Verteilte Systeme

R. Kaiser, R. Kröger, O. Hahm

(HTTP: http://www.cs.hs-rm.de/~kaiser
E-Mail: eobert.kaiser@hs-rm.de)
Kai Beckmann
Sebastian Flothow
Alexander Schönborn

Sommersemester 2021

6. Sicherheit

https://blog.hackerrank.com/new-domain-tuesday-hackerrank-reveals-security-distributed-systems-domains/

Inhalt

Einführung

Hochschule RheinMain

- Sicherheit
  - Bedeutung hier nur im Sinne von Security
  - nicht betrachtet: Sicherheit im Sinne von Safety
- Informationssicherheit (*)
  - „Informationssicherheit hat zum Ziel, die Verarbeitung, Speicherung und Kommunikation von Informationen so zu gestalten, dass die *Vertraulichkeit*, *Verfügbarkeit* und *Integrität* der Informationen und Systeme in ausreichendem Maß sichergestellt wird. Zur Zielerreichung müssen verschiedene Teilaspekte integriert betrachtet werden. Informationssicherheit bezeichnet in diesem Zusammenhang das Ziel, diese Systeme vor Gefahren bzw. *Bedrohungen* zu schützen, *Schaden* zu vermeiden und Risiken zu minimieren“.
  - Trennung von Strategie (Policy, Politik) und Mechanismus
    - ★ Sicherheitsstrategie (Mengen von Regeln)
    - ★ Sicherheitsmechanismen (Mechanismen zur Durchsetzung)

(*)`http://de.wikipedia.org/wiki/Computersicherheit`

Sichere Systeme

Hochschule RheinMain

- . . . gibt es nicht.
- Die absolut sichere Firewall:

http://www.brauwesen-historisch.de/seitenschneider.jpeg

Schutzziele

Hochschule RheinMain

- Allgemeine Schutzziele (CIA):
  - *Vertraulichkeit (Confidentiality):*
    Information wird nur Berechtigten zugänglich
  - *Integrität (Unversehrtheit, Integrity):*
    Daten dürfen nicht unbemerkt verändert werden
  - *Verfügbarkeit (Availability)*:
    Zugriff auf Daten ist mit vereinbarter Güte gewährleistet
- Weitere Schutzziele:
  - *Authentizität (Authenticity):*
    Echtheit einer Person oder eines Dienstes ist überprüfbar
  - *Verbindlichkeit (Nicht-Abstreitbarkeit, Non-Repudiation):* Urheber von Daten muss erkennbar sein und kann dies nicht abstreiten
  - *Zurechenbarkeit (Accountability):*
    Eine Aktion kann einem Benutzer zugeordnet werden
  - *Privatsphäre (Privacy):*
    Personenmerkmale müssen vertraulich bleiben, und Anonymität muss möglichst gewahrt bleiben

Weitere Begriffe

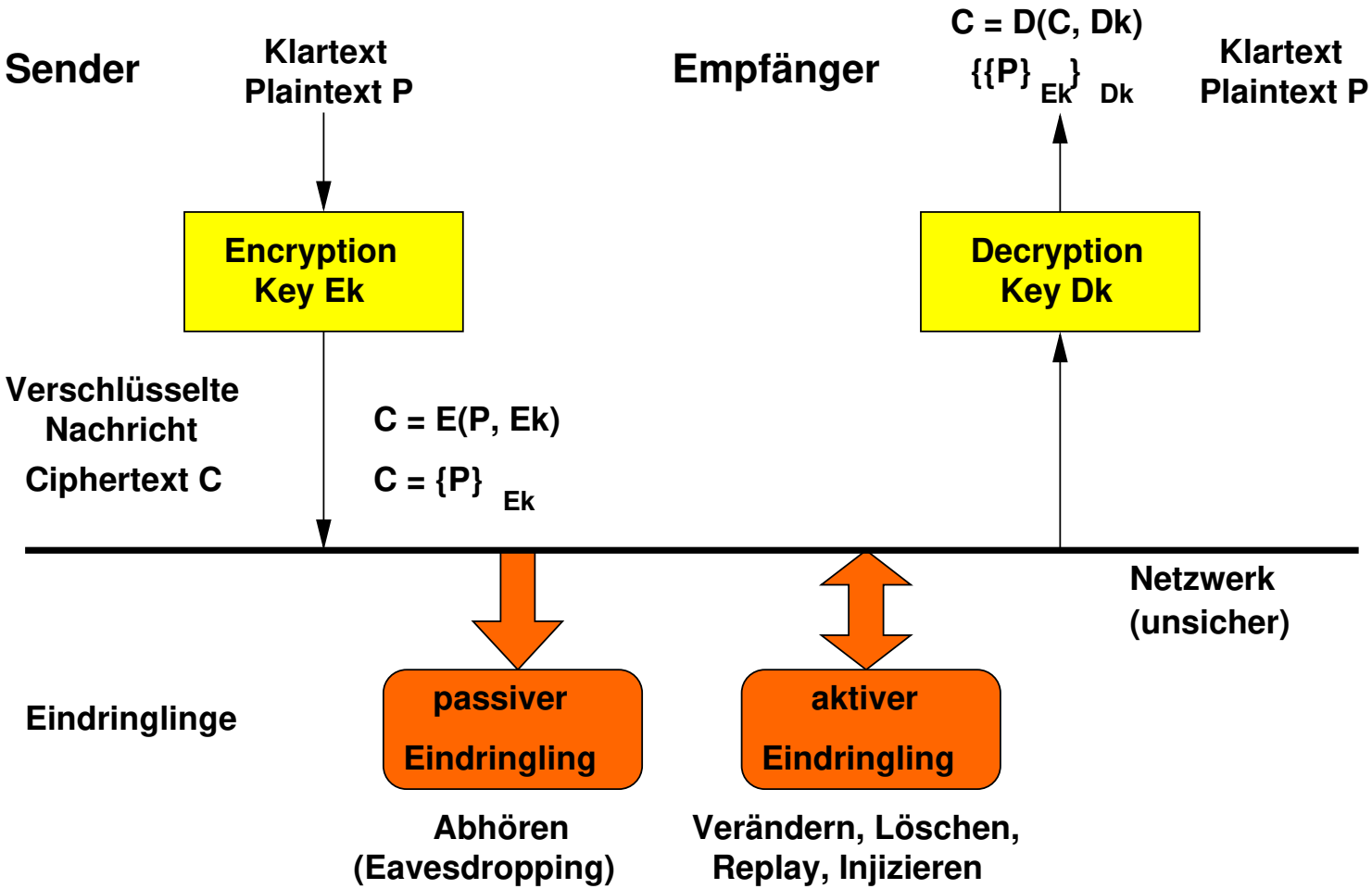
Hochschule RheinMain

- Authentisierung, Authentifikation (authentication):
  - Verifikation einer Identität
  - beidseitige Authentifikation von Kommunikationspartnern
    notwendig: z.B. Benutzer - Rechensystem und umgekehrt
- Autorisierung (authorisation):
  - Ermächtigung: Rechte haben und wahrnehmen können
  - Security-Modelle
    - ★ Discretionary Access Control
      Zugriffsmatrix als abstraktes Modell
      Verfahren: Capabilities, Access Control Lists (ACLs)
    - ★ Mandatory Access Control
      z.B. militärische Klassifizierung, Restriktionen im Informationsfluss

Weitere Begriffe (2)

Hochschule RheinMain

- Kryptographie: Lehre von der Übertragung geheimer Nachrichten
- Grundmodell:



Bedrohungen

Hochschule RheinMain

- STRIDE Modell
  - **S** poofing ↯ Authenticity
  - **T** ampering ↯ Integrity
  - **R** epudiation ↯ Non-repudiability
  - **I** nformation disclosure ↯ Confidentiality
  - **D** enial of Service ↯ Availability
  - **E** levation of Privilege ↯ Authorization

Bedrohungen (Beispiele)

- Fehlerhafte Spezifikation von Sicherheitsstrategien
- Fehlerhaftes Design/Spezifikationen von Komponenten
- Fehlerhafte Konfiguration
- Fehlerhafter Code
- Schwache kryptographische Verfahren
- Ausnutzung von Insider-Wissen
- „Social Engineering“
- Lauschen / Abhören / Ausspähen (Eavesdropping)
- Denial-of-Service-Attacken
  - z.B. durch Erzeugung von Last
  - Verhinderung, ein vorhandenes Recht wahrnehmen zu können
- Diebstahl von Schlüsseln und Maskerade (Vorgeben einer anderen Identität)
- Aktives Verändern, Löschen, Wiederholen/Replay von Nachrichten
- Injizieren/Infiltrieren von Nachrichten, E-Mails, Viren, Würmern, Trojanischen Pferden, ...

Risikobewertung

https://iso25000.com/images/figures/en/iso25010.png

- Konflikt zu anderen Charakteristiken der Software-Qualität.
- Aufwand/Nutzen müssen abgewogen werden.
- Pro Bedrohung:
  - Potentieller Schaden (Leib und Leben, Sachschaden, Image)
  - Wahrscheinlichkeit des Auftretens
  - Wahrscheinlichkeit der Erkennung des Auftretens
- Je Höher das Risiko, desto wichtiger eine Berücksichtigung in der Sicherheitsstrategie.

Sicherheitsstrategie (Security Policy)

- Gesetzliche Vorgaben
  - Datenschutzgesetze
  - Anwendungsfeld-bezogene Gesetze
    - Basel II (EU, Bankenbereich, Teil des Risiko-Managements)
    - Sarbanes-Oxley Act (USA, Unternehmen, Verbesserung der Unternehmensberichterstattung, Forderung nach IT Governance)
    - FDA Regulations (USA, Food and Drug Administration, starke Regulierung)
- Unternehmensorganisation, -prozesse
  - Identifikation von schützenswerten Vermögenswerte (Daten, Funktionen, Gegenstände)
  - Identifikation potenzieller Angreifergruppen
  - Identifikation der Angriffsvektoren
  - Ableiten von Schutzmaßnahmen (technische und nicht-technische)

Sicherheitsstrategie (Security Policy) (2)

Standards / Best Practices (Beispiele)

- ISO/IEC 27001:2005, „Information technology - Security techniques - Information security management systems Requirements“
  - spezifiziert Anforderungen für Herstellung, Einführung, Betrieb, Überwachung, Wartung, und Verbesserung eines dokumentierten Informationssicherheits-Managementsystems unter Berücksichtigung der Risiken innerhalb der gesamten Organisation
  - berücksichtigt sämtliche Arten von Organisationen (z.B. Handelsunternehmen, staatliche Organisationen, Non-Profit-Organisationen).
- ISO 17799:2005, „Information technology – Code of practice for information security management“
  - KontrollImechanismen für die Informationssicherheit
  - 11 Überwachungsbereiche untergliedert in 39 Hauptkategorien, sogenannte Kontrollziele.
  - insgesamt 133 Sicherheitsmaßnahmen zur Unterstützung

Sicherheitsstrategie (Security Policy) (3)

Standards / Best Practices (Beispiele)

- IETF
  - Eigene Security Area mit ca. 20 Arbeitsgruppen
  - Spezifikationen zu TLS, SSH, IPSec ...
  - Alle RFCs enthalten Security Considerations
- Fast alle Standardisierungsgremien (IEEE, OMA, ...) betreiben Gremien zum Thema Security
- IT-Grundschutzhandbuch des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI)
  - in Deutschland verbreitet
  - „Kochrezept“ für mittleres Schutzniveau
  - berücksichtigt neben Eintrittswahrscheinlichkeiten und potentieller Schadenshöhe auch Kosten der Umsetzung

Sicherheitsmechanismen

- Überwiegend mit kryptographischen Mechanismen:
  - Authentisierung
    - ★ von Systemen/Benutzern (entity authentication)
    - ★ von Datenpaketen (data origin authentication)
  - Integritätssicherung (integrity protection)
    - ★ häufig kombiniert mit Daten-Authentisierung
  - Verschlüsselung (encryption)
  - Schlüsselmanagement (key exchange)
  - ...
- Ohne kryptographische Mechanismen:
  - Zugriffskontrolle (access control)
  - Policy-Management
  - Einbruchserkennung (intrusion detection)
  - ...

Standardisierte Sicherheitskriterien

- Klassifizierung für sogenannte Sichere Systeme der Informationstechnik basierend auf Kriterienkatalogen.
- Kriterienkatologe finden häufig bei der Beschaffung „Sicherer IT-Systeme“ Anwendung.
- Ursprung US DoD „Orange Book“
  - TCSEC: Trusted Computer Systems Evaluation Criteria, 1983
- Deutschland:
  - Zuständigkeit heute: Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI)
  - Deutsche IT-Sicherheitskriterien (Grünbuch), 1989
  - Konzept der Trennung von Funktionalität und Prüftiefe (Qualitätsstufe)

Sicherheitskriterien (2)

Europa:

- Information Technology Security Evaluation Criteria - ITSEC, 1990
- Vereinigung von TCSEC und ITSEC zu Common Criteria zur Bewertung
  (Gegenseitige Anerkennung von Prüfzertifikaten), 1996
- Common Criteria Version 2.1 als weltweiter Standard ISO/IEC 15408
  - Teil 1: Introduction and General Model
  - Teil 2: Security Functional Requirements
  - Teil 3: Security Assurance Requirements
- Unterscheidung Funktionalität und Vertrauenswürdigkeit
- Vordefinierte Beispielklassen (10 Funktionalitätsklassen)
- Vertrauenswürdigkeit unterscheidet zwischen Korrektheit und Wirksamkeit (Stärke niedrig, mittel und hoch)
- Bewertung des Vertrauens in die Korrektheit durch sechs hierarchische Evaluationsstufen E1 (niedrig) bis E6 (formal verifiziert) definiert.

Sicherheitskriterien (3)

Grobe Zuordnung:

ITSEC	TCSEC	Bedeutung
-, E0	D	kein Schutz; unwirksam
F-C1, E1	C1	Schutz gegen absichtliche Verstöße einfacher Angreifer; einfache Sicherheit informelle Spec., Funktionstest, gezielte Angriffe
F-C2, E2	C2	Schutz gegen absichtliche Verstöße einfacher Angreifer; login-Mech., getrennte User-Daten, logging, informelle Detail-Spec.
F-B1, E3	B1	guter Schutz; Sicherheitsmodell, regelbasierte Schutzstufen, Analyse des Quellcodes bzw. des Hardwarelayouts
F-B2, E4	B2	guter Schutz; formales Sicherheitsmodell, sicherer Datenfluss bei Authentisierung Formales Sicherheitsmodell, semiformale Detailspezifikation
F-B3, E5	B3	sehr guter Schutz; Referenzmonitor-Eigenschaften, Detailspezifikation nachvollziehbar auf Quellcode abbildbar
F-B3, E6	A1	zur Zeit nicht zu überwinden formale Spezifikation und Verifikation

Material

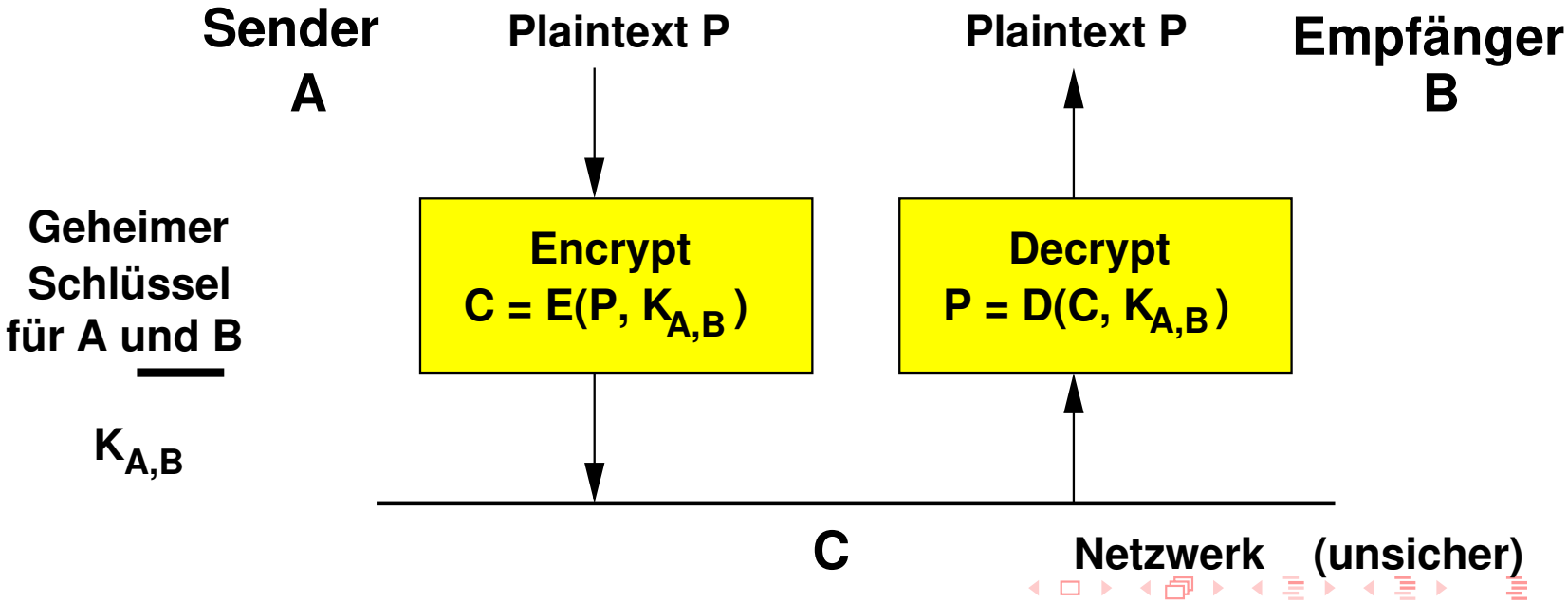
- Viele Quellen, z.B.
  - Claudia Eckert: IT-Sicherheit. Konzepte, Verfahren, Protokolle, Oldenbourg-Verlag, 2003
  - J. Plate, J.Holzmann: Sicherheit in Netzen, Skript FH München
  - RSA Laboratories: RSA Laboratories' Frequently Asked Questions About Today's Cryptography, Version 4.1, 2000, `http://www.rsasecurity.com/`

Verschlüsselungsverfahren

- Überblick
  - Eingeschränkte Algorithmen
  - Symmetrische Verfahren
  - Asymmetrische Verfahren
- Eingeschränkte Algorithmen
  - Geheimhaltung der Arbeitsweise
  - heute als unbrauchbar angesehen (historisch)
  - Beispiel: Caesar-Code: Verschieben um n Zeichen im Alphabet

Symmetrische Verfahren (private key encryption)

- **ein geheimer** Schlüssel für Ver- und Entschlüsselung
- sicherer Kanal zur Verteilung von Schlüsseln notwendig
- Vorteile:
  - kurze Schlüssel (ab mindestens 128 bit heute als brauchbar anzusehen)
  - geringer Rechenaufwand (schnell)
- Probleme:
  - Schlüsselaustausch und -verwaltung (Key Management)
  - keine Verbindlichkeit



Symmetrische Verfahren (2)

Hochschule RheinMain

- Block-Algorithmen
  - Verschlüsselung von Daten fester Länge, z.B. 64 Bit
  - Alternativen:
    - ★ Electronic Code Book
      - alle Blöcke werden unabhängig voneinander verschlüsselt
    - ★ Cipher Block Chaining
      - Verschlüsselung hängt vom vorangehenden verschlüsselten Block ab (XOR)
- Strom-Algorithmen
  - Bit/Byte-Strom-orientiert
  - i.d.R. sehr schnell, kaum standardisiert
- Beispiele:
  - DES Data Encryption Standard (US) historisch verbreitetster Vertreter
  - Triple-DES, IDEA, AES
  - RC4 (Strom-Algorithmus)

Asymmetrische Verfahren (public key encryption)

- Schlüssel besteht aus Paar (geheimer Schl., öffentlicher Schl.)
  - unterschiedliche Schlüssel für Ver- bzw. Entschlüsselung (daher der Name „asymmetrisch“)
  - Annahme: geheimer Schlüssel kann mit verfügbarem Rechenaufwand nicht aus öffentlichem Schlüssel und Verfahren rekonstruiert werden
- Vorteile:
  - kein sicherer Kanal zur Verteilung von Schlüsseln notwendig, geheimer Schlüssel wird nie übertragen
  - öffentliche Schlüssel leicht verteilbar (Verzeichnisdienst)
  - Verbindlichkeit erreichbar
- Probleme:
  - relativ lange Schlüssel notwendig (ab 2048 bit heute als gut angesehen)
  - hoher Rechenaufwand
  - Vertrauenwürdiges Schlüsselmanagement

Asymmetrische Verfahren (2)

Hochschule RheinMain

Vertreter

- RSA-Algorithmus
  - Rivest, Shamir, Adelman: 1978
  - basiert auf Primfaktorzerlegung großer Zahlen als schwieriges Einwegproblem
- Diffie-Hellman
  - Aufbau von sicheren Verbindungen aus einem unsicheren Zustand (ohne Authentifizierung)
- Elliptische Kurven (Elliptic Curve Cryptography – ECC)
  - anderes/neues math. Verfahren als Basis
  - geringere Schlüssellänge für gleiche Sicherheit
  - besonders geeignet für ressourcenbeschränkte Systeme

Typische Verwendung

- Asymmetrische Verschlüsselung (Public Key) für
  - Authentifizierung
  - Digitale Signaturen
  - Schlüsselmanagement
- Symmetrische Verschlüsselung (Private Key) für
  - schnelle Verschlüsselung großer Datenmengen

$\Rightarrow$ Nutzung von asymmetrischen Verfahren, um Schlüssel für anschließende symmetrische Verschlüsselung auszuhandeln (Session Key)

Beispiel 1: DES (Data Encryption Standard)

- symmetrisch
- US-Standard
- Blockverschlüsselung (64 Bit)
- Schlüssellänge 56 Bit (+ 8 Bit Parity)
- Vorgehensweise
  - aus 56 Bit-Schlüssel Ableiten von 16 Schlüsseln der Länge 48 Bit
  - Permutation und inverse Permutation am Anfang und am Ende
  - 16 Verschlüsselungsrunden (Shift, XOR, Mischfunktion)
- schnelle Implementierung in Hardware
  - spezielle DES-Chips vorhanden
- gilt heute mit 56 Bit Schlüssellänge nicht mehr als sicher
- Ersatz: Triple DES (3DES)
  - Mehrfachdurchläufe von DES
  - effekt. Schlüssellänge 112 Bit
  - Nachfolger: AES
  - in Software relativ langsam

Beispiel 2: IDEA (Int. Data Encryption Algorithm)

- symmetrisch
- Ursprung: ETH Zürich, Fa. ASCOM (Schweiz), 1992
- Patent in Europa bis 2011,
  für nicht-kommerzielle Zwecke frei verfügbar
- Blockverschlüsselung (64 Bit)
- Schlüssellänge 128 Bit
- 8 iterative Runden, 6 Teilschlüssel je Runde
- in Software effizienter zu berechnen als DES
- gilt als sicherer als DES

Beispiel 3: AES (Advanced Encryption Standard)

- symmetrisch
- Name: Rijndael
- Ursprung: Joan Daemen, Vincent Rijmen (Belgien)
- Neuer US-Standard, 2001:
- Federal Information Processing Standard (FIPS) for the
- Advanced Encryption Standard, FIPS-197
- DES-Nachfolger
- Informationen: `http://csrc.nist.gov/encryption/aes/`
- Blockverschlüsselung
  - 3 unterstützte Blocklängen 128, 192 und 256 Bit
- relativ performant
  - in Software deutlich schneller als 3DES
  - Realisierung in Hardware möglich, AES-Koprozessoren
  - auch für Smartcards geeignet
- Verwendung in PGP v2.0 und OpenPGP

Beispiel 4: RC4

Hochschule RheinMain

- symmetrisch
- Strom-Algorithmus (Byte-orientiert)
- Ursprung: Rivest (RSA Data Security)
- variable Key-Länge bis 2048 Bit
- schnell in Software
- wurde z.B. genutzt für Datei-Verschlüsselung und war in SSL/TLS wählbar
- seit 2015 für TLS verboten, da effiziente Angriffe bekannt geworden sind

Beispiel 5: RSA

Hochschule RheinMain

- asymmetrisch
- Ursprung: Rivest, Shamir, Adleman, 1977
  CACM Vol.21 No.2, Febr. 1978
- Blockverschlüsselung
- Schlüssellänge $>$ 100 Dezimalstellen
  z.B. RSA-129 (129 Dezimalstellen $\Rightarrow$ 429 Bit)
- 1024 Bit $=$ 105474-facher Aufwand
  2048 Bit $= 2.97 \cdot 10^{10}$ -facher Aufwand
- große Schlüssellängen bieten noch Schutz
- sehr hoher Rechenaufwand (ca. 100-1000 mal Aufwand DES)

RSA (2)

Hochschule RheinMain

Mathematische Basis

- Primfaktorzerlegung großer Zahlen
- Bitkette eines Blocks m des Klartextes wird interpretiert als ganze Zahl $\leq n$
- Verschlüsselung $c = E(m, K^+) = E(m, (e, n)) = m^e \mod n$
- Entschlüsselung $m = D(c, K^-) = D(c, (d, n)) = c^d \mod n$
- für e, d und n muss gelten: $m^{e \cdot d} = m \mod n$ für alle $m < n$
- Bestimmung von e und d:
  - Bestimme zwei große Primzahlen p und q
  - $n := p \cdot q, z := (p-1) \cdot (q-1)$
  - Wähle d relativ prim zu z
  - Bestimme e mit $e \cdot d = 1 \mod z$
  - öffentlicher Schlüssel: (e, n)
  - geheimer Schlüssel: (d, n)

Kryptographische Hash-Funktionen

- Bildung eines digitalen Fingerabdrucks
  über Dokumenten/Nachrichten, genannt Message Digest
- Basis für digitale Signaturen
- Hash-Funktion H
  - $h = H(P)$
  - Nachricht P beliebiger Länge
  - h Bitkette fester Länge (z.B. 128 Bit)
  - vergleichbar zu CRC zur Fehlererkennung
- Annahmen
  - Berechnung von H ist einfach
  - Umkehrung, d.h. Ermittlung einer Ausgangsnachricht bei gegebenem Hashwert, ist schwierig (Einwegfunktion)
  - Veränderung am Dokument (P) führt zu anderem Hashwert (h)

Beispiel 1: MD5

Hochschule RheinMain

- MD5 (Message Digest 5)
  - Rivest, 1991
  - 128-Bit Hashwert
  - Vorgehensweise
    - ausgelegt auf 32-Bit-Prozessoren
    - basierend auf MD4 (gilt als nicht sicher)
    - Zerlegung (bzw. Auffüllen) der Nachricht in Stücke von 448 Bit
    - Anfügen der Gesamtlänge als 64 Bit-Zahl
      ($\rightarrow$ 512 Bit-Blöcke mit je 16 Unterblöcken der Länge 32 Bit)
    - Ausgehend von einem konstanten Digest wird mit jedem neuen Block ein neuer Digest bestimmt (Phase)
    - Jede Phase besteht aus 64 Iterationen mit 32-Bit-Funktionen über (AND, OR, NOT) über den Unterblöcken
  - bekannt, früher von pgp verwendet
  - erste Kollisionen bekannt
  - gilt mittlerweile als unsicher

Beispiel 2: SHA-0, SHA-1, SHA-2, SHA-3

- SHA-1 (Secure Hash Algorithm)
  - Weiterentwicklung vom SHA-0 („Konstruktionsfehler“,1994)
  - 160-Bit Hashwert
  - Standard ANSI X9.30
  - Berechnung etwas aufwendiger als MD-5
  - Rechenintensive Angriffe bekannt
- SHA-2
  - Weiterentwicklung vom SHA-1 (ab 2001) SHA-224, SHA-256, SHA-384 und SHA-512 (Hashwertlänge in Bit)
  - 512/1024-Bit blockweise Verarbeitung, Dokumente bis 2128 Bit
  - Gilt noch als sicher (NIST)
- SHA-3 (Keccak) (Bertoni, Daemon, Peeters, Van Assche / Italien, Belgien)
  - Gewinner NIST-Ausschreibung (2012)
  - Alternative zu SHA-2
  - Modifikationen vom NIST vorgeschlagen (kritisch)

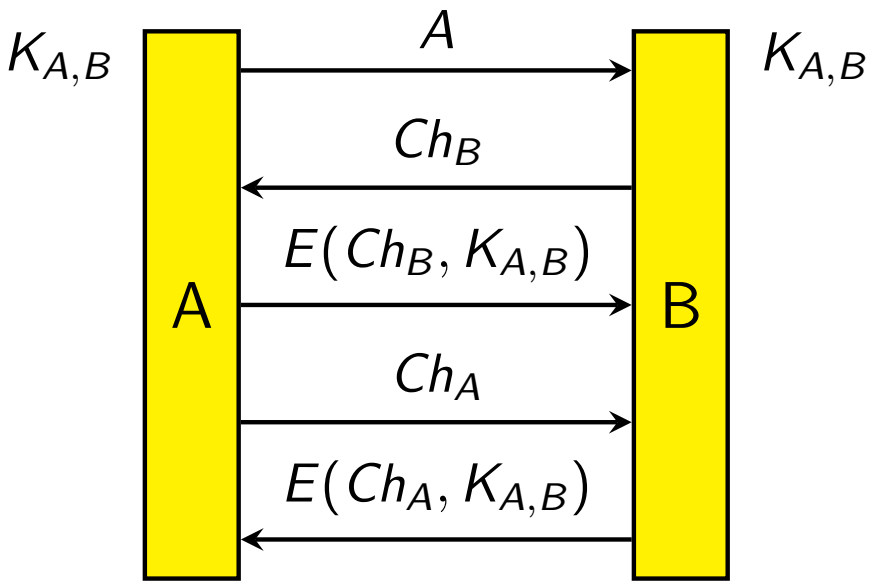
Authentifizierung

- Authentifizierung und Nachrichtenintegrität sind nicht voneinander trennbar
  - Was nützt Authentizität, wenn Nachricht verändert sein kann?
  - Was nützt Integrität einer Nachricht, wenn sie von jemand anderem kommen kann?
- Vorgehensweise
  1. zuerst sicheren Kanal einrichten mit gegenseitiger Authentifizierung
  2. dann geheimen Sitzungsschlüssel verwenden, um Integrität und Vertraulichkeit sicherzustellen

Authentifizierung bei geheimem Schlüssel

Hochschule RheinMain

- Prinzip eines Challenge-Response-Protokolls



$K_{A,B}$: gemeinsamer geheimer Schlüssel

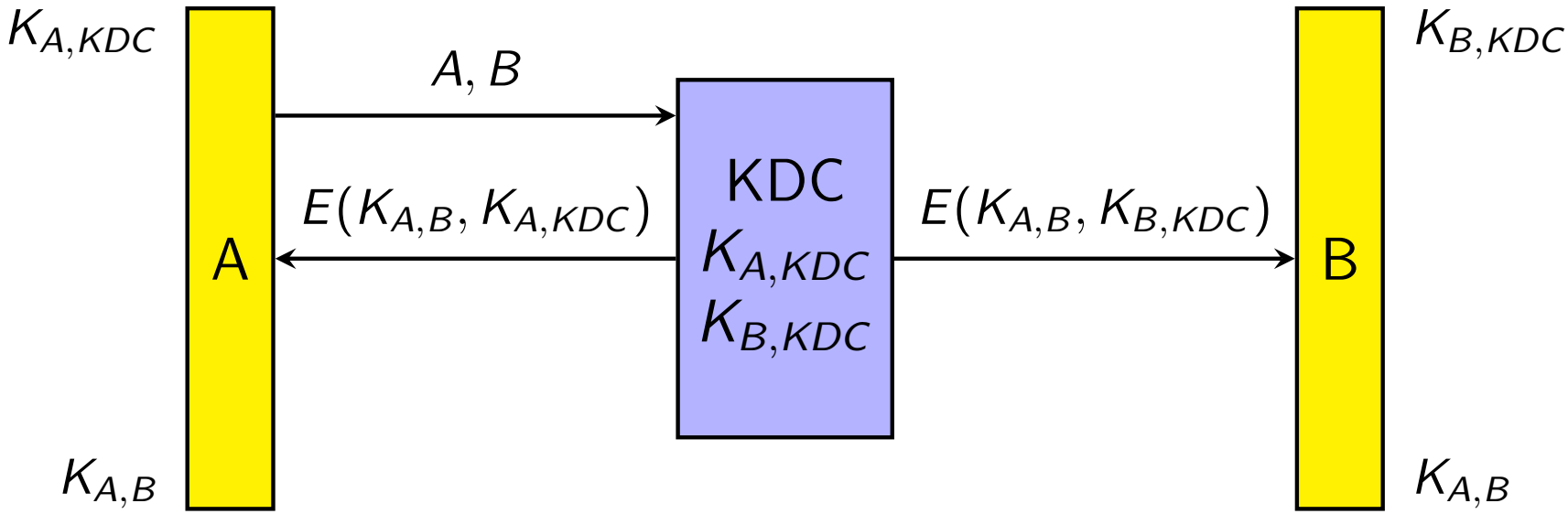
- Kommunikationswunsch A, enthält Identität A
- Challenge Ch_B (z.B. Zufallszahl) gestellt von B
- B kann überprüfen, ob Ch_B in Antwort enthalten ($\rightarrow$ nur A kann Partner sein)
- analog für andere Richtung ($\rightarrow$ nur B kann Partner sein)

- Problem: Verwaltung vieler geheimer Schlüssel

Authentifizierung bei geheimem Schlüssel (2)

Hochschule RheinMain

- Problem (s.o.): Verwaltung vieler geheimer Schlüssel
- Lösung: Schlüsselverteildienst (Key Distribution Center, KDC)
- Prinzip
  - Jeder Teilnehmer hat geheimen Schlüssel mit KDC
  - KDC generiert geheimen Schlüssel $K_{A,B}$ für gewünschten Kanal und verteilt diesen Schlüssel an beide Partner

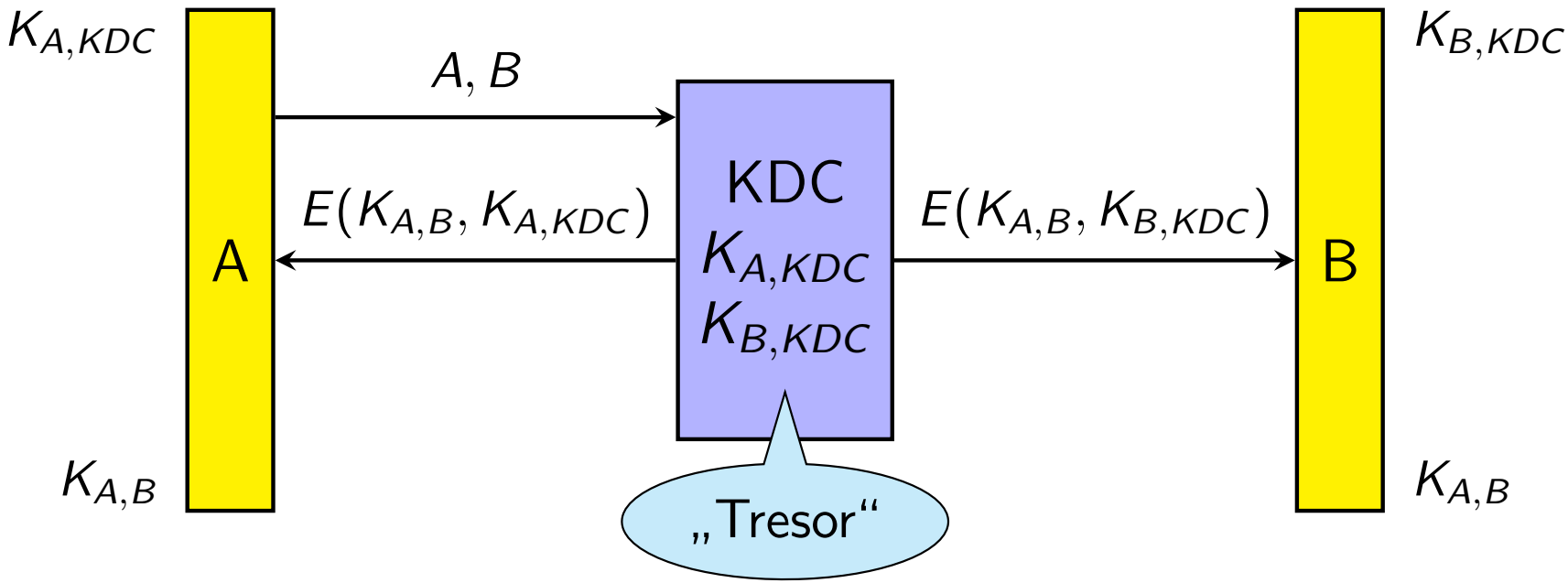


- Problem: Synchronisation zwischen A und B

Authentifizierung bei geheimem Schlüssel (2)

Hochschule RheinMain

- Problem (s.o.): Verwaltung vieler geheimer Schlüssel
- Lösung: Schlüsselverteildienst (Key Distribution Center, KDC)
- Prinzip
  - Jeder Teilnehmer hat geheimen Schlüssel mit KDC
  - KDC generiert geheimen Schlüssel $K_{A,B}$ für gewünschten Kanal und verteilt diesen Schlüssel an beide Partner

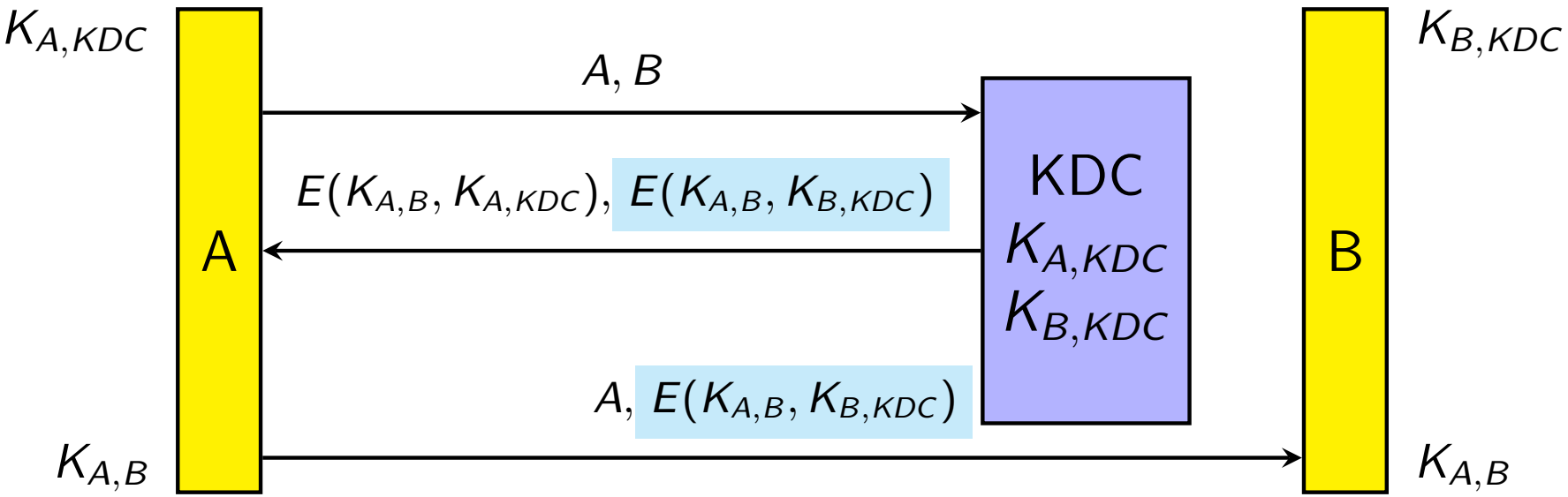


- Problem: Synchronisation zwischen A und B

Authentifizierung bei geheimem Schlüssel (3)

Hochschule RheinMain

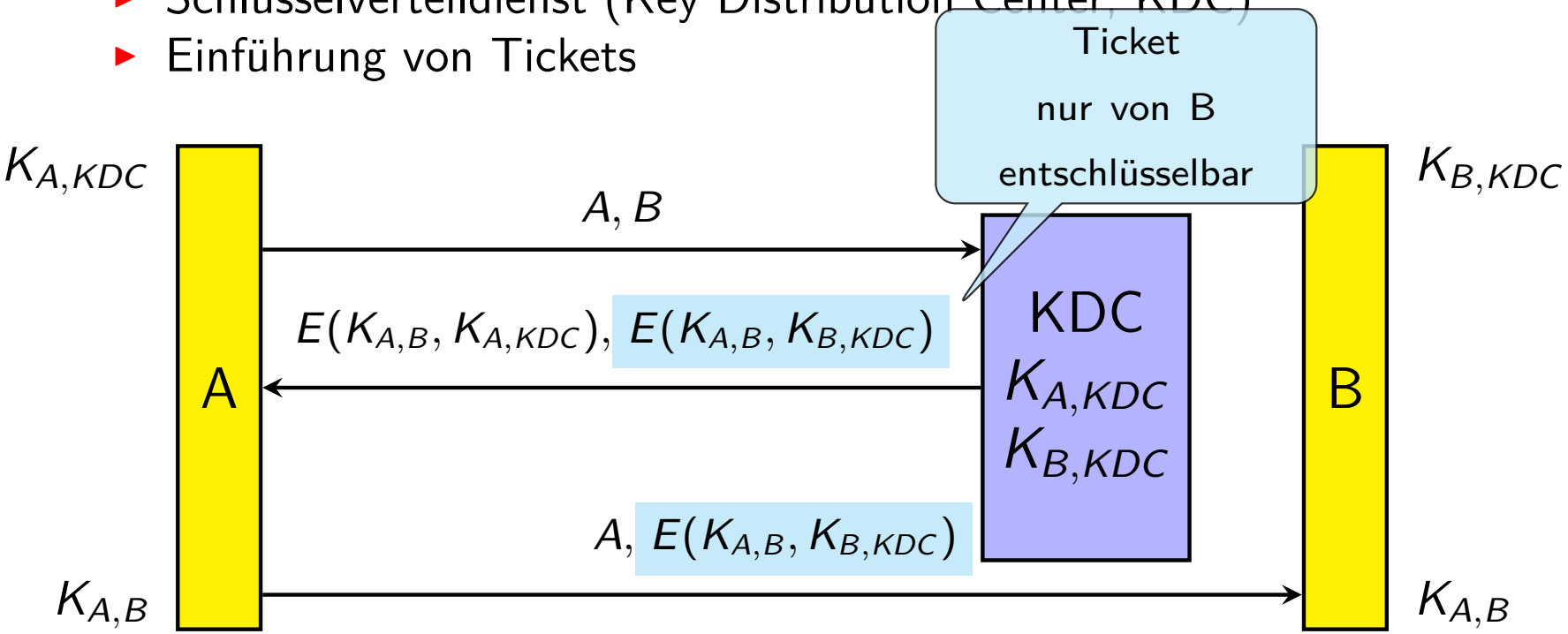
- Lösung:
  - Schlüsselverteildienst (Key Distribution Center, KDC)
  - Einführung von Tickets



Authentifizierung bei geheimem Schlüssel (3)

Hochschule RheinMain

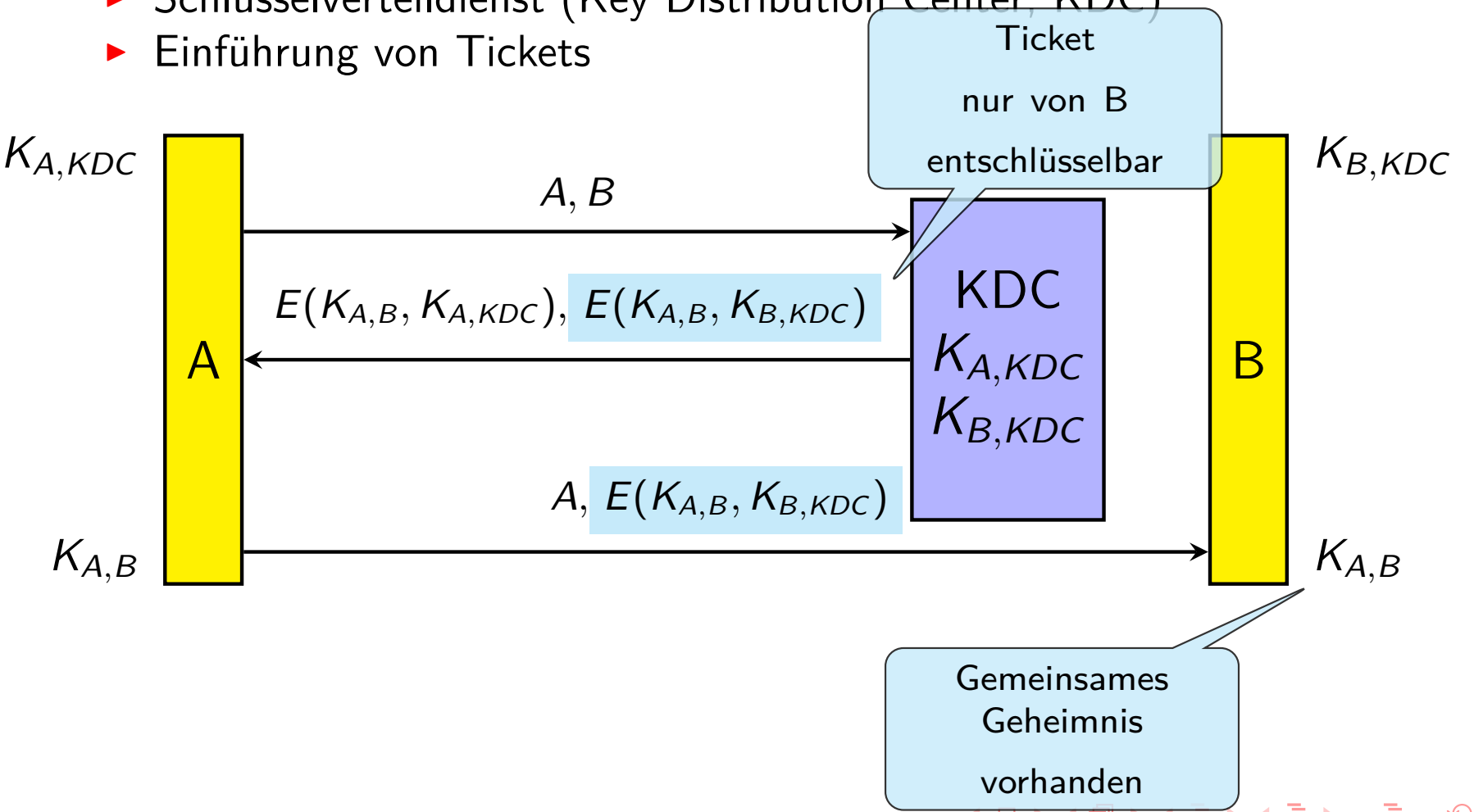
- Lösung:
  - Schlüsselverteildienst (Key Distribution Center, KDC)
  - Einführung von Tickets



Authentifizierung bei geheimem Schlüssel (3)

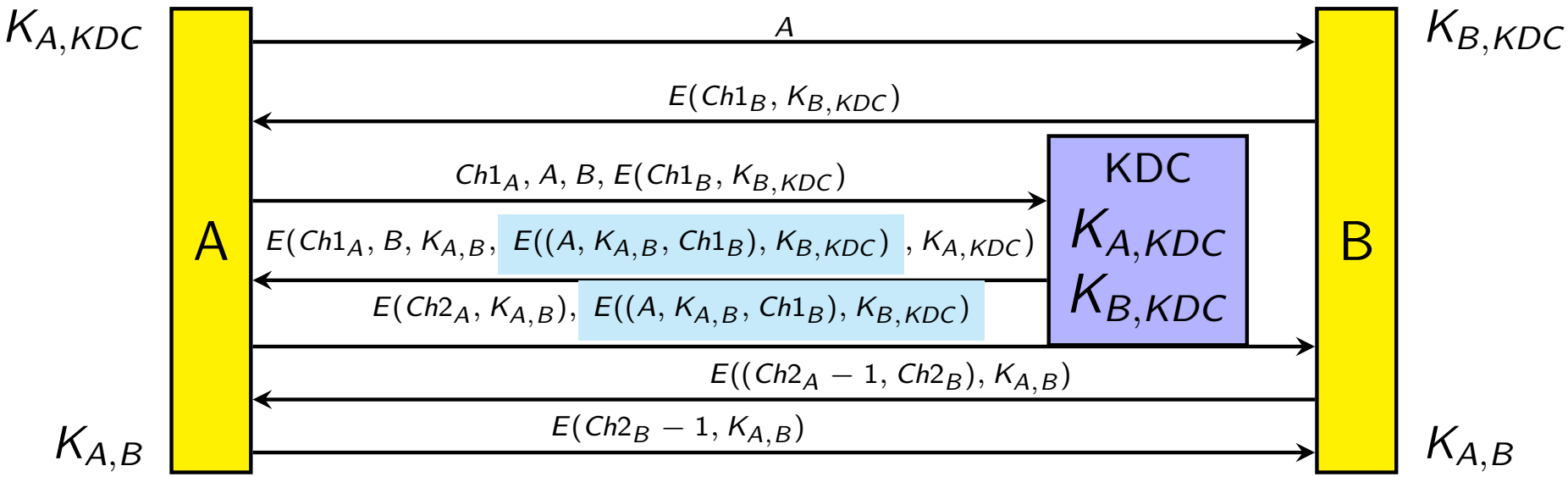
Hochschule RheinMain

- Lösung:
  - Schlüsselverteildienst (Key Distribution Center, KDC)
  - Einführung von Tickets



Authentifizierung bei geheimem Schlüssel (4)

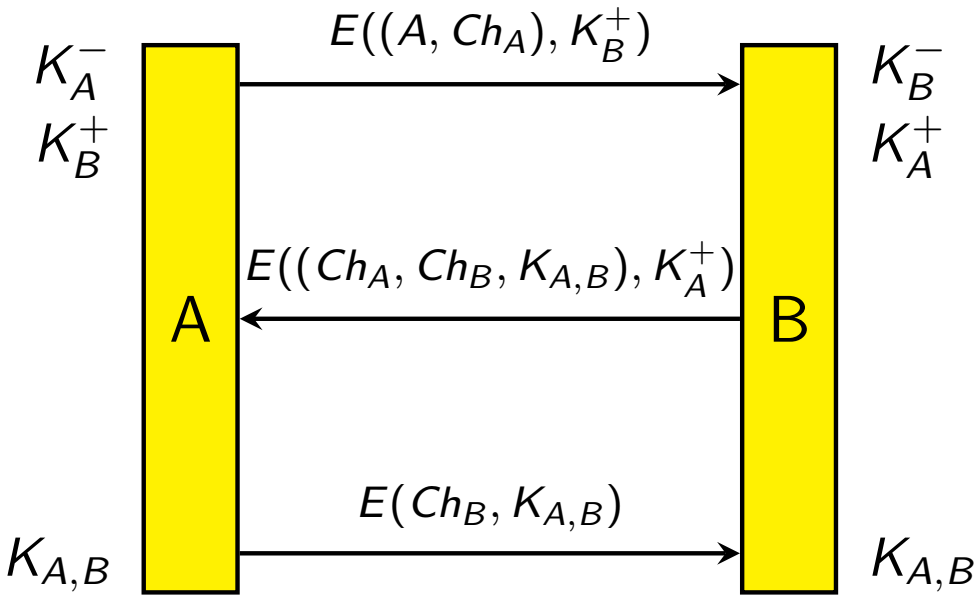
- Weiterentwicklung: Needham-Schroeder-Protokoll
  - Needham, Schröder, 1978
  - Sicherungen gegen wiederholtes Einspielen von Nachrichten
  - Variation dieses Protokolls in Kerberos verwendet (vgl. 6.7)



Authentifizierung mit öffentl. Schlüssel

Hochschule RheinMain

- Prinzip
  - kein KDC erforderlich
  - Zuordnung der öffentlichen Schlüssel zu den wahren Personen muss gewährleistet sein



- K_A^- geheimer Schlüssel von A
- K_A^+ öffentl. Schlüssel von A
- $K_{A,B}$ Sitzungsschlüssel, von B erzeugt, kurzlebig

Digitale Signaturen

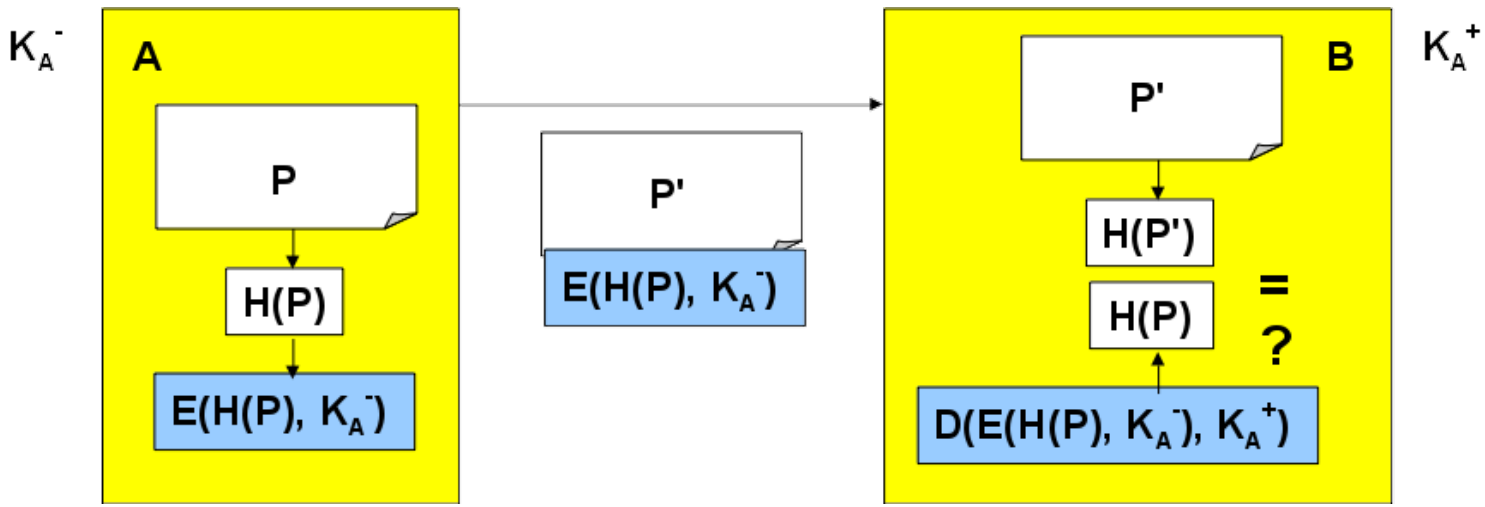
Hochschule RheinMain

- Bedeutung wie Unterschrift
  - nicht vom unterschriebenen Dokument zu trennen
  - nicht (leicht) fälschbar
- Signatur bietet zuverlässige Feststellung von
  - Urheberschaft
  - Nichtabstreitbarkeit
  - Integrität
  - Authentizität
- schützt nicht Vertraulichkeit des Inhalts
  - dazu ist zusätzlich Verschlüsselung notwendig (s.u.)
- Kombination aus
  - Hash-Algorithmus
  - Public Key-Infrastruktur
- Europa besitzt bzgl. digitalen Signaturen relativ starke Stellung

Vorgehensweise

Hochschule RheinMain

- Signieren durch Verschlüsselung des Hash-Werts einer Nachricht mit privatem Schlüssel
- Öffentlicher Schlüssel dient auf Empfänger-Seite zur Überprüfung der Signatur



Verfahren

Hochschule RheinMain

Ablauf

1. Teilnehmer A (Sender) bildet über Klartext P mit Hash-Alg. H einen Hashwert $V_A = H(P)$
2. Teilnehmer A chiffriert Hashwert V_A mit seinem privaten Schlüssel K_A^- (Vorteil Zeitersparnis)

$$VC_A = E(V_A, K_A^-) \text{ (=Signatur)}$$

3. Chiffrierter Hashwert wird der (unverschlüsselten) Nachricht angehängt und mit übertragen
4. Teilnehmer B (Empfänger) dechiffriert VC_A mit dem öffentlichen Schlüssel K_A^+ von A

$$V = D(VC_A, K_A^+)$$

5. Neuermittlung des Hashwerts der Nachricht P:

$$V_B = H(P)$$

6. $V = V_B$?
   falls ja: Signatur echt und Nachricht unverändert

Schlüsselverwaltung

- Ziel
  - Sicheres und effizientes Life Cycle Management von Schlüsseln
    - ★ Erzeugen/Einrichten
    - ★ Verteilen
    - ★ Ungültig erklären (Revocation)
  - Vertrauen in Schlüsselverwaltung notwendig!
- Verschiedene Vorgehensweisen
  - bei Umgang mit geheimen Schlüsseln (Key Distribution Center, KDC)
  - bei Umgang mit öffentlichen Schlüsseln (Public Key Infrastructure, PKI)
  - alles andere als trivial!

Beispiel für KDC-Ansatz: Kerberos

- Grundlage: Umgang mit geheimen Schlüsseln
- Ursprung: MIT
- basiert auf Needham-Schroeder-Authentifizierung
- erweitert um Zeitstempel
  - Ticket nur in bestimmtem Zeitintervall gültig
- KDC aufgespalten in
  - Authentication Server (AS)
  - Ticket Granting Server (TGS)
- Einsatz
  - Andrew File System
  - OSF DCE
  - Microsoft Active Directory

Kerberos (2)

Hochschule RheinMain

Annahmen:

- Netzwerk unzuverlässig
- Security Server (Rechner für AS und TGS) ist sicher
  - in sicherem Raum (durch Kerberos bewacht)
  - kein Eindringling kann Manipulationen vornehmen

  $\Rightarrow$ darf geheime Schlüssel aller Benutzer speichern
- Uhren im verteilten System sind „einigermaßen“ synchron
- Benutzer vergessen Passwörter nicht

Kerberos (3)

Ziele:

- gegenseitige Authentifizierung
- zeitlich befristete Gültigkeit von Schlüsseln, um Schaden zu begrenzen, falls Schlüssel bekannt werden sollte
- Passwörter nie im Klartext auf dem Netzwerk oder auf normalen Servern
- Passwörter auf Client-Rechnern im Klartext nicht länger als einige Mikrosekunden (ständen sonst im Core Dump)

PKI-Systeme

- PKI: Public Key Infrastucture
- Grundlage: Umgang mit öffentlichen Schlüsseln
- Wesentliches Problem
  - Sichere Verteilung der öffentlichen Schlüssel
  - Man-in-the-Middle-Attacke beim Schlüsselaustausch möglich
- Basis
  - Zertifikate
    - ★ Echtheit (Authentizität) öffentlicher Schlüssel
  - Verzeichnisdienste
    - ★ Auffinden öffentlicher Schlüssel
    - ★ z.B. LDAP

Zertifikate

Hochschule RheinMain

- Zertifikate
  - dienen der Bestätigung der Echtheit eines öffentlichen Schlüssels
  - d.h. der Zugehörigkeit zu einer bestimmten Entität, wie Person, Dienst, ...
- Zertifizierungsstelle (Certification Authority, CA)
  - bezeichnet ausstellende Instanz
  - Garant der Zuordnung Schlüssel-Person
  - Vertrauenswürdigkeit vorausgesetzt oder öffentliche Schlüssel der Zertifizierungsstellen selbst zertifiziert durch übergeordnete CA
  - von zentraler Instanz (Root CA) überwacht, die die öffentlichen Schlüssel der Zertifizierungsstellen zertifiziert (Vertrauenskette)
- Sperrliste (Certification Revocation List, CRL)
  - identifiziert Seriennummern ungültig gewordener Zertifikate

X.509-Standard für Zertifikate

- Versionen: v1-v3, umfassend X.509v3
- Wesentliche Informationen in einem Zertifikat:
  - Version
  - öffentlicher Schlüssel des Zertifikatinhabers
  - Name des Inhabers (Distinguished Name)
    - Common Name, CN, (Name der Person)
    - Organization, O, (Firma oder Organisation)
    - Organizational Unit, OU, (Abteilung oder Firmenteil)
    - Locality, L, (Stadt, Sitz der Organisation)
    - State, ST, (Staat, Provinz, Gegend)
    - Country, C, (ISO Ländercode)
  - Name und Land der ausstellenden CA (Distinguished Name)
  - Gültigkeitszeitraum
  - verwendete Algorithmen
  - Extensions

Beispiel: CAs nach Deutschem Signaturgesetz (SigG)

- SigG seit 1997, akt. Fassung 2001, zuletzt geändert Juli 2009
- Ziel: fortgeschrittene elektronische Signatur basierend auf qualifizierten Zertifikaten (mit geforderten Informationen)
- SigG bestimmt die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (Reg TP) als Wurzelinstanz aller CAs (Reg TP umbenannt in Bundesnetzagentur seit 2005).
- Seit 2007 Verwendung längerer Schlüssel RSA 2048, SHA-512

Beispiel: CAs nach Deutschem Signaturgesetz (SigG)

- Zertifizierungsdiensteanbieter (ZDA) Deutschland (Mai 2020):
  - Derzeit 13 (vgl. `http://www.bundesnetzagentur.de/`)
    - 1&1 De-Mail GmbH
    - Atos Information Technology GmbH
    - Bank-Verlag GmbH
    - Bundesagentur fuer Arbeit
    - Bundesnetzagentur
    - Bundesnotarkammer
    - D-Trust (Tochter der Bundesdruckerei)
    - DGN Deutsches Gesundheitsnetz Service GmbH
    - Deutsche Telekom AG
    - T-Systems International GmbH
      (1994, erstes Trustcenter)
    - exceet Secure Solutions GmbH
    - Deutsche Post AG
    - medisign GmbH
  - zahlreiche nicht mehr tätige oder untersagte ZDAs

Protokolle und Anwendungen

- hier nicht betrachtet:
  - Link-Layer Security
  - sicherheitsbezogene Protokolle auf der Netzwerkebene, wie IPsec
  - darauf aufbauende Architekturen wie Virtual Private Networks (VPN) sichere Verbindung von Teilnetzen über unsichere Netze

Sicherheit in Anwendungsprotokollen

Beispiele

- S/MIME (Secure / Multipurpose Internet Mail Extensions)
  - RFC 2633
  - Beispiel für Verschlüsselung auf Anwendungsebene
  - Standard zur Verschlüsselung und Signatur
  - Kann mit TLS kombiniert werden
  - basiert auf X.509-Zertifikaten
  - Benötigt Unterstützung im Mail-Client
- SSH, SSH2
  - sicherer entfernter Zugriff zu SSH-Server als Ersatz für telnet, rlogin
  - verschiedene Formen der Authentifizierung und Verschlüsselung möglich (RSA; DES, 3DES, Blowfish)
  - Tunneln anderer Anwendungen (z.B ftp, Basis für sftp)
  - hohe praktische Bedeutung

Transport Layer Security (TLS)

Hochschule RheinMain

- früher: Secure Socket Layer (SSL)
  - SSL 3.1 = TLS 1.0
  - TLS 1.3: RFC 8446 (2018)
- Sicherheit auf **Transportebene**
  - TLS-Protokoll liegt zwischen der Transportschicht und der Anwendungsschicht
  - Transparenz für alle höheren Anwendungsprotokolle gegeben (HTTP, SMTP, IIOP, ...)
  - hohe praktische Bedeutung
- Ursprung
  - Netscape, Einsatz in Browser als Ersatz für unsichere 40-Bit-Verschlüsselung
- Funktionalität
  - Authentifizierung und Verschlüsselung
  - Basis:
    - ★ Public Key-Zertifikate nach X.509
    - ★ symmetrische Verschlüsselung mit geheimen Session-Schlüsseln

TLS (2)

Teilprotokolle

- Handshake-Protokoll:
  - Server-Authentification
    - Server antwortet auf Client-Request mit Zertifikat und Präferenzen für Verschlüsselungsverfahren (RC4, IDEA, DES, 3DES, ...)
    - Client erzeugt Master Key, verschlüsselt diesen mit öffentl. Schlüssel des Servers aus Zertifikat, sendet verschl. Master Key und gewähltes Verfahren
    - Server ermittelt Master Key und authentifiziert sich gegenüber Client mit Master Key verschlüsselter Nachricht
    - anschließend werden Keys benutzt, die aus Master Key abgeleitet sind
  - Optionale Client-Authentification
    - Server schickt Challenge-Anfrage an Client
    - Client antwortet mit signierter Anfrage und Client-Zertifikat
- Change Cipher Spec Protocol
- Alert Protocol: Fehler-Behandlung
- Application Data Protocol (für Anwendungsdaten)
- Record-Protokoll: Codierung und Transfer (untere Schicht, unmittelbar auf TCP, symm. Verschlüsselung u.a. DES, TripleDES, AES)

Verbreitete Implementierungen: OpenSSL, GnuTLS, LibreSSL, ...

TLS (3)

- TLS benötigt einen zuverlässigen Transportdienst (üblicher TCP)
- für UDP-Kommunikation steht analog Datagram Transport Layer Security (DTLS) zur Verfügung
  besitzt hohe Relevanz für IoT-Anwendungen
- **Beispiele**
  - HTTPS
    - HTTP over TLS, https:// ...
    - Standard in Browsern
    - Aufbau einer SSL-gesicherten Transportverbindung
    - HTTP nutzt diese Verbindung zur geschützten Übertragung von vertraulichen Daten
    - Port 443 statt 80
  - SMTPS
  - IMAPS, POP3S
  - FTPS

Firewalls

- Ziele
  - Monitoring aller eingehenden (und ausgehenden) Nachrichten
  - Eindringlinge verhindern
  - autorisierten Zugriff erlauben
  - möglichst geringe Performance-Einbußen
- Annahme
  - Firewall ist selbst sicher und nicht angreifbar
- Klassifikation
  - nach Ebene, auf der Kontrollen stattfinden:
  - Router-basiertes Filtern (Packet Filter, Screening)
  - Application Level Gateways
  - häufig kombiniert

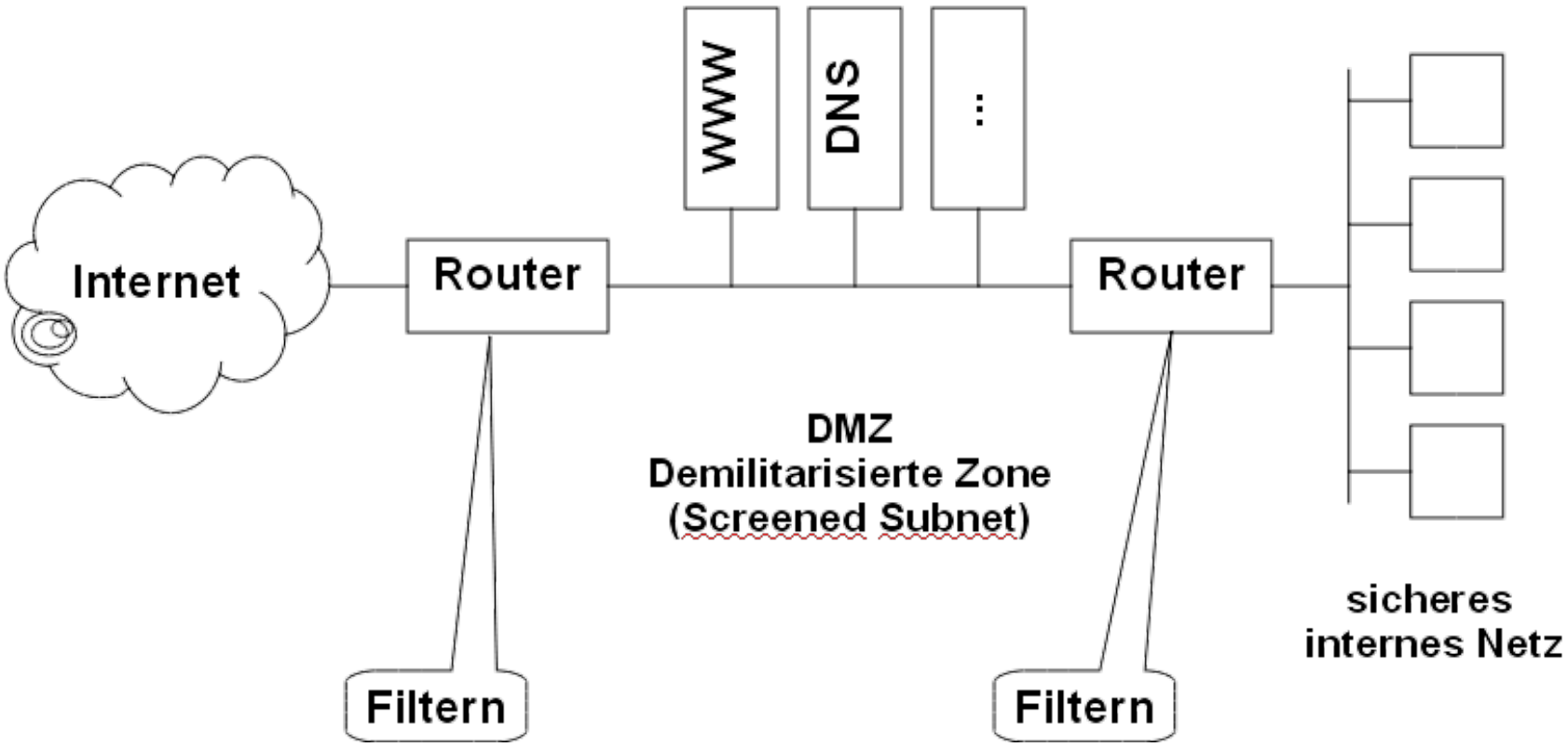
Packet Filter

- Netzwerk-bezogen
  - Betrachtung auf Paketebene
- typischerweise in Routern realisiert
- Regeln für das Nichtweiterleiten
  - Sperren von Subnetzen
  - Sperren von Rechnern
  - Sperren von Diensten
  - basierend auf IP-Adressen u. Portnummern
- Vorteil
  - geringer Overhead (=hohe Performance)
- Nachteil
  - komplexe, nichtmodulare Regeln bei großen Netzen
  - i.d.R. kein Logging
- Beispiel: iptables

Packet Filter (2)

Hochschule RheinMain

Architekturebene



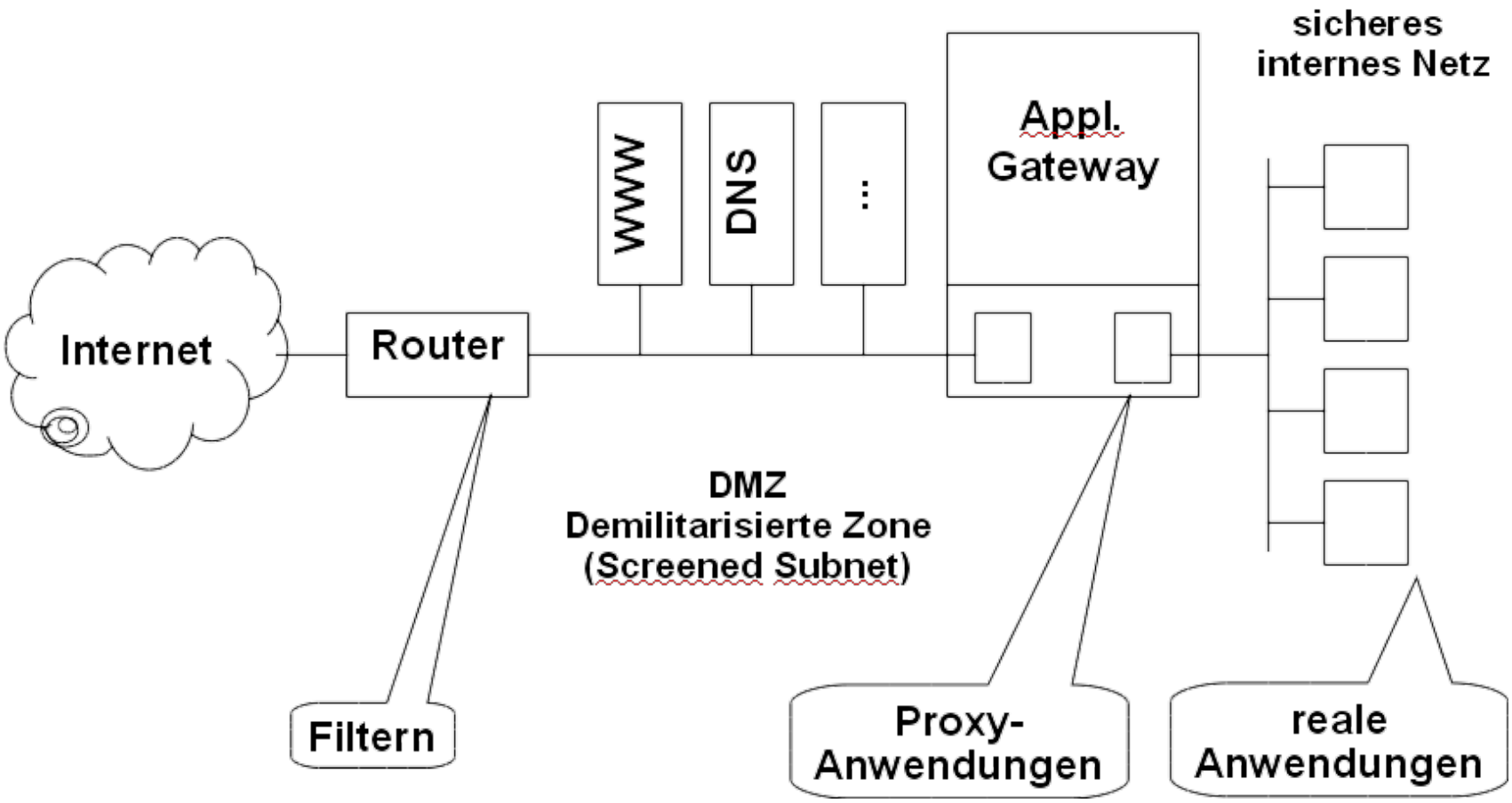
Application Level Gateway

- Sammlung spezieller Proxy-Programme als Ersatz der üblichen Anwendungen
- Üblich für HTTP, FTP, SMTP, X-Protokoll, ...
- Proxy-Anwendungen haben i.d.R.
  - Zugangsüberprüfung
  - Logging
- Vorteil: hoher Sicherheitsgrad
- Nachteile:
  - Notwendigkeit von Proxies
  - Nachziehen bei neuen Anwendungen
  - Hoher Performance-Overhead

Application Level Gateway (2)

Hochschule RheinMain

Architekturebene



Zusammenfassung

- Vollständige Sicherheit (Security) gibt es nicht und ist immer ein Kompromiss.
- Sicherheitsmaßnahmen werden oft durch kryptographische Verfahren umgesetzt.
- Verschlüsselung und Authentifizierung sind zentrale Bestandteile jeden Sicherheitskonzeptes.