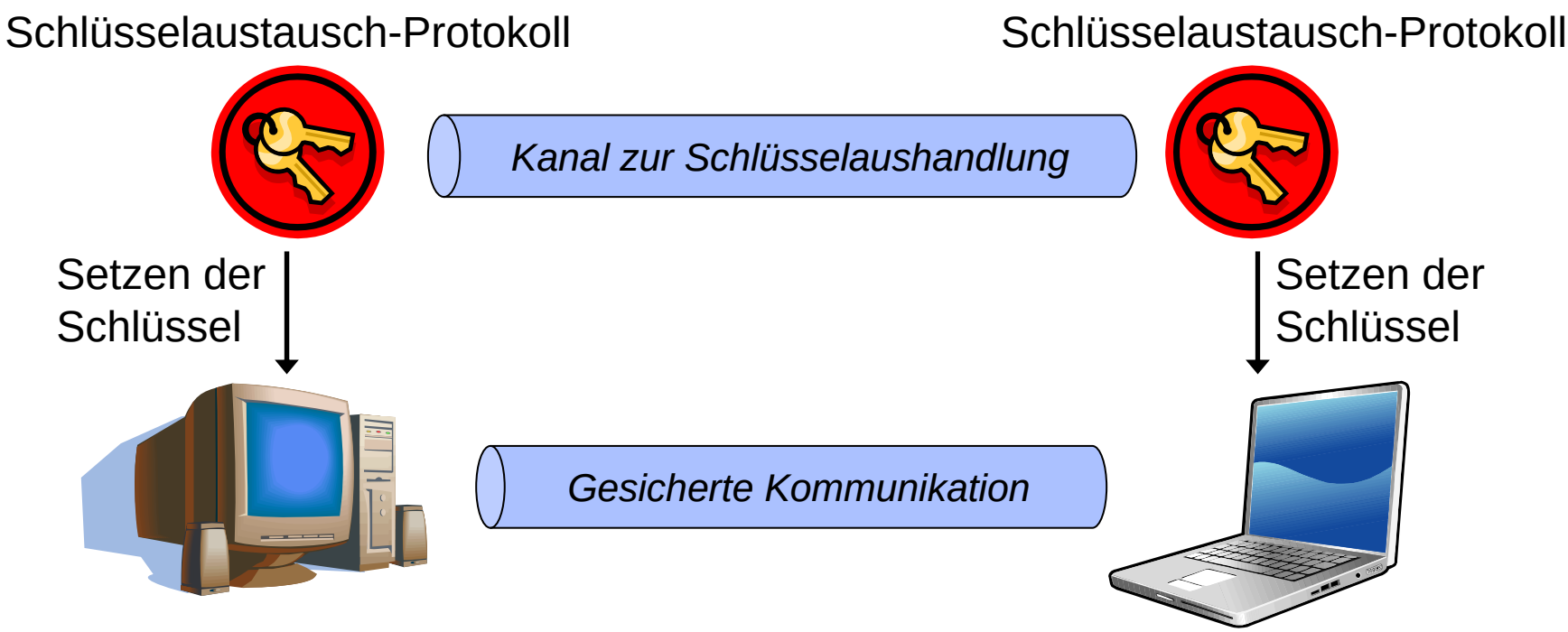
Netzsicherheit – Architekturen und Protokolle
Internet Key Exchange

1. Motivation
2. Bausteine des Schlüsselaustauschs
3. Internet Key Exchange

Motivation



- Ziel: Gesicherte Kommunikation
- Schlüsselaustausch-Protokoll
  - Aushandlung der Austausch-/Sicherungsverfahren für den Kanal
  - Authentizitätsüberprüfung des Kommunikationspartners
  - Erzeugung gemeinsamer Schlüssel

Einfacher statischer Ansatz

- Einigung über das verwendete Verfahren und Austausch des Schlüsselmaterials durch persönliche Übergabe
  - Verschlüsselung/Authentifizierung der auszutauschenden Daten mit dem erhaltenen Schlüssel

☺ sehr einfaches Verfahren
☺ Schlüssel ist automatisch authentifiziert

☹ „Persönliches Treffen“ notwendig
☹ Erneuerung der Schlüssel erfordert neues Treffen
☹ schlechte Skalierbarkeit
☹ Problem von langlebigen Schlüsseln
☹ keine dynamische Wahl des Verfahrens
☹ spätere Schlüsselpreisgabe legt auch die Kommunikation offen

Erster einfacher dynamischer Ansatz

- Diffie-Hellman-Austausch mit Authentifizierung
  - Authentifizierung hier als **`Auth(...)`**
  - Voraussetzung: Diffie-Hellman-Gruppe und somit Generator und Modulus bekannt

Alice

$g^a \bmod n$

$g^b \bmod n$

$K=g^{ab} \bmod n$

$K=g^{ab} \bmod n$

Bob

$Auth_A(K)$

$Check(Auth_A(K))$

$Auth_B(K)$

$Check(Auth_B(K))$

Probleme mit dem Ansatz

- Probleme des Austausch-Protokolls
  - Verwendung von Konstanten für
    - *Diffie-Hellman-Gruppe* und somit
    - *Generator und Modulus*
  - Sitzungsschlüssel als Eingabe der Authentifizierung
    - schwache Authentifizierungsfunktion kann Information offenlegen
  - beide Authentifizierungsnachrichten sehr ähnlich
    - Erzeugung der Authentifizierungsnachricht ohne Kenntnis des Schlüssels möglich

→ es geht schneller, *3 Nachrichten* wären ausreichend

Wie sieht das Protokoll mit drei Nachrichten aus?

Zweiter dynamischer Ansatz

- Dynamische Wahl der Diffie-Hellman-Gruppe und des Generators **(g,n)**
  - Überprüfung der Gruppe durch Bob!
- Authentifizierung unabhängig vom Sitzungsschlüssel
  - **Auth**-Funktion über alle Nachrichten und Felder bis zu diesem Zeitpunkt

Alice

DH-Gruppe,
$g^a \bmod n, Auth_A$

Bob

$Check(Auth_A)$
$K=g^{ab} \bmod n$

$Check(Auth_B)$
$K=g^{ab} \bmod n$

$g^b \bmod n, Auth_B$

Probleme mit dem zweiten Ansatz

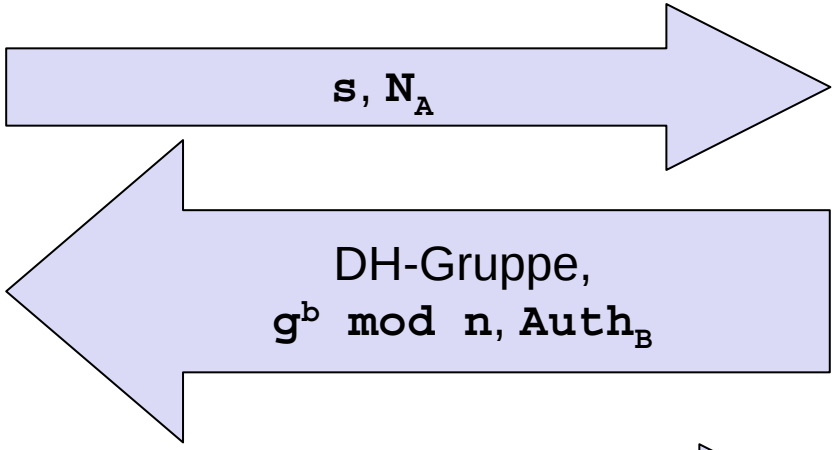
- Probleme des Austausch-Protokolls
  - Gewählte DH-Gruppe für Bob zu schwach
    - Abbruch des Protokolls
    - Optional: Fehlermeldung an Alice
    - Neustart des Protokolls mit neuer DH-Gruppe
  - Wiederholungsangriffe
    - Angreifer wiederholt abgefangenes Paket von Alice
    - Bob führt das Protokoll weiter aus (DoS)
    - Angreifer kann den Sitzungsschlüssel nicht lernen
    - Aber: Eintrag einer erfolgreichen Authentifizierung im Log von Bob
      - fehlerhafte Informationen bei späterer Fehlersuche
  - Variabel langer Schlüssel als Ergebnis des DH-Austauschs
    - Blockchiffren benötigen aber feste Schlüssellänge

Dritter dynamischer Ansatz

- Minimale Sicherheitsanforderung
  - Alice gibt eine Unterschranke **s** für Diffie-Hellman-Gruppe an
- Schutz vor Wiederholungsangriffen
  - Nonce N_X (Number only used once)
  - **Auth**-Funktion über alle Nachrichten und Felder bis zu diesem Zeitpunkt (und somit auch die Nonce)

Alice

Bob



Check(Auth_B)
K=hash(g^ab mod n)

Check(Auth_A)
K=hash(g^ab mod n)

Gefahren für Austauschprotokolle

- Wiederholungsangriffe (Replay Attack)
  - Wiederholung von zuvor aufgezeichneten Nachrichten

- Denial-of-Service-Angriffe (Denial of Service Attack)
  - Erschöpfen einer physischen (Speicher oder CPU-Zeit) oder einer virtuellen Ressource (Zustände)
- Downgrade Attack
  - Löschen von starken Algorithmen aus der Liste der unterstützten Verfahren
  - Angreifer schafft es, dass ein schwaches Verfahren gewählt wird
- Verkürzungsangriff (Truncation Attack)
  - ungesichertes (einseitiges) Beenden einer Verbindung durch Dritten
  - ein Teilnehmer könnte mehr Daten gesendet haben als der andere empfangen hat
- Schlüsselhinterlegung bei einer vertrauenswürdigen Organisation
  - Missbrauch des hinterlegten Schlüssels

Netzsicherheit – Architekturen und Protokolle
Internet Key Exchange

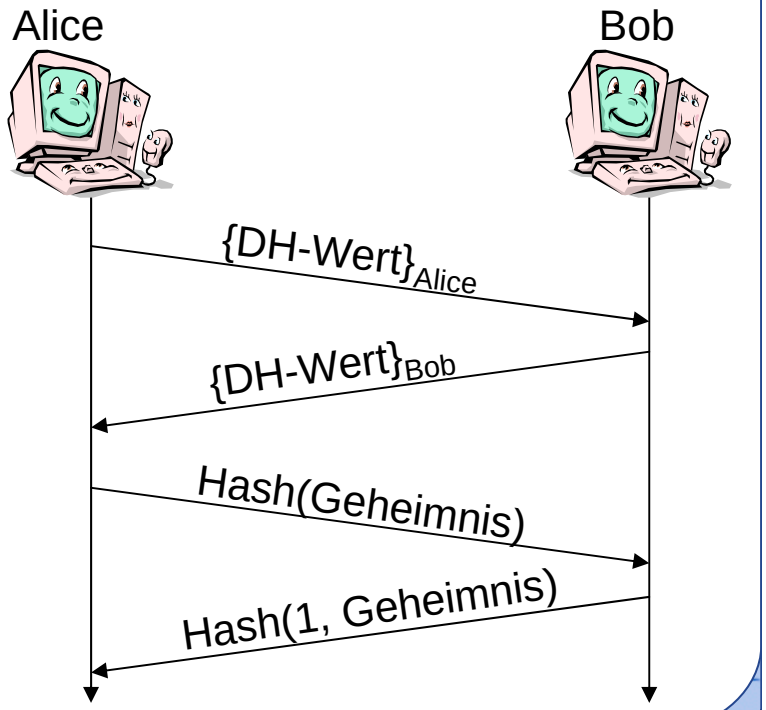
1 Motivation
2 Bausteine des Schlüsselaustauschs
3 Internet Key Exchange

Perfect Forward Secrecy

- Perfect Forward Secrecy (PFS)
  - Langlebige Schlüssel sind unabhängig vom Sitzungsschlüssel
  - Vernichtung des Sitzungsschlüssel nach Beendigung der Kommunikation
  - Aufzeichnen aller Nachrichten und Einbruch in die Endsysteme führt nicht zur Offenlegung der Kommunikation
  - wird auch in dynamischen Schlüsselaustauschprotokollen verwendet

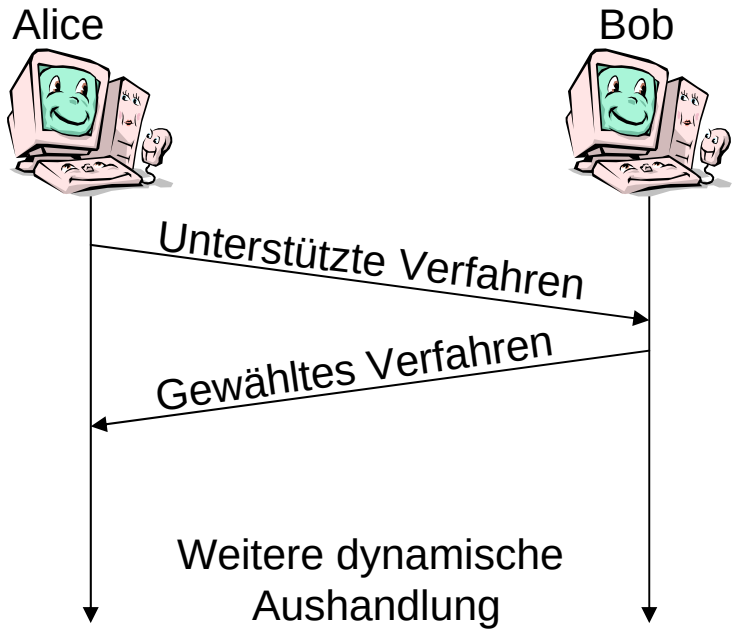
- Schlüsselhinterlegung bei vertrauenswürdiger Organisation
  - Schlüsselwiederherstellung
  - Problem: Missbrauch des hinterlegten Schlüssels

  → PFS-Algorithmen können vor dieser Schwachstelle schützen



Dynamische Wahl der Verfahren

- Verhandlung der Sicherungsmechanismen
  - einfache Migration zu kryptographisch stärkeren Verfahren
  - Ausschluss gebrochener Verfahren
  - keine Festlegung durch das Standardisierungsgremium notwendig
    - Verfahren für Interoperabilität

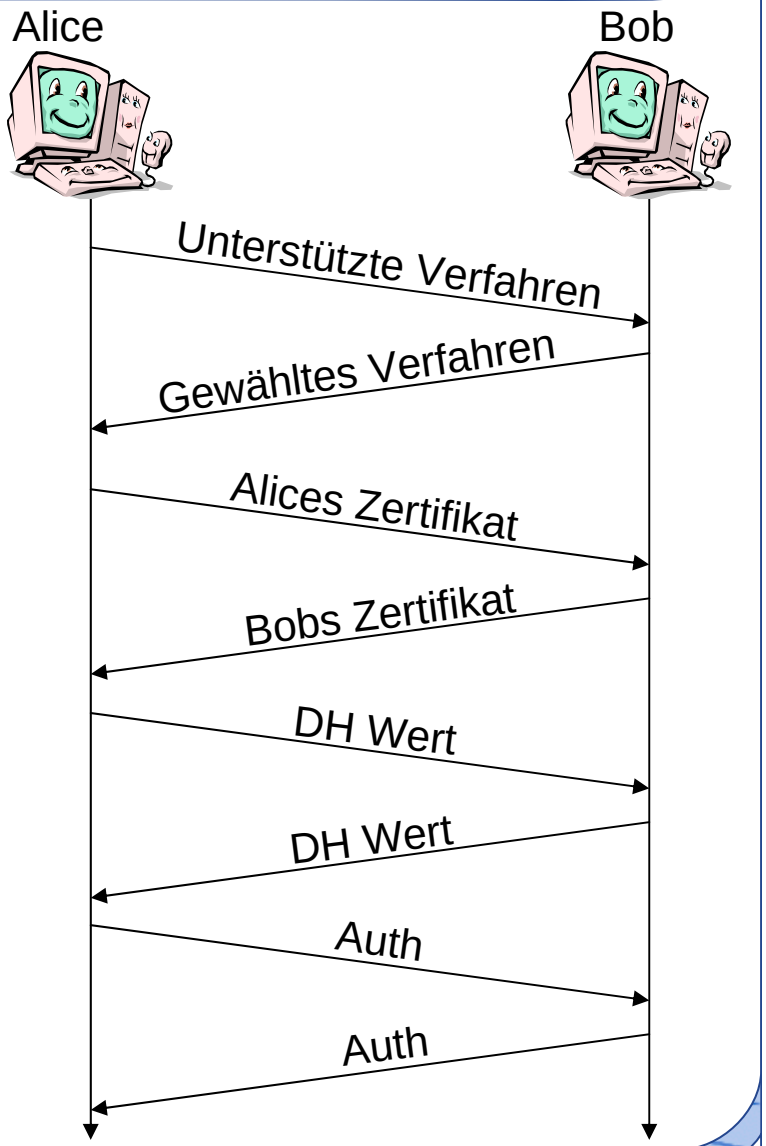


- Problem 1: Komplexität des Protokolls
  - wie werden Verfahren beschrieben?
  - welche Kombinationen sind zulässig?

- Problem 2: Angreifer löscht die Verfahren, die er nicht brechen kann
  - Verkürzungsangriff: Downgrade Attack
  - Alice und Bob haben noch kein gemeinsames Geheimnis, um die Nachrichten zu schützen

Verhinderung von Downgrade-Angriffen

- Ziel: Erkennung von Änderungen an Nachrichten
  - Löschen kryptographisch starker Algorithmen
- **`Auth`**-Funktion über alle gesendeten Nachrichten und Felder
  - bis jetzt noch keine vertraulichen Daten gesendet
  - bei Nichtübereinstimmen von empfangenem und berechnetem Authentifizierungswert wird Schlüsselmaterial ungültig gemacht, Verfahren abgebrochen

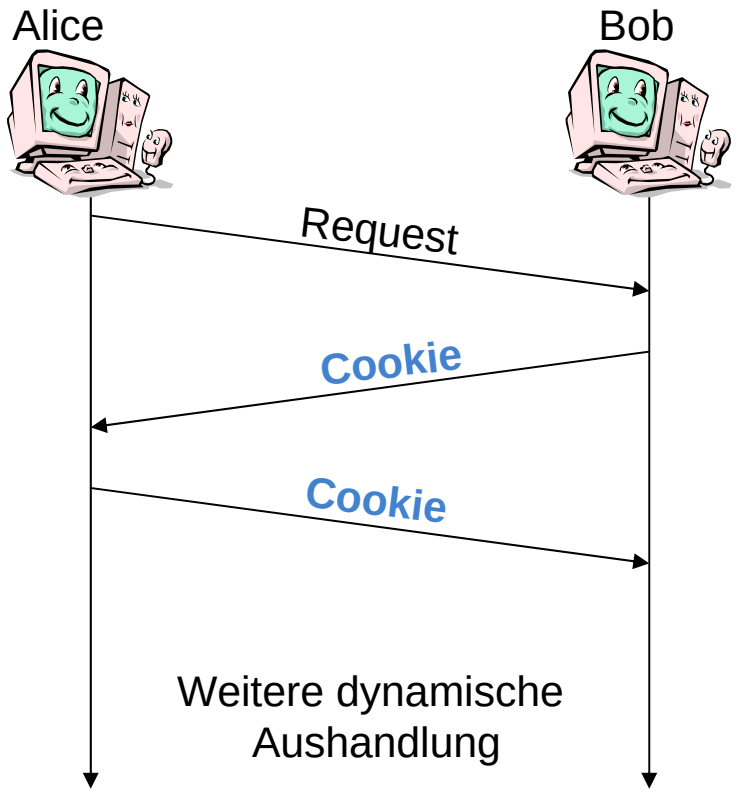


Cookies und Puzzles

- Problem: Angreifer kann Nutzer durch Erschöpfen einer physischen (Speicher) oder einer virtuellen Ressource (Zustände) aussperren

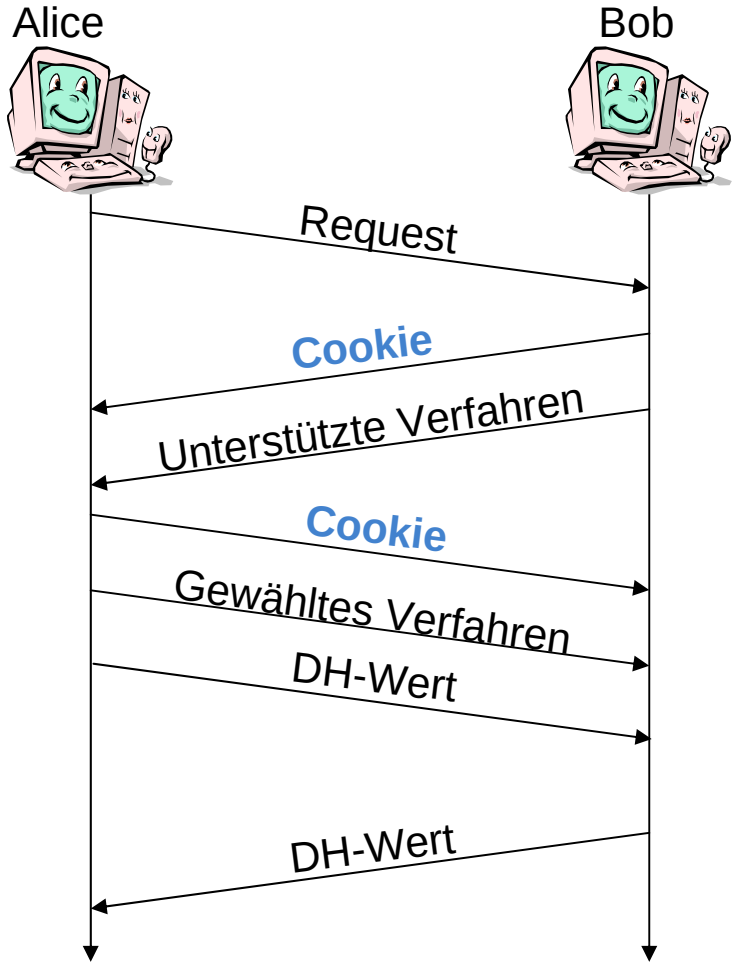
- Cookies
  - Berechnung von Cookies aus lokalen Daten und Paketdaten
  - Ziel
    - keinen lokalen Zustand halten
    - Erkennung gefälschter Absenderadressen

- Puzzles
  - Stellen einer rechenintensiven Aufgabe an Stelle des Cookies
  - Abhängig von Anzahl Requests
  - wieder keine Zustandserzeugung



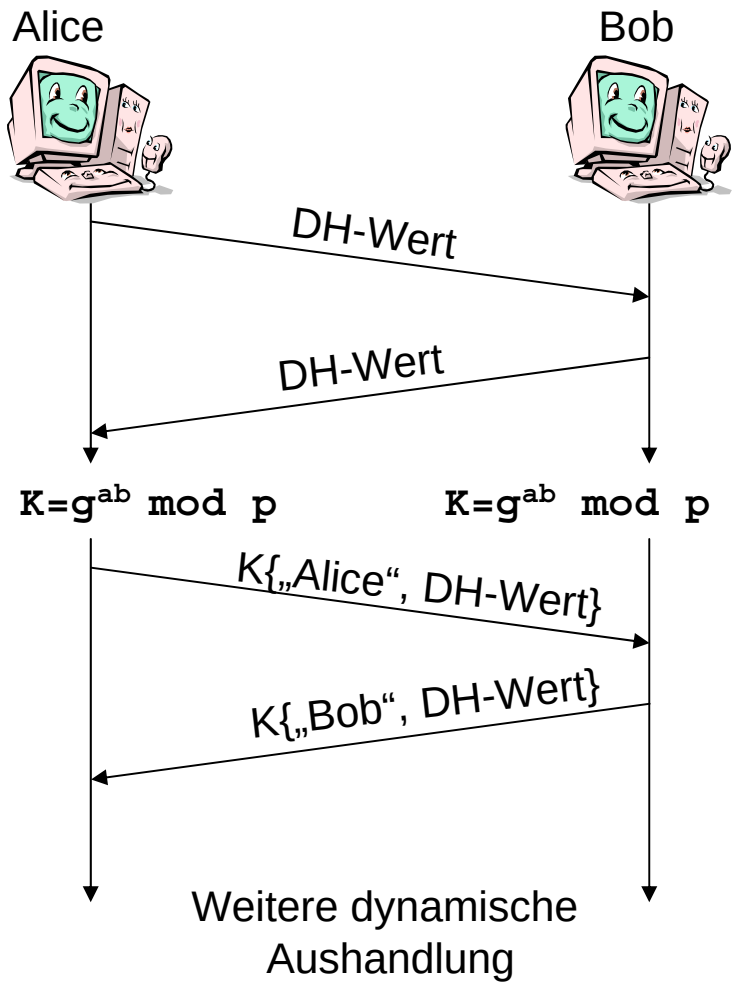
Einschränkung von DoS-Angriffen

- Ziel: keinen lokalen Zustand vor der Überprüfung Alices Adresse!
- Zustandslose Cookies
  - Codierung des Zustands in Cookie
  - Z.B. Hash über langlebiges Geheimnisse + Nachrichtendaten
- Rechenintensive Operationen werden zuerst vom Anfragenden ausgeführt
  - Zertifikatsüberprüfung
  - Diffie-Hellman-Berechnung
  - Signieren des Diffie-Hellman-Werts



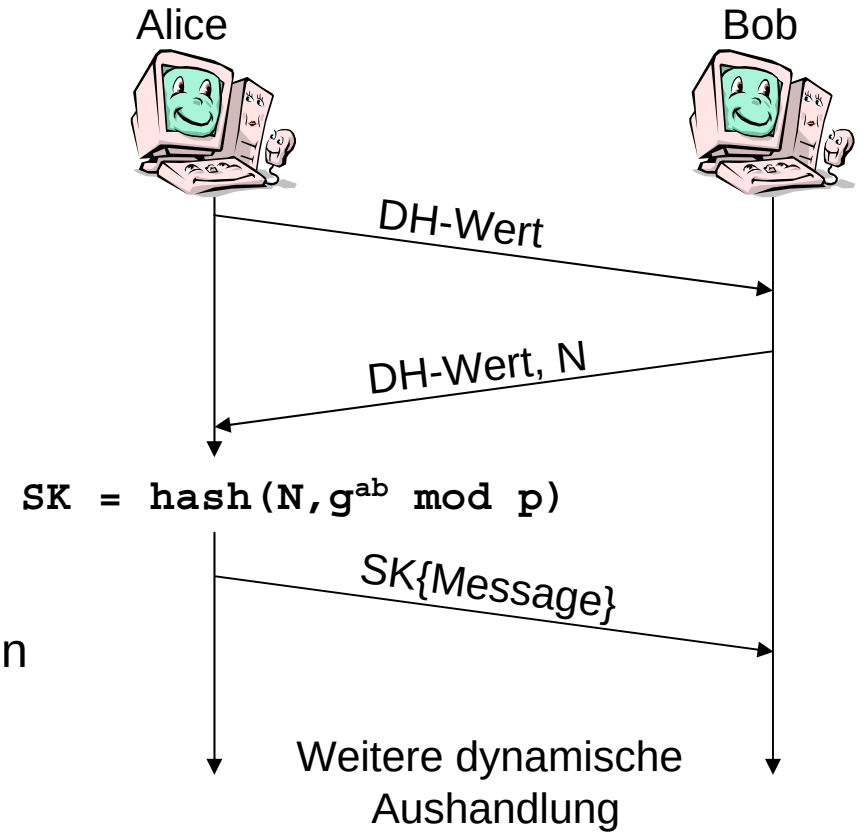
Schutz der Identitäten

- Problem: passiver Angreifer kann die Identitäten der Kommunikations-partner abhören
- Lösung
  - Anonymer Diffie-Hellman Austausch
  - Übertragung der Identität geschützt durch den ausgetauschten Schlüssel
  - Übertragung des signierten DH-Werts
- Problem: kein Schutz vor aktiven Angreifern (Man-in-the-Middle)
- Lösung: nur Kenntnis des öffentlichen Schlüssels vor dem Austausch schützt beide Identitäten



Live Partner Reassurance

- Wiederverwendung von Diffie-Hellman-Werten
  - → rechenintensive Arbeit so selten wie möglich durchführen
- Problem: Wiederholungsangriffe
- Lösung: Nonces
  - beliebige Zufallszahl (Nonce)
  - für jede Verbindung eine andere
  - gemeinsames Geheimnis hängt ab von
    - Diffie-Hellman-Austausch
    - Nonce
    - → **SK**: Seeded Key
  - Erkennung von Wiederholungsangriffen auch bei Wiederverwendung des Diffie-Hellman-Werts



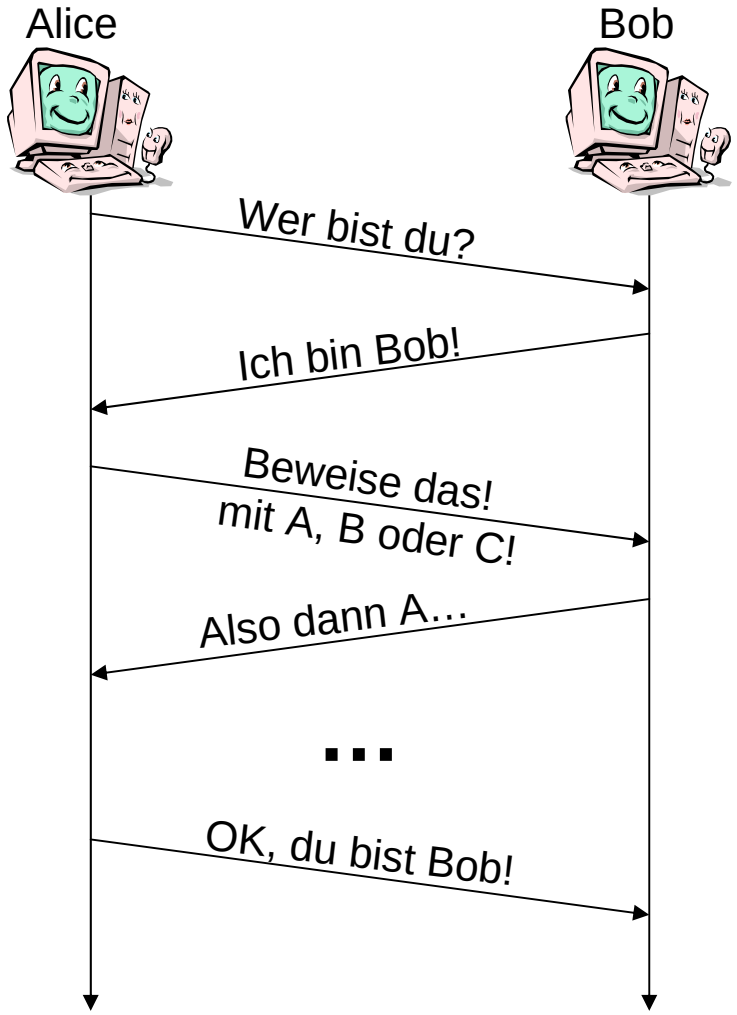
Schlüsselerneuerung

- Aushandlung neuer Schlüssel notwendig, wenn
  - Lebenszeit des Schlüsselmaterials abgelaufen ist
  - maximal zu schützende Datenmenge gesichert wurde
  - Anti-Replay-Counter überläuft
    - Sequenznummer zur Erkennung von Duplikaten
  - neue Attribute für das Schlüsselmaterial benötigt we

- Neuaushandlung der Schlüssel
  - Schlüsselerneuerung für Schlüsselaustausch-Kanal
  - Schlüsselerneuerung für Datenaustausch-Kanal
  - DH-Austausch, wenn PFS gefordert ist
    - Unabhängigkeit von langlebigem und aktuellem Schlüssel

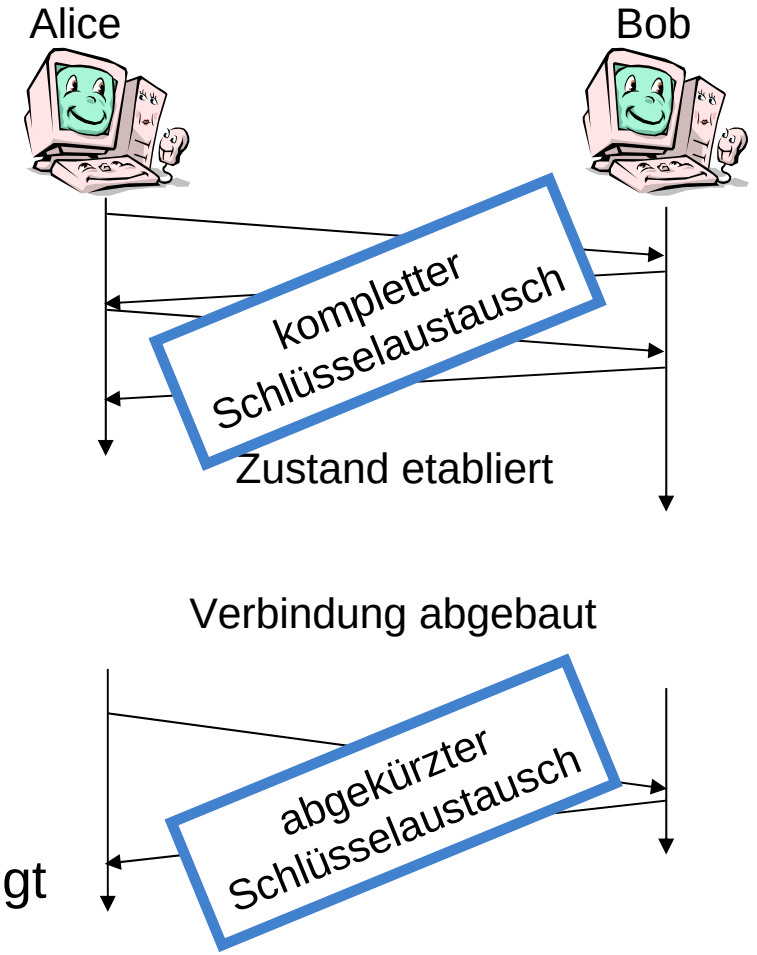
Modulare Authentifizierung

- Authentifizierung
  - Kommunikationspartner *beweist* Identität
  - Beispiele für Verfahren
    - Passwort, PIN, Schlüssel
    - Zertifikat, Smart-Card, SIM-Karte
- Modulare Authentifizierung
  - Entkopplung des Schlüsselaustauschverfahren vom Authentifizierungsverfahren
  - zukünftige Verfahren können einfach integriert werden: Kompatibilität
  - Authentifizierung kann auch durch Dritten erfolgen, siehe Kapitel Infrastrukturschutz
- EAP ist ein Protokoll zur modularen Authentifizierung



Sitzungswiederaufnahme

- Sitzungswiederaufnahme
  - *session resumption*
  - Schlüsselaushandlung teuer
    - nach kurzer Pause kürzt man den Aufwand für DH, EAP, RSA, …
  - Ansatz 1: zustandsbehaftet
    - Bob speichert Zustand, Alice bekommt i.d.R. nur ID
  - Ansatz 2: zustandslos (für Bob)
    - Bob kodiert kompletten Zustand in geschütztes Cookie o.ä.
    - Alice speichert den Zustand und legt ihn wieder vor
    - bessere DoS-Resistenz



Bausteine

Welche vorgestellten Bausteine implementiert Kerberos (nicht)?

Netzsicherheit – Architekturen und Protokolle
Internet Key Exchange

1 Motivation
2 Bausteine des Schlüsselaustauschs
3 Internet Key Exchange

Internet Key Exchange

- Sichere Aushandlung von IPsec-Parametern
  - IKEv1 wurde in drei „Standard Track“ RFCs spezifiziert
  - IKEv2 spezifiziert in RFC 4306 (Dez. 2005)

- Ziele von Internet Key Exchange
  - *Aufbau eines gesicherten Kanals*
    - ISAKMP (Internet Security Association and Key Management Protocol)
      - Baukasten für Parameter-Aushandlungs-Protokolle
      - Definiert Format für Dateneinheiten
    - gegenseitige Authentifizierung, Diffie-Hellman-Austausch
    - Aufbau einer *IKE-SA* (oder auch ISAKMP-SA)
  - *Aushandlung des IPsec-Schlüsselmaterials*
    - Wahl der zu verwendenden Verfahren
    - Generierung der Schlüssel

IKEv2 Überblick

- IKEv2 wurde als Ersatz für IKEv1 entworfen
  - IKEv1 sehr komplex und umstritten
  - IKEv1 nur Authentifizierung mit Public-Key oder Pre-Shared-Secret
    - Erweiterungen wie das unsichere XAUTH (siehe Cisco VPN) waren die Folge, um Authentifizierung mit Passwort zu unterstützen
- Verbesserungen in IKEv2
  - geringere Komplexität
    - nur noch ein Modus, IKEv1 hatte 8 Modi
  - Unterstützung von Cookies für DoS-Resistenz
  - Geringere Latenz beim Aufbau (2 Umlaufzeiten)
  - Konfigurations-Daten können getunnelt werden
  - besserer Umgang mit NAT-Gateways
  - modulare Authentifizierung per EAP

Einschub: Definitionen

- Security Association (SA)
  - Sicherheitsassoziation zwischen zwei Kommunikationspartnern
  - repräsentiert Verbindung und Zustand
  - kryptographisches Material (Schlüssel, IV, …)
  - anhand des SPI selektierbar
    - SPI: Security Parameter Index
    - Index in einer Tabelle von Einträgen

- Traffic Selector (TS)
  - Neuerung in IKEv2
  - beschreibt den zu schützenden Verkehr
  - notwendig, um Verkehr einer SA zuzuordnen
    - z.B: `TCP / IP1:Port1` → `IP2:Port2`
    - z.B: `UDP / IP-Range:*` → `IP-Range:*`

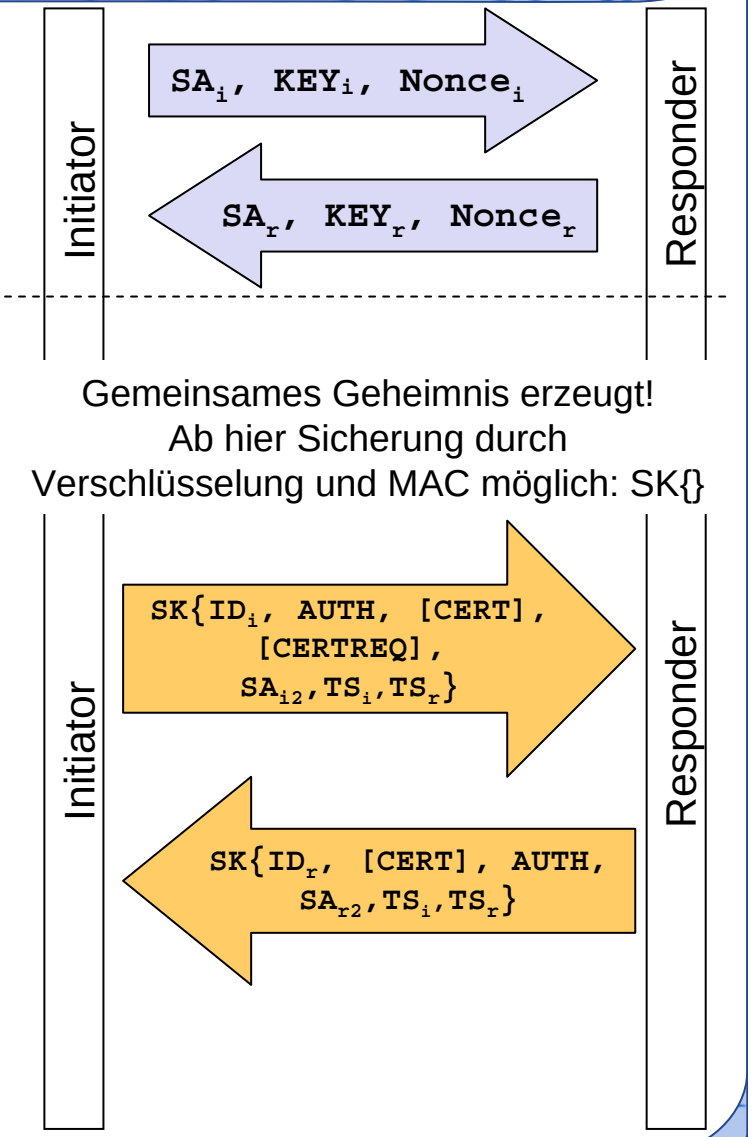
Initialer Austausch

- **IKE_SA_INIT** – Nachricht 1 und 2
  - Wahl/Auswahl von Algorithmen (SA)
  - Diffie-Hellman-Austausch (KEY)
  - Anschließend kann die „IKE-SA“ aufgebaut werden
    - Sicherung und Verschlüsselung möglich

- **IKE_AUTH** – Nachricht 3 und 4
  - Überprüfen der Identitäten (ID)
  - Authentizieren des DH-Austausches
  - Aushandlung der „Child-SA“ (SA_{i2}/SA_{r2})
  - Austausch von Traffic-Selectoren (TS_i, TS_r)
  - Austausch von Zertifikaten (CERTREQ, CERT)

- ISAKMP-Payloads enthalten

SA:	Auswahl bzw. gewähltes Verfahren
KEY:	Diffie-Hellmann Wert (DH)
Nonce:	Zufallswert
ID:	Identitäten der Kommunikationspartner
CERT:	Verwendetes Zertifikat
CERTREQ:	Anforderung von Client-Zertifikat
AUTH:	Signierter Hash der Austausch-Nachrichten
TS:	Traffic Selector
[…]	bedeutet optionaler Payload …



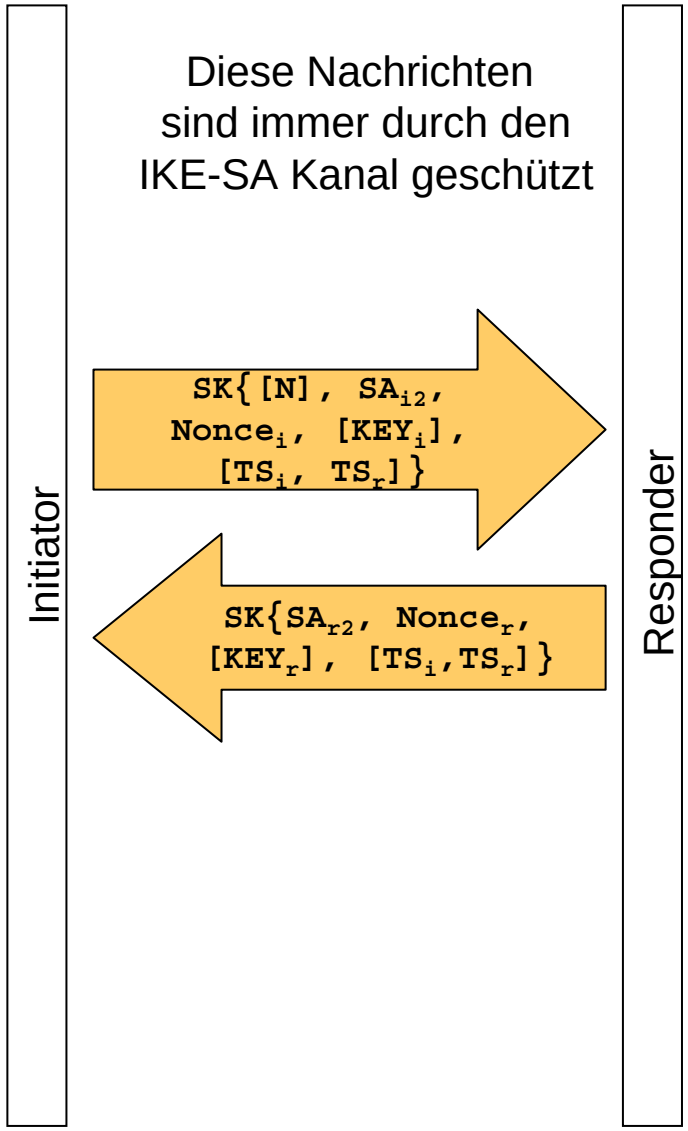
Aushandlung von Child-SAs

- Falls IKE-SA schon aufgebaut ist, kann man eine Child-SA auch direkt aushandeln
  - für Rekeying oder weitere SAs
  - früher als Phase 2 (Quick Mode) bezeichnet (IKEv1)

- CREATE_CHILD_SA (Nachricht 1 & 2)
  - eventuell zusätzlicher DH-Austausch
  - Aushandlung der „Child-SA“ (SA_{i2}/SA_{r2})
    - hier wieder Vorschläge und Auswahl
  - Traffic-Selectoren, falls neue SA
    - bei Rekeying nicht notwendig

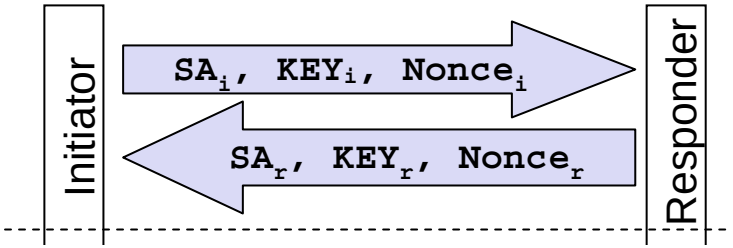
- ISAKMP-Payloads enthalten

SA:	Auswahl bzw. gewähltes Verfahren
KEY:	Diffie-Hellmann Wert
Nonce:	Zufallswert, gehen in Schlüsselgen. ein
N:	Notify (Benachrichtigungs-Payload)
TS:	Traffic Selector

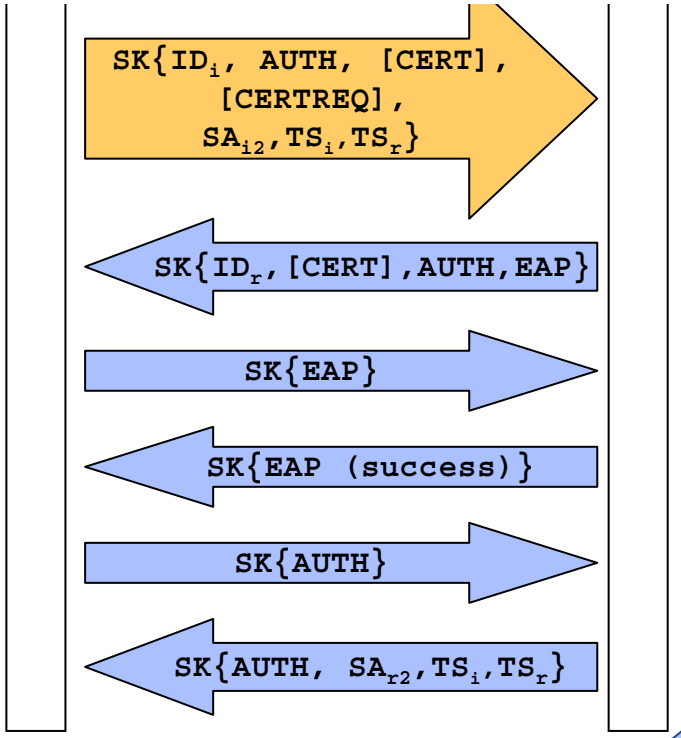


Initialer Austausch und EAP

- Nachrichten 1-3 wie bisher
  - ab Nachricht 4 unterschiedlich
- Nachrichten 4-7 modulare Authentifizierung mittels EAP
- Nachricht 8 schließt Aushandlung von Client-SA ab
- Motivation
  - Extensible Authentication Protocol (EAP) ermöglicht nahezu beliebige Protokolle zur Authentisierung
  - Authentication „Plug-and-Play“
  - siehe Kapitel Infrastrukturschutz

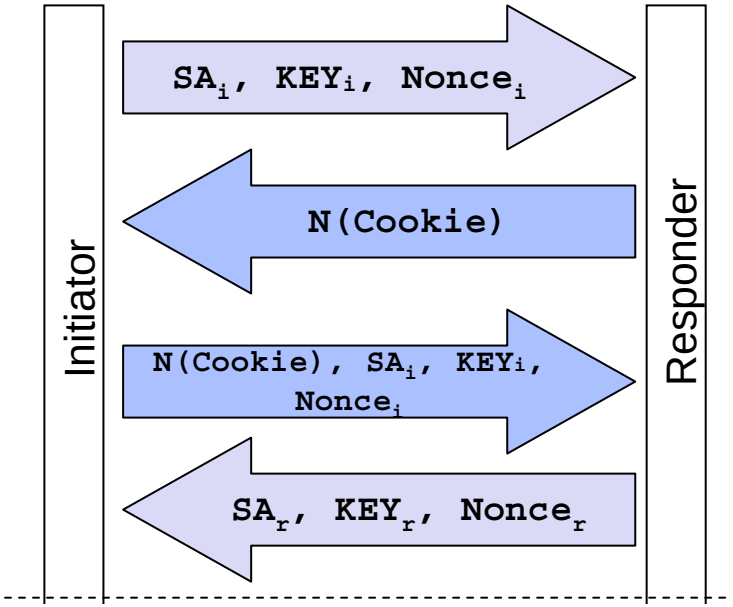


Gemeinsames Geheimnis erzeugt! Ab hier Sicherung durch Verschlüsselung und MAC möglich: SK{}

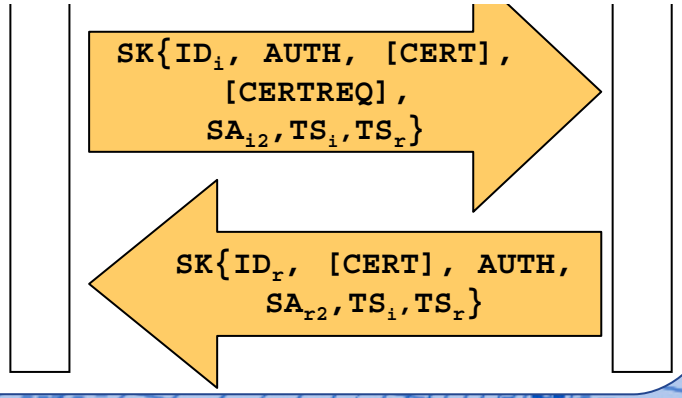


Initialer Austausch und DoS

- Nachricht 1 wie bisher
- Falls Responder einen DoS-Angriff vermutet
  - Nachricht 2: Notify (N) mit Cookie
  - Nachricht 3: Initiator muss mit Cookie antworten
    - Cookie: 1-64 Oktette lang, von Responder beliebig wählbar (siehe nächste Folie)
- sonst: wie bisher
- Motivation:
  - Zustand muss erst nach Nachricht 3 gehalten werden
  - DoS wird wesentlich schwieriger!
    - denn Spoofing ist nicht mehr möglich und eine Nachricht reicht nicht mehr



Gemeinsames Geheimnis erzeugt! Ab hier Sicherung durch Verschlüsselung und MAC möglich: SK{}



Initialer Austausch und DoS (2)

- Erzeugen vom Cookie, Vorschlag nach IKEv2
  - **Cookie = <ID> | Hash(N_i | IP_i | SPI_i | <secret>)**

- Tabelle von Geheimnissen

ID	Secret
1057	4711
1058	1234
1059	3344

- Vorteile
  - Ändern vom Geheimnis während Angriffen möglich
  - Angreifer muss derzeit gültige ID raten
    - falls ID 32bit lang: x aus 2^{32}, im Beispiel x=3

Konfigurationsdaten über IKEv2

- IKEv1 konnte keine Konfigurationsdaten transportieren
  - man sollte DHCP o.ä. verwenden
  - aber was passiert, wenn für eine Sicherheitsassoziation (SA) kein DHCP verwendet werden kann/soll?

- Neuerung bei IKEv2
  - Configuration Payload (CP)
  - Pull-Verfahren
    - Teilnehmer sendet **`CFG_REQUEST`**
    - Gegenseite antwortet mit **`CFG_REPLY`**
  - Push-Verfahren
    - Teilnehmer sendet **`CFG_SET`** um Einstellung zu machen
    - Antwort per **`CFG_ACK`** oder Notify für Fehler

Beispiel Attribute

Attribute Type	Value	Multi-Valued	Length
RESERVED	0		
INTERNAL_IP4_ADDRESS	1	YES*	0 or 4 octets
INTERNAL_IP4_NETMASK	2	NO	0 or 4 octets
INTERNAL_IP4_DNS	3	YES	0 or 4 octets
INTERNAL_IP4_NBNS	4	YES	0 or 4 octets
INTERNAL_ADDRESS_EXPIRY	5	NO	0 or 4 octets
INTERNAL_IP4_DHCP	6	YES	0 or 4 octets
APPLICATION_VERSION	7	NO	0 or more
INTERNAL_IP6_ADDRESS	8	YES*	0 or 17 octets
RESERVED	9		
INTERNAL_IP6_DNS	10	YES	0 or 16 octets
INTERNAL_IP6_NBNS	11	YES	0 or 16 octets
INTERNAL_IP6_DHCP	12	YES	0 or 16 octets
INTERNAL_IP4_SUBNET	13	YES	0 or 8 octets
SUPPORTED_ATTRIBUTES	14	NO	Multiple of 2
INTERNAL_IP6_SUBNET	15	YES	17 octets

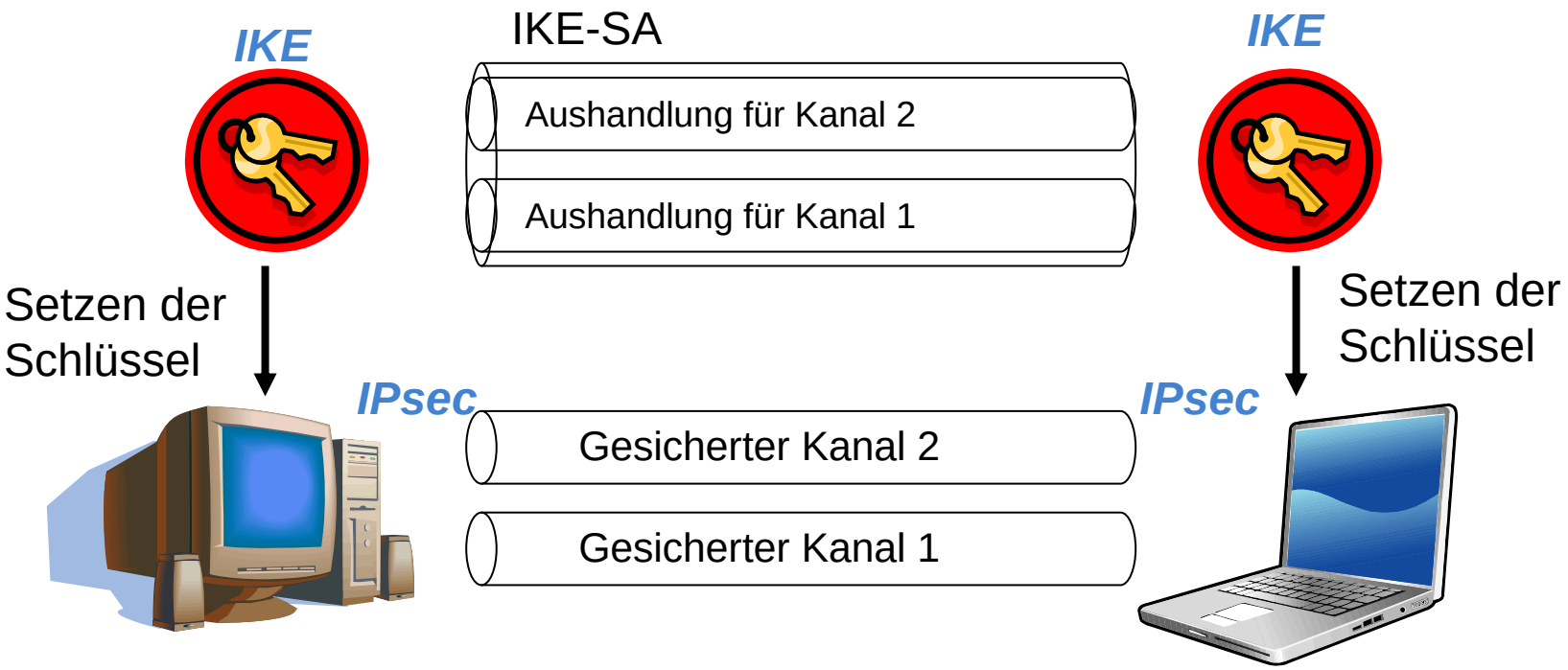
* These attributes may be multi-valued on return only if multiple values were requested.

NAT-Traversal

- Network Address Translation (NAT) ändert IP-Adressen/Ports

- Lösung: IKEv2 transportiert mittels Notify-Payload den Hash der Adressen (SPI, IP, Port) für jeweils beide Seiten (Initiator und Responder)
- daraufhin kann Gegenseite NATs detektieren

IKE Zusammenfassung



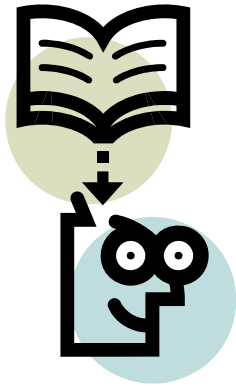
- Zusammenfassung der Phasen
  - IKE-SA schützt Aushandlung weiterer Schlüssel
  - Child-SA stellt Schlüsselmaterial für Anwendung dar (IPsec)
  - Anwendung (IPsec) sichert den Datenaustausch

Überprüfen Sie, welche vorgestellten Bausteine in IKEv2 verwendet werden!

Wie wurden die Mechanismen integriert?

Letzte Vorlesung

- Fahrplan
  - 01.07.09 Infrastrukturschutz-1
  - 08.07.09 Infrastrukturschutz-2
  - 15.07.09 Privilege Management Infrastructure



- 22.07.09 → Wiederholungs-Vorlesung
  - welche Themen sollen noch einmal wiederholt werden?
  - wo habt ihr noch Fragen? Unklarheiten?
  - bitte per Email an mayer@tm.uka.de
  - Vorschläge/Fragen bis spätestens diesen Freitag!

Literatur

Bücher (beziehen sich noch auf RFC240x-IPsec von 1998)

- S. Frankel; Demystifying the IPsec Puzzle; Artech House, 2001
  - gutes IPsec-Buch (noch IKEv1)
- C. Kaufmann, R. Perlman, M. Speciner; Network Security – Private Communication in a public world; Prentice Hall; 2003
  - allgemeineres Buch

Standards und Papers

- RFC4301 – RFC4308 Dez. 2005 IPsec Standards, IETF
  - aktuelle Standards
- Ferguson, N und Scheier, B.; A Cryptographic Evaluation of IPsec“, http://www.counterpane.com/ipsec.html, Feb. 1999
- Simpson, W.; IKE/ISAKMP Considered Dangerous; Draft; Jun. 1999
- RFC 2401 – RFC 2409 1998 IPsec Standards, IETF
  - veraltete Standards