

1/51

## Verteilte Systeme

Prof. Dr. Martin Becke

CaDS - HAW Hamburg

 $Version\ 0.9$ 

Protokolle Allgemeine Diskussion REST RESTful API Message Broker Protokolle

RESTful API und States

Topologien

Allgemein Namensräume



#### Inhalt

- 1 Kommunikation
  - Topologien
  - Protokolle
  - Allgemeine Diskussion
  - REST
  - RESTful API
  - Message Broker Protokolle
  - RESTful API und States
  - Allgemein
  - Namensräume

Topologien Protokolle Allgemeine Diskussion REST

CaDS

REST RESTful API Message Broker Protokolle RESTful API und States Allgemein Namensräume

# Topologien

Übersicht

- ► One-to-All
- ► Tree-based (Spanning Tree)
- ► Flooding
- ► Gossip

Allgemeine Diskussion REST RESTful API Message Broker Protokolle

RESTful API und States

Allgemein Namensräume



## Protokolle

Produktive Protokolle - Beispiele

- ► TCP/IP
- ► MQTT
- ► HTTP

VS

Topologien Protokolle

Allgemein Namensräume

Allgemeine Diskussion REST RESTful API Message Broker Protokolle RESTful API und States



## Protokolle

Basic Layers

- ► Low-Level-Network-Programming
- ightharpoonup High-Level-Network-Programming
- ► Prompt Engineering (?)

Topologien Protokolle Allgemeine Diskussion REST RESTful API

Allgemein Namensräume

Message Broker Protokolle RESTful API und States



6/51

## Kommunikation

#### Eigenschaften

- ► Skalierbarkeit
- ► Fehlertoleranz
- ► Ausfallsicherheit
- ► Konsistenz
- ► Synchronisation
- ▶ Bandbreite, Latenz, Fehlerrate
- ► Kopplung

RESTful API und States

Allgemein



7/51

## Auswahl nach Zerlegungsmethode

#### Ressourcen-orientierte

- ► HTTP für die Ressourcen-orientierte Zerlegung
- ▶ de-facto die Basis für die Restful API

```
POST /ressource HTTP/1.1
Host: beispiel.com
Content-Type: application/json
Content-Length: 25
{
    "name": "Beispielname"
}
```

## Listing 1 – Ressource anlegen (POST)



Topologien Protokolle Allgemeine Diskussion REST RESTful API MESTful API RESTful API und States

Allgemein



## Auswahl nach Zerlegungsmethode

Funktionale Zerlegung

► Simple Object Access Protocol (SOAP) als Beispiel für

Allgemein Namensräume

REST RESTful API Message Broker Protokolle

RESTful API und States



## REST

Eigenschaften

- ► Stateless
- ► Client-Server-Architektur
- ► Cachefähig
- ► Einheitliche Schnittstelle
- ► Ressourcenorientierung

Topologien Protokolle Allgemeine Diskussion REST **RESTful API** Message Broker Protokolle

RESTful API und States

Allgemein Namensräume



10 / 51

#### RESTful API

Eigenschaften angelehnt an REST

- ► Einfachheit
- ► Zustandslos/ Skalierbar
- ► Interoperabilität (Client-Server-Architektur)
- ► Flexibilität
- ► Cachefähig
- ► Einheitliche Schnittstelle (HATEOAS)
- ► Ressourcenorientierung

Topologien Protokolle Allgemeine Diskussion REST RESTful API Message Broker Protokolle

RESTful API und States

Allgemein Namensräume



#### RESTful API

HATEOAS - Großes Missverständniss

- ► Unklare Dokumentation
- ► Fehlende Standardisierung
- ► Begrenzter Einsatz
- ► Frontend-Technologien und Frameworks

Topologien
Protokolle
Allgemeine Diskussion
REST
RESTful API

Message Broker Protokolle RESTful API und States

Allgemein Namensräume



#### RESTful API

#### HATEOAS - Beispiel

```
"id": 1.
"status": "off".
" links": {
 " self ": {
    "href": "https://api.example.com/lamps/1"
  "turnOn": {
    "href": "https://api.example.com/lamps/1/actions/turnOn".
    "method": "PUT"
  },
  "setBrightness": {
    "href": "https://api.example.com/lamps/1/actions/setBrightness".
    "method": "PUT"
  },
  "setColor": {
    "href": "https://api.example.com/lamps/1/actions/setColor",
    "method": "PUT"
                                                        4 D > 4 B > 4 B > 4 B >
```

Topologien Protokolle Allgemeine Diskussion REST RESTful API Message Broker Protokolle

RESTful API und States

Allgemein Namensräume



#### RESTful API

Richardson Maturity Model

- ► Level 0 RPC over HTTP
- ► Level 1 low level REST
- ► Level 2 de-facto standard
- ► Level 3 HATEOAS

ration Topologien
Protokolle
Allgemeine Diskussion
REST
RESTful API
Message Broker Protokolle

Allgemein Namensräume

RESTful API und States



## Richardson Maturity Model

Level 0

Einzige URI: https://api.example.com/actions

Aktionen werden durch unterschiedliche Parameter im Anfrage-Body bestimmt.

```
{
   "action": "getLamp",
   "lampId": 1
}
```

#### Listing 4 – Level 0

14 / 51

Topologien Protokolle Allgemeine Diskussion REST RESTful API

> Allgemein Namensräume

Message Broker Protokolle RESTful API und States



## Richardson Maturity Model

Level 1

URI je Ressource: https://api.example.com/lamps/1

Aber um die Lampe ein- oder auszuschalten, wird immer noch POST verwendet:

```
"action": "turnOn"
```

Listing 5 – Level 1



15 / 51

RESTful API und States

Allgemein Namensräume



# Richardson Maturity Model

URI je Ressource : https://api.example.com/lamps/1

Verwendung von standardisierten HTTP-Methoden.

- ► Um Informationen über die Lampe abzurufen : GET https://api.example.com/lamps/1
- ► Um die Lampe einzuschalten : PUT https://api.example.com/lamps/1/actions/turnOn
- ► Um die Lampe auszuschalten : PUT https://api.example.com/lamps/1/actions/turnOff

Level 2

Topologien Protokolle Allgemeine Diskussion REST RESTful API Message Broker Protokolle

RESTful API und States

Allgemein Namensräume



## 

- ► AMQP
- ► STOMP
- ► MQTT

RESTful API und States

Allgemein Namensräume



# Message Broker Protokolle Beispiel MQTT

- ► Leichtgewichtiges Publish-Subscribe-Protokoll
- ► Für eingeschränkte Umgebungen und Geräte mit begrenzter Rechenleistung
- ▶ Binäres Protokoll auf Basis von TCP/IP
- ► Gut geeignet ist für das Internet der Dinge (IoT)
- ► Geringe Latenz und geringer Bandbreitenverbrauch
- ► Geräte-zu-Geräte-Kommunikation



Allgemein



## Message Broker Protokoll

Message Broker

- ► RabbitMQ
- ► Beispiel eines Vergleichs https://www.confluent.io/blog/kafka-fastest-messaging-system/
- ► ZeroMQ (Broker-less)
- ► Beispiel MQTT Broker https://github.com/hobbyquaker/awesome-mqtt
- ► IBM MQ (Closed Source)
- ► HiveMQ (as a Service -Germany)

RESTful API und States

Allgemein Namensräume



## Message Broker Protokolle

Beispiel Apache Kafka

- ► Verteiltes Streaming-System
- ► Verarbeitung großer Datenmengen und Hochdurchsatz
- ► Skalierbares und fehlertolerantes System
- Verarbeitung und Speicherung von Datenströmen in Echtzeit
- ► Großen Datenmengen
- ► Kommunikation in groß angelegten, verteilten Anwendungen

Topologien
Protokolle
Allgemeine Diskussion
REST
RESTful API
Message Broker Protokolle
RESTful API und States
Allgemein

Namensräume



## Message Broker Protokolle

Apache Kafka Alternativen

- ► Apache Pulsar
- ► NATS Streaming
- ► Amazon Kinesis
- ► Google Cloud Pub/Sub
- ► Redpanda
- ► Beispiel eines Vergleichs https://www.confluent.io/blog/kafka-fastest-messaging-system/

Topologien Protokolle Allgemeine Diskussion REST RESTful API Message Broker Protokolle RESTful API und States

Allgemein Namensräume



## Message Broker

Properitäre Alternative : IBM MQ

- ► Message Queues
- ► Message Channel Agents
- ► Queue Manager
- ► Clients

Topologien Protokolle Allgemeine Diskussion REST RESTful API Message Broker Protokolle RESTful API und States

Allgemein Namensräume



## Message Broker

Priorizierung Nachrichten

- ► Prioritätsniveaus
- ► Routing-Regeln
- ► Software-Tools

Allgemeine Diskussion REST RESTful API Message Broker Protokolle

RESTful API und States

Allgemein Namensräume



## Message Broker

Herausforderungen

- ► Komplexität
- ► Ausfallsicherheit
- ► Skalierbarkeit
- ► Leistung
- ► Sicherheit
- ► Kompatibilität
- ► Wartung und Support

Allgemein Namensräume



## RESTful API und States

Idee

- ► REST ist ein resourcenorientiertes Designparadigma, das die Statemaschine in den Fokus stellt
- ► Fast ausschließlich jedes Programm besitzt eine Statemaschine
- ▶ States besitzen Eigenschaften und die Transitionen
- ► Es kann auch als Abstraktion bestehen

Topologien Protokolle Allgemeine Diskussion REST RESTful API Message Broker Protokolle

RESTful API und States

Allgemein Namensräume



#### RESTful API und States

Motivation

- ► Konsistenz und Einfachheit
- ► Entkopplung von Client und Server
- ► Zustandslosigkeit
- ► Skalierbarkeit und Leistung
- ► Erweiterbarkeit und Anpassungsfähigkeit
- ► Einheitliche Schnittstelle

Topologien
Protokolle
Allgemeine Diskussion
REST
RESTful API

Message Broker Protokolle RESTful API und States

Allgemein Namensräume



27 / 51

## RESTful API und States

#### Fallbeispiel

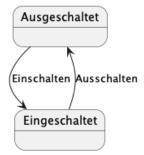


Figure – Einfache FSM Lampe



Topologien Protokolle Allgemeine Diskussion REST RESTful API Message Broker Protokolle

RESTful API und States

Allgemein Namensräume



## RESTful API und States

Fallbeispiel - Zustände abbilden

Ausgeschaltet : /lamp/off Eingeschaltet : /lamp/on

HTTP-Verben für Zustandsübergänge:

Einschalten: PUT /lamp/on Ausschalten: PUT /lamp/off Protokolle
Allgemeine Diskussion
REST
RESTful API
Message Broker Protokolle

RESTful API und States

Topologien

Allgemein Namensräume



29 / 51

## RESTful API und States

Fallbeispiel - GET /lamp

```
"state": "Eingeschaltet",
"links": [
   "rel": "self",
   "href": "/lamp/on",
   "method": "GET"
 },
   "rel": "Ausschalten",
   "href": "/lamp/off",
   "method": "PUT"
```

VS

Topologien Protokolle Allgemeine Diskussion REST RESTful API Message Broker Protokolle

RESTful API und States

Allgemein Namensräume



## RESTful API und States

Fallbeispiel - LampModel

```
class LampModel:
   def __init__(self):
       self.state = "AUS"
   def toggle(self):
       if self.state == "AUS":
           self.state = "EIN"
       else:
           self.state = "AUS"
   def get_state(self):
       return self.state
```

Protokolle
Allgemeine Diskussion
REST
RESTful API
Message Broker Protokolle
RESTful API und States

Topologien

Allgemein Namensräume



31 / 51

## RESTful API und States

#### Fallbeispiel - LampController

```
class LampAdapter(Resource):
          init (self, controller):
        self . controller = controller
   def get(self):
        response = {
            "state": self.controller.model.get state(),
            "_{\rm links}": {
                "self": {"href": "/lamp"}.
                "on": {"href": "/lamp/on"},
                "off": {"href": "/lamp/off"},
        return jsonify (response)
   def put(self):
        action = request.form.get("action")
        if action == "on":
            self . controller .on()
        elif action == "off":
            self . controller . off ()
```

VS

Topologien
Protokolle
Allgemeine Diskussion
REST
RESTful API
Message Broker Protokolle
RESTful API und States

Allgemein



## RESTful API und States

Fallbeispiel - LampController

```
from flask import Flask, jsonify, request
from flask_restful import Resource, Api
app = Flask(__name__)
api = Api(app)
lamp_model = LampModel()
lamp_controller = LampController(lamp_model)
lamp_adapter = LampAdapter(lamp_controller)
api.add_resource(lamp_adapter, "/lamp", "/lamp/on",
    "/lamp/off")
                                      4 0 1 4 4 4 5 1 4 5 1
```

RESTful API und States

Allgemein



#### RESTful API

Alternativen/Beispiele

- ► CoAP
- ► XMPP
- ► DDS (Realtime Publish/Subscribe)
- ► OPC-UA (Industrielles Kommunikationsprotokoll)
- ► ROS
- ► Message Broker Protokolle

Topologien Protokolle Allgemeine Diskussion REST RESTful API Message Broker Protokolle RESTful API und States

Allgemein



# Message Delivery

- ► maybe (MQTT QoS 0)
- ► at-least-once (MQTT QoS 1)
- ▶ at-most-once
- ► exactly-once (MQTT QoS 2)

Topologien
Protokolle
Allgemeine Diskussion
REST
RESTful API
Message Broker Protokolle
RESTful API und States

Allgemein



# Message Delivery

exactly-once

- ► Zwei-Generäle-Problem (Gleich mehr)
- ► Unzuverlässige Kommunikation
- ► Unvorhersehbare Systemausfälle
- ► message processing vs message delivery

Allgemeine Diskussion REST RESTful API Message Broker Protokolle RESTful API und States

Allgemein Namensräume



## Byzantinische Generäle Idee

► Zwei-Generäle-Problem (Gruppenarbeit)

Topologien Protokolle Allgemeine Diskussion REST RESTful API

Allgemein

Message Broker Protokolle RESTful API und States



#### Heartbeat

Idee

- ► Ein periodisches Signal
- ► Verfügbarkeit und Erreichbarkeit
- ► Heartbeats in verteilten Systemen haben mehrere Funktionen

RESTful API und States

Allgemein



# Heartbeat

Ziel

- ► Fehlererkennung
- ► Synchronisation
- ► Lastverteilung

Topologien Protokolle Allgemeine Diskussion REST

CaDS

RESTful API Message Broker Protokolle RESTful API und States Allgemein Namensräume

#### Heartbeat

Nachteile

- ► Zusätzlichen Netzwerkverkehr
- ► False positives
- ► Skalierbarkeit

RESTful API und States

Allgemein



#### Heartbeat

#### Konzepte

- ► Zentral vs. de-zentral
- ► Hierarchisch vs flach
- ► In-Band- und Out-of-Band-Kommunikation
- ▶ Priorisierung von Heartbeat-Prozessen
- ► Adaptiven und lernenden Heartbeat-Systeme

RESTful API und States

Allgemein



#### Multicast

Idee

- ▶ Ansatz für effiziente und skalierbare Übertragung
- ► Schont Netzwerkressourcen
- ► Problem : Mapping auf physikalisches Netz

Topologien
Protokolle
Allgemeine Diskussion
REST
RESTful API
Message Broker Protokolle
RESTful API und States

Allgemein



#### Multicast

Ansätze

- ► Application-Level Tree-Based Multicasting
- ► Datenbankreplikationen
- ► Redundanz
- ► Flooding-basiertes Multicasting
- ► Gossip-basiertes Multicasting

RESTful API und States

Allgemein



#### Serialisierungsformate

Herausforderungen

- ► Protocol Buffers
- ► MessagePack
- ► JSON
- ► XML

CaDS

REST RESTful API Message Broker Protokolle RESTful API und States Allgemein Namensräume

## Transport

Ideen

- ▶ Push vs Pull
- ▶ Daten vs. Funktionen

Kommunikation

Topologien Protokolle Allgemeine Diskussion REST RESTful API Message Broker Protokolle

RESTful API und States

Allgemein Namensräume



# $Namensr\"{a}ume$

Begriffe

- ► Name
- ► ID
- ► Adresse

45 / 51

RESTful API und States

Allgemein Namensräume



## Service Discovery

Architektur I

- ► Zentralen Architektur
- ► Verteilte Service-Discovery-Architektur
- ► Hierarchische Service-Discovery-Architektur

RESTful API und States

Allgemein Namensräume



## Service Discovery

Architektur II

- ► Client-seitige Service-Discovery-Architektur
- ► Server-seitige Service-Discovery-Architektur

RESTful API und States

Allgemein Namensräume



Namensräume

Strukturen

- ► Flacher Namensraum
- ► Hierarchischer Namensraum
- ► Attributbasierter Namensraum

Protokolle
Allgemeine Diskussion
REST
RESTful API
Message Broker Protokolle
RESTful API und States

Topologien

Allgemein Namensräume



(1)

(2)

(3)

# Naming

#### UUID

- ► Version 1 (zeitbasiert)
  - = Zeitstempel + Sequenznummer + MAC-Adresse
- ► Version 2 (DCE Security)
- ➤ Version 3 (MD5-Hash)
- ► Version 4 (zufällig)
- ► Version 5 (SHA-1-Hash)



= MD5-Hash(Namensraum-Identifikator + Name)

= Zeitstempel+Sequenznummer+MAC-Adresse+textDCE

RESTful API und States

Allgemein Namensräume



# ${\color{blue} Locator/Identifier}$

- ► Identifikator ist ein eindeutiges Label oder eine Kennung
- ► Lokator ist eine Information, für physischen Ort oder Adresse

RESTful API und States

Allgemein Namensräume



# Locator/Identifier

Protokolle

- ► LISP
- ► HIP
- ► ILA

Anwendung:

- ► SIP
- ► Mobile IP

VS