VPN-Knigge

Daniel Bachfeld, Dr. Andreas Steffen

Quelle: c't 07/06

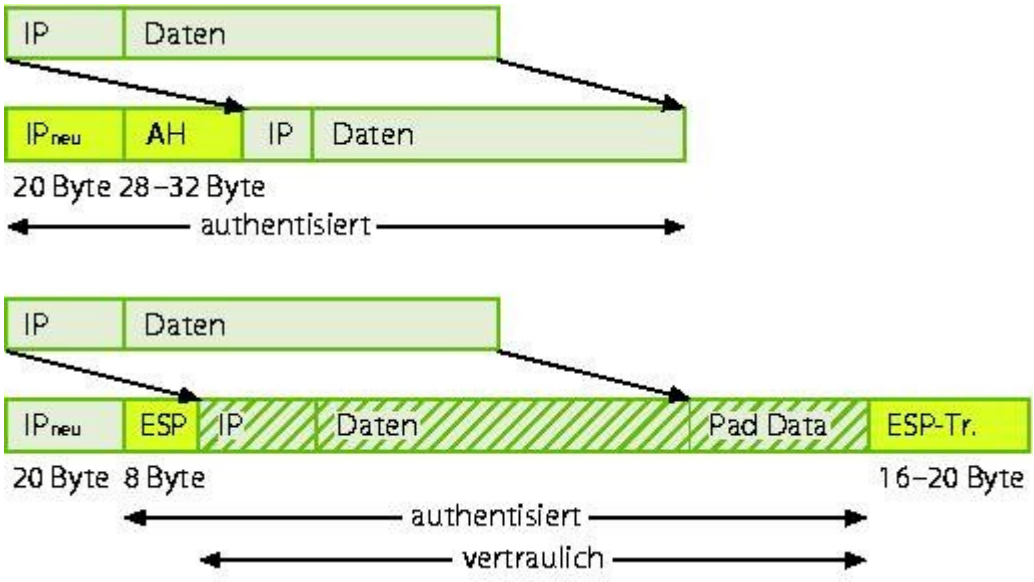
VPN-Protokolle und Standards

Verschiedene Techniken bieten sich zum Aufbau eines virtuellen privaten Netzwerks an, aber nicht alle passen zum gedachten Einsatzszenario. Eine Übersicht über Standards und Protokolle erleichtert die Auswahl.

Das derzeit am häufigsten eingesetzte VPN-Protokoll ist IPSec (IP Security). Mittlerweile findet man es so gut wie in jedem Firewall-Produkt, einige Heim-Router im oberen Preissegment haben es eingebaut und seit Windows 2000 ist es Bestandteil von Microsofts Betriebssystem. Mit IPSec ist es möglich, IP-Pakete kryptographisch gesichert über öffentliche Netze zu transportieren. Mehrere RFCs (RFC2401-2409) beschreiben die bei IPSec zum Einsatz kommenden Verfahren und Protokolle.

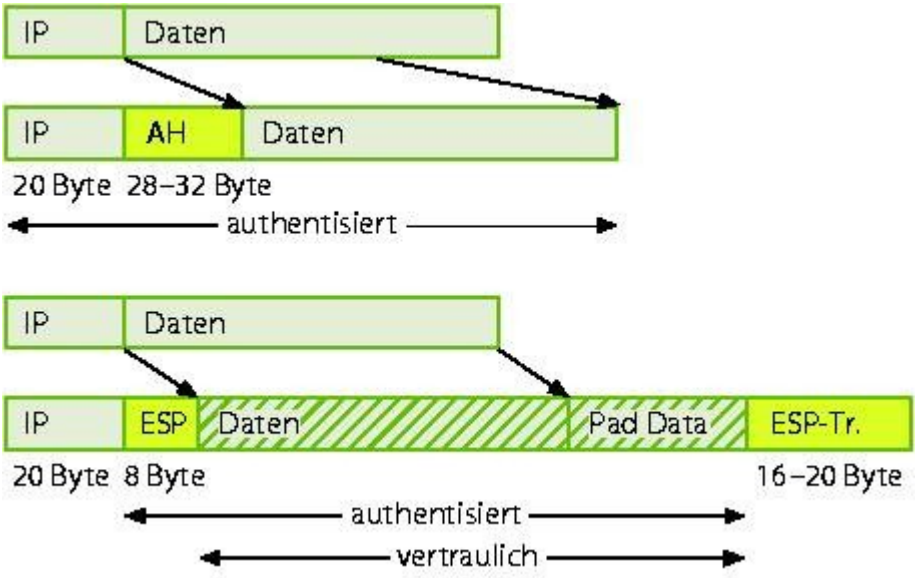
IPSec bietet zwei Sicherungsarten: Authentication Header (AH) und Encapsulation Security Payload (ESP) jeweils in Kombination mit den Betriebsmodi Tunnel oder Transport. Mit AH kann der Anwender nur die Integrität und Echtheit der Daten sicherstellen, indem über jedes verschickte Paket ein HMAC (siehe Glossar) gebildet wird. AH wird nur selten eingesetzt, da es kaum Anwendungen gibt, in denen nur die Integrität zählt.

Für die Vertraulichkeit der Kommunikation sorgt ESP, das die Pakete verschlüsselt. Zusätzlich schützt eine Integritätssicherung vor Manipulationen, allerdings nicht für das gesamte Paket wie bei AH. Bei ESP fließt etwa die IP-Adresse nicht in die Berechnung des HMAC ein, sodass sich diese manipulieren lässt. Dies erlaubt aber trotzdem kein IP-Spoofing, da eine Authentisierung der Kommunikationspartner beim Tunnelaufbau stattfindet.



Der Tunnel-Mode verschleiert die Original-Adresse des Absenders.

Zusätzlich zur Wahl zwischen AH und ESP hat der Anwender die Möglichkeit, die Pakete im Transport- oder Tunnel-Mode über das Netz zu verschicken. Beim Transport-Mode wird der Original-IP-Header, also IP-Adresse plus IP-Optionen, weiter benutzt. Im Tunnel-Mode kapselt IPSec das ganze Paket samt IP-Header und schreibt einen neuen IP-Header davor - die Original-IP-Adresse ist nicht mehr sichtbar. Erst bei der Entschlüsselung auf der gegenüberliegenden Seite kommt die IP-Adresse mitsamt des restlichen Paketes wieder zum Vorschein.



Beim Transport-Mode bleiben die äußeren Header erhalten.

Üblicherweise kommt die Kombination ESP und Tunnelmode auf VPN-Gateways zum Einsatz, wenn entfernte Subnetze miteinander über ein unsicheres Netz gekoppelt werden. Sollen zwei Rechner miteinander über IPSec im LAN kommunizieren, so wählt man meist den Transport-Mode.

Schlüsselweitwurf

Die kryptographischen Funktionen von AH und ESP beruhen auf symmetrischen Schlüsseln. Um diese nicht vorab austauschen zu müssen, handelt das Internet-Key-Exchange-Protokoll (IKE) diese beim Aufbau der Verbindung dynamisch aus. Nebenbei erledigt IKE auch noch die Authentifizierung der Teilnehmer und das Aushandeln der Security Associations (SA), in denen die Konfiguration der Verbindung festgehalten wird.

Beim Verbindungsaufbau durchläuft IKE zwei Phasen: In Phase 1 (Main Mode) tauschen die Partner in vier Nachrichten Schlüsselmaterial aus, um sich auf einen gemeinsamen symmetrischen Schlüssel (SKEYID) zu einigen. Aus SKEYID werden ein Schlüssel zur Authentisierung und einer zur Verschlüsselung der weiteren IKE-Nachrichten abgeleitet sowie ein Schlüssel für die spätere Phase 2. Anschließend erfolgt über zwei weitere, nun verschlüsselte Nachrichten die Authentifizierung der VPN-Teilnehmer durch digitale Signaturen, RSA-Schlüssel oder Pre-Shared Keys (PSK). Letztere sind nichts anderes als geheime Passwörter, die auf beiden Seiten der IPSec-Verbindung identisch sein müssen.

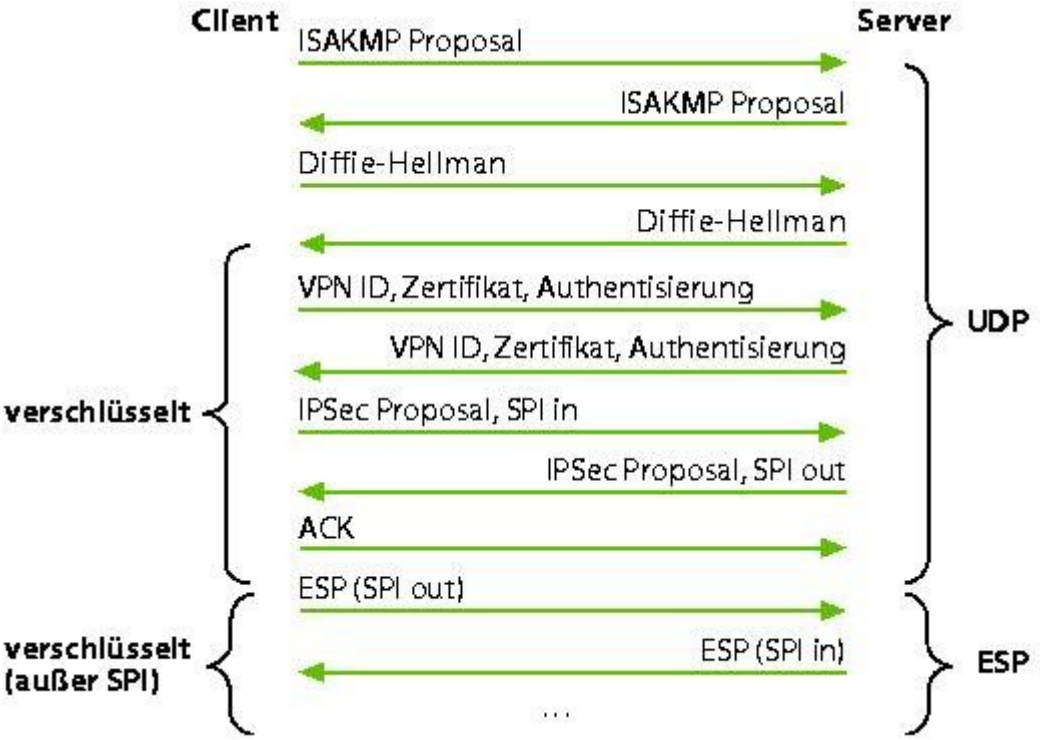
PSKs sind wesentlich einfacher zu handhaben als Zertifikate, haben aber im Main Mode einen entscheidenden Nachteil: Sie funktionieren nur mit statischen IP-Adressen. Das liegt daran, dass im Main Mode ein PSK fest an die IP-Adresse der Gegenstelle gekoppelt ist und nicht nur zur Authentifizierung dient. Der PSK geht nämlich in die Berechnung des Schlüssels SKEYID ein. Ohne die feste Zuordnung könnte eine Gegenstelle die beiden letzten chiffrierten Nachrichten nicht entschlüsseln. Im Unterschied dazu wird bei der Authentifizierung durch Zertifikate der Schlüssel mittels des Diffie-Hellman-Key-Exchange-Verfahrens immer neu berechnet.

Schnell, schnell

Um PSKs mit dynamischen IP-Adressen nutzen zu können, kommt der auf drei Nachrichten verkürzte Aggressive Mode zum Einsatz. Dort sind die PSKs an so genannte Peer-IDs gebunden, beispielsweise eine Mail-Adresse oder einen Domain-Namen, die unverschlüsselt übertragen werden. Daran kann der VPN-Partner erkennen, welches der richtige PSK ist. Prinzipiell sieht der RFC2409 "multiple PSKs" vor, sodass beispielsweise jeder mobile Client mit einem individuellen Key ausgestattet werden kann. Leider unterstützt dies nicht jeder Hersteller, sodass dann alle Clients denselben PSK benutzen müssen. Wird ein Client kompromittiert, müssen alle anderen Clients den PSK wechseln.

Die im Aggressive Mode benutzte Klartextübertragung bietet einen Angriffspunkt: Zur Authentifizierung

sendet das Gateway einen aus dem PSK abgeleiteten Hashwert über das Netz. Da dieser Hash nicht verschlüsselt ist, lässt sich damit unter Umständen der Schlüssel über Wörterbuch- oder Brute-Force-Angriffe rekonstruieren. Aus Sicherheitsgründen sollten man daher den Main Mode nutzen [1].



Nach maximal neun Nachrichten ist ein IPSec-Tunnel aufgebaut. Im Aggressive Mode steht der Tunnel nach sechs Paketen.

Über die in Phase 1 aufgebaute gesicherte Verbindung können die VPN-Peers sich nun in Phase 2 (Quick Mode) auf einen symmetrischen Schlüssel für die IPsec-Verbindung einigen. Danach steht der IPSec-Tunnel, durch den etwa ein Gateway IP-Pakete routet, die für das LAN hinter dem gegenüberliegenden Gateway bestimmt sind.

Fallstricke

Da der IPSec-Standard bereits einige Jahre auf dem Buckel hat, sind dort einige Netzkonfigurationen nicht berücksichtigt. So hat IPSec immense Probleme mit dem heute in vielen Netzen eingesetzten NAT, weil dabei das IPSec-Paket verändert wird. Je nach NAT-Art (Basic NAT oder Network Adress Port Translation, NAPT) erhält ein Paket eine neue IP-Adresse und gegebenenfalls noch eine neue Quell-Portnummer. AH, egal ob im Transport- oder Tunnel-Mode, streckt hier sofort die Waffen. Weil der Paket-Header verändert wurde, stimmt der HMAC nicht mehr.

Bei ESP ist es etwas komplizierter: Um Ports umzuschreiben, müsste ein NAT-Router den TCP/UDP-Header lesen können. Der Original-Header ist aber verschlüsselt, sodass eine Zuordnung unmöglich ist.

Mit ESP im Tunnelmode würde NAT zwar klappen, vorher scheitert aber schon IKE an NAT. Denn IKE kommuniziert fest über den UDP-Quell- und Zielport 500. Wird der verändert, kommt keine Verbindung zu Stande. Einige Router unterstützen deshalb das IPSec-Passthrough-Verfahren, bei dem die IKE-Ports nicht verändert werden. Zudem leitet der Router ESP-Pakete damit richtig weiter. Da die ESP-Pakete nur einer Verbindung zugeordnet werden können, funktioniert Passthrough nur mit einem einzigen Client.

Um sich nicht auf den Router verlassen zu müssen, ist das ursprüngliche IPSec daher kaum noch gebräuchlich. Vielmehr setzt man es mit der IPSec-Erweiterung NAT-Traversal ein (RFCs 3947 und 3948). Dabei tauschen beide Seiten über das NAT-Traversal-Protokoll verschiedene Informationen aus. Anschließend werden ESP-Pakete in UDP-Pakete verpackt und über Port 4500 verschickt. Nun können NAT-Router ohne Probleme sowohl IP-Adressen als auch Ports umschreiben.

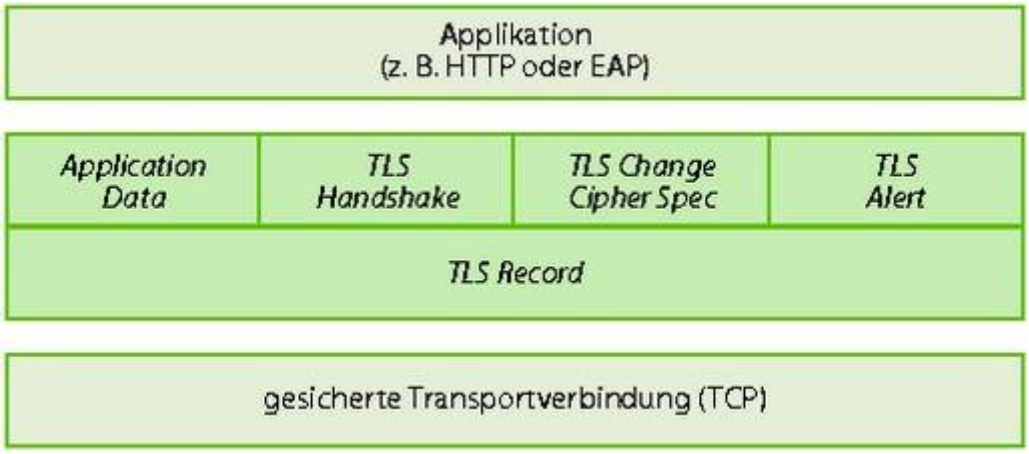
Ablösung

Weil der Aufbau von IPSec-VPNs relativ komplex und fehleranfällig ist, setzen sich einfachere Lösungen durch, die zur Sicherung auf die Standards Secure Socket Layer (SSL) beziehungsweise Transport Layer Security (TLS) setzen. Der Begriff SSL-VPN hat derzeit zwei Bedeutungen: Zum einen bezeichnet clientless SSL-VPN den Web-Zugriff von entfernten Anwendern per SSL-Verbindung auf einen Server, die bestimmte Applikationen anbietet, etwa Datenbankzugriffe mittels Webbrowser [2]. Der Vorteil: https ist in jedem Browser eingebaut, ist erprobt und kommt überall durch. Der Nachteil: Um auch mit nicht webbasierenden Anwendungen zu arbeiten, müssen auf Client- und/oder Serverseite Umsetzer mitlaufen, etwa Java-Plug-ins, die deren Daten über die Browserverbindung umleiten. Zum anderen sind damit Lösungen wie OpenVPN gemeint, die IP-Pakete transparent tunneln und somit völlig unabhängig von der Anwendung sind.

SSL und TLS unterscheiden sich kaum: Das ursprünglich von Netscape entwickelte SSL wurde ab Version 3.0 mit einigen kleineren Änderungen von der IETF übernommen und TLS 1.0 genannt (RFC 2246). TLS unterstützt zur Authentisierung der Daten HMAC und erzeugt das Schlüsselmaterial mit einer anderen Funktion als SSL (PRF statt RAND). Bei der Nachrichtenübermittlung gibt sich TLS als SSL-Version 3.1 zu erkennen.

Das TLS-Protokoll nutzt zwei Schichten: Den Record Layer und die darauf aufsetzenden Protokolle Alert, Change Cipher Spec, Handshake und Application Data. Über das TLS-Handshake-Protokoll einigen sich die Peers auf einen individuellen symmetrischen Sitzungsschlüssel, beispielsweise wie bei IPSec mit Hilfe von Diffie-Hellman, und mit welchen Algorithmen verschlüsselt und authentisiert werden soll. TLS nutzt insgesamt vier Schlüssel: je einen zum Ver- und Entschlüsseln sowie je einen zur Authentisierung ankommender und abgehender Pakete.

Zur Authentifizierung dienen in der Regel Zertifikate, TLS unterstützt aber auch unsignierte RSA-Keys. Im Internet trifft der Anwender meist auf unidirektionale Authentifizierung: Nur der Server beglaubigt mit dem SSL-Zertifikat seine Identität. Bei SSL-VPNs beweist hingegen auch der Client seine Identität mit einem Zertifikat.



Der TLS Record sorgt für die verschlüsselte Übertragung der Application Data.

Mit dem Change-Cipher-Spec-Protokoll signalisiert ein Teilnehmer, dass alle nun folgenden Pakete mit dem ausgehandelten Sicherheitskontext, beispielsweise AES-CBC mit 256 Bit und SHA1, zu schützen sind. TLS unterstützt fast 40 Sicherheitskontexte verschiedener Kombinationen von RSA, DH, AES, DES, SHA-1 und MD5. Geht an irgendeiner Stelle etwas schief, so informieren sich die Peers gegenseitig über das Alert-Protokoll.

Der TLS-Verbindungsaufbau wird mit maximal 13 Nachrichten in vier Paketen abgewickelt.

Der TLS-Verbindungsaufbau wird mit maximal 13 Nachrichten abgewickelt, die über zwei Server-Pakete und zwei Client-Pakete verschickt werden. Steht der Tunnel, so komprimiert und verschlüsselt der TLS Record alle Daten des Application Data Layer und reicht sie weiter an die TCP-Schicht.

Offen und geschlossen

Das im vorangegangenen Artikel beschriebene OpenVPN nutzt zwar ebenfalls TLS, geht aber ein paar Umwege, um statt reiner Anwendungsdaten IP-Pakete und sogar Ethernet-Frames sowie alle darüber liegenden Protokolle zu tunneln. OpenVPN nutzt für die Datenübertragung bevorzugt das zustandlose UDP, das keine Flusskontrolle für den Datenverkehr kennt. Der Grund: Beim Einkapseln des von den meisten Anwendungen benutzten TCP in andere TCP-Pakete entstehen durch die ineinander geschachtelten TCP-Flusskontrollalgorithmen Interferenzen. In der Folge kann es zu hoher Latenz und Verbindungsabbrüchen kommen.

Da TLS per Definition nur über TCP funktioniert, muss OpenVPN tricksen und gaukelt TLS einfach einen zuverlässigen TCP-Layer vor. Steht der Tunnel, verschlüsselt OpenVPN alle über sein tun/tap-Interface ankommenden Pakete, schreibt einen Initialisierungsvektor davor, authentisiert das Ganze per HMAC und verschickt es über den UDP-Tunnel. Auf der Empfängerseite arbeitet OpenVPN alle Schritte in umgekehrter Reihenfolge ab und leitet das Paket weiter. Bei TLS wird der gesamte Verkehr über einen einzigen UDP-Port abgewickelt. Dazu multiplext der Server sowohl den TLS-Handshake als auch die verschlüsselten Pakete auf eine Verbindung.

Da OpenVPN weder die IP-Adresse noch die UDP-Portnummer des Paketes authentisiert, bereiten NAT-Router auf dem Weg zum Empfänger keine Probleme. Auch Road Warrior mit dynamischen IP-Adressen bedient OpenVPN klaglos. Selbst der Server darf eine dynamische IP-Adresse haben. Dem Client reicht beispielsweise die Angabe eines DynDNS-Namens, um den Server zu erreichen. OpenVPN eignet sich obendrein auch zur Kopplung entfernter Netze.

Gamer's Delight

Das Gamer-VPN Hamachi wird primär zur verschlüsselten Peer-to-Peer-Kommunikation eingesetzt. Die Funktionsweise des Protokolls ist nicht vollständig offen gelegt, sodass eine Bewertung der eingesetzten Verfahren und Vertraulichkeit schwer fällt. Allerdings hat Applied Networking, der Hersteller und

Serverbetreiber, auf Nachfrage einige Informationen herausgegeben. Für den Verbindungsaufbau eines Hamachi-Clients ist die erste Anlaufstelle der Default-Server bibi.hamachi.cc mit der IP-Adresse 64.34.106.33. Der Client öffnet eine TCP-Verbindung zum Server-Port 12975 und sendet eine HELO-Meldung. Der Default-Server liefert dem Client die IP-Adresse und den TCP-Port eines Mediation-Servers zurück. Häufig verwendete Adressen sind 64.33.106.7 und 64.33.106.33 - der Default-Server agiert also selbst auch als Mediation-Server. Der zugeordnete Destination-Port war zumindest in unserem Test immer 32976.

Der Client wechselt nun zum zugewiesenen Mediation-Server und sendet abermals die HELO-Meldung. Der Server antwortet mit HELO OK. Über das Diffie-Hellman-Schlüsselaustauschverfahren einigen sich beide Seiten auf einen 256-bittigen AES-Schlüssel für die symmetrische Verschlüsselung sowie einen Authentisierungschlüssel für HMAC-SHA-1. Von da an wird der gesamte Verkehr verschlüsselt und authentisiert.

Im nächsten Schritt tauschen beide Seiten in AUTH-Nachrichten ihre digitalen Signaturen zur Authentifizierung aus, die durch die RSA-Verschlüsselung eines SHA-1-Hashes gebildet wird, der auf dem DH-Schlüsselmaterial beruht. Dabei wendet der Client einen privaten RSA-Key Ki an, der bei der Installation individuell erzeugt wurde. Der Server hingegen setzt den privaten RSA-Schlüssel Kr ein, der auf allen Hamachi-Servern gleich ist.

Während die Linux- und Mac-OS-X-Clients RSA-Schlüssel mit 2048 Bit Länge verwenden, generiert der Windows-Client aus unerklärten Gründen nur schwächere RSA-Schlüsselpaare mit 1024 Bit Länge. Der Client sendet zusätzlich in der AUTH-Meldung als Identität seine eindeutige Hamachi-IP-Adresse mit. Diese Hamachi-Adresse wurde ihm bei der allerersten Anmeldung (Enrol) am Server zugewiesen und stammt aus dem emulierten riesigen Subnetz 5.0.0.0/8. Da keine realen IP-Adressen aus diesem Bereich im Internet vorkommen, können keine Routing-Konflikte auftreten. Beim Enrol überträgt der Client zudem seinen Public Key, mit der der Server später die Echtheit der RSA-Signatur prüfen kann. Die Anmeldeprozedur bindet auf dem Mediation-Server einen Public Key fest an eine eindeutige Hamachi-IP-Adresse. Die Client-Software kann die Echtheit der Server-Signatur prüfen, weil das Programm den Public Key des Servers von Haus aus mitbringt.

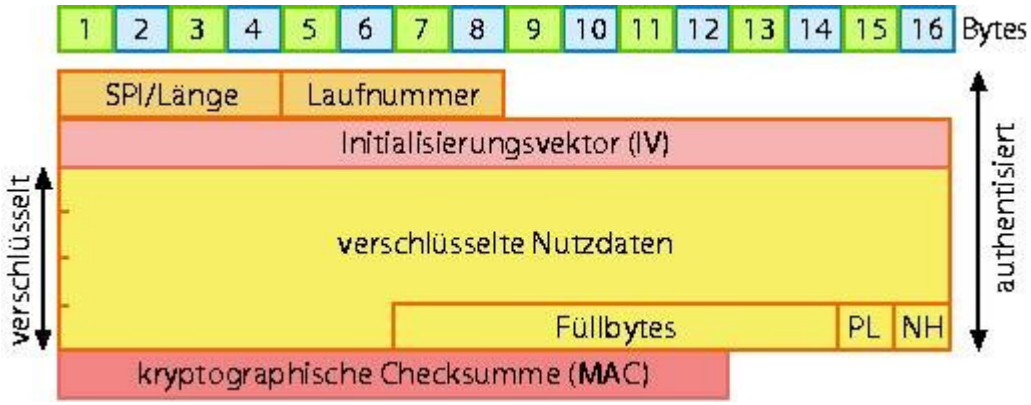
Hamachi baut Tunnel auch über NAT-Router hinweg auf. Um herauszufinden, welcher Teilnehmer hinter einer NAT-Box oder direkt am Internet hängt, öffnet der Client einen UDP-Socket mit einer beliebigen Portnummer und sendet dem Mediation-Server ein DISCOVERY-Paket an den UDP-Port 27684. Dieser UDP-Port wird später für alle Tunnelbindungen mit den anderen Mitgliedern eines Netzwerks verwendet.

Ob auch andere Hosts den Source-Port des Clients von außen erreichen können, testen zwei weitere Hamachi-Server, häufig die Hosts 63.34.106.10 und 82.165.126.211, indem sie von beliebigen UDP-Ports aus dreimal hintereinander Pakete aussenden. Kommen die Pakete beim Client an, ist das Login abgeschlossen. Die TCP-Control-Session zwischen dem Client und dem Hamachi-Server wird für die Dauer der Verbindung aufrechterhalten und alle 90 Sekunden mit Keep-Alive-Paketen getestet, um den NAT-Tabelleneintrag periodisch aufzufrischen.

Peer-to-Peer-Tunnel

Sobald ein zweiter Client einem Hamachi-VPN beitreten will, wird zwischen den beiden Peers ein direkter Tunnel auf der Basis des von jedem Client geöffneten UDP-Ports aufgebaut. Welcher Port das ist und ob dazwischen ein NAT-Router liegt, teilt der Mediation-Server den Clients mit. Zusätzlich teilt der Server jedem Endpunkt einer Zweierbeziehung einen Session-Schlüssel sowie einen zugehörigen 32-Bit großen Security Parameter Index (SPI) zu, wie er auch von IPsec verwendet wird.

Dass der Server die Kommunikationsschlüssel für Peer-to-Peer-Tunnel generiert und damit Dritte in der Lage sind, den Datenverkehr abzuhören, hat einigen Argwohn erzeugt. Deshalb hat Hamachi in den neueren Windows-Versionen, aber leider noch nicht in der Linux-Version, den Modus P2P-Key-Exchange eingeführt. Über den Diffie-Hellman-Schlüsselaustausch einigen sich die Peers auf einen nur ihnen bekannten Schlüssel und authentisieren sich. Den für die Verifikation der Signatur benötigte RSA-Public-Key des Peers fordert der Hamachi-Client beim Mediation-Server an. Während man dem Server bei Einsatz von älteren Windows-Versionen hier noch blind vertrauen musste, bietet die aktuelle Version im Konfigurationsverzeichnis ein Unterverzeichnis, wo alle vom Server bezogenen RSA-Peer-Schlüssel abgelegt werden. Dort kann der Nutzer auch die über einen anderen, sicheren Kanal bezogenen Keys anderer Peers manuell hineinkopieren.



Die Hamachi-Pakete haben ein ähnliches Format wie die ESP-Pakete bei IPSec.

Hamachi kann verschlüsselte und authentisierte Pakete sowohl über TCP-Sockets als auch als UDP-Datagramme versenden. Das Format entspricht dem bei IPsec verwendeten ESP. Beim Transport via TCP werden die ersten 32 Bit als Längenfeld verwendet, während in UDP-Datagrammen ein Security Parameter Index (SPI) die Tunnelverbindung bezeichnet. Jedes Hamachi-Paket wird mit einer 12 Byte langen kryptographischen Checksumme versehen, die als ein auf 96 Bit abgeschnittener SHA-1-Hash über alle Felder gebildet wird. In diesen HMAC fließt zusätzlich ein geheimer Authentisierungsschlüssel ein, der aus dem Diffie-Hellman-Geheimnis abgeleitet ist.

Tunnel nach Redmonder Art

Das hauptsächlich unter Windows eingesetzte Point-to-Point Tunneling Protocol (PPTP) ist ein VPN-Verfahren für Remote Access und setzt eine verschlüsselte PPP-Brücke auf. Das Point-to-Point-Protokoll (PPP) dürfte den meisten Anwendern geläufig sein: Es sorgt für den Verbindungsaufbau des heimischen PC und die Datenübertragung über Modem- und ISDN-Wählzugängen zum Internet-Provider. Grundsätzlich kann PPP beliebige Protokolle aus höheren Schichten transportieren, etwa IP, IPX, NetBIOS und Appletalk. Bei der Einwahl ins Internet funktioniert die Weiterleitung über den Network Access Server (NAS) aber nur mit IP-Paketen. Um auch andere Protokolle, etwa für Remote Access ins Firmennetz zu transportieren, muss man die PPP-Verbindung quasi über den NAS des Providers zum NAS der eigenen Firma verlängern. Dazu verpackt PPTP die PPP-Pakete über das Tunnel-Verfahren Generic Routing Encapsulation (GRE) in IP-Pakete. Die Signalisierung zum Verbindungsauf- und -abbau erfolgt zwischen dem PPTP-Client und dem Server über eine Control Connection über den TCP-Port 1723.

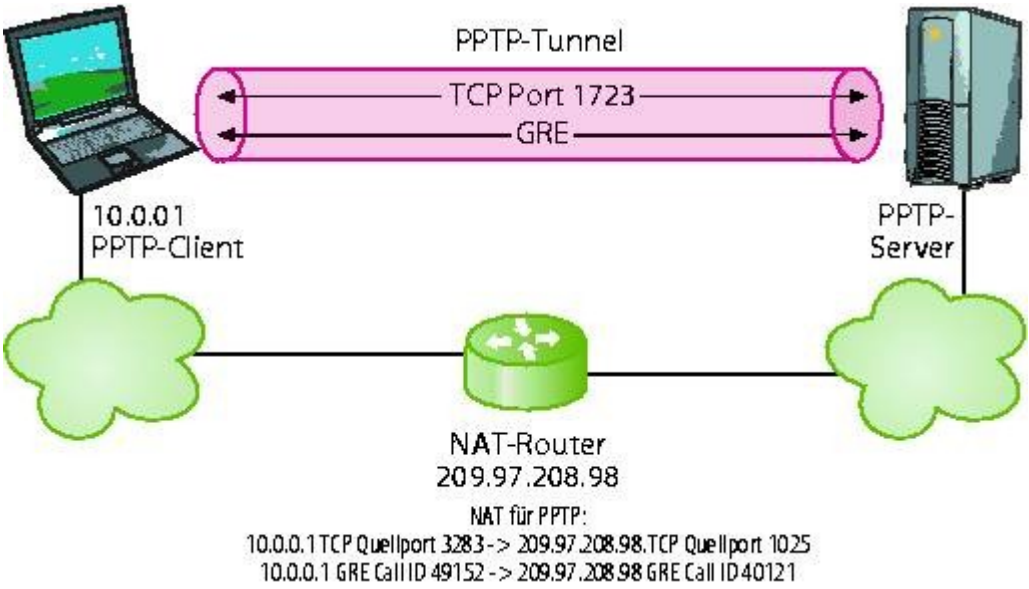
PPTP kapselt die verschlüsselten PPP-Pakete in das GRE-Protokoll, das wie IPSec ein eigenständiges Protokoll ist und keine Ports besitzt.

PPP übernimmt mehrere Aufgaben: Es ist für die Authentifizierung, die Aushandlung der Paketgrößen und IP-Adressen sowie für die Verschlüsselung der Daten zuständig. Die Authentifizierung und die Aushandlung der Schlüssel sind die Schwachpunkte von Microsofts PPTP-Implementierung. Die Authentifizierung beruht auf einem Challenge-Response-Verfahren (MSCHAPv1), bei der der Windows-Client eine vom Server im Klartext verschickte Challenge mit einem Passwort verschlüsselt und an den Server zurückschickt.

Dieser 24 Byte lange LM-Hash lässt sich wie schon die PSKs von IPSec im Aggressive Mode mit Wörterbuch- oder Brute-Force-Angriffen mehr oder minder schnell knacken [3]. Microsoft hat darauf in MSCHAPv2 mit zahlreichen Verbesserungen reagiert, bei dem der Client unter anderem nicht mehr die ursprüngliche Server-Challenge verschlüsselt, sondern eine davon abgeleitete. Somit ist es erheblich schwieriger, den Hash zu berechnen. Allerdings demonstrierte bereits 2001 eine Gruppe von Studenten, wie man auch MSCHAPv2 innerhalb von Stunden knackt.

Die Datenverschlüsselung von PPTP mit dem Stromchiffrierer RC4 hat ebenfalls ihre Haken: Die in Microsofts Point-to-Point Encryption Protocol (MPPE) eingesetzten Schlüssel beruhen auf dem Passwort, eine dedizierte Schlüsselaushandlung findet nicht statt. In der ersten MPPE-Version gab es sogar nur einen Schlüssel zum Ver- und Entschlüsseln, seit MSCHAPv2 errechnet MPPE für jede Richtung einen eigenen Key. Die Schlüssellänge kann 40 oder 128 Bit betragen. Eine zusätzliche Authentisierung der Pakete nimmt PPTP nicht vor.

Um die Sicherheitsprobleme von PPTP zu beseitigen, hat Microsoft ab Windows 2000 das Extensible Authentication-Protocol (EAP) eingeführt, das die Authentifizierung über Zertifikate und MD5-Hashes unterstützt. Ohne EAP gilt PPTP heutzutage als nicht mehr hinreichend sicher.



Auch PPTP hat unter Umständen Probleme mit NAT-Router. Das Passthrough-Verfahren ebnet diese Hürde.

Neben den Sicherheitsproblemen hat PPTP auch mit NAT zu kämpfen. Manche Router nehmen GRE-Pakete nicht an und verwerfen sie kommentarlos. Zudem gibt es bei GRE keine Ports, sodass die Zuordnung von Ports zu Client-Verbindungen unmöglich ist. Anders als bei IPSec befördert PPTP die zugehörigen Kenndaten unverschlüsselt. Mit PPTP Passthrough sind moderne NAT-Router daher in der Lage, eine Liste der von Clients verwendeten Call IDs zu führen und zuzuordnen.

Als Alternative baut Microsoft seit XP das Protokoll L2TP over IPSec (Layer 2 Tunneling Protocol) in Windows ein, das wie PPP andere Protokolle höherer Schichten transportiert. L2TP hat keine eigenen Funktionen zur Verschlüsselung. Daher wird es zum Schutz der Daten in Kombination mit IPSec eingesetzt, wobei IPSec dann auch die Authentifizierung übernimmt.

Firewalls und VPNs

Die Platzierung eines VPN-Endpunktes ist mitunter eine schwierige Entscheidung. Einerseits sollte ein VPN-Gateway vor Angriffen aus dem Netz geschützt werden, sodass es der Administrator besser hinter einer Firewall aufstellt und nur IPSec und IKE auf Port 500 durchlässt. Andererseits sind die Firewall und Intrusion Prevention Systeme dann nicht mehr in der Lage, in die verschlüsselten Pakete hineinzuschauen, um sie gegebenenfalls auszufiltern. Ein VPN-Teilnehmer könnte so unkontrolliert auf das dahinterliegende Netz zugreifen oder ungewollt Schadcode in das Netzwerk einschmuggeln.

Der bessere Weg ist, den VPN-Server in eine entmilitarisierte Zone (DMZ) zu stellen, damit eine zweite Filterstufe den entschlüsselten Verkehr überprüfen kann.

Unverschlüsselt sicher

Die bisher genannten VPN-Lösungen müssen alle auf kryptographische Funktionen zurückgreifen, um die Daten bei dem Transport über das unsichere Internet und dessen Router vor Manipulation und Ausspähen

zu schützen. Netz-Carrier bieten aber seit langem Layer-2-VPNs an, bei der alle Daten über nicht öffentliche, nach Lesart der Betreiber somit sichere Netze an die Standorte des jeweiligen Kunden weitergeleitet werden. Früher beruhten solche Netze auf Frame Relay, X.25 oder ATM; heute ist das Schlagwort Multiprotocol Label Switching (MPLS). MPLS ist der Brückenschlag der Carrier zwischen verbindungsorientierten Forwarding-Techniken und verbindungslosen, paketbasierten Verfahren wie dem Internet-Protokoll. Damit ist es möglich, verschiedene Arten von Daten und Diensten wie Telefonie und IP-Pakete über dieselbe Infrastruktur zu transportieren. Anhand der Paketkennzeichen (Label) erkennen die Switches, in welche Richtung sie Pakete weiterleiten müssen. Letztlich hat eigentlich nur der Anbieter einen Nutzen von MPLS: er spart sich mehrere parallele Netzarten [4].

Nebenbei kann der Netz-Provider Dienste wie Virtual Private Wire Services (VPWS) anpreisen, mit der Kunden über so genannte Pseudo Wire Tunnels ihre Ethernet-, ATM-, Frame Relay- und IP-Pakete durch das MPLS-Netz befördern können. Für den Nutzer sieht das MPLS-Netz wie eine Standleitung aus. Die Sicherheit obliegt aber dennoch weiterhin ihm, der Provider verschlüsselt keine Daten. Um diese bei der Übertragung auszuspähen, müsste ein Angreifer schon Zugriff auf des Netz des Providers haben und dafür entweder die Straße aufbuddeln oder in die Vermittlungsstellen einbrechen. So gesehen ist das Risiko relativ gering. Dagegen stehen aber die vergleichsweise hohen Kosten eines MPLS-VPN.

Fazit

IPSec gilt nach wie vor als sicherste VPN-Lösung für alle Szenarien, legt dem Anwender aber einige Steine in den Weg. Unter Windows ist etwa IPSec mit den Bordmitteln nur schwer zu konfigurieren; Hilfsmittel wie TauVPN (siehe kurz vorgestellt, S. 73) können den Einstieg aber enorm erleichtern. Nach und nach finden Erweiterungen und Verbesserungen Eingang in den Standard, um viele der Hürden zu beseitigen. Im Dezember 2005 wurde die zweite Generation von IPSec Standards (RFC 4301-4309) veröffentlicht. Auch das schnellere und weniger kompliziertere IKEv2 soll im nächstem Jahr IKEv1 ablösen.

IPSec-VPNs sind relativ ressourcenhungrig und erzeugen viel Overhead, allerdings sind sie skalierbar. Unter anderem verhelfen spezielle Kryptobeschleuniger den VPN-Gateways zu noch mehr Leistung, um viele parallele Verbindungen bedienen zu können.

Hamachi-VPN ist für Gamer interessant, die ihre LAN-Party über das Internet spannen wollen. Microsofts PPTP ist in fast jedem Windows-Client verbaut, bietet aber nur mit EAP ausreichend Schutz vor Angriffen. VPN über MPLS kommt für Privatanwender aus Kostengründen gar nicht in Frage und ist nur bei der Kopplung großer Firmennetze sinnvoll. Was bleibt, ist OpenVPN, das sich als echter Shooting Star entpuppt. Aufgrund seiner Flexiblität und der hohen Sicherheit ist damit zu rechnen, dass OpenVPN bald sehr viele Anhänger finden wird. Seine Leistungsfähigkeit gegenüber IPSec muss es aber erst noch beweisen, denn durch das Hin- und Herkopieren der Daten zwischen verschiedenen Schnittstellen wird einiges an Zeit vergeudet. Die einfache Installation, Konfiguration und Robustheit machen derzeit die Wahl fürs Open-Source-VPN dennoch leicht. (dab)

Literatur

[1] Michael Thumann, Einbruch ins VPN, Nachlässige Konfigurationen führen zu unsicheren VPNs, www.heise.de/security/artikel/52767

[2] Stephan Scholz, Johannes Endres, Das Überall-VPN, Mit dem Browser sicher ins LAN, c't 15/04, S. 194

[3] Daniel Bachfeld, Mit roher Gewalt, Angriff auf Passwörter in Windows-Netzwerken, www.heise.de/security/artikel/40744

[4] Felix von Leitner, Wegbereitung, MPLS erleichtert das Routing im Internet, c't 08/01, S. 260

Kasten 1

Authentifizierung

Der sichere Betrieb von VPNs steht und fällt mit einer guten Authentifizierung. State-of-the-Art sind X.509v3-Zertifikate, in der die Kopplung eines öffentlichen Schlüssels an eine Identität durch eine Certification

Authority (CA) beglaubigt ist. Vertraut man dieser CA, kann man sicherstellen, dass nur bekannte Identitäten Zugriff auf das VPN haben. Im Gegenzug können die Teilnehmer verifizieren, ob sie auch wirklich mit dem gewüschten VPN-Server eine Verbindung aufgenommen haben. Eine Identität kann sowohl eine Person als auch ein PC darstellen.

Der Einsatz von Zertifikaten bedeutet aber einen höheren Verwaltungsaufwand, da eine Public-Key-Infrastrukur (PKI) vonnöten ist, die Zertifikatsanträge bearbeitet, Zertifikate ausstellt und verteilt sowie Listen über ungültige beziehungsweise zurückgezogene Zertifikate führt und zur Verfügung stellt (Certificate Revocation List, CRL). Dazu ist nicht unbedingt ein externer Dienstleister erforderlich. Steht ein Windows 2003 Server zur Verfügung, so kann dessen leistungsfähige CA zum Ausstellen von Zertifikaten verwendet werden. Der Administrator kann eine eigene vollständige PKI aber auch mit kostenlosen Open-Source-Lösungen wie OpenCA aufbauen, die viele Schritte automatisiert durchführt.

Weniger automatisch, dafür einfacher in der Installation und Konfiguration sind Lösungen wie TinyCA, deren Zertifikatsverwaltung komplett über eine GUI bedient wird. OpenVPN liefert gleich seine eigene CA Easy-RSA mit. Mit simplen Skriptaufrufen erstellt der Nutzer ein CA-Zertifikat und unterschreibt damit Server- und Client-Schlüssel. Bei sehr vielen Teilnehmern kommen derart simple Lösungen aber schnell an ihre Grenzen.

VPN-Lösungen können zur Authentifizierung statt eines Zertifikates auch den unsignierten öffentlichen Schlüssel des Gegenübers nutzen. Der muss aber, ähnlich wie bei PSKs, vorher auf einem separaten Weg ausgetauscht werden. Auf den Einsatz von PSK sollte man am besten ganz verzichten oder wenigstens sehr schwer erratbare Passwörter wählen.

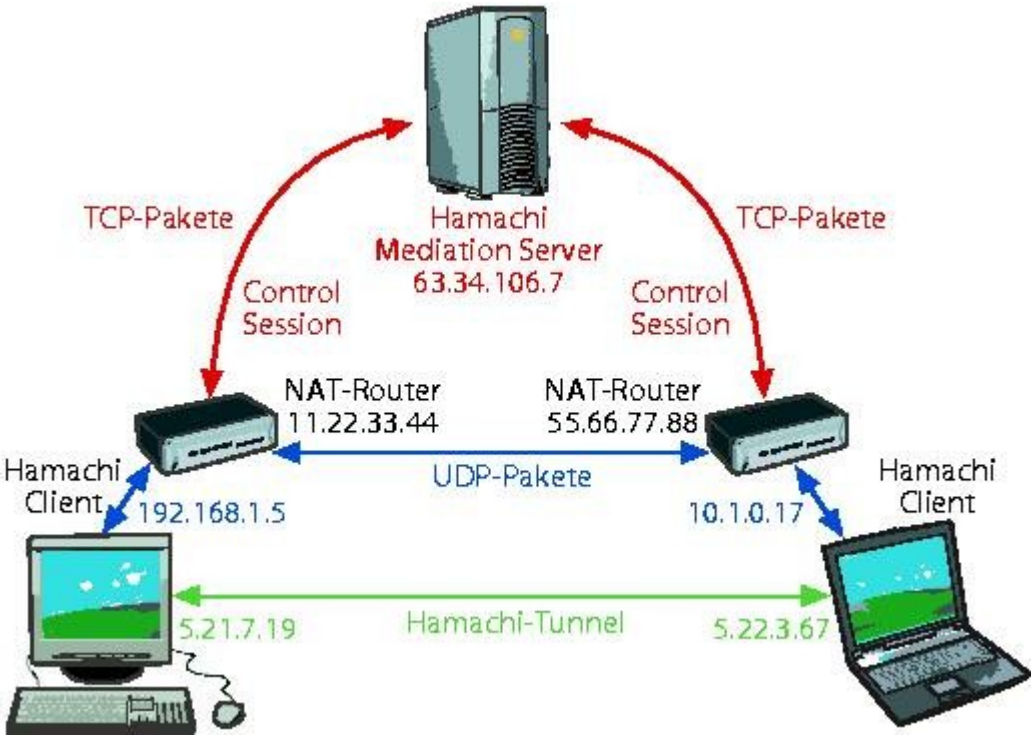
Zweiter Grenzposten

Einige Herstellerimplementierungen von IKE kennen von Haus aus nur die Geräte-Authentifizierung, die nicht besonders abgestuft ist. Um eine Authentifizierung auf Nutzerebene zu ermöglichen und die Schwächen des IKE Aggressive Modus beim Gebrauch von PSKs auszubessern, unterstützen einige Hersteller das XAUTH-Verfahren. Dabei wird IKE um eine Phase erweitert, in der Mechanismen wie RADIUS, SecurID und andere zum Einsatz kommen. Erst wenn beide Authentifizierungen erfolgreich waren, darf der Nutzer mit seinem PC ins VPN.

Kasten 2

VPN-Glossar

Der **Advanced Encryption Standard** (AES) ist der Nachfolgeverschlüsselungsstandard von DES (Data Encryption System). 3DES mit 128 Bit gilt zwar immer noch als sicher, ist aber wegen der Dreifachverschlüsselung um Faktoren langsamer als AES. AES unterstützt 128, 192 und 256 Bit lange Schlüssel.



Als Verschlüsselungsalgorithmus setzt Hamachi AES mit 256 Bit Schlüssellänge im Modus Cipher-Block-Chaining ein.

Anders als der ECB-Mode (Electronic Code Book) verhindert der **CBC-Mode** (Cipher Block Chaining) bei Verschlüsselungsalgorithmen die Entstehung von Mustern im Chiffrat, die Rückschlüsse auf den Klartext zulassen. Dazu lässt CBC das Ergebnis der vorherigen Blockoperation in die aktuelle einfließen (Chaining). Sowohl ECB als auch CBC sind für so genannte **Bit-Flipping-Attacken** anfällig. Dabei kann ein Angreifer im Chiffrat ohne Kenntnis des Schlüssels einzelne Bits manipulieren, ohne später beim Entschlüsseln durch den Empfänger einen Fehler zu provozieren. Da sich so der Inhalt manipulieren lässt, muss auch für verschlüsselte Pakete die Integrität gesichert werden, etwa mit HMAC.

In CBC werden jeweils Blöcke von jeweils 16 Datenbytes verschlüsselt. Das CBC-Verfahren wird mit einem zufällig gewählten 128 Bit langen Initialisierungsvektor initialisiert, der etwa bei ESP-Paket den chiffrierten Nutzdaten vorangestellt wird. Da die Daten blockweise verschlüsselt werden, muss der letzte Datenblock mit Füll-Bytes zur vollen Blocklänge aufgefüllt und die Anzahl dieser Stopf-Bytes in einem Längen-Byte festgehalten werden.

Über das **Diffie-Hellman-Key-Exchange-Verfahren** (DH) lassen sich kryptographische Schlüssel sicher über unsichere Kanäle aushandeln. Es ist selbst kein Verschlüsselungsverfahren und tauscht auch keine Schlüssel im eigentlichen Sinne aus. Das von Martin Hellman und Whitfield Diffie entwickelte Verfahren beruht auf den Eigenschaften diskreter Logarithmen: zwar ist es einfach, eine Zahl zu potenzieren. Es ist aber nur mit sehr großem Aufwand möglich, den diskreten Logarithmus einer Zahl zu berechnen.

Bei der Aushandlung einigen sich die VPN-Peers auf eine Primzahl p und eine Primitivwurzel g mod p. Beide Faktoren dürfen unverschlüsselt übertragen werden. Anschließend erzeugt jede Seite eine geheime Zufallszahl a/b und berechnet daraus den Wert Za= g^a mod p beziehungsweise Zb = g^b mod p. Za und Zb werden an den Partner übertragen. Daraus kann nun jede Seite den gemeinsamen symmetrischen Schlüssel K berechnen: Zb^a mod p = Za^b mod p = K.

Sind die eingesetzten Zahlen hinreichend groß, ist es für einen Angreifer so gut wie unmöglich, den Key zu knacken. Große Zahlen erfordern allerdings mehr Rechenaufwand. Die Größe der Zahlen bestimmt die gewählte **DH-Gruppe**. Die kleinste DH Gruppe 1 hat 768 Bits und die größte definierte Gruppe 18 besitzt 8192 Bits. Empfohlen wird derzeit der Gebrauch der Gruppe 5 mit 1536 Bits.

Über einen **Hash-Algorithmus** lässt sich aus einem beliebig langen Datensatz eine Prüfsumme fester Länge berechnen. Dieser Hashwert soll möglichst einmalig sein, man spricht dann auch von Kollisionsfreiheit. Damit ist sichergestellt, dass der Datensatz nicht so manipuliert werden kann, dass der Hashwert trotzdem noch derselbe ist. Üblicherweise kommen **SHA-1** (Secure Hash Algorithm) mit 160 Bits und **MD5** (Message Digest Algorithm) mit 128 Bits zum Einsatz. Bei ESP wird der Hashwert von 128, respektive 160 Bit auf 96 Bit abgeschnitten.

Zur Authentisierung von Daten dienen (**Keyed-)Hash Message Authentication Codes**. **HMAC** ist eine Sonderform des MAC, bei der zusammen mit einem geheimen Schlüssel ein Hash-Wert etwa über Datenpaket gebildet wird. Bei VPNs benutzt man in der Regel HMAC-MD5 oder HMAC-SHA-1.

Unter IKE sorgt die Aktivierung der Funktion **Perfect Forward Secrecy** (PFS) für frisches Schlüsselmaterial bei der Aushandlung eines Keys für den Quick Mode. Ohne PFS leitet Phase 2 die ESP Schlüssel vom DH-Geheimnis der IKE Phase 1 ab. Wird etwa im IKE Main Mode nur alle 24 Stunden authentisiert, so hängen alle in diesem Zeitraum erstellten IPsec SAs von diesem Master-Schlüssel ab. Knackt ein Angreifer den Schlüssel, so wären alle Sessions eines Tages kompromittiert.

Mit einem **Proposal** signalisiert ein IPSec-VPN-Peer, mit welchen Algorithmen er umgehen kann und welche DH-Gruppe er verwenden will. Zur Verschlüsselung implementieren die meisten Hersteller 3DES und AES mit verschiedenen Schlüssellängen jeweils im CBC-Mode. Für die Authentisierung sorgen die Hash-Algorithmen SHA-1 und MD5.

Anhand des **Security Parameters Index** (SPI) kann ein IPSec-Peer die zum Paket gehörige Security Association (SA) erkennen, um es zu entschlüsseln und die Authentizität zu prüfen.

In den **Security Associations** (SA) speichern die Peers die Konfiguration einer VPN-Verbindung, etwa die benutzten kryptographischen Algorithmen, die Zeit bis zur Neuberechnung von Schlüsseln und so weiter. Phase 1 und Phase 2 besitzen jeweils eigene SAs, die nur unidirektional gelten. Pro Phase benötigt ein Peer also jeweils eine SA für eingehenden und ausgehenden Datenverkehr.