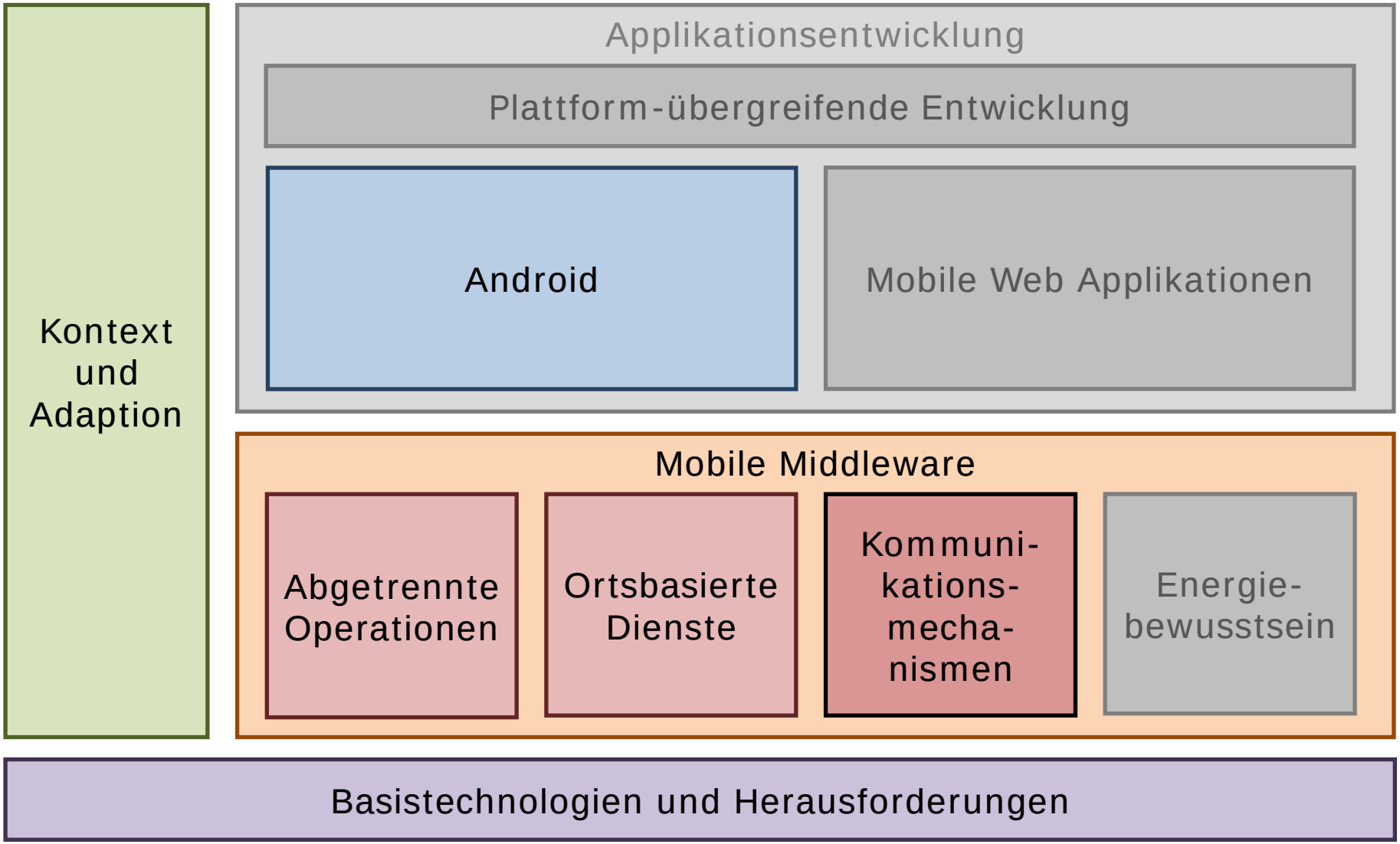
Web- und App-Programmierung

Kommunikations-mechanismen

mit Skriptmaterial von Dr.-Ing. T. Springer

Prof. Dr.-Ing. Tenshi Hara
fragen@lern.es

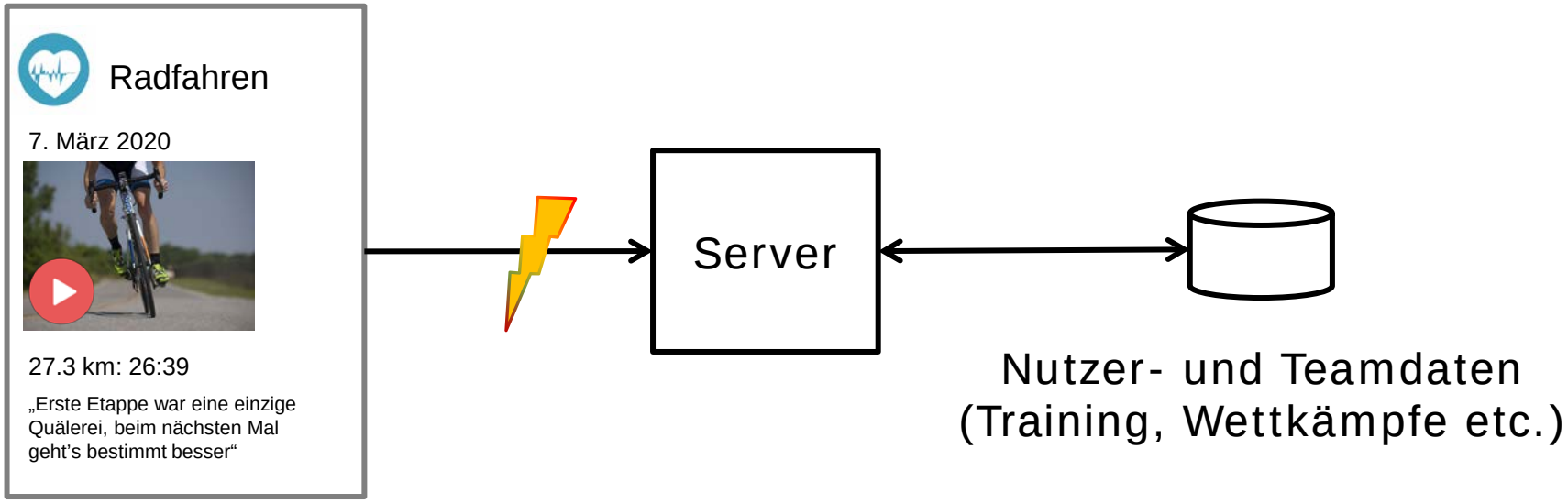
Aufbau der Lehrveranstaltung



Social-Fitness-App – Konnektivitätsherausforderung

- Hochladen lokaler Trainingsdaten und Medien

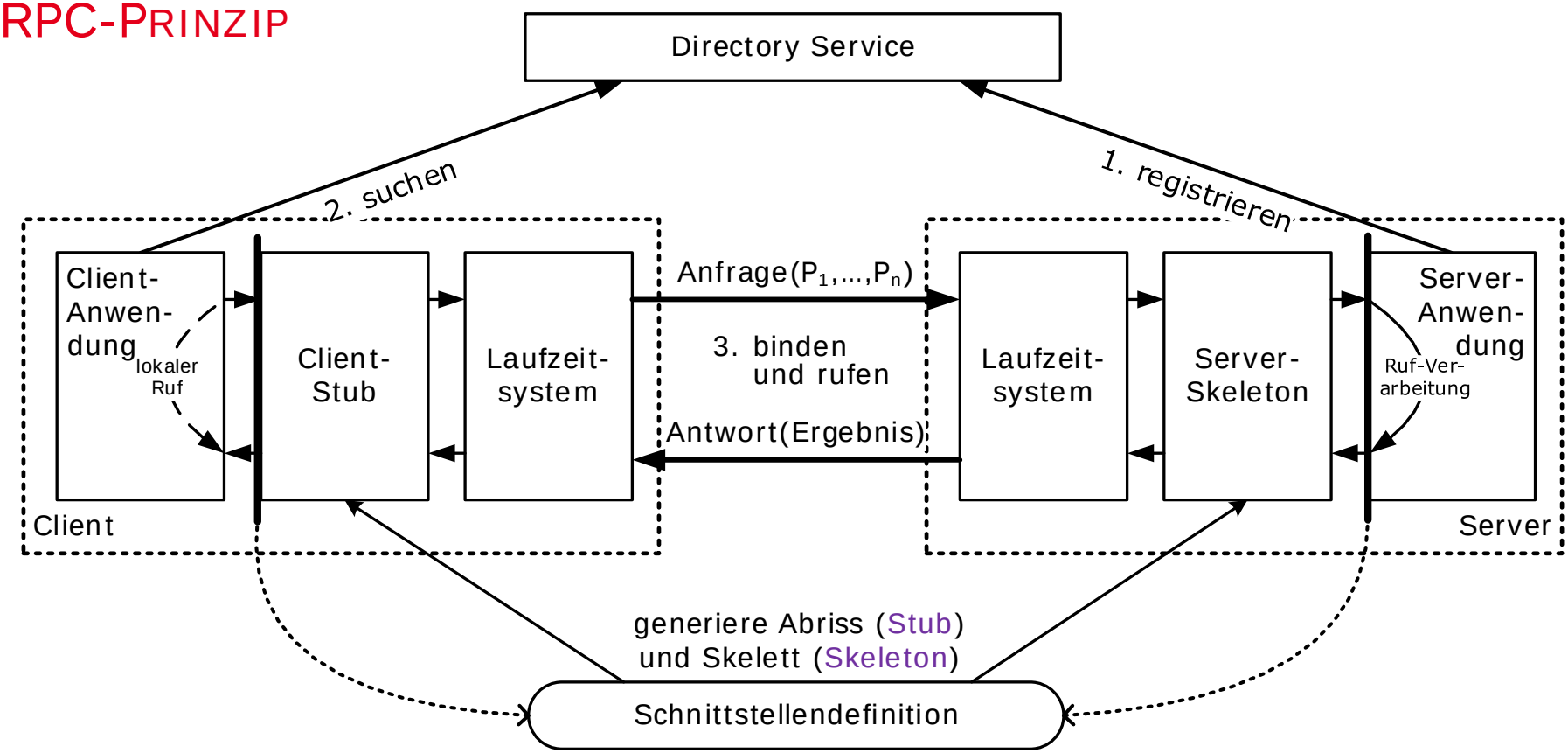
  → Anfrage/Antwort-Mechanismus (Request/Response, bspw. HTTP)



- Probleme
  - heterogene Zugangsnetzwerke
  - variierende Qualität und Stabilität

Request/Response-Architektur

RPC-Prinzip



- erweitern des lokalen Prozeduraufrufs auf einen entfernten Zugriff
- Ziel: syntaktische und semantische Uniformität
  - Rufmechanismus (transparente Netzwerkkommunikation)
  - Sprachelemente und Fehlersemantik

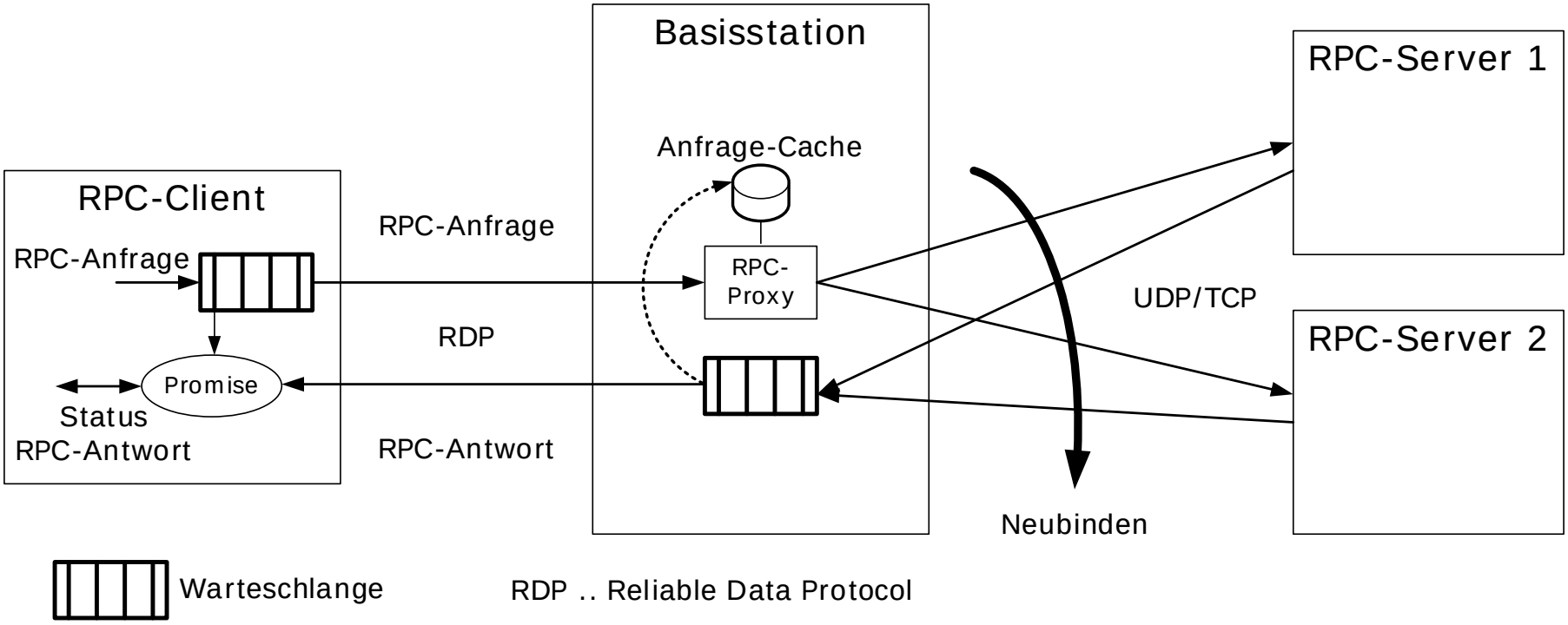
RPC in mobilen Umgebungen

- synchroner Kommunikationsmodus des RPC erfordert stehende und stabile Netzwerkverbindung; demgegenüber
  - häufige Trennungen in Drahtlosnetzwerken
  - hohe Verzögerungen durch Nachrichtenwiederholungen
  - hoher Energieverbrauch
    → Nutzer trennt Verbindung, wodurch Anwendung blockiert
- Rufe werden entsprechend logischem Programmablauf abgesetzt, aber
  - in Abtrennungsphasen können keine RPC abgesetzt werden
  - keine Bündelung multipler Rufe in eine Anfrage zur Ausnutzung kurzzeitiger Verbindungen (oder höherer Bandbreiten)
- Client bindet sich zu Beginn einer Konversation an den Server; demgegenüber wäre wegen Mobilität und Abtrennungen eine Neubindung an anderen Server notwendig, wird aber nicht unterstützt

MOBILES RPC-KONZEPT (M-RPC)

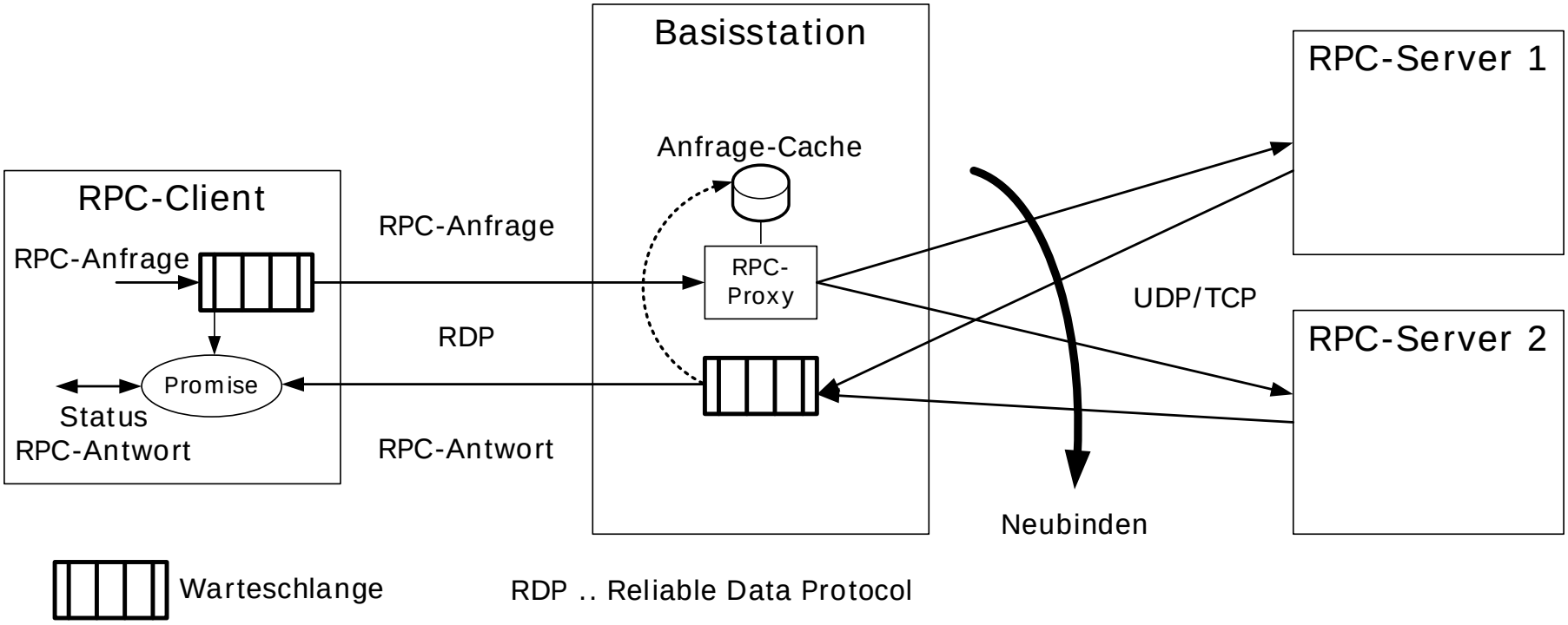
M-RPC ermöglicht

- zuverlässige Rufvermittlung über unzuverlässige Verbindung
- optimierte RPC-Kommunikation
- dynamisches (Neu)Binden



M-RPC

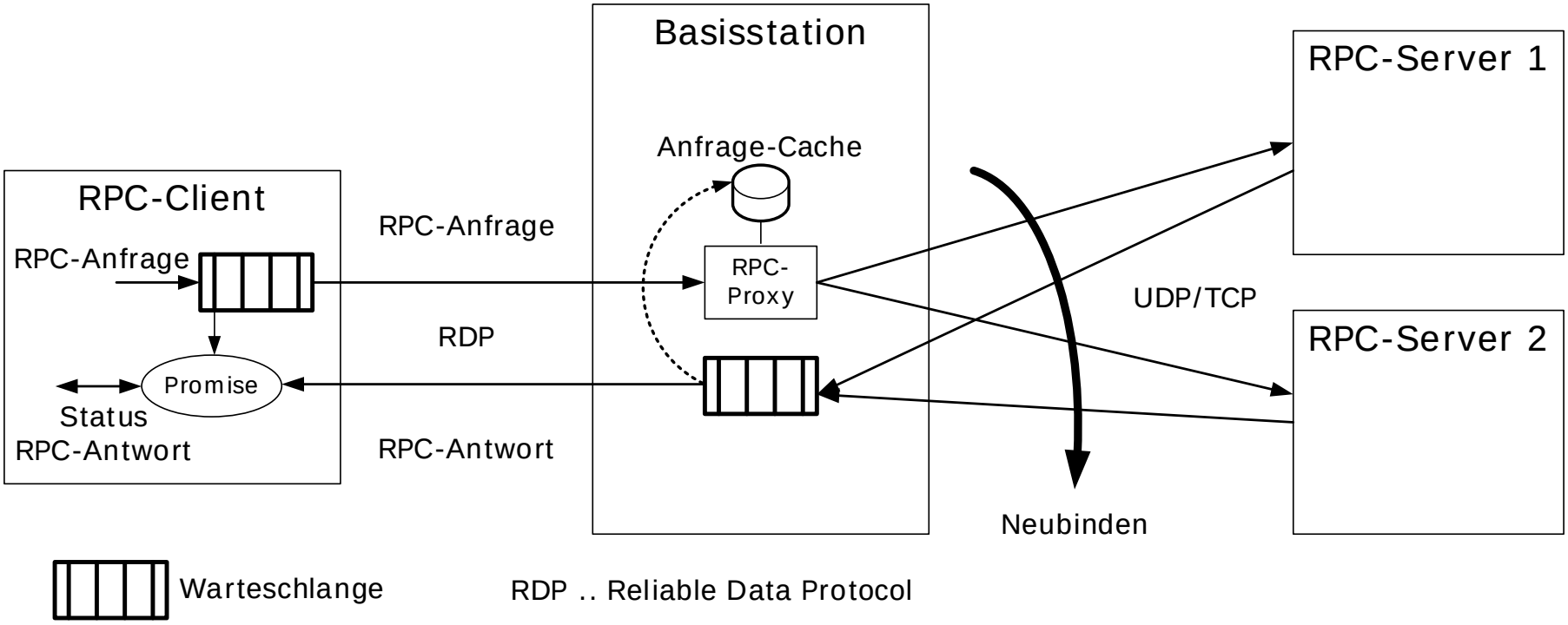
- Proxy auf Basisstation innerhalb der Netzwerkinfrastruktur
  - angepasstes Transportprotokoll zwischen mobilem Gerät und Basis
  - Anfragen in Cache gehalten bis Client Antwortempfang bestätigt
  - Neuübertragung von Anfragen durch Proxy
- Warteschlangen für Rufe und Ergebnisse auf Client und Proxy
- kumulierte Rufe → Bulking zur Durchsatzoptimierung



M-RPC

dynamisches Neubinden wegen Indirektion über Proxy

- Client logisch an Server, aber physisch an Proxy gebunden
- neue physische Bindung nach Abtrennung oder Ortswechsel
- Server-Zustand muss berücksichtigt werden



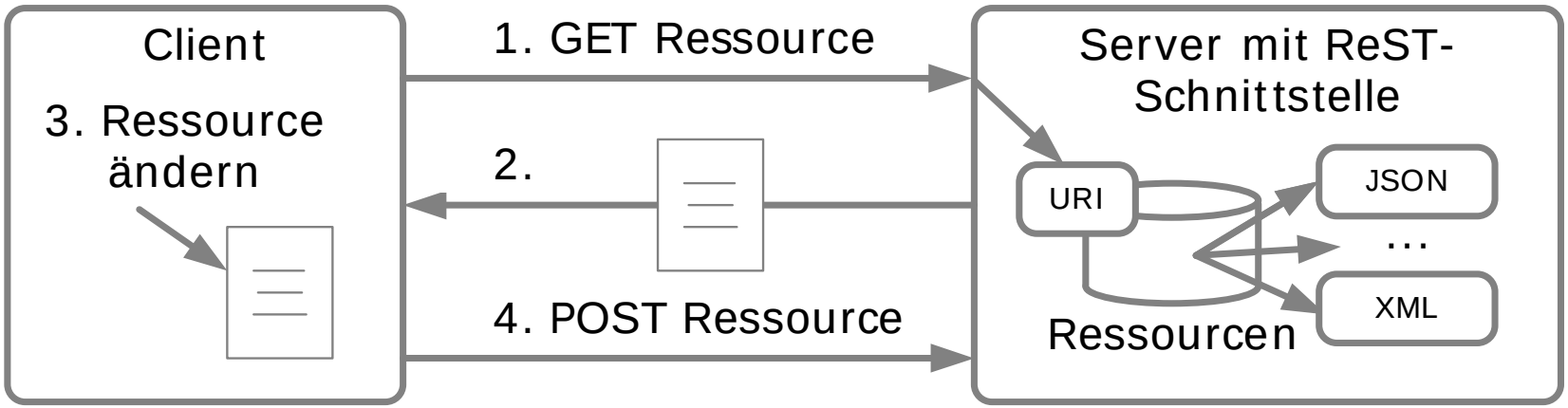
Representational State Transfer (ReST)

- Modell für verteilte Hypermediasysteme
  - erstmals von Roy Fielding (2000) spezifiziert
- im Web weit verbreitete Architektur
- viele Systeme bieten ReST-Schnittstellen
- im Vergleich zu Web Services sehr leichtgewichtig
  - Menge vordefinierte Operationen → CRUD
  - multiple Kodierungsformate
    (mit JSON auch kompakt)

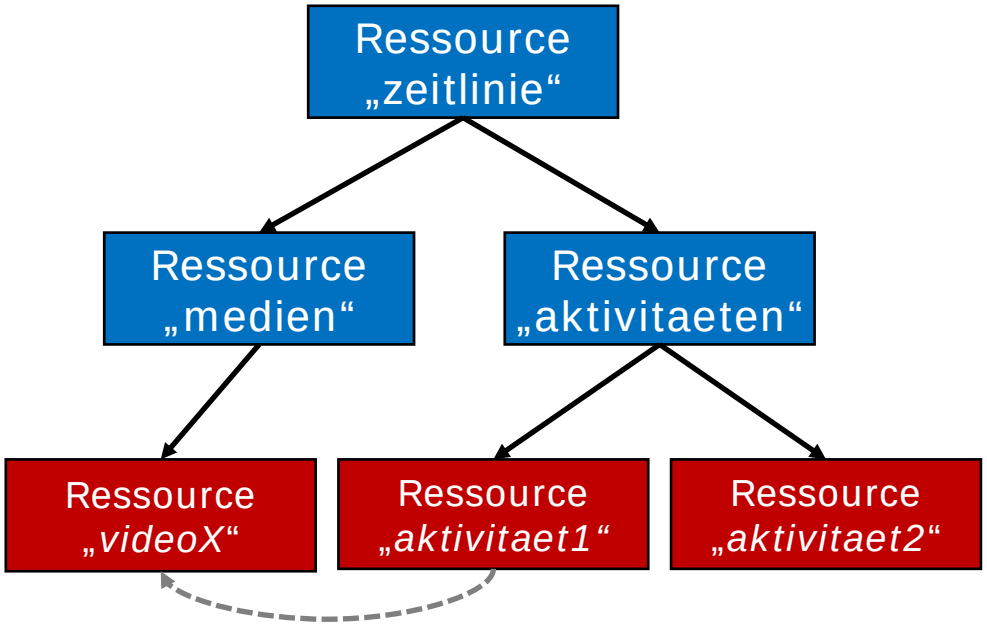



Representational State Transfer (ReST)

- basiert auf Client/Server-Architektur
- nutzt zustandloses Kommunikationsprotokoll
  → mangels serverseitigem Kontext und nur clientseitiger Sitzung muss jede Anfrage alle notwendigen Informationen enthalten
- ReST-Anfragen an Ressourcen gebunden, nicht an Prozeduren wie bei RPC
  - Ressource: Web-Seite, Datensammlung, Bild, ...
  - jede Ressource muss über einen eineindeutige URI erreichbar sein
  - HTTP-Methoden als Operationsmenge (**C**reate, **R**ead, **U**pdate, **D**elete)
  - kann *multiple* Repräsentationen haben (XML, JSON, ...)



REST – URIS UND METHODEN



`https://example.com/`**`zeitlinie`**

`https://example.com/`**`zeitlinie/aktivitaeten`**

`https://example.com/`**`zeitlinie/aktivitaeten/aktivitaet1`**

Ressourcentyp	GET	POST	PUT	DELETE
Sammlung https://example.com/zeitlinie/aktivitaeten	**Liste** URIs und Details der Ressourcen auf	**Erzeuge** oder **ersetze** Sammlung in übergordneter Ressource	**Erzeuge** neues Element	**Lösche** adressierte Sammlung
Element https://example.com/zeitlinie/aktivitaeten/aktivitaet1	**Liste** Details der adressierten Ressource in angebrachtem Format auf	**Erzeuge** oder **ersetze** adressierte Ressource	**Erzeuge** neues Element oder **ersetze** existierendes	**Lösche** adressierte Ressource

JavaScript Object Notation (JSON)

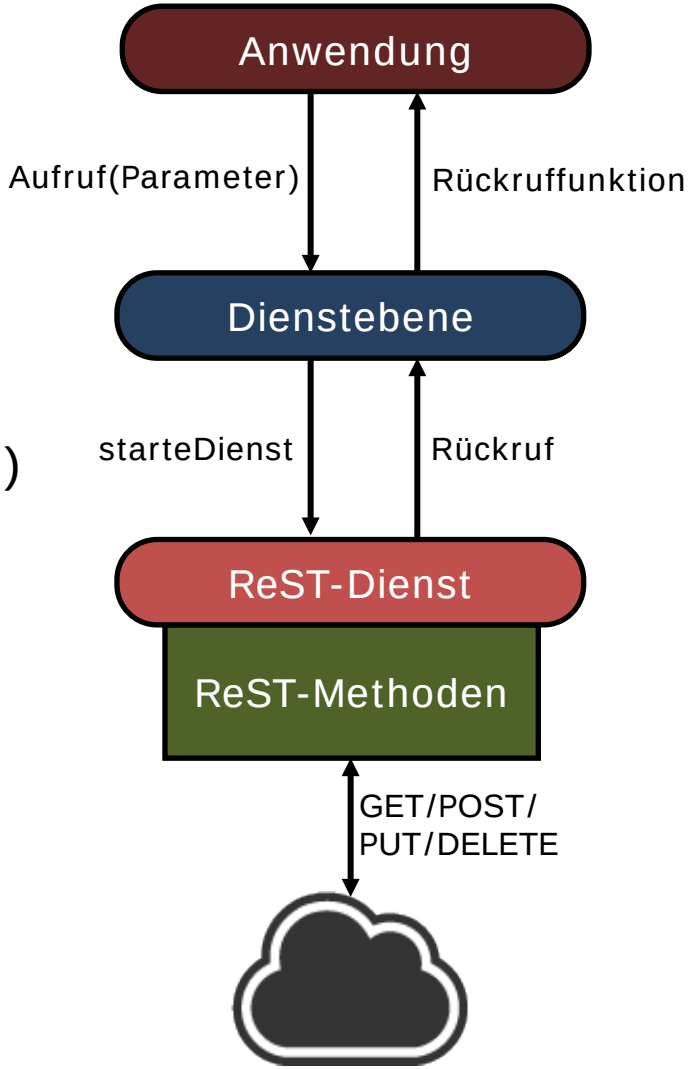
- Standardformat (spezifiziert als RFC 4627)
- unabhängig von der Programmiersprache
- menschenlesbare, textbasierte Datenkodierung
- JSON-Syntaxregeln
  - Daten liegen in Name:Wert-Paaren vor
  - Daten werden durch Kommata separiert
  - geschweifte Klammern halten Objekte
  - eckige Klammern halten Felder

```
"Aktivitaet":{
   "nutzer":"nutzerURI",
   "typ":"radfahrend",
   "entfernung":"120",
   "zeit":"05:21:12",
   "medium":"videoXURI"
}
```

```
"AktivitaetsListe":[
   {"nutzer1":"uri1","typ":"radfahrend"},
   {"nutzer2":"uri2","typ":"gehend"},
   {"nutzer3":"uri3","typ":"rennend"}
]
```

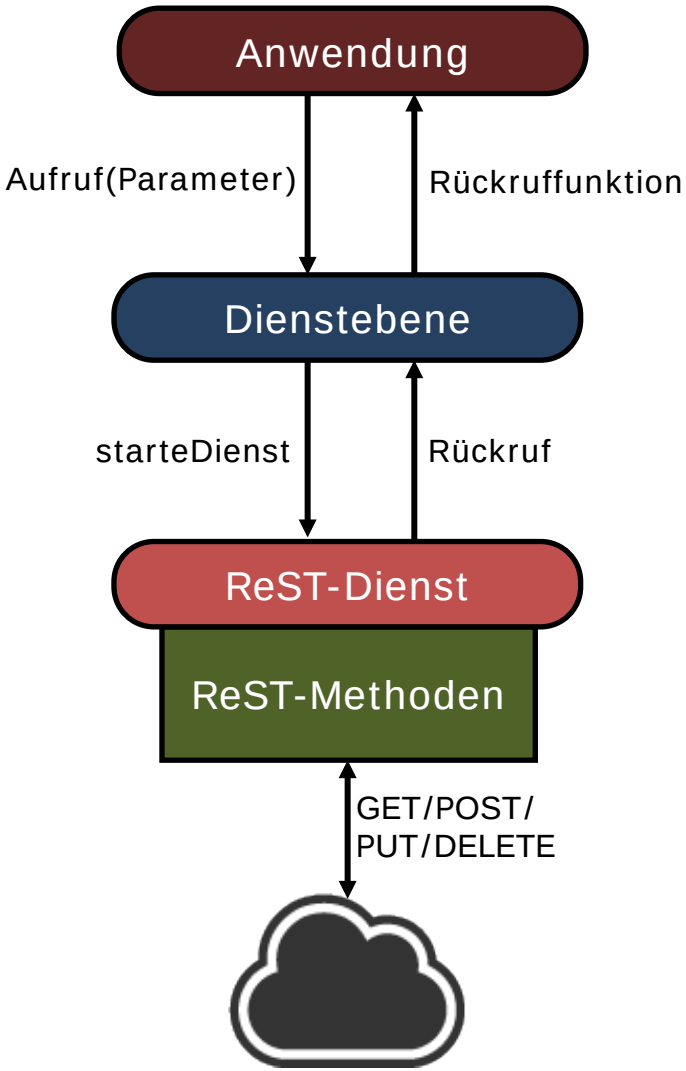
ReST – Implementierungsprinzip

- Activity repräsentiert Bildschirm in Android
- Dienstebene
  - applikationsspezifische API (`holeZeitlinie()`, `holeAktivitaet()`, ...)
  - Kartenanwendungsspezifische Dienstaufrufe auf ReST-Aufrufe
  - verwaltet Anfragen bspw. in einer Anfrageschlage
  - bietet Rückruffunktion zur Activity

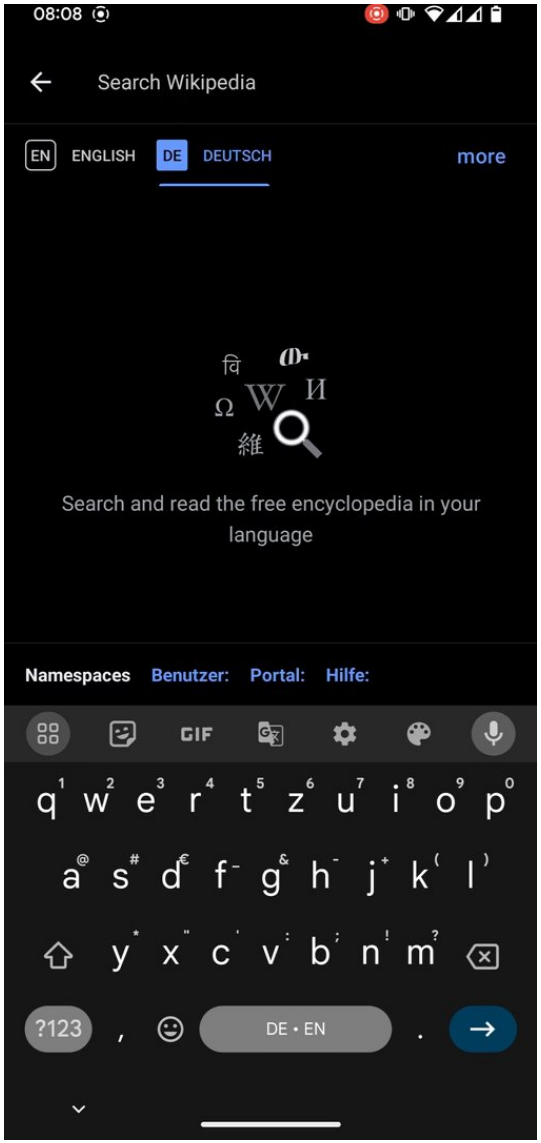


ReST – Implementierungsprinzip

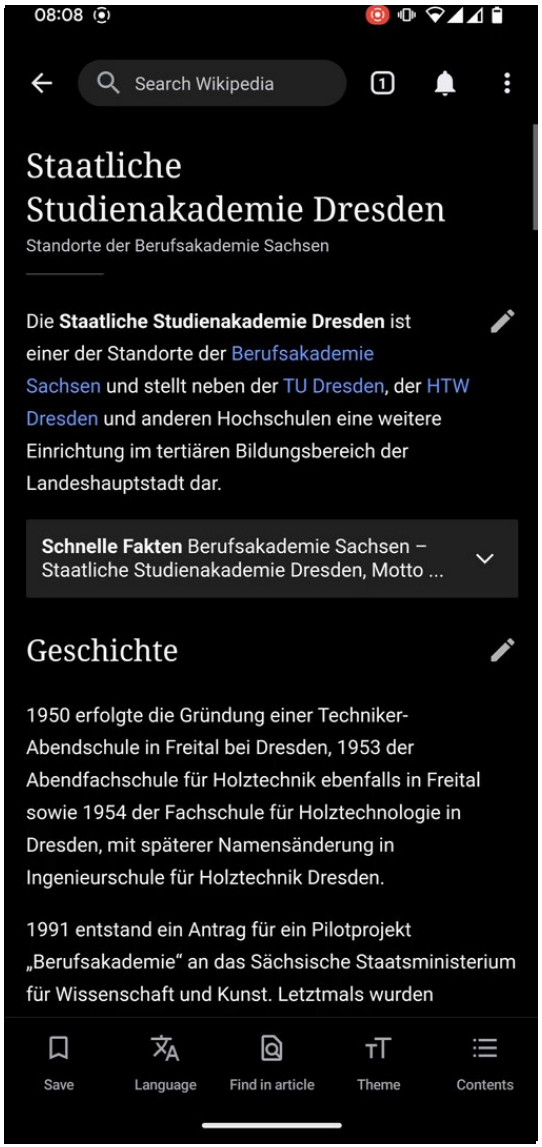
- ReST-Dienst (Dienst-API)
  - trennt Netzwerkanfragen vom GUI-Thread
  - kann fortlaufen während App inaktiv ist
  - Rückrufe zur Weiterleitung von Ergebnissen an die Dienstebene
- ReST-Methoden
  - generische Dienste für ReST-Kommunikation
  - implementiert GET/POST/...-Methoden
  - generiert Aufrufentitäten
  - verarbeitet Antworten



Beispiel: Wikipedia-Client

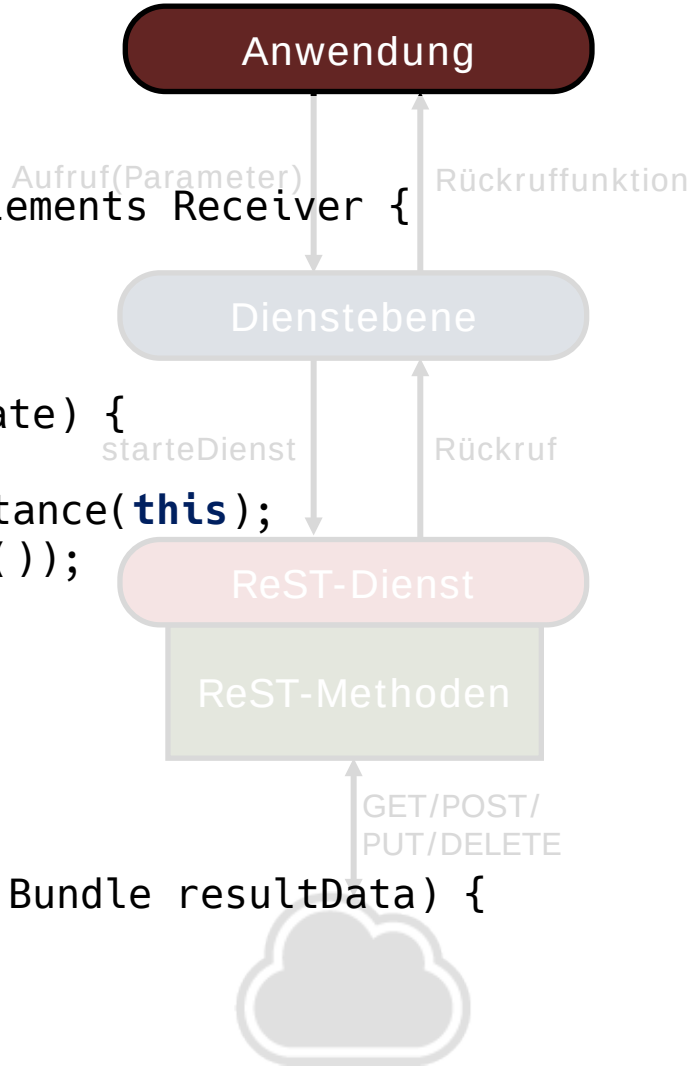



```
wikiSearch(query, receiver)
```



Android Activity

Beispiel: Wikipedia-Client zum Suchen und Anzeigen von Artikeln

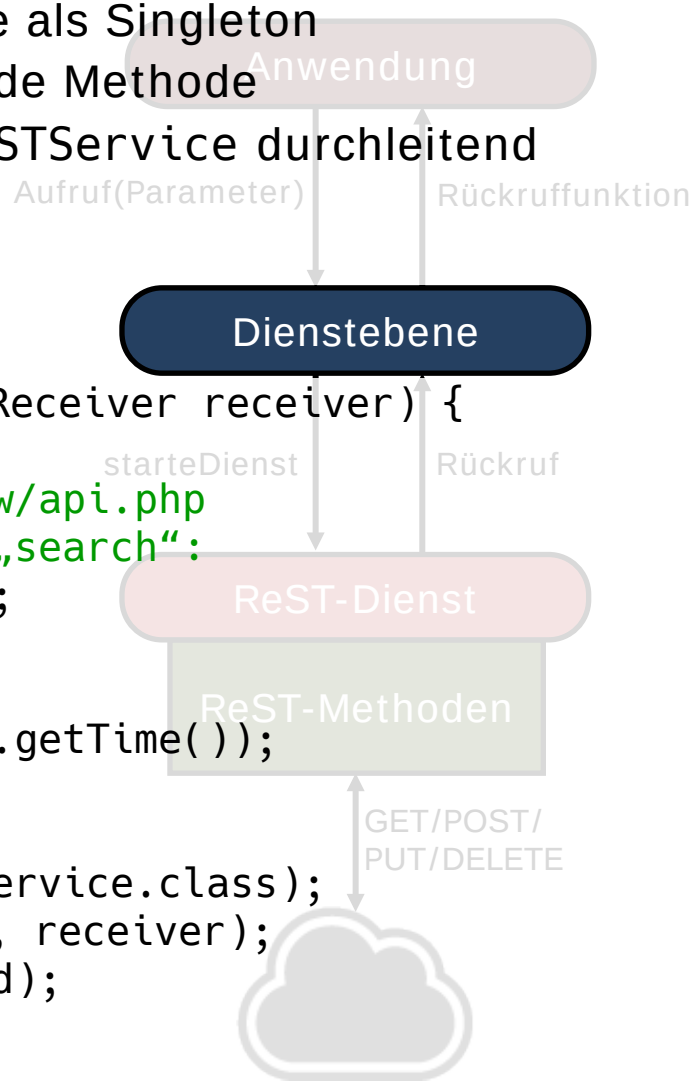



```
public class MainActivity extends Activity implements Receiver {
    private WikiServiceHelper serviceHelper;
    public RESTReceiver mReceiver;
    ...
    public void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        ...
        serviceHelper = WikiServiceHelper.getInstance(this);
        mReceiver = new RESTReceiver(new Handler());
        mReceiver.setReceiver(this);
    }
    // Aufruf des ServiceHelper
    serviceHelper.wikiSearch(query, mReceiver);
    // Ergebnisempfang durch Rückruf
    public void onReceiveResult(int resultCode, Bundle resultData) {
        ...
    }
    ...
```

Service Helper der Dienstebene

- einfache asynchrone API auf Anwendungsebene als Singleton
- erzeugt Intents und startet RESTService für jede Methode
- implementiert Empfänger (Receiver) → zum RESTService durchleitend

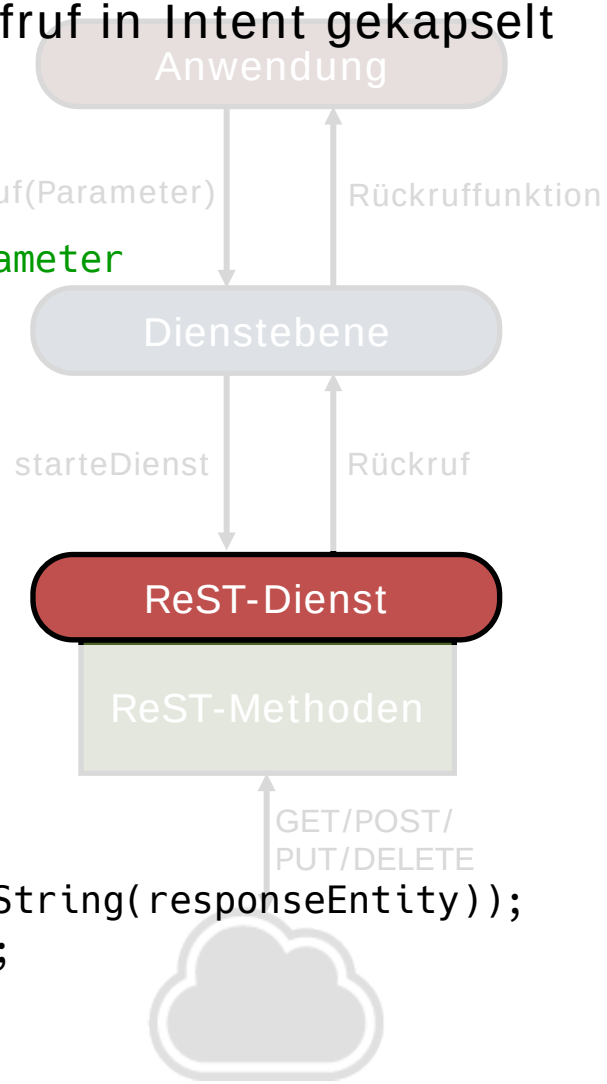
```
public class WikiServiceHelper
       implements Receiver {
   ...
   public void wikiSearch(String query, ResultReceiver receiver) {
      Bundle extras = new Bundle();
      // Zugriff auf https://de.wikipedia.org/w/api.php
      // erfordert die Parameter „action“ und „search“:
      extras.putString("action", "opensearch");
      extras.putString("search", query);
      // Anfrage-ID erzeugen
      String reqId = String.valueOf(new Date().getTime());
      // Receiver in HashMap hinterlegen
      callbacks.put(reqId, receiver);
      Intent intent = new Intent(context,RESTService.class);
   intent.putExtra(RESTService.RESULT_RECEIVER, receiver);
      intent.putExtra(RESTService.REQ_ID, reqId);
      context.startService(intent);
   }
   ...
```



ReST-Dienst in Android

ReST-Dienst erweitert IntentService → ReST-Aufruf in Intent gekapselt

```
public class RESTService extends IntentService {
    ...
    protected void onHandleIntent(Intent intent) {
        // extrahiere URI der Ressource und weitere Parameter
        Uri action_uri = intent.getData( );
        Bundle params = extras.getParcelable(PARAMS);
        // HTTP-Methode setzen
        int verb = extras.getInt(HTTP_VERB, GET);
        // Rückrufempfänger definieren und ID holen
        ResultReceiver receiver =
            intent.getParcelableExtra(RESULT_RECEIVER);
        String requestId = extras.getString(REQ_ID);
        ...
        // eigentlicher Aufruf der ReST-Methode
        ...
        Bundle resultData = new Bundle( );
        resultData.putString(REST_RESULT,EntityUtils.toString(responseEntity));
        resultData.putString(ACTION, action.toString( ));
        ...
        receiver.send(statusCode, resultData);
        ...
```

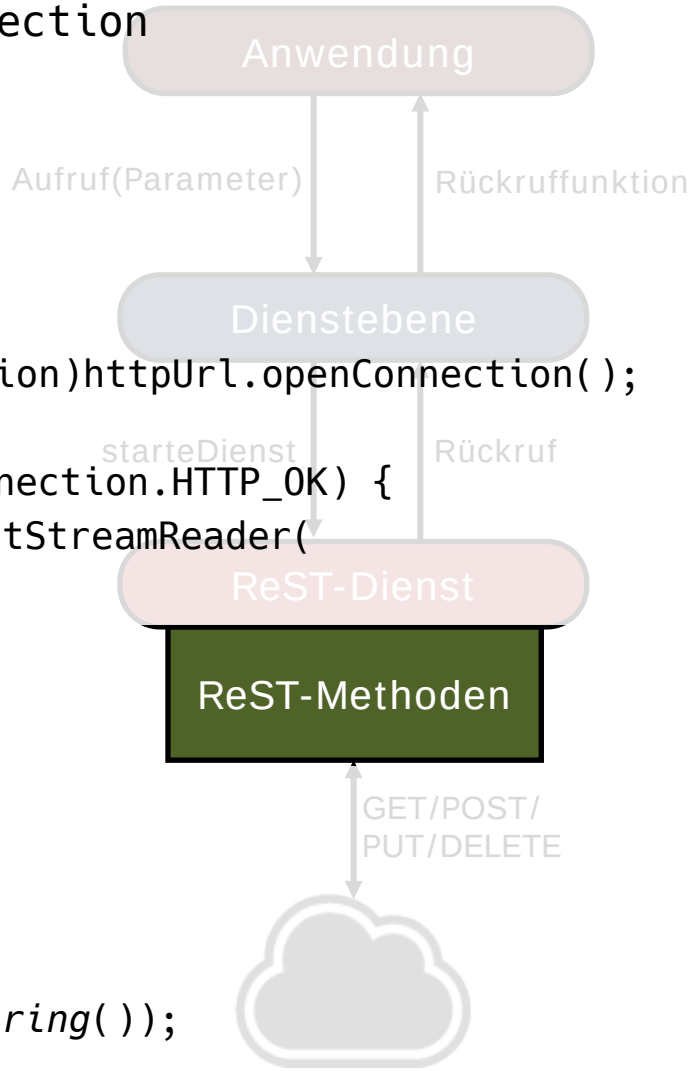


ReST-Methoden in Android

ReST-Methoden basieren auf `java.net.URLConnection`

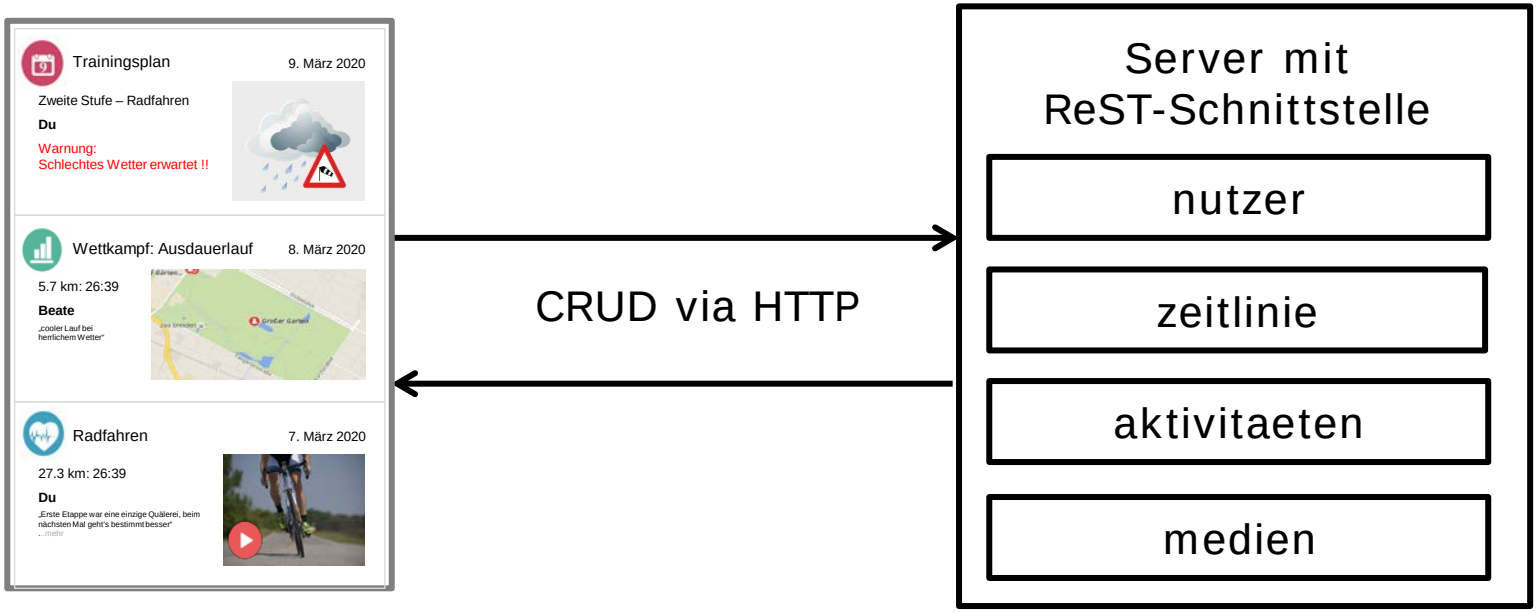
- bereiten HTTP-URL und HTTP-Anfrage-Inhalt vor
- führen die HTTP-Transaktion aus
- verarbeiten die HTTP-Antwort

```
URL httpUrl = new URL(urlString);
HttpURLConnection httpConnection = (HttpURLConnection)httpUrl.openConnection();
httpConnection.setRequestMethod("GET");
if (httpConnection.getResponseCode() == HttpURLConnection.HTTP_OK) {
    BufferedReader in = new BufferedReader(new InputStreamReader(
        httpConnection.getInputStream()));
    String inputLine;
    StringBuffer response = new StringBuffer();
    while ((inputLine = in.readLine()) != null) {
        response.append(inputLine);
    }
    in.close();
    Bundle resultData = new Bundle();
    resultData.putString(REST_RESULT, response.toString());
    ...
```



Social-Fitness-App – ReST

- Abrufen von Zeitlinieneinträgen



- Problem mit ReST
  - heterogene Client-Anforderungen
  - Über-/Unterversorgung (Over-Fetching und Under-Fetching)

Google Volley

Google Volley – Haupteigenschaften

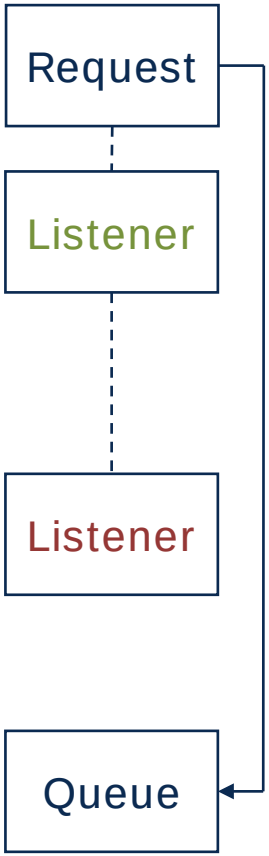
- begrenzte Bandbreite
  - Anfragepriorisierung
  - Anfrageabbruch
- Verbindungs- und Übertragungsfehler
  - Warteschlangen (Queuing)
  - Ergebnis-Caching
  - Anfragewiederholung

[springer2015]

Google Volley – Grundbausteine

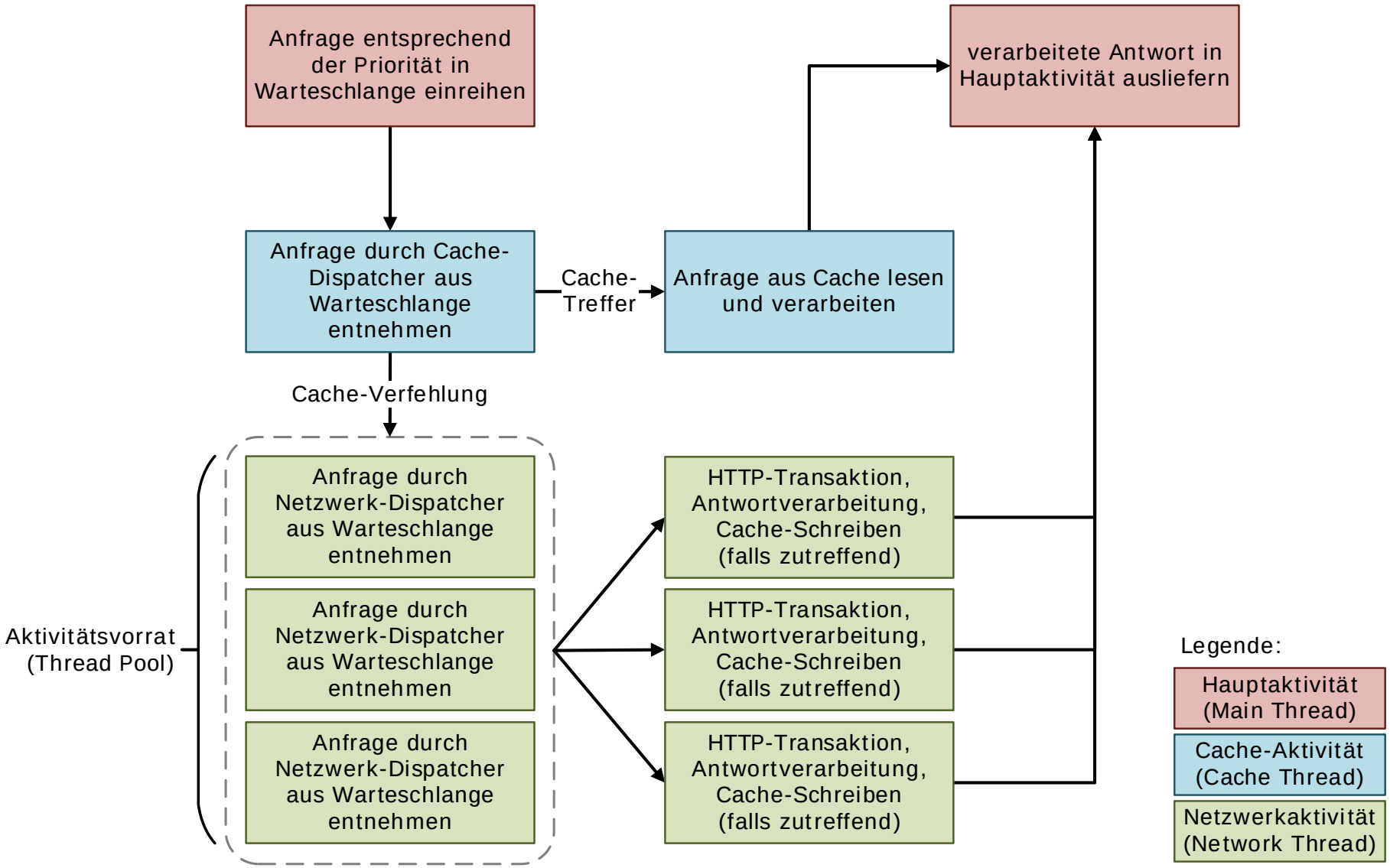
- Anfragen (Request)
  - repräsentiert HTTP-Anfragen
  - Methoden: `GET`, `POST`, `PUT`, `DELETE`, ...
  - wohldefinierte Antworttypen (inkl. Standards wie String, JSON, ...)
- Anfragewarteschlange (RequestQueue)
  - einmaliges Element (Singleton) pro Anwendungsinstanz
  - verantwortlich für Terminierung und Initiierung von Anfragen
- Antwortempfänger (ResponseListener)
  - zum Empfang von Fehlern oder der eigentlichen Antwort

Google Volley – Anfrageinitiierung




```
StringRequest req = new StringRequest(Request.Method.GET, "example.com",
    new Response.Listener<String>() {
        @Override
        public void onResponse(String response) {
            // irgendwas tolles mit der Antwort machen…
        }
    },
    new Response.ErrorListener() {
        @Override
        public void onErrorResponse(VolleyError error) {
            // Fehler behandeln (Schuld jemand anderem geben)
        }
    }
);
// Anfrage der Warteschlange hinzufügen
Volley.newRequestQueue(this).add(req);
```

Google Volley – Threading



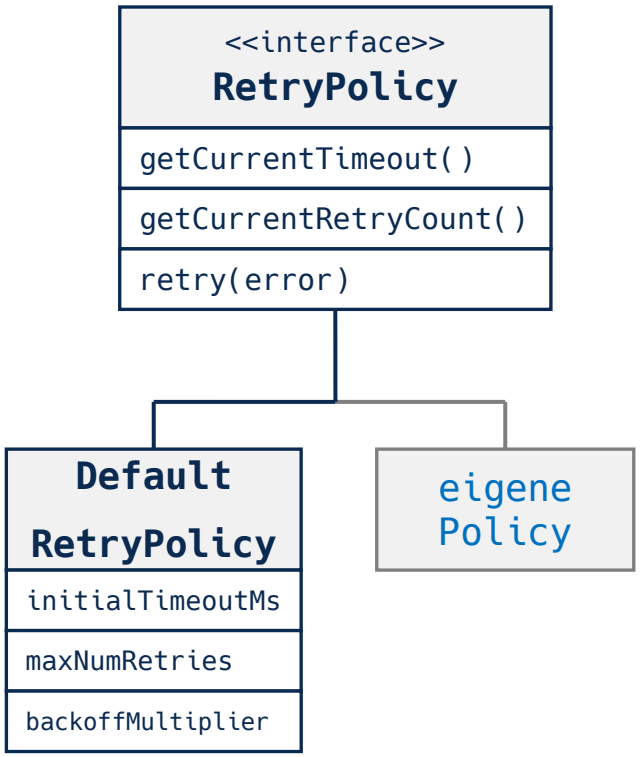
Google Volley – Wiederholungsanfragen

- Timeout
- Anzahl der Wiederholungen
- Backoff-Zeit

```
Req.setRetryPolicy(
    new DefaultRetryPolicy(
        initialTimeoutMs,
        maxNumRetries,
        backoffMultiplier
    )
);
```

Beispiel:

```
Req.setRetryPolicy(
    new DefaultRetryPolicy(1000, 3, 2.0f));
```

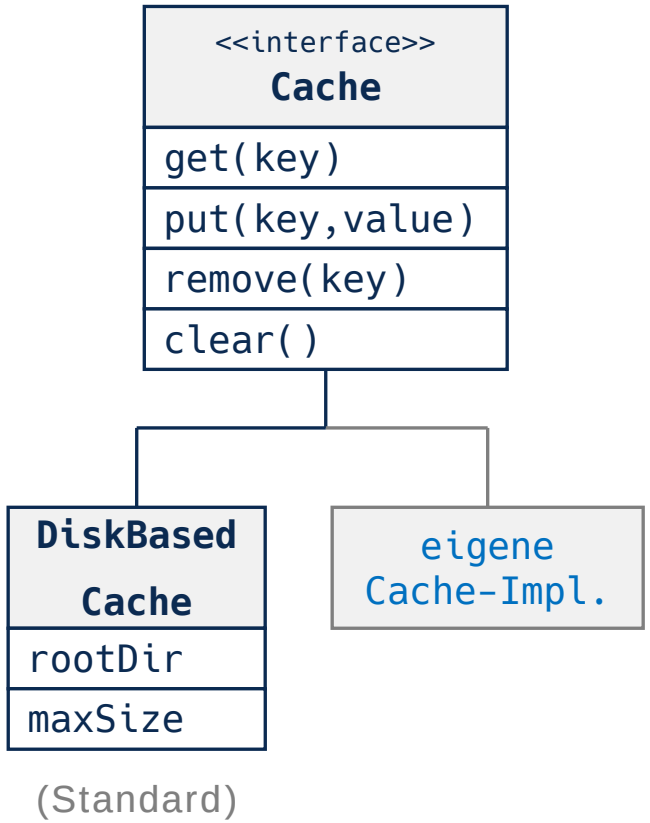


(Standard)

Google Volley – Caching

- transparenter Antwort-Cache
- Cache-Schnittstelle

```
Cache cache = new DiskBasedCache(
                    getCacheDir(),
                    maxCacheSizeInBytes
                );
RequestQueue queue = new RequestQueue(
                        cache,
                        network
                    );
```



Google Volley – Priorisierung

- nicht sofort verfügbar (kein Out-of-the-Box)
- vom Nutzer definierte Anfragen (abgeleitet vom StringRequest)

```
public abstract class PriorityRequest extends StringRequest {
    private Priority mPriority;
    public PriorityRequest(
        int method, String url, Response.Listener<String> listener,
        Response.ErrorListener errorListener, Priority priority
    ) {
        super(method, url, listener, errorListener);
        mPriority = priority;
    }
    @Override
    public Priority getPriority() {
        return mPriority;
    }
}
```

Priority
LOW
NORMAL
HIGH
IMMEDIATE

Google Volley – Anfrageabbruch

klare Abbruch-API

- individuelle Anfragen

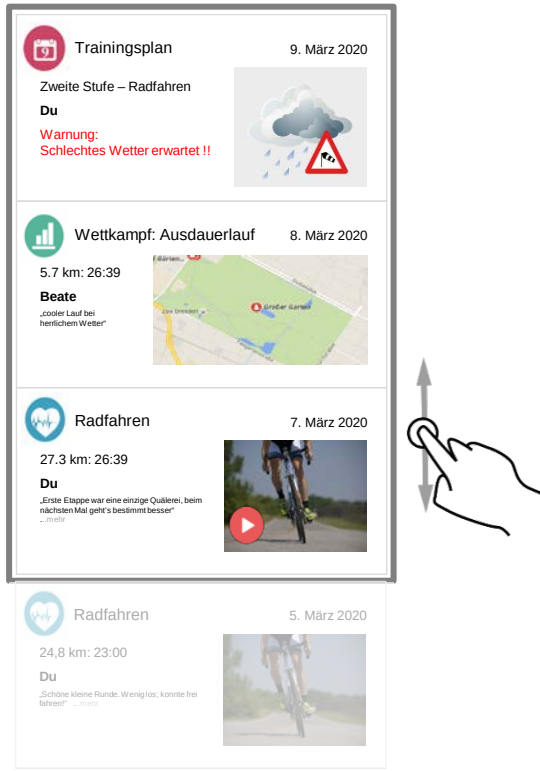
```
req.cancel();
```

- Auswahl nach Tag

```
req.setTag("tag");
...
queue.cancelAll("tag");
```

- Auswahl nach Filter

```
queue.cancelAll(new LowPrioFilter());
public class LowPrioFilter implements RequestQueue.RequestFilter {
    @Override
    public boolean apply(Request<?> req) {
        return(req.getPriority() == Request.Priority.LOW);
    }
}
```



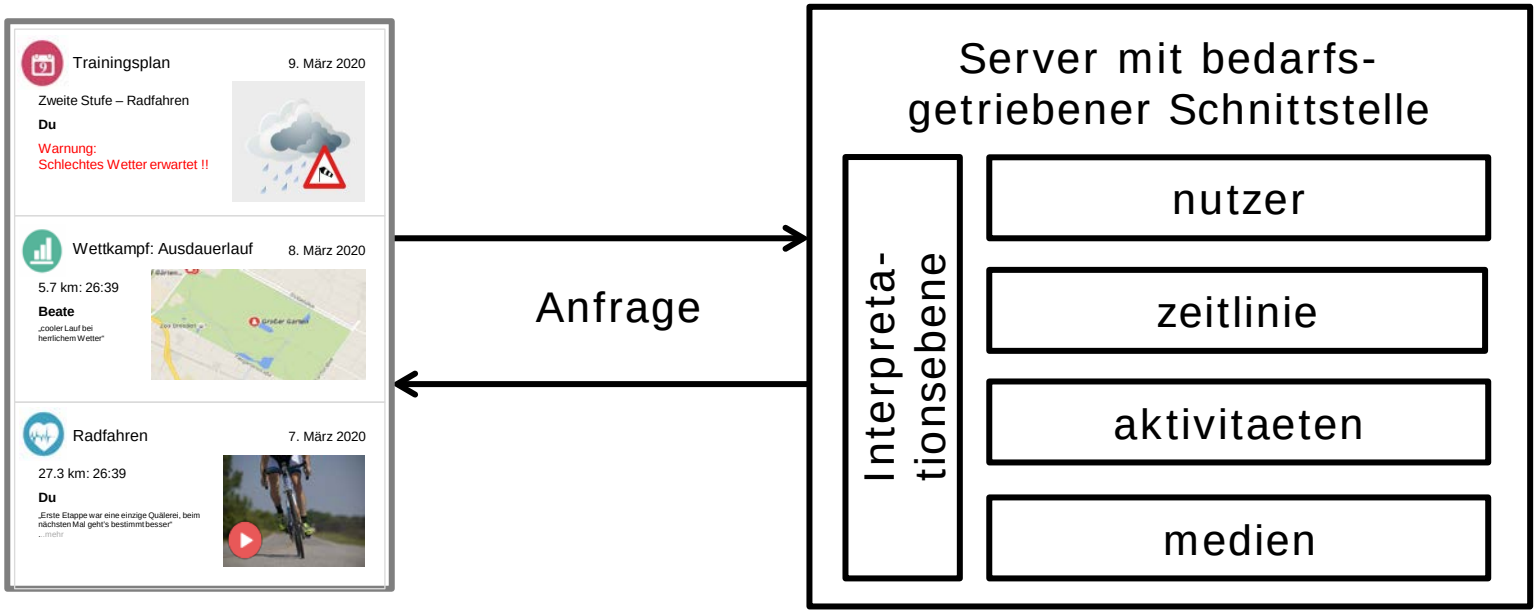
bedarfsgetriebene Architekturen

BEDARFSGETRIEBENE ARCHITEKTUREN [NOLAN, KOVAS; 2015]

Drei Leitprinzipien

- Bedarf: Clients deklarieren ihre Anforderungen über eine Anfragesprache
- Komposition: Bedarfe für unterschiedliche Eigenschaften können über einen Rekursionsmechanismus mit in sich geschlossenen (Unter)Bedarfsmeldungen zusammengestellt werden
- Bedarf wird rekursiv durch den Dienst interpretiert (Interpretationsebene ist dem Backend ggü. agnostisch)

Social-Fitness-App – bedarfsgetriebener Ansatz



- Server spezifiziert verfügbare Daten durch ein Schema (Introspektion)
- Client erzeugt individuelle, dem Schema entsprechende, Anfragen
- Server validiert Anfragen gegen das Schema
- Auflöserfunktionen (Resolver) behandeln Anfragefelder und generieren Ergebnismenge (bspw. behandelt ein Resolver Nutzer und ihre Attribute, ein anderer behandelt die Aktivitäten)

Beispiel: GraphQL [Facebook; 2012]

- seit dem Jahr 2013 durch Facebook-Apps auf iOS und Android verwendet

```
type Nutzer {
    id : ID !
    // das ! ist notwendig
    name : String
    historie : [Zeitlinie]
}
```

```
type Zeitlinie {
    id : ID !
    name : String
    besitzer : Nutzer
    teilnehmer : [Nutzer]
    aktivitaeten : [Aktivitaet]
}
```

```
type Aktivitaet {
    id : ID !
    name : String
    typ : String
    zeitlinie : Zeitlinie
    medien : [Medium]
}
```

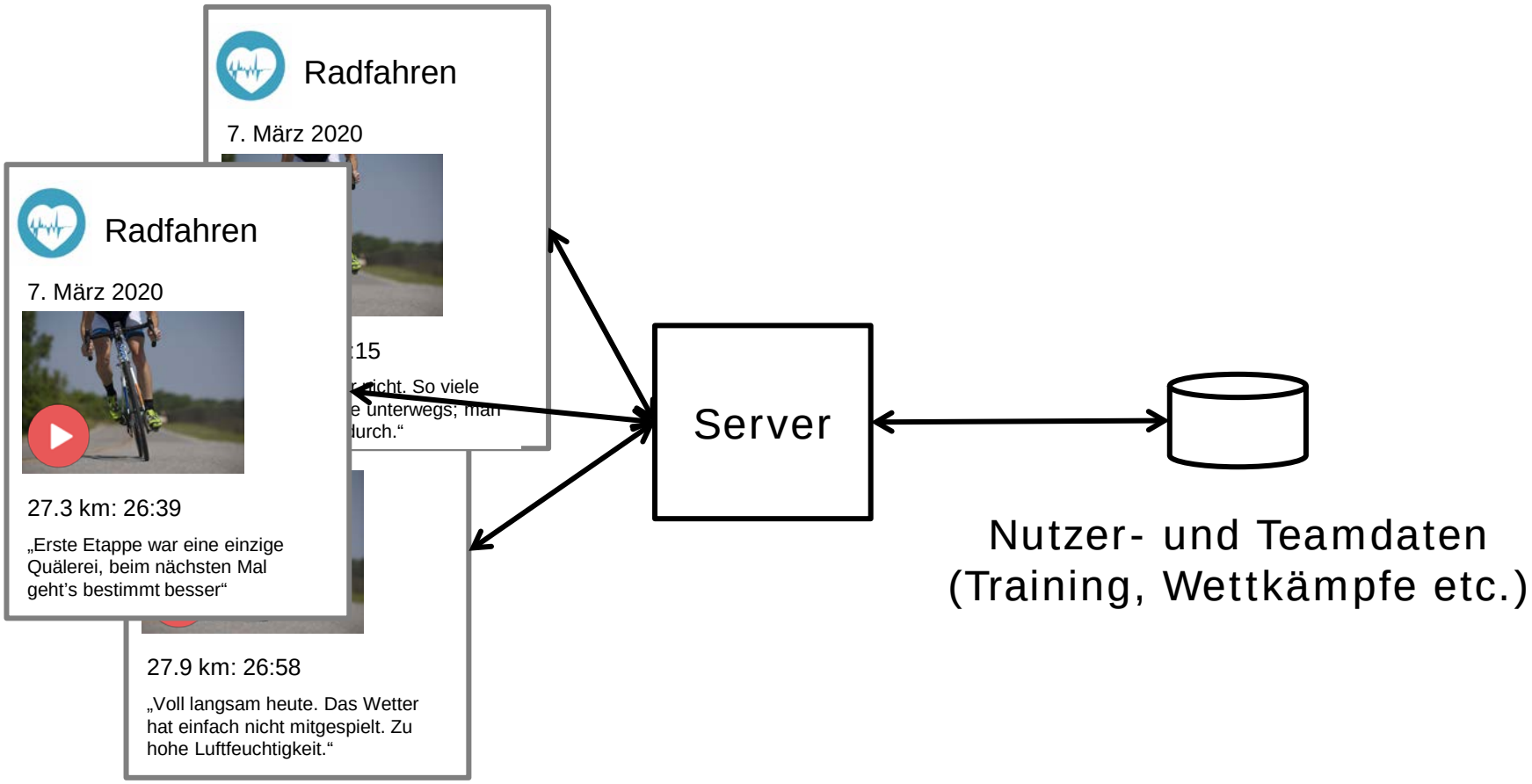
```
{
    Nutzer ( id : 123 ) {
        name
        zeitlinie ( id : 1) {
            name
            aktivitaeten {
                name
                typ
            }
        }
    }
}
```

BEDARFSGETRIEBENE ARCHITEKTUREN

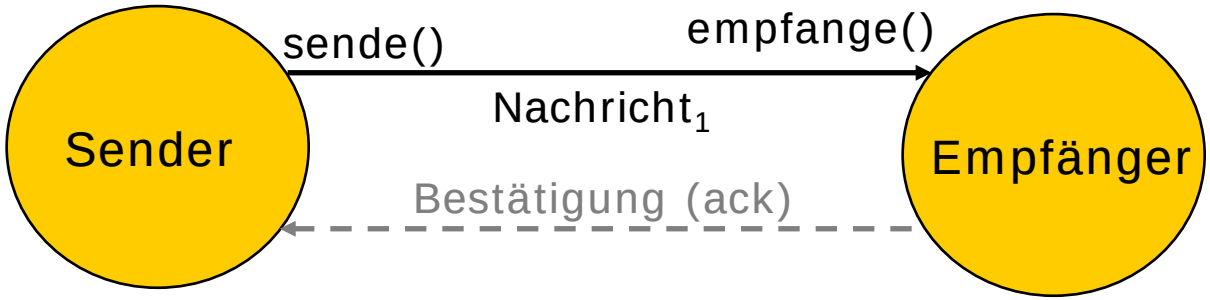
- Anfragen werden vom Client festgelegt
  - Server legt keine statische Schnittstelle fest
  - variable Ergebnismenge (bspw. Attribut- und Ressourcenteilmenge)
- Komposition von Anfragen
  - hierarchische Anfragen
  - ressourcenübergreifende Anfragen
- starke Schema- & Anfragetypisierung → Server validiert vor Bearbeitung
- speicher-, protokoll- und programmiersprachen-agnostisch
- stabile Anfrageschnittstelle
  - erweiterbar durch Schema
  - benötigt keine Versionierung

Social-Fitness-App – Konnektivitätsherausforderung

- Distribution der Aktivitäten auf multiple Empfänger (Push vs. Pull)

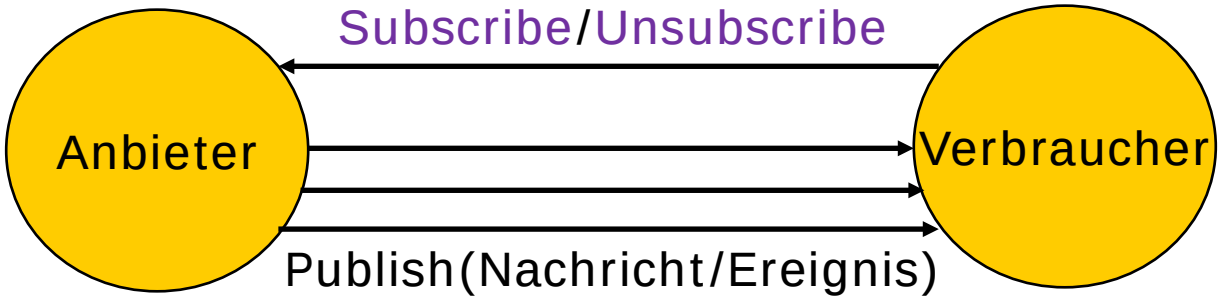


NACHRICHTENDURCHREICHUNG



- grundlegendes Kommunikationsschema
- asynchron (wenn ohne Bestätigungen)
  - keine Zustellgarantie
- synchron (wenn mit Bestätigungen)
  - Client und Server müssen gleichzeitig online sein
  - Sendender ist kurzzeitig blockiert

Abonnement (Publish/Subscribe)

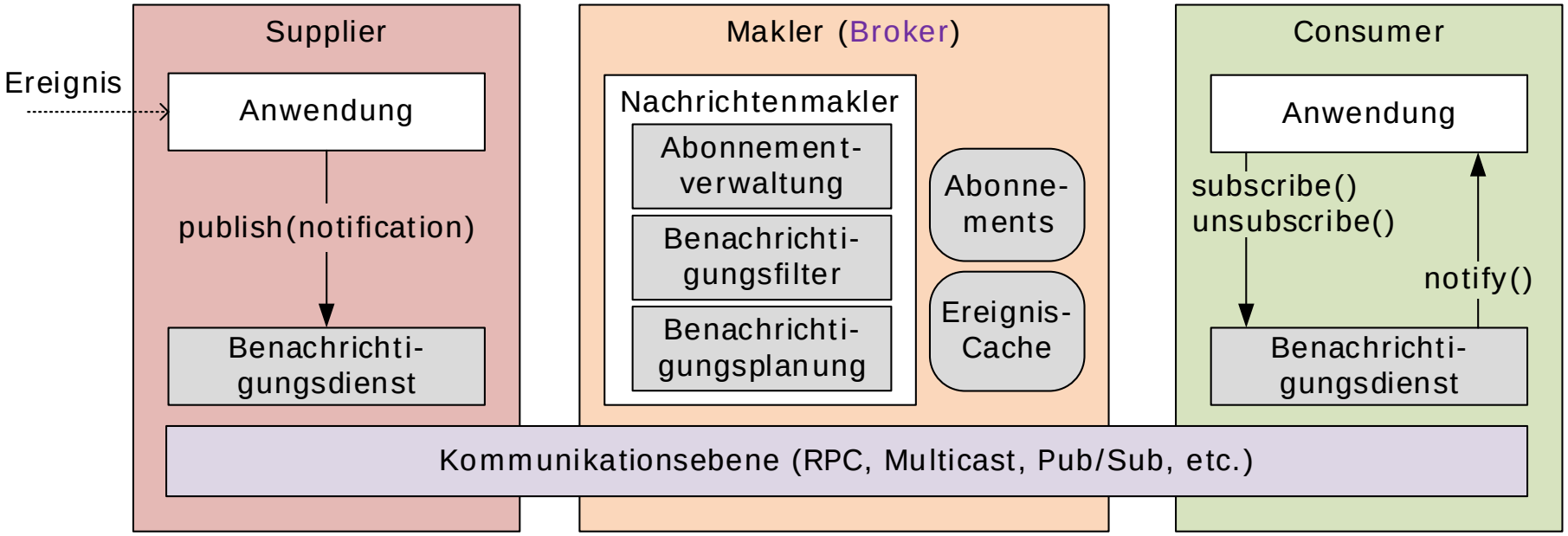


- zwei Rollen
  - Anbieter (Supplier) – erzeugt Nachrichten
  - Verbraucher (Consumer) – verarbeitet Nachrichten
- m:n-Kommunikation basierend auf Nachrichten
- inhärent asynchron
- flexibles Binden auf Basis von Abonnements (Subscription)
- direkte Kommunikation zwischen Anbieter und Verbraucher

NACHRICHTENKANAL

- lose Kopplung – kein direkter Nachrichtenaustausch zwischen Anbietern und Verbrauchern
- Beziehung zwischen Anbietern und Verbrauchern basiert auf
  - Kanalauswahl – alle Nachrichten eines Kanals empfangen (Channel Selection) → `subscribe("channel")`
  - Betreff – Filterung nach Schlüsselwort (Topic Selection) → `subscribe("topic")`
  - Hierarchie – Pfad in Baum bestimmt Unterbaum; Abonnement aller Knoten im Unterbaum (Path Selection) → `subscribe("de/sachsen/dresden/temperatur")`
  - Inhalt – semantische Filterung nach Inhalt (Content Selection) → `subscribe(messageContains="temperature AND Dresden")`

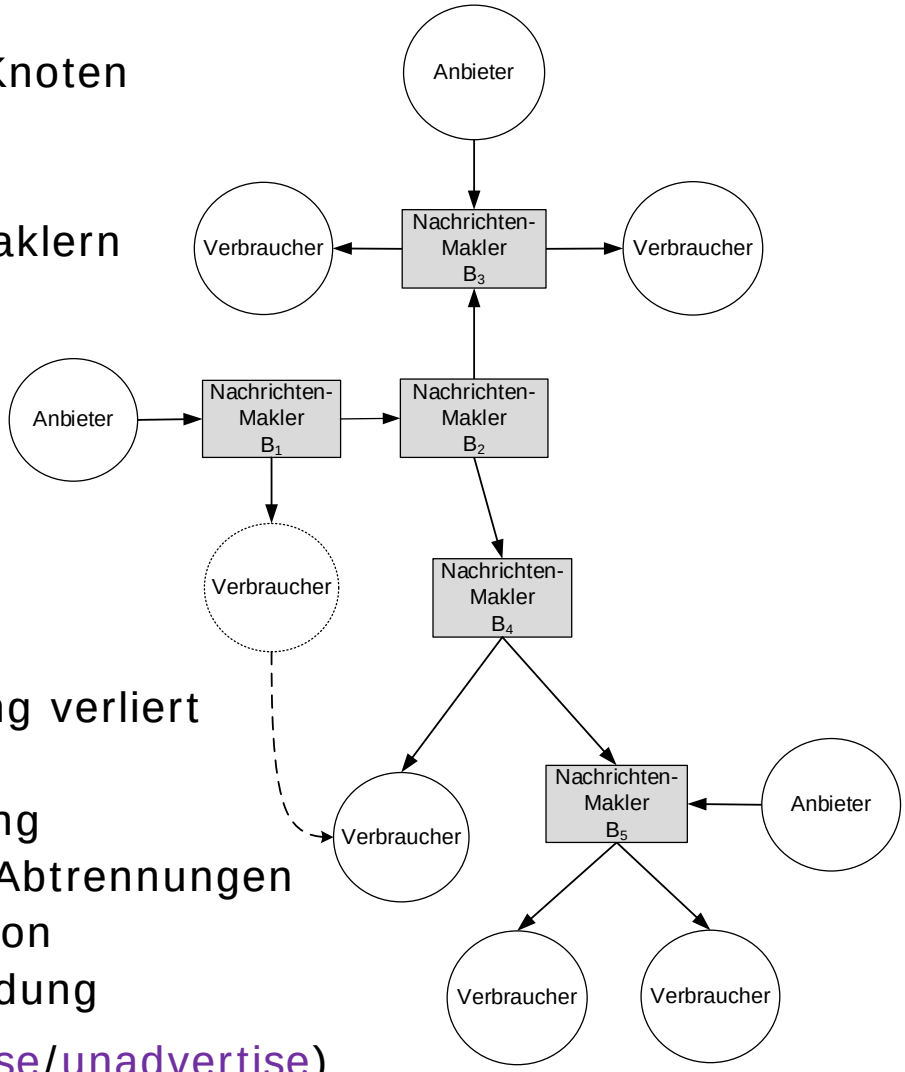
MEHRSCHICHTIGE ARCHITEKTUR



- Benachrichtigung – Datum repräsentiert Ereignis
- Überlagerungsstruktur
  - ereignisbasierte Kommunikation zwischen Anbieter und Verbraucher
  - diverse zugrunde liegende Kommunikationsmechanismen

MOBILITÄTSPROBLEME

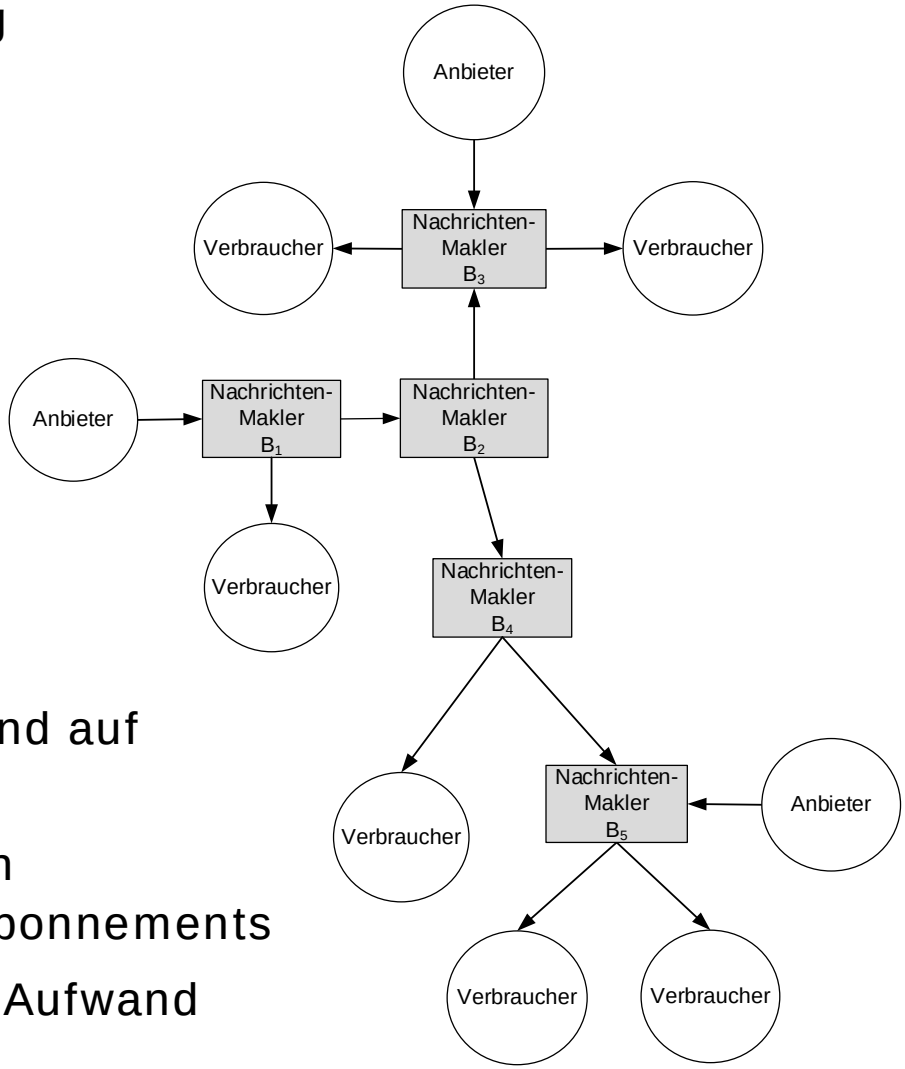
- physische Mobilität
  - Anbieter/Verbraucher auf mobilen Knoten
    - Ortsänderungen
    - Abtrennungen
  - transparente Übergabe zwischen Maklern
  - Anpassung der Benachrichtigungsrouten
- Verbraucher
  - explizites Re-Abonnieren am neuen Knoten
  - moveOut/moveIn-Operationen zur Abtrennung/Verbindung
  - nicht möglich, falls Client Verbindung verliert
  - fehlende Benachrichtigungen
  - erweiterte Infrastrukturunterstützung
    - Heartbeat zum Erkennen von Abtrennungen
    - automatische Neuzuweisung von Abonnements nach Neuverbindung
- Anbieter nutzen Ankündigungen (advertise/unadvertise)



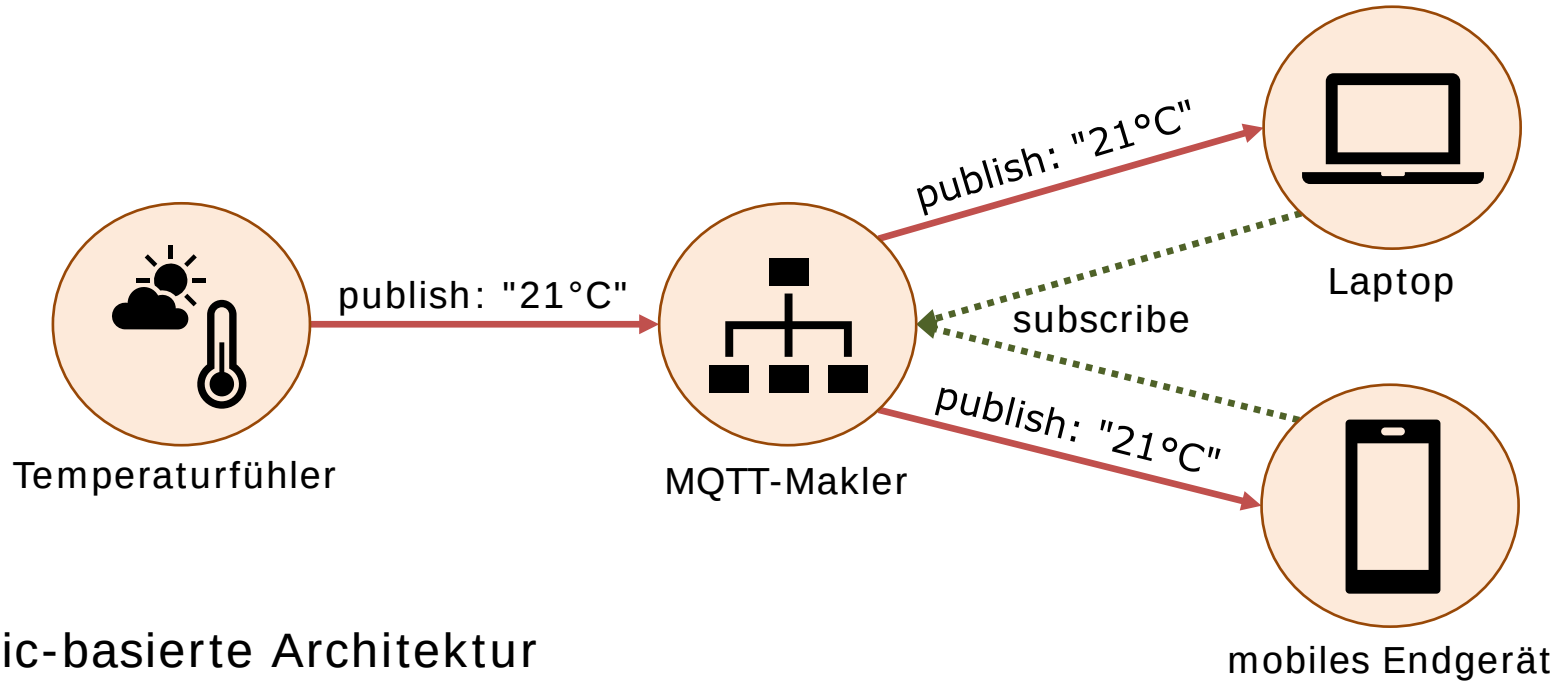
ARCHITEKTUREN

verteilte Benachrichtigungswegeplanung

- Fluten (Flooding)
  - Makler leitet Nachrichten an alle Nachbarn weiter
  - nur Makler mit direkt verbundenen Verbrauchern prüfen Filter
- filterbasiert Wegeplanung
  - Makler hält Wegetabellen mit (Filter; Ziel)-Paaren
  - permanente Aktualisierung basierend auf Subscribe/Unsubscribe-Ereignissen
  - Optimierung durch Vereinigung sich überlappender oder redundanter Abonnements
  - Ausgleich: Wegetabellengröße und Aufwand bei Aktualisierungen



Beispiel: Message Queue Telemetry Transport (MQTT)



- Topic-basierte Architektur
- jede Nachricht hat ein Topic
- hierarchisch organisiert → Abonnements auf unterschiedlichen Ebenen

MQTT – Dienstqualität (Quality of Service)

drei Dienstqualitätsebenen

- höchstens einmal (at-most-once)
  Ebene 0 garantiert eine Zustellung größter Mühe. Eine Nachricht wird durch den Empfänger nicht bestätigt und durch den Sender nicht gespeichert oder wiederholt. Die zugrunde liegende Garantie ist die von TCP (fire and forget).
- mindestens einmal (at-least-once)
  Ebene 1 garantiert, dass Nachrichten mindestens einmal an den Empfänger zugestellt werden. Vervielfältigung nicht ausgeschlossen.
- genau einmal (exactly-once)
  Ebene 2 garantiert, dass jede Nachricht mindestens und maximal einmal zugestellt wird. Sie ist die sicherste, aber auch langsamste Qualitätsebene. Die Garantie basiert auf zwei Verbindungen zwischen Anbieter und Verbraucher.

MQTT – Abtrennungsbehandlung

- gesicherte Nachrichten (Retained Messages):
  letzte Nachricht eines Topics wird vom Broker gespeichert und neuen Abonnenten automatisch zugestellt
- Verfügung (Last Will and Testament / LWT):
  Anbieter hinterlegt besondere Nachricht beim Broker, welche an alle Abonnenten ausgeliefert wird sobald er unerwartet abgetrennt wird
- beharrliche Sitzung (Persistent Sessions)
  - im Falle häufiger Abtrennungen
  - Broker hält persistent Sitzungsinformationen und alle Nachrichten eines Verbrauchers
  - neuverbundene Verbraucher müssen nicht reabonnieren, sondern erhalten sofort alle persistent zwischengespeicherten Nachrichten

MQTT-Beispiel

- clientseitige Bibliothek: Eclipse Paho
- MQTT-Broker: Mosquitto
- Beispiel-Client für Android

MQTT-Verbindungsaufbau

```
protected void onStart() {
   super.onStart();
   try {
      MemoryPersistence persistance = new MemoryPersistence();
      mqttClient = new MqttClient(
         "tcp://198.51.100.222:1883",
         "AndroidTest",
         persistance
      );
      mqttClient.connect();
      mqttClient.setCallback(this);
   }
   catch (MqttException e) { ... }
}
```

MQTT-Beispiel

MQTT-Rückruf

```
public void connectionLost(Throwable cause) {
	Log.d("Main", "connection lost: " + cause);
}
public void messageArrived(String topic, MqttMessage message)
throws Exception {
	Log.d("Main", "message received for topic: " + topic
		+ ",\r\nmessage: " + message);
}
public void deliveryComplete(IMqttDeliveryToken token) {
	Log.d("Main", "deliveryComplete for token: " +
token.getMessageId());
}
```

MQTT-Beispiel

MQTT-Abonnement

```
private boolean subscribe(String topic, int qos) {
   try {
      String topic = "topic/example";
      int qos = 1;
      mqttClient.subscribe(topic, qos);
   }
   catch (MqttException e) { ... }
}
```

MQTT-Veröffentlichung

```
MqttMessage message = new MqttMessage("Hello World".getBytes());
mqttClient.publish("topic/example", message);
```

MQTT-Beispiel

MQTT-Verbindungsabbau

```
protected void onStop( ) {
   super.onStop( );
   if (mqttClient != null) {
      if (mqttClient.isConnected( )) {
         try{
            mqttClient.disconnect( );
         }
         catch(MqttException e) { ... }
      }
   }
}
```

Vergleich der Interaktionsschemata

Request/Response (RPC)	Publish/Subscribe (Nachrichten)
• enge Kopplung (Neubinden schwer)	• lose Kopplung (dynamisches Neubinden)
• 1:1-Kommunikation	• m:n-Kommunikation
• synchron (Probleme bei Abtrennung)	• asynchron (Abtrennungsbehandlung)

• vertrautes Interaktionsschema mit Anfragen und Antworten	• simples Interaktionsschema
	  • Basis für komplexere Interaktionen
	  • zusätzlicher Aufwand für komplexe Interaktionen notwendig

• Client und Server werden synchronisiert	• Synchronisierung muss explizit angestoßen werden
	• keine Ergebnisse für Nachrichten
• zusätzlicher Aufwand für Zuverlässigkeit (at-most-once)	• zuverlässiger Nachrichtenaustausch auf Basis der Nachrichtenschlangen
• Client/Server-Systeme (Datenverarbeitung mit Ergebnissen)	• Lastverteilung, Parallelisierung, Stapelverarbeitung, Ereignisverteilung

bidirektionale Kommunikation

Bidirektionale Kommunikation – WebSockets

- persistente, bidirektionale, vollduplex TCP-Verbindung
- arbeitet auf bestehender oder neuer TCP-Verbindung
- initiiert durch WebSocket-Handshake via HTTP

```
GET /websocket HTTP/1.1
Host example.com
Origin: https://example.com
Connection: Upgrade
Upgrade: websocket
Sec-WebSocket-Key: mx3JhmBHl1EzLApfelhXDw==
Sec-WebSocket-Protocol: chat, superchat
Sec-WebSocket-Version: 13
```

- bestätigt vom Server, ebenfalls via HTTP

```
HTTP/1.1 101 Switching Protocols
Upgrade: websocket
Connection: Upgrade
Sec-WebSocket-Accept: HSacBirne0UkAGmm5OzZy2HaaBc=
Sec-WebSocket-Protocol: chat
```

BIDIREKTIONALE KOMMUNIKATION – WEBSOCKETS

- Erkennung prokurierter Kommunikation
  - Websocket selbst erkennt Proxys nicht
  - unterliegendes HTTP kann Proxy-Verbindung etablieren (HTTP Tunnel)
    - Client

      ```
      CONNECT proxy.example.com:22 HTTP/1.1
      Proxy-Authorization: Basic encoded-credentials
      ```

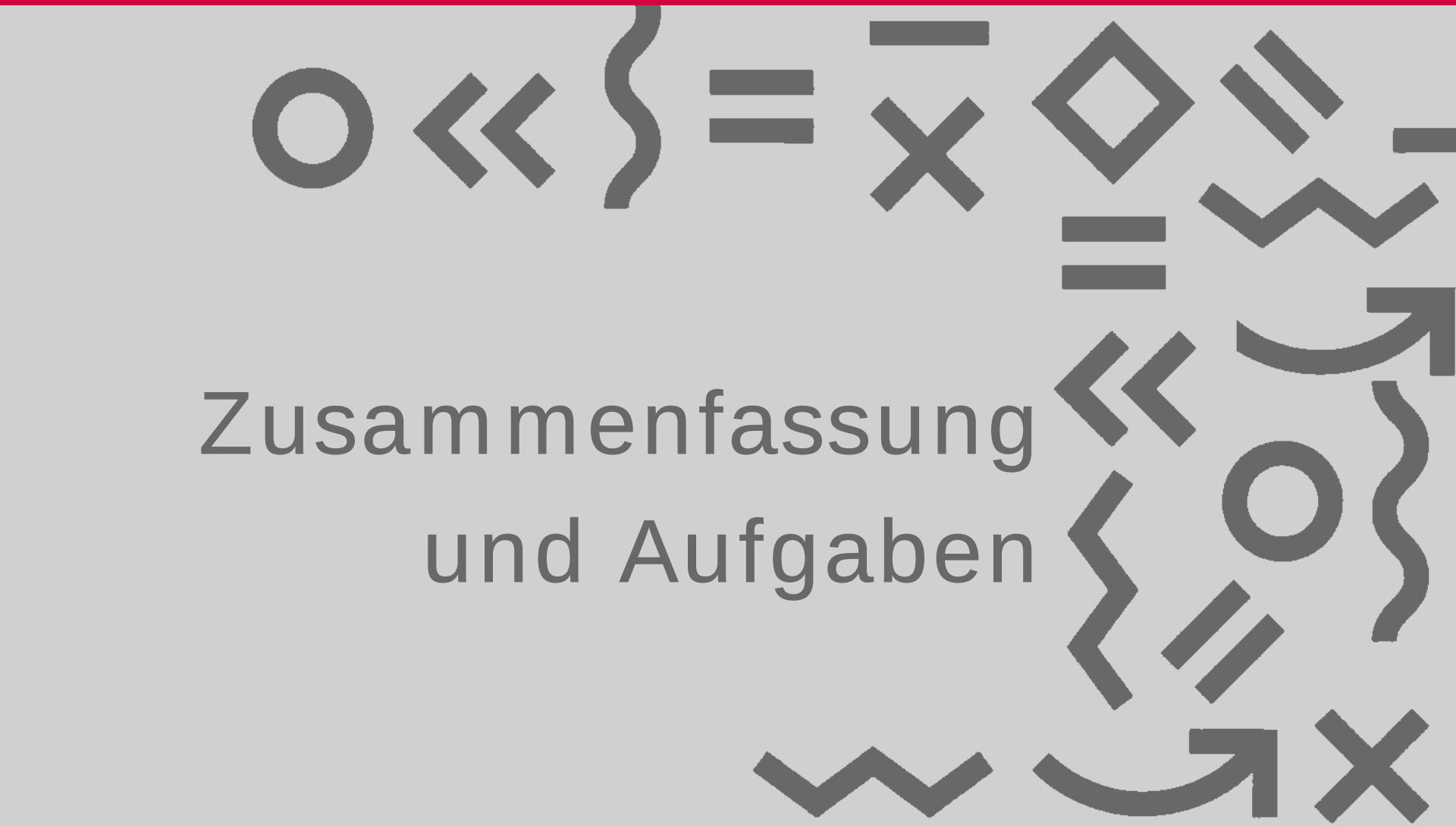
    - Server

      ```
      HTTP/1.1 200 OK
      ```

  - anschließend sendet Client alle Anfragen an Proxy

    ```
    SSH-2.0-OpenSSH_4.3
    ...
    ```

- Austausch von Klartext oder Text-Blöcken über etablierte Verbindung
- unverschlüsselt (`ws://…`) oder TLS-verschlüsselt (`wss://…`)
  → Upgrade von `https://…` auf `ws://…` nicht möglich, umgekehrt schon!
- initiale HTTP-Verbindung kann nach WS-Etablierung geschlossen werden



Zusammenfassung und Aufgaben

ZUSAMMENFASSUNG

- Anfrage/Antwort-Interaktion (Request/Response)
  - mobiles RPC-Konzept
  - ReST-Dienste
  - Beispiel: Google Volley
- Bedarfsgesteuerte Architekturen
  - clientseitige Anfragen
  - Beispiel: GraphQL
- ereignisgetriebene Kommunikation
  - Abonnement-Mechanismus (Publish/Subscribe)
  - Ereigniskanal (Event Channel)
  - Beispiel: MQTT
- bidirektionale Kommunikation am Beispiel WebSockets

AUFGABEN

- Diskutieren Sie mit Ihren Kommilitonen, wie Sie einen WWW-Server zu einem ReST-Dienst erweitern können.
  Welche Anpassungen sind an Firewalls notwendig, um ReST nutzen zu können? Welche Anpassungen an Proxys?
- Googlen Sie nach *XMPP* und diskutieren Sie mit Ihren Kommilitonen Ähnlichkeiten und Unterschiede zu MQTT!
  Was sind sinnvolle Einsatzszenarien für Message Queues?
  Wie würden Sie eine Chat-Anwendung umsetzen in MQTT? ...in XMPP?
  (Vergessen Sie nicht, dass Anwender offline sein können, aber trotzdem Nachrichten zugestellt bekommen wollen!)
- Diskutieren Sie mit Ihren Kommilitonen sinnvolle Szenarien für WebSocket-Kommunikation.
  Wann ist der parallele Einsatz von HTTP und WS sinnvoll?
  Wann lohnt es sich, die HTTP-Verbindung zu schließen? Wann nicht?

REFERENZEN

Bakre, A.V. & Badrinath, B.R. M-RPC: A Remote Procedure Call Service for Mobile Clients; Mobile Computing and Networking, 1995, 97-110

Fiege, L., Mühl, G., Pietzuch, R.: Distributed Event-Based Systems. Springer, Berlin, 2006

Google I/O 2010 – Android REST client applications http://www.youtube.com/watch?v=xHXn3Kg2IQE

Google (2013): „Transmitting Network Data Using Volley“. Android Developers. Abgerufen am 15.06.2016 von https://developer.android.com/training/volley.

Google (2016): „Material Design“. Abgerufen am 15.06.2016 von https://www.google.com/design/spec/components/lists.html

Kirkpatrick, Ficus (2013): „Google I/O 2013 - Volley: Easy, Fast Networking for Android“. *YouTube*. Abgerufen am 15.06.2016 von https://www.youtube.com/watch?v=yhv8l9F44qo.

MQTT: http://mqtt.org