

Replikation

Grundlagen der Replikation

JGroups

Übungsaufgabe 5



■ Varianten

■ Aktive Replikation („Hot Standby“)

- Alle Replikate bearbeiten alle Anfragen
- Vorteil: Schnelles Tolerieren von Ausfällen möglich
- Nachteil: Vergleichsweise hoher Ressourcenverbrauch

■ Passive Replikation

- Ein Replikat bearbeitet alle Anfragen
- Aktualisierung der anderen Replikate erfolgt über Sicherungspunkte
- Unterscheidung: „Warm Standby“ vs. „Cold Standby“
- Vorteil: Minimierung des Aufwands im fehlerfreien Fall
- Nachteil: Im Fehlerfall schlechtere Reaktionszeit als bei aktiver Replikation

■ Replikationstransparenz

- Nutzer auf Client-Seite merkt nicht, dass der Dienst repliziert ist
- Replikatausfälle werden dem Nutzer verborgen



Aktive Replikation von Diensten

■ Zustandslose Dienste

- Keine Koordination zwischen Replikaten notwendig
- Auswahl des ausführenden Replikats z. B. nach Last- oder Ortskriterien

■ Zustandsbehaftete Dienste

- Replikatzustände müssen konsistent gehalten werden
- Beispiel für inkonsistente Zustände zweier Replikate R_0 und R_1
 - put()-Anfragen A_1 („MyKey“, „42“) und A_2 („MyKey“, „0“) von verschiedenen Nutzern
 - Annahme: A_0 erreicht R_0 früher als A_1 , bei R_1 ist es umgekehrt

R_0	Key-Value-Speicher	R_1	Key-Value-Speicher
< <i>init</i> >	[]	< <i>init</i> >	[]
A_0	[(„MyKey“, „42“)]	A_1	[(„MyKey“, „0“)]
A_1	[(„MyKey“, „0“)]	A_0	[(„MyKey“, „42“)]

■ Sicherstellung der Replikatkonsistenz

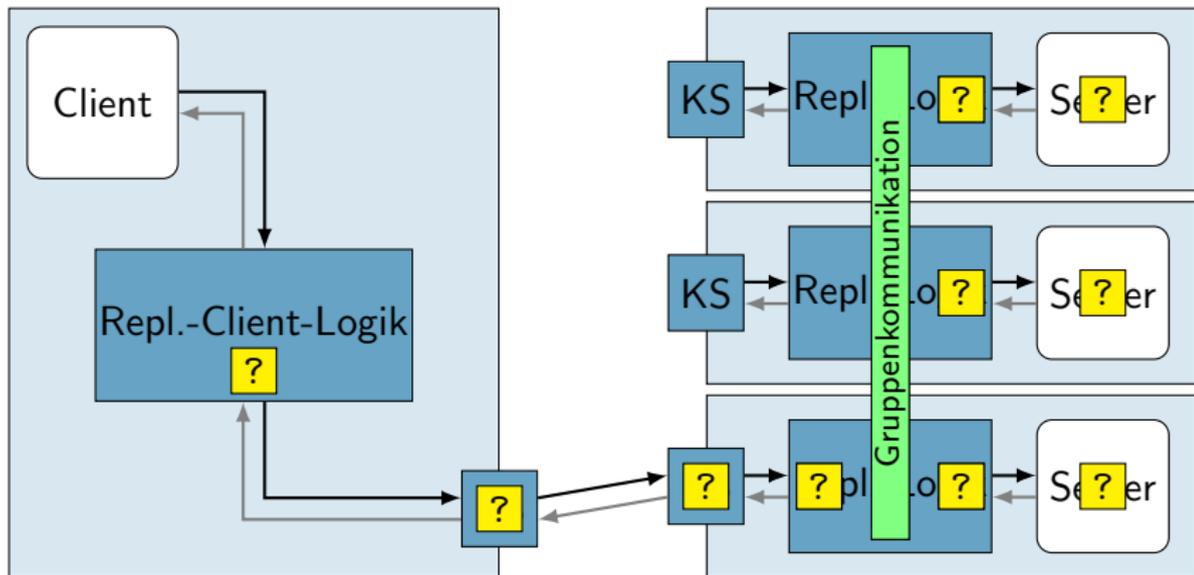
- Alle Replikate müssen Anfragen in derselben Reihenfolge bearbeiten
- Protokoll/Dienst zur Erstellung einer Anfragenreihenfolge nötig



Aktive Replikation von Diensten

■ Weg der Anfrage

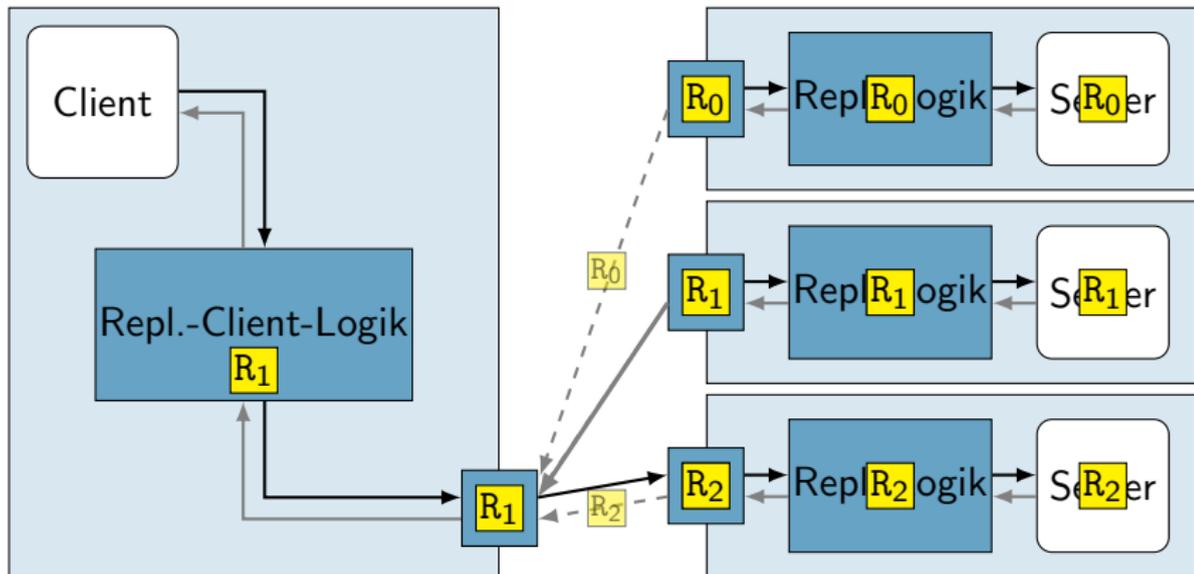
- Senden der Anfrage an ein Replikat
- Verteilen der Anfrage (z. B. durch ein Gruppenkommunikationssystem)
- Bearbeitung der Anfrage auf allen Replikaten



Aktive Replikation von Diensten

■ Weg der Antwort

- Alle Replikate senden ihre Antwort zum Client
- Im einfachsten Fall: Client akzeptiert schnellste zurückgelieferte Antwort



Konsistenz von Replikaten

- Voraussetzung für aktive Replikation: Anwendungsreplikate müssen dieselbe *deterministische Zustandsmaschine* realisieren
 - Identische Ausgangszustände
 - Identische Eingaben [→ Anfragen in derselben Reihenfolge.]
 - ⇒ Identische Zustandsänderungen
 - ⇒ Identische Ausgaben
- Herausforderungen
 - Mehrfädige Programme
 - Zutrittsreihenfolge von kritischen Abschnitten kann unterschiedlich sein
 - Ansatz: Zusätzliche Koordinierung zwischen Replikaten notwendig
 - Nichtdeterministische Systemaufrufe
 - Beispiele: `System.currentTimeMillis()`, `Math.random()`
 - Ansatz: Einigung auf gemeinsamen Wert
 - Seiteneffekte bzw. externalisierte Ereignisse
 - Beispiel: Anwendung greift auf externe Dienste zu [z. B. Rückruf am `VSAuctionEventHandler`]
 - Ansatz: Ein Replikat macht Aufruf, Ergebnisweitergabe an die anderen
 - ...



Replikation

Grundlagen der Replikation

JGroups

Übungsaufgabe 5



- Bereitstellung von *Virtual Synchrony*
 - Zusammenschluss von Knoten zu Gruppen
 - Senden von Nachrichten an die Gruppe (anstatt an jeden Knoten einzeln)
 - Alle Knoten erhalten jede
 - an die Gruppe versendete Nachricht
 - gruppeninterne Statusmeldungin derselben Reihenfolge

→ Alle Knoten einer Gruppe machen (vermeintlich) synchron Fortschritt
- Grundlegende Dienste
 - Membership-Service
 - Total-Ordering-Multicast
 - Zustandstransfer-Mechanismus
- Beispiele
 - **JGroups** [<http://www.jgroups.org/index.html>]
 - Spread
 - ...



- Problemstellungen
 - Zusammensetzung einer Gruppe kann dynamisch variieren
 - Knoten kommen neu hinzu
 - Knoten verlassen die Gruppe
 - Fehlersituationen
 - Verbindungsabbruch zu einzelnen Knoten
 - Gruppenpartitionierung
- Aufgabe des Membership-Service

Benachrichtigung aller Gruppenmitglieder über die gegenwärtige Zusammensetzung der Gruppe
- JGroups: Schnittstelle `org.jgroups.MembershipListener`
 - Benachrichtigung über Gruppenänderungen

```
void viewAccepted(View new_view);
```
 - Mitteilung eines Ausfallverdachts

```
void suspect(Address suspected_mbr);
```



- Aktuelle Sicht auf die Gruppe
 - Liste aller aktiven Gruppenmitglieder
 - Problem
 - Keine gemeinsame Zeitbasis
 - Was bedeutet also „aktuell“?
 - Lösung
 - Änderung der Gruppenzusammensetzung: Erzeugung einer neuen View
 - Aktuelle Teilnehmer einigen sich auf die neue View
- ⇒ Abfolge von Views fungiert als gemeinsame Zeitbasis
-
- JGroups: Klasse `org.jgroups.View`
 - Ausgabe der Gruppenmitglieder

```
List<Address> getMembers();
```
 - Ausgabe der Gruppengröße

```
int size();
```



- Problemstellung
 - Clients sollen ihre Anfragen an einen beliebigen Server senden können
 - Alle Server müssen alle Anfragen in derselben Reihenfolge bearbeiten
 - Bewahrung konsistenter Server-Zustände
 - Bereitstellung konsistenter Antworten (z. B. für Fehlertoleranz)
- Total-Ordering-Multicast: Alle aktiven Knoten einer Gruppe bekommen alle Nachrichten in derselben Reihenfolge zugestellt
 - Interne Algorithmen, die
 - jeder Nachricht eine eindeutige Sequenznummer zuweisen → totale Ordnung
 - sicherstellen, dass jeder aktive erreichbare Knoten jede Nachricht erhält
 - dafür sorgen, dass jeder Knoten die Nachrichten in der richtigen Reihenfolge an die Anwendung weiter gibt
 - Hinweis

Jede Nachricht wird an **alle** Gruppenmitglieder zugestellt; also auch an den Knoten, der die Nachricht ursprünglich gesendet hat



- Klasse `org.jgroups.Message`
 - Kapselung der eigentlichen Nutzdaten
 - Container für Protokoll-Header
 - Konstruktoren

```
Message(Address dst);  
Message(Address dst, Address src, Object obj);  
[...]
```

- `dst` Zieladresse; falls `null` → alle
- `src` Ursprungsadresse; falls `null` → durch JGroups ausgefüllt
- `obj` Nutzdaten als Payload

- Wichtigste Methoden

```
Object getObject();  
Message copy();
```

- `getObject()` Getter-Methode für Payload
- `copy()` Erzeugung einer Kopie der Nachricht



■ Klasse `org.jgroups.JChannel`

■ Konstruktoren

```
JChannel() // Standardkonfiguration
JChannel(File properties) // XML-Datei
JChannel(String properties) // Konfig. als Zeichenkette
```

■ Wichtigste Methoden

- Verbindungsaufbau zur Gruppe `cluster_name`

```
void connect(String cluster_name);
```

- Diverse Getter-Methoden

```
Address getAddress() // Eigene Adresse
String getClusterName() // Gruppenname
View getView() // Aktuelle View
```

- Nachrichtenversand

```
void send(Message msg)
void send(Address dst, Object obj)
```

Hinweis: Senden einer Nachricht an alle → `dst = null` setzen



Nachrichteneingang: Kombinierte Listener & Adapter

- Kombinierte Schnittstelle: `org.jgroups.Receiver`

```
public interface Receiver extends MembershipListener,  
                             MessageListener {}
```

- Erweiterte Adapterklasse: `org.jgroups.ReceiverAdapter`
 - Implementiert (unter anderem) `Receiver`
 - Eigene `Receiver`-Klasse als Unterklasse von `ReceiverAdapter`

- Beispiel

```
public class VSReceiver extends ReceiverAdapter {  
    public void receive(Message msg) { // <- MessageListener  
        System.out.println("received message " + msg);  
    }  
  
    public void viewAccepted(View newView) { // <- MembershipListener  
        System.out.println("received view " + newView);  
    }  
}
```

- Registrierung am `JChannel`

```
void setReceiver(Receiver r);
```



- Problem
 - Knoten bearbeiten alle Anfragen, um ihre Zustände konsistent zu halten
 - Was ist mit Knoten, die
 - später hinzu kommen, also nicht alle Anfragen kennen
 - mit der Bearbeitung der Anfragen nicht hinterher kommen oder
 - aufgrund eines Fehlers über kaputte Zustandsteile verfügen?
- Lösung: Unterstützung von Zustandstransfers
 - Mit Hilfe der Gruppenkommunikation wird dafür gesorgt, dass ein Knoten (z. B. beim Gruppenbeitritt) eine Kopie des aktuellen Zustands erhält
 - Der aktuelle Zustand stammt von einem Knoten aus der Gruppe



Zustandstransfer (mit Hilfe von JGroups)

■ Zusätzliche Methoden des MessageListener

■ Bereitstellung des eigenen Zustands

```
void getState(OutputStream output) throws Exception;
```

■ Setzen des lokalen Zustands

```
void setState(InputStream input) throws Exception;
```

■ Außerdem: Holen des Zustands eines anderen Replikats (JChannel)

```
void getState(Address target, long timeout) throws Exception;
```

■ Generelle Schritte

1. Konsistentes Holen des Zustands von existierendem Replikat (getState())

↪ Holen des Zustands am besten vom Koordinator mittels

```
channel.getState(null, 0L);
```

- Blockiert so lange, bis setState() den Zustand zugestellt hat
- Achtung: setReceiver()-Aufruf sollte vorher geschehen sein, da getState()-Aufruf sonst unendlich lange blockiert

2. Übertragen des Zustands (→ JGroups)

3. Konsistentes Einspielen des Zustands beim Zielreplikat (setState())



Replikation

Grundlagen der Replikation

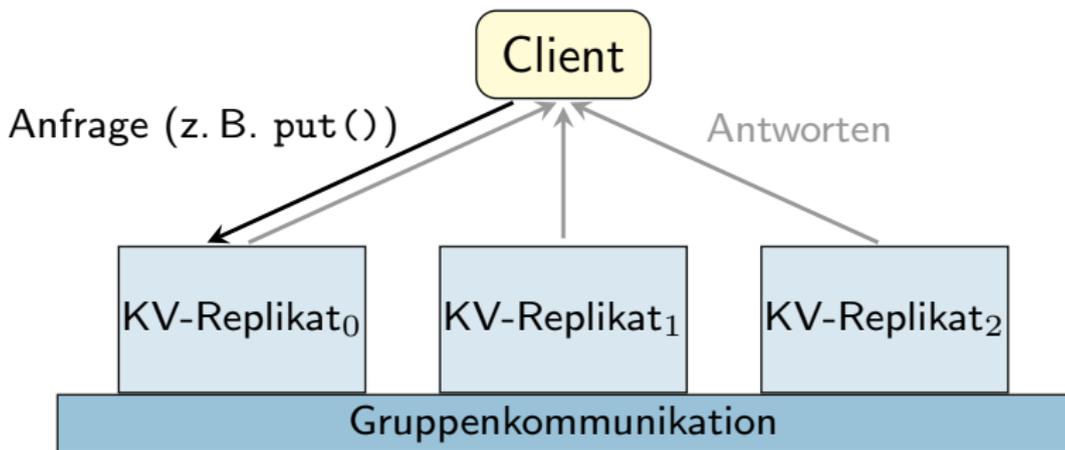
JGroups

Übungsaufgabe 5



Übungsaufgabe 5: Überblick

- Basisfunktionalität (für alle)
 - Implementierung eines Schlüssel-Wert-Speichers (engl. key-value store)
 - Replikation des Speicherdiensts
 - Implementierung und Ausfallsicherung der Client-Seite
- Erweiterte Variante (optional für 5,0 ECTS)
 - Verifizierung von Ergebnissen
 - Neustarten eines Replikats nach dessen Ausfall



```
public class VSKeyValueClient {
    // Basisfunktionalitaet
    public void put(String key, String value) throws RemoteException;
    public String get(String key) throws VSKeyValueException,
        RemoteException;

    public void delete(String key) throws RemoteException;
    public long exists(String key) throws RemoteException;

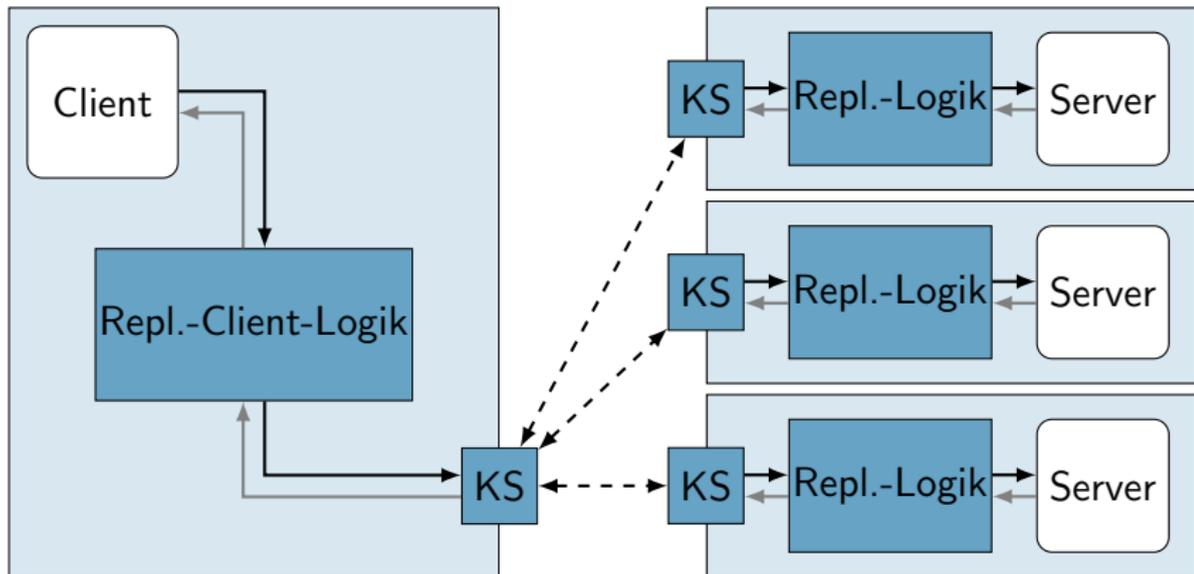
    // Erweiterte Variante (optional fuer 5,0 ECTS)
    public long reliableExists(String key, int threshold)
        throws RemoteException;
}
```

- put() (Über-)Schreiben eines Werts value unter Schlüssel key
- get() Abfragen des Datensatzes mit dem Schlüssel key
- delete() Löschen des Datensatzes mit dem Schlüssel key
- exists() Prüfen der Existenz eines Schlüssels und ggf. Rückgabe des Zeitstempels der Erstellung oder letzten Aktualisierung
- reliableExists() Wie exists(), Rückgabe des Ergebnisses aber nur, wenn #threshold Replikate dasselbe Ergebnis liefern



Replikation des Speicherdiensts

- Client sendet Anfrage an ein beliebiges Replikat
- Empfang von bis zu #Replikate Antworten



Replikation des Speicherdiensts

- Aktive Replikation des eigenen Fernaufrufsystems
 - Drei Replikate auf verschiedenen Rechnern
 - Alle Replikate bearbeiten alle Anfragen in derselben Reihenfolge
 - Alle Replikate senden ihre Antwort zum Client
- Replikation mittels JGroups
 - JGroups-Bibliothek im Pub-Verzeichnis (/proj/i4vs/pub/aufgabe5)
 - Konfiguration für Total-Ordering-Multicast: Einsatz eines *Sequencer*
 - Legt Reihenfolge der Nachrichten fest und verteilt diese an alle Replikate
 - Zu verteilende Nachrichten werden (intern) an den Sequencer geschickt

```
JChannel channel = new JChannel(); // Kanal erstellen
```

```
// Erweiterung des Standard-Protokoll-Stacks um Sequencer  
ProtocolStack protocolStack = channel.getProtocolStack();  
protocolStack.addProtocol(new SEQUENCER());
```

```
[...] // Receiver registrieren und Verbindung oeffnen
```

- Zugriff auf Message-Header (hier: zusätzlicher Zugriff auf Sequenz-Nr.)

```
long seqNr = ((SequencerHeader) message.getHeader(  
    ClassConfigurator.getProtocolId(SEQUENCER.class))).getSeqno();
```



Client-Server-Kommunikation

- Alle Replikate müssen in der Lage sein, den Client zu erreichen
- Antwortübermittlung von Replikaten zu Clients mittels Rückrufen
- Replikat implementiert `handleRequest()`-Methode, die vom Client (fern-)aufgerufen werden kann

```
public interface VSKeyValueRequestHandler extends Remote {  
    public void handleRequest(VSKeyValueRequest request)  
        throws RemoteException;  
}
```

↳ Mögliche Implementierung:

Remote-Referenz des Client ist Bestandteil der Anfragenachricht

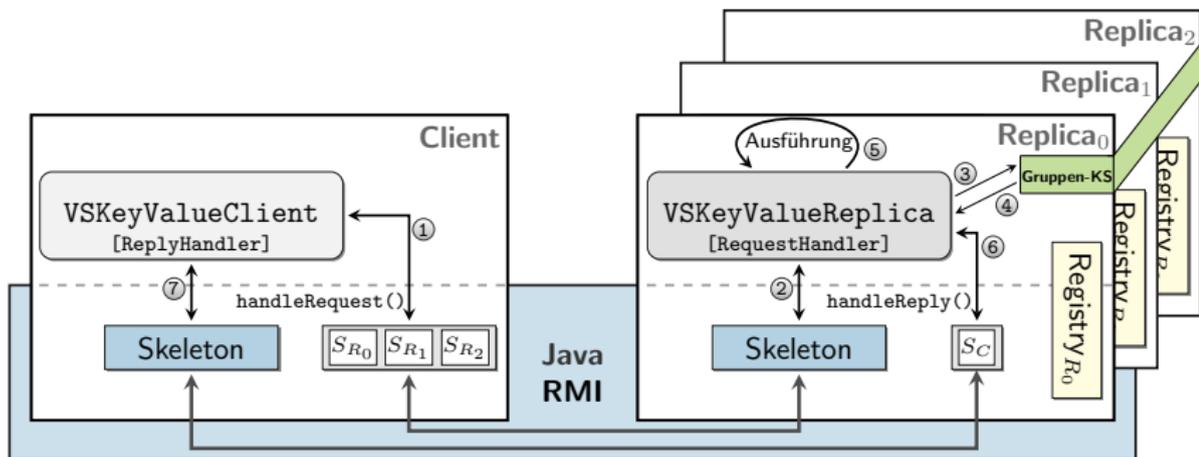
- Client implementiert `handleReply()`-Methode, die von den Replikaten (fern-)aufgerufen werden kann

```
public interface VSKeyValueReplyHandler extends Remote {  
    public void handleReply(VSKeyValueReply reply)  
        throws RemoteException;  
}
```



Client-Server-Kommunikation: Gesamtüberblick

- Methodenfernaufrufe erfolgen über Java RMI
- Jedes Replikat verfügt über eigene (RMI-)Registry
 - Clients erhalten Replikat-Stubs (S_{R_0} , S_{R_1} , S_{R_2}) über jeweilige Registry
- Replikate nutzen jeweiligen Client-Stub (S_C) zur Antwortrückgabe



Referenzierung von Diensten/Replikaten

- Problem: Clients müssen Replikatreferenzen bekanntgemacht werden
→ Bekanntmachen und Festlegen der Adressen (Hostname:Port) der einzelnen Replikat-Registries über dieselbe Datei
- Beispieldatei (Dateiname: replica.addresses)

```
faii00a:12345  
faii00b:12346  
faii00c:12347
```

→ 1. Zeile korrespondiert zu 1. Replikat, 2. Zeile zu 2. Replikat usw.

- Beispielkommandozeilenaufruf
 - Client

```
java -cp <classpath> vsue.replica.VSKeyValueClient replica.addresses
```

- Server (Starten des 1. Replikats → ID: 0 ⇔ 1. Zeile)

```
java -cp <classpath> vsue.replica.VSKeyValueReplica 0 replica.addresses
```



■ Konfiguration

- Granularitätsstufen: OFF, SEVERE, WARNING, INFO, FINE, FINER, ALL,...
- Konfiguration in Datei
- Programmstart

```
java -Djava.util.logging.config.file=<Datei> <Programm>
```

■ Beispiele für Konfigurationsdateien

- Ausgabe der Log-Meldungen auf der Konsole (Stufe: FINE)

```
handlers=java.util.logging.ConsoleHandler  
.level=FINE
```

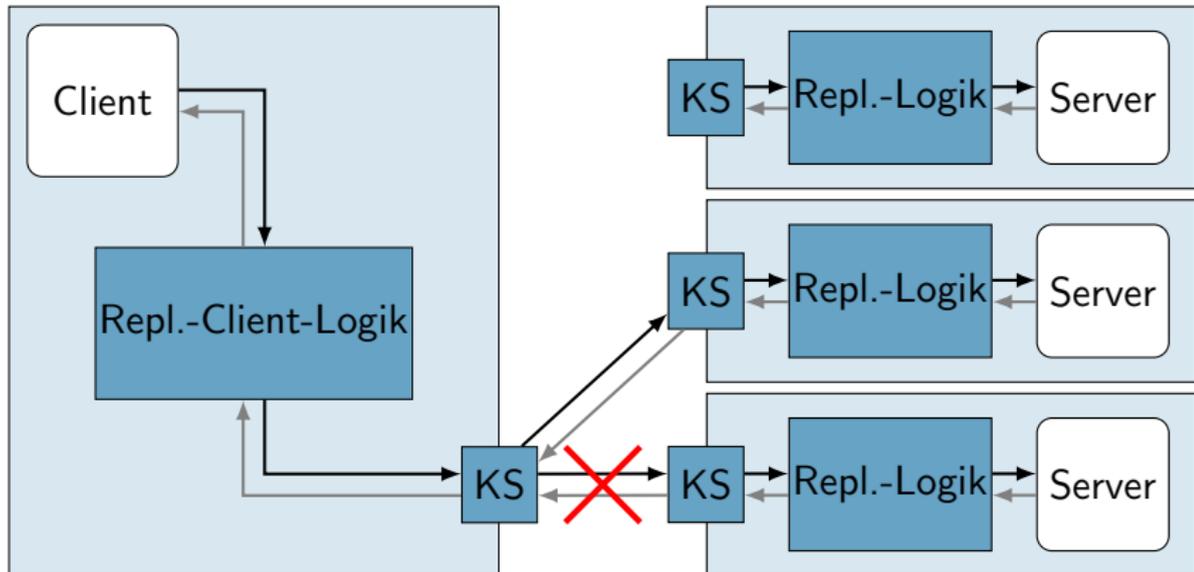
- Ausgabe der Log-Meldungen in einer Datei vs.log (Stufe: INFO)

```
handlers=java.util.logging.FileHandler  
.level=INFO  
java.util.logging.FileHandler.pattern=vs.log
```



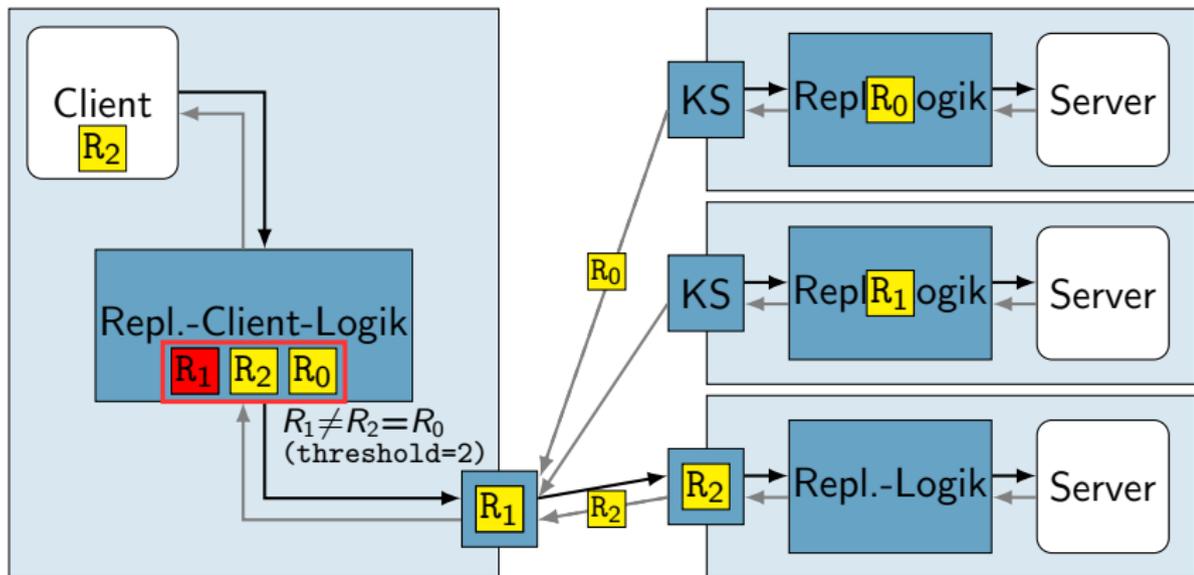
Ausfallsicherung der Client-Seite

- Wechsel des Replikats bei Verbindungsabbrüchen
- Client implementiert selbst verschiedene Strategien zum Wechsel eines Replikats



Verifizierung von Ergebnissen

- `exists()` liefert stets schnellste, aber evtl. fehlerhafte Antwort
- Bei Verwendung von `reliableExists()` erfolgt Vergleich mehrerer Antworten, um falsche Antworten zu erkennen



Neustart nach Replikatausfall

■ Problem

- VSKeyValueReplica-Implementierung verwaltet ihren Zustand im Hauptspeicher
 - Datenverlust bei Ausfall eines Replikats
- Kein Neustart des Replikats möglich

■ Lösung

- Verwendung von JGroups für Zustandstransfer (siehe Folie 7-15)
 - Annahme: Zu jeder Zeit ist mindestens ein Replikat verfügbar
 - Neustart: Holen des Zustands von einem anderen Replikat
- Implementieren von `getState()/setState()` zum Auslesen/Serialisieren und Setzen/Deserialisieren des Zustands
- Zustandstransfer und Nachrichtenempfang sind voneinander entkoppelt, d. h. Zustellung totalgeordneter Nachrichten ist asynchron zu Zustandstransfer
 - Nachrichten können bereits vor initialem `getState()`-Aufruf eintreffen und sich auch während des Zustandstransfers weiter anhäufen
 - `{get,set}State()`- und `receive()`-Aufrufe müssen synchronisiert werden
 - Konsistenzwahrung beim Zustandstransfer ist Teil der Replikatlogik

