Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste
Institut für Informatik
TU München – Prof. Carle

Grundlagen: Rechnernetze und Verteilte Systeme

Kapitel 10: Netzsicherheit

Kryptographische Mechanismen und Dienste
IPSec, Firewalls

Prof. Dr.-Ing. Georg Carle
Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste
Technische Universität München
carle@net.in.tum.de
http://www.net.in.tum.de

Technische Universität München

Sicherheit im Internet

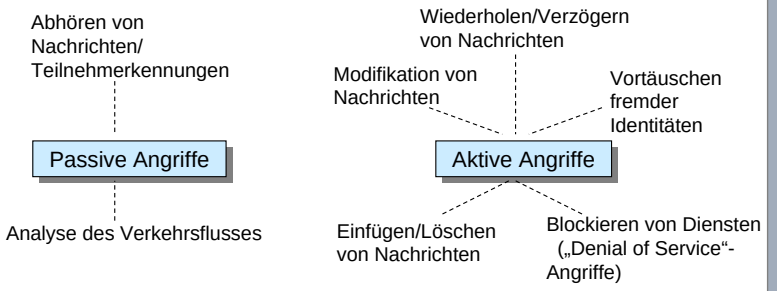
- Sicherheitsziele und Bedrohungen
- Sicherheitsmechanismen
- Firewalls
- Virtuelle Private Netze

Einleitung

- Früher:
  - Öffentliche Netze: abgeschlossen, zentral verwaltet
  - Internet: reines Forschungsnetz, kein lohnendes Angriffsziel, Benutzer vertrauen einander
- Heute:
  - Dezentralisierung öffentlicher Netze nach Deregulierung der Telekommunikationsmärkte
  - Kommerzielle Nutzung des Internets
- Folge:
  - Sicherheitsmechanismen werden zum unverzichtbaren Bestandteil moderner Kommunikationssysteme

Angriffsmöglichkeiten

- Passive Angriffe
  - Ablauf der Kommunikation nicht gestört
  - Aber unerlaubte Informationsbeschaffung
- Aktive Angriffe
  - Nachrichten werden verfälscht
  - Betrieb des Netzes wird verändert

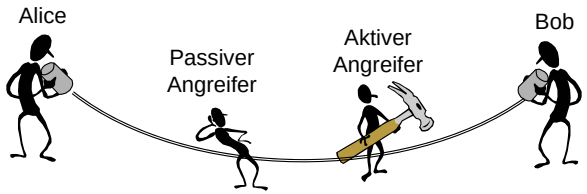


Sicherheitsanforderungen

- Authentizität
  - Angegebener Sender ist auch tatsächlicher Sender
- Vertraulichkeit
  - Ausspähen von Daten kann verhindert werden
  - ⇨ Sender verschlüsselt, und nur beabsichtigter Empfänger kann entschlüsseln
- Verbindlichkeit
  - Senden bzw. Empfangen von Daten kann nicht abgestritten werden
- Integrität
  - Empfänger kann Verfälschung von Daten erkennen
- Verfügbarkeit
  - Dienstnutzer kann Dienst auch tatsächlich nutzen

Einfaches Modell der Datenübertragung

- Passiver Angreifer: kann nur abhören, nicht manipulieren
  - Bedrohung für Vertraulichkeit
- Aktiver Angreifer: kann abhören, ändern, löschen, duplizieren
  - Bedrohung für Vertraulichkeit, Integrität, Authentizität
- Unterschied Authentizität/Verbindlichkeit:
  - Authentizität: Bob ist sicher, dass Daten von Alice kommen
  - Verbindlichkeit: Bob kann dies gegenüber Dritten beweisen



Bedrohungen

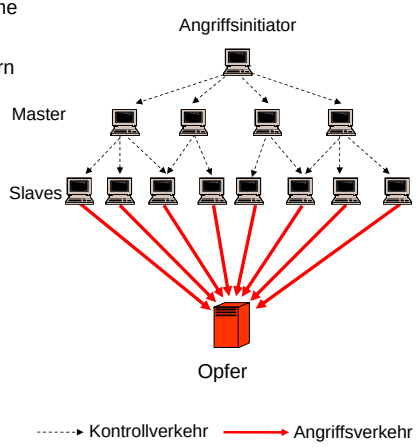
- Abhören übertragener Daten
- Modifizieren übertragener Daten
  - Ändern, Löschen, Einfügen, Umsortieren von Datenblöcken
- Maskerade
  - Vorspiegeln einer fremden Identität
  - Versenden von Nachrichten mit falscher Quelladresse
- Unerlaubter Zugriff auf Systeme
  - Stichwort „Hacking“
- Sabotage (Denial of Service)
  - gezieltes Herbeiführen einer Überlastsituation
  - „Abschießen“ von Protokollinstanzen durch illegale Pakete

Angriffstechniken

- Anzapfen von Leitungen oder Funkstrecken
- Zwischenschalten (man-in-the-middle attack)
- Wiedereinspielen abgefangener Nachrichten (replay attack)
  (z.B. von Login-Nachrichten zwecks unerlaubtem Zugriff)
- gezieltes Verändern/Vertauschen von Bits oder Bitfolgen
  (ohne die Nachricht selbst entschlüsseln zu können)
- Brechen kryptographischer Algorithmen
  Gegenmaßnahmen:
  - Keine selbst entwickelten Algorithmen verwenden,
    sondern nur bewährte und als sicher geltende Algorithmen!
  - Auf ausreichende Schlüssellänge achten
  - Möglichkeiten zum Auswechseln von Algorithmen vorsehen

Angriffsbeispiel: Verteilte Denial-of-Service-Angiffe

- Zahlreiche kompromitierte Systeme
  - Mehrere 1000 “Bot-Netze” mit mehreren 10.000 Rechnern
- Master-Systeme
  - Erhalten Befehle vom Initiator
  - Kontrollieren Slave-Systeme
- Slave-Systeme
  - Führen Angriff durch



Sicherheitsdienste

- Authentisierung
  - Authentisierung der Kommunikationspartner (Entity Authentication)
  - Authentisierung des Datenursprungs (Data Origin Authentication)
- Zugriffskontrolle
  - Schutz einer Ressource vor unberechtigtem Zugriff
- Abhörsicherheit
  - kein Fremder soll Daten mitlesen können
- Verbindlichkeit bzw. Nicht-Zurückweisbarkeit (Non-Repudiation)
  - Sender bzw. Empfangen kann nachgewiesen werden
- Datenintegrität (Fälschungssicherheit)
  - Echtheit der Daten soll garantiert sein
- Verfügbarkeit
  - Schutz eines Dienstes vor Blockierung
- Privatheit
  - Anonymisierung bzw. Pseudonymisierung ist möglich
- Autorisierung
  - darf jemand mit der vorgegebenen Kennung einen Dienst nutzen?
- Vertraulichkeit
  - Schutz der Daten vor unberechtigter Offenlegung

Sicherheitsmechanismen: Begriffe

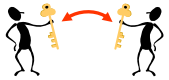
- Verschlüsselung
  - Kodierung der Daten mit Hilfe eines Schlüssels
  - Dekodierung nur mit zugehörigem Schlüssel möglich
  - Oder durch gezielten, sehr hohen Rechenaufwand
  - Verfahren:
    - Symmetrische Verschlüsselung: DES, Triple-DES, AES, RC4, RC5, IDEA
    - Asymmetrische Verschlüsselung: RSA
- Schlüsselaustausch und Schlüsselverwaltung
  - Diffie-Hellman-Schlüsselaustausch: Protokoll, mit dem zwei Kommunikationspartner einen geheimen Schlüssel erzeugen können
  - Standard: X.509 - Standard für Public-Key-Infrastruktur ⇨ Zertifikate
- Firewall
  - Filterfunktion zwischen verschiedenen Netzwerken
  - Erlaubt Abschottung zum Internet
  - Auch intern wichtig: über 50% aller Angriffe kommen von eigenen Mitarbeitern!

Erbringung von Sicherheitsdiensten

- Überwiegend mit kryptographischen Mechanismen:
  - Authentisierung
    - von Datenpaketen (data origin authentication)
    - von Systemen/Benutzern (entity authentication)
  - Integritätssicherung (integrity protection)
    - häufig kombiniert mit Daten-Authentisierung
  - Verschlüsselung (encryption)
  - Schlüsselaustausch (key exchange)
- Überwiegend ohne kryptographische Mechanismen:
  - Zugriffskontrolle (access control)
  - Einbruchserkennung (intrusion detection)

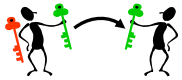
(A)symmetrische Kryptographie

- **Symmetrische Kryptographie**



- Instanzen besitzen gemeinsamen geheimen Schlüssel
  - **Vorteile**:
    - geringer Rechenaufwand
    - kurze Schlüssel
  - **Nachteile**:
    - Schlüsselaustausch schwierig
    - keine Verbindlichkeit

- **Asymmetrische Kryptographie (Public-Key-Kryptographie)**

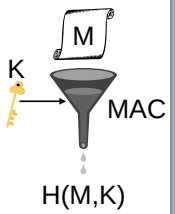


- Schlüsselpaar aus privatem und öffentlichem Schlüssel
  - **Vorteile**:
    - öffentliche Schlüssel sind relativ leicht verteilbar
    - Verbindlichkeit möglich
  - **Nachteile**:
    - hoher Rechenaufwand
    - längere Schlüssel

Authentisierung (1)

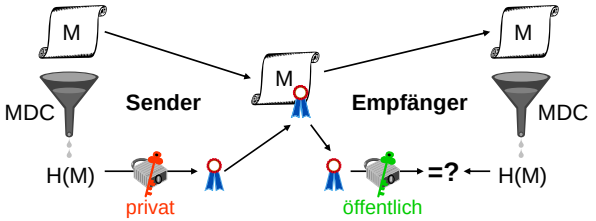
- **Kryptographische Hash-Funktion** (Modification Detection Code bzw. Message Digest Code, MDC):
  - Nachricht M (beliebig lang) → Hash-Wert H(M)
  - Wichtig: „Einweg"-Eigenschaft: keine Kollisionen effizient erzeugbar Kollision: M, M' mit H(M)=H(M')
  - Beispiele: MD5, SHA-1, RIPEMD-160

- **Schlüsselabhängige Hash-Funktion** (Message Authentication Code, MAC):
  - Nachricht M, Schlüssel K → Hash-Wert H(M,K)
  - kann aus MDC konstruiert werden: HMAC (RFC 2104), z.B. HMAC-MD5 $H(K \text{ xor } pad_1, H(K \text{ xor } pad_2, M))$



Authentisierung (2)

- **Digitale Signatur**
  - Hash-Wert H(M) wird mit privatem Schlüssel signiert
  - Empfänger überprüft Signatur mit öffentlichem Schlüssel
  - kann auch Verbindlichkeit garantieren
  - wichtigste Algorithmen: RSA, DSA, ElGamal
  - min. Schlüssellänge: 1024 bit (160 bit bei DSA-Variante mit elliptischen Kurven)



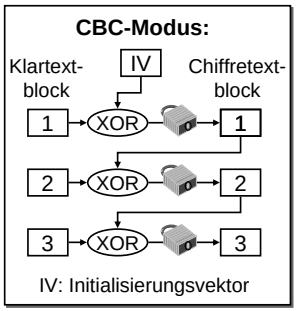
Authentisierung (3)

- **Authentisierung/Integritätssicherung von Datenpaketen**
  - Anhängen einer Sequenznummer zur Reihenfolgesicherung (falls nicht ohnehin vorhanden)
  - Anhängen von MAC oder Signatur, berechnet aus Daten, Sequenznummer und Schlüssel

- **Authentisierung von Systemen/Benutzern**
  - **nicht-kryptographisch**: Benutzername/Passwort (unsicher!), Einmalpasswörter, biometrische Verfahren (z.B. Fingerabdruck)
  - **kryptographisch**: Login-Nachrichten mit MAC oder Signatur
  - Sicherung gegen **Wiedereinspielen** alter Login-Nachrichten:
    - Zeitstempel (synchrone Uhren nötig)
    - Zufallszahlen (Challenge/Response-Verfahren)

Verschlüsselung (symmetrisch)

- **Symmetrische Verschlüsselungsalgorithmen**
  - minimale derzeit sichere Schlüssellänge: 80 bit
  - als sicher geltende Algorithmen: AES (verwendet Schlüssellänge von 128,192,256 Bit) sowie Triple-DES
- **Betriebsarten**
  - Gängige Algorithmen (Blockchiffren) arbeiten blockweise (meist 64 bit)
  - **Electronic Codebook** (ECB)
    - blockweise Verschlüsselung
    - Nachteil: Gleiche Klartextblöcke werden auf gleiche Chiffretextblöcke abgebildet
    - ⇨ Soll i.a. nicht verwendet werden
  - **Cipher Block Chaining** (CBC)
    - sicherer, da jeder Block vom Vorgänger abhängt
  - Weitere Betriebsarten z.B. zur byteweisen Verschlüsselung sowie zur Vorratsberechnung der kryptografischen Algorithmen



Verschlüsselung (asymmetrisch)

- Asymmetrische (Public-Key-) Verschlüsselungsalgorithmen
  - minimale derzeit sichere Schlüssellänge: 1024 bit
  - als sicher geltender Algorithmus: RSA
  - relativ langsam
- In der Praxis: Hybride Systeme
  - Zunächst: Benutzer-Authentisierung und Austausch eines Sitzungsschlüssels (symmetrisch oder Public-Key)
  - Danach: Authentisierung/Verschlüsselung der Nutzdaten mit Sitzungsschlüssel (symmetrisch)
  - Bei langen Sitzungen sollte Sitzungsschlüssel gelegentlich ausgewechselt werden (z.B. stündlich)

Schlüsselaustausch

- Symmetrisch: mit Hilfe eines Key Distribution Center (KDC)
  - KDC hat geheimen Schlüssel mit jedem Benutzer/Dienst
  - KDC authentisiert Benutzer und verteilt Sitzungsschlüssel
  - Beispiel: Kerberos (RFC 1510)
- Asymmetrisch: 2 Möglichkeiten:
  - Verschlüsseln/Signieren des Sitzungsschlüssels mit beliebigem Public-Key-Algorithmus
  - Diffie-Hellman-Schlüsselaustausch
    - Diffie-Hellman-Schlüsselaustausch allein ist bei Man-In-The-Middle-Angriff nicht sicher
    - Zusätzliche Authentisierung nötig!

Secure Shell (SSH)

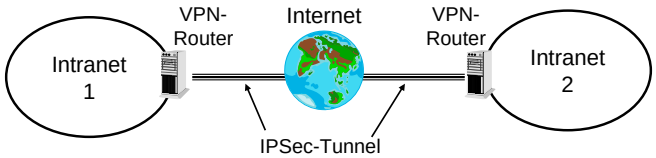
- Aufgabe: sichere entfernte Rechnernutzung (remote login)
  - rsh/rlogin haben keine Authentisierung
  - telnet überträgt Passworte ungeschützt
- Funktionsweise:
  1. Austausch eines Sitzungsschlüssels (Diffie-Hellman) und Server-Authentisierung (digitale Signatur) danach: symmetrische Verschlüsselung + MAC für alle Pakete
  2. Benutzer-Authentisierung (digitale Signatur oder Passwort)
- Zusätzliche Funktionalität:
  - Verschlüsselte Dateiübertragung mit scp
  - Verschlüsselte Tunnel für einzelne TCP-Ports
  - automatische Einrichtung eines X11-Tunnels
- Versionen: 1.0, 2.0 zueinander inkompatibel (Informationen: www.ssh.fi)

Secure Socket Layer (SSL)

- Aufgabe: Verschlüsselung/Datenintegrität für einzelne Sockets
  - Haupteinsatzgebiet: verschlüsselte HTTP-Verbindungen (https)
- Funktionsweise:
  - Austausch eines Sitzungsschlüssels (Diffie-Hellman)
  - optional Server-/Benutzer-Authentisierung (digitale Signatur)
  - danach: Verschlüsselung + MAC für alle Pakete
- Versionen:
  - von Netscape: SSL 1.0 bis SSL 3.0
  - TLS - Transport Layer Security (RFC 2246) basierend auf SSL 3.0

IP Security (IPSec)

- Aufgabe: sicheres Tunneln von IP-Paketen
  - Verschlüsselung am Tunneleingang, Entschlüsselung am Ausgang
  - kann z.B. für ganzes Virtuelles Privates Netz (VPN) automatisch durchgeführt werden, oder nur für bestimmte Anwendungen
- IPSec: Internet-Standard für sicheres Tunneln von IP-Paketen
  - Funktionsweise:
    - Authentifizierung mittels MAC und/oder symmetrische Verschlüsselung
    - 2 Paketformate: AH (RFC 2402), ESP (RFC 2406) – siehe nachfolgende Folie
  - Implementierungen: u.a.
    - FreeS/WAN (www.freeswan.org),
    - Cisco VPN-Produkte
    - Windows VPN-Funktionen



IPSec: Authentication Header und Encapsulaing Security Payload

- Authentication Header

  Authentifizierung, Datenintegrität durch MAC
  - Transportmodus
    - Keine Veränderung der Adressen, falls direkte Kommunikation
  - Tunnelmodus
    - Neue IP-Adressen, zwischen beliebigen Partnern

Transportmodus

Tunnelmodus

- Encapsulating Security Payload
  - Authentifizierung, Datenintegrität, Privatheit durch Verschlüsselung und/oder MAC
  - Transportmodus

Transportmodus

  - Tunnelmodus

Tunnelmodus

Zertifikate

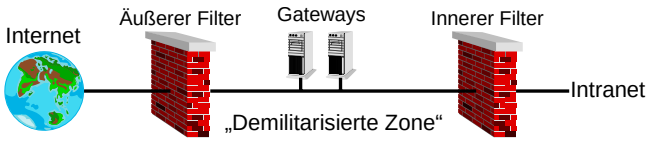
- X.509 - Standard für Public-Key-Infrastruktur
- hierarchisches System von vertrauenswürdigen Zertifizierungsstellen (engl. certificate authority, kurz CA)
- Webbrowser beinhalten eine vorkonfigurierte Liste vertrauens-würdiger Zertifizierungsstellen, deren ausgestellten SSL-/TLS-Zertifikaten der Browser vertraut.
- Zertifizierungsstelle kann ungültige Zertifikate in Zertifikatsperrlisten (certificate revocation list, kurz CRL) führen

Struktur eines X-509-v3-Zertifikats

- Zertifikat
  - Version
  - Seriennummer
  - Algorithmen-ID
  - Aussteller
  - Gültigkeit
    - von
    - bis
  - Subject
  - Subject Public Key Info
    - Public-Key-Algorithmus
    - Subject Public Key
  - Eindeutige ID des Ausstellers (optional)
  - Eindeutige ID des Inhabers (optional)
  - Erweiterungen
    - ...
- Zertifikat-Signaturalgorithmus
- Zertifikat-Signatur

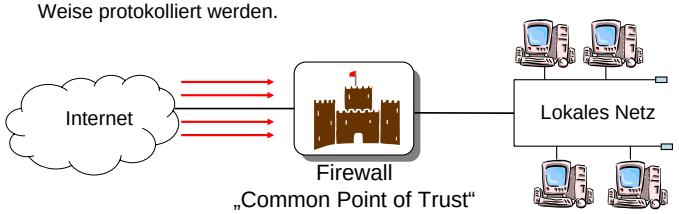
Zugriffskontrolle

- Auf Anwendungsebene: System von Zugriffsrechten
  - Beispiele: Unix/NT-Dateirechte, SNMP-Objektrechte
- Auf Netzwerk-/Transportebene: Firewalls
  - Paketfilter filtern nach Quell/Zieladresse + Ports (TCP/UDP)
  - Unterscheidung: ingress/egress filtering (inbound / outbound packets)
  - Anwendungs-Gateways (Zugriffskontrolle, Protokollierung)
  - Kann mit privaten Adressen und Adressumsetzung (NAT) kombiniert werden
  - Probleme mit manchen Protokollen (z.B. FTP, H.323)

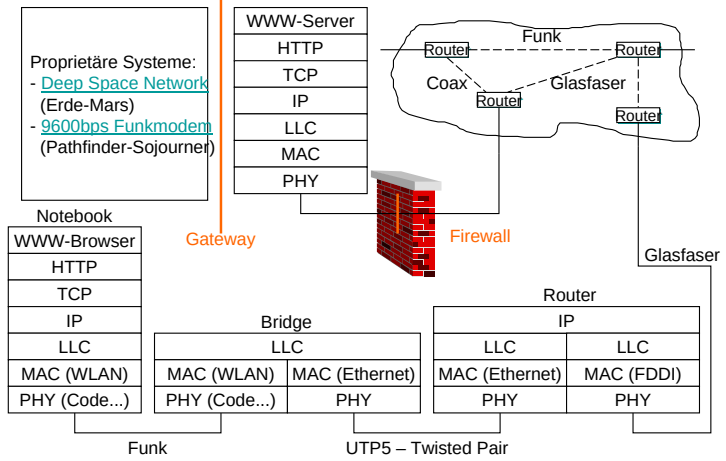


Firewall

- Ziel: Schutz des lokalen Netzes hauptsächlich gegenüber externen (aktiven/passiven) Angriffen („allow the good bits in and keep the bad bits out“)
- Vorteile:
  - Kosten: Die zentrale Realisierung von Sicherheitsmechanismen ist wesentlich kostengünstiger als die Absicherung jedes einzelnen Rechners.
  - Wirkung: Die Sicherheitspolitik eines Unternehmens kann sehr einfach durchgesetzt bzw. angepasst werden.
  - Sicherheit: Es existieren nur wenige Angriffspunkte im Netz (im Idealfall nur das Firewall-System selbst).
  - Überprüfbarkeit: Sämtliche Kommunikationsvorgänge können auf einfache Weise protokolliert werden.



Beispiel: Firewall zum Schutz eines WWW-Servers



Firewalls im Internet

- Firmen, Behörden, Privatpersonen, Universitäten sind von den Protokollen TCP/IP her gleichberechtigt an das Internet angebunden

⇨ Das *interne* Netz von unerwünschten Zugriffen von außen schützen:

- am sichersten ist nur die physikalische Trennung zwischen Rechnern am Internet und firmeninternen Rechnern
- Firewalls sind meist Router, die Pakete anhand der IP-Adresse und Port-Nummer herausfiltern können (zusätzliche Vermerke in einer Log-Datei möglich)
  - *Beispiel:* Ausfiltern von Paketen mit dem Port 80 verhindert den Zugriff auf normale WWW-Server; werden z.B. 129.13.*x.y* Adressen gefiltert, kann kein Rechner aus diesem Subnetz auf etwas zugreifen!
- Außer Paketfilter sind oft noch Anwendungsgateways und Adressübersetzung integriert
  - Umsetzung zwischen verschiedenen mail-Systemen
  - dynamische Abbildung einer IP-Adresse auf viele verschiedene interne Endsysteme

Firewall

- Kann auf verschiedenen Protokollschichten arbeiten, viele unterschiedliche Funktionen anbieten
- Schicht 2
  - Filtern nach MAC-Adressen
  - lässt z.B. nur Adapter zu, die in der Firewall bekannt sind
- Schicht 3
  - Filtern nach IP-Adressen
  - kann z.B. Verkehr nach Herkunft und Ziel filtern
- Schicht 4
  - Filtern nach Ports
  - kann z.B. Pakete je nach Anwendung filtern
- Anwendungsschicht-Proxy
  - Virenscanner, Inhaltsüberprüfung (Text, Bilder), WWW-Adressen, ...

Firewall Beispiel

- Gezielte Aktionen in Abhängigkeit von Adressen und Anwendungen
- Spezielle Firewall-Lösungen mit hoher Leistungsfähigkeit erhältlich
- Sicherheit aber nur so gut wie die Wartung!

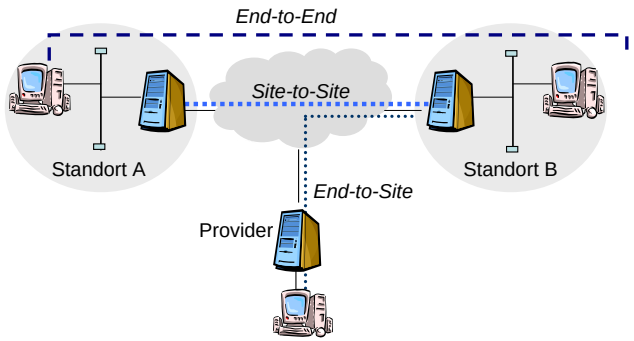
Quelladresse	Zieladresse	Dienst	Aktion	Protokoll
beliebig	Web-Server	http	akzeptieren	kurz
Intranet	Intranet	smtp	verschlüsseln	normal
Intranet	alle	http	akzeptieren	kurz
Extranet	Intranet	smtp, http	akzeptieren, Viren-Scan	normal
alle	alle	alle	verwerfen	Alarm, lang

Firewall-Mechanismen

- Analyse der ein-/ausgehenden Datenpakete (Packet Filtering)
  - Kontrolle der Felder des Paketkopfes, z.B. Flags, IP-Adresse und Portnummer
  - Erlaubter/nicht erlaubter Datenverkehr ist in Access-Liste vermerkt
    - eingehend: deny *.*.*.*, 23 blockiert telnet
    - ausgehend: permit 129.13.*.*, 80 erlaubt http nur für Rechner mit IP=129.13.x.y
- Adressumsetzung (Network Address Translation, NAT)
  - Rechner im lokalen Netz von außen nicht erreichbar (z.B. 192.168.x.y)
  - Firewall/Gateway nimmt Abbildung auf gültige Adressen vor
- Proxy-Dienste (Proxy Services)
  - Endsysteme im geschützten Netz nur über (Application-)Gateway erreichbar
  - Für jede zulässige Anwendung fungiert Gateway als Proxy
  - Verbindungsaufbau zu Zielrechner nur nach Authentifikation
  - Filterung auf Anwendungsebene (z.B. nur ftp-get aber kein ftp-put)
  - Detaillierte Rechteverwaltung und Protokollierung

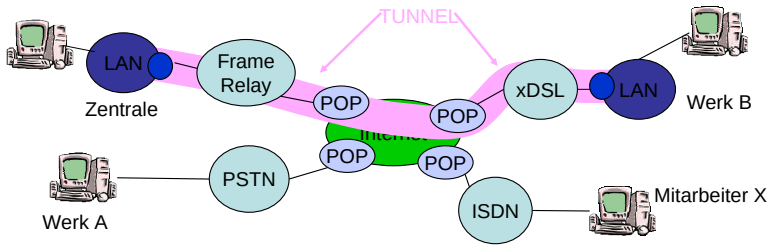
Virtuelle private Netze (VPNs)

- **Ziel:** Gewährleistung eines gesicherten Datenaustauschs zwischen entfernten Kommunikationspartnern/Standorten über (ungesicherte) Transit-Netze (z.B. das Internet) durch Authentifizierung und Verschlüsselung.



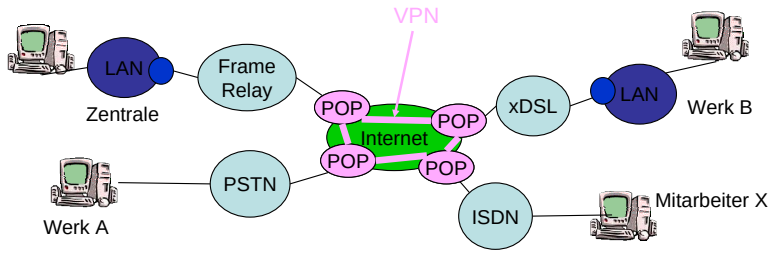
Virtuelle Private Netze

- Lösung: Virtuelle Private Netze (VPN)
  - VPN als logisches Netz
  - VPNs können auf verschiedenen Techniken basieren
    - Schicht-2-Tunneling: LAN-Pakete werden transparent über ein externes Netz transportiert
    - Schicht-3-Tunneling: IP-Pakete werden transparent über ein externes Netz transportiert



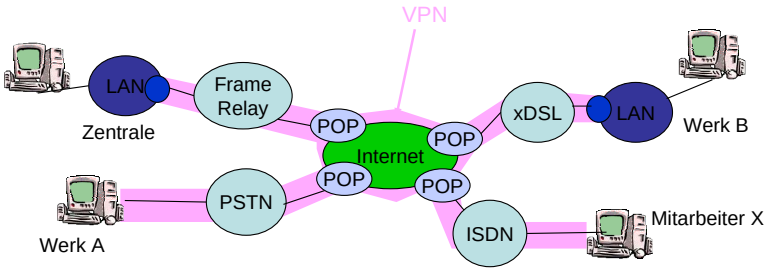
Outsourcing

- Outsourcing
  - VPN wird vom Netz-Provider zur Verfügung gestellt
  - Provider bietet Einwahlpunkte, zwischen diesen besteht ein VPN
  - Keine spezifische VPN-Hard-/Software auf Kundenseite erforderlich



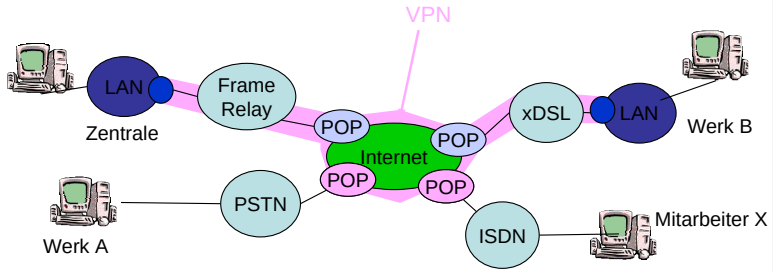
Ort eines VPN

- In-house VPN, VPN zwischen den Standorten
  - Tunnels werden z.B. zwischen den firmeneigenen Routern aufgebaut
  - Netz-Provider hat keinen Einblick in das VPN
  - Firma legt selbständig Sicherheit, Protokolle etc. fest
  - Software für Sicherheit, Tunneling, Verschlüsselung notwendig



Ort eines VPN

- Mischformen möglich
  - oftmals werden Tunnels zwischen Routern eingerichtet, nicht jedoch für den entfernten Zugriff
  - VPN endet am POP des Providers



Entfernter Zugriff auf das Intranet

- Außenanbindung
  - Außendienstmitarbeiter
  - Kunden, Lieferanten etc.
  - Informationen für alle
- Firewall zur Zugangsbeschränkung
  - Anbindung des Intranet an das Internet
  - Zugang von jedem beliebigen Rechner weltweit
  - Schutz durch eine Firewall, d.h. Filter für unerlaubte Daten
  - Software für Firewall benötigt, Rechenleistung auf Router wichtig
- Einwahlmöglichkeiten für den Außendienst
  - Erweiterung des VPN dynamisch bis hin zum Ort des Mitarbeiters
  - Einwahl via Modem (ISDN/analog)
  - Sicherheit durch Passwort, gesicherte Verbindung
  - Modem plus Software benötigt

Weitere Sicherheits-Themen

- E-Mail Sicherheitsproblem: SPAM
  - Webmail: Mit Bots lassen sich zahlreiche Benutzer-Konten erzeugen
  - Capatcha: Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart
  - DNS blacklisting
  - Spam Virus
- Voice-over-IP Sicherheitsprobleme
  - SPIT Spam over IP-Telephony
  - DoS
  - Abhören und Modifikation
  - Missbrauch der Dienste (Fraud)
    - Nicht-Autorisierte oder Nicht-abrechenbare Ressourcen Nutzung
    - Impersonifizierung, gefälschte Identitäten