Kapitel 13: 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

Führung durchs LRZ

- Dienstag 19.02.19 um 15:00 im LRZ
- verbindliche Anmeldung bis 14.02.19 an metzger@lrz.de
- **WICHTIG: Lichtbildausweis mitbringen**
- Treffpunkt: Kommissionsraum

Mitarbeiter Fraunhofer AISEC

- Fraunhofer Institut für angewandte und integrierte Sicherheit (Garching)

- Mitarbeiter im Bereich Secure Operating Systems:
  - Software- und Code-Analyse
  - Control Flow Integtity
  - Offensive System Security
  - Microkernel-basierte Systeme
  - Android Security
  - Linux Security
  - Trusted Computing
  - ….

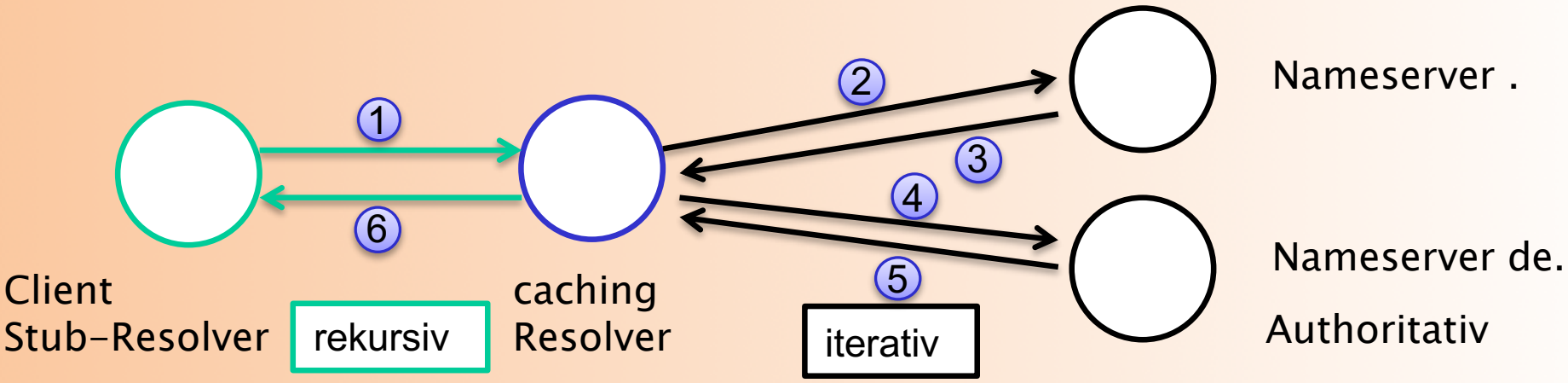
- https://s.fhg.de/os

DNS Infrastructure Hijacking Campaign

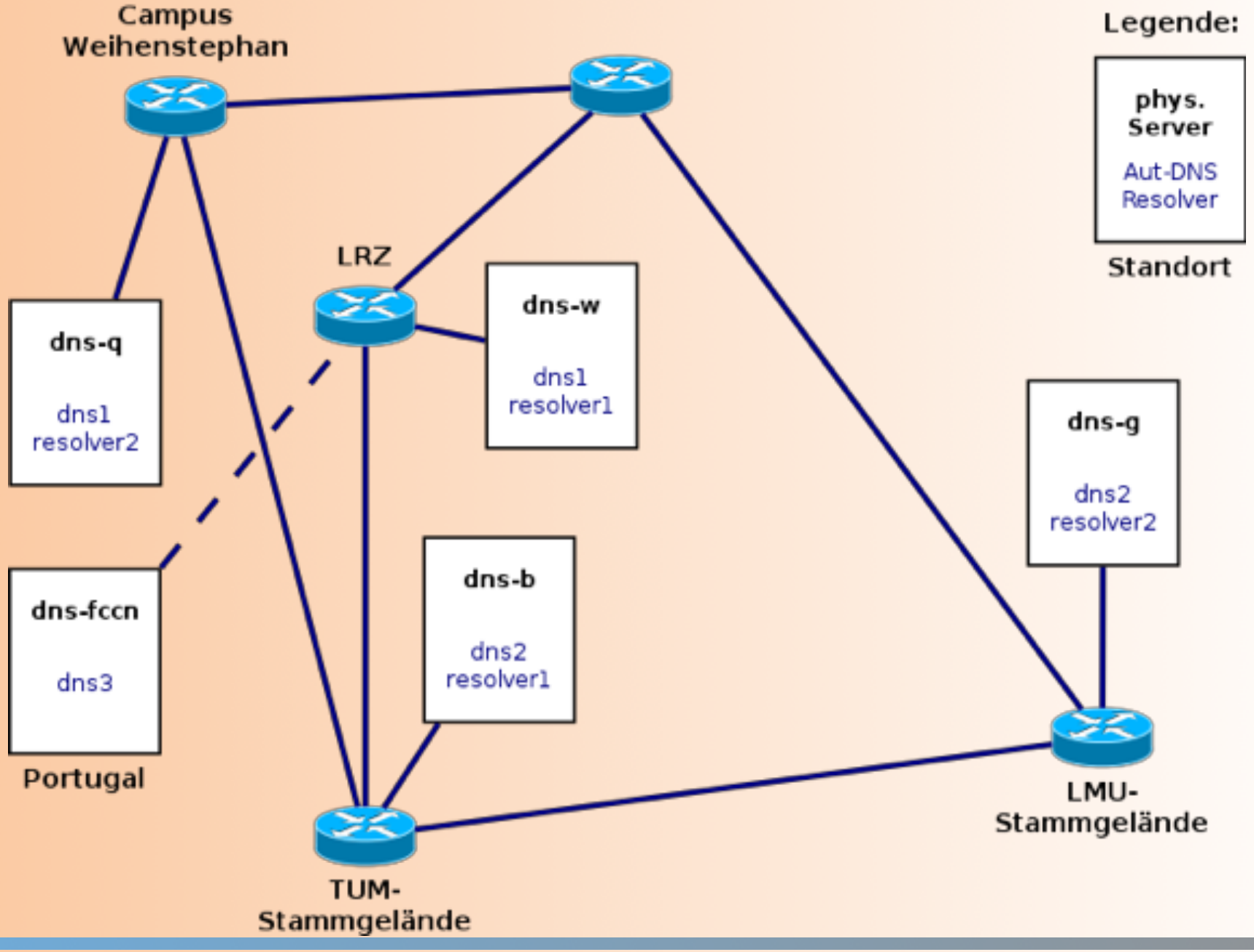
- Meldung des US-Cert AA19-024A vom 24.01.19
  - Using compromised credentials
  - Attacker can modify DNS-Records: A-, MX-, NS-Records, ….
  - Redirect User Traffic
  - Obtain encryption certificates -> Man in the Middle Attack
- Fire-Eye Analyse:
  - Government, Telco-, Internet-Infrastructure entities
  - Across Middle-East, North Africa, Euope, North America
  - Suggests Iranian Sponsorship
- https://www.us-cert.gov/ncas/alerts/AA19-024A
  - hier weitere Links zu Quellen und Analysen

Domain Name Service (DNS)

- Iterative Namensauflösung
  - Anfragender bekommt Verweis auf zuständige(re) Nameserver (Delegation, Referral)
  - Rekursive Namensauflösung
  - Anfragender bekommt Endantwort, Nameserver frägt (u.U. mehrfach) für ihn nach
  - Anfragen/Antworten werden meistens gecached
- Rekursive Nameserver stellen Dienst durch Iteration bei anderen Nameservern bereit

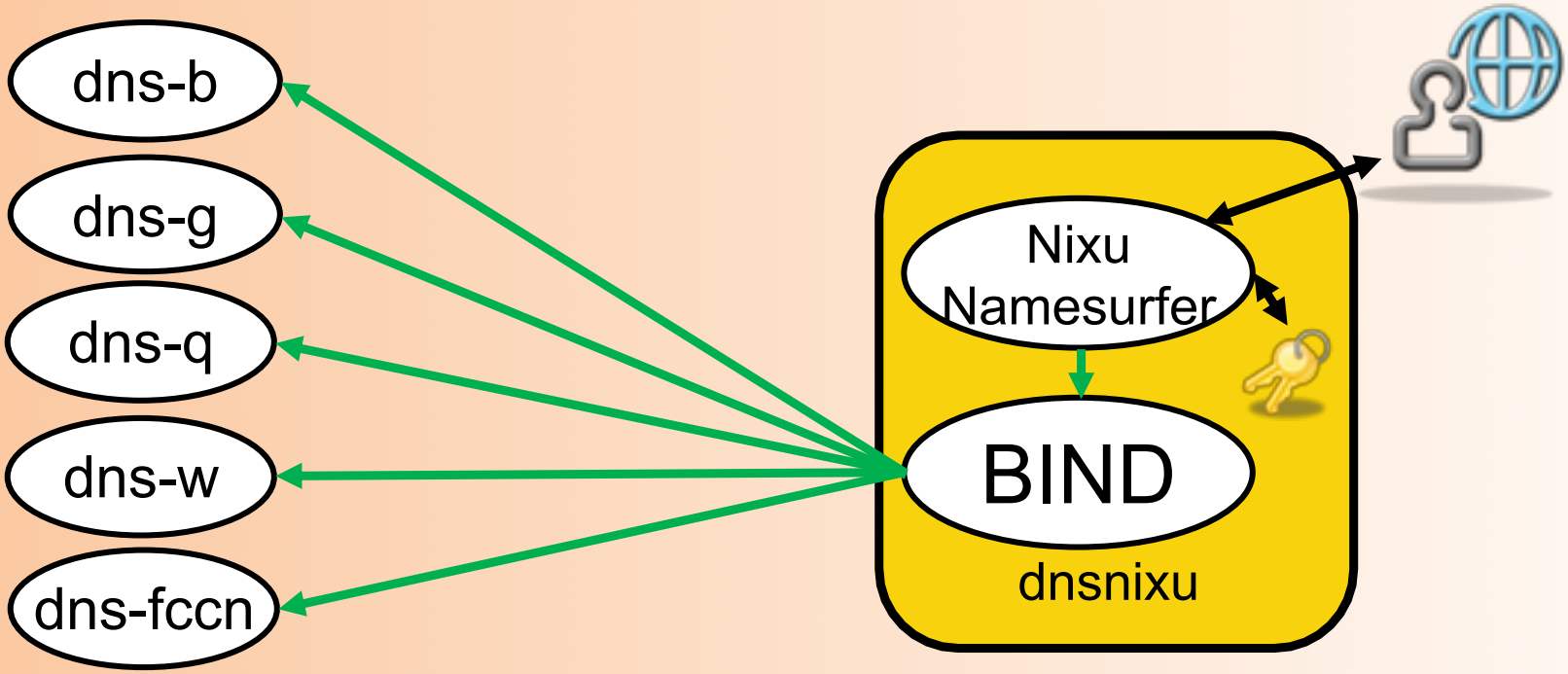


DNS am LRZ


Campus
Weihenstephan
Legende:
phys.
Server
Aut-DNS
Resolver
Standort
LRZ
dns-w
dns1
resolver1
dns-q
dns1
resolver2
dns-g
dns2
resolver2
dns-b
dns2
resolver1
dns-fccn
dns3
Portugal
LMU-
Stammgelände
TUM-
Stammgelände

DNS User Interface

- Nixu-Nameserver als Web-Interface für Kunden
  - Knapp 3.000 Kunden Domains werden am LRZ gehostet
  - Änderungen werden alle über Nixu gemacht
- Hidden-Master (bind) überträgt autoritative Zonen auf DNS-Server
  - Von außen nicht direkt erreichbar

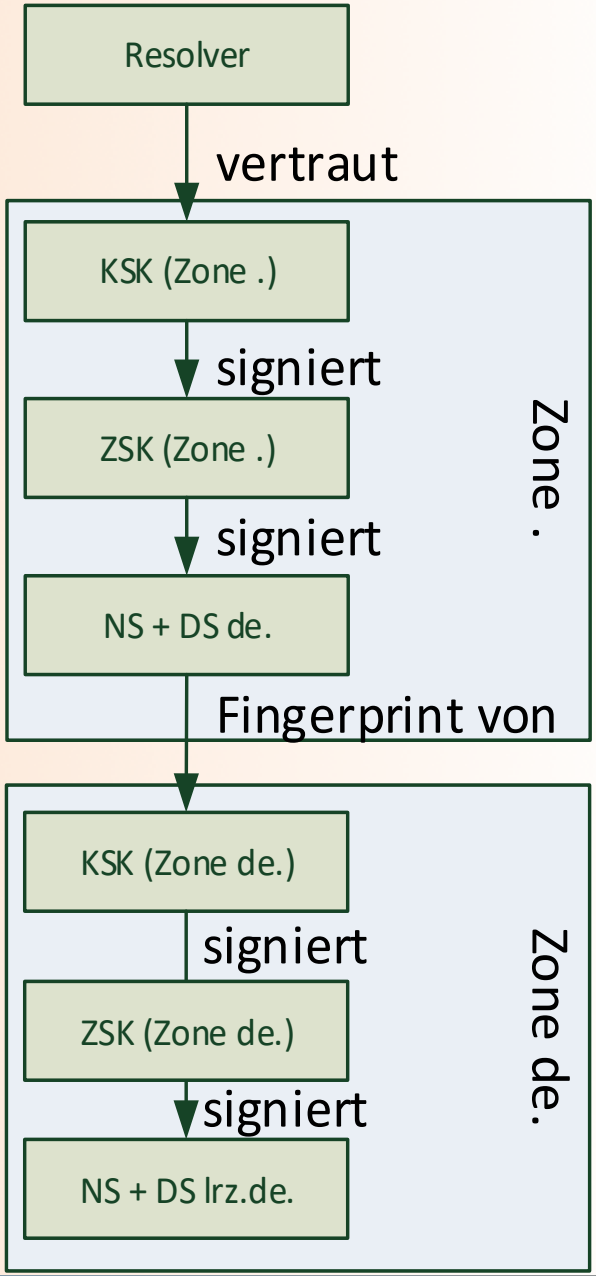


DNSSSEC

- Signieren von DNS Einträgen
  - Existenz / Nichtexistenz von Labels und Records
  - Inhalt
- Einführung von weiteren RRTYPE-Feldern notwendig
  - DNSKEY
  - RRSIG (Resource Record Signature)
  - NSEC (Next Secure)
  - NSEC3 (Next Secure Version 3)
  - DS (Delegation Signer)
-

Level of Trust

- Key Signing Key (KSK) wird nur verwendet, um Zone Sinnig Key (ZSK) zu signieren
- Hash-Wert des KSK wird in darüber liegenden Domain abgelegt und von dieser signiert (Chain of Trust)
  - Hash des KSK von lrz.de wird bei DENIC unter lrz.de abgelegt
- Verifikation mit
  - http://dnsviz.net



Wie kann ich eine signierte Zone erkennen?

- Verifizierender Resolver:
  - dig +dnssec www.bayern.de
  - Flag „ad“ = authenticated data

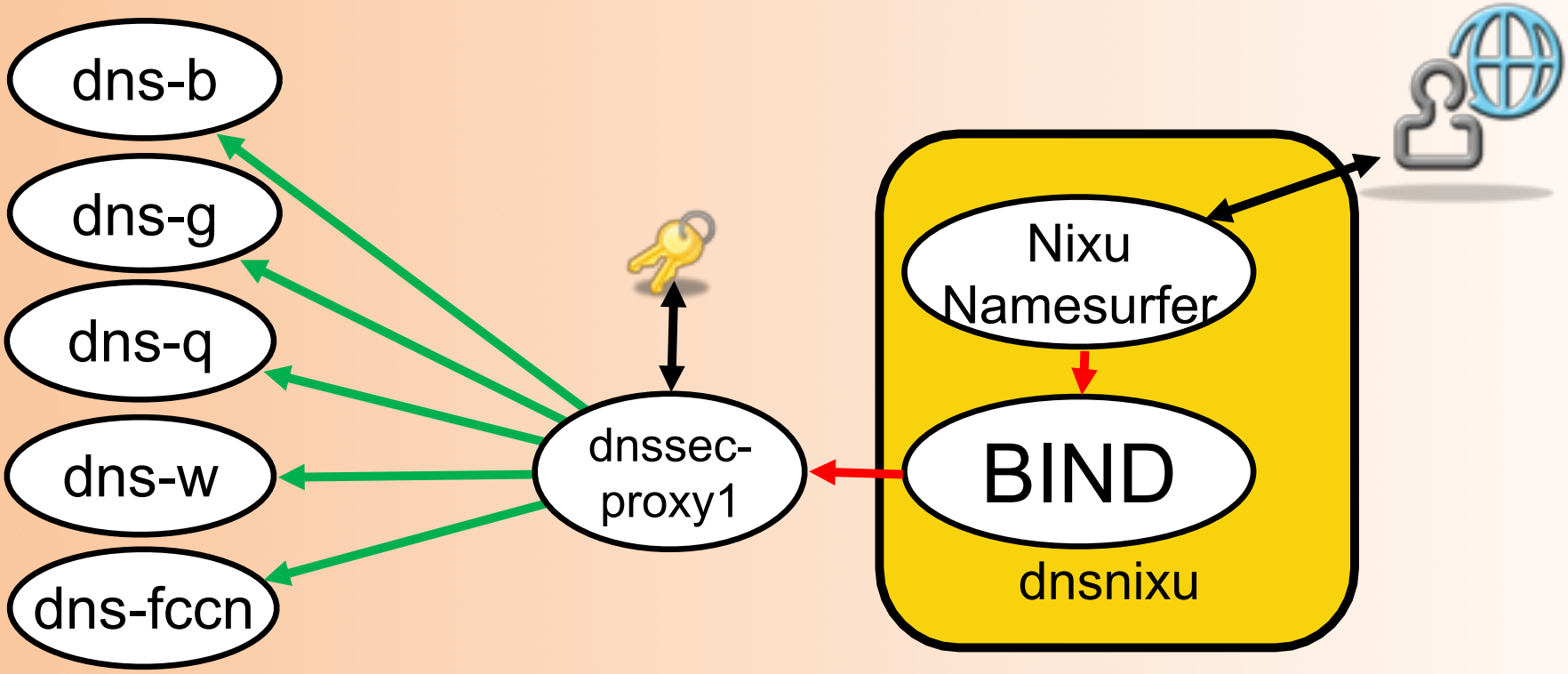
```
; <<>> DiG 9.10.6 <<>> +dnssec www.lrz.de
;; global options: +cmd
;; Got answer:
;; ->>HEADER<<- opcode: QUERY, status: NOERROR, id: 3492
;; flags: qr rd ra ad; QUERY: 1, ANSWER: 4, AUTHORITY: 4, ADDITIONAL: 9

;; OPT PSEUDOSECTION:
; EDNS: version: 0, flags: do; udp: 4096
;; QUESTION SECTION:
;www.lrz.de.                    IN      A

;; ANSWER SECTION:
www.lrz.de.             10047   IN      CNAME   wwwv1.lrz.de.
www.lrz.de.             10047   IN      RRSIG   CNAME 8 3 86400 20190310172735 2
0181216170416 61593 lrz.de. jZ/vTMEnVnrgCm3tZwei8BOxPfOu8/zHmXVJ8cdmAhO2GBhQhKDZ
CAep 5qKjqHEG3vCSRFTajYNVbyLXEQOUkJQkPcq2ZEVwGdwAe0EXl6QEoRyI ag2njNlmwknn3OOfHr
baoUnjtxLXoswOeQGoRZYM0trHYt5Q+RVaMRdj NEw=
wwwv1.lrz.de.            10348   IN      A       129.187.255.234
wwwv1.lrz.de.            10348   IN      RRSIG   A 8 3 86400 20190310191432 20181
216183706 61593 lrz.de. lHC6GqxNbI/uW5z2b/hoG6+2vGXQtOPBuD7ir35O0TE5DFuMj9fBe+kl
 cg/XPFXcjFI5aknVE5DaE+n8/lsrIHIF6gkhtLyzZOi1JlT3YqciqlaC V2Xn1v+HQeoUpkxK9LAiFc
3k6Hrkxi42OAyVsgXF+fFJicud1CRZsm/R x08=
```

DNSSEC am LRZ

- DNS-Inhalte weiterhin auf Nixu Namesurfer (WebDNS)
- DNSSEC wird komplett auf dediziertem Server erledigt
  - "Inline-Signing Proxy" mit BIND 9.9
    - "auto-dnssec maintain" und "inline-signing yes"
    - Keymanagement/Resigning in BIND



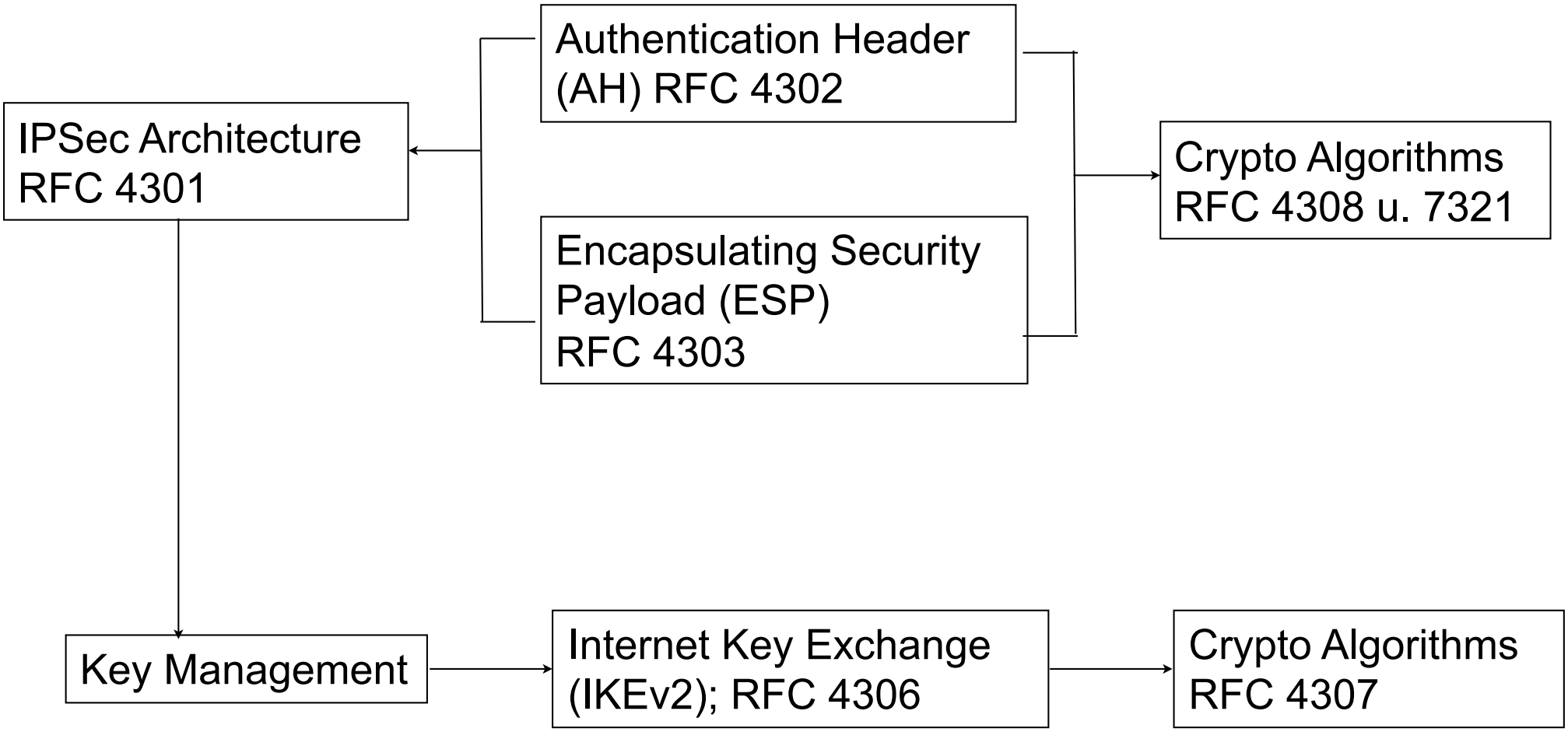
DNS Hijacking am LRZ

- Annahme: User Credentials werden gebrochen
  - Einträge für Zonen des Nutzers können geändert werden
  - Adress-Spoofing damit möglich
  - ABER: Nur über Nixu, nicht direkt am Nameserver (Hidden Master)
  - Praktisch kompliziert und nur schwer automatisierter
- Ablegen von eigenem Schlüsselmaterial
  - Es werden Schlüssel des singning proxy verwendet, keine eigenen
  - LRZ Account müsste gebrochen werden

IP: Gefahren und Schwächen

- Vertraulichkeit:
  - Mithören relativ einfach möglich
  - Man-in-the-middle-Angriffe
  - Verkehrsfluss-Analyse
- Integrität:
  - Veränderung der Daten
  - Session Hijacking
  - Replay-Angriffe
- Authentisierung:
  - IP Spoofing
- Lösung: IPSec (Sicherheitserweiterungen für IP)
  - Fester 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



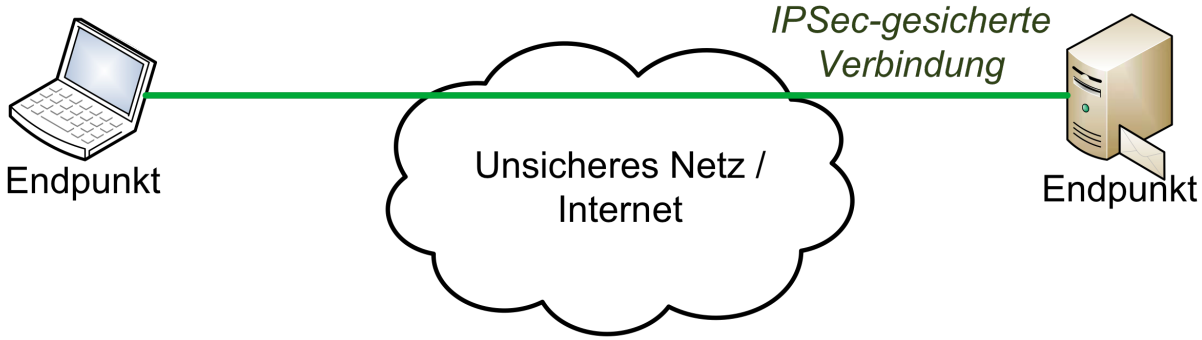
IPSec Überblick

- 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

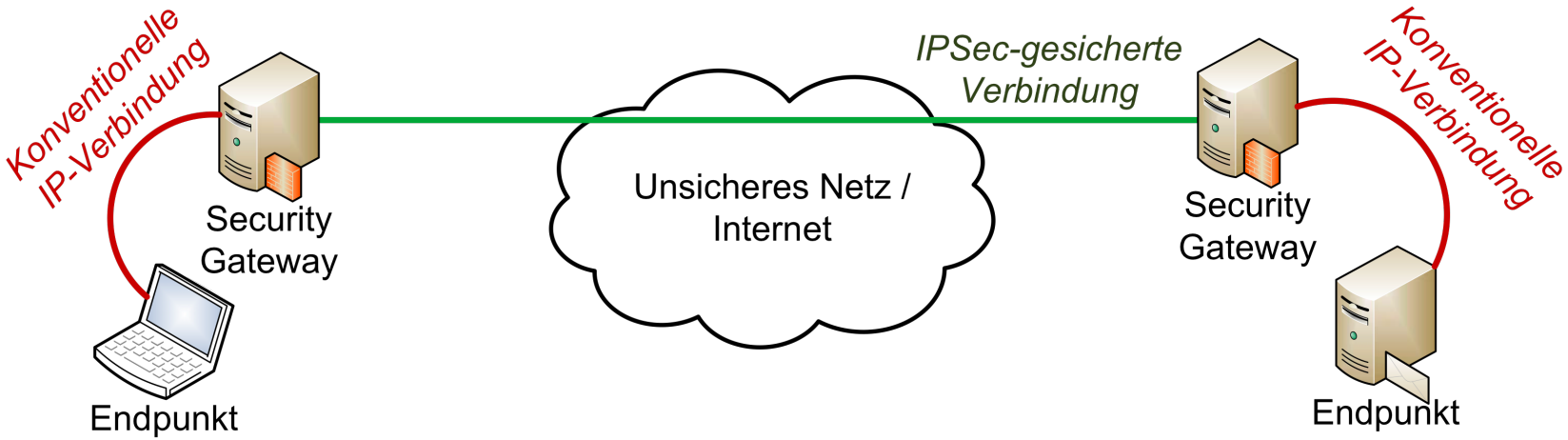
IPSec: Transport Mode / Tunnel Mode

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

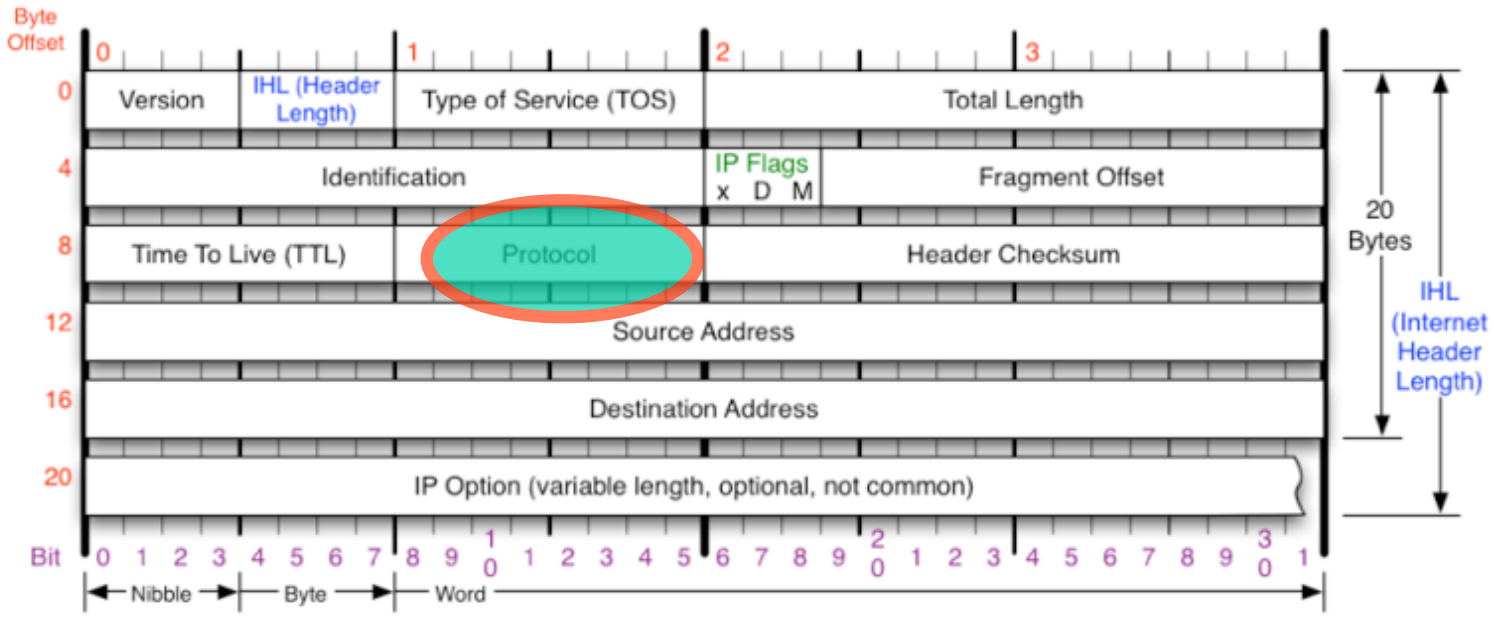
Transport Mode



Tunnel Mode



Einschub: „herkömmlicher“ IPv4-Header



Version

Version of IP Protocol. 4 and 6 are valid. This diagram represents version 4 structure only.

Header Length

Number of 32-bit words in TCP header, minimum value of 5. Multiply by 4 to get byte count.

Protocol

IP Protocol ID. Including (but not limited to):

1 ICMP	17 UDP	57 SKIP
2 IGMP	47 GRE	88 EIGRP
6 TCP	50 ESP	89 OSPF
9 IGRP	51 AH	115 L2TP

Total Length

Total length of IP datagram, or IP fragment if fragmented. Measured in Bytes.

Fragment Offset

Fragment offset from start of IP datagram. Measured in 8 byte (2 words, 64 bits) increments. If IP datagram is fragmented, fragment size (Total Length) must be a multiple of 8 bytes.

Header Checksum

Checksum of entire IP header

IP Flags

x D M

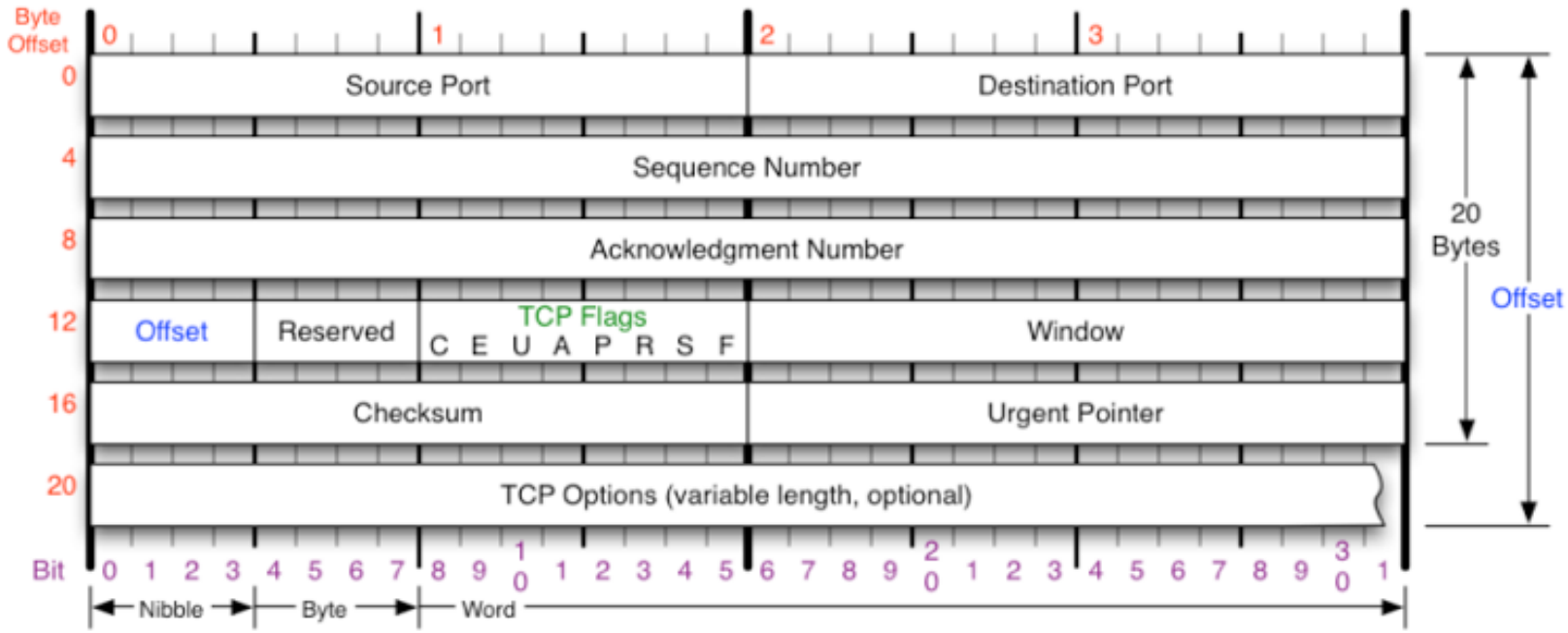
x 0x80 reserved (evil bit)
D 0x40 Do Not Fragment
M 0x20 More Fragments follow

RFC 791

Please refer to RFC 791 for the complete Internet Protocol (IP) Specification.

Bildquelle: nmap.org

Einschub: „herkömmlicher“ TCP-Header



TCP Flags

C E U A P R S F

Congestion Window
C 0x80 Reduced (CWR)
E 0x40 ECN Echo (ECE)
U 0x20 Urgent
A 0x10 Ack
P 0x08 Push
R 0x04 Reset
S 0x02 Syn
F 0x01 Fin

Congestion Notification

ECN (Explicit Congestion Notification). See RFC 3168 for full details, valid states below.

Packet State	DSB	ECN bits
Syn	0 0	1 1
Syn-Ack	0 0	0 1
Ack	0 1	0 0
No Congestion	0 1	0 0
No Congestion	1 0	0 0
Congestion	1 1	0 0
Receiver Response	1 1	0 1
Sender Response	1 1	1 1

TCP Options

0 End of Options List
1 No Operation (NOP, Pad)
2 Maximum segment size
3 Window Scale
4 Selective ACK ok
8 Timestamp

Checksum

Checksum of entire TCP segment and pseudo header (parts of IP header)

Offset

Number of 32-bit words in TCP header, minimum value of 5. Multiply by 4 to get byte count.

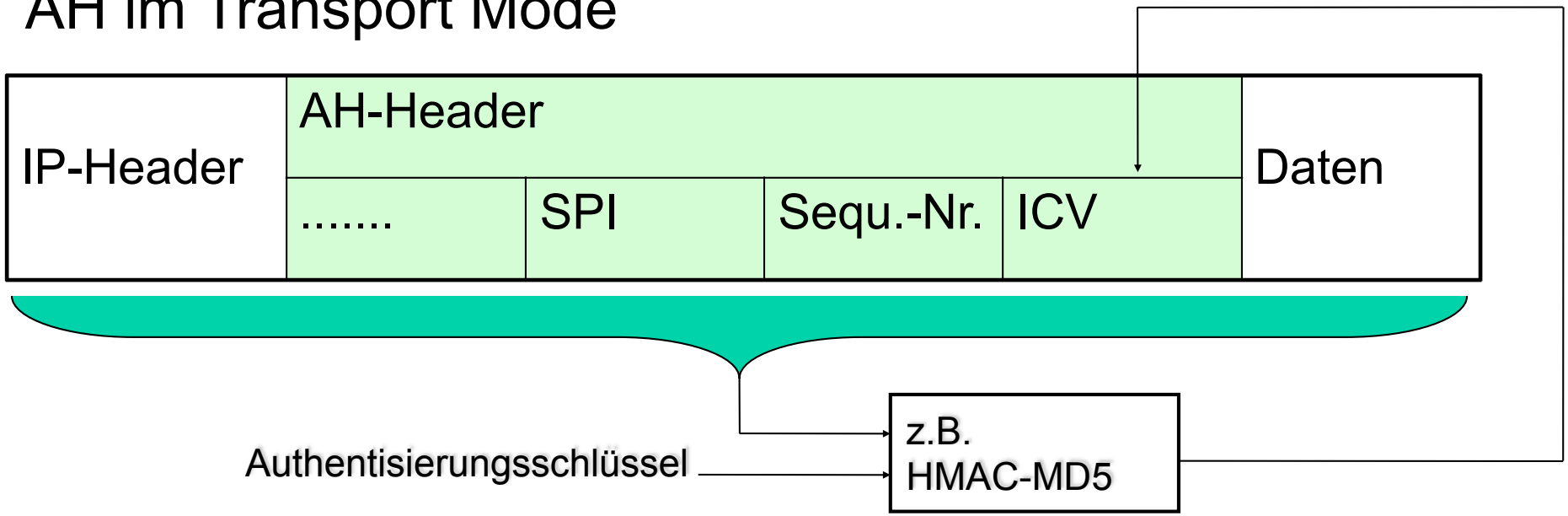
RFC 793

Please refer to RFC 793 for the complete Transmission Control Protocol (TCP) Specification.

Bildquelle: nmap.org

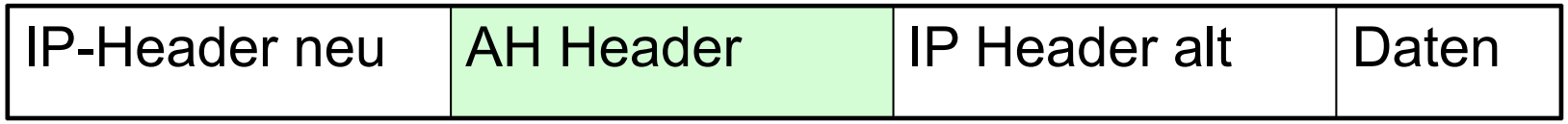
Authentication Header (AH) - Überblick

AH im Transport Mode

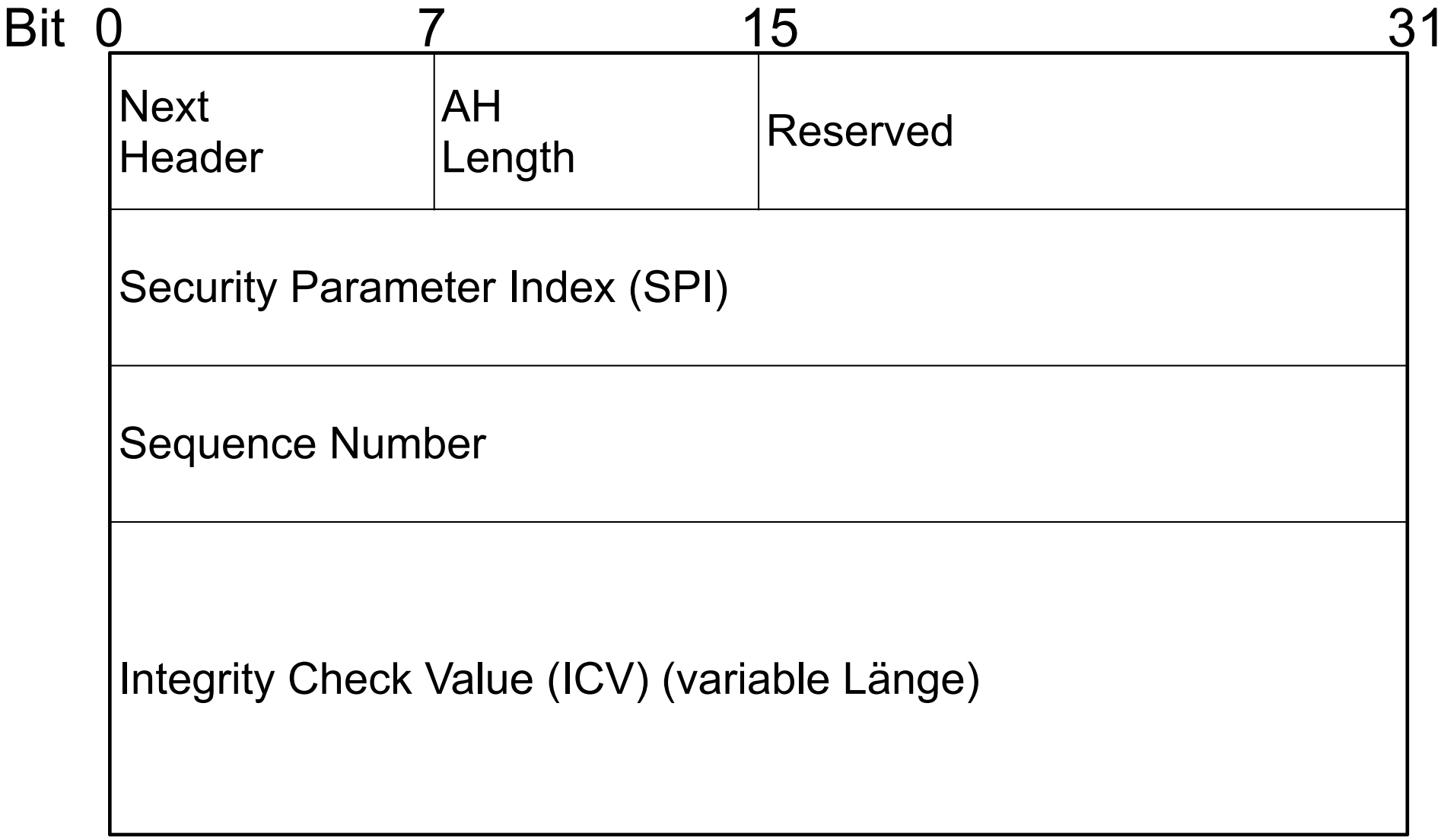


- Integrität durch MAC
- Authentisierung durch gemeinsamen Schlüssel
- Anti-Replay durch gesicherte Sequenznummer

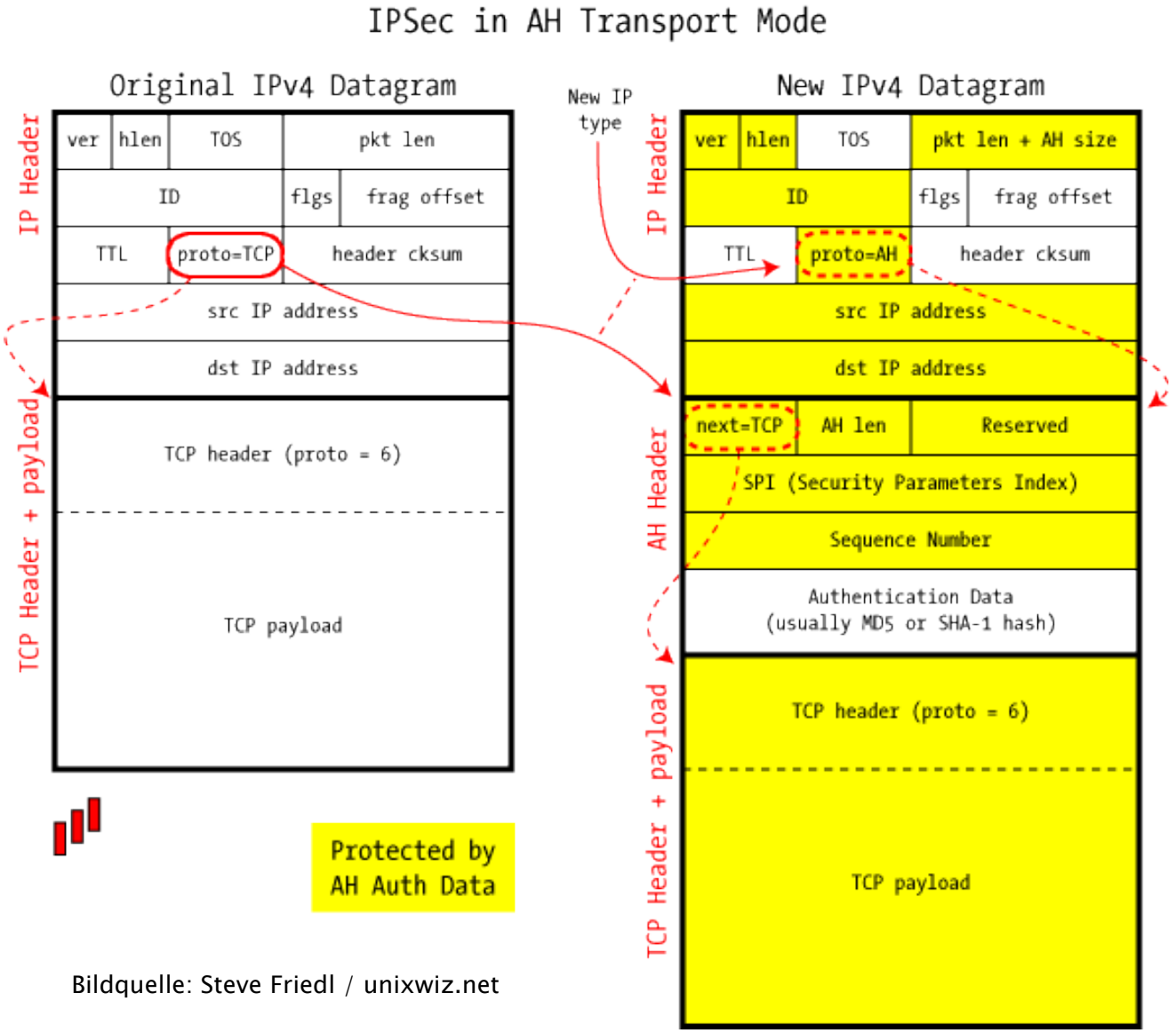
AH im Tunnel Mode



AH Header im Detail

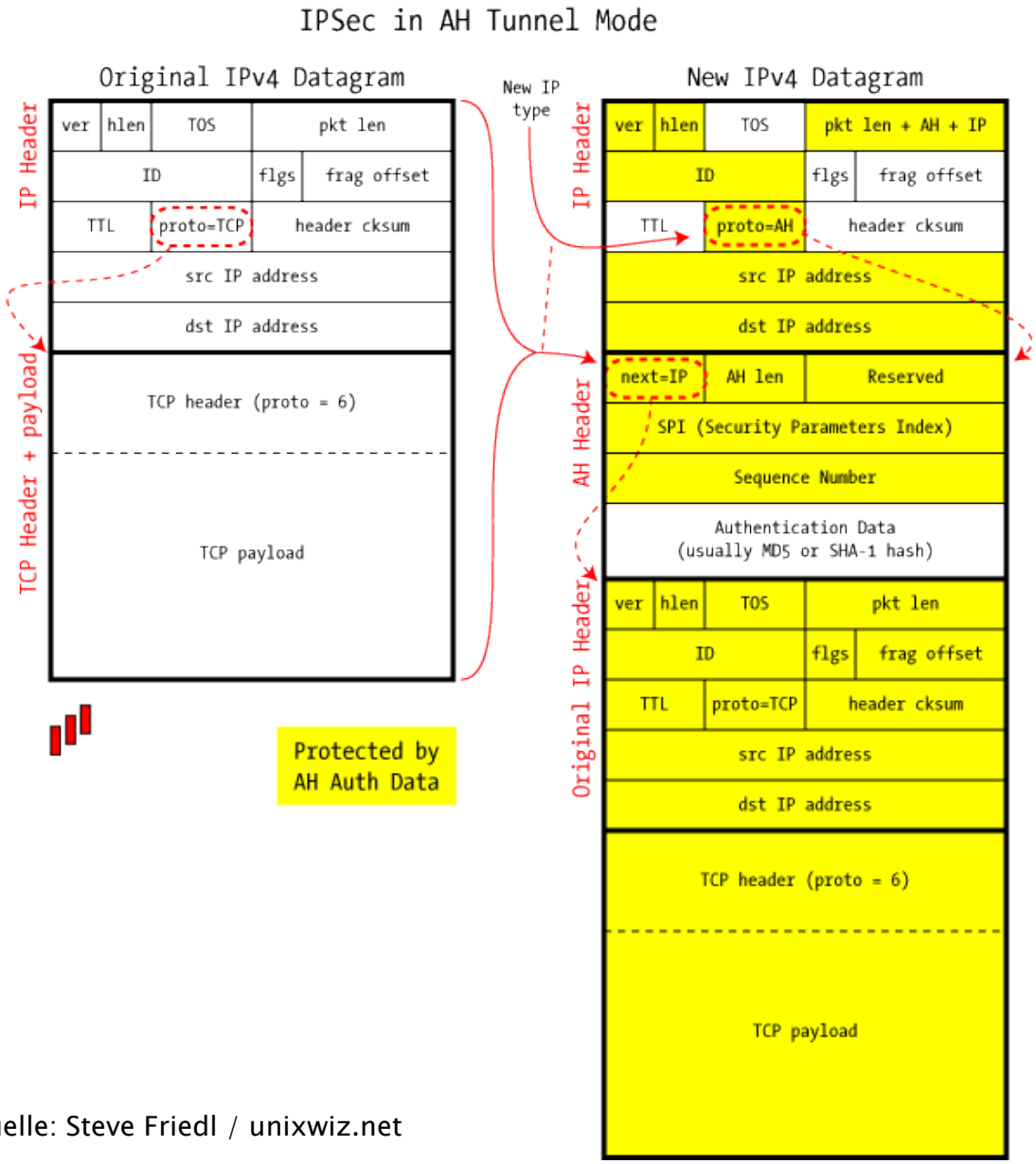


AH Transport Mode - Details



Bildquelle: Steve Friedl / unixwiz.net

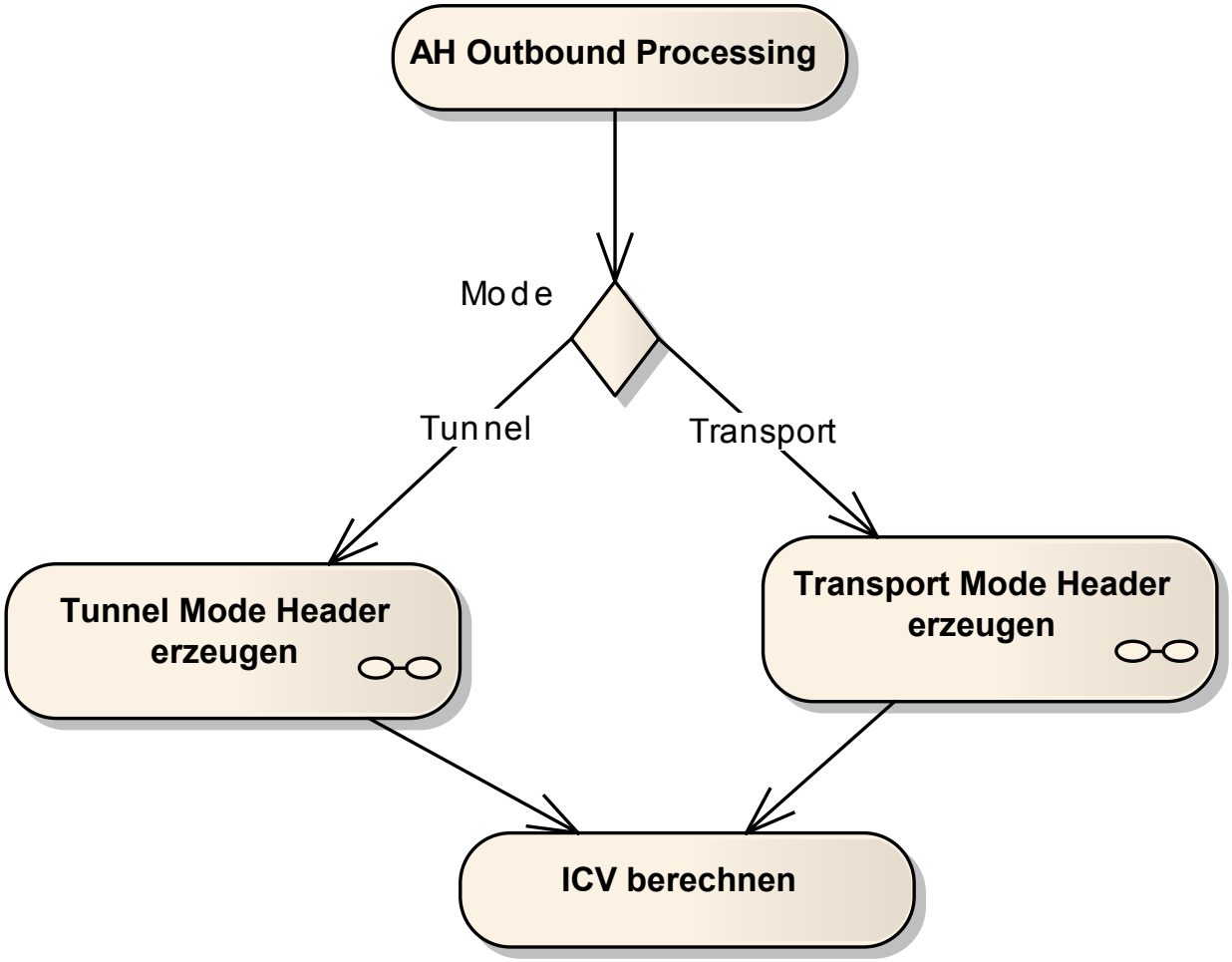
AH Tunnel Mode - Details



Bildquelle: Steve Friedl / unixwiz.net

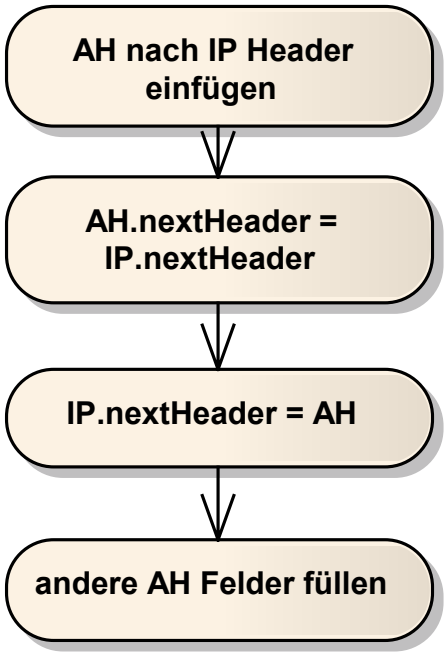
AH Outbound Processing

- IP-Stack im Betriebssystem hat ausgehendes Paket zu verarbeiten:

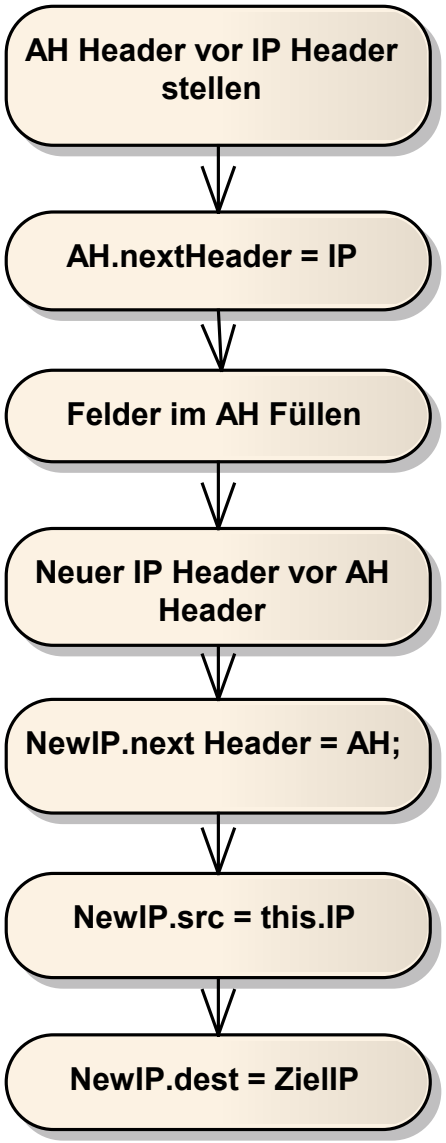


AH Outbound Processing 2

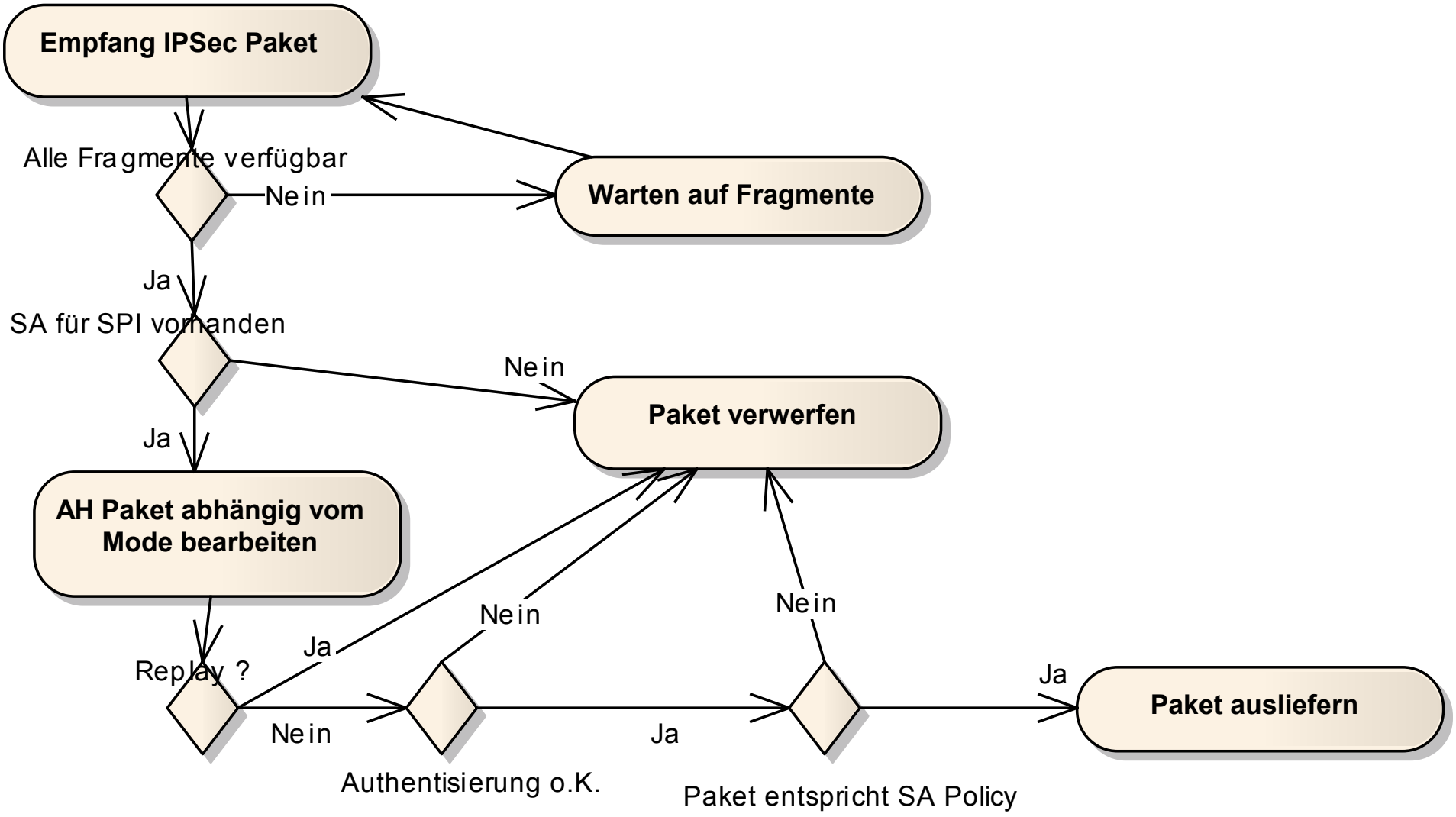
Transport Mode:



Tunnel Mode:

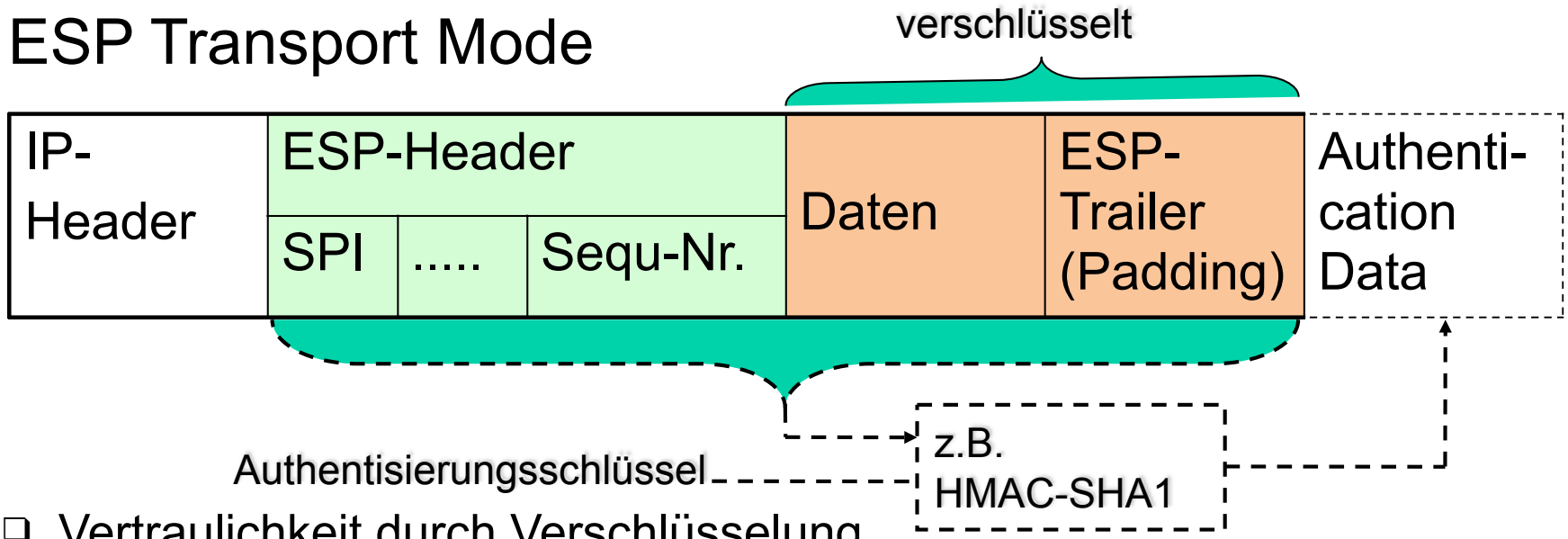


AH Inbound Processing



Encapsulating Security Payload (ESP) - Überblick

- ESP Transport Mode

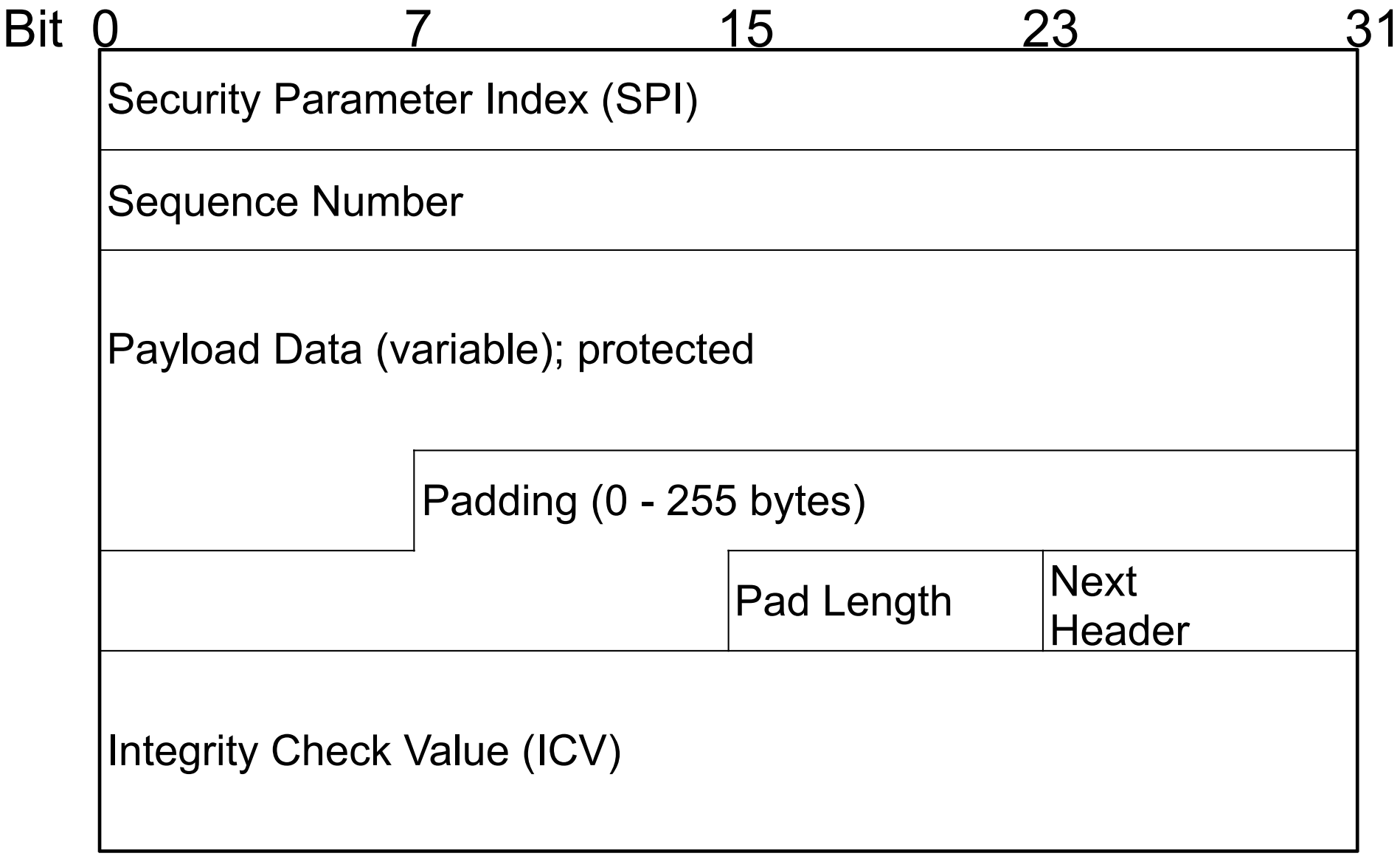


  - Vertraulichkeit durch Verschlüsselung
  - Integrität durch MAC (optional)
  - Authentisierung durch HMAC (optional)
  - Anti-Replay durch gesicherte Sequenznummer (optional)

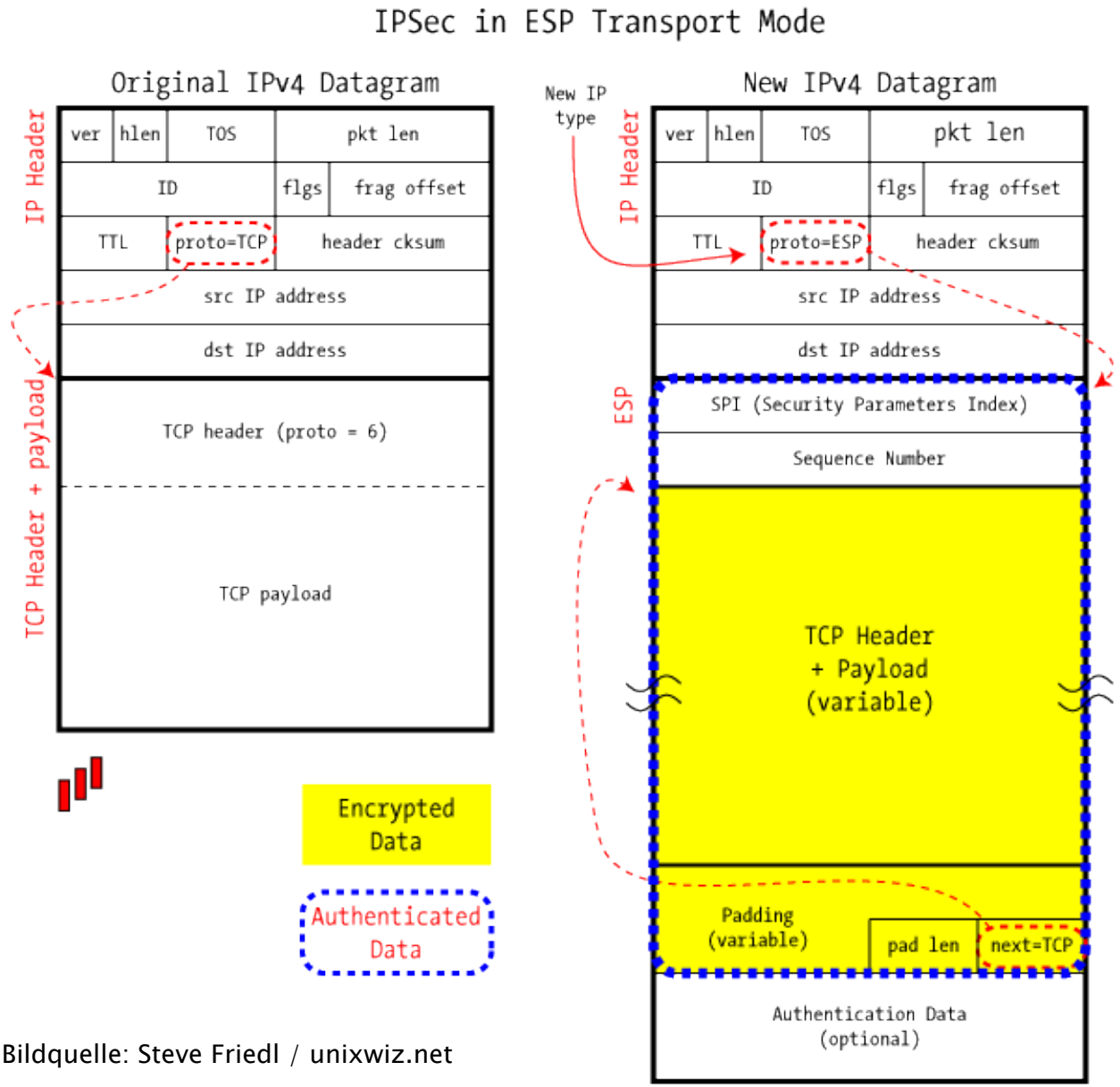
- ESP Tunnel Mode

  - Schutz vor Traffic-Analysen durch verschlüsselten IP-Header „alt“

ESP Header im Detail

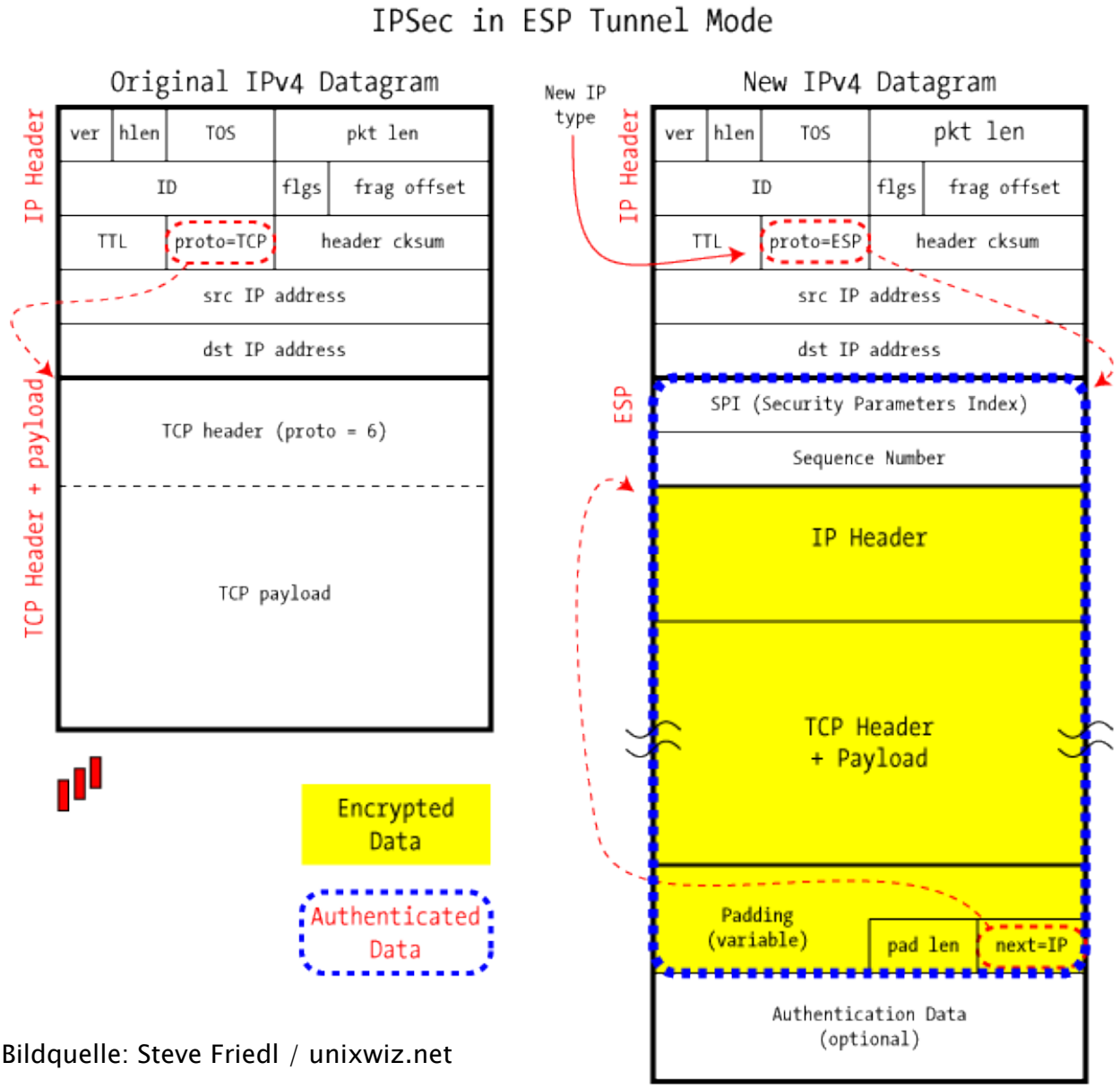


ESP Transport Mode - Details



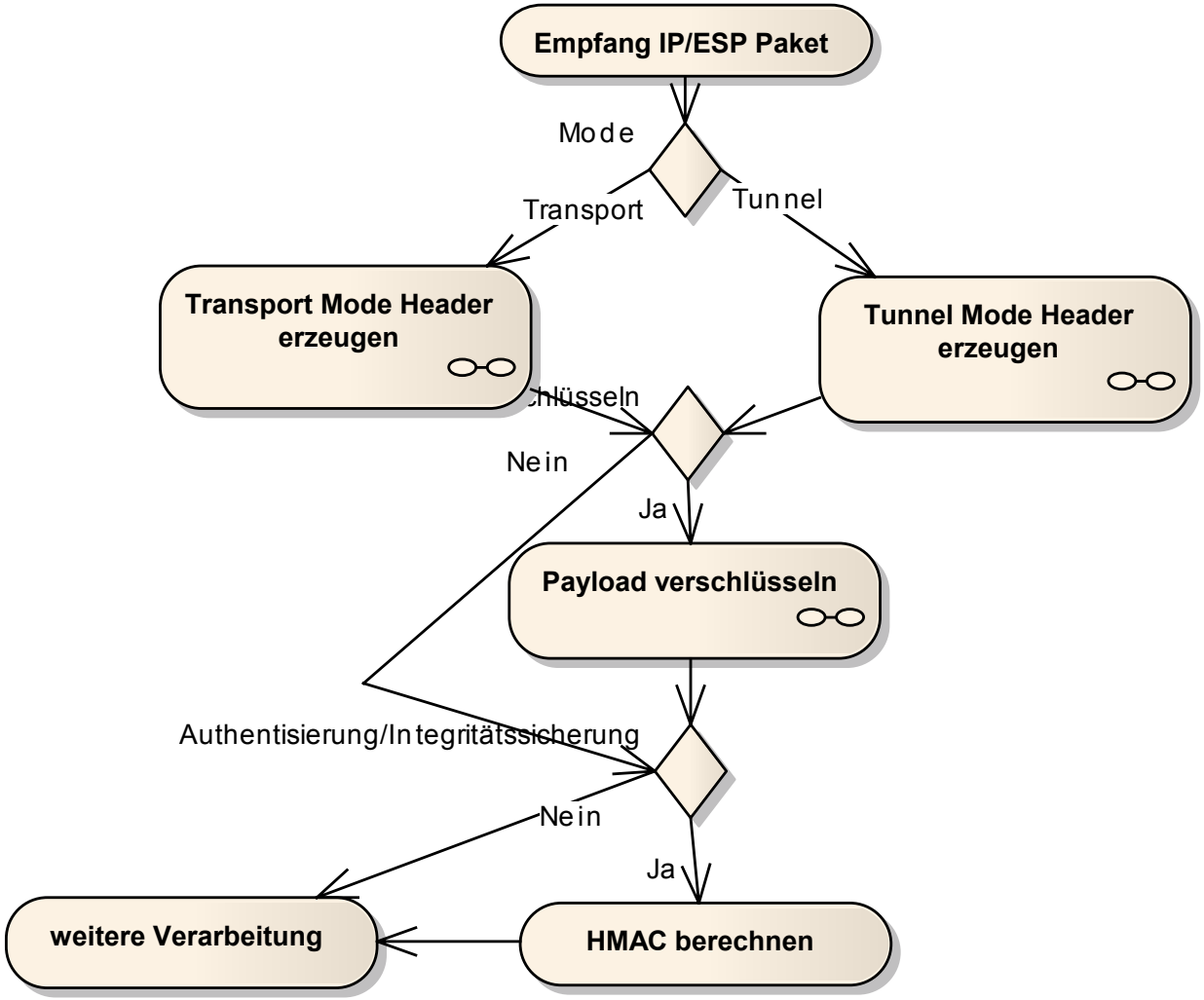
Bildquelle: Steve Friedl / unixwiz.net

ESP Tunnel Mode - Details

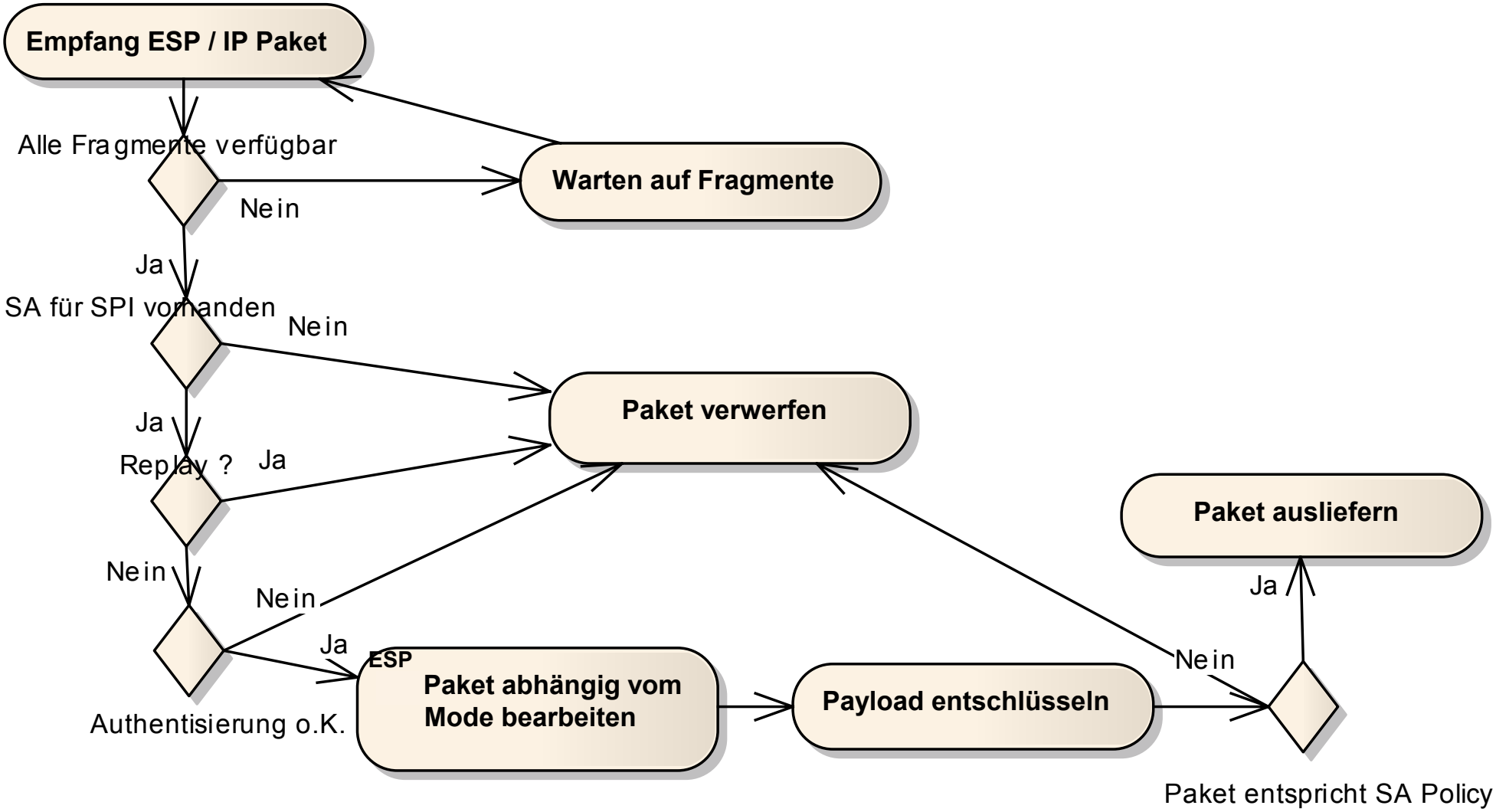


Bildquelle: Steve Friedl / unixwiz.net

ESP Outbound Processing



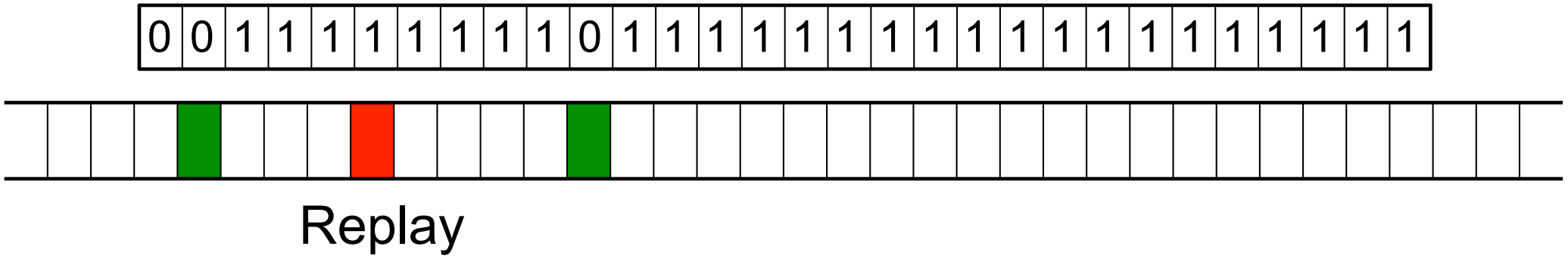
ESP Inbound Processing



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



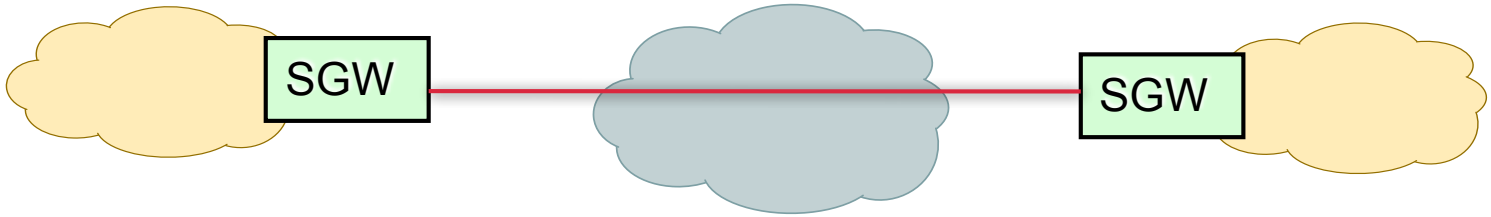
AH, ESP Algorithmen

- RFC 4308 und 7321 definieren Crypto-Algorithmen
- ESP Encryption
  - AES-CBC
  - 3DES
  - DES („must not be used“)
- ESP und AH Authentication
  - HMAC-SHA1-96
  - AES-GMAC with AES-128
  - AES-XCBC-MAC-96
  - HMAC-MD5-96

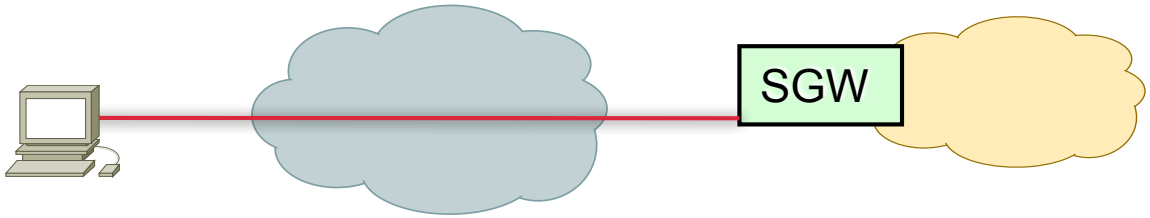
IPSec Anwendungsszenarien

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

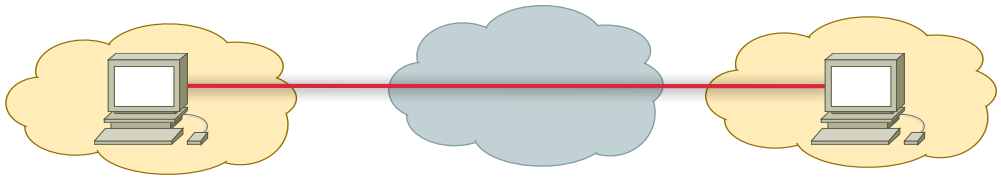
- Mögliche Einsatzszenarien
  - Kopplung von verschiedenen Unternehmensstandorten
    Verbindung von Security Gateway (SGW) zu Security Gateway



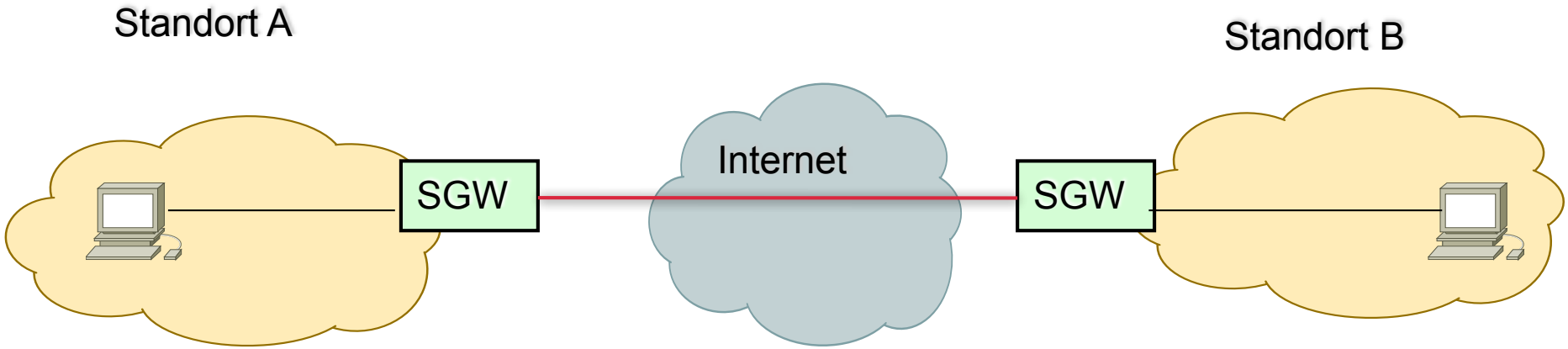
  - Telearbeitsplätze; Remote Access („Road Warrior“)
    Endsystem zu SGW



  - End-to-End



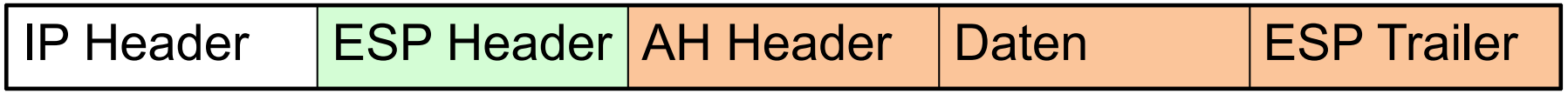
Szenario Standortvernetzung



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

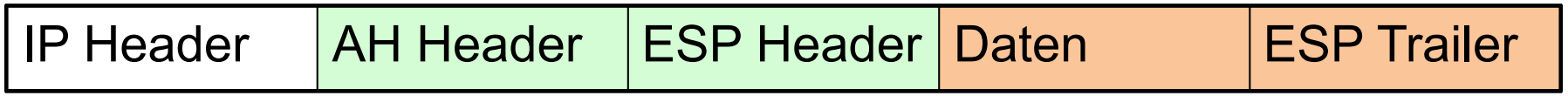
Protokollkombinationen

- 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)

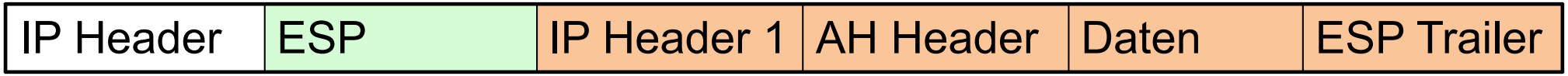


Protokollkombinationen (2)

- 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 Kommunikationsrichtung wird eine eigene SA vereinbart
- Jeder IPSec-Teilnehmer hat eine lokale 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

Grundlage: 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.
  (Eng verwandt mit dem Diskreten-Logarithmus-Problem)

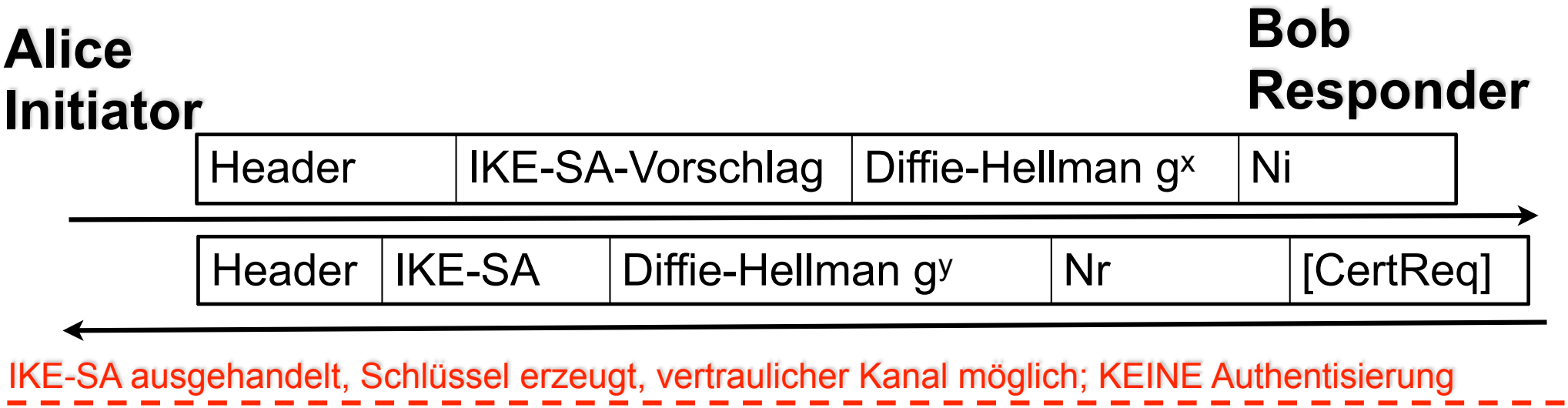
IPSec Schlüsselaustausch über IKEv2

- 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

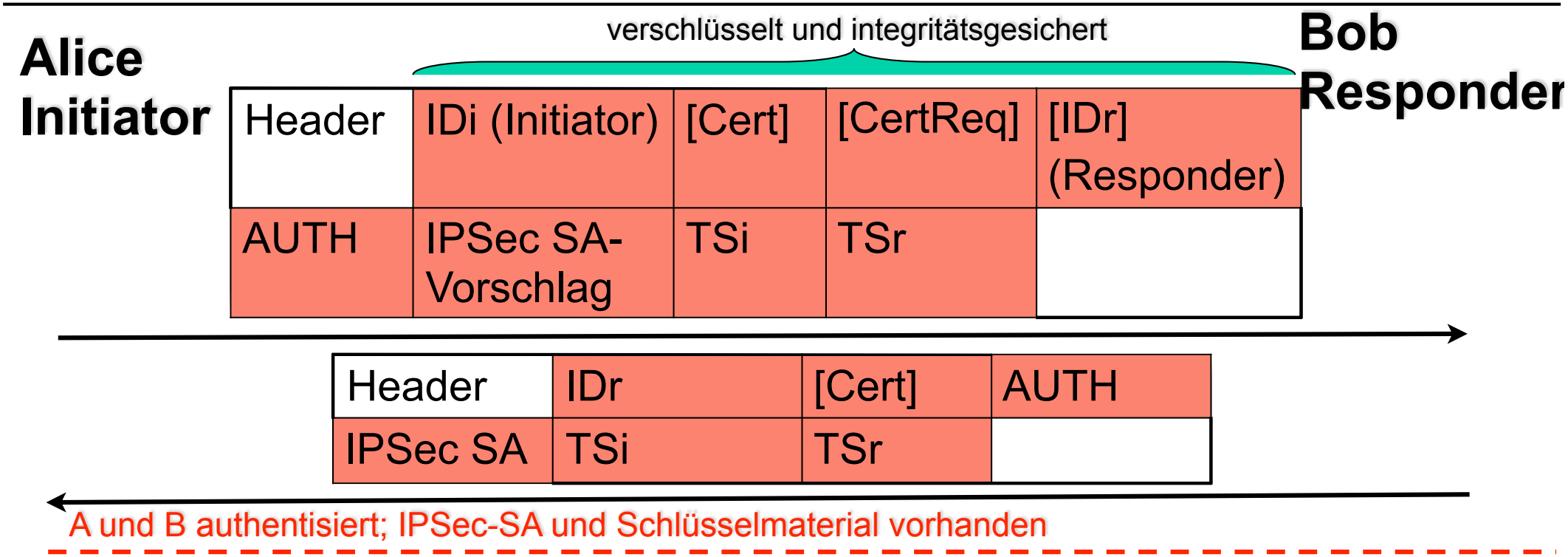
- Ziele:
  - Erzeugung des für IPSec benötigten Schlüsselmaterials
  - Authentisierung der Gegenseite schon in IKE (nicht erst in IPSec)

IKEv2: IKE_INIT



- 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

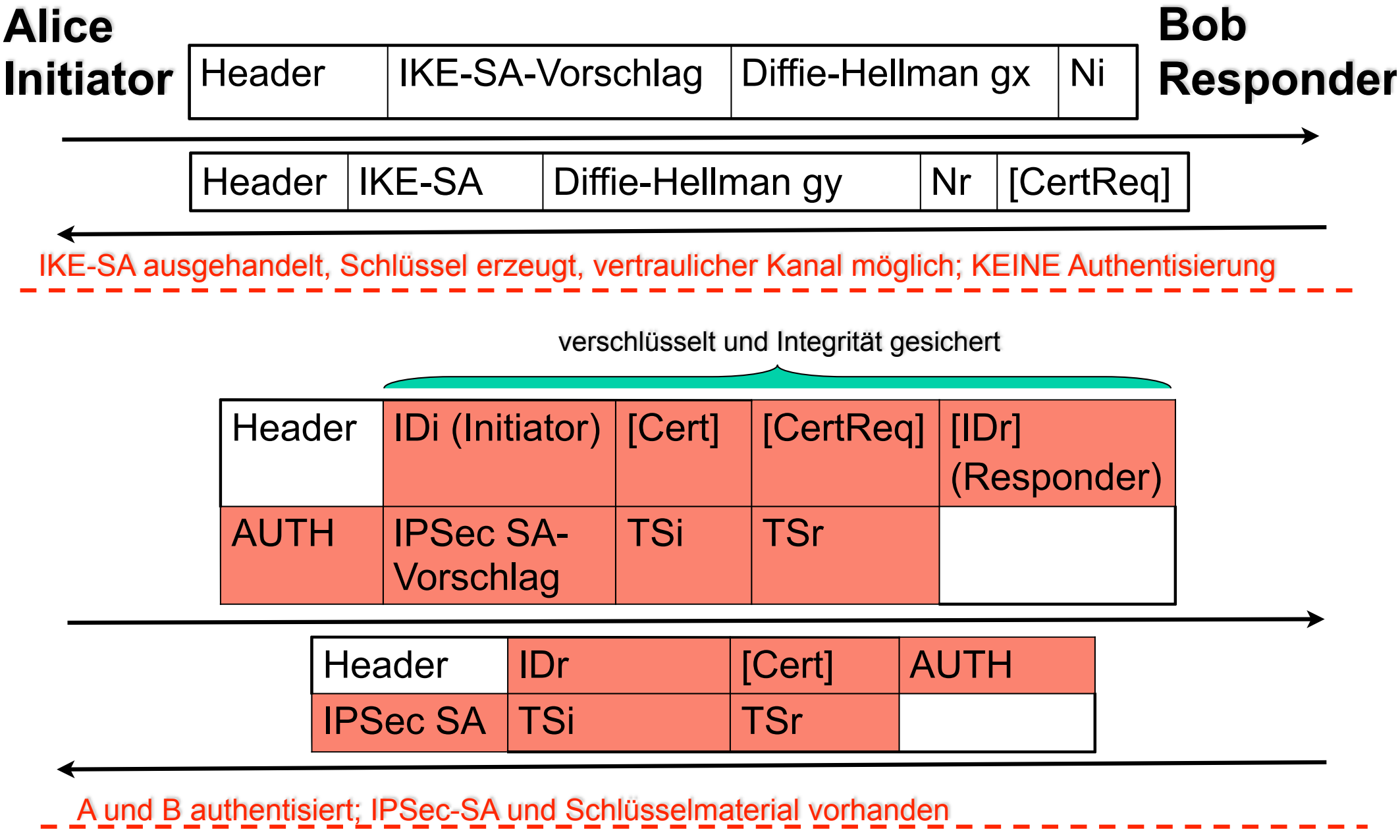


- Initiator und Responder können mehrere IDs haben; IDi und IDr bestimmen die jeweils gewählte ID
- Authentisierung über Public Key in AUTH
- Zertifikat und entsprechende Kette in Cert (Optional)
- TSx enthält Informationen aus lokaler Security Policy Database

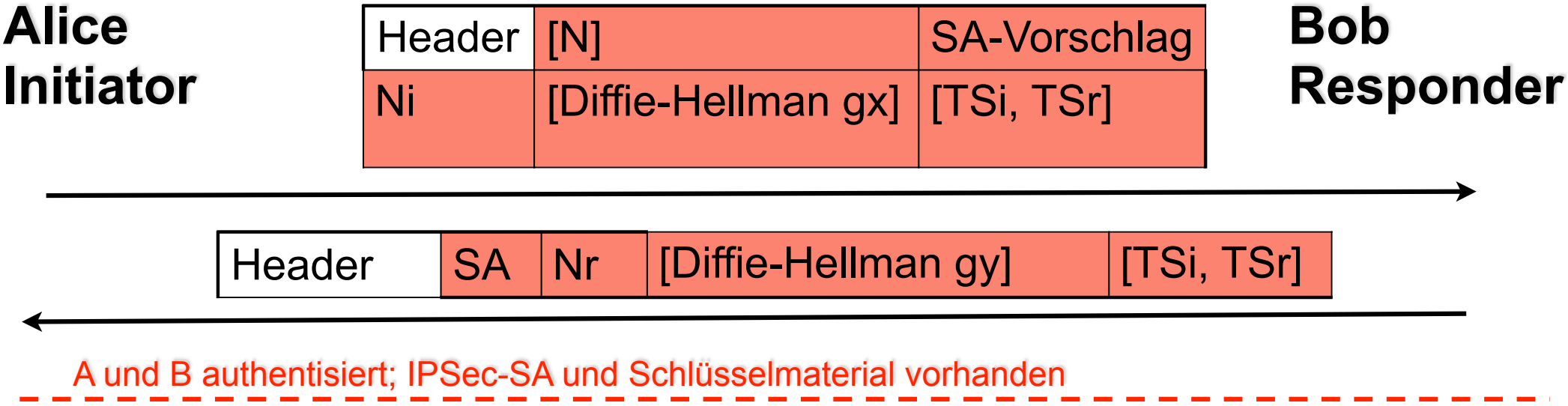
IKEv2: TSx

- 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 sind von Initiator / Responder gewählte 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+(K,S)
  - prf+ = T1 | T2 | T3 | T4 | ... mit

    K = Key
    S = Seed

  - T1 = prf(K, S | 0x01)
  - 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_{pi} 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 HMAC des Datenblocks
- Durch Verwendung des Extensible Authentication Protocol (EAP, vgl. Kap. 9)

IKEv2 Algorithmen

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