INSIDE IT

Das Portal für IT-Verantwortliche

PRÄSENTIERT

LAYER 2-VERSCHLÜSSLER FÜR METRO UND CARRIER ETHERNET, MPLS UND IP

MARKTÜBERSICHT ETHERNET-VERSCHLÜSSLER (PUNKT-ZU-PUNKT UND MULTIPUNKT)

KURZVERSION

Version 7.1, 9. Mai 2022

---

www.uebermeister.com
cjaggi@uebermeister.com

ISBN 978-3-9525012-0-7

INHALTSVERZEICHNIS

KAPITEL 1: EINLEITUNG

1. VERSCHLÜSSELUNGSSCHICHT UND SICHERHEIT 1

2. UNTERSCHIEDLICHE ANSÄTZE 2
2.1. HOP-BY-HOP VS. END-TO-END 2
2.2. DEDIZIERT VS. INTEGRIERT 3

3. KRITERIEN UND ABDECKUNGSBEREICH 4
3.1. KRITERIEN 4
3.2. ABDECKUNGSBEREICH 4

4. ZIELSETZUNG 6

KAPITEL 2: MARKTÜBERSICHT

1. ANBIETER UND PRODUKTE 7

2. NETZWERKSTANDARDS UND PLATTFORMEN 10
2.1. ETHERNET-SCHNITTSTELLE UND DURCHSATZRATE 10
2.2. UNTERSTÜTZTE NETZWERKTOPOLOGIEN 11
2.2.1. Punkt-zu-Punkt 11
2.2.2 Punkt-zu-Multipunkt 12
2.2.3. Multipunkt-zu-Multipunkt 12
2.3. UNTERSTÜTZTE METRO UND CARRIER ETHERNET TOPOLOGIEN 12
2.4. UNTERSTÜTZTE NETZWERKE FÜR DIE VERSCHLÜSSELUNG 13
2.5. UNTERSTÜTZTE NETZWERKE FÜR DEN TRANSPORT VON VERSCHLÜSSELTEN FRAMES 15
2.6. BETRIEBSSZENARIEN 15
2.7. VERWENDETE PLATTFORMEN 16
2.8. UNTERSTÜTZTE BETRIEBSMODI 16

3. VERSCHLÜSSELUNG DER DATENEBENE 18
3.1. VERSCHLÜSSELUNGSSTANDARD 18
3.2. VERSCHLÜSSELUNGSHARDWARE 18
3.3. VERARBEITUNGSWEISE 19
3.4. LATENZ 19
3.5. VERSCHLÜSSELUNGSOFFSETS 19
3.6. DIE VERSCHLÜSSELUNGSMODI 20
3.6.1. Frame-Modus 21
3.6.2. Transport-Modus 21
3.6.3. Tunnel-Modus 22
3.7. IP-BASIERTER TUNNEL 23
3.8. NATIVE IP-VERSCHLÜSSELUNG FÜR IP-NETZWERKE 23
3.9. GRÖSSE DES REPLAY-FENSTERS 25
3.10. SELEKTIVE VERSCHLÜSSELUNG 25
3.11. ERWEITERTE SICHERHEITSFUNKTIONEN 26
3.11.1. Modifizierbare S-Box 26
3.11.2. Traffic Flow Security 26

4. VERSCHLÜSSELUNG DER KONTROLLEBENE 27
4.1. KONFIGURATIONSOPTIONEN AUF DER KONTROLLEBENE 27

4.2. Absicherung von Kontrollebene, Schlüsseleinigung und Schlüsselaustausch 28

5. Umgebungserkennung und Key Server 30
5.1. Automatische Umgebungserkennung 30
5.2. Key Server 30
5.3. Integrierter Key Server 30
5.4. Unterstützung für externen Key Server 30
5.5. Externer Key Server 30
5.6. Unterstützung für mehrere, verteilte Key Server 30
5.7. Unterstützung für das Ausweichen auf Ersatz-Key Server 31

6. Schlüsselverwaltung 32
6.1. Grundausstattung 32
6.1.1. Hardware-basierter Zufallszahlengenerator 32
6.1.2. Sicherheit der Schlüsselaufbewahrung 32
6.1.3. Autonomer Betrieb 32
6.2. Verbindungsaufbau 32
6.3. Authentifizierung /Anfangsgeheimnis und Signaturprotokoll 33
6.4. Schlüsselaustausch 34
6.4.1. Symmetrischer Schlüsselaustausch 34
6.4.2. Asymmetrischer Schlüsselaustausch 34
6.4.3. QuantensichererSchlüsselaustausch 34
6.4.4. Austauschfrequenz 34
6.5. Schlüsselsystem 36
6.5.1. Paarweise Schlüssel 37
6.5.2. Gruppenschlüssel 39

7. Netzwerkunterstützung 43
7.1. Bump-in-the-wire-Deployment 43
7.2. Jumbo-Frames 43
7.3. Ethernet Flow Control 43
7.4. Taggen von Frames ohne Tag 43
7.5. Fragmentierung 43
7.6. Dead Peer Detection 43
7.7. Optical Loss Pass-Through 42
7.8. Link Loss Carry Forward 44

8. System Management 45
8.1 Out-of-Band-Zugriff 45
8.2 In-Band-Zugriff 45
8.3 Slots und Ports 45
8.4 SNMP 45
8.5 Logs 45

9. Unit 46
9.1 Rack Unit 46
9.2 Gerätezugriff 46
9.3 Redundante Netzteile 46
9.4 Mean Time between Failures 46
9.5 Geräteschutz 46
9.6 Sicherheitszulassungen 46
9.7 Sicherheitsrelevante Zulassungen 47

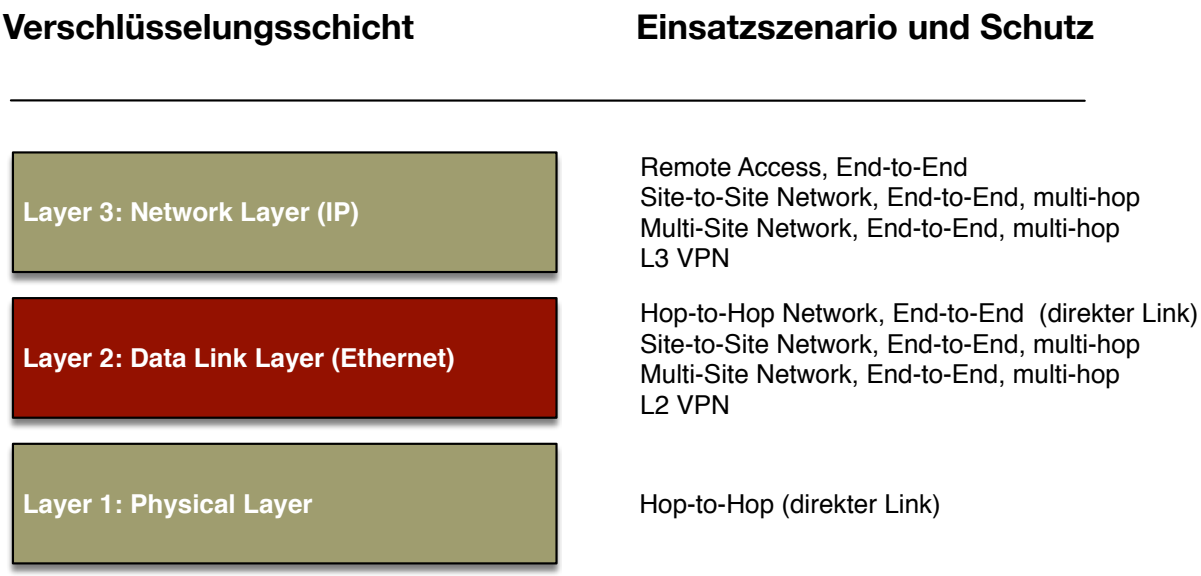
10. MANAGEMENT-SOFTWARE **48**
10.1 MANAGEMENT ACCESS 48
10.2 DEVICE MANAGEMENT 48
10.3 CERTIFICATE AUTHORITY UND MANAGEMENT 48
10.4 KEY MANAGEMENT 48

11. PREIS UND GARANTIE **49**
11.1. PREIS 49
11.2. BETRIEBSKOSTEN 49
11.3. GARANTIEDAUER UND GARANTIEUMFANG 49
11.4. BERECHNUNGSGRUNDLAGE 50

Kapitel 1: Einleitung

1. Verschlüsselungsschicht und Sicherheit

Ethernet spielt in der Verbindung von Standorten eine immer wichtigere Rolle. Sowohl bei Nahverkehrsnetzen (Metropolitan Area Networks/MAN) wie bei Weitverkehrsnetzen (Wide Area Networks/WAN). Ethernet befindet sich auf Layer 2 des OSI-Netzwerkmodells. Dies ist eine Schicht unterhalb des Internetprotokolls, das auf Layer 3 angesiedelt ist. Carrier Ethernet hat gegenüber MPLS substantielle operationelle Vorteile und ist auch in Bezug auf die Kosten vorteilhaft.



Netzwerkverschlüsselung bringt dann die grösste Effizienz und Sicherheit, wenn sie entweder nativ auf oder unterhalb des verwendeten Layers erfolgt. Bei Verschlüsselung unterhalb des verwendeten Layers kann es zu Abstrichen in Bezug auf Flexibilität kommen.

Die stetig steigende Nachfrage nach dedizierten Layer 2-Verschlüsslern hat einen einfachen Grund: Sicherheit und Effizienz gepaart mit Kosteneinsparungen. Über 99 Prozent der Angriffe auf Netzwerke erfolgen auf Layer 3 bis 7. Die Verschlüsselung des standortübergreifenden Datenverkehrs auf Layer 2 gewährt – bei Verwendung von authentisierter Verschlüsselung - einen Vollschutz für das Netzwerk, inklusive Vertraulichkeit, Integritätsschutz, Authentisierung, Intrusion Detection und Intrusion Prevention. Somit dient der Verschlüssler gleichzeitig auch als Firewall auf Netzwerkebene. Für das muss allerdings sämtlicher Verkehr auf Layer 2 hardwaremässig abgesichert sein. Das ist auch eine Voraussetzung für die Sicherstellung der Verfügbarkeit. Aufgrund der gewährten Sicherheit, Integrität und Verfügbarkeit gibt es immer mehr Kunden für solche Lösungen, darunter auch solche mit über 900 Layer 2-Verschlüsslern im 24/7/365-Einsatz.
Nebst Ethernet unterstützen mittlerweile mehrere Hersteller auch die Verschlüsselung von IP-Netzwerken im Bridge Mode.

Die am besten geeignete Netzwerkverschlüsselung hängt vom verwendeten Netzwerk ab. Unterschiedliche Kunden haben unterschiedliche Netzwerke. Wie man das für sich beste Netzwerk wählt findet sich hier:

https://my.ipspace.net/bin/list?id=ChooseVPN#HYBRID
https://my.ipspace.net/bin/list?id=Design#2022_01

2. Unterschiedliche Ansätze

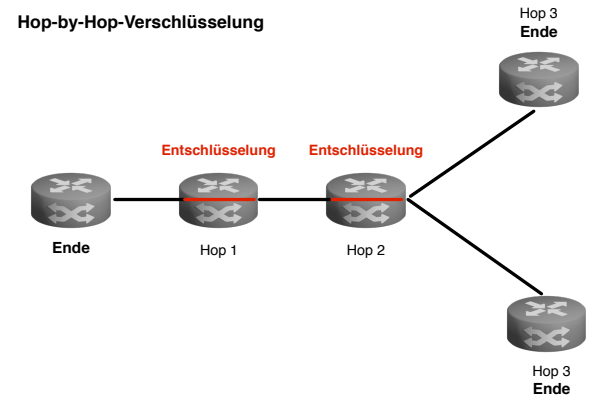
Für Netzwerkverschlüsselung gibt es unterschiedliche Ansätze und Vorgehensweisen. Diese haben eine direkte Auswirkung auf die unterstützten Anwendungsszenarios und auf die Sicherheit.

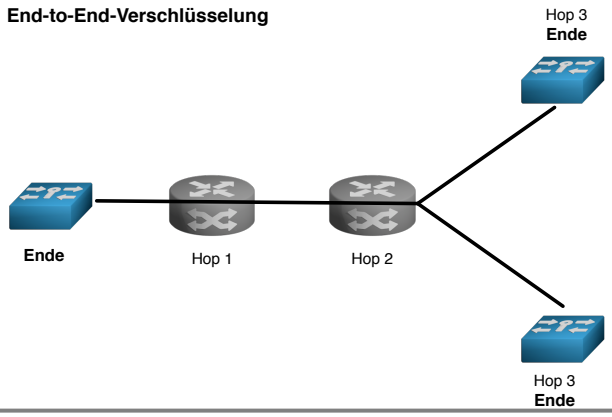
So gibt es auch unterschiedliche Möglichkeiten, Ethernet zu verschlüsseln. Das geht sowohl auf Layer 1, auf Layer 2, als auch auf Layer 3 oder höher. Am effizientesten ist es auf Layer 1 und auf Layer 2, am flexibelsten auf Layer 2 und Layer 3. Die optimale Kombination von Effizienz und Flexibilität bietet die Verschlüsselung auf Layer 2. Aber auch da gibt es Unterschiede.

2.1. Hop-by-Hop vs. End-to-End

Für die Verbindung von Standorten wird vorzugsweise eine End-to-End-Verschlüsselung verwendet. Eine Hop-by-Hop-Verschlüsselung funktioniert nur in einer beschränkten Anzahl von Szenarien.

Bei einer Hop-by-Hop-Verschlüsselung werden die Daten bei jedem Hop entschlüsselt, in unverschlüsselter Form verarbeitet und dann wiederum verschlüsselt zum nächsten Hop weitergesendet. Anders sieht es bei einer End-to-End-Verschlüsselung aus, bei der die Daten während der gesamten Übertragung zwischen Absender und Ziel gesichert bleiben.





Während in einem lokalen Netzwerk eine Hop-by-Hop-Verschlüsselung vorteilhaft sein kann, ist sie für MAN- und WAN-Umgebungen nur dann einsetzbar, wenn der nächste Hop gleichzeitig auch das andere Verbindungsende ist. Der Einsatzbereich und die Flexibilität von Hop-by-Hop-Verschlüsselungslösungen sind stark eingeschränkt.

2.2. Dediziert vs. Integriert

Dedizierte Geräte lassen sich besser für einen Aufgabenbereich optimieren und absichern. Integrierte Lösungen sind dafür in der Regel günstiger. Bei der Ethernet-Verschlüsselung bauen die integrierten Lösungen auf MACSec, während viele der dedizierten Geräte eine für MAN und WAN optimierte Verschlüsselung verwenden. Das Anforderungsprofil für eine MAN- und WAN-Verschlüsselung unterscheidet sich deutlich von der einer LAN-Verschlüsselung, sowohl in Bezug auf die Netzwerkunterstützung wie auch die Sicherheitsanforderungen.

Zielgerichtet für den Schutz von Carrier Ethernet-Netzwerken entwickelte dedizierte Lösungen sind in der Regel besser geeignet als MACSec-basierte integrierte Lösungen, da sie von vornherein für die erhöhten Netzwerk- und Sicherheitsanforderungen von MANs und WANs ausgelegt wurden. Seit ein paar Jahren gibt es auch dedizierten Geräte, die auf Basis von MACSec arbeiten. Sie verwenden allerdings die von NSA und IEEE entwickelten IEEE 802.1AEcg-Spezifikationen und FPGAs statt ASICs. Diese Geräte kommen mit mehr Carrier Ethernet-Szenarien klar, liegen aber in Bezug auf Netzwerkunterstützung, Funktionalität, Sicherheit sowie teilweise in der Skalierbarkeit deutlich hinter den meisten zweckoptimierten Geräten zurück.

Sicherheitslösungen für WANs sollten sowohl von der Funktionalität wie auch von der gewährten Sicherheit her auf die spezifischen Problemstellungen und Gefahrenszenarios von WAN und MAN optimiert sein.

3. Kriterien und Abdeckungsbereich

3.1. Kriterien

Die Gliederung der Marktübersicht orientiert sich an den relevanten Hauptkriterien:

- Schnittstelle/Verarbeitungsleistung
- Unterstützte Netzwerke und Einsatzszenarien
- Verwendete Plattform (Hardware, Firmware, Schlüsselverwaltung)
- Verschlüsselungsstandards und –verarbeitung
- Verschlüsselungs- und Sicherheitsfunktionen auf der Datenebene
- Verschlüsselungs- und Sicherheitsfunktionen auf der Kontrollebene
- Schlüsselverwaltung und Schlüsselsystem
- Netzwerkfunktionalität und Zusatzfunktionen
- Geräteverwaltung
- Zertifizierungen
- Geräteeigenschaften

Die unterschiedlichen Kriterien und Implementierungsansätze sind erläutert und - wo möglich - mit Links auf neutrale externe Informationsquellen versehen.

Bei der Netzwerkverschlüsselung haben unterschiedliche Kunden oft unterschiedliche Anforderungsprofile. Dies betrifft sowohl die Eigenschaften und das Nutzungsszenario des verwendeten Nah- und Weitverkehrsnetzes als auch die gestellten Sicherheitsanforderungen. Es gibt verschiedene Lösungsansätze, um den jeweiligen Erfordernissen gerecht zu werden.

Für End-to-End-Verschlüsselung von Carrier Ethernet-Netzwerken gibt es keinen offiziellen Standard, aber etliche weitverbreitete Lösungen, die de-facto Standards sind. MACsec ist ein Standard der für lokale Netzwerke (LAN) entwickelt wurde und von der Grundarchitektur her eine hop-by-hop-Lösung ist. In einigen Metro und Carrier Ethernet-Szenarien funktioniert sie, in anderen nicht. Es gibt Variationen von MACsec, die auch mit Carrier Ethernet funktionieren. Die verschiedenen Anbieter von end-to-end Lösungen verwenden sowohl auf der Kontroll- wie auch auf der Datenebene unterschiedliche Ansätze. Das führt dazu, dass das Marktangebot ziemlich unübersichtlich ist. Diese Marktübersicht versucht, die verschiedenen Lösungsansätze aufzuzeigen. Die Spezifikationen für MACsec sind von der IEEE erhältlich. Auf Layer 2 lässt sich im Bridge Mode auch IP verschlüsseln. Einige Anbieter unterstützen dies.

3.2. Abdeckungsbereich

Das Ziel dieser Marktübersicht ist es, die relevantesten Anbieter abzudecken und für diejenigen, die weniger relevant sind und diejenigen, die nicht mitmachen wollten, dem Leser den entsprechenden Fragebogen zuhanden des Anbieters zur Verfügung zu stellen.

Entscheidend für die Marktrelevanz sind fünf Faktoren: Die Akzeptanz im Markt, die installierte Basis, die laufenden Verkäufe, der technische Stand der Produkte und die Angebotsbreite. So sind in dieser Marktübersicht keine Anbieter vertreten, bei deren Produkten essentielle Sicherheitsfunktionen wie authentisierte Verschlüsselung fehlen, die Verschlüsselung nicht nativ auf Layer 2 erfolgen kann, kein Multipunkt unterstützt wird, oder das Angebot die gängigsten Bandbreitenszenarios – von 100Mb bis 100Gb – nicht abdecken kann. Ebenfalls nicht berücksichtigt sind Carrier-Geräte, bei denen die Verschlüsselung erst nach Übergabe des unverschlüsselten Netzwerkverkehrs an den Carrier erfolgt. Darunter fallen unter anderem Ethernet Access Devices.

In Bezug auf MACSec ist die Auswahl auf die Funktionalität eines typisches IEEE 802.1AEcg-Gerät beschränkt, da dieser Standard im Gegensatz zu integrierten Lösungen gleich wie die Ethernet Security Specifications (ESS) der NSA auf kundenseitige Appliances setzt. IEEE 802.1AEcg ist Teil von IEEE 802.1AE-2018, weicht von IEEE 802.1AE MACSec in etlichen Bereichen ab und definiert fünf unterschiedliche Geräteklassen. Im Gegensatz zu integrierten MACSec-Lösungen sind in einer Appliance die Funktionen dediziert und klar abgrenzbar. MACsec 802.1AEdk als nächste geplante Erweiterung fügt noch eine Kombination von Tunnel-Modus mit Traffic Flow Security hinzu, wird aber erst für 2024 erwartet.

4. Zielsetzung

Diese Marktübersicht soll das aktuelle und geplante Marktangebot an Appliances aus Sicht der relevantesten Hersteller in Bezug auf die gebotene Funktionalität widerspiegeln. Dazu zeigt sie verschiedene Ansätze und Möglichkeiten auf, wie man ein Carrier Ethernet-MAN oder -WAN absichern kann. Die Funktionalitätsanforderungen werden durch das Einsatzszenario des Kunden bestimmt, die Sicherheitsanforderungen durch die Risikotoleranz des Kunden. Produktfunktionalität und gebotene Sicherheit bilden zusammen mit den Anschaffungs- und Betriebskosten die wichtigsten Evaluationskriterien für Kunden. Die vom Kunden getroffene Wahl hat Auswirkungen auf die Sicherheit, die Kompatibilität, die Effizienz, die Flexibilität und die Folgekosten.

Diese Marktübersicht macht keine Empfehlungen in Bezug auf Anbieter und Plattformen. Sie bietet hingegen Informationen in Bezug auf Funktionalität, die für ein RFI, ein RFP, das Anlegen einer Shortlist und für eine Evaluation hilfreich und zeitsparend sind.

Die Markübersicht ist eines von drei Dokumenten, die sich mit Layer 2-Verschlüsslern für Metro und Carrier Ethernet, MPLS und IP befassen. Es gibt eine Einführung, eine Evaluationshilfe und eine Marktübersicht.

Die jeweils aktuellen Dokumente finden sich hier:

https://www.uebermeister.com/netzwerkverschluesselung/ressourcen

Kapitel 2: Marktübersicht

1. Anbieter und Produkte

Diese Übersicht umfasst marktrelevante Anbieter von autonomen Layer 2-Verschlüsslungsgeräten, die mit ihrem Produktangebot mindestens den Bandbreitenbereich von 100Mb/sec bis 100Gb/sec und Multipunkt-Szenarien abdecken. Zusätzlich muss das Produktangebot den aktuellen Sicherheitsstandards entsprechen, was Geräte ohne authentisierte Verschlüsselung und ohne "Perfect Forward Secrecy (PFS)" ausschliesst. Auch die Verfügbarkeit für kommerzielle Kunden ist eine Voraussetzung. Fast alle aufgeführten Geräte verfügen über eine Zertifizierung oder eine Zulassung für den behördlichen und militärischen Einsatz zur Absicherung von Netzwerken mit klassifizierten Daten. Sie gehören aber zur Klasse der kombinierten "Commercial Off-the-Shelf (COTS)" und «Government Off-the-Shelf (GOTS) Systeme, die sowohl im staatlichen, im militärischen als auch im kommerziellen Sektor eingesetzt werden können. Die verfügbaren COTS- und GOTS-Produkte auf Basis von MACsec genügen erhöhten Sicherheitsanforderungen nicht. Das gilt auch für sämtliche auf MACsec basierenden NSA Type 1-Verschlüsssler, die bis zur Stufe «Top Secret» verwendet werden, da sie in Teilbereichen aufgrund der inhärenten Schwächen von MACsec nicht dem Stand der Technik entsprechen.

Die Beschränkung auf autonome Geräte erfolgt aufgrund der deutlich besseren Sicherheit, der konsistenteren Verarbeitungsgeschwindigkeit und der Herstellerunabhängigkeit in Bezug auf Switches und Routers.

Nachfolgend die Liste der wichtigsten Anbieter und des IEEE-Standards für LAN und MAN in alphabetischer Reihenfolge:

atmedia
(http://www.atmedia.de)

IDQuantique,
(https://www.idquantique.com/quantum-safe-security/integrated-solutions/)

Rohde & Schwarz Cybersecurity
(https://cybersecurity.rohde-schwarz.com/de/produkte/sichere-netzwerke/rsrsitline-eth-ethernet-verschluesselung)

Secunet
(http://www.secunet.com/de/themen-loesungen/hochsicherheit/sina/sina-l2-box/)

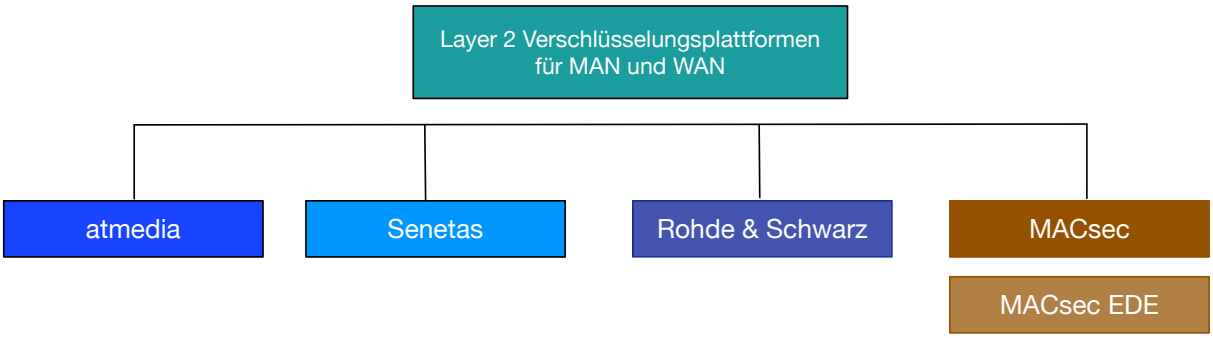
Securosys
(https://www.securosys.ch/layer-2-encryptor-centurion)

Senetas
(http://www.senetas.com)

Thales
(https://cpl.thalesgroup.com/encryption/data-in-motion)

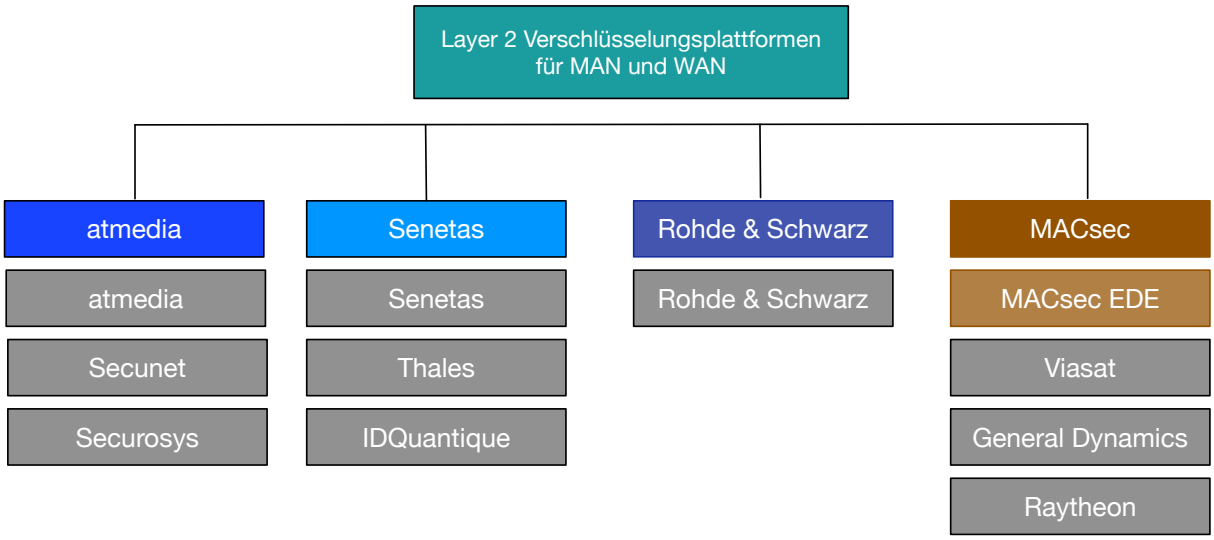
IEEE MACsec EDE
https://standards.ieee.org/ieee/802.1AEcg/5968/
https://standards.ieee.org/ieee/802.1X/7345/

Die Angebote basieren jeweils auf einer der etablierten Plattformen:



In den fünf Jahren seit der letzten Marktübersicht haben sich im Markt Verschiebungen ergeben, vorwiegend wegen der Übernahme von Gemalto durch Thales. Ein Grossteil der Produkte von Thales E-Security wurden durch Gemalto/Safenet-Produkte ersetzt. Das betraf auch die Thales Datacryptor-Produkte. Da diese auf der Atmedia-Plattform aufgebaut sind, können Kunden von Thales Datacryptor Ethernet oder der 5000 Serie, bei Atmedia oder einem Anbieter, welcher die Atmedia-Plattform benutzt, ihre Firmware upgraden. So kommen sie auf den aktuellen Stand der Technik. Auch bestehende Serviceverträge können von Thales wegtransferiert werden, zumal Thales den Service nicht mehr bieten kann.
ViaSat hat seinen Focus auf den Regierungs- und Militärmarkt konzentriert und bedient den kommerziellen Markt nur noch opportunistisch. Deshalb wird in dieser Marktübersicht ein generisches MACSec EDE-Profil verwendet.

Auf Anbieter und Plattform aufgeschlüsselt ergibt das folgendes Bild:



Der gemeinsame Nenner der Produkte beschränkt sich vorwiegend auf die Tatsache, dass alle Carrier Ethernet-Netzwerke nativ und authentisiert verschlüsseln können. Bis auf die Verwendung von AES-GCM tun das alle Plattformen unterschiedlich und auch die Netzwerkunterstützung ist stark plattformabhängig. Nicht nur die Sicherheitsanforderungen, sondern auch die Netzwerke entwickeln sich wegen neuen Technologien, sich ändernder Kundenanforderungen und neuen Carrier-Angeboten laufend weiter. FPGA- und CPU-basierte Verschlüssler können per Firmware- resp. Software-Update an neue Sicherheits- und Netzwerkanforderungen angepasst werden. Je grösser die Flexibilität eines Verschlüsslers desto

höher ist die Zahl der unterstützten Einsatzszenarios.

Nachstehend eine detaillierte Aufschlüsselung der wichtigsten Eigenschaften und Funktionalitäten. Das jeweilige Anforderungsprofil entscheidet, welche Produkte in Frage kommen.

2. Netzwerkstandards und Plattformen

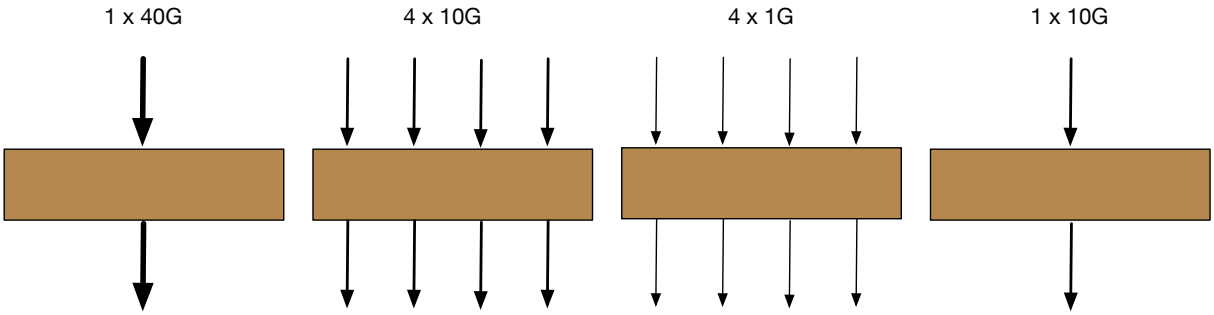
2.1. Ethernet-Schnittstelle und Durchsatzrate

Der vom Produkt unterstützte Ethernet-Netzwerkstandard bestimmt den theoretischen Datendurchsatz des Verschlüsslers. Für Ethernet sind das die IEEE 802.3-Standards 10Mb/s Ethernet, 100Mb/s Ethernet, 1Gb/s Ethernet, 10Gb/s Ethernet, 25Gb/s Ethernet, 40Gb/s Ethernet, 50 Gb/s Ethernet und 100Gb/s Ethernet. Nebst diesen gibt es noch Standards für 2.5Gb/s und 5Gb/s und es wird künftig auch IEEE-Standards für höhere Bandbreiten geben.

Von der unterstützen Bandbreite zu unterscheiden ist die Netzwerkschnittstelle. Diese kann elektrisch (RJ-45) oder optisch (SFP, SFP+, XFP, QSFP) sein.

https://de.wikipedia.org/wiki/RJ-Steckverbindung
https://de.wikipedia.org/wiki/Small_Form-factor_Pluggable
https://en.wikipedia.org/wiki/XFP_transceiver
https://de.wikipedia.org/wiki/Small_Form-factor_Pluggable#QSFP

Die unterstützte Bandbreite ist neben der Schnittstelle auch von der Softwarelizenz abhängig. So kann ein 100M-Verschlüssler mit einem 1G-Verschlüssler identisch, aber aufgrund der Softwarelizenz auf 100Mb/s beschränkt sein. Auch 10G, 40G und 100G-Verschlüssler können in der Bandbreitenunterstützung softwaremässig beschränkt werden. Einige der Verschlüssler – vorwiegend 40G- und 100G-Geräte – verfügen über mehrere Ports, die einzeln oder zusammengefasst verschlüsselt werden können. Ein 40G-Verschlüssler kann so beispielsweise unter anderem in folgenden Szenarios eingesetzt werden:

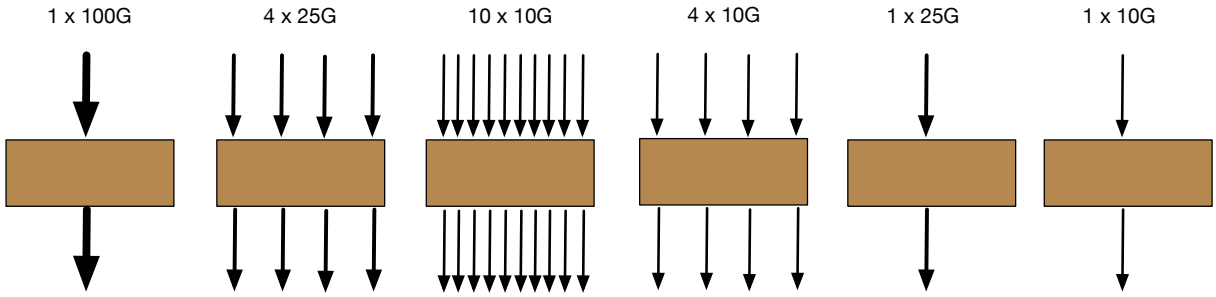


Dabei gibt es einen wesentlichen Unterschied zwischen einem Verschlüssler, der auf 1x40G ausgelegt ist und einem Verschlüssler, der auf 4x10G ausgelegt ist: Während bei einem 1x40G-Verschlüssler einer Applikation 40G zur Verfügung stehen, sind es bei einem 4x10G-Verschlüssler 10G. Die Multi-Port-Variante hat hingegen den Vorteil, dass je nach Gesamtarchitektur des Systems, Ports für unterschiedliche Verbindungen eingesetzt werden können.

- Verschiedene Netzwerksegmente
- Verschiedene Netzwerkprotokolle und -zugänge (Ethernet, IP, Internetzugang) u.a. auch für SDN-
- Verschiedene Kunden
- Eine mit Traffic Flow Security gesicherte Linie pro Port

Es kommt also auf die jeweilige Anwendung an, welches die geeignetere Lösung ist: 1x40G oder 4x10G. MACsec EDE ist per Definition eine two-port Bridge, weshalb es auch keine Multiport-Geräte gibt.

Bei einem 100G-Verschlüssler ergeben sich je nach Schnittstelle noch mehr Möglichkeiten. In der Praxis relevant ist aktuell nur 1x100G:



Nebst Schnittstelle und Bandbreitenunterstützung spielt für solche Unterteilungen die von der Software zur Verfügung gestellte Funktionalität eine entscheidende Rolle.

Entscheidend für den effektiven Datendurchsatz sind nicht allein die Netzwerkschnittstelle und die unterstützte Bandbreite, sondern auch die Effizienz des Frame Forwarding, der Paketoverhead und die Verarbeitungsleistung des Verschlüsslers. Letztere wird durch Parameter wie Verschlüsselungsstandard, Verschlüsselungshardware, Verschlüsselungsmodus und Betriebsmodus beeinflusst.

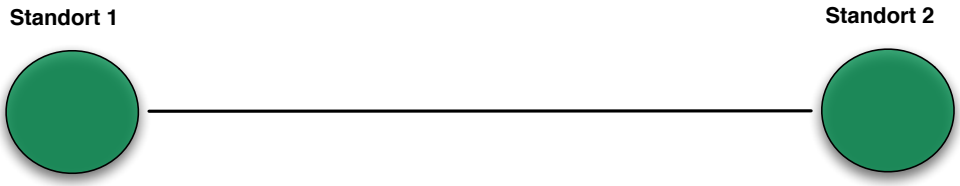
Layer 2-Verschlüssler gibt es auch als virtuelle Appliances. Bei diesen hängt die gewährte Sicherheit und Leistungsfähigkeit von der Laufzeitumgebung ab. Die Eigenschaften der verfügbaren Hardware sind entscheidend. Ohne dedizierte und optimierte Hardware bleibt zwar ein Grossteil der Funktionalität vorhanden, doch werden nicht mehr alle wichtigen Funktionen direkt hardwaremässig unterstützt. Dies führt zu Einbussen in Bezug auf Sicherheit und Leistungsfähigkeit. Es gibt nur wenige Fälle, in denen die Verwendung einer virtuellen Appliance Sinn macht. Das sind diejenigen, bei denen es nicht anders geht. Es muss dann aber auch darauf geachtet werden, dass stets genügend Verarbeitungskapazität für die Verschlüsselung zur Verfügung steht und für Zufallszahlenerzeugung und Schlüsselspeicher die benötigte Hardware zur Verfügung steht. Theoretisch lässt sich mit einer virtuellen Appliance zwar selbst eine 100G-Verbindung absichern, die von einer spezialisierten Appliance gewährte Sicherheit und Kosteneffizienz wird allerdings nicht erreicht.

2.2. Unterstützte Netzwerktopologien

Das Schlüsselsystem und die zur Verfügung stehende Verschlüsselungsmodi bestimmen die Verwendbarkeit für die unterschiedlichen Netzwerktopologien und Carrier Ethernet Standards.

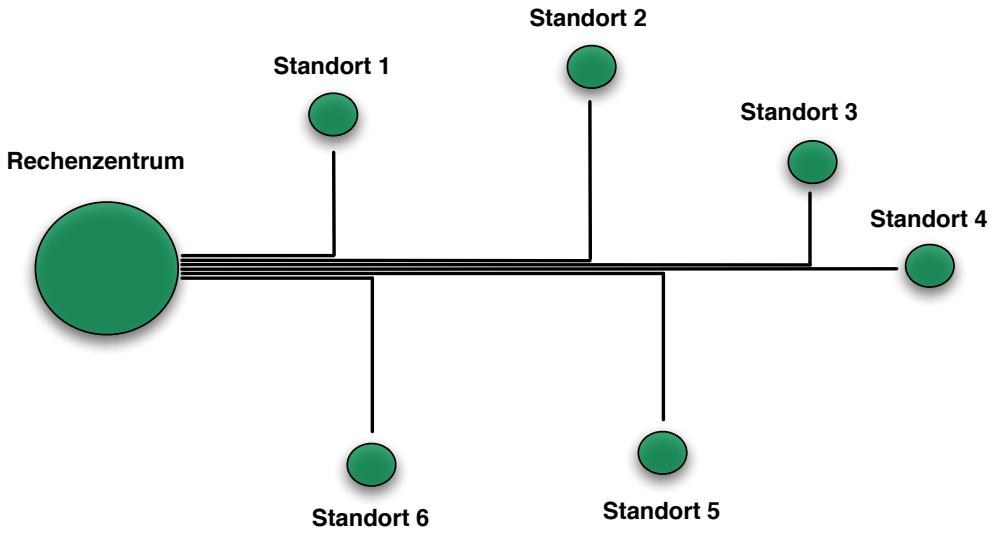
2.2.1. Punkt-zu-Punkt

Bei einer Punkt-zu-Punkt-Verbindung sind nur zwei Standorte involviert.



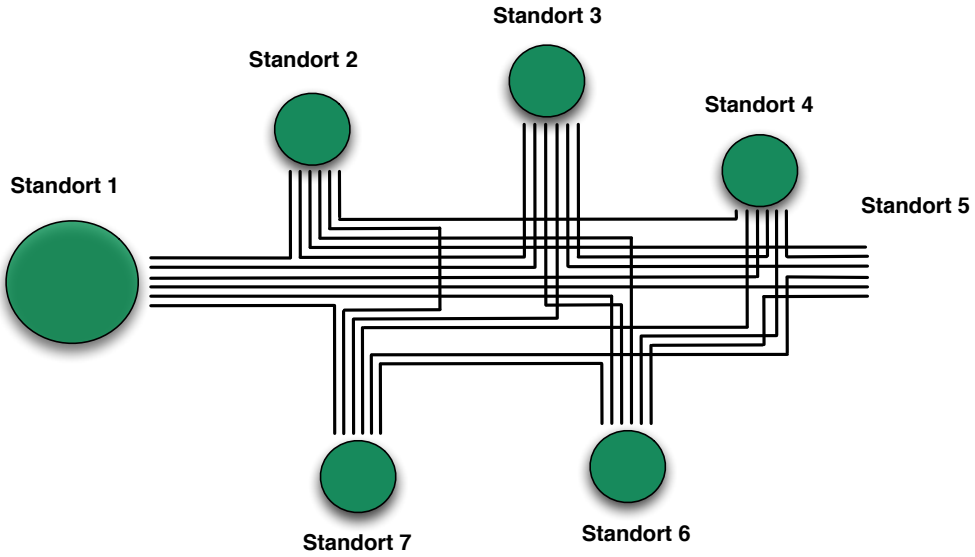
2.2.2 Punkt-zu-Multipunkt

Bei einer Punkt-zu-Multipunkt-Topologie sind mehrere Standorte mit einem zentralen Standort verbunden.



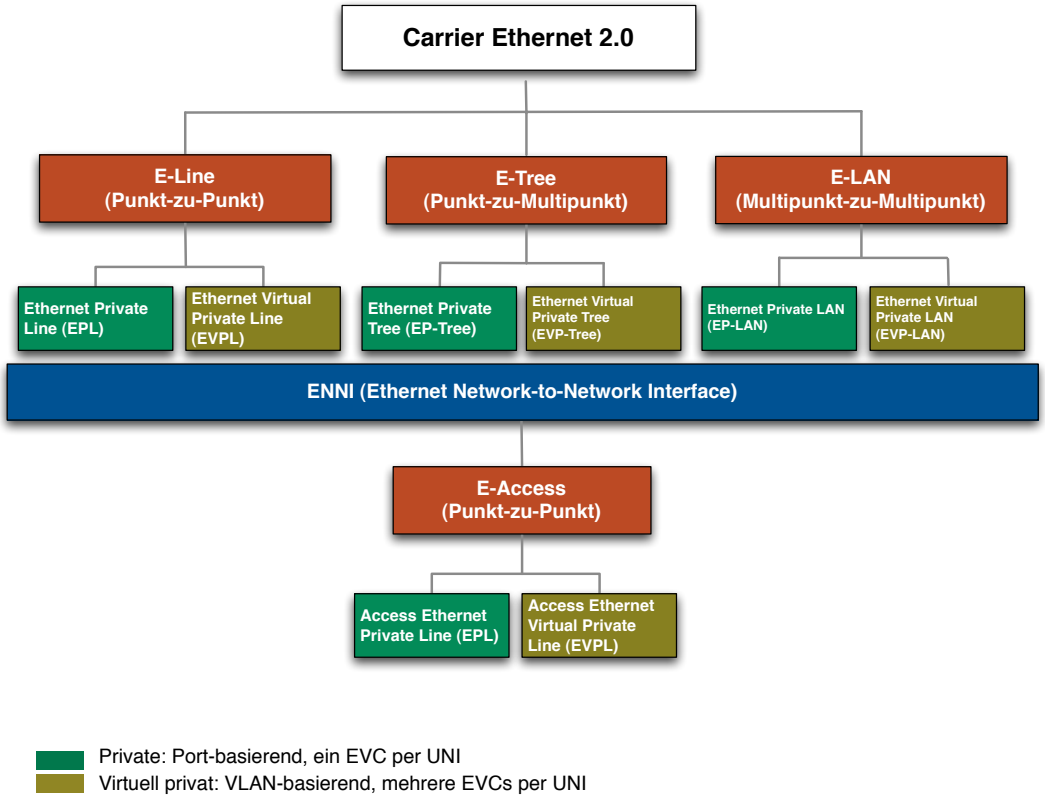
2.2.3. Multipunkt-zu-Multipunkt

Bei einer Multipunk-zu-Multipunkt-Topologie sind mehrere Standorte untereinander verbunden.



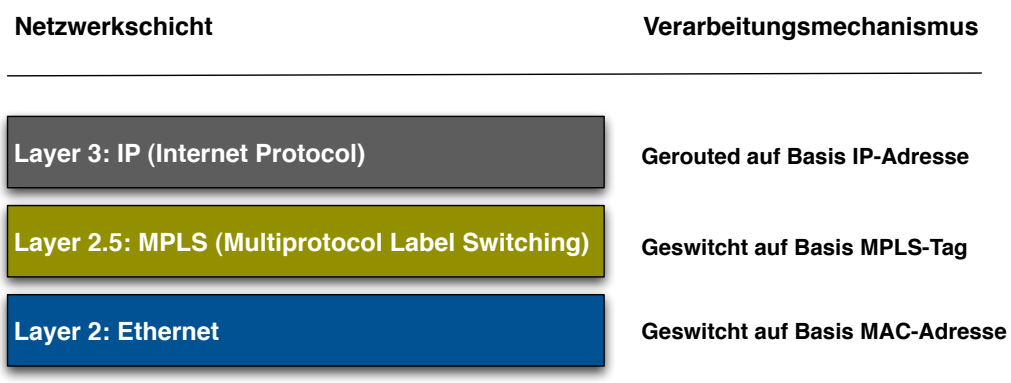
2.3. Unterstützte Metro und Carrier Ethernet Topologien

Die direkte Unterstützung unterschiedlicher MEF-Topologien hängt vom verwendeten Verschlüsselungsmodus und vom Schlüsselsystem ab.



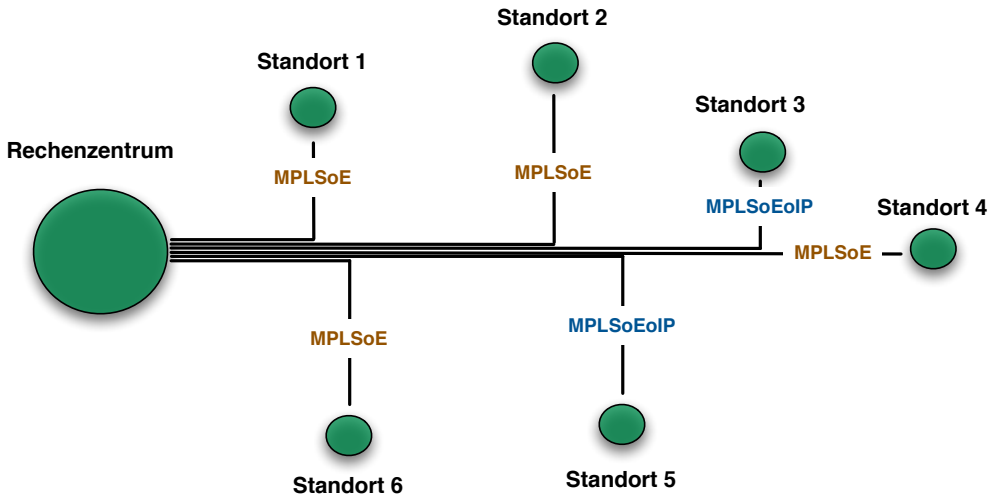
2.4. Unterstützte Netzwerke für die Verschlüsselung

Carrier Ethernet kann man als Layer 2 VPN sehen, als Netzwerkdienst für MPLS und IP-Netzwerke und als Verbindung zum Internet. Und als Kombination der vorgenannten. Die meisten Angebote legen ihren Fokus auf die Unterstützung von Ethernet und Layer 2 VPNs. Jedes der Netzwerke – Ethernet, MPLS, IP – hat seine eigenen Anforderungen und Eigenschaften. Da diese Netzwerke jeweils voll unterstützt und abgesichert werden müssen, kommen bei MPLS- und IP-Netzwerken meist Layer 3-Verschlüsslern zum Einsatz. Es gibt mittlerweile Angebote, die alle Netzwerke von Layer 2 bis Layer 3 voll unterstützen und absichern, obwohl sich die Netzwerke stark unterscheiden.
Für die Absicherungen von MPLS-Netzwerken ist in den meisten Fällen eine Auslieferung auf Layer 3 (IP) nötig. MPLS befindet sich auf Layer 2.5 und lässt sich sowohl auf Layer 2 (bei Verwendung von MPLSoE) wie auch auf Layer 3 (bei Verwendung von MPLSoIP) verschlüsseln. MPLS wird auf Basis des MPLS-Tags geswitcht und die Absender-Adresse des Ethernet-Frames ändert sich bei jedem MPLS-Switch. Das Schlüsselsystem darf deshalb nicht von der Absenderadresse des Ethernet-Frames abhängig sein. Für die IP-Verschlüsselung auf Layer 3 braucht es eine vollständige Layer 3-Infrastrukturunterstützung für IPv4 und IPv6 im Verschlüssler.
In der Praxis die gleichzeitige Absicherung gemischter Umgebungen durch einen einzigen Verschlüssler erst wenig verbreitet. Oft wird jeweils ein anderer Verschlüssler für Layer 2 und für Layer 3 verwendet.



2.5. Unterstützte Netzwerke für den Transport von verschlüsselten Frames

Es gibt etliche Ethernet-Verschlüssler, die zwar als Ethernet-Verschlüssler vermarktet werden, aber eigentlich nur Ethernet verschlüsseln und es über ein IP-Netzwerk transportieren können (EoIP). Das ist nur dann sinnvoll, wenn kein natives Ethernet für den Ethernet-Transport zur Verfügung steht oder wenn die Verbindung zu einem inneren Netzwerk führt, das hinter einer Firewall steckt. Bei mehreren nativen Ethernet-Verschlüsslern gibt es EoIP als Zusatzfunktion, es ist aber nicht die Hauptfunktion.
Manchmal kommt es vor, dass zum Transport nur ein MPLS-Netzwerk zur Verfügung steht. In diesem Fall wird der verschlüsselte Ethernet-Frame über MPLS geführt (EoMPLS). Da der verschlüsselte Ethernet-Frame als MPLS-Nutzlast geführt wird, ist dies für einen nativen Ethernet-Verschlüssler und für MPLS ohne weiteres Zutun transparent.
Komplexer wird es, wenn es darum geht, ein MPLS-Netzwerk zu verschlüsseln, bei denen es Standorte mit Layer 2-Anbindung und Standorte mit Layer 3-Anbindung gibt.

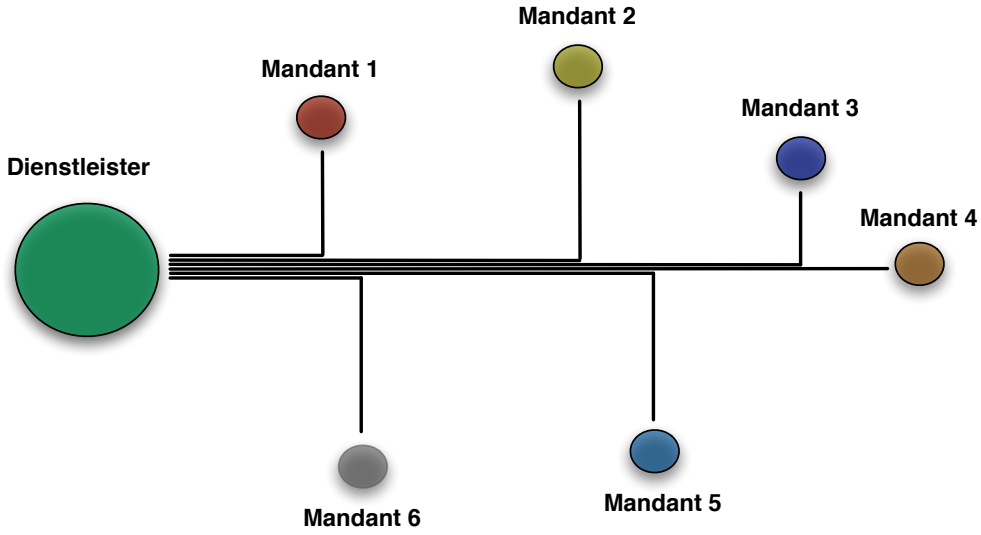


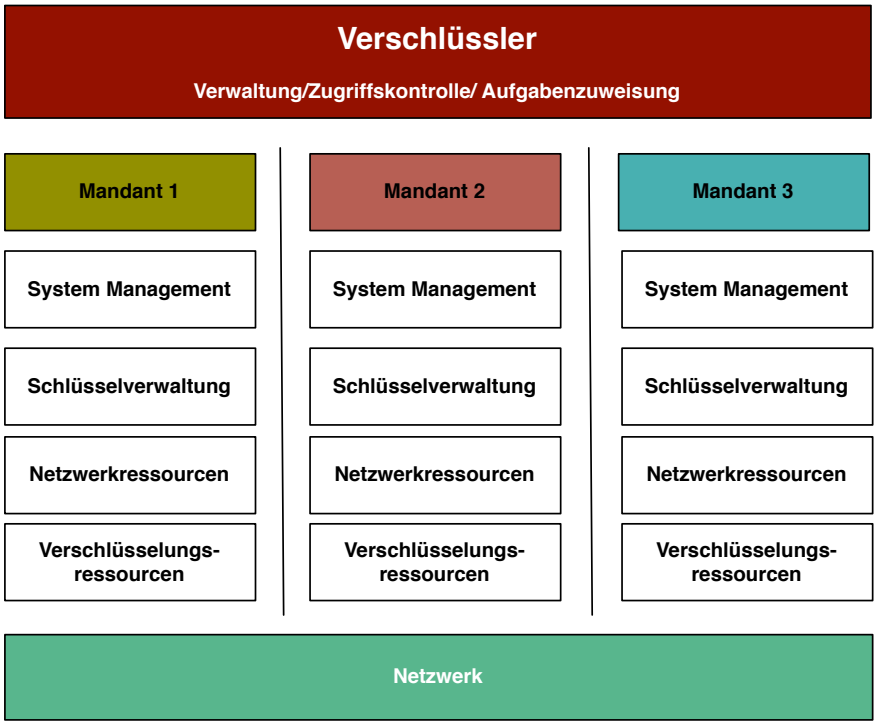
Getunnelt kann ein Ethernet-Netzwerk über eine grosse Zahl von Netzwerken - auch Netzwerke auf höherer Ebene - transportiert werden.

Bei IP-Verschlüsselung durch einen Layer 2-Verschlüssler erfolgt diese nativ. Da es keine Abhängigkeiten von Layer 2/Ethernet gibt, stehen sämtliche Transportnetzwerke, die IP unterstützen, zur Verfügung.

2.6. Betriebsszenarien

Verschlüssler können eigenständig oder für Kunden betrieben werden. Für letzteres ist eine Mandantenfähigkeit gefordert, welche durch die Verwaltungssoftware unterstützt sein muss. Diese kann sowohl Managed Encryption Services wie auch Managed Security Services ermöglichen. Ein weiteres Szenario ist die Anbindung mehrerer unterschiedlicher Kunden. Dies bedingt eine Mehrmandantenfähigkeit, welche sowohl durch die Verwaltungssoftware als auch durch die Schlüsselverwaltung unterstützt sein muss.





Bei zertifikatsbasierten Authentisierungslösungen für mehrmandantenfähige Systeme braucht es Vertrauen zwischen der CA des Dienstleisters und den CAs der Mandanten. Dies schränkt die Mehrmandantenfähigkeit ein.

Die Verwendung eines von beiden Seiten als vertrauenswürdig eingestuften Zertifikats-Proxy kann ein Lösungsweg zu einer besseren Mandantenfähigkeit von zertifikatsbasierten Authentisierungslösungen sein. Dabei schreiben die Verschlüssler des Mandanten die ausgestellten Zertifikate auf den Zertifikats-Proxy, während der beim Dienstleister beteiligte Verschlüssler das betreffende Zertifikat beim Zertifikats-Proxy abholt. Verifiziert wird die Gültigkeit des Zertifikats über den Zertifikats-Proxy. Der Mandant behält die Hoheit über das Zertifikat und kann dies auch jederzeit widerrufen, indem er es vom Proxy löscht.

Deutlich einfacher geht das, wenn die Authentisierung über Pre-Shared Secrets erfolgt. Jeder Mandant einzeln kann mit dem Dienstleister eines oder mehrere Pre-Shared Secrets teilen und durch Ändern seines Pre-Shared Secrets jederzeit eine künftige Authentisierung verunmöglichen. Bei Pre-Shared Secrets muss allerdings darauf geachtet werden, dass diese sicher generiert, sicher gelagert, sicher verteilt, sicher transportiert und sicher verarbeitet werden.

Die unterschiedlichen Plattformen verwenden unterschiedliche Ansätze in Bezug auf Mandantenfähigkeit. Während die einen Ansatz verfolgen, der pro Mandanten ein eigenes Gerät voraussetzt, verfolgen andere einen Ansatz, bei dem bei Multi-Port-Geräten pro Port ein anderer Mandant zugewiesen werden kann. Ein dritter Ansatz ist die Zuweisung von Mandanten pro VLAN oder Gruppe. Dies erlaubt eine Mehrmandantenfähigkeit pro Port. Von der Mehrmandatenfähigkeit pro Port oder pro Multi-Port-Gerät zu unterscheiden ist die Möglichkeit mit dem gleichen Managementsystem mehrere Mandanten zu administrieren. In diesem Fall ist die Managementlösung mehrmandatenfähig.

2.7. Verwendete Plattformen

Es gibt mehr Anbieter als Plattformentwickler. Nur drei der Anbieter entwickeln ihre Plattform komplett selbst: Atmedia, Rohde & Schwarz und Senetas. Alle anderen Angebote nutzen eine der vier marktrelevanten Plattformen: Atmedia, IEEE 802.1AE-2018 (802.1AEcg/NSA ESS), Rohde & Schwarz und Senetas.

Bei IEEE 801.2AEcg handelt es sich um eine IEEE-Plattform, die auf MACSec aufbaut und sich bei den Ethernet Security Specifications der NSA bedient. Die Plattform hat erst wenige Anhänger auf Anbieter- und Kundenseite gefunden – mit Ausnahme der US-Regierung und des US-Militärs -, was angesichts der unnötigen Komplexität, der reduzierten Sicherheit und der Konkurrenz durch integrierte MACSec-Lösungen wenig erstaunt. Die anderen drei Plattformen wurden von vornherein auf die speziellen Anforderungen von Carrier Ethernet ausgelegt und optimiert. Angebote, die auf diesen Plattformen basieren, bilden auch die Mehrheit der sich weltweit im Einsatz befindlichen Layer 2-Verschlüssler. Die Marktdurchdringungsrate liegt zurzeit bei über 90%. Nicht jedes Produkt, das auf der gleichen Plattform basiert, ist zwangläufig identisch. Einige Anbieter unterscheiden ihr Produkt nicht nur durch die Frontplatte, sondern integrieren zusätzlichen Code, um das Produkt zu differenzieren oder um Zertifizierungsvorgaben zu erfüllen. Bei den Zertifizierungen und Zulassungen ist zu beachten, dass eine Zertifizierung oder Zulassung nicht für die Plattform, sondern nur für das Produkt erteilt wird. Selbst wenn der Plattformentwickler für seine eigenen Produkte eine Zertifizierung und Zulassung erhält, so gelten die nur für seine Produkte. Die Produkte anderer Anbieter können Zertifizierung und Zulassung selbst dann nicht einfach übernehmen, wenn sie die identische Version der Hardware und der Firmware verwenden.

2.8. Unterstützte Betriebsmodi

Layer 2-Verschlüssler sollten mindestens zwei unterschiedliche Betriebsmodi unterstützen: Punkt-zu-Punkt (Line Mode), und Multipunkt-zu-Multipunkt (Mesh). Diese Betriebsmodi

sollten in allen Umgebungen voll und eigenständig unterstützt werden. Da Punkt-zu-Punkt ein Subset von Multipunkt ist, kann natürlich jeder Multipunkt-Verschlüssler auch im Multipunkt-Modus für Punkt-zu-Punkt eingesetzt werden. Es gibt Hersteller, die das als Punkt-zu-Punkt-Modus sehen.

Speziell im Multipunkt-Betrieb muss der Verschlüssler wissen, welche Frames er wie verschlüsseln soll. Dabei helfen ihm Parameter wie VLAN-ID, MPLS-Tags, MAC-Adresse, QoS, IP-Adresse etc. Die Herausforderung für die Hersteller liegt dabei darin, dass der Betrieb im sicheren Multipoint-Modus, sowohl das Software- wie auch das Hardware-Anforderungsprofil drastisch erhöht. Ein weiterer Problemkreis stellt die Verschlüsselung von Multicast- und Broadcast-Paketen dar, vor allem wenn primär ein paarweises Schlüsselsystem und kein Gruppenschlüsselsystem verwendet wird.

3. Verschlüsselung der Datenebene

3.1. Verschlüsselungsstandard

Alle auf dem Markt befindlichen Verschlüssler für den kommerziellen Markt, die bis in den hohen Gigabit-Bereich verfügbar sind, verwenden AES mit einer Schlüssellänge bis zu 256 bit. Während bis vor zehn Jahren vorwiegend Cipher-Block-Chaining oder der nahe verwandten Cipher-Feedback-Modus verwendet wurden, hat sich in den letzten Jahren die Verwendung einer authentisierten Verschlüsselung mittels AES-GCM weitflächig durchgesetzt. GCM steht für Galois Counter Mode und bietet neben Authentisierung auch Integritäts- und Replayschutz. Dadurch wird nicht nur Vertraulichkeit gewährleistet, sondern auch Intrusion Detection, Intrusion Prevention und ein Layer 2-Firewall in die Verschlüsselung integriert.

http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Encryption_Standard
http://en.wikipedia.org/wiki/Block_cipher_modes_of_operation
http://en.wikipedia.org/wiki/GCM_mode

Der früher oft verwendete CBC hat neben der fehlenden Authentisierung den Nachteil des Paddings, d.h. von zusätzlichem Overhead, der dann auftritt, wenn er nicht in Kombination mit Ciphertext-Stealing verwendet wird. Die korrekte Implementierung von Ciphertext-Stealing ist komplex, weshalb die meisten Hersteller, die CBC verwenden, auf die Implementierung von Ciphertext-Stealing verzichten.

http://en.wikipedia.org/wiki/Cipher_block_chaining
http://en.wikipedia.org/wiki/Ciphertext_stealing

Der verwendete Verschlüsselungsstandard hat einen direkten Einfluss auf das Frame-Format, den Frame-Overhead und die Sicherheit. Industrieweit hat sich wegen dem integrierten Replay- und Integritätsschutz AES-GCM als Standard durchgesetzt. Dieser führt zu einem Frame-Overhead von 24-32 Bytes, was im Vergleich zur gewonnenen Sicherheit und zur Verschlüsselung mit IPSec auf Layer 3 wenig ist. Dieser Vorteil ergibt sich daraus, dass der gesamte IP-Verkehr auf Layer 2 im Transportmodus verschlüsselt und vollständig abgesichert werden kann, weil IP Ethernet-Nutzlast ist. Es ist zwar auch möglich IP auf Layer 3 im Transportmodus zu verschlüsseln, doch liegt dann die erreichbare Sicherheit unter der eines Tunnelmodus, weil nur die IP-Nutzlast verschlüsselt ist. Auf Layer 2 kann IP deutlich effizienter abgesichert werden.

3.2. Verschlüsselungshardware

Es gibt unterschiedliche Ansätze einen Verschlüssler zu bauen, wobei der Ansatz eine direkte Auswirkung auf Kosten und Leistungsfähigkeit hat. Diejenigen Hersteller, welche die Verbindungen unabhängig von der Paketgrösse mit voller Leitungsgeschwindigkeit verschlüsseln, haben alle eine jahrelange Erfahrung und ein Hardware-Design, bei dem die Verschlüsselung hochoptimiert in FPGAs erfolgt. Dies erhöht den Entwicklungsaufwand und die Produktionskosten, bietet aber mehr Flexibilität und bessere Performance. FPGA ist aber nicht gleich FPGA, denn Leistungsfähigkeit und Gatecount sind je nach Modell unterschiedlich und die Verschlüsselung ist nur eine der Aufgaben der FPGAs. Solche FPGA-basierten Lösungen sind in Sachen Preisgestaltung ähnlich. Unterscheiden tun sich da primär die implementierten Funktionalitäten in Bezug auf Netzwerkunterstützung und Sicherheit.

Ein kostengünstigerer, aber weniger flexibler Ansatz ist die Verwendung von spezialisierten Sicherheitsprozessoren, welche die eigentliche Verschlüsselung übernehmen. Noch kostengünstiger, aber dafür flexibler ist das Verwenden von Software auf einer CPU, wo aber die Leistungsfähigkeit von der CPU abhängt und die Latenzzeiten erhöht sind. Ist die

Verschlüsselung auf dem Netzwerkchip selbst implementiert, wie das bei integrierten MACsec-Lösungen meist der Fall ist, so sind auch die benötigten Schlüssel auf dem Netzwerkchip gelagert Der Netzwerkchip ist der einzige Chip, der direkt von aussen erreichbar und wenig geschützt ist. Dazu kommt, dass die Kapazität des Schlüsselspeichers auf dem Netzwerkchip in der Regel auf 64 Schlüssel beschränkt ist, was die Anzahl gleichzeitiger Verbindungen im Punkt-zu-Multipunkt-Betrieb auf 32 limitiert. All dies spielt lokal in einem LAN und einem Rechenzentrum keine wesentliche Rolle, tut dies aber, sobald andere Standorte über öffentlichen Grund miteinander verbunden werden.

3.3. Verarbeitungsweise

Grundsätzlich gibt es zwei unterschiedliche Verarbeitungsmethoden, die jeweils ihre Vor-und Nachteile haben: Cut-Through und Store & Forward.

Bei der Store & Forward-Methode wird der ganze Frame eingelesen, bevor mit der Verschlüsselung oder der Entschlüsselung begonnen wird. Damit wird die Latenz leicht erhöht und ist von der Grösse des Frames abhängig. Ungültige Frames können so entdeckt und weggeworfen werden. Das fördert sowohl die Netzhygiene als auch die Sicherheit.

Bei der Cut-Through-Methode beginnt der Verschlüssler mit der Verschlüsselung bevor der ganze Frame eingelesen ist. Dies führt zu kürzeren Latenzzeiten, hat aber auch zur Folge, dass ungültige Frames nicht weggeworfen, sondern verschlüsselt zum Zielverschlüssler geschickt werden, der sie dann entschlüsselt und sie an den nächsten Switch weiterleitet, von dem sie dann weggeworfen werden. Probleme können sich auch bei mangelnder Integrität beim Entschlüsseln ergeben. Werden Teile des entschlüsselten Frames bereits weitergeleitet, bevor die Integrität überprüft worden ist, so können diese nicht mehr zurückgeholt werden. Im besten Fall wirft sie dann der nächste Switch fort.

3.4. Latenz

Die durch den Verschlüssler hervorgerufene Latenz bewegt sich im Bereich von Mikrosekunden pro Gerät. Entscheidend ist der effektive Wert pro Gerät und nicht die Latenz, welche durch die eigentliche Verschlüsselung verursacht wird. Produktarchitektur und verwendete Komponenten spielen dabei eine grosse Rolle, wobei die Latenz bei praktisch allen aktuellen Anbietern von Geräten in der Gigabit-Klasse maximal 40 Mikrosekunden beträgt. Faktoren die auf dem gleichen Gerät zu unterschiedlichen Latenzzeiten führen, sind der Datendurchsatz, der gewählte Verschlüsselungsmodus und der Betriebsmodus.

Die Latenz sollte immer auch im Verhältnis zur Gesamtlatenz der jeweiligen Standortkoppelungen betrachtet werden, da grössere Distanz zwangsläufig zu erhöhter Latenz führt.

3.5. Verschlüsselungsoffsets

Je nach Struktur des ankommenden Frames und nach gewünschter Einschränkung fängt die Verschlüsselung relativ zum Beginn des Frames früher oder später an. Während bei einer Hop-by-Hop-Verschlüsselung in einem LAN nur die MAC-Adressen unverschlüsselt bleiben müssen, sieht das bei einem MAN oder WAN anders aus. Dort sollte das VLAN-Tag unverschlüsselt bleiben und bei Frames mit MPLS-Tag auch das MPLS-Tag. In der Regel sollte die Verschlüsselung erst mit der Nutzlast beginnen, unabhängig davon, auf welcher Position sich diese befindet. Einfach gestrickte Verschlüssler unterstützen nur ein einziges fixes Verschlüsselungsoffset, das manuell gesetzt wird. Variable Verschlüsselungsoffsets sind deutlich flexibler und passen sich dem jeweiligen Frame an. Dies geht so weit, dass der Verschlüssler selbständig abhängig vom Frame-Inhalt herausfinden kann, wo die

Verschlüsselung beginnen soll. Für die native Verschlüsselung von IP ist das entsprechende Verschlüsselungsoffset eines von mehreren Kriterien, das erfüllt sein muss.

3.6. Die Verschlüsselungsmodi für Ethernet

Die vom Gerät unterstützten Verschlüsselungsmodi gehören zu den wichtigsten Produkteigenschaften eines Layer 2-Verschlüsslers.

- Verschlüsselt man den ganzen Frame, so sind auch die Adressinformationen verschlüsselt. Dann ist zwar alles verschlüsselt, aber Frame kann nur direkt zwischen zwei Verschlüsslern transportiert werden.
- Verschlüsselt man nur die Payload, so sind zwar alle Protokolle oberhalb von Layer 2 komplett abgesichert, doch beschränkt sich der Schutz für Layer 2 Protokolle auf die Frames und die Inhalte.
- Will man Layer 2 selbst auch schützen, analog wie dies ESP IPSec Tunnel Modus mit IP auf Layer 3 macht, so bleibt auch auf Layer 2 keine andere Wahl, als die Frames zu tunneln. Dies führt zu einem Overhead, der exakt der Grösse des Ethernet-Headers entspricht. Dieser Overhead kann dazu führen, dass Pakete grösser werden als das Netzwerk zulässt. Die in Multipunkt-Netzen vorgeschalteten Traffic Shaper sorgen bei IPv4-Netzen dafür, dass die Frame-Grösse die zugelassene MTU nicht überschreitet. Bei IPv6-Netzen erfolgt die Grössenoptimierung zwischen den beiden kommunizierenden IPv6-Geräten, bei denen es sich in der Regel um Router handelt.

Der Verschlüsselungsmodus hat nicht nur Auswirkungen auf den Schutz, sondern auch auf die Betriebskosten, die Latenzzeiten und auf die Hardware- und Software-Erfordernisse. Bei jedem Verschlüsselungsmodus spielt auch der verwendete Verschlüsselungsstandard eine Rolle. Zusammen bestimmen sie das Frame-Format, das wiederum die Schnittstelle zwischen Verschlüssler und Netz und dem verschlüsselten Frame und dem unterliegenden Netz bildet. Nicht alle Hersteller unterstützen alle Verschlüsselungsmodi. Zudem ist der Replay- und Integritätsschutz unterschiedlich ausgestaltet.

Der verwendete Verschlüsselungsmodus hat meist auch eine Auswirkung auf die Skalierbarkeit. Ein Multipunkt-WAN könnte theoretisch aus tausenden Standorten bestehen, deren Verkehr untereinander jeweils von einem Verschlüssler pro Standort abgesichert wird. Da eine vernünftige Segmentierung Grundlage für einen reibungslosen Betrieb, Effizienz und optimale Sicherheit ist, wird man ein solches WAN aber in der Praxis nicht antreffen, Es gibt wohl Verschlüssler, die theoretisch eine unlimitierte Zahl an Peers erlauben, doch ist in der Praxis eine Unterstützung von 500 Peers mehr als genügend. Bei den meisten breitbandigen Multipunkt-WANs beträgt die Anzahl der Peers sogar deutlich weniger als hundert.

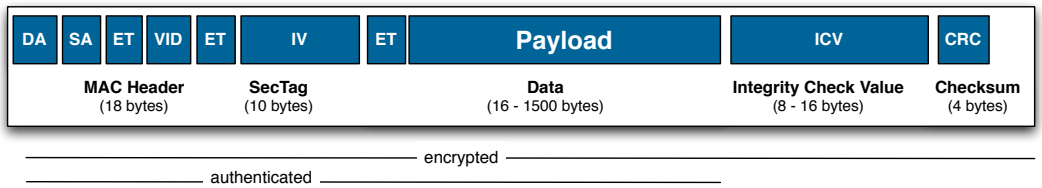
Beim Verschlüsselungsmodus gilt es die optimale Balance zwischen Sicherheit, Kosten, Netzwerkkompatibilität und Overhead zu finden. Wichtiger Faktor dieser Balance ist auch der verwendete Verschlüsselungsstandard. Die Nutzung von authentisierter Verschlüsselung mittels AES-GCM ist seit Jahren der Normalfall. Auf sie sollte nicht verzichtet werden. Der damit verbundene Overhead ist im Vergleich zur gewonnenen Sicherheit gering.

Die Ausgestaltung des SecTag (Security Tag) hängt von der jeweiligen Implementierung von AES-GCM durch einen Hersteller ab. Das SecTag beinhaltet Informationen, die vom Schlüsselsystem benötigt werden.

Bei den nachfolgenden Darstellungen von Frames ist das Verhältnis zwischen Header/CRC und Payload stark zuungunsten des Headers und der CRC Checksum verfälscht. Bei den Overhead-Zahlen wird von einem ICV von 16 Bytes ausgegangen.

3.6.1. Frame-Modus

Beim Frame-Modus wird der ganze Inhalt des Frames verschlüsselt, inklusive Header und FCS Prüfsumme. Es sind keine Netzwerkadressen sichtbar und es werden auch keine sichtbaren Netzwerkadressen hinzugefügt. Frame-Modus erfordert den Betrieb im Store-and-Forward-Modus. Dieser Modus ist eine Alternative zur Verschlüsselung von optischen Ethernet-Netzwerken auf Layer 1.



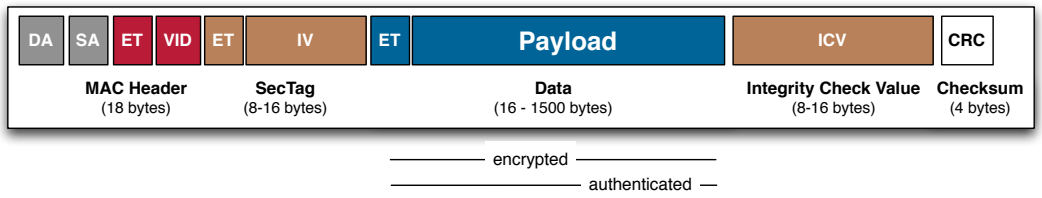
Frame-Modus mit authentisierter Verschlüsselung

Vorteile:
- Der ganze Frame ist komplett verschlüsselt
- Das Abhören der Leitung zeigt nichts über das Netzwerk und die Daten auf
- Authentisierte Verschlüsselung relativ wenig Overhead (24-32 Bytes); dies variiert je nach Schutz und Hersteller
- Bei Verzicht auf authentisierte Verschlüsselung kein Verschlüsselungs-Overhead auf Frame-Ebene

Nachteile:
- Braucht eine transparente (eigene) Linie
- Kann nicht geswitcht werden
- Hat höhere Betriebskosten
- Inkompatibel zu Managed Ethernet Services

3.6.2. Transport-Modus

Beim Transportmodus wird nur die Nutzlast verschlüsselt, d.h alle Informationen, die sich im Header befinden, bleiben unverschlüsselt. Bei den Verschlüsslern, die diesen Modus unterstützen, lässt sich in der Regel festlegen, ab wo im MAC Header verschlüsselt werden soll (Encryption Offset). So können z.B. die Felder für EtherType, das VLAN Tag und ein MPLS Tag unverschlüsselt gelassen werden, damit sich die Pakete transparent zu MPLS und VLANs verhalten.



Transport-Modus mit authentisierter Verschlüsselung

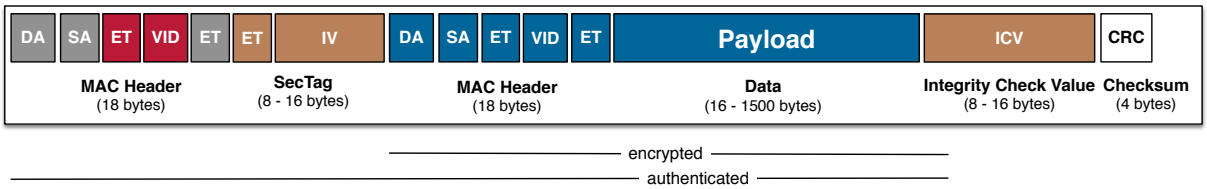
Vorteile:
- Die Nutzlast ist komplett verschlüsselt
- Authentisierte Verschlüsselung erzeugt im Vergleich zur gewonnenen Sicherheit unterdurchschnittlich wenig Overhead (24-32 Bytes); dies variiert je nach Schutz und Hersteller
- Kann geswitcht werden und ist so für Ethernet-Netzwerke transparent

- Kann transparent zu VLAN und MPLS sein
- Kompatibel mit Managed Ethernet Services

Nachteile:
- Der Schutz beschränkt sich auf die Nutzlast von Layer 2-Paketen
- Das Abhören der Leitung zeigt die LAN-Struktur auf, da der Header nicht verschlüsselt ist
- MACSpoofing ist möglich, sofern nicht der Header oder Teile davon auch signiert sind

3.6.3. Tunnel-Modus

Beim Tunnel-Modus wird das gesamte Original-Paket verschlüsselt und mit einem neuen Header und mit einer neuen Prüfsumme versehen. Absender resp. Empfänger sind die beiden Verschlüssler zwischen denen die Pakete ausgetauscht werden. Beim neu erzeugten Paket handelt es sich um ein normales Ethernet-Paket, welches das Originalpaket als Payload mitführt. Es entsteht dabei ein Overhead von bis zu 18 Bytes. Die Latenzzeit erhöht sich aufgrund der vermehrten Verarbeitungserfordernisse im einstelligen Mikrosekunden-Bereich. Es gibt zwei gebräuchliche Varianten für den Tunnel-Modus: Einerseits das Generieren eines neuen Tunnel-Headers mit den MAC-Adressen der Verschlüssler als Absender- respektive Destinationsadresse und andererseits das Generieren eines neuen Tunnel-Headers mit einer systemspezifischen Absenderadresse unter Beibehaltung der ursprünglichen Destinationsadresse.



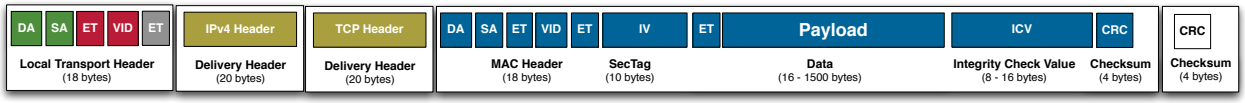
Tunnel-Modus mit authentisierter Verschlüsselung

Vorteile:
- Das Original-Paket ist komplett verschlüsselt
- Das Netzwerk ist inklusive Layer 2 voll abgesichert
- Authentisierte Verschlüsselung erzeugt relativ wenig zusätzlichen Overhead (24-28 Bytes); dies variiert je nach Schutz und Hersteller
- Kann geswitcht werden
- Transparent zu VLAN und MPLS
- Kompatibel mit Managed Ethernet Services

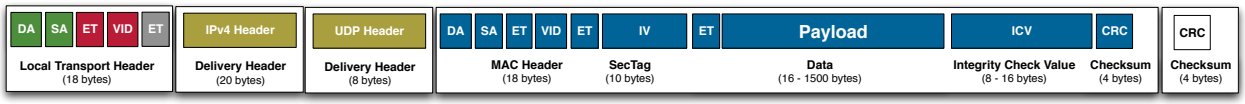
Nachteile:
- Verschlüsselungs-Overhead von bis zu 60% auf Paketebene (bei 64 Byte Frames; im Schnitt aber weniger als 10%)
- Erhöhte Anforderung an den Verschlüssler
- Vorwiegend auf den Einsatz im Punkt-zu-Punkt- und Punkt-zu-Multipunkt-Betrieb optimiert
- Verringerte Skalierbarkeit

3.7. IP-basierter Tunnel (EoIP) für Transport über IP-Netzwerke

Ethernet-Frames können auch über IP transportiert werden, wobei der Ethernet-Frame als IP-Nutzlast getunnelt wird.



Ethernet over IP (EoIP) über TCP mit authentisierter Verschlüsselung



Ethernet over IP (EoIP) über UDP mit authentisierter Verschlüsselung

Da die Verschlüsselung nicht direkt auf Layer 2 erfolgt, bringt dieser Ansatz einen grossen Overhead und höhere Latenzzeiten mit sich. Sinnvoll sind IP-basierte Tunnel nur dort, wo keine Ethernet-Layer 2- Verbindungen vorhanden sind. Erfolgt der Transport über IP, so muss auch der Schlüsselaustausch über IP möglich sein.

3.8. Native IP-Verschlüsselung für IP-Netzwerke

Von Layer 2 aus lassen sich auch reine IP-Netzwerke nativ verschlüsseln. Einsatzbereich ist gleich wie bei Carrier Ethernet die Verschlüsselung von statischen, breitbandigen Standortvernetzungen. Das Key Management orientiert sich dann an den IP-Adressen, nicht an den Ethernet-Adressen. Auch bei der IP-Verschlüsselung arbeiten die Layer 2-Verschlüssler im Bridge Mode.

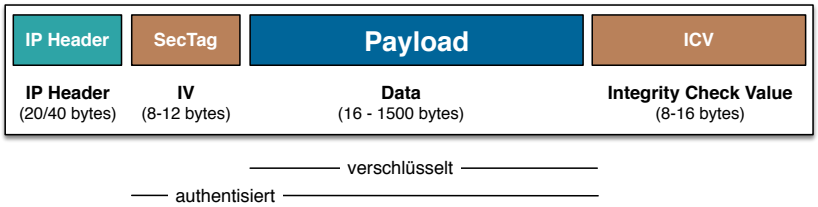
IP-Verschlüsselung mit Layer 2-Verschlüsslern ist primär eine Alternative zu GETVPN und GroupVPN. Letztere verwenden IPsec ESP Tunnel Modus in Kombination mit GDOI (Group Domain of Interpretation).

https://en.wikipedia.org/wiki/Group_Domain_of_Interpretation

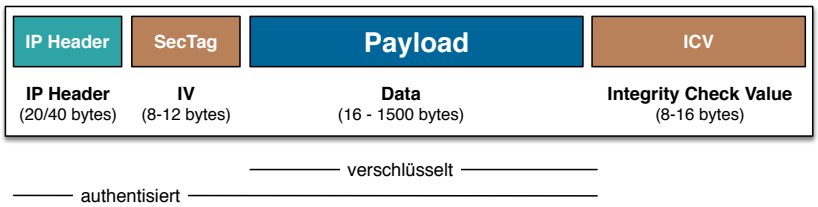
IPsec zwischen Gateways wird in der Regel im ESP Tunnel-Modus betrieben. Im äusseren Header werden die Gateway-Adressen verwendet, während das gesamte Original-Paket inklusive Original-Header als Nutzlast transportiert und verschlüsselt wird. Das ist bei GDOI anders. Da kommt eine Zwischenform zwischen Transport Modus und Tunnel Modus zum Einsatz, der Transport Tunnel. Bei diesem wird der Original-Header oder die essentiellen Teile davon kopiert und diese Kopie als Transport-Header verwendet, während das gesamte Original-Paket inklusive Original-Header als Nutzlast mitgeführt und verschlüsselt wird. Sowohl Cisco's GETVPN als auch GroupVPN verwenden dies im Kontext von IPsec. Die verwendete Terminologie ist je nach Anbieter unterschiedlich. Für GETVPN und GroupVPN ist es ein tunnelloser Tunnel mit «Header Preservation». Nicht alle Verschlüsselungslösungen mit Gruppenschlüsseln übernehmen blindlings alle Teile des Original-Headers. Deshalb trifft der Begriff «Header Preservation» nicht auf alle Lösungen zu. Als Oberbegriff ist Transport Tunnel zutreffender. Der typische Einsatzbereich von Gruppenschlüsselsystemen für IP sind MPLS- und virtuell private IP-Netzwerke.
Für die Nutzung über öffentliche Netzwerke kann die Adressen-Trennung von internem und externem Netz mittels Tunnel auf den Router ausgelagert werden. Werden die IP-Pakete bereits vom Router getunnelt (IP-over-IP), so kann die Verschlüsselung des gesamten Original-IP-Pakets durch den Verschlüssler anschliessend im Transport-Modus erfolgen, da das Original-IP-Paket als IP-Nutzlast beim Verschlüssler eintrifft. Für die Berechnung des Verschlüsselungsoverhead sollte dann allerdings der von den IP-over-IP-Tunnels generierte Paketoverhead (20-40 Bytes) miteibezogen werden.

Group Key Management für IKEv2 ist noch nicht standardisiert, nur für IKEv1. Layer 2-Verschlüssler verwenden für die IP-Verschlüsselung weder IKE noch IPsec.

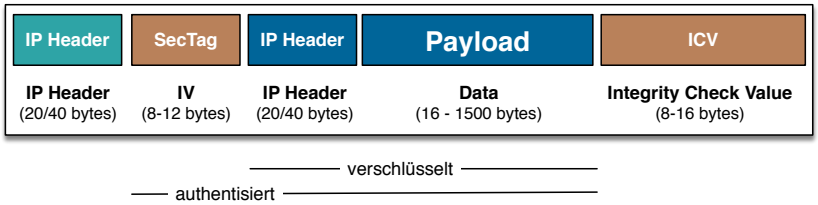
Nachfolgend die unterschiedlichen Möglichkeiten, die zur Verfügung stehen:



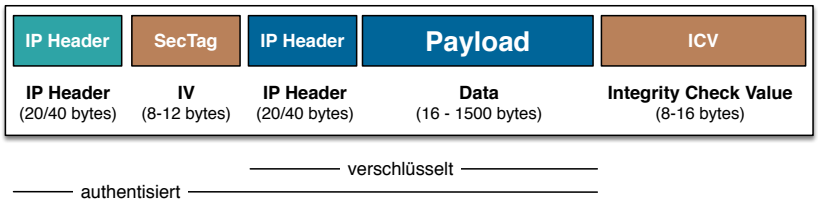
Transport-Modus ohne Header-Authentisierung



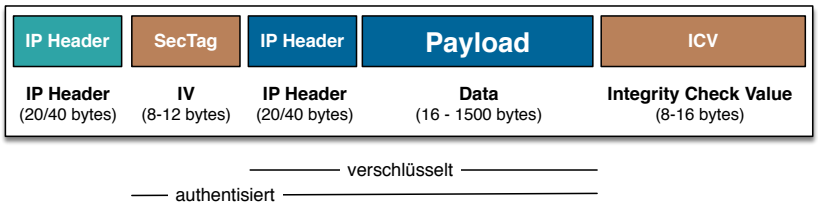
Transport-Modus mit Header-Authentisierung



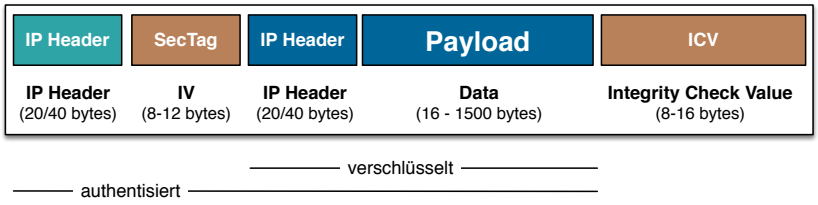
Transport Tunnel-Modus ohne Header-Authentisierung



Transport Tunnel-Modus mit Header-Authentisierung



Tunnel-Modus ohne Header-Authentisierung



Tunnel-Modus mit Header-Authentisierung

Im Vergleich zu IPSec/GDOI-basierten Lösungen liegt der Verschlüsselungsoverhead oft tiefer. Entsprechend kommen Layer 2-Verschlüssler mit nativer IP-Unterstützung vorwiegend bei MPLS- und IP-Netzwerken zum Einsatz, bei denen eine zuverlässige und leistungsfähige Alternative zu GETVPN oder GroupVPN benötigt wird. Einige der Verschlüssler können sowohl Carrier Ethernet als auch IP parallel verschlüsseln.

3.9. Grösse des Replay-Fensters

Authentisierte Verschlüsselung verwendet einen Counter. Ankommende Frames oder Pakete müssen im Normalfall einen Zählerstand aufweisen, der um eins höher ist als der Zählerstand des vorherigen Frames oder Pakets. Insbesondere bei Nah- und Weitverkehrsnetzwerken kann es vorkommen, dass die Reihenfolge nicht eingehalten wird. Je nach Netzwerkqualität braucht es deshalb ein Fenster, innerhalb dessen Breite Frames und Pakete akzeptiert werden, auch wenn sie nicht in der richtigen Reihenfolge ankommen. Dieses Fenster sollte schmal genug sein, um keine Replay-Attacken zuzulassen. Das Replay-Fenster kann entweder durch die maximal erlaubte Abweichung des Zählerstandes, durch Zeit in Sekunden oder eine Kombination der beiden definiert werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Zuweisung von Replay-Fenster auf CoS-Werte.

3.10. Selektive Verschlüsselung

Es gibt Szenarien, in denen gewisse Frames oder Pakete nicht verschlüsselt werden dürfen oder anders behandelt werden müssen. Das können z.B. die Frames eines VLANs sein, das zur Anbindung an das Internet verwendet wird, oder Frames mit einem MPLS-Tag. Als Auswahlkriterien stehen die im Frame vorhandenen Informationen zur Verfügung: VLAN-ID, MPLS-Tag, Ethertype und MAC-Adresse. Auch die Zugehörigkeit zu einer definierten Gruppe kann als Kriterium dienen. Vorstellbar ist auch die Verwendung zusätzlicher Kriterien wie QoS-Parameter und Paketgrösse. Viele Carier Ethernet Services bauen auf VLAN-IDs auf und die selektive Verschlüsselung nach VLAN-IDs ist für bestimmte Services Voraussetzung. So erlaubt sie das Konsolidieren von Anschlussleitungen, was zur Vereinfachung und zur Kostenersparnissen führt. „MPLS Awareness“ gekoppelt mit selektiver Verschlüsselung aufgrund der Präsenz eines MPLS-Tag wird benötigt, um mit unterschiedlichen MPLS-Szenarien zurechtzukommen.

3.11. Erweiterte Sicherheitsfunktionen

Für Bereiche mit erhöhten Sicherheitsanforderungen stellen die unterschiedlichen Plattformen zusätzliche Sicherheitsfunktionen zur Verfügung.

3.11.1. Modifizierbare S-Box

In der Kryptographie ist eine S-Box (Substitutionsbox) eine Grundkomponente symmetrischer Schlüsselalgorithmen, die eine Substitution durchführt. Bei Blockchiffrierungen werden sie üblicherweise verwendet, um die Beziehung zwischen dem Schlüssel und dem Chiffretext zu verändern. Um den Chiffretext wieder in Klartext umzuwandeln, brauch es eine Die Modifizierbarkeit der AES-S-Box ist eine Standardfunktionalität von AES. Die normale Parametrisierung der S-Box kann im AES-Verschlüsselungsverfahren ersetzt werden, um sicherzustellen, dass es nicht genügt, den Schlüssel und eine normale AES-Entschlüsselung zu haben, um eine im Verschlüsselungsalgorithmus eingebaute Hintertür, die eine statische S-Box ausnutzt, ausgeschlossen ist.

3.11.2. Traffic Flow Security

Mittels Traffic Flow Security lässt sich der Netzwerkverkehr vernebeln, indem Framegrössen

und –sequenzen für den Transport modifiziert werden. Herkömmliche Methoden beschränkten sich auf das Verwenden uniformer Framegrössen und den Betrieb über dedizierte Punkt-zu-Punkt-Verbindungen. Neuere Methoden arbeiten mit variablen Framegrössen und unterstützen alle Einsatzszenarien. Sie können zudem durch gezielte Traffic Flow-Optimierung den IMIX-Durchsatz bei der Verwendung eines Tunnel-Modus (Ethernet-Tunnel oder Ethernet über IP) auf dem gleichen Niveau halten, das eine normale authentisierte Verschlüsselung im Transport-Modus bietet. Stand der Technik sind Verfahren, welche synthetischen Netzwerkverkehr hinzufügen, der nicht vom normalen Netzwerkverkehr unterscheidbar ist und die verfügbare Bandbreite auffüllt.

Es gibt unterschiedliche Varianten zur Implementierung von Traffic Flow Security, die wiederum eine direkte Auswirkung auf das Netzwerkverhalten und die unterstützten Netzwerktopologien haben. Traffic Flow Security ist ein zusätzlicher Schutz, der vorwiegend dort eingesetzt wird, wo sehr hohe Sicherheitsanforderungen bestehen.

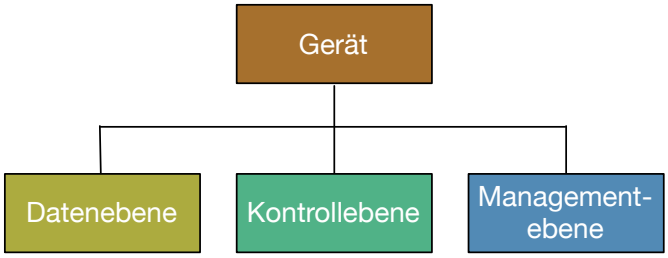
Derzeit Unterstützen nur zwei der Plattformen Traffic Flow Security, wobei nur eine von ihnen das Einfügen von synthetischem Netzwerkverkehr in Echtzeit anbietet.

In seiner nächsten Überarbeitung, die für 2024 vorgesehen ist, wird MACsec EDE den Tunnelmodus und Traffic Flow Security unterstützen. Die Traffic Flow Security basiert jedoch auf einer festen MTU-Grösse und liegt damit weit hinter dem Stand der Technik zurück, der seit mehr als 10 Jahren auf dem Markt verfügbar ist.

4. Verschlüsselung der Kontrollebene

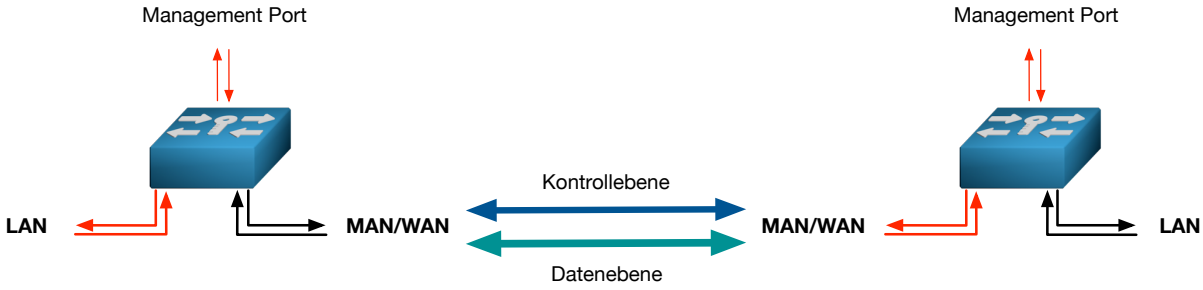
Netzwerkverschlüssler stehen in der Regel zwischen einem Standort und der Anbindung an das MAN oder WAN. Es genügt nicht, nur die Datenebene möglichst gut abzusichern. Um Daten zu verschlüsseln braucht es Schlüssel und die müssen zwischen den Geräten ausgetauscht werden. Der Schlüsselaustausch ist deshalb ein genauso beliebter Angriffspunkt wie das Gerät selbst, die Managementebene und der Rest der Kontrollebene. Eine Schwachstelle in einem der vorgenannten Bereiche kann die gesamte Sicherheit kompromittieren.

Sicherheit und Widerstandsfähigkeit

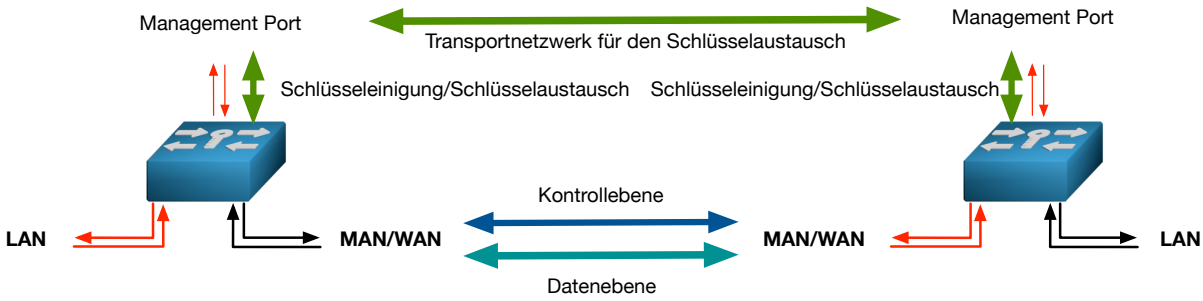


4.1. Konfigurationsoptionen auf der Kontrollebene

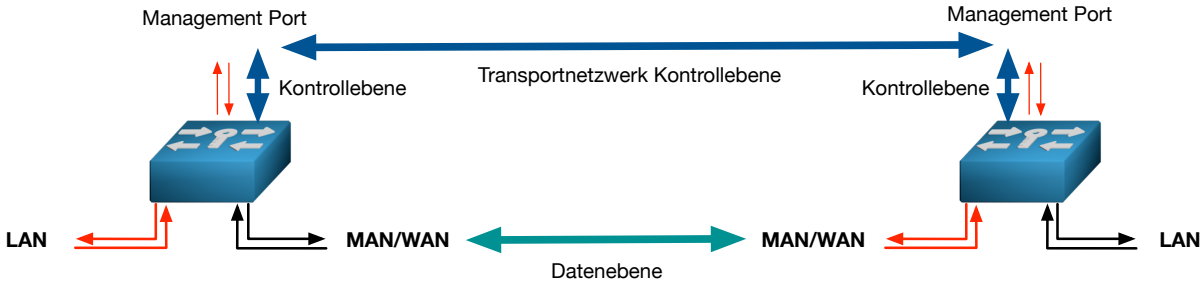
Die Kommunikation der Kontrollebene kann entweder zusammen mit der Datenebene über das Nah- oder Weitverkehrsnetzwerk transportiert werden oder getrennt und anders abgesichert über ein anderes Netzwerk. Die Kontrollebene ist nicht auf den Schlüsselaustausch beschränkt, sondern beinhaltet auch Status- und Kontrollmitteilungen.
Für die Kontrollebene und den Schlüsselaustausch stehen unterschiedliche Konfigurationsmöglichkeiten zur Verfügung. Die gebräuchlichste ist der gemeinsame Transport (in-band) von Daten- und Kontrollebene, wobei der Schlüsselaustausch über die Kontrollebene erfolgt.



Der Schlüsselaustausch kann aber auch von der Kontrollebene gelöst und via den Managementport über ein anderes Netzwerk geführt werden.

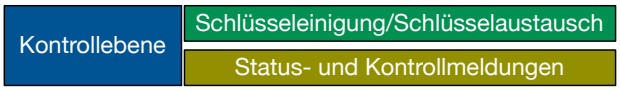


Eine weitere Möglichkeit ist das Führen der Kontrollebene inklusive des Schlüsselaustauschs via Managementport über ein anderes Netzwerk.

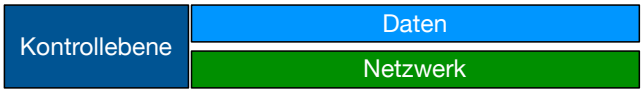


4.2. Absicherung von Kontrollebene, Schlüsseleinigung und Schlüsselaustausch

Werden Kontrollebene, Schlüsseleinigung und Schlüsselaustausch über das gleiche Netzwerk geführt wie die Datenebene, so unterliegen sie demselben Bedrohungsszenario wie die Datenebene.



Sowohl die Daten als auch die Übertragung über das Netzwerk sollten entsprechend geschützt werden.



Am sichersten ist es, wenn die Kontrollebene inklusive Schlüsseleinigung und Schlüsselaustausch gleich wie die Datenebene mit authentisierter (AEAD) Verschlüsselung auf der Netzwerkschicht geschützt ist. Dabei sollte die gleiche Hardwareunterstützung wie bei der Verschlüsselung der Datenebene zur Verfügung stehen. Die Ausführung auf einem FPGA ist deutlich widerstandsfähiger gegen Denial-of-Service-Attacken als die Ausführung auf einer CPU.

Die Problematik der Absicherung von Kontrollebene, Schlüsseleinigung und Schlüsselaustausch auf Netzwerkebene ist ein Bereich, der in der Vergangenheit zu wenig Beachtung

gefunden hat. Mittlerweile hat auch die IEEE die Schwächen von MACsec in diesem Bereich zugegeben. Auf Seite 34 des aktuellen Standards findet sich folgendes: „Page 34:

MACsec does not protect against brute force denial of service attacks that can be mounted by abusing the operation of particular media access control methods through degrading the communication channel or transmitting erroneous media access method specific control frames “.

Bei den Anbietern von spezialisierten Appliances, die nicht MACsec verwenden, ist die Kontrollebene (Control Plane) meist genauso gut geschützt wie der Netzwerkverkehr auf der Datenebene (Data Plane).

5. Umgebungserkennung und Key Server

5.1. Automatische Umgebungserkennung

Das Aufsetzen von Verschlüsslern und Anpassungen an Konfigurationsänderungen wird durch automatische Umgebungserkennung vereinfacht. Mit ihr kann ein Verschlüssler nicht nur andere Verschlüssler im gleichen Netzwerk, sondern auch vorhandene Key Server und VLANs selbständig erkennen. Sind die Verschlüssler aufgesetzt, so sollte man die automatische Umgebungserkennung abschalten können, da sie erst bei Konfigurationsänderungen des Netzwerks wieder benötigt wird.

5.2. Key Server

Als Key Server gilt jedes Gerät, das Schlüssel erzeugt und an andere Geräte weitergibt. Wie diese Generierung und Weitergabe erfolgt, ist unterschiedlich gelöst. Bei symmetrischen Schlüsselsystemen können statt eines Schlüssels die zur Berechnung des Schlüssels notwendigen Informationen generiert und weitergeleitet werden.

5.3. Integrierter Key Server

Verschlüssler mit integriertem Key Server sind nicht auf einen externen Key Server angewiesen. Abhängig vom Einsatzszenario und von Vorschriften ist die Verwendung eines externen Key Servers vorteilhaft oder gar Voraussetzung.

5.4. Unterstützung für externen Key Server

Integrierter und externer Key Server schliessen sich nicht gegenseitig aus. Bei grossen Netzwerken kann es vorteilhaft sein, eine Kombination von integrierten und externen Key Server zu verwenden. Je nach Häufigkeit des Austauschs der Master Keys und der Anzahl benötigter Master Keys, ist der Einsatz von externen Key Server für eine bessere Skalierbarkeit von Vorteil. Ein externer Key Server unterliegt den gleichen Sicherheitsanforderungen wie ein Verschlüssler selbst.

Bei zertifikatsbasierten asymmetrischen Schlüsselsystemen kann die Verwendung eines Hardware Security Module (HSM) als Certificate Authority (CA) unterstützt werden.

Eine andere Art von externem Key Server wird für den Austausch von Quantenschlüsseln (QKD) gebraucht. Dieser muss lokal nahtlos mit dem Verschlüssler verzahnt sein. Zudem ist für QKD eine optische Verbindung Voraussetzung,

5.5. Externer Key Server

Als externe Key Server kommen netzwerkgestützte Key Server und HSM, sowie lokale QKD-Geräte in Frage. Für QKD-Geräte wird zudem eine zusätzliche optische Verbindung benötigt.

5.6. Unterstützung für mehrere, verteilte Key Server

Ein einzelner Key Server kann ausfallen. Gleiches gilt auch für die Verbindungen zu einem Key Server. Mit mehreren, verteilten Key Servern lässt sich eine redundante Architektur aufbauen, die den Betrieb bei Ausfall eines Key Servers oder einer Verbindung so weit wie möglich aufrechterhält. Für die Mehrmandantenfähigkeit, bei der die Schlüsselhoheit bei den Mandanten liegt, ist die Unterstützung für mehrere, verteilte Key Server eine Grundvoraussetzung.

5.7. Unterstützung für das Ausweichen auf Ersatz-Key Server

Bei Gruppenschlüsselsystemen, bei welchen sich alle Mitglieder einer Gruppe den gleichen Schlüssel für das Verschlüsseln und Entschlüsseln verwenden, braucht es einen Key Server für die Gruppe, der den Gruppenmitgliedern diesen gemeinsam verwendeten Schlüssel zur Verfügung stellt. Fällt dieser aus, so ist kein Schlüsselwechsel mehr möglich. Um dies zu vermeiden braucht es die Möglichkeit, dass innerhalb einer Gruppe, mehrere Mitglieder hierarchisch abgestuft die Funktion des Key Servers für die Gruppe übernehmen können.
Bei Gruppenschlüsselsystemen, bei denen ein Key Server nur die Schlüssel zum Entschlüsseln der von ihm verschlüsselten Frames verteilt, braucht es keinen Ersatz-Key Server für die Gruppe, da auch keine verschlüsselten Frames mehr verschickt werden.

6. Schlüsselverwaltung

Die Schlüsselverwaltung ist das Herzstück jeder Verschlüsselungslösung, Sie bestimmt massgeblich den Einsatzbereich und die Funktionalität.

6.1. Grundausstattung

Wirklich zufällige Zufallszahlen, sichere Schlüsselaufbewahrung und autonomer Betrieb gehören zur Grundausstattung einer Lösung, die sichere Standort-Vernetzung bieten will. Bei virtuellen Appliances ist dies nur über die Verwendung von Zusatzhardware machbar, z.B. via Smartcard.

6.1.1. Hardware-basierter Zufallszahlengenerator

Sichere kryptographische Lösungen brauchen als Ausgangsmaterial wirklich zufällige Zufallszahlen. Software kann keine echten, sondern nur Pseudo-Zufallszahlen generieren. Sichere Lösungen verwenden einen echten hardware-basierten Zufallszahlengenerator, der zur Schlüsselgenerierung verwendet wird.

http://en.wikipedia.org/wiki/Hardware_random_number_generator

6.1.2. Sicherheit der Schlüsselaufbewahrung

Von den Schlüsseln hängt die Sicherheit des Systems ab. Mit den Schlüsseln lässt sich alles entschlüsseln. Deshalb müssen alle Schlüssel und Anfangsgeheimnisse (Pre-Shared Secret, Zertifikat, private Schlüssel, etc.) sicher aufbewahrt werden. So sicher, dass bei Manipulationsversuchen der Schlüsselspeicher unwiderruflich gelöscht wird. Das geht nur mit Hardware.

http://en.wikipedia.org/wiki/Tamper_resistant

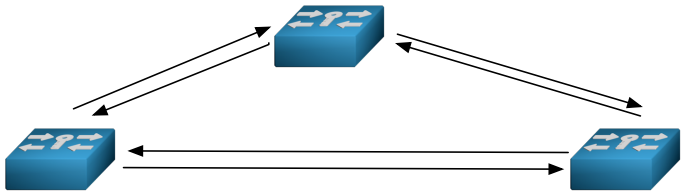
6.1.3. Autonomer Betrieb

Der autonome Betrieb bedingt, dass der Verschlüssler seine Arbeit selbständig, ohne Zuhilfenahme externer Ressourcen, erledigen kann. Jede externe Ressource stellt wiederum ein Risiko und eine Abhängigkeit dar. Nicht als externe Ressource zählen dedizierte Key Server, Certificate Authorities und dediziertes Security Management. Diese sollten aber redundant ausgelegt sein, um bei Ausfall einen nahtlosen Weiterbetrieb zu garantieren.

6.2. Verbindungsaufbau

Für eine Kommunikation braucht es mehr als eine Partei. Die beteiligten Verschlüssler müssen sich deshalb gegenseitig finden, erkennen und authentisieren. Ist dies erfolgt, so besteht zwischen den beteiligten Verschlüsslern jeweils eine Connectivity Association. Sie dürfen und können miteinander kommunizieren.

Connectivity Association

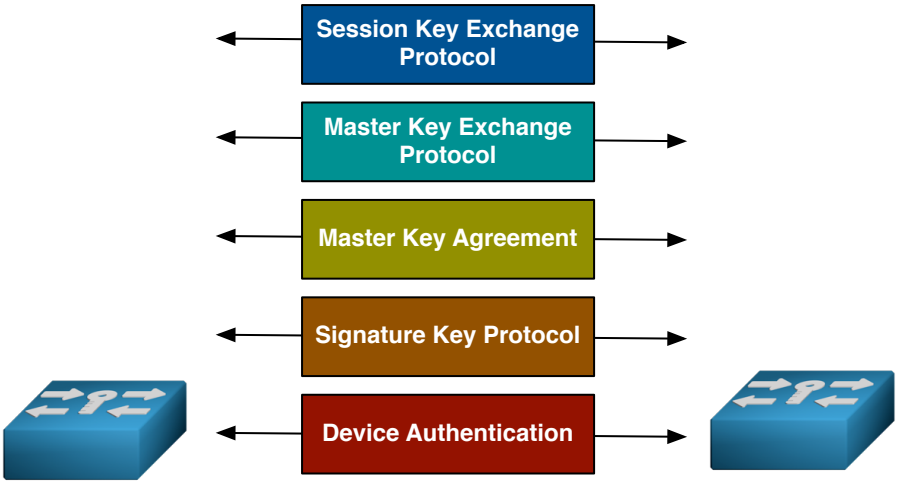


Geräte dürfen miteinander kommunizieren

Authentisierung via Certificate oder Pre-shared Secret/Pre-shared Key

Ist die Connectivity Association erstellt, so braucht es zusätzlich eine Security Association, die festlegt, wie die beiden Beteiligten sicher miteinander kommunizieren. Dafür wird ein Anfangsgeheimnis benötigt. Dabei kann es sich um einen Pre-Shared-Key oder ein Zertifikat handeln. Bei Verwendung von elliptischen Kurven gehört auch die Kurven-Domain dazu. Die Anfangsgeheimnisse sind im sicheren Schlüsselspeicher abgelegt.

Vom Anfangsgeheimnis bis zum Session Key laufen mehrere komplexe Prozesse ab, die sowohl in sich selbst wie auch in der Abfolge sicher sein müssen.



Die meisten Verschlüssler verwenden eine hybride Herangehensweise, bei der eine Kombination aus asymmetrischer und symmetrischer Verschlüsselung zum Einsatz kommt. Der Datenverkehr wird dabei symmetrisch verschlüsselt.

6.3. Authentifizierung /Anfangsgeheimnis und Signaturprotokoll

Die Verschlüssler müssen sich gegenseitig authentifizieren können. Dies kann über Zertifikate (asymmetrisch) oder Pre-Shared Secrets (symmetrisch) erfolgen.

http://en.wikipedia.org/wiki/Shared_secret
http://en.wikipedia.org/wiki/X.509

Bei Pre-Shared Secrets kann die Authentifizierung entweder per Verschlüsslerpaar, per Netzwerk oder per Gruppe aufgesetzt werden.

Pre-Shared Secret respektive Zertifikat dienen zur Signatur, mit welcher der Absender verifiziert werden kann. Mit ihnen unterschreiben die Schlüsselaustauschverfahren die ausgetauschten Schlüssel oder Teilschlüssel um sicherzustellen, dass sie auch von der richtigen Gegenstelle stammen.

http://en.wikipedia.org/wiki/Elliptic_Curve_Digital_Signature_Algorithm
http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Signature_Algorithm
http://en.wikipedia.org/wiki/RSA
http://crypto.stackexchange.com/questions/14654/digital-signature-using-symmetric-key-cryptography

Die Signatur in Kombination mit dem entsprechenden Signaturprotokoll ist Basis für den Schlüsselaustausch.

6.4. Schlüsselaustausch

Für den Schlüsselaustausch kommen sowohl symmetrische wie auch asymmetrische Verfahren In Frage. Der Einsatz eines asymmetrischen Verfahrens erfordert deutlich mehr Rechenleistung, gilt aber dafür entsprechend auch als sicherer. Es wird von gewissen Kreisen vermutet, dass sich die bei asymmetrischen Verfahren verwendeten mathematischen Probleme mittels spezieller Algorithmen mit einem Quantencomputer relativ schnell lösen lassen und dass mit der Verfügbarkeit innert wenigen Jahren gerechnet werden muss.
Eine entscheidende Verbesserung der Sicherheit, die auch allfälligen Angriffen durch Quantencomputer standhält, bietet die Kombination von asymmetrischen und symmetrischen Verfahren, wie z.B. die Kombination von Diffie-Hellman mit symmetrischer Überschlüsselung der Teilschlüssel. Dabei erfolgt die Signatur mit einem symmetrischen 256-bit AES-Schlüssel, der den asymmetrischen Schlüsselaustausch resistent gegen allfällige Schwachstellen und Angriffe von Quantencomputer macht.

6.4.1. Symmetrischer Schlüsselaustausch

Bei einer symmetrischen Vorgehensweise sind alle Schlüssel direkt voneinander abgeleitet. Zuerst wird beim Verschlüssler ein Pre-Shared-Secret eingegeben. Der Master Key wird intern im Verschlüssler erzeugt und mit dem Shared Secret verschlüsselt. Der Session Key wird ebenfalls vom Verschlüssler erstellt und mit dem Master Key verschlüsselt. Master- und Session Key werden jeweils in der verschlüsselten Form über die Leitung zum anderen Verschlüssler übertragen. Das grosse Problem bei dieser Vorgehensweise liegt darin, dass wenn das Shared Secret irgendwann bekannt wird, jede früher aufgezeichnete Kommunikation entschlüsselt werden kann. Es besteht also keine Perfect Forward Secrecy (PFS).

http://en.wikipedia.org/wiki/Symmetric_key_algorithm
http://en.wikipedia.org/wiki/Symmetric_key_management

6.4.2. Asymmetrischer Schlüsselaustausch

Bei einer asymmetrischen Vorgehensweise werden die Teilschlüssel vollständig im Verschlüssler generiert, ohne dass der Benutzer einen Zugriff darauf hätte. Aus den jeweils ausgetauschten Teilschlüsseln berechnen beide Seiten jeweils das gleiche Shared Secret. Im Gegensatz zu einem symmetrischen Verfahren kennt hier niemand das Shared Secret. Der Verschlüssler erzeugt anschliessend intern den Master Key und verschlüsselt ihn mit dem Shared Secret. Auch der Session Key wird vom Verschlüssler erstellt, als Schlüssel für den Schlüsselaustausch dient der Master Key. Die Übertragung der Master- und der Session-Keys von einem Verschlüssler zum andern erfolgt immer in verschlüsselter Form.

Als asymmetrische Verfahren werden primär Diffie-Hellman und RSA eingesetzt. Diffie-

Hellman verwendet in der Standardvariante das so genannte „diskrete Logarithmus Problem“. Dieses Verfahren erzeugt aber bei entsprechender Sicherheit sehr lange Teilschlüssel. Gleiches gilt auch für RSA. Moderne Systeme tendieren deshalb zur Verwendung von Diffie-Hellman mit Elliptic Curve Crypto System (ECC). Dies bietet bei wesentlich kürzeren Teilschlüsseln eine höhere Sicherheit bietet und gilt heute als Standard. Einige Anbieter beschränken sich dennoch auf die Unterstützung der NIST-Kurven, während andere dem Kunden die Wahl zwischen NIST-Kurven, Brainpool-Kurven, Safecurves und anderen, auch eigenen Kurven lassen. Das Erstellen elliptischer Kurven ist hochkomplex, vor allem, wenn sie sicher sein müssen. Zwischen den verschiedenen Kurven bestehen Geschwindigkeitsunterschiede, doch sind diese bei statischen Standortvernetzungen vernachlässigbar.

http://en.wikipedia.org/wiki/Diffie-Hellman
http://en.wikipedia.org/wiki/RSA
http://en.wikipedia.org/wiki/Elliptic_Curve_Diffie-Hellman
http://safecurves.cr.yp.to/index.html
http://www.ecc-brainpool.org/links.htm
https://tls.mbed.org/kb/cryptography/elliptic-curve-performance-nist-vs-brainpool

Asymmetrische Verfahren unterschreiben die ausgetauschten Teilschlüssel um sicherzustellen, dass sie auch von der richtigen Gegenstelle stammen. Dies kann entweder durch Zertifikate (X.509) kombiniert mit entsprechenden Verfahren (RSA, DSA oder ECDSA) oder durch Verschlüsselung des Teilschlüssels mit einem Pre-Shared Secret erfolgen.

6.4.3 Quantensicherer Schlüsselaustausch

Die aktuellen asymmetrischen Schlüsselaustauschverfahren sind nicht quantensicher. Die Bedrohung durch künftige Quantencomputer ist auf den asymmetrischen Schlüsselaustausch beschränkt und bezieht sich auf die aktuellen Verfahren. Symmetrische Verschlüsselung ist quantensicher, solange sie mit 256-Bit-Schlüsseln erfolgt. Es gibt verschiedene Ansätze, um das Risiko im Zusammenhang mit dem asymmetrischen Schlüsselaustausch zu mindern:

- Symmetrischer Schlüsselaustausch
- Asymmetrischer Schlüsselaustausch mit zusätzlichem symmetrischen Pre-Shared Symmetric Key als Element
- Symmetrische Verschlüsselung des asymmetrischen Schlüsselaustauschs
- PQC (Post-Quantum-Kryptographie)
- QKD (Quantenschlüsselverteilung)

Einige Anbieter bieten einige der oben genannten Optionen an. Quantensichere asymmetrische Schlüsselaustauschverfahren sind noch nicht voll getestet und standardisiert. Erste Anbieter offerieren optional einigermassen ausgereifte quantensichere asymmetrische Schlüsselaustauschverfahren. In Bezug auf PQC gibt es noch keinen endgültigen Standard.

Zum Thema Quantensicherheit:
https://www.uebermeister.com/netzwerkverschluesselung/quantensicher
https://www.ipspace.net/kb/QuantumCrypto/

6.4.4. Austauschfrequenz

Je häufiger der verwendete Session Key geändert wird, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass er geknackt wird oder ein Replay Folgen haben kann. Die Sicherheit des Schlüssels hängt dabei nicht nur von der Vertraulichkeit, sondern auch von den verwendeten

Verfahren und den gewählten Parametern ab. So spielen die Länge des Counters und des ICV eine Rolle. Im Counter Mode muss z.B. der Schlüssel gewechselt werden, bevor sich die Counter wiederholen. Es ist deshalb wichtig, dass der Session Key vom System automatisch nach einer bestimmten Anzahl Minuten gewechselt wird. Das gleiche gilt für den Key Encryption Key (Master Key), der für die Verschlüsselung des Session Key verwendet wird. Da dieser weniger Daten verschlüsselt, ist die Wechselfrequenz entsprechend tiefer. Auch dieser Schlüssel sollte automatisch ausgewechselt werden können. Hohe Wechselfrequenzen für den Session Key ermöglichen das Verwenden eines kürzeren ICV (8 Byte statt 16 Byte). Entsprechend hoch sollte die Wechselfrequenz für den Master Key sein.

Schlüsseltyp	Wechselfrequenz
Session Key (Data Encryption Key)	alle 1 - 60 Minuten
Master Key (Key Encryption Key)	alle 1 -24 Stunden
Anfangsgeheimnis	alle 12 - 24 Monate

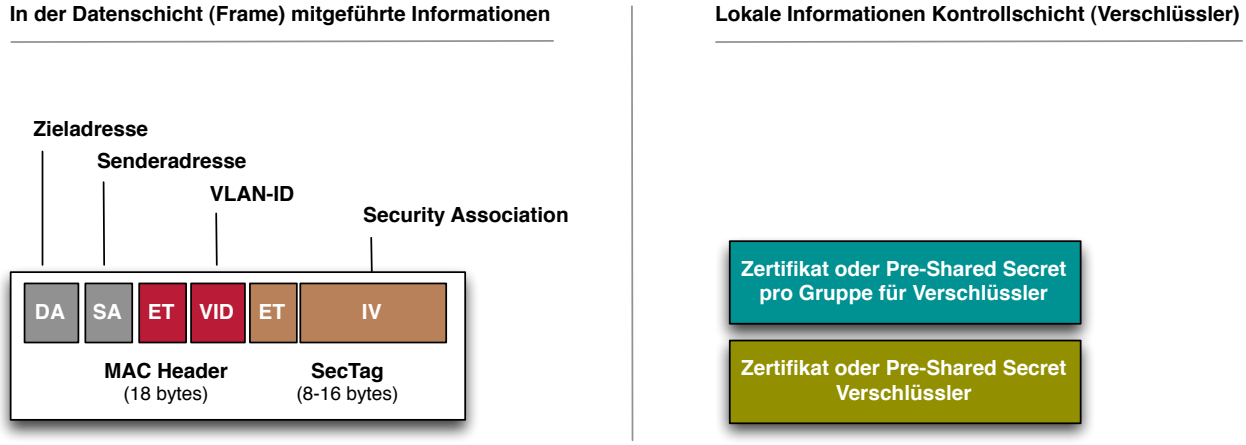
6.5. Schlüsselsystem

Ethernet-Frames gibt es in drei Grundvarianten, welche jeweils durch die Anzahl Zielrechner bestimmt sind:

- Unicast für die Kommunikation von einer mit einer einzelnen anderen MAC-Adresse
- Multicast für die Kommunikation von einer mit mehreren MAC-Adressen
- Broadcast für die Kommunikation von einer mit allen anderen MAC-Adressen

Für IP-Pakete sieht es ähnlich aus.

Es stehen unterschiedliche Ansätze zur Verfügung, um sicherzustellen, dass nebst Unicast-Frames auch Multicast- und Broadcast-Frames verschlüsselt werden. Grundlage für das Schlüsselsystem bilden einerseits die im jeweiligen Verschlüssler vorhandenen Anfangsgeheimnisse und andererseits die im Frame mitgeführten Informationen.



Beim Schlüsselsystem kann man grob zwischen zwei unterschiedlichen Lösungsansätzen unterscheiden: Paarweise Schlüssel und Gruppenschlüssel.

Für paarweise Schlüsselsysteme besteht ein Netzwerk aus einer oder mehreren Punkt-zu-Punkt-Verbindungen. Jeder Verschlüssler ist mit jedem anderen Verschlüssler Punkt-zu-Punkt verbunden. Paarweise Schlüsselsysteme verwenden jeweils den gleichen unidirektionalen Schlüssel für die Verbindung zwischen zwei Verschlüsslern.

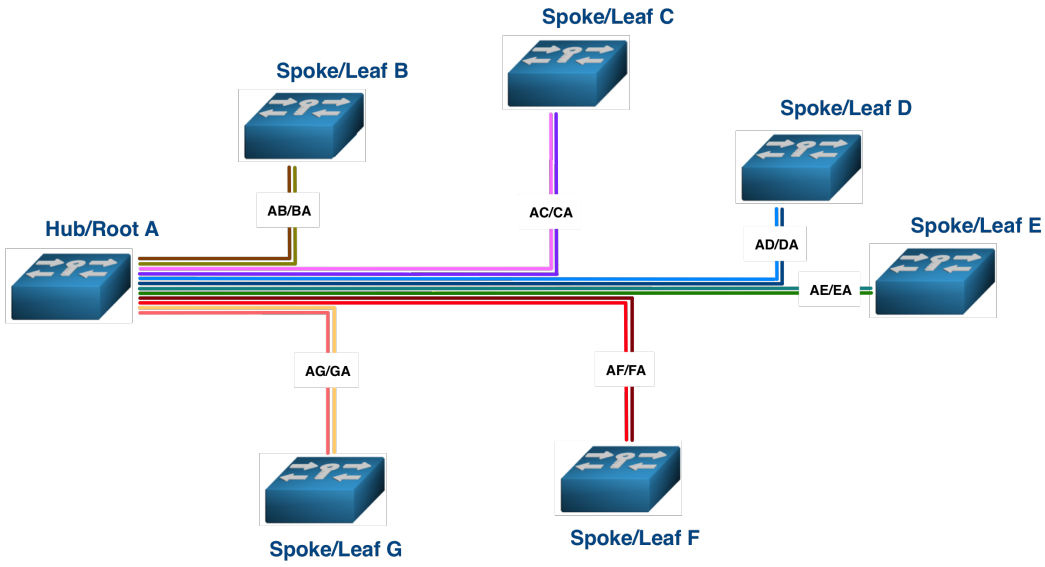
Gruppenschlüssel orientieren sich hingegen an der Zugehörigkeit zu einer Gruppe und verwenden jeweils einen unterschiedlichen Schlüssel pro Gruppe. Es besteht eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Bestimmung einer Gruppe. Eine Gruppe kann beispielweise aus einem VLAN oder mehreren VLANs bestehen. Dann ist sie bidirektional: Jedes Gruppenmitglied verschlüsselt und entschlüsselt mit dem gleichen Schlüssel. Eine Gruppe kann aber auch vom versendenden Verschlüssler so definiert werden, dass alle möglichen Empfänger für ihn eine Gruppe bilden. In diesem Fall ist sie unidirektional: Jeder Verschlüssler verwendet einen anderen Schlüssel zum Verschlüsseln und der Empfänger benutzt jeweils den ihm vom Versender zuvor kommunizierten Schlüssel zum Entschlüsseln. Ein Verschlüssler kann mehrere Gruppen unterstützen. Für jede Gruppe verwendet er einen unterschiedlichen Schlüssel.

Es ist auch möglich, eine Kombination von Gruppe und Paar zu verwenden. So lässt sich organisatorisch ein VLAN als Gruppe betrachten, innerhalb derer paarweise Schlüssel und Gruppenschlüssel verwendet werden. Für jedes VLAN gibt es dann eigene paarweise Schlüssel und Gruppenschlüssel.

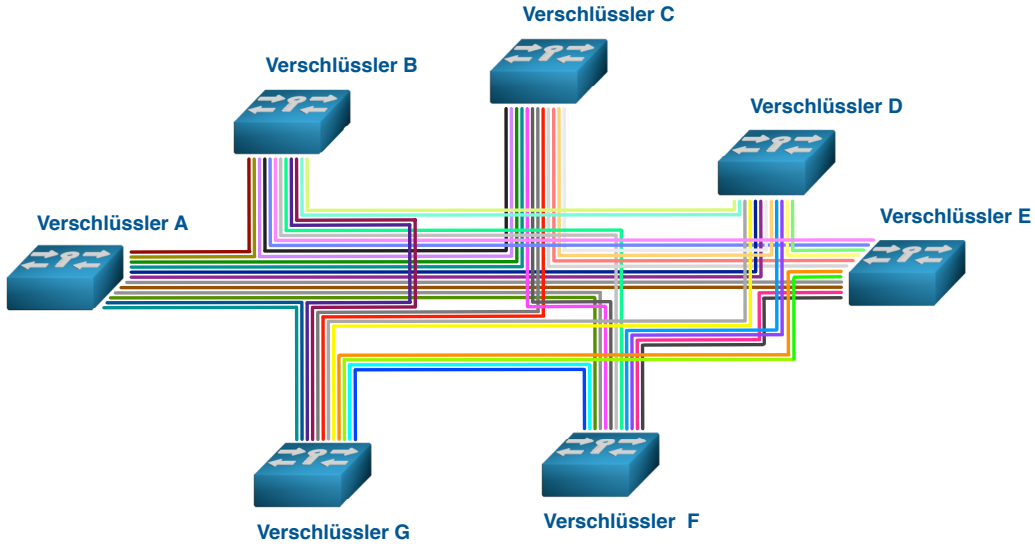
6.5.1. Paarweise Schlüssel

Für ein paarweises Schlüsselsystem entsprechen Punkt-zu-Punkt-Verbindungen einer Leitung, deren Endpunkte durch die beiden Verschlüssler A und B definiert sind.
Für die Verschlüsselung der Daten von A nach B wird der Schlüssel AB verwendet. In der Gegenrichtung, von B nach A, der Schlüssel BA.

Paarweise Schlüsselsysteme sind für Punkt-zu-Punkt-Verbindungen ausgelegt und betrachten deshalb auch Punkt-zu-Multipunkt- und Multipunktnetzwerke als eine Häufung von Punkt-zu-Punkt-Verbindungen. Paarweise Schlüsselsysteme funktionieren deshalb ausschliesslich für Unicast-Frames. Nur diese sind über ihre MAC-Adresse eindeutig zuweisbar. Multicast- und Broadcast-Frames haben mehrere Destinationsadressen, weshalb sie für ein paarweises Schlüsselsystem nicht verschlüsselbar sind. Es gibt z.B. keinen eigenen Schlüssel, mit dem Verschlüssler A ein Multicast-Frame zu zwei Zielverschlüsslern (B und C) verschlüsseln könnte und von beiden Zielverschlüsslern entschlüsselt werden kann.



Bei Multipunkt-zu-Multipunkt-Verbindungen stellt sich das Problem mit den Multicast- und Broadcast-Frames gleich wie bei den Punkt-zu-Multipunkt-Verbindungen.



Für diese Problematik stehen vier unterschiedliche Lösungsansätze zur Verfügung: (1) Multicast- und Broadcast-Frames unverschlüsselt lassen, (2) Die Multicast- und Broadcast-Frames für jede Verbindung replizieren und sie in Unicast-Frames umwandeln, (3) ein zusätzliches, geeignetes Schlüsselsystem für Multicast- und Broadcast-Frames verwenden und (4) ein Schlüsselsystem, das sowohl Unicast-, Multicast- als auch Broadcast-Frames unterstützt. Die erste Lösung – die Dispensierung der Multicast- und Broadcast-Frames von der Verschlüsselung – ist, zumindest in Bezug auf die Sicherheit von Multicast- und Broadcast- Frames, nicht akzeptabel. Die zweite Lösung - das Replizieren der Multicast- und Broadcast-Frames über alle Verbindungen – führt zu einer erheblichen Mehrbelastung des Netzwerks. Dies zieht wiederum höhere Betriebskosten oder eine schlechtere Netzwerkperformance nach sich. Die dritte Lösung – Verwendung eines zweiten Schlüsselsystems – führt zur zwangsweisen Zusammenarbeit zweier unterschiedlicher Schlüsselsysteme, löst aber das Problem der Verschlüsselung von Multicast- und Broadcast-Frames. Je nach Frame-Typ ist

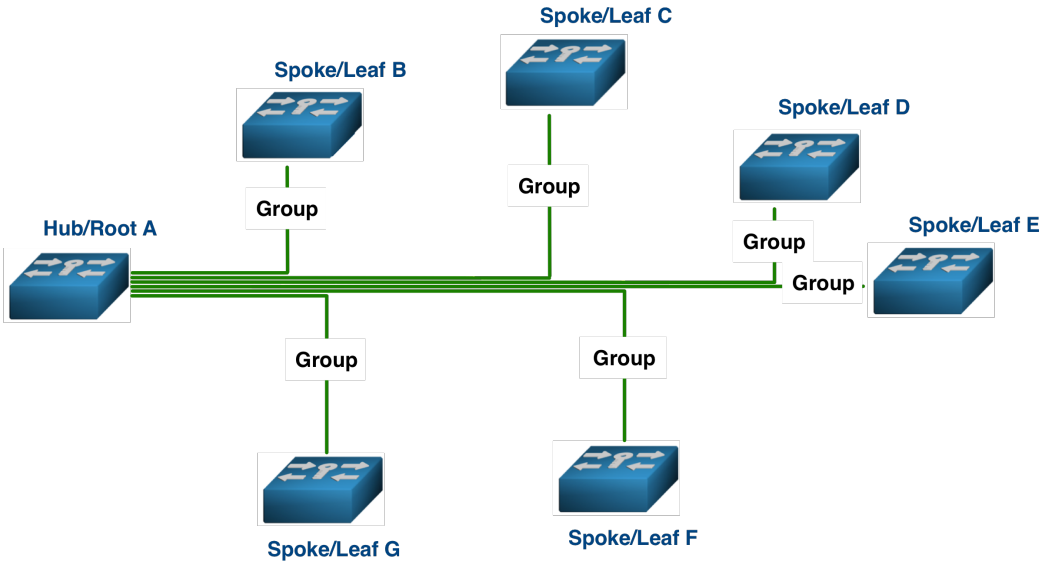
dann das eine oder das andere Schlüsselsystem zuständig. Für die Multicast- und Broadcast- Frame-Verschlüsselung werden Gruppenschlüsselsysteme verwendet. Die vierte Lösung ist meist das effizienteste: Ein Schlüsselsystem, das sowohl Unicast-, wie auch Multicast- und Broadcast-Frames unterstützt.

6.5.2. Gruppenschlüssel

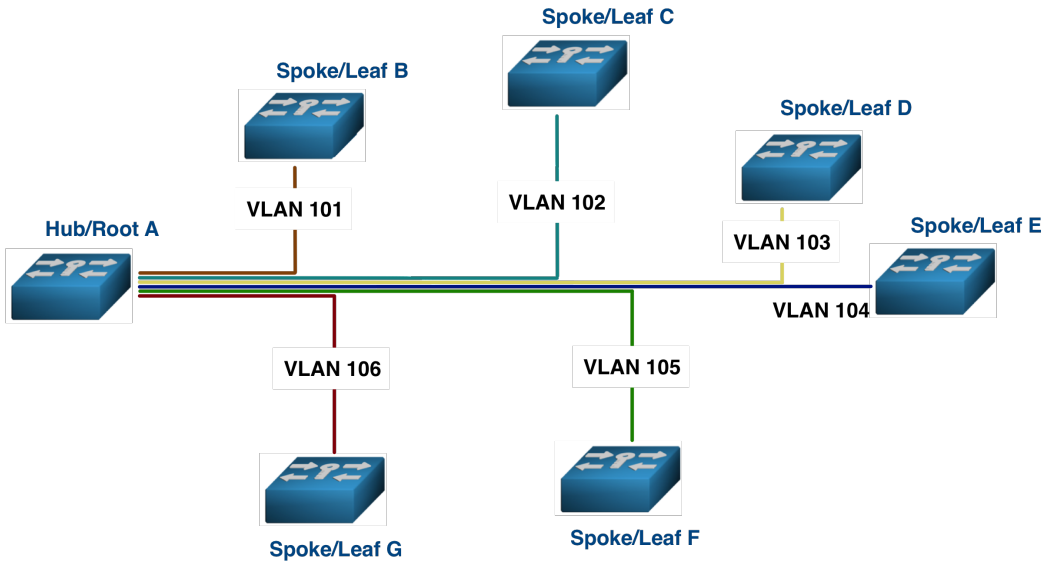
Gruppenschlüsselsysteme basieren auf dem Prinzip, dass für die Kommunikation innerhalb einer definierten Gruppe der gleiche Schlüssel verwendet wird. Die Mitgliedschaft in einer Gruppe schliesst nicht die Mitgliedschaft in weiteren Gruppen aus. Nur wird für die Kommunikation innerhalb der unterschiedlichen Gruppen jeweils ein anderer Schlüssel verwendet. Dies führt zu einer kryptographischen Trennung der Gruppen. Eine Gruppe besteht aus zwei oder mehr Mitgliedern. Für Ethernet werden Gruppen meistens nach VLAN-ID erstellt.

Dies funktioniert für alle drei Grund-Topologien, angefangen mit Punkt-zu-Punkt.

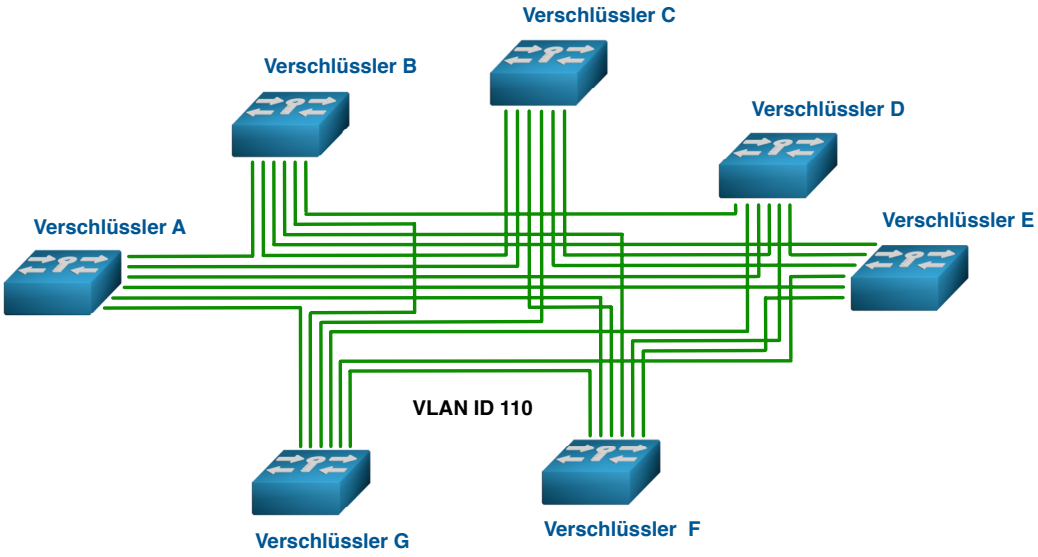
Bei Punkt-zu-Multipunkt bestehen zwei unterschiedliche Möglichkeiten. Das Netzwerk kann entweder als eine einzige Gruppe definiert werden:



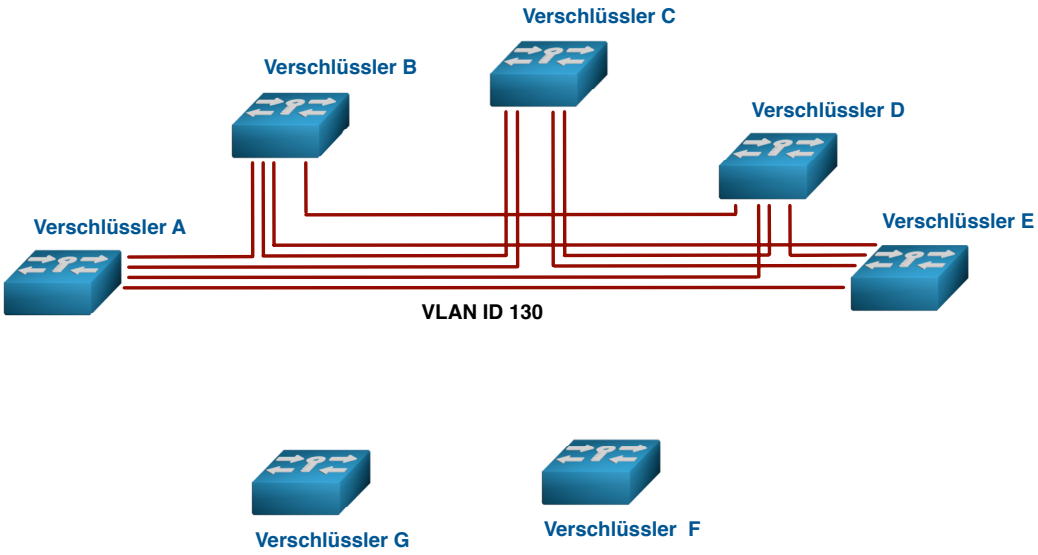
Oder man definiert jede einzelne Verbindung als eigene Gruppe:



Bei Multipunkt-zu-Multipunkt-Netzwerken erlauben Gruppenschlüssselsysteme das Schichten unterschiedlicher Gruppen. So kann beispielsweise eine Gruppe aus den Mitgliedern eines VLANs bestehen. Deckt dieses VLAN alle Standorte ab, so sind auch alle Standorte Gruppenmitglieder, ausser man schliesst einzelne Standorte explizit aus, obwohl sie Mitglieder des VLANs umfassen.



Deckt ein VLAN nur einige der Standorte ab, so sind nur diese Standorte Mitglied dieser Gruppe.

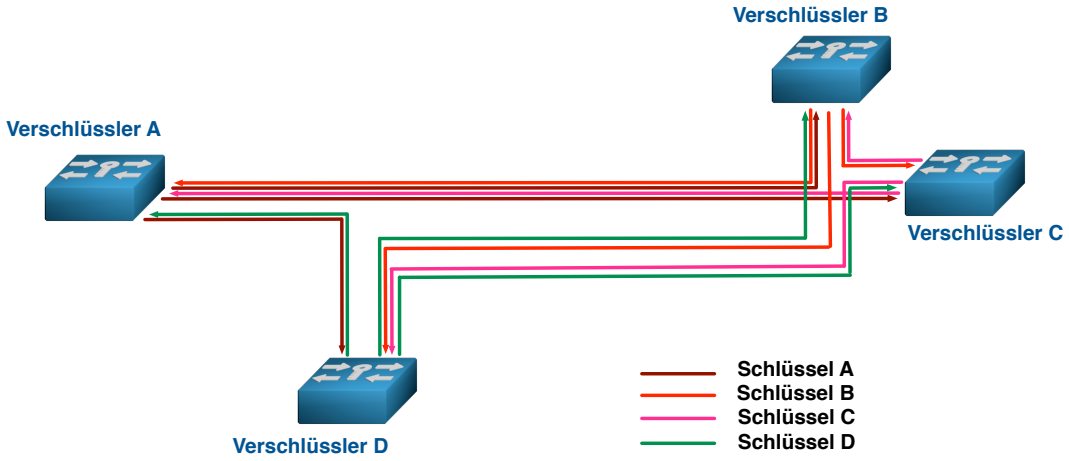


Multipunkt-Verbindungen entsprechen oft Gruppen, die durch Broadcast-Domains verbunden oder getrennt sind. Innerhalb einer Gruppe wird sämtlicher Datenverkehr mit dem gleichen Schlüssel verschlüsselt. Eine Unterscheidung zwischen Unicast-, Multicast- und Broadcast-Frames ist nicht nötig.

Leistungsfähige Gruppenschlüsselsysteme erlauben die Etablierung der Gruppenzugehörigkeit durch Parameter wie VLAN-IDs. Solche Gruppenschlüsselsysteme verwenden in der Regel einen Key Server, der redundant ausgelegt ist. Der Key Server sorgt dafür, dass jeder Verschlüssler die Gruppenschlüssel erhält, welche für die hinter ihm befindlichen Geräte benötigen, um mit den anderen Gruppenmitgliedern an anderen Standorten kommunizieren zu können. Der Key Server muss unter anderem auch sicherstellen, dass bei Änderungen der Gruppenzusammensetzung ein neuer Schlüssel erstellt wird. Mit dem neuen Schlüssel kann der alte Datenverkehr nicht entschlüsselt werden und mit dem alten Schlüssel kann der neue Datenverkehr nicht entschlüsselt werden.

Bei Ethernet drängt es sich auf, die Gruppen nach VLAN-IDs zu organisieren, da in der Regel Firmennetze die Broadcast-Domains durch VLANs eingrenzen und so auch das Netzwerk segmentieren. Bei einer Gruppenverschlüsselung, die nach VLANs organisiert ist, wird diese Segmentierung auch für die Verschlüsselung verwendet und stellt so auch eine kryptographische Trennung der VLANs her.

Nicht alle Gruppenschlüsselsysteme verschlüsseln jeweils den Datenverkehr bidirektional mit dem gleichen Schlüssel. Es ist auch möglich unidirektionale Schlüssel zu verwenden. Bei solchen Gruppenschlüsselsystemen bestimmt jeweils der absendende Verschlüssler den Schlüssel und verteilt ihn an alle Gruppenmitglieder, die zu seiner Gruppe gehören. Da jedes Gruppenmitglied auch absendender Verschlüssler ist, verteilt jeder Verschlüssler den Schlüssel, mit dem er die Daten verschlüsselt an die anderen. Jeder Verschlüssler ist dabei Key Server für seine Schlüssel.



Jeder der Plattform-Hersteller verwendet ein unterschiedliches Schlüsselsystem und damit einen anderen Lösungsansatz. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass einige Schlüsselsysteme das Netzwerk hierarchisch als flach behandeln, während andere bestehende Hierarchien und Strukturen im Netz berücksichtigen können. Eine Multi-Mandantenfähigkeit lässt sich nur unter Berücksichtigung von Hierarchien und Strukturen mit Gruppenschlüsseln und verteilten Key Servern erreichen.

7. Netzwerkunterstützung

7.1 Bump-in-the-Wire-Deployment

Können die Verschlüssler ohne Änderung der Netzwerkinfrastruktur einfach in das bestehende Netzwerk eingeschlauft werden, so wird dies als „Bump-in-the-Wire Deployment“ bezeichnet.

7.2 Jumbo-Frames

Die Unterstützung von Jumbo Frames (>1500 bytes) ist eigentlich eine Selbstverständlichkeit, die bei jedem marktgängigen Ethernet-Adapter vorhanden ist. Jumbo Frames sollten auch vom Verschlüssler unterstützt werden.

http://en.wikipedia.org/wiki/Jumbo_frames

7.3. Ethernet Flow Control

Ethernet Flow Control unterstützt verlustfreie Übertragung, indem es den Verkehrsfluss reguliert, damit Frames im Falle von Verstopfungen nicht weggeworfen werden. Dies erfolgt über das Stoppen und Wiederaufnehmen der Übertragung zwischen zwei Geräten bei einem vollduplex Ethernet-Netzwerk. Die Kontrolle des Verkehrsflusses verhindert das Überlaufen der Buffer der beteiligten Geräte, das zu einem Wegwerfen von Frames führen würde. Mit dem PAUSE-Befehl kann die Übermittlung von Daten kurzfristig angehalten und eine Verstopfung verhindert werden.

http://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet_flow_control
http://datacenteroverlords.com/2013/02/02/ethernet-congestion-drop-it-or-pause-it/

7.4 Taggen von Frames ohne Tag

Bei Konstellationen bei denen sowohl mit einem VLAN-Tag versehene Frames wie auch Frames ohne VLAN-Tag Richtung WAN verschickt werden, kann der Verschlüssler Frames ohne Tag mit einem Tag versehen.

7.5 Fragmentierung

Fragmentierung/Defragmentierung auf Ethernet-Ebene funktioniert anders als die Fragmentierung von IP-Paketen. Sie wird da gebraucht, wo der Verschlüsselungsmodus die Frame-Grösse ändert und die resultierende Grösse eine MTU von 1500 Bytes, bzw. eine andere, vom Netzwerk vorgegebene MTU, überschreitet. Einen zusätzlichen Overhead von bis zu 32 Bytes vertragen aber in der Regel die meisten Carrier Ethernet-Infrastrukturen klaglos. Zudem können vorgelagerte Traffic Shaper die Frame-Grösse auf das erlaubte Maximum reduzieren. Bei der Kommunikation von IPv6-Geräten erfolgt die Reduktion automatisch.

7.6 Dead Peer Detection

Die Funktion „Dead Peer Detection“ erlaubt es dem Verschlüssler herauszufinden und zu melden, wenn die Gegenstelle ausser Betrieb fällt.

7.7 Optical Loss Pass-Through

Optical Loss-Pass-Through (auch als LLR – Link Loss Return - bezeichnet) dient dem Entdecken von Link-Problemen auf dem Fiberport. Erhält der Empfänger des Fiberports kein gültiges Link-Signal, so sistiert der Sender des Fiberports seine Tätigkeit. Die Funktion

ermöglicht so einem Switch oder Router durch den Verschlüssler zu sehen, ob die Verbindung zum Switch oder Router hinter dem Verschlüssler auf der Gegenseite der Verbindung funktioniert.

7.8 Link Loss Carry Forward

Bei Link Loss Carry Forward wird nur ein Link-Signal geschickt, wenn ein Link-Signal empfangen wird. Der Verlust des Links wird so an den Switch weitergereicht, damit der Fehler unmittelbar bekannt wird. So schickt der Ausgangsport des Verschlüsslers nur ein Link-Signal, wenn er auf dem Eingangsport ein Link-Signal erhält und der Eingangsport des Verschlüsslers schickt nur ein Link-Signal wenn er auf dem Ausgangsport ein Link-Signal erhält. Link Loss Carry Forward kann sowohl für fiberoptische als auch für kupferbasierte Netze eingesetzt werden.

8. System Management

Unter dieser Kategorie werden die wichtigsten Funktionalitäten in Bezug auf das System Management aufgeführt.

8.1 Out-of-Band-Zugriff

Die Verschlüssler müssen konfiguriert und überwacht werden können. Für den Out-of- Band-Zugriff stehen dafür ein separater Ethernet-Port und eine serielle Schnittstelle zur Verfügung.

http://en.wikipedia.org/wiki/Out-of-band_management

8.2 In-Band-Zugriff

Für den in-band-Zugriff auf die Verschlüssler über das Netzwerk können unterschiedliche Methoden wie SSH (Secure Shell), TLS, Corba/TLS, SNMP oder proprietäre Protokolle verwendet werden

http://en.wikipedia.org/wiki/Secure_Shell

8.3 Slots und Ports

SD-Card-Slot und USB-Port erlauben Konfigurationsdaten und Updates lokal einzulesen.

8.4 SNMP

Für die Überwachung des Geräts im Netzwerk wird von allen Herstellern SNMP verwendet, wobei SNMP erst ab Version 2c als halbwegs sicher gilt, bzw. die für die Überwachung von High Speed Netzwerkkomponenten notwendigen erweiterten 64 Bit Zähler zur Verfügung stellt. Eine Verschlüsselung ist erst ab Version 3 vorhanden.

http://en.wikipedia.org/wiki/SNMP

Für die Überwachung des Link-Status muss der Verschlüssler laufend seinen Betriebszustand bekannt geben. Diese Daten können von entsprechender Software gelesen und aufgearbeitet werden, so dass der aktuelle Link-Status überwacht werden kann. Dies kann u.a. mittels SNMP Traps für den Uplink und den Downlink erfolgen. Zur Erfüllung dieses Kriteriums muss alle zur Überwachung des Link-Status nötige Software dem Verschlüssler beiliegen. Das reine Zurverfügungstellen der SNMP Traps ist nicht genügend.

8.5 Logs

Im Event Log werden sämtliche Vorfälle abgespeichert. Das Event Log ist bei einem Verschlüssler lokal.

Das Audit Log zeichnet für das Audit relevante Vorgänge auf und ist bei einem Verschlüssler lokal.

Syslog zeichnet Systemvorgänge auf. Für die Übermittlung zwischen Syslog-Server und Verschlüssler wird UDP verwendet, so dass eine Übertragung und Registrierung der Daten nicht garantiert ist. Aus diesem Grund brauchen die Verschlüssler die oben erwähnten lokalen Event und Audit Logs. Syslog-Support erlaubt unter anderem das Einbinden in zentralisierte Log-Management-Umgebungen.

http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_data_logging
http://en.wikipedia.org/wiki/Audit_trail
http://en.wikipedia.org/wiki/Syslog

9. Unit

9.1 Rack Unit

Die Höhe der Unit bezieht sich auf den Platz, den sie im 19“-Rack benötigt. Dies hat wiederum einen Einfluss auf die Betriebskosten. Ein 2U-Gehäuse verursacht z.B. höhere Betriebskosten als ein 1U-Gehäuse.

http://en.wikipedia.org/wiki/Rack_unit

9.2 Gerätezugriff

Der Zugriff auf die wichtigsten Anschlüsse sollte bei den Geräten vorne sein. Probleme kann es sonst dort geben, wo ein Display auf der Vorderseite des Gehäuses ist, die Netzwerkanschlüsse aber hinten sind.

9.3 Redundante Netzteile

Verschlüssler sind wichtige Teile der IT-Infrastruktur. Es ist durchaus üblich solche Geräte an zwei unabhängige Stromkreise anzuschliessen, so dass der nahtlose Weiterbetrieb beim Ausfall des einen Stromkreises möglich ist. Redundante Netzteile können an zwei unabhängige Stromkreise angeschlossen werden.
Sind sie „hot-swappable“, so können die Netzteile auch im laufenden Betrieb ausgetauscht werden. Die verwendeten Netzteile haben in der Regel eine MTBF die deutlich über der MTBF der Geräte liegt, so dass der effektive Ausfall eines Netzteils statistisch äusserst unwahrscheinlich ist.

http://en.wikipedia.org/wiki/Uninterruptible_power_supply

9.4 Mean Time between Failures

Die MTBF zeigt die theoretische Dauer zwischen zwei Ausfällen. Je höher der Wert, desto tiefer die Betriebskosten. Dies führt zu inflationären Tendenzen bei den Angaben.

http://en.wikipedia.org/wiki/MTBF

9.5 Geräteschutz

Bei den Gehäusen wird unterschieden zwischen „tamper evident“ und tamper resistent“, wobei „tamper resistent“ deutlich aufwändiger zu bewerkstelligen ist und entsprechend teurer ist. Für „tamper evident“ kann bereits ein Siegel genügen, das aus einem Kleber besteht.

http://en.wikipedia.org/wiki/Tamper_proof
http://en.wikipedia.org/wiki/Tamper_evident

9.6 Sicherheitsstandards und Sicherheitszulassungen

Es gibt unterschiedliche IT-Sicherheitsrichtlinien, die für Produkte wie Verschlüssler gelten. Einige sind international, einige sind national und andere sind international mit nationalen Kriterien. Einige Länder haben eigene Anforderungen für IT-Sicherheit im Zusammenhang mit Verschlüsslern definiert. In diesen Ländern ist die entsprechende Zertifizierung Voraussetzung für Verkäufe an die Regierung oder die öffentliche Hand. Die meisten dieser Zertifizierungen bringen dem Kunden nur einen beschränkten Nutzen, da oft weder die zu erfüllenden Vorgaben noch der Umfang der Überprüfung eine ausreichende Sicherheit gewährleisten. Es bleibt dem Kunden überlassen, sowohl das Schutzprofil wie auch den

Zertifizierungsbericht für ein Produkt im Detail zu lesen und mit seinen eigenen Sicherheitsanforderungen zu vergleichen.

Vorsicht ist vor allem da geboten, wo die Grenze des Sicherheitsbereichs (Security Boundary) mit dem Geräterand (Device Boundary gleichgesetzt wird und davon ausgegangen wird, dass das Gerät sicher ist. Kommt dann noch das Fehlen einer hardware-basierten Zufallszahlengenerierung, das Fehlen eines sicheren Schlüsselspeichers und das Fehlen einer Rollenteilung zwischen Netzwerk und Sicherheit dazu, dann ist offensichtlich, dass selbst im besten Fall nur sehr rudimentäre Sicherheitsanforderungen erfüllt werden. Bei Vorhandensein eines entsprechenden Schutzprofils (Protection Profile) ist aber eine Common Criteria-Zertifizierung selbst für ein solches Produkt erreichbar. Oft spielen bei Schutzprofilen wirtschaftliche Interessen von Herstellern und Zertifizierungsdienstleistungen sowie nationale Interessen eine grössere Rolle als die Grundanforderungen an IT-Sicherheit.

Eine Zertifizierung der Geräte durch eine staatliche Organisation für Regierungsgebrauch für klassifizierte Daten ist in der Regel deutlich werthaltiger als die Zertifizierung durch einen unabhängigen kommerziellen Dienstleister, denn die Geräte müssen den Anforderungen von Regierungen für die eigenen klassifizierten Netzwerke genügen. Die absolute Sicherheit garantieren in der Realität aber auch diese Zertifizierungen nicht, doch sind die Geräte in diesem Fall meistens schon bei der Entwicklung von Mathematikern und Kryptographie- und Sicherheitsexperten begleitet und nachher noch einmal bis ins Detail geprüft worden. Die benötigte kombinierte Fachkompetenz ist bei den meisten kommerziellen Dienstleistern meist nicht im nötigen Umfang vorhanden. Das deutsche Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik gilt für Produkte, die nach den Regeln des IT-Grundschutzes für den Regierungsgebrauch zertifiziert werden, als besonders anspruchsvoll. Entscheidend bleibt für alle Zertifizierungen, wer, was, wo, wie und nach welchen Vorgaben geprüft hat.

Rahmenwerke, Standards und Richtlinien gibt es von unterschiedlichen nationalen und internationalen Organisationen. Es ist in der Regel von Vorteil, wenn ein Gerät nicht nur die nationalen Standards eines einzelnen Landes, sondern eine Mehrzahl an international gebräuchlichen Standards unterstützt.

http://en.wikipedia.org/wiki/Common_Criteria
http://en.wikipedia.org/wiki/Bundesamt_für_Sicherheit_in_der_Informationstechnik
http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=45306
http://en.wikipedia.org/wiki/FIPS_140
http://www.etsi.org/technologies-clusters/clusters/security

Zum Thema Sicherheitszertifizierungen im Allgemeinen:
https://www.uebermeister.com/news/artikel/wieso-fips-common-criteria-oder-niap-zertifizierte-produkte-meist-nicht-sicher-sind

9.8 Sicherheitsrelevante Zulassungen

Nebst den eigentlichen Sicherheitszulassungen gibt es auch sicherheitsrelevante Zulassungen. Diese betreffen vorwiegend den Bereich operationeller Sicherheit und Abstrahlung.

http://en.wikipedia.org/wiki/European_standards
http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_EN_standards
http://en.wikipedia.org/wiki/FCC

10. Management-Software

Die Verschlüssler werden mit der nötigen Management-Software ausgeliefert. Die Software widerspiegelt die Funktionalität des Verschlüsslers und fällt deshalb je nach Anbieter unterschiedlich aus. Die Management-Software ist Teil der Lösung und sicherheitsrelevant. Bei der Überprüfung des Umfangs einer vorhandenen Zertifizierung sollte deshalb sichergestellt werden, dass die Management-Software mitüberprüft und zertifiziert respektive zugelassen wurde.

10.1 Management Access

Unterschiedliche Leute, z.B. IT Security und Netzwerkadministration, brauchen Zugriff auf verschiedene Funktionen des Verschlüsslers. Der Zugriff muss auf autorisierte Benutzer beschränkt sein. Den Benutzern werden Rollen zugewiesen, die definieren, was sie sehen dürfen und auf was sie zugreifen dürfen. Die Rollen können hierarchisch strukturiert sein. Die strikte Trennung der Benutzer ermöglicht, dass mehrere Benutzer gleichzeitig auf das System zugreifen können, ohne dass zusätzliche Sicherheitsrisiken geschaffen werden.

10.2 Device Management

Das Device Management dient der Konfiguration, der Überwachung und der Verwaltung des Verschlüsslers.

10.3 Certificate Authority und Management

Einige der Hersteller kombinieren die Software für Device Management mit einer Certificate Authority, so dass die benötigten X.509-Zertifikate unabhängig von einer vorhandenen CA-Struktur herstellt werden können.
Einige Hersteller verwenden nicht standardkonforme X.509 Zertifikate, so dass eine vorhandene CA-Infrastruktur nicht für die Verschlüsselungsgeräte mitgenutzt werden kann.

http://en.wikipedia.org/wiki/Certificate_authority

10.4 Key Management

Das Key Management dient einerseits der Zuteilung der Anfangsgeheimnisse und andererseits dem Erzeugen und Verwalten der verwendeten Master- und Session Keys.

http://en.wikipedia.org/wiki/Key_management

11. Preis und Garantie

11.1. Preis

Die meisten Anbieter möchten ihre Preise nicht publizieren. Deshalb werden nachstehend die Preisspannen für einzelne Geräte aufgezeigt. Die Projektpreise sehen je nach Projektgrösse anders aus. Die Preise sind nicht zwangsläufig proportional zur Funktionalität und Qualität eines Geräts. Einige Hersteller kompensieren überhöhte Listenpreise mit entsprechenden Rabatten, während andere mit realistischen Listenpreisen und entsprechend tiefen Rabattstufen arbeiten. Am Schluss ist der bezahlte Preis entscheidend und nicht die Höhe des gewährten Rabattes. Die Kosten der Wartungsverträge orientieren sich meist an den Listenpreisen, nicht an den effektiv bezahlten Preisen. Die Preise für die Geräte sind mittlerweile in einer Region angelangt, die eine Kaufentscheidung deutlich vereinfachen.

- für 19"-Geräte mit einem vollduplex Durchsatz von 100G liegen sie zwischen €70'000 und €95'000
- für 19"-Geräte mit einem vollduplex Durchsatz von 40G liegen sie zwischen €40'000 und €49'000
- für 19"-Geräte mit einem vollduplex Durchsatz von 10G pro Port und mehreren Ports liegen sie zwischen €24'000 und €49’000
- für 19"-Geräte mit einem vollduplex Durchsatz von 10G liegen sie zwischen €24'000 und €30'000
- für 19"-Geräte mit einem vollduplex Durchsatz von 1G liegen sie zwischen €13'000 und €20'000 und
- die Preise für 100M-Lösungen liegen zwischen €4'500 und €9’000

Kompaktgeräte mit externem Netzteil liegen je nach Anbieter zwischen 20-50% unter den Preisen für 19"-Geräte mit redundanter Stromversorgung. Die Grösse des Preisunterschieds hängt dabei auch davon ab, ob sich der Preis des 19"-Geräts am oberen Ende der marktüblichen Preisspanne bewegt. Diese Preise sind für dedizierte Komplettsysteme, inklusive Authentisierung, Schlüsselverwaltung und Echtzeit-Verschlüsselung.

11.2. Betriebskosten

Der zu bezahlende Gerätepreis ist aber ein Teil der Kosten. Bei einer durchschnittlichen Einsatzdauer von 6-8 Jahren sind die Betriebskosten ein substantieller Teil der Gesamtkosten. Die Kosten für Wartungsverträge sowie auch die Kosten für ungeplante Wartungsfenster sind Teil der Gesamtkosten. Die Betriebskosten selbst bestehen einerseits aus den direkten Betriebskosten des Geräts (Garantiedauer, Garantieumfang, Garantieerweiterung, SLA, etc.) und andererseits aus den Leitungskosten. Geräte, welche eine Linienkonsolidierung erlauben, können erheblich tiefere Leitungskosten nach sich ziehen. Werden die Kosten nach betriebswirtschaftlichen Kriterien berechnet, so sind insbesondere die Wartungskosten und die Leitungskosten ein wichtiger Kostenbestandteil.
Die Betriebskosten sind schwerer zu berechnen als die Gerätekosten, da auch Opportunitätskosten miteinbezogen werden müssen. So z.B., wenn über eine längere Distanz dedizierte Linien verwendet werden müssen, weil der Verschlüssler nicht mit einem kostengünstigeren Transportnetzwerk harmoniert.

11.3. Garantiedauer und Garantieumfang

Auch bei der Garantiedauer, beim Garantieumfang und dem inkludierten Wartungsvertrag ist die Kostenstruktur je nach Anbieter verschieden. Dies kann zu versteckten Unterschieden von 10%-20% des Preises ausmachen.

11.4. Berechnungsgrundlage

Grundsätzlich sollten die Gesamtkosten (Anschaffungskosten und Wartungsvertrag) über drei, fünf und acht Jahre angeschaut werden. Dies aufgrund der Langlebigkeit der meisten spezialisierten Appliances, Zu den Gesamtkosten gehören der Kaufpreis (inklusive Management-Software), die Supportverträge und die Kosten für zusätzliche Schutzmassnahmen, die allenfalls für eine volle Absicherung auch gegen Denial of Service (DoS) benötigt werden.

Der Dank des Autors gilt den vielen Leuten, die diese Marktübersicht erst möglich gemacht haben:

Michael Braun (atmedia), Mike Churillo (ViaSat), Jörg Friedrich (atmedia), Gabi Gerber (Security Interest Group Switzerland/SIGS), Andreas Graubner (Rohde & Schwarz), Harald Herrmann (Rohde & Schwarz), Christoph Hugenschmidt (Inside-IT), Denis Kolegov, Felix Jaggi, Ronald Kuhls (Rohde & Schwarz), Ivan Pepelnjak (IPSpace.net), David Musketa (Secunet), sowie den unzähligen anderen, die dieses Projekt in der einen oder anderen Form unterstützt haben.

Die Vollversion der Marktübersicht ist für qualifizierte Organisationen auf Anfrage beim Autor kostenpflichtig erhältlich.

Kapitel 3: Tabellen

Nachfolgend die Tabellen mit den Informationen zu den einzelnen Anbietern in alphabetischer Reihenfolge. Dazu noch eine Tabelle mit den Funktionalitätsdaten von MACsec EDE. Die Tabellen entsprechen dem, wie sie von den Anbietern ausgefüllt wurden oder wie sie von der IEEE für MACsec definiert wurden.

Alle aufgeführten Anbieter haben das Formular zum Ausfüllen erhalten. Für Anbieter, die sich entschieden haben, das Formular nicht auszufüllen, gibt es ein leeres Formular, das mit diesem Anbieter für einen RFI verwendet werden kann.

2022 Market Overview Layer 2 Encryption: For Carrier Ethernet, MPLS and IP

atmedia

	Virtual Appliance	A100MC	A100M	A100MF	A1G	A10G	A4x10G	A40G	A100G
Line Interface/Supported Line Rates									
10 Mbs	✓	✓/RJ45	✓/RJ45	✓/SFP	✓/SFP				
100 Mps	✓	✓/RJ45	✓/RJ45	✓/SFP	✓/SFP	✓/SFP+			
1 Gbps	✓	✓/RJ45	✓/RJ45	✓/SFP	✓/SFP	✓/SFP+	✓/SFP+		
4 x 1 Gbps	✓								
10 Gbps	✓				✓/SFP+	✓/SFP+	✓/SFP+	✓/QSFP+	✓/QSFP28
25 Gps	✓								✓/QSFP28
4 x 10 Gbps	✓						✓/SFP+		
40 Gbps	✓							✓/QSFP+	✓/QSFP28
100 Gbps	✓								✓/QSFP28
Virtual Appliance	✓								✓
Supported Network Topologies (single-port)									
Point-to-Point (P2P)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Point-to-Multipoint (P2MP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Multipoint (MP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported Network Topologies (multi-port/per port)									
Point-to-Point (P2P)							✓		
Point-to-Multipoint (P2MP)							✓		
Multipoint (MP)							✓		
Supported Metro Ethernet Topologies									
Port-based									
Ethernet Private Line (EP-Line)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Private Tree (EP-Tree)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Private LAN (EP-LAN)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
VLAN-based									
Ethernet Virtual Private Line (EVP-Line)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Virtual Private Tree (EVP-Tree)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Virtual Private LAN (EVP-LAN)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported Networks (Encryption)									
Ethernet	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MPLS (MPLSoE)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MPLS (MPLSoIP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IPv4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IPv6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported Networks (Transport of Encrypted Frame)									
Ethernet (native)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MPLS (EoMPLS)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IPv4 (including EoIP and MPLSoIP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TCP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
UDP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IPv6 (including EoIP and MPLSoIP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TCP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
UDP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported Usage Scenarios									
Single tenant	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Multi-tenant	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
per port	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
per VLAN	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Self-managed	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Managed encryption service	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Managed security service	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Platform

Platform used									
	Mainboard/Firmware	atmedia	atmedia/atmedia	atmedia/atmedia	atmedia/atmedia	atmedia/atmedia	atmedia/atmedia	atmedia/atmedia	atmedia	atmedia
	Key Management	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia
Operating Modes									
	Line Mode	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Multipoint Mode	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Data Plane Encryption Standard and Processing

Encryption Standard									
	Block Cipher	AES	AES	AES	AES	AES	AES	AES	AES	AES
	Preferred Mode of Operation	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
	Alternative Mode of Operation									
	Key Length (in bit)	256	256	256	256	256	256	256	256	256
Processing Method									
	cut-through	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	store&forward	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Encryption Hardware									
	FPGA		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	ASIC	✓								✓
	CPU	✓								✓
Latency									
Latency P2P Mode	cut-through	N/A	<42µs	<8µs	<42µs	<8µs	<4µs	<4µs	<2µs	N/A
	store & forward	N/A	<48µs	<9µs	<48µs	<9µs	<4µs	<4µs	<2µs	N/A
Latency MP Mode	cut-through	N/A	<42µs	<8µs	<42µs	<8µs	<4µs	<4µs	<2µs	N/A
	store & forward	N/A	<48µs	<9µs	<48µs	<9µs	<4µs	<4µs	<2µs	N/A
Performance Documentation									
Ethernet Throughput & Latency Data available		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
RFC 2544 Throughput & Latency Data available		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Encryption Modes

Native Ethernet Encryption

Frame Encryption (Bulk - P2P only)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
	Authentication length (bytes)	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	AAD (additional authenticated data)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Replay protection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Variable replay window (size)	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s
	Counter length (in bytes)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Registered Ethertype	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Frame overhead (authenticated encryption)	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28
	Ethernet multi-hop support	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Transport (Payload only)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Max. number of peers	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	Max. number of MAC Addresses	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Max. number of VLAN IDs	unlimited	256	unlimited	256	unlimited	256	unlimited	256	unlimited
	Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
	Authentication length (bytes)	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	AAD (additional authenticated data)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Replay protection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Variable replay window (size)	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s
	Definable encryption offset (fixed)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Variable encryption offset	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Adaptive encryption offset based on frame content	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Registered EtherType	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Counter length (in bytes)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Frame overhead authenticated encryption (AE)	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28
	Ethernet multi-hop support	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tunnel (Ethernet over Ethernet)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Max. number of peers	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	Max. number of MAC Addresses	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Max. number of VLAN IDs	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
	Authentication length (bytes)	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	AAD (additional authenticated data)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Replay protection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Variable replay window (size)	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s
	Registered Ethertype	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Counter length (in bytes)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Frame overhead authenticated encryption (AE)	32/40*	32/40*	32/40*	32/40*	32/40*	32/40*	32/40*	32/40*	32/40*
	Ethernet multi-hop support	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Ethernet over IP (EoIP)

Tunnel (Ethernet over IP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported transmission protocols (UDP/TCP)	native IP/UDP	native IP/UDP	native IP/UDP	native IP/UDP	native IP/UDP	native IP/UDP	native IP/UDP	native IP/UDP	native IP/UDP
Max. number of peers	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)
Max. number of MAC Addresses	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
Max. number of VLAN IDs	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
Authentication length (bytes)	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
AAD (additional authenticated data)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Replay protection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Variable replay window (size)	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s
Registered Ethertype	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Counter length (in bytes)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Frame overhead authenticated encryption (AE)	54/62*	54/62*	54/62*	54/62*	54/62*	54/62*	54/62*	54/62*	54/62*
Ethernet multi-hop support	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Native IP Encryption

Supported IP versions									
IPv4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IPv6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported transmission protocols									
TCP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
UDP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Transport Mode									
Maximum number of peers	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
Maximum number of IP addresses	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
Maximum number of multicast groups	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
Authentication length (bytes)	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
Additional Authenticated Data (header)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Replay Protection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Variable replay window (size)	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s
Counter length (in bytes)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Packet overhead authenticated encryption (AE)	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28
Transport Tunnel Mode									
Maximum number of peers	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
Maximum number of IP addresses	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
Maximum number of multicast groups	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
Authentication length (bytes)	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
Additional Authenticated Data (header)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Replay Protection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Variable replay window (size)	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s
Counter length (in bytes)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Packet overhead authenticated encryption (AE)	IPv4: 40/48 IPv6:60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6:60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6:60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6:60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6:60/68

Selective Processing (Encryption, Pass, Discard)

Based on MAC Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on VLAN ID	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on Ethertype	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on Multicast Group	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on Presence of MPLS Tag	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on IP Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Combination of multiple selection criteria	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Mixed Ethernet, MPLS, EoIP and IP Support

Based on VLAN ID									
MPLS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
EoIP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on presence of MPLS tag									
MPLS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
EoIP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on VLAN ID and presence of MPLS tag									
MPLS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
EoIP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Extended Security Features									
AES S-box customization									
Customizable AES S-box		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Traffic Masking									
Method									
	Fixed MTU size	N/A**	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Synthetic traffic injection	N/A**	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported topologies									
	P2P	N/A**	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	P2MP	N/A**	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Control Plane Options and Security									
Control Plane Options									
	In-band	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Out-of-band	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Option to separate key exchange from control plane	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Protection layer (in-band)									
	Ethernet (layer 2)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP (layer 3)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Transport (layer 4)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Encryption Hardware (in-band)									
	FPGA		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	ASIC	✓								✓
	CPU	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Encryption (in-band)									
	Separate from data plane encryption	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Same protection level as data plane encyption	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
DoS Resiliency (in-band)									
	line rate		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Auto-discovery									
Auto-discovery of network encryptors		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Auto-discovery of key servers		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Auto-discovery of VLANs		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Disabling of auto-discovery		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Key Server									
Integrated Key Server		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Support for external Key Server		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
External Key Server										
Support for multiple distributed Key Servers		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Support for fail-over to back-up Key Server		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Number of backup key servers									
	Number of hierarchy levels of backup key servers									
Autonomous operation		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Key Management									
Key Generation and Storage									
Hardware Random Number Generation		with SC/HSM	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tamper Security Key Storage (tamper-evident or tamper-proof)		with SC/HSM: TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP
Asymmetric Key Algorithms (Public Key Cryptography)									
Elliptic Curve Cryptography (ECC)									
	Key length	512/521	512/521	512/521	512/521	512/521	512/521	512/521	512/521	512/521
	Key strength (in bit)	256	256	256	256	256	256	256	256	256
Supported Curves:										
	NIST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Brainpool	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Custom Curves	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Hash Algorithms										
SHA-2	Key length	512	512	512	512	512	512	512	512	512
	Key strenght (Image/Collision Resistance)	512/256	512/256	512/256	512/256	512/256	512/256	512/256	512/256	512/256
CBC-MAC-GCM										
	Key length	256	256	256	256	256	256	256	256	256
	Key strength	256	256	256	256	256	256	256	256	256
Device Authentication										
Symmetric Signature: Pre-shared Key (PSK)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Maximum number of PSKs per encryptor	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)
	Key length	256	256	256	256	256	256	256	256	256
	Key strenght (in bit)	256	256	256	256	256	256	256	256	256
Asymmetric Signature: Certificate		optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional
	Maximum number of certificates per encryptor	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)
	Key lenght	512	512	512	512	512	512	512	512	512
	Key strenght (in bit)	256	256	256	256	256	256	256	256	256
Ad-hoc authentication of peers (manual)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Signature key protocol		AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****
Key Agreement and Key Exchange										
Master Key (KEK) Agreement		ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****
Master Key (KEK) Exchange Protocol		atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia
Automatic Change of Master Key		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Minimum suggested Time Interval for Master Key Change (min)		60	60	60	60	60	60	60	60	60
Separate Master Key (KEK) per site		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Separate Master Key (KEK) per group		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Session Key (DEK) Exchange Agreement		atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia
Session Key (DEK) Exchange Protocol		atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia
Automatic Change of Session Keys		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Minimum Time Interval for Session Key Change (min)		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Quantum-safe Key Exchange										
Symmetric Encryption of Asymmetric Key Exchange		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
QKD (optical short range only)										
Quantum-safe Key Exchange Algorithm		✓ (Frodo; on-demand)	✓ (Frodo; on-demand)	✓ (Frodo; on-demand)	✓ (Frodo; on-demand)	✓ (Frodo; on-demand)	✓ (Frodo; on-demand)	✓ (Frodo; on-demand)	✓ (Frodo; on-demand)	✓ (Frodo; on-demand)
Key Exchange Options										
In-band		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Out-of-band		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Key exchange via raw Ethernet		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
In-band key exchange via IP	IPv4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IPv6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Key System										
Point-to-Point Key System										
Supported key system										
	Pairwise	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group
Key assignment based on:										
	MAC Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	VLAN ID	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Port	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Point-to-Multipoint Key System										
Supported key systems:										
	Pairwise	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group
Key assignment based on:										
	MAC Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	VLAN ID	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Port	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Point-to-Multipoint Key System										
Supported key systems:										
	Pairwise	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group
Key assignment based on:										
	MAC Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	VLAN ID	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Port	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Multipoint Key System										
Supported key systems:										
	Pairwise	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group
	Mixed (pairwise unicast, group multicast)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Key assignment based on:										
	MAC address (pairwise and mixed)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Multicast groups (mixed)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	VLAN ID (group)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Port	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group (group)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Multicast Group	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Individual key per multicast group		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Individual key per broadcast group (VLAN ID)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Group Key System Specifics										
Additional separate authentication per group		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Group Membership Definition										
	Multicast group membership	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Individual membership	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Network membership	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	VLAN membership	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Trunked VLAN membership	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Exclusion										
	MAC address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	VLAN ID	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Frames with MPLS tag	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Muticast Group	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Group Key Distribution										
	Unicast (unique KEK per group member)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Broadcast (same KEK for all group members)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Network Support										
Bump in the Wire deployment		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Jumbo Frame Support		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Flow Control via PAUSE		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tagging of untagged frames		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Fragmentation/Defragmentation		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Point-to-Point	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Point-to-Multipoint	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Multipoint	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Dead Peer Detection		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Optical Loss Pass-Through		N/A	N/A	N/A	N/A	✓	✓	✓	✓	✓
Link Loss Carry Forward		N/A	✓	✓	✓	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

System Configuration and Management Access										
IPv4		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IPv6		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Out-of-band Management		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	RS-232/V.24	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Separate Ethernet port	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Smart Card (Secure Card) Support		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
USB Port		✓						✓	✓	✓
In-band Management		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	SSH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	SNMP (read-only/read-write)	read-only	read-only	read-only	read-only	read-only	read-only	read-only	read-only	read-only
	TLS									
	Proprietary	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Remote Monitoring (SNMP)		v2c/v3	v2c/v3	v2c/v3	v2c/v3	v2c/v3	v2c/v3	v2c/v3	v2c/v3	v2c/v3
Logs										
Event Log (local)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Audit Log (local)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Syslog Support (Server)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Unit										
Height in 19" Rack		N/A	1U	1U	1U	1U	1U	1U	1U	1U
Number of external encrypted Ethernet ports		unrestricted	1	1	1	1	1	1-4	1-4	1-4
Physical Device Access		N/A	back	back	front	front	front	front	front	front
Redundant Power Supply		dependent on server			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Redundant, hot-swappable power supply		dependent on server			✓	✓	✓	✓	✓	✓
High Availability functionality (two-node cluster)		1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1
MTBF		N/A	> 50.000h	> 50.000h	> 50.000h	> 50.000h	> 50.000h	> 50.000h	> 50.000h	> 50.000h
Tamper Security		N/A	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP
Security Approvals		N/A			BSI VS-NfD, NATO restricted, EU Restrint (including 2nd Evaluation by NL)					
Safety Approvals		N/A			EN55032 Class B, FCC Part 15 Class B, ROHS					
Boot Time										
	Cold boot until operational (P2P)	N/A	25s	25s	25s	25s	25s	25s	25s	25s
	Warm boot until operational (P2P)	N/A	27s	27s	27s	27s	27s	27s	27s	27s
Management Software										
User Interface	Native PC application	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Embedded Webapp									
	CLI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Initial Device Set-up										
	Local (out-of-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Remote (out-of-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Device Configuration										
	Local (out-of-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Remote (in-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Remote (out-of-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Management Access										
	Role-based access	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Identity-based authentication of user	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Number of hierarchy levels	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Number of roles	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Strict internal separation of users	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Device Management										
	Device Diagnostics	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Link Monitoring (SNMP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Connection Diagnostics	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	In-band Network Diagnostics	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Remote Update/Upgrade	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Certificate Authority & Management		optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional
	Certificate Creation	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional
	Certificate Management	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional
Key Management										
	Group creation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group isolation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Key assignment	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Fail-over configuration	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Price										
List Price Encryption Unit (in €)		on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request
Per external Key Server (in €); optional, no requirement		on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request
Required Management Software										
	2-10 encryptors	included	included	included	included	included	included	included	included	included
	11-25 encryptors	included	included	included	included	included	included	included	included	included
	26-50 encryptors	included	included	included	included	included	included	included	included	included
	51+ encryptors	included	included	included	included	included	included	included	included	included
Warranty Period (months)		24	24	24	24	24	24	24	24	24
Warranty Coverage	Parts & Work	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Basic Support (9 to 5, e-mail, phone)	on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request
	Software updates and upgrades	on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request
Warranty Extension (per year)		on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request

2022 Market Overview Layer 2 Encryption: For Carrier Ethernet, MPLS and IP

Rohde & Schwarz

	SITLine ETH50	SITLine ETH4G	SITLine ETH40G	SITLine ETH-S	SITLine ETH-L	SITLine ETH-XL	SITLine IP 100M	SITLine IP1G	SITLine IP10G
Line Interface/Supported Line Rates									
10 Mbs	✓	✓		✓		✓	✓	✓	
100 Mps	✓	✓		✓		✓	✓	✓	
1 Gbps		✓		✓		✓		✓	
4 x 1 Gbps		✓				✓ (2x)			
10 Gbps			✓		✓	✓			✓
4 x 10 Gbps			✓		✓	✓ (2x)			
25 Gps									
40 Gbps									
100 Gbps						✓ (2x)			
Virtual Appliance	-	-	-	-	-	-		-	-
Supported Network Topologies (single-port)									
Point-to-Point (P2P)	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Point-to-Multipoint (P2MP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Multipoint (MP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Supported Network Topologies (multi-port/per port)									
Point-to-Point (P2P)		✓	✓		✓	✓			
Point-to-Multipoint (P2MP)		✓	✓		✓	✓			
Multipoint (MP)		✓	✓		✓	✓			
Supported Metro Ethernet Topologies									
Port-based									
Ethernet Private Line (EP-Line)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Ethernet Private Tree (EP-Tree)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Ethernet Private LAN (EP-LAN)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
VLAN-based									
Ethernet Virtual Private Line (EVP-Line)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Ethernet Virtual Private Tree (EVP-Tree)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Ethernet Virtual Private LAN (EVP-LAN)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Supported Networks (Encryption)									
Ethernet	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
MPLS (MPLSoE)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
MPLS (MPLSoIP)									
IPv4							✓	✓	✓
IPv6							✓	✓	✓
Supported Networks (Transport of Encrypted Frame)									
Ethernet (native)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
MPLS (EoMPLS)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
IPv4 (including EoIP and MPLSoIP)									
TCP							✓	✓	✓
UDP							✓	✓	✓
IPv6 (including EoIP and MPLSoIP)									
TCP							✓	✓	✓
UDP							✓	✓	✓
Supported Usage Scenarios									
Single tenant	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Multi-tenant									
per port									
per port per VLAN									
Self-managed	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Managed encryption service	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Managed security service	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Platform

Platform used

Mainboard/Firmware	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S
Key Management	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S

Operating Modes

Line Mode	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S
Multipoint Mode	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S	R&S

Data Plane Encryption Standard and Processing

Encryption Standard

Block Cipher	AES	AES	AES	AES	AES	AES	AES	AES	AES
Preferred Mode of Operation	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
Alternative Mode of Operation									
Key Length (in bit)	256	256	256	256	256	256	256	256	256

Processing Method

cut-through		✓	✓			✓			
store&forward	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Encryption Hardware

FPGA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ASIC									
CPU									

Latency

Latency P2P Mode	cut-through					3µ			
	store & forward	16µ-85µ	4µ-10µ	4µ-10µ	16µ-85µ	4µ-10µ		<150µs	<35µs	<10µs
Latency MP Mode	cut-through					3µ			
	store & forward	16µ-85µ	4µ-10µ	4µ-10µ	16µ-85µ	4µ-10µ			

Performance Documentation

Ethernet Throughput & Latency Data available	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
RFC 2544 Throughput & Latency Data available	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓

Encryption Modes

Native Ethernet Encryption

Frame Encryption (Bulk - P2P only)

Transport (Payload only)

Max. number of peers	256	4000	4000	1000	4000	8000			
Max. number of MAC Addresses	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited			
Max. number of VLAN IDs	256	4000	4000	1000	4000	4000			
Integrity protection (algorithm)	AES-GCM	AES-GCM	AES-GCM	AES-GCM	AES-GCM	AES-GCM			
Authentication length (bytes)	8-16	8-16	8-16	8-16	8-16	8-16			
AAD (additional authenticated data)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Replay protection	3 frames per channel and priority	3 frames per channel and priority	3 frames per channel and priority	3 frames per channel and priority	3 frames per channel and priority	3 frames per channel and priority			
Variable replay window (size)			-	-	-	-			
Definable encryption offset (fixed)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Variable encryption offset	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Adaptive encryption offset based on frame content									
Registered EtherType	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Counter length (in bytes)									
Frame overhead authenticated encryption (AE)	18-26 (P2P), 28-36 (MP)	18-26 (P2P), 28-36 (MP)	18-26 (P2P), 28-36 (MP)	18-26	18-26	18-26			
Ethernet multi-hop support	✓	✓	✓	✓	✓	✓			

Tunnel (Ethernet over Ethernet)

Max. number of peers	256	4000	4000	1000	4000	8000			
Max. number of MAC Addresses	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited			
Max. number of VLAN IDs	256	4000	4000	1000	4000	4000			
Integrity protection (algorithm)	AES-GCM	AES-GCM	AES-GCM	AES-GCM	AES-GCM	AES-GCM			
Authentication length (bytes) (n)	8-16	8-16	8-16	8-16	8-16	8-16			
AAD (additional authenticated data)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Replay protection	3 frames per channel and priority	3 frames per channel and priority	3 frames per channel and priority	3 frames per channel and priority	3 frames per channel and priority	3 frames per channel and priority			
Variable replay window (size)									
Registered Ethertype	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Counter length (in bytes)									
Frame overhead authenticated encryption (AE)	30-38	30-38	30-38	30-38	30-38	30-38			
Ethernet multi-hop support	✓	✓	✓	✓	✓	✓			

Ethernet over IP (EoIP)

Tunnel (Ethernet over IP)

Native IP Encryption										
Supported IP versions										
	IPv4							✓	✓	✓
	IPv6							✓	✓	✓
Supported transport protocols										
	TCP							✓	✓	✓
	UDP							✓	✓	✓
Transport Mode										
	Mximum number of peers							4000	4000	4000
	Maximum number of IP addresses							unlimited	unlimited	unlimited
	Maximum number of multicast groups							unlimited	unlimited	unlimited
	Integrity protection (algorithm)							AES-GCM	AES-GCM	AES-GCM
	Authentication length (bytes) (n)							8-16	8-16	8-16
	Additional Authenticated Data (header)							✓	✓	✓
	Replay Protection							✓	✓	✓
	Variable replay window (size)									
	Counter length (in bytes)							6	6	6
	Packet overhead authenticated encryption (AE)							20-28	20-28	20-28
Transport Tunnel Mode										
Selective Processing (Encryption, Pass, Discard)										
Based on MAC Address								✓	✓	✓
Based on VLAN ID								✓	✓	✓
Based on Ethertype								✓	✓	✓
Based on Multicast Group								✓	✓	✓
Based on Presence of MPLS Tag										
Based on IP Address								✓	✓	✓
Combination of multiple selection criteria								✓	✓	✓
Mixed Ethernet, MPLS, EoIP and IP Support										
Based on VLAN ID										
	MPLS									
	EoIP									
	IP									
Based on presence of MPLS tag										
	MPLS									
	EoIP									
	IP									
Based on VLAN ID and presence of MPLS tag										
	MPLS									
	EoIP									
	IP									
Extended Security Features										
AES S-box customization										
Customizable AES S-box		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Traffic Flow Security										
Method										
	Fixed MTU size									
	Synthetic traffic injection									
Supported topologies										
	P2P									
	P2MP									

Control Plane Options and Security

Control Plane Options										
	In-band	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Out-of-band	✓	✓							
	Option to separate key exchange from control plane Die Control Plane ist die Kommunikation der Daten zwischen den Verschlüsslern. Dazu gehört auch der Schlüsselaustausch. Man kann den Schlüsselaustausch allerdings via Management Plane auf ein anderes Netzwerk legen.und dort voerschlüsseln.									
Protection layer (in-band)										
	Ethernet (layer 2)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	IP (layer 3)							✓	✓	✓
	Transport (layer 4)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Encryption Hardware (in-band)										
	FPGA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ASIC									
	CPU	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Encryption (in-band)										
	Separate from data plane encryption	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Same protection level as data plane encyption	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
DoS Resiliency (in-band)										
	line rate	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Auto-discovery

Auto-discovery of network encryptors	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Auto-discovery of key servers	each peer is a key server	each peer is a key server	each peer is a key server	each peer is a key server	each peer is a key server	each peer is a key server	each peer is a key server	each peer is a key server	each peer is a key server
Auto-discovery of VLANs									
Disabling of auto-discovery									

Key Server

Integrated Key Server	✓	✓	✓	x	x	x		x	x
Support for external Key Server									
External Key Server									
Support for multiple distributed Key Servers	✓	✓	✓	x	x	x		x	x
Support for fail-over to back-up Key Server	not applicable	not applicable	not applicable	not applicable	not applicable	not applicable	not applicable	not applicable	not applicable
Number of backup key servers									
Number of hierarchy levels of backup key servers									
Autonomous operation	x	✓	✓	x	x	x		x	x

Key Management

Key Generation and Storage									
Hardware Random Number Generation	TRG.3/DRG.4	TRG.3/DRG.4	TRG.3/DRG.4	TRG.3/DRG.4	TRG.3/DRG.4	TRG.3/DRG.4	TRG.3/DRG.4	TRG.3/DRG.4	TRG.3/DRG.4
Tamper Security Key Storage (tamper-evident or tamper-proof)	tamper-proof	tamper-proof	tamper-proof	tamper-proof	tamper-proof	tamper-proof	tamper-proof	tamper-proof	tamper-proof
Asymmetric Key Algorithms (Public Key Cryptography)									
RSA									
Key length									
Key strength (in bit)									
Elliptic Curve Cryptography (ECC)									
Key length	257	257	257	384/512	384/512	384/512	384/512	384/512	384/512
Supported Curves:									
NIST				✓	✓	✓	✓	✓	✓
Brainpool				✓	✓	✓	✓	✓	✓
Custom Curves	✓	✓	✓						
Hash Algorithms									
SHA-2 Key length	256	256	256	384/512	384/512	384/512	384/512	384/512	384/512
Key strenght (Image/Collision Resistance)	128	128	128	192/256	192/256	192/256	192/256	192/256	192/256

Device Authentication									
Symmetric Signature: Pre-shared Key (PSK)									
	Maximum number of PSKs per encryptor								
	Key length								
	Key strenght (in bit)								
Asymmetric Signature: Certificate		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Maximum number of certificates per encryptor	1	1	1	4	4	4	4	4	4
	Key lenght	257	257	257	384/512	384/512	384/512	384/512	384/512	384/512
	Key strenght (in bit)									
Ad-hoc authentication of peers (manual)										
Signature key protocol		EC-DSA	EC-DSA	EC-DSA	EC-DSA	EC-DSA	EC-DSA	EC-DSA	EC-DSA	EC-DSA
Key Agreement and Key Exchange										
Master Key (KEK) Agreement		EC-DH	EC-DH	EC-DH	EC-DH	EC-DH	EC-DH	EC-DH	EC-DH	EC-DH
Master Key (KEK) Exchange Protocol		EC-GDSA	EC-GDSA	EC-GDSA	EC-GDSA	EC-GDSA	EC-GDSA	EC-GDSA	EC-GDSA	EC-GDSA
Automatic Change of Master Key		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Minimum suggested Time Interval for Master Key Change (min)		6h	6h	6h	6h	6h	6h	10h (default)	10h (default)	10h (default)
Separate Master Key (KEK) per site		✓	✓	v	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Separate Master Key (KEK) per group		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Session Key (DEK) Exchange Agreement										
Session Key (DEK) Exchange Protocol		prop	prop	prop	prop	prop	prop	prop	prop	prop
Automatic Change of Session Keys		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Minimum Time Interval for Session Key Change (min)		1 min	1 min	1 min	1 min	1 min	1 min	1 min	1 min	1 min
Quantum-safe Key Exchange										
Symmetric Encryption of Asymmetric Key Exchange					✓ (QKD-ready)	✓ (QKD-ready)	✓ (QKD-ready)			
QKD (optical short range only)										
Quantum-safe Key Exchange Algorithm										
Key Exchange Options										
In-band		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Out-of-band										
Key exchange via raw Ethernet		✓	✓	✓	✓	✓	✓			
In-band key exchange via IP	IPv4							✓	✓	✓
	IPv6							✓	✓	✓
Key System										
Point-to-Point Key System										
Supported key system										
	Pairwise	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group									
Key assignment based on:										
	MAC Address									
	VLAN ID	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Port	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	Group							✓	✓	✓
	IP Address							✓	✓	✓
Point-to-Multipoint Key System										
Supported key systems:										
	Pairwise	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group	unidirectional group	unidirectional group	unidirectional group	unidirectional group	unidirectional group	unidirectional group	unidirectional group	unidirectional group	unidirectional group
Key assignment based on:										
	MAC Address									
	VLAN ID	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Port	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	Group							✓	✓	✓
	IP Address							✓	✓	✓

Multipoint Key System									
Supported key systems:									
Pairwise	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Group	unidirectional group	unidirectional group	unidirectional group	unidirectional group	unidirectional group	unidirectional group	unidirectional group	unidirectional group	unidirectional group
Mixed (pairwise unicast, group multicast)									
Key assignment based on:									
MAC address (pairwise and mixed)									
Multicast groups (mixed)									
VLAN ID (group)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Port	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Group (group)									
IP Address							✓	✓	✓
IP Multicast Group							✓	✓	✓
Individual key per multicast group									
Individual key per broadcast group (VLAN ID)									
Group Key System Specifics									
Additional separate authentication per group									
Group Membership Definition									
Multicast group membership							✓	✓	✓
Individual membership	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Network membership							✓	✓	✓
VLAN membership							✓	✓	✓
Trunked VLAN membership									
IP Address							✓	✓	✓
Exclusion									
MAC address									
VLAN ID									
Frames with MPLS tag									
IP Address									
IP Muticast Group									
Group Key Distribution									
Unicast (unique KEK per group member)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Broadcast (same KEK for all group members)									
Network Support									
Bump in the Wire deployment	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Jumbo Frame Support	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Flow Control via PAUSE				✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tagging of untagged frames									
Ethernet Fragmentation/Defragmentation							✓	✓	✓
Point-to-Point							✓	✓	✓
Point-to-Multipoint							✓	✓	✓
Multipoint							✓	✓	✓
Dead Peer Detection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Optical Loss Pass-Through	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Link Loss Carry Forward	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
System Configuration and Management Access									
Over IPv4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Over IPv6				✓	✓	✓	✓	✓	✓
Out-of-band Management									
RS-232/V.24				✓		✓			
Separate Ethernet port		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Smart Card (Secure Card) Support	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
USB Port				✓	✓	✓	✓	✓	✓
In-band Management									
SSH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SNMP (read-only/read-write)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TLS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Proprietary									
Remote Monitoring (SNMP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Logs

Event Log (local)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Audit Log (local)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Syslog Support (Server)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Unit

Height in 19" Rack	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Number of external encrypted Ethernet ports	1	1-4	1-4	1	1-4	1-8	1	1	1
Physical Device Access (front/back)	front	front	front	front	front	front	front	front	front
Redundant Power Supply	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Redundant, hot-swappable power supply	(x)	✓	✓	(x)	✓	✓	✓	✓	✓
High Availability functionality (two-node cluster)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
MTBF	350000 h	185000 h	185000 h	660000 h	98000 h		98000 h	98000 h	98000 h
Tamper Security	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP
Security Approvals	BSI, NATO, EU	BSI, NATO, EU	BSI, NATO, EU	BSI, NATO, EU	BSI, NATO, EU	BSI, NATO, EU		BSI, NATO	BSI, NATO
Safety Approvals	CE	CE	CE	CE	CE	CE		CE	CE
Boot Time									
Cold boot until operational (P2P)	2 min	1-2 min	1-2 min	1 min	1 -2 min	1 -2 min	1 -2 min	1 -2 min	1 -2 min
Warm boot until operational (P2P)	2 min	1-2 min	1-2 min	1 min	1 -2 min	1 -2 min	1 -2 min	1 -2 min	1 -2 min

Management Software

User Interface	Native PC application (applets)	✓	✓	✓					
	Embedded Webapp				✓	✓	✓	x	x	x
	CLI									
Initial Device Set-up										
	Local (out-of-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x
	Remote (out-of-band)									
Device Configuration										
	Local (out-of-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x
	Remote (in-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x
	Remote (out-of-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x
Management Access										
	Role-based access	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x
	Identity-based authentication of user	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x
	Number of hierarchy levels (Hierarchiestufen pro Rolle)	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Number of roles	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Strict internal separation of users	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	x
Device Management										
	Device Diagnostics	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Link Monitoring (SNMP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Connection Diagnostics	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	In-band Network Diagnostics									
	Remote Update/Upgrade	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Certificate Authority & Management										
	Certificate Creation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Certificate Management	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Key Management										
	Group creation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group isolation				✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Key assignment									
	Fail-over configuration	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Price

List Price Encryption Unit (in €)	kA	kA	kA	kA	kA	kA	kA	kA	kA
Per external Key Server (in €); optional, no requirement									
Required Management Software	R&S SITScope	R&S SITScope	R&S SITScope	R&S Trusted Objects Manager	R&S Trusted Objects Manager	R&S Trusted Objects Manager	R&S Trusted Objects Manager	R&S Trusted Objects Manager	R&S Trusted Objects Manager
2-10 encryptors									
11-25 encryptors									
26-50 encryptors									
51+ encryptors									
Warranty Period (months)	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Warranty Coverage	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Basic Support (9 to 5, e-mail, phone, ticketsystem)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Software updates and upgrades	updates	updates	updates	updates	updates	updates	updates	updates	updates
Warranty Extension (per year)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

2022 Market Overview Layer 2 Encryption: For Carrier Ethernet, MPLS and IP

Secunet

	SINA L2 Box S 50M-2	SINA L2 Box S 1G-3	SINA L2 Box S 10G-3	SINA L2 Box S 4x1G SFP	SINA L2 Box S 4x10G SFP	SINA L2 Box S 40G	SINA L2 Box S 100G
Line Interface/Supported Line Rates							
10 Mbs	✓ /RJ45	✓ /RJ45					
100 Mps	✓ /RJ45	✓/RJ45 (/SFP on request)					
1 Gbps	✓ /RJ45	✓ /RJ45 (/SFP on request)	✓/SFP+	✓4x /SFP			
4 x 1 Gbps				✓4x /SFP			
10 Gbps			✓ /SFP+		✓4x /SFP+	✓/QSFP+/SFP+	
25 Gps							✓ /QSFP28
4 x 10 Gbps					✓4x /SFP+	✓/QSFP+	
40 Gbps						✓/QSFP+	✓ /QSFP28
50 Gbps							✓/QSFP28
100 Gbps							✓/QSFP28/FEC
Virtual Appliance							
Supported Network Topologies (single-port)							
Point-to-Point (P2P)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Point-to-Multipoint (P2MP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Multipoint (MP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported Network Topologies (multi-port/per port)							
Point-to-Point (P2P)				✓	✓	(✓)	(✓)
Point-to-Multipoint (P2MP)				✓	✓	(✓)	(✓)
Multipoint (MP)				✓	✓	(✓)	(✓)
Supported Metro Ethernet Topologies							
Port-based							
Ethernet Private Line (EP-Line)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Private Tree (EP-Tree)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Private LAN (EP-LAN)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
VLAN-based							
Ethernet Virtual Private Line (EVP-Line)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Virtual Private Tree (EVP-Tree)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Virtual Private LAN (EVP-LAN)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported Networks (Encryption)							
Ethernet	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MPLS (MPLSoE)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MPLS (MPLSoIP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IPv4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IPv6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported Networks (Transport of Encrypted Frame)							
Ethernet (native)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MPLS (EoMPLS)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IPv4 (including EoIP and MPLSoIP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TCP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
UDP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IPv6 (including EoIP and MPLSoIP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TCP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
UDP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported Usage Scenarios							
Single tenant	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Multi-tenant	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
per port				✓	✓	✓	(✓)
per port per VLAN	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Self-managed	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Managed encryption service	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Managed security service	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Platform

Platform used								
	Mainboard/Firmware	atmedia/atmedia	atmedia/atmedia	atmedia/atmedia	atmedia/atmedia	atmedia/atmedia	atmedia/atmedia	atmedia/atmedia
	Key Management	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia
Operating Modes								
	Line Mode	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Multipoint Mode	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Data Plane Encryption Standard and Processing

Encryption Standard								
	Block Cipher	AES	AES	AES	AES	AES	AES	AES
	Preferred Mode of Operation	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
	Alternative Mode of Operation							
	Key Length (in bit)	256	256	256	256	256	256	256
Processing Method								
	cut-through	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	store&forward	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Encryption Hardware								
	FPGA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ASIC							
	CPU							
Latency								
Latency P2P Mode	cut-through	<42µs	<42µs	<4µs	<8µs	<4µs	<2µs	<2µs
	store & forward	<42µs	<48µs	<4µs	<9µs	<4µs	<2µs	<2µs
Latency MP Mode	cut-through	<42µs	<42µs	<4µs	<8µs	<4µs	<2µs	<2µs
	store & forward	<42µs	<48µs	<4µs	<9µs	<4µs	<2µs	<2µs
Performance Documentation								
Ethernet Throughput & Latency Data available		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
RFC 2544 Throughput & Latency Data available		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Encryption Modes

Native Ethernet Encryption

Frame Encryption (Bulk - P2P only)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
	Authentication length (bytes)	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	AAD (additional authenticated data)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Replay protection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Variable replay window (size)	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s
	Counter length (in bytes)	10	10	10	10	10	10	10
	Registered Ethertype	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Frame overhead (authenticated encryption)	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28
	Ethernet multi-hop support	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Transport (Payload only)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Max. number of peers	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	Max. number of MAC Addresses	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Max. number of VLAN IDs	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
	Authentication length (bytes)	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	AAD (additional authenticated data)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Replay protection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Variable replay window (size)	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s
	Definable encryption offset (fixed)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Variable encryption offset	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Adaptive encryption offset based on frame content	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Registered EtherType	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Counter length (in bytes)	10	10	10	10	10	10	10
	Frame overhead authenticated encryption (AE)	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28
	Ethernet multi-hop support	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tunnel (Ethernet over Ethernet)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Max. number of peers	32	32	32	32	32	32	32
	Max. number of MAC Addresses	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Max. number of VLAN IDs	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
	Authentication length (bytes)	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	AAD (additional authenticated data)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Replay protection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Variable replay window (size)	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s
	Registered Ethertype	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Counter length (in bytes)	10	10	10	10	10	10	10
	Frame overhead authenticated encryption (AE)	32/40*	32/40*	32/40*	32/40*	32/40*	32/40*	32/40*
	Ethernet multi-hop support	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Ethernet over IP (EoIP)

Tunnel (Ethernet over IP)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Supported transmission protocols (UDP/TCP)	native IP/UDP	native IP/UDP	native IP/UDP	native IP/UDP	native IP/UDP	native IP/UDP	native IP/UDP
	Max. number of peers	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)
	Max. number of MAC Addresses	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Max. number of VLAN IDs	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
	Authentication length (bytes)	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	AAD (additional authenticated data)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Replay protection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Variable replay window (size)	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s
	Registered Ethertype	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Counter length (in bytes)	10	10	10	10	10	10	10
	Frame overhead authenticated encryption (AE)	54/62*	54/62*	54/62*	54/62*	54/62*	54/62*	54/62*
	Ethernet multi-hop support	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Native IP Encryption

Supported IP versions								
	IPv4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IPv6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported transmission protocols								
	TCP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	UDP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Transport Mode								
	Mximum number of peers	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	Maximum number of IP addresses	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Maximum number of multicast groups	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
	Authentication length (bytes)	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	Additional Authenticated Data (header)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Replay Protection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Variable replay window (size)	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s
	Counter length (in bytes)	10	10	10	10	10	10	10
	Packet overhead authenticated encryption (AE)	IPv4: 40/48 IPv6:60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6:60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6:60/68
Transport Tunnel Mode								
	Mximum number of peers	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	Maximum number of IP addresses	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Maximum number of multicast groups	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
	Authentication length (bytes)	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	Additional Authenticated Data (header)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Replay Protection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Variable replay window (size)	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s
	Counter length (in bytes)	10	10	10	10	10	10	10
	Packet overhead authenticated encryption (AE)	IPv4: 40/48 IPv6:60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6:60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6:60/68

Selective Processing (Encryption, Pass, Discard)

Based on MAC Address		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on VLAN ID		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on Ethertype		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on Multicast Group		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on Presence of MPLS Tag		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on IP Address		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Combination of multiple selection criteria		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Mixed Ethernet, MPLS, EoIP and IP Support

Based on VLAN ID								
	MPLS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	EoIP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on presence of MPLS tag								
	MPLS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	EoIP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on VLAN ID and presence of MPLS tag								
	MPLS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	EoIP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Extended Security Features

AES S-box customization

Costumizable AES S-box	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Traffic Masking

Method							
Fixed MTU size	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Synthetic traffic injection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported topologies							
P2P	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
P2MP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Control Plane Options and Security

Control Plane Options							
In-band	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Out-of-band	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Option to separate key exchange from control plane	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Protection layer (in-band)							
Ethernet (layer 2)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IP (layer 3)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Transport (layer 4)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Encryption Hardware (in-band)							
FPGA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ASIC							
CPU	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Encryption (in-band)							
Separate from data plane encryption	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Same protection level as data plane encyption	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
DoS Resiliency (in-band)							
line rate	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Auto-discovery

Auto-discovery of network encryptors	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Auto-discovery of key servers	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Auto-discovery of VLANs	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Disabling of auto-discovery	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Key Server

Integrated Key Server	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Support for external Key Server	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
External Key Server							
Support for multiple distributed Key Servers	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Support for fail-over to back-up Key Server	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Number of backup key servers	16	16	16	16	16	16	16
Number of hierarchy levels of backup key servers	16	16	16	16	16	16	16
Autonomous operation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Key Management

Key Generation and Storage							
Hardware Random Number Generation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tamper Security Key Storage (tamper-evident or tamper-proof)	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP
Asymmetric Key Algorithms (Public Key Cryptography)							
Elliptic Curve Cryptography (ECC)							
Key length	512/521	512/521	512/521	512/521	512/521	512/521	512/521
Key strength (in bit)	256	256	256	256	256	256	256
Supported Curves:							
NIST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Brainpool	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Custom Curves	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Hash Algorithms								
SHA-2	Key length	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Key strenght (Image/Collision Resistance)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
CBC-MAC-GCM								
	Key length	256	256	256	256	256	256	256
	Key strength	256	256	256	256	256	256	256
Device Authentication								
Symmetric Signature: Pre-shared Key (PSK)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Maximum number of PSKs per encryptor	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)
	Key length	256	256	256	256	256	256	256
	Key strenght (in bit)	256	256	256	256	256	256	256
Asymmetric Signature: Certificate		optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional
	Maximum number of certificates per encryptor	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)
	Key lenght	512	512	512	512	512	512	512
	Key strenght (in bit)	256	256	256	256	256	256	256
Ad-hoc authentication of peers (manual)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Signature key protocol		AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****
Key Agreement and Key Exchange								
Master Key (KEK) Agreement		ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****
Master Key (KEK) Exchange Protocol		atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia
Automatic Change of Master Key		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Minimum suggested Time Interval for Master Key Change (min)		60	60	60	60	60	60	60
Separate Master Key (KEK) per site		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Separate Master Key (KEK) per group		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Session Key (DEK) Exchange Agreement		atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia
Session Key (DEK) Exchange Protocol		atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia
Automatic Change of Session Keys		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Minimum Time Interval for Session Key Change (min)		1	1	1	1	1	1	1
Key Exchange Options								
In-band		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Out-of-band		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Key exchange via raw Ethernet		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
In-band key exchange via IP	IPv4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IPv6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Quantum-safe Key Exchange		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Symmetric Encryption of Asymmetric Key Exchange	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	QKD (optical short range only)							
	Quantum-safe Key Exchange Algorithm	Frodo optional	Frodo optional	Frodo optional	Frodo optional	Frodo optional	Frodo optional	Frodo optional
Key System								
Point-to-Point Key System								
Supported key system								
	Pairwise	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group
Key assignment based on:								
	MAC Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	VLAN ID	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Port	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Point-to-Multipoint Key System								
Supported key systems:								
	Pairwise	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group
Key assignment based on:								
	MAC Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	VLAN ID	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Port	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Multipoint Key System								
Supported key systems:								
	Pairwise	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group
	Mixed (pairwise unicast, group multicast)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Key assignment based on:								
	MAC address (pairwise and mixed)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Multicast groups (mixed)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	VLAN ID (group)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Port	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group (group)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Multicast Group	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Individual key per multicast group		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Individual key per broadcast group (VLAN ID)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Group Key System Specifics								
Additional separate authentication per group		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Group Membership Definition								
	Multicast group membership	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Individual membership	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Network membership	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	VLAN membership	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Trunked VLAN membership	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Exclusion								
	MAC address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	VLAN ID	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Frames with MPLS tag	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Muticast Group	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Group Key Distribution								
	Unicast (unique KEK per group member)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Broadcast (same KEK for all group members)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Network Support								
Bump in the Wire deployment		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Jumbo Frame Support		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Flow Control via PAUSE		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tagging of untagged frames		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Fragmentation/Defragmentation		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Point-to-Point	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Point-to-Multipoint	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Multipoint	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Dead Peer Detection		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Optical Loss Pass-Through		N/A	N/A	✓	✓	✓	✓	✓
Link Loss Carry Forward		✓	✓	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
System Configuration and Management Access								
IPv4		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IPv6		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Out-of-band Management		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	RS-232/V.24	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Separate Ethernet port	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Smart Card (Secure Card) Support		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
USB Port								✓
In-band Management		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	SSH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	SNMP (read-only/read-write)	read-only	read-only	read-only	read-only	read-only	read-only	read-only
	TLS							
	Proprietary	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Remote Monitoring (SNMP)		v2c/v3	v2c/v3	v2c/v3	v2c/v3	v2c/v3	v2c/v3	v2c/v3

Logs

Event Log (local)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Audit Log (local)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Syslog Support (Server)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Unit

Height in 19" Rack	1U	1U	1U	1U	1U	1U	1U
Number of external encrypted Ethernet ports	1	1	1	1-4	1-4	1-4	1
Physical Device Access	back	front	front	front	front	front	front
Redundant Power Supply	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Redundant, hot-swappable power supply			✓	✓	✓	✓	✓
High Availability functionality (two-node cluster)	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1
MTBF	> 50.000h	> 50.000h	> 50.000h	> 50.000h	> 50.000h	> 50.000h	> 50.000h
Tamper Security	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP
Security Approvals			BSI VS-NfD, NATO restricted, EU Restrint (including 2nd Evaluation by NL)				
Safety Approvals			EN55032 Class B, FCC Part 15 Class B, ROHS				
Boot Time							
Cold boot until operational (P2P)	25s	25s	25s	25s	25s	25s	25s
Warm boot until operational (P2P)	27s	27s	27s	27s	27s	27s	27s

Management Software

User Interface	Native PC application (applets)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Embedded Webapp							
	CLI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Initial Device Set-up								
	Local (out-of-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Remote (out-of-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Device Configuration								
	Local (out-of-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Remote (in-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Remote (out-of-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Management Access								
	Role-based access	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Identity-based authentication of user	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Number of hierarchy levels	2	2	2	2	2	2	2
	Number of roles	5	5	5	5	5	5	5
	Strict internal separation of users	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Device Management								
	Device Diagnostics	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Link Monitoring (SNMP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Connection Diagnostics	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	In-band Network Diagnostics	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Remote Update/Upgrade	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Certificate Authority & Management		optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional
	Certificate Creation	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional
	Certificate Management	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional
Key Management								
	Group creation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group isolation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Key assignment	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Fail-over configuration	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Price

List Price Encryption Unit (in €)	on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request
Per extermal Key Server (in €); optional, no requirement	on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request
Required Management Software (SINA Management Software optional)							
2-10 encryptors	included	included	included	included	included	included	included
11-25 encryptors	included	included	included	included	included	included	included
26-50 encryptors	included	included	included	included	included	included	included
51+ encryptors	included	included	included	included	included	included	included
Warranty Period (months)	36-60	36-60	36-60	36-60	36-60	36-60	36-60
Warranty Coverage Parts & Work	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Basic Support (9 to 5, e-mail, phone)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Software updates and upgrades	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Warranty Extension (per year)	on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request

2022 Market Overview Layer 2 Encryption: For Carrier Ethernet, MPLS and IP

Securosys

	Centurion 50/100 compact	Centurion 1G compact	Centurion 1G	Centurion 10G	Centurion 4x10G	Centurion 40G	Centurion 100G
Line Interface/Supported Line Rates							
10 Mbs	✓/RJ45	✓/RJ45					
100 Mbs	✓/RJ45	✓/RJ45 (/SFP on request)					
1 Gbps	✓/RJ45	✓/RJ45 (/SFP on request)	✓/SFP+	✓4x /SFP			
4 x 1 Gbps				✓4x /SFP			
10 Gbps			✓/SFP+		✓4x /SFP+	✓/QSFP+/SFP+	
25 Gps							✓/QSFP28
4 x 10 Gbps					✓4x /SFP+	✓/QSFP+	
40 Gbps						✓/QSFP+	✓/QSFP28
50 Gbps							✓/QSFP28
100 Gbps							✓/QSFP28/FEC
Virtual Appliance							
Supported Network Topologies (single-port)							
Point-to-Point (P2P)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Point-to-Multipoint (P2MP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Multipoint (MP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported Network Topologies (multi-port/per port)							
Point-to-Point (P2P)				✓	✓	✓	✓
Point-to-Multipoint (P2MP)				✓	✓	✓	✓
Multipoint (MP)				✓	✓	✓	✓
Supported Metro Ethernet Topologies							
Port-based							
Ethernet Private Line (EP-Line)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Private Tree (EP-Tree)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Private LAN (EP-LAN)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
VLAN-based							
Ethernet Virtual Private Line (EVP-Line)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Virtual Private Tree (EVP-Tree)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Virtual Private LAN (EVP-LAN)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported Networks (Encryption)							
Ethernet	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MPLS (MPLSoE)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MPLS (MPLSoIP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IPv4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IPv6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported Networks (Transport of Encrypted Frame)							
Ethernet (native)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MPLS (EoMPLS)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IPv4 (including EoIP and MPLSoIP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TCP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
UDP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IPv6 (including EoIP and MPLSoIP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TCP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
UDP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported Usage Scenarios							
Single tenant	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Multi-tenant	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
per port				✓	✓	✓	✓
per port per VLAN	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Self-managed	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Managed encryption service	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Managed security service	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Platform

Platform used								
	Mainboard/Firmware	atmedia/atmedia	atmedia/atmedia	atmedia/atmedia	atmedia/atmedia	atmedia/atmedia	atmedia/atmedia	atmedia/atmedia
	Key Management	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia
Operating Modes								
	Line Mode	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Multipoint Mode	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Data Plane Encryption Standard and Processing

Encryption Standard								
	Block Cipher	AES	AES	AES	AES	AES	AES	AES
	Preferred Mode of Operation	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
	Alternative Mode of Operation							
	Key Length (in bit)	256	256	256	256	256	256	256
Processing Method								
	cut-through	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	store&forward	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Encryption Hardware								
	FPGA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ASIC							
	CPU							
Latency								
Latency P2P Mode	cut-through	<42µs	<42µs	<4µs	<8µs	<4µs	<2µs	<2µs
	store & forward	<42µs	<48µs	<4µs	<9µs	<4µs	<2µs	<2µs
Latency MP Mode	cut-through	<42µs	<42µs	<4µs	<8µs	<4µs	<2µs	<2µs
	store & forward	<42µs	<48µs	<4µs	<9µs	<4µs	<2µs	<2µs
Performance Documentation								
	Ethernet Throughput & Latency Data available	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	RFC 2544 Throughput & Latency Data available	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Encryption Modes

Native Ethernet Encryption

Frame Encryption (Bulk - P2P only)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
	Authentication length (bytes)	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	AAD (additional authenticated data)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Replay protection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Variable replay window (size)	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s
	Counter length (in bytes)	10	10	10	10	10	10	10
	Registered Ethertype	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Frame overhead (authenticated encryption)	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28
	Ethernet multi-hop support	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Transport (Payload only)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Max. number of peers	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	Max. number of MAC Addresses	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Max. number of VLAN IDs	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
	Authentication length (bytes)	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	AAD (additional authenticated data)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Replay protection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Variable replay window (size)	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s
	Definable encryption offset (fixed)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Variable encryption offset	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Adaptive encryption offset based on frame content	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Registered EtherType	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Counter length (in bytes)	10	10	10	10	10	10	10
	Frame overhead authenticated encryption (AE)	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28	20/28
	Ethernet multi-hop support	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tunnel (Ethernet over Ethernet)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Max. number of peers	32	32	32	32	32	32	32
	Max. number of MAC Addresses	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Max. number of VLAN IDs	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
	Authentication length (bytes)	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	AAD (additional authenticated data)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Replay protection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Variable replay window (size)	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s
	Registered Ethertype	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Counter length (in bytes)	10	10	10	10	10	10	10
	Frame overhead authenticated encryption (AE)	32/40*	32/40*	32/40*	32/40*	32/40*	32/40*	32/40*
	Ethernet multi-hop support	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Ethernet over IP (EoIP)

Tunnel (Ethernet over IP)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Supported transmission protocols (UDP/TCP)	native IP/UDP	native IP/UDP	native IP/UDP	native IP/UDP	native IP/UDP	native IP/UDP	native IP/UDP
	Max. number of peers	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)	2 (P2P), 1000 (MP)
	Max. number of MAC Addresses	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Max. number of VLAN IDs	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
	Authentication length (bytes)	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	AAD (additional authenticated data)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Replay protection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Variable replay window (size)	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s
	Registered Ethertype	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Counter length (in bytes)	10	10	10	10	10	10	10
	Frame overhead authenticated encryption (AE)	54/62*	54/62*	54/62*	54/62*	54/62*	54/62*	54/62*
	Ethernet multi-hop support	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Native IP Encryption

Supported IP versions								
	IPv4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IPv6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported transmission protocols								
	TCP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	UDP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Transport Mode								
	Mximum number of peers	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	Maximum number of IP addresses	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Maximum number of multicast groups	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
	Authentication length (bytes)	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	Additional Authenticated Data (header)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Replay Protection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Variable replay window (size)	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s
	Counter length (in bytes)	10	10	10	10	10	10	10
	Packet overhead authenticated encryption (AE)	IPv4: 40/48 IPv6:60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6:60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6:60/68
Transport Tunnel Mode								
	Mximum number of peers	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	Maximum number of IP addresses	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Maximum number of multicast groups	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited	unlimited
	Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM	GCM
	Authentication length (bytes)	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
	Additional Authenticated Data (header)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Replay Protection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Variable replay window (size)	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s	✓ 0-30s
	Counter length (in bytes)	10	10	10	10	10	10	10
	Packet overhead authenticated encryption (AE)	IPv4: 40/48 IPv6:60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6:60/68	IPv4: 40/48 IPv6: 60/68	IPv4: 40/48 IPv6:60/68

Selective Processing (Encryption, Pass, Discard)

Based on MAC Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on VLAN ID	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on Ethertype	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on Multicast Group	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on Presence of MPLS Tag	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on IP Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Combination of multiple selection criteria	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Mixed Ethernet, MPLS, EoIP and IP Support

Based on VLAN ID							
	MPLS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	EoIP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on presence of MPLS tag								
	MPLS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	EoIP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Based on VLAN ID and presence of MPLS tag								
	MPLS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	EoIP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Extended Security Features

AES S-box customization

Costumizable AES S-box		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Traffic Masking

Method								
	Fixed MTU size	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Synthetic traffic injection	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Supported topologies								
	P2P	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	P2MP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Control Plane Options and Security

Control Plane Options								
	In-band	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Out-of-band	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Option to separate key exchange from control plane	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Protection layer (in-band)								
	Ethernet (layer 2)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP (layer 3)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Transport (layer 4)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Encryption Hardware (in-band)								
	FPGA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ASIC							
	CPU	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Encryption (in-band)								
	Separate from data plane encryption	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Same protection level as data plane encyption	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
DoS Resiliency (in-band)								
	line rate	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Auto-discovery

Auto-discovery of network encryptors		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Auto-discovery of key servers		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Auto-discovery of VLANs		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Disabling of auto-discovery		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Key Server

Integrated Key Server		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Support for external Key Server		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
External Key Server								
Support for multiple distributed Key Servers		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Support for fail-over to back-up Key Server		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Number of backup key servers	16	16	16	16	16	16	16
	Number of hierarchy levels of backup key servers	16	16	16	16	16	16	16
Autonomous operation		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Key Management

Key Generation and Storage								
Hardware Random Number Generation		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tamper Security Key Storage (tamper-evident or tamper-proof)		TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP
Asymmetric Key Algorithms (Public Key Cryptography)								
Elliptic Curve Cryptography (ECC)								
	Key length	512/521	512/521	512/521	512/521	512/521	512/521	512/521
	Key strength (in bit)	256	256	256	256	256	256	256
Supported Curves:								
	NIST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Brainpool	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Custom Curves	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Hash Algorithms								
SHA-2	Key length	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Key strenght (Image/Collision Resistance)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
CBC-MAC-GCM								
	Key length	256	256	256	256	256	256	256
	Key strength	256	256	256	256	256	256	256
Device Authentication								
Symmetric Signature: Pre-shared Key (PSK)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Maximum number of PSKs per encryptor	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)	512 (recommended:18)
	Key length	256	256	256	256	256	256	256
	Key strenght (in bit)	256	256	256	256	256	256	256
Asymmetric Signature: Certificate		optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional
	Maximum number of certificates per encryptor	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)	64 (recommended:18)
	Key lenght	512	512	512	512	512	512	512
	Key strenght (in bit)	256	256	256	256	256	256	256
Ad-hoc authentication of peers (manual)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Signature key protocol		AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****	AES-MAC/ECDSA****
Key Agreement and Key Exchange								
Master Key (KEK) Agreement		ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****	ECKAS-DH*****
Master Key (KEK) Exchange Protocol		atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia
Automatic Change of Master Key		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Minimum suggested Time Interval for Master Key Change (min)		60	60	60	60	60	60	60
Separate Master Key (KEK) per site		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Separate Master Key (KEK) per group		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Session Key (DEK) Exchange Agreement		atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia
Session Key (DEK) Exchange Protocol		atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia	atmedia
Automatic Change of Session Keys		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Minimum Time Interval for Session Key Change (min)		1	1	1	1	1	1	1
Key Exchange Options								
In-band		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Out-of-band		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Key exchange via raw Ethernet		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
In-band key exchange via IP	IPv4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IPv6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Quantum-safe Key Exchange		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Symmetric Encryption of Asymmetric Key Exchange	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	QKD (optical short range only)							
	Quantum-safe Key Exchange Algorithm	Frodo optional	Frodo optional	Frodo optional	Frodo optional	Frodo optional	Frodo optional	Frodo optional
Key System								
Point-to-Point Key System								
Supported key system								
	Pairwise	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group
Key assignment based on:								
	MAC Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	VLAN ID	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Port	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Point-to-Multipoint Key System								
Supported key systems:								
	Pairwise	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group
Key assignment based on:								
	MAC Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	VLAN ID	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Port	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Multipoint Key System								
Supported key systems:								
	Pairwise	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group	Bidirectional Group
	Mixed (pairwise unicast, group multicast)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Key assignment based on:								
	MAC address (pairwise and mixed)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Multicast groups (mixed)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	VLAN ID (group)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Port	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group (group)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Multicast Group	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Individual key per multicast group		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Individual key per broadcast group (VLAN ID)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Group Key System Specifics								
Additional separate authentication per group		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Group Membership Definition								
	Multicast group membership	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Individual membership	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Network membership	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	VLAN membership	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Trunked VLAN membership	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Exclusion								
	MAC address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	VLAN ID	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Frames with MPLS tag	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Address	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	IP Muticast Group	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Group Key Distribution								
	Unicast (unique KEK per group member)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Broadcast (same KEK for all group members)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Network Support								
Bump in the Wire deployment		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Jumbo Frame Support		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Flow Control via PAUSE		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tagging of untagged frames		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethernet Fragmentation/Defragmentation		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Point-to-Point	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Point-to-Multipoint	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Multipoint	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Dead Peer Detection		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Optical Loss Pass-Through		N/A	N/A	✓	✓	✓	✓	✓
Link Loss Carry Forward		✓	✓	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
System Configuration and Management Access								
IPv4		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IPv6		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Out-of-band Management		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	RS-232/V.24	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Separate Ethernet port	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Smart Card (Secure Card) Support		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
USB Port								✓
In-band Management		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	SSH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	SNMP (read-only/read-write)	read-only	read-only	read-only	read-only	read-only	read-only	read-only
	TLS							
	Proprietary	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Remote Monitoring (SNMP)		v2c/v3	v2c/v3	v2c/v3	v2c/v3	v2c/v3	v2c/v3	v2c/v3

Logs

Event Log (local)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Audit Log (local)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Syslog Support (Server)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Unit

Height in 19" Rack		1U	1U	1U	1U	1U	1U	1U
Number of external encrypted Ethernet ports		1	1	1	1-4	1-4	1-4	1
Physical Device Access		back	front	front	front	front	front	front
Redundant Power Supply		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Redundant, hot-swappable power supply				✓	✓	✓	✓	✓
High Availability functionality (two-node cluster)		1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1
MTBF		> 50.000h	> 50.000h	> 50.000h	> 50.000h	> 50.000h	> 50.000h	> 50.000h
Tamper Security		TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP	TE/TP
Security Approvals		Atmedia platform approved BSI NfD, EU Restrint, NATO Restrint. Apporvals are not inherited.						
Safety Approvals		EN55032 Class B, FCC Part 15 Class B, ROHS						
Boot Time								
	Cold boot until operational (P2P)	25s	25s	25s	25s	25s	25s	25s
	Warm boot until operational (P2P)	27s	27s	27s	27s	27s	27s	27s

Management Software

User Interface	Native PC application (applets)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Embedded Webapp							
	CLI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Initial Device Set-up								
	Local (out-of-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Remote (out-of-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Device Configuration								
	Local (out-of-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Remote (in-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Remote (out-of-band)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Management Access								
	Role-based access	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Identity-based authentication of user	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Number of hierarchy levels	2	2	2	2	2	2	2
	Number of roles	5	5	5	5	5	5	5
	Strict internal separation of users	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Device Management								
	Device Diagnostics	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Link Monitoring (SNMP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Connection Diagnostics	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	In-band Network Diagnostics	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Remote Update/Upgrade	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Certificate Authority & Management		optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional
	Certificate Creation	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional
	Certificate Management	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional
Key Management								
	Group creation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Group isolation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Key assignment	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Fail-over configuration	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Price

List Price Encryption Unit (in €)		on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request
Per external Key Server (in €); optional, no requirement		on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request
Required Management Software								
	2-10 encryptors	included	included	included	included	included	included	included
	11-25 encryptors	included	included	included	included	included	included	included
	26-50 encryptors	included	included	included	included	included	included	included
	51+ encryptors	included	included	included	included	included	included	included
Warranty Period (months)		24	24	24	24	24	24	24
Warranty Coverage	Parts & Work	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Basic Support (9 to 5, e-mail, phone)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Software updates and upgrades	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Warranty Extension (per year)		on request	on request	on request	on request	on request	on request	on request

2022 Market Overview Layer 2 Encryption: For Carrier Ethernet, MPLS and IP

Senetas

	CV1000	CN4010	CN4020	CN6010	CN6100	CN6140	CN9120
Line Interface/Supported Line Rates							
10 Mbs							
100 Mps							
1 Gbps							
4x1 Gbps							
10 Gbps							
4x10 Gbps							
25Gps							
40 Gbps							
100 Gbps							
Virtual Appliance							
Supported Network Topologies							
Point-to-Point (P2P)							
Point-to-Multipoint (P2MP)							
Multipoint (MP)							
Supported Metro Ethernet Topologies							
Port-based							
Ethernet Private Line (EP-Line)							
Ethernet Private Tree (EP-Tree)							
Ethernet Private LAN (EP-LAN)							
VLAN-based							
Ethernet Virtual Private Line (EVP-Line)							
Ethernet Virtual Private Tree (EVP-Tree)							
Ethernet Virtual Private LAN (EVP-LAN)							
Supported Networks (Encryption)							
Ethernet							
MPLS (MPLSoE)							
MPLS (MPLSoIP)							
IPv4							
IPv6							
Supported Networks (Transport of Encrypted Frame)							
Ethernet (native)							
MPLS (EoMPLS)							
IPv4 (including EoIP and MPLSoIP)							
TCP							
UDP							
IPv6 (including EoIP and MPLSoIP)							
TCP							
UDP							
Supported Usage Scenarios							
Single tenant							
Multi-tenant							
per-port							
per-VLAN							
Self-managed							
Managed encryption service							
Managed security service							

Platform

Platform used

- Mainboard/Firmware
- Key Management

Operating Modes

- P2P Mode
- Multipoint Mode

Data Plane Encryption Standard and Processing

Encryption Standard

- Block Cipher
- Preferred Mode of Operation
- Alternative Mode of Operation
- Key Length (in bit)

Processing Method

- cut-through
- store&forward

Encryption Hardware

- FPGA
- ASIC
- CPU

Latency

- Latency P2P Mode
  - cut-through
  - store & forward
- Latency MP Mode
  - cut-through
  - store & forward

Performance Documentation

- Ethernet Throughput & Latency Data available
- RFC 2544 Throughput & Latency Data available

Encryption Modes

Native Ethernet Encryption

Frame Encryption (Bulk - P2P only)

- Integrity protection (algorithm)
  - Authentication length (bytes)
  - AAD (additional authenticated data)
- Replay protection
  - Variable replay window (size)
- Counter length (in bytes)
- Registered Ethertype
- Frame overhead (unauthenticated encryption)
- Frame overhead (authenticated encryption)
- Ethernet multi-hop support

Transport (Payload only)

- Max. number of peers
- Max. number of MAC Addresses
- Max. number of VLAN IDs
- Integrity protection (algorithm)
  - Authentication length (bytes)
  - AAD (additional authenticated data)
- Replay protection
  - Variable replay window (size)
- Definable encryption offset (fixed)
- Variable encryption offset
- Adaptive encryption offset based on frame content
- Registered EtherType
- Counter length (in bytes)
- Frame overhead authenticated encryption (AE)
- Ethernet multi-hop support

Tunnel (Ethernet over Ethernet)

- Max. number of peers
- Max. number of MAC Addresses
- Max. number of VLAN IDs
- Integrity protection (algorithm)
  - Authentication length (bytes)
  - AAD (additional authenticated data)
- Replay protection
  - Variable replay window (size)
- Registered Ethertype
- Counter length (in bytes)
- Frame overhead unauthenticated encryption
- Frame overhead authenticated encryption (AE)
- Ethernet multi-hop support

Ethernet over IP (EoIP)

Tunnel (Ethernet over IP)

- Supported transmission protocols (UDP/TCP)
- Max. number of peers
- Max. number of MAC Addresses
- Max. number of VLAN IDs
- Integrity protection (algorithm)
  - Authentication length (bytes)
  - AAD (additional authenticated data)
- Replay protection
  - Variable replay window (size)
- Proprietary Ethertype
- Counter length (in bytes)
- Frame overhead unauthenticated encryption
- Frame overhead authenticated encryption (AE)
- Ethernet multi-hop support

Native IP Encryption

Supported IP versions

- IPv4
- IPv6

Supported transmission protocols

- TCP
- UDP

Transport Mode

- Mximum number of peers
- Maximum number of IP addresses
- Maximum number of multicast groups
- Integrity protection (algorithm)
  - Authentication length (bytes)
  - Additional Authenticated Data (header)
- Replay Protection
  - Variable replay window (size)
- Counter length (in bytes)
- Packet overhead authenticated encryption (AE)

Transport Tunnel Mode

- Maximum number of peers
- Maximum number of IP addresses
- Maximum number of multicast groups
- Integrity protection (algorithm)
  - Authentication length (bytes)
  - Additional Authenticated Data (header)
- Replay Protection
  - Variable replay window (size)
- Counter length (in bytes)
- Packet overhead authenticated encryption (AE)

Selective Encryption

- Based on MAC Address
- Based on VLAN ID
- Based on Ethertype
- Based on Multicast Group
- Based on Presence of MPLS Tag
- Based on IP Address
- Combination of multiple selection criteria

Mixed Ethernet, MPLS, EoIP and IP Support

Based on VLAN ID

- MPLS
- EoIP
- IP

Based on presence of MPLS tag

- MPLS
- EoIP
- IP

Based on VLAN ID and presence of MPLS tag

- MPLS
- EoIP
- IP

Extended Security Features

Customizable AES S-Box

AES S-Box Customization

Traffic Masking

Traffic Flow Security

P2P
P2MP

Method

Configurable uniform frame size
Synthetic traffic injection

Control Plane

Control Plane Options

In-band
Out-of-band
Option to separate key exchange from control plane

Protection layer (in-band)

Ethernet (layer 2)
IP (layer 3)
Transport (layer 4)

Encryption Hardware (in-band)

FPGA
ASIC
CPU

Encryption (in-band)

Separate from data plane encryption
Same protection level as data plane encyption

DoS Resiliency (in-band)

line rate

Auto-discovery

Auto-discovery of network encryptors
Auto-discovery of key servers
Auto-discovery of VLANs
Disabling of auto-discovery

Key Server

Integrated Key Server
Support for external Key Server
External Key Server
Support for multiple distributed Key Servers
Support for fail-over to back-up Key Server

Autonomous operation

Key Management

Key Generation and Storage

Hardware Random Number Generation
Tamper Security Key Storage (tamper-evident or tamper-proof)

Asymmetric Key Algorithms (Public Key Cryptography)

RSA

Key length
Key strength (in bit)

Elliptic Curve Cryptography (ECC)

Key length
Key strength (in bit)

Supported Curves:

NIST
Brainpool
Custom Curves

Hash Algorithms

SHA-2
- Key length
- Key strenght (Image/Collision Resistance)

Device Authentication

Symmetric Signature: Pre-shared Key (PSK)
- Maximum number of PSKs per encryptor
- Key length
- Key strenght (in bit)

Asymmetric Signature: Certificate
- Maximum number of certificates per encryptor
- Key length
- Key strength (in bit)

Ad-hoc authentication of peers (manual)
Signature key protocol

Key Agreement and Key Exchange

Master Key (KEK) Agreement
Master Key (KEK) Exchange Protocol
Automatic Change of Master Key
Minimum suggested Time Interval for Master Key Change (min)
Separate Master Key (KEK) per site
Separate Master Key (KEK) per group

Session Key (DEK) Exchange Agreement
Session Key (DEK) Exchange Protocol
Automatic Change of Session Keys
Minimum Time Interval for Session Key Change (min)

Quantum-safe Key Exchange

Symmetric Encryption of Asymmetric Key Exchange
QKD (optical short range only)
Quantum-safe Key Exchange Algorithm

Key Exchange Options

In-band
Out-of-band
Key exchange via DWDM (optical)
Key exchange via raw Ethernet
In-band key exchange via IP
- IPv4
- IPv6

Key System

Point-to-Point Key System

Supported key system
- Pairwise
- Group

Key assignment based on:
- MAC Address
- VLAN ID
- Port
- Group
- IP Address

Point-to-Multipoint Key System

Supported key systems:
- Pairwise
- Group

Key assignment based on:
- MAC Address
- VLAN ID
- Port
- Group
- IP Address

Multipoint Key System

Supported key systems:
- Pairwise
- Group
- Mixed (pairwise unicast, group multicast)

Key assignment based on:
- MAC address (pairwise and mixed)
- Multicast groups (mixed)
- VLAN ID (group)
- Port
- Group (group)
- IP Address
- IP Multicast Group

Individual key per multicast group

Individual key per broadcast group (VLAN ID)

Group Key System Specifics

Additional separate authentication per group

Group Membership Definition
- Multicast group membership
- Individual membership
- Network membership
- VLAN membership
- Trunked VLAN membership
- IP Address

Exclusion
- MAC address
- VLAN ID
- Frames with MPLS tag
- IP Address
- IP Muticast Group

Group Key Distribution
- Unicast (unique KEK per group member)
- Broadcast (same KEK for all group members)

Network Support

Bump in the Wire deployment

Jumbo Frame Support

Ethernet Flow Control via PAUSE

Tagging of untagged frames

Ethernet Fragmentation/Defragmentation
- Point-to-Point
- Point-to-Multipoint
- Multipoint

Dead Peer Detection

Optical Loss Pass-Through

Link Loss Carry Forward

System Configuration and Management Access

IPv4

IPv6

Out-of-band Management
- RS-232/V.24
- Separate Ethernet port

Smart Card (Secure Card) Support

USB Port

In-band Management
- SSH
- SNMP (read-only/read-write)
- TLS
- Proprietary

Remote Monitoring (SNMP)

Logs

Event Log (local)	
Audit Log (local)	
Syslog Support (Server)	

Unit

Height in 19" Rack	
Number of external encrypted Ethernet ports	
Physical Device Access	
Redundant Power Supply	
Redundant, hot-swappable power supply	
High Availability functionality (two-node cluster)	
MTBF	
Tamper Security	
Security Approvals	
Safety Approvals	
Boot Time	
Cold boot until operational (P2P)	
Warm boot until operational (P2P)	

Management Software

User Interface	Native PC application
	Embedded Webapp
	CLI
Initial Device Set-up	
	Local (out-of-band)
	Remote (out-of-band)
Device Configuration	
	Local (out-of-band)
	Remote (in-band)
	Remote (out-of-band)
Management Access	
	Role-based access
	Identity-based authentication of user
	Number of hierarchy levels
	Number of roles
	Strict internal separation of users
Device Management	
	Device Diagnostics
	Link Monitoring (SNMP)
	Connection Diagnostics
	In-band Network Diagnostics
	Remote Update/Upgrade
Certificate Authority & Management	
	Certificate Creation
	Certificate Management
Key Management	
	Group creation
	Group isolation
	Key assignment
	Fail-over configuration

Price

List Price Encryption Unit (in €)	
Per extermal Key Server (in €); optional, no requirement, starting price	
Required Management Software	
Optional SMC Sofware	1-4 encryptors
	5-10 encryptors
	11-20 encryptors
	unlimited
Warranty Period (months)	
Warranty Coverage	Parts & Work
	Basic Support (9 to 5, e-mail, phone)
	Software updates and upgrades
Warranty Extension (per year)	

2022 Market Overview Layer 2 Encryption: For Carrier Ethernet, MPLS and IP

Thales

	CV1000	CN4010	CN4020	CN6010	CN6100	CN6140	CN9120
Line Interface/Supported Line Rates							
10 Mbs							
100 Mps							
1 Gbps							
4x1 Gbps							
10 Gbps							
4x10 Gbps							
25Gps							
40 Gbps							
100 Gbps							
Virtual Appliance							
Supported Network Topologies							
Point-to-Point (P2P)							
Point-to-Multipoint (P2MP)							
Multipoint (MP)							
Supported Metro Ethernet Topologies							
Port-based							
Ethernet Private Line (EP-Line)							
Ethernet Private Tree (EP-Tree)							
Ethernet Private LAN (EP-LAN)							
VLAN-based							
Ethernet Virtual Private Line (EVP-Line)							
Ethernet Virtual Private Tree (EVP-Tree)							
Ethernet Virtual Private LAN (EVP-LAN)							
Supported Networks (Encryption)							
Ethernet							
MPLS (MPLSoE)							
MPLS (MPLSoIP)							
IPv4							
IPv6							
Supported Networks (Transport of Encrypted Frame)							
Ethernet (native)							
MPLS (EoMPLS)							
IPv4 (including EoIP and MPLSoIP)							
TCP							
UDP							
IPv6 (including EoIP and MPLSoIP)							
TCP							
UDP							
Supported Usage Scenarios							
Single tenant							
Multi-tenant							
per-port							
per-VLAN							
Self-managed							
Managed encryption service							
Managed security service							

Platform

Platform used

- Mainboard/Firmware
- Key Management

Operating Modes

- P2P Mode
- Multipoint Mode

Data Plane Encryption Standard and Processing

Encryption Standard

- Block Cipher
- Preferred Mode of Operation
- Alternative Mode of Operation
- Key Length (in bit)

Processing Method

- cut-through
- store&forward

Encryption Hardware

- FPGA
- ASIC
- CPU

Latency

- Latency P2P Mode
  - cut-through
  - store & forward
- Latency MP Mode
  - cut-through
  - store & forward

Performance Documentation

- Ethernet Throughput & Latency Data available
- RFC 2544 Throughput & Latency Data available

Encryption Modes

Native Ethernet Encryption

Frame Encryption (Bulk - P2P only)

- Integrity protection (algorithm)
  - Authentication length (bytes)
  - AAD (additional authenticated data)
- Replay protection
  - Variable replay window (size)
- Counter length (in bytes)
- Registered Ethertype
- Frame overhead (unauthenticated encryption)
- Frame overhead (authenticated encryption)
- Ethernet multi-hop support

Transport (Payload only)

- Max. number of peers
- Max. number of MAC Addresses
- Max. number of VLAN IDs
- Integrity protection (algorithm)
  - Authentication length (bytes)
  - AAD (additional authenticated data)
- Replay protection
  - Variable replay window (size)
- Definable encryption offset (fixed)
- Variable encryption offset
- Adaptive encryption offset based on frame content
- Registered EtherType
- Counter length (in bytes)
- Frame overhead authenticated encryption (AE)
- Ethernet multi-hop support

Tunnel (Ethernet over Ethernet)

- Max. number of peers
- Max. number of MAC Addresses
- Max. number of VLAN IDs
- Integrity protection (algorithm)
  - Authentication length (bytes)
  - AAD (additional authenticated data)
- Replay protection
  - Variable replay window (size)
- Registered Ethertype
- Counter length (in bytes)
- Frame overhead unauthenticated encryption
- Frame overhead authenticated encryption (AE)
- Ethernet multi-hop support

Ethernet over IP (EoIP)

Tunnel (Ethernet over IP)

- Supported transmission protocols (UDP/TCP)
- Max. number of peers
- Max. number of MAC Addresses
- Max. number of VLAN IDs
- Integrity protection (algorithm)
  - Authentication length (bytes)
  - AAD (additional authenticated data)
- Replay protection
  - Variable replay window (size)
- Proprietary Ethertype
- Counter length (in bytes)
- Frame overhead unauthenticated encryption
- Frame overhead authenticated encryption (AE)
- Ethernet multi-hop support

Native IP Encryption

Supported IP versions

- IPv4
- IPv6

Supported transmission protocols

- TCP
- UDP

Transport Mode

- Mximum number of peers
- Maximum number of IP addresses
- Maximum number of multicast groups
- Integrity protection (algorithm)
  - Authentication length (bytes)
  - Additional Authenticated Data (header)
- Replay Protection
  - Variable replay window (size)
- Counter length (in bytes)
- Packet overhead authenticated encryption (AE)

Transport Tunnel Mode

- Maximum number of peers
- Maximum number of IP addresses
- Maximum number of multicast groups
- Integrity protection (algorithm)
  - Authentication length (bytes)
  - Additional Authenticated Data (header)
- Replay Protection
  - Variable replay window (size)
- Counter length (in bytes)
- Packet overhead authenticated encryption (AE)

Selective Encryption

- Based on MAC Address
- Based on VLAN ID
- Based on Ethertype
- Based on Multicast Group
- Based on Presence of MPLS Tag
- Based on IP Address
- Combination of multiple selection criteria

Mixed Ethernet, MPLS, EoIP and IP Support

Based on VLAN ID

- MPLS
- EoIP
- IP

Based on presence of MPLS tag

- MPLS
- EoIP
- IP

Based on VLAN ID and presence of MPLS tag

- MPLS
- EoIP
- IP

Extended Security Features

Customizable AES S-Box

AES S-Box Customization

Traffic Masking

Traffic Flow Security

P2P
P2MP

Method

Configurable uniform frame size
Synthetic traffic injection

Control Plane

Control Plane Options

In-band
Out-of-band
Option to separate key exchange from control plane

Protection layer (in-band)

Ethernet (layer 2)
IP (layer 3)
Transport (layer 4)

Encryption Hardware (in-band)

FPGA
ASIC
CPU

Encryption (in-band)

Separate from data plane encryption
Same protection level as data plane encyption

DoS Resiliency (in-band)

line rate

Auto-discovery

Auto-discovery of network encryptors
Auto-discovery of key servers
Auto-discovery of VLANs
Disabling of auto-discovery

Key Server

Integrated Key Server
Support for external Key Server
External Key Server
Support for multiple distributed Key Servers
Support for fail-over to back-up Key Server

Autonomous operation

Key Management

Key Generation and Storage

Hardware Random Number Generation
Tamper Security Key Storage (tamper-evident or tamper-proof)

Asymmetric Key Algorithms (Public Key Cryptography)

RSA

Key length
Key strength (in bit)

Elliptic Curve Cryptography (ECC)

Key length
Key strength (in bit)

Supported Curves:

NIST
Brainpool
Custom Curves

Hash Algorithms

SHA-2
- Key length
- Key strenght (Image/Collision Resistance)

Device Authentication

Symmetric Signature: Pre-shared Key (PSK)
- Maximum number of PSKs per encryptor
- Key length
- Key strenght (in bit)

Asymmetric Signature: Certificate
- Maximum number of certificates per encryptor
- Key length
- Key strength (in bit)

Ad-hoc authentication of peers (manual)
Signature key protocol

Key Agreement and Key Exchange

Master Key (KEK) Agreement
Master Key (KEK) Exchange Protocol
Automatic Change of Master Key
Minimum suggested Time Interval for Master Key Change (min)
Separate Master Key (KEK) per site
Separate Master Key (KEK) per group

Session Key (DEK) Exchange Agreement
Session Key (DEK) Exchange Protocol
Automatic Change of Session Keys
Minimum Time Interval for Session Key Change (min)

Quantum-safe Key Exchange

Symmetric Encryption of Asymmetric Key Exchange
QKD (optical short range only)
Quantum-safe Key Exchange Algorithm

Key Exchange Options

In-band
Out-of-band
Key exchange via DWDM (optical)
Key exchange via raw Ethernet
In-band key exchange via IP
- IPv4
- IPv6

Key System

Point-to-Point Key System

Supported key system
- Pairwise
- Group

Key assignment based on:
- MAC Address
- VLAN ID
- Port
- Group
- IP Address

Point-to-Multipoint Key System

Supported key systems:
- Pairwise
- Group

Key assignment based on:
- MAC Address
- VLAN ID
- Port
- Group
- IP Address

Multipoint Key System

Supported key systems:
- Pairwise
- Group
- Mixed (pairwise unicast, group multicast)

Key assignment based on:
- MAC address (pairwise and mixed)
- Multicast groups (mixed)
- VLAN ID (group)
- Port
- Group (group)
- IP Address
- IP Multicast Group

Individual key per multicast group

Individual key per broadcast group (VLAN ID)

Group Key System Specifics

Additional separate authentication per group

Group Membership Definition
- Multicast group membership
- Individual membership
- Network membership
- VLAN membership
- Trunked VLAN membership
- IP Address

Exclusion
- MAC address
- VLAN ID
- Frames with MPLS tag
- IP Address
- IP Muticast Group

Group Key Distribution
- Unicast (unique KEK per group member)
- Broadcast (same KEK for all group members)

Network Support

Bump in the Wire deployment

Jumbo Frame Support

Ethernet Flow Control via PAUSE

Tagging of untagged frames

Ethernet Fragmentation/Defragmentation
- Point-to-Point
- Point-to-Multipoint
- Multipoint

Dead Peer Detection

Optical Loss Pass-Through

Link Loss Carry Forward

System Configuration and Management Access

IPv4

IPv6

Out-of-band Management
- RS-232/V.24
- Separate Ethernet port

Smart Card (Secure Card) Support

USB Port

In-band Management
- SSH
- SNMP (read-only/read-write)
- TLS
- Proprietary

Remote Monitoring (SNMP)

Logs

Event Log (local)	
Audit Log (local)	
Syslog Support (Server)	

Unit

Height in 19" Rack	
Number of external encrypted Ethernet ports	
Physical Device Access	
Redundant Power Supply	
Redundant, hot-swappable power supply	
High Availability functionality (two-node cluster)	
MTBF	
Tamper Security	
Security Approvals	
Safety Approvals	
Boot Time	
Cold boot until operational (P2P)	
Warm boot until operational (P2P)	

Management Software

User Interface	Native PC application
	Embedded Webapp
	CLI
Initial Device Set-up	
	Local (out-of-band)
	Remote (out-of-band)
Device Configuration	
	Local (out-of-band)
	Remote (in-band)
	Remote (out-of-band)
Management Access	
	Role-based access
	Identity-based authentication of user
	Number of hierarchy levels
	Number of roles
	Strict internal separation of users
Device Management	
	Device Diagnostics
	Link Monitoring (SNMP)
	Connection Diagnostics
	In-band Network Diagnostics
	Remote Update/Upgrade
Certificate Authority & Management	
	Certificate Creation
	Certificate Management
Key Management	
	Group creation
	Group isolation
	Key assignment
	Fail-over configuration

Price

List Price Encryption Unit (in €)	
Per extermal Key Server (in €); optional, no requirement, starting price	
Required Management Software	
Optional SMC Sofware	1-4 encryptors
	5-10 encryptors
	11-20 encryptors
	unlimited
Warranty Period (months)	
Warranty Coverage	Parts & Work
	Basic Support (9 to 5, e-mail, phone)
	Software updates and upgrades
Warranty Extension (per year)	

2022 Market Overview Layer 2 Encryption: For Carrier Ethernet, MPLS and IP

MACSec EDE

	Virtual Appliance	Appliance
Line Interface/Supported Line Rates		
10 Mbs		
100 Mps		
1 Gbps		
10 Gbps		
25Gps		
40 Gbps		
100 Gbps		
Virtual Appliance	✓	
Supported Network Topologies		
Point-to-Point (P2P)	✓	✓
Point-to-Multipoint (P2MP)	✓	✓
Multipoint-to-Multipoint/Mesh (MP)		
Supported Metro Ethernet Topologies		
Port-based		
Ethernet Private Line (EP-Line)	✓	✓
Ethernet Private Tree (EP-Tree)	✓	✓
Ethernet Private LAN (EP-LAN)	✓	✓
VLAN-based		
Ethernet Virtual Private Line (EVP-Line)	✓	✓
Ethernet Virtual Private Tree (EVP-Tree)	✓	✓
Ethernet Virtual Private LAN (EVP-LAN)	✓	✓
Supported Networks (Encryption)		
Ethernet	✓	✓
MPLS (MPLSoE)	✓	✓
MPLS (MPLSoIP)		
IPv4		
IPv6		
Supported Networks (Transport of Encrypted Frame)		
Ethernet (native)	✓	✓
MPLS (EoMPLS)	✓	✓
IPv4 (including EoIP and MPLSoIP)		
TCP		
UDP		
IPv6 (including EoIP and MPLSoIP)		
TCP		
UDP		
Supported Usage Scenarios		
Single tenant	✓	✓
Multi-tenant		
per port		
per VLAN-ID		
Self-managed	✓	✓
Managed encryption service		
Managed security service		

Platform

Platform used			
	Mainboard/Firmware		
	Key Management	MKA/EAPOL-TLS	MKA/EAPOL-TLS
Operating Modes			
	P2P Mode	✓	✓
	Multipoint Mode	✓	✓

Data Plane Encryption Standard and Processing

Encryption Standard			
	Block Cipher	AES	AES
	Preferred Mode of Operation	GCM	GCM
	Alternative Mode of Operation		
	Key Length (in bit)	256	256
Processing Method			
	cut-through		
	store&forward	✓	✓
Encryption Hardware			
	FPGA		
	ASIC		
	CPU	✓	
Latency			
Latency P2P Mode	cut-through		
	store & forward		
Latency MP Mode	cut-through		
	store & forward		
Performance Documentation			
Ethernet Throughput & Latency Data available			
RFC 2544 Throughput & Latency Data available			

Encryption Modes

Native Ethernet Encryption

Frame Encryption (Bulk - P2P only)			
	Integrity protection (algorithm)		
	Authentication length (bytes)		
	AAD (additional authenticated data)		
	Replay protection		
	Variable replay window (size)		
	Counter length (in bytes)		
	Registered Ethertype		
	Frame overhead (authenticated encryption)		
Transport (Payload only)		✓	✓
	Max. number of peers	32 - Expandable to 256	32 - Expandable to 256
	Max. number of MAC Addresses	unlimited	unlimited
	Max. number of VLAN IDs	unlimited	unlimited
	Integrity protection (algorithm)	GCM	GCM
	Authentication length (bytes)	16	16
	AAD (additional authenticated data)	✓	✓
	Replay protection	✓	✓
	Variable replay window (size)	≤ 2^31-1 frames/time	≤ 2^31-1 frames/time
	Definable encryption offset (fixed)	✓	✓
	Variable encryption offset	✓	✓
	Adaptive encryption offset based on frame content		
	Registered EtherType	MACSec Ethertype	MACSec Ethertype
	Counter length (in bytes)	8	8
	Frame overhead authenticated encryption (AEAD)	32	32
	Ethernet multi-hop support	✓ (dependent on type of hop)	✓ (dependent on type of hop)
Tunnel (Ethernet over Ethernet)		✓ (next version)	✓ (next version)
	Max. number of peers		
	Max. number of MAC Addresses		
	Max. number of VLAN IDs		
	Integrity protection (algorithm)		
	Authentication length (bytes)		
	AAD (additional authenticated data)		
	Replay protection		
	Variable replay window (size)		
	Registered Ethertype		
	Counter length (in bytes)		
	Frame overhead authenticated encryption (AEAD)		
	Ethernet multi-hop support		

Ethernet over IP (EoIP)

Tunnel (Ethernet over IP)

- Supported transmission protocols (UDP/TCP)
- Max. number of peers
- Max. number of MAC Addresses
- Max. number of VLAN IDs
- Integrity protection (algorithm)
  - Authentication length (bytes)
  - AAD (additional authenticated data)
- Replay protection
  - Variable replay window (size)
- Proprietary Ethertype
- Counter length (in bytes)
- Frame overhead authenticated encryption (AE)
- Ethernet multi-hop support

Native IP Encryption

Supported IP versions

- IPv4
- IPv6

Supported transmission protocols

- TCP
- UDP

Transport Mode

- Maximum number of peers
- Maximum number of IP addresses
- Maximum number of multicast groups
- Integrity protection (algorithm)
  - Authentication length (bytes)
  - Additional Authenticated Data (header)
- Replay Protection
  - Variable replay window (size)
- Counter length (in bytes)
- Packet overhead authenticated encryption (AE)

Transport Tunnel Mode

- Maximum number of peers
- Maximum number of IP addresses
- Maximum number of multicast groups
- Integrity protection (algorithm)
  - Authentication length (bytes)
  - Additional Authenticated Data (header)
- Replay Protection
  - Variable replay window (size)
- Counter length (in bytes)
- Packet overhead authenticated encryption (AE)

Selective Encryption

- Based on MAC Address
- Based on VLAN ID
- Based on Ethertype
- Based on Multicast Group
- Based on Presence of MPLS Tag
- Based on IP Address
- Combination of multiple selection criteria

Mixed Ethernet, MPLS, EoIP and IP Support

Based on VLAN ID			
	MPLS	✓	✓
	EoIP		
	IP		
Based on presence of MPLS tag			
	MPLS	✓	✓
	EoIP		
	IP		
Based on VLAN ID and presence of MPLS tag			
	MPLS	✓	✓
	EoIP		
	IP		

Extended Security Features			
AES S-box customization			
Customizable AES S-box			
Traffic Masking			
Traffic Flow Security			
	P2P		
	P2MP		
Method			
	Uniform frame size	✓ (next version)	✓ (next version)
	Synthetic traffic injection		
Control Plane			
Control Plane Options			
	In-band	Key Exchange Status and Management	Key Exchange Status and Management
	Out-of-band		
	Option to separate key exchange from control plane		
Protection layer (in-band)			
	Ethernet (layer 2)		
	IP (layer 3)		
	Transport (layer 4)	✓	✓
Encryption Hardware (in-band)			
	FPGA		✓
	ASIC		
	CPU	✓	
Encryption (in-band)			
	Separate from data plane encryption	✓	✓
	Same protection level as data plane encyption		
DoS Resiliency (in-band)			
	line rate		
Auto-discovery			
Auto-discovery of network encryptors		✓	✓
Auto-discovery of key servers		✓	✓
Auto-discovery of VLANs			
Disabling of auto-discovery		✓	✓
Key Server			
Integrated Key Server		✓	✓
Support for external Key Server			
External Key Server			
Support for multiple distributed Key Servers		✓	✓
Support for fail-over to back-up Key Server		✓	✓
Autonomous operation		✓	✓
Key Management			
Key Generation and Storage			
Hardware Random Number Generation			✓
Tamper Security Key Storage (tamper-evident or tamper-proof)			TE/TP
Asymmetric Key Algorithms (Public Key Cryptography)			
Elliptic Curve Cryptography (ECC)			
	Key length	384	384
	Key strength (in bit)	192	192
Supported Curves:			
	NIST	✓	✓
	Brainpool		
	Custom Curves		
Hash Algorithms			
SHA-2	Key length	512	512
	Key strength (Image/Collision Resistance)	512/256	512/256

Device Authentication			
Symmetric Signature: Pre-shared Key (PSK)		✓	✓
	Maximum number of PSKs per encryptor		
	Key length	256	256
	Key strenght (in bit)		
Asymmetric Signature: Certificate		x.509	x.509
	Maximum number of certificates per encryptor	1	1
	Key lenght	384	384
	Key strenght (in bit)	192	192
Ad-hoc authentication of peers (manual)			
Signature key protocol		ECDSA	ECDSA
Key Agreement and Key Exchange			
Master Key (KEK) Agreement		TLS 1.2/TLS 1.3	TLS 1.2/TLS 1.3
Master Key (KEK) Exchange Protocol		EAP	EAP
Automatic Change of Master Key		✓	✓
Minimum suggested Time Interval for Master Key Change (min)		60	60
Separate Master Key (KEK) per site		✓	✓
Separate Master Key (KEK) per group			
Session Key (DEK) Exchange Agreement		MKA	MKA
Session Key (DEK) Exchange Protocol		EAP	EAP
Automatic Change of Session Keys		✓	✓
Minimum Time Interval for Session Key Change (min)			
Key Exchange Options			
In-band		✓	✓
Out-of-band			
Key exchange via DWDM (optical)			
Key exchange via raw Ethernet		✓	✓
In-band key exchange via IP	IPv4		
	IPv6		
Key System			
Point-to-Point Key System			
Supported key system			
	Pairwise	✓	✓
	Group		
Key assignment based on:			
	MAC Address	✓	✓
	VLAN ID	✓	✓
	Port		✓
	Group	✓	✓
	IP Address		
Point-to-Multipoint Key System			
Supported key systems:			
	Pairwise	✓	✓
	Group	unidirectional group	unidirectional group
Key assignment based on:			
	MAC Address	✓	✓
	VLAN ID	✓	✓
	Port	✓	✓
	Group	✓	✓
	IP Address		

Multipoint Key System			
Supported key systems:			
	Pairwise	✓	✓
	Group	unidirectional group	unidirectional group
	Mixed (pairwise unicast, group multicast)		
Key assignment based on:			
	MAC address (pairwise and mixed)		
	Multicast groups (mixed)		
	VLAN ID (group)		
	Port		
	Group (group)		
	IP Address		
	IP Multicast Group		
Individual key per multicast group			
Individual key per broadcast group (VLAN ID)			
Group Key System Specifics			
Additional separate authentication per group			
Group Membership Definition			
	Multicast group membership		
	Individual membership	✓	✓
	Network membership		
	VLAN membership		
	Trunked VLAN membership		
	IP Address		
Exclusion			
	MAC address		
	VLAN ID		
	Frames with MPLS tag		
	IP Address		
	IP Muticast Group		
Group Key Distribution			
	Unicast (unique KEK per group member)		
	Broadcast (same KEK for all group members)		
Network Support			
Bump in the Wire deployment		✓	✓
Jumbo Frame Support		✓	✓
Ethernet Flow Control via PAUSE			
Tagging of untagged frames			
Ethernet Fragmentation/Defragmentation			
	Point-to-Point		
	Point-to-Multipoint		
	Multipoint		
Dead Peer Detection		✓	✓
Optical Loss Pass-Through			
Link Loss Carry Forward			
System Configuration and Management Access			
IPv4		✓	✓
IPv6			
Out-of-band Management		✓	✓
	RS-232/V.24		
	Separate Ethernet port	✓	✓
Smart Card (Secure Card) Support			
USB Port			
In-band Management			
	SSH	✓	✓
	SNMP (read-only/read-write)		✓
	TLS		
	Proprietary		
Remote Monitoring (SNMP)		v3	v3
Logs			
Event Log (local)		✓	✓
Audit Log (local)		✓	✓
Syslog Support (Server)		✓	✓

Unit

Height in 19" Rack			1
Number of external encrypted Ethernet ports			
Physical Device Access			
Redundant Power Supply			
Redundant, hot-swappable power supply			
High Availability functionality (two-node cluster)			
MTBF			
Tamper Security		N/A	TE/TP
Security Approvals			FIPS-140-2 Level 3, NIAP/CC EAL-4+, NSA Type 1
Safety Approvals			(can be achieved)
Boot Time			
	Cold boot until operational (P2P)		
	Warm boot until operational (P2P)		

Management Software

User Interface	Native PC application		
	Embedded Webapp		
	CLI		
Initial Device Set-up			
	Local (out-of-band)		
	Remote (out-of-band)		
Device Configuration			
	Local (out-of-band)		
	Remote (in-band)		
	Remote (out-of-band)		
Management Access			
	Role-based access	✓	✓
	Identity-based authentication of user	✓	✓
	Number of hierarchy levels	3	3
	Number of roles	2	2
	Strict internal separation of users		
Device Management			
	Device Diagnostics	✓	✓
	Link Monitoring (SNMP)	✓	✓
	Connection Diagnostics	✓	✓
	In-band Network Diagnostics	✓	✓
	Remote Update/Upgrade	✓	✓
Certificate Authority & Management			
	Certificate Creation		
	Certificate Management		
Key Management			
	Group creation		
	Group isolation		
	Key assignment		
	Fail-over configuration		

Price

List Price Encryption Unit (in €)			
Per external Key Server (in €)			
Required Management Software			
	2-10 encryptors		
	11-25 encryptors		
	26-50 encryptors		
	51+ encryptors		
Warranty Period (months)			
Warranty Coverage	Parts & Work		
	Basic Support (9 to 5, e-mail, phone)		
	Software updates and upgrades		
Warranty Extension (per year)			

MACsec comes in different variants. There are many proprietary implementations of the standard. Interoperability between those implementations is not a given.
There is only a cPP for point-to-point, but none for point-to-multipoint and none for multipoint (mesh)
The scope of the cPP does not cover the security of the AAA server