

Middleware – Cloud Computing – Übung

Aufgabe 1: WebServices

Wintersemester 2025/26

Paul Bergmann, Christian Berger

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl Informatik 4 (Systemsoftware)

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



Lehrstuhl für Informatik 4
Systemsoftware



Friedrich-Alexander-Universität
Technische Fakultät

Web-Services

RESTful Web-Services

Aufgabe 1

Implementierung von RESTful Web-Services in Java

Registrierung von Web-Services

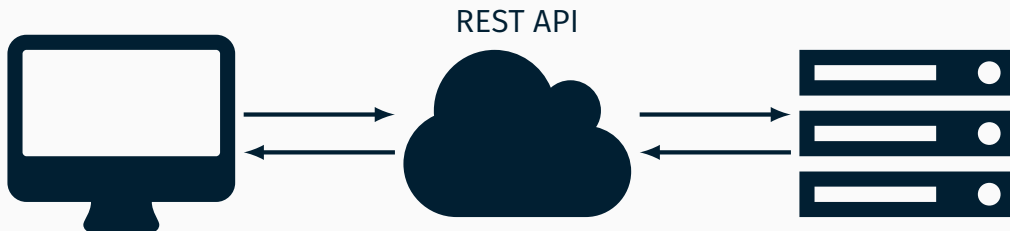
Web-Services

RESTful Web-Services

- Web-Service

- Software-System zur Interaktion zwischen Rechnern über ein Netzwerk
- Plattformunabhängigkeit durch Einsatz von Web-Standards (z. B. HTTP)

- In der Übung: RESTful Web-Service



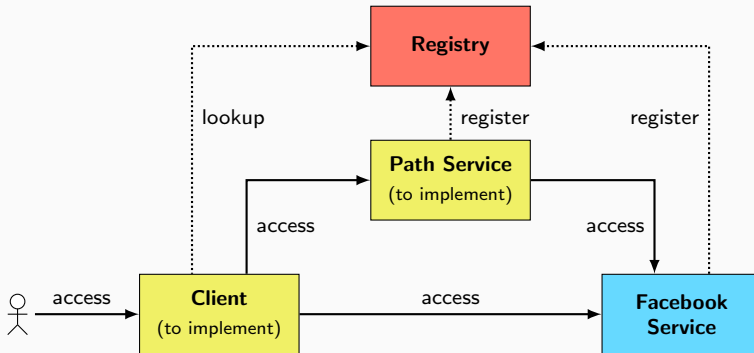
- Übertragung von Daten in HTTP-Anfragen und -Antworten
 - Header für Metadaten
 - Body für Nutzdaten (optional)
- Ausführung von Aktionen mittels HTTP-Operationen
 - GET Lesezugriff auf eine Ressource
 - PUT Schreibzugriff auf eine Ressource
 - DELETE Löschen einer Ressource
 - POST Übermittlung von Daten an eine Ressource
 - ...
- Senden von Statusmeldungen durch HTTP-Status-Codes
 - 200 OK Erfolgreiche Bearbeitung
 - 400 Bad Request Fehlerhafte Anfragenachricht
 - 404 Not Found Ressource existiert nicht
 - ...

Web-Services

Aufgabe 1

Aufgabe 1: Web-Services

- Bereitstellung eines eigenen RESTful Web-Services
- Teilaufgaben
 - Kommandozeilen-Client für Registry-Zugriff
 - Web-Service zur Erweiterung eines bereits bestehenden Web-Services
 - Client zum Zugriff auf beide Web-Services



■ Überblick

- Verwaltung von Nutzern und ihrer Freundschaftsbeziehungen zu anderen
- Zusammenhängender Graph aus Freundschaftsbeziehungen
- Bereitstellung auf einem Lehrstuhlrechner

■ Verwaltete Informationen für jeden Nutzer

- *ID* Eindeutige Kennzeichnung des Nutzers
- *Name* (Klar-)Name des Nutzers
- *Freunde* Liste mit den IDs von Freunden des Nutzers

■ Basisschnittstelle

- GET /facebook/search?string=<s> Suche nach Nutzern, deren Name die Zeichenkette <s> enthält (maximal 1000 Ergebnisse)
- GET /facebook/names/{id} Ausgabe des Klarnamens zu einer ID
- GET /facebook/friends/{id} Ausgabe aller Freunde einer ID

■ Gebündelte Abfrage von Klarnamen

- Methode `POST`
- Pfad `/facebook/names`
- Anfrage-Body `String-Array ids` der abzufragenden IDs
- Antwort-Body `String-Array names` der Klarnamen, wobei `names[i]` den Klarnamen von `ids[i]` repräsentiert

■ Gebündelte Abfrage von Freundschaftsbeziehungen

- Methode `POST`
- Pfad `/facebook/friends`
- Anfrage-Body `String-Array ids` der abzufragenden IDs
- Antwort-Body `Map<String, HashSet<String>> friends` der angeforderten Freundschaftsbeziehungen
 - Schlüssel in `friends` entsprechen den abgefragten IDs
 - Werte in `friends` enthalten die jeweiligen Freund-IDs

■ Überblick

- Im Rahmen von Aufgabe 1 selbst zu implementieren
- Ermittlung der kürzesten Verbindung zwischen zwei Facebook-Nutzern

■ Ausgabe der kürzesten Verbindung zwischen {startID} und {endID}

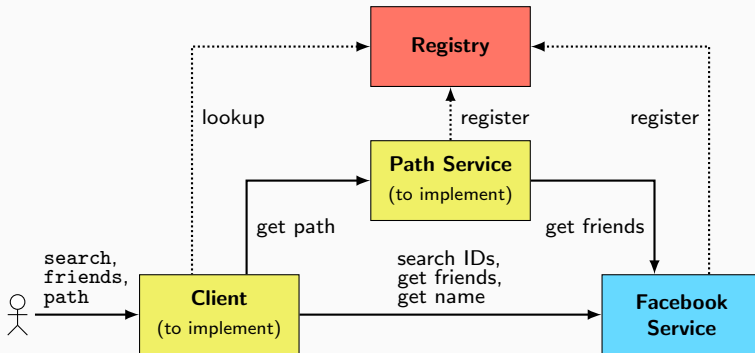
- Methode GET
- Pfad /path/{startID}/{endID}
- Antwort-Body MWPath-Objekt mit Pfad path und Aufrufstatistiken

```
public class MWPath {  
    String[] path;  
    [...] // Statistiken  
}
```

■ Implementierung

- Rückgriff auf den Facebook-Dienst
- Bestimmung des kürzesten Pfads
 - Bereitgestellt: Implementierung des Dijkstra-Algorithmus
 - Zu implementieren: Zusammenstellung der Eingabemenge von IDs

- Zugriff auf Pfad- und Facebook-Dienst per Kommandozeilen-Client
- Zu implementierende Kommandos
 - search Suche nach Nutzern
 - friends Ausgabe der Namen aller Freunde eines Nutzers
 - path Kürzester Pfad (Nutzernamen) zwischen zwei Nutzern



Implementierung von RESTful Web-Services in Java

■ Java API for RESTful Web Services (JAX-RS)

- Schnittstellen für die Implementierung von HTTP auf Client-Seite
- Entwicklung und Ausführung der Server-Seite
 - Implementierung als Java-Anwendung
 - Bereitstellung über einen Java-internen Web-Server
- Annotationen als zentrales Hilfsmittel
 - Verknüpfung von HTTP-Operationen und Java-Methoden
 - Zuordnung von URI-Pfaden zu Methoden
- Packages: `javax.ws.rs.*`
- Tutorial: <https://javaee.github.io/tutorial/jaxrs.html>

■ Jersey

- Framework zur Entwicklung JAX-RS-basierter Web-Services
- Bietet verschiedene Web-Server-Implementierungen. In der Übung: Grizzly
- Packages: `org.glassfish.jersey.*`
- Projektseite: <https://eclipse-ee4j.github.io/jersey/>

■ Bibliotheken im CIP-Pool (Java 11+): `/proj/i4mw/pub/aufgabe1/`

■ Server-Seite

- Festlegung des Server-Pfads per `@Path`-Annotation
- `@Singleton` verhindert die Erzeugung einer neuen Instanz für jeden Aufruf

```
@Singleton // Server
@Path("/queue")
public class MWQueueServer { // Warteschlangen-Service
    private List<String> queue = new LinkedList<String>();
    // [...] Default-Konstruktor, falls weitere Konstruktoren existieren
    // [...] Methodenimplementierungen (siehe nachfolgende Folien)
}
```



```
public static void main(String[] args) {
    URI uri = UriBuilder.fromUri("http://[::]/").port(12345).build();
    ResourceConfig config = new ResourceConfig(MWQueueServer.class);
    GrizzlyHttpServerFactory.createHttpServer(uri, config);
}
```

■ Client-Seite

```
URI uri = UriBuilder.fromUri("http://localhost/").port(12345).build(); // Client
WebTarget client = ClientBuilder.newClient().target(uri).path("/queue");
// [...] Methodenaufrufe (siehe nachfolgende Folien)
```

■ Server-Seite

- Implementierung der Funktionalität mittels `public`-Methoden
- Festlegung der HTTP-Zugriffsmethode über entsprechende Annotation
- Spezifische Unterpfade für Methoden möglich
- Repräsentation der Antwort durch `Response`-Objekt

```
@GET
@Path("size")
public Response getSize() {
    return Response.ok(queue.size()).build();
}
```

■ Client-Seite

- Festlegung des Unterpfads mittels `path()`-Methode
- Auswahl der HTTP-Operation über entsprechende Methode (hier: `get()`)
- Deserialisieren des Rückgabewerts per `readEntity()` am `Response`-Objekt

```
WebTarget client = [...];
Response response = client.path("size").request().get();
Integer size = response.readEntity(Integer.class);
response.close();
```

■ Konzept

- Übergabe von Aufrufparametern als Teil des Pfads
- Interpretation dieser Pfadelemente auf Server-Seite

■ Server-Seite

- Kennzeichnung der im Pfad kodierten Variablen mit „{...}“
- Zugriff auf Pfadparameter mit `@PathParam` und Variablenname

```
@GET
@Path("/{index}")
public Response get(@PathParam("index") int i) {
    return Response.ok(queue.get(i)).build();
}
```

■ Client-Seite

```
WebTarget client = [...];
Response response = client.path("1").request().get();
String value = response.readEntity(String.class);
response.close();
```

■ Konzept

- Übergabe von Aufrufparametern im Query-Teil der URI
- Beispiel: `http://localhost:12345/queue/index-of?value=example`

■ Server-Seite

- Zugriff auf Anfrageparameter über `@QueryParam`-Annotation
- Angabe von Standard-Werten mittels `@DefaultValue`-Annotation

```
@GET
@Path("index-of")
public Response indexOf(@QueryParam("value") @DefaultValue("") String v) {
    return Response.ok(queue.indexOf(v)).build();
}
```

■ Client-Seite

```
WebTarget client = [...];
Response response = client.path("index-of").queryParam("value", "example").request().get();
Integer index = response.readEntity(Integer.class);
response.close();
```

■ Konzept

- Übergabe eines Aufrufparameters im Body der HTTP-Anfrage
- Einsatz der HTTP-Operationen PUT oder POST

■ Server-Seite

- Spezifizierung eines einzelnen Parameters
- Automatische Konvertierung der Daten durch die Laufzeitumgebung

```
@PUT
@Path("tail")
public Response add(String value) {
    queue.add(value);
    return Response.ok().build();
}
```

■ Client-Seite

- Übergabe des Werts und Festlegung des Formats mittels Entity-Objekt
- Beispiele: Text (Entity.text()) oder JSON (Entity.json())

```
WebTarget client = [...];
client.path("tail").request().put(Entity.text("example")).close();
```

■ Übertragung von Generics-Datentypen

- Grundsätzliche Vorgehensweise wie bei Java-Standarddatentypen
- Sonderbehandlung bei Deserialisierung

■ Server-Seite

```
@GET
public Response list() {
    ArrayList<String> queueCopy = new ArrayList(queue);
    return Response.ok(queueCopy).build();
}
```

■ Client-Seite

- Standardansatz mangels class-Objekten für Generics nicht möglich
- Bereitstellung der Typ-Information mittels GenericType-Hilfsobjekt

```
WebTarget client = [...];
Response response = client.request().get();
GenericType<List<String>> type = new GenericType<List<String>>() {};
List<String> list = response.readEntity(type);
response.close();
```

■ Nutzerdefiniertes Objekt als Rückgabewert

```
@POST
@Path("find")
public Response find(String prefix) {
    MWQueueElement element = [...]; // Bestimmung des Ergebnisses
    return Response.ok(element).build();
}
```

```
Response response = client.path("find").request().post(Entity.text("t"));
MWQueueElement element = response.readEntity(MWQueueElement.class);
response.close();
```

■ Nutzerdefiniertes Objekt als Aufrufparameter

```
@POST
public Response insert(MWQueueElement element) {
    queue.add(element.getIndex(), element.getValue());
    return Response.ok().build();
}
```

```
MWQueueElement element = new MWQueueElement(1, "test");
client.request().post(Entity.json(element)).close();
```

- Übertragung nutzerdefinierter Objekte mittels JSON
 - Default-Konstruktor erforderlich, falls weitere Konstruktoren existieren
 - Getter- und Setter-Methoden für zu übertragende private Attribute nötig

```
public class MWQueueElement {  
    private int index;  
    private String value;  
  
    public MWQueueElement() {}  
    public MWQueueElement(int index, String value) {  
        this.index = index;  
        this.value = value;  
    }  
  
    public int getIndex()          { return index; }  
    public void setIndex(int index) { this.index = index; }  
    public String getValue()       { return value; }  
    public void setValue(String value) { this.value = value; }  
}
```

■ Konzept

- Keine direkte Weitergabe von Exceptions
- Abbildung von Fehlern auf HTTP-Status-Codes

■ Server-Seite (Alternativen)

- Werfen einer `WebApplicationException` mit entsprechendem Status-Code

```
if([...]) throw new WebApplicationException(Status.BAD_REQUEST);
```

- Konfigurierung des Status-Codes durch Methode am Antwortobjekt

```
if([...]) return Response.serverError().build();
```

■ Client-Seite

```
Response response = [...];  
switch(Status.fromStatusCode(response.getStatus())) {  
    case OK:  
        [...] // Verarbeitung des Ergebnisses  
    case BAD_REQUEST:  
        [...] // Reaktion auf Fehler  
        [...] // Behandlung weiterer Status-Codes  
}
```

- Problem: Keine Anzeige von Exceptions **auf Server-Seite**
- Abfangen und Darstellen mittels Exception-Handler
 - Kennzeichnung als `@Provider`
 - Propagieren des Fehler-Status-Codes bei `WebApplicationExceptions`

```
@Provider
public class MWErrorHandler implements ExceptionMapper<Throwable> {
    public Response toResponse(Throwable error) {
        // Ausgabe der Exception
        error.printStackTrace();

        // Propagieren der Exception
        if(error instanceof WebApplicationException) {
            return ((WebApplicationException) error).getResponse();
        } else return Response.serverError().build();
    }
}
```

- Handler-Registrierung als Teil der Web-Server-Konfiguration

```
ResourceConfig config = new ResourceConfig(MWQueueServer.class);
config.register(MWErrorHandler.class);
```

- HTTP-Debugging auf der Kommandozeile mittels cURL
- Zentrale Parameter (siehe Manpage: `man curl`)
 - `-v` Ausgabe des vollständigen Nachrichtenaustauschs
 - `-X {GET,PUT,...}` Festlegung der HTTP-Operation
 - `-d <data>` Übergabe von Daten im HTTP-Body
 - `-u <username>` Angabe eines Logins [→ Passwordeingabe bei anschließender Abfrage]

```
$ curl -v -X PUT -d "example" http://localhost:12345/queue/tail
[...]  
> PUT /queue/tail HTTP/1.1  
> Host: localhost:12345  
> User-Agent: curl/7.52.1  
> Accept: */*  
> Content-Length: 7  
> Content-Type: application/x-www-form-urlencoded  
[...]  
< HTTP/1.1 200 OK  
< Date: Mon, 16 Oct 2017 10:45:03 GMT  
< Content-length: 0  
[...]
```

Registrierung von Web-Services

■ Problemstellung

- Große Anzahl verschiedener Web-Services in einem System
- Adressen von Diensten können sich mit der Zeit ändern
- Clients benötigen aktuelle Web-Service-Adressen

■ Möglicher Lösungsansatz: Einsatz einer Registry

- Verzeichnisdienst zur Verwaltung von Metadaten verfügbarer Dienste
- Registry-Adresse ist im System global bekannt
- Treffpunkt zwischen Dienstanbieter und Dienstnehmer
 - Dienstanbieter registriert Web-Service-Adresse unter einem Namen
 - Dienstnehmer findet Web-Service-Adresse mittels Suchanfrage nach Namen
 - Keine Einbeziehung der Registry in anschließende Client-Dienst-Interaktion

■ I4-Registry

- Implementierung als RESTful Web-Service
- Bereitstellung auf einem Rechner des Lehrstuhls
- Registry-URI in der Datei `/proj/i4mw/pub/aufgabe1/registry.address`

■ Hierarchische Verwaltung von Einträgen (jeweils vom Typ String)

- Gruppe: Eine für jede Übungsgruppe (z. B. „gruppe0“)

- Dienst:

- Zuordnung zu einer Gruppe
- Mehrere Dienste pro Gruppe möglich

- Schlüssel-Wert-Paar:

- Zuordnung zu einem Dienst
- Mehrere Schlüssel-Wert-Paare pro Dienst möglich

```
- gruppe0
- gruppe1
- gruppe42
  - meinDienst
    - adresse: 123.456.789.0
```

■ Schnittstelle

- GET /registry
- GET /registry/{group}
- PUT /registry/{group}/{service}
- DELETE /registry/{group}/{service}
- GET /registry/{group}/{service}
- GET /registry/{group}/{service}/{key}
- PUT /registry/{group}/{service}/{key}
- DELETE /registry/{group}/{service}/{key}

Auflistung der Gruppen

Auflistung der Dienste

Erstellen eines Diensts

Löschen eines Diensts

Auflistung der Schlüssel

Ausgabe eines Werts

Setzen eines Werts

Löschen eines Werts

■ Registry-Zugang

- Nutzernamen (user) & Passwort (pwd): Siehe Mail zur Gruppeneinteilung
- Lesezugriff auf alle Einträge, Schreibzugriff beschränkt auf eigene Gruppe
- Für Schreibzugriffe: Authentifizierung in Java notwendig

```
WebTarget client = [...];  
HttpAuthenticationFeature af = HttpAuthenticationFeature.basic(user, pwd);  
client.register(af);
```

[Hinweis: Nur der erste Aufruf von `register(af)` setzt Nutzernamen und Passwort; weitere Aufrufe haben keinen Effekt.]

■ Zu implementierende Kommandos

- | | |
|------------------|--|
| ▪ list-groups | Auflisten aller existierender Gruppen |
| ▪ list-services | Auflisten aller Dienste einer Gruppe |
| ▪ create-service | Erstellen eines neuen Diensts |
| ▪ delete-service | Löschen eines existierenden Diensts |
| ▪ list-keys | Auflisten aller Schlüssel eines Diensts |
| ▪ get-value | Lesen eines zu einem Schlüssel gehörigen Werts |
| ▪ put-value | Speichern eines Schlüssel-Wert-Paars |
| ▪ delete-value | Löschen eines Schlüssel-Wert-Paars |