



Afstudeerscriptie

Carrier Ethernet

Student	: Hans Suttorp
Studentnummer	: 00050089
Bedrijfsbegeleider	: dhr. E.Vroege
Datum	: 21-03-2011
Versie	: 1.0
Afstudeerperiode	: 2010-2.2
Afstudeerbegeleider	: dhr. J. van Peski
Afstudeerexpert	: dhr. A.G.P.Pronk
Document	: Afstudeerscriptie v1.0d.docx

Voorwoord

Dit stageverslag omschrijft de werkzaamheden en ervaringen tijdens mijn afstuderen bij Qi ict te Delft. In dit verslag is ook het resultaat te vinden van mijn onderzoek betreffende Carrier Ethernet.

Mijn dank gaat met name uit naar dhr. E.Vroege, die mij tijdens mijn gehele afstuderen goed heeft begeleid. Ook wil ik bedanken de engineers dhr. R.Esveld, dhr. G.van den Berg, dhr. W.Prins, dhr. H.de Tombe en dhr. M.Ebben voor de hulp en uitleg met betrekking tot mijn onderzoek, maar ook voor de goede begeleiding tijdens het project. Uiteraard wil ik ook de overige collega's binnen Qi ict bedanken voor het enthousiasme en de collegialiteit.

Ook gaat mijn dank uit naar de begeleiders, vanuit de Haagse Hogeschool, dhr. J.van Peski en dhr. A.G.P.Pronk. Zonder de goede begeleiding en feedback, van beide begeleiders, had ik het afstuderen nooit kunnen behalen.

Aan het einde van de afstudeerperiode kijk ik tevreden terug op een zeer leuke en leerzame afstudeerstage. Naast de afstudeeropdracht heb ik ook mee kunnen helpen aan diverse projecten binnen het bedrijf. Hierbij heb ik veel leuke praktijkervaring op kunnen doen.

Samenvatting

Carrier Ethernet is geen nieuw protocol, maar een service. Door gebruik te maken van extra protocollen, wordt het Ethernet protocol een efficiënt, betrouwbaar en service gericht protocol op laag-2 van het OSI-model. Carrier Ethernet is gedocumenteerd en gestandaardiseerd door het 'Metro Ethernet Forum', ook wel genoemd MEF.

Aan de hand van een praktisch onderzoek wordt er antwoord gegeven op de vraag: "Is Carrier Ethernet te realiseren bij een klant met een bestaande laag-2 infrastructuur."

Voor het praktische onderzoek is een service provider netwerk, op kleine schaal, nagemaakt. Het gerealiseerde service provider netwerk is een complete Ethernet infrastructuur. Om de klanten te scheiden in deze infrastructuur wordt er gebruik gemaakt van 802.1ad, ook wel genoemd 'provider bridging'. Hierdoor kan de klant haar eigen VLAN tag's behouden, zonder rekening te moeten houden met de service provider.

Op het gerealiseerde service provider netwerk wordt Carrier Ethernet toegepast. Aan de hand van meerdere technieken en protocollen moet de laag-2 infrastructuur een beheerbare en meetbare omgeving worden. Het meten van een omgeving wordt gerealiseerd met 'Operations, Administration en Maintenance' en bestaat uit meerdere technieken. Deze technieken zijn beschreven in het protocol 802.1ag. Met behulp van deze technieken wordt er een domein aangemaakt binnen de infrastructuur. Binnen het aangemaakte domein is het mogelijk de verbinding te meten. De waardes, welke gemeten kunnen worden, zijn onder andere delay en jitter. Deze waardes zijn van belang voor de 'Quality of Service', welke is opgenomen in de SLA.

Uit het Proof of Concept is geconcludeerd dat het mogelijk is om een Carrier Ethernet omgeving te realiseren op een bestaande laag-2 infrastructuur. Een belangrijke voorwaarde is dat alle apparatuur, binnen de Carrier Ethernet omgeving, MEF gecertificeerd is. Op deze manier wordt er gegarandeerd dat de benodigde protocollen aanwezig zijn op de apparatuur.

Inhoudsopgave

Voorwoord	ii
Samenvatting	iii
Inleiding	vi
Fase 1 Initiatiefase	vii
Achtergronden	viii
Opdrachtomschrijving	x
Projectinrichting	xiii
Fase 2 Definitiefase	xv
Aanpak	xvi
Projectomschrijving	xix
Fase 3 Onderzoeksfase	1
Fase 3.1 Onderzoeksfase - Literatuuronderzoek	2
1. Wat is Carrier Ethernet	4
1.1. Wat is Ethernet	4
1.2. De communities betrokken bij Carrier Ethernet	6
1.3. Carrier Ethernet gedefinieerd.	6
1.4. Verschil tussen Ethernet en Carrier Ethernet	11
1.5. De voor- en nadelen van Carrier Ethernet	11
1.6. Beschikbaarheid Carrier Ethernet	13
2. Carrier Ethernet services gedefinieerd.	15
2.1. Begrippen en definities.	15
2.2. Technieken en protocollen	17
2.3. Carrier certificering	21
3. Hoe wordt de verbinding verzorgd door de Service Provider.	24
3.1. Onderliggende protocollen	24
3.2. Testomgeving	30
4. Realisatie van Carrier Ethernet service	32
4.1. Service Management	32
4.2. Proof of Concept	35
Fase 3.2 Onderzoeksfase – Empirisch onderzoek	36
5. Testopstelling	38
5.1. Definitiefase	38
5.2. Ontwerpfase	39
5.3. Ontwikkelfase	40
5.4. Resultaten	43
6. Proof of Concept	47
6.1. Definitiefase	47
6.2. Ontwerpfase	48
6.3. Ontwikkelfase	49
6.4. Resultaten	50

Fase 4 Concluderende fase.....	56
7. Conclusie & Aanbevelingen.....	57
7.1. Conclusie	57
7.2. Aanbevelingen.....	58
8. Afstudeertraject	59
8.1. Proces	59
8.2. Evaluatie	62
8.3. Competenties	62
9. Literatuurlijst	64
10. Bijlagen	66

Inleiding

Tijdens mijn eerste afstudeerperiode ben ik werkzaam geweest op de afdeling projects&planning bij Qi ict. Mijn bedrijfsbegeleider tijdens de bovengenoemde periode was dhr. E.Vroege, die werkzaam is als project manager binnen deze afdeling.

De afstudeerperiode bestond uit een onderzoek naar Carrier Ethernet. Het onderzoek is opgedeeld in twee delen, namelijk een literatuuronderzoek en een praktisch onderzoek. In het literatuuronderzoek werd onderzocht wat Carrier Ethernet is. Ook werd er in het literatuuronderzoek onderzocht welke technieken en protocollen van toepassing zijn op Carrier Ethernet. In het praktische onderzoek is getest of de gevonden technieken en protocollen toepasbaar zijn op een bestaande laag-2 infrastructuur, zodoende dat er een Carrier Ethernet omgeving gerealiseerd kan worden.

In dit document wordt beschreven wat Carrier Ethernet is en op welke wijze Carrier Ethernet gerealiseerd wordt. Naast de beschrijving van Carrier Ethernet zijn ook de resultaten van het praktische onderzoek te vinden in dit document. De vraag die uiteindelijk beantwoord wordt in dit document is: "Is Carrier Ethernet te realiseren op een bestaande laag-2 infrastructuur en welke voorwaarden worden hieraan gesteld."

In het bovengenoemde document wordt, door middel van meerdere deelvragen en een praktisch onderzoek, de hoofdvraag beantwoord. Als eerst komen de algemene aspecten aan bod met betrekking tot Carrier Ethernet. Nadat deze aspecten zijn onderzocht wordt er een onderzoeksopzet geformuleerd en wordt deze uitgevoerd. Dit alles is terug te vinden in dit rapport. Tenslotte wordt de hoofdvraag beantwoord. Uiteraard zijn achterin het document de literatuurlijst te vinden en de bijlagen.

Fase 1 Initiatiefase

Voordat de afstudeerperiode aanvangt, is de opdracht reeds gekozen. De opdracht bestaat uit een onderzoek naar Carrier Ethernet. Aan de hand van een beknopte opdrachtschrijving is er een afstudeerplan geformuleerd. Tijdens het formuleren van het afstudeerplan moest er al een keuze worden gemaakt, welke methodieken er gebruikt gaan worden. In de definitiefase van dit document wordt de gekozen methode toegelicht.

De initiatiefase is het begin van het project. In deze fase wordt de afstudeeropdracht nader bekeken en uitgewerkt. Het doel, in deze fase, is duidelijkheid verkrijgen betreffende de gehele opdracht. Aan het eind van deze fase moeten de probleemstellingen en doelstellingen duidelijk zijn. Ook wordt vastgesteld waar de grenzen liggen van de opdracht. In deze fase wordt ook vastgesteld hoe de projectinrichting eruit ziet.

Achtergronden

Beschrijving opdrachtgevende organisatie

Qi ict bv

Delftechpark 35-37

2628 XJ Delft

Telefoon: +31 15 888 04 44

WWW: <http://www.qi.nl>

Qi ict bestaat sinds 1983 en heeft momenteel 77 werknemers in dienst. De core-business van Qi ict is het realiseren van ict-infrastructuren en het onderhouden en beheren van deze infrastructuren. De ambitie van Qi ict is het zorgen dat ict altijd werkt, 24 uur per dag en 365 dagen per jaar. Deze ambitie heeft de pay-off “living uptime” gekregen.

De missie van Qi ict is dan ook: “Het maximaliseren van de uptime van ict-infrastructuren door het aanbieden van hoogwaardige diensten en producten.”

Qi ict is gespecialiseerd op het gebied van netwerk security, networks, storage en datacom. Gecertificeerde engineers implementeren de systemen binnen de netwerken van klanten en na oplevering draagt Qi ict zorg voor het onderhoud: 7 dagen per week, 24 uur per dag. Door de eigen spare-voorraad kan iedere storing snel worden opgelost. Qi ict kan uw netwerkcomponenten in beheer nemen en uw systeem op afstand managen in het Qi ict Network Control Center.

Organisatiestructuur



Figuur 1 Organogram organisatie Qi ict

Qi ict is volgens het bovenstaande organogram gestructureerd. Het afstudeerproject ‘Carrier Ethernet’ wordt ontwikkeld binnen de afdeling ‘Projects & Planning’. In het project kan er eventueel worden samengewerkt met de gehele afdeling Services, wanneer er geen oplossing gevonden kan worden binnen de afdeling ‘Projects & Planning’.

Aanleiding tot het project

Ethernet is één van de oudste en bekendste protocollen betreffende LAN-omgevingen. Tegenwoordig wordt het ethernet-protocol nog steeds op grote schaal gebruikt. Carrier Ethernet moet het mogelijk maken om ook buiten LAN-omgevingen datacommunicatie te realiseren op laag 2 van het OSI-model. Dit houdt in dat er in principe maar één protocol benodigd is in een MAN/WAN omgeving. Er is dus geen protocol conversie meer nodig, tussen bijvoorbeeld Ethernet en ATM.

Ethernet kan een verbinding met veel hogere bandbreedte tot stand brengen in vergelijking met andere protocollen. Dit is één van de redenen waarvoor men heeft gekozen om ethernet op grotere schaal toe te gaan passen. Wanneer men op laag 2 blijft communiceren, zijn de benodigde hoeveelheid apparatuur minder en de kosten die het met zich meebrengt lager. Dit houdt in dat de prijs van een verbinding lager wordt. Omdat men zich tot één protocol standaardiseert is het tevens eenvoudiger om het netwerk te beheren en eventueel uit te breiden.

De core-business van Qi ict is het realiseren en beheren van infrastructuren. Regelmatig worden er nieuwe technieken en protocollen geïntroduceerd, voor het gebruik binnen deze infrastructuren. Om in de toekomst ook hoogwaardige diensten en producten aan te kunnen bieden, is het voor Qi ict een vereiste om op de hoogte te blijven van de laatste technieken. Door standaardisatie zijn Carrier Ethernet infrastructuren eenvoudiger en flexibeler in gebruik en het transport van data wordt sneller en goedkoper. Door het realiseren van deze infrastructuren bij klanten, profiteert niet alleen Qi ict van dit voordeel. Uiteindelijk profiteert ook de klant van een snellere en goedkopere verbinding.

Opdrachtomschrijving

Opdrachtgever en opdrachtnemer

Qi ict bv

Delftechpark 35-37

2628 XJ Delft

Telefoon: +31 15 888 04 44

WWW: <http://www.qi.nl>

Opdrachtgever: dhr. E.Vroege

Opdrachtnemer : dhr. H.Suttorp

Probleemstelling

Op het moment heeft Qi ict nog weinig kennis betreffende Carrier Ethernet. Qi ict wil graag op de markt inspelen en meer kennis verkrijgen betreffende Carrier Ethernet, zodat een desbetreffende ethernet omgeving eventueel gerealiseerd kan worden bij haar relaties. Door middel van een onderzoek wil Qi ict meer kennis verkrijgen betreffende een Carrier Ethernet omgeving. Deze kennis moet in een praktijkomgeving gerealiseerd en getest worden. Zodat eventueel in de toekomst een dergelijke omgeving geïmplementeerd kan worden bij een relatie.

Uit de bovenstaande context kunnen de volgende probleemstellingen worden geformuleerd:

- Wat is Carrier Ethernet en hoe werkt het?
- Welke (rand)voorwaarden worden gesteld bij het implementeren van een Carrier Ethernet omgeving?
- Is het mogelijk een Carrier Ethernet omgeving te realiseren?

Aan de hand van bovenstaande probleemstellingen zijn een aantal deelvragen geformuleerd. Hieronder zijn de verschillende deelvragen beschreven met daarbij de globale inhoud per deelvraag:

- Wat is Carrier Ethernet ?
 - Algemene informatie betreffende Carrier Ethernet;
 - Voor en nadelen van Carrier Ethernet;
 - Verschillen van Carrier Ethernet ten opzichte van Ethernet.
- Hoe verzorgt Carrier Ethernet de verbinding ?
 - Technische aspecten betreffende Carrier Ethernet;
 - Hoe gaat Carrier Ethernet om met reeds bestaande netwerk technieken (QoS, Vlan Tagging en Provider bridging);
 - Realisatie van een praktijkomgeving.
- Waar kan Carrier Ethernet worden toegepast ?
 - Welke randvoorwaarden zijn aanwezig om Carrier Ethernet te implementeren.
- Kan Carrier Ethernet geïmplementeerd worden bij een reeds bestaande infrastructuur ?
 - De gekozen bestaande netwerk infrastructuur;
 - Onderzoeksopzet;
 - Praktisch onderzoek voor de implementatie van Carrier Ethernet in de gekozen infrastructuur (Proof of Concept).

Aangezien Carrier Ethernet een breed onderwerp is, worden er grenzen gesteld binnen dit project. De volgende grenzen, betreffende de probleemstelling, zijn van toepassing op dit project:

- Er wordt een algemeen onderzoek verricht naar wat Carrier Ethernet is;
- Waar Carrier Ethernet kan worden toegepast;
- De voor- en nadelen van Carrier Ethernet ten opzichte van de huidige infrastructuur;
- Kan de huidige infrastructuur bij een relatie, welke middels een laag 2 koppeling verbonden zijn, vervangen worden door Carrier Ethernet;
- Minimaal worden de netwerk technieken: VLAN Tagging, VLAN Stacking, QoS en Provider Bridging onderzocht. Overige netwerk technieken worden niet onderzocht;
- Geschikte apparatuur voor Carrier Ethernet.

Doelstelling

Het doel van de opdracht is om te achterhalen hoe Carrier Ethernet precies werkt en aan welke randvoorwaarden het moet voldoen om een dergelijke omgeving te implementeren bij een klant. Een technisch aspect welke, naast het bovenstaande, onderzocht moet worden is hoe Carrier Ethernet om kan gaan met VLAN tagging en stacking, QoS, Provider bridging en de elementen op de verschillende lagen van het OSI-model.

De technieken en protocollen, welke Carrier Ethernet gebruikt, worden onderzocht aan de hand van een testopstelling. Naast de testopstelling wordt er een Proof of Concept uitgevoerd. Het Proof of Concept is een uitbreiding op de testomgeving. Uit het Proof of Concept moet blijken of Carrier Ethernet in de praktijk te realiseren is en hoe het omgaat met de eerder beschreven technieken en protocollen.

Alle resultaten van het onderzoek worden zorgvuldig en duidelijk gedocumenteerd. Het document moet zodanig geformuleerd zijn dat dit later bruikbaar is bij de realisatie van een Carrier Ethernet omgeving.

Wat niet onder de doelstelling valt zijn de volgende punten:

- Kostenoverzicht van een Carrier Ethernet omgeving;
- Vergelijking van de verschillende Carrier Ethernet apparatuur;
- Kostenvergelijking van Carrier Ethernet ten opzichte van de huidige infrastructuur.

Opdrachtbeschrijving

De opdracht is een onderzoek naar Carrier Ethernet. De volgende vragen staan hierbij centraal:

- Hoe Carrier Ethernet werkt;
- Is Carrier Ethernet te realiseren op klantnetwerken met meerdere locaties, welke gekoppeld zijn middels een laag-2 infrastructuur;
- Welke randvoorwaarden worden er gesteld bij realisatie van een Carrier Ethernet omgeving.

Aan de hand van de gevonden informatie wordt er een testopstelling gerealiseerd. Deze testopstelling moet de techniek bevestigen, welke Carrier Ethernet gebruikt om een verbinding te realiseren. Naast de testopstelling moet er ook een Proof of Concept geleverd worden. Met het Proof of Concept moet worden aangetoond dat meerdere locaties, van een klant, kunnen communiceren over een Carrier Ethernet infrastructuur. Alle resultaten, uit de hierboven omschreven opdracht, worden gedocumenteerd in het onderzoeksrapport.

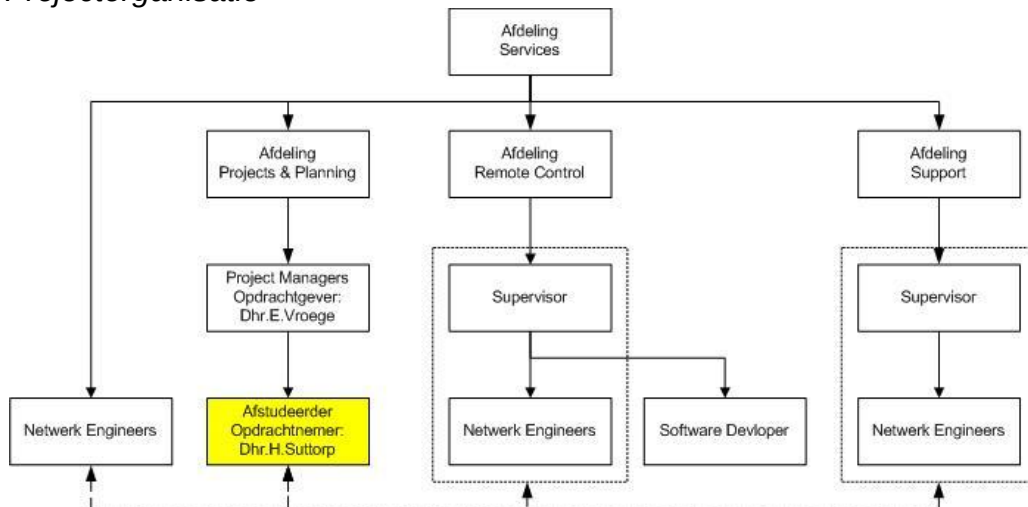
Het onderzoeksrapport, onderbouwd door de testopstelling, wordt gepresenteerd/gedemonstreerd aan één of meerdere medewerkers van Qi ict.

Enkele eisen aan het eindresultaat zijn:

- Alle resultaten van het onderzoek moeten zorgvuldig en duidelijk worden gedocumenteerd. Het document moet zodanig geformuleerd zijn dat dit later ook bruikbaar is bij de realisatie/migratie van een Carrier Ethernet omgeving;
- Er moet een presentatie worden gegeven aan de medewerkers van Qi ict. In de presentatie worden de behaalde resultaten uit het onderzoek toegelicht. Na de presentatie krijgen de medewerkers van Qi ict de gelegenheid vragen te stellen;
- Het Proof of Concept moet worden gedemonstreerd aan één of meerdere medewerkers van Qi ict. Tijdens de demonstratie krijgen de medewerkers de mogelijkheid om vragen te stellen om eventuele onduidelijkheden te voorkomen.

Projectinrichting

Projectorganisatie



Figuur 2 Organogram van het project.

In het bovenstaande organogram is te zien dat de projectopdracht binnen de afdeling 'Projects & Planning' valt. De projectopdracht is een op zichzelf staand project en valt dus niet onder een ander project. De projectopdracht bestaat ook niet uit meerdere deelprojecten.

In Figuur 2 is ook te zien hoe de verschillende rollen van het project verdeeld zijn.

- Opdrachtgever: dhr.E.Vroege (project manager);
- Opdrachtnemer: dhr.H.Suttorp (afstudeerder);
- Referentiegroep: Alle netwerk engineers van de afdeling 'Projects & Planning';
- Referentiegroep: Alle netwerk engineers en supervisors van de afdeling 'Remote Control';
- Referentiegroep: Alle netwerk engineers en supervisors van de afdeling 'Support'.

De referentiegroep bestaat uit netwerk engineers, welke expert zijn op het gebied van de projectopdracht. Aan deze groep kan waardevolle informatie gevraagd worden omtrent de projectopdracht. Als terugkoppeling wordt er aan de referentiegroep een demonstratie en presentatie gegeven. De referentiegroep krijgt hier ook de mogelijkheid vragen te stellen, om eventuele onduidelijkheden te ontnemen.

Informatievoorziening

Om de opdrachtgever goed op de hoogte te houden, betreffende het verloop van de projectopdracht, wordt er iedere week eenmaal een vergadering gepland. Bij deze vergadering zijn aanwezig de opdrachtgever en opdrachtnemer. Wanneer er technische aspecten besproken moeten worden, kunnen eventueel engineers uit de referentiegroep uitgenodigd worden.

Aan het einde van het project wordt er een demonstratie en presentatie gegeven over het eindresultaat. Alle betrokkenen worden voor dit moment uitgenodigd. Dit moment moet ervoor zorgen dat eventuele onduidelijkheden, bij all betrokkenen, duidelijk worden.

Faciliteiten

Om het project te doen slagen zijn de volgende hulpmiddelen benodigd:

Software

- Wireshark Netwerk Analyse tool;
- Microsoft Office 2007;
- Microsoft Visio 2007;
- Microsoft Projects 2003.

Hardware

- Carrier Ethernet 'ready' apparatuur;
- Tweetal werkstations;
- Ethernet apparatuur.

Literatuur en kennis

- Documentatie betreffende IEEE802.3ah, documentatie betreffende de standaardisatie van ethernet;
- Metro Ethernet Forum (MEF) documenten, documentatie betreffende de standaardisatie rondom Carrier Ethernet;
- Algemene kennis betreffende netwerktechnologieën, zoals het OSI-model en VLAN technologie;
- Internetbronnen betreffende Carrier Ethernet en Ethernet;
- Een ontwerp van een reeds bestaande laag-2 infrastructuur voor het Proof of Concept.

Kwaliteitsborging

Aan het einde van het project moet er een werkende Carrier Ethernet omgeving worden gedemonstreerd. Aan de hand van de bijbehorende presentatie moeten alle principes van Carrier Ethernet, welke omschreven zijn in het projectdocument, duidelijk zijn bij alle betrokkenen.

Wanneer het literatuuronderzoek afgerond is, wordt het tussentijdse projectdocument verstuurd naar de opdrachtgever. De opdrachtgever krijgt op deze manier een indruk van de vorderingen. Om het document ook op technische aspecten te controleren, krijgen een aantal engineers ook het document toegestuurd. De engineers kunnen aan de opdrachtnemer vragen stellen of opmerkingen plaatsen betreffende het tussentijdse projectdocument. Op deze manier wordt de kwaliteit van het document gewaarborgd.

Om de kwaliteit te borgen van het project wordt de opdrachtgever goed op de hoogte gehouden. Dit gebeurt aan de hand van de afspraken, welke gemaakt zijn de paragraaf 'informatievoorziening' eerder besproken in dit hoofdstuk.

Fase 2 Definitiefase

Nadat het idee tot het project is uitgewerkt in de initiatiefase, kan de definitiefase beginnen. In de definitiefase worden de probleemstellingen, doelstellingen en opdrachtbeschrijving definitief geformuleerd. Naast het vaststellen van het bovengenoemde, wordt ook de aanpak en de risico's van het project beschreven. Als laatst wordt de projectplanning geformuleerd.

Om de probleemstellingen, doelstellingen en opdrachtbeschrijvingen definitief vast te stellen, wordt er een vergadering georganiseerd voor de opdrachtgever, opdrachtnemer en de referentiegroep. In deze vergadering worden de bovengenoemde onderwerpen besproken en vastgesteld. Op deze wijze wordt voor ieder projectlid de projectopdracht duidelijk en ziet iedereen de opdracht vanuit dezelfde visie. Ook wordt er in dezelfde vergadering een concept voor het praktijkontwerp van de testopstelling bedacht. Dit moet vroegtijdig gebeuren, aangezien eventuele hardware aangevraagd moet worden bij de leverancier.

Wanneer alles omtrent de opdracht duidelijk is, wordt het definitief gedocumenteerd in het plan van aanpak. Het plan van aanpak wordt ingeleverd bij de opdrachtgever, zodra de opdrachtgever het goedkeurt, wordt het project gestart.

Aanpak

Methoden en technieken

Het gehele afstudeertraject is opgedeeld in een aantal projectfasen. Binnen één van deze projectfasen bevindt zich het onderzoek. De te hanteren methodieken voor het onderzoek, zijn een combinatie van een literatuuronderzoek en een empirisch onderzoek.

Carrier Ethernet is al grotendeels gestandaardiseerd. Dit is allemaal gedocumenteerd door het Metro Ethernet Forum. Omdat Carrier Ethernet al grotendeels gestandaardiseerd is, is een literatuuronderzoek noodzakelijk. Het empirisch onderzoek oftewel het praktische onderzoek vindt plaats om praktische aspecten betreffende Carrier Ethernet te toetsen en een schaalbare omgeving te migreren naar een Carrier Ethernet omgeving.

Er is gekozen om een eigen projectmethodiek te gebruiken, aangezien er geen 'standaard' onderzoeksmethodiek bekend is bij de opdrachtnemer. Een andere reden, om een eigen projectmethode te gebruiken, is het succes van eerdere stageopdrachten. Bij deze stageopdrachten zijn ook zelf ontworpen projectmethodieken gebruikt en deze opdrachten zijn met succes afgerond.

Van een collega stagiair is een boek verkregen betreft onderzoeken. De gekozen methode is vergeleken met de onderzoeksmethode beschreven in het verkregen boek: "Wat is onderzoek?" geschreven door de auteur mevrouw N. Verhoeven. De methode beschreven in dit boek is niet geschikt voor dit onderzoek. De methode richt zich voornamelijk op het literatuuronderzoek. Bij het onderzoek naar Carrier Ethernet is zowel het literatuuronderzoek als het empirische onderzoek van belang.

Voor het literatuuronderzoek, kan de methode uit het genoemde boek eventueel gebruikt worden. Echter is hier niet voor gekozen omdat de methode te uitgebreid is voor dit literatuuronderzoek. Een tweede reden is indien de methode gebruikt wordt, moet deze eerst geleerd worden. Dit kost tijd en gaat ten koste van het onderzoek zelf.

De ontworpen projectmethodiek, voor de afstudeeropdracht, bestaat uit vier fasen. Deze fasen zijn afgeleid van een onderzoeksdocument van de Erasmus universiteit te Rotterdam. Hieronder de vier fasen beschreven:

- *Initiatie/analysefase*; Beeld verkrijgen van de opdracht en een voorlopig project plan formuleren;
- *Definitiefase*; De opdracht duidelijk en concreet formuleren. Het projectverloop wordt ook vastgesteld en de probleemstelling en deelvragen worden geformuleerd;
- *Onderzoeksfase*
 - o *Literatuuronderzoek*; De benodigde literatuur verzamelen en de deelvragen beantwoorden aan de hand van de gevonden literatuur;

- *Empirisch onderzoek*; Testomgeving ontwerpen en aan de hand van deze omgeving de technieken van Carrier Ethernet bevestigen. Ook wordt de theorie uit het literatuuronderzoek eventueel bevestigd of ontkracht. In deze fase van het onderzoek wordt ook een schaalbare laag-2 infrastructuur naar een Carrier Ethernet omgeving gemigreerd (Proof of Concept).
- *Concluderende fase*; Aan de hand van de conclusies uit de deelvragen en het empirisch onderzoek, wordt er een algehele conclusie getrokken van de probleemstellingen.

Werkzaamheden

Fase	Subfase	Werkzaamheden
Initiatiefase		- Algemene informatie zoeken betreffende Carrier Ethernet; - Voorlopige probleemstelling formuleren; - Voorlopige deelvragen formuleren; - Concept Plan van Aanpak maken.
Definitiefase		- Het vaststellen van de opdracht; - Vaststellen van de grenzen en eisen aan de opdracht; - Probleemstelling en deelvragen formuleren; - Gedetailleerde tijdsplanning maken betreffende de initiatiefase en definitiefase; - Globale planning maken betreffende onderzoeksfase en concluderende fase; - Plan van Aanpak formuleren.
Onderzoeksfase	Literatuur onderzoek	- Gedetailleerde planning maken Onderzoeksfase; - Vooronderzoek, algemene informatie, aspecten en principes rond Carrier Ethernet zoeken; - Literatuur zoeken, welke benodigd zijn voor het beantwoorden van de deelvragen; - Deelvragen beantwoorden aan de hand van de gevonden literatuur; - Eventueel extra literatuur zoeken om de deelvragen beter te kunnen beantwoorden.
	Empirisch onderzoek	- Testomgeving ontwerpen en realiseren; - Proof of Concept ontwerpen en realiseren; - Theorieën uit de deelvragen bevestigen of ontkrachten door middel van een praktijktest.
Concluderende fase		- Gedetailleerde planning maken betreffende afronding van het project; - Algehele conclusie trekken uit de

		resultaten van het onderzoek; - Documentatie tot één geheel vormen.
--	--	--

Tabel 1 Werkzaamheden per fase

De werkzaamheden, te zien in tabel 1, staan op volgorde van uitvoeren. Eenmaal in de onderzoeksfase belandt, is het niet meer mogelijk terug te gaan naar de definitiefase. Wel is het mogelijk om vanuit het empirisch onderzoek tijdelijk een stap terug te gaan naar het literatuuronderzoek, om nog eventuele extra informatie in te winnen.

Standaarden

Er wordt voor het documenteren gebruik gemaakt van de volgende software:

- Microsoft Word 2007; tekstverwerken;
- Microsoft Projects 2003; planning;
- Microsoft Visio 2007; schema's en diagrammen.

De lay-out van het document bevat de volgende standaarden:

Lettertype is 'Arial' met grootte '10' en kleur 'Zwart'.

- Voettekst bevat de volgende documentinformatie:
 - o Projectnaam;
 - o Datum;
 - o Versie;
 - o Paginanummering;
 - o Naam van het document;
 - o Naam afstudeerder.
- Onderschrift figuren, tabellen en schema's zijn in lettertype 'Arial' met grootte '10'.
- Titels en kopteksten zijn in de stijlen van het 'Qi ict' sjabloon.
 - o Lettertype 'Arial' en grootte '12'.

Planning

Voor de gedetailleerde tijdsplanning van het project, zie het bestand 'planning carrier ethernet v1.2.mpp'.

Projectomschrijving

Op te leveren producten

Tussenproducten

- Concept van het Plan van Aanpak;
- Concept van het onderzoeksdocument;

Eindproducten

- Plan van Aanpak;
- Onderzoeksrapport van de gehele opdracht;
- Demonstratie met behulp van de testomgeving;
- Presentatie omtrent de opdracht en de resultaten ervan.

Projectgrenzen

In dit project wordt onderzocht:

- Hoe werkt Carrier Ethernet en wat houdt Carrier Ethernet precies in;
- Werkt een Carrier Ethernet omgeving (naar behoren);
- Is het mogelijk een bestaande netwerk infrastructuur te migreren naar een Carrier Ethernet infrastructuur;
- Wat zijn de technische voor- en nadelen van een Carrier Ethernet omgeving.

Er wordt niet onderzocht:

- Wat zijn de kosten van Carrier Ethernet;
- Is Carrier Ethernet financieel rendabel ten opzichte van de reeds bestaande netwerk infrastructuren;
- Welke Carrier Ethernet apparatuur het beste functioneert.

Het eindresultaat van dit project is een onderzoeksrapport en geen adviesrapport. Het eindresultaat moet meer duidelijk geven betreffende Carrier Ethernet en de (migratie)mogelijkheden van Carrier Ethernet. Er wordt geen advies afgegeven betreffende de kosten of de beste (migratie)mogelijkheden.

Randvoorwaarden

Om het project te doen slagen, dienen er aan een aantal voorwaarden te worden voldaan.

- De benodigde apparatuur, voor het Proof of Concept, is niet op voorraad en moet worden besteld;
- Voor het rapport en de voortgang van het project vinden er meerdere evaluatiemomenten plaats met de opdrachtgever en de aangewezen docenten vanuit de onderwijsinstelling;
- Tijdens het project wordt de planning gehanteerd welke in het Plan van Aanpak is opgenomen.

Fase 3 Onderzoeksfase

Nadat de definitiefase is afgerond en alle zaken betreffende het project duidelijk zijn, wordt er begonnen met de onderzoeksfase. De onderzoeksfase is verdeeld in twee subfasen, namelijk het literatuuronderzoek en het empirisch onderzoek. Voordat er aan deze twee subfasen begonnen wordt, worden eerst de deelvragen nogmaals nagelopen en eventueel aangepast. Zodra alle deelvragen definitief zijn, kan er een planning gemaakt worden van de onderzoeksfase. Deze planning is te vinden in het bestand 'Planning Onderzoeksfase v1.0.mpp'.

In het literatuuronderzoek wordt er zoveel mogelijk informatie gewonnen en gedocumenteerd rondom de probleemstelling en de deelvragen. Aan de hand van de gewonnen informatie moeten de deelvragen beantwoord kunnen worden. In een aantal deelvragen moeten praktische onderzoeken worden verricht, om de deelvraag te kunnen beantwoorden of onderbouwen. Deze deelvragen worden eerst in het literatuuronderzoek alleen theoretisch onderzocht.

In het empirisch onderzoek worden de praktische gedeelten van de deelvragen onderzocht. Er wordt een onderzoek opgezet om de gevonden theorie te toetsen. Aan de hand van de gevonden resultaten, moeten de openstaande deelvragen beantwoord worden. Als laatst wordt er een Proof of Concept opgezet. Met het Proof of Concept moet worden aangetoond of Carrier Ethernet wel of niet toepasbaar is binnen de gestelde voorwaarden.

Voordat er begonnen is aan het literatuuronderzoek, moesten de deelvragen worden vastgesteld. Omdat ik weinig kennis had over het onderwerp, heeft er een vooronderzoek plaatsgevonden. Het vooronderzoek had als doel globale informatie te winnen betreffende Carrier Ethernet. Voor het inwinnen van de globale informatie is het meest gebruik gemaakt van het internet. De website van MEF (www.metroethernetforum.com) is veel gebruikt. Dit is de officiële website van de community, welke Carrier Ethernet tot stand heeft gebracht. Ook de websites van verschillende vendors, zoals Cisco; Brocade, Alcatel-Lucent en RAD, boden veel documenten aan met algemene informatie betreffende Carrier Ethernet. Naast de bovengenoemde bronnen, is er ook nog gezocht in de zoekmachine Google. Het gebruik van de termen 'Carrier Ethernet' en 'Metro Ethernet' gaf genoeg resultaten in de zoekmachine om de deelvragen te formuleren.

Met de gevonden informatie uit het vooronderzoek en de probleemstellingen konden de volgende deelvragen worden geformuleerd:

- Wat is Carrier Ethernet;
- Op welke wijze verkrijgt Ethernet haar Carrier status;
- Hoe wordt de verbinding gerealiseerd binnen de service provider;
- Kan Carrier Ethernet worden gerealiseerd binnen een reeds bestaande infrastructuur.

Fase 3.1 Onderzoeksfase - Literatuuronderzoek

Het eerste gedeelte van de onderzoeksfase was het vooronderzoek, beschreven in 'fase 3 onderzoeksfase'. Aan de hand van dit vooronderzoek zijn de deelvragen geformuleerd. De volgende stap is het uitvoeren van het literatuuronderzoek. Na het uitvoeren van deze fase moeten de deelvragen worden beantwoord. Voordat de deelvragen beantwoord kunnen worden, moeten deze eerst onderverdeeld worden in deelproblemen.

De deelproblemen zijn tot stand gekomen door een combinatie van brainstormen en het globaal doorzoeken (sneeuwbaaleffect) op de betreffende deelvraag. Door specifieker door te zoeken binnen de bronnen uit het vooronderzoek, ontstonden er nieuwe vraagstukken. Uit deze vraagstukken zijn nieuwe deelproblemen geformuleerd. De deelproblemen zijn hieronder, per deelvraag, weergegeven:

- Wat is Carrier Ethernet;
 - Wat is Ethernet;
 - Welke communities zijn er betrokken bij Carrier Ethernet;
 - Wat verstaat men onder de definitie Carrier Ethernet;
 - Wat is het verschil tussen Ethernet en Carrier Ethernet;
 - Waarom Ethernet hervormen tot een Carrier gecertificeerd protocol;
 - Is Carrier Ethernet reeds beschikbaar.
- Carrier Ethernet services gedefinieerd;
 - Welke technieken en protocollen gebruikt Carrier Ethernet;
 - Welke vereisten zijn gesteld door het Metro Ethernet Forum;
 - Welke vereisten zijn gesteld aan de apparatuur.
- Hoe wordt de verbinding gerealiseerd binnen de service provider;
 - Op welke protocollen is Carrier Ethernet toepasbaar;
 - Testomgeving.
- Realisatie van Carrier Ethernet service.
 - Welke voorwaarden worden er gesteld bij implementatie van Carrier Ethernet;
 - Proof of Concept.

Door het beantwoorden van de deelproblemen is het mogelijk de deelvraag te beantwoorden. Voor het beantwoorden van de deelproblemen worden wederom de eerder gebruikte bronnen toegepast. In deze bronnen wordt nog specifieker doorgezocht. Ook is er gebruik gemaakt van de boeken:

- 'Delivering Carrier Ethernet', auteur Abdul Kasim;
- 'Carrier Ethernet Providing the Need for Speed', auteur Gilbert Held.

De deelvraag 'Wat is Carrier Ethernet' bevat algemene informatie betreffende Carrier Ethernet. Voor deze deelvraag zijn de eerder gebruikte bronnen en de bovenstaande boeken voldoende om tot een antwoord te komen. De deelvragen 'Op welke wijze verkrijgt Ethernet haar Carrier status' en 'Hoe wordt de verbinding gerealiseerd binnen de service provider' bevat veel technische diepgang. Er worden technieken en protocollen beschreven welke Carrier Ethernet gebruikt. Ook wordt er gekeken naar de eisen aan de apparatuur.

Om de bovenstaande deelvragen te beantwoorden moeten er meerdere bronnen gebruikt worden. Veel van de protocollen en technieken zijn vastgesteld door andere communities. De websites van deze communities bevatten officiële documentatie van de technieken en protocollen. Ook vendors, zoals Cisco en Brocade, geven veel informatie betreffende de technieken en protocollen. Echter kunnen deze documenten nogal omslachtig en onoverzichtelijk zijn, hierdoor is er ook gebruik gemaakt van de zoekmachine Google. Als zoekterm is de naam of afkorting van het betreffende protocol of techniek gebruikt. Om de betrouwbaarheid van de informatie te waarborgen, wordt de gevonden informatie vergeleken met de officiële documentatie van de communities of de documentatie van de vendors. Deze informatie wordt als betrouwbaar gezien, omdat deze de protocollen hebben gestandaardiseerd of gebruiken op haar apparatuur.

Voor de deelvraag 'Hoe wordt de verbinding gerealiseerd binnen de service provider' is ook veel gebruik gemaakt van het boek 'Delivering Carrier Ethernet'. In dit boek is veel informatie te vinden betreffende de toepasbaarheid in de praktijk. Deze deelvraag wordt, aan de hand van praktisch onderzoek, getoetst. In de laatste deelvraag wordt er onderzocht of Carrier Ethernet te realiseren is. De eerder gevonden informatie is hier van groot belang, aangezien de deelvraag een opsomming is van de gevonden theorieën. Het Proof of Concept in deze deelvraag toetst de eerder gevonden informatie.

De laatste twee deelvragen worden in het literatuuronderzoek maar deels beantwoord, aangezien de testopstelling en het Proof of Concept pas worden onderzocht in het empirisch onderzoek van de onderzoeksfase.

1. Wat is Carrier Ethernet

Carrier Ethernet is een breed onderwerp. Er zijn vele verschillende soorten infrastructures waar Carrier Ethernet toegepast kan worden. Omdat deze infrastructures allemaal haar eigen protocollen gebruiken, zijn er ook veel verschillende mogelijkheden om Carrier Ethernet toe te passen. Hiernaast geven vendors soms ook een eigen naam aan een bepaald protocol. Mede om deze reden is het gebruik van protocol gestandaardiseerd en gedocumenteerd door communities¹.

In dit hoofdstuk wordt uitgelegd wat Carrier Ethernet is en welke aspecten Carrier Ethernet onderscheiden van traditioneel Ethernet.

1.1. Wat is Ethernet.

Ethernet is een netwerkprotocol waarmee apparatuur, zoals computers, met elkaar communiceren. Het ethernet protocol bevindt zich op laag-1 van het OSI-model². Deze laag in het OSI-model heet de 'fysieke laag'. Deze laag beschrijft de basis karakteristieken van het netwerk, zoals de gebruikte mechanismen en schema's van de elektrische signalen. Enkele voorbeelden zijn: kabeltypes, stekkers en de spanning op de kabels. Datatransport over een kabel gebeurt middels elektrische signalen. De data op de 'fysieke laag' wordt getransporteerd in bits, oftewel binair. De verschillen in voltage komen overeen met nullen en enen uit het binaire stelsel (laag voltage = 0 en hoog voltage = 1).

Ethernet wordt ook wel beschouwd als een laag-2 protocol. In dit geval werkt Ethernet samen met een protocol uit de 'data-link laag'. Dit protocol heet 'Media Access Control' (MAC). De 'data-link laag' verzorgt de functionaliteit die nodig is om de data (betrouwbaar) te kunnen versturen tussen de verschillende apparatuur binnen het netwerk. Dit gebeurt aan de hand van een uniek MAC-adres. Het MAC-adres wordt opgegeven door de fabrikant en is gekoppeld aan het betreffende netwerkkapparaat.

Bij Ethernet op laag-2 wordt de data verstuurd in frames. In deze frames is onder meer de bestemming en afzender te vinden. Uiteraard bevindt zich in dit frame ook de data, welke getransporteerd moet worden.

Preamble	Destination MAC	Source MAC	etherType	Payload/Data	Frame Check Sequence
----------	--------------------	---------------	-----------	--------------	-------------------------

Figuur 3 Structuur van een Ethernet frame

¹ Een community is een groep mensen welke samenwerken aan protocollen en standaardisatie van technieken.

² Het OSI-model is een gestandaardiseerd middel om te beschrijven hoe data wordt verstuurd over een netwerk. OSI staat voor Open Systems Interconnecting

Wanneer er wordt verwezen naar Ethernet in het document, wordt de volgende definitie gehanteerd.

Definitie Ethernet

Ethernet bevindt zich op laag-2 van het OSI-model en maakt gebruik van het protocol MAC. De data wordt verstuurd middels 'Ethernet-frames'.

1.1.1. Geschiedenis van Ethernet

Het verhaal gaat rond dat Ethernet in 1973 is uitgevonden door Robert Metcalfe toen hij een memo schreef aan één van zijn bazen over het potentieel van Ethernet. Echter claimt Metcalfe zelf dat Ethernet uitgevonden is over een periode van jaren. In 1976 publiceerde Robert Metcalfe samen met David Boggs een document genaamd: "Ethernet: Distributed Packet-Switching for Local Area Computer Networks."

In 1983 is Ethernet gestandaardiseerd en gedocumenteerd door het 'Institute of Electrical and Electronics Engineers' (IEEE). Ethernet is beschreven in het document IEEE 802.3 en heeft sinds 1983 al tientallen uitbreidingen gehad. Enkele voorbeelden zijn: 'Link aggregation' (IEEE 802.3ad) en 'Power over Ethernet' (IEEE 802.3at).

1.1.2. Media voor Ethernet

Ethernet kan over verschillende media getransporteerd worden. Momenteel zijn in LAN netwerken voornamelijk 'Ethernet over Koper' verbindingen te vinden. 'Ethernet over Koper' is relatief goedkoop en kan hoge transmissiesnelheden bereiken. Hierbij komt ook het voordeel dat naast data ook tegelijkertijd stroom kan worden aangeboden (Power over Ethernet). Hierdoor is het mogelijk apparatuur te voorzien van zowel data als stroom met één enkele kabel. Een opkomende vorm van media is glasvezel, oftewel 'Ethernet over Glasvezel'. Deze vorm van media is relatief (nog) duur vergeleken met 'Ethernet over Koper'. Glasvezel is in staat een grotere afstand te overbruggen dan koper.. Echter zijn de kosten van een glasvezel infrastructuur hoger dan koper infrastructuren.

Momenteel wordt glasvezel veel gebruikt in MAN- en WAN infrastructuren. Hier zijn grotere bandbreedtes een vereiste. Binnen LAN infrastructuren wordt nog steeds koper gebruikt als medium en de verwachting is dat dit voorlopig nog zo blijft. De kosten van koper zijn beduidend lager en de snelheden van koper zijn voldoende voor communicatie binnen het lokale netwerk.

1.2. De communities betrokken bij Carrier Ethernet.

Bij de standaardisatie van Carrier Ethernet zijn meerdere personen betrokken geweest. De meeste van deze personen zijn lid van een community. Elke community heeft zijn eigen werkgebied. Technieken en protocollen worden beschreven in RFC documenten. Een selectie van deze documenten worden door de communities IEEE en IETF gestandaardiseerd. De MEF gebruikt vervolgens weer een selectie van deze protocollen voor Carrier Ethernet.

De belangrijkste community binnen het ontstaan en standaardiseren van Carrier Ethernet is het Metro Ethernet Forum (MEF). MEF heeft diverse documenten gemaakt waarin technische specificaties zijn uitgelegd. De meeste van de documenten beschrijven echter de implementatie voorwaarden waar Carrier Ethernet aan moet voldoen. Bij deze voorwaarden wordt er voornamelijk gebruik gemaakt van standaarden van andere communities. Ook houdt de MEF zich bezig met het promoten van Carrier Ethernet. Haar missie is dan ook: Wereldwijde adoptie van Carrier Ethernet infrastructuur.

De meeste technische aspecten rondom Carrier Ethernet zijn terug te vinden in documenten van het 'Institute of Electrical and Electronics Engineers' (IEEE). Daarnaast werken ook de communities 'Internet Engineering Task Force' (IETF) en 'International Telecommunication Union' (ITU) mee aan standaardisatie van Carrier Ethernet. De voornaamste werkzaamheden van de bovengenoemde communities zijn het beschrijven, onderzoeken en standaardiseren van communicatietechnieken.

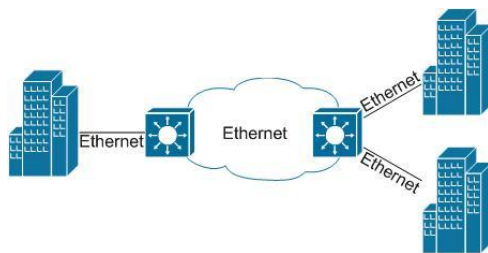
De protocollen en de overige aspecten rondom netwerken en het internet worden beschreven in 'Request For Comments' (RFC). Dit zijn documenten welke tot stand komen tijdens een discussieronde en brainstormsessie van meerdere personen. Één persoon regelt deze sessies en het publicatieproces. Niet alle RFC documenten worden als standaard gezien. Een RFC wordt als standaard erkend, zodra deze door IETF is goed gekeurd.

1.3. Carrier Ethernet gedefinieerd.

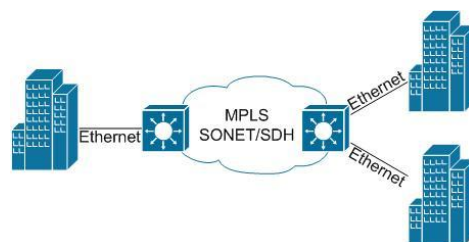
Carrier Ethernet is afgekort van 'Carrier class Ethernet', oftewel de Carrier gradatie op het Ethernet protocol. Carrier Ethernet is geen nieuwe techniek of protocol, maar een service. Het Ethernet protocol is de basis van deze service. Aan de hand van andere protocollen wordt Ethernet uitgebreid tot Carrier Ethernet. Zo zorgen bijvoorbeeld de protocollen IEEE802.3ah, IEEE802.1ag & Y.1731 samen met Quality of Service voor een betrouwbare verbinding. De mogelijkheden en het gebruik van de protocollen is vastgelegd in de MEF documentatie.

Carrier Ethernet kan op twee manieren worden geïnterpreteerd, namelijk:

- Carrier Ethernet Transport; de verbeteringen en voorwaarden waaraan een Ethernet netwerk moet voldoen om carrier grade transport mogelijk te maken, zowel bij de Service Provider als binnen het klantnetwerk;
- Ethernet as a carrier service; De klanten verbinden middels een laag-2 ethernet verbinding, als een VLAN, met de service provider. De service provider maakt verbinding tussen twee locaties en laat lijken alsof er een directe verbinding is. Echter kan de service provider intern gebruik maken van verschillende transport technologieën, zoals MPLS of SDH.



Figuur 4 Carrier Ethernet Transport



Figuur 5 Ethernet as a carrier service

Volgens het Metro Ethernet Forum (MEF) wordt onder de definitie Carrier Ethernet verstaan: “Een universele, gestandaardiseerde, carrier-grade service. De volgende vijf attributen onderscheiden Carrier Ethernet van het huidige bekende protocol Ethernet:

- Gestandaardiseerde services;
- Schaalbaarheid;
- Betrouwbaarheid;
- Quality of Service (QoS);
- Service management.

1.3.1. Gestandaardiseerde services

Gestandaardiseerde services maken het mogelijk om een verbinding tot stand te brengen op een efficiënte en vastgestelde methode. Op deze manier is het ook mogelijk een Carrier Ethernet verbinding tot stand te brengen over meerdere verschillende service providers.

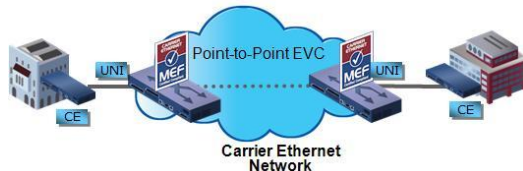
De MEF definieert dat Carrier Ethernet het mogelijk maakt Ethernet services overal aan te bieden op gestandaardiseerde apparatuur, onafhankelijk van de onderliggende media en netwerkinfrastructuur. Dit is een belangrijke eis om Carrier Ethernet te realiseren op een grote schaal. Aangezien niet iedere service provider gebruik maakt van dezelfde apparatuur of protocollen.

Ethernet services

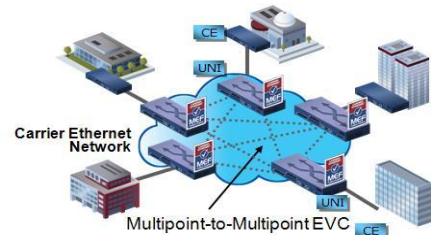
De MEF heeft tot zover drie ethernet service infrastructuren gedefinieerd voor een Carrier Ethernet verbinding.

De drie infrastructuren zijn:

- E-Line: is een point-to-point Ethernet Virtual Connection (EVC)³ tussen twee User Network Interfaces (UNI⁴) in een Ethernet netwerk. Deze vorm is wederom weer onder te verdelen in twee soorten, namelijk 'Ethernet Private Line' en 'Ethernet Virtual Private Line'. Het grote verschil tussen deze twee soorten is dat de 'Ethernet Private Line' een aparte fysieke verbinding is tussen twee UNI's en de 'Ethernet Virtual Private Line' meerdere klanten/verbindingen over één fysieke verbinding verzorgt.

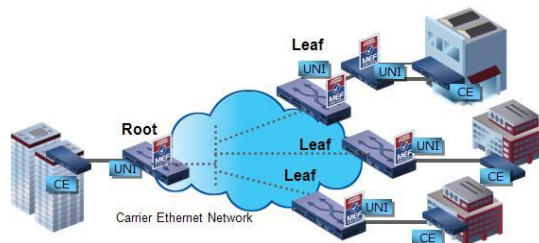


Figuur 7 Ethernet Private Line
Bron [www.metroethernetforum.org]



Figuur 6 Ethernet LAN
Bron [www.metroethernetforum.org]

- E-LAN: is een multipoint-to-multipoint EVC tussen meerdere UNI's in een Carrier Ethernet netwerk. Ook deze vorm komt weer in twee soorten, namelijk 'Ethernet LAN' en 'Ethernet Virtual LAN'.
- E-Tree: is een point-to-multipoint EVC. Bij deze vorm kan de root verbinding maken met alle UNI's en alle UNI's met de root. Echter kunnen de UNI's elkaar niet benaderen. Deze vorm kan bijvoorbeeld gebruikt worden bij Video on Demand.



Figuur 8 E-Tree
Bron
[www.metroethernetforum.org]

Carrier Ethernet services bieden een ruime mogelijkheid om de bandbreedte te verdelen. Ook wordt er een ruime keus aangeboden aan Quality of Service opties. Het bovenstaande is vitaal binnen service provider netwerken, aangezien iedere klant verschillende eisen heeft. Tevens biedt Carrier Ethernet ook ondersteuning voor het samenvoegen van voice, data en video services over één bepaald protocol (Ethernet). Dit vergemakkelijkt het transport en beheer van deze services. De bovenstaande mogelijkheden zijn als standaard erkent door de MEF.

³ Ethernet Virtual Connection, een Ethernet verbinding tussen twee of meerdere locaties (UNI's) gebruik makende van een provider netwerk.

⁴ User Network Interface, de scheiding tussen het netwerk van de provider en het privénetwerk van de klant.

1.3.2. Schaalbaarheid

Carrier Ethernet netwerken worden altijd minimaal op MAN netwerken toegepast. Op dit soort netwerken werken meestal grote hoeveelheden gebruikers en wordt er veel data getransporteerd. Om rekening te houden met eventuele groei van het netwerk is schaalbaarheid een belangrijk aspect.

Een belangrijk attribuut van schaalbaarheid is de mogelijkheid om de bandbreedte aan te passen zonder daar grote aanpassingen voor te moeten maken. Bandbreedte kan gemakkelijk uitgebreid worden door bijvoorbeeld gebruik te maken van Link Aggregation⁵ (IEEE 802.3ad).

Een ander belangrijk attribuut betreffende schaalbaarheid, is de uitbreidingsmogelijkheid op geografisch niveau. Een extra locatie moet eventueel toegevoegd kunnen worden. Een extra locatie betekent ook meer gebruikers en meer gebruikers betekent meer bandbreedte verbruik. Het netwerk moet hier ook makkelijk naar aangepast kunnen worden. Ook is de MEF bezig met het standaardiseren van het verbinden van meerdere ethernet netwerken van verschillende providers. Op deze manier moeten de Carrier Ethernet netwerken grotere afstanden kunnen overbruggen.

1.3.3. Betrouwbaarheid

Om Carrier gecertificeerd te worden is betrouwbaarheid één van de belangrijkste aspecten. Van Carrier Ethernet wordt verwacht dat het missiekritische toepassingen ondersteund. Fouten in de fysieke infrastructuur moeten snel herkend worden en zeer snel worden hersteld. Hier moet de betreffende gebruiker niets of nauwelijks wat van merken.

Van Carrier Ethernet wordt ook verwacht dat de beschikbaarheid voldoet aan minimaal 99,9%. Bij missiekritische toepassingen kan de klant een beschikbaarheid eisen van 99,999%. De klant dient dit samen met de service provider af te stemmen en op te nemen in het Service Level Agreement.

Om aan de bovenstaande voorwaarden te voldoen kan bijvoorbeeld hardware en stroomvoorzieningen redundant worden uitgevoerd.

1.3.4. Quality of Service (QoS)

Quality of Service (QoS) zorgt ervoor dat een verbinding/service de zekerheid krijgt dat de service-eisen behaald kunnen worden. Er zijn

⁵ Link Aggregation: Bundelen van verbindingen, waarbij de totale bandbreedte theoretisch de optelsom is van de bandbreedtes van de gebundelde verbindingen. Praktisch gezien is er een klein percentage verlies aan de verwerking van de data.

verschillende types QoS. Bij 'preferential QoS' wordt de mogelijkheid gegeven om bepaalde verkeerstromen in te delen naar prioriteit. Bepaald netwerkverkeer met een hoge prioriteit kan dus voorrang krijgen op verkeer met een lagere prioriteit. Het andere type QoS is 'intrinsic QoS'. Bij dit type moet er worden voldaan aan bepaalde meetbare waarden, zoals jitter, bandbreedte, delay en latency. Deze meetbare waarden zijn vastgelegd in een Service Level Agreement. Niet bij alle types QoS wordt altijd de kwaliteit van de verbinding gegarandeerd. Bij het type 'preferential QoS' krijgt een bepaalde verbinding wel voorrang, maar er wordt geen garantie afgegeven over de transmissietijd noch snelheid.

Bij Carrier Ethernet wordt een combinatie van beide types QoS gebruikt. Met 'preferential QoS' is het mogelijk bepaald verkeer voorrang te verlenen op verkeer met een lage prioriteit. Dit is mogelijk door het type 'intrinsic QoS'. Dit type QoS kan de bandbreedte garanderen over een verbinding. Hierdoor is altijd de beschikbare bandbreedte aanwezig om het verkeer te transporteren.

Binnen Carrier Ethernet, worden de meetbare waarden, zoals bandbreedte, jitter en frame loss ratio vastgesteld. Is het niet mogelijk aan deze waarden te voldoen, dan wordt er geen verbinding opgezet. Dit principe wordt 'hard QoS' genoemd.

1.3.5. Service management

Het laatste attribuut, service management, bestaat uit de mogelijkheid om de infrastructuur te monitoren, diagnoses te stellen en centraal te beheren. Dit gebeurt aan de hand van een combinatie van verschillende OAM⁶ protocollen. De OAM protocollen 802.1ag, 802.3ah en ITU-T Y.1731 worden als standaard gezien voor het gebruik binnen Carrier Ethernet. Indien de apparatuur MEF gecertificeerd is, zijn de bovenstaande protocollen aanwezig op de desbetreffende apparatuur.

OAM controleert of een bepaalde verbinding of service goed functioneert. Dit gebeurt aan de hand van bepaalde meetbare waarden, zoals delay, jitter, link-trace en frame loss ratio. Indien een waarde niet juist is, wordt er een alarm afgegeven en indien mogelijk wordt de verbinding hersteld. De melding wordt afgegeven op het desbetreffende apparaat. Er is ook software, welke de OAM protocollen uit kan lezen. Deze software moet ook weer voldoen aan bepaalde voorwaarden, deze voorwaarden zijn beschreven in MEF15. Het voordeel van software is dat het een user-interface bevat, hierdoor is het overzichtelijker. Ook kan door het gebruik van software, OAM centraal beheerd worden.

⁶ OAM: Operations, Administration & Management; Een bepaald protocol om fouten in de verbinding of services te herkennen en hierop te reageren. OAM komt in meerdere varianten voor. Zo is Ethernet in the First Mile OAM een variant voor de fysieke link en Ethernet OAM voor de Ethernet services.

1.4. Verschil tussen Ethernet en Carrier Ethernet.

Eerder in dit documenten is Ethernet gedefinieerd. Volgens deze definitie bevindt het Ethernet protocol zich op laag-2 van het OSI-model en maakt hierbij gebruik van het MAC protocol. Aan de hand van dit protocol kunnen verschillende apparaten met elkaar communiceren.

Carrier Ethernet is geen protocol, maar een service. Het Ethernet protocol is de basis van deze service. Aan de hand van andere protocollen wordt het Ethernet uitgebreid tot Carrier Ethernet. Binnen het service provider netwerk kan echter gebruik worden gemaakt van andere protocollen als Ethernet om Carrier Ethernet te realiseren (Ethernet as a Carrier service). Een veelvoorkomend protocol is MPLS. In dit geval wordt er door middel van een protocol een laag-2 VPN tunnel opgezet tussen de provider edges. Deze VPN tunnel werkt als een Ethernet bridge in het service provider netwerk waarmee de klantnetwerken verbonden zijn. Hierdoor lijkt de gehele verbinding, verbonden te zijn aan de hand van het Ethernet protocol.

De extensie van Carrier Ethernet, ten opzichte van Ethernet, bestaat onder andere uit de Carrier certificering van de verbinding. Deze certificering maakt het grootste verschil tussen Ethernet en Carrier Ethernet. Waar Ethernet een 'simpel' netwerk protocol is, maakt Carrier Ethernet van Ethernet een efficiënt, betrouwbaar en een service gericht transport protocol. De punten, eerder genoemd in paragraaf 1.3, zijn de extensie op het Ethernet protocol.

Op geografisch niveau is er ook onderscheidt te vinden. Zo wordt Ethernet voornamelijk toegepast binnen 'Local Area Netwerken' (LAN) en wordt Carrier Ethernet toegepast op 'Metropolitan Area Netwerken' (MAN) of zelfs op 'Wide Area Netwerken' (WAN). Door vast te leggen op welke wijze het verkeer getransporteerd moet worden, is het mogelijk een betrouwbare laag-2 verbinding op te zetten op grotere schaal. Ook de extra protocollen, welke Carrier Ethernet gebruikt, maken het mogelijk de verbinding betrouwbaar en schaalbaar te maken. In hoofdstuk twee en drie worden deze protocollen uitgebreid besproken.

In technisch opzicht blijft de basis van Carrier Ethernet hetzelfde als Ethernet. Echter worden er diverse (nieuwe) technieken gebruikt bovenop het Ethernet protocol om Carrier Ethernet te realiseren. Het grootste verschil zijn de vastgestelde afspraken, gemaakt door de MEF. Deze afspraken onderscheidt Carrier Ethernet van het traditionele Ethernet.

1.5. De voor- en nadelen van Carrier Ethernet

In deze paragraaf worden de voor- en nadelen beschreven van Carrier Ethernet. De voor- en nadelen worden behandeld per onderscheidend attribuut.

Gestandaardiseerde services

De verschillende protocollen, welke gebruikt kunnen worden door service providers om Carrier Ethernet services aan te bieden, zijn vastgesteld door de MEF. Doordat deze protocollen zijn vastgesteld, is het mogelijk een verbinding te verkrijgen over verschillende service providers. Ervan uitgaande dat de service providers één van de vastgestelde protocollen gebruikt. Het nadeel hiervan is dat men afhankelijk is van de samenwerking tussen de verschillende service providers. Aangezien de service providers elkaars infrastructuur moeten koppelen en afstemmen op elkaar.

Het gebruik van media, tussen het klantnetwerk en de service provider, is ook vastgesteld (IEEE 802.3ah). Standaardisatie hiervan vergemakkelijkt het opzetten van een Carrier Ethernet infrastructuur. Echter kan dit wel kosten met zich meebrengen voor het aanschaffen van de apparatuur, aangezien deze alleen met de gestandaardiseerde media kan werken.

Schaalbaarheid

Waar Ethernet altijd in LAN omgevingen wordt toegepast, wordt Carrier Ethernet toegepast in MAN omgevingen en groter. Ethernet was nooit ontwikkeld om buiten LAN omgevingen te worden toegepast. Het verschillende netwerkverkeer wordt gescheiden van elkaar door middel van VLAN's⁷ (IEEE802.1Q). Deze techniek is bedoeld om gebruikt te worden in LAN omgevingen en ondersteund maar een beperkt aantal VLAN's. Carrier Ethernet maakt het gebruik van het protocol IEEE802.1ad. Dit protocol is een uitbreiding op IEEE802.1Q en maakt het mogelijk meer VLAN's te configureren. Op deze wijze wordt het mogelijk om ook het netwerkverkeer te scheiden in MAN- en WAN omgevingen.

Omdat het gebruik van de protocollen is vastgelegd door de MEF, is het netwerk makkelijk uitbreidbaar. De service providers dienen zich aan deze standaard te houden en kunnen niet haar 'eigen' standaarden hanteren.

Betrouwbaarheid

Ethernet is ontwikkeld om communicatie mogelijk te maken tussen verschillende apparaten in LAN omgevingen. Ethernet zelf kan wel fouten herkennen in een transmissie, maar kan deze niet corrigeren. Door gebruik te maken van protocollen kan foutcorrectie wel toegepast worden op Ethernet. Echter is er voor Ethernet geen standaard toegekend welke protocollen hiervoor gebruikt moeten worden.

Bij Carrier Ethernet zijn protocollen ten behoeve van foutherstel en foutherkenning gestandaardiseerd. Op deze wijze is het mogelijk een garantie af te geven betreffende de beschikbaarheid van de verbinding en de betrouwbaarheid van de transmissie.

⁷ Vlan: Virtual LAN, Deel van het netwerk waarbinnen gebruikers kunnen communiceren, doch zonder koppeling met een andere VLAN binnen hetzelfde netwerk.

Quality of Service

Traditioneel Ethernet kent minimale Quality of Service. Ethernet kan, door middel van IEEE802.1Q, bepaald verkeer prioriteit geven. Echter wordt er geen garantie afgegeven over de verbinding. Door het introduceren van 'hard QoS' moeten garanties afgegeven worden over de verbinding. Hierdoor wordt het mogelijk missiekritisch verkeer te transporteren over een Carrier Ethernet verbinding, omdat de betrouwbaarheid van de transmissie gegarandeerd is.

Omdat er garanties afgegeven kunnen worden over de verbinding, is het ook makkelijker om afspraken te maken tussen klant en de service provider. De service provider biedt de klant een verbinding aan en de klant krijgt garantie over deze verbinding. Deze garantie wordt opgenomen in een Service Level Agreement (SLA).

Service Management

Ethernet verbindingen zijn alleen te monitoren en beheren met behulp van een protocol uit laag-3 van het OSI-model (bijvoorbeeld ICMP berichten). Bij Carrier Ethernet wordt dit op laag-2 gedaan.

De MEF heeft de protocollen IEEE802.1ag, IEEE802.3ah, ITU Y.1731 toegewezen aan Carrier Ethernet om de betreffende infrastructuur te monitoren en beheren op laag-2. Door het gebruik van deze protocollen kunnen fouten in de verbinding snel herkend worden en eventueel snel hersteld worden, zonder dat hierbij een protocol uit laag-3 gebruikt wordt. In de 'command line interface' van MEF gecertificeerde apparatuur, kan men de infrastructuur monitoren en beheren. Sommige apparatuur biedt ook een webinterface aan, waar de infrastructuur uitgelezen kan worden.

1.6. Beschikbaarheid Carrier Ethernet.

Sinds MEF, in 2001, is begonnen met het standaardiseren van Carrier Ethernet zijn er op dit moment wereldwijd ongeveer 40 service providers met een gecertificeerde Carrier Ethernet infrastructuur. In Nederland is er momenteel één MEF gecertificeerde Carrier Ethernet service provider. De provider Eurofiber biedt op dit moment Carrier gecertificeerd Ethernet aan. Eurofiber maakt hierbij alleen gebruik van, haar eigen, (Ethernet)glasvezelnetwerken. Eurofiber biedt al een geruime tijd Carrier Ethernet services aan, maar is pas in september 2010 MEF gecertificeerd.

Er zijn meerdere service providers in Nederland, welke Carrier Ethernet aanbieden. Echter hebben deze (nog) niet de benodigde MEF certificatie. De providers KPN en Tele2 bieden onder andere Carrier Ethernet aan, maar hebben (nog) niet de MEF certificering.

Het 'Metro Ethernet Forum' is de belangrijkste community binnen het ontstaan en standaardiseren van Carrier Ethernet. De documenten, betreffende Carrier

Ethernet, beschrijven de implementatie voorwaarden waar Carrier Ethernet aan moet voldoen. Dit omdat Carrier Ethernet geen (nieuw) protocol is, maar een service is. Door gebruik te maken van extra protocollen, bovenop het Ethernet protocol, wordt het Ethernet protocol een efficiënt, betrouwbaar en een service gericht transport protocol op laag-2 van het OSI-model. De gebruikte protocollen en technieken, om Carrier Ethernet te realiseren, worden voornamelijk behandeld door het 'Institute of Electrical and Electronics Engineers'.

Het grootste onderscheid tussen Carrier Ethernet en Ethernet is dat Ethernet een protocol is en Carrier Ethernet een service. Volgens MEF wordt onder de definitie Carrier Ethernet verstaan: 'Een universele, gestandaardiseerde, carrier-grade service'. Het onderscheidt tussen Carrier Ethernet en Ethernet wordt gemaakt door de attributen: Standaardisatie, Betrouwbaarheid, Schaalbaarheid, QoS en Service management. Een samenvattend overzicht, van de verschillen tussen Carrier Ethernet en Ethernet, is te zien in tabel 2.

Attribuut	Ethernet	Carrier Ethernet
Schaalbaarheid	- LAN; - 802.1Q, 802.1ad.	- MAN, WAN; - 802.1ad, 802.1ah, VPLS.
Service Management	- Geen OAM.	- OAM: 802.1ag, 802.3ah, ITU-T Y.1731.
QoS	- Minimaal.	- Hard QoS; - Garanties aan de hand van meetbare waarden.
Betrouwbaarheid	- Fourtherkenning.	- Fourtherkenning & foutcorrectie. - Minimale availability van 99.9%
Standaardisatie	- Gestandaardiseerd protocol IEEE802.3.	- Service gestandaardiseerd door de MEF, gebruik makende van andere protocollen.

Tabel 2 Samenvattend overzicht verschillen van Carrier Ethernet ten opzichte van Ethernet

Ethernet is voor andere doeleinden is ontwikkeld dan Carrier Ethernet, hierdoor zijn de voor- en nadelen moeilijk te onderscheiden.

Ethernet	Carrier Ethernet
Hardware gericht.	Service gericht.
- Goedkoop; - Massa productie; - Eenvoud (simpelheid); - Port density; - Basis laag-2 protocol.	- Schaalbaarheid; - OAM; - QoS; - SLA; - Carrier standaarden.

Tabel 3 Doeleinden van Carrier Ethernet en Ethernet bij ontwikkeling.

Het grootste voordeel is dat Carrier Ethernet gebaseerd is op het Ethernet protocol en dus ook de eigenschappen van Ethernet heeft. Hierdoor is het mogelijk een goedkope en schaalbare infrastructuur te realiseren buiten LAN-omgevingen. Gebruik makende van de eenvoud van het Ethernet protocol.

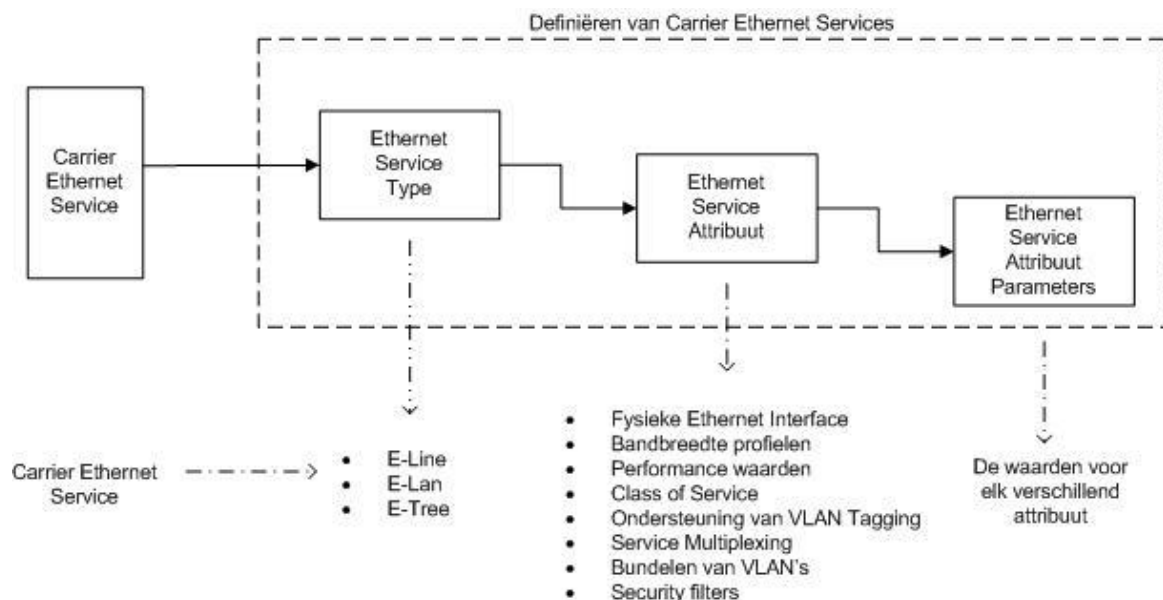
2. Carrier Ethernet services gedefinieerd.

In hoofdstuk één is te lezen dat Carrier Ethernet op verschillende wijzen gerealiseerd kan worden. Ook is te lezen dat Carrier Ethernet diverse protocollen gebruikt om haar Carrier status te verkrijgen. Zonder het gebruik van deze protocollen is geen Carrier Ethernet infrastructuur te realiseren.

Door gebruik te maken van bepaalde technieken en protocollen, is het mogelijk een Carrier Ethernet infrastructuur te realiseren. In dit hoofdstuk worden de technieken en protocollen besproken, welke Carrier Ethernet services gebruiken.

2.1. Begrippen en definities.

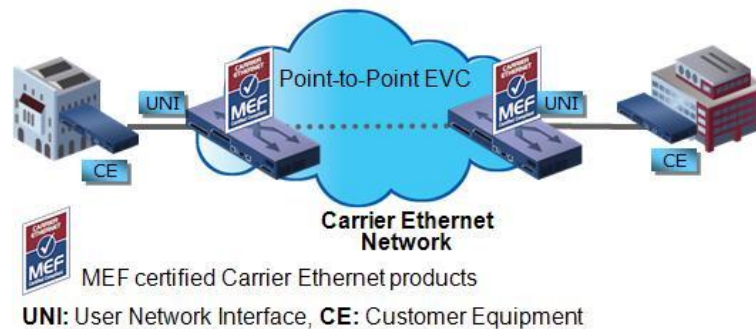
De MEF heeft drie verschillende typen Carrier Ethernet services gedefinieerd. Deze drie services worden weer gedefinieerd door een aantal attributen. De waarden van deze attributen definiëren vervolgens de mogelijkheden en performance van de betreffende type service (zie figuur 9).



Figuur 9 Definitie 'framework' Carrier Ethernet Services door MEF
Bron [Delivering Carrier Ethernet, auteur Abdul Kasim]

In figuur 9 worden de drie Carrier Ethernet service typen onderscheiden in Ethernet service attributen. De waarden van elk service attribuut worden met de klant besproken en vastgesteld in de SLA. Later in dit hoofdstuk worden de bovenstaande attributen nader besproken.

Binnen een Carrier Ethernet omgeving worden een aantal begrippen en afkortingen gebruikt. In figuur 10 en figuur 11 zijn afbeeldingen te zien, waarbij een aantal afkortingen worden genoemd. Deze afkortingen zijn door de MEF gedefinieerd en worden als standaard gehanteerd binnen Carrier Ethernet omgevingen.



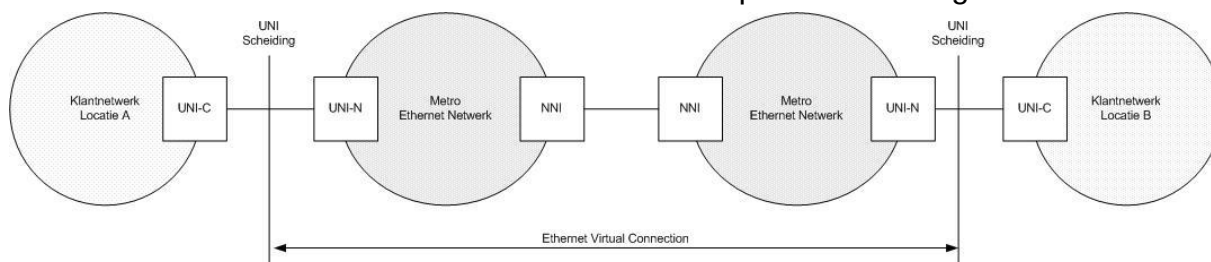
Figuur 10 Carrier Ethernet infrastructuur met gebruikte afkortingen
Bron [www.metroethernetforum.org]

User Network Interface (UNI)

De UNI is de fysieke interface of port, welke de scheiding maakt tussen het netwerk van de provider en het privénetwerk van de klant. Deze scheiding geeft ook weer waar de verantwoordelijkheid van de service provider ophoudt en waar die van de klant begint. De UNI wordt altijd door de service provider geleverd en de fysieke interface moet werken op de interfacesnelheden 10Mbps, 100Mbps, 1Gbps of 10Gbps.

De UNI kan worden opgedeeld in twee delen: UNI-C en UNI-N.

De UNI-C is de koppeling van het netwerk van de klant naar de service provider en beschrijft de benodigde functies om toegang te verkrijgen tot het Metro Ethernet Network. De functies worden ingesteld op het netwerk van de klant en worden in principe door de klant zelf beheerd. De UNI-N beschrijft de benodigde functies, welke aan de service provider worden gesteld, om een verbinding op te zetten tussen het klantnetwerk en het service provider netwerk. Het beheer en instellen van deze functies worden door de service provider verzorgd.



Figuur 11 Basis model van een verbinding tussen twee locaties met meerdere service providers.

Customer Edge/Equipment (CE)

De netwerk apparatuur van het privénetwerk van de klant. De klant heeft hier de vrije keuze welke apparatuur wordt aangeschaft, zolang de Ethernet koppeling gemaakt kan worden naar de service provider.

Ethernet Virtual Connection (EVC)

Een associatie tussen twee UNI's. Een EVC zorgt voor een gescheiden verbinding tussen de klantnetwerken, welke niet aangesloten zijn aan dezelfde EVC. Er zijn drie typen EVC's gedefinieerd volgens MEF, namelijk : point-to-point (E-Line), multipoint-to-multipoint (E-Lan), point-to-multipoint (E-Tree).

Provider Edge (PE)

Een provider edge is een apparaat, binnen het service provider netwerk, welke de koppeling maakt tussen het klantnetwerk of een andere service provider.

Network-to-Network Interface (NNI)

De NNI is de fysieke interface of port, welke de koppeling maakt tussen twee service provider netwerken. Aan de hand van deze koppeling kan er een verbinding worden opgesteld over meerdere service providers.

2.2. Technieken en protocollen

In deze paragraaf worden de Carrier Ethernet service attributen besproken, gedefinieerd in figuur 9. Per attribuut wordt uitgelegd hoe het attribuut werkt. De Carrier Ethernet service attributen tezamen realiseren een Carrier Ethernet service.

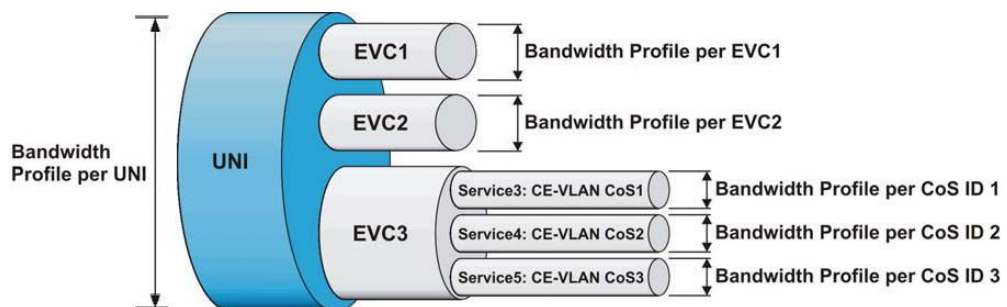
Fysieke Ethernet Interface

Voor de connectie tussen het klantnetwerk en het provider netwerk is een protocol gedefinieerd. Dit protocol is gedocumenteerd in IEEE802.3ah en wordt ook wel 'Ethernet in the First Mile' genoemd. Tot op heden is de aansluiting tussen de provider en klant altijd de 'bottleneck' geweest. Door gebruik te maken van 'Ethernet in the First Mile' moet de verbinding tussen klant en provider niet meer de limiterende factor zijn. Volgens het protocol IEEE802.3ah moet aan de volgende voorwaarden worden voldaan:

- De connectie moet gebruik maken van het Ethernet protocol;
- De linksnelheid moet 10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps of 10 Gbps zijn;
- De keuze van fysieke interfaces is vastgesteld en beperkt tot bepaalde fiber interfaces en twee typen koper interfaces.

Bandbreedte profielen

Voor iedere Carrier Ethernet service moet er een bandbreedte profiel worden gedefinieerd. Het bandbreedte profiel kan worden gedefinieerd per UNI, EVC of per 'customer-VLAN' (figuur 12).



Figuur 12 Bandbreedte profielen gedefinieerd per UNI, EVC en 'customer-VLAN'.

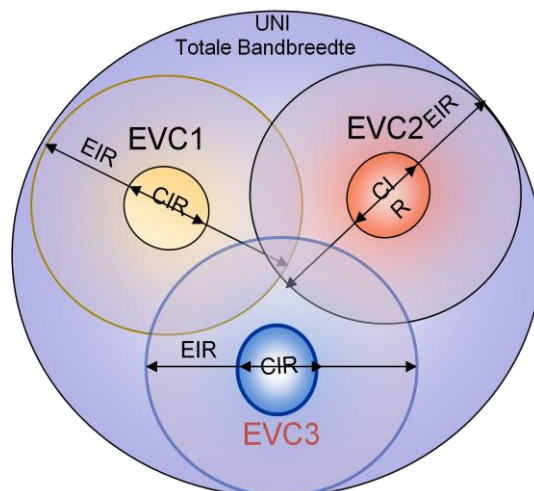
Bron [www.metroethernetforum.org]

Het bandbreedte profiel specificeert het bandbreedte limiet, per Ethernet service. Klanten kunnen op deze wijze de benodigde bandbreedte aanschaffen, welke zij daadwerkelijk gebruiken. Bandbreedte profielen maken ook deel uit van de Quality of Service. De klant krijgt een vaste

hoeveelheid bandbreedte toegewezen, welke weer overeenkomt met het afgesloten Service Level Agreement.

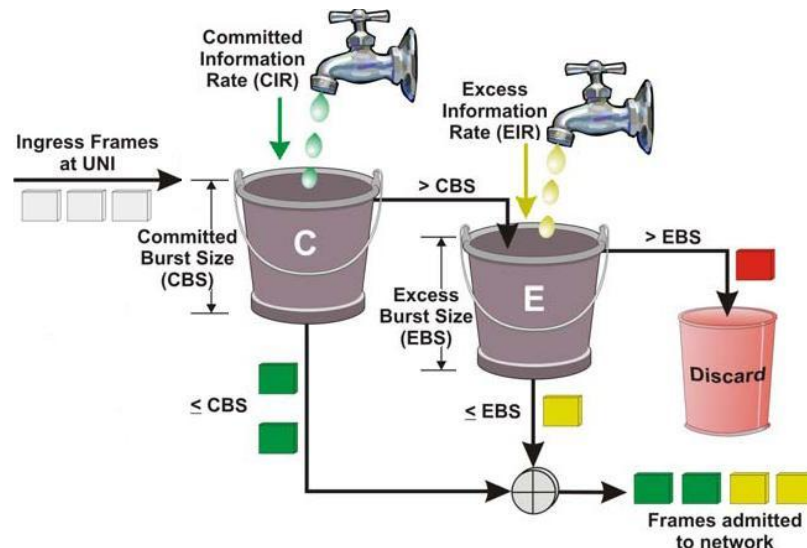
Een bandbreedte profiel bestaat uit vijf parameters:

- Committed Information Rate (CIR): de gemiddelde bandbreedte, welke de service provider garandeert aan de klant. De CIR moet lager of gelijk zijn aan de bandbreedte van de UNI;
- Committed Burst Size (CBS): de maximum hoeveelheid bytes, welke zijn toegestaan voor inkomende service frames zodat deze nog steeds onder de CIR vallen. Wanneer deze hoeveelheid te groot wordt, worden de frames 'overgeplaatst' naar de 'Excess Burst Size';
- Excess Information Rate (EIR): de gemiddelde bandbreedte, welke op basis van 'best effort' worden behandeld binnen het netwerk. Service performance van deze frames is niet garandeert en is afhankelijk van de beschikbare bandbreedte. De CIR en EIR opgeteld, kunnen niet meer zijn dan de UNI bandbreedte;
- Excess Burst Size (EBS): de maximum hoeveelheid bytes, welke zijn toegestaan voor inkomende service frames zodat deze nog steeds onder de EIR vallen. Wanneer deze hoeveelheid te groot wordt, worden de frames weggegooid;
- Color Marking (CM): specificeert of de UNI in 'color-aware' of 'color-blind' modus functioneert. Wanneer de UNI 'color aware' functioneert, wordt de geassocieerde kleur aan het service frame gebruikt om de services te ordenen op CIR en EIR verkeer. Bij 'color-blind' mode wordt dit principe genegeerd.



Figuur 13 UNI onderverdeeld in drie EVC's met hierin de bandbreedte profielen schematisch weergegeven. Bron [www.metroethernetforum.org]

Het Metro Ethernet Forum heeft het 'leaky bucket algoritme' gedefinieerd om de bandbreedte profielen te handhaven. Dit algoritme maakt gebruik van 'Two-Rate-Three-Color Marking' (TRTCM, RFC2698). TRTCM identificeert frames door deze te vergelijken met de CIR en EIR. Ook onderscheidt TRTCM inkomende frames en markeert deze met de groen(CIR),geel(EIR) of rood(Weggegooid). In figuur 14 is het algoritme schematisch weergegeven.



Figuur 14 Leaky-bucket algoritme
Bron [www.rad.com]

Performance waarden

De kwaliteit van de service wordt bepaald aan de hand van meetbare performance waarden. Deze performance waarden zijn een onderdeel van de QoS en worden opgenomen in de Service Level Agreements. De performance waarden worden gedefinieerd per EVC of Class of Service. De volgende performance waarden worden gemeten en opgenomen:

- Frame Loss: het percentage verloren of weggegooid frames uit de klasse CIR.
- Frame Delay: de totale tijd die nodig is om een frame over het netwerk te zenden. De delay wordt gemeten van UNI-N tot UNI-N in het netwerk.
- Frame Jitter: de variatie/onregelmatigheid in frame delay.
- Availability: het percentage waar het netwerk aan de gestelde eisen voldoet, welke zijn opgenomen in de SLA. Het gaat hier om de waarden Frame Loss, Frame Delay en Frame Jitter. Deze waarden worden om een bepaalds tijdsinterval gemeten en vergeleken met de SLA.

Class of Service (CoS)

Class of Service is een methode om QoS toe te passen binnen het netwerk. CoS wordt geconfigureerd op de apparatuur van de klant en wordt samen gebruikt met de gedefinieerde bandbreedte profielen. In figuur 12 is te zien hoe CoS wordt toegepast per 'customer-vlan'. CoS classificeert de frames en geeft op deze wijze prioriteit aan bepaalde soorten verkeer/services. CoS is van toepassing wanneer er meerdere services worden getransporteerd over één EVC. De verschillende services kunnen bestaan uit bijvoorbeeld videoverkeer, VoIP-verkeer en dataverkeer. CoS kan op verschillende manieren worden toegepast:

- Per fysieke port: CoS wordt geconfigureerd per fysieke port. Een nadeel is dat meerdere typen verkeer, onderscheiden door CoS, ook meerdere fysieke porten vereisen;
- Per 'Customer Equipment VLAN': De CoS wordt geconfigureerd in de IEEE802.1Q tag. Dit gebeurt aan de hand van prioriteitbits,

gedefinieerd in IEEE802.1p. De MEF heeft acht verschillende typen CoS gedefinieerd, onderverdeeld in drie bits;

- DiffServ Code Points (DSCP): De CoS wordt geconfigureerd in de IP header van een IP-pakket. Met DSCP zijn er 64 verschillende typen CoS te configureren. Dit maakt het mogelijk verschillende typen services nauwkeuriger te verdelen. DSCP wordt gebruikt in onder andere MPLS- en IP-netwerken.

Ondersteuning van VLAN Tagging

Binnen klantnetwerken wordt er ook gebruik gemaakt van VLAN Tagging (IEEE802.1Q). De klant kan meerdere VLAN's configureren binnen haar eigen netwerk, zonder dat de service provider hier rekening mee hoeft te houden. Aan de hand van de IEEE802.1Q tag weet het service provider netwerk, hoe het Ethernet frame behandeld moeten worden en waar het heen moet.

Om een grootschalig Carrier Ethernet netwerk op te kunnen zetten, moeten de verschillende netwerken van service providers met elkaar kunnen samenwerken. Op deze manier is het mogelijk een netwerk te realiseren waarbij een groot gebied gedekt kan worden. Een koppeling tussen twee service provider netwerken wordt ook wel 'Network to Network Interface' (NNI) genoemd.

Een bekend protocol is IEEE802.1ad, ook wel provider bridging genoemd. Het protocol IEEE802.1ad voegt een nieuwe tag toe, bovenop de IEEE802.1Q tag. Op deze wijze wordt het mogelijk meerdere klanten te koppelen aan het service provider netwerk. Door meerdere IEEE802.1ad tags te configureren, kunnen meerdere switchpaden gerealiseerd worden. IEEE802.1ad wordt gebruikt binnen service provider netwerken, welke volledig werken met het Ethernet protocol. Onlangs is er een nieuw protocol ontwikkeld. Dit protocol is een uitbreiding op IEEE802.1ad en is gedocumenteerd in IEEE802.1Qay. Het protocol IEEE802.1Qay wordt niet behandeld in dit document, aangezien dit protocol wordt toegepast bij grootschalige netwerken en daarom niet van toepassing is op de doelstellingen.

Een andere techniek is het gebruik maken van pseudowires. Bij een pseudowire wordt een laag-2 point-to-point verbinding nagebootst. In het geval van Carrier Ethernet dus een Ethernet verbinding. Pseudo-wires worden gebruikt in service provider netwerken, welke geen gebruik maken van Ethernet. Een veel voorkomend type van dit soort service provider netwerken, zijn MPLS-netwerken. Om de verschillende pseudo-wires te koppelen tot één infrastructuur, in een MPLS-netwerk, wordt de techniek 'Virtual Private LAN Service' (VPLS) gebruikt.

De technieken pseudo-wires, VPLS en het protocol IEEE802.1ad, worden behandeld in hoofdstuk drie van dit document.

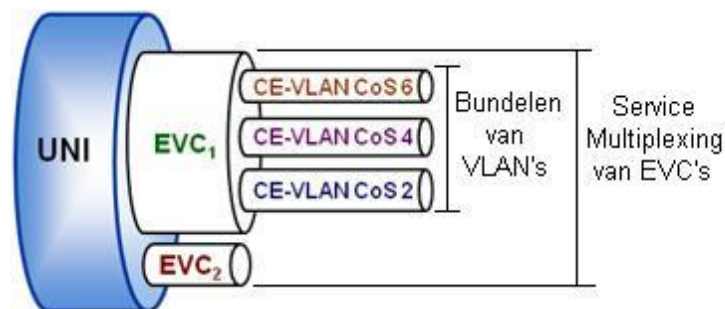
Service Multiplexing

Door het gebruik van service multiplexing is het mogelijk meerdere EVC's te creëren over één fysieke interface. Hierdoor kunnen kosten worden bespaard, door het reduceren van de hardware. Ook kan het

netwerk makkelijk aangepast worden, aangezien er makkelijk een extra EVC gecreëerd kan worden op de bestaande fysieke interface. Het configureren van meerdere IEEE802.1Q tags op één UNI, is een voorbeeld van service multiplexing.

Bundelen van VLAN's

Een ander aspect is het bundelen van meerdere typen verkeer over één EVC. Op deze manier is het mogelijk om bijvoorbeeld data, voice en video over één EVC te transporteren. Hierdoor wordt er efficiënt gebruik gemaakt van de UNI en EVC. Het bundelen van meerdere typen verkeer, is mogelijk door het configureren van meerdere VLAN's over één EVC.



Figuur 15 Bundelen en Service Multiplexing
Bron [www.metroethernetforum.org]

Security filters

Door gebruik te maken van 'security filters' worden ongewenste Ethernet pakketten tussen het netwerkverkeer uitgefilterd en weggegooid. Op deze manier kan een klant kiezen om alleen Ethernet pakketten toe te laten binnen haar netwerk van bekende bronnen. De manier van werken, van 'security filters', is te vergelijken met de 'Access Control List' (ACL) van een firewall. De bron, van het betreffende pakket, wordt vergeleken met de ACL. Indien er in de ACL staat dat deze bron vertrouwd is, wordt het pakket toegelaten in het netwerk. De 'security filters' worden toegepast op de UNI.

2.3. Carrier certificering

De MEF heeft, tot op heden, 27 verschillende documenten gepubliceerd. In deze documenten worden onder andere alle technieken en services besproken, welke gebruikt worden voor Carrier Ethernet. Daarnaast zijn er ook diverse documenten, welke bedoeld zijn om de infrastructuur of apparatuur te testen. Wanneer de infrastructuur of apparatuur aan alle tests voldaan heeft, verkrijgt deze de MEF certificering van het betreffende document.

In Figuur 16 zijn de documenten, gepubliceerd door MEF, te zien. De documenten zijn geordend op doeleinde. Zo zijn in de categorie 'Service Area' de documenten te vinden, welke de Ethernet service definiëren. De infrastructuur wordt gedefinieerd in 'Architecture Area' en in de categorie 'Management Area' staan de documenten voor het gebruik

van OAM. In de laatste categorie 'Test and Measurement Area' worden de documenten genoemd, welke de verschillende tests omvatten, om de infrastructuur op apparatuur MEF gecertificeerd te krijgen.

Service Area	Architecture Area	Management Area	Test and Measurement Area
MEF 6.1 Ethernet Services Definitions Phase 2 (TS)	MEF 2 – Protection Framework and Requirements (TS)	MEF 7 EMS-NMS Information Model (TS)	MEF 9 Abstract Test Suite for Ethernet Services at the UNI (TS)
MEF 3 – Circuit Emulation Service Requirements (TS)	MEF 4 – Carrier Ethernet Network Architecture Framework Part 1: Generic Framework (TS)	MEF 15 Requirements for Management of Carrier Ethernet Phase 1 – Network Elements (TS)	MEF 14 Abstract Test Suite for Traffic Management Phase 1 (TS)
MEF 8 Emulation of PDH over MENs (IA)	MEF 11 - UNI Framework and Requirements (TS)	MEF 16 Ethernet Local Management Interface E-LMI (TS)	MEF 18 Abstract Test Suite for CES over Ethernet (TS)
MEF 10.1 Ethernet Services Attributes Phase 2 (TS)	MEF 12 – Carrier Ethernet Network Architecture Framework Part 2: Ethernet Services Layer (TS)	MEF 17 Service OAM Requirements and Framework (TS)	MEF 19 Abstract Test Suite for UNI Type 1 (TS)
MEF 22 Mobile Backhaul (IA)	MEF 13 – User Network Interface Type 1 (IA)	MEF 7.1 EMS-NMS Information Model (TS) Phase 2	MEF 21 UNI Type 2 Test Suite (TS) Part 1 link OAM
MEF 23 Carrier Ethernet Class of Service (IA)	MEF 20 UNI Type 2 (IA)	Service OAM Performance Management (IA)	MEF 24 UNI Type 2 Test Suite (TS) Part 2 E-LMI
MEF 10.1.1 Amendment: Attribute Enhancements	MEF 26 External NNI (ENNI) Phase 1 (TS)	Service OAM Fault Management IA Phase 1	MEF 25 UNI Type 2 Test Suite (TS) Part 3 Service OAM
MEF 10.2 Ethernet Services Document Alignment	Ethernet Service Constructs (TS)	Delivered Throughput (IA)	Abstract Test Suite for ENNI (TS): Part 1 Basic ATS
Ethernet Services Amendment: New Bandwidth Profile	MEF 12 Network Architecture Framework Update		Abstract Test Suite for ENNI (TS): Part 3 Protection ATS
Mobile Backhaul (IA) Phase 2	ENNI Amendment: Support for UNI Tunnel Access and V-UNI		Abstract Test Suite for UNI Type 2 – Part 5, Enhanced UNI Attributes, and Part 6, L2CP Handling
Carrier Ethernet Class of Service (IA) Phase 2	Ethernet Layer Architecture Phase 2		
OVC Service description	NID Specification (TS)		
OVC Service level Specification			
Availability			

MEF 6.1 = MEF 6, MEF 10.1 = MEF 10, MEF 1 = MEF 5, MEF 7.1 = MEF 7, MEF 10.2 = MEF 10.1.1 = MEF 10.1

Figuur 16 MEF documenten geordend op doeleinde van het document.

Bron [www.metroethernetforum.org]

Binnen het project wordt er gebruikt gemaakt van de volgende documentatie:

- MEF9: Dit document bevat 244 test scenario's waar zowel de apparatuur als de Ethernet service aan moet voldoen. In dit document wordt uitgewerkt hoe de Ethernet services en apparatuur moet functioneren aan de UNI.
- MEF14: Dit document omvat 170 test scenario's waar zowel de apparatuur als de Ethernet service aan moet voldoen. In dit document wordt uitgewerkt hoe de Ethernet services en apparatuur, de verbinding moeten verzorgen binnen de service provider.

In Figuur 17 is een overzicht te vinden waar, per MEF document, de behandelde onderdelen worden omschreven. Alle test scenario's worden door een derde partij, Iometrix, uitgevoerd. Wanneer de apparatuur goedgekeurd is krijgt deze de MEF certificering en kunnen de omschreven onderdelen geconfigureerd worden.

De apparatuur welke gebruikt wordt voor het Proof of Concept moet minimaal MEF9 & MEF14 gecertificeerd zijn. Op deze wijze wordt er gegarandeerd dat de Ethernet service attributen, beschreven in Figuur 17 aanwezig zijn. Omdat bij MEF gecertificeerde apparatuur de aanwezigheid van de Ethernet service attributen gegarandeerd wordt, wordt dit ook niet getest in dit document.

MEF 9 Certification 244 Test Cases Ethernet Service Functionality	MEF 14 Certification 170 Test Cases Ethernet Service Performance
Test Cases for UNI Attributes Physical Medium • Speed • Mode • Mac Layer • Service Multiplexing • Bundling • All-to-One Bundling	Test Cases for Service Performance Frame Delay Performance Frame Delay Variation Performance Frame Loss Ratio Performance
Test Cases for Service Frame Delivery Unicast, Multicast, Broadcast Service Frame Delivery • Layer 2 Control Protocol Processing	Test Cases for Bandwidth Profiles Per Ingress UNI • per EVC • per CoS
Test Cases for VLAN Tag Support CE-VLAN ID • CE-VLAN CoS • CE- VLAN ID & CoS Preservation • Mapping VLAN IDs	Test Cases for Bandwidth Profile Rate Enforcement CIR (Committed Information Rate), CBS (Committed Burst Size), EIR (Excess Information Rate) EBS (Excess Burst Size)

Figuur 17 Test onderdelen per MEF document.
Bron [www.metroethernetforum.org]

3. Hoe wordt de verbinding verzorgd door de Service Provider.

Volgens de MEF moet Carrier Ethernet, Ethernet services kunnen aanbieden, onafhankelijk van de onderliggende media en infrastructuur. Elke service provider maakt gebruik van verschillende protocollen om haar interne infrastructuur te realiseren. Carrier Ethernet is toepasbaar op een groot aantal van deze protocollen.

3.1. Onderliggende protocollen

Carrier Ethernet is toepasbaar op een groot aantal onderliggende protocollen. Dit aantal is zodanig groot dat er een selectie gemaakt is, welke worden besproken in dit document. De protocollen Ethernet en MPLS worden in dit document behandeld. Er is voor het Ethernet protocol gekozen, aangezien dit de 'mooiste' oplossing is om Carrier Ethernet te realiseren. Er wordt over de gehele verbinding geen gebruik meer gemaakt van andere protocollen dan het Ethernet protocol. Veel huidige service providers maken op dit moment gebruik van het MPLS protocol. Omdat dit protocol veel gebruikt wordt, is er gekozen om ook dit protocol te bespreken.

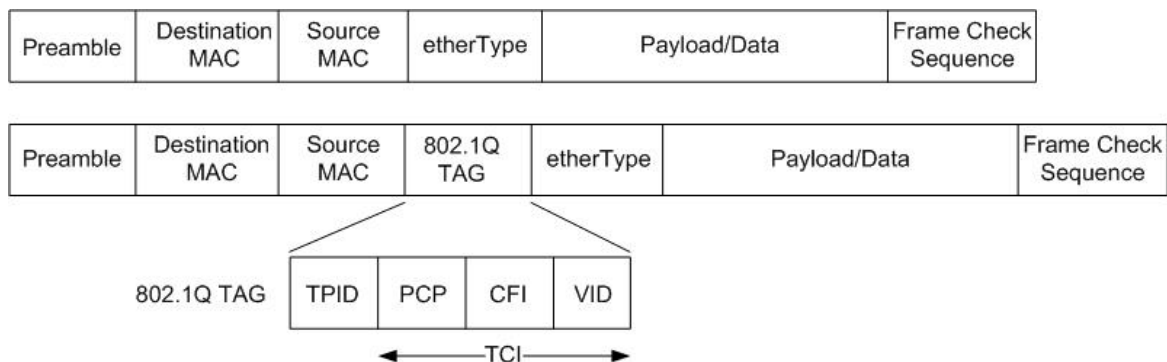
3.1.1. Ethernet

De verbinding tussen de klant en de service provider bestaat uit een Ethernet verbinding, gespecificeerd in 802.3ah. Wanneer de service provider intern ook gebruik maakt van het Ethernet protocol, is de gehele verbinding van 'klant-naar-klant' een Ethernet verbinding. Er wordt geen gebruik gemaakt van protocollen uit 'hogere' lagen van het OSI-model. Omdat de gehele verbinding over hetzelfde protocol plaats vindt, is er ook geen techniek of protocol benodigd om de verbinding te converteren of te emuleren.

Ethernet is een protocol, welke communiceert op laag-2 van het OSI-model. Het verkeer wordt dus niet gerouteerd, aangezien routing protocollen zich op laag-3 van het OSI-model bevinden. Bij Ethernet wordt het verkeer getransporteerd op basis van MAC-adressen. Ieder gekoppeld apparaat heeft een MAC-tabel. In deze tabel worden de MAC-adressen gekoppeld aan een portnummer van het apparaat. Wanneer een MAC-adres niet bekend is, wordt het betreffende adres 'geflood'. Dit houdt in dat het frame, met het betreffende adres, naar over alle porten van het apparaat uitgezonden wordt. Wanneer de juiste port gevonden is, wordt deze opgenomen in de MAC-tabel met het betreffende MAC-adres.

Omdat er geen gebruik wordt gemaakt van de 'netwerklaag', wordt het verkeer niet gerouteerd of onderverdeeld in de deelnetwerken. Hierdoor is het mogelijk dat iedereen, binnen het netwerk, verkeer kan ontvangen welke niet voor diegene bestemd is. Om dit probleem op te lossen, maakt Ethernet gebruik van VLAN's. Door gebruik te maken van VLAN's, is het netwerk op te delen in verschillende LAN segmenten. Het

betreffende netwerkverkeer is alleen te zien, wanneer men zich in het juiste VLAN bevindt. Om het netwerkverkeer binnen een bepaald VLAN in te delen, wordt er een 802.1Q tag binnen het Ethernet frame toegevoegd.



Figuur 18 Ethernet frame vergeleken met een 802.1Q tagged Ethernet frame

In Figuur 18 wordt een Ethernet frame vergeleken met een 802.1Q tagged frame. Er is te zien dat er een extra veld wordt toegevoegd aan het Ethernet frame. In dit veld worden de volgende informatie vastgelegd:

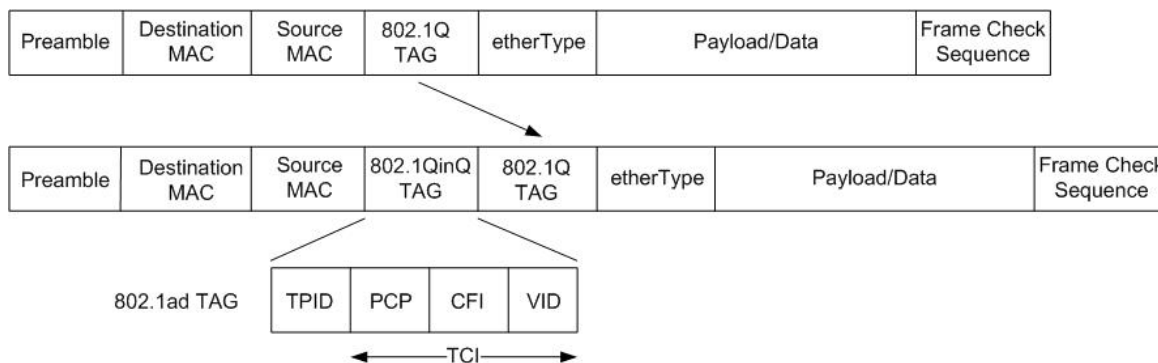
- Tag Protocol Identifier (TPID); aan de hand van dit veld, wordt het Ethernet frame geïdentificeerd als een 802.1Q tagged frame;
- Priority Code Point (PCP); in dit veld wordt de prioriteit van het Ethernet frame gedefinieerd. Dit gebeurt volgens het protocol 802.1p, aan de hand van acht waarden;
- Canonical Format Indicator (CFI); dit veld bepaald op welke wijze het MAC-adres uitgelezen moet worden. Sommige technieken, zoals Token-Ring, lezen het MAC-adres anders uit. Hierdoor komt er als resultaat een compleet ander MAC-adres;
- VLAN Identifier; In dit veld wordt bepaald tot welk VLAN het Ethernet frame behoort.

Binnen een infrastructuur kunnen er redundante verbindingen of meerdere paden aanwezig zijn naar dezelfde bestemming. Omdat er geen padbepaling plaats vindt op laag-2, is het mogelijk dat er 'loops' ontstaan. Wanneer er een loop aanwezig is, blijft het verkeer op en neer gaan over het betreffende pad of verbinding. Aangezien er in het Ethernet frame ook geen 'Time To Live' gedefinieerd is, kan dit verkeer eindeloos doorgaan binnen het netwerk. Dit kan zorgen voor onnodig bandbreedte verlies op de infrastructuur of zelfs ervoor zorgen dat de gehele infrastructuur uitvalt. Om dit te voorkomen is er een protocol ontwikkeld, namelijk 802.1d ook wel genoemd het Spanning Tree Protocol (STP). Dit protocol herkent de redundante verbindingen of paden en schakelt één van deze verbindingen uit, om 'loops' te voorkomen. Het protocol schakelt simpelweg de port uit op het betreffende apparaat, van de betreffende verbinding. Mocht de werkende verbinding uitvallen, wordt de uitgeschakelde verbinding in werking gesteld. STP herkent dit door regelmatig multicast berichten over de infrastructuur te verzenden. Op deze wijze worden veranderingen binnen het netwerk herkent en past STP, indien nodig, de verbindingen aan.

In het service provider netwerk is het theoretisch mogelijk om 802.1Q tagging te gebruiken om klantnetwerken te scheiden van elkaar. Echter heeft dit een aantal beperkingen, waardoor het praktisch niet realiseerbaar is.

- De grootste beperking is dat er maar 4096 VLAN's geconfigureerd kunnen worden binnen de infrastructuur. Elke klant krijgt één VLAN aangewezen binnen de service provider infrastructuur. Dit houdt in dat er een beperking is van 4096 klanten op deze infrastructuur;
- Wanneer de service provider gebruik maakt van 802.1Q tagging, kan de klant geen 802.1Q tags toepassen binnen haar eigen netwerk. Hierdoor is het voor de klant niet mogelijk het verkeer te scheiden binnen haar eigen netwerken en/of prioriteit indicatie meegeven aan een frame. Aangezien deze wordt aangegeven in de 802.1Q, welke niet kan worden toegepast;
- Het netwerkverkeer van de klanten wordt gescheiden door de verschillende VLAN's. Echter is er geen scheiding van sommige 'network control frames'. Deze worden over heel het netwerk heen gezonden. Op deze wijze wordt er onnodige bandbreedte verbruikt. Bijvoorbeeld STP verkeer.

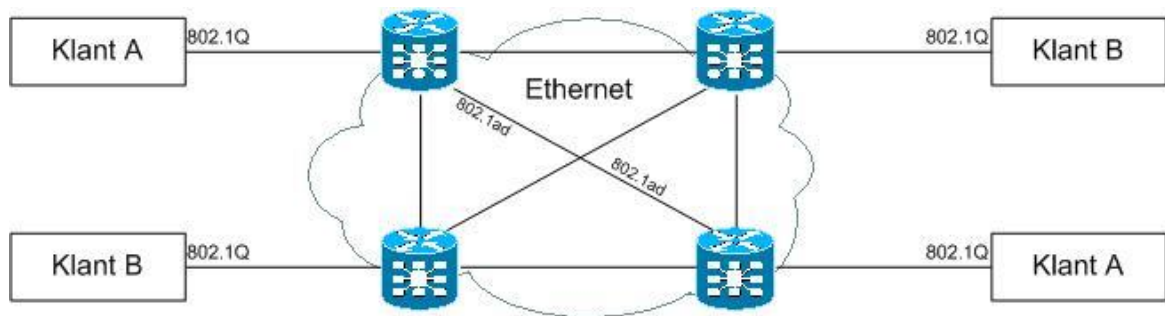
Om de bovenstaande beperkingen te elimineren, wordt er gebruik gemaakt van 802.1ad, ook wel genoemd 'provider bridging'. De termen 'VLAN stacking' en 'QinQ' worden ook gebruikt voor het protocol 802.1ad. Het protocol 802.1ad is een uitbreiding op het protocol 802.1Q. Wanneer een Ethernet frame een VLAN tag bevat, kan 802.1ad er nog een VLAN tag aan toevoegen. Deze tag wordt bovenop de eerste tag toegevoegd, vandaar de naam VLAN stacking.



Figuur 19 IEEE802.1ad tag bovenop de IEEE802.1Q tag.

In Figuur 19 is te zien dat een extra VLAN tag wordt toegevoegd voor het eerste VLAN tag. Aan de hand van de extra tag scheidt de service provider het netwerkverkeer van de verschillende klanten. Hierdoor komt de 802.1Q tag vrij en kan deze door de klanten gebruikt worden om verschillende services te realiseren. De 802.1ad tag wordt gebruikt door de service provider en wordt ook de 'service tag' genoemd of 'S-tag'. De 802.1Q tag wordt in dit geval door de klant gebruikt en wordt de 'customer tag' genoemd of 'C-tag'. De S-tag bevat dezelfde velden en dezelfde werking als een 802.1Q tag.

Doordat de klant nu haar eigen VLAN's kan configureren, aan de hand van de 802.1Q tags, is het mogelijk om prioriteiten te definiëren aan bepaalde services. In Figuur 20 is de schematische weergave te vinden van een service provider netwerk welke gebruik maakt van 802.1ad.



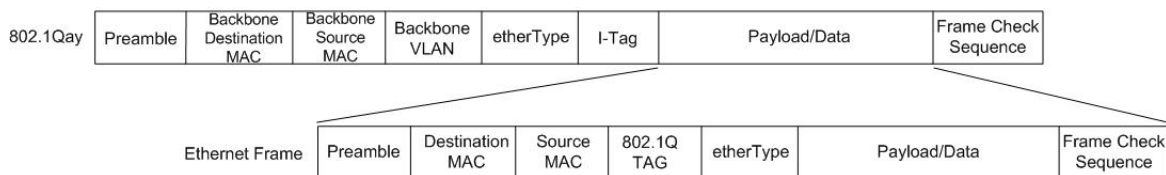
Figuur 20 Schematische weergave van de service provider, welke gebruik maakt van 802.1ad.

Door gebruik te maken van 802.1ad in plaats van 802.1Q binnen de infrastructuur van de service provider, wordt ook het scheiding gecreëerd voor de 'network control frames'. Het protocol 802.1ad voegt ook aan deze frames een 'S-tag' toe. Hierdoor worden de 'control frames' transparant getransporteerd over het service provider netwerk. Dit houdt in dat ze als normale Ethernet frames worden behandeld. Zodra de S-tag verwijderd wordt, wordt het frame weer als 'network control frame' behandeld. Op deze wijze is het mogelijk de 'network control frames' te gebruiken binnen de klantnetwerken, zonder dat hierbij het service provider netwerk onnodig verkeer transporteert. De service provider kan dezelfde 'control protocollen' gebruiken als de klant, zonder dat deze met elkaar conflicteren. Aangezien de 'control frames' van de klant transparant getransporteerd worden.

Echter heeft 802.1ad nog steeds het probleem dat er maar 4096 VLAN's geconfigureerd kunnen worden. Aangezien de 802.1ad dezelfde velden gebruikt als 802.1Q. Omdat nu 802.1ad wordt gebruikt door de service provider, om klantnetwerken te onderscheiden, blijft de beperking bestaan van maximaal 4096 klanten.

Wanneer de service provider een grote hoeveelheid klanten heeft, moeten er grote hoeveelheden MAC-adressen worden geleerd en opgenomen in de MAC-tabellen. De MAC-tabellen kunnen hierdoor zodanig groot worden, dat de apparatuur slecht of zelfs niet meer functioneert.

Het bovenstaande probleem is op te lossen door 'Provider Backbone Bridging' (PBB) te gebruiken, gedefinieerd in 802.1Qay. Bij 'Provider Backbone Bridging' wordt het originele Ethernet frame ingepakt in het PBB frame. Hierdoor wordt het originele Ethernet frame transparant getransporteerd over het netwerk. Het PBB frame heeft een eigen source en destination MAC-adres. Aan de hand van deze adressen wordt het frame over het netwerk heen getransporteerd. Hierdoor hoeft het service provider netwerk alleen maar de PBB MAC-adressen te leren en niet meer alle customer MAC-adressen. Aan de hand van de I-Tag in het PBB frame, kan herkend worden bij welke klant het frame



Figuur 21 IEEE802.1Qay frame

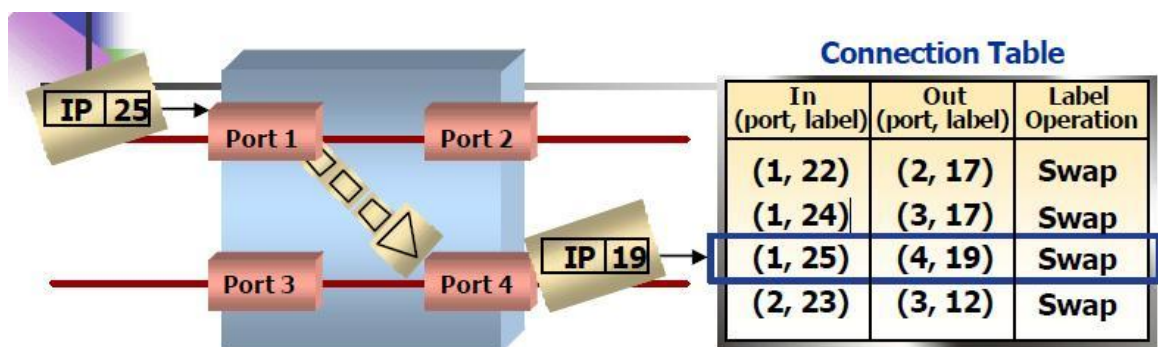
hoort. In Figuur 21 is te zien hoe een Ethernet frame ingepakt wordt in het PBB frame.

Dit protocol wordt niet verder behandeld, dan de korte uitleg hierboven gegeven. Het protocol wordt gebruikt binnen grote service provider netwerken en is niet relevant voor de doelstellingen binnen deze opdracht.

3.1.2. MPLS

In de vorige paragraaf is beschreven hoe de service provider een Ethernet verbinding realiseert met als onderliggend protocol, het Ethernet protocol zelf. Echter kan de service provider een andere soort infrastructuur gebruiken, als een Ethernet infrastructuur. Een veelvoorkomend protocol binnen service providers is het MPLS protocol. De afkorting MPLS staat voor Multi Protocol Label Switching. Het netwerkverkeer wordt gerouteerd aan de hand van labels, welke aan het frame gekoppeld wordt. MPLS is gedefinieerd in RFC3031 en is gestandaardiseerd door de MEF.

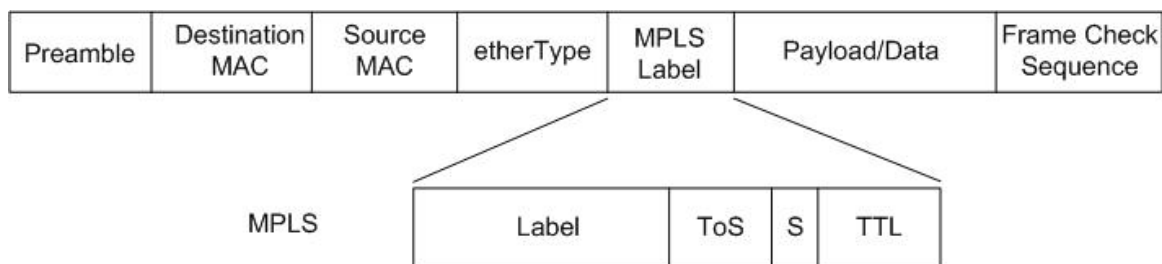
MPLS maakt gebruik van het 'Label Distribution Protocol' (LDP). Dit protocol zorgt voor de distributie van de labels in het netwerk. Het protocol doet dit aan de hand van een bovenliggend routingprotocol, zoals OSPF of BGP. MPLS bevindt zich tussen laag-2 en laag-3 van het OSI-model. Dit komt omdat MPLS de frames switched aan de hand van de labeltabel. Echter wordt de labeltabel weer opgesteld door een laag-3 routingprotocol.



Figuur 22 Algemene werking van MPLS

In Figuur 22 is de globale werking te zien van MPLS. Er is te zien dat een frame binnenkomt op 'port 1' met een label 25. Als we in de tabel opzoeken waar dit frame heen moet, is te zien dat deze de switch moet verlaten op 'port 4'. Er wordt een nieuw label aangekoppeld, welke weer de volgende operatie weergeeft op de volgende switch of router.

MPLS vindt plaats binnen het gedefinieerde MPLS domein. De grenzen van het MPLS domein worden afgebakend door 'Label Edge Routers' (LER). Deze routers zijn het eerste of laatste apparaat binnen het domein. De routers tussen de LER's heten 'Label Switch Routers' (LSR). Wanneer een frame binnenkomt in het MPLS domein, wordt er door de LER een label aangekoppeld. Nadat het frame de LER heeft verlaten, wordt het frame verder gerouteerd op basis van de MPLS tabellen in de LSR. De LSR stript het oude label van het frame en koppelt er een nieuw label aan. Aan het einde van de route/pad wordt, door de LER, het label verwijderd. De route/pad die het frame heeft afgelegd in het MPLS domein, heet het 'Label Switch Path' (LSP). Er kunnen diverse laag-2 protocollen geschicht worden aan de hand van MPLS. Enkele voorbeelden zijn ATM, Ethernet en Frame Relay. Een voorbeeld van een Ethernet frame, welke gebruik maakt van MPLS is te zien in Figuur 23.



Figuur 23 Een Ethernet frame met een MPLS label.

In Figuur 23 zijn de vier velden van een MPLS uitgetekend. Hieronder worden de vier velden kort uitgelegd:

- Label; Hier wordt het betreffende label ID in geplaatst;
- ToS; Type of Service, hier kan de QoS worden aangegeven;
- S; Dit veld geeft weer of het de laatste label van de stack is;
- TTL; Time To Live, in dit veld wordt per 'hop' het aantal verlaagd tot dit veld '0' is. Zodra dit veld '0' is, wordt het frame verwijderd uit het netwerk.

Om in de service provider een Ethernet verbinding aan te bieden, wordt er gebruik gemaakt van pseudowires. Er zijn verschillende soorten pseudowires ontwikkeld. Het bekendste pseudowire type is ontwikkeld door het IETF en emuleert een laag-2 point-to-point Ethernet verbinding over MPLS. Deze pseudowire heeft de afkorting PWE3 gekregen van het IETF en is beschreven in RFC3985.

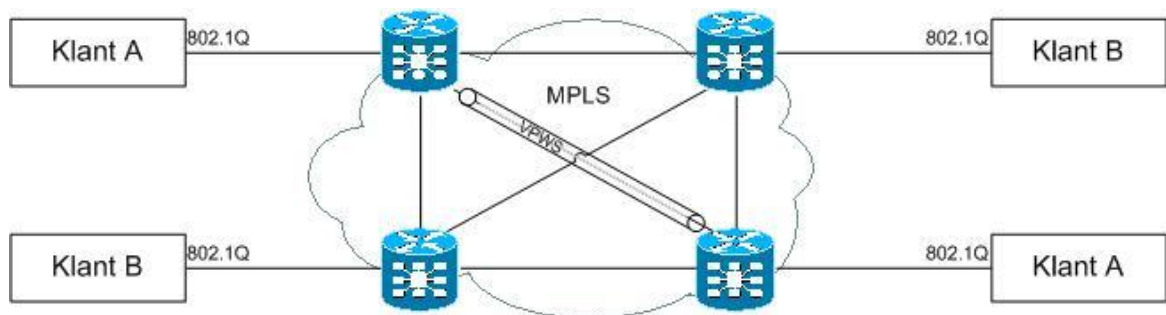
Door gebruik te maken van PWE3 worden Ethernet frames transparant getransporteerd over het MPLS netwerk. Een dergelijke point-to-point verbinding wordt een 'Virtual Private Wire Service' (VPWS) genoemd. Wanneer er meerdere pseudowires worden geconfigureerd in de vorm van een LAN, wordt dit een 'Virtual Private LAN Service' (VPLS) genoemd.

MPLS	Preamble	Destination MAC	Source MAC	etherType	MPLS Label	Payload/Data		Frame Check Sequence
VPLS	Preamble	Destination MAC	Source MAC	etherType	MPLS Label	VC Label	Payload/Data	Frame Check Sequence

Figuur 24 Ethernet frame met MPLS vergeleken met VPLS

In Figuur 24 is te zien dat er naast het MPLS label een extra veld is geplaatst. In dit veld wordt het 'VC label' geplaatst. Met dit label wordt de VPLS gekenmerkt. Dit is nodig wanneer er meerdere VPLS op de infrastructuur bestaan. Op deze wijze wordt het frame gescheiden van de overige VPLS binnen de infrastructuur en ontvangt de klant alleen haar eigen data. Het pad wordt bepaald aan de hand van het MPLS label.

In Figuur 25 is de schematische tekening te vinden van het service provider netwerk, welke gebruik maakt van MPLS in combinatie met VPWS.



Figuur 25 Schematische weergave van de service provider, welke gebruik maakt van VPWS

Klant 'A' verbindt aan de hand van een 802.3ah verbinding met 802.1Q tagged frames. Binnen het service provider netwerk worden deze frames transparant getransporteerd over de VPWS. Aan het einde van het service provider netwerk worden de frames weer als 802.1Q tagged frames verder getransporteerd. Op deze manier lijkt de verbinding tussen de twee locaties van klant 'A' een LAN verbinding. Echter wordt er binnen het service provider netwerk geswitched aan de hand van MPLS.

3.2. Testomgeving

In de testomgeving wordt de infrastructuur van de service provider gerealiseerd. Aan deze infrastructuur worden ook twee locaties gekoppeld van een klant. De infrastructuur wordt gerealiseerd aan de hand van één van de bovenstaand genoemde protocollen en de beschikbare apparatuur binnen Qi ict. In eerste instantie moest er een klantnetwerk nagemaakt worden, welke meerdere locaties heeft en gekoppeld zijn middels een laag-2 infrastructuur van een provider. Na een bespreking met de opdrachtgever is besloten dit niet te doen. Er waren op dat moment geen geschikte infrastructuren ter beschikking. Ook was er onvoldoende kennis aanwezig, op welke wijze de service

provider de verbinding verzorgt binnen haar netwerk. Om deze redenen is besloten een testopstelling te maken.

Het doel van de testopstelling is de verbindingstechniek realiseren in de infrastructuur van de service provider. Ook moet er een laag-2 verbinding gerealiseerd worden van locatie 'A' naar locatie 'B'.

3.2.1. Keuze van protocol

Het protocol, welke gebruikt wordt het service provider netwerk, is 802.1ad. Er is voor dit protocol gekozen om de volgende redenen:

- In de opdracht staat dat 'VLAN stacking' en 'Provider Bridging', oftewel 802.1ad, een vereiste is binnen het onderzoek;
- 802.1ad is makkelijker te begrijpen als MPLS. Wanneer er een MPLS infrastructuur ontwikkeld moet worden, is veel tijd nodig om de benodigde kennis op te doen. Om tijdnoed te vermijden is er niet gekozen voor MPLS;

3.2.2. Resultaten

Met de testopstelling moet worden bewezen of het protocol 802.1ad werkt, zoals beschreven in hoofdstuk drie. Ook dient de testopstelling als service provider infrastructuur voor het Proof of Concept.

In hoofdstuk vijf van dit document, zijn het onderzoeksplan en de resultaten van de testomgeving te vinden.

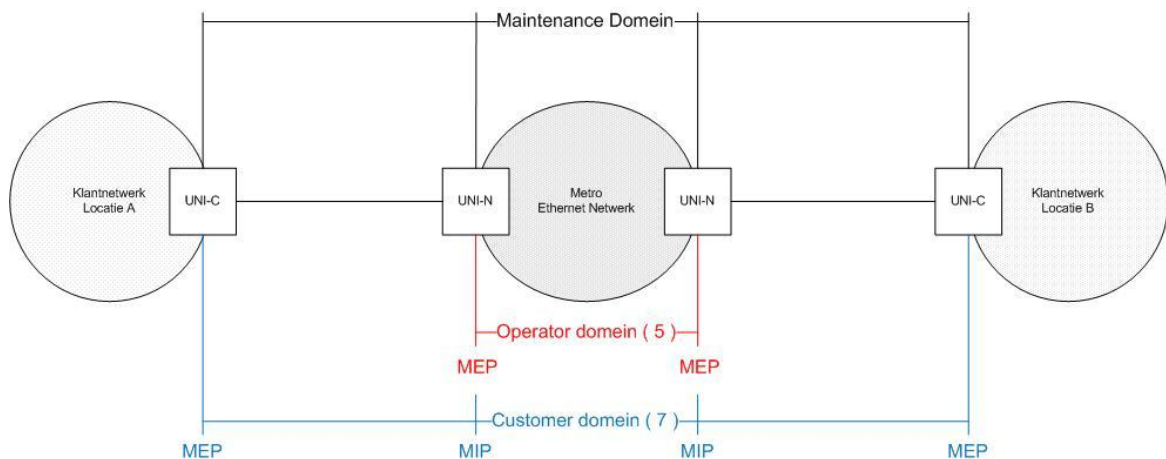
4. Realisatie van Carrier Ethernet service

Om Carrier Ethernet te implementeren in de testopstelling, moeten een aantal service attributen geconfigureerd worden op de apparatuur. In dit hoofdstuk worden de protocollen behandeld, welke de verbinding omvormen tot een Carrier Ethernet service.

4.1. Service Management.

Aan de hand van service management is het mogelijk de infrastructuur te monitoren en beheren. Service management wordt door diverse protocollen mogelijk gemaakt binnen Carrier Ethernet. Hieronder wordt de functie van elk protocol behandeld.

Voordat de protocollen, betreffende service management, geconfigureerd kunnen worden, moet er eerst een 'maintenance domain' worden toegewezen. Dit domein geeft de tussen- en eindpunten weer van de service. Dit is nodig zodat de betreffende protocollen weten waartussen er gemeten moet worden.



Figuur 26 Maintenance Domain gecategoriseerd in twee niveaus

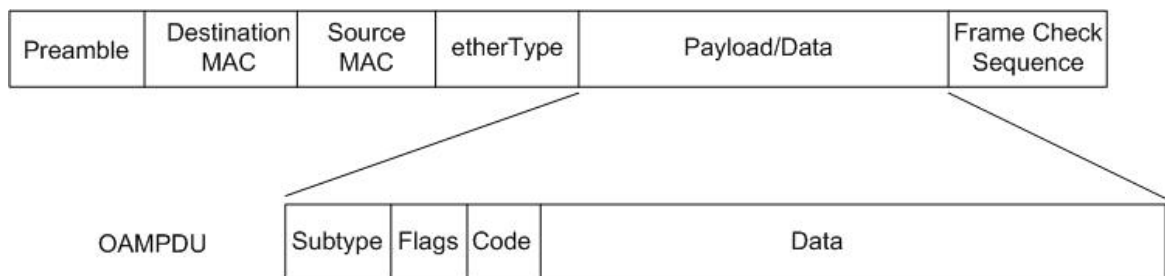
In Figuur 26 zijn twee maintenance domeinen te zien, welke gecategoriseerd zijn in twee niveaus. Een maintenance domein kan gecategoriseerd worden in acht niveaus, hoe groter het domein, hoe groter het getal. In Figuur 26 is te zien dat het 'operator domein' niveau vijf heeft en het 'customer domein' niveau 7 heeft. Aan de hand van de gecategoriseerde domeinen, kan worden bepaald tot waar een protocol moet monitoren en beheren.

Een maintenance domein heeft een eindpunt. Dit eindpunt wordt het 'Maintenance End Point' (MEP) genoemd. Bij een groter domein kunnen er tussenliggende apparaten aanwezig zijn. Deze tussenliggende apparaten worden beschouwd als 'Maintenance Intermediate Point' (MIP).

Om een Ethernet verbinding of service te beheren worden er meerdere protocollen gebruikt. Al deze protocollen maken gebruik van OAMPDU's. Een OAMPDU is een bericht, welke de OAM informatie draagt. De

OAMPDU's worden verwerkt in de payload van een Ethernet frame. Door het ethertype van het frame te veranderen, zijn de OAM frames te onderscheiden van de overige frames.

In Figuur 27 wordt een OAMPDU weergegeven, welke verwerkt is in de



Figuur 27 OAMPDU in de payload van een Ethernet frame.

payload van een Ethernet frame. Er is te zien dat een OAMPDU bestaat uit vier velden;

- Subtype; Hier wordt aangegeven dat het om een 'langzaam' protocol gaat. Met langzaam wordt bedoeld dat de maximale hoeveelheid frames per seconde klein is. In het geval van OAM is dit 10 frames per seconde;
- Flags; Dit veld geeft de status weer van de zendende MEP;
- Code; Met dit veld wordt de soort OAMPDU weergegeven. Een OAMPDU kan in de volgende varianten voorkomen:
 - o Information OAMPDU: Dit type OAMPDU geeft informatie door over de status van een OAM entiteit;
 - o Event notification: Dit type OAMPDU wordt gebruikt voor link monitoring en worden verzonden wanneer er een fout optreedt;
 - o Loopback control OAM: Aan de hand van deze OAMPDU is het mogelijk remote loopback aan of uit te zetten op een andere OAM entiteit.
- Data; Dit veld bevat de data van het betreffende OAM type.

OAM kan op twee lagen plaats vinden, namelijk de data-link laag en de service laag. Op de data-link laag wordt de fysieke verbinding gecontroleerd aan de hand van 802.3ah. Op de service laag wordt de logische verbinding, gedefinieerd in het maintenance domein, gecontroleerd aan de hand van 802.1ag en ITU-T Y.1731.

4.1.1. Data-link laag

Tussen het klantnetwerk en de service provider, wordt er verbinding gemaakt volgens het protocol 802.3ah, oftewel 'Ethernet in the First Mile'. Bij 'Ethernet in the First Mile' wordt OAM toegepast op de data-link laag. Hierbij wordt er niet gekeken naar de Ethernet service, maar naar de daadwerkelijke link tussen het klantnetwerk en de service provider. OAM op deze link wordt beschreven in het protocol 802.3ah en wordt EFM-OAM genoemd.

EFM-OAM maakt geen gebruik van het gedefinieerde maintenance domein. EFM-OAM vindt plaats tussen twee onderling verbonden apparaten. Aan de hand van de 'Discovery fase' van EFM-OAM, ontdekt het betreffende apparaat automatisch het omliggende apparaat. Als EFM-OAM ingeschakeld is bij het gevonden apparaat, is het mogelijk EFM-OAM toe te passen op de verbinding.

Nadat de 'Discovery fase' met succes is afgerond, is het mogelijk om OAM toe te passen op de verbinding. EFM-OAM bestaat uit drie onderdelen:

- Aan de hand van 'link monitoring' wordt een fout op de verbinding gedetecteerd en wordt het aantal frames op de verbinding bijgehouden, welke niet goed zijn aangekomen.
- Als de verbinding wordt onderbroken door onbereikbaarheid en/of uitval van het apparaat, wordt dit gedetecteerd aan de hand van 'Remote Fault Detection'. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan onverwachte reboot van het apparaat of stroomuitval op het apparaat.
- 'Remote Loopback testing' wordt gebruikt om te controleren of het andere apparaat beschikbaar en functioneel zijn.

4.1.2. Service laag

Het controleren van de Ethernet services wordt gedaan aan de hand van 'Connectivity Fault Management' (CFM) omschreven in 802.1ag. In dit document worden de methodes en protocollen omschreven, waarmee de service getest wordt. De protocollen lijken veel op de protocollen die gebruikt worden bij IP-netwerken om verbindingen te testen. Het protocol 802.1ag maakt gebruik van drie verschillende technieken. Deze technieken werken nauw samen met elkaar en tezamen brengen deze technieken rapport uit van de netwerkstatus. De drie technieken worden hieronder beschreven.

- Het 'continuity check protocol' stuurt zogenaamde 'heartbeat' berichten over het netwerk. Deze berichten zijn periodieke multicast berichten. Elk apparaat, welke binnen het CFM domein valt, bouwt hiermee een tabel op van de aanwezige apparaten. Wanneer een apparaat binnen het domein dit niet meer uitzendt, zien de anderen dit apparaat uit de lijst verdwijnen en wordt er een fout gedetecteerd.
- 'Link trace' is te vergelijken met 'trace route'. Met behulp van dit protocol is het mogelijk de route te traceren op laag-2. In dit geval is elk apparaat, welke zich binnen het CFM domein bevindt, een zogenaamde 'hop'. Door middel van 'link trace' is het mogelijk te controleren of een bepaalde route fouten bevat.
- De laatste techniek binnen CFM is het 'loop-back protocol'. Dit protocol is te vergelijken met 'ping' op laag-3. Aan de hand van dit protocol is het mogelijk om fouten te detecteren op een bepaalde specifieke locatie of apparaat.

Op de service laag wordt OAM uitgebreid met het protocol ITU-T Y.1731. Het protocol ITU-T Y.1731 heeft als functie de performance waarden te monitoren. Wanneer een waarde overschreven wordt, wordt er een alarm afgegeven dat de verbinding niet voldoet aan de gestelde norm. Deze norm is vastgelegd in de SLA en is afgesproken tussen de klant en service provider.

Om de performance waarden te beheren, maakt ITU-T Y.1731 gebruik van de volgende technieken.

- Met 'one-way delay' wordt de tijd gemeten om een frame van een MEP naar een andere MEP te versturen. Wanneer het frame het zendende apparaat verlaat, wordt de tijd vastgelegd in het frame. Wanneer het frame aankomt wordt het verschil in tijd berekend en dit is de 'one-way delay'. Deze performance waarde kan van belang zijn bij IP-TV. Het netwerkverkeer gaat in dit geval maar één richting op.
- Bij 'two-way delay' wordt de bovenstaande handeling ook uitgevoerd, alleen wordt het frame nu teruggezonden naar de verzender. Onder 'two-way delay' wordt de tijd verstaan om van het ene MEP naar een ander MEP te zenden en weer terug.
- De laatste techniek, welke wordt gebruikt binnen ITU-T Y.1731 is 'frame delay variation', oftewel jitter. Bij jitter wordt de tijdsverschillen berekent tussen de huidige delay waarde en de vorige delay waarde.

4.2. Proof of Concept

In het Proof of Concept worden de service gerichte technieken en protocollen, welke beschreven zijn in hoofdstuk vier, gerealiseerd in de praktijk. De technieken en protocollen worden toegepast op de ontwikkelde testopstelling uit hoofdstuk drie. Deze testopstelling moet, na het toepassen van de service gerichte technieken en protocollen, een Carrier Ethernet service aanbieden.

In hoofdstuk zes van dit document zijn het onderzoeksplan en de resultaten te vinden van het Proof of Concept. In dit hoofdstuk wordt ook de vraag beantwoord of Carrier Ethernet realiseerbaar is op een bestaande laag-2 infrastructuur.

Fase 3.2 Onderzoeksfase – Empirisch onderzoek

Er worden een tweetal praktische onderzoeken opgezet. Het eerste onderzoek dient als testopstelling voor het service provider netwerk. Deze testopstelling dient later als infrastructuur van de service provider in het Proof of Concept. Voor de ontwikkeling van beide infrastructuren, wordt er gebruik gemaakt van de ASI-methode. De ASI-methode is een methode, welke gebruikt wordt om infrastructuren te ontwikkelen. Aan de hand van een aantal acceptatie tests is het mogelijk de protocollen en technieken te testen op deze infrastructuur. Op deze manier moet worden bewezen dat de omschreven protocollen en technieken werken.

De ASI-methode is vergeleken met de methode InFraMe. InFraMe is een methode, welke ontwikkeld is voor infrastructuur projecten. InFraMe is echter veel uitgebreider als de ASI-methode. De methode bestaat uit zes fasen, namelijk design, build, test, deploy, format en evaluate. Elk van deze fase is weer onderverdeeld in vier fasen, namelijk prepare, execute, verify en deliver. InFraMe sluit goed aan op de projectmethode PRINCE2. Er is niet gekozen voor InFraMe omdat deze methode te uitgebreid is voor het empirische onderzoek. Ook is er extra tijd benodigd om InFraMe te leren. Deze tijd is niet meegecalculeerd en ook niet aanwezig. De ASI-methode is al meerdere keren gebruikt en hierdoor bekend bij de opdrachtnemer.

Het empirisch onderzoek wordt volgens een vereenvoudigde manier van de ASI-methode ontwikkeld. De ASI-methode is een gefaseerde aanpak om een systeem-/netwerkinfrastructuur te ontwerpen en te ontwikkelen. De ASI-methode kent de volgende vier fasen: Definitiefase, architectuurfase, ontwerpfase en ontwikkelfase.

Aangezien het binnen dit project om een Proof of Concept gaat en niet om een volledige uitgewerkte infrastructuur, worden de verschillende fasen niet volledige uitgewerkt of zelfs overgeslagen. Hieronder een overzicht van de fasen met de bijbehorende doeleinden, welke gebruikt worden in het empirisch onderzoek.

- Definitiefase: - Wat is het doel van de opstelling ?
 - Eisen aan de opstelling;
 - Uit te voeren tests.
- Ontwerpfase: - Infrastructuurtekening;
 - Adrestabel;
 - Benodigde componenten.
- Ontwikkelfase: - Opzetten ontwerp infrastructuur;
 - Uit voeren van de gedefinieerde tests.

De architectuurfase wordt overgeslagen in het empirische onderzoek. Zowel de infrastructuur van de testopstelling als van het Proof of Concept, dienen als testomgeving om aspecten uit het literatuuronderzoek aan te tonen. Er worden dus geen grote en/of complexe infrastructuren ontwikkeld.

Het ontwerpen en ontwikkeling van beheer en support, is ook niet relevant voor dit project. Ook zijn er een aantal andere onderdelen welke overgeslagen worden. Dit zijn onder andere de kosten van de infrastructuur,

dit valt buiten de projectgrenzen. Ook leveringsvoorwaarden opstellen en het uitwerken van een Service Level Agreement wordt niet uitgevoerd.

5. Testopstelling

In dit hoofdstuk wordt de testopstelling opgebouwd. In de testopstelling wordt de infrastructuur van de service provider gerealiseerd. Omdat er geen bestaande infrastructuur beschikbaar is, is er gekozen om een eenvoudig model van een service provider netwerk te ontwerpen. De model dient vervolgens als service provider netwerk voor het Proof of Concept.

5.1. Definitiefase

Het doel van testopstelling is het ontwerpen en realiseren van een service provider infrastructuur. Met behulp van deze infrastructuur moet ook een werkende verbinding worden gerealiseerd van een klant, op twee verschillende locaties. De gerealiseerde infrastructuur wordt later in het onderzoek gebruikt als service provider netwerk voor het Proof of Concept.

Eerder in het document is er gekozen om gebruik te maken van het protocol 802.1ad, binnen het service provider netwerk. De testopstelling wordt dan ook ontworpen, gebruik makende van het protocol 802.1ad, zoals beschreven in hoofdstuk 3.1.1.

Om een reële testomgeving te realiseren, zijn er meerdere klantnetwerken en/of verbindingen benodigd. Dit is echter geen eis, omdat de protocollen ook getest kunnen worden over een enkele verbinding. Een eis aan de infrastructuur is dat de apparatuur MEF gecertificeerd is. Dit is nodig om de infrastructuur te kunnen gebruiken voor het Proof of Concept.

Om te controleren of de gerealiseerde infrastructuur naar behoren werkt, worden er een aantal acceptatietests op uitgevoerd.

Controleren van de verbinding.

Doel: Aan de hand van deze test wordt er gecontroleerd of er een werkende verbinding aanwezig is tussen de twee locaties.

Werkwijze: Er worden ICMP-berichten (ping berichten) van locatie A naar locatie B gestuurd. Ook wordt een 'traceroute' uitgevoerd op beide locaties.

Gewenste resultaat: Op locatie 'A' moet een succesvolle ICMP-reply worden ontvangen. Dit duidt op een werkende verbinding. De 'traceroute' mag uit maximaal één 'hop' bestaan, aangezien de twee locaties op laag-2 met elkaar verbonden zijn.

Werking 802.1ad controleren.

Doel: Met deze test wordt nagegaan of het protocol 802.1ad juist geconfigureerd is. Ook wordt er gecontroleerd of het verkeer over het juiste VLAN getransporteerd wordt.

Werkwijze: In het service provider netwerk wordt een monitoring port geconfigureerd. Deze port kopieert de data welke wordt verzonden en ontvangen, betreffende de gekozen port. Voor deze test wordt de verbinding tussen de twee provider edges geanalyseerd. Er worden ICMP-berichten verzonden van locatie A naar locatie B. Op de monitoring port wordt een computer aangekoppeld, welke het

programma Wireshark draait. Het programma Wireshark ontvangt de data en biedt de mogelijkheid de frames uit te lezen.

Gewenste resultaat: De ontvangen frames in Wireshark moeten Ethernet frames zijn, waarbij er een 802.1ad tag aanwezig is. De structuur van het frame moet voldoen aan de structuur van een 802.1ad frame, beschreven in hoofdstuk 3.1.1.

Werking Spanning Tree Protocol controleren

Doel: Deze test moet bewijzen of het Spanning Tree Protocol naar behoren werkt. Wanneer er een redundante verbinding aanwezig is, moet deze automatisch ingeschakeld worden zodra de andere uitvalt.

Werkwijze: In het service provider netwerk wordt een monitoring port geconfigureerd. Deze port kopieert de data welke wordt verzonden en ontvangen, betreffende de gekozen port. Voor deze test wordt de redundante verbinding geanalyseerd tussen de twee provider edges. Op de monitoring port wordt een computer aangekoppeld, welke het programma Wireshark draait. Het programma Wireshark ontvangt de data en biedt de mogelijkheid de frames uit te lezen.

De andere test is het uitschakelen van één van de connecties binnen de redundante verbinding. Dit wordt simpelweg gedaan door één kabel los te koppelen. Door het versturen van ICMP-berichten van locatie A naar locatie B, is het mogelijk te controleren of de verbinding tot stand blijft.

Gewenste resultaat: Wanneer STP ingeschakeld is, moeten er constant STP berichten over het netwerk worden getransporteerd. Deze STP berichten zijn uit te lezen in Wireshark.

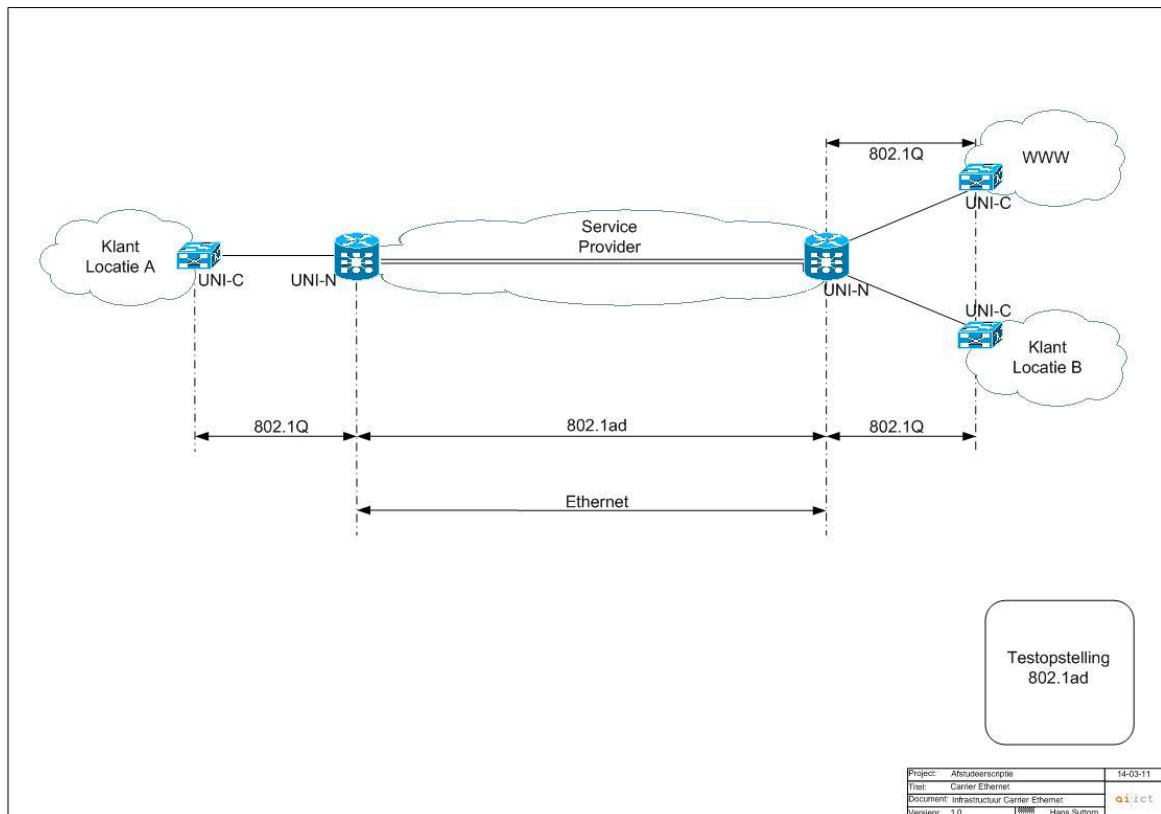
Wanneer STP naar behoren functioneert, moet de verbinding tot stand blijven, ondanks het feit dat er één verbinding missende is.

5.2. Ontwerpfase

Aan de hand van de gestelde eisen en de beschikbare apparatuur binnen Qi ict, is de volgende keuze van apparatuur gemaakt:

- 2x Alcatel-Lucent OS6850-24P switches;
 - o 4x SFP modules voor glasvezelverbinding;
- 1x Brocade MLX4 met 20 switchpoorten;
- 1x Brocade MLX8 met 20 SFP poorten;
 - o 2x SFP koper modules voor de patch verbinding;
- 2x Glasvezelkabel;
- 2x Cat5e patchkabel;
- 1x Desktop computer;
 - o 2x Ethernet aansluiting;
 - o Wireshark geïnstalleerd op de computer.
- 1x Laptop.

Met de bovenstaande onderdelen wordt de infrastructuur, te zien in Figuur 28 gerealiseerd. De vergrootte versie van Figuur 28 is te vinden in bijlage twee. In Tabel 4 is de adrestabel te zien, welke bij de testopstelling hoort.



Figuur 28 Infrastructuur van de testopstelling.

Klant 1	VLAN	IP (intern op locatie)
Locatie A	Intranet VLAN 20 Internet VLAN 30	10.0.1.1/24
Locatie B	Intranet VLAN 20	10.0.1.1/24
Service Provider	802.1ad TAG 1000 802.1ad TAG 4000	
WWW	Internet VLAN 30	172.21.0.1/16

Tabel 4 VLAN plan van de testopstelling.

5.3. Ontwikkelfase

Het opzetten van de testopstelling gebeurt (globaal) volgens het volgende stappenplan:

- Fysieke opstelling opzetten aan de hand van de tekening in bijlage één;
- 802.1Q configureren op de customer edges;
- Link aggregation configureren tussen de twee provider edges;
- 802.1ad configureren op de provider edges;
- Spanning Tree Protocol configureren op de gehele infrastructuur;
- De desktop computer verbinden op locatie 'B' en de juiste IP-instellingen configureren;
- Monitoring port configureren op de provider edge;
- De laptop verbinden op locatie 'A' en de juiste IP configuratie toepassen;
- Uitvoeren van de tests, beschreven in paragraaf één van dit hoofdstuk.

Nadat de fysieke opstelling is opgezet, volgens de tekening in bijlage drie, zijn de protocollen geconfigureerd op de apparatuur. Vervolgens zijn de computers verbonden aan de opstelling. Op de monitoring port is de computer aangekoppeld, welke Wireshark draait. Het opbouwen en configureren van de opstelling verliep zonder problemen.

Nadat de testopstelling volledige opgezet is, is de eerste test uitgevoerd. Bij deze test wordt de verbinding gecontroleerd. Hierbij wordt er een 'ping' verstuurd van de computer op locatie 'A' naar de computer op locatie 'B', zoals beschreven in paragraaf 5.1. Echter kwam er geen antwoord van de andere locatie en het gewenste resultaat werd niet behaald.

Omdat het gewenste resultaat niet werd behaald is er een onderzoek gestart naar het probleem. De eerste stap bestaat uit het configureren van monitoring porten op alle switches. Op deze wijze is het mogelijk alle verbindingen uit te lezen met behulp van Wireshark. Na het uitlezen van de verbindingen is geconstateerd dat de berichten niet op de 802.1Q verbinding, tussen customer edge en provider edge, terecht kwamen. De tweede stap is het configureren van een IP-adres op alle customer edges. Hiermee wordt er een IP-adres gekoppeld aan het apparaat zelf en is het mogelijk om van de computer naar de customer edges te 'pingen'. Ook is het dan mogelijk om van customer edge naar customer edge te 'pingen', zonder gebruik te maken van een computer. Het resultaat was verwarrend. Er kon succesvol gecommuniceerd worden vanaf de computer naar de customer edge, op dezelfde locatie. Tevens kon er ook van customer edge naar customer edge gecommuniceerd worden.

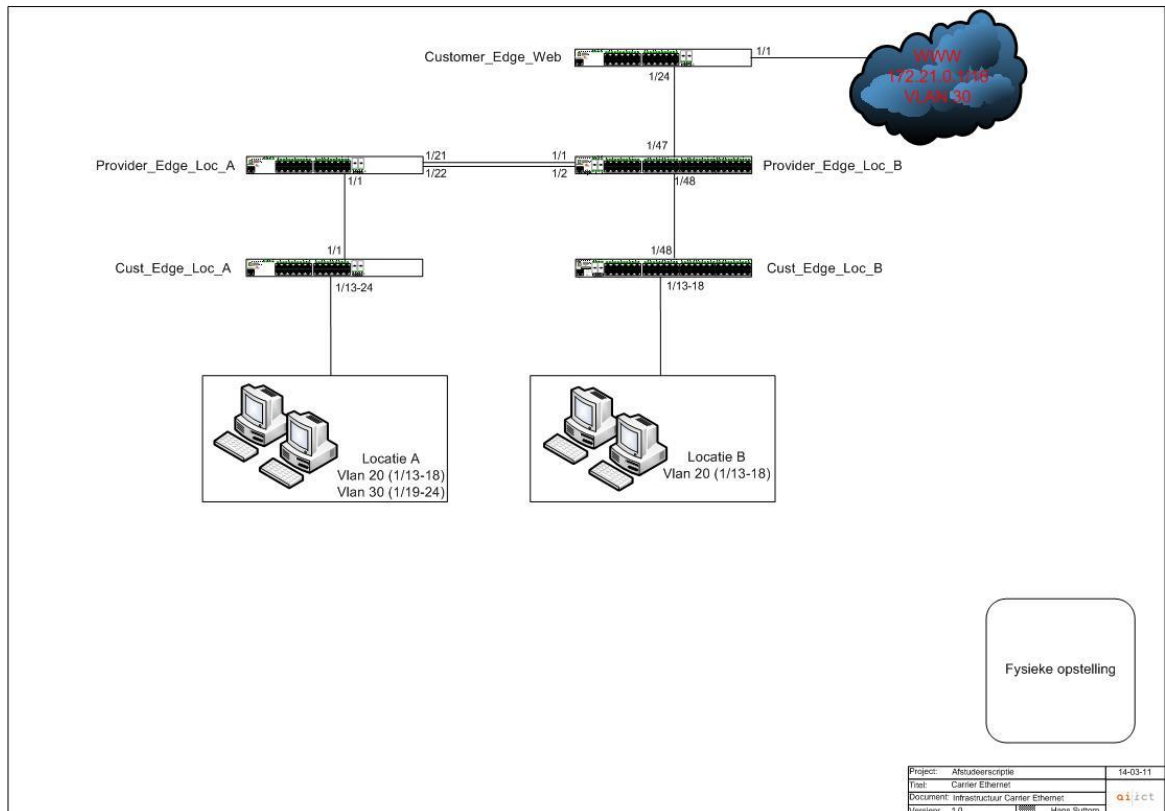
Uit de bovenstaande resultaten wordt geconcludeerd dat de fout zich bevindt in de customer edge. De fout vindt plaats tussen de port waar de computer aangekoppeld is en de port waar de verbinding naar de provider edge gemaakt wordt, op hetzelfde apparaat. Dit is het geval bij beide customer edges. Deze zijn van hetzelfde merk en type. Na een controle op de configuratie, door een ervaren netwerk engineer, bleek alles goed te zijn geconfigureerd.

Omdat het probleem niet ontdekt kon worden, is er besloten andere apparatuur te gebruiken. De Brocade apparatuur is ingeleverd en ingeruild voor Alcatel-Lucent apparatuur. De lijst met apparatuur komt er als volgt uit te zien:

- 2x Alcatel-Lucent OS6850-48P switches;
 - o 2x SFP modules voor glasvezelverbinding;
- 1x Alcatel-Lucent OS6400-24P switch;
- 1x Alcatel-Lucent OS6850-24P switch;
 - o 2x SFP modules voor glasvezelverbinding;
- 2x Glasvezelkabel;
- 2x Cat5e patchkabel;
- 1x Desktop computer;
 - o 2x Ethernet aansluiting;
 - o Wireshark geïnstalleerd op de computer;

- 1x Laptop.

Door de wijzigingen in apparatuur komt de fysieke opstelling er anders uit te zien. De functionaliteit van de testopstelling blijft hetzelfde als voorheen. In Figuur 29 is te zien hoe de fysieke opstelling er uitziet, na de wijzigingen in apparatuur. Een vergrote versie is te vinden in bijlage vier.



Figuur 29 Fysieke opstelling na wijziging van apparatuur.

Nadat de apparatuur opgehaald is, is de opstelling opnieuw gerealiseerd aan de hand van het stappenplan. Dit is succesvol afgerond. De configuratie van de switches is te zien in bijlage vijf tot en met acht.

Het hoofddoel van de testopstelling is het realiseren van 802.1ad binnen het service provider netwerk. Aan de hand van dit protocol moeten klanten een verbinding krijgen tussen locatie 'A' en locatie 'B'. In Figuur 30 is de configuratie te zien van 802.1ad op de provider edge locatie 'A'. Er is te zien dat 'Klant1' SVLAN 1000 krijgt toegewezen. De klant kan over deze SVLAN een verbinding realiseren van locatie 'A' naar locatie 'B'. Hierbij kan de klant haar eigen VLAN's gebruiken, zonder rekening te moeten houden met de VLAN's van de service provider.

! VLAN STACKING:

```
ethernet-service svlan 1000 nni 1/21-22
ethernet-service svlan 4000 nni 1/21-22
ethernet-service sap-profile "map_pbit" priority map-inner-to-outer-p
ethernet-service service-name "Klant1" svlan 1000
ethernet-service service-name "OAM" svlan 4000
ethernet-service sap 1000 service-name "Klant1"
ethernet-service sap 1000 sap-profile "map_pbit"
ethernet-service sap 1000 uni 1/1
ethernet-service sap 1000 cvlan 20
ethernet-service nni 1/21 tpid 0x88a8
ethernet-service nni 1/22 tpid 0x88a8
```

Figuur 30 802.1ad configuratie op Provider Edge locatie 'A'.

5.4. Resultaten

Met behulp van de gerealiseerde testopstelling zijn de ontwikkelde acceptatietests uitgevoerd. De resultaten van de verschillende tests volgen later in deze paragraaf. Aan de hand van deze resultaten wordt bevestigd of het protocol 802.1ad werkt, zoals beschreven in hoofdstuk 3. Een positief resultaat betekent ook dat de testopstelling kan voldoen als service provider infrastructuur. Hieronder de resultaten van de acceptatietests.

Controleren van de verbinding.

Gewenste resultaat: Locatie 'A' moet een succesvolle ICMP-reply ontvangen. Dit duidt op een werkende verbinding. De 'traceroute' mag uit maximaal één 'hop' bestaan, aangezien de twee locaties op laag-2 met elkaar verbonden zijn.

Behaalde resultaat: In Figuur 31 is het resultaat te zien van de betreffende test. Uit dit figuur is te concluderen dat er een werkende laag-2 verbinding is tussen locatie 'A' en locatie 'B'. Er is een positief 'ping' resultaat te zien en de 'traceroute' bestaat uit één hop. De resultaten komen overeen met het gewenste resultaat en de acceptatietest is met succes voltooid.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.
C:\Documents and Settings\hs>ping 10.0.1.21

Pinging 10.0.1.21 with 32 bytes of data:

Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64

Ping statistics for 10.0.1.21:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms

C:\Documents and Settings\hs>tracert 10.0.1.21

Tracing route to 10.0.1.21 over a maximum of 30 hops
  0  <1 ms    <1 ms    <1 ms  10.0.1.21
Trace complete.

C:\Documents and Settings\hs>
```

Figuur 31 Het 'pingen' en uitvoeren van 'traceroute', van locatie 'A' naar locatie 'B'.

Werking 802.1ad controleren.

Gewenste resultaat: De ontvangen frames in Wireshark moeten Ethernet frames zijn, waarbij er een 802.1ad tag aanwezig is. De structuur van het frame moet voldoen aan de structuur van een 802.1ad frame, beschreven in hoofdstuk 3.1.1.

Behaalde resultaat: In Figuur 32 is het resultaat te zien van het ping bericht uit de eerste test. Het pakket is afgevangen met Wireshark. Uit het figuur is te concluderen dat er zich twee tags bevinden in het pakket. De eerste tag is de 802.1ad tag en heeft als VLAN ID 1000. Dit is de tag van 'Klant1' binnen het service provider netwerk. De tweede tag is de 802.1Q tag en heeft als VLAN ID 20. Dit is de tag van 'Klant1' binnen haar eigen netwerk. Aan de hand van dit resultaat is te concluderen dat het protocol 802.1ad naar behoren functioneert tussen de provider edges. De resultaten komen overeen met het gewenste resultaat en de acceptatietest is met succes voltooid.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
81	14.208586	10.0.1.20	10.0.1.21	ICMP	Echo (ping) request (id=0x0200, seq(be/le)=22272/87, ttl=128)

Frame 81: 82 bytes on wire (656 bits), 82 bytes captured (656 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: Dell_93:b6:30 (00:1c:23:93:b6:30), Dst: 3Com_97:ca:d7 (00:04:75:97:ca:d7)

Destination: 3Com_97:ca:d7 (00:04:75:97:ca:d7)

Source: Dell_93:b6:30 (00:1c:23:93:b6:30)

Type: 802.1ad Provider Bridge (Q-in-Q) (0x88a8)

IEEE 802.1ad, ID: 1000

000. = Priority: 0

...0 = DEI: 0

.... 0011 1110 1000 = ID: 1000

Type: 802.1Q Virtual LAN (0x8100)

802.1Q Virtual LAN, PRI: 0, CFI: 0, ID: 20

000. = Priority: Best Effort (default) (0)

...0 = CFI: Canonical (0)

.... 0000 0001 0100 = ID: 20

Type: IP (0x0800)

Internet Protocol, Src: 10.0.1.20 (10.0.1.20), Dst: 10.0.1.21 (10.0.1.21)

Internet Control Message Protocol

Figuur 32 Wireshark resultaat van een 'ping' bericht van locatie 'A' naar locatie 'B'.

Werking Spanning Tree Protocol controleren

Gewenste resultaat: Wanneer STP ingeschakeld is, moeten er constant STP berichten over het netwerk worden getransporteerd. Deze STP berichten zijn uit te lezen in Wireshark.

Wanneer STP naar behoren functioneert, moet de verbinding tot stand blijven, ondanks het feit dat er één verbinding missende is.

Behaalde resultaat: In Figuur 33 is een gedeelte te zien van de Wireshark meting. In dit figuur is te zien dat er verschillende STP berichten over het service provider netwerk worden getransporteerd. In Figuur 34 is de Spanning Tree tabel te zien van de provider edge op locatie 'B'. Hierin is te zien dat per SVLAN spanning tree aanwezig is. Ook is in de onderste tabel uit Figuur 34 te zien dat er één port geblokkeerd is. Deze port heeft dezelfde bestemming als de 'forwarding' port. Wanneer de 'forwarding' port uitvalt neemt de geblokkeerde port het over, dit is te zien in Figuur 35. Hier valt tijdens een 'ping' sessie de

verbinding weg van de 'forwarding' port en neemt de geblokkeerde port het over.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1	0.000000	Alcatel-_8f:80:df	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP	RST. Root = 32768/0/00:e0:b1:8f:80:ae Cost = 0 Port = 0x7437
2	0.000004	Alcatel-_8f:80:df	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP	RST. Root = 32768/0/00:e0:b1:8f:80:ae Cost = 0 Port = 0x7437
3	0.689687	Alcatel-_ad:8b:e5	IEEE8021_00:00:31	CFM	Type Continuity Check Message (CCM)
4	0.757917	Alcatel-_89:53:01	Spanning-tree-(for-bridges)_08	0x0027	PRI: 6 DROP: 0 ID: 1000
5	0.758216	Alcatel-_89:53:00	Spanning-tree-(for-bridges)_08	0x0027	PRI: 6 DROP: 0 ID: 1000
6	1.000447	Alcatel-_8f:80:df	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP	RST. Root = 32768/0/00:e0:b1:8f:80:ae Cost = 0 Port = 0x7437
7	1.000452	Alcatel-_8f:80:df	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP	RST. Root = 32768/0/00:e0:b1:8f:80:ae Cost = 0 Port = 0x7437
8	1.257996	Alcatel-_89:53:01	Spanning-tree-(for-bridges)_08	0x0027	PRI: 6 DROP: 0 ID: 4000
9	1.258290	Alcatel-_89:53:00	Spanning-tree-(for-bridges)_08	0x0027	PRI: 6 DROP: 0 ID: 4000
10	1.841865	Alcatel-_b5:1f:95	IEEE8021_00:00:33	CFM	Type Continuity Check Message (CCM)
11	2.000479	Alcatel-_8f:80:df	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP	RST. Root = 32768/0/00:e0:b1:8f:80:ae Cost = 0 Port = 0x7437
12	2.000482	Alcatel-_8f:80:df	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP	RST. Root = 32768/0/00:e0:b1:8f:80:ae Cost = 0 Port = 0x7437
13	2.758379	Alcatel-_89:53:01	Spanning-tree-(for-bridges)_08	0x0027	PRI: 6 DROP: 0 ID: 1000
14	2.758674	Alcatel-_89:53:00	Spanning-tree-(for-bridges)_08	0x0027	PRI: 6 DROP: 0 ID: 1000
15	3.000903	Alcatel-_8f:80:df	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP	RST. Root = 32768/0/00:e0:b1:8f:80:ae Cost = 0 Port = 0x7437

Figuur 33 STP berichten afgevangen met Wireshark.

```

172.21.54.103 - PuTTY
Provider-Edge-Loc-B> show spanntree
Spanning Tree Path Cost Mode : AUTO
Vlan STP Status Protocol Priority
-----+-----+-----+-----+-----+-----+
1      ON      RSTP    32768 (0x8000)
88     ON      RSTP    32768 (0x8000)
100    ON      RSTP    32768 (0x8000)
1000   ON      RSTP    32768 (0x8000)
4000   ON      RSTP    32768 (0x8000)

Provider-Edge-Loc-B> show spanntree ports active
Vlan Port Oper Status Path Cost Role Note
-----+-----+-----+-----+-----+-----+
100  1/12  FORW      4    ROOT
1000 1/1   FORW      4    ROOT
1000 1/2   BLK       4    ALT
4000 1/1   FORW      4    ROOT
4000 1/2   BLK       4    ALT

Provider-Edge-Loc-B>

```

Figuur 34 STP tabel van de provider edge op locatie B.

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings\hs>ping 10.0.1.21 -t

Pinging 10.0.1.21 with 32 bytes of data:

Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Request timed out.
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 10.0.1.21: bytes=32 time<1ms TTL=64
Ping statistics for 10.0.1.21:
    Packets: Sent = 23, Received = 21, Lost = 2 (8% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms
TTL=64
Control-C
^C
C:\Documents and Settings\hs>

```

Figuur 35 Een 'ping' sessie van locatie 'A' naar locatie 'B' met onderbreking van de werkende verbinding.

Uit de resultaten van de testopstelling is te concluderen dat er een werkende infrastructuur is gerealiseerd. De twee locaties kunnen foutloos met elkaar communiceren. Hierbij hoeft de klant geen rekening te houden met het gebruik van 'persoonlijke' VLAN's. Het protocol 802.1ad werkt naar behoren en de klant krijgt een aparte VLAN tag binnen het service provider netwerk.

Ook de andere vereisten, welke worden gesteld aan een service provider, zijn behaald in de testomgeving. Spanning Tree zorgt voor een 'loop vrije' infrastructuur, maar zorgt ook dat de redundante verbinding actief wordt in geval van storing of uitval van een verbinding.

Alle acceptatietests, van de testomgeving, zijn met een positief resultaat uitgevoerd. Hieruit is te concluderen dat de testomgeving kan voldoen als service provider in het Proof of Concept.

6. Proof of Concept

In dit hoofdstuk wordt het Proof of Concept opgezet. Het Proof of Concept wordt gerealiseerd aan de hand van de infrastructuur van de testopstelling. Met het Proof of Concept moet worden aangetoond dat Carrier Ethernet toepasbaar is op een laag-2 infrastructuur.

6.1. Definitiefase

In het Proof of Concept wordt een Carrier Ethernet service gerealiseerd op de testopstelling uit het vorige hoofdstuk. Bij het realiseren van de Carrier Ethernet service worden een aantal technieken en protocollen gebruikt uit hoofdstuk twee. Deze technieken en protocollen worden vervolgens gemeten aan de hand van de methodes, beschreven in hoofdstuk vier.

Met het Proof of Concept moet worden aangetoond dat Carrier Ethernet toepasbaar is op een laag-2 infrastructuur, gebruikmakende van de technieken en protocollen beschreven in dit document. Voor het Proof of Concept worden niet alle waardes ingevuld. Bandbreedte waardes bepalen is bijvoorbeeld niet relevant tot het doel van het Proof of Concept. Een eis aan het Proof of Concept is dat de infrastructuur uitgelezen kan worden door gebruikt te maken van OAM op de apparatuur. In het Proof of Concept wordt dan ook de nadruk gelegd op het toepassen en het aantonen van de werking van OAM.

Wanneer het Proof of Concept gerealiseerd is, worden er een aantal acceptatietests uitgevoerd op de infrastructuur. Aan de hand van deze tests wordt aangetoond of de infrastructuur naar behoren werkt.

Controleren van de verbinding.

Doel: Aan de hand van deze test wordt er gecontroleerd of er een werkende verbinding aanwezig is tussen de twee locaties.

Werkwijze: Er worden ICMP-berichten (ping berichten) van locatie A naar locatie B gestuurd. Ook wordt een 'traceroute' uitgevoerd op beide locaties.

Gewenste resultaat: Op locatie 'A' moet een succesvolle ICMP-reply worden ontvangen. Dit duidt op een werkende verbinding. De 'traceroute' mag uit maximaal één 'hop' bestaan, aangezien de twee locaties op laag-2 met elkaar verbonden zijn.

Controleren van het Maintenance Domein.

Doel: Met deze test wordt aangetoond dat het Maintenance Domein goed geconfigureerd is en dat er een werkende verbinding is, binnen het MD.

Werkwijze: Aan de hand van 'loopback' is het mogelijk een laag-2 ping te versturen binnen een infrastructuur. De 'ping' berichten kunnen alleen verzonden worden indien er een (functionerend) MD aanwezig is.

Gewenste resultaat: Er moet met succes, een 'loopback' uitgevoerd worden. De uitvoer van de 'loopback' geeft aan dat er een werkende verbinding is tussen de twee Maintenance Endpoints. Deze uitslag geeft weer dat er een werkend Maintenance Domein aanwezig is.

Controleren van link OAM.

Doel: Aan de hand van deze test moet worden gecontroleerd of link OAM, oftewel EFM-OAM werkt binnen de infrastructuur. Ook wordt gecontroleerd of deze werkt, volgens de beschreven manier in hoofdstuk vier.

Werkwijze: Op de customer edge kan de status van EFM-OAM opgevraagd worden. Aan de hand van deze status valt te achterhalen of EFM-OAM operationeel is.

Op de customer edge wordt een monitoring port geconfigureerd. Deze port kopieert de data welke wordt verzonden en ontvangen, betreffende de gekozen port. Op de monitoring port wordt een computer aangekoppeld, welke het programma Wireshark draait. Het programma Wireshark ontvangt de data en biedt de mogelijkheid de EFM-OAM frames uit te lezen.

Gewenste resultaat: Het gewenste resultaat is dat de customer edge een functionerende EFM-OAM aangeeft. Ook moeten de ontvangen frames in Wireshark OAM frames zijn. Op deze wijze wordt aangetoond dat EFM-OAM werkt en op de juiste verbinding.

Werking van service OAM controleren.

Doel: Aan de hand van deze test moet worden gecontroleerd of service OAM werkt binnen de infrastructuur. Ook wordt gecontroleerd of deze werkt, volgens de beschreven manier in hoofdstuk vier.

Werkwijze: Op de provider edge kan de status van OAM opgevraagd worden. Aan de hand van deze status valt te achterhalen of OAM operationeel is.

Op de provider edge wordt een monitoring port geconfigureerd. Deze port kopieert de data welke wordt verzonden en ontvangen, betreffende de gekozen port. Op de monitoring port wordt een computer aangekoppeld, welke het programma Wireshark draait. Het programma Wireshark ontvangt de data en biedt de mogelijkheid de OAM frames uit te lezen.

Wanneer er een fout in de verbinding optreedt moet service OAM hiervan een melding weergeven. De voorwaarde hieraan is dat de verbinding zich in het Maintenance Domein bevindt.

Gewenste resultaat: Het gewenste resultaat is dat de provider edge een functionerende OAM aangeeft. De ontvangen frames in Wireshark moeten 802.1ag CFM frames zijn. Op deze wijze wordt aangetoond dat service OAM werkt en op de juiste verbinding.

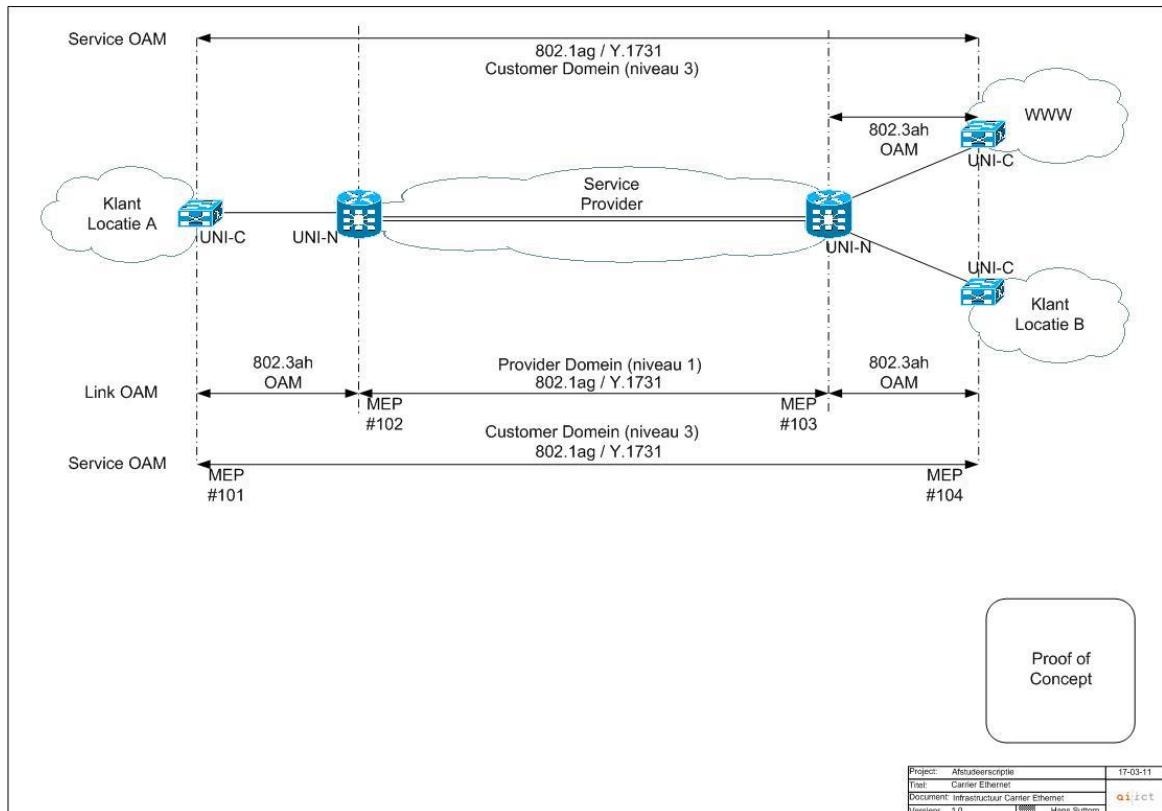
Wanneer er één van de verbindingen losgekoppeld wordt, van de redundante verbinding, moet service OAM een melding geven.

6.2. Ontwerpfase

Het Proof of Concept wordt gerealiseerd op de infrastructuur van de testopstelling. Hiervoor zijn dezelfde componenten en apparatuur benodigd als de testopstelling. Aangezien de fysieke infrastructuur niet veranderd, zijn er ook geen extra componenten benodigd.

In het onderstaande figuur is de infrastructuur te zien, welke gebruikt wordt in het Proof of Concept. Een vergrootte versie van Figuur 36 is te

vinden in bijlage drie. Aangezien de fysieke infrastructuur niet veranderd, wordt er ook niets veranderd aan de adrestabel.



Figuur 36 Infrastructuur van het Proof of Concept.

Klant 1	VLAN	IP (intern op locatie)
Locatie A	Intranet VLAN 20 Internet VLAN 30	10.0.1.1/24
Locatie B	Intranet VLAN 20	10.0.1.1/24
Service Provider	802.1ad TAG 1000 802.1ad TAG 4000	
WWW	Internet VLAN 30	172.21.0.1/16

Tabel 5 Adrestabel van het Proof of Concept.

6.3. Ontwikkefase

Het opzetten van de infrastructuur voor het Proof of Concept gebeurt (globaal) volgens het volgende stappenplan:

- Maintenance Domein configureren;
- Configureren van een Ethernet service op de infrastructuur, welke gebruikt wordt voor het Intranet;
- Configureren van een Ethernet service op de infrastructuur, welke gebruikt wordt voor het Internet;
- Configureren van link OAM op de verbindingen tussen de customer edges en provider edges;
- Configureren van service OAM op de verbindingen tussen de twee provider edges;
- Uitvoeren van de beschreven tests, uit paragraaf één.

6.4. Resultaten

Aan de hand van de gerealiseerde infrastructuur, zijn de ontwikkelde acceptatietests uitgevoerd. De resultaten van deze tests volgen later in deze paragraaf. Aan de hand van deze resultaten wordt bevestigd of het mogelijk is een Maintenance Domein te realiseren. Vervolgens moet er binnen het Maintenance Domein succesvol service OAM toegepast worden, volgens de protocollen 802.1ag en ITU-T Y.1731. Als laatste wordt er gecontroleerd of link OAM werkt op de verbinding tussen de customer edge en de provider edge. Een positief resultaat betekent dat er met succes een Carrier Ethernet omgeving te realiseren is op een bestaande laag-2 infrastructuur.

Controleren van de verbinding.

Gewenste resultaat: Op locatie 'A' moet een succesvolle ICMP-reply worden ontvangen. Dit duidt op een werkende verbinding. De 'traceroute' mag uit maximaal één 'hop' bestaan, aangezien de twee locaties op laag-2 met elkaar verbonden zijn.

Behaalde resultaat: Het resultaat van deze test komt overeen met dezelfde test uit de testomgeving, te vinden in paragraaf 5.4. Het resultaat zag er exact hetzelfde uit als in Figuur 31. Uit dit figuur is te concluderen dat er een werkende laag-2 verbinding is tussen locatie 'A' en locatie 'B'. Er is een positief 'ping' resultaat te zien en de 'traceroute' bestaat uit één hop. De resultaten komen overeen met het gewenste resultaat en de acceptatietest is met succes voltooid.

Controleren van het Maintenance Domein.

Gewenste resultaat: Er moet met succes, een 'loopback' uitgevoerd worden. De uitvoer van de 'loopback' geeft aan dat er een werkende verbinding is tussen de twee Maintenance Endpoints. Deze uitslag geeft weer dat er een werkend Maintenance Domein aanwezig is.

Behaalde resultaat: Het Maintenance Domein is op meerdere wijzen gecontroleerd. Op deze wijze is er een betrouwbaar resultaat uitgekomen. In Figuur 37 is het resultaat te zien van een succesvolle 'loopback' test. In het figuur is te zien dat er tien maal een antwoord is verkregen van de 'remote Maintenance Endpoint'. Uit dit resultaat is te concluderen dat het Maintenance Domein, tussen de provider edges, goed functioneert.

```
Provider-Edge-Loc-A> ethoam loopback target-endpoint 103 source-endpoint 102
domain SP association SP10 number 6
Reply from 00:E0:B1:AD:8B:E5 - bytes=76 seq=2 time=6ms
Reply from 00:E0:B1:AD:8B:E5 - bytes=76 seq=3 time=1ms
Reply from 00:E0:B1:AD:8B:E5 - bytes=76 seq=4 time=2ms
Reply from 00:E0:B1:AD:8B:E5 - bytes=76 seq=5 time=1ms
Reply from 00:E0:B1:AD:8B:E5 - bytes=76 seq=6 time=4ms
Reply from 00:E0:B1:AD:8B:E5 - bytes=76 seq=7 time=1ms

----00:E0:B1:AD:8B:E5 ETH-LB Statistics----
6 packets transmitted, 6 packets received, 0% packet loss
round-trip (ms) min/avg/max = 1/3/6
```

Figuur 37 De provider edge op locatie A krijgt succesvolle 'loopback replies'.

Om te bevestigen dat het Maintenance Domein werkt, is de status opgevraagd van de 'remote Maintenance Endpoint'. In Figuur 38 is een positief resultaat te zien. Er is te zien dat de status van de 'remote Maintenance Endpoint' goed is.

```

Provider-Edge-Loc-A> show ethoam remote-endpoint domain SP association SP10 endpoint 102
Total number of remote MEPs = 1
Legends: PortStatusTlv: 1 = psBlocked, 2 = psUp, 0 = psNoTlv
InterfaceStatusTlv: 1 = ifUp, 2 = ifDown, 4 = ifUnknown, 7 = ifLowerLayerDown

```

RMEP-ID	RMEP	OkFailed	Mac Address	Port Status	I/f Status	RDI	Chassis ID	Chassis ID
ID	Status	Time		Tlv	Tlv	Value	Subtype	Value
103	RMEP_OK	297500	00:E0:B1:AD:8B:E5	2	1	false	none	none

Figuur 38 Status opvragen van de remote maintenance endpoint.

De Wireshark meting, te zien in Figuur 39, geeft bevestiging dat het protocol 802.1ag wordt gebruikt. Uit deze meting is ook te bevestigen dat de 'Continuity Check Messages' succesvol over het Maintenance Domein worden verstuurd.

Uit Figuur 39 is ook te concluderen dat het 802.1ag protocol samenwerkt met het ITU-T Y.1731 protocol. Het protocol ITU-T Y.1731 kan het soortgelijke frame gebruiken. In dat geval wordt er onder de sectie 'defined by ITU-T Y.1731' de waarden ingevuld ten behoeve van het protocol.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
74	15.239436	Alcatel-_89:53:00	IEEE8021_00:00:31	CFM	Type Continuity Check Message (CCM)
Frame 74: 105 bytes on wire (840 bits), 105 bytes captured (840 bits) Ethernet II, Src: Alcatel-_89:53:00 (00:e0:b1:89:53:00), Dst: IEEE8021_00:00:31 (01:80:c2:00:00:31) IEEE 802.1ad, ID: 4000 802.1Q Virtual LAN, PRI: 7, CFI: 0, ID: 20 CFM E.OAM 802.1ag/ITU Protocol , Type Continuity Check Message (CCM) 001. = CFM MD Level: 1 ...0 0000 = CFM Version: 0 CFM OpCode: Continuity Check Message (CCM) (1) CFM CCM PDU Flags: 0x05 First TLV Offset: 70 Sequence Number: 385 ...0 0000 0110 0110 = Maintenance Association End Point Identifier: 102 Maintenance Association Identifier (MEG ID) Defined by ITU-T Y.1731 CFM TLVs TLV: Port Status TLV (t=2,l=1) TLV: Interface Status TLV (t=4,l=1) TLV: End TLV (t=0,l=0)					

Figuur 39 Een 802.1ag frame uitgelezen in Wireshark.

Controleren van link OAM.

Gewenste resultaat: Het gewenste resultaat is dat de customer edge een functionerende EFM-OAM aangeeft. Ook moeten de ontvangen frames in Wireshark OAM frames zijn. Op deze wijze wordt aangetoond dat EFM-OAM werkt en op de juiste verbinding.

Behaalde resultaat: Op customer edge van locatie 'B' is de EFM-OAM status opgevraagd van de lokale switch en de 'remote' switch. In Figuur 40 is het resultaat hiervan te zien. In het figuur is te zien dat EFM-OAM actief is op zowel de lokale switch als de 'remote' switch.

Figuur 41 geeft een frame weer, welke uitgelezen is met Wireshark. Hier is te zien dat er OAM frames over de verbinding worden verzonden en concludeert dat OAM functioneert over de verbinding. Om het functioneren te bevestigen, is de provider edge op locatie 'B' opnieuw opgestart. Hierdoor gaat de verbinding tijdelijk verloren en moet er een melding geregistreerd worden door EFM-OAM. In Figuur 42 zijn deze meldingen te zien.

```
Customer-Edge-Loc-B> show efm-oam port 1/48
Port  EFM-OAM Status  Mode  Operational Status  Loopback Status
-----+-----+-----+-----+-----
1/48      enabled      active  operational      noLoopback

Customer-Edge-Loc-B> show efm-oam port 1/48 remote detail
Remote MAC address  : 00:e0:b1:ad:8c:14,
Remote Vendor (info) : 0x15a1,
Remote Vendor (oui)  : 00 e0 b1,
Mode                : active,
Max OAMPDU size     : 1518,
Config Revision     : 0,
Functions Supported  : loopbackSupport eventSupport
```

Figuur 40 Operationele status van link OAM.

```
No.  Time      Source           Destination      Protocol  Info
6    1.003633 Alcatel-_ad:8c:14 Slow-Protocols   OAM       OAMPDU: Information

Frame 6: 60 bytes on wire (480 bits), 60 bytes captured (480 bits)
Ethernet II, Src: Alcatel-_ad:8c:14 (00:e0:b1:ad:8c:14), Dst: Slow-Protocols (01:80:c2:00:00:02)
Destination: Slow-Protocols (01:80:c2:00:00:02)
Source: Alcatel-_ad:8c:14 (00:e0:b1:ad:8c:14)
Type: Slow Protocols (0x8809)
OAM Protocol
Slow Protocols subtype: OAM (0x03)
Flags: 0x0050 (local: Discovery complete, remote: Discovery complete)
....0 = Link Fault: False
....0. = Dying Gasp: False
....0.. = Critical Event: False
....0... = Local Evaluating: False
...1.... = Local Stable: True
..0.... = Remote Evaluating: False
..1.... = Remote Stable: True
OAMPDU code: Information (0x00)
Type: Local Information TLV (0x01)
Type: Remote Information TLV (0x02)
```

Figuur 41 Link OAM uitgelezen in Wireshark.

```
Customer-Edge-Loc-B> show efm-oam port 1/48 history
Legend: Location * - Remote, # - Local
LogID      Timestamp                               Log Type      Event Total
-----+-----+-----+-----+-----
*          1  TUE MAR 15 15:19:40 2011          dying-gasp      1
*          2  TUE MAR 15 15:19:41 2011          dying-gasp      2
*          3  TUE MAR 15 15:19:42 2011          dying-gasp      3
*          4  TUE MAR 15 15:19:43 2011          dying-gasp      4
*          5  TUE MAR 15 15:19:44 2011          dying-gasp      5
*          6  TUE MAR 15 15:19:45 2011          dying-gasp      6
*          7  TUE MAR 15 15:19:46 2011          dying-gasp      7
*          8  TUE MAR 15 15:19:47 2011          dying-gasp      8
```

Figuur 42 Meldingen gegeven door link OAM.

Werking van service OAM controleren.

Gewenste resultaat: Het gewenste resultaat is dat de provider edge een functionerende OAM aangeeft. De ontvangen frames in Wireshark moeten 802.1ag CFM frames zijn. Op deze wijze wordt aangetoond dat service OAM werkt en op de juiste verbinding.

Wanneer er één van de verbindingen losgekoppeld wordt, van de redundante verbinding, moet service OAM een melding geven.

Behaalde resultaat: Bij de controle van het Maintenance Domein is al geconstateerd dat er 802.1ag frames over de verbinding worden getransporteerd. In Figuur 43 is een gedeelte van een meting te zien. Hierin zijn de laatste twee frames, 802.1ag frames van het type 'loopback'.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
73	15.003742	Alcatel-_8f:80:df	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP	RST. Root = 32768/0/00:e0:b1:8f:80:ae Cost = 0 Port = 0x7437
74	15.239436	Alcatel-_89:53:00	leee8021_00:00:31	CFM	Type Continuity Check Message (CCM)
75	15.261194	Alcatel-_89:53:01	Spanning-tree-(for-bridges)_08	0x0027	PRI: 6 DROP: 0 ID: 4000
76	15.261497	Alcatel-_89:53:00	Spanning-tree-(for-bridges)_08	0x0027	PRI: 6 DROP: 0 ID: 4000
77	16.003803	Alcatel-_8f:80:df	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP	RST. Root = 32768/0/00:e0:b1:8f:80:ae Cost = 0 Port = 0x7437
78	16.003806	Alcatel-_8f:80:df	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP	RST. Root = 32768/0/00:e0:b1:8f:80:ae Cost = 0 Port = 0x7437
79	16.761697	Alcatel-_89:53:01	Spanning-tree-(for-bridges)_08	0x0027	PRI: 6 DROP: 0 ID: 1000
80	16.761989	Alcatel-_89:53:00	Spanning-tree-(for-bridges)_08	0x0027	PRI: 6 DROP: 0 ID: 1000
81	17.004245	Alcatel-_8f:80:df	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP	RST. Root = 32768/0/00:e0:b1:8f:80:ae Cost = 0 Port = 0x7437
82	17.004249	Alcatel-_8f:80:df	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP	RST. Root = 32768/0/00:e0:b1:8f:80:ae Cost = 0 Port = 0x7437
83	17.261664	Alcatel-_89:53:01	Spanning-tree-(for-bridges)_08	0x0027	PRI: 6 DROP: 0 ID: 4000
84	17.261963	Alcatel-_89:53:00	Spanning-tree-(for-bridges)_08	0x0027	PRI: 6 DROP: 0 ID: 4000
85	18.004270	Alcatel-_8f:80:df	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP	RST. Root = 32768/0/00:e0:b1:8f:80:ae Cost = 0 Port = 0x7437
86	18.004274	Alcatel-_8f:80:df	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP	RST. Root = 32768/0/00:e0:b1:8f:80:ae Cost = 0 Port = 0x7437
87	18.491272	Alcatel-_89:53:00	Alcatel-_ad:8b:e5	CFM	Type Loopback Message (LBM)
88	18.492264	Alcatel-_ad:8b:e5	Alcatel-_89:53:00	CFM	Type Loopback Reply (LBR)

Figuur 43 802.1ag frames over de verbinding, uitgelezen in Wireshark.

In het Maintenance Domein is er ook een 'linktrace' uitgevoerd. Het resultaat hiervan is te zien in Figuur 44. Omdat er geen tussenliggende Maintenance Intermediate Point is, is er maar één 'hop' te zien. In het figuur is te zien dat de operatie succesvol is verlopen.

In Figuur 45 is het resultaat te zien van de functie 'two-way delay'. Bij deze operatie wordt ook meteen de jitter gemeten over de verbinding.

Om het functioneren van service OAM te bevestigen, is de provider edge op locatie 'B' uitgeschakeld. Hierdoor worden er geen Continuity Check Messages meer ontvangen door de provider edge op locatie 'A'. In Figuur 46 is te zien dat er een defect gerapporteerd wordt. De status , weergegeven in Figuur 47, bevestigt dit. In het figuur is te zien dat de remote Maintenance Endpoint niet bereikbaar is.

```
Provider-Edge-Loc-A> ethoam linktrace target-endpoint 103 source-endpoint 102
domain SP association SP10
```

Transaction Id:10402

```
Provider-Edge-Loc-A> show ethoam linktrace-reply domain SP association SP10
endpoint 102 tran-id 10402
```

LTM operation successful. Target is reachable.

Ttl : 63,

LTM Forwarded : yes,

Terminal MEP : yes,

Last Egress Identifier : 00:00:00:E0:B1:89:53:00,

Next Egress Identifier : 00:00:00:E0:B1:AD:8B:E3,

Relay Action : RLY_HIT,

Chassis ID Subtype : NONE,

Chassis ID : none,

Ingress Action : ING_OK,

Ingress Mac : 00:E0:B1:AD:8B:E5,

Ingress Port ID Subtype : LOCALLY_ASSIGNED,

Ingress Port ID : 1/1,

Egress Action : EGR_NONE,

Egress Mac : 00:00:00:00:00:00,

Egress Port ID Subtype : MAC_ADDRESS,

Egress Port ID : none

Figuur 44 Resultaat van de functie 'linktrace'.

```
Provider-Edge-Loc-A> ethoam two-way-delay target-endpoint 103 source-endpoint 102
domain SP association SP10 vlan-priority 0
```

Reply from 00:E0:B1:AD:8B:E5 delay=3831753555us jitter=98420us

Figuur 45 Resultaat van de functie 'two-way delay'.

```
Provider-Edge-Loc-A> show ethoam domain SP association SP10 endpoint 102
```

Admin State : enable,

Direction : down,

Slot/Port: 1/21,

Primary Vlan: 4000,

MacAddress: 00:E0:B1:89:53:00,

Fault Notification : FNG_DEFECT_REPORTED,

CCM Enabled : enabled,

CCM Linktrace Priority : 7,

CCM Not Received : true,

CCM Error defect : false,

CCM Xcon defect : false,

MEP RDI defect : false,

MEP Last CCM Fault : not specified,

MEP Xcon Last CCM Fault : not specified,

MEP Error Mac Status : false,

MEP Lbm NextSeqNumber : 42,

MEP Ltm NextSeqNumber : 10405,

Fault Alarm Time : 250,

Fault Reset Time : 1000,

Lowest PrDefect Allowed : DEF_MAC_REM_ERR_XCON,

Highest PrDefect Present : DEF_REMOTE

Figuur 46 Status van het maintenance endpoint op de provider edge van locatie A.

Provider-Edge-Loc-A> show ethoam remote-endpoint domain SP association SP10 endpoint 102								
Total number of remote MEPs = 1								
Legends: PortStatusTlv: 1 = psBlocked, 2 = psUp, 0 = psNoTlv								
InterfaceStatusTlv: 1 = ifUp, 2 = ifDown, 4 = ifUnknown, 7 = ifLowerLayerDown								
RMEP-ID	RMEP	OkFailed	Mac Address	Port Status	I/f Status	RDI	Chassis ID	Chassis
ID	Status	Time		Tlv	Tlv	Value	Subtype	Value
103	RMEP_FAILED	1000	00:E0:B1:AD:8B:E5	2	1	false	none	none
Provider-Edge-Loc-A>								

Figuur 47 Defecte remote maintenance endpoint.

Uit de bovenstaande resultaten is te concluderen dat er een werkend Maintenance Domain, service OAM en link OAM te configureren is op de testopstelling uit hoofdstuk vijf. De bovengenoemde aspecten functioneren, zoals beschreven in hoofdstuk vier. Het enige wat opvallend is, is dat een melding van een fout niet automatisch op de 'Command Line Interface' verschijnt. Er moet om de status van de verbinding gevraagd worden, wil men de melding kunnen lezen.

De apparatuur welke gebruikt is in het Proof of Concept is MEF9 & MEF14 gecertificeerd. Alle functies en protocollen, welke aanwezig moeten zijn, werken ook naar behoren op de gebruikte apparatuur. Dit is geconcludeerd aan de hand van de resultaten uit het Proof of Concept.

Alle aspecten betreffende Carrier Ethernet zijn toepasbaar op testopstelling uit hoofdstuk vijf. Er kan dus geconcludeerd worden dat Carrier Ethernet toepasbaar is op een bestaande laag-2 infrastructuur. Een voorwaarde is dat de apparatuur van de service provider en de customer edge MEF9 & MEF14 gecertificeerd zijn. Anders wordt niet gegarandeerd dat alle functies en protocollen aanwezig zijn op de apparatuur.

Fase 4 Concluderende fase

In de laatste fase van het onderzoek wordt er een conclusie geformuleerd. De conclusie moet antwoord geven op de vraag: 'Is Carrier Ethernet te realiseren op een bestaande laag-2 infrastructuur en welke voorwaarden worden hieraan gesteld?'

De conclusie wordt geformuleerd aan de hand van de voorgaande hoofdstukken. De hoofdstukken één tot en met vier beschrijven de werking van Carrier Ethernet. Aan de hand deze hoofdstukken wordt geconcludeerd welke voorwaarden worden gesteld bij realisatie van een Carrier Ethernet omgeving. De resultaten uit hoofdstuk vijf en zes concluderen of Carrier Ethernet te realiseren is op een bestaande laag-2 infrastructuur.

Tijdens en na het onderzoek zijn er nieuwe vraagstukken aan de orde gekomen. Deze vraagstukken vielen buiten de projectgrenzen en/of zijn door gebrek aan tijd niet (volledig) onderzocht. Een eventueel onderzoek naar deze vraagstukken wordt aanbevolen en zijn te vinden in de paragraaf 'aanbevelingen'.

Als laatste wordt er in deze fase ook het afstudeertraject beschreven. In dit traject wordt beschreven welke werkzaamheden, keuzes en problemen zich hebben voorgedaan tijdens het afstuderen.

7. Conclusie & Aanbevelingen

7.1. Conclusie

Carrier Ethernet is geen nieuw protocol, maar een service. Door gebruik te maken van extra protocollen, wordt het Ethernet protocol een efficiënt, betrouwbaar en service gericht protocol op laag-2 van het OSI-model. Carrier Ethernet is gedocumenteerd en gestandaardiseerd door het 'Metro Ethernet Forum', ook wel genoemd MEF. Volgens MEF wordt onder de definitie van Carrier Ethernet verstaan: 'Een universele, gestandaardiseerde, carrier-grade service'. Carrier Ethernet wordt door een vijftal attributen onderscheiden van traditioneel Ethernet.

Tot dusver heeft de MEF een drietal typen Ethernet services ontwikkeld. De Ethernet services bestaan uit een aantal attributen. Aan de hand van deze attributen is het mogelijk de Ethernet service aan te passen naar de wensen van de klant. Enkele voorbeelden van attributen zijn: Class of Service, Service Multiplexing en Bandbreedte profielen.

Om een Carrier Ethernet infrastructuur te realiseren moet een minimale hoeveelheid attributen aangepast kunnen worden en uitgelezen worden. Dit gebeurt met behulp van diverse protocollen en technieken. MEF heeft 27 verschillende documenten gepubliceerd. De meeste van deze documenten beschrijven op welke wijze de protocollen en technieken gebruikt moeten worden. Daarnaast zijn er ook documenten, welke test scenario's beschrijft. Indien de apparatuur voldoet aan deze test scenario's, dan is deze MEF gecertificeerd. Wanneer de apparatuur MEF gecertificeerd is, is het mogelijk een Carrier Ethernet infrastructuur te realiseren.

Volgens de MEF moet Carrier Ethernet, Ethernet services kunnen aanbieden, onafhankelijk van de onderliggende media en infrastructuur. Om deze reden is Carrier Ethernet toepasbaar op een groot aantal protocollen. Carrier Ethernet is vanzelfsprekend toepasbaar op een infrastructuur gebaseerd op Ethernet, maar bijvoorbeeld ook op een MPLS infrastructuur. Het Ethernet protocol wordt dan geëmuleerd over de Ethernet service.

In de testopstelling is er een werkend service provider netwerk gerealiseerd. Dit service provider netwerk is gebaseerd op het Ethernet protocol en maakt gebruik van 802.1ad om de verschillende klant te scheiden van elkaar.

Om de infrastructuur Carrier gecertificeerd te maken, moet de infrastructuur meetbaar zijn. De infrastructuur moet meetbaar zijn om aan de SLA te kunnen voldoen. Zonder meetbare waarden kan niet gecontroleerd worden of er wordt voldaan aan de SLA. Het controleren van een Ethernet service gebeurt aan de hand van "Operations, Administration & Maintenance" (OAM). Er wordt een domein gecreëerd tussen twee edges. Binnen dit domein kunnen verschillende waarden uitgelezen worden. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk om op laag-2 een

ping uit te voeren. Ook kan uitval van apparatuur geconstateerd worden binnen het domein.

In het Proof of Concept is de testopstelling omgevormd tot een Carrier Ethernet infrastructuur met behulp van OAM. Er is met succes een Maintenance Domein geconfigureerd op de testopstelling. Binnen dit domein zijn de waarden ten behoeve van Carrier Ethernet met succes gemeten. Uit het Proof of Concept is te concluderen dat het mogelijk is een Carrier Ethernet omgeving te realiseren op een bestaande laag-2 infrastructuur.

Om Carrier Ethernet toe te passen op een bestaande laag-2 infrastructuur moet de apparatuur van de service provider en de customer edge MEF9 & MEF14 gecertificeerd zijn. Anders wordt niet gegarandeerd dat alle functies en protocollen aanwezig zijn op de apparatuur. Ook is de betreffende apparatuur dan niet getest door de MEF.

7.2. Aanbevelingen

Een aantal zaken welke in een eventuele vervolg opdracht meegenomen kunnen worden zijn:

- Een onderzoek naar overige onderliggende protocollen waar Carrier Ethernet op gerealiseerd kan worden. In dit document zijn de protocollen 'provider bridging' en 'MPLS' besproken als mogelijkheid om Carrier Ethernet te realiseren. Echter kan Carrier Ethernet over veel meer onderliggende protocollen gerealiseerd worden, zoals 'SONET' en 'DSL';
- Een Carrier Ethernet omgeving realiseren aan de hand van het MPLS protocol. In Proof of Concept is er gebruik gemaakt van 'provider bridging' om de Carrier Ethernet omgeving te realiseren. Er is, vanwege gebrek aan tijd en kennis, geen omgeving gerealiseerd op basis van het 'MPLS' protocol;
- Een onderzoek naar de overige MEF documentatie. Dit onderzoek is gebaseerd op MEF documentatie tot en met MEF14. In het praktische onderzoek is er gebruik gemaakt van apparatuur, welke MEF9 & MEF14 gecertificeerd zijn. Het Metro Ethernet Forum heeft op dit moment documenten gepubliceerd tot en met MEF28;
- Controleren welke invloed het heeft wanneer de waarden worden gewijzigd van de Ethernet service attributen. In dit document is alleen beschreven welke attributen bij een Carrier Ethernet Service minimaal aanwezig moeten zijn. De aanwezigheid is alleen gecontroleerd in het Proof of Concept. Er heeft geen test plaats gevonden, welke de invloed van deze attributen aantoonst;
- De Carrier Ethernet omgeving 'automatisch' beheren en meten. Binnen het Proof of Concept is de Carrier Ethernet omgeving alleen 'handmatig' gemeten. Door gebruik te maken van het 'Simple Network Management Protocol' (SNMP) kan de omgeving 'automatisch' gemeten en beheerd worden.

8. Afstudeertraject

8.1. Proces

In dit hoofdstuk wordt besproken welke werkzaamheden er uitgevoerd zijn tijdens de afstudeerperiode. Naast de werkzaamheden worden ook de problemen omschreven en de keuzes die gemaakt zijn, tijdens het afstuderen.

Voordat er begonnen was aan de afstudeerperiode was de opdracht reeds gekozen. De opdracht bestond uit een onderzoek naar Carrier Ethernet. Aan de hand van een beknopte opdrachtschrijving is er een afstudeerplan geformuleerd. Dit plan moest goedgekeurd worden, door de begeleiders vanuit school en de bedrijfsbegeleider, voordat er aangevangen werd met het afstuderen. In het afstudeerplan wordt de opdracht uitgebreid omschreven. Tijdens het formuleren van het afstudeerplan moest er al een keuze gemaakt worden, welke methodieken er gebruikt worden. Daarnaast moest er ook worden opgegeven welke competenties er benodigd zijn, om het onderzoek met succes te voltooien.

In de eerste week van het afstuderen is het concept van het plan van aanpak geformuleerd. In het plan van aanpak wordt onder andere bepaald, welke methoden er gebruikt worden tijdens het afstudeerproject. Aan de hand van de gekozen methoden is dit document verdeeld in verschillende fasen.

Initiatiefase

De initiatiefase vond plaats in de eerste week van het afstuderen. In de eerste week is, zoals eerder beschreven, het concept plan van aanpak geformuleerd. Alvorens ik aan het afstuderen begon, had ik een heel ander beeld van Carrier Ethernet. Mijn beeld was dat Carrier Ethernet een nieuw protocol is, echter bleek het een service te zijn. Deze service was opgebouwd aan de hand van andere (reeds bestaande) protocollen. Nadat het concept plan van aanpak was geformuleerd, waren het onderwerp en de opdracht duidelijk. Nu het onderwerp en de opdracht duidelijk waren, heb ik de benodigde boeken besteld.

Omdat ik al eerder stage heb gelopen bij Qi ict, waren de achtergronden van het bedrijf mij al bekend. Ook kostte het hierdoor weinig tijd om mijzelf in te werken binnen het bedrijf.

Definitiefase

De tweede en derde week bestond uit het definitief maken van het plan van aanpak. Er is een planning geformuleerd voor het gehele project en deze is bijgevoegd in het plan van aanpak. Nadat het plan van aanpak compleet was, heeft er een vergadering plaats gevonden tussen de opdrachtnemer en de opdrachtgever. De opdrachtgever heeft het plan van aanpak nagekeken en gaf mij akkoord om het plan uit te voeren. Ook is het plan van aanpak doorgestuurd naar de referentieleden. Deze konden mij eventueel nog feedback verlenen op de opdracht. Echter was alles goed bevonden en is het plan van aanpak definitief opgeleverd.

Onderzoeksfase

Aangezien de onderzoeksfase een langdurige fase is, is er besloten een aparte planning te maken voor deze fase. Als eerste vond het literatuuronderzoek plaats. In het dit onderzoek werden de theoretische aspecten rond Carrier Ethernet onderzocht. Het eerste deel van dit onderzoek bestond uit een vooronderzoek. In het vooronderzoek is er informatie verzameld, welke gebruikt konden worden om de deelvragen te beantwoorden. Ook werd er aan de hand van het vooronderzoek een beter beeld verkregen wat Carrier Ethernet is. Al vroeg in het vooronderzoek bleek dat Carrier Ethernet een breed onderwerp is. Het kan op vele verschillende manieren worden toegepast en bestaat hierdoor uit een hoop verschillende protocollen en technieken.

Omdat de apparatuur voor het Proof of Concept MEF gecertificeerd moet zijn, is er al in een vroeg stadium van de afstudeerperiode een keuze gemaakt van apparatuur. Op deze manier kon er nog eventueel apparatuur geleend worden bij de leverancier. Dit was echter niet nodig, want er bleek voldoende geschikte apparatuur op voorraad te zijn binnen Qi ict.

Na het vooronderzoek bleven mij een aantal zaken onduidelijk betreffende Carrier Ethernet. Ook wilde ik graag de infrastructuur verkrijgen, welke gebruikt moest worden in het Proof of Concept. Naar aanleiding van het bovenstaande heeft er een vergadering plaats gevonden met de opdrachtgever en de leden uit de referentiegroep. Na deze vergadering waren de onduidelijkheden besproken en duidelijk geworden. Echter bleek er geen geschikte laag-2 infrastructuur aanwezig te zijn. Samen met leden van de referentiegroep is er een infrastructuur ontwikkeld, welke geschikt was voor Carrier Ethernet. In eerste instantie moest er een infrastructuur gerealiseerd worden met behulp van het MPLS protocol. Echter heb ik later besloten dit niet te doen en te kiezen voor provider bridging. Er was onvoldoende kennis betreffende MPLS en om tijdnoed te vermijden is er besloten geen gebruik te maken van MPLS.

Het literatuuronderzoek verliep goed, echter kostte het mij het literatuuronderzoek een week extra dan gepland. Dit kwam door de grote hoeveelheid informatie, wat er over Carrier Ethernet te vinden is. Er moest een goede selectie gemaakt worden om een korte, maar duidelijke samenvatting te maken.

Na het literatuuronderzoek is het empirische onderzoek gestart. Er is begonnen met de testopstelling. In de testopstelling wordt de ontwikkelde infrastructuur gerealiseerd. Echter kreeg ik de infrastructuur niet werkende. Na een drietal dagen te hebben gezocht, bleek dit een 'fout' in de apparatuur. Hierdoor is er gekozen voor andere apparatuur. Omdat de keuze van apparatuur nu minimaal werd, is er besloten om de verbinding naar het WWW (VLAN 30) niet aan te sluiten. Dit is wel in de configuraties meegenomen, van de overige apparatuur, maar niet fysiek toegepast. Het niet aansluiten van VLAN 30 heeft geen invloed op de resultaten en kan met deze reden worden weggelaten. De gerealiseerde opstelling werkte wel met de andere apparatuur. Na het uitvoeren van de acceptatietests is er begonnen met het realiseren van het Proof of Concept.

Tussen het empirische onderzoek door, kreeg ik een uitnodiging van RAD. RAD is een merk, welke onder andere Carrier Ethernet apparatuur levert. De uitnodiging van RAD ging over een web based training. Ik kon op mijn laptop een live presentatie volgen, welke werd gegeven door een trainer van RAD. De presentatie ging over de basis elementen van Carrier Ethernet. Dit was onderzocht in het literatuuronderzoek. Het literatuuronderzoek was al afgerond, maar de presentatie gaf wel bevestiging van de resultaten uit het literatuuronderzoek.

De infrastructuur uit het Proof of Concept was moeilijker te realiseren als gedacht. De commando's om de infrastructuur te configureren op de apparatuur was onbekend en ook ingewikkeld. Het configureren van de apparatuur heeft dan ook meer tijd gekost als gepland. De uitloophmomenten waren hierdoor bijna allemaal al gebruikt.

Nadat de infrastructuur uit het Proof of Concept opgezet was, zijn de acceptatietests uitgevoerd. Dit liep allemaal volgens planning. Tijdens het Proof of Concept kwam ik tot de ontdekking dat actief monitoren van de omgeving niet mogelijk was zonder gebruik te maken van het SNMP⁸ protocol. Dit hoorde niet tot één van de eisen aan het project, maar was wel een persoonlijke tegenvaller.

Concluderende fase

In deze fase werd er aan de hand van de gevonden resultaten een conclusie geformuleerd. Ook zijn er een aantal aspecten aan bod gekomen, waarvoor geen tijd was om deze te onderzoeken en/of buiten het project vielen. In de concluderende fase moest ook het tussentijds assessment plaats vinden. Door onverwachte afwezigheid van één van de begeleiders heeft dit moment later plaats gevonden als gepland.

In de laatste week van het afstuderen is er ook een demonstratie gegeven aan de referentiegroep en opdrachtgever. In deze demonstratie zijn de praktische aspecten behandeld van Carrier Ethernet. De referentiegroep en opdrachtgever vonden de opstelling interessant en waren enthousiast over de resultaten. Na alle vragen beantwoord te hebben, hebben een aantal referentieleden zelf nog wat tests uitgevoerd op de opstelling. Hieruit bleek dat de opstelling goed functioneerde.

Praktische werkzaamheden voor Qi ict

Naast het onderzoek heb ik ook mee kunnen helpen bij een aantal projecten binnen Qi ict. Hieronder zijn de werkzaamheden gesommeerd:

- Inventarisatie van een patchkast in het datacenter. De apparatuur en bedrading moest juist in kaart worden gebracht voor een toekomstige migratie;
- Op locatie geweest bij een klant, waarbij het draadloze netwerk niet optimaal werkte. De werkzaamheden op deze locatie waren het (ver)plaatsen van access points;

⁸ Simple Network Management Protocol (SNMP): Aan de hand van dit protocol is het mogelijk een netwerk te beheren. Er kan bijvoorbeeld de status worden opgevraagd van een apparaat.

-
- Samen met een netwerk engineer een migratie uitgevoerd. Bij deze migratie is redundante apparatuur verplaatst naar een ander datacenter. Op deze wijze is de redundantie verdeeld over twee datacenters;
 - Storing verholpen van een access point verholpen op locatie van de klant;
 - Storing van een monitoring firewall verholpen op locatie van de klant.

8.2. Evaluatie

Tijdens het afstuderen hebben zich een aantal problemen voor gedaan. Deze problemen zijn in paragraaf 8.1 ook al beschreven. Hieronder de problemen met de eventuele oplossingen:

- Bij de testopstelling is er een drietal dagen verspild aan het oplossen van een probleem op de apparatuur. Pas na de derde dag is er hulp gevraagd aan een ervaren netwerk engineer. Als dit aan het einde van de eerste dag was gedaan, had dit twee dagen gescheeld;
- Er werd pas in de onderzoeksfase geconstateerd dat Carrier Ethernet een breed onderwerp is. Hierdoor werden de projectgrenzen minder nauwkeurig. Een dergelijk vooronderzoek in de definitiefase had beter geweest voor de projectgrenzen;
- Het Proof of Concept had veel meer tijd nodig als gepland. De uitloophmomenten waren bijna allemaal gebruikt voor het Proof of Concept. Een ruimere planning voor praktische testen is gewenst. Er blijkt toch altijd meer tijd nodig te zijn voor dergelijke testen. Een verklaring hiervoor is dat de technieken nieuw zijn en de configuratie op de apparatuur onbekend is bij de opdrachtnemer.

8.3. Competenties

Hieronder volgt een lijst met de gekozen competenties en de wijze waarop deze voldaan moeten zijn.

- Opstellen van systeemeisen, het doel van de opdracht is om te achterhalen hoe Carrier Ethernet precies werkt en aan welke randvoorwaarden het moet worden voldaan om een dergelijke omgeving te realiseren bij een klant. De resultaten van de opdracht vormen een document, welke Carrier Ethernet beschrijft en aan welke eisen/voorwaarden het moet voldoen;
- Ontwerpen en testen van een infrastructuur, tijdens de afstudeerstage wordt er een testomgeving gerealiseerd welke gedemonstreerd wordt aan meerdere medewerkers van Qi ict. Deze omgeving moet voldoen aan de gestelde eisen en voorwaarden. Op diezelfde testomgeving worden ook diverse experimenten uitgevoerd aan de hand van een ontwikkeld testplan;
- Professioneel, zelfstandig en resultaatgericht te werk gaan; er moet binnen 17 weken een kwalitatief hoogwaardig rapport worden opgeleverd. Dit rapport moet zelfstandig ontwikkeld worden binnen de gestelde deadlines en eventuele kosten;

-
- Methodisch werken, de opdracht wordt volgens bepaalde methodieken uitgevoerd. Per stap wordt uitgelegd wat er gedaan wordt en waarom eventueel van de methodiek wordt afgeweken;
 - Communiceren in organisaties; er wordt een schriftelijk rapport opgeleverd welke het probleem en oplossing duidelijk en nauwkeurig omschrijven. Daarnaast wordt er een presentatie gegeven aan de medewerkers van Qi ict.

9. Literatuurlijst

Gedurende de afstudeerperiode was internet de grootste bron, daarnaast zijn er ook nog een aantal boeken gebruikt. Hieronder gesommeerd de bronnen welke gebruikt zijn voor het onderzoek.

Internet

<http://www.metroethernetforum.org>
<http://www.cisco.com>
<http://www.brocade.com>
<http://www.ethernetacademy.net>
<http://www.alcatel-lucent.com>
<http://www.rad.com>
<http://www.alcatelunleashed.com>
<http://www.carrierethernettechnology.com>
[http://www.brocade.com/downloads/documents/white_papers/Carrier Grade Ethernet_WP_00.pdf](http://www.brocade.com/downloads/documents/white_papers/Carrier_Grade_Ethernet_WP_00.pdf)
[http://doc.utwente.nl/65445/1/Ph.D Thesis R. Malhotra 2008.pdf](http://doc.utwente.nl/65445/1/Ph.D_Thesis_R._Malhotra_2008.pdf)
<http://www.ja.net/documents/development/carrier-ethernet/carrierethernet-technicalarticle.pdf>
<http://www.foundry.com/pdf/wp-what-is-carrier-grade-ethernet.pdf>
<http://www.carrierethernetfordummies.com/the-basics-of-carrier-ethernet/>
http://metroethernetforum.org/page_loader.php?p_id=132
http://metroethernetforum.org/page_loader.php?p_id=20
<http://www.dowslakemicro.com/products/MTS-Carrier-Ethernet-Overview.php>
<http://www.ethernetacademy.net/index.php/Papers.html>
http://nl.wikipedia.org/wiki/Quality_of_service
<http://www.ethernetacademy.net/index.php/2009012392/Ethernet-Academy-Articles/seamless-mpls.html>
<http://blog.eurofiber.nl/index.php/mef-certificatie-voor-ethernetdiensten-eurofiber/>
<http://se.tele2.nl/wholesale/tele2-wholesale-business-products-module.html#>
<http://www.broadbandtvnews.com/2010/05/26/upc-business-launches-wholesale-10-gb-service/>
<http://www.kpn.com/zakelijk/meer-diensten/bedrijfsnetwerken/vpn.htm>
<http://www.convergedigest.com/bp/bp1.asp?ID=477&ctgy=>
<http://www.slideshare.net/techdude/carrier-ethernet-3717450>
<http://voip.about.com/od/voipbasics/a/qos.htm>
<http://www.highteck.net/EN/Ethernet/Ethernet.html>
http://www.cisco.com/en/US/docs/net_mgmt/active_network_abstraction/3.7.1/theory/operations/ce_theory.html#wp1148696
http://metroethernetforum.org/page_loader.php?p_id=25
<http://www.docstoc.com/docs/52410964/The-5-Attributes-of-Carrier-Ethernet-Industry-Specifications>
<http://www.slideshare.net/networksguy/carrier-ethernet-access-overview>
<http://www.scribd.com/doc/12917473/RAD-Carrier-Ethernet-Reference-Guide>
<http://www.ethernetacademy.net/index.php/20080429167/Ethernet-Academy-Articles/delivering-hard-qos-in-carrier-ethernet-networks.html>
<http://www.slideshare.net/wadeapp/carrier-ethernet-vs-enterprise-ethernet-presentation>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Leaky_bucket#Comparison with the Token Bucket Algorithm](http://en.wikipedia.org/wiki/Leaky_bucket#Comparison_with_the_Token_Bucket_Algorithm)
<ftp://ftp.ufba.br/pub/vmware/QinQ.pdf>
<http://en.wikipedia.org/wiki/EtherType>
http://www.juniper.net/techpubs/en_US/junose11.1/information-products/topic-collections/swconfig-link/topic-46008.html
<http://www.slideshare.net/Rick55/p8021ad-provider-bridging>
<http://sites.google.com/site/amitsciscozone/home/pbb/understanding-pbb>
<http://www.exfo.com/en/Library/WaveReview/2006-October-November/WRArticle1.asp>
<http://groups.geni.net/geni/wiki/QinqResults>
<http://www.juniper.net/us/en/local/pdf/whitepapers/2000364-en.pdf>
http://www.cisco.com/en/US/docs/optical/15000r9_0/ethernet/454/guide/45490a_eoamonmlmr.pdf
<http://www.tpack.com/resources/technology/network-technology/pseudowires-and-ethernet-over-mpls-vpws-vpls.html>
<http://sites.google.com/site/amitsciscozone/home/vpls/hierarchical-vpls>
http://www.ne-t.com/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=119
<http://www.info4arab.com/2011/02/12/mpls%E2%80%89%E2%80%93%E2%80%89part-6/>
<http://www.cnaf.infn.it/~ferrari/seminari/fe-reti/lez23mpls.pdf>
<http://www.gompls.net/2009/08/understanding-mpls-header.html>
http://www.computable.nl/artikel/ict_topics/beleid/1815739/2379250/gericht-ontwikkelen-met-inframe.html

Boeken

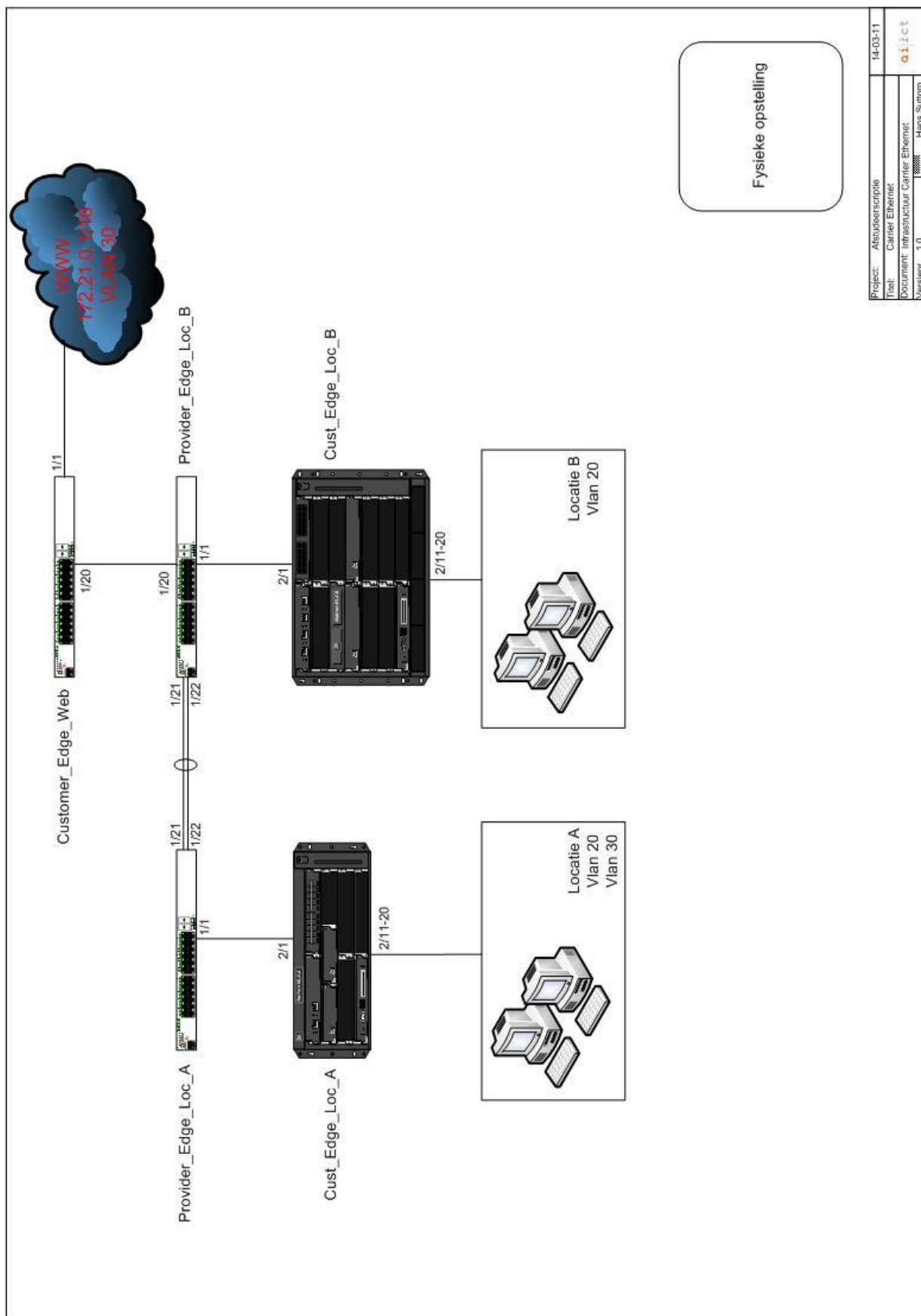
- Handleiding Alcatel switches OS6400/OS6850
- Handleiding Brocade NetIron MLX
- Delivering Carrier Ethernet
Auteur: Abdul Kasim
ISBN: 978-0-07-148747-4
- Carrier Ethernet, Providing the Need for Speed
Auteur: Gilbert Held
ISBN: 1-4200-6039-2
- Wat is onderzoek?
Auteur: Nel Verhoeven
ISBN: 978-90-473-0001-4

Overige

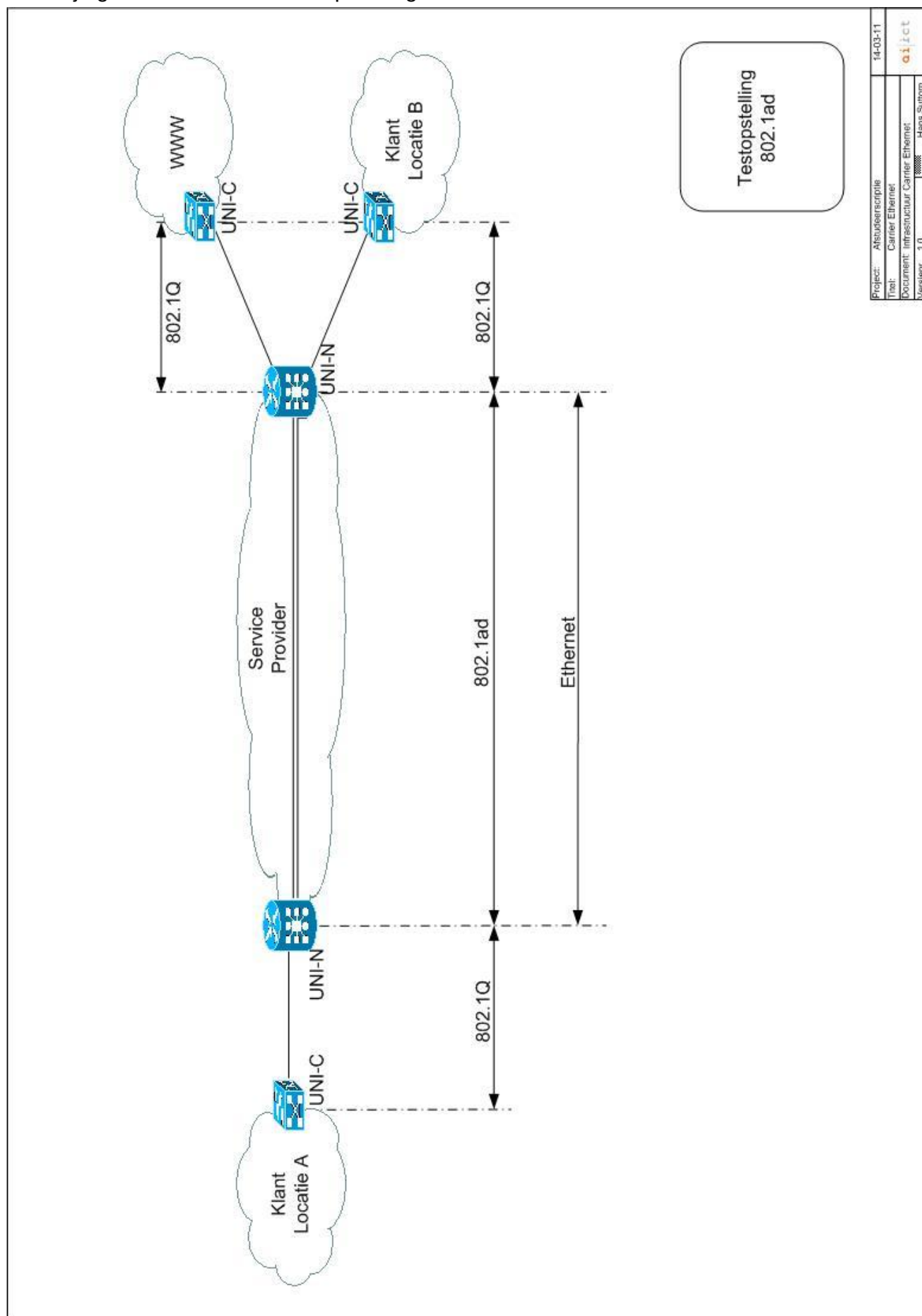
- Web Based Training RAD
RAD Technical WBT - Basic carrier Ethernet Terms (EU&AF)

10. Bijlagen

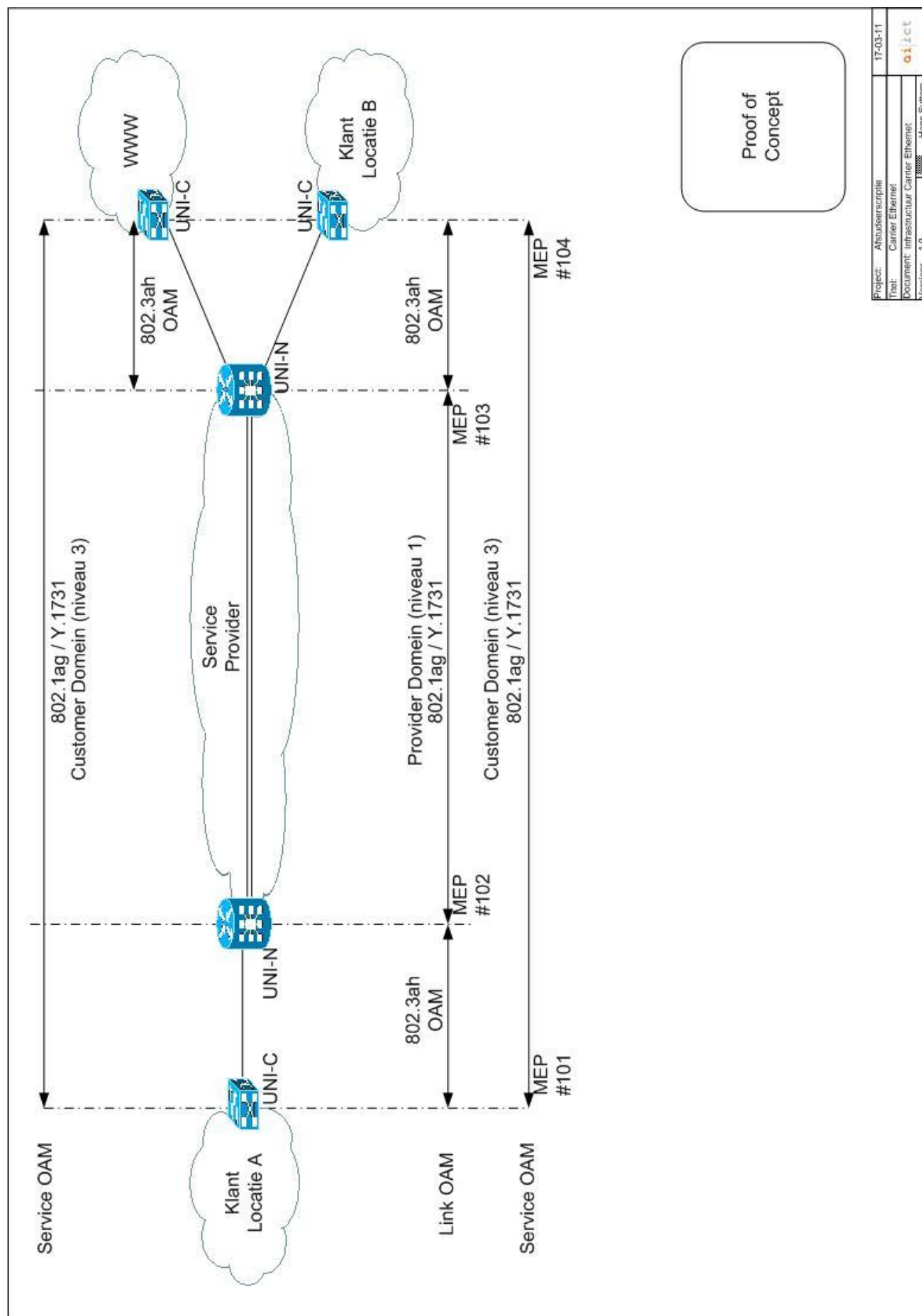
Bijlage 1 Fysieke opstelling van de infrastructuur.



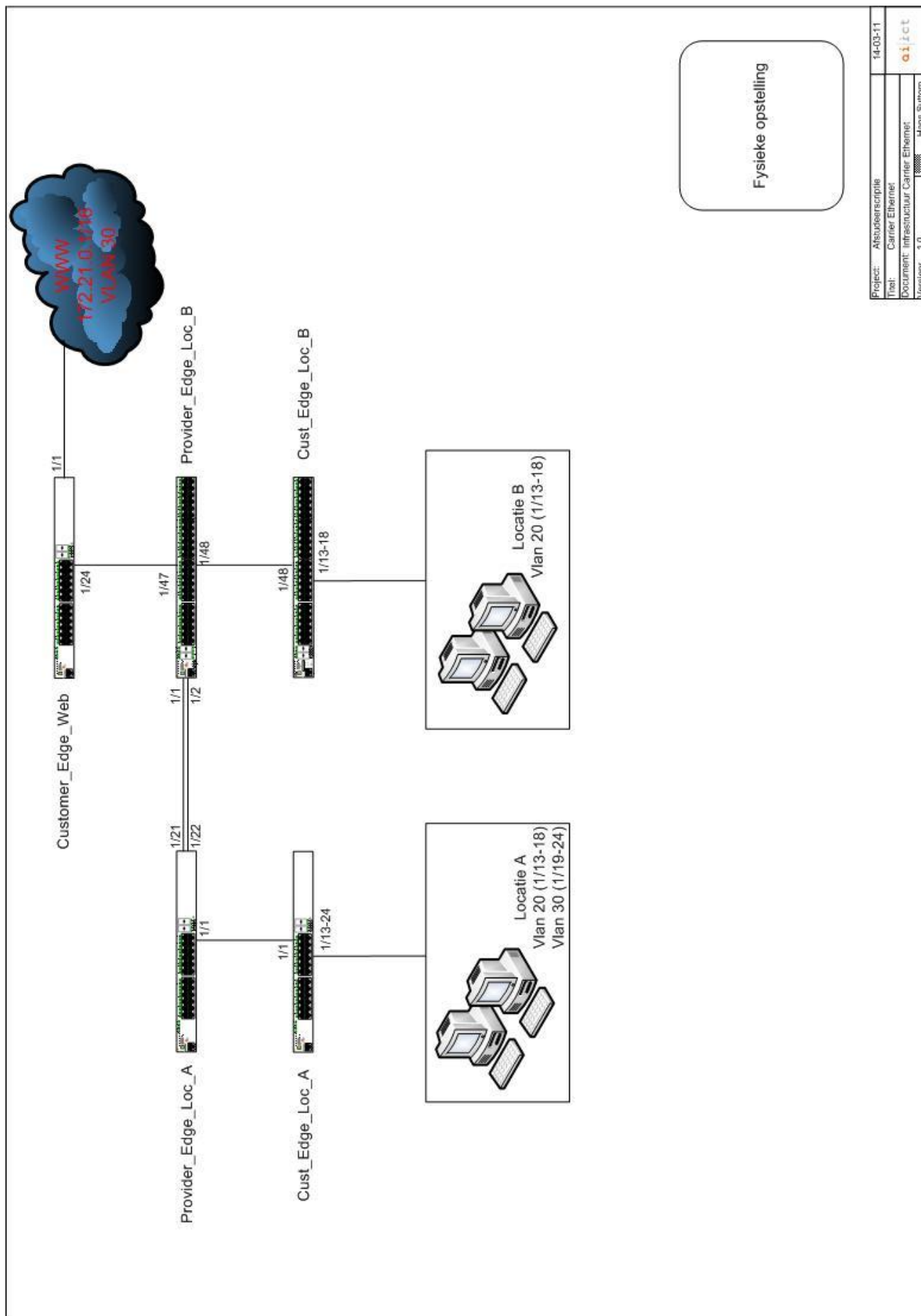
Bijlage 2 Infrastructuur testopstelling.



Bijlage 3 Infrastructuur van het Proof of Concept.



Bijlage 4 Werkelijke fysieke opstelling



Project:	Afstudeerscriptie	14-03-11
Titel:	Carrier Ethernet	
Document:	Infrastructuur Carrier Ethernet	
Versie:	1.0	
	Hans Suttorp	

Bijlage 5 Configuratie van Customer Edge Locatie A

Welcome to the Alcatel-Lucent OmniSwitch 6400
Software Version 6.4.2.933.R01 Service Release, March 26, 2010.

Copyright(c), 1994-2009 Alcatel-Lucent. All Rights reserved.

OmniSwitch(TM) is a trademark of Alcatel-Lucent registered
in the United States Patent and Trademark Office.

```
Customer-Edge-Loc-A> show configuration snapshot
! Stack Manager :
! Chassis :
system name Customer-Edge-Loc-A
system location ""
system timezone CET
! Configuration:
! VLAN :
vlan 1 enable name "VLAN 1"
vlan 20 enable name "Intranet"
vlan 20 port default 1/13
vlan 20 port default 1/14
vlan 20 port default 1/15
vlan 20 port default 1/16
vlan 20 port default 1/17
vlan 20 port default 1/18
vlan 30 enable name "Internet"
vlan 30 port default 1/19
vlan 30 port default 1/20
vlan 30 port default 1/21
vlan 30 port default 1/22
vlan 30 port default 1/23
vlan 30 port default 1/24
vlan 88 enable name "Management"
vlan 88 port default 1/12
! VLAN SL:
! IP :
ip service all
ip interface "vlan88" address 172.21.54.101 mask 255.255.0.0 vlan 88 ifindex 1
ip interface "vlan20" address 10.0.1.101 mask 255.255.255.0 vlan 20 ifindex 2
! IPX :
! IPMS :
! AAA :
aaa authentication default "local"
aaa authentication console "local"
! PARTM :
! AVLAN :
! 802.1x :
! QOS :
qos apply
! Policy manager :
! Session manager :
session prompt default "Customer-Edge-Loc-A>"
! SNMP :
! RIP :
! OSPF :
! BFD-STD :
! ISIS :
! IPv6 :
! IPsec :
! IP multicast :
```

```
! RIPvng :
! OSPF3 :
! BGP :
! Health monitor :
! Interface :
! Udd :
! Port Mapping :
! Link Aggregate :
! VLAN AGG:
! 802.1Q :
vlan 20 802.1q 1/1 "TAG PORT 1/1 VLAN 20"
vlan 30 802.1q 1/1 "TAG PORT 1/1 VLAN 30"
! Spanning tree :
bridge mode 1x1
! Bridging :
! Bridging :
! Port mirroring :
port mirroring 1 destination 1/9
port mirroring 2 destination 1/10
port mirroring 1 source 1/1 bidirectional
port mirroring 2 source 1/13 bidirectional
port mirroring 2 source 1/19 bidirectional
! UDP Relay :
! Server load balance :
! System service :
swlog console level debug3
debug fscollect enable
! SSH :
! Web :
! AMAP :
! LLDP :
! Lan Power :
! NTP :
! RDP :
! VLAN STACKING:
! Ethernet-OAM :
ethoam domain C1 format string level 3
ethoam domain C1 mhf default
ethoam association 20C1 format string domain C1 vlan 20
ethoam association 20C1 domain C1 endpoint-list 101
ethoam association 20C1 domain C1 endpoint-list 102
ethoam association 20C1 domain C1 endpoint-list 103
ethoam association 20C1 domain C1 endpoint-list 104
ethoam endpoint 101 domain C1 association 20C1 direction down port 1/1
ethoam endpoint 101 domain C1 association 20C1 admin-state enable
ethoam endpoint 101 domain C1 association 20C1 ccm enable
! EFM-OAM :
efm-oam enable
! ERP :
! SAA :
```

Bijlage 6 Configuratie van Customer Edge Locatie B

Welcome to the Alcatel-Lucent OmniSwitch 6000
Software Version 6.4.2.807.R01 GA, August 27, 2009.

Copyright(c), 1994-2009 Alcatel-Lucent. All Rights reserved.

OmniSwitch(TM) is a trademark of Alcatel-Lucent registered
in the United States Patent and Trademark Office.

```
Customer-Edge-Loc-B> show configuration snapshot
! Stack Manager :
! Chassis :
system name Customer-Edge-Loc-B
system timezone CET
! Configuration:
! VLAN :
vlan 1 enable name "VLAN 1"
vlan 20 enable name "Intranet"
vlan 20 port default 1/13
vlan 20 port default 1/14
vlan 20 port default 1/15
vlan 20 port default 1/16
vlan 20 port default 1/17
vlan 20 port default 1/18
vlan 30 enable name "Internet"
vlan 30 port default 1/24
vlan 88 enable name "Management"
vlan 88 port default 1/12
! VLAN SL:
! IP :
ip service all
ip interface "vlan88" address 172.21.54.104 mask 255.255.0.0 vlan 88 ifindex 1
ip interface "vlan20" address 10.0.1.104 mask 255.255.255.0 vlan 20 ifindex 2
! IPX :
! IPMS :
! AAA :
aaa authentication default "local"
aaa authentication console "local"
! PARTM :
! AVLAN :
! 802.1x :
! QOS :
! Policy manager :
! Session manager :
session timeout cli 30
session prompt default "Customer-Edge-Loc-B>"
! SNMP :
! RIP :
! OSPF :
! BFD-STD :
! ISIS :
! IPv6 :
! IPsec :
! IP multicast :
! RIPng :
! OSPF3 :
! BGP :
! Health monitor :
! Interface :
! Udd :
! Udd :
```

```
! Netsec :
! Port Mapping :
! Link Aggregate :
! VLAN AGG:
! 802.1Q :
vlan 20 802.1q 1/48 "TAG PORT 1/48 VLAN 20"
vlan 30 802.1q 1/48 "TAG PORT 1/48 VLAN 30"
! Spanning tree :
bridge mode 1x1
! Bridging :
! Bridging :
! Port mirroring :
port mirroring 1 destination 1/9
port mirroring 2 destination 1/10
port mirroring 1 source 1/13 bidirectional
port mirroring 2 source 1/48 bidirectional
! UDP Relay :
! Server load balance :
! System service :
swlog console level info
! SSH :
! VRRP :
! Web :
! AMAP :
! LLDP :
! Lan Power :
! NTP :
! RDP :
! VLAN STACKING:
! Ethernet-OAM :
ethoam domain C1 format string level 3
ethoam domain C1 mhf default
ethoam association 20C1 format string domain C1 vlan 20
ethoam association 20C1 domain C1 endpoint-list 101
ethoam association 20C1 domain C1 endpoint-list 102
ethoam association 20C1 domain C1 endpoint-list 103
ethoam association 20C1 domain C1 endpoint-list 104
ethoam endpoint 104 domain C1 association 20C1 direction down port 1/48
ethoam endpoint 104 domain C1 association 20C1 admin-state enable
ethoam endpoint 104 domain C1 association 20C1 ccm enable
! EFM-OAM :
efm-oam enable
! ERP :
```

Bijlage 7 Configuratie van Provider Edge Locatie A

Welcome to the Alcatel-Lucent OmniSwitch 6000
Software Version 6.4.3.609.R01 Service Release, August 27, 2010.

Copyright(c), 1994-2010 Alcatel-Lucent. All Rights reserved.

OmniSwitch(TM) is a trademark of Alcatel-Lucent registered
in the United States Patent and Trademark Office.

```
Provider-Edge-Loc-A> show configuration snapshot
! Stack Manager :
! Chassis :
system name Provider-Edge-Loc-A
! Configuration:
! VLAN :
vlan 1 enable name "VLAN 1"
vlan 100 enable name "Management"
vlan 100 port default 1/12
ethernet-service svlan 1000 name "Klant1"
ethernet-service svlan 4000 name "OAM"
! VLAN SL:
! IP :
ip service all
ip interface "vlan100" address 172.21.54.102 mask 255.255.0.0 vlan 100 ifindex 1
! IPX :
! IPMS :
! AAA :
aaa authentication default "local"
aaa authentication console "local"
! PARTM :
! AVLAN :
! 802.1x :
! QOS :
! Policy manager :
! Session manager :
session prompt default "Provider-Edge-Loc-A>"
! SNMP :
! RIP :
! OSPF :
! BFD-STD :
! ISIS :
! IPv6 :
! IPSec :
! IP multicast :
! RIPng :
! OSPF3 :
! BGP :
! Health monitor :
! Interface :
! Udd :
! Netsec :
! Link Aggregate :
! Port Mapping :
! VLAN AGG:
! 802.1Q :
! Spanning tree :
bridge mode 1x1
! Bridging :
! Bridging :
! Port mirroring :
```

```
port mirroring 1 destination 1/9
port mirroring 2 destination 1/10
port mirroring 1 source 1/1 bidirectional
port mirroring 2 source 1/21 bidirectional
port mirroring 2 source 1/22 bidirectional
! UDP Relay :
! Server load balance :
! System service :
swlog console level info
! SSH :
! VRRP :
! Web :
! AMAP :
! LLDP :
! Lan Power :
lanpower 1 maxpower 240
! NTP :
! RDP :
! VLAN STACKING:
ethernet-service svlan 1000 nni 1/21-22
ethernet-service svlan 4000 nni 1/21-22
ethernet-service sap-profile "map_pbit" priority map-inner-to-outer-p
ethernet-service service-name "Klant1" svlan 1000
ethernet-service service-name "OAM" svlan 4000
ethernet-service sap 1000 service-name "Klant1"
ethernet-service sap 1000 sap-profile "map_pbit"
ethernet-service sap 1000 uni 1/1
ethernet-service sap 1000 cvlan 20
ethernet-service nni 1/21 tpid 0x88a8
ethernet-service nni 1/22 tpid 0x88a8
! Ethernet-OAM :
ethoam domain SP format string level 1
ethoam domain SP mhf default
ethoam association SP10 format string domain SP primary-vlan 4000
ethoam association SP10 domain SP endpoint-list 102-103
ethoam default-domain level 3
ethoam default-domain primary-vlan 1000 id-permission defer level 3 mhf default
ethoam endpoint 102 domain SP association SP10 direction down port 1/21 primary-vlan
4000
ethoam endpoint 102 domain SP association SP10 admin-state enable
ethoam endpoint 102 domain SP association SP10 ccm enable
! EFM-OAM :
efm-oam port 1/1 status enable
! ERP :
! SAA :
! DHCP Server :
```

Bijlage 8 Configuratie van Provider Edge Locatie B

Welcome to the Alcatel-Lucent OmniSwitch 6000
Software Version 6.4.3.609.R01 Service Release, August 27, 2010.

Copyright(c), 1994-2010 Alcatel-Lucent. All Rights reserved.

OmniSwitch(TM) is a trademark of Alcatel-Lucent registered
in the United States Patent and Trademark Office.

```
Provider-Edge-Loc-B> show configuration snapshot
! Stack Manager :
! Chassis :
system name Provider-Edge-Loc-B
! Configuration:
! VLAN :
vlan 1 enable name "VLAN 1"
vlan 100 enable name "Management"
vlan 100 port default 1/12
ethernet-service svlan 1000 name "Klant1"
ethernet-service svlan 4000 name "OAM"
! VLAN SL:
! IP :
ip service all
ip interface "vlan100" address 172.21.54.103 mask 255.255.0.0 vlan 100 ifindex 1
! IPX :
! IPMS :
! AAA :
aaa authentication default "local"
aaa authentication console "local"
! PARTM :
! AVLAN :
! 802.1x :
! QOS :
! Policy manager :
! Session manager :
session timeout cli 30
session prompt default "Provider-Edge-Loc-B>"
! SNMP :
! RIP :
! OSPF :
! BFD-STD :
! ISIS :
! IPv6 :
! IPsec :
! IP multicast :
! RIPng :
! OSPF3 :
! BGP :
! Health monitor :
! Interface :
! Udd :
! Netsec :
! Link Aggregate :
! Port Mapping :
! VLAN AGG:
! 802.1Q :
! Spanning tree :
bridge mode 1x1
! Bridging :
! Bridging :
```

```
! Port mirroring :
port mirroring 1 destination 1/9
port mirroring 2 destination 1/10
port mirroring 1 source 1/1 bidirectional
port mirroring 1 source 1/2 bidirectional
port mirroring 2 source 1/48 bidirectional
! UDP Relay :
! Server load balance :
! System service :
swlog console level info
! SSH :
! VRRP :
! Web :
! AMAP :
! LLDP :
! Lan Power :
! NTP :
! RDP :
! VLAN STACKING:
ethernet-service svlan 1000 nni 1/1-2
ethernet-service svlan 4000 nni 1/1-2
ethernet-service sap-profile "1000"
ethernet-service sap-profile "map_pbit" priority map-inner-to-outer-p
ethernet-service service-name "Klant1" svlan 1000
ethernet-service service-name "OAM" svlan 4000
ethernet-service sap 1000 service-name "Klant1"
ethernet-service sap 1000 sap-profile "map_pbit"
ethernet-service sap 1000 uni 1/48
ethernet-service sap 1000 cvlan 20
ethernet-service sap 1000 cvlan 30
ethernet-service nni 1/1 tpid 0x88a8
ethernet-service nni 1/2 tpid 0x88a8
! Ethernet-OAM :
ethoam domain SP format string level 1
ethoam domain SP mhf default
ethoam association SP10 format string domain SP primary-vlan 4000
ethoam association SP10 domain SP endpoint-list 102-103
ethoam default-domain level 3
ethoam default-domain primary-vlan 1000 id-permission defer level 3 mhf default
ethoam endpoint 103 domain SP association SP10 direction down port 1/1 primary-vlan 4000
ethoam endpoint 103 domain SP association SP10 admin-state enable
ethoam endpoint 103 domain SP association SP10 ccm enable
! EFM-OAM :
efm-oam enable
efm-oam port 1/48 status enable
efm-oam port 1/48 remote-loopback process
! ERP :
! SAA :
! DHCP Server :
```

Bijlage 9 Plan van Aanpak.

Zie Projectplan Carrier Ethernet Hans Suttorp v1.2.docx

Bijlage 10 Projectplanning

Zie Planning Carrier Ethernet v1.2.mpp

Bijlage 11 Planning onderzoeksfase

Zie Planning Onderzoeksfase v1.0.mpp

Bijlage 12 Formulier tussentijds assessment

Zie format_tussen_ass_Hans_Suttorp.doc