IT-Sicherheit

- Sicherheit vernetzter Systeme -

Kapitel 13: Netzsicherheit - Schicht 7: Application Layer Secure Shell (SSH)

Inhalt

- SSH: Historie
- SSH v1 vs. SSH v2
- SSH-Protokollarchitektur
  - Transport Protocol
  - Authentication Protocol und Authentisierungsarten
    - None
    - Host based
    - Password
    - Public key
  - Connection Protocol
    - Interactive session
    - X11-Forwarding
    - Port-Forwarding

Historie

- Entwickelt von Tatu Ylönen (TU Helsinki, Finland); 1995;
- Reaktion auf Passwort-Sniffing-Angriff an der TU Helsinki
- Ersatz für unsichere Unix-Tools: telnet, rlogin, rsh, rexec (ftp); (Übertragen Passworte im Klartext)
- Erste Version SSH-1 und Implementierung 1995, frei verfügbar
- Schnelle Verbreitung
- Kommerzielle Variante über SSH Communication Security; Gegründet Dez. 1995 von Ylönen
- Weiterhin freie Version (OpenSSH) verfügbar
- 1996 verbesserte Version SSH v2; inkompatibel zu SSH v1
- 2006 SSH v2 über IETF standardisiert [RFC 4251, RFC 4252, RFC 4253, RFC 4254, RFC 4255, RFC 4256]

SSH v1 vs. SSH v2

- Verbesserungen in SSH v2:
  - Diffie-Hellman Schlüsselaustausch
  - Verbesserte Integrität: Message Authentication Code (MAC) statt CRC32
  - Mehrere Shell-Sessions über eine SSH-Verbindung
- 2001: Mehrere Schwachstellen in SSH-1 gefunden:
  - RC4-verschlüsselte Passwörter können mitgelesen werden, falls beim Server leere Passwörter verboten sind
  - Replay-Angriff möglich
  - CRC32 erlaubt gezielte Modifikation der Nachrichten
  - CRC32 Attack detection code contains remote integer overflow; Angreifer kann Code mit Rechten des ssh-Damon (i.d.R. root) ausführen

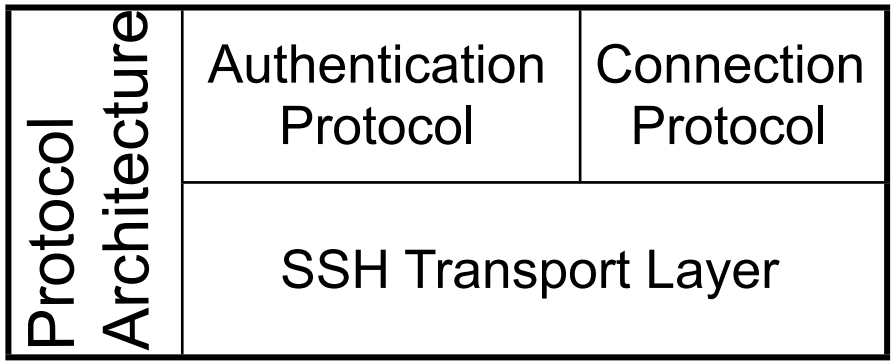
➡ SSH v1 ist unsicher, NICHT mehr verwenden

➡ Modus-Fallback auf SSH v1 server-seitig deaktivieren

➡ Im Folgenden nur SSH v2

SSH Architektur

- Geschichtete Architektur:



- SSH Protocol Architecture [RFC 4251]
- SSH Authentication Protocol [RFC 4252]
  - Authentisierung des Clients gegenüber dem Server („client-driven“)
- SSH Transport Layer Protocol [RFC 4253]
  - Authentisierung des Servers gegenüber dem Client
  - Vertraulichkeit, ggf. mit Kompression
  - Integrität
  - Perfect Forward Secrecy, Re-Keying (oft nach 1 GB oder 1 h)
- SSH Connection Protocol [RFC 4254]
  - Multiplexing (mehrere logische Kanäle über eine SSH-Verbindung)

SSH Protocol Architecture

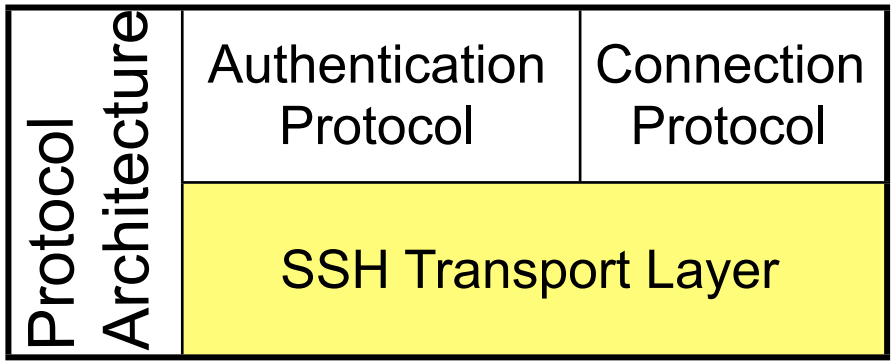
- Client (ssh) verbindet sich mit Host (Server, sshd)
- Jeder Host besitzt Schlüsselpaar
  - Zur Authentisierung gegenüber den Clients
  - Zwei Trust-Modelle:
    - Lokale Datenbasis mit Hostname - Public Key Paaren
    - Hostname und Public Key werden von CA zertifiziert, Client benötigt nur öffentlichen Schlüssel der CA
  - Client kann öffentlichen Schlüssel bei der ersten Verbindung zum Host in lokale Datenbasis übernehmen
    - ABER: Gefahr eines Man-in-the-Middle Angriffs
    - Sollte in der Praxis nicht verwendet werden, but „there is no widely deployed key infrastructure available on the Internet“
- Designprinzip: Erweiterbarkeit
  - Basisprotokoll so einfach wie möglich
  - Mindestsatz an zu unterstützenden Algorithmen (wg. Interoperabilität)
  - Erweiterungen v. Algorithmen, Formaten u. Protokoll möglich

Protocol Architecture: Sicherheit

- Algorithmen für jede Kommunikationsrichtung frei wählbar:
  - Verschlüsselung
  - Integritätssicherung
  - Schlüsselaustausch
  - Datenkompression
- Multiple Authentisierungsverfahren für jeden Client
- Server darf keine (eigene) Verbindung zum Client aufbauen
  - Ausnahme: Client fordert Forwarding bestimmter Dienste an
- Server darf keine Kommandos auf Client ausführen
- Perfect Forward Secrecy
  - Kompromittierung eines Session Key oder eines privaten Schlüssels darf nicht zur Kompromittierung einer früheren Session führen

SSH Architektur

- Geschichtete Architektur:

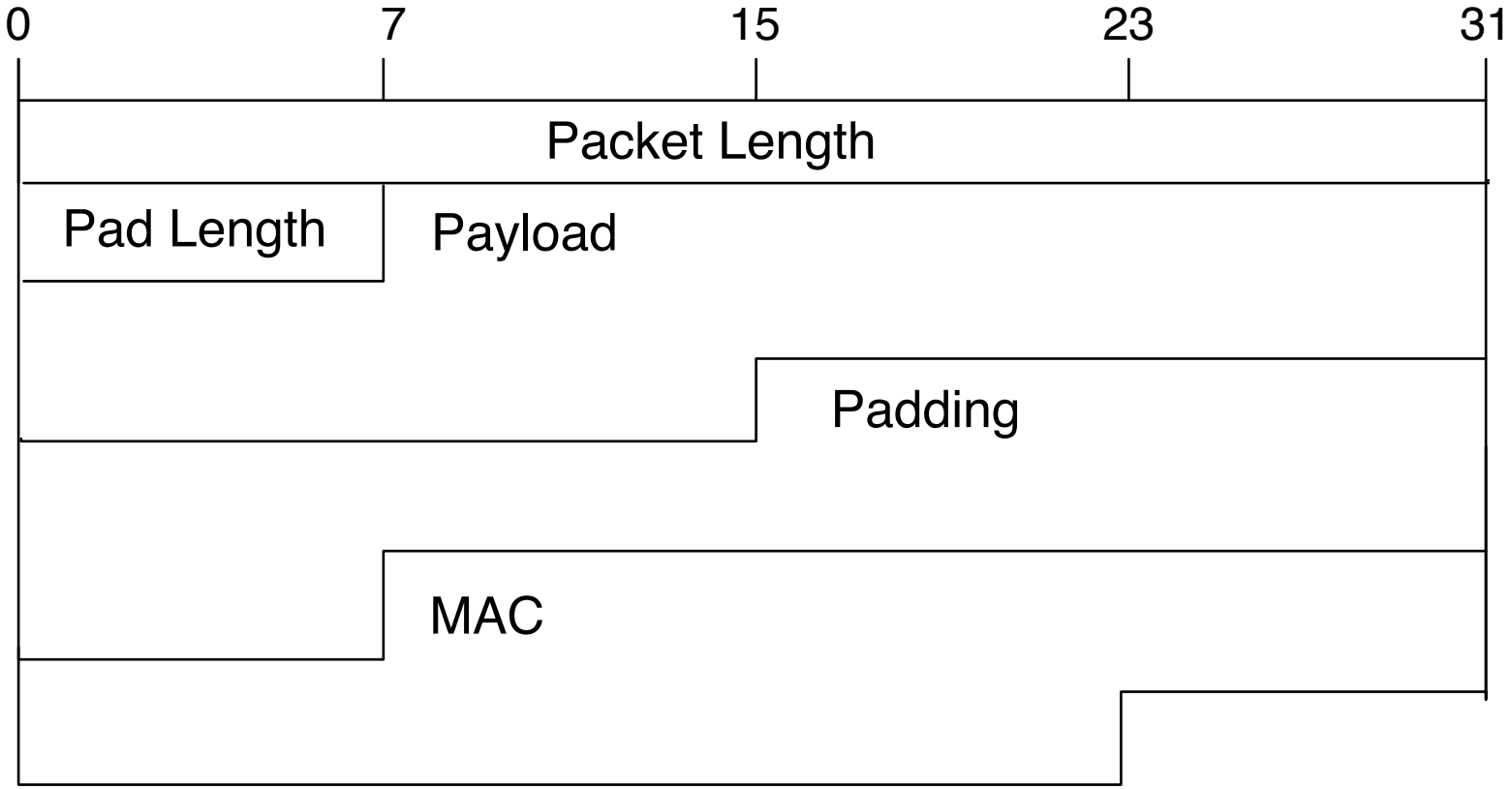


- SSH Authentication Protocol [RFC 4252]
  - Authentisierung des Clients gegenüber dem Server
- SSH Transport Layer Protocol [RFC 4253]
  - Authentisierung des Servers gegenüber dem Client
  - Vertraulichkeit
  - Integrität
  - Perfect Forward Secrecy
- SSH Connection Protocol [RFC 4254]
  - Multiplexing

SSH Transport Protocol

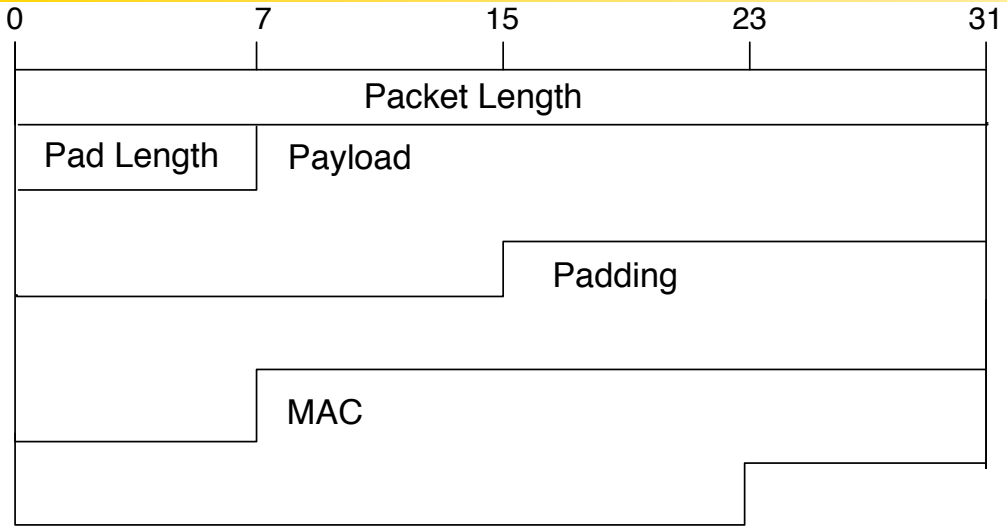
- Setzt auf verlässliches Schicht 4 Protokoll auf (i.d.R. TCP)
- Sicherheitsdienste:
  - Verschlüsselung der Nutzdaten
  - Integritätssicherung
  - Server-Authentifizierung (es wird (nur) der Host authentisiert)
  - Kompression der Nutzdaten
  - Aushandlung von Algorithmen
- Unterstützte Verschlüsselungsalgorithmen
  - 3DES, Blowfish, Twofish, AES, IDEA, CAST im CBC Modus
  - Arcfour (entspricht RC4, „has problems with weak keys“)
  - none („not recommended“)
- Hash-Algorithmen
  - HMAC-SHA1, HMAC-MD5, HMAC-SHA1-96, HMAC-MD5-96
  - HMAC-RIPEMD-160
- Asymmetrische Verfahren: RSA und DSA

Transport Protocol Packet Format



- Gesamtlänge von Packet Length inkl. Padding muss ein Vielfaches der Blocklänge oder ein Vielfaches von 8 ergeben
- Maximale Blocklänge: < 35.000 Byte

Transport Protocol Packet Format (Forts.)



- Packet Length = Pad Length + Payload + Padding
- Payload: Daten; falls Kompression aktiviert, wird dieses Feld mit zlib (deflate-Algorithmus, vgl. .gz-Dateien) komprimiert
- MAC über gesamtes Paket; berechnet vor Verschlüsselung
  - MAC = HMAC (gemeinsamer Schlüssel, SeqNr. | unencrypted Packet)
- Falls Verschlüsselung aktiviert, wird alles bis auf MAC verschlüsselt

Aushandlung der Algorithmen

- Schlüsselaushandlung erfordert explizite Authentisierung des Server-Hosts
  - Jeder Host besitzt mindestens 1 Schlüsselpaar in /etc/ssh ssh_host_dsa und ssh_host_dsa.pub oder ssh_host_rsa u. .._rsa.pub
- Jede Seite kann `kexinit` Nachricht schicken; enthält:
  - Cookie: Zufallszahl
  - jeweils Komma-separierte Liste mit absteigender Priorität für:
    - kex_algorithm: Schlüsselaustausch
    - server_host_key_algorithm: Server listet Algorithmen, für die er Schlüsselpaare besitzt
    - encryption_client_to_server und server_to_client
    - mac_algorithm_client_to_server und server_to_client
    - compression_client_to_server und server_to_client
    - language_client_to_server und server_to_client: verwendete Sprache (Optional)
  - first_kex_packet_follows

Aushandlung der Algorithmen; Schlüsselaustausch

- Server analysiert die Client-Listen; gewählt wird erster Algorithmus, der auch vom Server unterstützt wird (!)
- Nach Abschluss der Aushandlung beginnt Schlüsselaustausch
- Optimierung: Jede Seite kann präferierten Algorithmus „raten“ und sofort das entsprechende key-exchange-Packet anhängen
  - richtig geraten: Folgepaket wird als key-exchange-Packet akzeptiert
  - falsch geraten: Paket wird verworfen

Schlüsselaustausch

- Schlüsselaustausch über Diffie-Hellmann mit SHA-1
  - Kombiniert mit digitaler Signatur durch Host -> Authentisierung
  - zwei definierte DH-Gruppen
- Ergebnis des Schlüsselaustausches: Secret K und Hash H

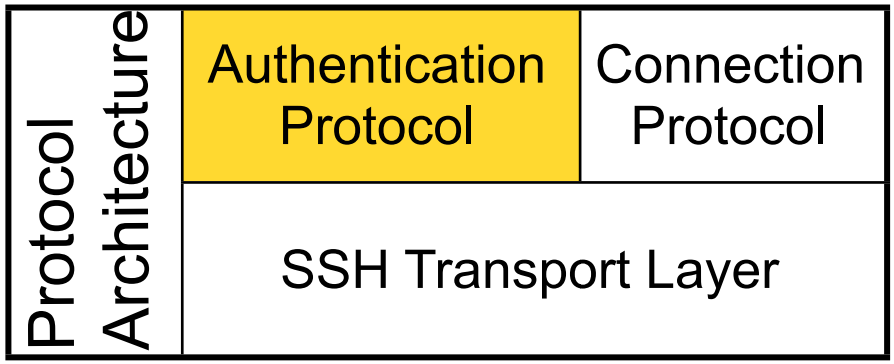
1. Client wählt x und sendet $e = g^x \bmod p$
2. Server wählt y und berechnet $f = g^y \bmod p$
   - 2.1. $K = e^y \bmod p$
   - 2.2. $H = \text{Hash}(V_C \mid V_S \mid I_C \mid I_S \mid K_S \mid e \mid f \mid K)$ mit
     V = Identität von C und S
     I = `kexinit` Nachrichten
     K_S = Public Host Key von S
   - 2.3. s = {H} (mit Private Host Key signiert)
   - 2.4. Übertragen wird (K_S | f | s)
3. Client verifiziert Signatur, berechnet K und H

Schlüsselmaterial

- Zum Ableiten des Keymaterials werden K und H verwendet:
  - IV Client -> Server = Hash (K | H | “A“ | session_id)
  - IV Server -> Client = Hash (K | H | “B“ | session_id)
  - Encryption Key Client ->Server = Hash (K | H | “C“ | session_id)
  - Encryption Key Server-> Client = Hash (K | H | “D“ | session_id)
  - Integrity Key Client -> Server = Hash (K | H | “E“ | session_id)
  - Integrity Key Server -> Client = Hash (K | H | “F“ | session_id)
- Daten werden immer vom Anfang des Hashes genommen
- Falls mehr Daten benötigt werden:
  K1 = Hash(K | H | x | session_id) mit x aus [“A“ ... “F“]
  K2 = Hash(K | H | K1)
  ...
  KX = K1 | K2 | ... | Kn
- Bis zu diesem Zeitpunkt weiß der Server nichts über den Client!

SSH Architektur

- Geschichtete Architektur:



- SSH Authentication Protocol [RFC 4252]
  - Authentisierung des Clients gegenüber dem Server
- SSH Transport Layer Security [RFC 4253]
  - Authentisierung des Servers gegenüber dem Client
  - Vertraulichkeit
  - Integrität
  - Perfect Forward Secrecy
- SSH Connection Protocol [RFC 4254]
  - Multiplexing

SSH Authentication Protocol

- Zur Authentisierung des Nutzers
- Verwendet vertraulichen Kanal des SSH Transport Protocols
  - damit sichere Übertragung von Passwörtern o.ä. möglich

- Authentisierungsarten:
  - NONE
  - Public-Key: muss von allen Implementierungen unterstützt werden. Private Key sollte passphrase-protected sein!
  - Password: Sollte unterstützt werden, überträgt ganzes Passwort
  - Hostbased: Optional
  - keyboard-interactive: Fragen-und-Antworten-Ablauf, z.B. für SecurID
  - GSS-API: Externe Authentifizierung, i.d.R. via Kerberos (single sign-on)

Authentication: Host Based

- Angelehnt an den .rhosts Mechanismus der r-Commands
- Vertrauenswürdige Hosts und Benutzernamen werden eingetragen in
  - /etc/hosts.equiv oder /etc/shosts.equiv
  - ~/.rhosts oder ~/.shosts
  - Bsp.: `testsrv.lrz.de reiser`
- Client-Host wird über Host-Key (vgl. Transport Protocol) authentisiert
- Damit Verhinderung von IP-, DNS-, oder routing-spoofing
- ABER:
  - Keine richtige Benutzerauthentisierung
  - Alle Nutzer auf der (Client-) Maschine können Server nutzen
- Sollte nicht verwendet werden

Authentisierung: Password

- Client fordert Nutzer zu Eingabe auf von
  - Benutzername
  - Passwort
- Validierung gegen (Server-) lokale Benutzerdaten
- Hinweis: Transport Layer bietet verschlüsselten Kanal
- Benutzername und Passwort dadurch vor Eve geschützt
- Passwort wird aber vollständig übertragen
  - Ist also kein Challenge-Response-Protokoll!
  - Bösartiger SSH-Server kann Benutzerpasswörter abgreifen

Authentication: Public Key

- Nutzer muss Schlüsselpaar besitzen
  - ssh-keygen erzeugt Schlüsselpaar
  - Private Key mit Passphrase verschlüsselt
  - Private Key gespeichert in ~/.ssh/id_dsa oder id_rsa
  - Public Key in ~/.ssh/id_dsa.pub oder id_rsa.pub
  - Public Key auf Zielmaschine in ~/.ssh/authorized_keys kopieren
- Client signiert Nachricht
- Verifikation durch Server
- Sicherste Variante der Authentisierung
- ABER:
  - Leere Passphrase für Private Key erlaubt
  - Schutz ist dann einzig durch Dateisystemberechtigungen gegeben
  - Falls Maschine kompromittiert, kann der Angreifer in diesem Fall private Schlüssel zum Login (auf anderen Maschinen) verwenden
- KEINE leere Passphrase verwenden!!

Einschub: RSA-768 geknackt (01/2010)

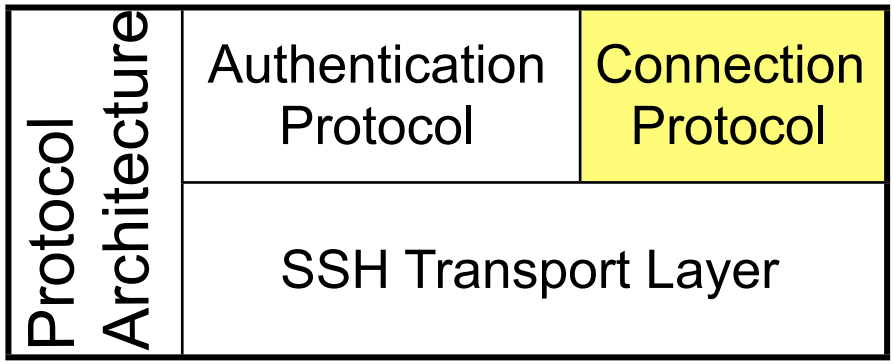
- Details unter http://eprint.iacr.org/2010/006.pdf
- 768 Bit (232 Dezimalstellen) lange Zahl in ihre Primfaktoren zerlegt
- Zahl wurde im Rahmen der RSA-Challenge als RSA-768 veröffentlicht
- RSA-Schlüssel mit „nur“ 768 gelten somit als geknackt

- Dauer: Ca. 2,5 Jahre
  - Erster Rechenschritt (Polynomial Selection) ca. 0,5 Jahre auf 80 PCs
  - Zweiter Rechenschritt (Sieving) ca. 2 Jahre auf Cluster mit mehreren hundert Rechnern
  - Eine aktuelle AMD Server CPU hätte alleine rund 1.500 Jahre benötigt

- Prognose: Genug Rechenleistung zum Knacken von RSA-1024 in 10 Jahren einfach verfügbar.

SSH Architektur

- Geschichtete Architektur:



- SSH Authentication Protocol [RFC 4252]
  - Authentisierung des Clients gegenüber dem Server
- SSH Transport Layer Security [RFC 4253]
  - Authentisierung des Servers gegenüber dem Client
  - Vertraulichkeit
  - Integrität
  - Perfect Forward Secrecy
- SSH Connection Protocol [RFC 4254]
  - Multiplexing

SSH Connection Protocol

- Setzt auf SSH Transport Protocol auf
- Dienste:
  - Interaktive Login Session (`ssh username@testsrv.lrz.de`)
  - Entfernte Ausführung von Kommandos (`ssh testsrv.lrz.de ps`)
  - X11-Forwarding
  - Statisches Forwarding von einzelnen TCP/IP - Ports (lokal / remote)
  - Inzwischen auch dynamisches Forwarding auf SOCKS5-Basis
- Für jeden Dienst wird ein oder mehrere Channels aufgebaut
- Multiplexing aller Channels über einen SSH Transport Protocol Kanal
  - Damit Vertraulichkeit und
  - Integritätssicherung aller übertragenen Daten

SSH Connection Protocol: Aufbau v. Channels

- Jede Seite kann SSH_MSG_CHANNEL_OPEN schicken
- Nachrichtenformat
  - channel type: String der Art des Kanals („session“, „X11“, usw.)
  - sender channel: 32 Bit Integer als lokaler Identifikator des Channels
  - initial window size: 32 Bit Integer; maximale Anzahl Bytes, die an den Initiator gesendet werden können
  - maximum packet size: 32 Bit Integer; Maximale Paketgröße
  - ... weitere Parameter abhängig vom channel type
- Ablehnen des Channel Request mit SSH_MSG_CHANNEL_OPEN_FAILURE:
  - recipient channel: channel id des Senders
  - reason code: Grund der Ablehnung (z.B. adminstratively prohibited, connect failed, unknown channel, ...)
  - additional textual information
  - language tag

Aufbau von Channels (cont.)

- Akzeptieren des Channel Request mit SSH_MSG_CHANNEL_OPEN_CONFIRMATION:
  - recipient channel: channel id des Senders
  - sender channel: channel id des Responders
  - initial window size
  - maximum packet size
  - ... weitere Parameter abhängig vom channel type
- Falls Channel aufgebaut, sind folgende Aktionen möglich
  - Datentransfer (Empfänger muss wissen, was er mit den Daten tun soll, d.h. ggf. weitere Aushandlung erforderlich)
  - Channel-type spezifische Nachrichten
  - Schließen des Channels

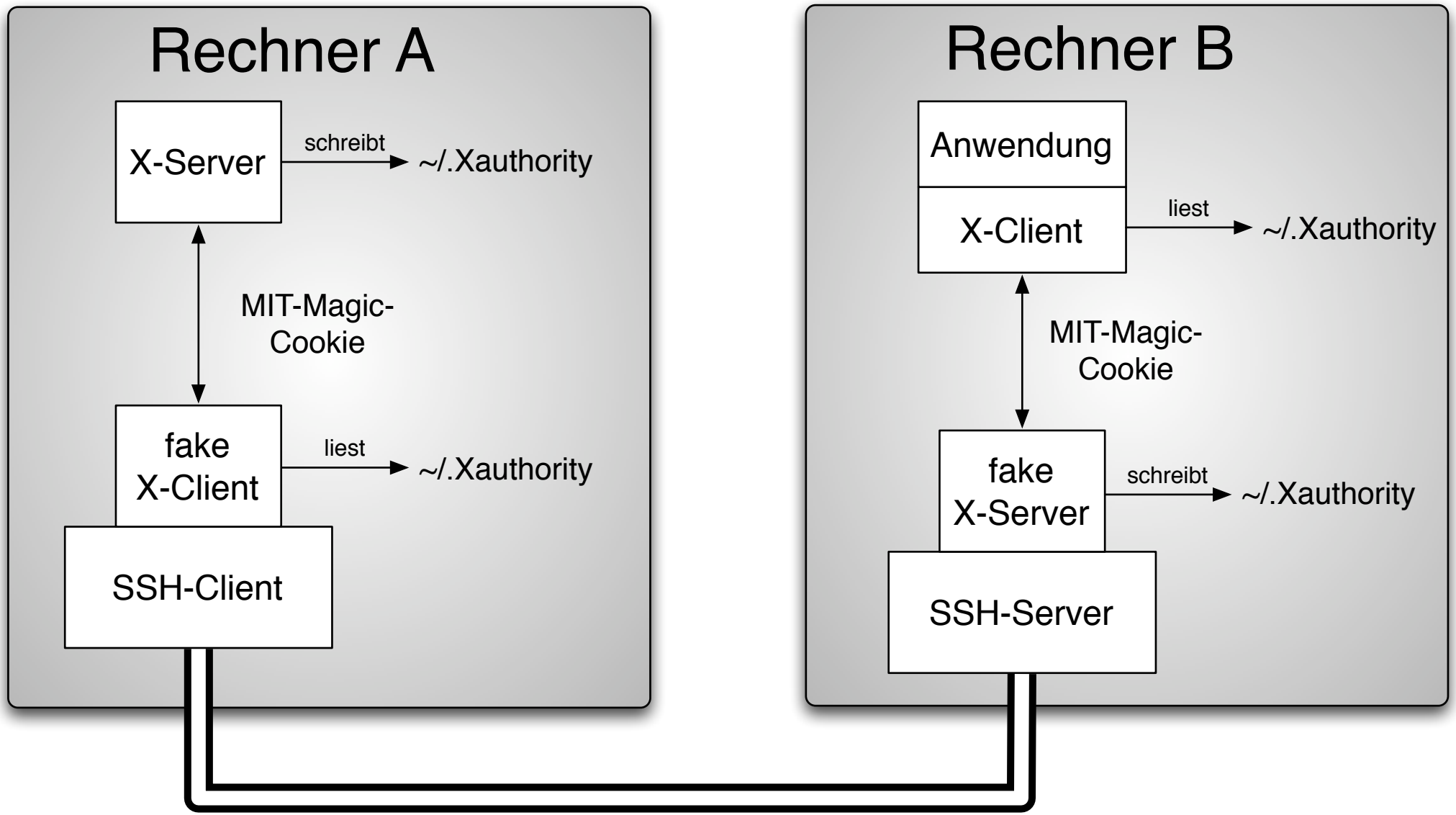
Interaktive Login Session

- SSH_MSG_CHANNEL_OPEN mit type „session“
- Nach Channel-Aufbau Anforderung eines Pseudo-Terminals; SSH_MSG_CHANNEL_REQUEST:
  - recipient channel
  - „pty-request“: Anforderung des Pseudo-Terminals (PTY)
  - want_reply: Boolsche Variable ob Antwort erforderlich
  - Term Environment Variable: Art des PTY (z.B. vt100, xterm,....)
  - Terminal width und height characters: Anzahl der Zeichen
  - Terminal width und height pixel: Anzahl der Pixel
  - Terminal modes: Betriebsarten des Terminals
- Umgebungsvariablen setzten mit SSH_MSG_CHANNEL_REQUEST mit type „env“
  - Paare mit Variablenname und Variablenbelegung
- Starten einer Shell mit SSH_MSG_CHANNEL_REQUEST mit type „shell“ (Default shell aus /etc/passwd wird gestartet)

X11

- X11 Window System im Rahmen von MIT Athena Projekt entwickelt
- X-Server läuft auf dem Rechner, bei dem die Grafikausgabe bzw. -eingabe erfolgen soll
- Programm, das Ausgabe macht, verbindet sich als X-Client
- X-Server (X-Display) und X-Clients (Anwendungen) können auf getrennten Maschinen laufen
- Nachrichten werden im Klartext übertragen, d.h. X11 hat selbst keine Mechanismen bzgl. Vertraulichkeit

SSH: X11-Forwarding



SSH: Port Forwarding

- Port auf einer lokalen Maschine wird zu einem Port auf entferntem System über SSH getunnelt
- Bsp.: Sichere Remote Administration über VNC und SSH
- VNC-Server wartet auf Port 5900
- VNCViewer erwartet Display-Nummer; Display Nummern n werden auf Port 5900 + n abgebildet
- ssh -L 5902:mobject:5900 admin@mobject
- VNCViewer localhost:2