

Afstudeerproject

HBO-ICT: Infrastructuur Design, feb - jul 2015

Software-Defined Networking voor de Enterprise Campus

Abstract

Extended Abstract

Dit document geeft een inzicht in het afstudeerproject Software-Defined Networking voor de Enterprise Campus voor het ICT-Servicecentrum (ICTS) van Maastricht University. Software-Defined Networking is een nieuwe architecturale benadering voor het ontwerpen van computernetwerken, waarbij het huidige gedecentraliseerde controledraagvlak – eveneens bekend als de intelligentie van de netwerkkapparatuur – van de onderliggende netwerkkapparatuur wordt afgezonderd en verplaatst naar een centrale controller.

ICTS is één van de vijf servicecentra binnen de universiteit en draagt zorg voor het leveren van een betrouwbare en correcte IT-dienstverlening. Deze dienstverlening is gefundeerd op functionaliteiten, kosten, kwaliteit en permanente aandacht voor verandering met accentuatie op de beschikbaarheid van zowel de primaire onderzoeks- als onderwijsprocessen van de universiteit. Door deze permanente aandacht voor veranderingen in nieuwe technieken en methodieken, omvat het uit te voeren afstudeeronderwerp een toepasbaarheidsonderzoek naar Software-Defined Networking binnen het Enterprise Campus computernetwerk van de universiteit.

Aan de hand van resultaten van het uitgevoerde toepasbaarheidsonderzoek blijkt dat de Software-Defined Networking techniek, op het moment van schrijven, niet geschikt is voor een effectuering binnen MAASnet. Redenen als de onvolwassenheid van, vele ontwikkelingen binnen deze architecturale benadering, gebrek aan bewijslasten van schaalbaarheid en gerealiseerde omgevingen (Use-Cases) voor het Enterprise Campus Network leiden tot deze conclusie.

Datum

dinsdag 9 juni 2015

Auteur

Dhr. François P. D. Kikken (1163965)
Zuyd Hogeschool, HBO-ICT - Infrastructuur Design
fpd.kikken@outlook.com

Schoolbegeleiding

ing. Daniël A. V. Heynen
daniel.heynen@zuyd.nl
Zuyd Hogeschool, HBO-ICT

Bedrijfsbegeleiding

ing. Marc F. A. Jonkers
marc.jonkers@maastrichtuniversity.nl
Maastricht University, ICTS Netwerken

Nieuw Eyckholt 300
6419 DJ Heerlen

Grote Looierstraat 17
6211 JH Maastricht

Inleiding

Dit document beschrijft een aperçu van het uitgevoerde afstudeerproject en fungeert als startpunt voor het afstudeerportfolio met de gerealiseerde artefacten (deelproducten). Het document is bedoeld voor zowel de netwerkbeheerders als het management van het ICT-Servicecentrum (ICTS) van Maastricht University. Daarnaast kan het een waardevolle toevoeging bieden aan personen die meer informatie met betrekking tot Software-Defined Networking (SDN) voor het Enterprise Campus Netwerk als doel voor ogen hebben.

Maastricht University is een, in Maastricht gevestigd, onderzoeks- en onderwijsorgaan met internationale allure. Het combineren van onderwijs met onderzoek draagt zorg voor een unieke handelswijze binnen Nederland en Europa. De nauwe samenwerking tussen Maastricht University, Maastricht UMC+ en Provincie Limburg draagt zorg voor een grote bijdrage hierin. De universiteit voorziet meer dan 15.000 studenten, verdeelt over 17 bachelor- en 56 masteropleidingen, van wetenschappelijke educatie en biedt ruimte aan circa 4.000 medewerkers.

ICTS is één van de vijf servicecentra binnen de universiteit en draagt zorg voor het leveren van een betrouwbare en correcte IT-dienstverlening. Deze dienstverlening is gefundeerd op functionaliteiten, kosten, kwaliteit en permanente aandacht voor verandering met accentuatie op de beschikbaarheid van zowel de primaire onderzoeks- als onderwijsprocessen van de universiteit. De onderliggende IT-infrastructuur is verantwoordelijk voor de communicatie van deze IT-dienstverlening en wordt beheerd door de afdeling Team Netwerken. De IT-infrastructuur vindt zowel draadloos als bekabeld plaats en transporteert zowel data- als telefonieverkeer tussen de 40+ gebouwen van de universiteit.

Vanuit het oogpunt van continue verbetering van de IT-dienstverlening is de aanleiding voor het afstudeeronderwerp Software-Defined Networking voor het Enterprise Campus Netwerk van de universiteit ontstaan. SDN is namelijk een nieuwe architecturale benadering voor het ontwerpen van computernetwerken en dient, alvorens het effectueren van dergelijke methode, aan een weloverwogen onderzoek te voldoen.

De uitgevoerde literatuurstudie heeft voornamelijk betrekking op het onderwerp SDN en is grotendeels gebaseerd op eerder uitgevoerde onderzoeken. Een gebruikt onderzoek is bijvoorbeeld dat van Paul Göransson en Chuck Black (Göransson & Black, 2014). Dit onderzoek beschrijft de SDN-techniek en de aanloop hiernaar toe. Andere gebruikte bronnen zijn terug te vinden in de bibliografie van de literatuurstudie.

Ten slotte kunnen de stakeholders van het afstudeerproject worden benoemd. Deze personen of instanties leveren gedurende het gehele afstudeerproject een considerabele bijdrage aan het mede mogelijk maken van dit project. De eerste stakeholder is Maastricht University. De universiteit draagt verantwoordelijkheid voor het aanleveren van de werkplek en hulpmiddelen. De tweede stakeholder is ICTS met accentuatie op ing. Marc Jonkers en vervult de positie van zowel de bedrijfsbegeleider als de opdrachtgever. De derde stakeholder is Zuyd Hogeschool met in het bijzonder ing. Daniël Heynen en vervult de positie van schoolbegeleider. De laatste stakeholder is dhr. François Kikken en vervult de opdrachtnemerspositie.

Leeswijzer

Ieder, binnen dit document uitgewerkt, hoofdstuk beschrijft een eigen segment van het afstudeerproject. De opdrachtoomschrijving geeft een uitgebreid beeld van het projectonderwerp, de onderzoeksvraag en de daarbij behorende deelvragen. Daarnaast wordt de beantwoording van de desbetreffende deelvragen geassocieerd met het convenabel artefact. Het hoofdstuk methode beschrijft de – tijdens het afstudeerproject – gebruikte aanpak, werkwijze en faseringen. Het hoofdstuk resultaat geeft een overzicht van de, tijdens het afstudeertraject, bevonden deelresultaten en op te leveren artefacten. Ten slotte wordt het Extended Abstract afgesloten met een discussie en conclusie.

Opdrachtschrijving

Het oogpunt naar continue verbetering van de IT-dienstverlening draagt zorg voor de behoefte van toepasbaarheidsonderzoeken naar nieuwe ontwikkelingen op het gebied van IT-infrastructuur. SDN is een van de nieuwe ontwikkelingen en dient hierdoor naast de diverse aspecten (zowel functioneel als niet-functioneel) van MAASnet te worden geconsidereerd. Deze consideratie leidt tot een uiteindelijk doordacht en onderbouwd advies over de toepasbaarheid van SDN binnen MAASnet.

De functionele aspecten hebben betrekking op de wensen en eisen van MAASnet om een dergelijke SDN-oplossing op dezelfde manier te laten fungeren zoals MAASnet momenteel functioneert. Deze aspecten bestaan uit een opdeling tussen een zowel een draadloos- als een bekabeld netwerk, een opdeling tussen zowel een medewerkers- als een student omgeving en de beveiligingseisen van MAASnet. De niet-functionele aspecten hebben betrekking op de hardware comptabiliteitseisen van een mogelijk te realiseren SDN-oplossing. Al deze aspecten bij elkaar genomen dragen zorg voor de beantwoording van vier van de zeven deelvragen. De gebruikte onderzoeksvraag luidt: *“Is de SDN-techniek geschikt, en zo ja, welke SDN-methodiek, voor gebruik binnen MAASnet?”*. Deze algemene onderzoeksvraag wordt beantwoord aan de hand van een zevental deelvragen. De onderstaande opsomming geeft een overzicht van deze deelvragen:

1. Wat is Software Defined Networking?
2. Welke methodieken bestaan binnen deze techniek?
3. Hoe ziet MAASnet eruit op functioneel en technisch gebied?
4. Welke eisen en wensen zijn gesteld aan MAASnet?
5. Welke SDN-methodiek is bruikbaar voor MAASnet?
6. Voldoet de SDN-methodiek aan de eisen en wensen van MAASnet?
7. Wat zijn de voor- en nadelen, met de invalshoek naar MAASnet, van de verschillende SDN-methodieken?

Om tot de beantwoording van de zojuist genoemde deelvragen en daarmee tot de

beantwoording van de algemene onderzoeksvraag te komen, zijn een aantal artefacten opgesteld. Deze artefacten zijn een literatuurstudie, interviewrapport en een onderzoeksrapport. De literatuurstudie is grotendeels gebaseerd op eerder uitgevoerde onderzoeken en is bedoeld voor het vergaren van kennis m.b.t. het projectonderwerp. Daarnaast fungeert dit document als basisinformatie voor het onderzoeksrapport en de beantwoording van de eerste twee deelvragen. Het interviewrapport geeft een beknopt overzicht van de uitgevoerde interviews en draagt verantwoording voor het vergaren van benodigde informatie. De tweede en derde deelvraag kunnen aan de hand van dit rapport worden beantwoord. Het onderzoeksrapport is het alomvattende afstudeerprojectrapport. Alle verworven informatie m.b.t. de beantwoording van alle deelvragen is in het onderzoeksrapport opgenomen. De beantwoording van de algemene onderzoeksvraag en daardoor het eventueel te adviseren product maakt eveneens deel uit van het onderzoeksrapport. Ten slotte wordt dit rapport afgesloten met onderwerpen die een waardevolle toevoeging hebben op eventuele vervolgonderzoeken.

De relatief jonge gaardheid van het onderzoeksonderwerp en de hoeveelheid diverse interpreteringen van deze architecturale benadering dragen zorg voor een verhoogde complexiteit van het afstudeerproject. Daarnaast hebben eerder uitgevoerde onderzoeken veelal betrekking op het Datacenter netwerkgedeelte en wordt het verkrijgen van bruikbare informatie voor het Enterprise Campus gedeelte vermoeilijkt.

Methode

De onderzoeksopzet van het afstudeerproject is onderverdeeld in een vijftal faseringen, namelijk een oriëntatiefase; onderzoeksfase; analysefase; adviesfase en de realisatiefase. Iedere fasering heeft andere doelstelling tot het afstudeerproject en dragen gezamenlijk zorg voor een gestructureerde benadering van het afstudeerproject. De opvolgende fasering kan daardoor niet worden gestart voordat de voorlopende fasering is afgerond.

De oriëntatiefase omvat een levenscyclus van circa drie weken en heeft als doel ervoor te zorgen dat de start van het afstudeerproject in goede banen wordt geleid. Het concreet formuleren van de aanleiding, probleemstelling, doelstelling, opdrachtomschrijving, onderzoeksvraag en de daarbij behorende deelvragen zijn onderdeel van deze fasering. Al deze aspecten, samen met andere aanvullende projectformuleringsonderwerpen, worden verwerkt tot het Project Initiatie Document (PID). Dit document dient door de opdrachtgever geverifieerd en goedgekeurd te worden. Door deze verifiëring wordt de opdrachtinterpretatie eventueel bijgesteld en vervolgens goedgekeurd. Na de goedkeuring kan de onderzoeksfase van start gaan.

Het doel van de onderzoeksfase definieert de gegevensverwerving en omvat een looptijd van circa zeven weken. De gehanteerde onderzoeksstrategie omvat een deskresearch en diepte-interviews. Hierdoor worden gegevens vergaard aan de hand van eerder uitgevoerde onderzoeken, interviews, informatiegesprekken en het bijwonen van gastcolleges. De validiteit van de verworven gegevens worden geverifieerd aan de hand van gegevensvergelijking van de diverse verwervingsmethodes en met behulp van een bronnentriangulatiemethode. Daarnaast wordt een eerste (grobe) selectie van mogelijk toepasbare SDN-oplossingen gemaakt en naar de zogenaamde Longlist verwerkt. Binnen deze fase wordt het afstudeerportfolio aangevuld met de literatuurstudie en het interviewrapport daarnaast wordt een start gemaakt aan het onderzoeksrapport. Na afronding van deze fasering wordt gestart met de analysefase.

De analysefase draagt verantwoordelijkheid over het verwerken van de verworven gegevens en heeft een levensduur van circa

drie weken. De methode voor het analyseren van de verworven gegevens vindt plaats aan de hand van de MoSCoW-methode. Deze methode maakt gebruik van vier prioriteringscategorieën die worden gevuld met eigenschappen en hebben betrekking op zowel de functionele als niet-functionele aspecten van MAASnet. De eerder geselecteerde mogelijke SDN-oplossingen (Longlist) worden vervolgens met deze prioriteringscategorieën geverifieerd en verwerkt tot de zogenaamde Shortlist. Deze lijst bevat maximaal twee mogelijk toepasbare oplossingen die minimaal aan de Must-haves prioriteringscategorie voldoen. De bevonden oplossingen worden daaropvolgend uitgewerkt naar een productexplicatie. Al deze bevindingen worden verwerkt naar het onderzoeksrapport en maken de start voor de adviesfase mogelijk.

De adviesfase gaat in op het uiteindelijk op te leveren advies en heeft een levenscyclus van circa drie weken. Binnen deze fasering worden de eerder bevonden resultaten geconcludeerd en verwerkt tot de conclusie van het onderzoeksrapport. Daarnaast worden eventuele onderwerpen voor vervolgonderzoeken beschreven in dit rapport. Na de afronding van deze fase is het afstudeerportfolio aangevuld met het extended abstract. Het gehele afstudeer portfolio wordt eveneens in deze fase opgeleverd.

De realisatiefasering is de laatste fasering van het gehele afstudeertraject. Deze fasering heeft een looptijd van circa twee weken en draagt de verantwoordelijkheid voor een correcte afsluiting van dit project. Zo wordt het gehele project gepresenteerd en verdedigt in een eindsessie. Daarnaast wordt de werking van de onderzochte techniek aangetoond met een proof of concept.

Bovenstaand genoemde fases maken onderdeel uit van de PRINCE2 projectmanagementmethodiek. Naast de faseringen wordt eveneens gebruik gemaakt van zowel versiebeheer als kwaliteitsborging op alle artefacten en voortgangsbewaking van het gehele afstudeerproject. De artefactkwaliteitsborging wordt bewerkstelligd aan de hand van de kwaliteitscirkel (PDCA) van Deming.

Resultaat

Het uiteindelijke doel van het afstudeerproject is om tot beantwoording van de onderzoeksvraag te komen. De beantwoording van deze vraag kan worden opgedeeld in een viertal deelresultaatcategorieën, namelijk Software-Defined Networking, MAASnet, Productselectie en Toepasbaarheid. De onderstaande paragrafen geven een overzicht van de bevonden onderzoeksresultaten per categorie. Het hoofdstuk wordt verder afgesloten met een beschrijving van de op te leveren artefacten.

Software-Defined Networking

Software Defined Networking is een nieuwe architecturale benadering om computernetwerken te ontwerpen, construeren en beheren. Binnen deze architecturale benadering wordt het huidige gedecentraliseerde controledraagvlak – eveneens bekend als de intelligentie van de netwerkapparatuur – van de onderliggende netwerkapparatuur afgezonderd en naar een centrale controller verplaatst. Door deze benadering toe te passen ontstaat een gesimplificeerd, gecentraliseerd, geautomatiseerd en programmeerbaar computernetwerk. Daarnaast is een netwerk omgeving – door het toepassen van zowel open-source broncodes als -protocollen en het gebruik van uniforme application programming interfaces – niet meer aan één netwerkapparatuur fabrikant gebonden en meer applicatiegericht. Om – aldus de oorspronkelijke bedoeling van de bedenkers van het SDN-concept¹ – tot een volwaardig SDN-product te behoren dient een product aan een zestal eigenschappen te voldoen. De onderstaande opsomming geeft een overzicht van deze eigenschappen:

- Draagvlak scheiding;
 - Gecentraliseerd beheer;
 - Gesimplificeerde apparatuur;
 - Netwerk automatisering;
 - Netwerk virtualisatie;
 - Openheid van apparatuur en broncode.
- Deze nieuwe architecturale benadering van ontwerpen van computernetwerken kan aan de

hand van een tweetal uitvoeringen worden gerealiseerd, namelijk imperatief en declaratief. Beide modellen hebben betrekking op het afhandelen van de communicatie tussen de netwerkapparatuur en de controller. Het grootste verschil tussen deze modellen is terug te vinden in de regulatie van het netwerkverkeer. Bij het imperatieve model wordt het netwerkverkeer gereguleerd aan de hand van netwerkflows, terwijl het netwerkverkeer bij het declaratieve model aan de hand van policy's wordt gereguleerd. Hierdoor is binnen het imperatieve model de SDN-controller verantwoordelijk voor de complete afhandeling van het netwerkverkeer, terwijl de controller binnen een declaratief model alleen aangeeft welk netwerkverkeer mag plaatsvinden. De onderliggende netwerkapparatuur bepaalt vervolgens hoe deze regels worden toegepast. Een bredere beschrijving van Software-Defined Networking en het ontstaan hiervan is terug te vinden in de literatuurstudie.

MAASnet

MAASnet is een complex computernetwerk dat de verschillende faculteiten van de universiteit voorziet van zowel data- als telefonieverkeer. Dit verkeer vindt zowel intern (binnen de gehele universiteit), extern (over het internet), draadloos als bekabeld plaats en beschikt over een gebruikersaantal van circa 19.000 personen. De onderstaande opsomming geeft een overzicht van de functionaliteiten die aan de hand van de netwerkapparatuur van MAASnet wordt bewerkstelligd en fungeren eveneens als minimale aspecten waaraan een soortgelijk netwerk moet voldoen:

- Netwerksegmentatie aan de hand van VLAN's en subnets;
- Netwerkrouting met behulp van de routingprotocollen;
- Netwerkfiltering aan de hand van ACL's, IPS-systemen en firewalls;
- Netwerktogang met behulp van de IEEE standaard 802.1X;
- Externe netwerktogang aan de hand van VPN-techniek;
- Netwerkprioritering aan de hand van QoS en WRED;
- IP-telefonie met behulp van het protocol SIP en hardware matige VOIP-apparatuur;
- Netwerk adresseringsmanagement met behulp van hardware matige apparatuur;

¹ Oorspronkelijke bedenkers van het SDN-concept zijn: McKeown, Nick; Parulkar, Guru; Shenker, Scott; Anderson, Tom; Peterson,

Larry; Turner, Jonathan; Balakrishnan, Hari; Reford, Jennifer

- Stroomvoorzieningen met behulp van de PoE-techniek.

Een bredere beschrijving van MAASnet en is terug te vinden in het onderzoeksrapport.

Productselectie

Om tot een mogelijk toepasbare SDN-oplossing te komen wordt, zoals in het hoofdstuk methode eveneens besproken is, een zogenaamde Longlist opgesteld. Deze lijst bevat een eerste (grobe) selectie in de mogelijk toepasbare SDN-oplossingen en ontstaat door een tweetal bronnen te raadplegen. Binnen deze twee bronnen wordt vervolgens een selectie gemaakt op basis van volledig Enterprise geschikte SDN-oplossingen. De lijst met mogelijk toepasbare oplossingen is terug te vinden in hoofdstuk 5 van het onderzoeksrapport. De tweede filtering vindt vervolgens plaats naar aanleiding van de MoSCoW-categorieën en de daarbij behorende eigenschappen. Deze eigenschappen hebben betrekking op zowel de functionele als niet-functionele aspecten van MAASnet en SDN. De exacte verdeling van eigenschappen en categorieën is terug te vinden in hoofdstuk 6 van het onderzoeksrapport. Deze filtering resulteert in een zogenaamde Shortlist met maximaal twee mogelijk toepasbare SDN-oplossingen. In de context van de projectresultaten is de APIC-EM SDN-Controller van Cisco Systems de enige mogelijk toepasbare SDN-controller voor MAASnet en is verder uitgewerkt in hoofdstuk 8 van het onderzoeksrapport.

Toepasbaarheid

De – in het deel MAASnet opgesomde functionaliteiten – worden in de MoSCoW-methode benoemd als eisen van MAASnet. Deze functionaliteiten zijn namelijk benodigd om een gelijkwaardig netwerk met dezelfde functies te creëren. Doordat deze aspecten betrekking hebben op het functioneren van het netwerk en SDN betrekking heeft op de benadering van het ontwerpen van een netwerk, wordt vastgesteld dat deze functionaliteiten met behulp van beide SDN-modellen kan worden bewerkstelligd. Echter, de hardware compatibiliteit draagt zorg dat – op het moment van schrijven – alleen het declaratieve SDN-model binnen MAASnet toepasbaar is.

Verder blijkt uit het deel productselectie dat de APIC-EM SDN-Controller van Cisco Systems

de enige mogelijk toepasbare SDN-Controller is voor MAASnet.

Doordat deze controller alleen gebruik maakt van het declaratieve SDN-model, is dit eveneens de enige mogelijk toepasbare SDN-methodiek voor MAASnet. Een volledige beschrijving van de toepasbaarheid en zowel de voor- als nadelen van de diverse SDN-modellen, met de invalshoek naar MAASnet, staan beschreven in hoofdstuk 9 van het onderzoeksrapport.

Op te leveren artefacten

Waar in het hoofdstuk opdrachtomschrijving sprake is over de te verwachten op te leveren artefacten, zijn in de onderstaande opsomming de opgeleverde artefacten weergegeven:

- Literatuurstudie;
- Interviewrapport;
- Onderzoeksrapport.

De literatuurstudie is een rapport gebaseerd op eerder uitgevoerde onderzoeken naar Software-Defined Networking. Aan de hand van dit document wordt de huidige manier van netwerkbenadering; de geschiedenis naar SDN en het ontstaan ervan; de SDN-techniek; de verschillende methodieken binnen deze techniek en zowel de voor- als nadelen van SDN in kaart gebracht.

Het interviewrapport creëert een weergave van de uitgevoerde diepte-interviews. Deze interviews hebben betrekking op de vergaarde kennis van MAASnet en de APIC-EM SDN-Controller.

De doelstelling van het onderzoeksrapport is om de bevonden informatie met elkaar te associëren en hierdoor zowel de algemene onderzoeksvraag als de daarbij behorende deelvragen te beantwoorden. Daarnaast wordt aan de hand van deze antwoorden een positief- of juist negatief advies voor een desbetreffende SDN-controller weerlegd. Het rapport wordt daarop aansluitend afgesloten met onderwerpen die een waardevolle toevoeging hebben op eventuele vervolgonderzoeken.

Discussie

De relatief jonge geaardheid van het afstudeeronderwerp was verantwoordelijk voor een hoog interesseniveau bij de afstudeerder. Echter, gedurende de looptijd van het project heeft dit eveneens menige complicaties en complexiteit met zich meegebracht. Door deze jonge geaardheid wordt het verkrijgen van concrete en eenduidige informatie bemoeilijkt. Dit is eveneens terug te zien aan het feit dat de declaratieve SDN-methode niet aan alle, door de oorspronkelijke SDN-ontwerpers bedoelde, SDN-definiëringseigenschappen voldoet. Afgezien van dit feit is deze methode toch meegenomen naar het onderzoek. Deze methode is namelijk ontwikkeld door één van de grootste spelers op het gebied van netwerktechnieken en apparatuur.

Verder is het met een dergelijk afstudeeronderwerp niet eenvoudig brainstormsessies te laten plaatsvinden. Personen met kennis in de materie zijn namelijk niet binnen handbereik- of tijdig beschikbaar. Dit blijkt uit het feit dat tijdens het afstudeerproject meerdere malen zowel e-mail- als telefoniecommunicatie naar diverse SDN-product leveranciers; SDN-specialisten; instanties met een SDN-implementatie en medestudenten heeft plaatsgevonden. Echter, een minimaal aantal van deze personen of instanties reageerde of hadden kennis in de materie.

De extra laag van complexiteit is ontstaan door de nadruk op het Enterprise Campus netwerkgedeelte. De meeste informatie betreffende het afstudeeronderwerp heeft betrekking op het Datacenter netwerkgedeelte en is niet een-op-een over te nemen naar het Enterprise Campus netwerkgedeelte.

Al met al is het afstudeerproject, ondanks de menige complicaties en het verhoogde niveau van complexiteit, goed verlopen en heeft de afstudeerder een goed onderbouwd advies opgeleverd.

Conclusie

De beantwoording van de diverse deelvragen (terug te vinden in zowel paragraaf 3.4 als 4.5 en hoofdstuk 9 van het onderzoeksrapport) en de deelresultaten vormen de basis voor de beantwoording van de algemene onderzoeksvraag *“Is de SDN-techniek geschikt, en zo ja, welke SDN-methodiek, voor gebruik binnen MAASnet?”*. De bevindingen maken duidelijk dat het declaratieve model, op het moment van schrijven, het enige SDN-model is dat aan zowel alle functionele- als niet-functionele aspecten voldoet om MAASnet op een identieke wijze te laten functioneren. Dit SDN-model wordt momenteel binnen een tweetal SDN-controllers toegepast, namelijk de APIC en de APIC-EM van Cisco Systems. De APIC SDN-Controller is bedoeld voor het Datacenter gedeelte van het computernetwerk en de APIC-EM SDN-Controller voor het gehele Enterprise Campus netwerk. Hierdoor is de APIC-EM de enige mogelijk toepasbare SDN-Controller voor het Enterprise Campus netwerk van Maastricht University. Echter, de bevindingen uit zowel paragraaf 8.1 van het onderzoeksrapport als het interview met dhr. Joep Remkes van Cisco Systems (hoofdstuk 2 van het interviewrapport) geven weer dat deze controller momenteel in een bèta-testfase verkeert en de eerste release-versie voor september 2015 gepland staat.

Verder blijkt uit tabel 7 van het onderzoeksrapport dat beide declaratieve SDN-Controllers niet aan alle, oorspronkelijk bedoelde, SDN-categoriseringseigenschappen (t.w. draagvlak scheiding, gecentraliseerd netwerkbeheer, gesimplificeerde netwerkapparatuur, netwerk automatisering, -virtualisatie en openheid) voldoen. De categoriseringseigenschappen draagvlak scheiding, openheid en gesimplificeerde netwerkapparatuur zijn niet tot gedeeltelijk gereduceerd terug te vinden binnen deze declaratieve SDN-controllers. Dit heeft echter te maken met de onvolwassenheid van SDN en de relatief veel ontwikkelingen die binnen deze nieuwe architecturale netwerkdesign benadering plaatsvinden. De Gartner Hype Cycle for Networking and Communications 2014 (figuur 16 in het onderzoeksrapport) voorspelt dat deze ontwikkelingsfase nog circa vijf tot tien jaar voortduurt.

Alles bijeengenomen is SDN, op het moment van schrijven, niet geschikt voor een effectuering binnen MAASnet. Redenen als de onvolwassenheid van, vele ontwikkelingen binnen deze architecturale benadering, gebrek aan bewijslasten van schaalbaarheid en gerealiseerde omgevingen (Use-Cases) voor het Enterprise Campus Netwerk leiden tot deze conclusie.

Tekortkomingen

In het de projectplanning van het Project Initiatie Document is sprake van het adviseren over de impact op de (beheers)organisatie en het adviseren over de hardware kosten van de geadviseerde SDN-methodiek. Deze aspecten zijn echter niet meegenomen naar het afstudeerproject, aangezien de conclusie een negatief advies over de effectuering van een SDN-oplossing binnen MAASnet beschrijft.

Aanbevelingen

Gedurende het afstudeerproject en in het bijzonder de onderzoeksfase zijn een aantal onderwerpen naar voren gekomen die als waardevolle aanvulling op eventuele vervolgonderzoeken kunnen worden gezien. De onderstaande opsomming geeft een overzicht van deze onderwerpen:

- SDN-Datacenter;
- Network Function Virtualization;
- Schaalbaarheidsverschillen;
- Business impactanalyse.

Een gedetailleerdere omschrijving waarom deze onderwerpen een waardevolle aanvulling op eventuele vervolgonderzoeken hebben, is in hoofdstuk 11 van het onderzoeksrapport terug te vinden.

Referentielijst

- Göransson, P., & Black, C. (2014). *Software Defined Networks: A Comprehensive Approach*. Waltham, MA, USA: Morgan Kaufman (an imprint of Elsevier).
- Kikken, F. (2015). *Software Defined Networking - Interviewrapport*. Maastricht: Maastricht University.
- Kikken, F. (2015). *Software Defined Networking - Literatuurstudie*. Maastricht: Maastricht University.
- Kikken, F. (2015). *Software Defined Networking - Logboek*. Maastricht: Maastricht University.
- Kikken, F. (2015). *Software Defined Networking - Notulen*. Maastricht: Maastricht University.
- Kikken, F. (2015). *Software Defined Networking - Onderzoeksrapport*. Maastricht: Maastricht University.
- Kikken, F. (2015). *Software Defined Networking - Prestatieplan*. Maastricht: Maastricht University.
- Kikken, F. (2015). *Software Defined Networking - Project Initiatie Document*. Maastricht: Maastricht University.
- Kikken, F. (2015). *Software Defined Networking - Reflectierapport*. Maastricht: Maastricht University.
- Kikken, F. (2015). *Software Defined Networking - Voortgangsrapportage*. Maastricht: Maastricht University.