

# Middleware – Cloud Computing

## Web-Services

---

Wintersemester 2023/24

Tobias Distler

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



Lehrstuhl für Verteilte Systeme  
und Betriebssysteme



FRIEDRICH-ALEXANDER  
UNIVERSITÄT  
ERLANGEN-NÜRNBERG

TECHNISCHE FAKULTÄT

## Web-Services

Motivation

Web Services Description Language (WSDL)

Hypertext Transfer Protocol (HTTP)

SOAP

Representational State Transfer (REST)

Vergleich zwischen SOAP und REST

## ■ Ziel: **Universeller Zugriff auf Cloud-Dienste** durch

- Endnutzer einer Anwendung
- Administrator des Cloud-Diensts
- Andere (Cloud-)Anwendungen

## ■ **Web-Services** (mögliche Definition)

„A **Web service** is a software system designed to support **interoperable machine-to-machine interaction over a network**. It has an interface described in a machine-processable format (specifically **WSDL**). Other systems interact with the Web service in a manner prescribed by its description using **SOAP messages**, typically conveyed **using HTTP** with an XML serialization in conjunction with other Web-related standards.“

[Web Services Architecture – W3C Working Group Note 11, <http://www.w3.org/TR/ws-arch/>]

## ■ **Herausforderungen**

- Woher weiß ein Nutzer, wie er mit einem Dienst kommunizieren soll?
- Welcher Teil der Kommunikation lässt sich automatisiert implementieren?
- Wie lässt sich ein Web-Service skalierbar realisieren?

## Web-Services

Motivation

Web Services Description Language (WSDL)



Hypertext Transfer Protocol (HTTP)

SOAP

Representational State Transfer (REST)

Vergleich zwischen SOAP und REST

# Web Services Description Language (WSDL)

- Überblick
  - **Beschreibungssprache** für die Funktionalität von Web-Services
  - Repräsentation als XML-Dokument
  - Ziel: **Automatische Erzeugung von Stubs** für Zugriff auf Web-Services
- **Bestandteile einer WSDL-Beschreibung** (*Description*)
  - Datentypen (*Types*)
  - Schnittstellen (*Interfaces*)
  - Abbildung auf Kommunikationsprotokolle (*Bindings*)
  - Dienste (*Services*)
- Literatur
  -  **Web Services Description Language (WSDL) Version 2.0**  
<http://www.w3.org/TR/wsdl20/>
  -  David C. Fallside and Priscilla Walmsley  
**XML Schema Part 0: Primer Second Edition**, 2004.

## ■ Standarddatentypen aus der XML Schema Definition (XSD)

```
<types>
  <xsd:schema xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
              targetNamespace="[URI des Typ-Namensraums]">
    [Definitionen dienstspezifischer Datentypen]
  </xsd:schema>
</types>
```

[xmlns:XML namespace]

## ■ Anwendungsspezifische Datentypen

- Spezifizierung komplexer Datenstrukturen
- Beispiel: Zusammengesetzter Datentyp aus Zeichenkette und Double

```
<xsd:element name="[Name des Datentyps]">
  <xsd:complexType>
    <xsd:sequence>
      <xsd:element name="[Variablenname]" type="xsd:string">
        <xsd:element name="[Variablenname]" type="xsd:double">
        </xsd:element>
      </xsd:sequence>
    </xsd:complexType>
  </xsd:element>
```

## ■ Beschreibung der **Methoden und Fehlermeldungen**

```
<interface name="[Schnittstellename]">  
  <operation>[...]</operation>  
  <fault [...]/>  
  [Definitionen weiterer Operationen und Fehlermeldungen]  
</interface>
```

## ■ Methoden

- Festlegung des Kommunikationsmusters (z. B. in-out, in-only,...)
- **Zuordnung von Nachrichtenformaten zu Operationen**
- Beispiel: Methode mit Anfrage-Antwort-Interaktion

```
<operation name="[Methodenname]" pattern="http://www.w3.org/ns/wsdl/in-out">  
  <input messageLabel="In" element="[Datentyp der Anfrage]"/>  
  <output messageLabel="Out" element="[Datentyp der Antwort]"/>  
</operation>
```

## ■ Fehlermeldungen

```
<fault name="[Fehlernamen]" element="[Datentyp der Fehlermeldung]"/>
```

## ■ Beispiel: Abbildung auf **SOAP über HTTP**

```
<binding name="[Abbildungsname]"
  interface="tns:[Schnittstellename]"
  type="http://www.w3.org/ns/wsdl/soap"
  wsoap:protocol="http://[...]/soap/bindings/HTTP/">

  <operation ref="tns:[Methode]" wsoap:mep="http://[...]/soap/mep/request-response"/>
  [Auflistung weiterer Operationen]

  <fault ref="tns:[Fehlername]" wsoap:code="[SOAP-Fehler-Code]" />
  [Auflistung weiterer Fehlermeldungen]
</binding>
```

- Festlegung des Kommunikations- und Transportprotokolls
  - Angabe des Kommunikationsmusters für Methoden [mep: message exchange pattern]
  - Abbildung der Fehlermeldungen
- 
- Alternative: **HTTP als Anwendungsprotokoll** (z. B. mittels REST)



## ■ Beschreibung der **Kommunikationsendpunkte eines Web-Services**

```
<service name="[Web-Service-Name]"
  interface="tns:[Schnittstellename]">
  <endpoint name="[Endpunktname]"
    binding="tns:[Abbildungsname]"
    address="[URL des Web-Services]"/>
  [Definitionen weiterer Endpunkte]
</service>
```

- Angabe der Kommunikationsprotokolle der Endpunkte
- Bekanntmachung der zu kontaktierenden Endpunktadressen

## ■ WSDL-Dokumente enthalten also Antworten auf folgende Fragen:

- Welche Methoden bietet der Dienst an?
- An wen muss sich ein Client wenden, um die Methoden zu verwenden?
- Welche Nachrichten muss ein Client hierfür senden?

→ **Automatisierte Generierung von Stubs für Web-Services möglich**

## Web-Services

Motivation

Web Services Description Language (WSDL)



**Hypertext Transfer Protocol (HTTP)**

SOAP

Representational State Transfer (REST)

Vergleich zwischen SOAP und REST

# Hypertext Transfer Protocol (HTTP)

- Protokoll für **Zugriff auf Ressourcen** über ein Netzwerk
  - Zumeist TCP/IP als zuverlässiges Transportprotokoll
  - Textbasierter Nachrichtenaustausch
- Aufbau der Anfrage- und Antwortnachrichten
  - **Header**
    - Methodenname und Ressourcen-ID (Anfrage) bzw. Statusmeldung (Antwort)
    - HTTP-Versionsnummer
    - Liste von Schlüssel-Wert-Paaren (z. B. Content-Length: 4711)
  - **Body** (optional): Nutzdaten
- Literatur
  -  Tim Berners-Lee, Roy Fielding, and Henrik Frystyk  
**Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.0**, RFC 1945, 1996.
  -  Roy Fielding, Jim Gettys, Jeffrey Mogul, Henrik Frystyk, Larry Masinter, Paul Leach et al.  
**Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1**, RFC 2616, 1999.

## ■ Überblick über die wichtigsten **HTTP-Methoden**

Methoden	Beschreibung
GET	Lesender Zugriff auf die adressierte Ressource
HEAD	Unterschied zu GET: Antwort enthält keinen Body
PUT	Registrieren von Daten unter der übergebenen Ressourcenadresse
DELETE	Löschen der adressierten Ressource
POST	Übermittlung von Daten an die adressierte Ressource (Beispiele) <ul style="list-style-type: none"><li>- Weitergabe von Formulardaten</li><li>- Anfügen eines Datensatzes an eine Datenbank</li></ul>

[RFC 2616]

## ■ Kategorien von **Statusmeldungen**

Klasse	Kategorie	Beschreibung
1xx	Informell	Anfrage wurde empfangen, Bearbeitung erfolgt
2xx	Erfolg	Anfrage wurde empfangen, verstanden und akzeptiert
3xx	Weiterleitung	Weitere Aktionen notwendig
4xx	Client-Fehler	Anfrage war fehlerhaft
5xx	Server-Fehler	Anfrage war korrekt, aber im Server lag ein Fehler vor

[RFC 2616]

## Web-Services

Motivation

Web Services Description Language (WSDL)

Hypertext Transfer Protocol (HTTP)

**SOAP**

Representational State Transfer (REST)

Vergleich zwischen SOAP und REST

## ■ Überblick

### ■ **Kommunikationsprotokoll für Web-Services**

- Versand von Nachrichten mittels separatem Transportprotokoll
- Hinweis zur Namensgebung
  - Ursprünglich: *Simple Object Access Protocol*
  - Inzwischen nur noch als Abkürzung verwendet

## ■ **Bestandteile des SOAP-Nachrichten-Frameworks**

- Nachrichtenaufbau
- Verarbeitungsmodell
- Abbildung auf Transportprotokolle
- Erweiterbarkeitsmodell

## ■ Literatur



### **SOAP Version 1.2**

<http://www.w3.org/TR/soap12/>

## ■ Repräsentation als XML-Dokument

```
<?xml version="1.0"?>
<soap:Envelope xmlns:soap="http://www.w3.org/2003/05/soap-envelope">
  <soap:Header>
    [Header-Blöcke]
  </soap:Header>
  <soap:Body>
    [Body-Daten]
  </soap:Body>
</soap:Envelope>
```

## ■ Kapselung von Informationen im Wurzelement soap:Envelope

- Header (optional): **SOAP-Header-Blöcke** mit
  - Kontextinformationen für Nutzdaten
  - Kontrollflussinformationen für Kommunikationspartner
- Body
  - Nutzdaten
  - Fehlermeldungen

- Weitergabe von Nachrichten entlang eines **Pfads aus SOAP-Knoten**
  - Kategorien von SOAP-Knoten
    - Sender
    - Zwischenstation
    - Empfänger
  - Zwischenstationen dürfen Header-Blöcke lesen, hinzufügen oder löschen

## ■ Fehlermeldungen

- Fault-Element im Body einer SOAP-Nachricht

```
<soap:Body>
  <soap:Fault>
    <soap:Code>[Fehler-Code]</soap:Code>
    <soap:Reason>[Fehlerbeschreibung]</soap:Reason>
    <soap:Detail>[Anwendungsspezifische Informationen]</soap:Detail>
  </soap:Fault>
</soap:Body>
```

- Beispiel: Aufbau eines Header-Blocks entspricht nicht den Regeln



## ■ HTTP

- Übertragung der SOAP-Nachrichten im Body von HTTP-Nachrichten
- Eigener Content-Type: application/soap+xml
- Signalisierung von SOAP-Fehlern: 500 Internal Server Error
- Senden von SOAP-Nachrichten
  - Unidirektional per HTTP-GET
  - Bidirektional per HTTP-POST
- **Implizite Zuordnung** von Nachrichten bei Anfrage-Antwort-Interaktion
  - Abhängigkeit zwischen HTTP-POST-Anfrage und ihrer Antwort
  - SOAP-Nachricht in der Antwort gehört zu SOAP-Nachricht in der Anfrage

## ■ SMTP

- Übertragung der SOAP-Nachrichten im E-Mail-Text oder als Anhang
- **Explizite Zuordnung** von Nachrichten bei Anfrage-Antwort-Interaktion
  - Keine von vornherein bestehende Abhängigkeit zwischen zwei E-Mails
  - Lösung: Message-Id der Anfrage im In-reply-to-Feld des Antwort-Headers

## Web-Services

Motivation

Web Services Description Language (WSDL)

Hypertext Transfer Protocol (HTTP)

SOAP

**Representational State Transfer (REST)**

Vergleich zwischen SOAP und REST

# Representational State Transfer (REST)

- Herausforderungen im **World Wide Web (WWW)**
  - Geografische Verteilung
  - Heterogene Hardware, Software, Datenformate,...
  - Vollständige Verfügbarkeit des Gesamtsystems nicht gegeben
- **Formulierung von Grundprinzipien** (Beispiele)
  - Aufteilung in Client und Server
  - Zustandslose Interaktion
  - Einheitliche Schnittstellen

„The name „**Representational State Transfer**“ is intended to evoke an image of **how a well-designed Web application behaves**: a network of web pages (a virtual state-machine), where the user progresses through the application by selecting links (state transitions), resulting in the next page (representing the next state of the application) being transferred to the user [...]"

[Fielding, Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures.]

## ■ Literatur



Roy Fielding  
**Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures,**  
*Dissertation, 2000.*

- **Identifizierung von Ressourcen:** Universal Resource Identifiers (URIs)
  - Ressource als abstraktes Konzept
    - Referenz ist nicht an die Existenz eines Objekts gebunden
    - Zwei URIs können auf dasselbe zeigen, jedoch nicht dasselbe meinen  
[Beispiel: Neuester Sicherungspunkt vs. Sicherungspunkt vom 1.10.2023]
  - Manipulation von Ressourcen mittels **Repräsentationen**
    - Repräsentation kann vom internen Format einer Ressource abweichen
    - Ressourcenmodifikation durch Weitergabe einer veränderten Repräsentation
- **Zustandslose Kommunikation**
  - Zustandstragende Nachrichten
    - **Kein Vorhalten von Kontextinformation** auf Server-Seite
    - Zustand der Interaktion wird vollständig in den Nachrichten selbst verwaltet
  - Vorteile
    - Geringerer Ressourcenverbrauch und bessere Skalierbarkeit auf Server-Seite
    - Einfachere parallele Bearbeitung von Anfragen
  - Nachteil: Mehraufwand durch vielfaches Senden von Kontextinformationen

## Web-Services

Motivation

Web Services Description Language (WSDL)

Hypertext Transfer Protocol (HTTP)

SOAP

Representational State Transfer (REST)

Vergleich zwischen SOAP und REST

# Entwicklung von Anwendungen im Vergleich

## ■ SOAP

- **Modellierung der zu verwendenden Nachrichten**
- Konzipierung des Nachrichtenaustauschs (synchron/asynchron)
- **Auflistung der von der Anwendung angebotenen Operationen** (→ WSDL)

## ■ REST

- **Identifizierung der zu referenzierenden Ressourcen**
- Entwicklung einer geeigneten URI-Struktur
- **Definition der Operationsemantiken** für jede Ressource
  - Welche der HTTP-Operationen darf auf der Ressource ausgeführt werden?
  - Welche Auswirkung hat eine bestimmte Operation auf die Ressource?
- Formulierung von Beziehungen zwischen Ressourcen
- Spezifizierung der Datenrepräsentation für jede Ressource

## ■ Literatur



Cesare Pautasso, Olaf Zimmermann, and Frank Leymann  
**Restful Web Services vs. “Big” Web Services: Making the Right Architectural Decision**  
*Proc. of the 17th International World Wide Web Conference (WWW '08)*, S. 805–814, 2008.

# Anwendungsbeispiel: Amazon Simple Storage Service

- **Amazon Simple Storage Service** (Amazon S3)
  - Web-Service zur Speicherung von Daten in der Amazon-Cloud
  - Ausfallsicherheit durch Replikation auf mehrere Standorte
- Organisation in **Buckets (Verzeichnisse)** und **Objects (Nutzdaten)**
  - Ein Bucket kann mehrere Objekte enthalten
  - Keine Schachtelung von Buckets vorgesehen
- Web-Service APIs
  - SOAP
  - REST
- Literatur
  -  **Amazon Simple Storage Service**  
<http://aws.amazon.com/s3/>
  -  **Amazon Simple Storage Service API Reference**  
<http://awsdocs.s3.amazonaws.com/S3/latest/s3-api.pdf>

## ■ Erstellen eines (Text-)Objekts in einem Bucket: Anfragenachricht

```
<PutObject xmlns="http://doc.s3.amazonaws.com/2006-03-01">
  <Bucket>[Bucket-Name]</Bucket>
  <Key>[Objektnamen]</Key>
  <Metadata>
    <Name>Content-Type</Name>
    <Value>text/plain</Value>
  </Metadata>
  <ContentLength>[Größe der Nutzdaten]</ContentLength>
  <AccessControlList>[Spezifizierung von Zugriffsrechten]</AccessControlList>
  <AWSAccessKeyId>[Zugangsschlüssel-ID]</AWSAccessKeyId>
  <Timestamp>[Zeitstempel]</Timestamp>
  <Signature>[Signatur]</Signature>
</PutObject>
```

- Übertragung der Nutzdaten im Anhang an den SOAP-Envelope
- Ersetzung der Daten, falls ein Objekt desselben Namens bereits existiert



## ■ Erstellen eines Objekts in einem Bucket: Antwortnachricht (Body)

```
<PutObjectResponse xmlns="http://s3.amazonaws.com/doc/2006-03-01">
  <PutObjectResponse>
    <ETag>[MD5-Hash der Nutzdaten des Objekts]</ETag>
    <LastModified>[Zeitstempel der letzten Speicheroperation dieses Objekts]</LastModified>
  </PutObjectResponse>
</PutObjectResponse>
```

## ■ Zugriff auf Objekte

```
<GetObject xmlns="http://doc.s3.amazonaws.com/2006-03-01">
  <Bucket>[Bucket-Name]</Bucket>
  <Key>[Objektnamen]</Key>
  <GetMetadata>[true|false]</GetMetadata>
  <GetData>[true|false]</GetData>[...]
</GetObject>
```

- Getrennte Abfrage von Daten und Metadaten möglich
- Rückgabe der Daten im SOAP-Body oder als SOAP-Anhang

## ■ PUT: Erstellen eines (Text-)Objekts in einem Bucket

```
PUT /[Objektname] HTTP/1.1
Host: [Bucket-Name].s3.amazonaws.com
Date: [Zeitstempel]
Authorization: AWS [Zugangsschlüssel-ID]:[Signatur]
Content-Type: text/plain
Content-Length: [Größe der Nutzdaten]
```

- Nutzdaten des Objekts im Nachrichten-Body
- Hierarchische Objektnamen möglich (z. B. dir/subdir/file.txt)

## ■ Zugriff auf Objekte

- Varianten
  - GET: Abfrage der Nutz- und Metadaten
  - HEAD: Abfrage der Metadaten
- Komplexere Leseanfragen durch Hinzufügen von Header-Feldern

## ■ DELETE: Löschen von Objekten