TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

DRESDEN concept

Prof. Distributed and Networked Systems
Fakultät Informatik

Vorlesung „Service and Cloud Computing“

8. Sicherheit in Service-orientierten Architekturen

Dr.-Ing. Iris Braun
WS 2024/2025

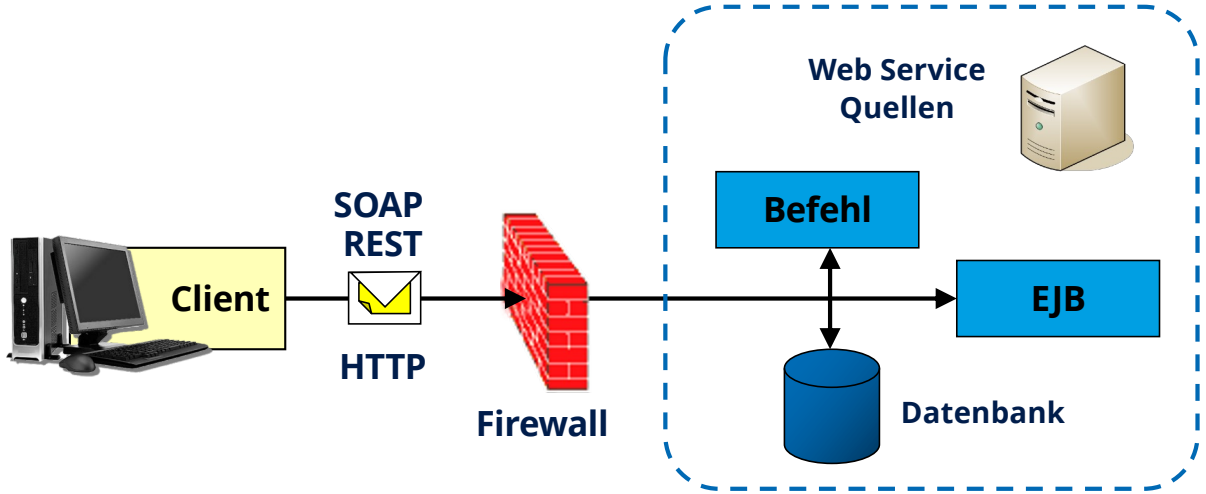
Gliederung

- **Sicherheitsaspekte, Gefahren**
- **Grundlegende Konzepte und Begriffe**
- **Transportsicherheit**
  - TLS, SSL
- **Sicherheit für REST-Services**
- **Nachrichtensicherheit WS-Security**
  - XML-Signaturen
  - XML-Verschlüsselung
  - Authentifizierung
  - Single-Sign-On (SAML)
  - Autorisierung (SAML)

Rückblick

Bislang betrachtet: technische Möglichkeiten von Web Services und REST Services zur Entwicklung einer SOA

- Einfaches Anbieten von Diensten, kurze Entwicklungszeiten
- Interoperabilität – Kooperation verschiedenartiger Systeme
- Keine Firewall-Probleme bei SOAP oder REST über HTTP

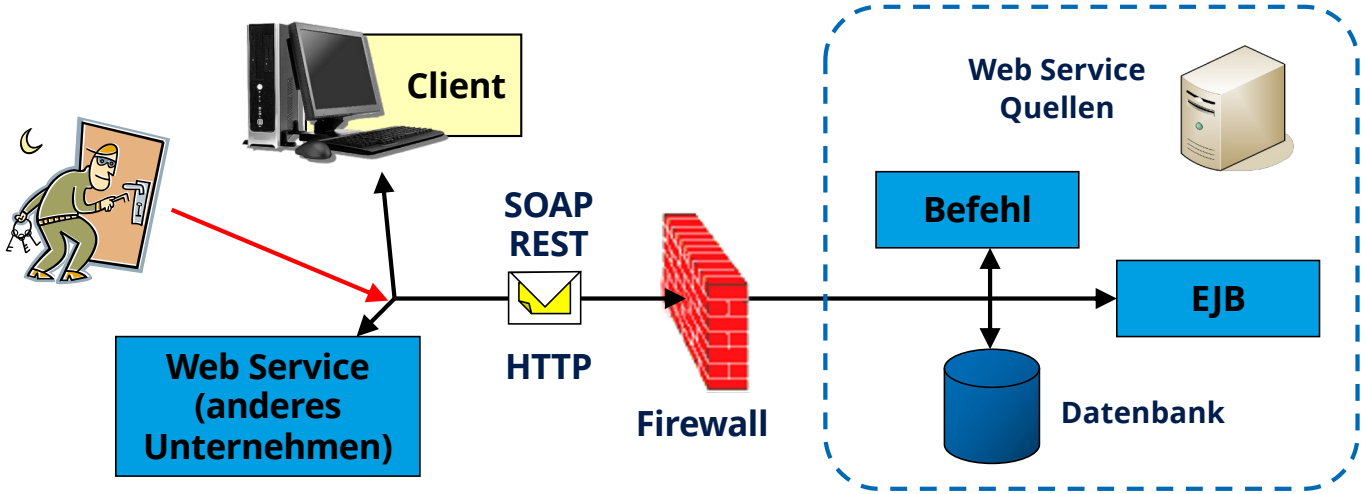


Problem

Einsatz insbesondere innerhalb von (EAI) bzw. zwischen (B2B) Unternehmen interessant

⇒ Zahlreiche sicherheitsrelevante und kritische Daten

⇒ Risiko durch die Einfachheit von Web Services, das System Angriffen auszusetzen



Wo liegen grundsätzliche Probleme?

Von wem stammt die Nachricht?

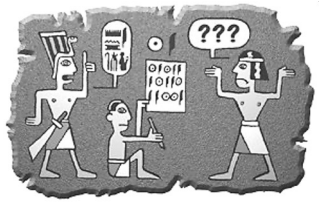
- **Authentifizierung:** sichere Zuordnung einer Information zu ihrem Absender ⇒ Echtheit, Zuverlässigkeit, Glaubwürdigkeit

Was darf der Absender?

- **Autorisierung:** Zuweisung und Überprüfung von Zugriffsrechten auf Ressourcen

Wo liegen grundsätzliche Probleme? (2)

Wer kann eine Nachricht lesen?



- **Vertraulichkeit (Konfidenz):** Information ist nicht lesbar für unberechtigte Parteien

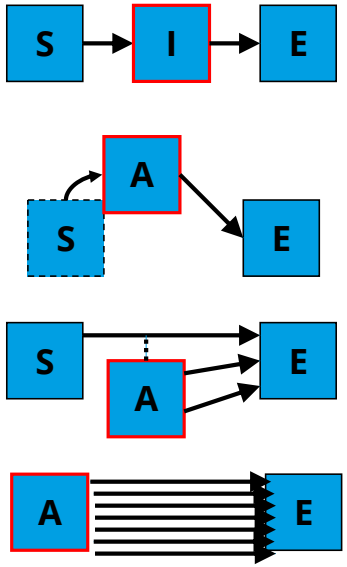
Wurde die Nachricht beim Versand verändert?

- **Integrität:** vollständige und unveränderte Datenübermittlung von tatsächlichem Absender zu Empfänger

Welche Gefahren sind denkbar?

- **Abhören von Nachrichten**
  - HTTP-Nachrichten sind „plain text“ !
  - Auch Modifikation leicht möglich !
- **Man-in-the-Middle-Attacke**
  - Routing durch Intermediaries möglich
  - Intermediary könnte kompromitiert sein!
- **Spoofing**
  - Angreifer täuscht andere Identität vor
  - Oft Grundlage für andere Angriffe
- **Replay**
  - Mehrfaches Senden abgefangener Nachricht
- **Denial of Service (DoS)**
  - Überlastung des Empfängers durch sehr häufiges Senden

```
<soap:Envelope>
  <soap:Body>
    <user>ich</user>
    <pin>3456</pin>
  </soap:Body>
</soap:Envelope>
```



Abgrenzung

Keine Betrachtung von

- Schutz von Diensten gegen Angriffe durch Ausnutzung von Sicherheitslücken in der Implementierung
  - Exploits, blockierende Aufrufe, ...
- Schutz der Infrastruktur
  - DoS-Attacken, Spoofing, ...
- Privacy, Datenschutz

Konzentration auf

- Schutz der Daten (Nachrichten)
- Schutz der Benutzer (Clients)

Sicherheitsaspekte

Bedeutungen von Sicherheit:

- Schutz vor Gefahren
- Gewissheit (Bestätigung einer Vermutung)
- Zuverlässigkeit (Eintreten des erwarteten Verhaltens)

wichtigste Schutzziele:

- ***Vertraulichkeit:*** Nachricht nur von adressiertem Empfänger lesbar
- ***Berechtigung:*** Dienstnutzer darf Dienst verwenden und Daten lesen, manipulieren, löschen
- ***Integrität:*** Nachricht wird beim Versand nicht modifiziert
- ***Glaubwürdigkeit:*** Absender einer Nachricht muss überprüfbar sein, Identität darf nicht vorgetäuscht werden
- ***Verbindlichkeit:*** Absender soll Versand einer Nachricht im Nachhinein nicht leugnen können

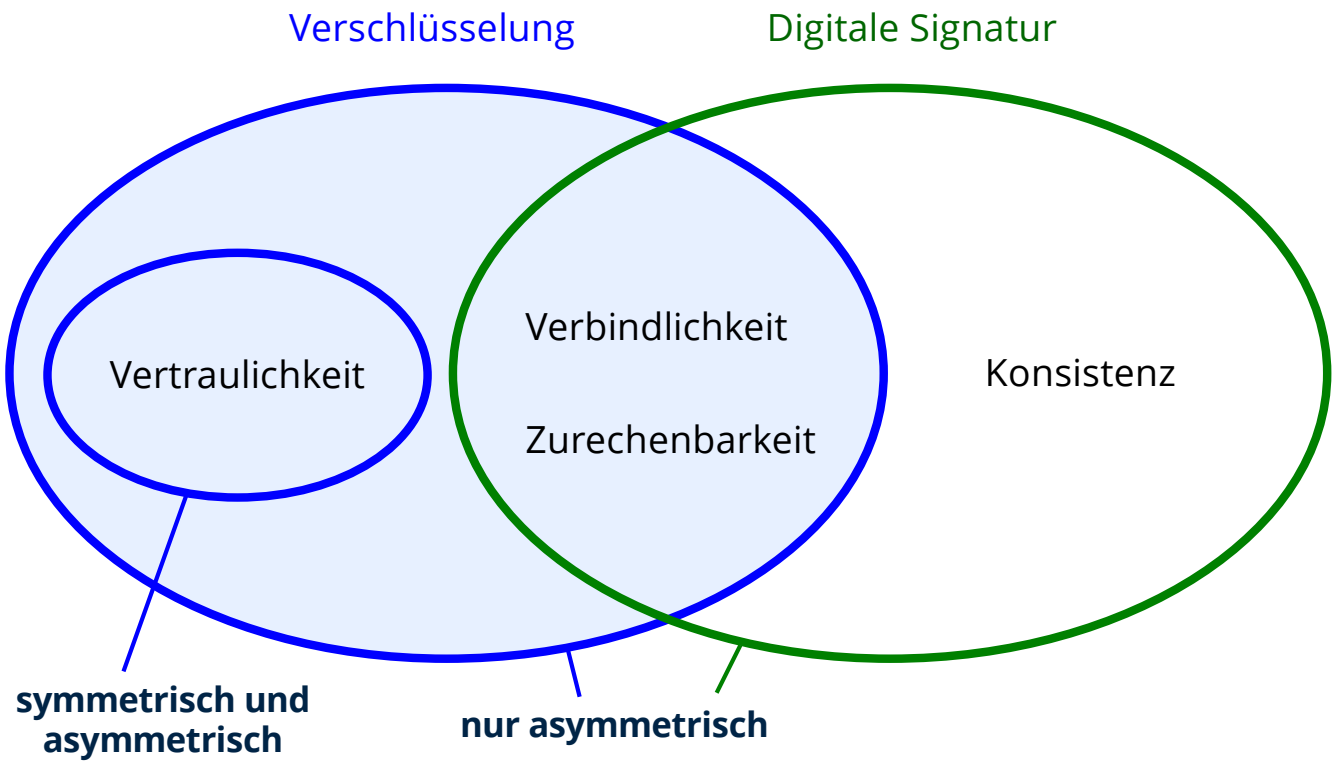
Technische Realisierbarkeit der Anforderungen

2 grundsätzliche Verfahrensklassen:

- Kryptographie (modifiziert Nachrichtentext)
- Signatur (bestätigt inhaltlich unveränderte Information)

Vertraulichkeit	Verschlüsselungsmechanismen: Transformation in für Dritte nicht lesbare Darstellung
Berechtigung	Digitaler Berechtigungsschein, Autorisierung
Integrität / Daten-Konsistenz	Echtheitszertifikat: Beschreibung charakteristischer Eigenschaften des Originals, Abgleich (Konsistenzprüfung) beim Empfänger
Zurechenbarkeit	Digitale Unterschrift: Bestätigung der Urheberschaft und/oder Zustimmung zum Dokumentinhalt
Konsistenz	

Überblick


Verschlüsselung
Digitale Signatur
Vertraulichkeit
Verbindlichkeit
Zurechenbarkeit
Konsistenz
symmetrisch und asymmetrisch
nur asymmetrisch

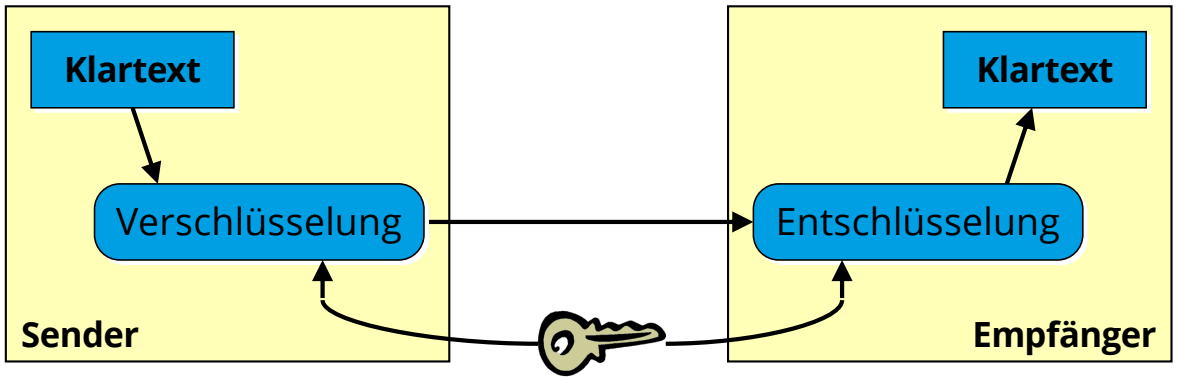
Verschlüsselung: symmetrisch

Symmetrische kryptographische Verfahren:

- Verwendung des gleichen Schlüssels für Chiffrierung und Dechiffrierung des Nachrichtentextes
- *Vorteil*: sehr schnell
- *Nachteil*: vorher Schlüsselaustausch notwendig

⇒nicht geeignet für Web-Service-Anwendungen

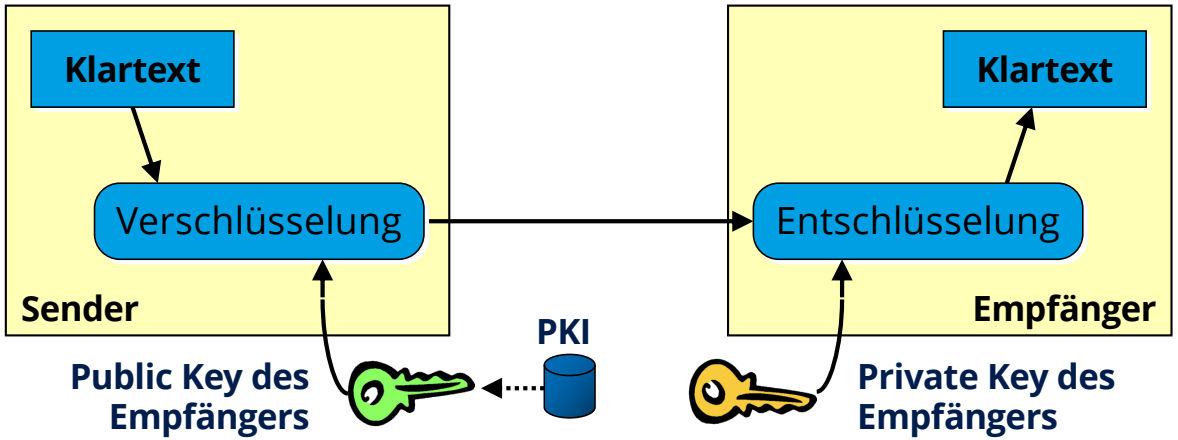
- ***Verfahren*:** Rijndael (AES), Twofish, 3DES



Verschlüsselung: asymmetrisch

Asymmetrische kryptographische Verfahren (public key):

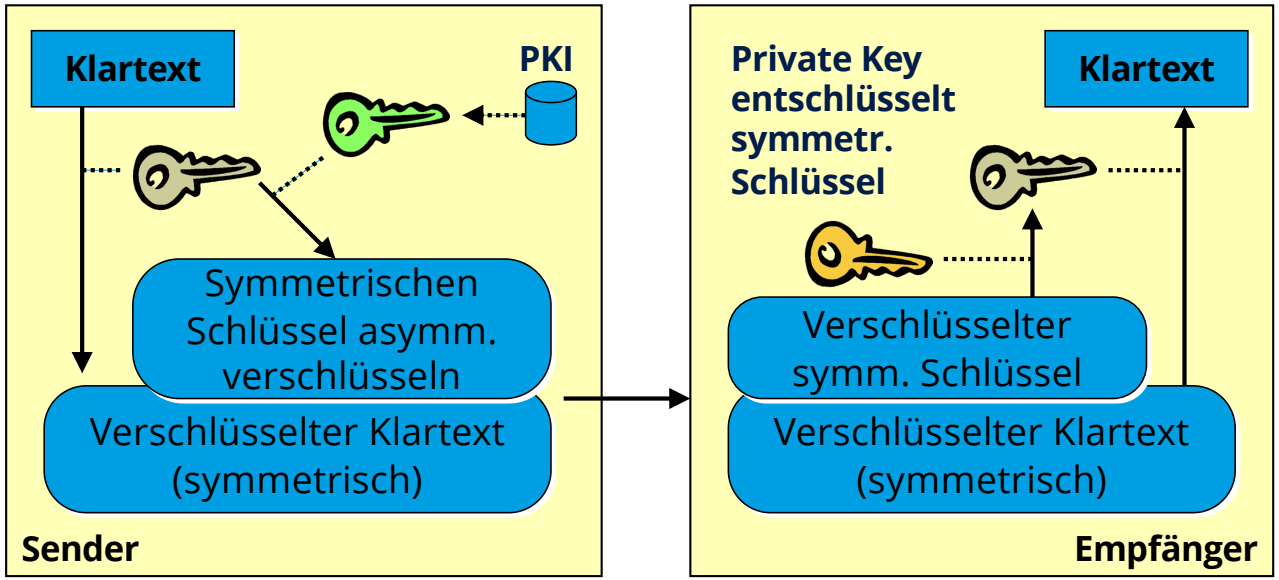
- Verschiedene Schlüssel für Ver- und Entschlüsselung
- Privater Schlüssel darf ohne Zusatzinformation nicht aus dem dazu passenden öffentlichen Schlüssel zu berechnen sein
- *Vorteile*: Geheimnis klein (pro Nutzer nur 1 privater Schlüssel), geringeres Schlüsselverteilungsproblem
- *Nachteil*: langsam! (RSA im Vergleich zu DES *1000)



Verschlüsselung: hybrid

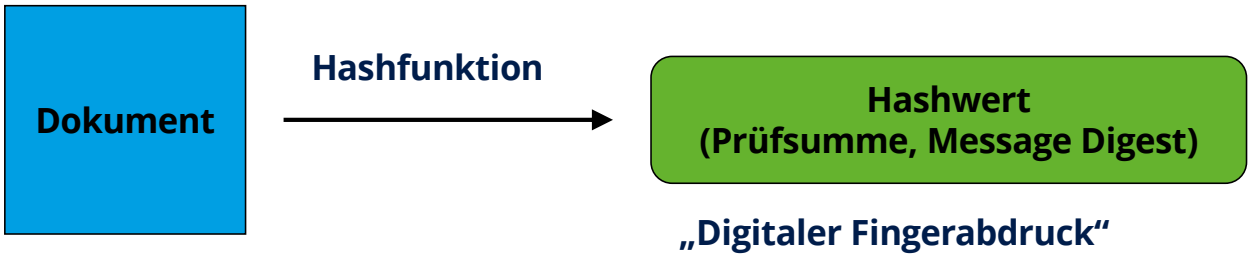
Hybride Verschlüsselung (schnell und sicher):

- Kombination asymmetrischer und symmetrischer Verfahren
- Bekanntes Verfahren: Pretty Good Privacy (PGP)



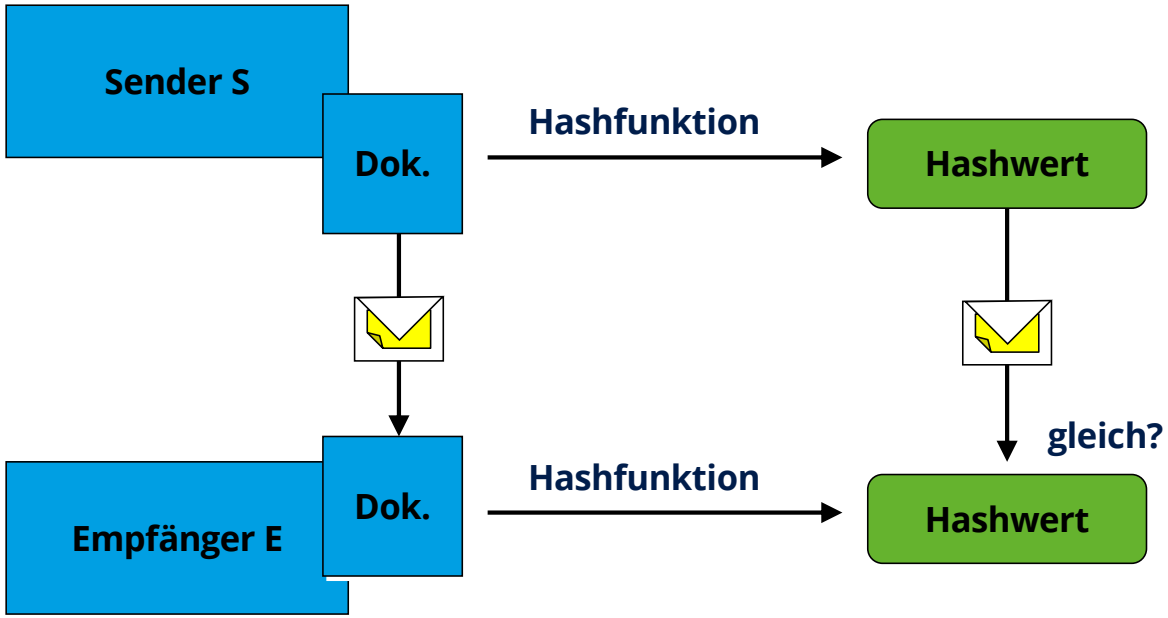
Digitale Signaturen

- Einsatzzweck: Daten, die bei Veränderung erhebliche Auswirkungen auf Anwendung hätten, Zurechenbarkeit
- Kann zusammen mit Verschlüsselung erfolgen (üblich: erst Signierung, dann Verschlüsselung)
- Basiert auf Hashfunktion: „One way function“ (asymmetrisch)
  - leicht berechenbar, erzeugt Zeichenfolge bestimmter Länge
  - dazu inverse Funktion unbestimmbar
  - Änderung an Dokument soll anderen Hashwert erzeugen



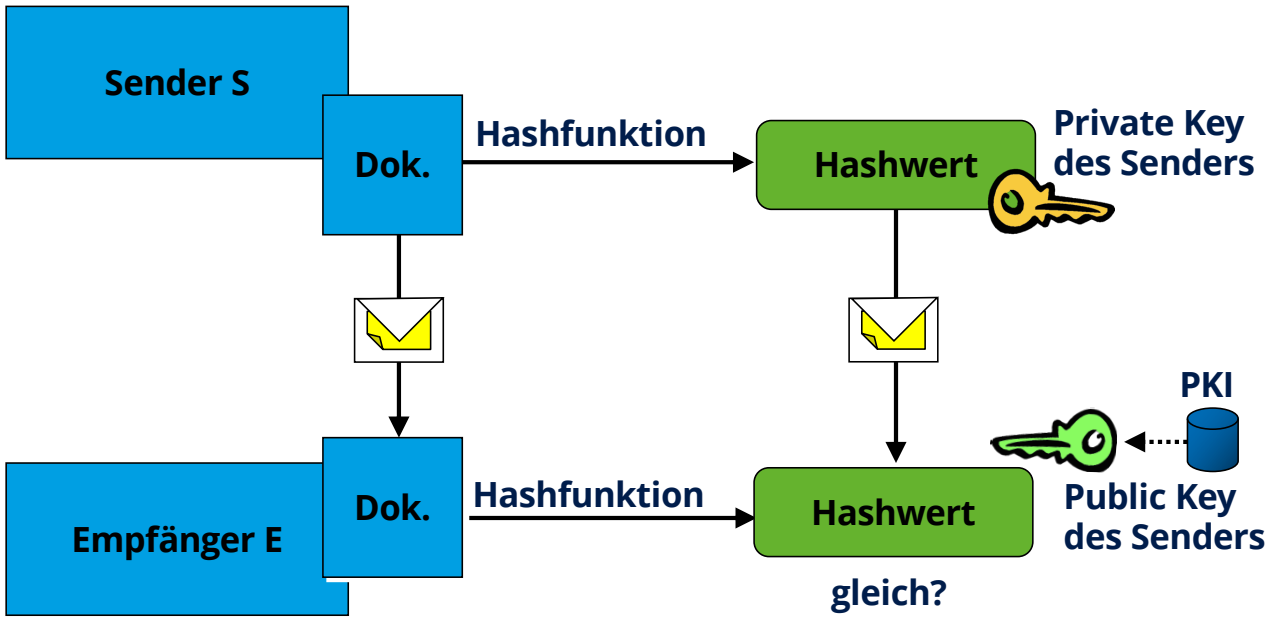
Digitale Signaturen: Beispiel Hashfunktion

Ziel: Zusicherung der Integrität – Änderungen am Dokument erkennen



Digitale Signaturen - Zurechenbarkeit

Digitale Signatur: berechnet aus Message Digest und privatem Schlüssel des Unterzeichners

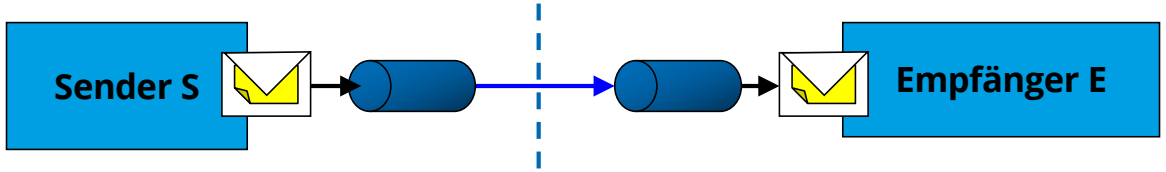


Transportsicherheit

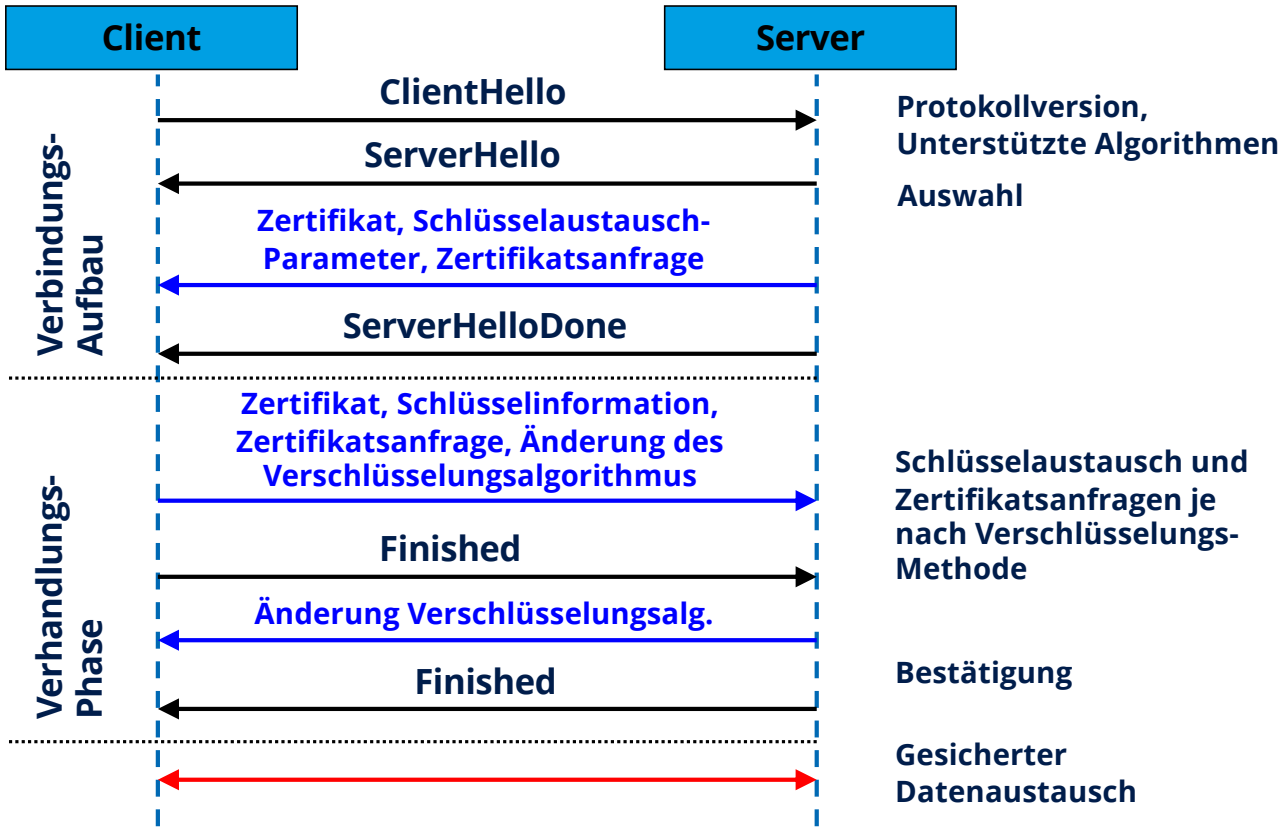
- Gewährleistung meist durch mehrere Schichten des ISO/OSI-Schichtenmodells
- Ziel: Nachrichten nicht abhör- und veränderbar
- Auf Vermittlungsschicht: IPsec, meist in Virtual Private Networks

Transport Layer Security (TLS):

- Weiterentwicklung von Secure Socket Layer (SSL)
- Anwendungsunabhängiges Protokoll, verbindungsorientiert
- Transparent: Transport verschlüsselt, auf Empfängerseite nach Empfang im Klartext vorhanden
- Vergleichbar mit Rohrpostsystem:



Ablauf: TLS/SSL-Verbindungsaufbau



Punkt-zu-Punkt-Verbindung

Einsatzgebiet von TLS:

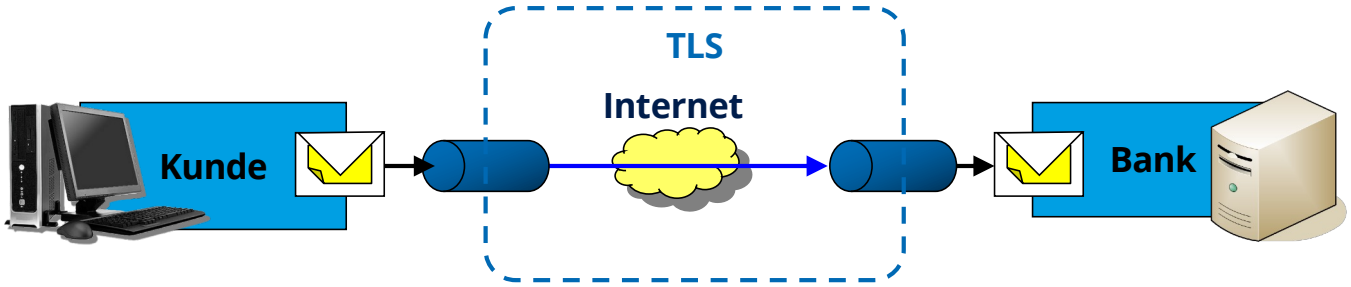
Kommunikation zwischen genau 2 Teilnehmern (Punkt-zu-Punkt)

⇒Echter Transportkanal zwischen Sender und Empfänger

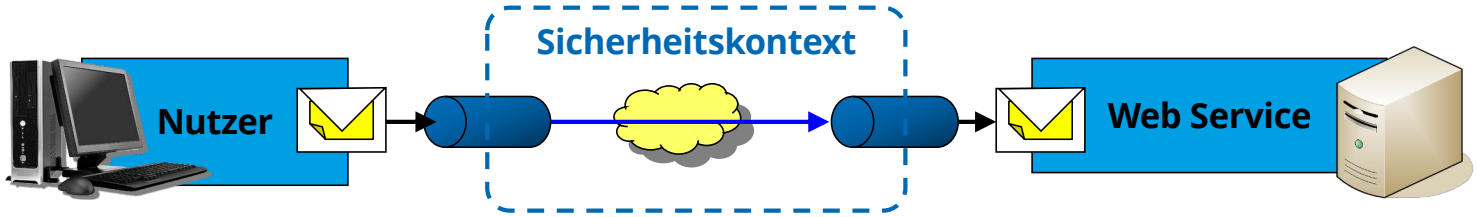
Beispiele:

- Onlinebanking: genau ein Kunde ⇔ eine Bank
- Web-Seiten: Browser-Client ⇔ Web-Server

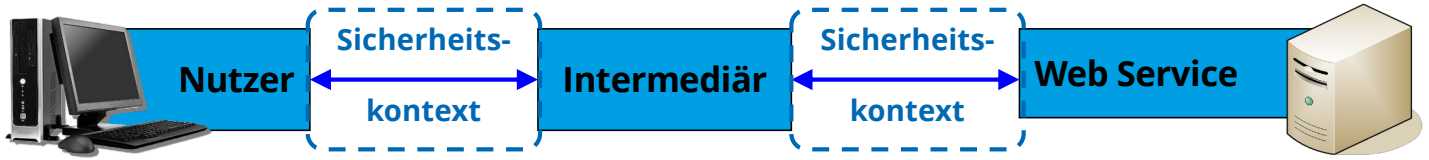
⇒**Für eine echte SOA mit Web Services geeignet?**



Sicherheitskontext



Bei Punkt-zu-Punkt-Verbindung von TLS/SSL:



Wie sichert man Ende-zu-Ende-Kommunikation von Web Services?

Nachteile von TLS/SSL

- Aufbrechen des Sicherheitskontextes bei komplexer Web-Service-Kommunikation mit Zwischenstationen (Intermediären)
- Nur vollständige Verschlüsselung
  - keine feingranulare Sicherung von Nachrichten(-teilen)
- SSL-Handshake nicht in SOAP-Aufruf integriert
- Aufwand für Beschaffung von Server-Zertifikaten
  - Strategie für zentrale Zertifikat-Ablage notwendig
- Langsamer SSL-Handshake vor jedem SOAP-Aufruf
  - Asynchrone Aufrufe durch Handshake nicht möglich

Vorteil: erprobt und effektiv, Hardwarebeschleunigung verfügbar

Sicherheit für REST-Services

SSL/TLS

- für verschlüsselte Kommunikation zwischen Client und Server (Punkt-zu-Punkt!)
- Authentifikation des Services, Authentifikation des Clients (optional)

HTTP-Authentication

- Basic Auth., Digest, NTLM (MS NT LAN Manager), SPNEGO, Kerberos
- Übertragung bei jedem Request notwendig (Zustandslosigkeit)

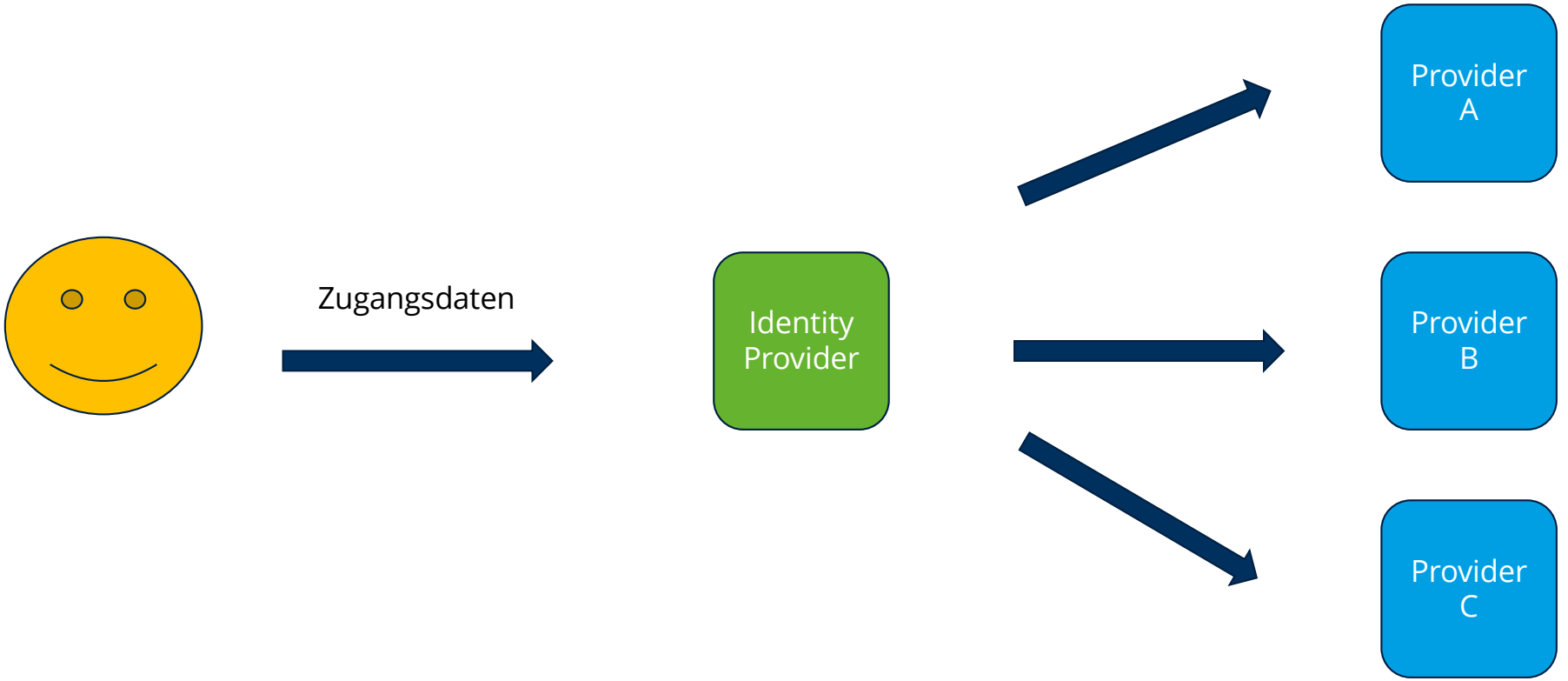
OpenID Connect und SAML

- ermöglichen Single-Sign-On
- Dezentrale Authentifizierung und Identitätsmanagement für Web-Apps
- Konzept der URL-basierten Identität

OAuth 2.0 (RFC 6749)

- Standardisiert von IETF OAuth Working Group
- unterstützt schwerpunktmäßig einen zentralisierten Autorisierungs- und Datenaustauschprozess sowie einen delegierten Aufruf von REST-Webservices
- Verwendet verschiedene Token-Formate u.a. JSON Web Token (JWT)

Single-Sign-On Verfahren



Vergleich der Identitätsprotokolle

Identitätsprotokolle	SAML 2.0	OpenID Connect
Format	**XML**	REST/JSON
Authentifikation	**O**	O
Autorisierung	**O**	X
Veröffentlicht im Jahr	**2001**	2014
Am besten geeignet für	**SSO für Unternehmen**	SSO für Kundenanwendungen (mobile & native Anwendung)
Beziehung zwischen den Anbietern	**Durch den Browser des Nutzers**	Über den Rückkanal

SAML: Security Assertion Markup Language

SAML: Security Assertion Markup Language

- OASIS-Standard seit 2001
- Ziel: Verfahren zum Austausch sicherheitsrelevanter Informationen zur Authentifizierung und Autorisierung, standardisierte Beschreibung existierender Sicherheitsmodelle
- Vollständig programmiersprachen-/plattform-/herstellerunabh.

Bestandteile:

- ***Assertions*:** Aussagen über Sitzungsinformationen
- Beispiel: „Der Nutzer verwendet ein Passwort, das gültig ist.“
- Protokolle für Anfragen und Übermittlungen solcher Aussagen (Assertion Request/Response)
- Bindungen und Profile zur Integration von SAML in andere Spezifikationen (auch WS-Security)

SAML: Assertion-Typen

- **Authentication**

Bestätigung, dass der genannte Dienstnutzer zu einer bestimmten Zeit von einem bestimmten Vermittler authentifiziert wurde

- **Attribute**

Bestätigung, dass einem bestimmten Dienstnutzer statische oder dynamische Attribute wie Rollen oder Informationen zugeordnet sind

- **Authorization**

Erklärung einer Autorität, dass ein bestimmter Dienstnutzer die Erlaubnis zu einer Aktivität auf einer Ressource hat

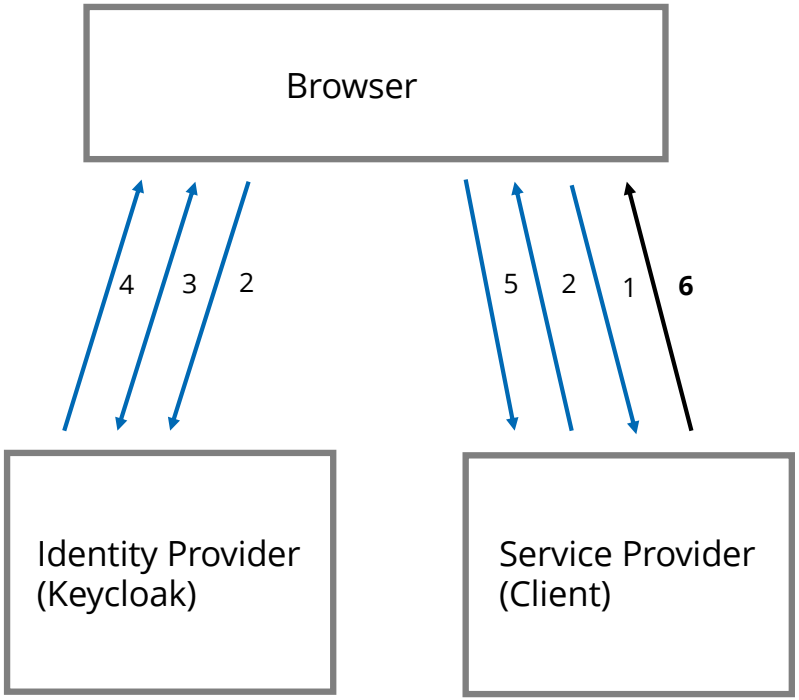
-> Analogie zum Notar: Beglaubigung, Vollmacht

SAML: Verwendung des Protokolls

Verschiedene Anwendungsszenarien:

- Single Sign-On (ein Dienstnutzer ist nach der Anmeldung bei einem Dienst automatisch auch zur Benutzung von weiteren Diensten berechtigt)
- Autorisierungsdienste (eine „unbeteiligte“ Autorität erzeugt und prüft Berechtigungen)
- Verteilte Transaktionen (mehrere Dienste sind gemeinsam an einer Transaktion beteiligt und teilen sich die Sicherheits-informationen)

SAML 2.0 – Security Assertion Markup Language

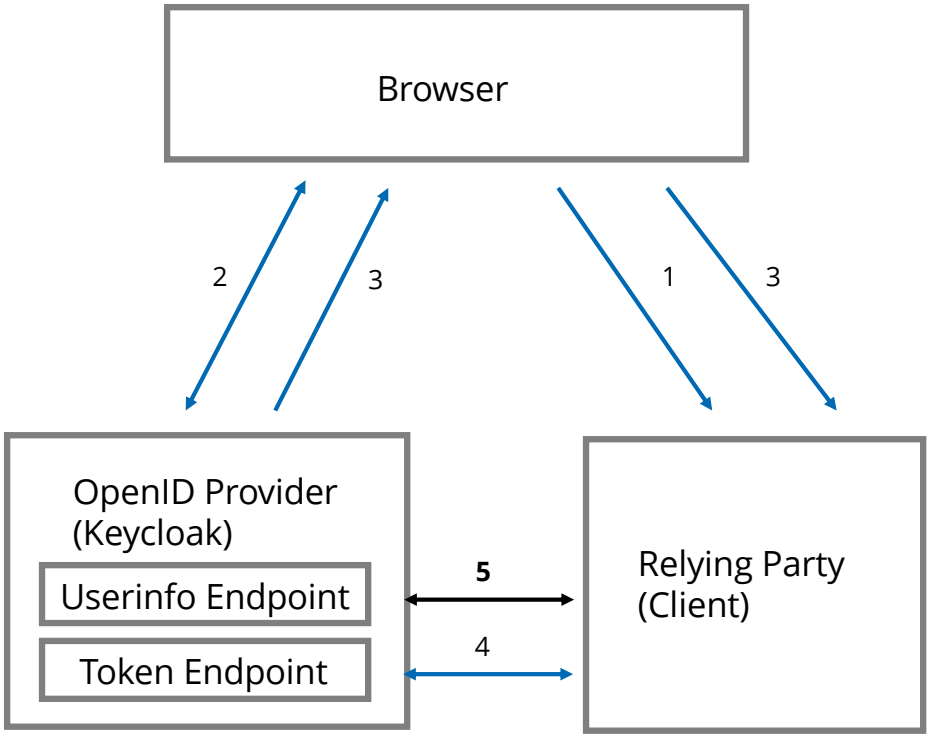


1. Anmeldung des Benutzers über SSO
2. Weiterleitung der SAML-Anfrage an den Identity Provider
3. Authentifizierung des Benutzers durch den Identity Provider
4. Übertragung der Autorisierungs- und Authentifizierungsnachrichten an den Browser
5. Übertragung der generierten SAML-Antwort an den Service Provider
6. Wenn die Überprüfung erfolgreich → Die Webanwendung gewährt dem Benutzer den Zugriff.

Vergleich der Identitätsprotokolle

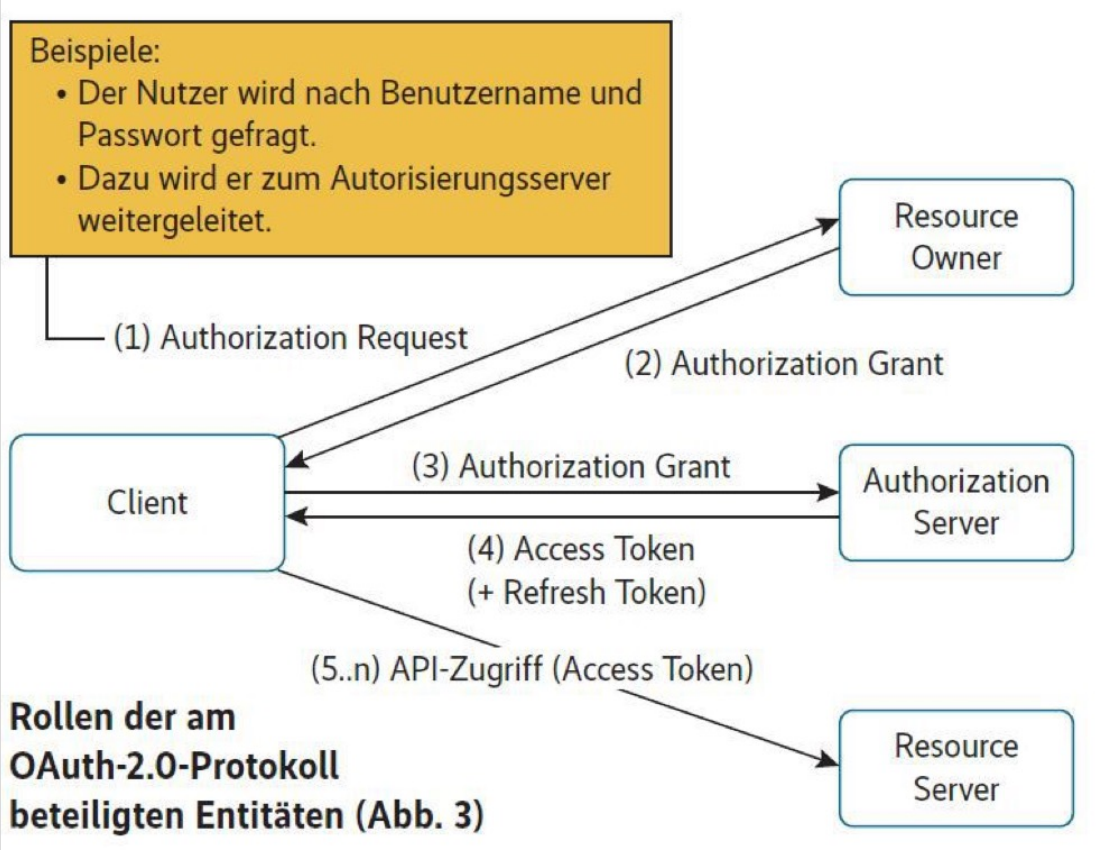
Identitätsprotokolle	SAML 2.0	OpenID Connect
Format	XML	**REST/JSON**
Authentifikation	O	**O**
Autorisierung	O	**X**
Veröffentlicht im Jahr	2001	**2014**
Am besten geeignet für	SSO für Unternehmen	**SSO für Kundenanwendungen (mobile & native Anwendung)**
Beziehung zwischen den Anbietern	Durch den Browser des Nutzers	**Über den Rückkanal**

OIDC – OpenID Connect



1. Anmeldung des Benutzers über SSO
2. Authentifizierung des Benutzers durch den OpenID Provider
3. Zurückleitung an den Relying Party mit einmaligen Authorization Code
4. Anforderung von ID-Token des Benutzers
5. Anforderung von zusätzlichen Informationen des Benutzers

OAuth 2.0



Quelle: http://www.heise.de/developer/artikel/Flexible-und-sichere-Internetdienste-mit-OAuth-2-0-2068404.html

JWT - JSON Web Tokens

JSON Web Tokens (RFC 7519)

- ermöglicht den Austausch von verifizierbaren Claims (Authentifizierungs- und Autorisierungsinformationen)
- besteht aus 3 Teilen: Header, Payload und Signatur
- werden mit Base64 kodiert
- JWT Token kann wie folgt aussehen:

```
jwt = base64(header) + "." + base64(payload) + "." + base64(hash)
```

- JWT kann in der URL oder im HTTP-Header übertragen werden.

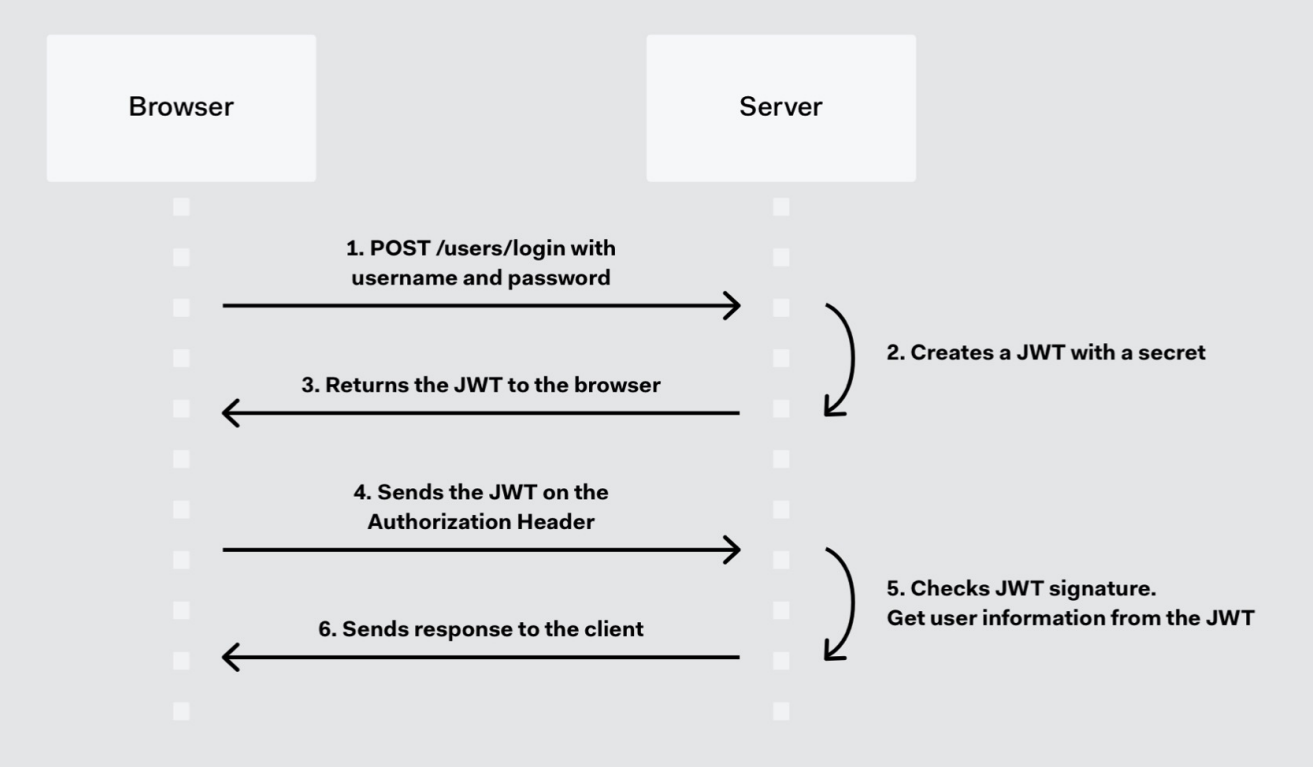
URL: `http://example.com/path?jwt_token=eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9...`

HTTP-Header:

im Authorization-Feld als Bearer-Token: `Authorization: Bearer eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9...`

im Cookie-Feld: `Cookie: token=eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9...`

JWT – Ablauf



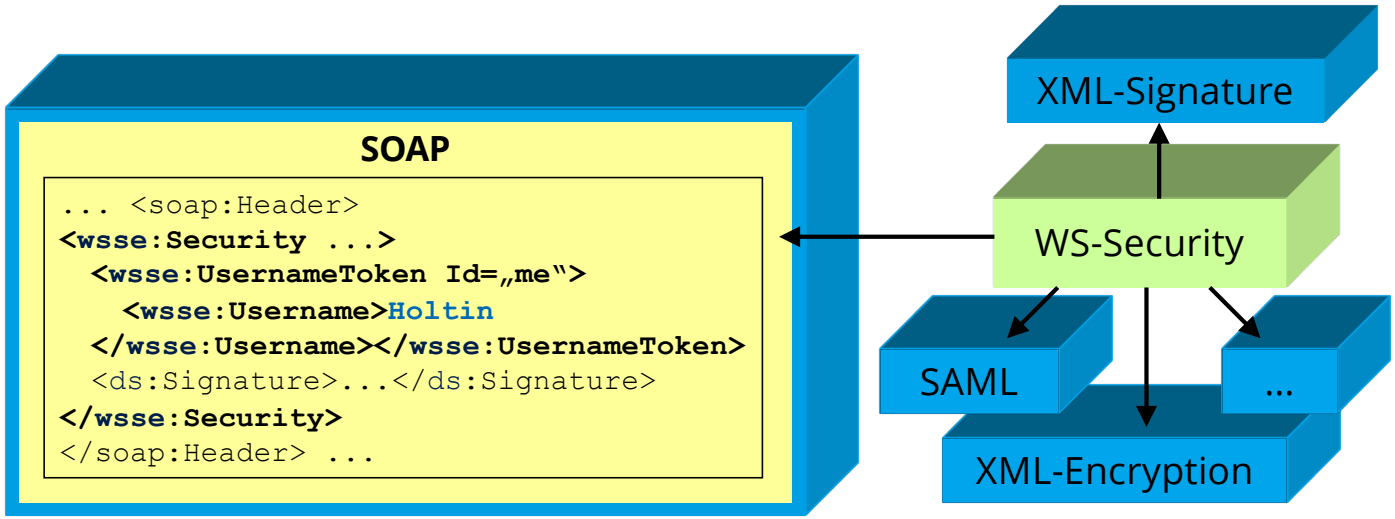
Bildquelle: https://auth0.com/learn/json-web-tokens/

WS-Security (OASIS-Standard)

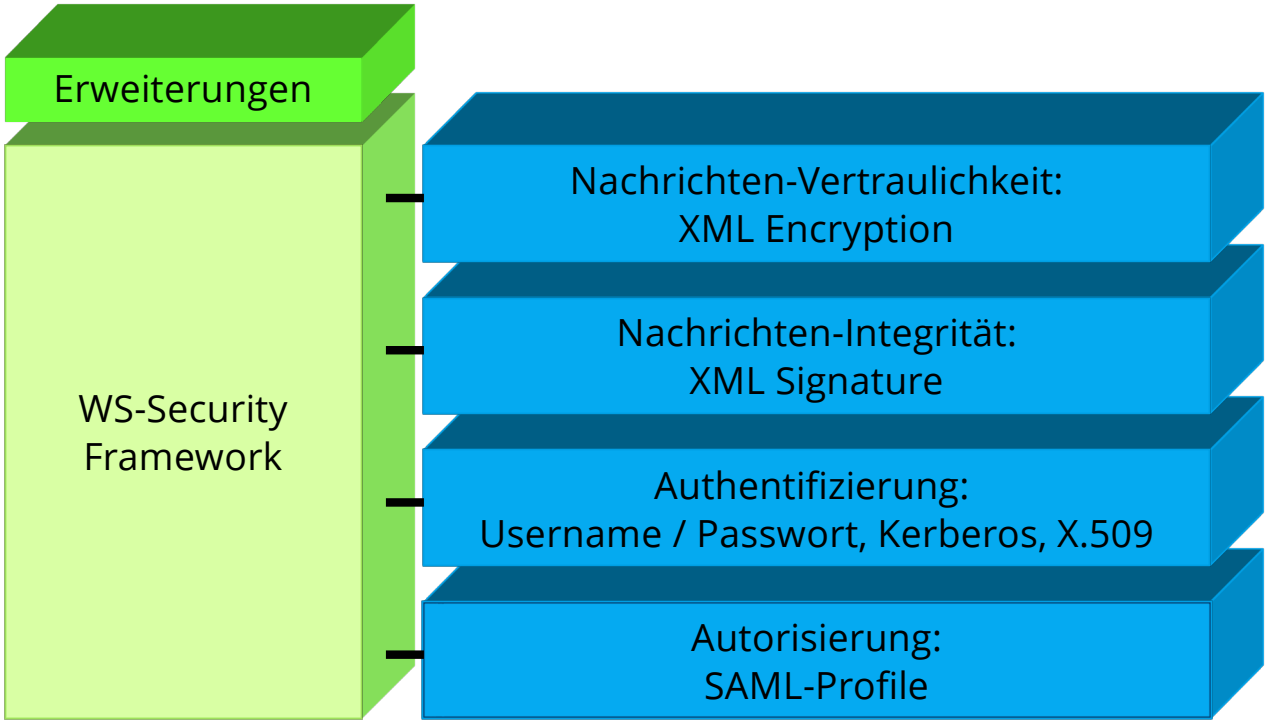
- Entwicklung von Microsoft, IBM und Verisign, 2002
- Erweiterung von SOAP ermöglicht Einsatz von XML-Signatur / XML-Verschlüsselung, PKI und anderen Standards

⇒Standardisierter Einsatz bestehender bewährter Verfahren

- Dient auch als Basis für weitere WS-Sicherheitsstandards



WS-Security Framework



Nachrichtensicherheit bei Web Services

- **XML-Dokumente**
  - Trennung von Inhalt und Beschreibung (Elemente+Attrib.)
- **Verschlüsselung/Signierung von Teilen des Dokuments möglich**
  - z.B. nur Inhalt eines Elements
  - **Folge:** meist nicht schema-erhaltend (z.B. Boolean-Werte), trotzdem gültiges, wohlgeformtes XML-Dokument

```
<soap:Envelope>
  <soap:Body>
    <teil1>
      <da>true</da>
      <wert> </wert>
    </teil1>
    <teil2>tag</teil2>
  </soap:Body>
</soap:Envelope>
```



```
<soap:Envelope>
  <soap:Body>
    <teil1>
      (verschlüsselt)
    </teil1>
    <teil2>tag</teil2>
  </soap:Body>
</soap:Envelope>
```

XML-Signaturen

- W3C-Standard: XML-Signature Syntax and Processing
- Signatur bezieht sich in einem XML-Dokument immer auf das Startelement eines Teilbaums
- SOAP: Signierung von Elementen im Body, weil nur dort tatsächlich Nutzinformation liegen sollte
- Problem: XML „formatfrei“ – „white spaces“ erlaubt, XML-Prozessoren dürfen solche Formatierungsanteile aber weglassen!

Offensichtlich unterschiedlich
⇒ Verschiedene Signaturen
Aber gleiche Information!

```
<soap:Envelope><soap:Body>
<teil1><da>true</da><wert>1</wert>
</teil1><teil2>tag</teil2>
</soap:Body></soap:Envelope>
```

```
<soap:Envelope>
  <soap:Body>
    <teil1>
      <da>true</da>
      <wert>1</wert>
    </teil1>
    <teil2>tag</teil2>
  </soap:Body>
</soap:Envelope>
```

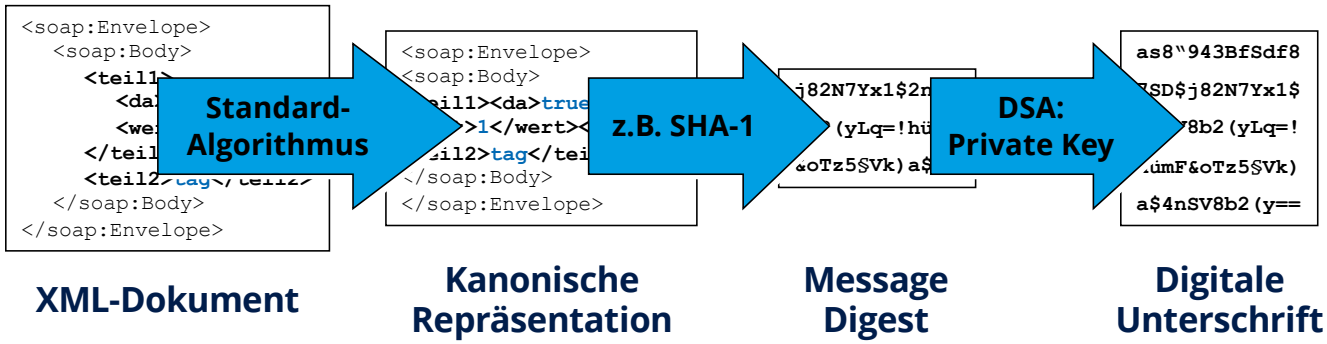
XML-Signaturen

- XML-konforme Umformatierung während des Transports möglich
- Lösung: mehrdeutiges XML-Dokument wird in eindeutige Normal-Form gebracht, aus der die Signatur berechnet wird

⇒Canonical XML (W3C-Definition)

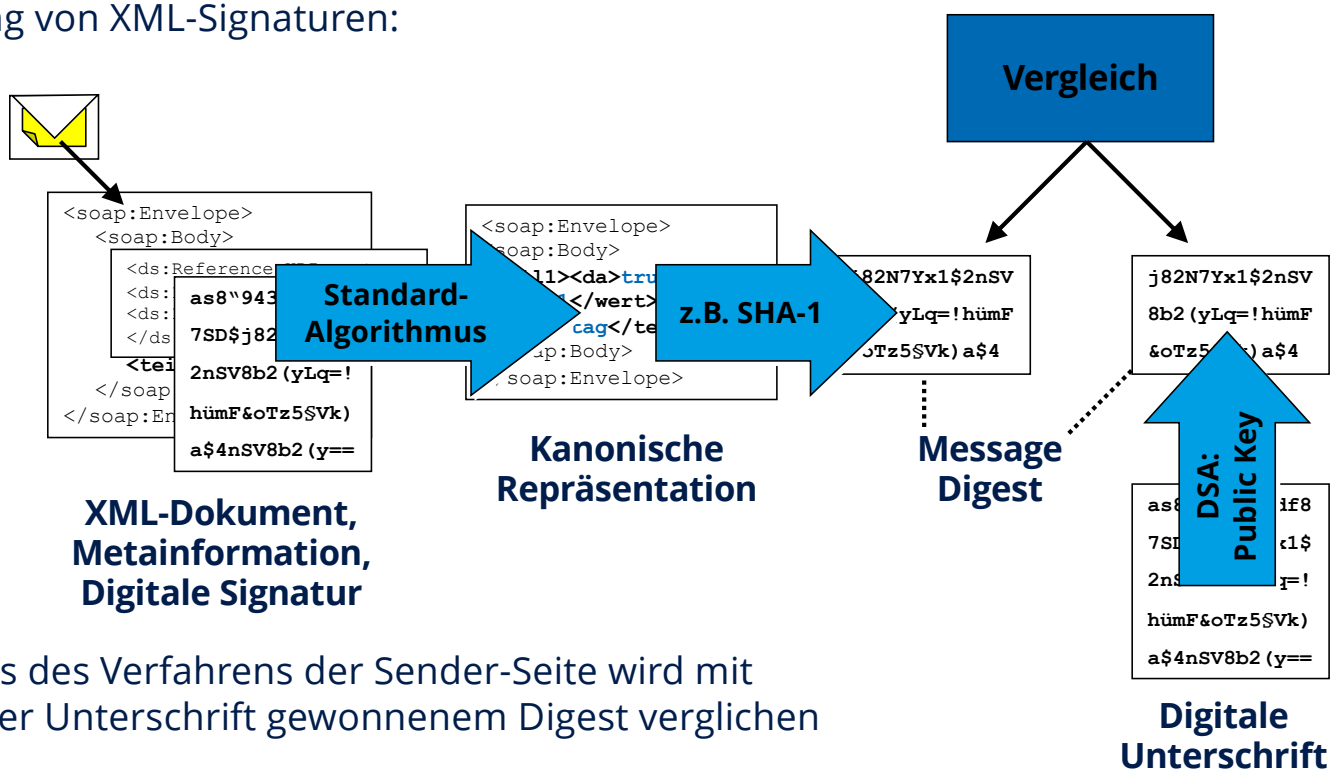
- Fingerabdruck: Message Digest wird mit SHA-1 berechnet
- Signatur: berechnet aus Digest und Schlüssel des Unterzeichners

Erzeugung:



XML-Signaturen

Validierung von XML-Signaturen:



⇒ Ergebnis des Verfahrens der Sender-Seite wird mit aus digitaler Unterschrift gewonnenem Digest verglichen

XML-Signaturen

Bei asymmetrischen Verfahren:

- Originalnachricht oder Prüfsumme lässt sich auf Empfängerseite mit dem öffentlichen Schlüssel des Senders wiederherstellen

- Arbeiten der XML-Signature Working Group abgeschlossen, Referenzimplementierungen verfügbar
- Zentrale Schlüsselverwaltung (Public Key Infrastructure, PKI) für öffentliche Schlüssel empfehlenswert

- Ziel: Überprüfbarkeit von Urheberschaft einer Nachricht und deren Konsistenz, keine Vertraulichkeit!

XML-Encryption

- Ebenfalls W3C-Standard
- Ziel: Vertraulichkeit sichern
- Verschlüsselung von XML-Teilbäumen sowie selektive Verschlüsselung von Elementinhalten ohne Elementtags möglich

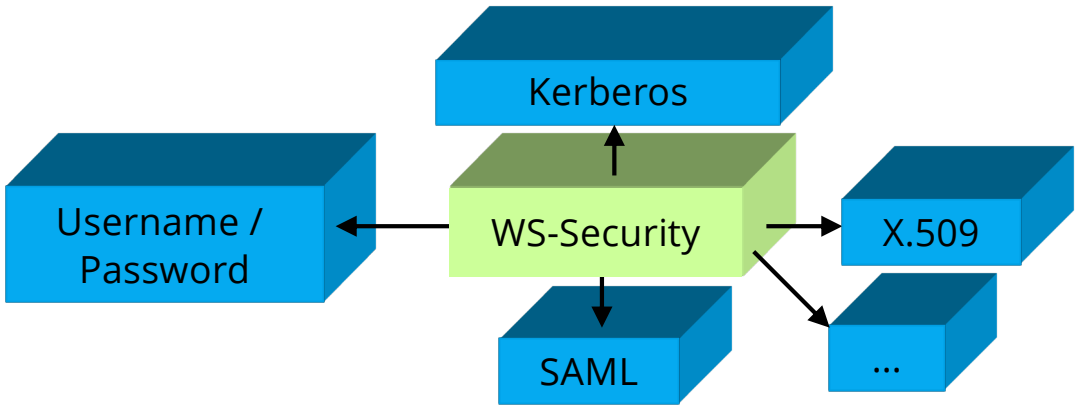
Grundlegende Vorgehensweise:

- Notwendige Randbedingungen definieren
  - Verschlüsselungsverfahren, Initialisierungsparameter
  - Verschlüsselungsgranularität (elementweise, …), Schlüssel
- Generierung des für Dritte nicht mehr lesbaren Dokuments aus dem Eingangsdokument

WS-Security: Authentifizierung

- Viele verschiedene Möglichkeiten, um Token (Identitätszeugnis) für Identitätsbeweise zu verwenden, z.B.
  - Benutzername / Passwort (Basic Authentication)
  - Kerberos-Ticket (verschlüsselt durch Aussteller, kann durch Dienstanbieter verifiziert und zusätzlich signiert werden)
- WS-Security erlaubt Verwendung beliebiger Token

⇒**Flexibilität, Erweiterbarkeit**

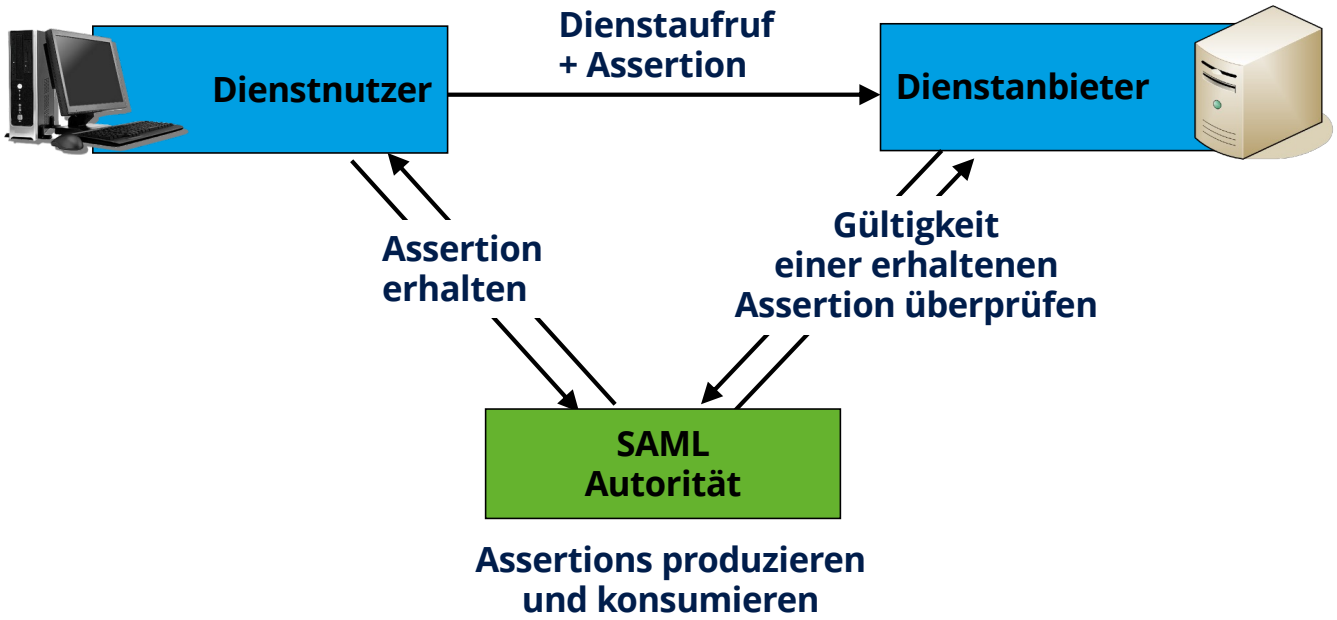


WS-Security: Beispiel Authentifizierung

```
<soap:Envelope>
    <soap:Header>
     <wsse:Security xmlns:wsse="...">
      <wsse:UsernameToken>
       <wsse:Username>reisebuero</wsse:Username>
       <wsse:Password Type="wsse:PasswordDigest">
        1859023745
       </wsse:Password>
      </wsse:UsernameToken>
     </wsse:Security>
    </soap:Header>
    ...
</soap:Envelope>
```

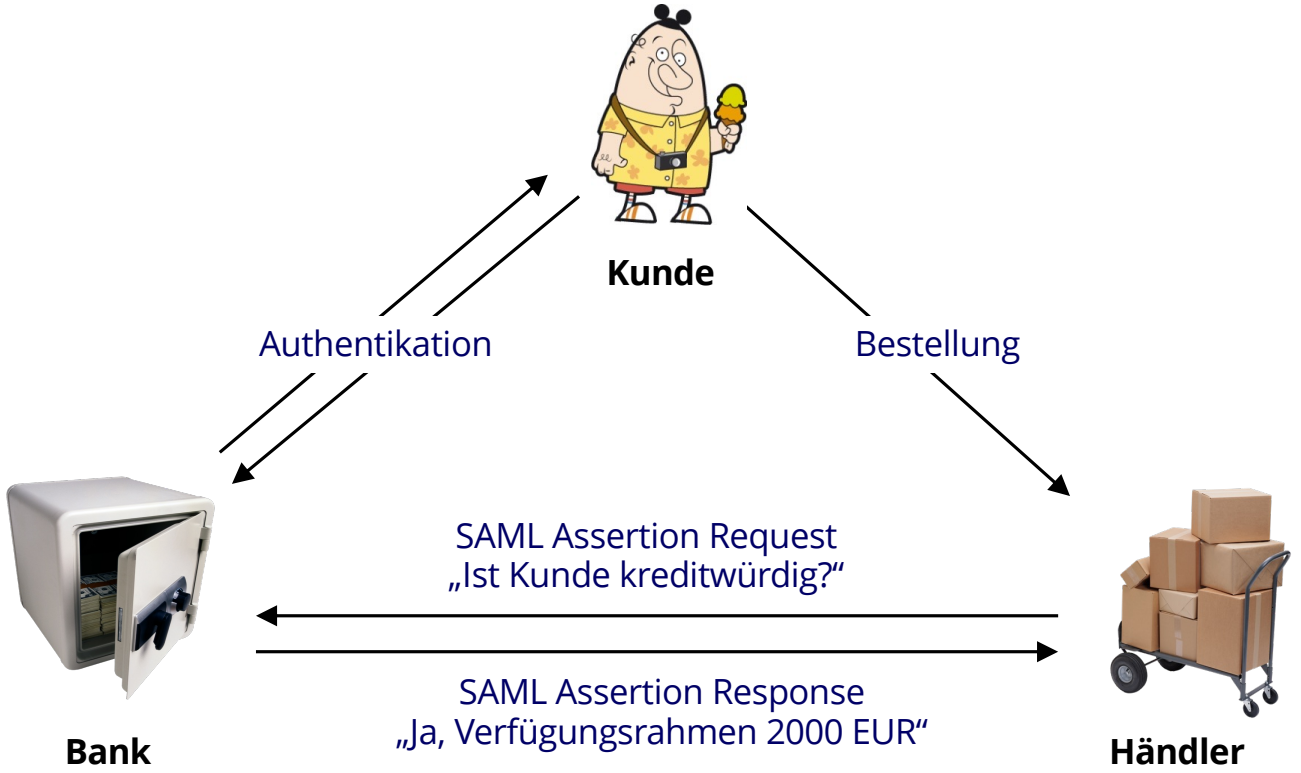
⇒ **UsernameToken nur für Anwendungen mit Sicherheit auf der Transportschicht, z.B. HTTPS (HTTP mit SSL-Sicherung)**

SAML: Autorisierungsdienst



SAML-Autorität ist keine zentrale Certificate Authority, Assertion kann von einem beliebigen Punkt im Netzwerk zugesichert werden

SAML: Beispielszenario



XACML und XKMS

XACML: eXtensible Access Control Markup Language

- XML-Sprache für Zugriffskontroll-Policies
- Request-Response-Protokoll zur Abfrage von Zugriffsrechten
- Regelwerk für die Beschreibung von Leserechten mit XML

XKMS: XML Key Management Specification

- W3C-Spezifikation
- XML-basierte Verwaltung einer PKI (Public Key Infrastructure)
- Menge von Web Services als Schnittstelle zu Key-Management-Systemen
- Unterstützung für die Verteilung bei Private/Public-Key-Mechanismen

WS-Security: Zusammenfassung

- Einsatz: hauptsächlich Sicherheit auf Nachrichtenebene
- Definiert, wie Teile der XML-Dokumente signiert oder verschlüsselt werden (neue Header-Elemente)
- Ermöglicht Verwendung (Sicherung) von
  - Verschlüsselung (Vertraulichkeit)
  - Signaturen (Integrität, Verbindlichkeit)
  - Authentifizierung und Autorisierung
  - mittels verschiedener standardisierter Verfahren

⇒Keine Alternative / Konkurrenz zu Standards wie XML-Signature, Encryption und SAML (Security Assertion Markup Language), sondern Verwendung dieser Standards

Zusammenfassung Sicherheit

Transport Layer Security (TLS, SSL)

- Sicherung auf Transportebene
- nur für Punkt-zu-Punkt-Kommunikation, nicht bei Nachrichtenaustausch über Intermediäre geeignet (kein durchgängiger Sicherheitskontext)

RESTful Services: eingeschränkte Sicherheitsmechanismen

- HTTPS für Verschlüsselung
- API-Schlüssel mit Keyed-Hash Message Authentication Code (HMAC) zur Authentifikation des Clients
- OAuth zusammen mit einem JSON Web Token (JWT) oder OpenId Connect/SAML für Authentifikation und Autorisierung

WS-Security: Wichtigste Schutzziele auf Nachrichtenebene (SOAP) erreicht

- Vertraulichkeit durch Verschlüsselung mittels XML-Encryption
- Integrität und Verbindlichkeit mittels XML-Signature
- Authentifizierung (SAML)
- Autorisierung (SAML, XACML)