

Verteilte Systeme – Übung

Aufgabe 1: Java RMI

Sommersemester 2025

Harald Böhm, Christian Berger, Tobias Distler

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Informatik 4 (Systemsoftware)

<https://sys.cs.fau.de>



Lehrstuhl für Informatik 4
Systemsoftware



Friedrich-Alexander-Universität
Technische Fakultät

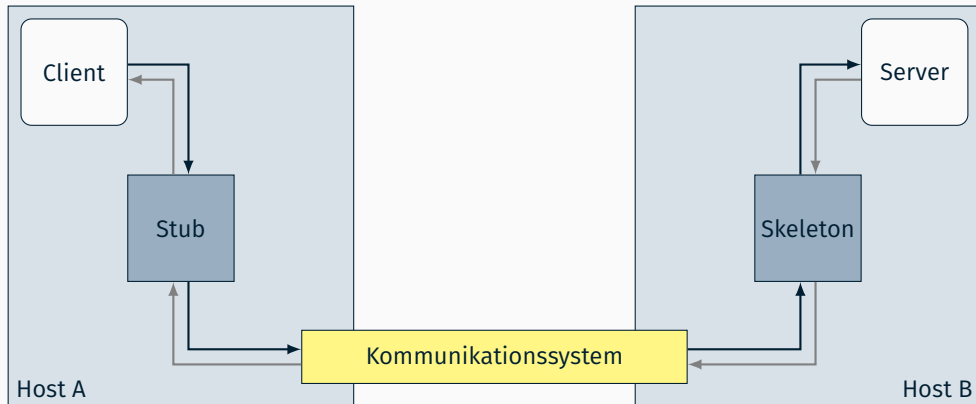
Aufgabe 1: Java RMI

Java Remote Method Invocation

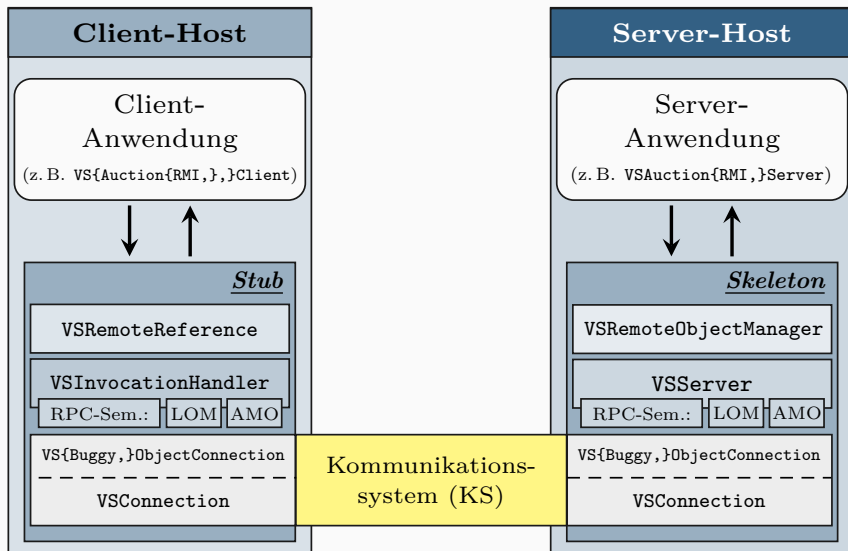
Beispiel

Marshalling und Unmarshalling

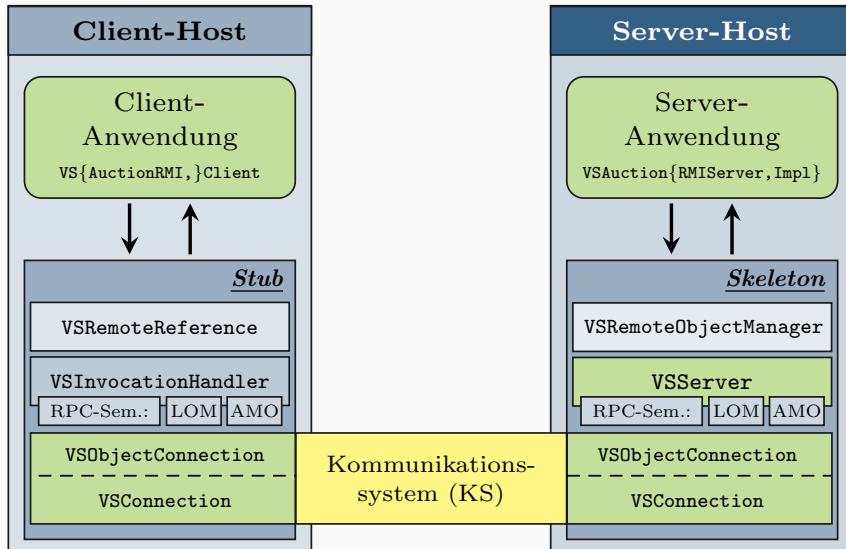
- Entwicklung eines eigenen Fernaufrufsystems
- Orientierung an Java RMI



Gesamtüberblick (Übungsaufgaben 1 bis 3)



Übungsaufgabe 1



■ 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

■ Übertragung von Datenpaketen

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

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

■ Übertragung von Objekten

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

- Senden und Empfangen von beliebigen Objekten
- Marshalling und Unmarshalling

- 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}erialisierungsmethoden
- Hinweis: Ausgabe eines Byte-Array als Zeichenkette in Eclipse

```
byte[] chunk = [...];  
System.out.println(new String(chunk).replace("\0", "\ufffd"));
```

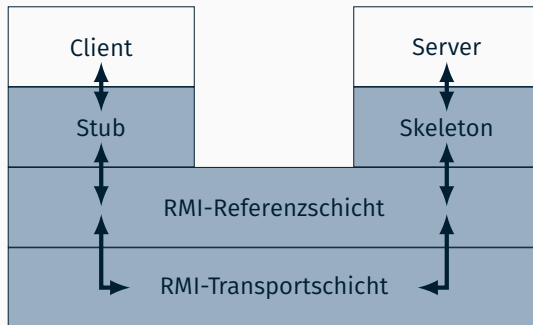
Java Remote Method Invocation

■ Remote Method Invocation (RMI)

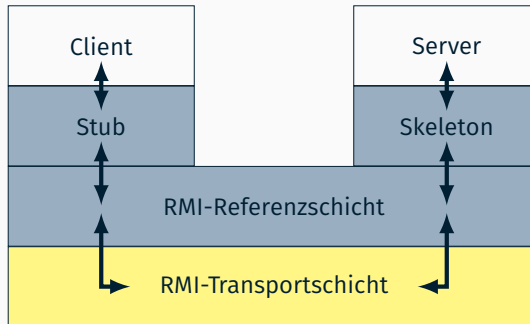
- Aufrufe von Methoden an Objekten auf anderen Rechnern
- *Remote-Referenz*: Transparente Objektreferenz zu entferntem Objekt

```
// Lokaler Aufruf  
localReference.method();  
// Fernaufruf  
remoteReference.method();
```

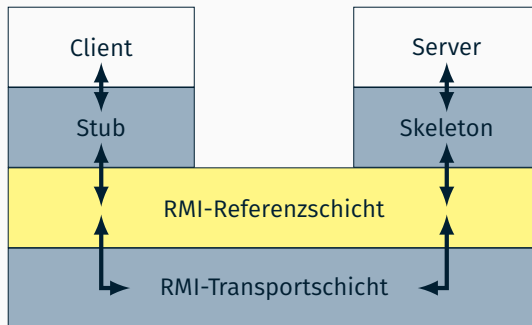
■ Beispiel: Java RMI



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



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

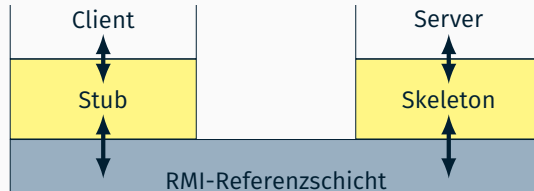


■ Stub

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



■ Remote-Objekt (entferntes Objekt)

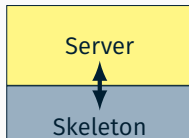
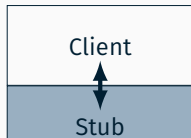
- Kann aus einer anderen Java Virtual Machine heraus genutzt werden
- Erst von außerhalb erreichbar, nachdem es **exportiert** wurde

■ 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`)

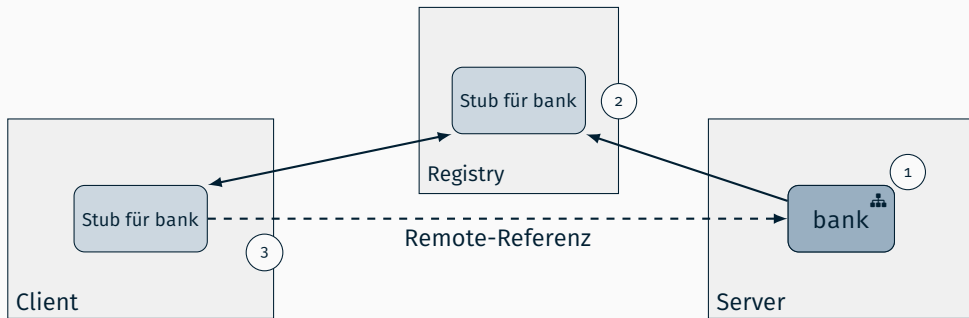
- Muss im `throws`-Clause jeder Remote-Methode angegeben sein
- Beim Auftreten einer Remote-Exception weiß der Aufrufer nicht, ob die Methode komplett, teilweise oder gar nicht ausgeführt wurde



Java Remote Method Invocation

Beispiel

1. Exportieren
 - Lokales Objekt als Remote-Objekt exportieren
2. Bekannt machen
 - Remote-Objekt über eine Registry bekannt machen
 - (**oder**) Remote-Objekt direkt verschicken
3. Ausführen
 - Fernaufruf auf Remote-Referenz ausführen



■ 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;  
}
```

- 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);
```

- 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);
    }
}
```

■ 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

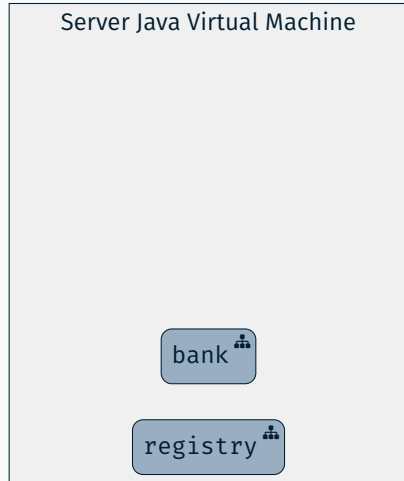
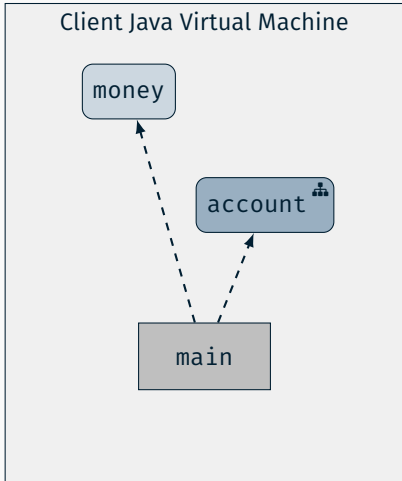
- Server-Implementierung VSBankServer
 - Erzeugen des Remote-Objekts
 - Exportieren des Remote-Objekts
 - Remote-Objekt mittels Registry bekannt machen

```
public class VSBankServer {  
    public static void main(String[] args) throws Exception {  
        // Remote-Objekt erzeugen  
        VSBank bankImpl = new VSBankImpl();  
  
        // Remote-Objekt auf Port 12678 exportieren  
        VSBank bank = (VSBank) UnicastRemoteObject.exportObject(bankImpl, 12678);  
  
        // Remote-Objekt bekannt machen  
        Registry registry = LocateRegistry.createRegistry(12345);  
        registry.bind("bank", bank);  
  
        // Prozess weiterlaufen lassen  
        Thread.sleep(Long.MAX_VALUE);  
    }  
}
```

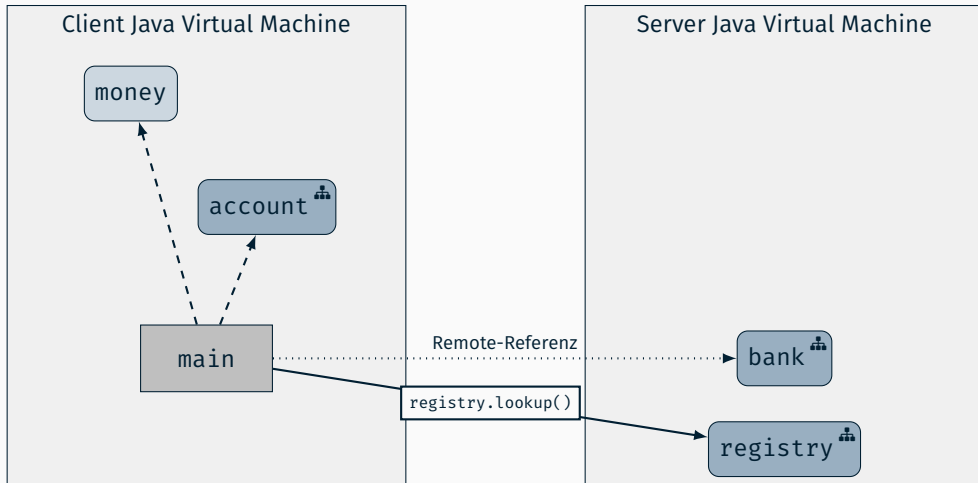
■ Client-Implementierung VSBankClient

```
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);  
        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, accountImpl);  
  
        // Account freigeben  
        UnicastRemoteObject.unexportObject(accountImpl, true);  
    }  
}
```

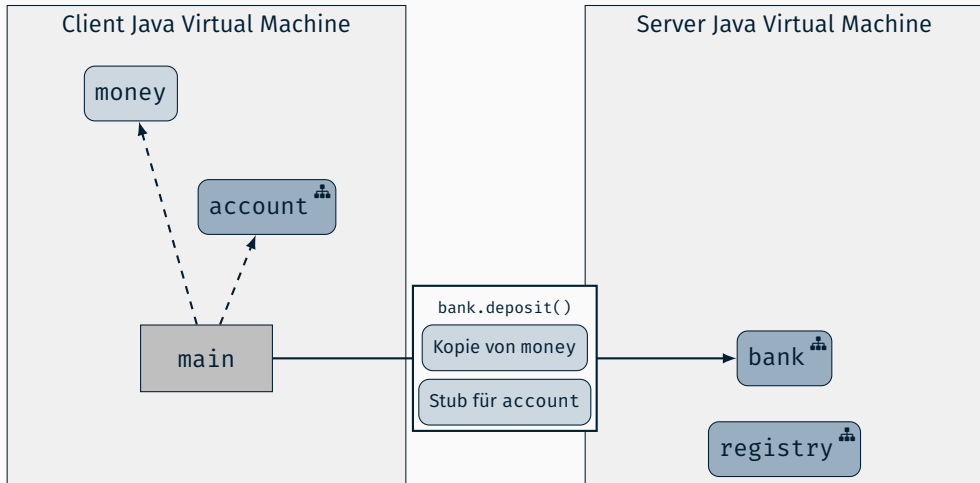
- Ausgangssituation vor Registry-Zugriff des Client



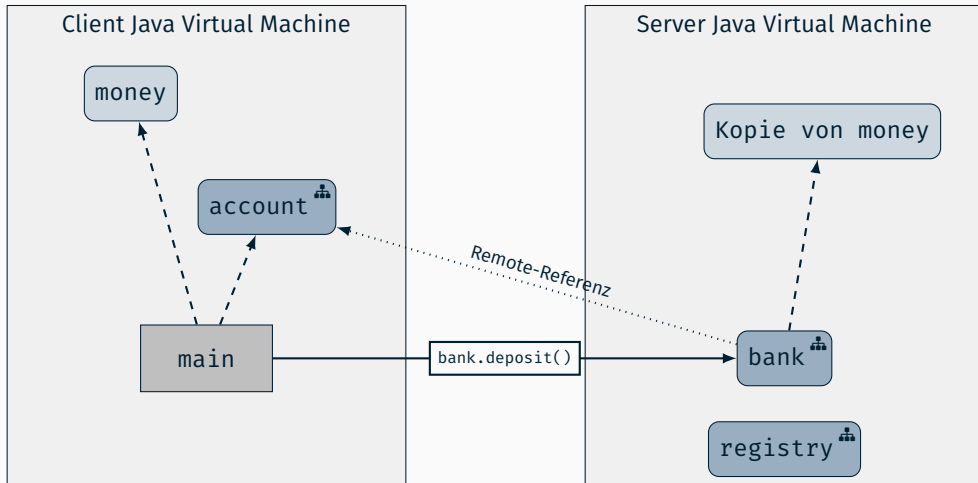
- Remote-Referenz auf bank von Registry holen

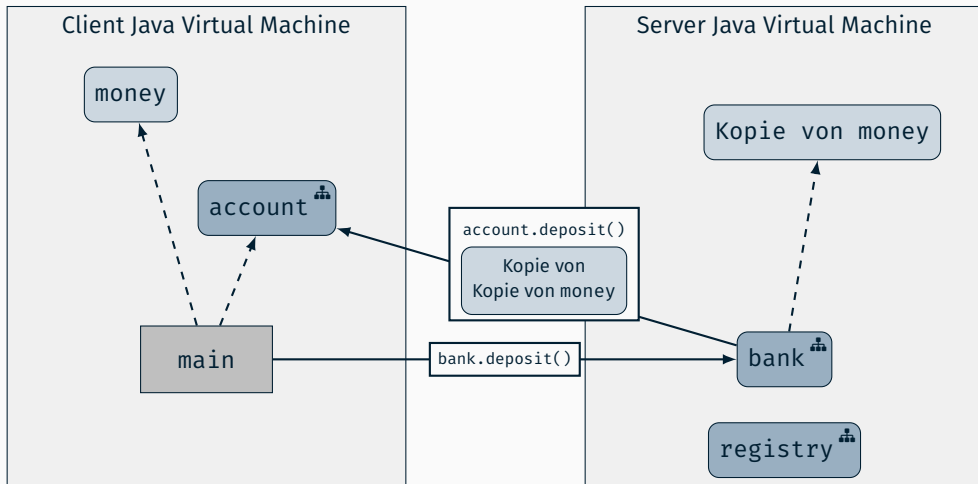


■ Methodenaufruf von `bank.deposit()`



- Nach dem Auspacken der Parameter



■ Methodenaufwurf von `account.deposit()`

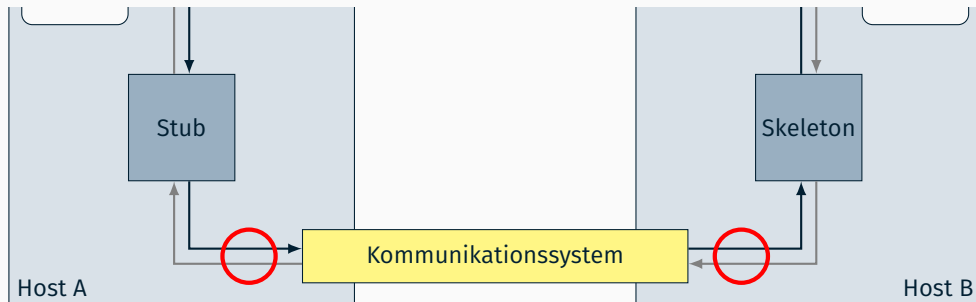
Marshalling und Unmarshalling

■ 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], Strings
- Referenzen
 - z.B. `Object ref = new Object(); Object refDup = ref;`
- Ressourcen
 - z.B. Threads, Dateien, Sockets, ...
- ...

⇒ **Kein allgemeines Vorgehen möglich**

■ Byte-Reihenfolgeproblem

- 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

■ Beispiel

- $12345 =$ 0x 30 39
- Big Endian: 00 00 30 39
- Little Endian: 39 30 00 00

■ 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]

■ 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.BYTES);  
buffer1.putDouble(d);  
byte[] byteArray = buffer1.array();
```

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

■ 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[]);  
    [...]  
}
```

- 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

- Einige Attribute einer Klasse sollen nicht serialisiert werden
 - Sicherheitsaspekte
 - Effizienzüberlegungen
- Einige Objekte können nicht serialisiert & deserialisiert werden, da sich ihr Zustand nicht so ohne weiteres wiederherstellen lässt
 - FileInputStream
 - Socket, ServerSocket
 - Thread

⇒ Schlüsselwort `transient`

- Mit `transient` gekennzeichnete Attribute werden bei der automatischen {S,Des}erialisierung vom `Object{Out,In}putStream` ignoriert
- Beispiel

```
public class TransientExample implements Serializable {  
    private transient Thread t = new Thread();  
}
```