

Verteilte Systeme – Übung

Replikation: Aufgabe

Sommersemester 2024

Harald Böhm, Laura Lawniczak, Tobias Distler

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme)
Lehrstuhl Informatik 16 (Systemsoftware)

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



Lehrstuhl für Verteilte Systeme
und Betriebssysteme



Friedrich-Alexander-Universität
Technische Fakultät

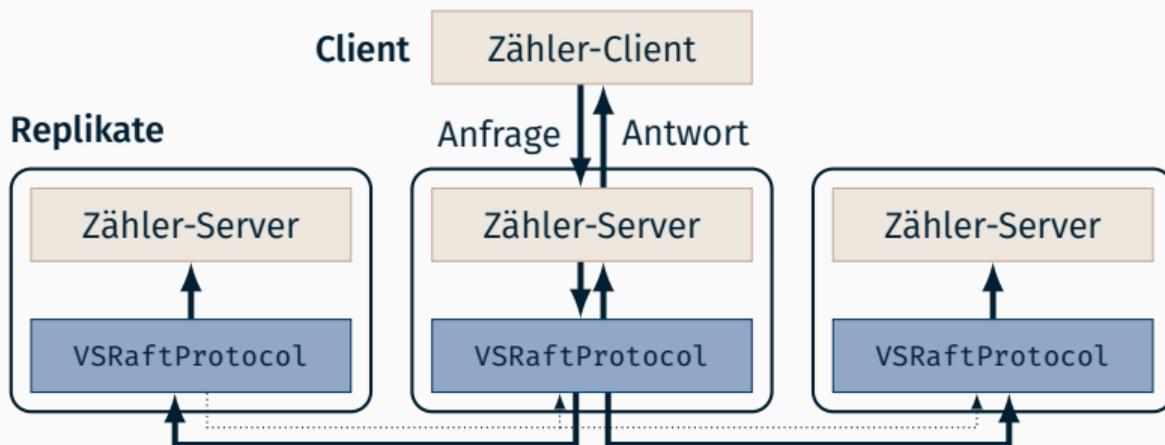
Übungsaufgabe 5

Übungsaufgabe 5

Übungsaufgabe 5: Überblick

Replikation eines einfachen Zählerdiensts mithilfe des Replikationsprotokolls Raft

- Basisfunktionalität (für alle)
 - Implementierung der Anführerwahl
 - Implementierung der Replikation von Anfragen
- Erweiterte Variante (optional für 5,0 ECTS)
 - Übertragung von Snapshots zwischen Replikaten
 - Neustarten eines Replikats nach dessen Ausfall



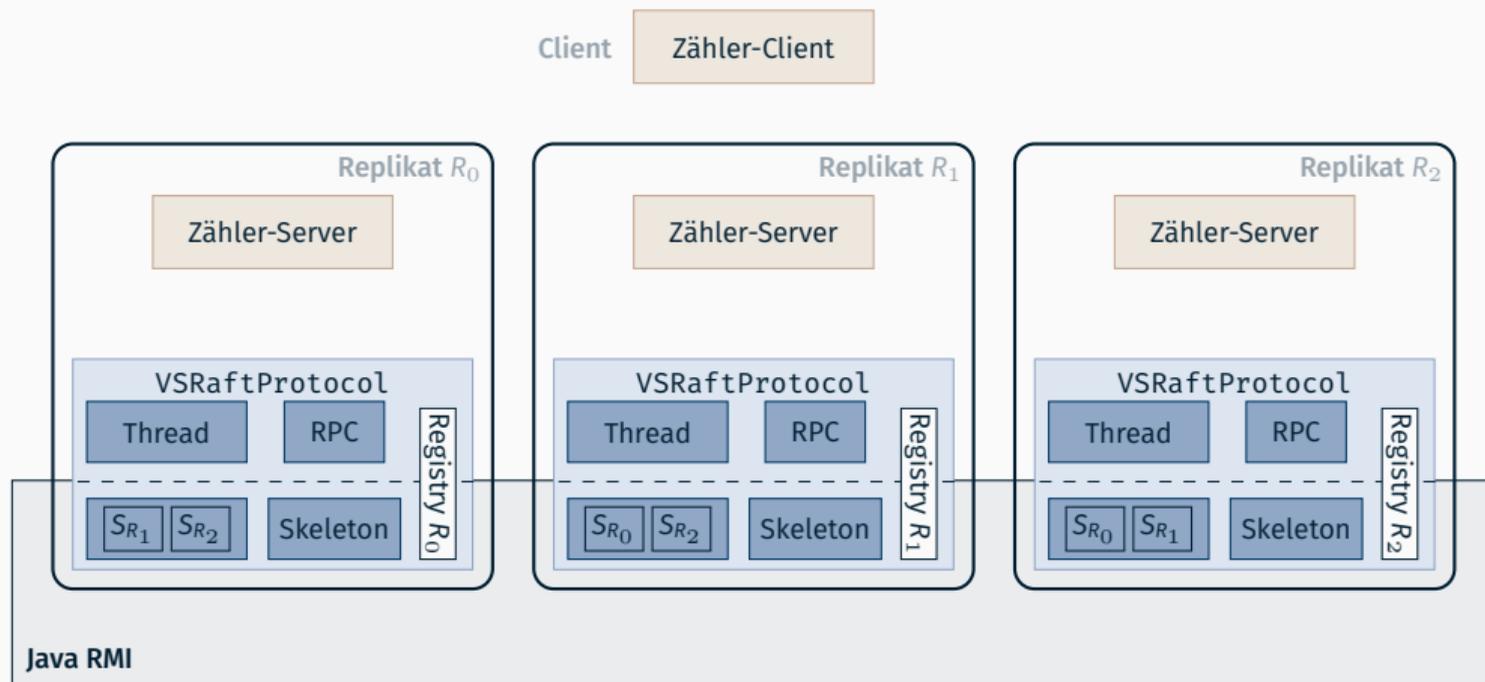
Schnittstelle zwischen Anwendung und Raft-Protokoll

```
public class VSRaftProtocol {
    public void init(VSCounterServer application);
    public boolean orderRequest(Serializable request);
}
public class VSCounterServer {
    // Basisfunktionalitaet
    public void status(VSRaftRole role, int leaderId);
    public void applyRequest(VSRaftLogEntry entry);
    // Erweitere Funktionalitaet (optional fuer 5 ECTS)
    public Serializable createSnapshot();
    public void applySnapshot(Serializable snapshot);
}
```

- Replikationsprotokoll: Raft `VSRaftProtocol`
 - `init()` Replikatkommunikation aufsetzen und Protokoll-Thread starten
 - `orderRequest()` Anfrage zum Replizieren übergeben
- Anwendung: Zählerdienst `VSCounterServer`
 - `status()` Rolle dieses Replikats und aktuellen Anführer der Anwendung mitteilen
 - `applyRequest()` Fertig geordnete Anfrage ausführen
 - `createSnapshot()` Snapshot des Anwendungszustands erstellen
 - `applySnapshot()` Snapshot einspielen, um Anwendungszustand zu aktualisieren

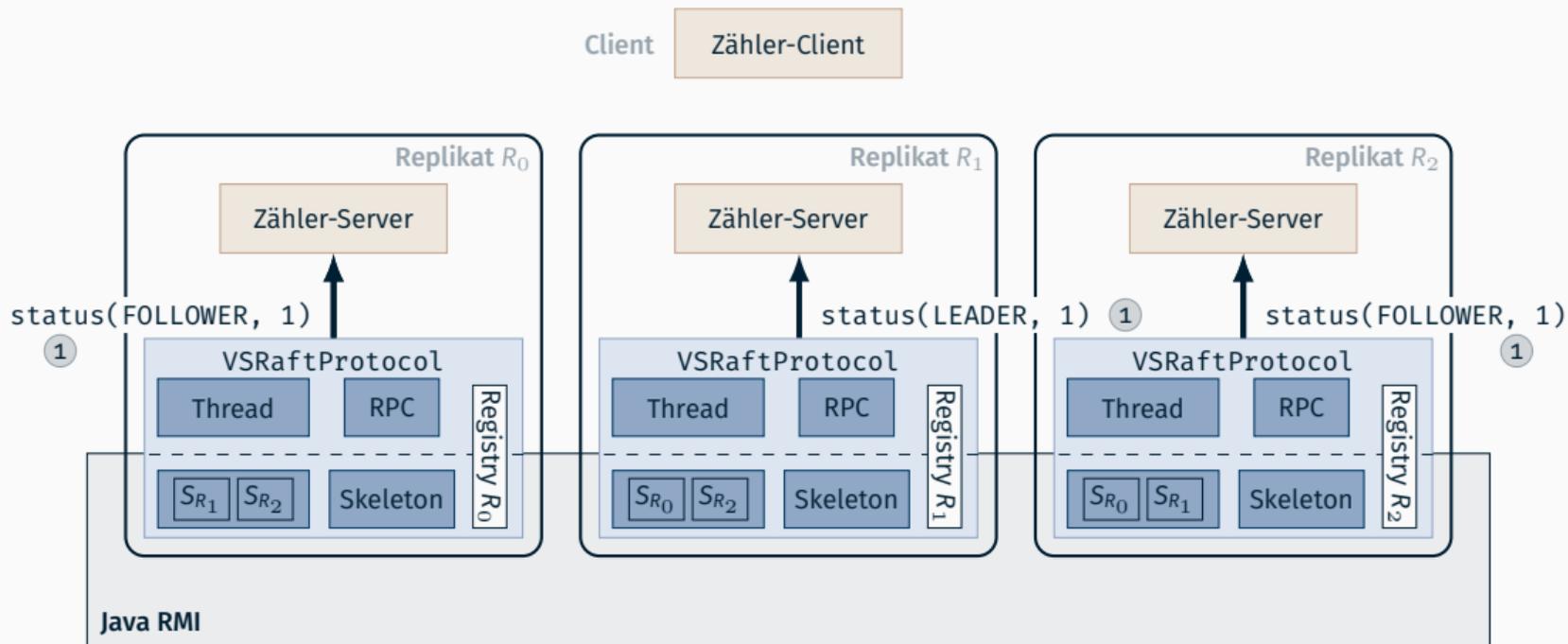
Anfragereplikation: Gesamtüberblick

- Methodenfernaufrufe erfolgen per Java RMI
 - Jedes Replikat R_i verfügt über (RMI-)Registry für eigenen Stub S_{R_i}
 - Stub bei Kommunikationsproblemen erneut abfragen
- Bereitgestellter Client wiederholt Anfrage im Fehlerfall



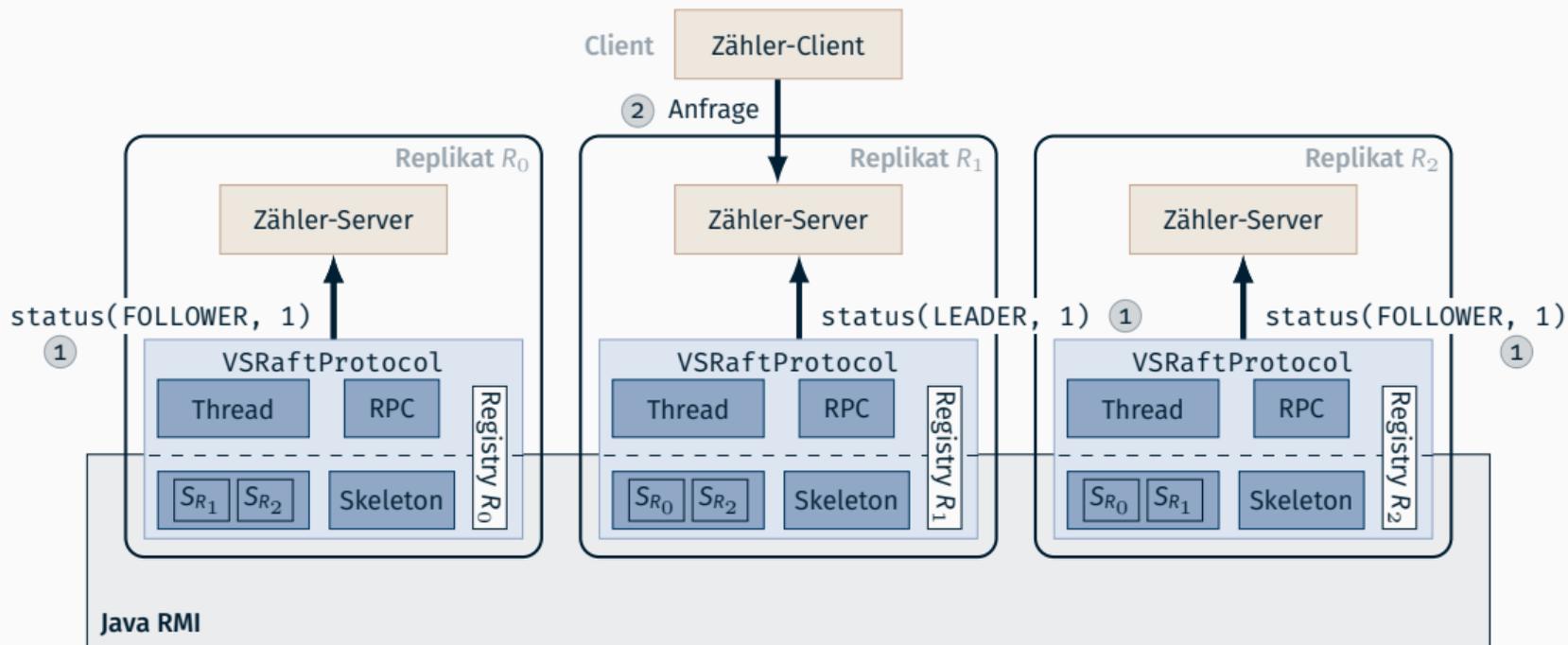
Anfragereplikation: Gesamtüberblick

- Methodenfernaufrufe erfolgen per Java RMI
 - Jedes Replikat R_i verfügt über (RMI-)Registry für eigenen Stub S_{R_i}
 - Stub bei Kommunikationsproblemen erneut abfragen
- Bereitgestellter Client wiederholt Anfrage im Fehlerfall



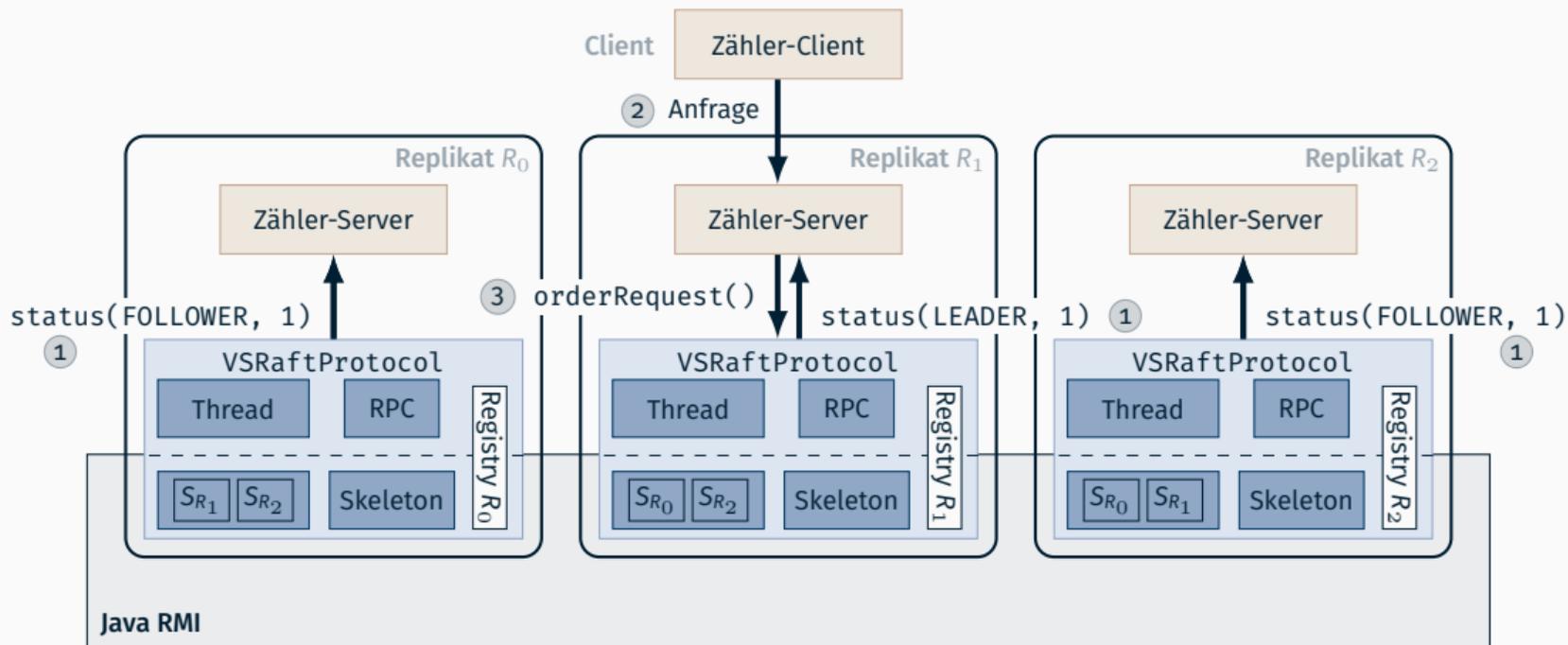
Anfragereplikation: Gesamtüberblick

- Methodenfernaufrufe erfolgen per Java RMI
 - Jedes Replikat R_i verfügt über (RMI-)Registry für eigenen Stub S_{R_i}
 - Stub bei Kommunikationsproblemen erneut abfragen
- Bereitgestellter Client wiederholt Anfrage im Fehlerfall



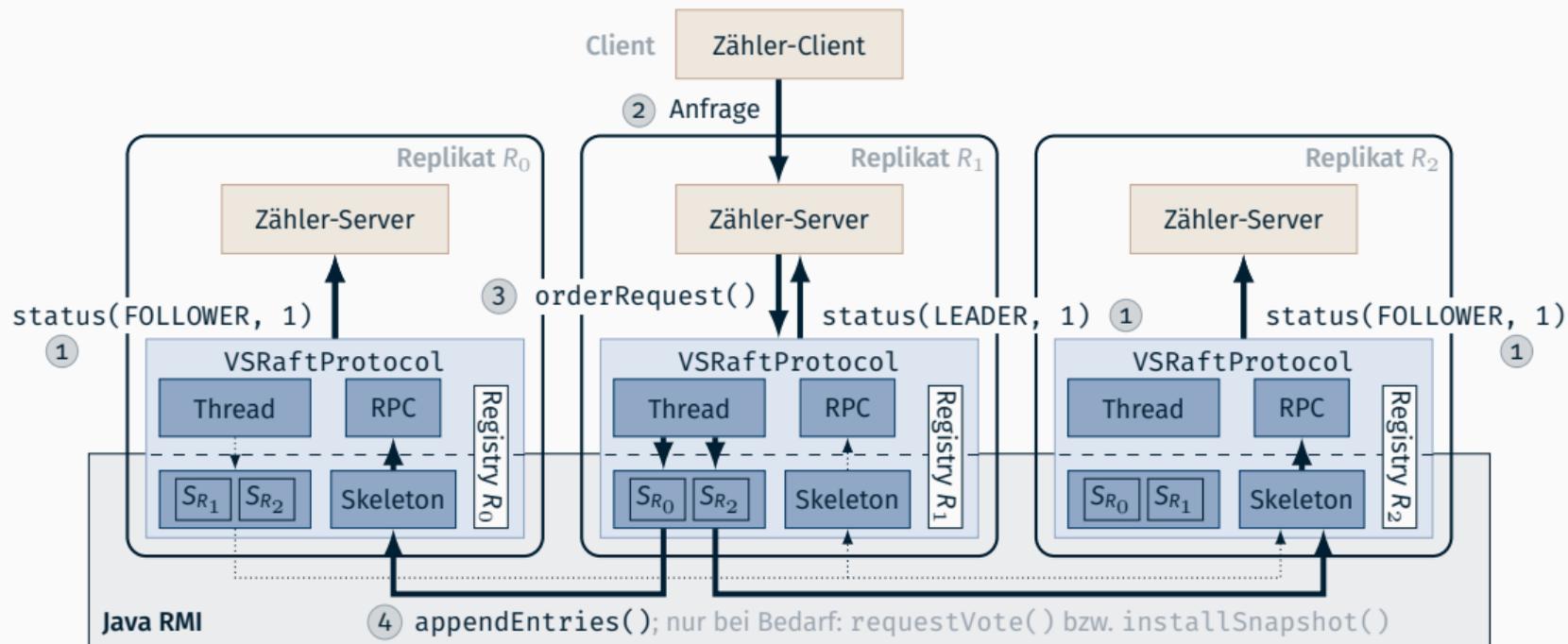
Anfragereplikation: Gesamtüberblick

- Methodenfernaufrufe erfolgen per Java RMI
 - Jedes Replikat R_i verfügt über (RMI-)Registry für eigenen Stub S_{R_i}
 - Stub bei Kommunikationsproblemen erneut abfragen
- Bereitgestellter Client wiederholt Anfrage im Fehlerfall



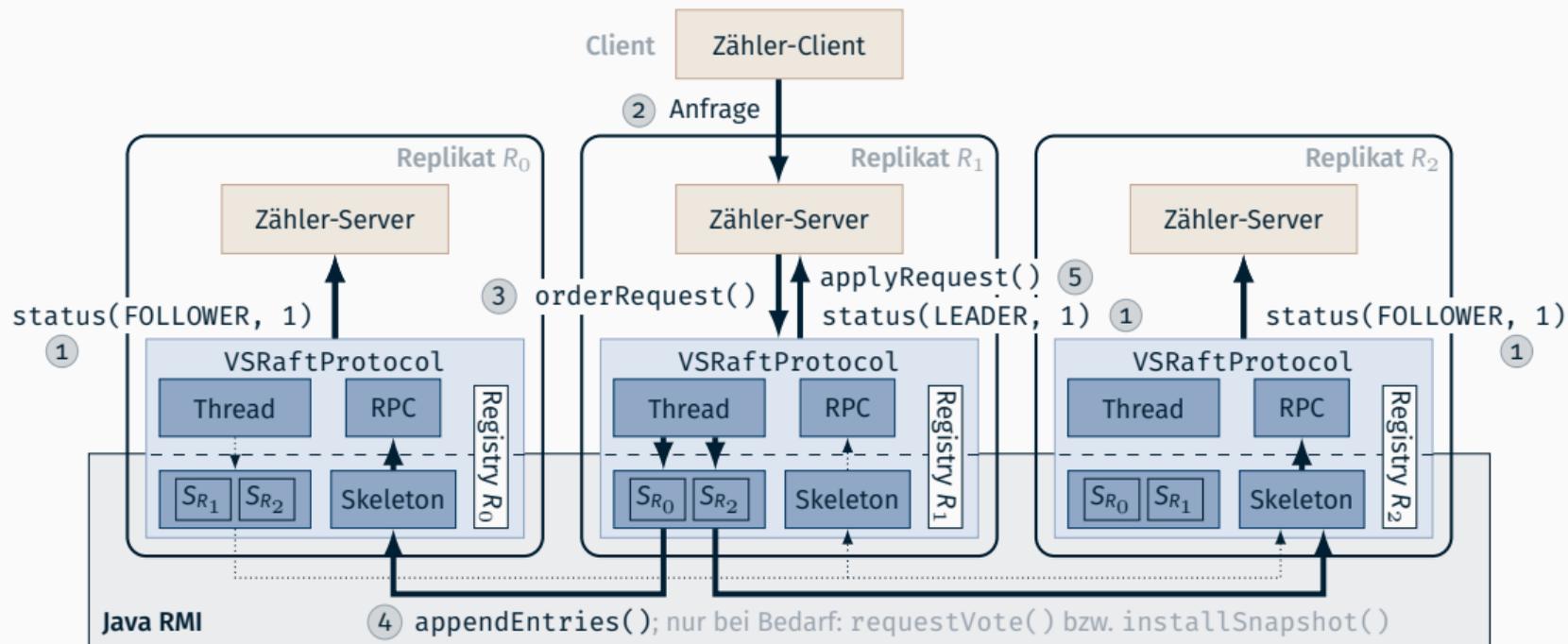
Anfragereplikation: Gesamtüberblick

- Methodenfernaufrufe erfolgen per Java RMI
 - Jedes Replikat R_i verfügt über (RMI-)Registry für eigenen Stub S_{R_i}
 - Stub bei Kommunikationsproblemen erneut abfragen
- Bereitgestellter Client wiederholt Anfrage im Fehlerfall



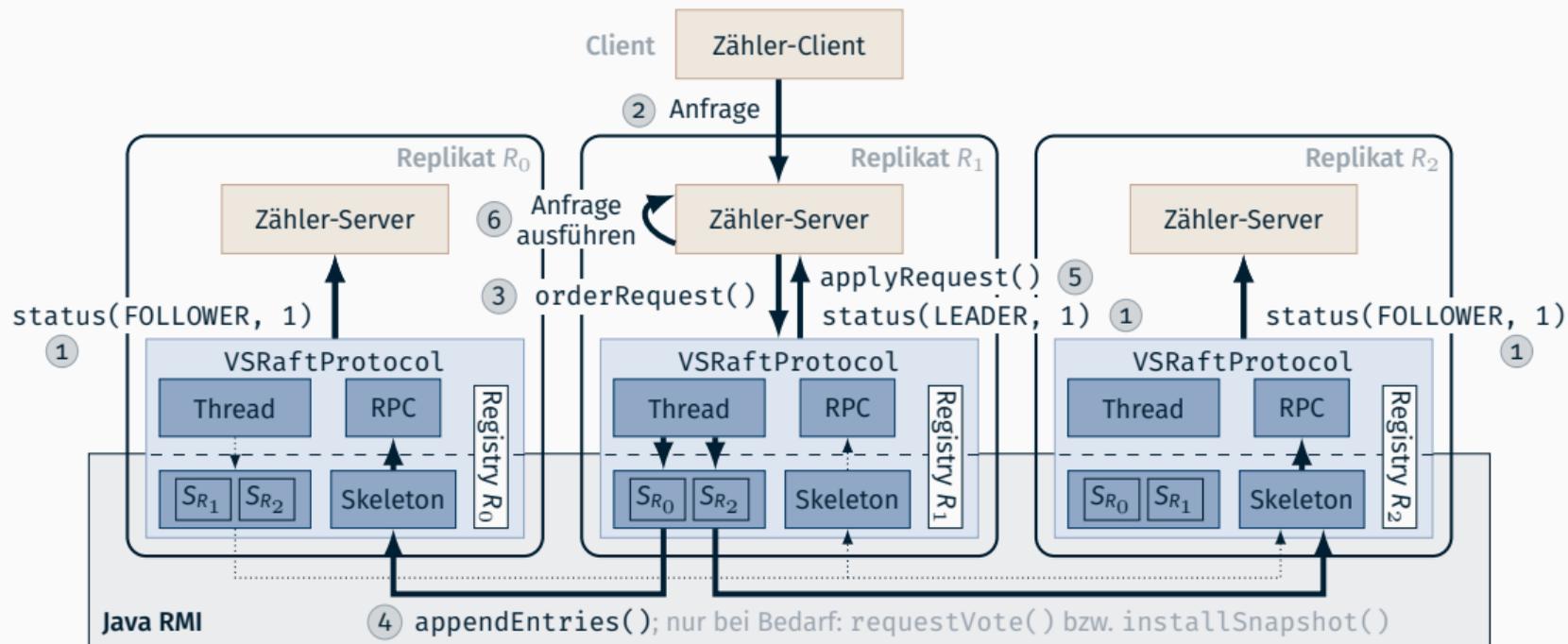
Anfragereplikation: Gesamtüberblick

- Methodenfernaufrufe erfolgen per Java RMI
 - Jedes Replikat R_i verfügt über (RMI-)Registry für eigenen Stub S_{R_i}
 - Stub bei Kommunikationsproblemen erneut abfragen
- Bereitgestellter Client wiederholt Anfrage im Fehlerfall



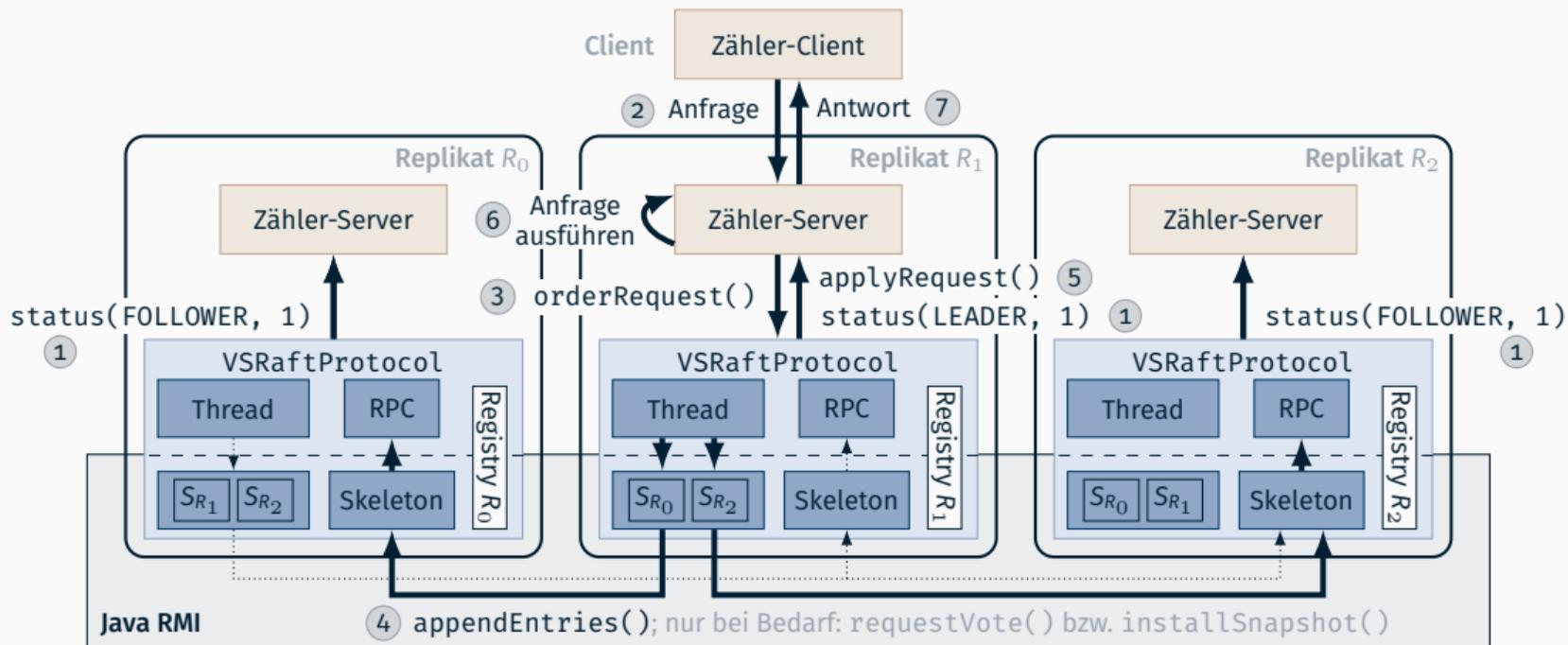
Anfragereplikation: Gesamtüberblick

- Methodenfernaufrufe erfolgen per Java RMI
 - Jedes Replikat R_i verfügt über (RMI-)Registry für eigenen Stub S_{R_i}
 - Stub bei Kommunikationsproblemen erneut abfragen
- Bereitgestellter Client wiederholt Anfrage im Fehlerfall



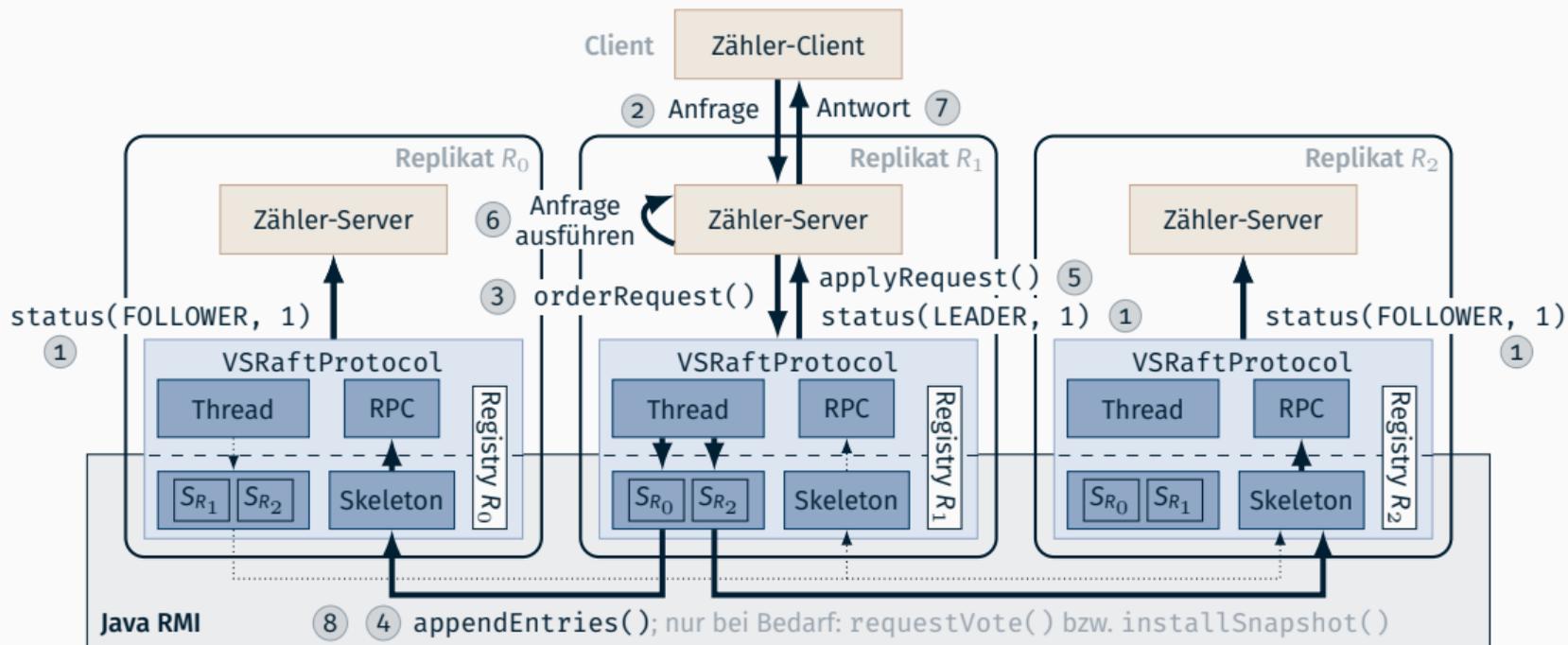
Anfragereplikation: Gesamtüberblick

- Methodenfernaufrufe erfolgen per Java RMI
 - Jedes Replikat R_i verfügt über (RMI-)Registry für eigenen Stub S_{R_i}
 - Stub bei Kommunikationsproblemen erneut abfragen
- Bereitgestellter Client wiederholt Anfrage im Fehlerfall



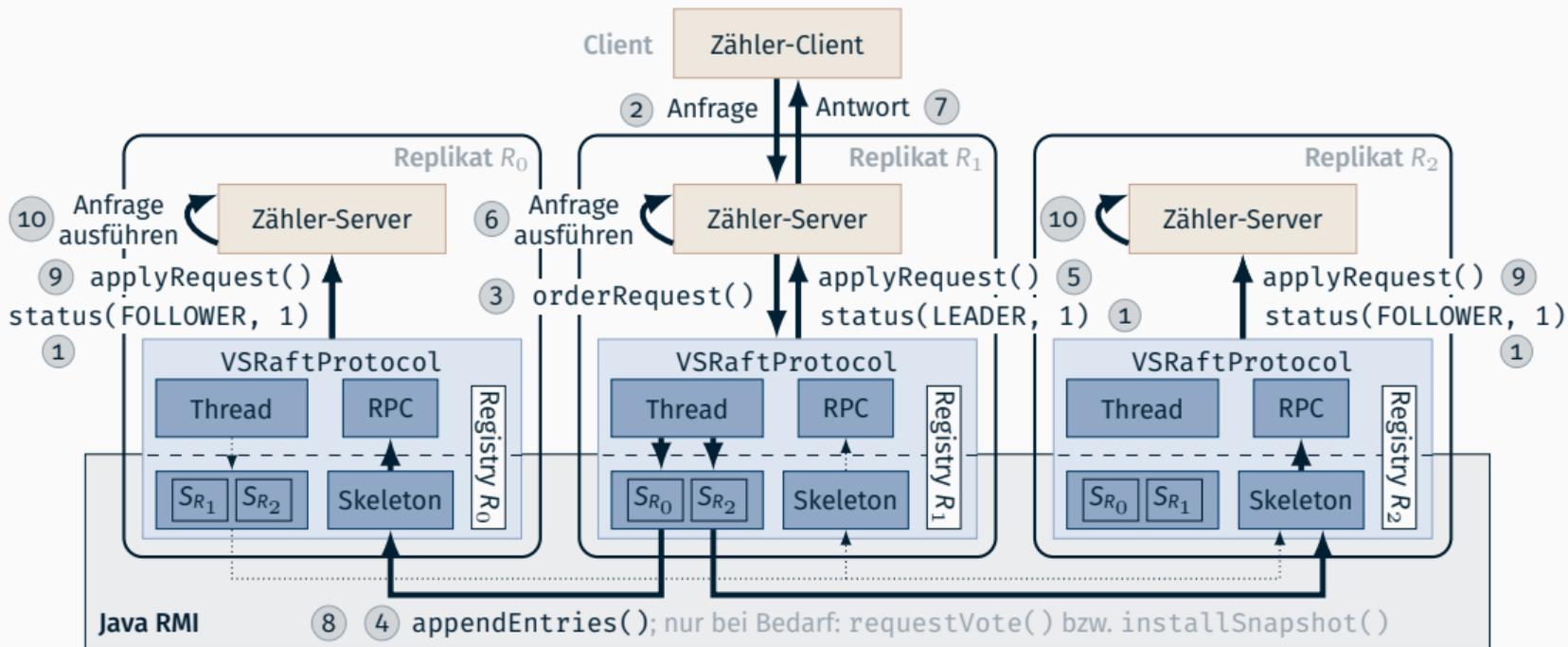
Anfragereplikation: Gesamtüberblick

- Methodenfernaufrufe erfolgen per Java RMI
 - Jedes Replikat R_i verfügt über (RMI-)Registry für eigenen Stub S_{R_i}
 - Stub bei Kommunikationsproblemen erneut abfragen
- Bereitgestellter Client wiederholt Anfrage im Fehlerfall



Anfragereplikation: Gesamtüberblick

- Methodenfernaufrufe erfolgen per Java RMI
 - Jedes Replikat R_i verfügt über (RMI-)Registry für eigenen Stub S_{R_i}
 - Stub bei Kommunikationsproblemen erneut abfragen
- Bereitgestellter Client wiederholt Anfrage im Fehlerfall



- Protokollimplementierung
 - Aktiver Teil: **Protokoll-Thread** sendet Fernaufrufe an andere Replikate
 - Führt anfallende Aufgaben nacheinander aus
 - Wartet blockierend auf neue Aufgaben
 - Bearbeitet periodische / rollen-spezifische Aufgaben
 - Passiver Teil: Empfangene Fernaufrufe abarbeiten

■ Beispiel-Anwendung: Leaderboard

- Highscore mithilfe von Java RMI zwischen Rechnern verteilen

```
void updateScoreRPC(String name, int score);
```

- Highscore besteht aus Name und erzielten Punkten
- Nur Inhaber des Highscore soll diesen verteilen
 - Wenn sich der eigene Score ändert ⇒ sofort verteilen
 - Sonst ⇒ periodisch wiederholen
- Nur ein einziger Protokoll-Thread
 - Einfache Implementierung
 - Sequentielle Fernaufrufe

Einfache, aber **fehlerhafte** Implementierung eines Leaderboards

```
void syncThread() { // Nur ein Thread
    while(true) {
        synchronized(this) {wait(10_000);} // [...] InterruptedException behandeln
        if (!highscoreName.equals(myName)) continue; // Prüfen, ob eigener Highscore
        for (int i = 0; i < replicaCount; ++i) { // RPCs der Reihe nach absetzen
            if (i == myId) continue;
            getStub(i).updateScoreRPC(myName, highscore); // [...] RemoteException behandeln
        }
    }
}

void updateScoreRPC(String name, int score) { // Highscore aktualisieren
    if (score > highscore) {
        highscore = score;
        highscoreName = name;
    }
}

void newScore(int score) {
    highscore = score;
    highscoreName = myName;
    synchronized(this) {notify();} // Neuen Highscore sofort verteilen
}
```

⚡ Verlust von Highscore während Verteilung möglich

⚡ Zustand nicht atomar aktualisiert

Einfachste Lösung: Alles mit synchronized versehen

```
synchronized void syncThread() {
    while(true) {
        wait(10_000); // InterruptedException behandeln
        if (!highscoreName.equals(myName)) continue;
        for (int i = 0; i < replicaCount; ++i) {
            if (i == myId) continue;
            getStub(i).updateScoreRPC(myName, highscore); // RemoteException behandeln
        }
    }
}
```

RPC erfolgt innerhalb des synchronized-Blocks
⚠️ Deadlock-Gefahr

✓ synchronized verhindert nebenläufig Highscore-Änderung

```
synchronized void updateScoreRPC(String name, int score) {
    if (score > highscore) {
        highscore = score;
        highscoreName = name;
    }
}
```

✓ Zustand atomar aktualisiert

```
synchronized void newScore(int score) {
    highscore = score;
    highscoreName = myName;
    notify();
}
```


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

```
replica0=faii00a:12345  
replica1=faii00b:12346  
replica2=faii00c:12347
```

→ 1. Zeile korrespondiert zu Replikat 0, 2. Zeile zu Replikat 1 usw.

- Beispielkommandozeilenaufruf

- Client

```
java -cp <classpath> vsue.raft.VSCounterClient replica.addresses
```

- Server (Starten von Replikat 0)

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

Bereitgestellte Klasse zum Verwalten des Logs von Raft

```
public class VSRaftLog {  
    public void addEntry(VSRaftLogEntry entry); // Schreiboperationen  
    public void storeEntries(VSRaftLogEntry[] entries);  
    public VSRaftLogEntry getEntry(long index); // Leseoperationen  
    public VSRaftLogEntry[] getEntriesSince(long startIndex);  
    public VSRaftLogEntry getLatestEntry();  
    public long getLatestIndex();  
    public void collectGarbage(long lastSnapshotIndex, int lastSnapshotTerm); // Garbage Collection  
    public long getStartIndex();  
}
```

addEntry() Log-Eintrag hinzufügen

storeEntries() Log-Bereich abspeichern, ersetzt Log-Einträge bei Überschneidung

getEntry() Log-Eintrag abrufen

getEntriesSince() Log-Bereich ab Index abrufen

getLatestEntry() Neusten Log-Eintrag abrufen

getLatestIndex() Index des neusten Log-Eintrags abrufen

collectGarbage() Einträge löschen, die bereits in Snapshot enthalten

getStartIndex() Index des ältesten noch verfügbaren Log-Eintrags abrufen

Tipps zum Debugging in Replizierten Systemen

- Bugs sind häufig abhängig vom Timing und/oder treten über Rechengrenzen hinweg auf
 - Debugger o.Ä. nur begrenzt einsetzbar
- **Bessere Alternative:** Logs bzw. `System.out.println()`-Debugging zum Nachvollziehen der Ereignisse im System
 - Problem: Logs werden durch viele Ereignisse schnell sehr lang und unübersichtlich
 - Reduktion der Ereignisse durch künstliche Verlangsamung des Systems, z.B. durch
 - Hochsetzen der Replik-Timeouts (z.B. Heartbeat-Timeout) für weniger *unnötige* Nachrichten
 - Verringerung der Anfragemenge durch Senden von einzelnen Anfragen bzw. `sleep()`-Aufrufe zwischen Anfragen

Aber Achtung!

- Gut zum Lokalisieren und Beheben von bereits bekannten Bugs geeignet, **aber**
 - Einige Fehler (insbesondere Nebenläufigkeitsprobleme) treten nur unter hoher Last auf!
- Ausgiebiges Testen immer zusätzlich unter **Lastsituation** (insbesondere Randfälle wie z.B. Replikatausfälle!)