



Leibniz-Rechenzentrum
der Bayerischen Akademie der Wissenschaften

The background of the slide is a photograph of a modern, multi-story building with a glass and metal facade, likely a data center or university building. The image is overlaid with a semi-transparent blue filter. A dark blue horizontal bar is positioned across the middle of the image, containing the title text in white.

Kapitel 11: Netzicherheit - Schicht 2: Data Link Layer

Inhalt



1. Virtualisierung von Netzen
 - Virtual Private Networks
 - VLAN

2. Point-to-Point Protocol (PPP)
 - Authentisierungsprotokolle:
 - PAP, CHAP, EAP

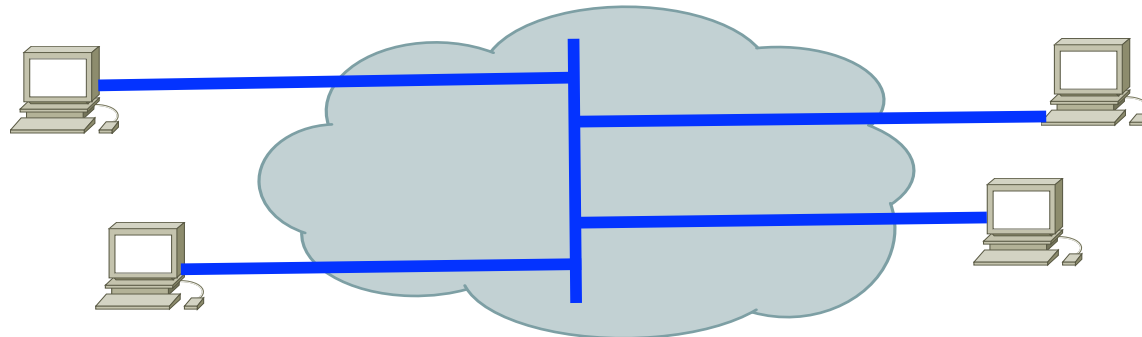
3. Point-to-Point Tunneling Protocol (PPTP)

5. Layer 2 Tunneling Protocol (L2TP)

7. IEEE 802.1x

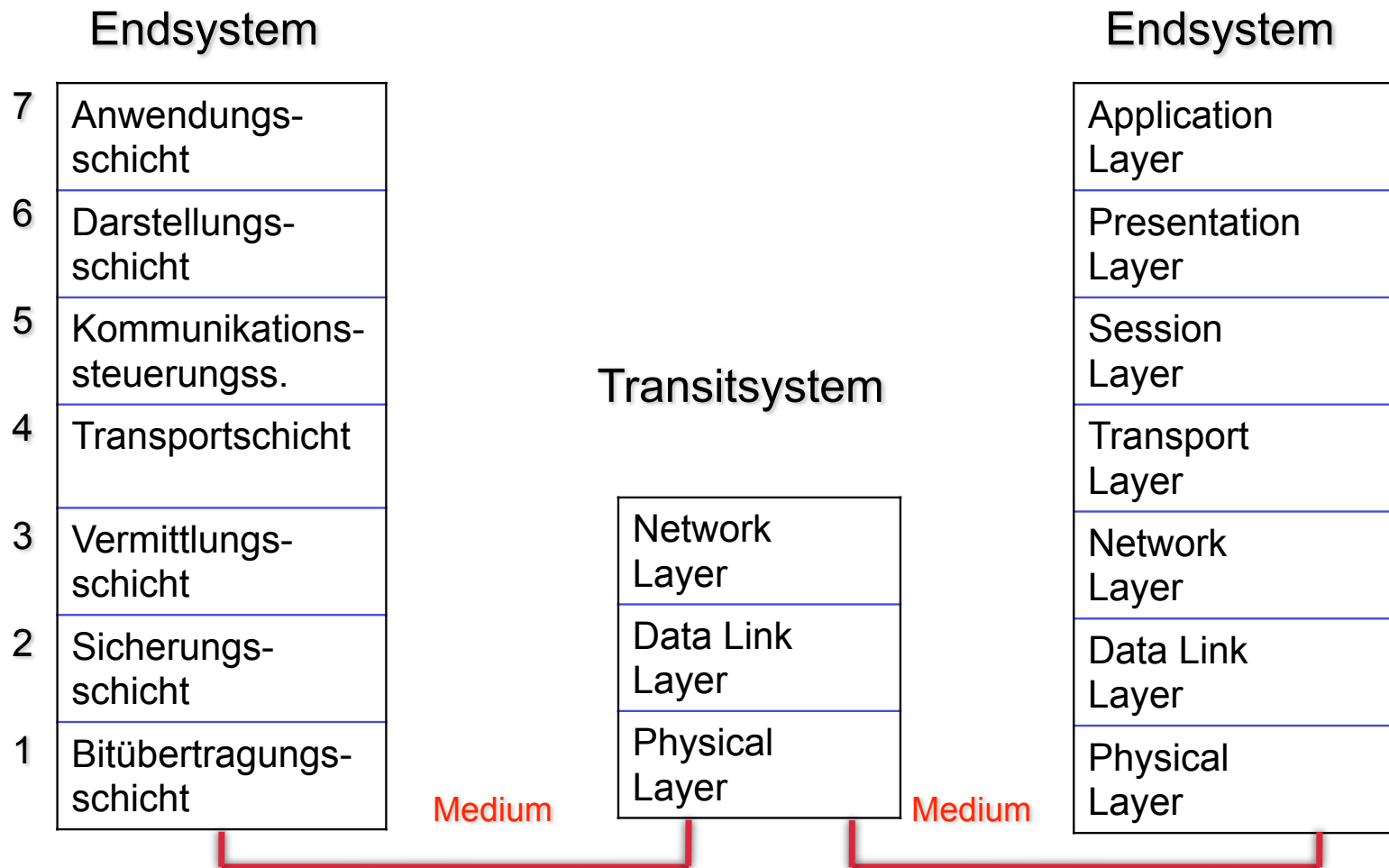
Virtual (Private) Network

- Grundidee:
Nachbildung einer logischen Netzstruktur („Local Area Network“ oder eines „nicht öffentlichen“ Netzes) in beliebigen Topologien/Technologien, z.B. auch über das Internet



- Das „virtuelle“ Netz soll u.a. bezüglich Vertraulichkeit und Datenintegrität mit physischen LANs vergleichbar sein
- Virtualisierung auf jeder Schicht des OSI-Modells möglich

ISO/OSI Schichtenmodell



Virtual Network auf Schicht 1

- Virtual Private Wire Service (VPWS)
 - Provider bietet Punkt zu Punkt Verbindung

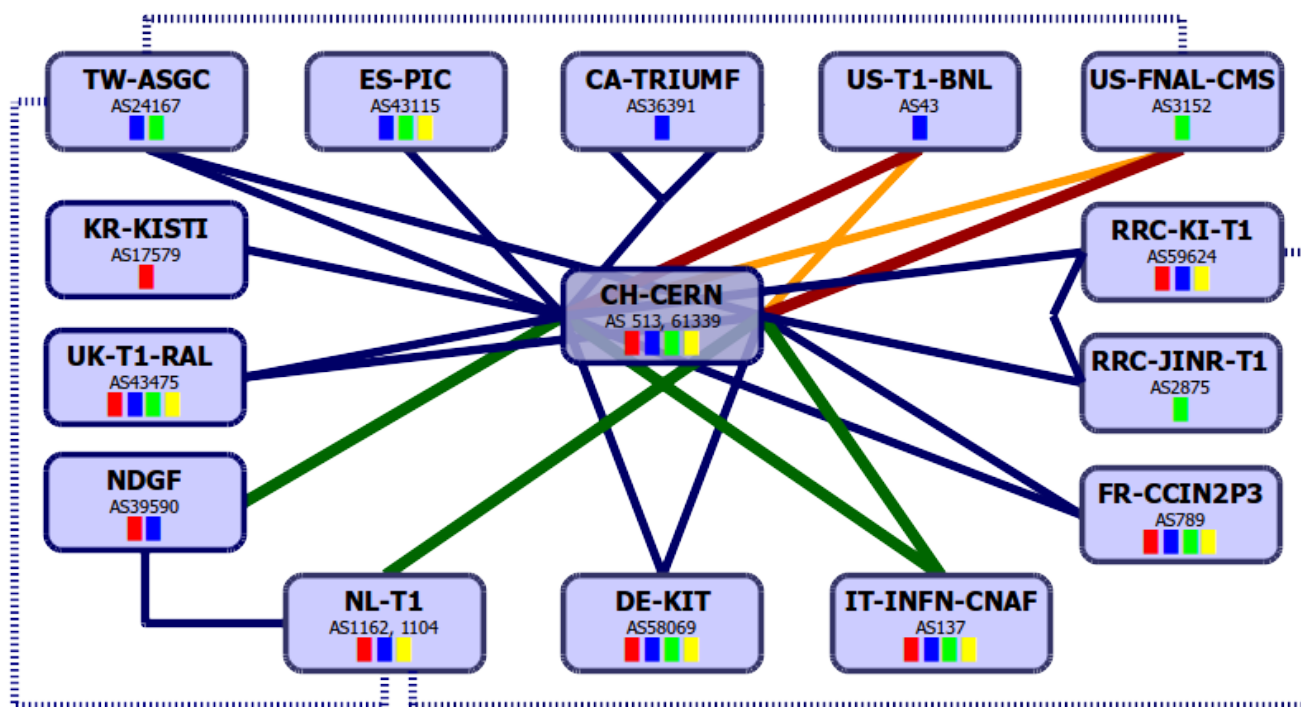
- Virtual Private Line Service (VPLS)
 - Provider bietet Punkt zu Multipunkt Verbindungen

- Beispiel:
Optical Private Link oder Optical Private Network (OPN)
 - Provider betreibt Glasfaserinfrastruktur
 - Kunde erhält eine Wellenlänge (Farbe) in dieser Infrastruktur
 - Kunde kann diese nutzen wie einen dedizierten Schicht 1 Link
 - Kunde muss sich um Routing, Bridging, etc. selbst kümmern
 - Über dieselben Glasfasern werden auch andere Kunden bedient

Beispiel für OPN

Large Hadron Collider

LHCOPN



— T0-T1 and T1-T1 traffic	— 10Gbps
..... T1-T1 traffic only	— 20Gbps
■ = Alice ■ = Atlas ■ = CMS ■ = LHCb	— 40Gbps
eduardo.martelli@cern.ch 20160912	— 100Gbps

Virtual Network auf Schicht 2/3/4

■ Schicht 2:

- Virtual LAN (VLAN)
 - Mehrere LAN Broadcast Domains über den selben physischen Link
 - Standard: VLAN Tagging (IEEE 802.1Q)
- Virtual Private LAN Services (Achtung: Abkürzung auch VPLS)
 - Verbindet physisch getrennte (V)LANs miteinander
- Point-to-Point Verbindungen
- Layer2 Tunneling Protocol
-

■ Schicht 3 und höher:

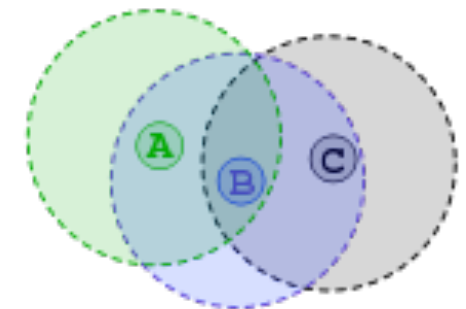
- IPSec
- SSL / TLS
- OpenVPN
- ...

Aufgaben der Schicht 2

- Fehlerfreie Übertragung von Frames (Rahmen)
 - Aufteilung von Bitströmen in Frames
 - Fehlerkontrolle über Prüfsummen (z.B. Cyclic Redundancy Check, CRC)

- Flusskontrolle (Verhindert, dass der Empfänger mit Frames überflutet wird und diese verwerfen muss)

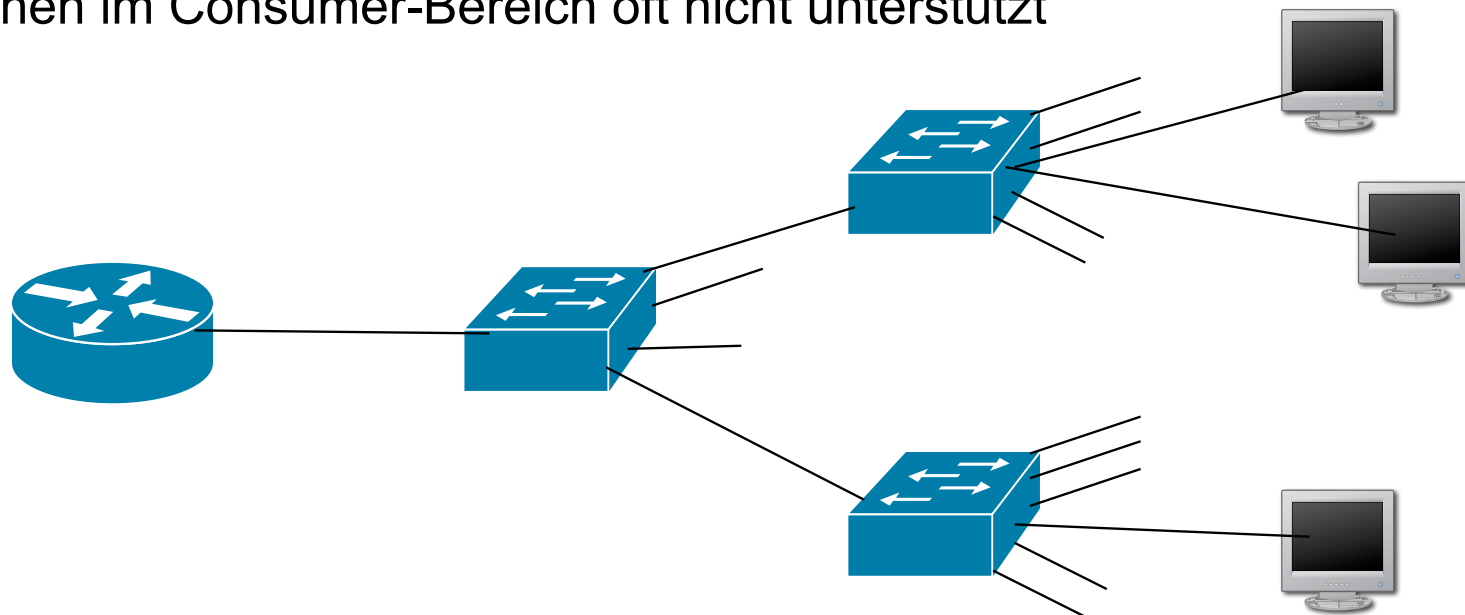
- Medienzugriffsverfahren für gemeinsam genutztes Übertragungsmedium
 - CSMA/CD bei Ethernet (IEEE 802.3)
 - CSMA/CA bei WLAN (IEEE 802.11)
 -



WLAN: Problem der „hidden stations“

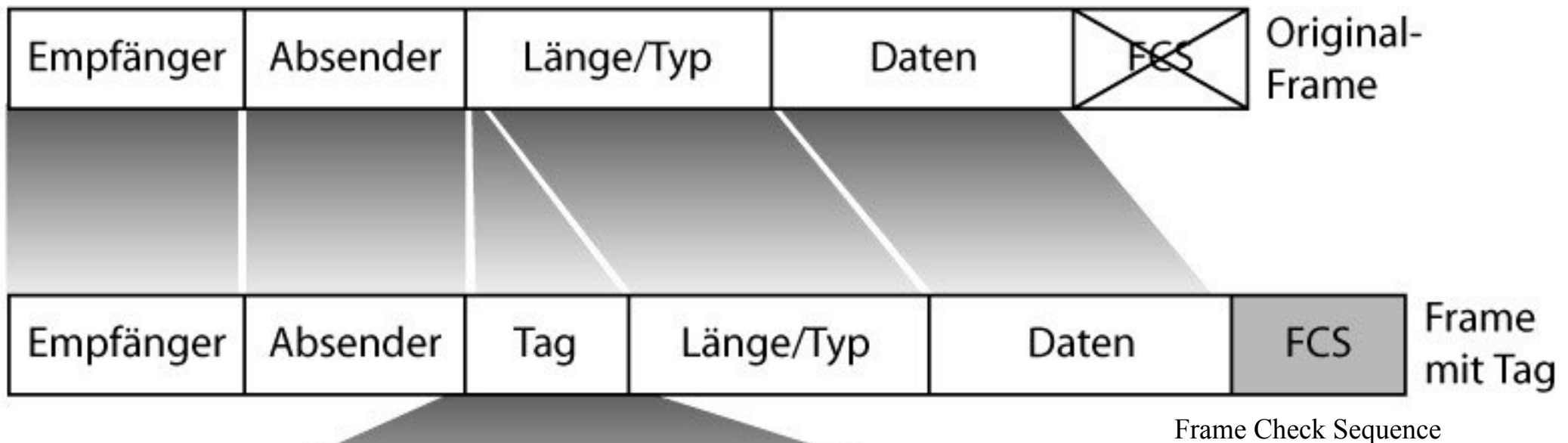
Virtual LAN (VLAN)

- LAN-Infrastruktur über mehrere Switches (Gebäude) hinweg
- Logisch verschiedene LANs auf einer Netzkomponente
- Wunsch nach Verkehrsseparierung
- Heute Standard in Unternehmens- und Hochschulnetzen
 - Von Switchen im Consumer-Bereich oft nicht unterstützt

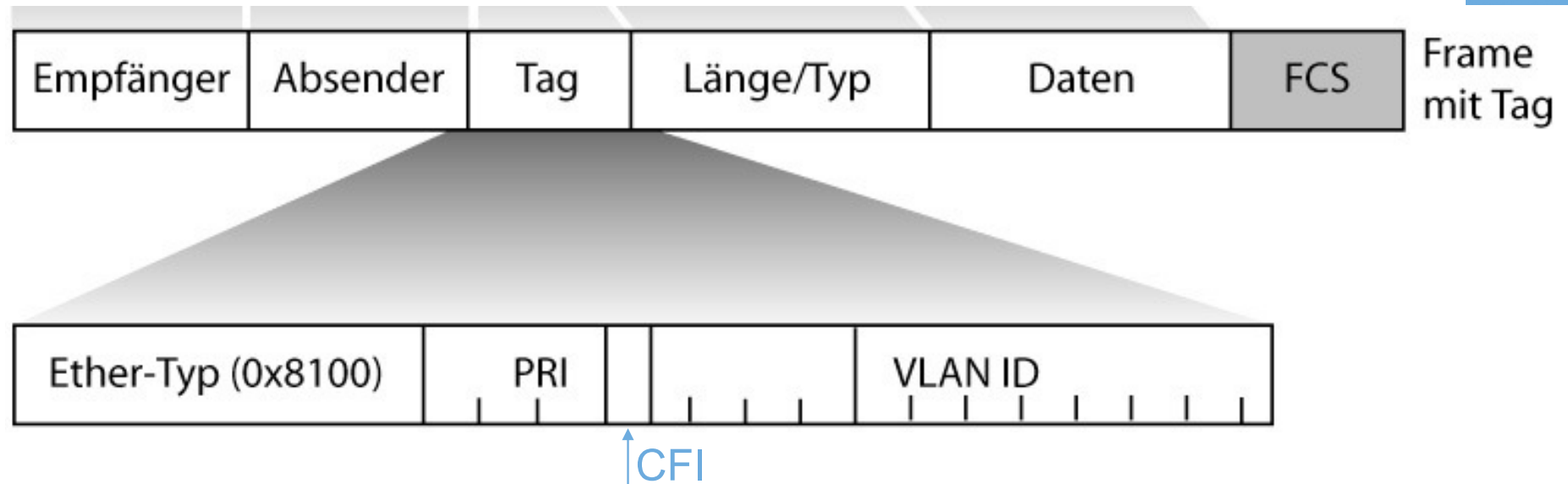


Datenpakete

- Virtual Local Area Network (VLAN); IEEE 802.1Q
- VLAN definiert Broadcast-Domäne
- Idee: Erweiterung des Ethernet-Frame um sog. Tag

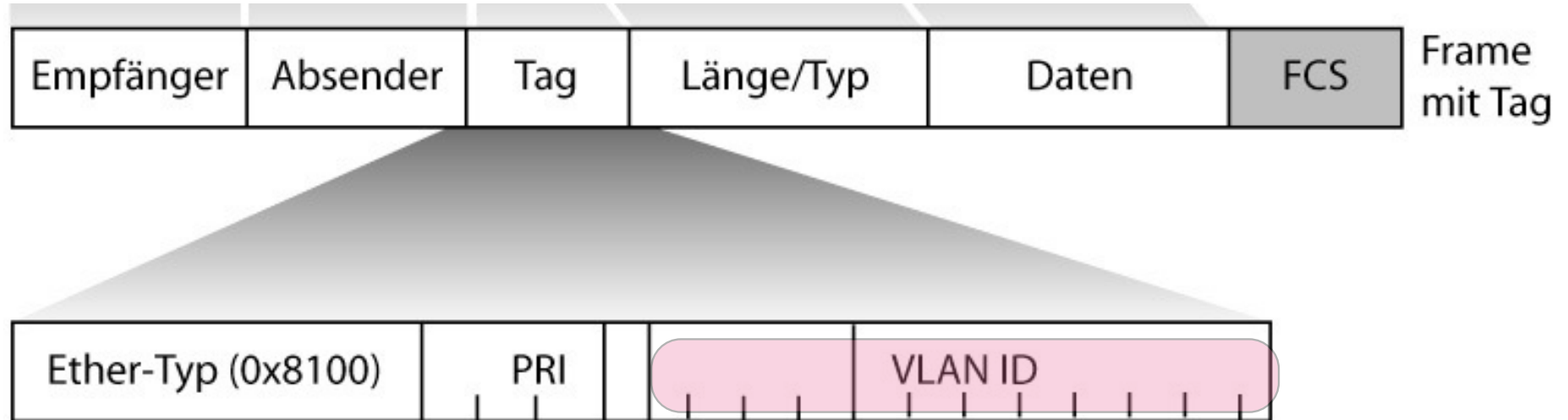


Tag-Format



- Erweiterung des Ethernet-Frame um 32-bit Tag:
 - ❑ TPID (Tag Protocol Identifier): konstant 0x8100; d.h. 802.1Q Tag Information im Frame enthalten (2 Byte)
 - ❑ PRI (Priority): Priorisierung nach 802.1p (3 Bit)
 - ❑ CFI (Canonical Format Indicator): MAC Adressen in kanonischer Form (1 Bit); bei Ethernet 0; sonst (z.B. Token Ring) 1

Tag-Format (Forts.)

Frame
mit Tag

- Erweiterung des Ethernet-Frame um 32-bit Tag:
 - **VLAN-ID:** Identifizierung des VLANs („VLAN NR.“) (12 Bit)
 - ID 0 = „kein VLAN“, ID 0xFFF ist reserviert
 - Somit 4094 verschiedene VLANs möglich

Point to Point Protokoll (PPP)

- Punkt-zu-Punkt Protokoll; Entwickelt für Verbindungsaufbau über Wählleitungen
 - DSL, ISDN, Modem, Mobilfunk, Funk, serielle Leitungen,....
 - WAN-Verbindungen zwischen Routern
 - Angelehnt an HDLC (Highlevel Data Link Control); Schicht 2 Protokoll
- Spezifiziert in RFC [1661](#), [1662](#), [1663](#) und [2153](#)
 - Frame Format mit Begrenzungssymbolen (Delimiter) und Prüfsumme
 - Link Control Protocol (LCP) für:
 - Verbindungsauf- und -abbau
 - Test
 - Aushandeln der Konfiguration (u.a. Nutzdatenlänge pro Frame)
 - Network Control Protocol (NCP) :
 - Aushandeln der Konfiguration der unterstützten Schicht 3 Protokolle (z.B. IP, IPX, Appletalk,...), verschiedene Schicht 3 Protokolle über einen PPP-Link möglich
- Weitere Varianten: PPPoE (over Ethernet), PPPoA (over ATM)

- Authentifizierung optional
- Im Rahmen der LCP-Aushandlung der Konfiguration kann jeder Partner eine Authentifizierung fordern
- Definierte Authentifizierungsprotokolle:
 - Password Authentication Protocol (PAP)
 - Challenge-Handshake Authentication Protocol (CHAP)
 - Extensible Authentication Protocol (EAP)

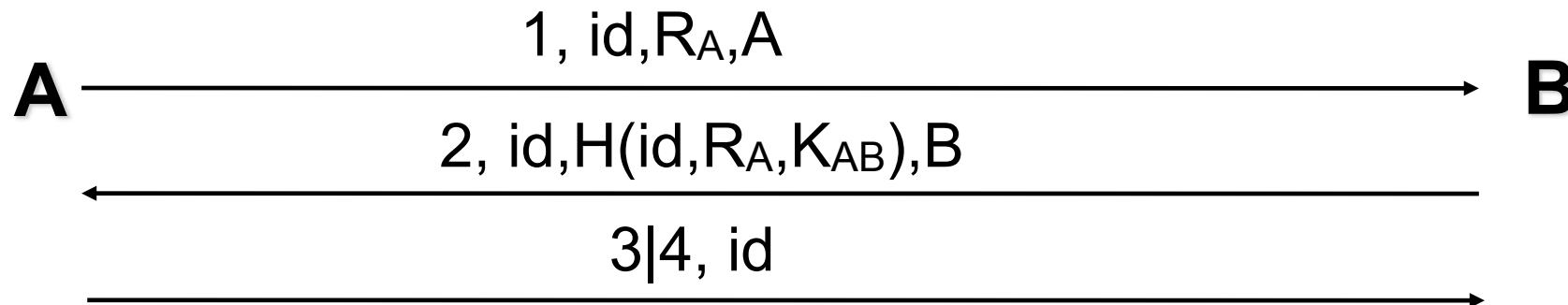
Password Authentication Protocol (PAP)



- Spezifiziert in [RFC1334](#)
 - Authentisierende Entität kennt ID und Passwort aller Clients
 - Client wird mit LCP zur Authentisierung via PAP aufgefordert
 - Client schickt ID und Passwort im Klartext
 - Server schickt im Erfolgsfall ACK
-
- Keine Verschlüsselung, Übertragung der Passwörter im Klartext
-
- ➔ Unsicheres Protokoll
- RFC 1334: *„Any implementations which include a stronger authentication method (such as CHAP, described below) MUST offer to negotiate that method prior to PAP.“*

Challenge Handshake Authentication Protocol (CHAP)

- (Auch) RFC1334 und [RFC1994](#)
- Periodische Authentisierung durch 3-Way-Handshake Protokoll
- Basiert auf gemeinsamen Geheimnis (Passwort) K_{AB}
- A (Authenticator) fordert B zur Authentisierung auf:



- id: 1 Byte Identifier („incrementally changing“) gegen Replay-Angriffe
- R_A : Zufallszahl, H: Hash Verfahren, im Standard MD5
- 3 = success; 4 = failure
- Auth-Request kann später beliebig neu geschickt werden

Sicherheitsrisiko PAP-Fallback



- Viele Clients unterstützen immer noch Server, die nur PAP anbieten
 - Für Client-Hersteller einfach zu implementieren
 - Abwärtskompatibilität vom Markt gewünscht
 - Die meisten Anwender kennen den Unterschied zwischen PAP, CHAP, etc. sowieso nicht: Hauptsache, es funktioniert!

- Man-in-the-middle-Angriff
 - Client kommuniziert nicht direkt mit Server, sondern über Angreifer
 - Angreifer gibt sich als „nur PAP“-Server aus
 - Angreifer erhält Klartext-Passwort vom Client
 - Somit kann der Angreifer u.a. als CHAP-fähiger Client gegenüber dem richtigen Server auftreten

Extensible Authentication Protocol (EAP)

- [RFC3748](#) und [RFC5247](#)
- Authentisierungs-Framework, bietet gemeinsame Funktionen und Aushandlungsmechanismen für konkretes Verfahren (als Methode bezeichnet)
- Rund 40 Methoden werden unterstützt:
 - EAP-MD5; äquivalent zu CHAP
 - EAP-OTP (One Time Password); vgl. Kapitel 8
 - EAP-GTC (Generic Token Card)
 - EAP-TLS (Transport Layer Security) vgl. Abschnitt über SSL/TLS
 - EAP-SIM (Global System for Mobile Communications (GSM) Subscriber Identity Modules (SIM))
- Herstellerspezifische Methoden:
 - LEAP (Cisco) Lightweight Extensible Authentication Protocol
 - PEAP (Cisco, Microsoft, RSA) Protected Extensible Authentication Prot.
 -

Grundlagen

- EAP kann Sequenz von Verfahren verwenden
- Verfahren muss aber vollständig abgeschlossen werden, bevor neues beginnt
- Request - Response Schema mit Success / Failure Antwort

- Beispiel: EAP-GTC (Generic Token Card, RFC3748)
 - Nutzbar für verschiedenste Authentisierungs-Token-Implementierungen
 - Request beinhaltet Nachricht, die dem Nutzer angezeigt wird
 - Nutzer gibt Token-Information ein
 - Server prüft und antwortet



Point to Point Tunneling Protocol (PPTP)

- PPP wurde für „direkt“ verbundene Systeme entwickelt
- Idee von PPTP (RFC2637):
 - Ausdehnung von PPP über Internet
 - PPTP realisiert Tunnel durch / über das Internet
 - Transport von PPP PDUs in IP-Paketen
 - Dazu werden PPP PDUs mit Generic Router Encapsulation Protocol (GRE) gekapselt
 - GRE ist ein Schicht 4 Protokoll

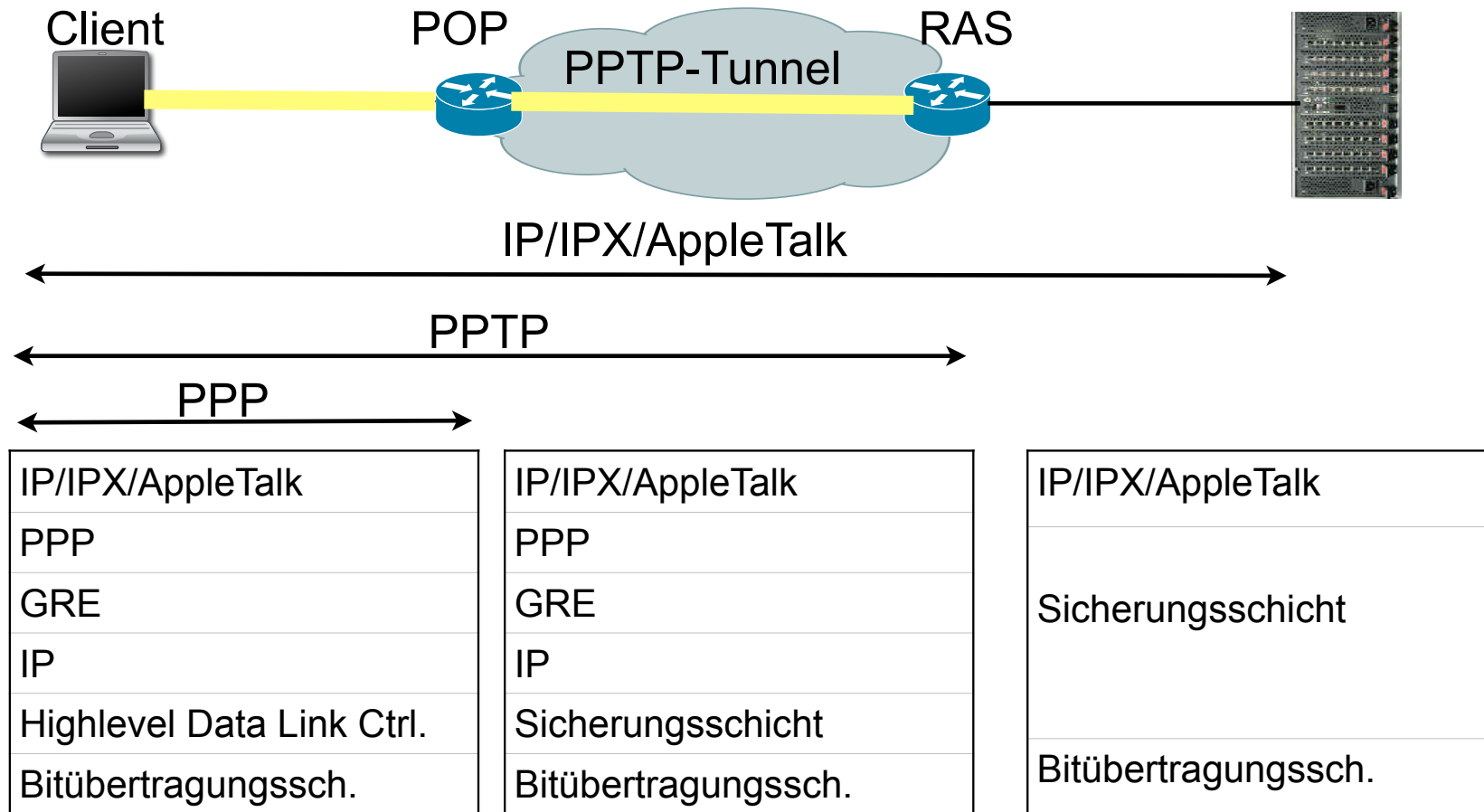
PPP Protocol Data Unit (PPP PDU)
GRE
IP
Sicherungsschicht
Bitübertragungsschicht (Physical Layer)

- Eines der ersten einfach zu konfigurierenden VPN-Protokolle mit weiter Verbreitung seit Microsoft Windows 95

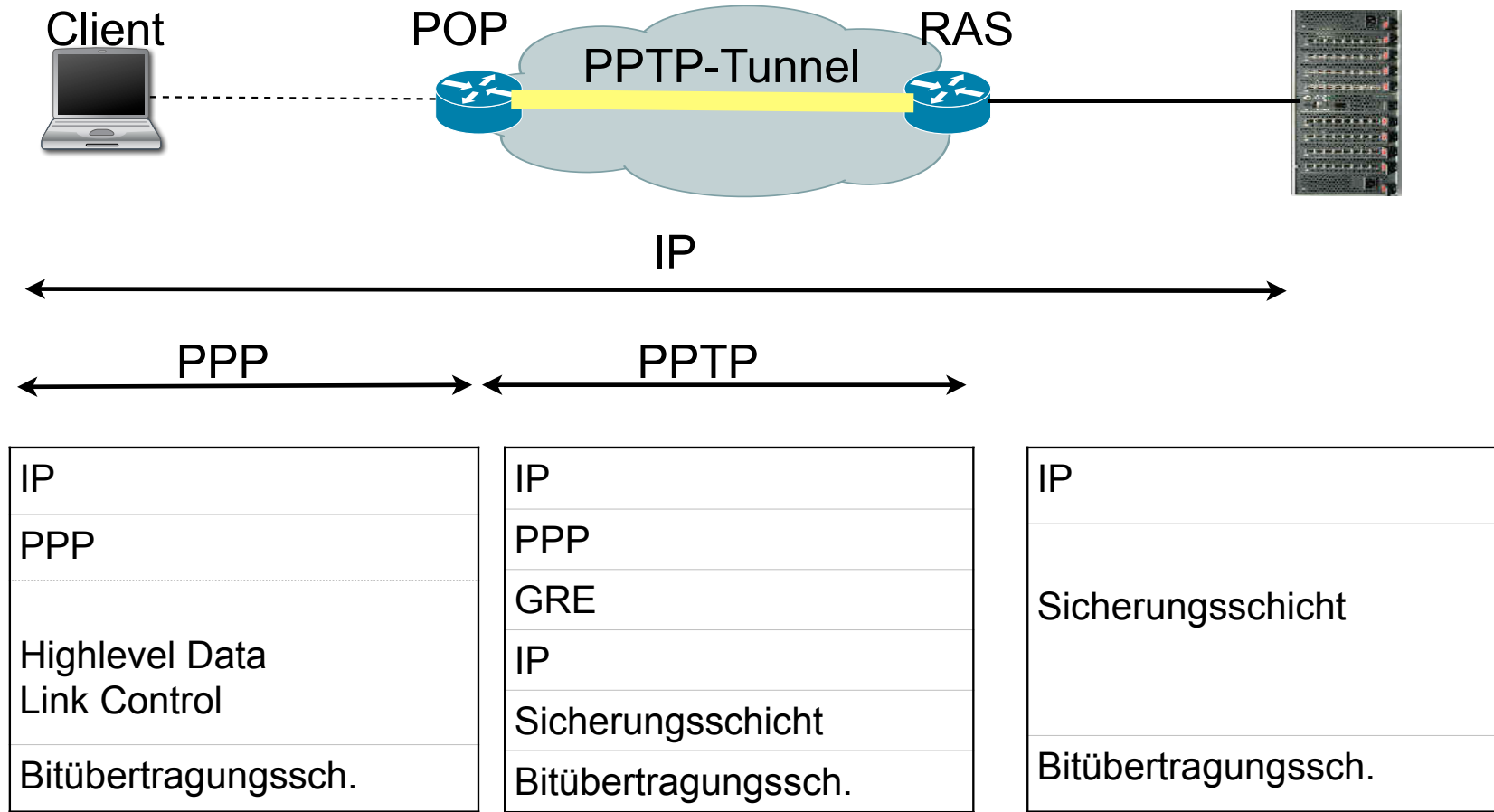
- Verbindung eines Clients mit einem Remote Access Server (RAS)
 - Voluntary Tunneling
 - Client setzt PPTP aktiv ein

- Verbindung eines ISP Point of Presence (POP) mit einem PPTP Remote Access Server
 - Compulsory Tunneling
 - Client weiß nichts von PPTP
 - ISP POP handelt als Proxy (Stellvertreter) des Clients

Voluntary Tunneling



Compulsory Tunneling



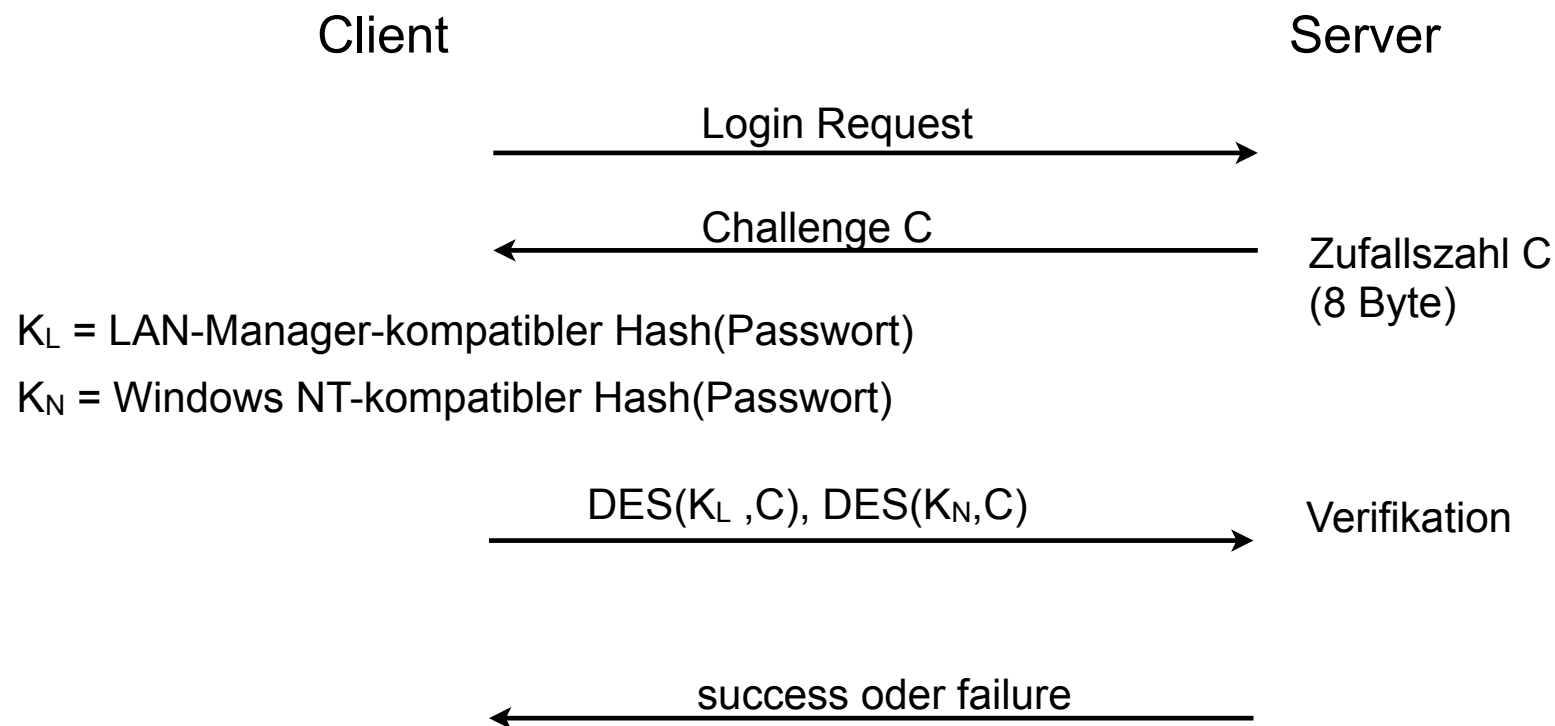
Sicherheit

- Von Microsoft entwickelt [[RFC 2637](#)] als Teil des Remote Access Service (RAS)
- Microsoft-eigene Erweiterungen:
 - Microsoft PPP CHAP (MS-CHAP) [[RFC 2433](#)]
 - Microsoft Point to Point Encryption Protocol (MPPE) [[RFC 3078](#)]
- Analyse von Bruce Schneier 1998; Fehler in
 - Password Hashing: schwacher Algorithmus erlaubt Eve, das Passwort zu ermitteln (Stichworte: LAN Manager Passwort und L0phtCrack)
 - Challenge/Response Protokoll erlaubt Maskerade-Angriff auf RAS Server (keine beidseitige Authentifizierung)
 - Verschlüsselung: Implementierungsfehler erlaubt Dekodierung
 - Verschlüsselung: Geratenes Passwort erlaubt Entschlüsselung
 - Kontrollkanal: Unautorisierte Nachrichten erlauben DoS (Crash des Servers)
 - Details: <http://www.schneier.com/paper-pptp.pdf>
- Microsoft verbesserte nach: PPTP v2 und MS-CHAPv2 [[RFC 2759](#)]

Vergleich MSCHAP v1 und v2



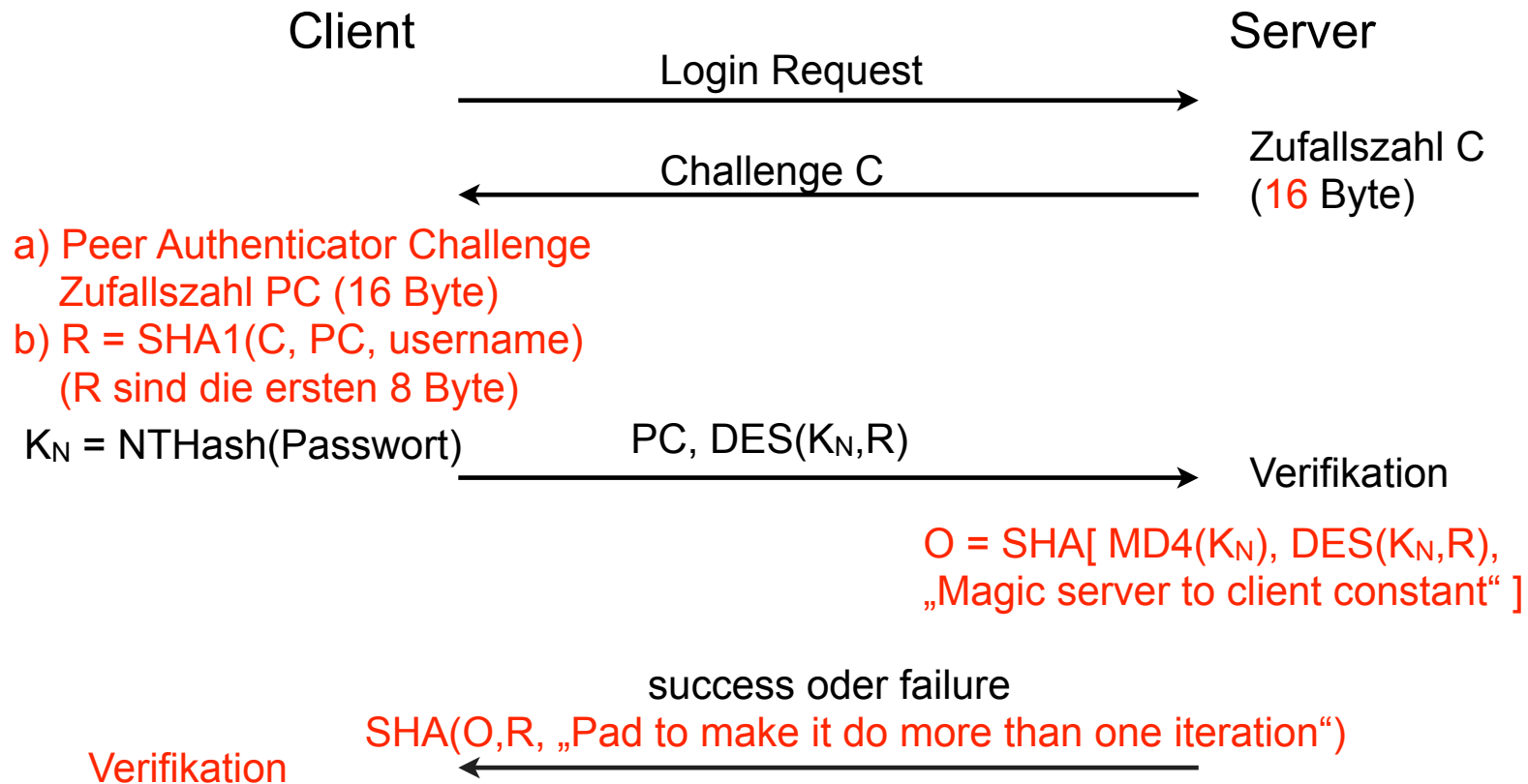
■ Version 1:



Vergleich MSCHAP v1 und v2



■ Änderungen in der Version 2



- Protokoll komplizierter als nötig
- Nutzen der „piggybacked“ Peer Authenticator Challenge PC fragwürdig
- Fazit:
 - Auch MS-CHAP v2 hat keinen integrierten Schutz vor Angriffen
 - Starke Abhängigkeit von der Wahl eines „guten“ Benutzerpassworts
 - Bessere Verfahren (z.B. Encrypted Key Exchange und Varianten) waren bereits verfügbar, wurden von Microsoft aber nicht genutzt
- Version Rollback Attack möglich:
Mallet „überzeugt“ Client und Server, MS-CHAP v1 zu verwenden

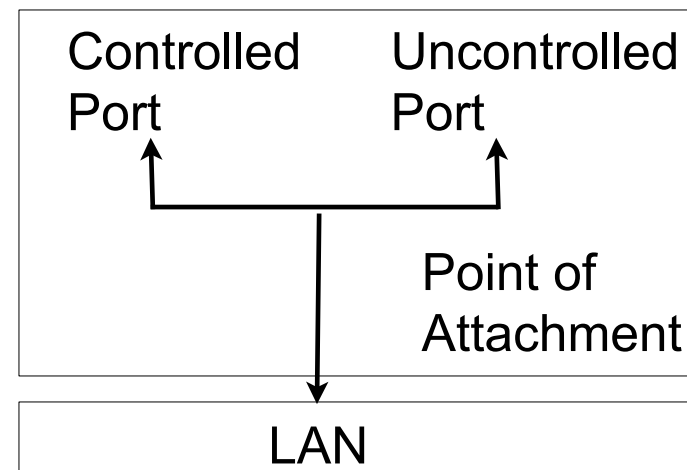
IEEE 802.1X



- 802er Standards für Local Area Networks (LAN), insbesondere für Schicht 1 und 2, z.B.
 - ❑ 802.1Q Virtual Bridged LANs (VLAN)
 - ❑ 802.3 CSMA/CD (Ethernet)
 - ❑ 802.5 Token Ring
 - ❑ 802.6 Metropolitan Area Network
 - ❑ 802.11 Wireless LAN
 - ❑ 802.15 Wireless PAN (Personal Area Network)
 - ❑ 802.15.1 Bluetooth
- 802.1X Port Based Network Access Control
 - ❑ Authentisierung und Autorisierung in IEEE 802 Netzen
 - ❑ Häufig genutzt in WLANs und (V)LANs
 - ❑ Port-basierte Network Access Control

■ Rollen:

- ❑ Supplicant: 802.1X Gerät, das sich authentisieren möchte
- ❑ Authenticator: Gerät, an dem der Supplicant angebunden ist (z.B. Switch oder WLAN Access Point), erzwingt Authentisierung und beschränkt ggf. Konnektivität
- ❑ Authentication Server: führt die eigentliche Authentisierung durch (z.B. RADIUS-Server mit LDAP-Backend)
- ❑ Port Access Entity (PAE): „Port“, an dem Supplicant angeschlossen ist
 - Uncontrolled Port:
erlaubt Authentisierung des Gerätes
 - Controlled Port:
erlaubt authentisiertem Gerät Kommunikation zum LAN



Ablauf der Protokolle

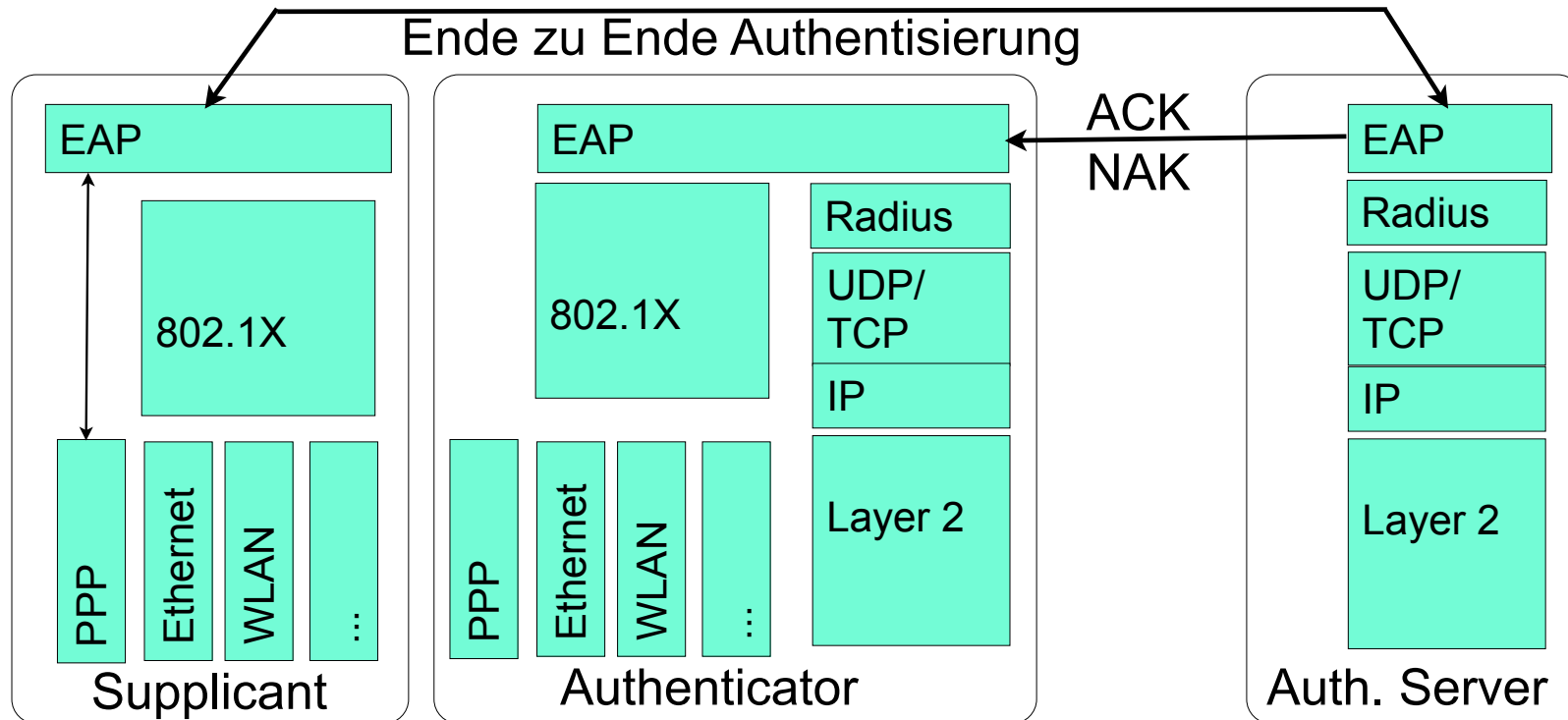
- Möglicher Ablauf:
 1. Supplicant fordert Controlled Port
 2. Authenticator fordert Authentisierung
 3. Nach erfolgreicher Authentisierung wird der Port freigeschaltet

- Supplicant oder Authenticator können Authentisierung initiieren

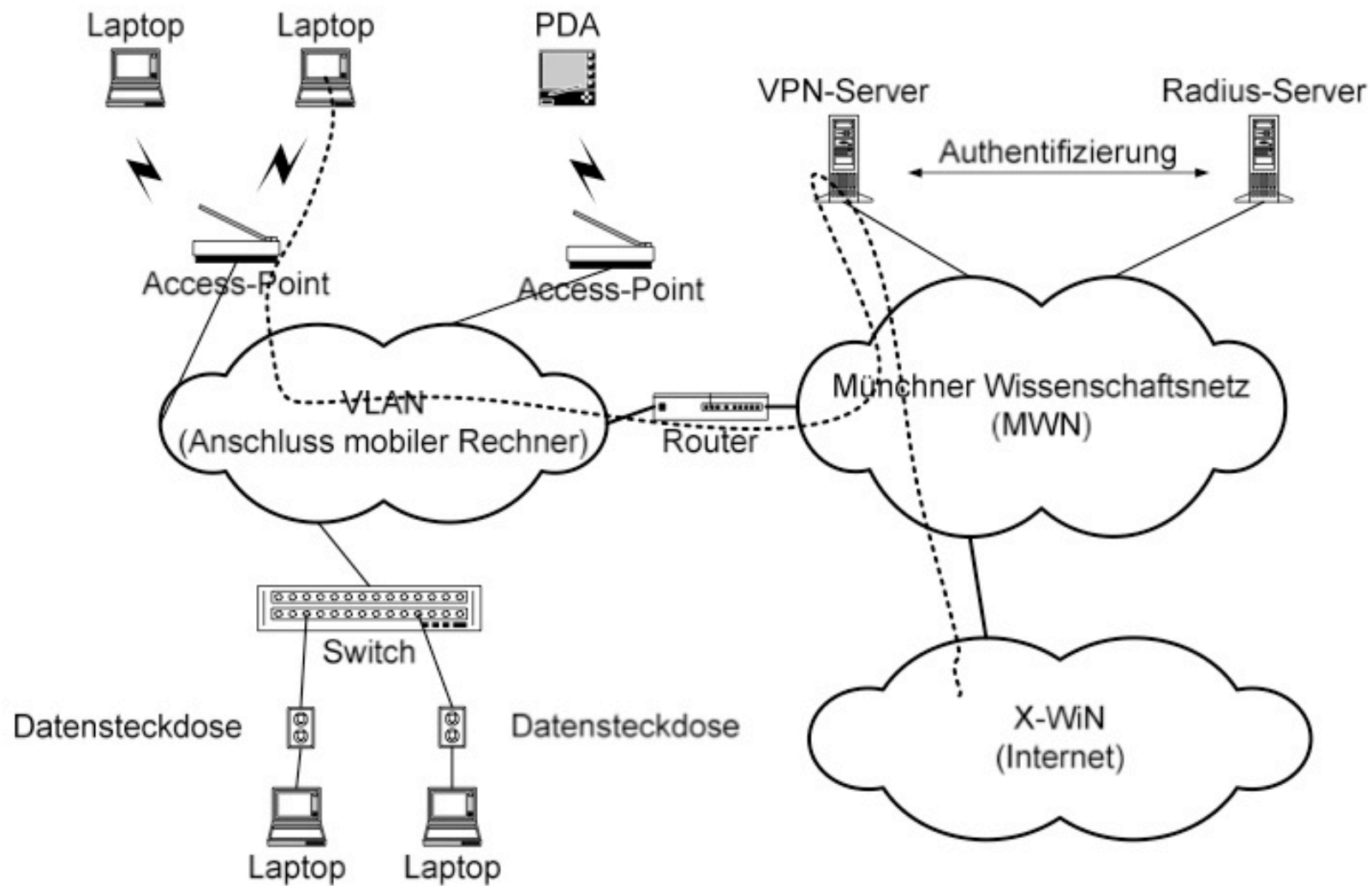
- 802.1X definiert keine eigenen Sicherheitsprotokolle, sondern nutzt bestehende:
 - Extensible Authentication Protocol (EAP) [RFC 3748] für Geräte-Authentisierung
 - EAP-TLS [RFC 5216] z.B. zur Aushandlung eines Session Key
 - RADIUS als AAA Protokoll (AAA = Authentisierung, Autorisierung und Accounting)

Extensible Authentication Protocol

- Unterstützt verschiedene Auth.-Mechanismen
- Aushandlung erst während der Authentisierung mit Auth.-Server
- Authenticator ist nur Vermittler der Nachrichten



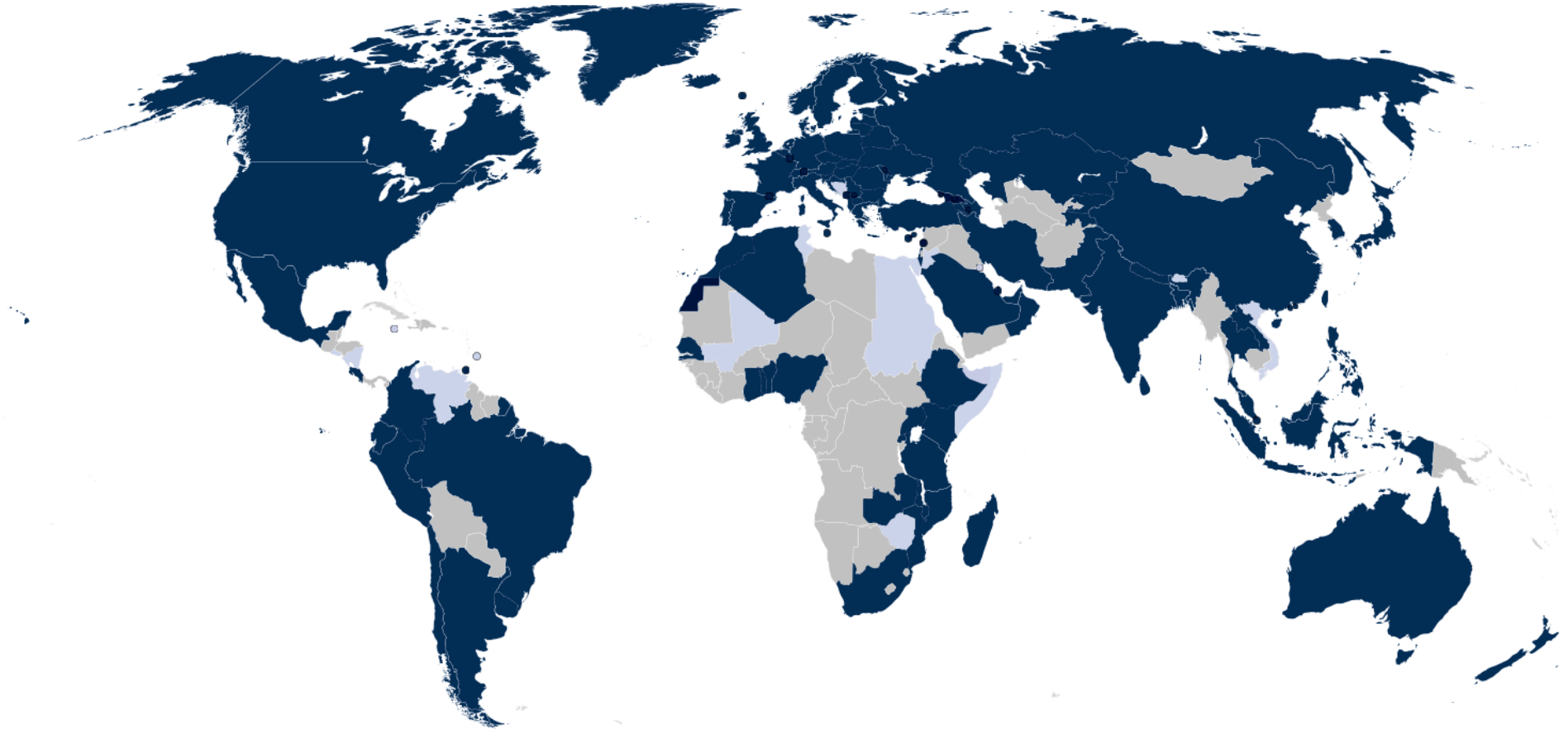
Datenzugang in öffentlichen Bereichen im MWN



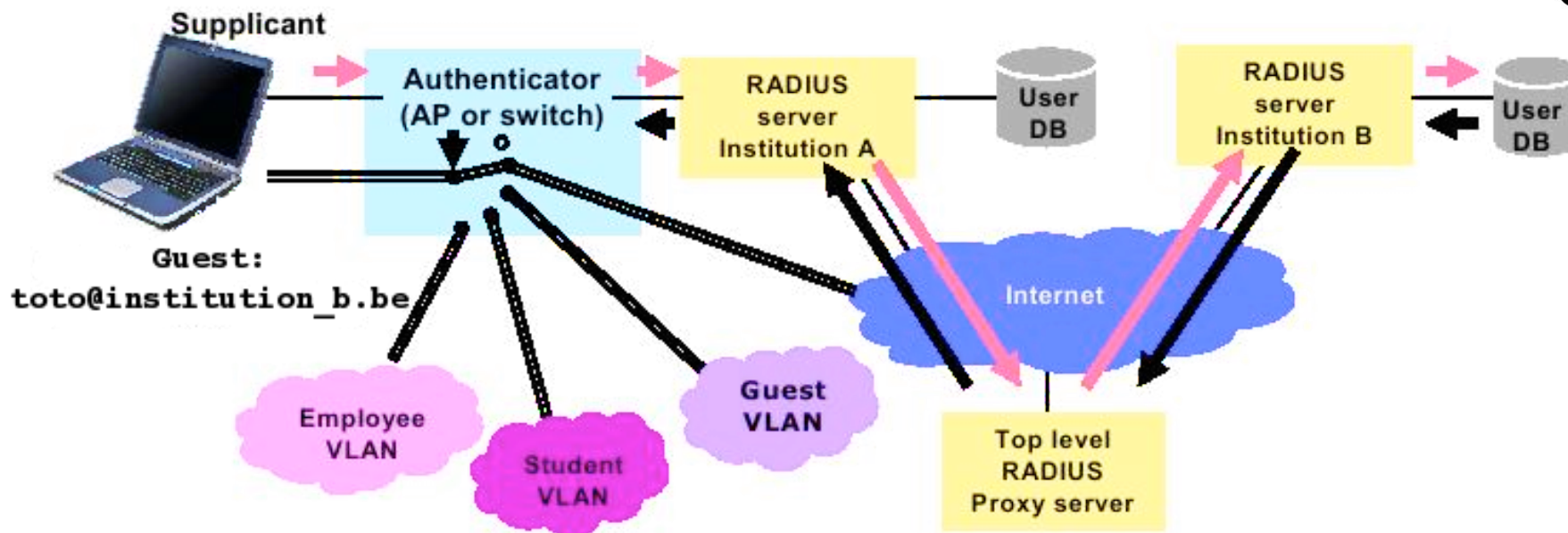
- Hintergrund
 - Eduroam wurde im Rahmen von GÉANT Forschungsprojekten
 - GÉANT ist Verbund von europäischen NRENs (National Research & Education Networks) und betreibt ein europäisches Backbone zur Anbindung der NRENs
 - Beteiligt sich an Forschungsprojekten: aktuell GN4 - Planungen für GN5 laufen
 - LRZ arbeitet im Auftrag des DFN an GN4 mit
- Eduroam ermöglicht **Mitarbeitern und Studenten** von partizipierenden [...] Organisationen den **Internetzugang** an den **Standorten aller teilnehmenden Organisationen** unter Verwendung ihres **eigenen Benutzernamen und Passwortes** [aus [Wikipedia](#)]

Verbreitung

- Where can I eduroam?

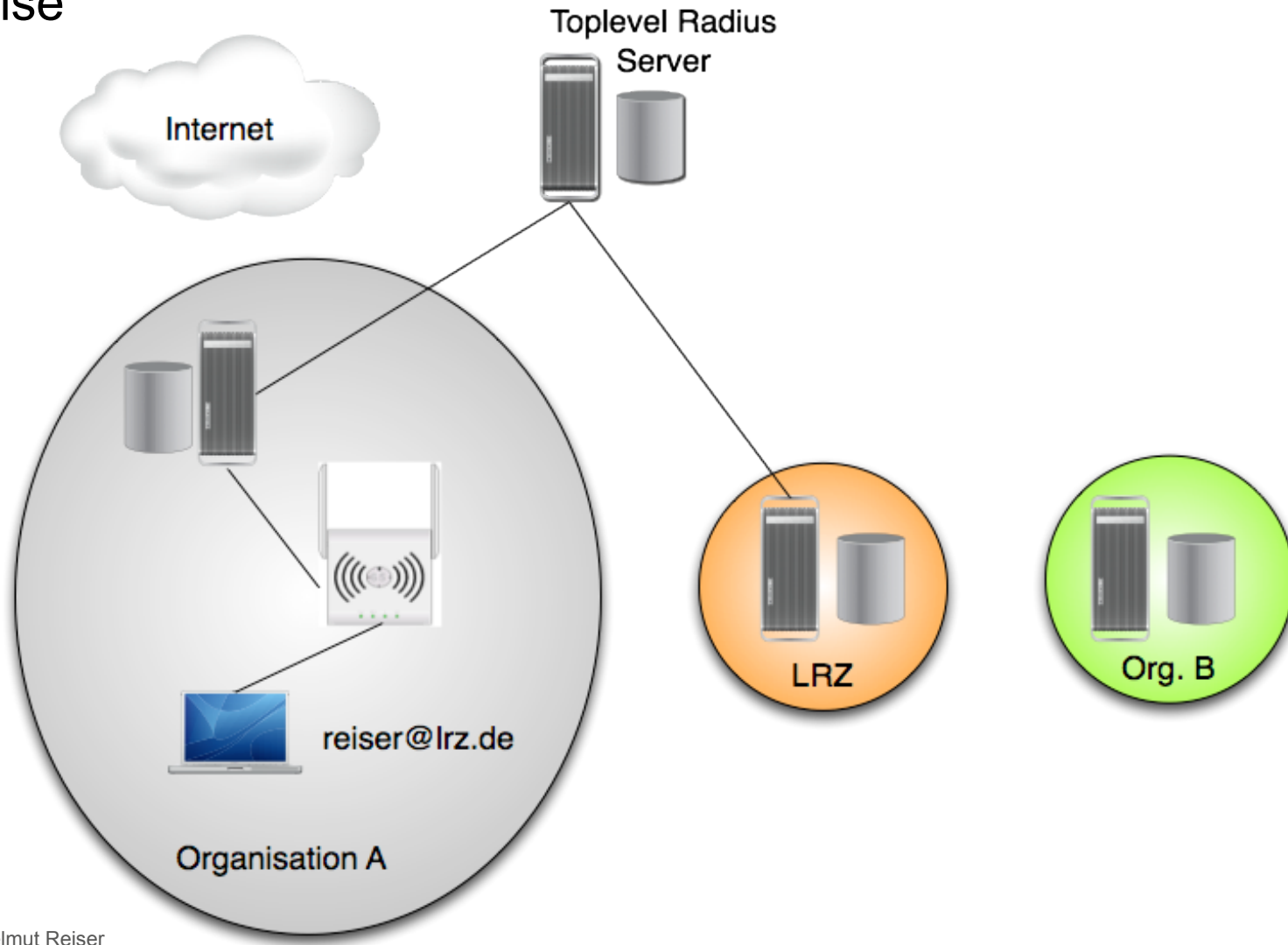


- Weltweites Roaming in Hochschul-(WLAN-)Netzen
- 802.1X mit RADIUS-Authentifizierung an der jeweiligen Heimathochschule

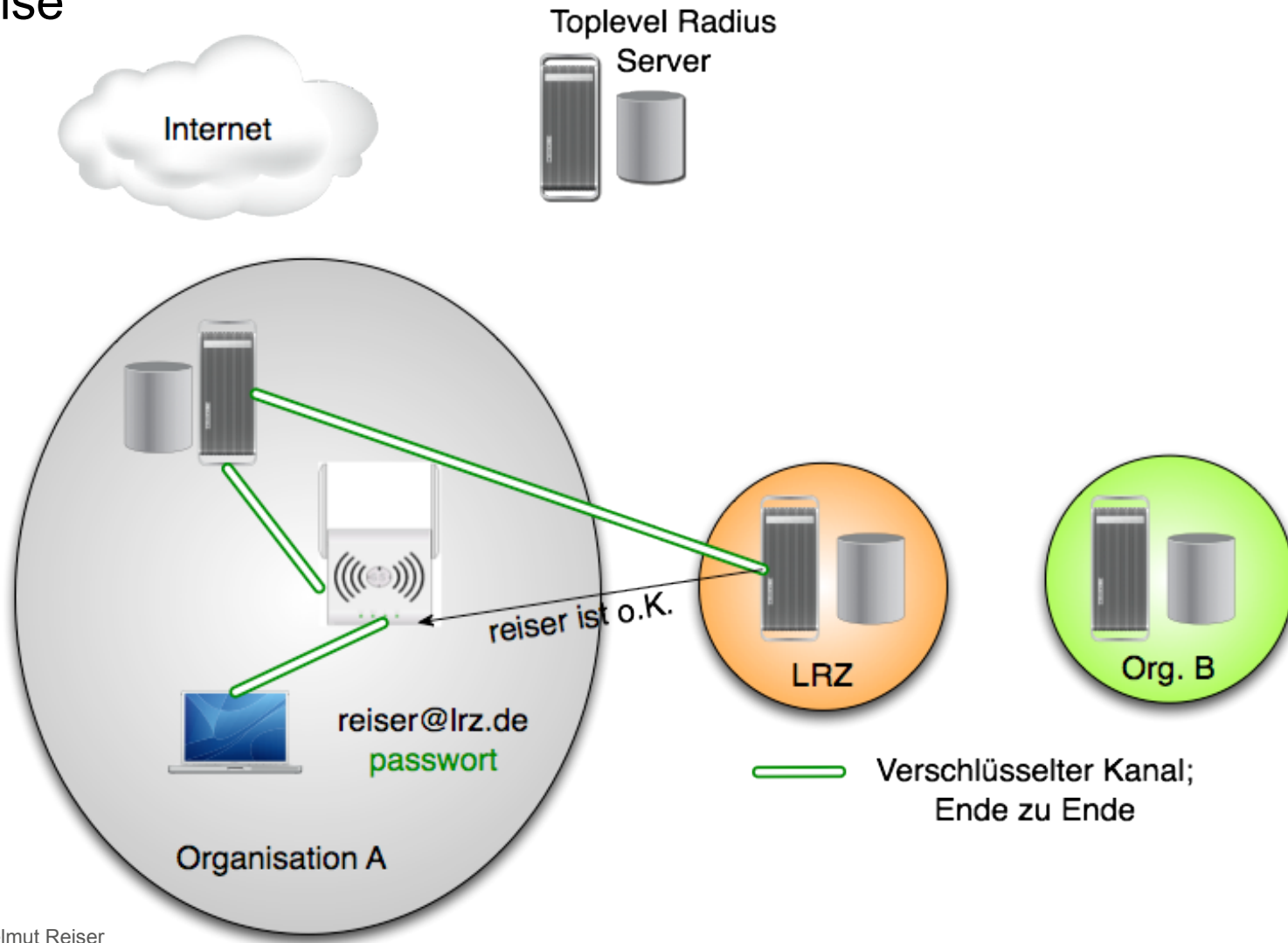


Bildquelle: eduroam.be

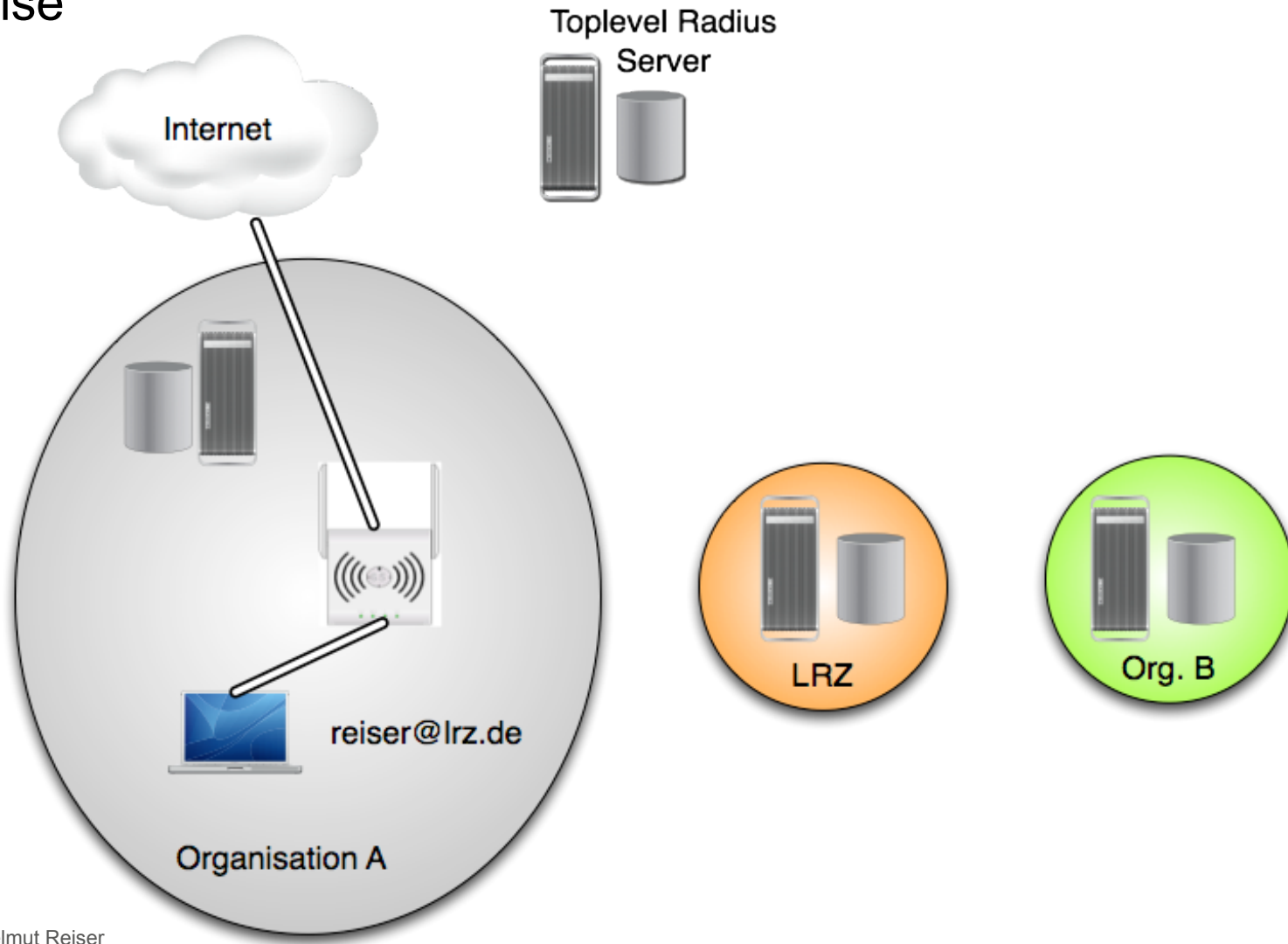
Praxisbeispiel Eduroam Funktionsweise



Praxisbeispiel Eduroam Funktionsweise



Praxisbeispiel Eduroam Funktionsweise

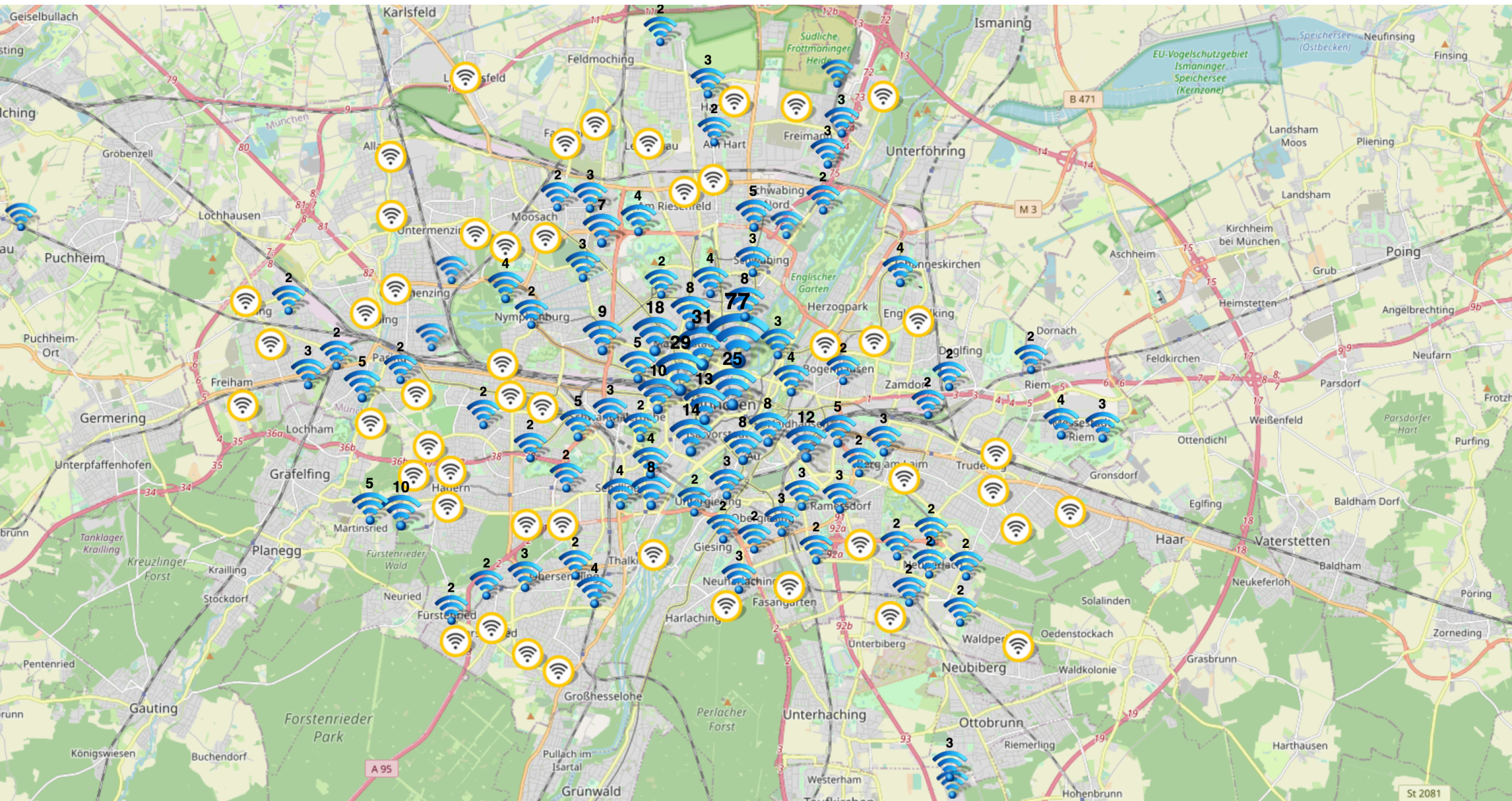


- Fake Access Points (eduroam-spoofing)
 - AP strahlt eduroam aus und simulieren Radius-Server
 - Gefahr Nutzerdaten und Passwörter abzugreifen
- Einfach zu erkennen durch Prüfung der Zertifikate, aber
 - Ältere Android Version prüfen Zertifikate nicht (richtig)
 - Konfigurationsfehler können dazu führen das Zertifikate nicht geprüft werden
- Zur Konfiguration **immer** das Configuration Assistant Tool (CAT) verwenden
 - <https://cat.eduroam.de>
 - Gibt es auch als Smartphone App

City-WLAN in München



- Stadtwerke München (SWM) betreiben zusammen mit M-net „M-WLAN“
- Eduroam wurde im April 2014 freigeschaltet
- Alle APs erhalten eduroam



eduroam off campus (EoC): Was braucht der Provider?



- Deutsches Forschungsnetz (DFN) unterstützt EoC
 - eduroam-Anbietervereinbarung mit dem DFN: regelt technische und organisatorische Randbedingungen
 - kostenfrei
 - Access Points
 - Multi-SSID Fähigkeit: müssen (zus.) SSID „eduroam“ ausstrahlen
 - 802.1x mit WPA2 als Authentisierungsverfahren
 - Anfragender Radius-Server beim DFN (Deutsches Forschungsnetz)
- Radius-Server Verbund
 - Installation eines „radsecproxy“ (kostenfreie Software)
 - Musterkonfiguration und Dokumentation sind vorhanden
 - Anbindung an den Verbund über ein Zertifikat des DFN (kostenlos)

- Ausschreibung des Freistaats Bayern für „offenes WLAN“
- Bezugsrecht für alle staatlichen Behörden, Landkreise und Kommunen in Bayern für Hotspots
- Gewinner muss eduroam auf allen APs unterstützen und ausstrahlen
- Zuschlag wurde Anfang 2016 an Vodafone erteilt

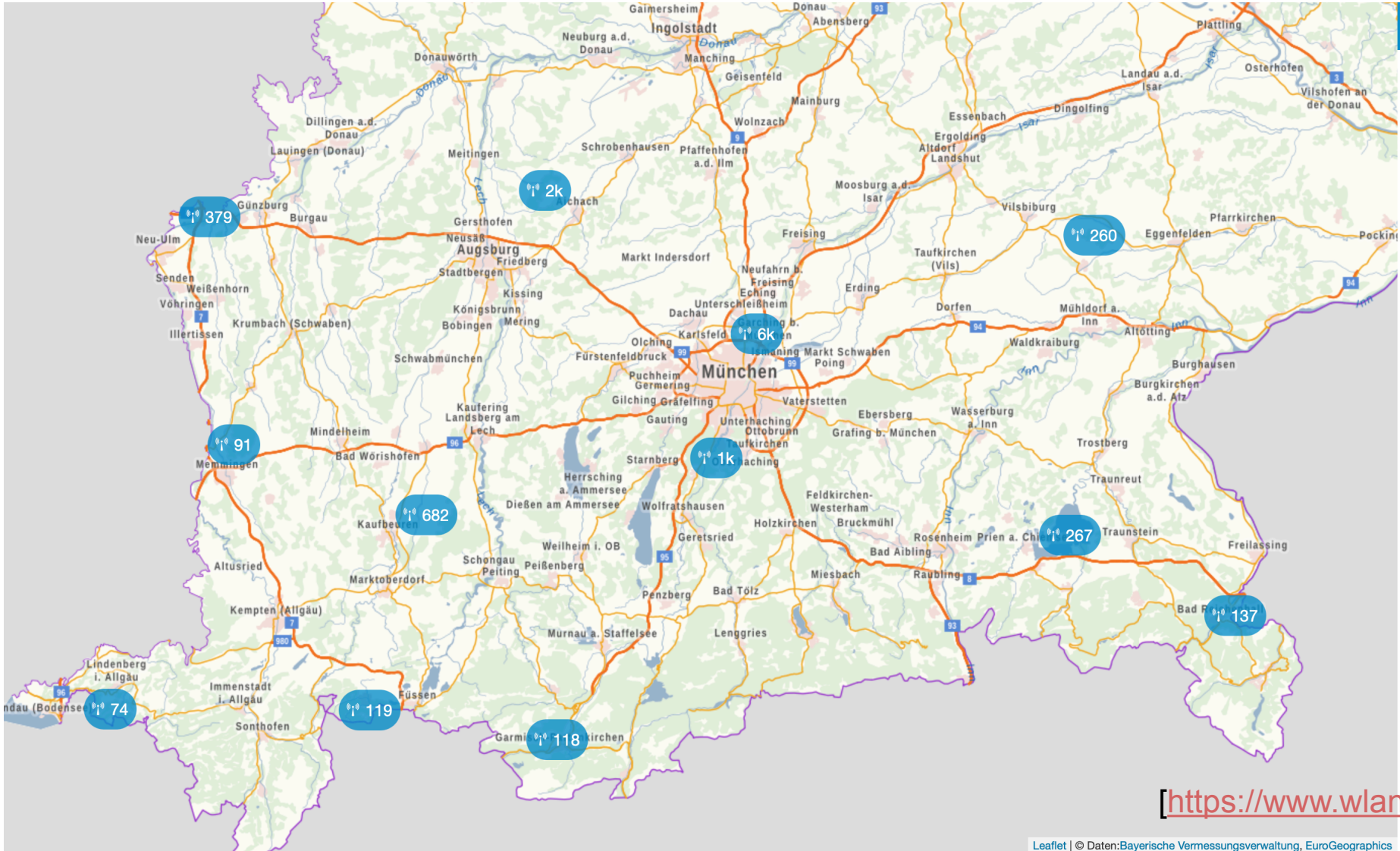
- Ziel: 20.000 APs in ganz Bayern bis 2020
- Aktuell (Stand Herbst 2021)
 - ~ 28.000 APs davon 60 % (knapp 17.000) von Unis und Hochschulen

Kooperationsmodell



- Universitäten und Hochschulen können @BayernWLAN in ihren Netzen ausstrahlen
- Problem: Geschlossene Benutzergruppe innerhalb des Wissenschaftsnetzes (DFN)
- BayernWLAN Verkehr darf nicht über X-WiN geführt werden
- Deshalb eigener kommerzieller Übergang ins Internet
- Abwicklung von BayernWLAN wird von Vodafone gemacht
 - Adresszuteilung
 - Abwicklung des Verkehrs
 - Abuse-Bearbeitung
- BayernWLAN-Ziel: 20.000 APs in ganz Bayern bis 2020
- Aktueller Stand Herbst 2021: ~28.000 APs , davon 60 % (17.000) von Unis und Hochschulen (knapp 6.000 vom LRZ ;-)

@BayernWLAN Karte



<https://www.wlan-bayern.de>

- Where can I Eduroam
 - <https://www.eduroam.org/where/>
 - In Deutschland: <https://map.eduroam.de/leaflet/eduroam/eduroam-map.html>
 - App Eduroam Companion (für Android und iOS)
- BayernWLAN Map
 - <https://www.wlan-bayern.de>
- WLAN im MWN
 - <https://monitoring.mwn.de/maps/wlan/>
 - Auslastungsstatistik: <http://wlan.lrz.de/apstat>
 - Wo bin ich im MWN?: <http://wobinich.mwn.de/>

eduVPN



- Sicherer verschlüsselter Zugang von außen ins MWN
- eduVPN <https://www.eduvpn.org/>
 - Entwickelt im Rahmen des GEANT Forschungsprojektes
 - Setzt auf openvpn auf
 - Managementenerweiterungen
 - Client für Desktop und Mobilbetriebssysteme
 - Ermöglichte 2 Faktorauthentisierung
 - „Automatische“ Anmeldung über Zertifikate mit kurzer Gültigkeit
 - Kooperation von 100 Sites und 18 Ländern
 - Damit „Ausgang“ in verschiedenen Ländern möglich
- <https://www.eduvpn.org/>
- <https://doku.lrz.de/display/PUBLIC/VPN+-+eduVPN>

