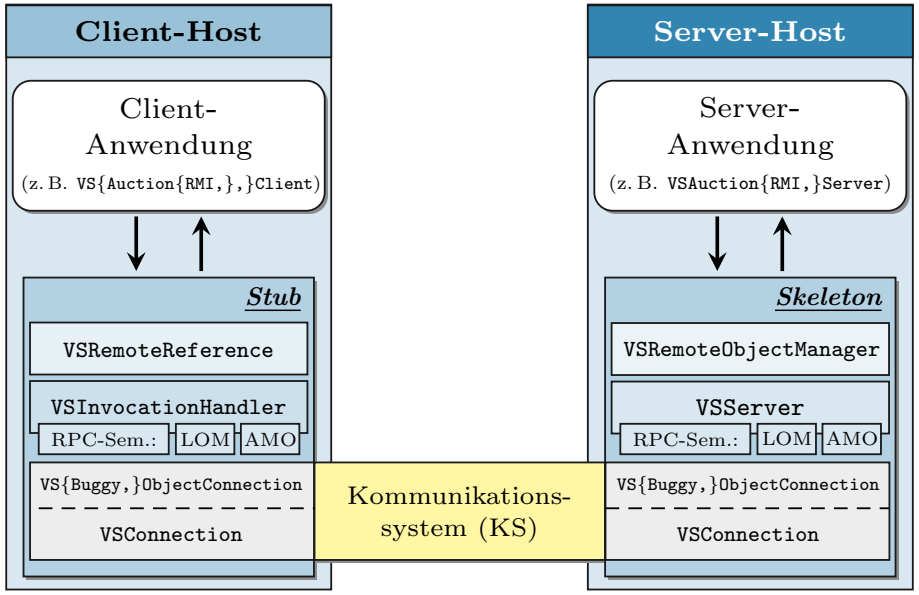
    - `writeExternal()` Objekt serialisieren
    - `readExternal()` Objekt deserialisieren
    - Objekt muss öffentlichen Konstruktor ohne Argumente bereitstellen

⇒ {S,Des}erialisierung wird vom Objekt selbst übernommen

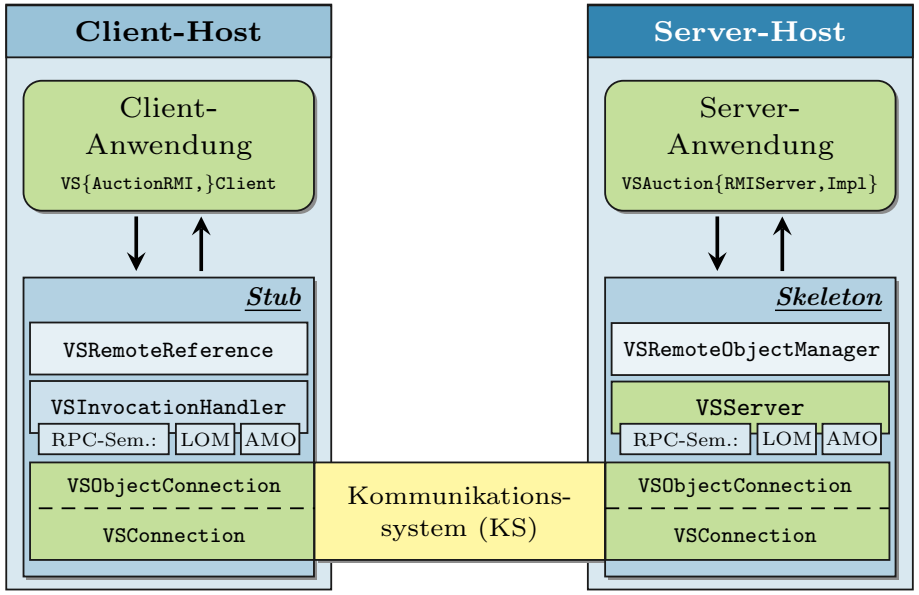
Überblick

Java RMI
- Java Remote Method Invocation
- Marshalling und Unmarshalling
- Aufgabe 1

Gesamtüberblick (Übungsaufgaben 1 bis 3)



Übungsaufgabe 1



Programmieren mit Java RMI

- Beispielanwendung: Auktionsdienst

```
public interface VSAuctionService {
  public void registerAuction(VSAuction auction, int duration,
            VSAuctionEventHandler handler) throws VSAuctionException;
  public VSAuction[] getAuctions();
  public boolean placeBid(String userName, String auctionName, int price,
            VSAuctionEventHandler handler) throws VSAuctionException;
}
public interface VSAuctionEventHandler {
  public void handleEvent(VSAuctionEventType event, VSAuction auction);
}
```

  - `registerAuction()` Registrieren einer neuen Auktion
  - `getAuctions()` Abfragen aller laufenden Auktionen
  - `placeBid()` Neues Gebot für eine laufende Auktion abgeben
- Verteilung mittels Java RMI
  - Server
    - Bereitstellung der Anwendung als Remote-Objekt
    - Bekanntmachen des Diensts bei einer Registry
  - Client
    - Zugriff auf den Dienst über Fernaufrufe
    - Interaktion mit dem Nutzer per Kommandozeile

Implementierung der Kommunikationsschicht

- Übertragung von Datenpaketen

```
public class VSConnection {
    public void sendChunk(byte[] chunk);
    public byte[] receiveChunk();
}
```

  - Übermittlung von Daten über eine TCP-Verbindung
  - Senden und Empfangen von Byte-Arrays beliebiger Länge
- Übertragung von Objekten

```
public class VSObjectConnection {
    public void sendObject(Serializable object);
    public Serializable receiveObject();
}
```

  - Senden und Empfangen von beliebigen Objekten
  - Marshalling und Unmarshalling von Nachrichten

Optimierte {S,Des}erialisierung

- Ziel

  Minimierung der über das Netzwerk zu übertragenden Daten
- Ausgangspunkt
  - Analyse der vom `ObjectOutputStream` erzeugten Daten
  - Beispielklasse

```
public class VSTestMessage implements Serializable {
    private int integer;
    private String string;
    private Object[] objects;
}
```

- Reduzierung der benötigten Datenmenge
  - Anwendung der Schnittstelle `Externalizable`
  - Manuelle Implementierung der {S,Des}erialisierungmethoden
- Hinweis: Ausgabe eines Byte-Array als Zeichenkette in Eclipse

```
byte[] chunk = [...];
System.out.println(new String(chunk, "COMPOUND_TEXT"));
```