Vorlesung Netzsicherheit

Alice

TeleMatics

Bob

Kryptographische Grundlagen: Meet Alice and Bob

Übersicht

- Schutzziele
  - Welche Schutzziele will ich? Wie sind diese definierbar?
- Angriffe
  - Was kann ein Angreifer tun? Wie sieht ein Angreifermodell aus?
- Kryptographische Bausteine
  - Welche Bausteinen habe ich an der Hand um sichere Protokolle zu entwickeln?
- Schlüsselaustausch
  - Wie kann ich Schlüssel über einen unsicheren Kanal aushandeln?
- Perfect Secrecy Properties
  - Welche allgemeinen Prinzipien sind bei Schlüsselprotokollen zu beachten?

Übersicht

- Schutzziele
  - Welche Schutzziele will ich? Wie sind diese definierbar?
- Angriffe
  - Was kann ein Angreifer tun? Wie sieht ein Angreifermodell aus?
- Kryptographische Bausteine
  - Welche Bausteinen habe ich an der Hand um sichere Protokolle zu entwickeln?
- Schlüsselaustausch
  - Wie kann ich Schlüssel über einen unsicheren Kanal aushandeln?
- Perfect Secrecy Properties
  - Welche allgemeinen Prinzipien sind bei Schlüsselprotokollen zu beachten?

Schutzziele

- Ein Schutzziel definiert aus Sicherheitssicht, welche Anforderungen erfüllt werden sollen
  - z.B. *Vertraulichkeit*: übertragene Daten sollen nur berechtigten Instanzen zugänglich sein

- Verschiedene Kategorisierungen
  - CIA Triad
    - *Vertraulichkeit, Integrität, Verfügbarkeit*
  - Parkerian Hexad
    - CIA Triad + *Besitz u. Kontrolle, Authentizität, Nutzen*
  - weitere Schutzziele
    - *Autorisierung, (Nicht-)Abstreitbarkeit, …*

Schutzziele

Ein Schutzziel definiert aus Sicherheitssicht, welche Anforderungen erfüllt werden sollen

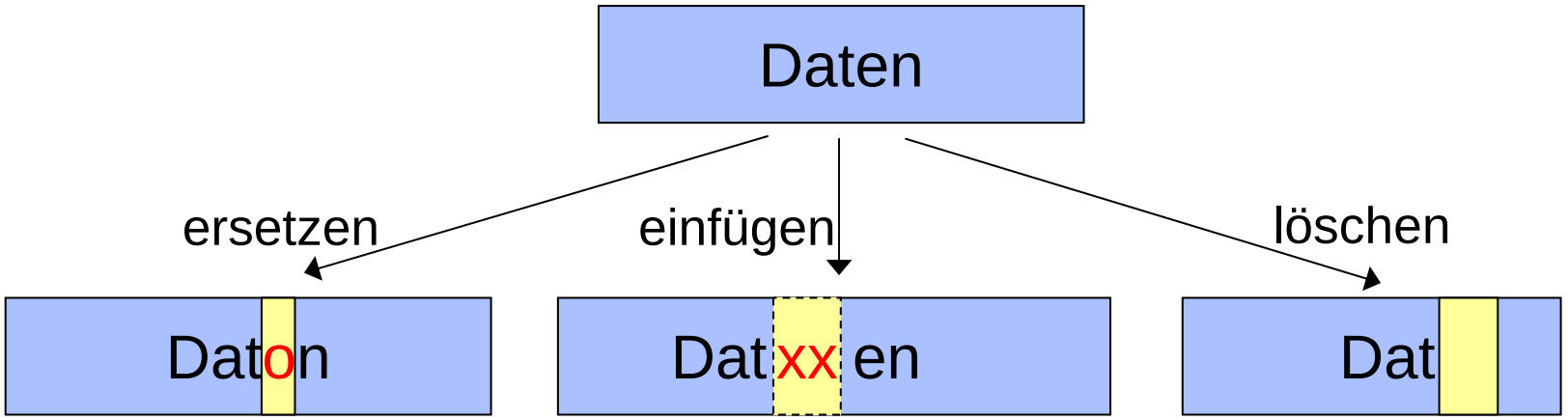
- Diskussion
  → kann *Verfügbarkeit* sichergestellt werden?

Auswahl von Schutzzielen in der Kommunikation

- Integrität (integrity)
- Vertraulichkeit (confidentiality)
- Authentizität (authenticity)
- Autorisierung (authorization)

Integrität

- Es ist nicht möglich, die zu schützenden Daten unautorisiert und unbemerkt zu manipulieren
- Mögliche Manipulationen z.B.
  - *ersetzen* von Daten
  - *einfügen* in Daten
  - *löschen* von Daten



Integrität

- Schutz der Integrität
  - wie kann die Integrität von Daten sichergestellt werden?
  - schützen Prüfsummen wie CRC die Integrität?
    - z.B. Ethernet Header:

    - Diskussion: schützt der CRC die Integrität des Ethernet Header?

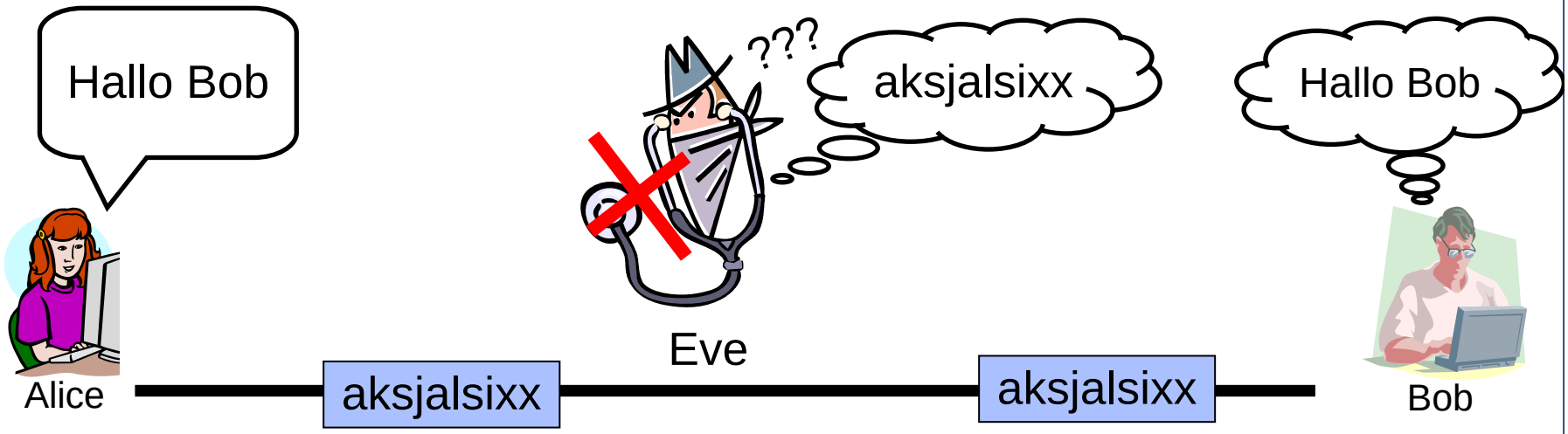
- Methoden zur Realisierung von Integrität
  - Grundidee: Verwendung von Hashfunktionen mit geheimen Schlüsseln (Details später)

  → Message Authentication Codes (MAC)

Vertraulichkeit

- Übertragene Daten sollen nur berechtigten Instanzen zugänglich sein
  - d.h. es kann kein unautorisierter Informationsgewinn über die Daten stattfinden

- Alice und Bob *kommunizieren vertraulich*



Vertraulichkeit

- Methode zur Realisierung: Verschlüsselung
  - *symmetrische* Verschlüsselung
  - *asymmetrische* Verschlüsselung

- Diskussion: welche Aspekte sind bei Vertraulichkeit der Kommunikation zu beachten?
  - Art der Verschlüsselung?
  - was wird verschlüsselt?
    - Payload, Header?
  - wie werden Schlüssel ausgehandelt?
  - wann werden Schlüssel erneuert?
  - …

Authentizität

- Echtheit und Glaubwürdigkeit von Daten oder Subjekten, die anhand eindeutiger Identität oder charakterisierender Eigenschaften überprüfbar ist
  - Echtheit von *Subjekten*
    - Bob will sicherstellen, dass er wirklich mit Alice redet
  - Echtheit von *Daten*
    - Bob will sicherstellen, dass die Daten wirklich von Alice sind

Authentizität

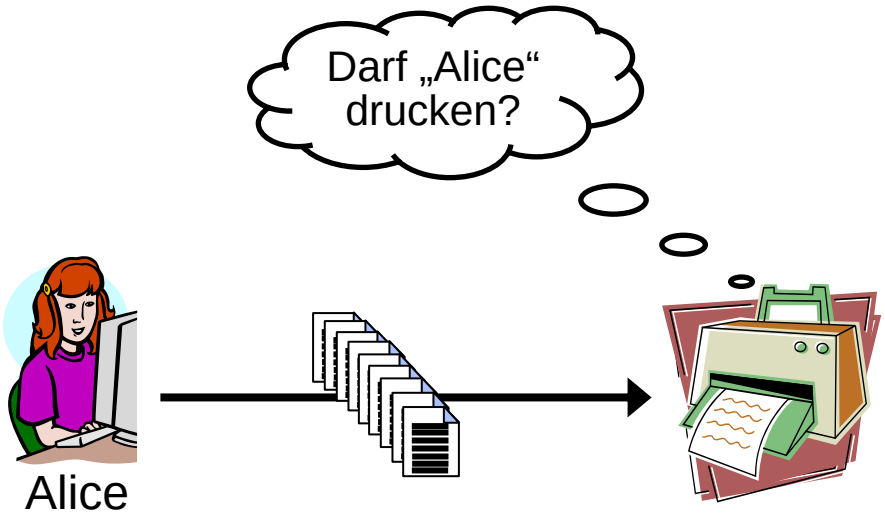
- Methoden zur Realisierung
  - Passwörter
  - Passwort Hashes
  - Einmalpasswörter
  - Signaturen
  - … oft sehr protokollspezifisch

→ viele Möglichkeiten die Authentizität von Daten und Subjekten zu realisieren

Autorisierung

- Es sollen nur autorisierte Instanzen Zugriff auf bestimmte Dienste oder Daten erhalten
  - weitere Einschränkungen möglich, z.B.
    - nur lesender Zugriff
    - lesender und schreibender Zugriff
    - ...
- Methoden zur Realisierung
  - Access Control Lists
  - Autorisierungszertifikate
  - ...
- Diskussion

  → im welchem Zusammenhang stehen *Autorisierung zu Authentifikation*



Übersicht

- Schutzziele
  - Welche Schutzziele will ich? Wie sind diese definierbar?
- Angriffe
  - Was kann ein Angreifer tun? Wie sieht ein Angreifermodell aus?
- Kryptographische Bausteine
  - Welche Bausteinen habe ich an der Hand um sichere Protokolle zu entwickeln?
- Schlüsselaustausch
  - Wie kann ich Schlüssel über einen unsicheren Kanal aushandeln?
- Perfect Secrecy Properties
  - Welche allgemeinen Prinzipien sind bei Schlüsselprotokollen zu beachten?

Angriffe

- Generelle Unterscheidung von Angreifern in
  - *aktiv* und *passiv*
    - aktiv: manipulieren, unterdrücken, einfügen, denial-of-service, …
    - passiv: abhören
  - *intelligent* und *blind*
    - intelligent: reagiert, passt sich an, kann sich verstecken, …
    - blind: stupides durchprobieren (brute-force), …

- *Dolev-Yao Angreifermodell* (bekanntestes Angreifermodell)
  - Angreifer kann abhören, unterdrücken, einfügen (an jeder Stelle im Netz!)
  - Angreifer kann aktiv und passiv agieren, ist intelligent
  - Angreifer ist nur durch kryptographische Berechnungen limitiert
  - *network is the attacker*, sehr starkes Modell
    → wird meist vereinfacht verwendet

Abhören


„Hallo Bob, die Vorlesung Netzsicherheit war heute wieder interessant“
„Hallo Bob, die Vorlesung Netzsicherheit war heute wieder interessant“
Alice
Bob

Manipulieren

„Hallo Bob, die Vorlesung Netzsicherheit war heute wieder interessant“

Alice

Bob

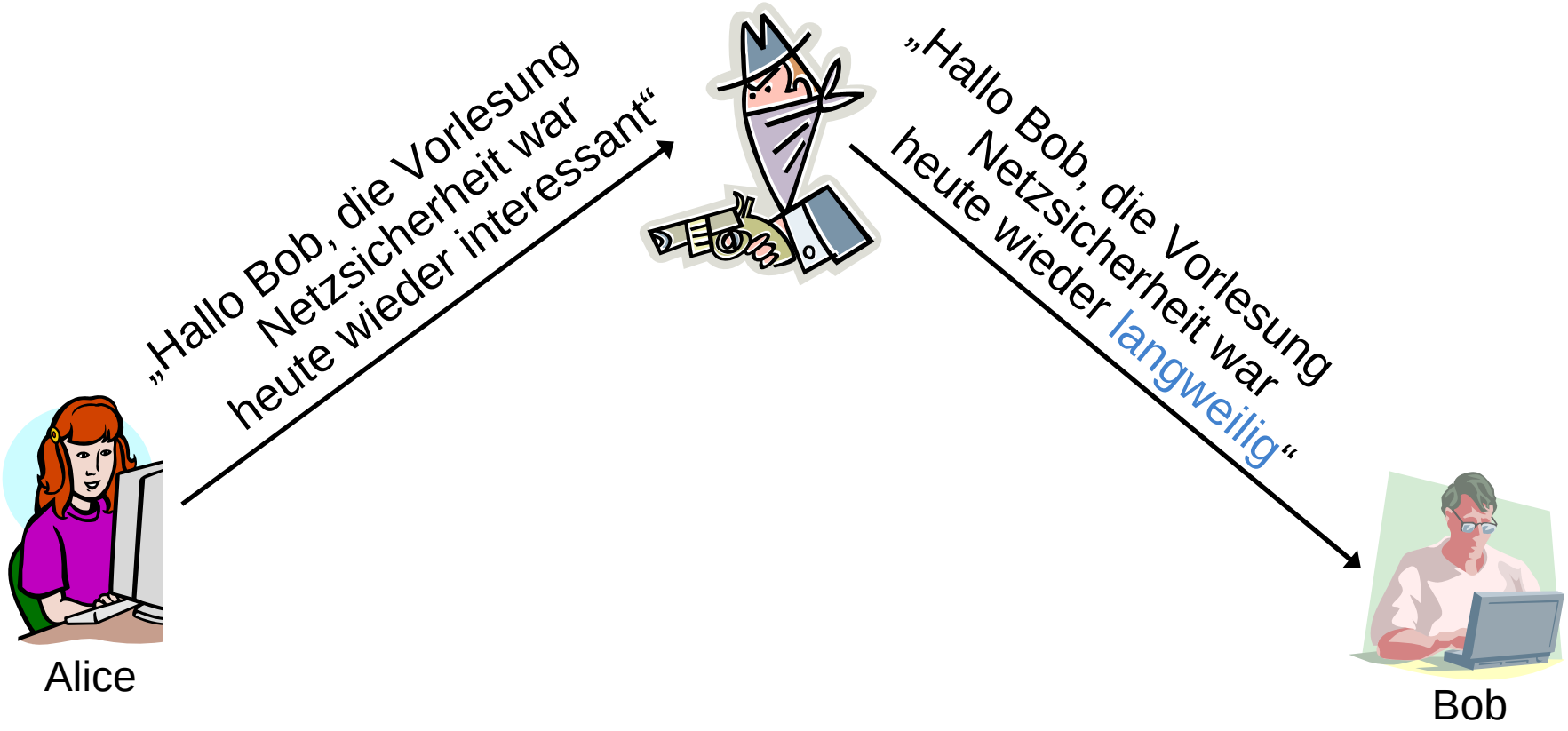
Manipulieren

„Hallo Bob, die Vorlesung Netzsicherheit war heute wieder langweilig“

Alice

Bob

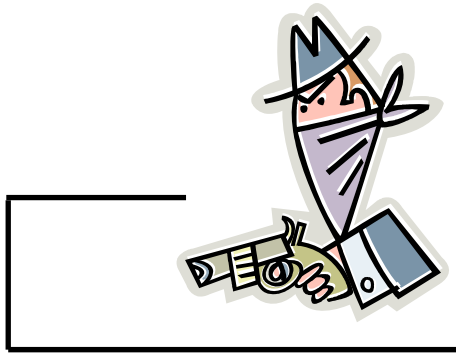
Man in the middle



Unterdrücken

Einfügen

Alice



„Hallo Bob, die Vorlesung Netzsicherheit war heute wieder interessant“

Bob

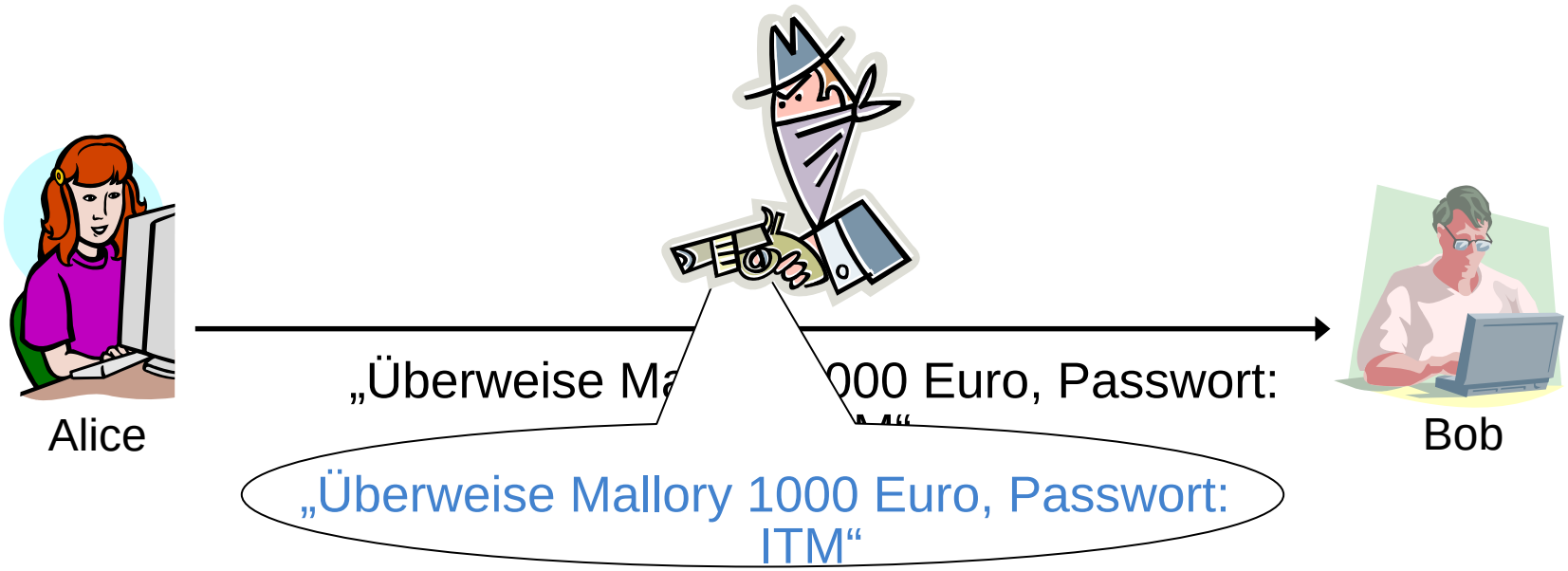
Replay Attacke

„Überweise Mallory 1000 Euro“

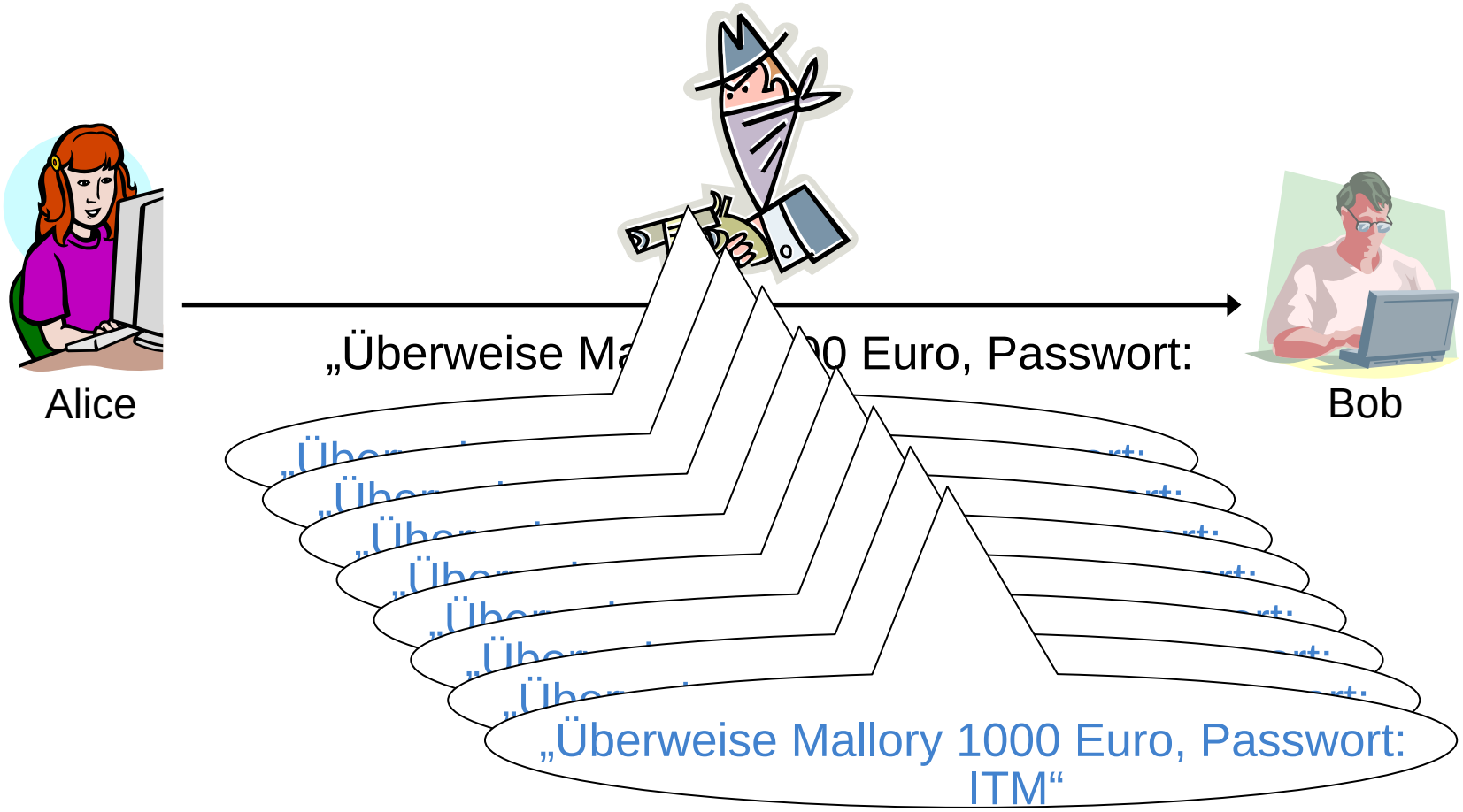
Alice

Bob

Replay Attacke

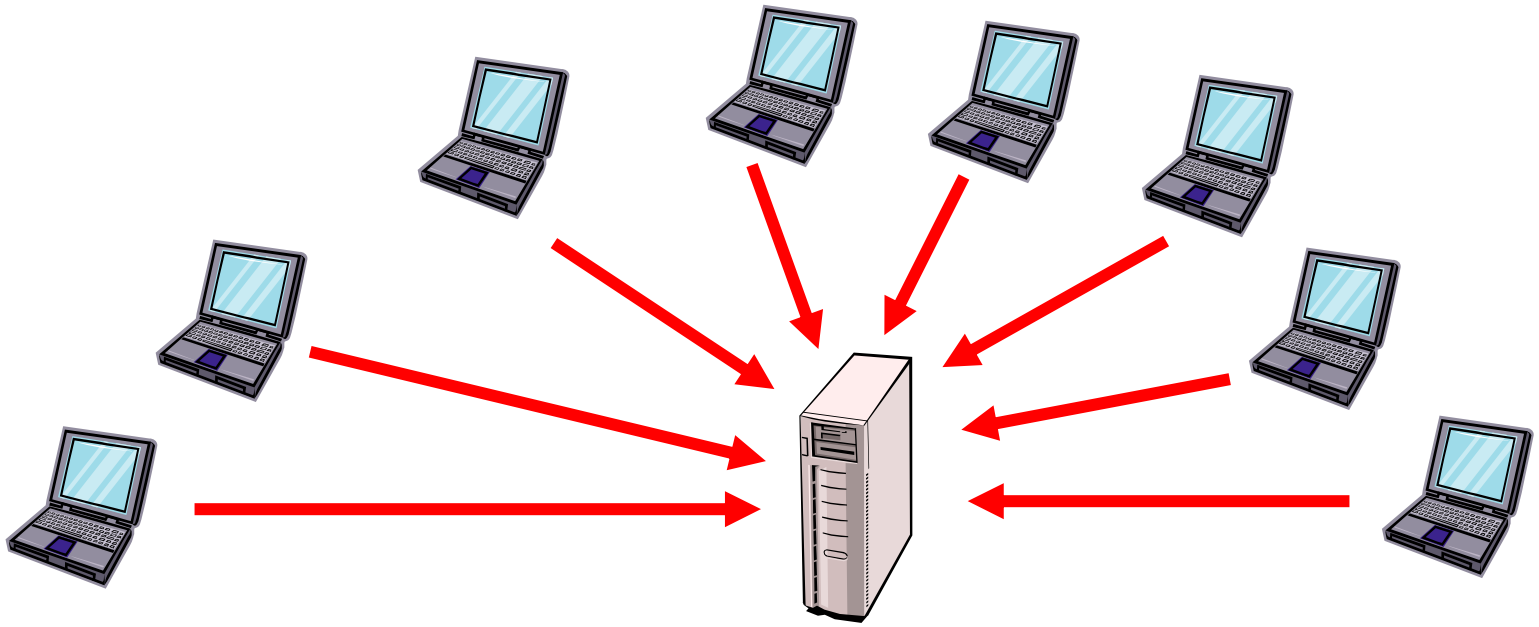


Replay Attacke



(Distributed) Denial of Service

- *Denial-of-Service* (DoS) Angriff
  - Einschränkung der Verfügbarkeit eines Dienstes
- *Distributed-Denial-of-Service* Angriff (DDoS)
  - DoS-Angriff durch verteilte Angreifer

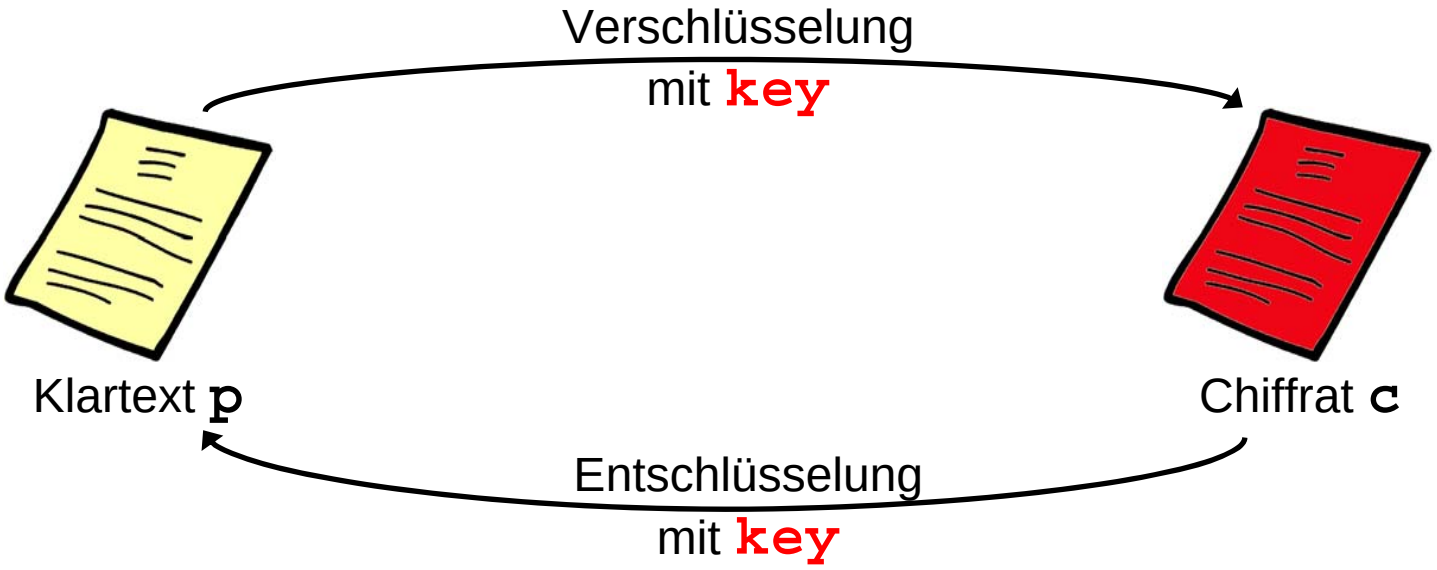


Übersicht

- Schutzziele
  - Welche Schutzziele will ich? Wie sind diese definierbar?
- Angriffe
  - Was kann ein Angreifer tun? Wie sieht ein Angreifermodell aus?
- Kryptographische Bausteine
  - Welche Bausteinen habe ich an der Hand um sichere Protokolle zu entwickeln?
- Schlüsselaustausch
  - Wie kann ich Schlüssel über einen unsicheren Kanal aushandeln?
- Perfect Secrecy Properties
  - Welche allgemeinen Prinzipien sind bei Schlüsselprotokollen zu beachten?

Symmetrische Verschlüsselung

- Gemeinsames Geheimnis der Kommunikations-partner → gemeinsamer Schlüssel **key**
- Gemeinsamer Schlüssel **key** zum
  - verschlüsseln: $c = E_{key}(p)$
  - entschlüsseln: $p = D_{key}(c)$



Symmetrische Verschlüsselung

- Grundsätzliche Arten von Chiffren
  - *Blockchiffren*
    - Blockweises Verschlüsseln der Daten
    - gängige Blockchiffren: AES, DES, 3DES, …
  - *Stromchiffren*
    - Bitweises (bzw. Zeichenweises) Verschlüsseln der Daten
    - muss nicht warten bis ein Block von Daten bereit steht (daher für Echtzeitübertragung geeignet, z.B. im Mobilfunk verwendet)

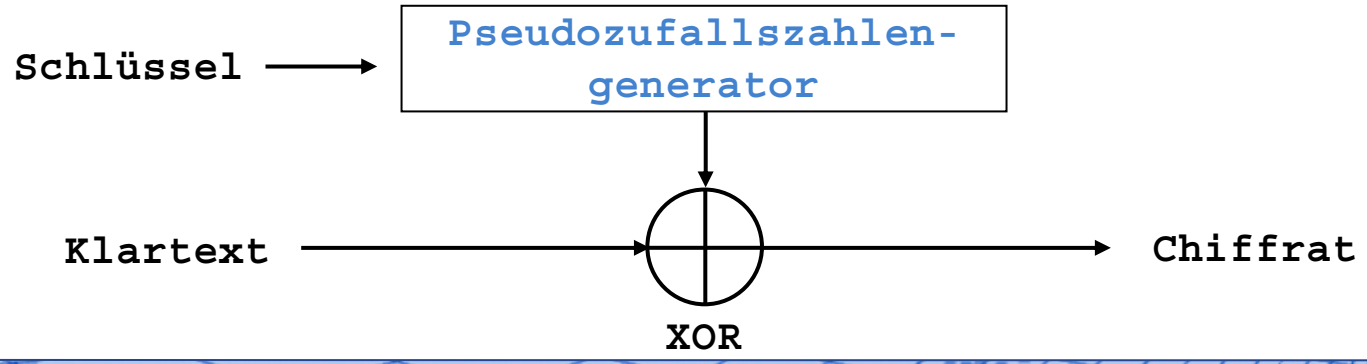
- Diskussion: welches Problem tritt auf, wenn man symmetrische Verschlüsselung in Netzen einsetzt?

Kennen Sie Anwendungen von symmetrischer Kryptographie?

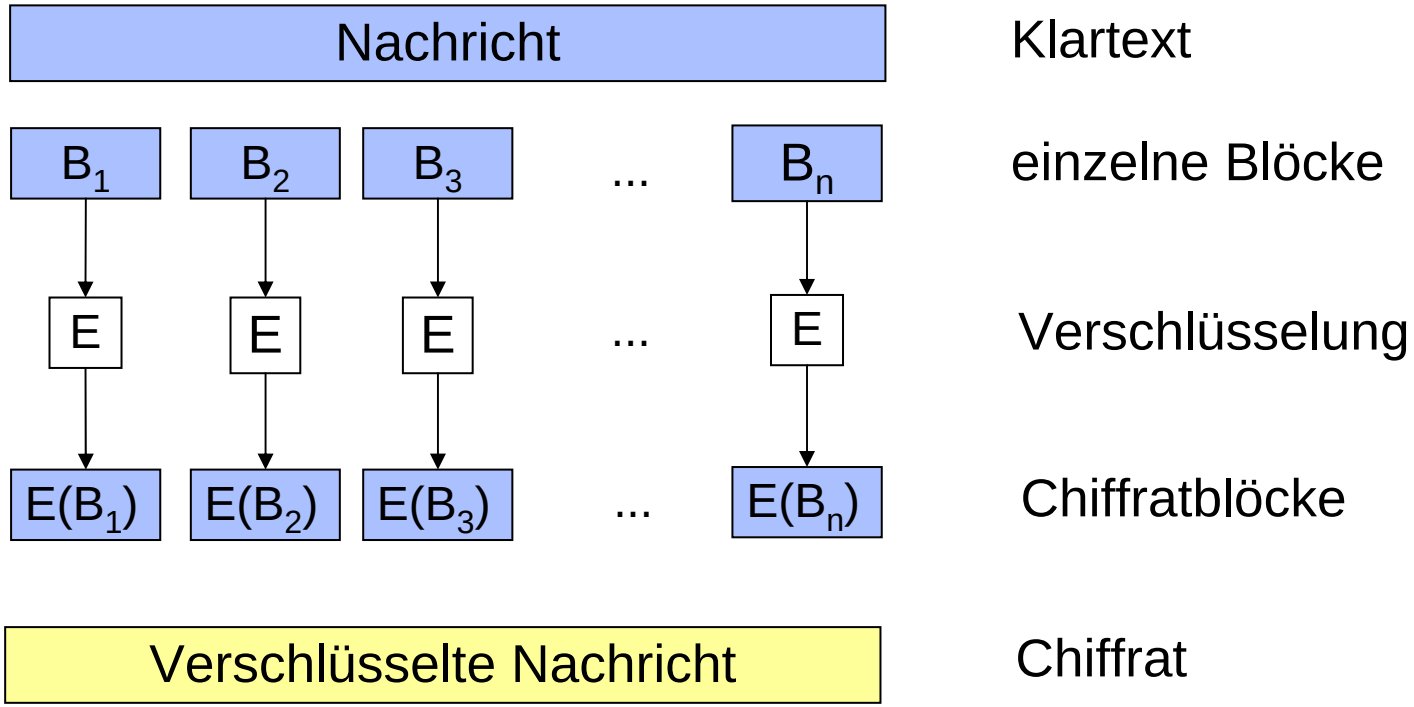
Symmetrische Verschlüsselung: Stromchiffren

- Stromchiffren operieren Zeichenweise
  - Strom von Schlüssel-Zeichen, von zu verschlüsselnden Zeichen
  - Funktion (z.B. **XOR**) verknüpft beide Ströme zeichenweise
  - Verschlüsselung: $c_i = p_i \text{ XOR } k_i$
  - Entschlüsselung: $p_i = c_i \text{ XOR } k_i$

- Verwendung von Pseudozufallszahlenfolge
  - Eingabe: kurzer Initialisierungswert ← *gemeinsamer Schlüssel*
  - Ausgabe: Folge von Zeichen, die
    - mittels *deterministischen* Prozesses gewonnen werden
    - gewisse Eigenschaften einer echt zufälligen Folge aufweisen



Symmetrische Verschlüsselung: Betriebsmodus bei Blockchiffren

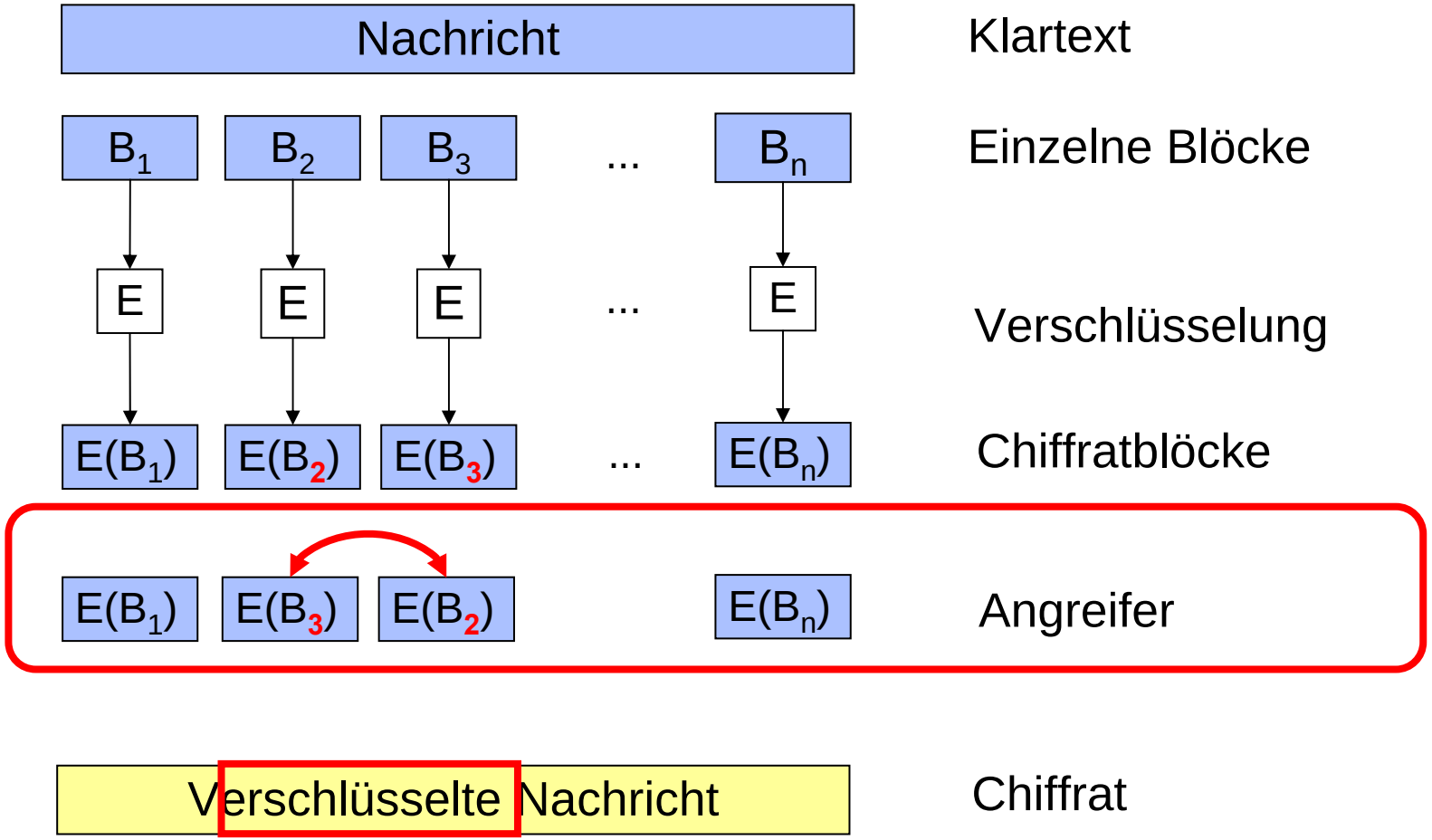


Welche Probleme können dadurch entstehen, dass die *Nachricht in Blöcke aufgeteilt* ist? Was kann ein Angreifer tun?

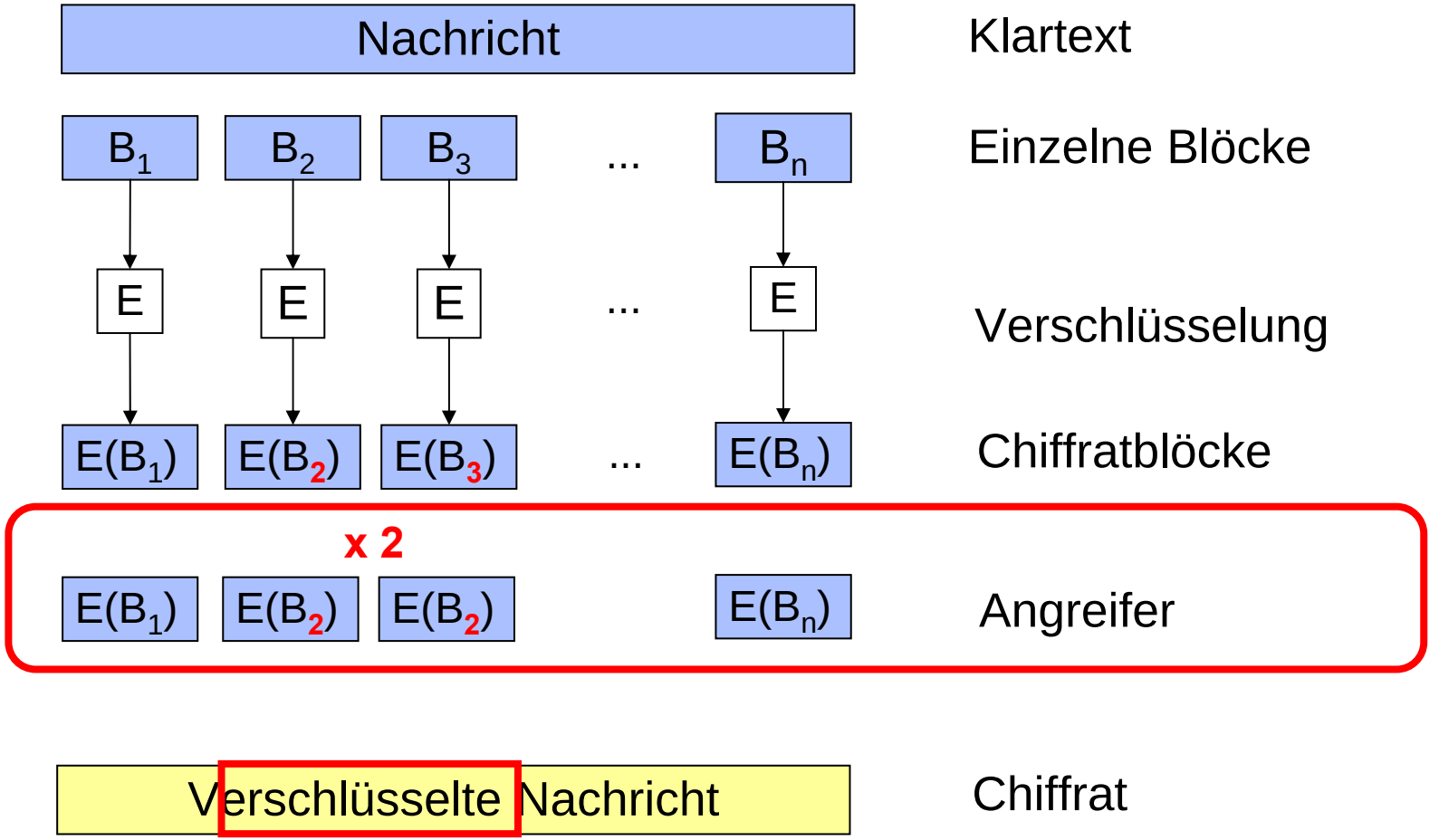
Symmetrische Verschlüsselung: Betriebsmodus bei Blockchiffren

- *Electronic Codebook Mode* (ECB)
  - Problem
    - Blöcke werden einzeln, unabhängig voneinander verschlüsselt
    - *Struktur des Cyphertext ähnlich Struktur des Plaintext*

Symmetrische Verschlüsselung: Betriebsmodus bei Blockchiffren



Symmetrische Verschlüsselung: Betriebsmodus bei Blockchiffren

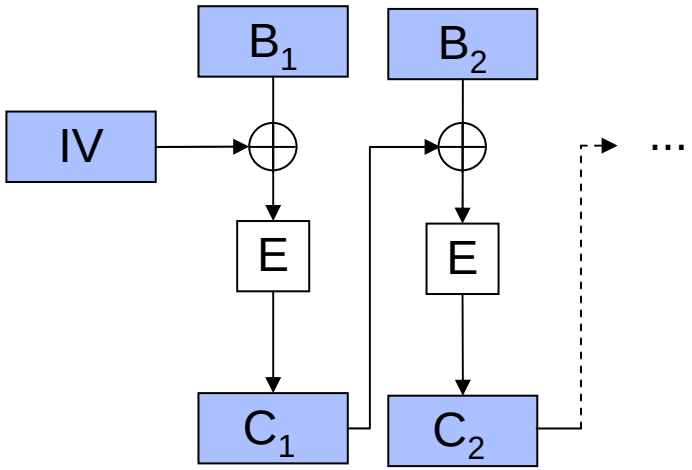


→ *Manipulationen können nicht erkannt werden!*

Symmetrische Verschlüsselung : Betriebsmodus

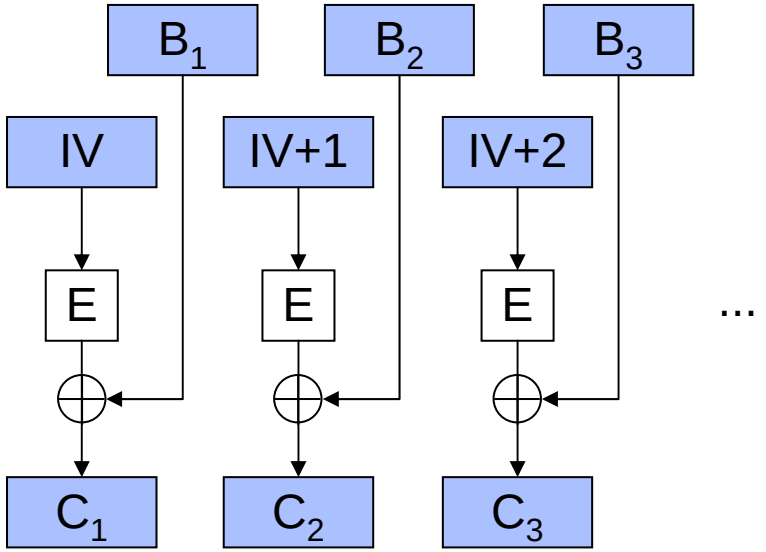
- Lösung: Blöcke abhängig voneinander machen
  - verschiedene Möglichkeiten realisiert als *Betriebsmodi*

Cipher Block Chaining (CBC)



Verschlüsselung

Counter Mode (CTR)



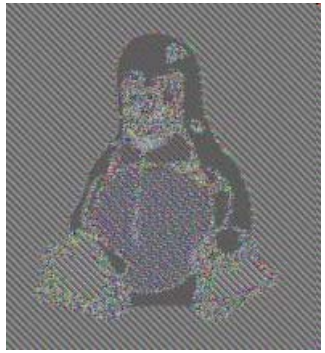
Verschlüsselung

Diskussion: wie sieht die Entschlüsselung bei CBC aus?

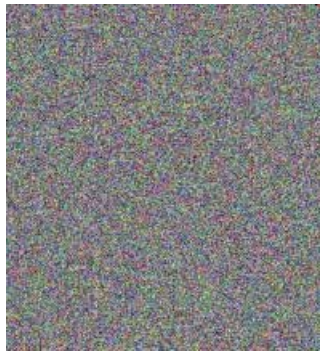
Symmetrische Verschlüsselung : Betriebsmodus

- Struktur durch verschiedene Betriebsmodi

Plaintext



Electronic Codebook Mode (ECB)

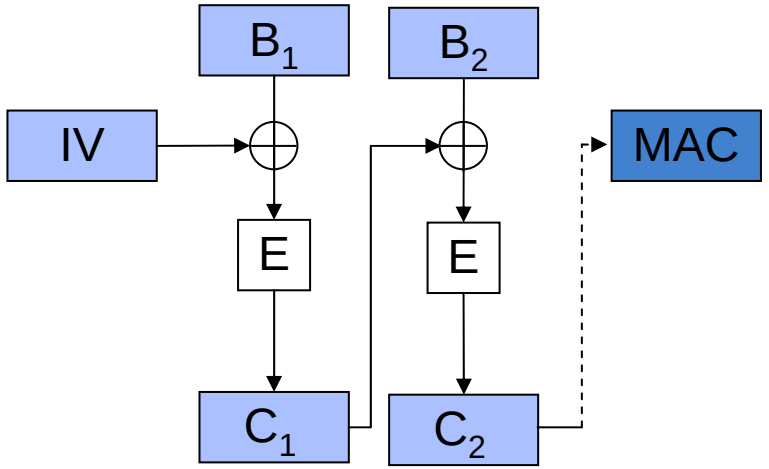


Cipher Block Chaining Mode (CBC)

Symmetrische Verschlüsselung: Kombinierte Betriebsmodi

Verschiedene Arten von *Authentifizierter Verschlüsselung*

- Counter-Mode mit CBC-MAC
  - Verschlüsselung mit CTR
  - *Authentifizierung durch CBC-MAC*
  - 2 Runden, ineffizient



- Galois/Counter Mode
  - Verschlüsselung mit CTR
  - Authentifizierung mit Galois-Polynom GF(2^{128})

- Andere
  - OCB (patentiert), EAX, CWC, …

Asymmetrische Verschlüsselung

- Asymmetrische Verschlüsselung
  - *öffentlicher Schlüssel* (bekannt)
  - *privater Schlüssel* (geheim)
- Ver- und Entschlüsselung
  - Verschlüsselung mit dem öffentlichen Schlüssel des Empfängers durch Absender
  - Entschlüsselung mit dem privaten Schlüssel des Empfängers durch Empfänger

Was sind die Vorteile gegenüber symmetrischer Verschlüsselung?

Asymmetrische Verschlüsselung: Schreibweise

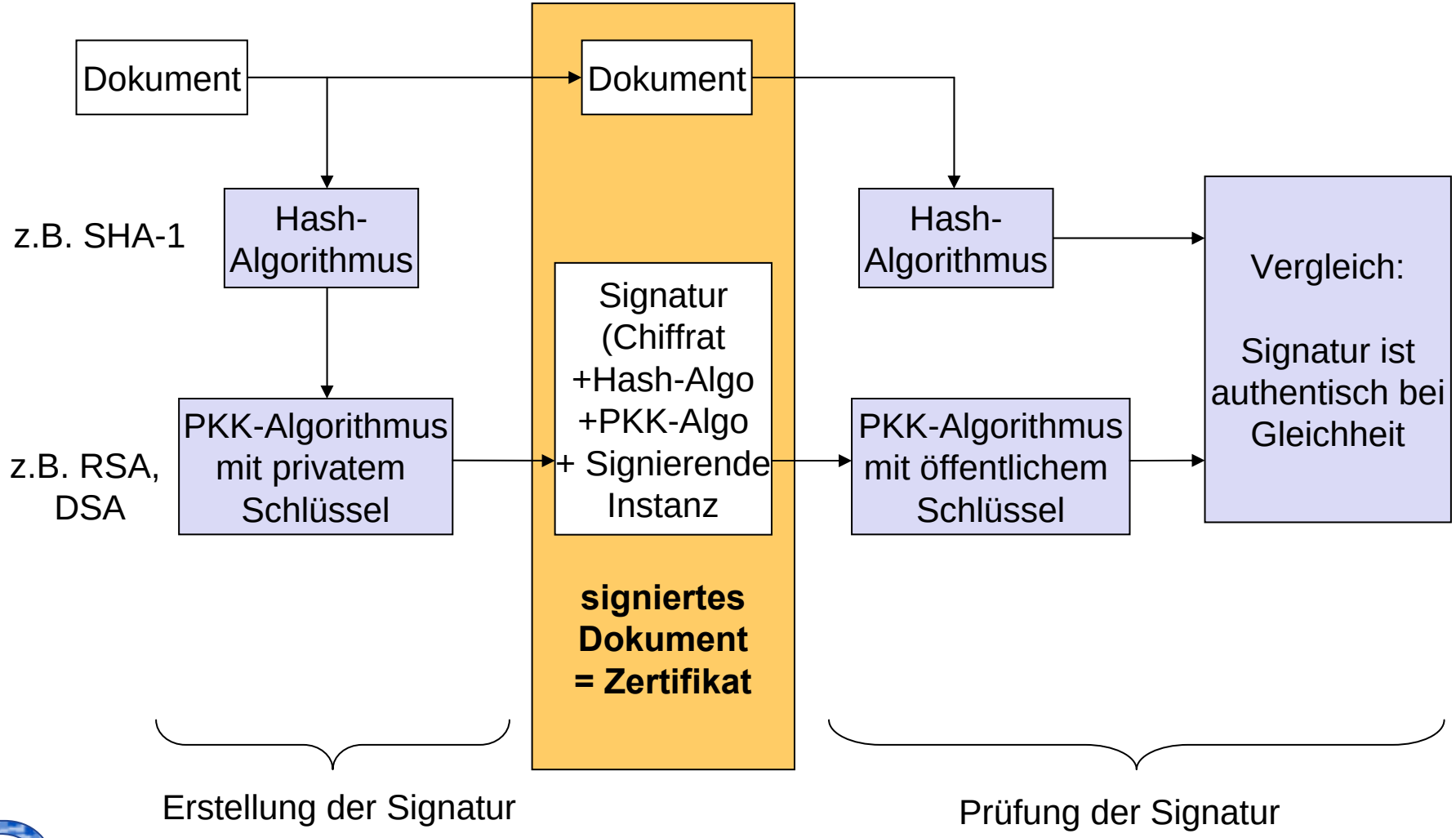
- Kennzeichnung als öffentlich oder privater Schlüssel
  - $\mathbf{pubKey_{Alice}}$ oder $\mathbf{pub_{Alice}}$
  - $\mathbf{privKey_{Alice}}$ oder $\mathbf{priv_{Alice}}$
- Operationen (Bob sendet Nachricht an Alica)
  - Verschlüsselung: $\mathbf{c = E_{pub_{Alice}}(p)}$
  - Entschlüsselung: $\mathbf{p = D_{priv_{Alice}}(c)}$
- Gebräuchliche Verfahren: RSA, El Gamal, …

Kennen Sie Anwendungen asymmetrischer Verschlüsselung?

Asymmetrische Verschlüsselung: Signatur

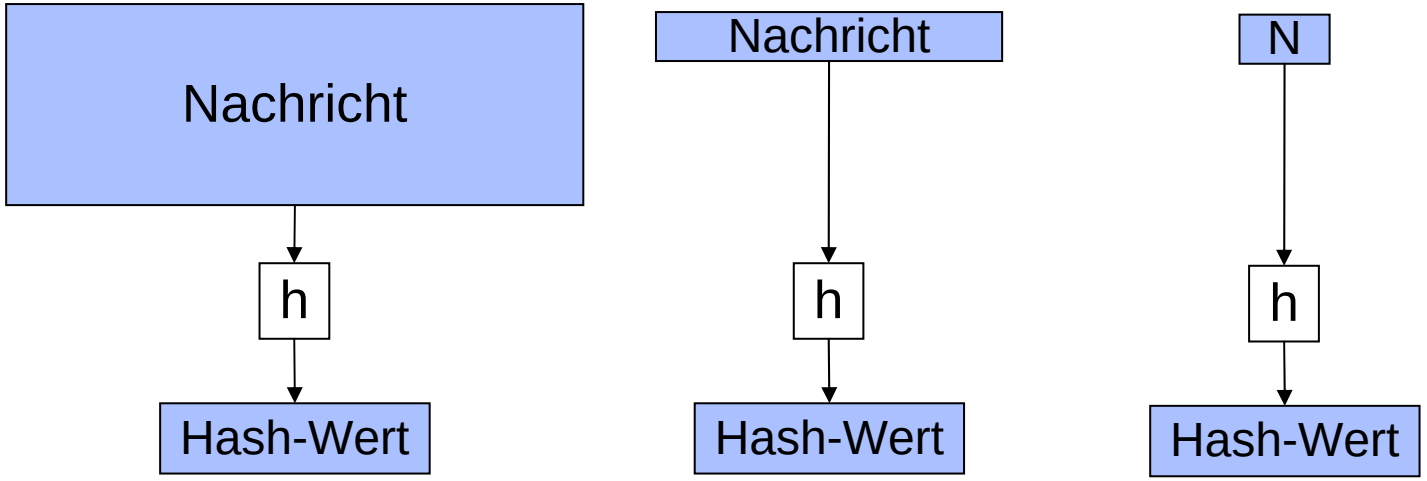
- Signatur von Nachrichten mit privatem Schlüssels
  - $\mathbf{Signatur = Sig_{priv_{Alice}}(Nachricht)}$
- Verifizieren der Signatur mit öffentlichem Schlüssel
  - $\mathbf{Ver_{pub_{Alice}}(Nachricht, Signatur)}$
- Performance
  - asymmetrische Kryptographie ist viel langsamer als symmetrische Kryptographie
  - wird selten ganze Nachricht signiert
    - → Message Digest bilden und diesen signieren
  - hybride Kryptosysteme
    - symmetrischen Sitzungsschlüssel über asymmetrische Kryptographie aushandeln, Datenfluss mit symmetrischem Sitzungsschlüssel schützen

Asymmetrische Verschlüsselung: Digitale Signatur



Hash-Funktion

- Kryptographische Einweg-Funktion $\mathbf{n \rightarrow h(n)}$
  - Umkehrung schwierig
    - zu gegebenem $\mathbf{h(n)}$ ein $\mathbf{n}$ finden
  - Kollision schwierig
    - $\mathbf{n_1}$ und $\mathbf{n_2}$ finden, so dass $\mathbf{h(n_1) = h(n_2)}$
- bildet Daten beliebiger Länge auf Bitstring fester Länge ab



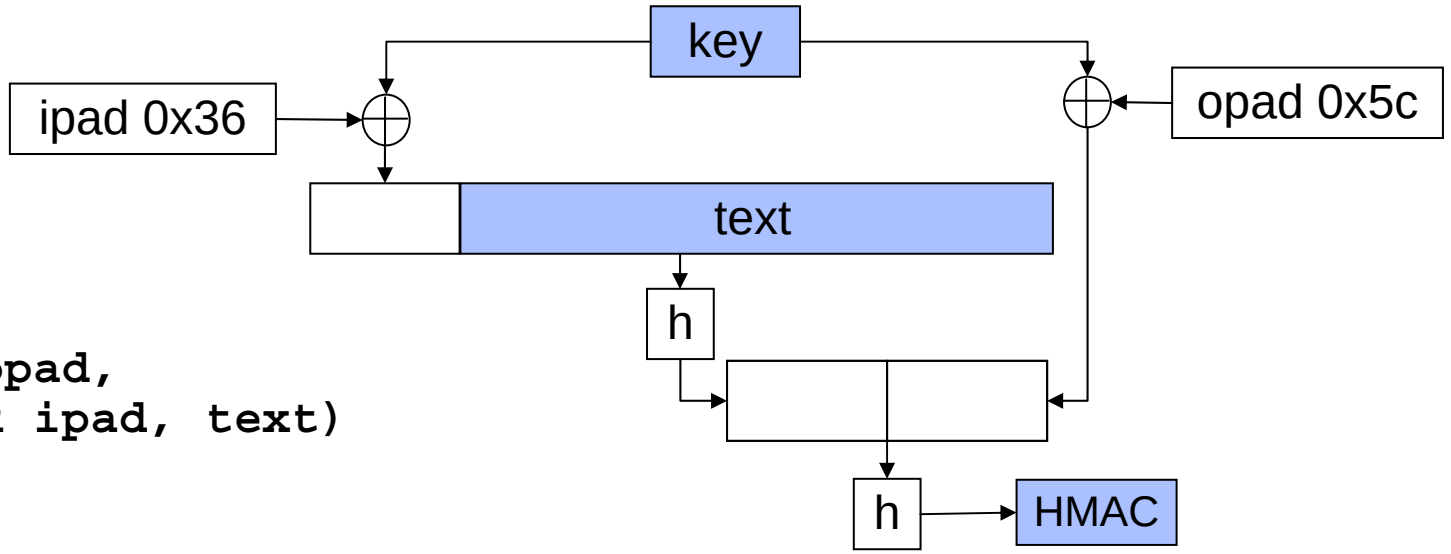
Hash-Funktion

- Hash-Funktionen: SHA-1, MD5, …
  - `sha1('Netzsicherheit')=1e13980291f5a113817610ec8ef94858e0bf90b5` **(160bit)**
  - `md5('Netzsicherheit')=12fa7645a6cf63baceceaad2c844efaf` **(128bit)**
- Probleme
  - auf SHA-1 und MD5 gibt es (theoretische) Angriffe
    - SHA-2 ist ähnlich zu SHA-1, daher keine dauerhafte Alternative
    - aktuell Review Prozess im SHA-3 Contest von NIST (http://csrc.nist.gov/groups/ST/hash/sha-3)
  - Angriffe über Vorberechnungen (Rainbow Table)

Kennen Sie Anwendungen von Hash-Funktionen?

Message Authentication Code: HMAC

- HMAC: Keyed-Hashing for Message Authentication
  - verwendet zur Integritätssicherung
  - nur wer geheimen Schlüssel *key* kennt kann
    - authentische Nachrichten erzeugen
    - Authentizität von Nachrichten prüfen



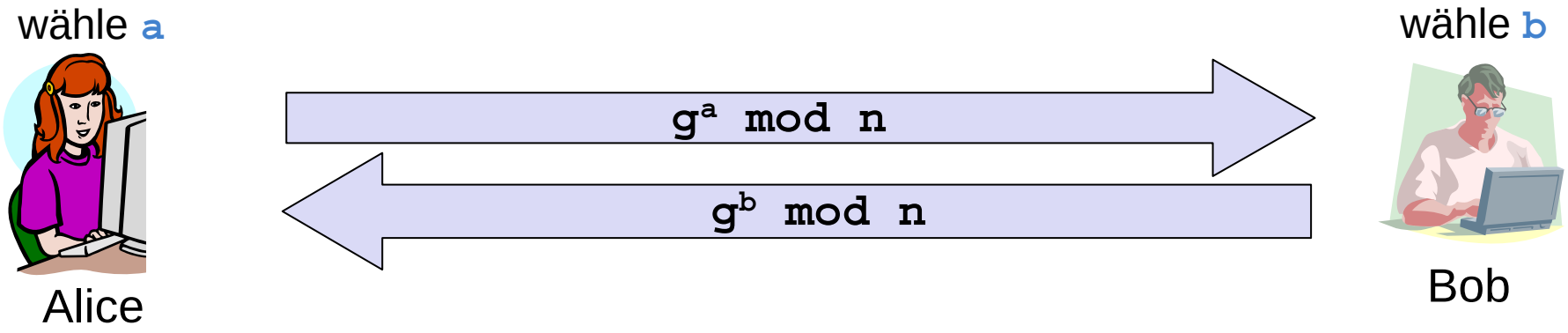

```
HMAC = H(
    key XOR opad,
    H(key XOR ipad, text)
    )
```

Übersicht

- Schutzziele
  - Welche Schutzziele will ich? Wie sind diese definierbar?
- Angriffe
  - Was kann ein Angreifer tun? Wie sieht ein Angreifermodell aus?
- Kryptographische Bausteine
  - Welche Bausteinen habe ich an der Hand um sichere Protokolle zu entwickeln?
- Schlüsselaustausch
  - Wie kann ich Schlüssel über einen unsicheren Kanal aushandeln?
- Perfect Secrecy Properties
  - Welche allgemeinen Prinzipien sind bei Schlüsselprotokollen zu beachten?

Diffie-Hellman-Schlüsselaustausch

- Schlüsselaustausch über unsicheren Kanal
  - Alice und Bob wollen einen Schlüssel **S** austauschen
  - **g** und **n** müssen gewählt werden
  - Alica wählt Zufallszahl **a**, Bob wählt Zufallszahl **b**



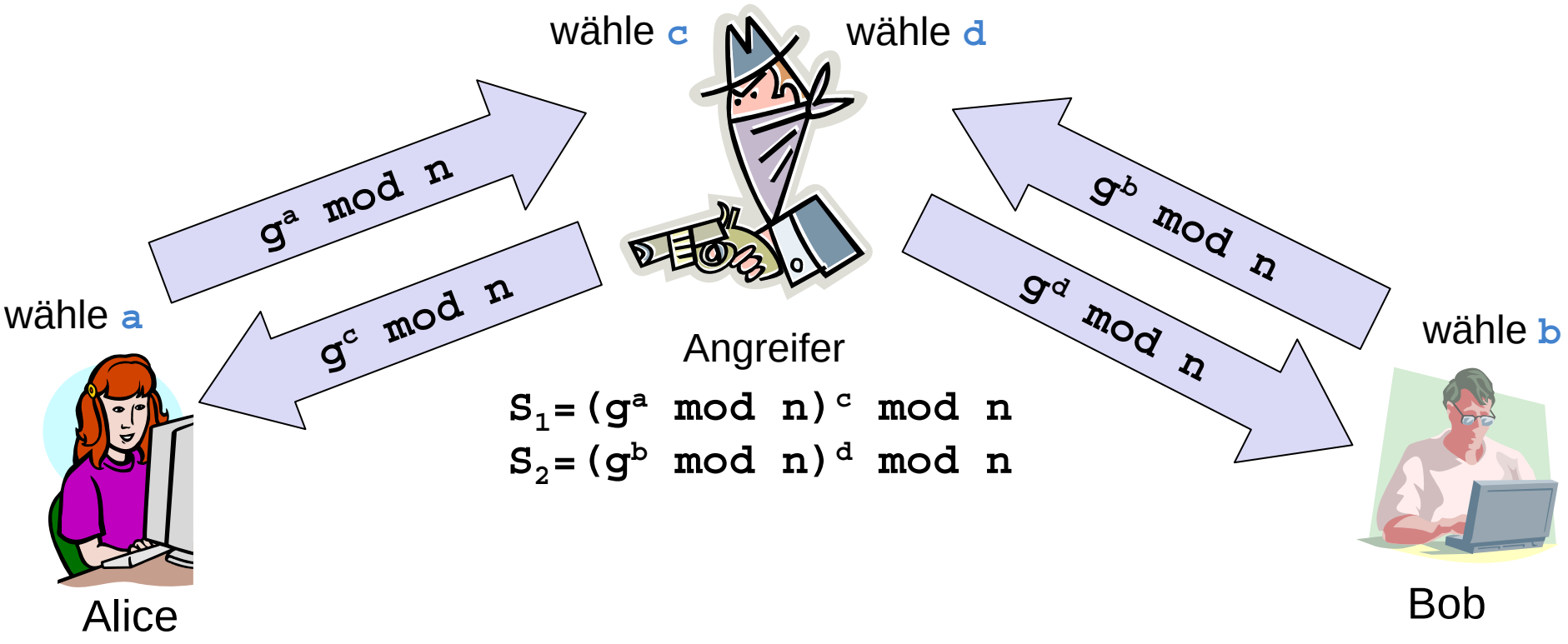
bekannt: **a**, $g^b \bmod n$, **n**
berechne: $S = (g^b \bmod n)^a \bmod n$

bekannt: **b**, $g^a \bmod n$, **n**
berechne: $S = (g^a \bmod n)^b \bmod n$

Angreifer: $g^a \bmod n, g^b \bmod n, g, n$
→ es fehlt **a** oder **b** zur Berechnung von S!

Angriff auf Diffie-Hellman

- Man-in-the-Middle Angriff auf Diffie-Hellman



Diskussion: Wie kann man diesen Angriff verhindern?

Übersicht

- Schutzziele
  - Welche Schutzziele will ich? Wie sind diese definierbar?
- Angriffe
  - Was kann ein Angreifer tun? Wie sieht ein Angreifermodell aus?
- Kryptographische Bausteine
  - Welche Bausteinen habe ich an der Hand um sichere Protokolle zu entwickeln?
- Schlüsselaustausch
  - Wie kann ich Schlüssel über einen unsicheren Kanal aushandeln?
- Perfect Secrecy Properties
  - Welche allgemeinen Prinzipien sind bei Schlüsselprotokollen zu beachten?

Perfect Secrecy

- Unabhängigkeit von Schlüsseln
  - durch langlebige Geheimnisse werden dynamische Sitzungsschlüssel erzeugt
  - Offenlegung eines langlebigen Geheimnis darf keine alten Sitzungsschlüssel verwundbar machen
  - aus einem Sitzungsschlüssel darf kein früherer oder zukünftiger Sitzungsschlüssel abgeleitet werden können
- Zwei Perfect Secrecy Eigenschaften
  - *Perfect Forward Secrecy*
    - Angreifer kann keine zukünftigen Nachrichten von Session *n+1* lesen wenn er in Besitz des Sitzungsschlüssel für Session *n* kommt
  - *Perfect Backward Secrecy*
    - Angreifer kann keine alten Nachrichten lesen von Session *n-1* lesen wenn er in Besitz des Sitzungsschlüssel für Session n kommt
- Methode zur Realisierung
  - Aushandlung von Sitzungsschlüsseln z.B. über Diffie-Hellman und Authentifizierung über langlebiges Geheimnis

Literatur

- *Sichere Netzwerkkommunikation*, Bless et al., Springer, 2005.
- *Encyclopedia of Cryptography and Security*, Tilborg, Springer, 2005.
- *IT-Sicherheit, Konzepte, Verfahren, Protokolle*, Eckert, Oldenbourg Verlag, 2003.
- *Applied Cryptography*, Schneier, Wiley, 1995.
- *Practical Cryptography*, Schneier, Wiley, 2003.
- *Handbook of Applied Cryptography*, CRC, 1996. http://www.cacr.math.uwaterloo.ca/hac/