

# Verteilte Systeme

Prof. Dr. Martin Becke

CaDS - HAW Hamburg

Version 0.9

# Inhalt

## 1 Kommunikation

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

# Topologien

## Übersicht

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

# Protokolle

## Produktive Protokolle - Beispiele

- ▶ TCP/IP
- ▶ MQTT
- ▶ HTTP

# Protokolle

## Basic Layers

- ▶ Low-Level-Network-Programming
- ▶ High-Level-Network-Programming
- ▶ Prompt Engineering (?)

# Kommunikation

## Eigenschaften

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

# 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)

# Auswahl nach Zerlegungsmethode

## Funktionale Zerlegung

- Simple Object Access Protocol (SOAP) als Beispiel für

---

```
<soapenv:Envelope
  xmlns:soapenv="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/"
  xmlns:per="http://example.com/person">
  <soapenv:Header/>
  <soapenv:Body>
    <per:CreatePersonRequest>
      <per:firstName>John</per:firstName>
      <per:lastName>Doe</per:lastName>
    </per:CreatePersonRequest>
  </soapenv:Body>
</soapenv:Envelope>
```



# REST

## Eigenschaften

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

# RESTful API

Eigenschaften angelehnt an REST

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

# RESTful API

## HATEOAS - Großes Missverständniss

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

# 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"
    }
  }
}
```

# RESTful API

## Richardson Maturity Model

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

# 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

# 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

# Richardson Maturity Model

## Level 2

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`



# Message Broker Protokolle

## IETF Kontext

- ▶ AMQP
- ▶ STOMP
- ▶ MQTT

# 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

# 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)

# 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

# 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/>

# Message Broker

Proprietäre Alternative : IBM MQ

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

# Message Broker

## Priorisierung Nachrichten

- ▶ Prioritätsniveaus
- ▶ Routing-Regeln
- ▶ Software-Tools

# Message Broker

## Herausforderungen

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



# RESTful API und States

## Idee

- ▶ REST ist ein ressourcenorientiertes 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

# RESTful API und States

## Motivation

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

# RESTful API und States

## Fallbeispiel

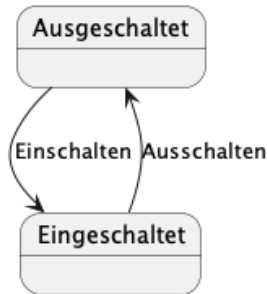


Figure – Einfache FSM Lampe

# 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`

# RESTful API und States

Fallbeispiel - GET /lamp

---

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

# 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
```

# RESTful API und States

## Fallbeispiel - LampController

---

```
class LampAdapter(Resource):
    def __init__(self, controller):
        self.controller = controller

    def get(self):
        response = {
            "state": self.controller.model.get_state(),
            "_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()
```

# 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")
```



# RESTful API

## Alternativen/Beispiele

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

# Message Delivery

## QoS

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

# Message Delivery

exactly-once

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

# Byzantinische Generäle

## Idee

- Zwei-Generäle-Problem (Gruppenarbeit)

# Heartbeat

## Idee

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

# Heartbeat

## Ziel

- ▶ Fehlererkennung
- ▶ Synchronisation
- ▶ Lastverteilung

# Heartbeat

## Nachteile

- ▶ Zusätzlichen Netzwerkverkehr
- ▶ False positives
- ▶ Skalierbarkeit

# 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



# Multicast

## Idee

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

# Multicast

## Ansätze

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

# Serialisierungsformate

## Herausforderungen

- ▶ Protocol Buffers
- ▶ MessagePack
- ▶ JSON
- ▶ XML

# Transport

## Ideen

- ▶ Push vs Pull
- ▶ Daten vs. Funktionen

# Namensräume

## Begriffe

- ▶ Name
- ▶ ID
- ▶ Adresse

# Service Discovery

## Architektur I

- ▶ Zentralen Architektur
- ▶ Verteilte Service-Discovery-Architektur
- ▶ Hierarchische Service-Discovery-Architektur

# Service Discovery

## Architektur II

- ▶ Client-seitige Service-Discovery-Architektur
- ▶ Server-seitige Service-Discovery-Architektur

# Namensräume

## Strukturen

- ▶ Flacher Namensraum
- ▶ Hierarchischer Namensraum
- ▶ Attributbasierter Namensraum



# Naming

## UUID

- ▶ Version 1 (zeitbasiert)

$$= \text{Zeitstempel} + \text{Sequenznummer} + \text{MAC-Adresse} \quad (1)$$

- ▶ Version 2 (DCE Security)

$$= \text{Zeitstempel} + \text{Sequenznummer} + \text{MAC-Adresse} + \textit{textDCE} \quad (2)$$

- ▶ Version 3 (MD5-Hash)

$$= \text{MD5-Hash}(\text{Namensraum-Identifikator} + \text{Name}) \quad (3)$$

- ▶ Version 4 (zufällig)

- ▶ Version 5 (SHA-1-Hash)

# Locator/Identifier

## Idee

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

# Locator/Identifier

## Protokolle

- ▶ LISP
- ▶ HIP
- ▶ ILA

## Anwendung :

- ▶ SIP
- ▶ Mobile IP