IT-Sicherheit

- Sicherheit vernetzter Systeme -

Kapitel 11: Netzsicherheit - Schicht 3: Network Layer - IPSec

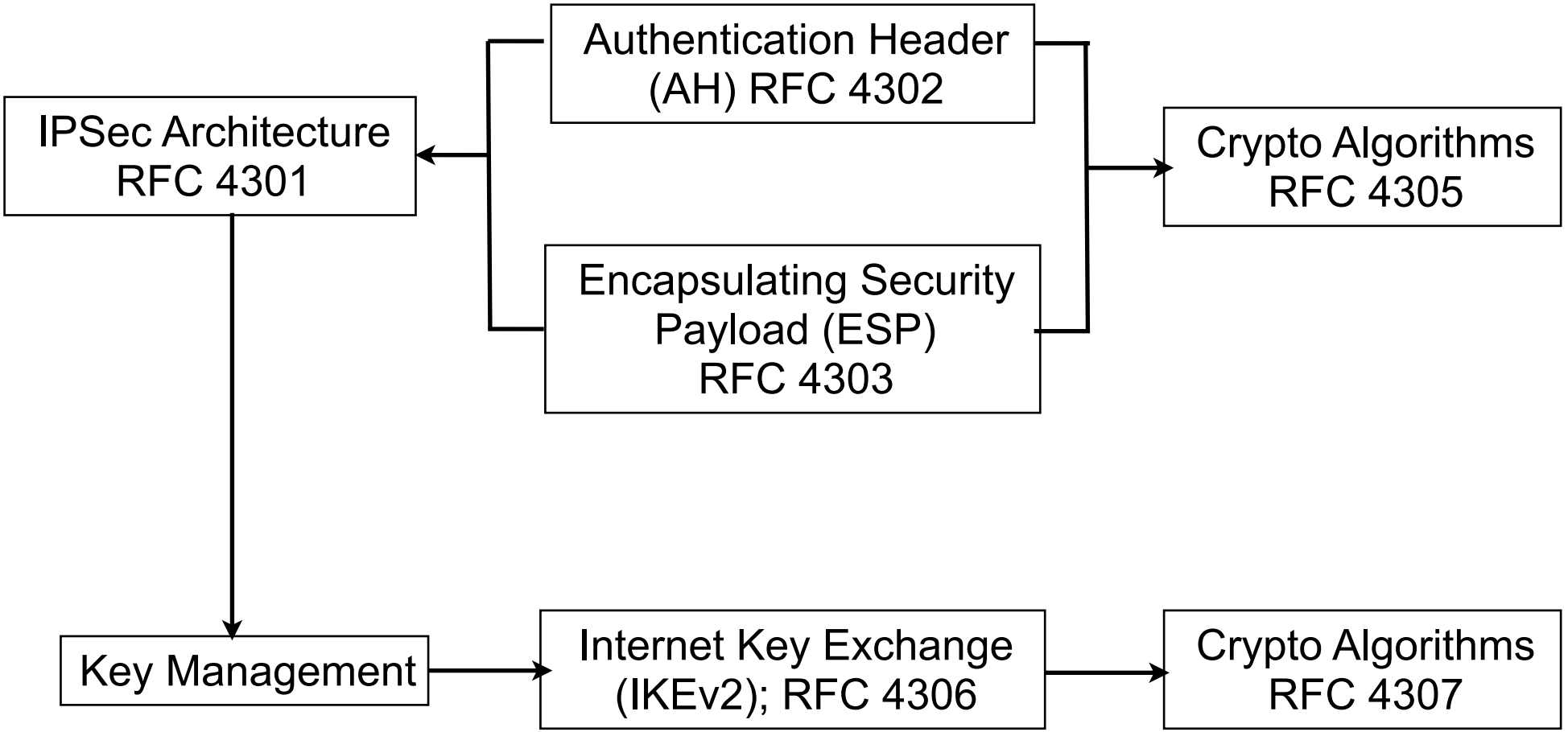
Inhalt

- Schwächen des Internet-Protokolls (IP)
- IPSec: Sicherheitserweiterung des IP-Protokolls
  - Authentication Header (AH)
  - Encapsulating Security Payload (ESP)
  - Anwendungsbeispiele
- Schlüsselverteilung mit IKEv2 (Internet Key Exchange)
  - Aufbau einer IKE SA
  - Authentisierung der Partner
  - Aufbau der IPSec SA
  - Erzeugung von Schlüsselmaterial

IP: Gefahren und Schwächen

- Vertraulichkeit:
  - Mithören einfach möglich
  - Man-in-the-middle Attack
  - Verkehrsfluss-Analyse
- Integrität:
  - Veränderung der Daten
  - Session Hijacking
  - Replay Angriffe
- Authentisierung:
  - IP Spoofing
- Lösung: IPSec (Sicherheitserweiterungen für IP)
  - Integraler Bestandteil von IPv6
  - Als Erweiterungs-Header auch für IPv4 einsetzbar
  - Motivation: Erspart den Aufwand für entsprechende Gegenmaßnahmen in jeder einzelnen Anwendung (d.h. auf höheren Schichten)

IPSec-relevante Spezifikationen



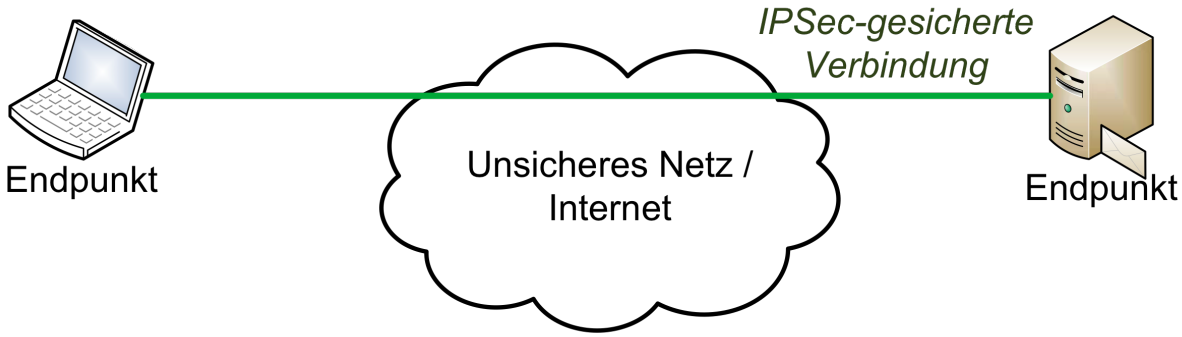
IPSec Überblick

- IP Authentication Header (AH)
  - Integrität des verbindungslosen Verkehrs
  - Authentisierung des Datenursprungs (genauer: des IP-Headers)
  - Optional: Anti-Replay Dienst
- IP Encapsulating Security Payload (ESP)
  - Vertraulichkeit (eingeschränkt auch für den Verkehrsfluss)
  - Integrität
  - Authentisierung (der sog. Security Association)
  - Anti-Replay Dienst
- Jeweils zwei verschiedene Betriebsmodi:
  - Transport Mode
  - Tunnel Mode

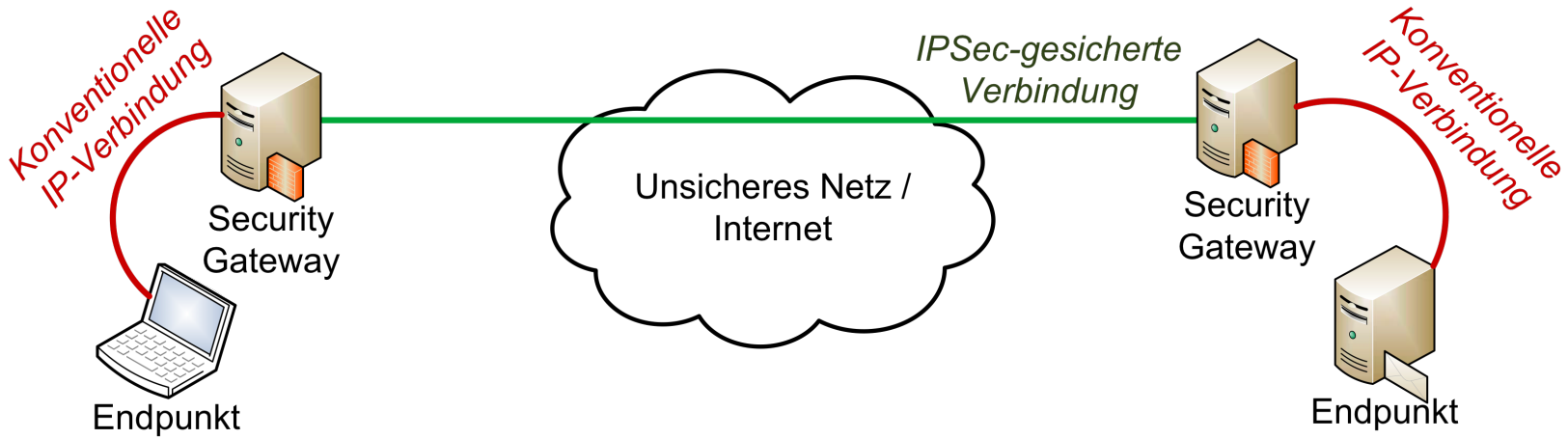
IPSec: Transport Mode / Tunnel Mode

- In beiden Modi können AH und/oder ESP eingesetzt werden

Transport Mode

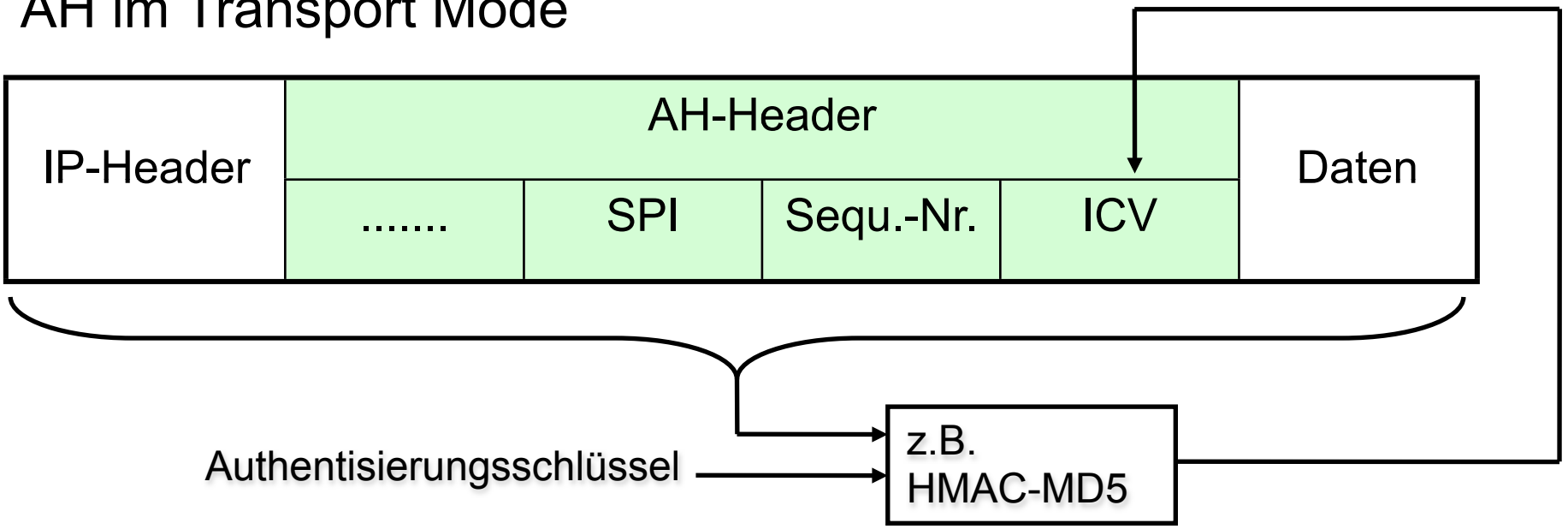


Tunnel Mode



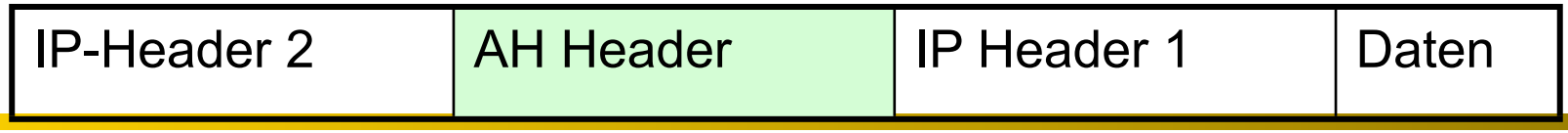
Authentication Header (AH) - Überblick

- AH im Transport Mode

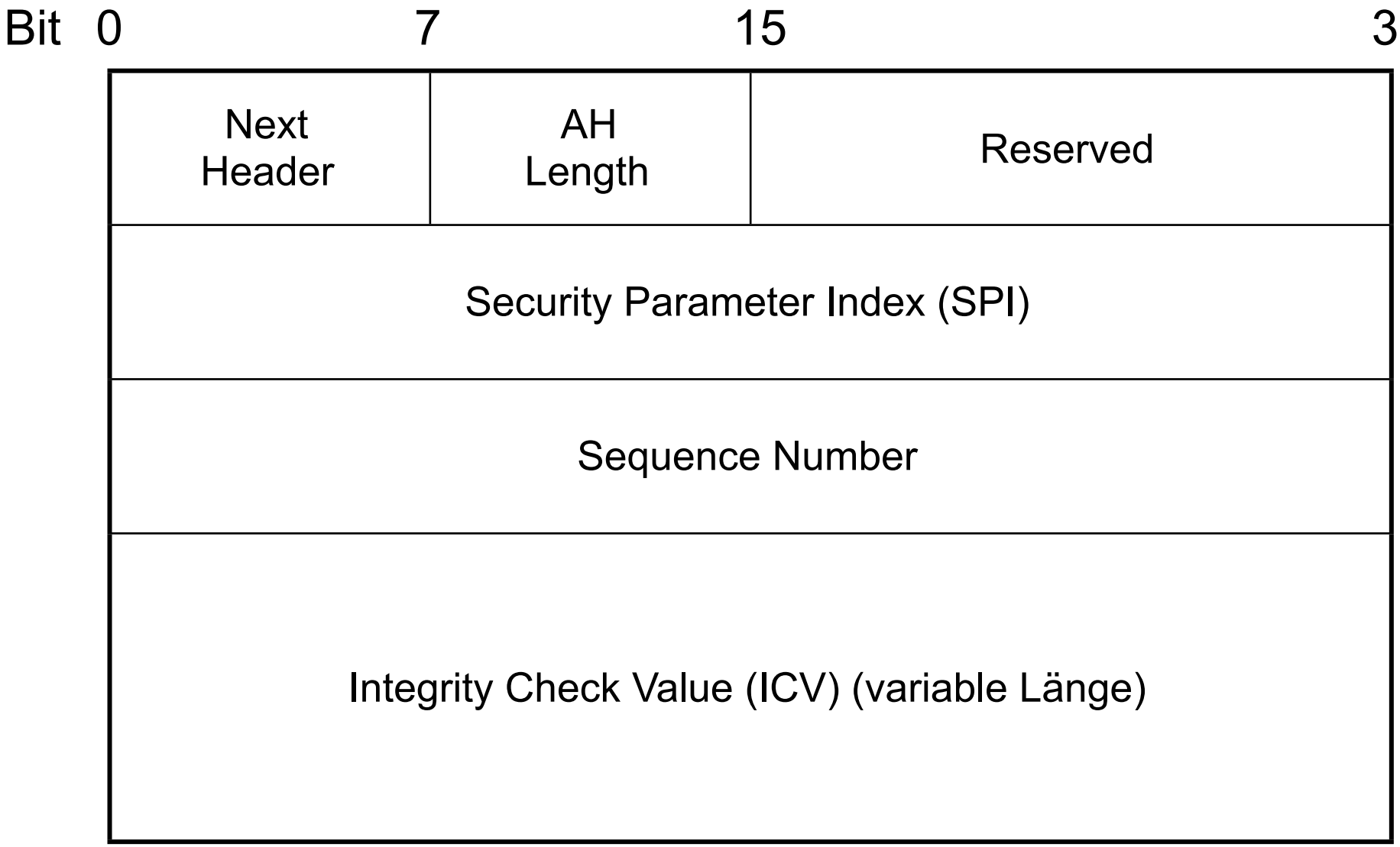


  - Integrität durch MAC
  - Authentisierung durch gemeinsamen Schlüssel
  - Anti-Replay durch gesicherte Sequenznummer

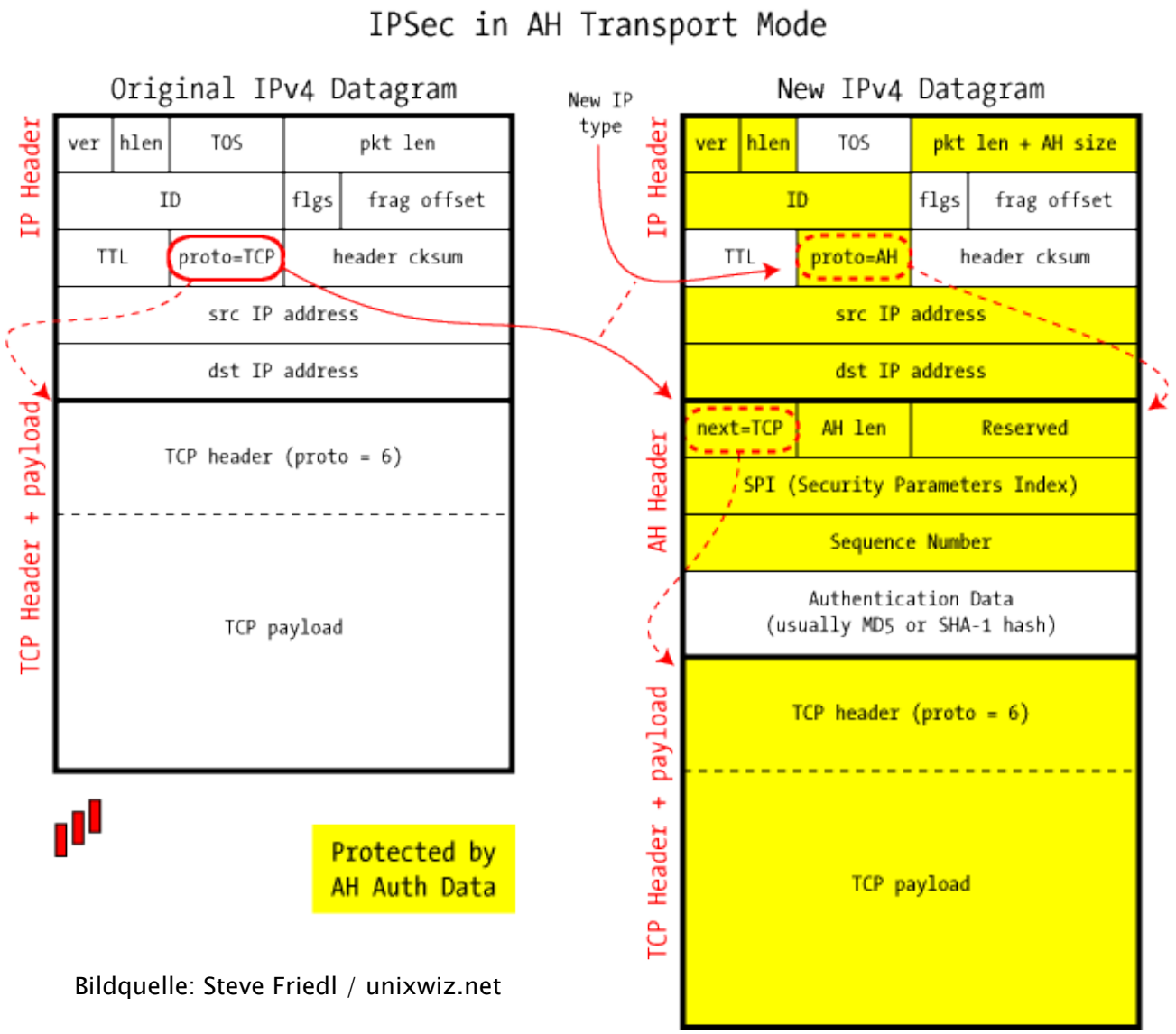
- AH im Tunnel Mode



AH Header im Detail

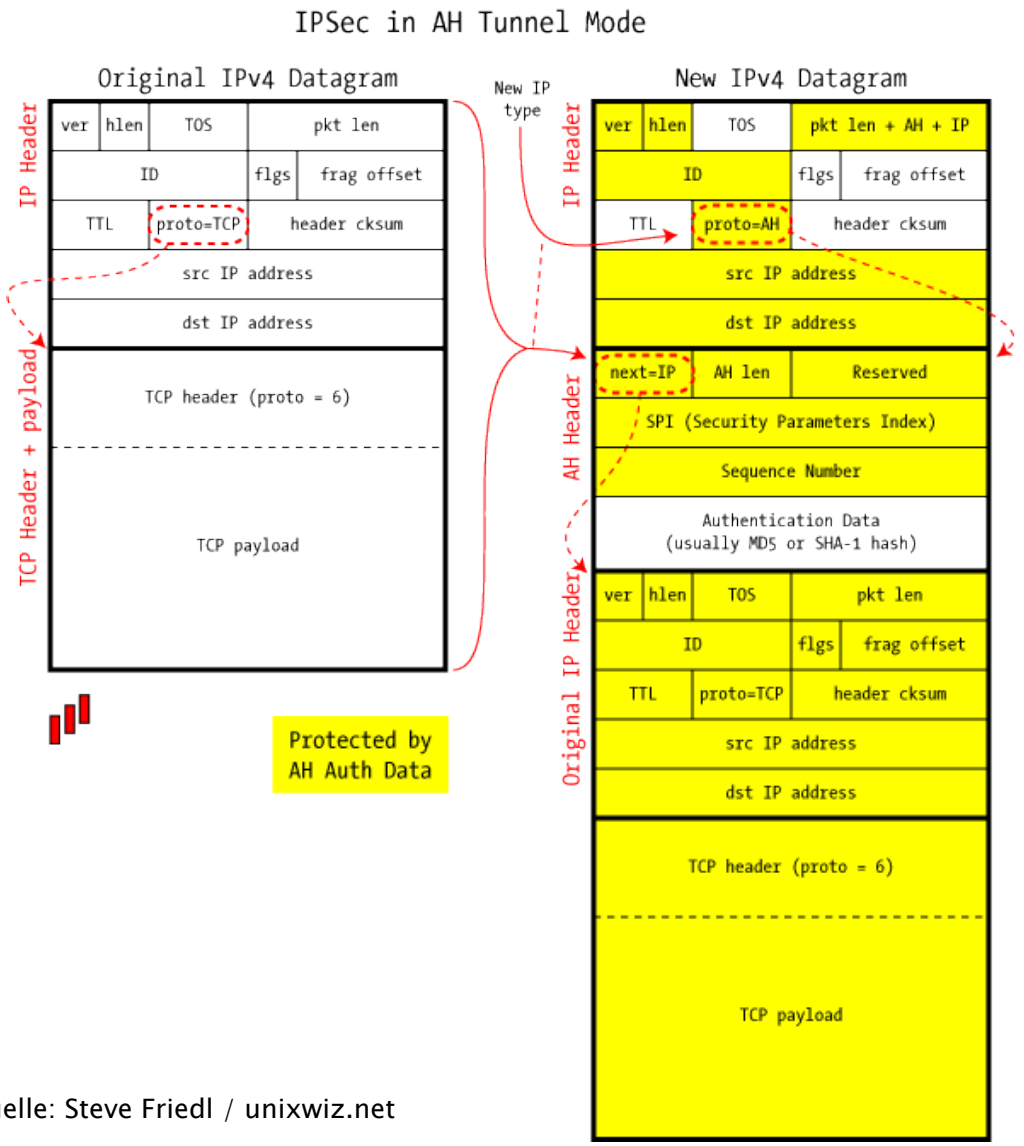


AH Transport Mode - Details



Bildquelle: Steve Friedl / unixwiz.net

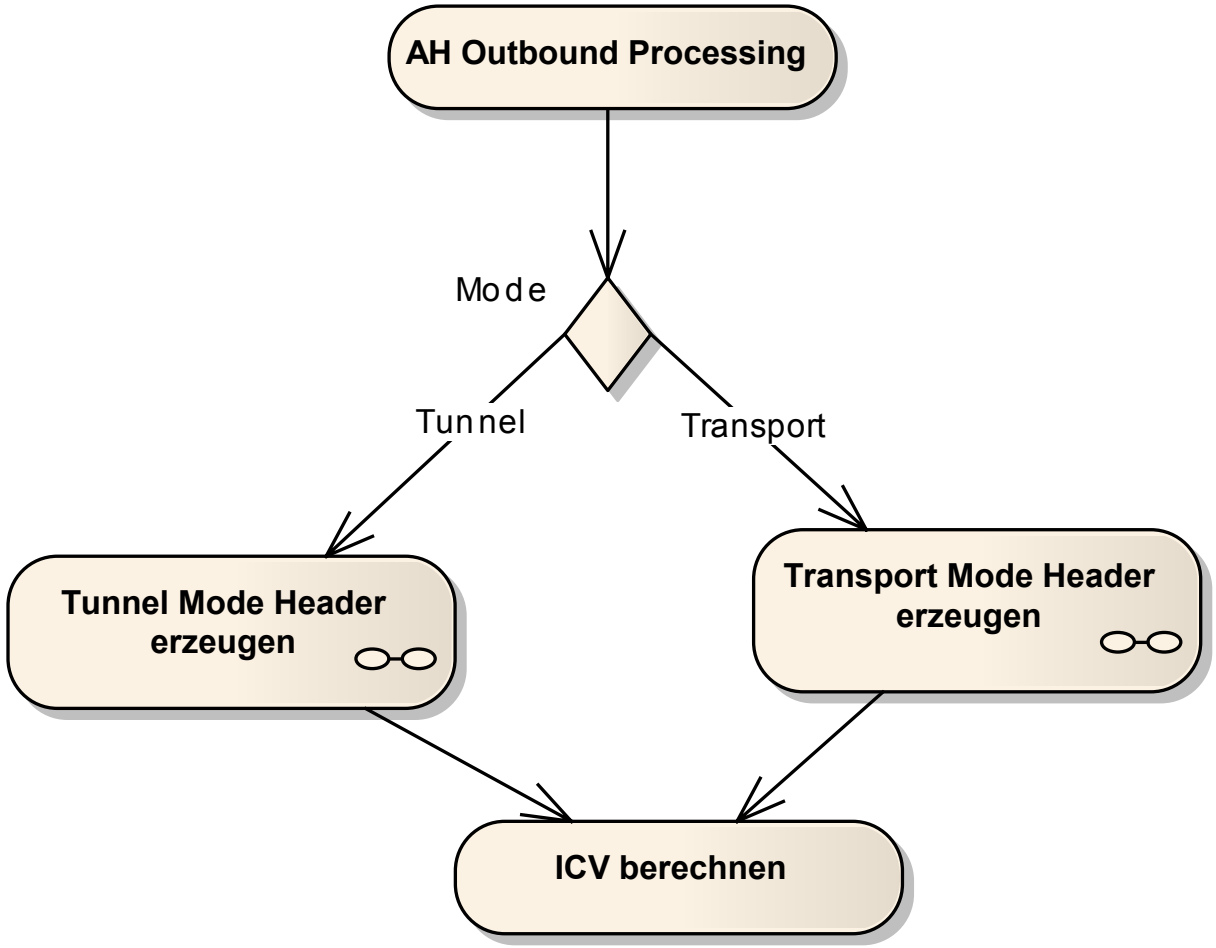
AH Tunnel Mode - Details



Bildquelle: Steve Friedl / unixwiz.net

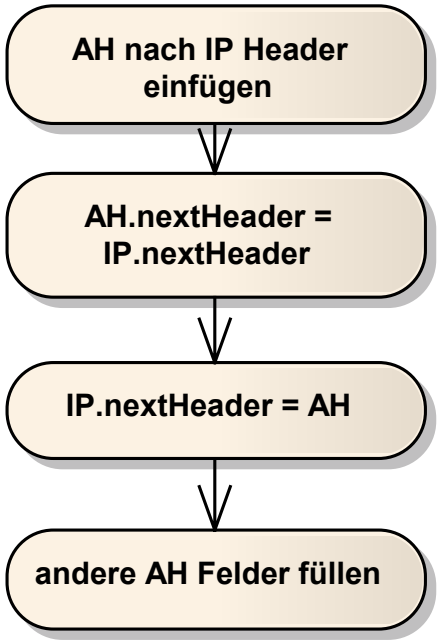
AH Outbound Processing

- IP-Stack hat ausgehendes Paket zu verarbeiten:

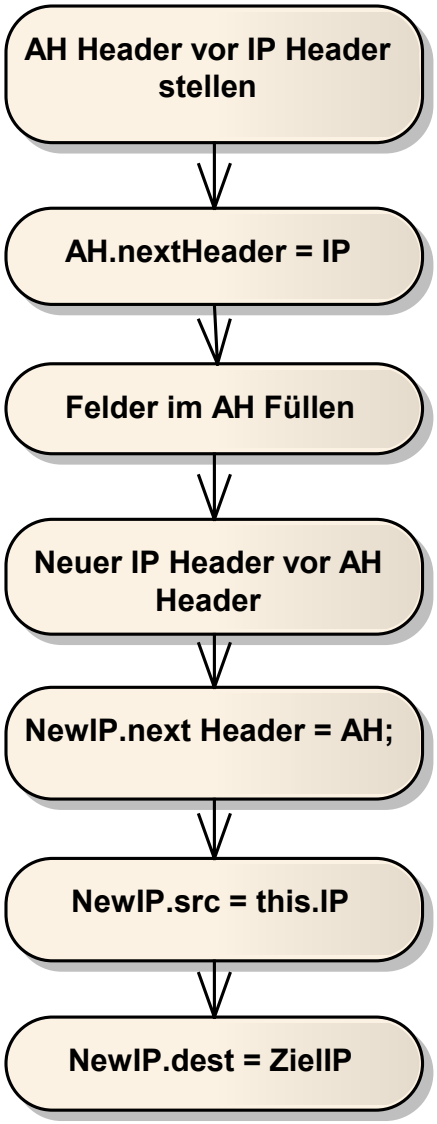


AH Outbound Processing 2

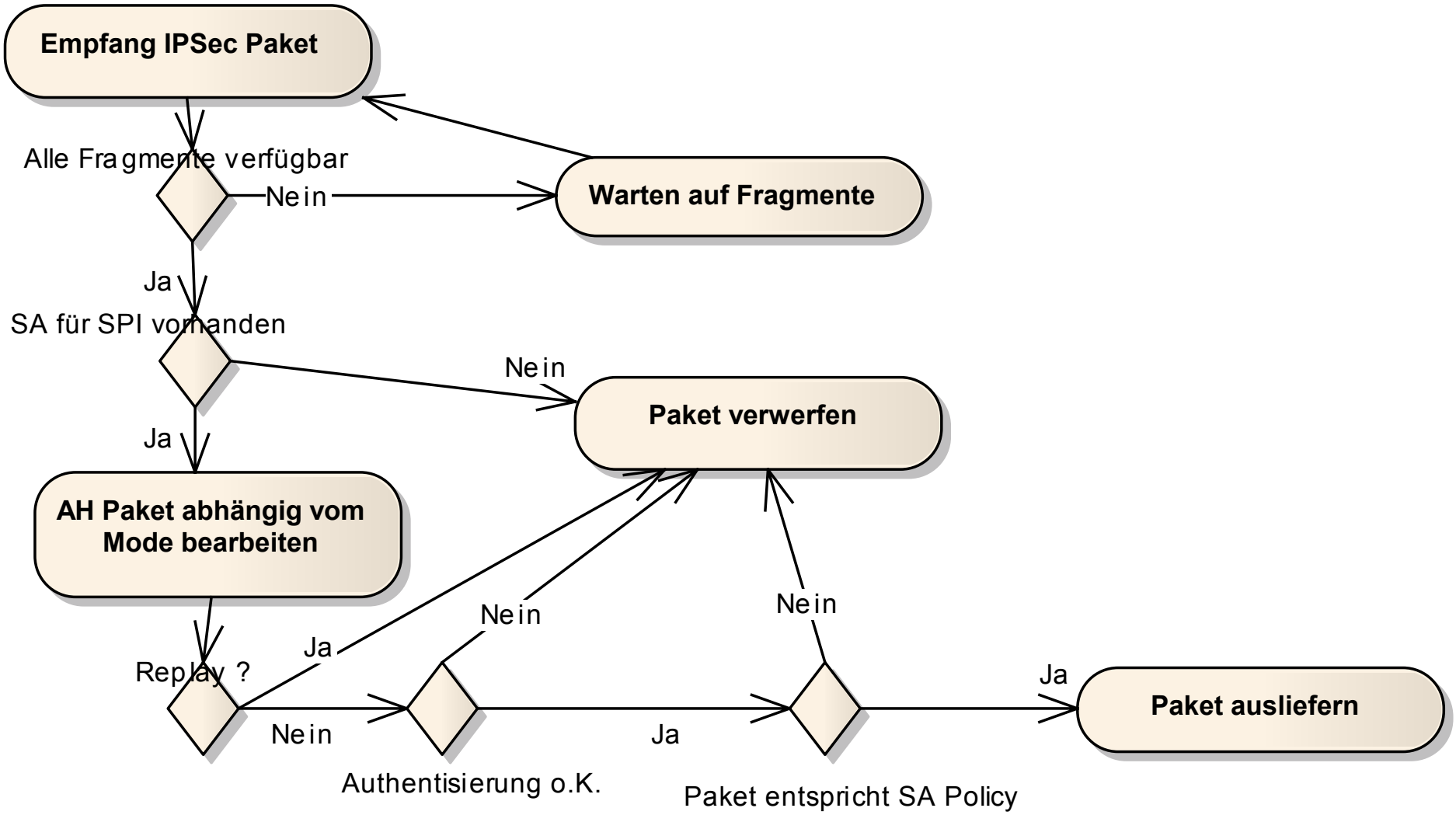
Transport Mode:



Tunnel Mode:

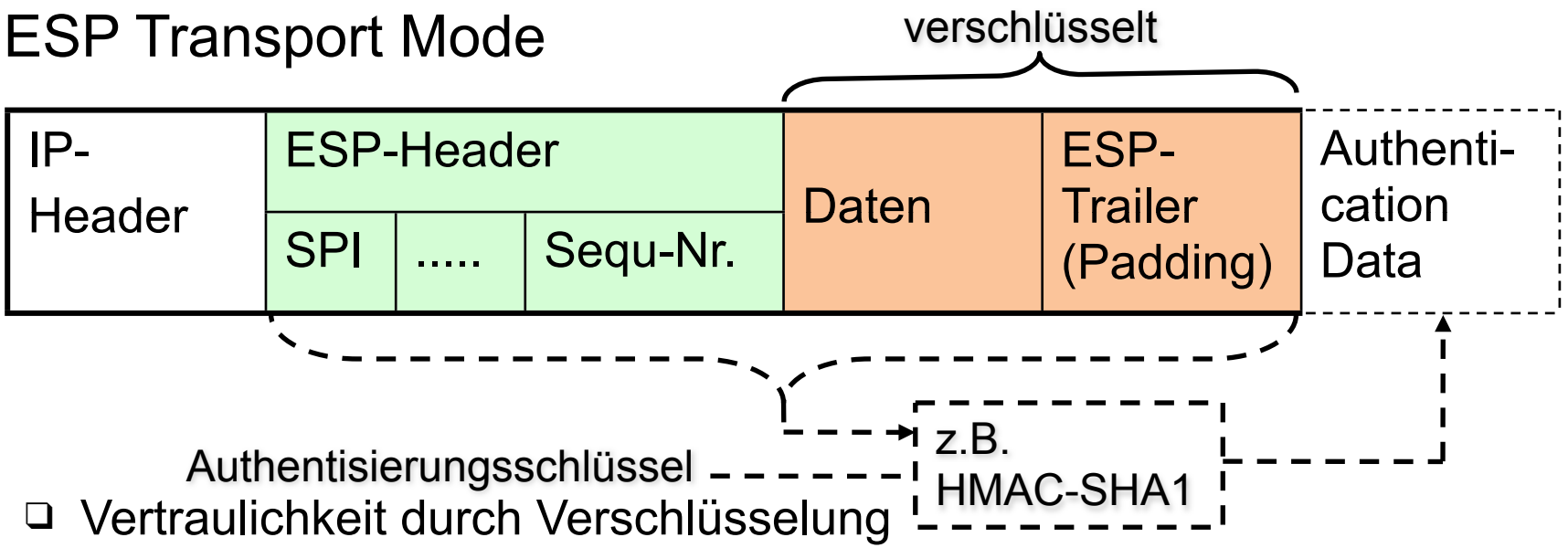


AH Inbound Processing



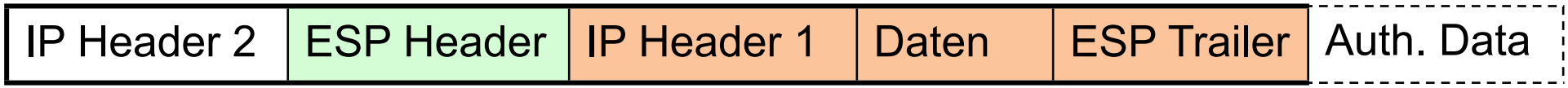
Encapsulating Security Payload (ESP) - Überblick

- ESP Transport Mode



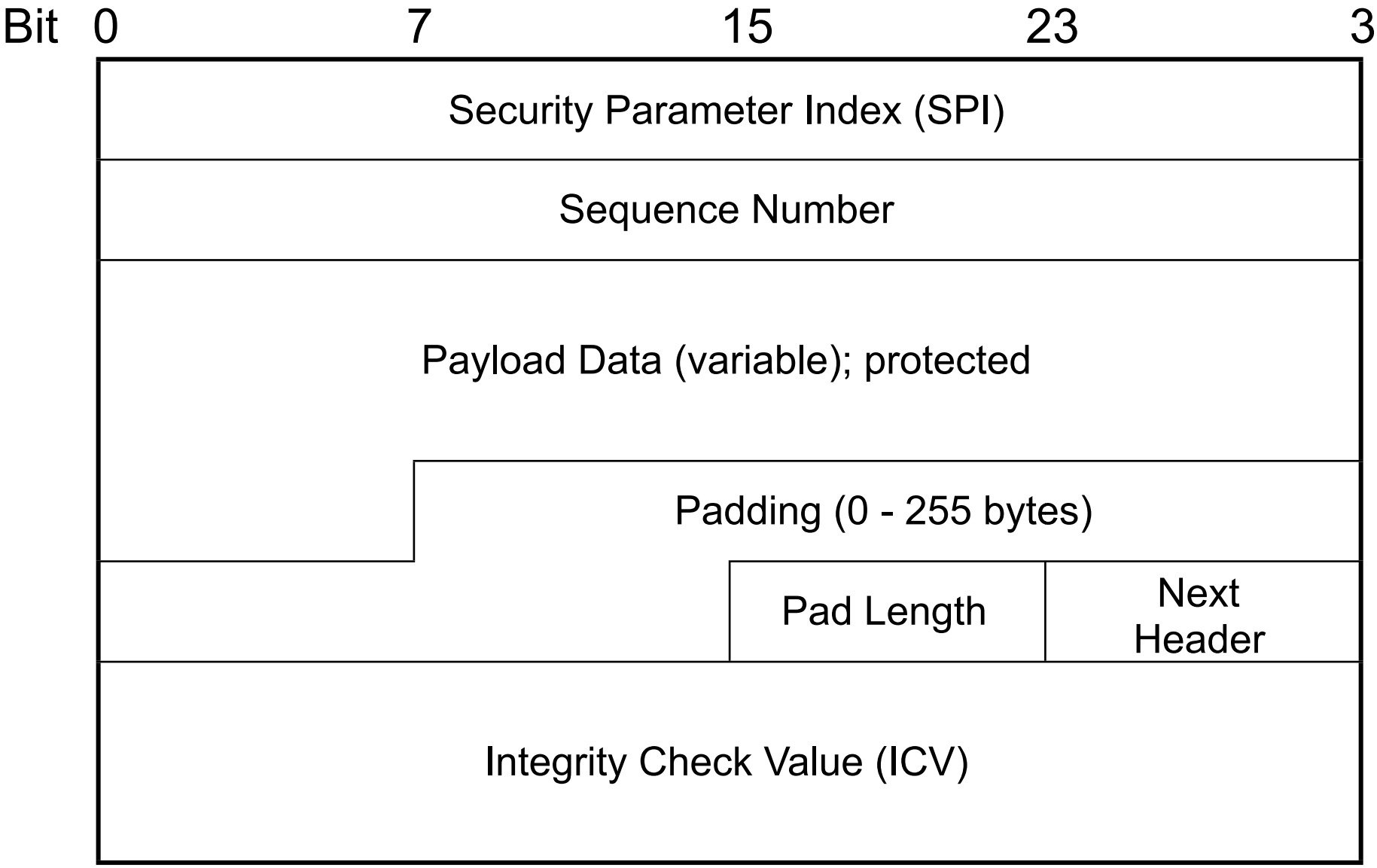
  - Vertraulichkeit durch Verschlüsselung
  - Integrität durch MAC (optional)
  - Authentisierung durch HMAC (optional)
  - Anti-Replay durch gesicherte Sequenznummer (optional)

- ESP Tunnel Mode

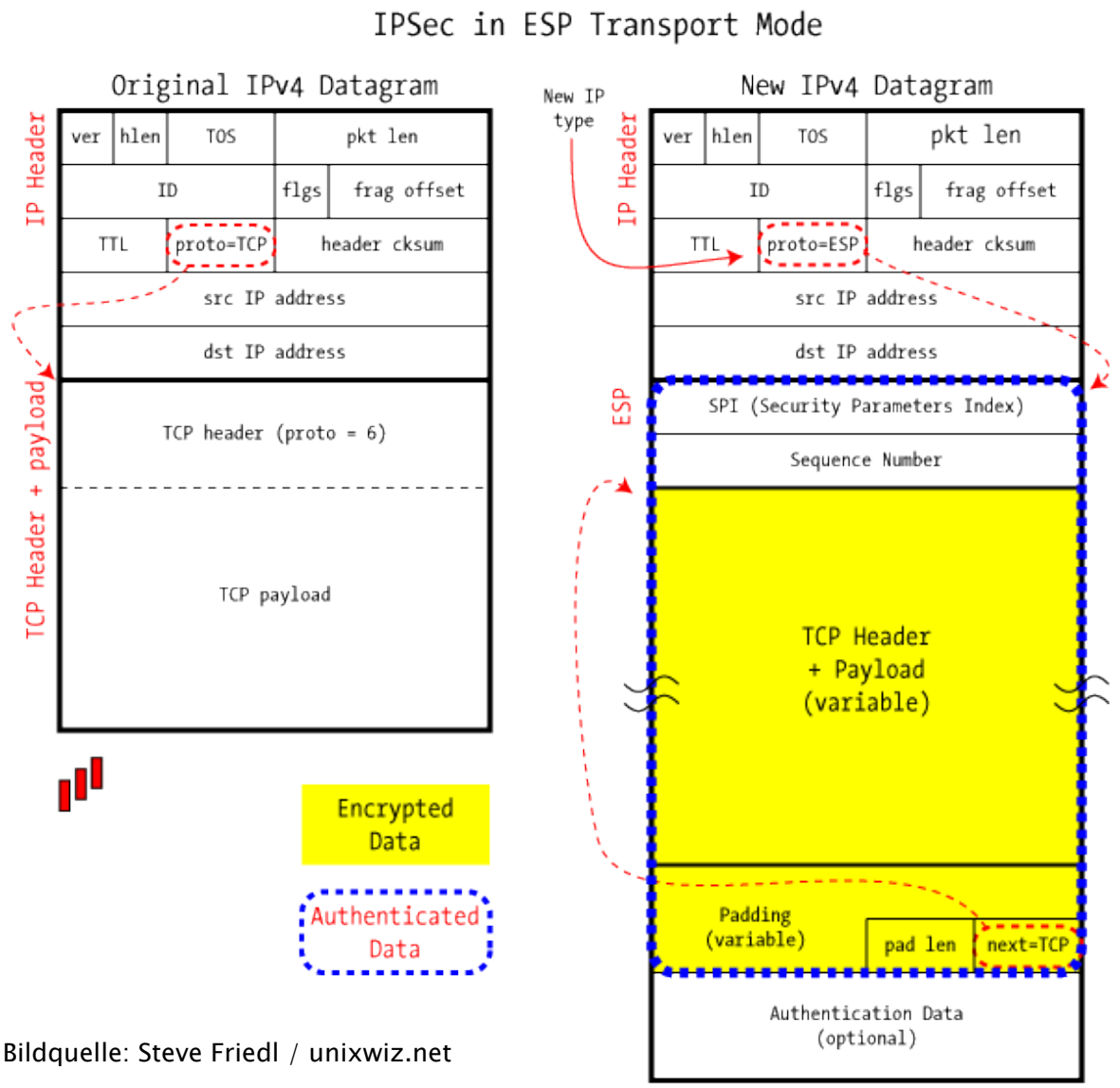


  - Anti-Traffic-Analysis durch verschlüsselten IP Header 1

ESP Header im Detail

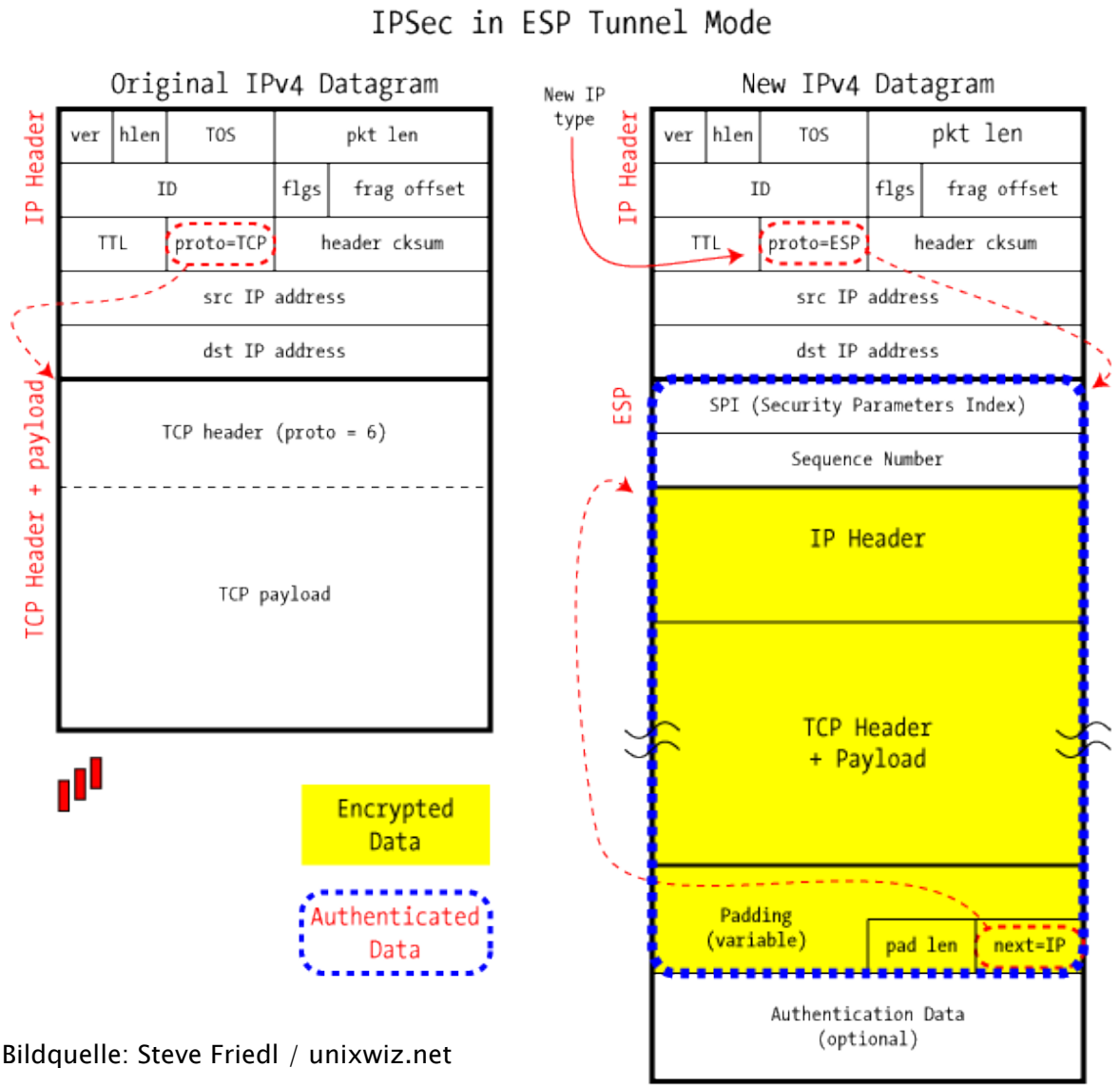


ESP Transport Mode - Details



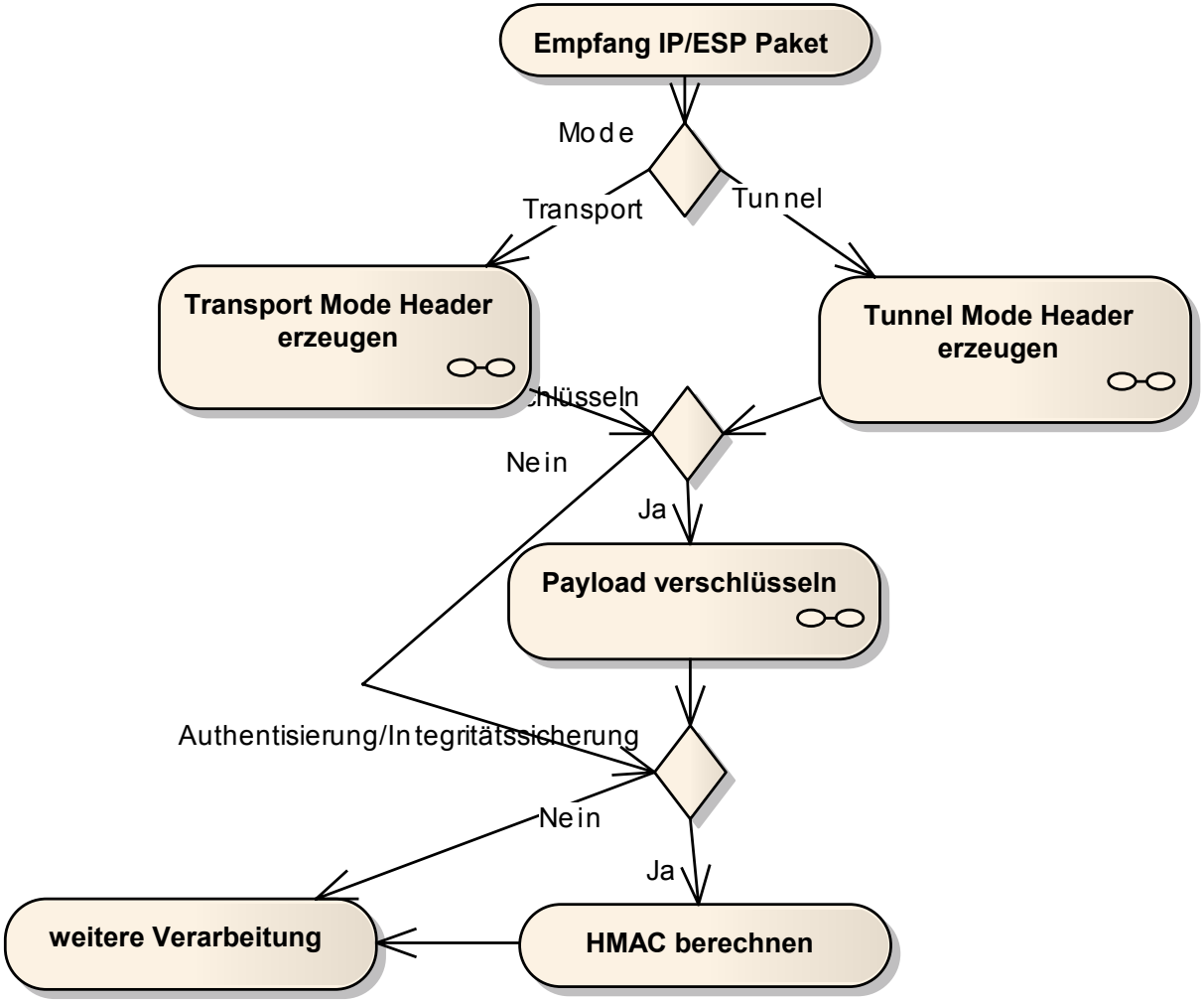
Bildquelle: Steve Friedl / unixwiz.net

ESP Tunnel Mode - Details

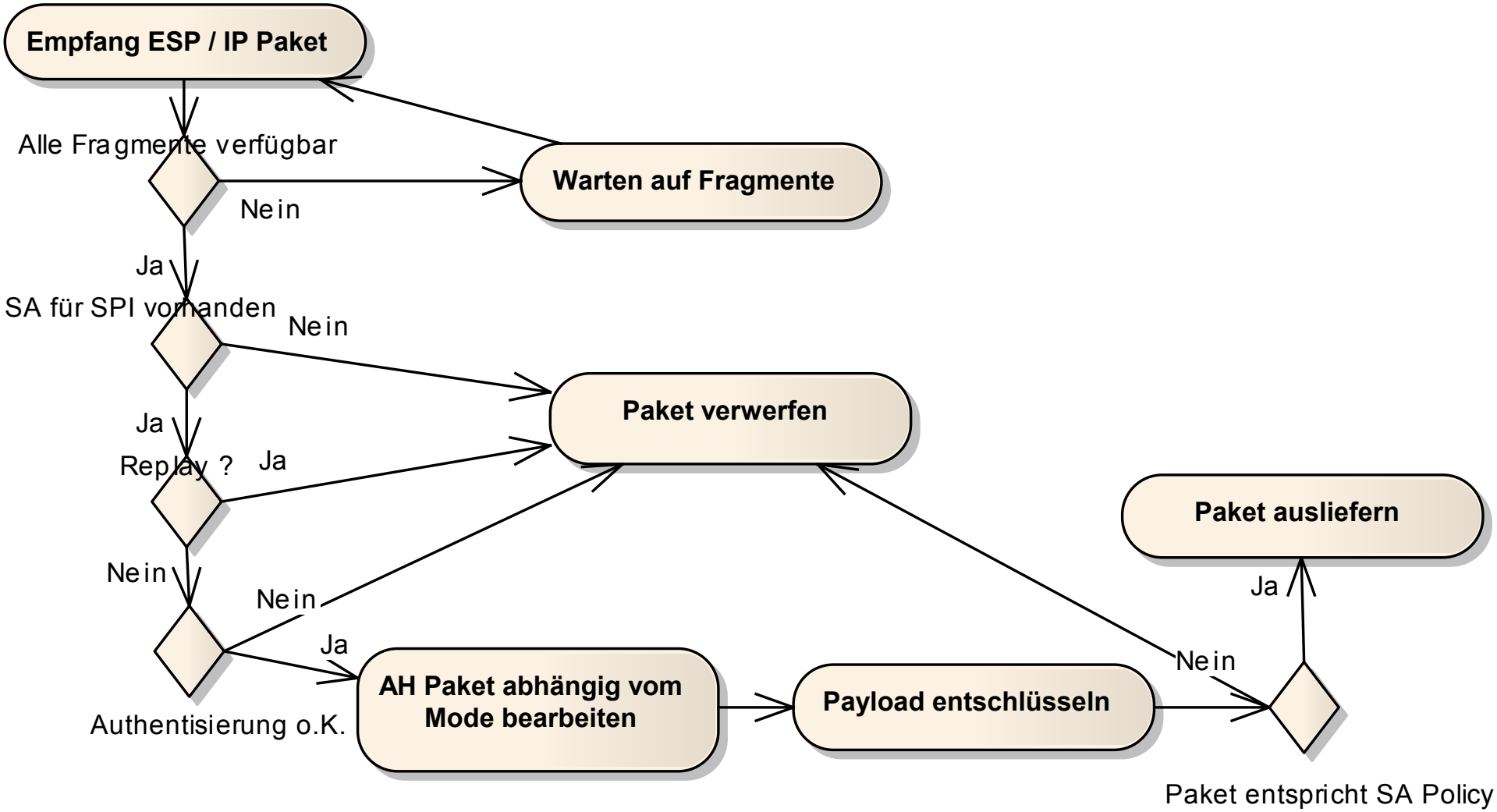


Bildquelle: Steve Friedl / unixwiz.net

ESP Outbound Processing



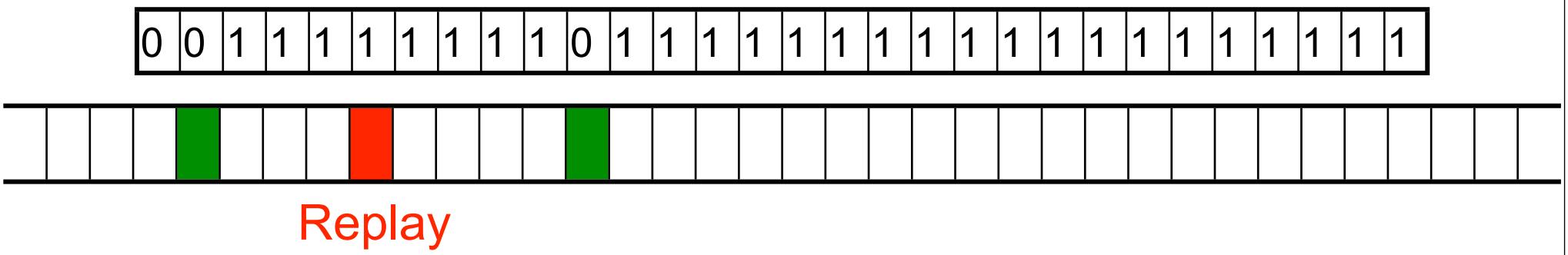
ESP Inbound Processing



IPSec Replay Protection

- Empfänger verwaltet Window für empfangene Pakete
  - Ursprünglich als Mechanismus, um Überfluten des Empfängers zu vermeiden
  - nicht größer als 32 Bit
- Grundprinzip:

Sliding Window empfangener Pakete



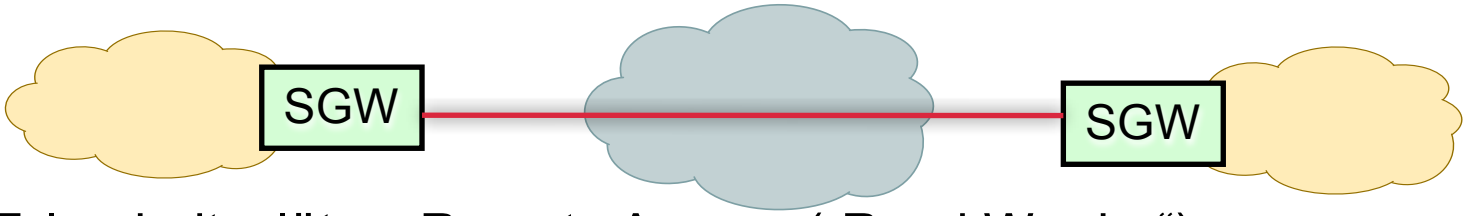
AH, ESP Algorithmen

- RFC 4305
- ESP Encryption
  - AES
  - 3DES
  - DES (Should Not)!
- ESP und AH Authentication
  - HMAC-SHA1-96
  - AES-XCBC-MAC-96
  - HMAC-MD5-96

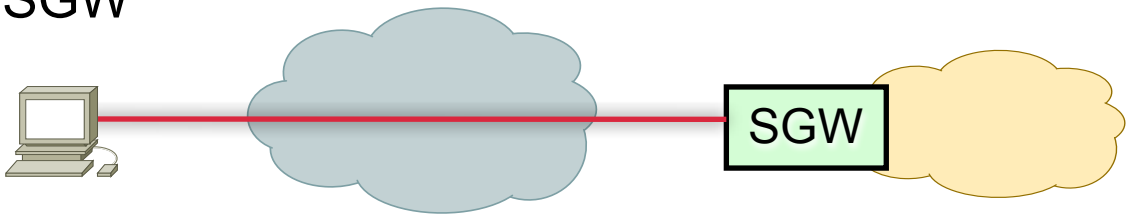
IPSec Anwendungsszenarien

- AH und ESP können kombiniert verwendet werden
- Auch Tunnel und Transport Mode können kombiniert werden

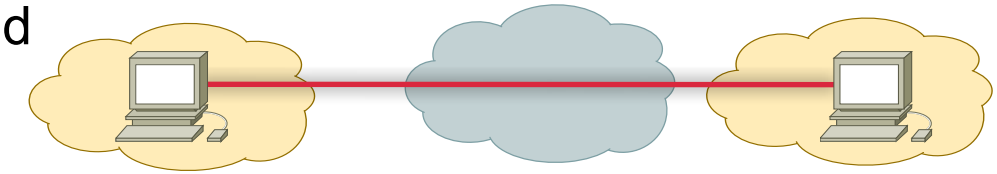
- Mögliche Einsatzszenarien
  - Kopplung von verschiedenen Unternehmensstandorten
    Verbindung von Security Gateway (SGW) zu Security Gateway



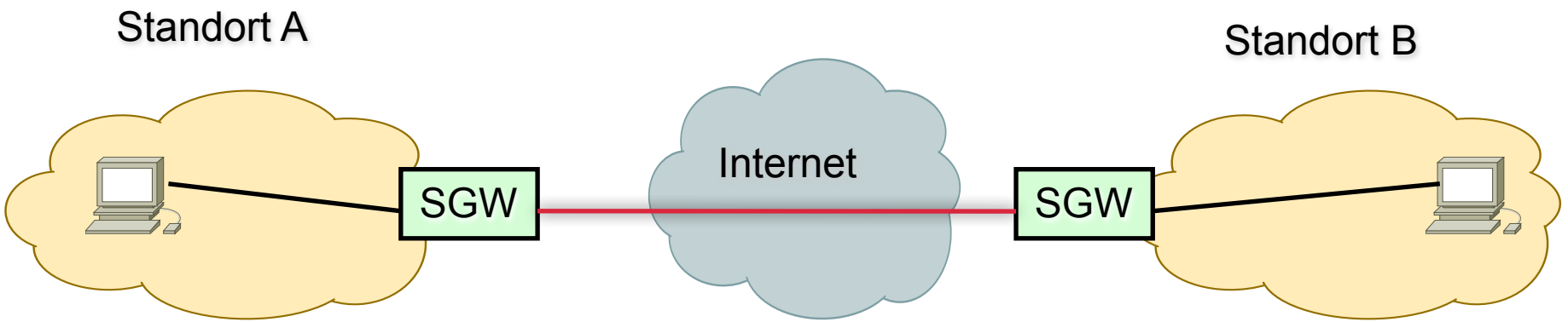
  - Telearbeitsplätze; Remote Access („Road Warrior“)
    Endsystem zu SGW



  - End-to-End



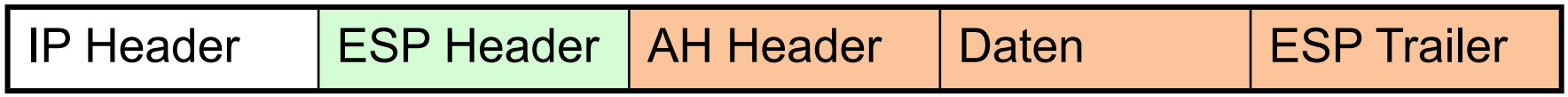
Szenario Standortvernetzung



- Mögliche Anforderungen:
  - Authentisierung SGW-to-SGW oder End-to-End
  - Integritätssicherung SGW-to-SGW oder End-to-End
  - Anti-Replay
  - Vertraulichkeit auch im (jeweils) internen Netz
  - SGW realisiert auch Firewall-Funktionen
  - Verwendung privater IP-Adressen in den Standorten
  - Verschattung interner Netzstrukturen

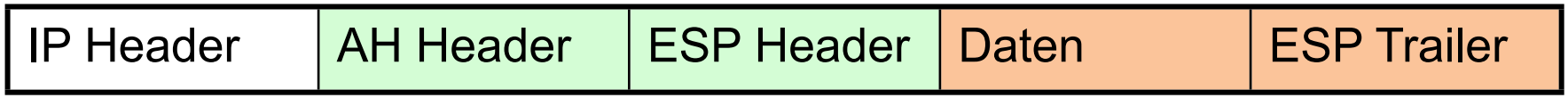
Protokollkombinationen

- AH Tunnel Mode am Security Gateway
  - Integritätssicherung
  - Authentisierung SGW to SGW
  - Private Adressen im internen Netz
- ESP Tunnel Mode am Security Gateway
  - Vertraulichkeit (auch der privaten Adressen)
- AH Transport am Endsystem / ESP Transport am SGW
  - Integritätssicherung
  - Authentisierung End to End
  - Vertraulichkeit ab SGW
  - Private Adressen nicht möglich
  - Nur theoretische Kombination; praktisch schwer realisierbar (Empfänger SGW nicht adressierbar)

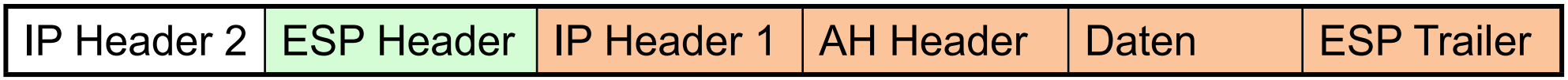


Protokollkombinationen (2)

- ESP Transport am Endsystem, AH Transport am SGW
  - Vertraulichkeit End to End
  - Authentisierung SGW to SGW
  - Private Adressen nicht möglich
  - SGW kann nicht mehr filtern (wegen Verschlüsselung)
  - Theoretisches Beispiel, in der Praxis schwer realisierbar, SGW nicht adressiert (transparentes SGW)



- AH Transport am Endsystem / ESP Tunnel am SGW
  - Integritätssicherung
  - Authentisierung End to End
  - Vertraulichkeit ab SGW
  - Private Adressen möglich



IPSec Security Association (SA)

- Inhalt einer SA
  - IPSec Protokoll Modus (Tunnel oder Transport)
  - Parameter (Algorithmen, Schlüssel, Zertifikat, Initialisierungsvektor,...)
  - Lebensdauer der SA
  - Sequenznummernzähler mit –overflow
  - Anti-Replay-Window
  - .....
- Identifikation einer SA per Kombination aus:
  - Security Parameter Index (SPI); 32 Bit Zahl
  - Ziel-Adresse
  - Verwendetes Protokoll (AH, ESP)
- D.h. in jede Richtung wird eine eigene SA vereinbart
- Jeder IPSec-Teilnehmer hält eine Security Policy Database (SPD) mit SAs

Inhalt

- Schwächen des Internet-Protokolls (IP)
- IPSec: Sicherheitserweiterung des IP-Protokolls
  - Authentication Header (AH)
  - Encapsulation Security Payload (ESP)
  - Anwendungsbeispiele
- Schlüsselverteilung mit IKEv2 (Internet Key Exchange)
  - Aufbau einer IKE SA
  - Authentisierung der Partner
  - Aufbau der IPSec SA
  - Erzeugung von Schlüsselmaterial

Einschub: Diffie-Hellman Schlüsselaustausch

- Ermöglicht den sicheren Austausch eines Schlüssels über einen unsicheren Kanal:
- Primzahl p und eine primitive Wurzel g (mod p) dürfen öffentlich bekannt gemacht werden
  (oft als Diffie-Hellman Group bezeichnet)

- Alice wählt ein x aus [1..p-2]
- Bob wählt ein y aus [1..p-2]
- Alice schickt $A = g^x \bmod p$ an Bob
- Bob schickt $B = g^y \bmod p$ an Alice

- Beide verwenden den folgenden Schlüssel:

$$Key = A^y = (g^x)^y = g^{xy} = (g^y)^x = B^x \pmod{p}$$

Einschub: Diffie-Hellman Beispiel

- Achtung: Üblicherweise Zahlen mit mehreren hundert Stellen!

- Alice und Bob einigen sich auf p=13 und g=2
- Alice wählt zufällig x=5, Bob wählt zufällig y=7
- Alice berechnet A = 2^5 mod 13 = 6, schickt dies an Bob
- Bob berechnet B = 2^7 mod 13 = 11, schickt dies an Alice
- Alice berechnet 11^5 mod 13 = 7
- Bob berechnet 6^7 mod 13 = 7
- Beide erhalten also das Ergebnis 7

- Angreifer kann die Zahlen 13, 2, 6 und 11 mithören, den Wert 7 aber nicht berechnen, da g^{xy} aufwendig zu berechnen ist, selbst wenn g, g^x und g^y bekannt sind.

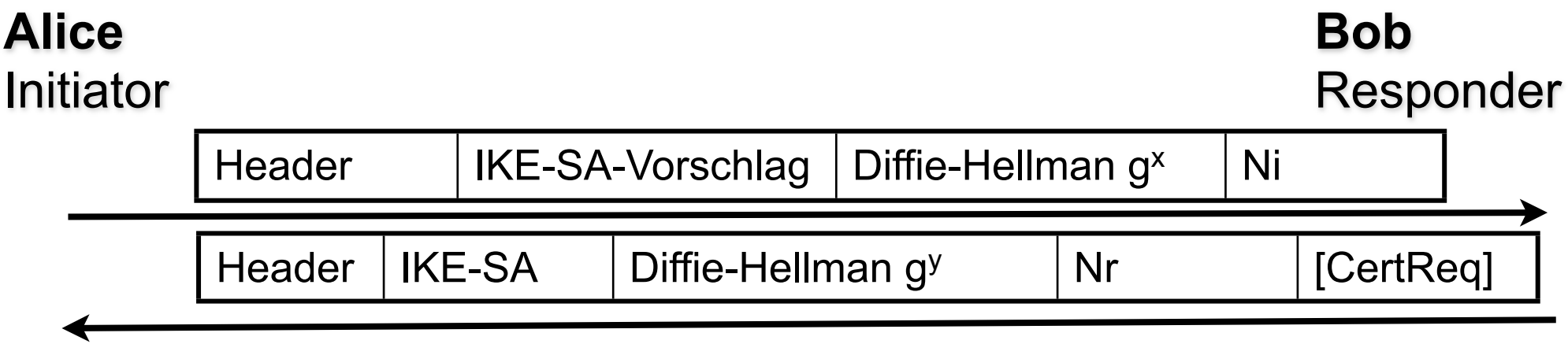
IPSec Schlüsselaustausch über IKEv2

- Protokollprimitive
  1. IKE_INIT
     - Aufbau einer bidirektionalen IKE SA
  2. IKE_AUTH
     - Authentisierung der Partner
     - Aufbau der ersten (und oft einzigen) bidirektionalen IPSec SA
  3. IKE_CHILD_SA
     - Aushandeln weiterer IPSec SAs
     - Re-Keying einer bestehenden SA

  - Ein durch IKE_AUTH etablierter Kanal kann für mehrere IKE_CHILD_SA Exchanges verwendet werden

- Erzeugung des Schlüsselmaterials
- Authentisierung in IKE (nicht erst in IPSec)

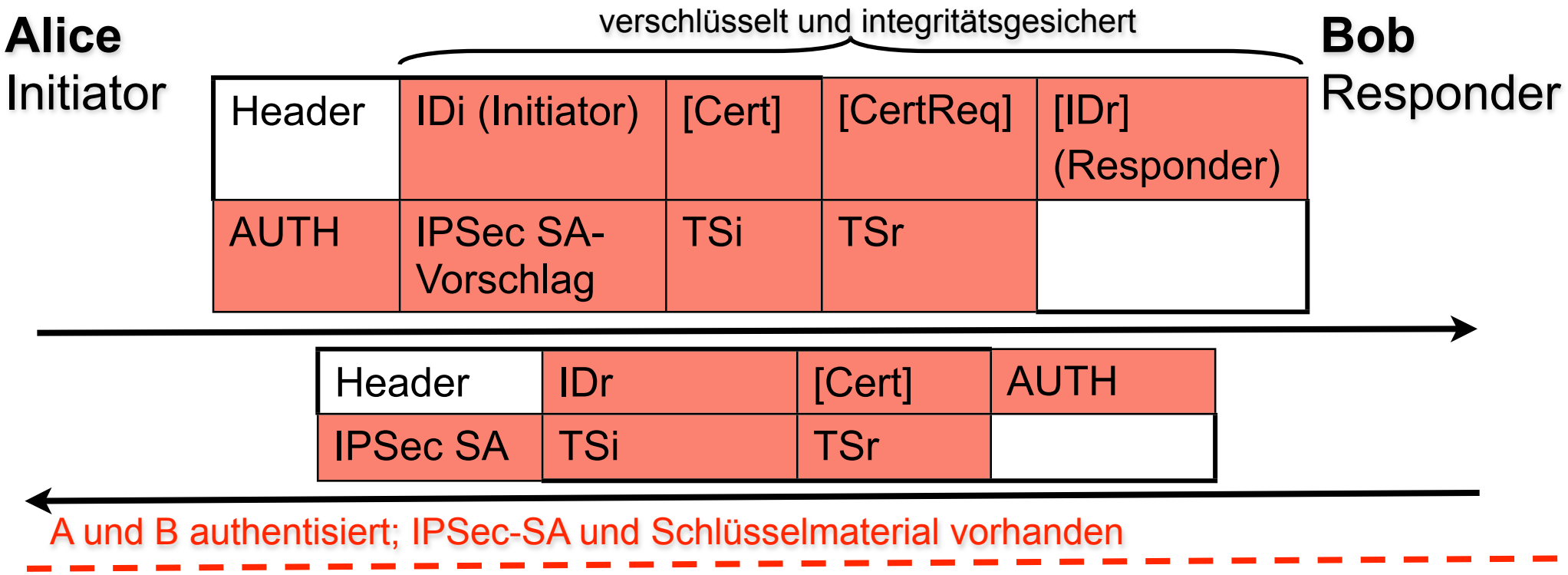
IKEv2: IKE_INIT



IKE-SA ausgehandelt, Schlüssel erzeugt, vertraulicher Kanal möglich; KEINE Authentisierung

- IKE-SA-Vorschlag:
  enthält die vom Initiator unterstützen Algorithmen
- Ni, Nr Zufallszahlen
- Diffie-Hellman Verfahren zur Berechnung von SKEYSEED
- Ableitung aus SKEYSEED (für jede Richtung separat)
  - SK_a: Authentisierungsschlüssel
  - SK_e: Schlüssel für Kryptoverfahren
- CertReq: Anforderung von Zertifikat(en); Optional

IKEv2: IKE_AUTH

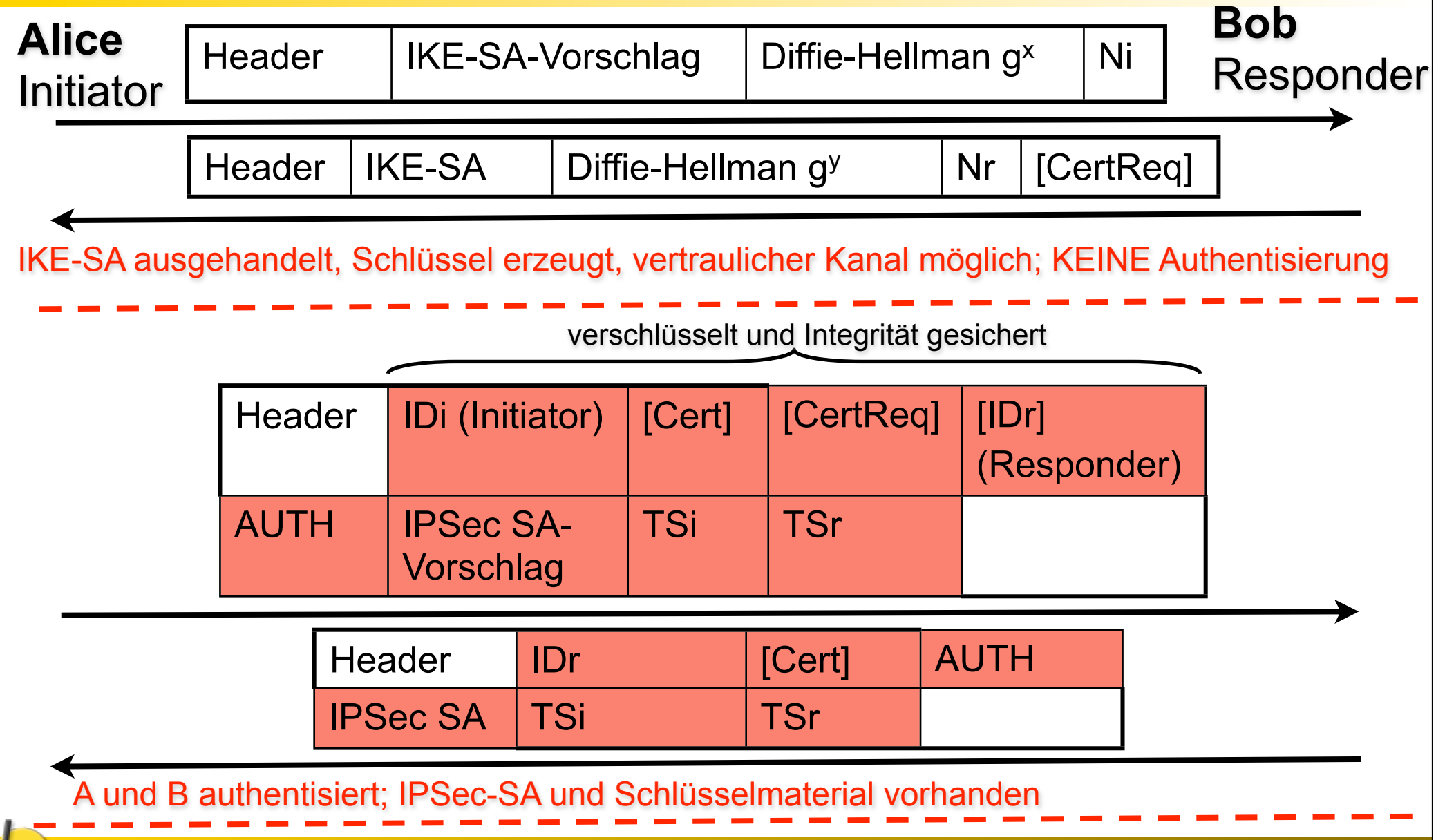


- Initiator und Responder können mehrere IDs haben; IDi und IDr bestimmen die jeweils gewählte ID
- Authentisierung über Public Key in AUTH
- Zertifikat und entsprechende Kette in Cert (Optional)
- TSx enthält Informationen aus lokaler Security Policy Database

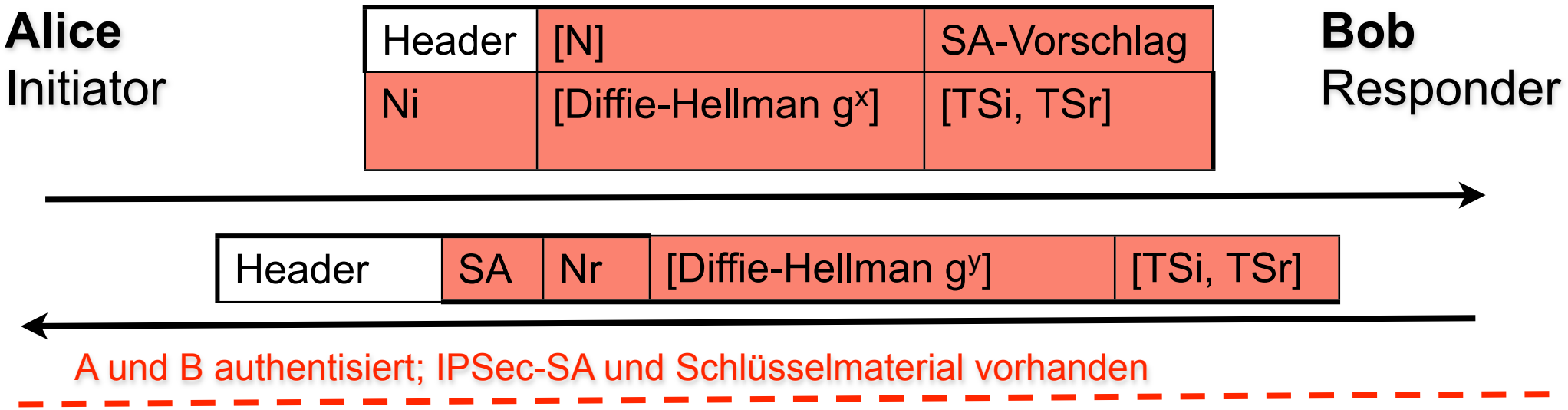
IKEv2: TSx

- Falls IP-Paket verarbeitet wird, für das „protect“ in der SPD gesetzt ist:
  - Paket muss verschlüsselt werden
  - Mögliches Problem: Es existiert keine SA
  - SPD-Verwaltung ist keine Aufgabe von IKE
  - Aber IKE dient zur Aushandlung von SAs
  - Informationen aus lokaler SPD können über TSx weitergegeben werden
  - Damit Wahrung der Konsistenz
- Bsp.: Bob ist Gateway für privates Subnetz
  - Alice will Verkehr ins Subnetz 10.11.12.* tunneln
  - TSi enthält Adress-Range: 10.11.12.0 - 10.11.12.255
  - Bob kann Adress-Range in TSr einschränken

IKEv2 : Zusammenfassung



IKEv2: CREATE_CHILD_SA



- Optional, da SA bereits mit IKE_AUTH ausgehandelt wird
- N enthält existierende SA, für die neues Schlüsselmaterial berechnet werden soll
- Optionaler Diffie-Hellman Key Exchange für Forward Security
- Nx Zufallszahlen

IKEv2: Schlüsselgenerierung

- IKE-SA legt fest:
  - Verschlüsselungsalgorithmus
  - Integritätssicherungsalgorithmus
  - Diffie-Hellman Group (p und g)
  - Zufallszahlenfunktion (Pseudo-random function, prf)

- prf wird zur Schlüsselerzeugung verwendet;
- Abhängig von der benötigten Schlüssellänge wird prf iteriert
  - prf+ = T1 | T2 | T3 | T4 | ... mit
  - T1 = prf(K, S | 0x01) K = Key, S = Seed
  - T2 = prf(K, S | 0x02)
  - .....
  - Tn = prf(K, S | 0x n)

IKEv2: IKE-Schlüsselmaterial

- IKE-SA Schlüsselmaterial:
  - SK_d verwendet zur Ableitung neuer Schlüssel für CHILD_SA
  - SK_{ai} Schlüssel für Integritätssicherung des Initiators
  - SK_{ar} Schlüssel für Integritätssicherung des Responders
  - SK_{ei} und SK_{er} Schlüssel für Verschlüsselung
  - SK_{ei} und SK_{pr} Erzeugung der AUTH Payload
- SKEYSEED = prf (Ni | Nr , g^{xy})
- IKE-SA Schlüsselmaterial:
  $\{SK_d \mid SK_{ai} \mid SK_{ar} \mid SK_{ei} \mid SK_{er} \mid SK_{pi} \mid SK_{pr}\} =$
  prf+ (SKEYSEED, Ni | Nr | SPI_i | SPI_r)
- CHILD_SA Schlüsselmaterial:
  - KEYMAT = prf+ (SK_d , Ni | Nr) bzw.
  - KEYMAT = prf+ (SK_d, g^{xy} | Ni | Nr)

IKEv2: Authentisierung

- mehrere Alternativen:
- Durch digitale Signatur eines vordefinierten Datenblocks
  - Verifikation durch Empfänger
  - Zertifikat (und evtl. entsprechende Kette) erforderlich
  - Optionale Anforderung und Übertragung: CertReq und Cert
  - Zertifikat kann auch schon bekannt sein
- Durch (keyed) HMAC des Datenblocks
- Verwendung des Extensible Authentication Protocol (EAP, vgl. Kap. 9)

IKEv2 Algorithmen

- Verschlüsselung:
  - DES, 3DES
  - RC5
  - IDEA, 3IDEA
  - CAST
  - Blowfish
  - AES
- Integritätssicherung:
  - HMAC_MD5_96
  - HMAC_SHA1_96
  - DES
  - AES
- Pseudo-Random Function (prf)
  - HMAC_MD5
  - HMAC_SHA1
  - HMAC_Tiger
  - HMAC_AES128