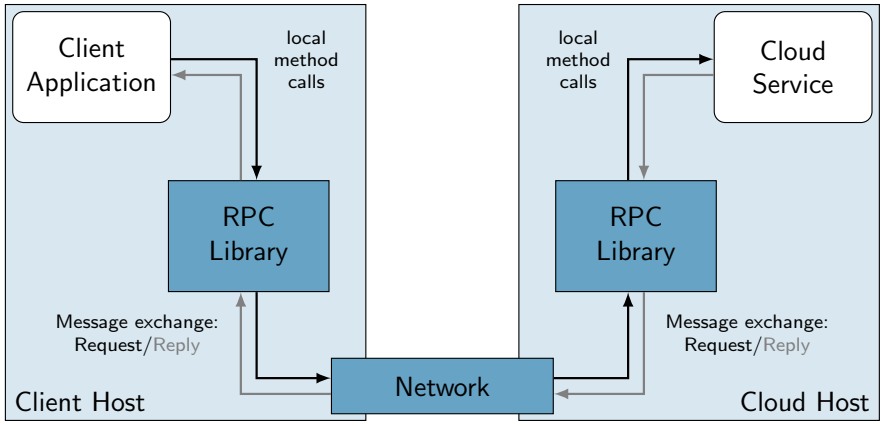
Überblick

Motivation

- Fernaufruf (*Remote Procedure Call*, *RPC*)
  [Bei Interesse: Weiterführende Informationen in der Veranstaltung *Verteilte Systeme* im Sommersemester.]
  - Kurzbezeichnung für Fern**methoden**aufruf
  - Unterschiede zu lokalem Methodenaufruf
    - Aufruf und Ausführung einer Methode erfolgen auf verschiedenen Rechnern
    - Nachrichtenaustausch übers Netzwerk
    - Komplexeres Fehlermodell
- Einsatzszenarios (Beispiele)
  - Zugriff auf per Web-Service angebotene Cloud-Dienste
  - Auslagerung von aufwendigen Berechnungen in die Cloud
- Herausforderungen im Kontext von Cloud Computing
  - Wie lässt sich ein Fernaufruf so weit wie möglich *transparent* realisieren?
    - Aufrufer soll den Unterschied zu einem lokalen Methodenaufruf nicht merken
    - Cloud-Zugriff soll verschattet werden
  - Wie kann ein plattformunabhängiges Fernaufrufprotokoll aussehen?

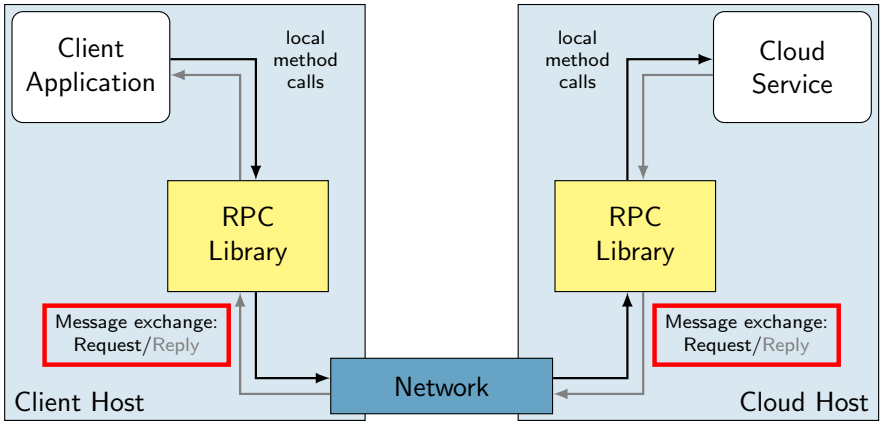
Fernaufruf: Interaktion zwischen Client und Dienst

- Umwandlung des lokalen Aufrufs in Nachrichtenaustausch
  - Client sendet Anfragenachricht (*Request*)
  - Dienst sendet Antwortnachricht (*Reply*)



Plattformunabhängiges Fernaufrufprotokoll

- Anforderungen
  - Systemunabhängige Nachrichtenformate und Übertragungsprotokolle
  - Einsatz weit verbreiteter Standards



Extensible Markup Language (XML)

- Auszeichnungssprache für hierarchisch strukturierte Daten
- Überblick
  - Repräsentation in Textform
    - Intention: Lesbarkeit für Mensch und Maschine
    - Nachteile
      - Mehraufwand für das Erzeugen und Einlesen von Nachrichten
      - Erhöhtes Datenvolumen bei Übertragung über ein Netzwerk
  - Darstellung von Informationen
    - Ursprünglich: Format zur Repräsentation von Dokumenten
    - Häufig aber auch als allgemeines Datenformat im Einsatz (→ Web-Services)
- Literatur

Tim Bray, Jean Paoli, Michael Sperberg-McQueen, Eve Maler et al.
Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition), 2008.

Aufbau eines XML-Dokuments

- Dokumentstruktur
  - XML-Deklaration

```
<?xml version="[Versionsnummer]" [...]?>
```

  - Wurzelelement
- Bestandteile
  - Elemente

```
<[Elementname] [Optional: Attribut 1, Attribut 2,...]>[Inhalt]</[Elementname]>
```

    - Beschreibung mittels eindeutigem *Start-* und *End-Tag*
    - Inhalt
      - Nutzdaten
      - Weitere Elemente (→ Elementhierarchie)
    - Spezialfall: *Empty-Element-Tag* für leeres Element

```
<[Elementname] [Optional: Attribut 1, Attribut 2,...]/>
```

  - Attribute: Bereitstellung als Schlüssel-Wert-Paare

```
[Attributname]="[Attributwert]"
```

Namensräume

- Problem

  Bei der Kombination mehrerer XML-(Teil-)Dokumente zu einem neuen XML-Dokument sind Elementnamen eventuell nicht eindeutig
- Lösung: Verwendung von XML-Namensräumen
  - Identifizierung eines Namensraums per Universal Resource Identifier (URI)
    [Hinweis: Ein Namensraum-URI hat nur bezeichnenden Charakter; unter der angegebenen Adresse muss nicht notwendigerweise eine Ressource mit Kontextinformationen zum referenzierten Namensraum abrufbar sein.]
  - Definition eines Default-Namensraums [xmlns: XML namespace]

```
<[Elementname] xmlns="[URI des Namensraums]">
  [Gültigkeitsbereich der Namensraumreferenz]
</[Elementname]>
```

  - Einsatz von Präfixen für verschiedene Namensräume (Beispiel)

```
<[Elementname] xmlns:[Präfix A]="[URI des Namensraums A]"
               xmlns:[Präfix B]="[URI des Namensraums B]">
  <[Präfix A]:[Subelementname]>[...]</[Präfix A]:[Subelementname]>
  <[Präfix B]:[Subelementname]>[...]</[Präfix B]:[Subelementname]>
</[Elementname]>
```

Überprüfung von XML-Dokumenten

- Wohlgeformtheit (*Well-formedness*)
  - Dokument entspricht der XML-Spezifikation
  - Überprüfung der Syntax
  - Kriterien (Beispiele)
    - Einzelnes Wurzelelement
    - Zu jedem Start-Tag muss ein korrespondierender End-Tag existieren
    - Keine Überlappung von Elementen
    - Attributname muss innerhalb eines Start-/Empty-Element-Tag eindeutig sein
      [Hinweis: Die ersten drei Kriterien garantieren eine Baumstruktur des XML-Dokuments.]
- Gültigkeit (*Validity*)
  - Dokument entspricht der XML-Spezifikation sowie weiteren Kriterien
  - Zusätzliche Überprüfung des Dokuments auf Konformität zu einem im XML-Dokument referenzierten, zumeist separat bereitgestellten Schema
    - Festlegung von Regeln, z. B. mittels *XML Schema Definition (XSD)*
    - Definition der erlaubten Elemente und Attribute

XML Schema Definition (XSD)

- Überblick
  - Strukturbeschreibung von XML-Dokument-Klassen
    - Datentypen
    - Elemente
    - Attribute
  - XML-Schema-Definitionen sind selbst XML-Dokumente
- Einsatzbereiche
  - Validierung von XML-Dokumenten
  - Beschreibung der in Web-Service-Schnittstellen verwendeten Datentypen
- Einbindung einer XML-Schema-Definition in ein XML-Element

```
<[Elementname] xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
               xsd:schemaLocation="[URI auf XML-Schema-Definition]"/>
```

- Literatur

David C. Fallside and Priscilla Walmsley
XML Schema Part 0: Primer Second Edition, 2004.

XML Schema — Vordefinierte Datentypen

- Primitive Datentypen

Datentyp	Beschreibung
`boolean`	Mögliche Werte: *wahr* (`true` bzw. `1`), *falsch* (`false` bzw. `0`)
`decimal`	Zahl der Form $i * 10^{-n}$ mit $i, n \in \mathbb{N}_0$
`string`	Zeichenkette
`dateTime`	Kombination aus Datum und Uhrzeit
`anyURI`	Absolute oder relative URI
[14 weitere...]	

- Abgeleitete Datentypen

Datentyp	Abgeleitet von	Beschreibung
`integer`	`decimal`	Ganze Zahl
`normalizedString`	`string`	Zeichenkette ohne `\r`, `\n` oder `\t`
[23 weitere...]		

- `anyType`: Abstrakter Basistyp für alle anderen Datentypen

XML Schema — Benutzerdefinierte Datentypen

- Definition eigener einfacher Datentypen (`simpleType`)

```
<xsd:simpleType name="[Name des Datentyps]">
  [Beschreibung des Datentyps]
</xsd:simpleType>
```

  - Liste

```
<xsd:list itemType="[Datentyp der Listenelemente]"/>
```

  - Union: Datentyp mit kombiniertem Wertebereich

```
<xsd:union memberTypes="[Aufzählung erlaubter Datentypen]"/>
```

- Ableitung eines Basisdatentyps mit Einschränkung des Wertebereichs

```
<xsd:restriction base="[Basisdatentyp]">
  [Einschränkung des Basisdatentyps]
</xsd:restriction>
```

  - Aufzählung: Festlegung bestimmter zulässiger Werte (`enumeration`)
  - Minimal-/Maximalwerte für Integer (`minInclusive`, `maxInclusive`)
  - Reguläre Ausdrücke für Zeichenketten (`pattern`)
  - ...

XML Schema — Benutzerdefinierte Datentypen

- Definition eigener komplexer Datentypen (`complexType`)

```
<xsd:complexType name="[Name des Datentyps]">
  [Beschreibung des Datentyps]
</xsd:complexType>
```

  - Festlegung der Reihenfolge von Subelementen

```
<xsd:sequence>[Subelemente]</xsd:sequence>
```

  - Referenzierung von existierenden Datentypen

```
<xsd:element ref="[Name des Datentyps]"/>
```

- Spezifizierung eigener Elementnamen und Zuordnung zu Datentypen

```
<xsd:element name="[Elementname]" type="[Name des Datentyps]"/>
```

- Definition eigener Attribute (nur einfache Datentypen erlaubt)

```
<xsd:attribute name="[Attributname]" type="[Name des Datentyps]"/>
```

- Attribute zur Einschränkung der Anzahl von Elementen
  - Festlegung einer Mindest- bzw. Maximalanzahl (`minOccurs`, `maxOccurs`)
  - Für optionale Elemente: `minOccurs` auf `0` setzen

Hypertext Transfer Protocol (HTTP)

- Protokoll für Zugriff auf *Ressourcen* über ein Netzwerk
  - Lesender Zugriff (z. B. Abruf einer Web-Seite)
  - Schreibender Zugriff (z. B. Hochladen einer Datei)
- Überblick
  - Zumeist TCP/IP als zuverlässiges Transportprotokoll
  - Eigentlich Anwendungsprotokoll, kommt aber oftmals auch selbst als Transportprotokoll zum Einsatz (siehe XML-RPC)
  - Textbasierter Nachrichtenaustausch
  - Zustandsloses Protokoll
- 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 et al.
Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1, *RFC 2616*, 1999.

Aufbau einer Anfragenachricht — Header & Body

- Header

```
[Methode] [Ressourcen-ID] HTTP/[Versionsnummer]\r\n
[Feld 1: Name]: [Feld 1: Wert]\r\n
[Weitere Felder...]
\r\n
```

  - Startzeile
    - Methode: Operation, die auf die adressierte Ressource angewandt werden soll
    - Ressourcen-ID: Adresse der Ressource, auf die zugegriffen werden soll
  - Nachrichtenkopf
    - Liste von Schlüssel-Wert-Paaren (*Feldern*)
    - Beispiele

Feldname	Beschreibung
`Host`	Name des Rechners, der die adressierte Ressource verwaltet
`User-Agent`	Client-Anwendung, z. B. Web-Browser
`If-Modified-Since`	Zeitstempel für bedingte Ausführung
`Content-Type`	Art der Nutzdaten, z. B. `text/html` (HTML-Seite)
`Content-Length`	Länge der Nutzdaten

- Body (optional): Nutzdaten

Aufbau einer Anfragenachricht — Methoden

- Überblick über die wichtigsten HTTP-Methoden

Methode	Beschreibung
`GET`	Lesender Zugriff auf die adressierte Ressource
`HEAD`	Unterschied zu `GET`: Antwort enthält keinen Body
`POST`	Modifizierender Zugriff auf die adressierte Ressource (Beispiele) – Annotation einer existierenden Ressource – Senden einer Nachricht an eine Mailing-Liste – Übermittlung von Formulardaten – Anfügen eines Datensatzes an eine Datenbank
`PUT`	Registrieren von Daten unter der übergebenen Ressourcenadresse
`DELETE`	Löschen der adressierten Ressource
Weitere Methoden: `OPTIONS`, `TRACE`, `CONNECT`,...	

[RFC 2616]

- Zentrale Methoden für die Browser-Server-Kommunikation
  - `GET`
  - `POST`

Aufbau einer Anfragenachricht — Ressourcen-ID

- Universal Resource Identifier (URI)
  - Zeichenkette zur global eindeutigen Identifikation einer Ressource
  - Struktur

```
"http://" [Host] [":" [Port]] [[Absoluter Pfad]]
```

  - Beispiel

```
http://www4.cs.fau.de/Lehre/WS13/V_MW/index.ushtml
```

- Absoluter Pfad
  - Lokale Adresse einer Ressource auf dem Zielrechner
  - Globale Eindeutigkeit ist eventuell nur in Kombination mit dem `Host`-Feld im HTTP-Header gegeben
  - Beispiel-Header

```
GET /Lehre/WS13/V_MW/index.ushtml HTTP/1.1
Host: www4.cs.fau.de
[...]
```

Aufbau einer Antwortnachricht

- Header

```
HTTP/[Versionsnummer] [Status-Code] [Statusnachricht]\r\n
[Feld 1: Name]: [Feld 1: Wert]\r\n
[Weitere Felder...]
\r\n
```

  - Statuszeile
    - Status-Code: Als Zahl repräsentierte Statusmeldung
    - Statusnachricht: Textuelle Beschreibung des Status-Codes

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]

  - Nachrichtenkopf: Struktur analog zu Nachrichtenkopf in Anfragenachricht
- Body (optional): Nutzdaten

Kommunikation über TCP/IP

- Transmission Control Protocol (TCP)
  - Zuverlässiges Transportprotokoll
  - Verbindungsorientierte Kommunikation
  - Mechanismus für Flusskontrolle
  - Erhaltung der Nachrichtenreihenfolge
- Einsatz von TCP/IP in unterschiedlichen HTTP-Versionen
  - HTTP/1.0
    - Separate TCP/IP-Verbindung pro Anfrage-Antwort-Interaktion
    - Nachteil: Zusätzliche Last für Rechner und Netzwerk
  - HTTP/1.1
    - Persistente Verbindungen: Wiederverwendung der TCP/IP-Verbindung für weitere Anfragen an den selben Server
    - Vorteile
      - Minimaler Mehraufwand für Verbindungsaufbau
      - *Pipelining* möglich: Parallele, asynchrone Anfragen eines Clients

Indirekte Kommunikation

- Aufrufketten
  - Paarweise Punkt-zu-Punkt-Verbindungen
  - Anwendungsprozesse als Bindeglied zwischen Verbindungen
- Beispiele für als Vermittler fungierende Anwendungsprozesse
  - *Proxy*
    - Abfangen und Weiterleiten von Anfragen und Antworten
    - Vom Client explizit ausgewählt, um mit dem Server zu kommunizieren
    - Eventuell Modifikation der Nachrichten
  - *Gateway*
    - Knoten an der Schwelle zwischen zwei heterogenen Netzwerken
    - Client sieht Gateway als eigentlichen Server an
    - Eventuell Modifikation der Nachrichten
  - *Tunnel*
    - Transparenter Vermittler zwischen zwei Verbindungen
    - Keine Modifikation der Nachrichten

XML-RPC

- Plattformunabhängiges Fernaufrufprotokoll
  - XML: Nachrichtenformat
  - HTTP: Transportprotokoll
- Umfang
  - Spezifikation
    - Festlegung der verfügbaren Datentypen
    - Aufbau von Anfrage- und Antwortnachrichten
  - Implementierungen für verschiedene Programmiersprachen
    - Java
    - C++
    - Python
    - ...
- Literatur

XML-RPC
http://xmlrpc.scripting.com/

Datentypen

- Primitive Datentypen (<value>)

XML-Tag	Wert
i4 bzw. int	32-Bit-Integer
double	Fließkommazahl mit doppelter Genauigkeit
boolean	0 (false), 1 (true)
string	Zeichenkette
base64	Base64-codierte Binärdaten
dateTime.iso8601	Datum und Uhrzeit

[XML-RPC Specification, http://xmlrpc.scripting.com/spec]

- Komplexe Datentypen
  - Liste primitiver und/oder komplexer Datentypen (<array>)

```
<array><data>
  <value>[Wert]</value>
  [Weitere <value>-Elemente]
</data></array>
```

  - Ungeordnete Menge aus Schlüssel-Wert-Paaren (<struct>)

```
<struct>
  <member><name>[Schlüssel]</name><value>[Wert]</value></member>
  [Weitere <member>-Elemente]
</struct>
```

Aufbau einer Anfragenachricht — Header

- HTTP-Header

```
POST [URI] HTTP/1.1
Content-Type: text/xml
User-Agent: [Nutzeranwendung]
Content-Length: [Nachrichtenlänge]
Host: [Zielrechneradresse: z. B. Hostname und Port]
[...]
```

  - POST und Content-Type
    - Identisch für alle Anfragen
    - Intention: Unterstützung einfacher Firewall-Regeln
  - URI
    - Beliebiger Pfad (möglicherweise leer)
    - Ermöglicht die Request-Handler-Auswahl auf Server-Seite

Aufbau einer Anfragenachricht — Body

- HTTP-Body

```
<?xml version="1.0"?>
<methodCall>
  <methodName>[Methodenname]</methodName>
  <params>
    <param>[Aufrufparameter]</param>
    [...]
  </params>
</methodCall>
```

  - Kapselung der Aufrufinformationen in einzelnem <methodCall>-Element
  - Methodenname
    - Eindeutige Identifikation der aufzurufenden Methode
    - Beliebige Zeichenkette
    - Beispiel: Zusammengesetzter Name aus Objekt-ID und Methodenname
  - Aufrufparameter: Primitive oder komplexe Datentypen

Aufbau einer Antwortnachricht — Reguläre Antwort

- HTTP-Header

```
HTTP/1.1 200 OK
Server: [Server-Anwendung]
Content-Type: text/xml
Content-Length: [Nachrichtenlänge]
[...]
```

  - Identisch für beide Antworttypen
  - Status-Code bezieht sich auf HTTP, nicht auf den Methodenaufruf

- Reguläre Antwort: HTTP-Body

```
<?xml version="1.0"?>
<methodResponse>
  <params><param>[Rückgabewert]</param></params>
</methodResponse>
```

  - Kapselung des Rückgabewerts in einzelnem <methodResponse>-Element
  - Rückgabewert: Primitiver oder komplexer Datentyp in <param>-Element

- Fehlermeldung: HTTP-Body

```
<?xml version="1.0"?>
<methodResponse>
  <fault>
    <value><struct>
      <member>
        <name>faultCode</name>
        <value><i4>[Fehler-Code]</i4></value>
      </member>
      <member>
        <name>faultString</name>
        <value><string>[Fehlerbeschreibung]</string></value>
      </member>
    </struct></value>
  </fault>
</methodResponse>
```

- Kapselung der Fehlermeldung in einzelnem `<fault>`-Element
- Semantik des Fehler-Codes von der Anwendung frei wählbar

- Extensible Markup Language (XML)
  - Auszeichnungssprache für hierarchisch strukturierte Daten
  - Kriterien für Wohlgeformtheit und Gültigkeit von Dokumenten
  - Definition eigener Datentypen mit XML Schema
- Hypertext Transfer Protocol (HTTP)
  - Protokoll für Zugriff auf Ressourcen über ein Netzwerk
  - Oftmals TCP/IP als Transportprotokoll
  - Zustandslose Interaktion
- XML-basierte Fernaufrufe (XML-RPC)
  - Plattformunabhängiger Fernaufrufmechanismus
  - Austausch von XML-Dokumenten
  - HTTP als Transportprotokoll
- Ausblick: XML-RPC nicht flexibel genug für komplexe Web-Services
  - SOAP: Kommunikationsprotokoll für Web-Services
  - REST: Grundprinzipien für die Entwicklung von skalierbaren Web-Services