



De toekomst van digitale connectiviteit in Nederland

In opdracht van:

Ministerie van Economische Zaken

Project:

2016.076

Publicatienummer:

2016.076.1636

Datum:

Utrecht, 5 december 2016

Auteurs:

ir. ing. Reg Brennenraedts MBA

ir. Menno Driesse

ir. Bram van den Ende

dr. ir. Pieter Nooren

ir. Leonie Hermanussen

drs. Sven Maltha

ir. Tommy van der Vorst

ir. Jasper Veldman

m.m.v. diverse TNO experts

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	5
1 Introductie.....	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Doelstelling	9
1.3 Aanpak van het onderzoek.....	9
1.4 Leeswijzer	10
2 Visie op onderzoeksvraag en benadering op hoofdlijnen	11
2.1 Generiek en specifiek vraag en aanbod van connectiviteit	11
2.2 Technische karakteristieken, waardeketen en markten	12
2.3 Lessen uit het verleden bij het doen van voorspellingen over ICT.....	14
2.4 Brede analyse aangevuld met diepere analyse van vijf sectoren	19
3 Markt voor diensten	21
3.1 Inleiding	21
3.2 Trends.....	22
3.3 Digitale diensten in het consumentensegment	24
3.4 Digitale diensten in het zakelijke segment	31
3.5 Aanbod: IT-ontwikkelingen voor digitale diensten	39
3.6 Match vraag en aanbod	48
3.7 Conclusie.....	50
4 Markt voor access	53
4.1 Vaste aansluitnetwerken.....	53
4.2 Mobiele aansluitnetwerken	77
4.3 Netwerken ten behoeve van Internet of Things.....	91
5 Markten voor core-netwerken, IX en datacenters	95
5.1 Inleiding	95
5.2 Markt voor core-netwerken en Internet Exchanges	95
5.3 Markt voor datacenters.....	108
6 Digitale connectiviteit in landbouw	113
6.1 Sectortrends	113
6.2 Vraag naar digitale connectiviteit.....	114
6.3 Match met generiek aanbod	117
6.4 Casus: Precisielandbouw in de akkerbouw.....	118
6.5 Knelpunten	122
6.6 Verklarende factoren.....	124
7 Digitale connectiviteit in energie	127
7.1 Sectortrends	127
7.2 Vraag naar digitale connectiviteit.....	128
7.3 Match met generiek aanbod	130

7.4	Casus: Smart grids	131
7.5	Knelpunten	134
7.6	Verklarende factoren	135
8	Digitale connectiviteit in mobiliteit	137
8.1	Sectortrends	137
8.2	Vraag naar digitale connectiviteit	138
8.3	Match met generiek aanbod	141
8.4	Casus: Intelligente Transport Systemen	143
8.5	Knelpunten	146
8.6	Verklarende factoren	147
9	Digitale connectiviteit in onderwijs	149
9.1	Sectortrends	149
9.2	Vraag naar digitale connectiviteit	151
9.3	Match met generiek aanbod	153
9.4	Casus: Digitaal Leren	155
9.5	Knelpunten	160
9.6	Verklarende factoren	161
10	Digitale connectiviteit in zorg en gezondheid	163
10.1	Sectortrends	163
10.2	Vraag naar digitale connectiviteit	164
10.3	Match met generiek aanbod	166
10.4	Casus: Zelfmonitoring van gezondheid en welzijn	168
10.5	Knelpunten	170
10.6	Verklarende factoren	171
11	Conclusie	173
11.1	Algemene conclusie	173
11.2	Aanvullende bevindingen	175
Bijlage 1.	Ontwikkelingen in aansluitnetwerken	179
Bijlage 2.	Ontwikkelingen in digitale platformen	195
Bijlage 3.	Ontwikkelingen in cloud computing	199
Bijlage 4.	Ontwikkelingen in Big Data	205
Bijlage 5.	Ontwikkeling van SDN en NFV	211
Bijlage 6.	Overzicht interviewrespondenten en workshopdeelnemers	217
Bijlage 7.	Lijst met afkortingen	219

Managementsamenvatting

Onderzoeksvraag

Nederland bekleedt internationaal een koploperspositie voor wat betreft de beschikbaarheid van hoogwaardige telecommunicatie-infrastructuur in de vorm van vaste en mobiele aansluitnetwerken, core-netwerken en datacenters. Om te analyseren hoe dit verandert, heeft het ministerie van Economisch Zaken aan TNO en Dialogic gevraagd te onderzoeken hoe de vraag en het aanbod met betrekking tot digitale connectiviteit zich de komende tien jaar in Nederland gaat ontwikkelen. De hoofdvraag in dit onderzoek is:

Hoe matcht de toekomstige vraag en het aanbod van digitale connectiviteit in de periode tot 2026?

Naast de ontwikkeling van vraag en aanbod van digitale connectiviteit in algemene zin richt de vraag zich nader op vijf sectoren: landbouw, energie, mobiliteit, onderwijs en zorg. Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag hebben TNO en Dialogic hun bestaande expertise gecombineerd met inzichten uit openbare literatuur, interviews met experts uit de ICT en telecomsector en met de uitkomsten van zes specifiek voor dit onderzoek georganiseerde workshops met vertegenwoordigers uit deze sectoren.

Vraag naar digitale connectiviteit

De vraag naar digitale connectiviteit groeit de komende jaren sterk. Hij wordt gedreven door de adoptie van een steeds breder palet aan digitale diensten en toepassingen. In het **consumentensegment** zien we het gebruik een breed scala aan digitale diensten door individuele personen en huishoudens. Kenmerkend voor de vraag in dit segment is dat hij latent is en daardoor tot op zekere hoogte onvoorspelbaar: de vraag blijkt vaak pas nadat het eerste aanbod van diensten is ontstaan. De huidige en toekomstige mediadiensten zijn de grootste driver van digitale connectiviteit bij consumenten en zijn in grote mate verantwoordelijk voor de groeiende vraag naar bandbreedte. Volgende generaties interactieve virtual reality mediadiensten en toepassingen kunnen de eisen voor de latency (vertraging) van verbindingen aanscherpen. De verwachting is dat over de gehele periode 2016-2026 de gemiddelde gevraagde bandbreedte exponentieel blijft toenemen, met zo'n 40% jaarlijkse groei in de downstream richting en een iets hogere groei in de upstream richting. Naast bandbreedte en latency spelen in de consumentenmarkt ook toenemende eisen aan de betrouwbaarheid en de (geografische) dekking van digitale connectiviteit. Deze zijn niet één op één te koppelen aan specifieke diensten maar zijn het gevolg van de toenemende afhankelijkheid van digitale diensten in het dagelijks leven in het algemeen.

In het **zakelijke segment** zien we dat de vraag naar digitale connectiviteit sterk wordt beïnvloed door het toenemende gebruik van clouddiensten. Daarnaast zal de vraag in de komende jaren worden gedreven door de opkomst van geheel nieuwe digitale diensten en toepassingen, al dan niet vervat in nieuwe businessmodellen. Deze nieuwe diensten zijn gebaseerd op exploitatie van verschillende soorten data en leunen op de combinatie van Big Data analyse, cloud computing en het Internet of Things. Deze ontwikkeling vergroot bij alle organisaties de afhankelijkheid van digitale connectiviteit. Daarbij hangen de specifieke eisen aan bandbreedte, latency, dekking en betrouwbaarheid af van de dienst of toepassing. Zo gaat het in het geval van precisielandbouw, een voorbeeld van een Internet of Things en Big Data combinatie, vooral om de geografische dekking van de digitale connectiviteit. Bij Intellectuele Transport Systemen (ITS) gaat het naast dekking juist om lage latencies en hoge betrouwbaarheid van de verbindingen. De verschillende eisen die toepassingen stellen aan connectiviteit laten onverlet dat alle sectoren samen een gedeelde generieke vraag naar connectiviteit opleveren ten behoeve van breed gebruikte toepassingen, zoals werkplek/kantoorapplicaties, cloud opslag en e-commerce.

Aanbod van digitale connectiviteit

Aan de aanbodkant is de grootste verandering de (verdere) verschuiving van specifiek naar generiek aanbod van connectiviteit. Dit houdt in dat vanuit het generieke aanbod kan worden voorzien in meer uiteenlopende en specifiekere vragen, op basis van de flexibiliteit die in de communicatieinfrastructuur ontstaat door de groeiende inzet van virtualisatietechnologieën.

Voor toegangsnetwerken geldt dat in een voortdurend, door concurrentie gestimuleerd innovatieproces, de aansluitsnelheden zowel in downstream- als in upstreamrichting blijven toenemen. Parallel hieraan wordt vooruitgang geboekt in het verlagen van de latencies. In het vaste koperen aansluitnetwerk is de komende jaren sprake van een verdere uitnutting van de potentiële capaciteit met nieuwe DSL-technologieën in combinatie met een verder oprukkende verglazing in het netwerk. Een knelpunt hierbij is dat hoge snelheden geboden door de nieuwe DSL-varianten, inclusief G.Fast, snel afnemen met het toenemen van de lengte van de koperlijn. Het marktgebied voor hoge snelheden wordt hierdoor beperkt, sterker dan in eerdere DSL generaties. Het innovatietraject voor de kabelnetwerken blijft gericht op verdere uitnutting van het beschikbare spectrum op de coaxkabel en op een verdere verkleining van de groep aansluitingen die deze capaciteit onderling moeten delen. Bij de kabel ligt de noodzaak tot verdere verglazing aanzienlijk verder in de toekomst en het effect van een krimpende dekking treedt hier niet op. Hierdoor heeft de kabel ten opzichte van het kopernetwerk een gunstiger perspectief in deze breedbandontwikkeling. Bij glasnetwerken voorzien we een gestage voorzetting van de groei van het aantal Fiber-to-the-Home aansluitingen, een proces dat zich voornamelijk buiten de Randstad voltrekt. In het zakelijke segment ligt op grond van ontwikkelingen in de vraag een sterkere groei in Fiber-to-the-Office aansluitingen de komende jaren voor de hand.

De Nederlandse mobiele netwerken worden eveneens continu verder ontwikkeld om de sterke verkeersgroei het hoofd te bieden en daarvoor concurrerende proposities te bieden. De innovatie richt zich vooral op verhoging van pieksnelheden en efficiënter spectrumgebruik ter vergroting van de systeemcapaciteit. De 5G-technologie maakt zijn opwachting vanaf 2020 en belooft op een aantal punten wezenlijk af te wijken van bestaande netwerken. Zo wordt 5G ontwikkeld om grootschalige Internet of Things connectiviteit te bieden en substantiële verbeteringen in pieksnelheid en latency. In 5G herkennen we ook de verschuiving van specifiek naar een generiek connectiviteitsaanbod. 5G biedt ruime mogelijkheden om via virtualiseringstechnieken op kosteneffectieve wijze tegemoet te komen aan specifieke eisen aan connectiviteit zoals die in specifieke sectoren ('verticals') aan de orde zijn of gaan zijn. Hiermee verwachten we in de periode 2020-2025 een aanzienlijke versterking van het strategische belang van mobiele netwerken in de digitale infrastructuur in Nederland. We zien mobiele netwerken als een essentiële aanvulling op de vaste infrastructuur, maar niet geschikt als één-op-één alternatief daarvoor. Veel sterker dan in het verleden zullen vast en mobiel onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn, via de inzet van kleinere mobiele cellen als antwoord op de schaarste in radiospectrum.

In Nederland bevindt zich al een hoogwaardige backbone-infrastructuur die zorgt voor uitstekende regionale, landelijke en internationale connectiviteit. Het belang van deze infrastructuur, inclusief de interconnectievoorzieningen zoals de AMS-IX, kleinere Internet Exchanges en ontsluiting via zeekabels, is groot zowel als het gaat om een hoogwaardige koppeling van Nederland aan het globale internet als ook voor de efficiënte verwerking van IP-verkeer binnen Nederland. In deze landelijke infrastructuur zal sprake zijn van een verdere marktgedreven capaciteitsuitnutting van bestaande glasvezelverbindingen op basis van geavanceerde optische technieken. Verdichting van infrastructuur in topologisch opzicht zal vooral aan de orde zijn richting de aansluitnetwerken, dus voornamelijk backhaulverbindingen maar ook meer regionale en lokale IP interconnectiemogelijkheden. Het belang van

datacenters zal in de toekomst, gezien de faciliterende rollen in (inter)connectiviteit maar ook in dataopslag en computing services, verder toenemen.

Match tussen vraag en aanbod

Op hoofdlijnen voorzien we voor de middellange termijn (2016-2021) een goede match tussen vraag en aanbod van digitale connectiviteit waar het gaat om bandbreedte, latency, betrouwbaarheid en dekking. Op de dimensie dekking constateren we dat momenteel de toegankelijkheid van breedband voor vrijwel alle huishoudens in Nederland gewaarborgd is, maar dat het aanbod van **snelle vaste en mobiele accessnetwerken in het buitengebied** een knelpunt blijft. Dit is een bekende kwestie die ook weer terugkomt in vier van de vijf sectorcasussen (agricultuur, mobiliteit, onderwijs en zorg). De groep huishoudens en bedrijven die buiten de dekking valt kijkt tegen een achterstand in capaciteit aan. Dit effect wordt versterkt doordat er in de dienstverlening in veel (maatschappelijke) sectoren een verschuiving plaatsvindt van digital first naar digital only. Hierdoor heeft deze groep nu of op termijn geen of gebrekkige toegang tot belangrijke diensten vanuit bijvoorbeeld de zorg en het onderwijs. Mobiele netwerken zullen geen volwaardig alternatief worden voor vaste infrastructures. Wel kunnen deze netwerken zorgen voor een breedband basisvoorziening in buitengebieden, mits daar bij de uitrol van die netwerken rekening mee wordt gehouden.

Voor de **lange termijn** (2021-2026) zijn er op dit moment geen duidelijke factoren aan te geven die een goede match op hoofdlijnen tussen vraag en aanbod in deze periode zouden doorkruisen. Te verwachten is dat het aanbod van snelle accessnetwerken in het **buitengebied** een aandachtspunt blijft. Een aandachtspunt in **stedelijk gebied** is de nauwe verwevenheid tussen vaste netwerken en 5G mobiele netwerken, deze zal in veel gevallen vragen om coördinatie in de aanleg van core- en backhaulverbindingen. Op lange termijn bestaat daarnaast onzekerheid op landelijke schaal over de uitkomsten van de infrastructuurconcurrentie die nu zorgt voor de verdere uitrol en ontwikkeling van accessnetwerken. Vanuit technologisch perspectief zijn er met G.fast voor DSL, DOCSIS3.1 voor kabel, glas en 5G ruim voldoende opties beschikbaar voor de voortzetting van de huidige concurrentie tussen technologieën c.q. de bedrijven die deze bezitten. De onzekerheid zit in de mate waarin de technologieën zullen worden ingezet en in het bijzonder hoe de uitrol van nieuwe DSL-technologieën zoals G.fast en van 5G zich gaat ontwikkelen. Als de rol van het koperen aansluitnet op termijn kleiner wordt, zal de concurrentie zich meer gaan toespitsen op kabelnetwerken en glasnetwerken. De overlappen in (lokale) dekking en daarmee de mate van concurrentie die dit oplevert tussen infrastructures is nu niet goed te voorzien.

Andere invloedrijke factoren

Tenslotte is het goed te realiseren dat voor de verdere ontwikkeling van digitale diensten en het ICT-ecosysteem in Nederland naast digitale connectiviteit ook andere factoren van belang zijn. In het bijzonder blijkt dat de **ontwikkeling van digitale diensten** in (maatschappelijke) sectoren wordt geremd door (een combinatie van) factoren anders dan digitale connectiviteit. Ten eerste noemen we kwesties rond **ketenintegratie en -afstemming**. De grote verscheidenheid in IT-systemen en gebruikte standaarden vormen vaak een belemmering voor intensieve ketensamenwerking. Het veelvuldig gebruik van legacy systemen en substantiële transitieperioden bij introductie van nieuwe technologieën of platforms maken dat er verscheidenheid in systemen optreedt en markten niet efficiënt werken. Ten tweede speelt de kwestie van **eigenaarschap van data en privacy**. In veel ICT-toepassingen staat het verkrijgen en gebruik van (big) data centraal. Dit levert een nodige maar vaak ook lastige discussie over de waarde van de data en de rechten daarop. Ten derde spelen **zorgen over cybersecurity** een rol. Hierbij speelt zowel de daadwerkelijke dreiging als ook de onzekerheid en het gebrek aan kennis over het onderwerp. Tenslotte lijkt sprake te zijn van een **gebrek aan een integrale visie** op de inzet van ICT en aan actuele kennis daarover, bij management en bestuurders van organisaties in de zakelijke als ook in de

publieke sector. De genoemde factoren raken vooral de vraagkant en daarmee de verdere ontwikkeling van digitale connectiviteit. Dit maakt ze van belang voor de analyse van de ontwikkeling van digitale connectiviteit in dit onderzoek. Tegelijkertijd laten ze zien dat de connectiviteit in veel gevallen niet de beperkende factor is in de ontwikkeling en uitrol van nieuwe ICT-applicaties.

1 Introductie

1.1 Achtergrond

Nederland bekleedt internationaal een koploperpositie wat betreft de beschikbaarheid van hoogwaardige telecommunicatie-infrastructuur in de vorm van vaste en mobiele aansluitnetwerken, core-netwerken en datacenters. Daardoor is sprake van een goed ontwikkeld ecosysteem op het gebied van telecom en IT-dienstverlening. Nederland, en in het bijzonder de Noordvleugel van de Randstad, biedt mede dankzij deze voorzieningen een gunstig vestigingsklimaat voor hoogwaardige ICT-bedrijven. Het kabinet evenals de Tweede Kamer onderkennen deze bijzondere positie van Nederland en achten het van belang dat dit ook in de toekomst zo blijft.

1.2 Doelstelling

Het doel van dit rapport is het verstrekken van inzicht in hoe de vraag en het aanbod met betrekking tot digitale connectiviteit zich de komende tien jaar in Nederland gaat ontwikkelen. Hierbij kijken we naar de generieke vraag naar digitale connectiviteit en het generieke aanbod hiervan. We kijken echter ook naar vijf specifieke verticals: agricultuur, energie, mobiliteit, onderwijs en zorg.

De hoofdvraag van dit onderzoek is dan ook: Hoe matcht de toekomstige vraag en het aanbod van digitale connectiviteit in de periode tot 2026?

Afgeleide vragen zijn de volgende:

- Hoe ziet de toekomstige vraag naar connectiviteit eruit?
- Wat is het verwachte aanbod van connectiviteit en welke factoren beïnvloeden dit aanbod?
- In hoeverre matcht het toekomstige aanbod met de vraag?
- Welke factoren verklaren het verschil tussen vraag- en aanbod?

1.3 Aanpak van het onderzoek

Dit onderzoek is uitgevoerd door een combinatie van Dialogic innovatie & interactie en TNO. Beide partijen hebben vanuit hun achtergrond ruime kennis en kunde van dit dossier. Wij hebben de volgende aanpak gehanteerd :

- Literatuuronderzoek naar zowel de generieke aspecten van digitale connectiviteit als de sectoren.
- Circa twintig interviews met experts binnen de sectoren en op het gebied van digitale connectiviteit.
- Zes workshops waarin tussentijdse resultaten zijn gepresenteerd en besproken met experts uit het veld. Voor elke sector is een workshop georganiseerd en daarnaast is er een generieke ICT-workshop georganiseerd.
- Presentatie van en discussie over tussentijdse resultaten tijdens de op xx oktober door Agentschap Telecom gehouden themadag Digitale Connectiviteit op 25 oktober jongstleden.
- Ontwikkeling van het eindrapport. Daarin zijn experts die zijn geïnterviewd en/of hebben deelgenomen aan workshops uitgenodigd om concepten van onderdelen te

lezen. Tevens zijn door het ministerie van Economische Zaken en de ingestelde begeleidingscommissie reviews gedaan en door twee door Dialogic en TNO aangestelde externe reviewers.

Het onderzoek is begeleid vanuit de Directie Telecommarkt van het ministerie van Economische Zaken en een begeleidingscommissie met vertegenwoordiging vanuit Economische Zaken, de Autoriteit Consument en Markt en het Agentschap Telecom.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft onze visie op de onderzoeksopdracht en de gehanteerde benadering op hoofdlijnen. Dit inzicht is nuttig om de structuur van het rapport en de opzet van de inhoudelijke hoofdstukken te begrijpen. Hoofdstuk 3 bespreekt een aantal maatschappelijke en technische trends richting 2025, trends die een sterke invloed hebben op de ontwikkeling van digitale connectiviteit. Later in dit document wordt geregeld teruggegrepen naar deze trends. Hoofdstukken 3, 4 en 5 zijn gewijd aan de analyse van generieke vraag en aanbod. Daarna volgen de sectorspecifieke analyses in de hoofdstukken 6 t/m 10. Het laatste hoofdstuk is gewijd aan conclusievorming ten aanzien van de match tussen vraag en aanbod, op basis van de voorgaande sectorstudies. Het rapport bevat een aantal bijlagen waarin specifieke relevante onderwerpen uitvoeriger worden besproken. Tot slot is in een separate bijlage aangegeven met welke personen wij hebben gesproken, separaat en/of tijdens de gehouden workshops.

2 Visie op onderzoeksvraag en benadering op hoofdlijnen

Voorafgaande aan de eigenlijke analyse van vraag en aanbod in de volgende hoofdstukken introduceren we in dit hoofdstuk onze visie op de onderzoeksvraag. Deze is bepalend voor de benadering die we voor de analyse gebruiken en voor de verhouding tussen breedte en diepgang in de verschillende delen van de analyse.

2.1 Generiek en specifiek vraag en aanbod van connectiviteit

Op basis van onze ervaring in dit domein zien wij een duidelijk onderscheid tussen generieke en specifieke vraag naar digitale connectiviteit. Het overgrote deel van de vraag naar connectiviteit is generiek van aard: het zijn huishoudens die Netflix kijken, kantoormedewerkers die e-mailen en scholieren die WhatsApp berichten sturen, et cetera. Hoewel elke afnemer van connectiviteit uniek is, is het goed te voorspellen hoe zij zich als groep zullen gedragen. Hetzelfde geldt voor het generieke aanbod: Huishoudens die een reguliere Internetaansluiting hebben via kabel, DSL of glasvezel, bedrijven die een zakelijke aansluiting hebben en consumenten met een mobiel abonnement. Het gaat hier om diensten die aanbieders op grote schaal aanbieden. Zowel in aantal klanten, omzet, alsook verkeer is dit een groot deel van wat er omgaat qua digitale connectiviteit in Nederland.

Er is echter ook een deel van de vraag en het aanbod dat specifiek van aard is. Dit gaat om relatief kleine aantallen klanten, omzet en verkeer, maar wel om essentiële sectoren van onze maatschappij. Denk aan TenneT die telecom gebruikt om onze transportnetwerken voor elektriciteit aan te sturen, de Nederlandse hulp- en veiligheidsdiensten die middels C2000 onderling communiceren of vliegtuigen die op Schiphol kunnen landen door specifieke radiotechnologie. Hun vraag kan niet worden ingevuld met de standaardaansluitingen voor consumenten of bedrijven doordat zij andere eisen stellen aan de technologie. Een tussen-categorie wordt gevormd door vraag die specifiek afkomstig is uit een bepaalde sector, maar met beperkte aanpassingen vanuit het generieke aanbod kan worden bediend.

Bij onze analyse maken we consequent het onderscheid tussen het generieke en het specifieke deel.

Tabel 1 illustreert dit onderscheid voor de huidige situatie. In onze analyse veronderstellen we zeker geen statisch onderscheid tussen generiek en specifiek. Zoals later beschreven is de grootste verandering in de vorm van vraag en aanbod van connectiviteit te vinden in de (verdere) verschuiving van specifiek naar generiek aan aanbod van connectiviteit.

Tabel 1. Onderscheid tussen generieke en specifieke vraag en aanbod van digitale connectiviteit

		Vraag naar connectiviteit	
		Generiek	Specifiek vanuit sector
Aanbod van connectiviteit	Generiek	<ul style="list-style-type: none"> • Applicatieontwikkeling op Europese en wereldschaal interacteert met grootste gemene deler in standaard aanbod connectiviteit 	<ul style="list-style-type: none"> • (Sterk) toegesneden aanbod op basis van generieke connectiviteit
	Specifiek	-	<ul style="list-style-type: none"> • Specifiek aanbod op basis van specifieke infrastructuur

2.2 Technische karakteristieken, waardeketen en markten

2.2.1 De vier dimensies van digitale connectiviteit

Bij onze beoordeling van vraag en aanbod van digitale connectiviteit gebruiken we vier dimensies als startpunt:

- *Bandbreedte*. Met bandbreedte bedoelen we de capaciteit van een enkelvoudige verbinding en dus de hoeveelheid data die een verbinding per tijdseenheid van versturen. Een digitale dienst vraagt ook om een zekere minimale bandbreedte op de verbinding. De eenheid is bit/s.
- *Latency*. De latency van een verbinding is de vertraging die het verkeer tussen zender en ontvanger ondergaat: Hoe lang duurt het voordat verzonden data bij de ontvanger is? De eenheid hiervoor is seconde. Voor interactieve diensten is de round-trip tijd belangrijk: de som van de vertraging op de heen- en de terugweg.
- *Betrouwbaarheid*. Met betrouwbaarheid bedoelen we de mate waarin een verbinding gebruikt kan worden volgens verwachting. Dit drukken we uit in een percentage. Waar nodig maken we onderscheid in de tijdschaal waarop betrouwbaarheid speelt. Moet de verbinding beschikbaar zijn op een schaal van (delen van) secondes of is de eis lager en gaat het om uren?
- *Dekking*. De dekking is de mate waarin een dienst op verschillende locaties ook daadwerkelijk kan worden afgenomen. Ook dit zullen we in een percentage uitdrukken.

Bij onze analyse hanteren we zo consequent mogelijk de vier bovenstaande dimensies.

In eerste instantie zijn deze dimensies technisch van aard. Zoals zal blijken is er bij een aantal technologieën een samenhang tussen deze dimensies. Zo is bijvoorbeeld voor DSL-technologie de dekking afhankelijk van de eis die men hanteert voor de minimale bandbreedte. Bij draadloze netwerken hangen dekking en betrouwbaarheid samen.

2.2.2 De vier hoofdrollen in end-to-end digitale connectiviteit

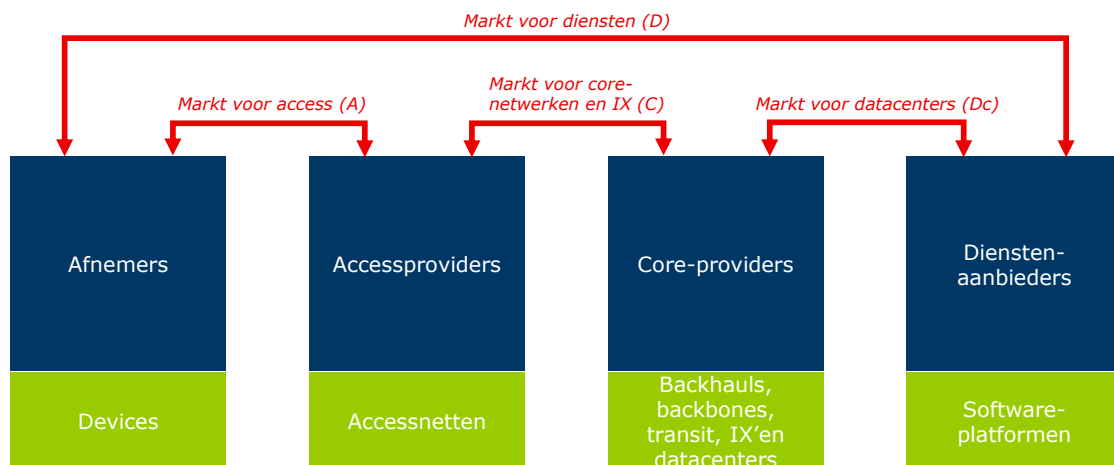
We zien dat er in de waardeketen van digitale connectiviteit vier ongelijksoortige actoren voorkomen. Ons inziens bestaat digitale connectiviteit uit vier pijlers:

- *De afnemers.* Aan de kant van de afnemers zien we allerlei soorten partijen die zowel diensten als aansluitingen afnemen. Het huishouden dat via hun Internetverbinding (aansluiting) naar Netflix (dienst) kijkt, de winkelketen via een mobiel netwerk een pinautomaten inzet, de agrariër die IoT-verbindingen afneemt voor zijn sensoren et cetera.
- *De accessproviders.* De aanbieders van aansluitnetwerken zijn partijen met een hoge mate van zichtbaarheid in deze markt omdat zij hun aansluitingen aan afnemers willen verkopen. Denk aan KPN, Ziggo, Telfort, Tele2, XS4all, Vodafone, T-Mobile, et cetera.
- *De core-providers.* De aanbieders van core netwerken zijn voor veel mensen de onzichtbare kant van het Internet en andere netwerken. Toch spelen zij een essentiële rol in de werking van deze netten: Zij vormen de brug tussen een dienst die draait op een server in een datacenter in New York en het aansluitnetwerk in een wijk in Almelo. In deze groep zitten partijen die backhaul, backbones, (trans-Atlantische) transitdiensten, Internet exchanges en datacenters aanbieden. Sommige partij zitten op meerdere plekken in de keten, anderen nemen een specifieke positie in.
- *De dienstenaanbieders.* De aanbieders van diensten zijn de partijen die de (online) diensten ontwikkelen en hiervoor de software maken. Denk aan Google, Facebook, Marktplaats, et cetera.

In dit rapport wordt consequent een onderscheid gemaakt tussen deze vier rollen.

2.2.3 De vier markten in de waardeketen voor digitale connectiviteit

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag over vraag en aanbod is het nodig om te doorgronden op welke (deel)markten vraag en aanbod elkaar ontmoeten. Op basis van de hierboven geïntroduceerde pijlers voor digitale connectiviteit hanteren we in dit onderzoek vier markten, zie Figuur 1.



Figuur 1. De vier markten in de waardeketen voor digitale connectiviteit

De vier markten hebben op hoofdlijnen de volgende eigenschappen:

- **Markt voor Diensten (D):** Afnemers (zowel zakelijk als consumenten) nemen bij dienstenaanbieders hun diensten af. Dit kan betaald zijn zoals bij Netflix, Spotify, Telefonie, Office365, SAP, et cetera, maar het kunnen ook diensten zijn die niet (direct) betaald worden zoals online bankieren, email en veel andere content op Internet. Er is dus een directe (of indirecte) relatie tussen de afnemer en aanbieder van digitale diensten.

- **Markt voor Access (A):** De afnemers nemen niet alleen diensten af, ze moeten ook toegang tot de netwerken kopen. Zoals eerder aangegeven doen ze dit bij de accessproviders. Zij hebben typisch een abonnement of een pre-paid relatie met een aanbieder. Het aanbod omvat vaak ook een device zoals een smartphone, modem, WiFi-access point, et cetera.
- **Markt voor IX en core-netten (C):** Accessproviders kopen op hun beurt diensten in bij core providers om hun aansluitnetwerken te kunnen koppelen met de diensten van de dienstenaanbieders. We zien dat veel accessproviders ook een deel van de diensten in de core zelf (deels) uitvoeren.
- **Markt voor Datacenters (Dc):** De dienstenaanbieders tot slot moeten de systemen waar hun softwareplatformen op draaien kwijt. Dit doen ze typisch in datacenters. Net als in het voorgaande zien we ook hier een mate van verticale integratie. Kleine dienstenaanbieders beperken zich tot de software, de grotere exploiteren ook hun eigen servers. Google en Microsoft bouwen op dit moment grote datacenters in Nederland en ook andere grote dienstenaanbieders bewegen zich naar links in de keten.

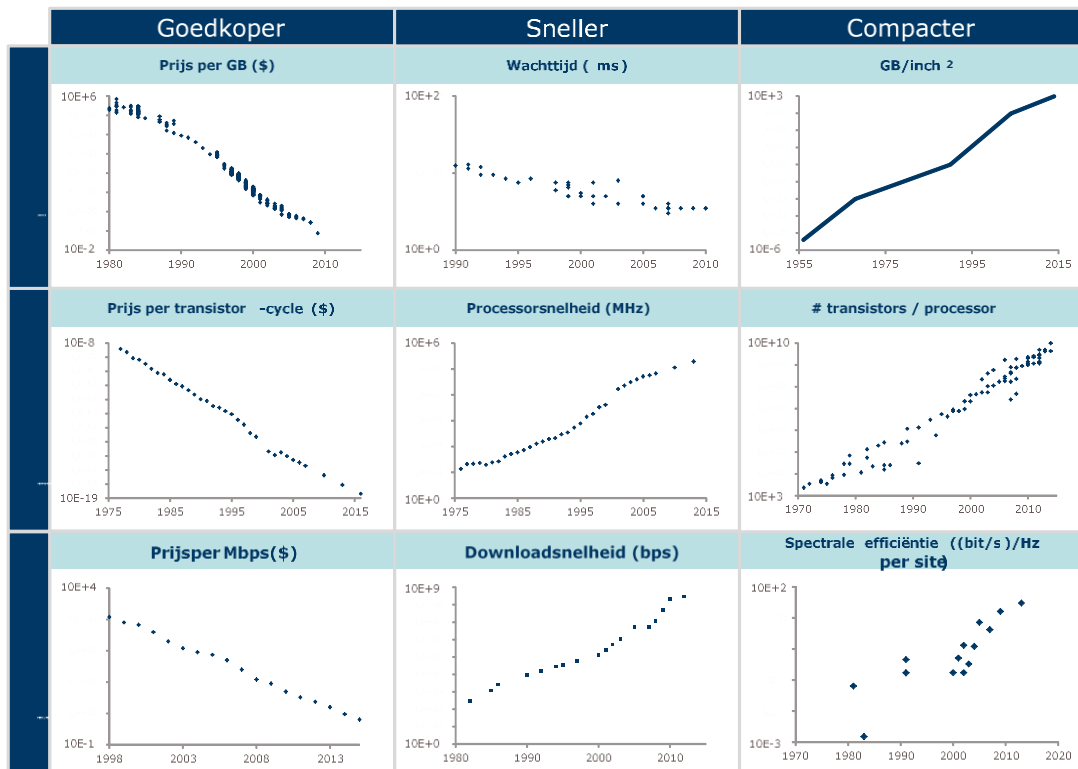
De bovenstaande indeling speelt een belangrijke rol in het preciezer aanwijzen van relevante deelgebieden in vraag en aanbod.

2.2.4 *Match, mismatch en verklarende factoren*

Onze analyse werkt toe naar het overzicht van de match tussen vraag en aanbod voor connectiviteit: waar sluiten goed aan op de middellange en lange termijn (*match*), waar sluiten ze niet goed aan (*mismatch*) en waar precies treedt het knelpunt op? Bij het bepalen van de match en het karakteriseren van de knelpunten staan de eerder ingevoerde vier dimensies van connectiviteit centraal: bandbreedte, latency, betrouwbaarheid en dekking. Waar dat aan de orde is zullen we ook aspecten adresseren die buiten deze vier dimensies vallen. Bij het constateren van een knelpunt gaan we nader in op de factoren die het knelpunt verklaren. Dat kunnen technische factoren zijn die direct samenhangen met de vier dimensies, maar zeker ook economische factoren op het vlak van publieke goederen, positieve externaliteiten, informatie-asymmetrie of ketencoördinatie.

2.3 **Lessen uit het verleden bij het doen van voorspellingen over ICT**

Als we terugkijken in de geschiedenis van ICT dan zien we dat deze op verschillende vlakken gekarakteriseerd is door exponentiële groei. Bijna iedereen is bekend met de wet van Moore die stelt dat het aantal transistors in een geïntegreerde schakeling door de technologische vooruitgang elke twee jaar verdubbelt. Maar dit is echter maar een deel van het verhaal. Transistors worden niet alleen kleiner, zoals de wet van Moore stelt, ze worden ook goedkoper en ze worden beter en energiezuiniger. Maar dit geldt niet alleen voor transistoren die verantwoordelijk zijn voor het schakelen in chips, ook als het gaat om opslag en transmissie spelen deze effecten. Moore staat dus niet op zichzelf, hij heeft acht broers. De onderstaande afbeelding geeft hier een beeld van. Deze afbeelding toont dat op alle drie dimensies (prijs, snelheid, grootte) en voor alle drie categorieën (opslag, verwerking transmissie) exponentiële wetten gelden.



Figuur 2. Extrapolatie op drie dimensies

Gezien de hoge mate van voorspelbaarheid van de ontwikkelingen van ICT, zijn we van mening dat we bovenstaande trends voor tien jaar kunnen extrapoleren. Vanuit een methodologisch oogpunt zijn er verschillende redenen waarom extrapolaties te kort schieten. Het basisargument komt neer op het feit dat je niet weet waarom de waarden buiten de reeks (in dit geval in de toekomst) aan de dezelfde regels gaan voldoen als in het verleden. De afgelopen decennia zijn er verschillende steekhoudende redenen geweest om aan te nemen dat de eerdere exponentiele groei zou afvlakken, via twee mechanismen: het aanbod zwakt af door het bereiken van technologische grenzen of de vraag naar telkens hogere performance vakt af. In de praktijk zien we echter dat de exponentiële groei telkens heeft doorgezet. Hieronder gaan we in op de twee hoofdredenen waarom we verwachten dat aanbod en vraag zullen blijven doorgroeien en waarom we onze centrale aanname mogen doen.

2.3.1 Een ICT technologie die tegen haar grenzen aanloopt wordt vervangen door een nieuwe technologie

Een groot deel van de groei in ICT is het gevolg van incrementele technologische innovaties. Zo lijkt een CPU uit 1975 in de basis sterk op een recente CPU. Er zijn in 40 jaar miljarden besteed aan het verbeteren van de technologie, maar in de basis hebben we het een plakje geëët silicium waar een groot aantal componenten op geplaatst worden. Daarbij is het aantal *soorten* componenten beperkt.

Vaak wordt verwezen naar de beperkingen van het huidige technologische paradigma. Als wij kijken naar de wet van Moore, dan zien we dat binnen het huidige paradigma van op

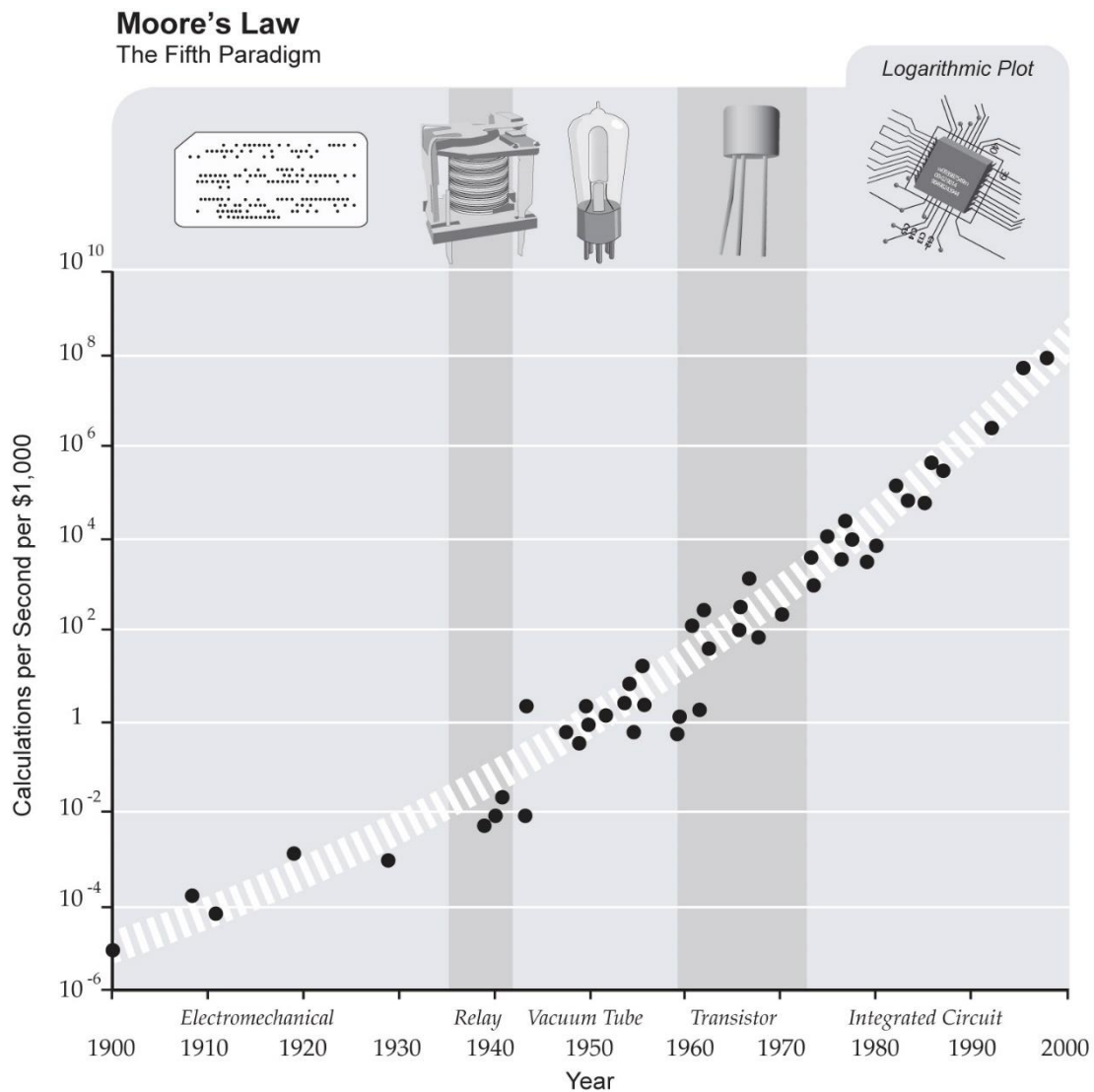
siliciumtechnologie gebaseerde chips de schaalverkleining leidt tot steeds kleinere onderdelen. Hoewel ASML haar apparatuur steeds een stapje verder krijgt,¹ komt er op een gegeven moment een natuurlijke grens. Onder een bepaalde grootte (in de orde grootte van enkele nanometers) ontstaan er quantum tunneling effecten die de basale werking van de chip ondermijnen. Ergo: We kunnen maar een bepaalde hoeveelheid groeien en dus zou extrapolatie niet mogelijk zijn. Dit is ons inziens echter een te beperkte kijk op de zaak.

Het bovenstaande voorbeeld geldt voor de wet van Moore, maar ook voor de acht andere aspecten zijn soortgelijke argumenten op te stellen. Het punt is echter, dat deze redeneerlijn uitgaat van het bestaande technologische paradigma. Aan het einde van de 19^e eeuw was het paard het vervoersmiddel dat grootschalig werd ingezet. In 1894 schreef the Time: *"In 50 years, every street in London will be buried under nine feet of manure."*² En dit schreven zij terwijl de auto al een kleine 10 jaar bestond.

Terug naar ICT en Moore's law. Als wij kijken naar processing, dan is het te nauw om te kijken naar chips. Als we verder terug kijken in de tijd, dan zien we dat de chip zeker vier voorgangers had. De onderstaande afbeelding toont vier voorgangers van de chip: de transistor, de vacuümbuis, het relay en elektromechanische systeem van ponsplaten.

¹ Bron: volkskrant.nl

² Bron: historic-uk.com



Figuur 3. Moore's law in een breder perspectief³

Op basis van het verleden kunnen we stellen dat het vaak gehanteerde argument "De technologie loopt tegen zijn grenzen aan" niet correct is. Een betere stelling is: "Het technologisch paradigma loopt tegen zijn grenzen aan"⁴. De chip zal tegen zijn grenzen aanlopen, maar zij zal worden vervangen door een andere technologie. In plaats van met elektrische stromen te werken, kunnen we ook gaan rekenen met natuurlijk materiaal (DNA computing), licht (optical computing) of quantummechanische fenomenen (quantum computing). Een recent en aansprekend voorbeeld van een paradigmaverandering is de overstap van de klassieke magnetische harde schijven naar solid state disks die gebaseerd zijn op chips.

³ Bron: singularity.com

⁴ Voor meer hierover zie: Dosi, Giovanni (1982), 'Technical Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants of Technical Change', Research Policy, Vol. 2, No. 3, pp. 147-62. Hij definieert een paradigma als volgt: "a technical paradigm to represent the tacit agreement of the agents involved as to what is a valid search direction and what will be considered an improvement or a superior version of a product, service or technology"

Het einde van een technologisch paradigma is dus geen argument waarom extrapolatie van de exponentiele groei niet mogelijk is.

2.3.2 Een nieuwe technologie zorgt ook voor nieuwe vraag die aanvankelijk nog niet bekend is

Er zijn talloze voorbeelden van foutieve voorspellingen als het gaat om de vraag naar ICT. Bill Gates zou gezegd hebben dat er geen behoefte is aan meer geheugen dan 640KB; Thomas Watson (directeur IBM) gaf aan dat er een wereldmarkt voor circa vijf computers zou zijn. Hoewel de voorgaande quotes op zijn minst uit zijn verband zijn getrokken en wellicht niet eens correct zijn, zijn er talloze onderschattingen van de vraag naar technologie. Wat we hier zien is het effect dat mensen vanuit bestaande diensten redeneren en dit extrapoleren.

Zo had men in 2004 kunnen stellen dat er weinig behoefte zou zijn aan meer bandbreedte: Het aantal websites wat je kunt bezoeken en het aantal mails dat je kunt verzenden is natuurlijk beperkt. We zien echter dat vrij kort daarna YouTube als nieuwe dienst zijn intrede doet en er veel meer bandbreedte nodig is. Bij de introductie van Netflix zagen we een soortgelijk effect.

Dalende kosten van ICT zorgen er ook voor dat ICT an sich minder arbeidsintensief wordt. Er is vraag naar nieuwe technologie omdat hierdoor kosten op arbeid bespaard kunnen worden. In de jaren 70 van de vorige eeuw werd software zeer efficiënt geprogrammeerd omdat hardware duur was, tegenwoordig wordt er veel minder effort gestopt in efficiënt programmeren omdat het goedkoper is om het door hardware te laten afhandelen⁵.

Wat we zien is dat er telkens vraag is naar nieuwe technologie. Deze vraag is alleen in eerste instantie latent doordat mensen hun vraag lastig kunnen inschatten (waarover later meer).

Niet alleen het aanbod, maar ook de vraag groeit exponentieel.

2.3.3 De impact van extrapolaties

Op basis van het bovenstaande vinden we het voor een periode van vijf jaar zeer aannemelijk dat alle lijnen doorlopen. Maar zelfs op een horizon van tien jaar is het aannemelijk dat de ontwikkelingen exponentieel doorlopen. Grofweg zou dit de volgende impact hebben:

Tabel 2. Verandering in basisonderdelen ICT, als factor ten opzichte van 2016

Status in 2021	x Goedkoper	x Sneller	x Compacter
Opslag	12 x	1,4 x	5,3 x
Processing	62 x	3,5 x	5,9 x
Transmissie	9 x	7,6 x	2,6 x

⁵ Zie ook: [\[en.wikipedia.org/wiki/Software_bloat\]](https://en.wikipedia.org/wiki/Software_bloat).

Status in 2026	x Goedkoper	x Sneller	x Compactier
Opslag	152 x	2 x	28 x
Processing	3783 x	12 x	35 x
Transmissie	85x	58x	7x

2.4 Brede analyse aangevuld met diepere analyse van vijf sectoren

Uit de voorgaande paragrafen blijkt de breedte van de hier voorliggende onderzoeksvraag:

- In de tijd: de analyse gaat in op de ontwikkelingen tot tien jaar vooruit, met daarin een onderscheid tussen de middellange termijn (vijf jaar, 2016-2021) en de lange termijn (tien jaar, 2021-2026). In de ICT-wereld is tien jaar met recht een lange termijn: als we tijdens het maken van onze analyse tien jaar teruggaan in de tijd komen we uit in het pre-iPhone tijdperk waarin mobiele data nog op zoek was naar zijn killer app (die even later een killerdevice bleek te zijn).
- In de variatie tussen de vier (deel)markten in de waardeketen digitale connectiviteit (geschetst in Figuur 1).
- In de breedte van de toepassingen: alle ICT-toepassingen die gebruik maken van digitale connectiviteit.
- Daarnaast zijn een aanzienlijk aantal ICT-trends en technologieën relevant bij het maken van de analyse, zoals zal blijken uit de volgende hoofdstukken.

Om tot afdoende onderbouwde conclusies te komen is het nodig om naast deze breedte ook voldoende diepgang in de analyse te brengen. Onze onderzoeksbenadering zorgt voor het hanteerbaar maken van de vereiste breedte en diepte via een aantal specifieke aanpakken:

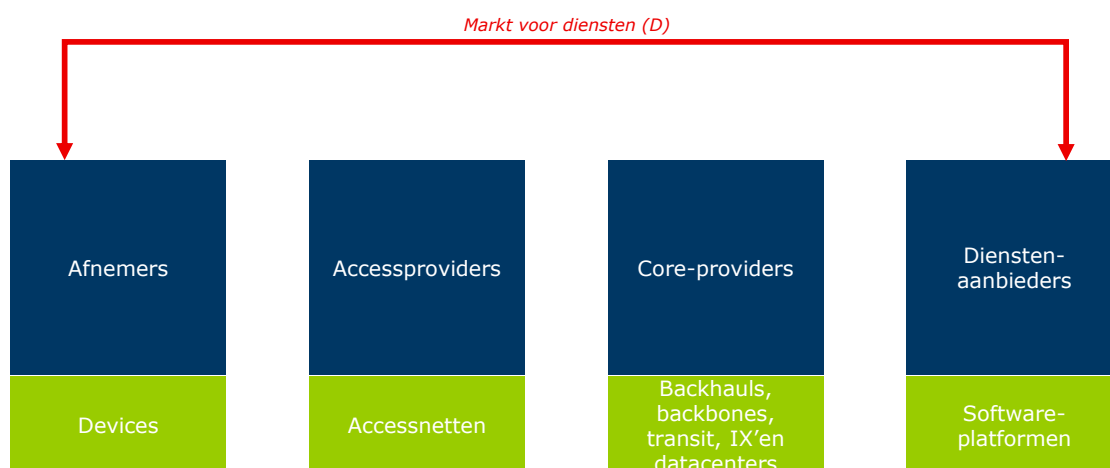
- De breedte wordt geadresseerd door een analyse van de generieke vraag en aanbod. Doordat hierin een groot aantal ontwikkelingen en factoren samenkomen is hiervoor een deels kwantitatieve analyse mogelijk, op basis van zorgvuldige extrapolaties voor de middellange en lange termijn.
- De diepte in de analyse wordt aangebracht door in te zoomen op vijf sectoren die in overleg met het Ministerie van Economische Zaken zijn vastgesteld: landbouw, energie, mobiliteit, onderwijs en zorg. Ieder van deze sectoren introduceert een substantiële breedte die we benutten voor het verder voeden van de analyse van de generieke vraag en aanbod. De belangrijkste meerwaarde van de sectoranalyses komt echter uit het uitdiepen van een specifieke case die hoge eisen stelt aan de digitale connectiviteit. Waar mogelijk gebruiken we de analyse van de case voor het aanwijzen van verschillen tussen de middellange en lange termijn.
- Voor wat betreft de toepassingen ligt de nadruk op nieuwe toepassingen. De uitdaging daarbij is dat veel toepassingen nu nog niet bekend zijn. Dit ondervangen we door ze gebundeld adresseren in de ontwikkeling van de generieke vraag. In de sectorstudies kunnen we een aantal nog niet bestaande toepassingen wel analyseren. Op een aantal bekende bestaande toepassingen, zoals omroep TV en telefonie, gaan we in onze analyse niet specifiek in omdat ze onder de generieke vraag en aanbod vallen.

De onderzoeksvraag van het Ministerie is gericht op het identificeren van knelpunten in vraag en aanbod van digitale connectiviteit. De rol van de overheid bij het oplossen van knelpunten en de daarvoor in aanmerking komende beleidsalternatieven vallen buiten deze onderzoeksvraag. Hetzelfde geldt voor de rol van wetgeving en mogelijke beperkingen hiervan.

3 Markt voor diensten

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk⁶ gaan we in op de overkoepelende markt voor digitale diensten. Hieronder verstaan we in deze context allerlei mogelijke digitale toepassingen/applicaties die als dienst worden aangeboden en afgenomen. Enerzijds zijn er dus aanbieders van diensten die zich binnen of buiten Nederland kunnen bevinden en via Internet bereikbaar zijn. Anderzijds hebben we afnemers die met geschikte toestellen (devices) zoals een PC, tablet of smartphone zijn verbonden met het Internet en de aangeboden diensten kunnen afnemen.



Figuur 4. Deelmarkten: markt voor diensten

Het doel van het hoofdstuk is om inzichtelijk te maken wat er op het gebied van digitale diensten voor burgers en organisaties speelt en hoe zich dit waarschijnlijk in de toekomst op hoofdlijnen ontwikkelt. De markt voor digitale diensten is er uiteraard bij de gratie van digitale connectiviteit tussen aanbieders en afnemers. Het gebruik van diensten door consumenten en organisaties als afnemers vertaalt zich namelijk in een end-to-end connectiviteitsbehoefte tussen hen en de aanbieders van de diensten. Dit hoofdstuk geeft een indruk wat er in de toekomst wordt gevraagd van de netwerken die deze connectiviteit faciliteren.

In dit hoofdstuk wordt eerst het consumentensegment belicht met een oriëntatie op de vraagzijde. Daarna volgt een vergelijkbare verhandeling voor het zakelijke segment. Ontwikkelingen aan de aanbodzijde die vooral een *enabling* karakter hebben worden voor het consumenten- en zakelijke segment gecombineerd besproken door de gemeenschappelijkheid van de items. Daarna worden voor beide segmenten de geconstateerde mismatches aangegeven. Het hoofdstuk eindigt met een conclusie.

⁶ De structuur van dit hoofdstuk is globaal vergelijkbaar met die in latere hoofdstukken, maar wijkt op specifieke punten af. Met name is hier geen uiteenzetting opgenomen van knelpunten en daarvoor verklarende factoren op het niveau van diensten.

3.2 Trends

Aanbod en adoptie van digitale diensten door burgers en bedrijven is niet een op zichzelf staand proces. Het houdt nauw verband met diverse maatschappelijke ontwikkelingen, inclusief de adoptie van ICT zelf. Hierna benoemen we een aantal belangrijke maatschappelijke ontwikkelingen.

3.2.1 Vergrijzing

Nagenoeg de hele westerse wereld ervaart de effecten van vergrijzing. Nederland heeft in vergelijking met veel andere Europese landen een relatief hoog geboortecijfer⁷, maar ontkomt niet aan deze effecten. De generatie van de babyboomers is een anomalie in onze bevolkingspiramide en deze generatie is nu niet meer groen maar grijs. Naast het feit dat er steeds meer ouderen bijkomen, worden deze ook steeds ouder. Er is dus sprake van een dubbel effect. Deze effecten leiden ertoe dat het aandeel werkenden in de samenleving steeds lager wordt. Ook zal het zorgen van een groei van de uitgaven aan de zorg. Rond 2020 zal in Nederland voor het eerst het aantal 65-plussers groter zijn dan het aantal jongeren onder de twintig⁸.

3.2.2 Verstedelijking

Wereldwijd is er sprake van een trek naar de steden en dit effect speelt ook in Nederland. Uit onderzoek komt naar voren dat de groei van het aantal inwoners in Nederland volledig op het conto komt van steden⁹. Sterker nog: de groei van de steden compenseert de krimp in de perifere gebieden ruimschoots. Dit stelt ons voor een dubbel probleem: krimp in één regio en groei in een andere regio. Ook andere verschillen in regio's zullen groter worden: De stad relatief hoogopgeleid en jong, de perifere gebieden niet¹⁰. Toch zullen ook in de perifere gebieden van (ICT-)voorzieningen op peil moeten blijven om deze agglomeratie-effecten enigszins te dempen.

Het bovenstaande heeft ook een relatie met de veranderende samenstelling van huishoudens. Tot 2025 zal het aantal huishoudens per jaar groeien met circa 50.000 per jaar¹¹. Een klein deel van de groei komt voort uit bevolkingsgroei, een groter deel uit het feit de huishoudens steeds kleiner worden. Vooral alleenwonende ouderen zullen in aantal toenemen¹². Dit betekent onder meer dat er steeds meer huishoudens komen die digitale connectiviteit nodig hebben.

3.2.3 Flexibele arbeidsmarkt

In de periode 2005-2015 is de vraag naar flexibiliteit op de arbeidsmarkt sterk toegenomen: Een derde van de beroepsbevolking heeft een flexibel dienstverband of werkt als ZZP-er¹³. Dit ligt tien procentpunt hoger dan in 2005. De verwachting is dat het komende jaar de

⁷ Bron: [\[cbs.nl\]](https://www.cbs.nl)

⁸ Bron: [\[vng.nl\]](https://www.vng.nl)

⁹ Bron: [\[pbl.nl\]](https://www.pbl.nl)

¹⁰ Bron: [\[cbs.nl\]](https://www.cbs.nl)

¹¹ Bron: [\[cbs.nl\]](https://www.cbs.nl)

¹² Bron: [\[nrc.nl\]](https://www.nrc.nl)

¹³ Bron: [\[fd.nl\]](https://www.fed.nl)

flexibilisering van de economie doorzet¹⁴, al is hier geen volledige consensus over¹⁵. Overigens slaat deze flexibilisering vooral neer bij laagopgeleiden en jongeren¹⁶. Deze ontwikkeling heeft vooral een impact op de zakelijke afnemers van digitale connectiviteit.

3.2.4 *Onzekerheid over economische groei*

De gemiddelde economische groei na de Tweede Wereldoorlog in de Westerse wereld ligt gemiddeld in de orde grootte van drie procent per jaar¹⁷. Echter, sinds de kredietcrisis in 2008 is de groei gemiddeld lager en is er sprake van een hoge mate van volatiliteit. Hoewel de perceptie is dat Nederland het op dit moment economisch goed doet, ligt de groei in 2016 en 2017 rond twee procent per jaar¹⁸. Er zijn verschillende factoren die de groei in de toekomst kunnen remmen: zoals de Brexit, de zwakke financiële situatie in Zuid-Europa en de vertraging van de wereldeconomie¹⁹. De economische effecten van de verkiezing van Donald Trump in de VS voor Europa en voor Nederland zijn nog niet goed te voorspellen. De mate van economische groei heeft een impact op het niveau van investeringen door aanbieders van digitale connectiviteit.

3.2.5 *Duurzaamheid*

Een van de grote thema's van dit tijdsgewricht is duurzaamheid. Er is steeds meer besef in de politiek en maatschappij dat de eerder door het Westen ingeslagen weg een doodlopende is. Om ons huidige welvaarts- en welzijnsniveau duurzaam te handhaven moeten we andere manieren van productie, mobiliteit, energie en wonen bedenken. Bij het maken van de beslissingen -zowel in de publieke als private sector- wordt de duurzaamheidscomponent steeds vaker meegenomen. De vraag naar meer duurzaamheid slaat zowel neer aan de vraag- als aanbodzijde van digitale connectiviteit: Aan de ene kant kan digitale connectiviteit helpen om sectoren meer duurzaam te maken; aan de andere kant is digitale connectiviteit zelf een flinke verbruiker van energie en is ook hier aan transitie nodig.

3.2.6 *Rol van ICT in samenleving en economie*

ICT neemt niet alleen steeds belangrijkere rol in binnen onze samenleving. Het aanbod van digitale diensten is omvangrijk, pluriform maar ook dynamisch. Voorbeelden daarvan zijn de razendsnelle populariteit van Pokemon-Go, de trage adoptie van domoticadiensten en de niet voorziene neergang van platformen als Hyves en Twitter. Diensten en toepassingen ontwikkelen zich in een rap tempo; de drempel om een digitale dienst aan te bieden is laag. Die laagdrempeligheid van de ontwikkeling en introductie van digitale diensten maakt ook dat ze heel gemakkelijk kunnen aansluiten bij maatschappelijke trends (zoals vergrijzing) en technologische trends (cloud, big data, iot). Er lijkt ook sprake te zijn van een versnellings-effect. De vernieuwingscycli van producten en diensten worden steeds korter, daarbij geholpen door ontwikkelingen in de ICT zelf die de snelheid van innovatie doen toenemen. Zodoende zien we dat er een constant proces van creatieve destructie gaande is, waarbij de digitale economie in termen van banen en omzet gelijk komt te liggen (of groter is) dan

¹⁴ Bron: [\[pwdegids.nl\]](http://pwdegids.nl)

¹⁵ Bron: [\[cpb.nl\]](http://cpb.nl)

¹⁶ Bron: [\[cpb.nl\]](http://cpb.nl)

¹⁷ Bron: Maddison, A. (2006): *The World Economy*, Volumes 1-2, OECD Publishing.

¹⁸ Bron: [\[cpb.nl\]](http://cpb.nl)

¹⁹ Bron: [\[cpb.nl\]](http://cpb.nl)

traditionele sectoren.²⁰ We zien met name een flinke aanwas van nieuwe 'digital only' bedrijven. In lijn hiermee observeren we dat ook in bestaande bedrijven bij applicatieontwikkeling het paradigma *digital first* snel plaats maakt voor *digital only*. Er wordt dus eenvoudigweg verondersteld dat gebruikers in de gelegenheid zijn digitale diensten en toepassingen 'anytime anywhere' te benutten en de bereidheid om ook een fysieke verschijningsvorm beschikbaar te stellen verdwijnt naar de achtergrond. De overheid gaat daar in haar dienstverlening richting burgers ook in mee²¹. Kenmerkend voor de markt voor digitale diensten is het 'winner takes it all' principe. Dit is het gevolg van sterke netwerkeffecten, waarbij de waarde van de dienst sterk toeneemt naar mate het aantal gebruikers toeneemt. Daarbij zorgen 'all you can eat' diensten voor een sterke klantbinding, zelfs wanneer favoriete content niet beschikbaar is. We merken hierbij overigens wel op, dat deze diensten een sterk internationaal karakter hebben en doorgaans buiten Nederland zijn ontwikkeld, namelijk in de VS en meer specifiek in Silicon Valley.

3.3 Digitale diensten in het consumentensegment

3.3.1 Actuele vraag

Dé consument bestaat uiteraard niet want ieder individu is uniek in velerlei opzichten. Als men een populatie van bijna 17 miljoen consumenten tracht in te delen in groepen dan zijn die vaak zeer onvergelijkbaar wat betreft behoeften, nu en later, aan digitale diensten. De student informatica aan de TU heeft een heel andere behoefte dan zijn beide ouders en van hen is die weer geheel anders dan van zijn hoogbejaarde oma die zich in een verzorgingstehuis bevindt. Behalve leeftijd zijn ook verschillen in maatschappelijke posities, rolpatronen en sociale netwerken van belang. Deze onvergelijkbaarheid manifesteert zich bijvoorbeeld in de afname van een Internetverbinding: de top 2% van de afnemers is verantwoordelijk voor 45% van het upstreamverkeer en de laagste 20% is verantwoordelijk voor 1% van de upstream²².

De vraag van consumenten heeft een latent karakter. Afnemers kunnen lastig inschatten of zij interesse hebben in diensten die voor hen onbekend zijn. In 1998 vroeg Frans Bromet aan voorbijgangers op straat in Amsterdam of zij een mobiele telefoon wilden.²³ Enkele reacties: "Ik word toch niet gebeld. Ik wil niet overal bereikbaar zijn. Ik zie het nut er niet van in. Ik heb al een antwoordapparaat. Ik zie het niet zo zitten. Ik heb een buzzertje voor hoognodige problemen. Ik ben ook gelukkig zonder." Circa tien jaar later waren er meer abonnementen op mobiele telefonie dan er Nederlanders waren²⁴. Echt kunnen inschatten wat de vraag naar digitale diensten dan ook is, is dan ook notoir lastig, zeker voor personen die niet goed in de sector zijn ingewijd.

Kijkend naar de huidige adoptie en adoptiesnelheid van digitale diensten door consumenten zijn een aantal ontwikkelingen ook voor de komende jaren door te trekken:

- *Digitale entertainment* vooral in de vorm van video, gaming en audio, zowel thuis als ook onderweg is zeer populair en de adoptie neemt ook verder toe. Er is sprake

²⁰ Bron: Deloitte (2016) Dutch Digital Infrastructure 2016 – Enabling the digital economy and society. Beschikbaar via: [\[dinl.nl\]](http://dinl.nl)

²¹ Bron: [\[economischetrends.nl\]](http://economischetrends.nl)

²² Bron: [\[dialogic.nl\]](http://dialogic.nl)

²³ Zie [\[youtube.com\]](http://youtube.com). Overigens zijn fragmenten hieruit in 2013 door KPN gebruikt in een reclame voor 4G.

²⁴ Bron: [\[rijksoverheid.nl\]](http://rijksoverheid.nl).

van een toenemende mate van individualisering van die behoeften. Gemiddeld spendeert de Nederlander 185 min per dag aan het kijken van videocontent, waarvan een steeds groter deel via IPTV in de woonkamer, op de tablet of op de smartphone.

- Voor *sociale netwerk diensten* geldt eveneens een zeer hoge adoptie onder steeds meer leeftijdscategorieën. De adoptie is hard op weg naar de 100% en op dat niveau zal het blijven. Daarbij neemt de uitwisseling van eigen content een belangrijke plaats in (prosumer gedrag). In 2016 gebruiken al 9 van de 10 personen social media. Opmerkelijk daarbij is dat ouderen een inhaalslag maken.
- *Browsen* op het publieke Internet is een niet meer weg te denken dienst. Het publieke Internet is verworden tot een immens groot, pluriform en actuele informatieruimte dat iedereen uitnodigt om te raadplegen. Gemiddeld zijn wij 70 minuten per dag bezig met deze activiteit.
- *Digitaal winkelen* groeit sterk in populariteit, zelfs zodanig dat het een belangrijke oorzaak is van de huidige malaise in de fysieke detailhandel in Nederland. De groei in de omzet van webwinkels bedroeg in 2016 over drie kwartalen rond de 25%. Die van winkels die fysieke verkopen en webverkopen combineren bedroeg over diezelfde periode tegen de 20%²⁵.
- *Digitaal zaken afhandelen*. Er is sprake van een gestaag groeiende adoptie van digitaal afrekenen, bankieren, contracteren, inchecken, dossierinzages etc; diverse activiteiten die door aanbieders worden gefaciliteerd of zelfs gestimuleerd en die door consumenten worden overgenomen. Deze adoptie gaat t.o.v. de andere diensten gestaag in verband met privacybezwaren en beveiligingsrisico's.
- *Digitaal werken*. De flexibilisering van de arbeidsmarkt en de veranderende inzichten in de balans tussen werk en privé maakt dat het voor consumenten met een baan belangrijk om binnen de privéomgeving ook digitale werk gerelateerde activiteiten te kunnen doen. Hier ligt een duidelijke relatie met ontwikkelingen in het zakelijk segment waar we later op in gaan.
- *Domoticadiensten* in de woonomgeving slaan gestaag aan. Domotica heeft reeds een lange geschiedenis maar heeft geen echte doorbraken gekend. Wat we wel zien is de groei van bepaalde toepassingen vanuit specifieke motivatiefactoren. Voorbeelden daarvan zijn diensten en toepassingen die de consument helpen in energiebesparing en vergroting van de veiligheid, in en rondom de woning. Domotica gaat ook een belangrijkere rol krijgen in het faciliteren van ouderen die langer thuis zullen blijven wonen (zie ook de sectorstudie over zorg). Belangrijke enablers hier zijn connectiviteit van de woning naar en mobiele connectiviteit van haar individuele bewoners.

Vooral door het feit dat vrijwel iedereen in Nederland van ca. 5 jaar en ouder de beschikking heeft over een smartphone (80% van de bevolking) en/of tablet (65%) is men gewend geraakt aan de toegankelijkheid tot en de benutting van online digitale toepassingen. Met portable devices heeft men veel van die toepassingen letterlijk binnen handbereik. Er is daarbij sprake van een grote mate van compatibiliteit tussen toepassingen die men thuis kan aanspreken en die ook door de genoemde devices worden ondersteund. Deze beleving van 'alom aanwezig' wordt versterkt door vast-mobiel proposities van operators/service providers waardoor de dienstverlening thuis naadloos overgaat naar buitenshuis en vice versa²⁶. Op een zeker moment is een gebruiker zich niet meer bewust van de wijze waarop hij connected is, en dat interesseert hem ook steeds minder. Het gaat immers om de toepassing.

²⁵ Bron: [\[statline.cbs.nl\]](http://statline.cbs.nl)

²⁶ Fixed-Mobile proposities van operators

Het effect van deze ontwikkeling is dat maatschappelijke en economische processen ook ingesteld raken op permanente toegang tot digitale diensten. Men verwacht steeds meer van de ander dat hij/zij connected is. In *social media* toepassingen is dat effect zeer prominent aanwezig. Ergo, de maatschappelijke tolerantie van situaties waarin om welke reden dan ook ongewild sprake is van geen of gebrekkige toegang, neemt af. De recentelijk weer in de publiciteit gekomen klachten over gebrek aan mobiel Internet in het buitengebied moeten tegen die achtergrond worden gezien. Aldus wordt in het consumentendomein het best effort karakter nog wel geaccepteerd, maar we zien door de groeiende afhankelijkheid van essentiële digitale diensten het belang van betrouwbaarheid van dienstverlening toenemen.

Naast toegankelijkheid en beschikbaarheid van de dienst speelt ook kwaliteit van de beleving (*Quality of Experience*) een rol. QoE omvat diverse deelaspecten en elke individuele dienst heeft in dat opzicht een eigen profiel. Een belangrijke factor in de kwaliteitsbeleving is het type toestel waarop de dienst termineert. Zo zijn de technische mogelijkheden van een spelcomputer niet vergelijkbaar met dat van een (high end) smart phone. Veel applicaties worden tegenwoordig voor meerdere typen devices geschikt gemaakt, waarbij de applicatie is afgestemd op de specificaties van diverse typen toestellen, inclusief de connectiviteit die door het toestel typisch kan worden ondersteund.

Eisen vanuit diensten aan end-to-end connectiviteit, dat een grote rol speelt in de kwaliteitsbeleving, zijn dus onderling verschillend. In onderstaande tabel is een indicatie gegeven van de eisen die individuele diensten stellen aan end-to-end connectiviteit. Per applicatie is weer gegeven:

- *Interactie*: Wordt de applicatie al dan niet gekenmerkt door tijdgevoelige interacties? (voorgond resp. achtergrond)
- *Datacontinuïteit*: Is er sprake van een noodzakelijke continue stroom (stream) van data (streaming), is tussentijdse buffering toegestaan of is sprake van bulk transmissie?
- *Urgentie*: In hoeverre is de data(uitwisseling) urgent voor de applicatie? Bij media content is de vraag relevant of de content live(lineair) is, of niet.

En bovendien indicaties van instantane bandbreedte (Mbit/s), maximale latency en gevoeligheid voor verlies van data. Voor de tabel als geheel geldt dat de waarden indicatief zijn en aansluiten bij de actualiteit (dus geen toekomstige bandbreedte groei verdisconteerd). De tabel laat een duidelijke differentiatie zijn wat betreft eisen van individuele diensten aan end-to-end connectiviteit. Wanneer aan die eisen niet kunnen worden voldaan ontstaat het risico dat de kwaliteit van de dienstbeleving door de gebruiker (sterk) afneemt.

Tabel 3 Overzicht van applicaties en kenmerken relevant voor connectiviteit²⁷

Applicatie	Interactie	Data Continuïteit	Urgentie	Typisch benodigde bandbreedte (Mbit/s)	Typische maximale latency	Impact dataverlies
Telefonie (VoIP)	Voorgrond	Streaming	Real-time	0,15	< 50ms	Hoog
Video-telefonie	Voorgrond	Streaming	Real-time	0,5-2	<50ms	Hoog
Webbrowsen	Voorgrond	Streaming	Real-time	1-10	<1s	Laag
Web-Audio streaming	Voorgrond	Streaming	Real-time (na start). Webradio kan ook lineair zijn.	0,1-1,5	Tolerant	Hoog
Web-Video streaming	Voorgrond	Streaming	Real-time (na start). Web TV ook lineair	0,5-4	Tolerant	Hoog
Gaming	Voorgrond	Streaming	Real-time	0,25-4	<100ms	Hoog
Live IPTV	Voorgrond	Streaming	Lineair, real-time (bij start)	4-10	<2s	Gemiddeld
Video on demand	Voorgrond	Buffered	Non-lineair, real-time (bij start)	4-10	<2s	Laag
File transfer (data)	Achtergrond	Bulk	Non-lineair	1-20	<2s	Laag
File transfer (films)	Achtergrond	Bulk	Non-lineair	10-100	<2s	Laag
E-mail & messaging	Achtergrond	Bulk	Non-lineair	< 0,5	tolerant	Zeer laag
Remote Desktop	Voorgrond	Streaming	Real-time	1-10	<20ms	Hoog

3.3.2 Vraag op termijn

Zoals eerder opgemerkt is de toekomstige vraag van de consument zeker op wat langere termijn zeer moeilijk in te schatten en wel om twee redenen. Ten eerste is zoals eerder al opgemerkt het voor mensen moeilijk hun behoefte of hun acceptatie uit te spreken over iets dat ze nu nog niet kennen (vraag volgt het aanbod). Ten tweede zijn nieuwe toepassingen die het gaan maken het netto resultaat van een breed en intensief proces van digitale creativiteit en innovatie, en van vallen en opstaan. Dus per definitie niet voorspelbaar. Nieuwe toepassingen die inspelen op vergroting van vermaak, gemak, efficiëntie in tijdsbesteding en veiligheid en die tevens betaalbaar zijn zullen hun weg blijven vinden richting de consument.

²⁷ Bron: diverse publicaties en eigen expertinzicht

Als we met een schuin oog kijken naar belangrijke innovaties aan de aanbodzijde (zie daarvoor paragraaf 3.5) en we verplaatsen ons naar het jaar 2025 dan zouden we het volgende kunnen aantreffen:

- Elk fysiek subject, object of functionaliteit zal een virtuele representatie hebben. Er heeft zich dus als het ware een gehele virtuele wereld (cyberspace) rondom de fysieke wereld genesteld en die samen één geheel gaan vormen.
- Ieder persoon heeft een scala aan elektronische *embedded* functionaliteiten in zijn huiselijke en persoonlijke omgeving (tot op en in het lichaam) die intelligent en flexibel gedrag zullen vertonen, dat wil zeggen dat ze gevoelig zijn voor context en persoonlijke voorkeuren en dat ze hun functionaliteit kunnen aanpassen aan wat op dat moment nodig of gewenst is. Veel van deze functionaliteiten zullen draadloos zijn en alom aanwezig, mede mogelijk gemaakt door printed electronics en draadloze energieoverdracht. Het instrueren van of onderhandelen met deze systemen door de gebruiker zal in volledig natuurlijke taal of met een aanraking geschieden.
- Men kan zichzelf en/of zijn directe leefomgeving (een kamer in de woning) in een volledig andere virtuele omgeving plaatsen. Diverse wanden in de woning zijn volledig elektronisch en kunnen ieder gewenst beeld genereren op basis van persoonlijke of huiselijke voorkeuren, statisch of dynamisch. Individuele personen kunnen met geavanceerde optische hulpmiddelen voor zichzelf een virtuele wereld oproepen die hij passief of actief kan beleven. De huidige VR-technologie zal zijn vervolmaakt en de contentindustrie heeft zich daar ook op ingesteld.
- Telepresence technologie is verder ontwikkeld en ook betaalbaar geworden voor de consument. Met hologram- en haptische technologie kunnen mensen volledig gevirtualiseerde ontmoetingen hebben.
- AR-technologie maakt het in woningen mogelijk om artificiële beelden toe te voegen aan ramen en spiegels. Ook auto's krijgen deze mogelijkheden. Individuele personen kunnen augmented reality benutten door middel van speciale contactlenzen en/of oordopjes.

In dit geschetste beeld is digitale connectiviteit van een voldoende kwaliteitsniveau een essentiële randvoorwaarde. Dit betreft zowel connectiviteit binnen de woning als ook de koppeling van de woning en van personen met externe services in de publieke cloud. Specifieke kwantificering van toekomstige connectiviteitseisen is niet mogelijk omdat veel zal worden bepaald door technologische ontwikkelingen en implementatiekeuzes. Men mag er van uitgaan dat bandbreedtes van individuele media gerelateerde toepassingen en diensten zullen toenemen en dat voor specifieke diensten en toepassingen waarin ook (slimme) systemen onderling gaan interacteren, latency toleranties minder worden. Het grote belang van beschikbaarheid en betrouwbaarheid van digitale connectiviteit in dit scenario vergt geen nadere toelichting.

3.3.3 *Groeiprognoses data voor consumentensegment*

Het is de verwachting dat de vraag naar digitale diensten de komende tien jaar sterk zal toenemen, zowel wat betreft de breedte van het portfolio, de intensiteit van het gebruik per persoon en wat betreft de adoptiegraad binnen de gehele populatie. Dit komt door de toenemende aantrekkelijkheid van de geboden functionaliteiten, de betaalbaarheid, de wet van *Metcalfe*²⁸ en door demografische effecten. De populatie in Nederland zal de komende jaren verder groeien, waarvan ook een steeds aanzienlijker deel zal zijn opgegroeid met ICT en

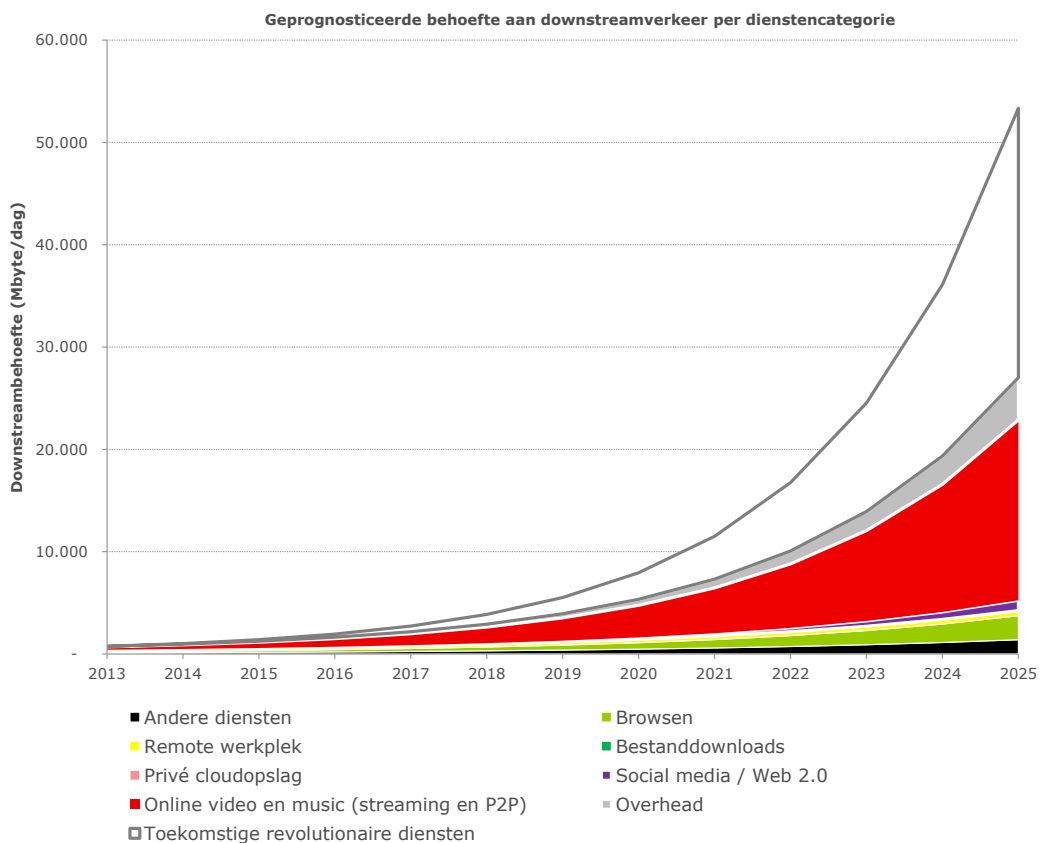
²⁸ De Wet van Metcalfe luidt dat de waarde van een netwerk kwadratisch stijgt met het aantal aangesloten apparaten.

zeer hoge digivaardigheden kent. Aan de andere kant neemt op natuurlijke wijze het aantal mensen met weinig affectie met ICT juist af. Een indicator van de toenemende vraag naar digitale diensten is de grotere waarde die consumenten eraan hechten (of wellicht: de grotere waarden die de diensten hebben). Dit komt naar voren uit het feit dat betalen voor online diensten steeds vaker voorkomt. Het aantal betalende afnemers van Netflix groeide van 350.000 (in 2014) naar 1.300.000 (in 2016).²⁹ Spotify heeft in 2016 in Nederland 5 miljoen gebruikers³⁰, waarvan een substantieel deel betaalt voor deze dienst³¹.

Op basis van ervaringen in het verleden zijn er inschattingen gemaakt van de diensten die consumenten in de toekomst gaan afnemen en van de impact op de verkeersvraag. We bespreken achtereenvolgens de downstream en de upstream. Uiteraard zijn de getoonde predicties illustratief en kennen ze een zeker betrouwbaarheidsinterval.

Databehoefte in de downstream-richting

De onderstaande afbeelding geeft inzicht in de verwachte groei van het downstreamverkeer en van de samenstelling daarvan.



Figuur 5. Ontwikkeling van gebruik van diensten en de impact op databehoefte (downstream)³²

²⁹ Bron: providers.nl

³⁰ Bron: muziekstreamen.com

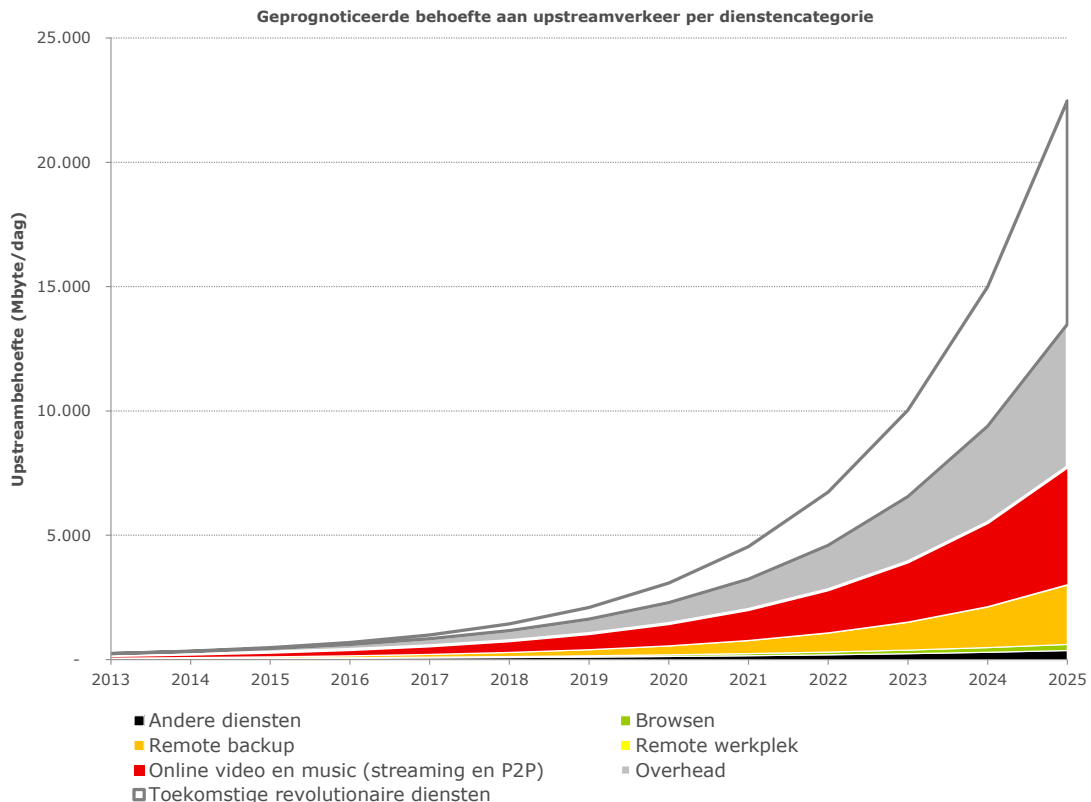
³¹ Bron: telecompaper.com

³² Bron: Dialogic & TU/e (2014). *Fast forward: how the speed of the internet will develop between now and 2020*; en Dialogic & TU/e (2016). *Beyond fast: how the speed of the internet will develop between now and 2022*. Het laatstgenoemde onderzoek betreft een herhaling van het eerste, op basis van dezelfde methodologie, en nieuwe data.

Uit de bovenstaande grafiek komt naar voren dat consumenten vooral meer gebruik zullen gaan maken van online media, zowel muziek als video (zie het rode vlak). Het is bekend dat media-gerelateerde diensten en toepassingen het grootste beslag leggen op netwerkvoorzieningen. Het vormt dus een dominant bestanddeel in de generieke vraag en het effect daarvan op de ontwikkeling van het aanbod moet niet worden onderschat.

Databehoefte in de upstream-richting

De onderstaande grafiek geeft inzicht in de verwachte groei van het upstream-verkeer en van de samenstelling daarvan.



Figuur 6. Ontwikkeling van gebruik van diensten en de impact op databehoefte (upstream)³³

Het portfolio van diensten waarvoor de upstream richting van belang is, bevat geen dominante component maar laat wel een groeifactor zien die groter is dan voor de downstream. De sterkere groei in upstream verkeer (met wederom een sterke mediacomponent) laat zich verklaren uit het sterker wordende pro-sumer gedrag van gebruikers en een toenemend gebruik om eigen content in de cloud op te slaan. De eindgebruiker is zelf steeds vaker producent van media, hetzij met eigen filmpjes (live en on-demand) hetzij door bijdrage aan media van derden (Live reporters voor NU.nl). In het algemeen zal de populariteit van het opslaan van bestanden in de cloud voor back-up doeleinden toenemen. De vraag naar bandbreedte is dus niet alleen in de downstream richting, ook de upstream richting is van belang.

Opmerkingen

Bij bovenstaande grafieken plaatsen we de volgende aanvullende opmerkingen:

³³ Bron: Idem

- De grafieken geven de groei van de behoefte aan data weer en geven nog geen inzicht in de groei van de totale instantane bandbreedtebehoefte. In de bespreking van access netwerken komen we daar op terug.
- De databehoeftte vanuit media neemt niet alleen gestaag toe door grotere schermen die hogere resolutie content vereisen, maar juist ook doordat iedereen zijn eigen content kijkt. Het dataverbruik van video neemt daardoor exponentieel toe, het is nu al 70% van het Internetverkeer en groeiende, en daarin is reguliere, lineaire TV dus niet meegenomen.
- De categorie *future revolutionary services* betreft nog niet bestaande en dus onbekende toepassingen waarvan wel zeker is op grond van de praktijk tot nu toe dat die ingevuld zullen gaan worden. Hun individuele invloed op de mix is onbekend, maar het is statistisch te verdedigen om een groeifactor te zetten op de aggregatie van dergelijke diensten.

3.3.4 *Samenvatting*

In het consumentensegment is sprake van adoptie van een breed scala van digitale diensten door individuele personen en huishoudens. De adoptie is van een dusdanig niveau dat men kan spreken van een sterk toegenomen afhankelijkheid van deze diensten in het dagelijkse leven van consumenten. Gekoppeld aan het brede scala aan diensten is ook sprake van een gedifferentieerd beeld van eisen van individuele diensten aan de end-to-end connectiviteit, zowel qua bandbreedte en continuïteit daarin, latency als ook de kwaliteit van de verbinding. Mediatoeepassingen maken deel uit van dit scala, waarvoor vaak specifieke connectiviteitseisen gelden en die een groot beslag leggen op netwerk-capaciteit.

De vraag van consumenten is latent en volgt in het algemeen het aanbod. De komende jaren zal sprake zijn van een toenemende vraag door een verder toenemende maatschappelijke adoptie van digitale diensten, door continue vernieuwing van bestaande diensten en door een toenemend aanbod van nieuwe diensten en toepassingen. Vernieuwing in diensten wordt sterk gestimuleerd door belangrijke technologische ontwikkelingen. Er zijn wel factoren te identificeren die de vraag (adoptie) negatief beïnvloeden. Die zullen we later in dit hoofdstuk aan de orde stellen maar betreffen wel factoren die met de jaren in relevantie zullen afnemen.

Als gevolg van de geschetste positieve ontwikkeling in digitale diensten zal de databehoeftte van personen en huishoudens de komende jaren sterk stijgen, zowel in downstream- als in upstream richting. Media gerelateerde diensten en toepassingen blijven zeer waarschijnlijk een dominante rol innemen.

3.4 **Digitale diensten in het zakelijke segment**

De heterogeniteit van het zakelijke segment, dat zowel profit als non-profit organisaties omvat, is nog veel groter dan van het consumentensegment door de zeer uiteenlopende kenmerken van organisaties en hun activiteiten. In lijn met de intenties van dit deel van het rapport vestigen we daarom de aandacht op een aantal belangrijke ontwikkelingen wat betreft de adoptie van IT in organisaties en belichten we kort een tweetal voor Nederland belangrijke sectoren namelijk financiële dienstverlening en de maakindustrie. Verder verwijzen we uiteraard naar de sectorstudies in de navolgende hoofdstukken waarvoor een aantal specifieke domeinen nader is onderzocht.

3.4.1 *Actuele vraag*

Voor Nederlandse bedrijven waarvan er veel acteren in een internationale concurrerende markt, zijn gezonde groei in toegevoegde waarde en marktaandeel van groot belang voor

de continuïteit. Dit kan worden bereikt via (technologische) innovaties in producten en diensten en door verbeteringen in efficiency. Een belangrijke trend van de laatste jaren is digitalisering. De invloed van digitalisering op bedrijven is dubbel en is substantieel. Aan de ene kant is door digitalisering de marktdynamiek sterk aan het veranderen. Bedrijven worden uitgedaagd om zo flexibel mogelijk in te spelen op veranderingen in marktomstandigheden die zich ten gevolge van digitalisering steeds sneller voltrekken en kansen waarop sneller moet worden geacteerd. Markten waar digitalisering een sterke invloed op uitoefent gedragen zich anders dan conventionele markten door het disruptieve karakter van innovaties, het genetwerkte karakter van businessmodellen en het 'winner takes it all' effect. Anderzijds bieden digitalisering en daarop gebaseerde innovaties op dat terrein mogelijkheden aan individuele bedrijven om hun verdienmodel te verbeteren of te vernieuwen. Digitalisering is een belangrijk middel om bedrijfsactiviteiten efficiënter en slimmer uit te voeren. Sectoren die hier niet of in onvoldoende mate in meedoen komen in snel tempo onder druk te staan, zoals bijvoorbeeld kan worden waargenomen in de detailhandel. Overigens niet alleen in de markt, maar ook in de publieke sector met non-profit en not-for-profit organisaties heeft men te maken met druk om met minder middelen meer slagkracht te bereiken en meer flexibiliteit aan de dag te leggen. Zo werken gemeenten in Nederland, maar ook de Politie en de Belastingdienst aan digitalisering.

We gaan hierna in op een belangrijke ontwikkeling in operationele IT die de komende jaren verder zijn beslag zal krijgen en relevant is voor de vraag naar digitale connectiviteit. Daarna bespreken we in paragraaf 3.4.2 trends die, zeker op termijn, business modellen van veel bedrijven sterk zullen gaan beïnvloeden en eveneens van invloed zijn op de connectiviteitsvraag.

Voor bedrijven zijn diverse ondersteunende IT-producten en diensten beschikbaar waarmee efficiencywinst kan worden bereikt. Denk aan ERP, CRM, e-procurement, e-logistics, e-warehousing, etc. Bestaande bedrijven hebben echter nog vaak te maken met wildgroei in legacy software die nog draaiend wordt gehouden (niet zelden omdat er intern of extern nog vraag naar is). Organisaties zijn echter niet langer bereid veel meer kosten te maken voor het beheer van een portfolio aan verschillende toepassingen. Men wil saneren en het liefst terug naar een compacte set van applicaties en naar uniformering van processen. Behalve vereenvoudigingen in het portfolio gaan organisaties hun IT steeds meer buiten de deur plaatsen en intensiever gebruik maken van extern aangeboden *cloud services*³⁴. Drijfveren voor cloudificatie zijn momenteel primair besparing op IT-kosten en verhoging van de beschikbaarheid en betrouwbaarheid. Cloud services komen er eenvoudig gezegd simpelweg op neer dat applicaties, middleware of zelfs infrastructuur die voorheen in eigen beheer werden genomen, steeds meer als een service wordt afgenomen. Hoewel de term 'cloud' ook kan slaan op het Intranet van een organisatie, wordt in de communicatie erover vaak gedoeld op publieke cloud services.

De cloudificatie leidt er ook toe dat zakelijke toepassingen ook makkelijker toegankelijk worden voor gebruikers die zijn buiten de vestiging bevinden, dus onderweg of op een andere locatie. Via een connected tablet of smartphone kan men na autorisatie zich toegang verschaffen tot bedrijfsbestanden en applicaties, met speciaal daarvoor ontwikkelde apps die zijn afgestemd op mobiel gebruik. Daarnaast is er voor professionals een groeiend aanbod van zakelijke apps uit de publieke cloud. Cloudtechnologie vereenvoudigt het beheer over geïnstalleerde apps op zakelijke telefoons omdat mobiele devices functioneren als verlengstuk van de private cloud.

³⁴ Zie ook paragraaf 3.5.4.

In 2013 bleek dat nog 70% van de bedrijven de overstap naar buiten (managed private of public cloud) nog niet hebben gemaakt. De onderzoekers verwachtten dat dit percentage in 2021 onder de 40% uitkomt. Dat is nog immer een betrekkelijk substantieel percentage bedrijven dat hier niet in meegaat. Uit een internationaal onderzoek van medio 2015 onder 1.500 IT professionals uit 53 landen naar de adoptie van cloud services³⁵ kwam naar voren dat op dat moment 12% van de ondervraagde bedrijven hun IT voor 100% naar de cloud (extern of hybride) hadden gebracht.

Cloud computing zal van invloed zijn op de connectiviteitsvraag van afnemers. Cloudificatie resulteert in specifieke individuele eisen aan de connectiviteit tussen bedrijfsvestigingen en de externe datacenters waar ze van afhankelijk zijn, hetgeen sterk afhangt van het type cloud service dat men afneemt en intensiteit van gebruik (over het totale aantal gebruikers). Als we kijken naar 'Applications as a Service' (meest courante service op dit moment) dan verlangen gebruikers van die service en niveau van snelheid, interactiviteit en betrouwbaarheid dat vergelijkbaar is met dat wat via het bedrijfs-interne LAN mogelijk is, maar dat is te subjectief. In ieder geval dient de verbinding in beide richtingen het geaggregeerde dataverkeer goed te kunnen opvangen zonder dat sprake is van merkbaar verlies in prestaties van publieke clouddiensten en van de eigen private clouddiensten³⁶. Bij geavanceerde toepassingen waar bijvoorbeeld intensief gebruik gemaakt wordt van data analytics waar veel dataprocessing bij komt kijken, is het geen wetmatigheid dat daarvoor perse veel instantane bandbreedte nodig is tussen de bedrijfsvestiging en het datacentrum. Dat ligt namelijk geheel aan de werking van de gebruikte tooling. Het is dus inherent onmogelijk daar schattingen over af te geven en het komt er op neer dat connectiviteit zich niet alleen aanpast aan de opkomst van cloud services maar dat cloud services mede ook door hun inherente flexibiliteit zich (tot op zekere hoogte) kunnen aanpassen aan de beschikbare connectiviteit. Voor de connectiviteit tussen datacenters onderling kan soortgelijke redenering worden gebezigd. Omgekeerd kan wel worden gesteld dat de toepassing van cloud computing baat heeft bij moderne datacentra en een hoogwaardige connectiviteit.

In professionele organisaties worden hoge eisen gesteld aan beschikbaarheid en betrouwbaarheid, zeker waar het om business critical diensten en toepassingen gaat. Cloudificatie vergroot per definitie de afhankelijkheid van externe voorzieningen inclusief connectiviteit en zal dus het belang van betrouwbaarheid van connectiviteit in de komende jaren verder doen toenemen. Dat lijkt geen twijfel.

Box 1. Digitalisering in de financiële sector

De **financiële sector** was één van de eerste sectoren waarin primaire processen in verregaande mate zijn gedigitaliseerd. De vervanging van overschrijvingskaarten door Internetbankieren is daarvan een prominent voorbeeld. Door deze vroege digitalisering is de afstemming van vraag en aanbod van digitale dienstverlening tussen de financiële sector en de telecomsector al geruime tijd aan de gang. Finance is nu een van de grootste ICT-intensieve sectoren, met werkgevers als ING, Rabobank en ABNAMRO behorend tot de werkgevers met meeste IT'ers in dienst in Nederland. Drie voorbeelden in deze sector van innovaties in toepassingen die consequenties hebben voor connectiviteit.

Een eerste voorbeeld is *high frequency trading*, dat neerkomt op het met hoge snelheid plegen van waardetransacties. High Frequency trading stelt hoge eisen aan de maximale

³⁵ Bron: bettercloud.com

³⁶ Bij private cloud is men feitelijk zijn eigen dienst aanbieder.

vertragingstijd op dataverbindingen. De handelaar die de data als eerste heeft, kan gebruik maken van een voordeel in de markt: een arbitrage. De handelaar die de data als tweede ontvangt schiet er weinig mee op.

Een tweede voorbeeld in deze sector komt uit cloud services: Veel diensten worden nu opgebouwd uit zogenaamde micro-services, die onderling veel berichten uitwisselen ("chatty services"). Bij voorkeur werkt men in de sector met meerdere cloud providers zodat verschillende micro-services dus in verschillende clouds kunnen draaien. Als de vertraging tussen die verschillende clouds toeneemt, dan neemt de totale vertragingstijd fors toe. Dit gaat ten koste van de snelheid waarmee transacties kunnen worden afgehandeld. Tweede punt is dat Europese cloudaanbieders (nog) niet volledig aan de eisen kunnen voldoen qua transmissiecapaciteit en vertragingstijd. Naar aanleiding van de ophef in de afgelopen jaren over de gevolgen van de Patriot Act voor Amerikaanse cloud providers constateren we nog steeds enige terughoudendheid bij sommige Nederlandse afnemers t.a.v. Amerikaanse cloud providers.

3.4.2 *Vraag op termijn*

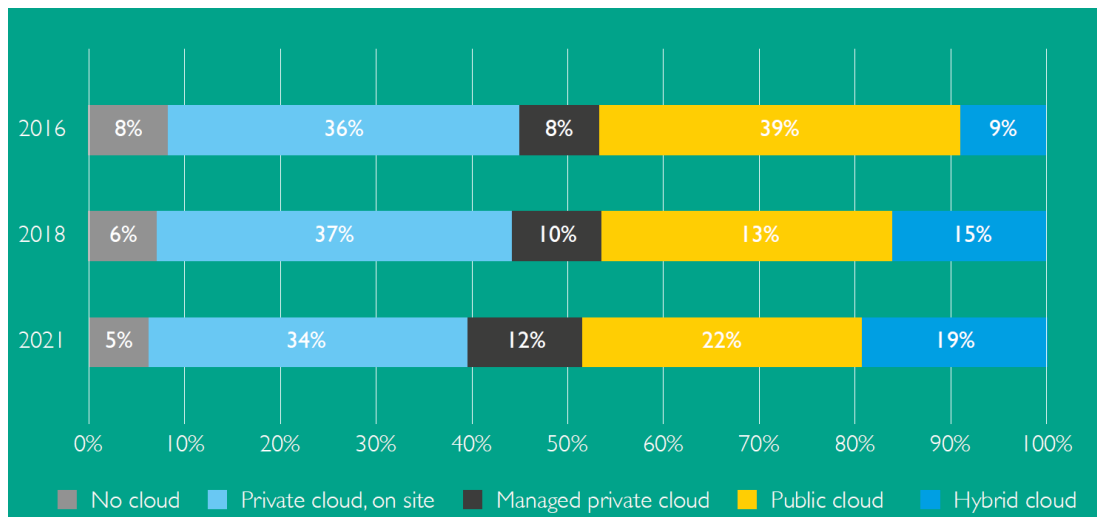
Als we iets verder de toekomst in kijken dan zien we een tweetal trends die reeds in gang zijn gezet maar na 2020 van beduidend grotere betekenis zullen zijn voor de dienstenmarkt als geheel.

Strategischer betekenis van cloud computing

Terugverwijzend naar de eerder genoemde onderzoeken naar de adoptie van cloud bedroeg de prognose voor 2020 60% en voor 2025 tegen de 70%, dus een voorspelde geleidelijke stabilisering na 2020. Het is goed mogelijk dat het uiteindelijk op dit of op een lager percentage blijft steken. Daar waar IT een meer tactisch of zelfs strategische rol inneemt of in gaat nemen en er met IT wordt geïnoveerd, is de aarzeling namelijk ook groter om ook dat uit te besteden. Bedrijven kunnen op principiële gronden ervoor kiezen om hun tactische en zeker strategische IT voorzieningen binnenshuis (on-site) te houden of eventueel kiezen voor een hybride cloud strategie. Dat komt er op neer dat men een specifieke selectie van toepassingen in een eigen cloudomgeving houdt (in een eigen datacentrum) en de overige toepassingen als service betreft uit de publieke cloud. Cisco³⁷ wijdt deze aanstaande groei in de adoptie voor een belangrijk deel aan het generatie Y effect in de bemensing van organisaties, een effect dat met name in de Aziatische regio zal optreden. Daarnaast is het goed voorstelbaar dat nieuwe/jonge (internationale) bedrijven die cloudificatie omarmen ook een impuls geven aan bestaande (Nederlandse) bedrijven die nog twijfelen. Onderstaande door het Dutch Datacenter Association in 2016 gepubliceerde figuur geeft iets meer informatie over de uitkomsten van de enquête onder ca. 179 bedrijven in Nederland³⁸.

³⁷ Bron: [\[cisco.com\]](http://cisco.com)

³⁸ Bron: Dutch Datacenter Association. Data aangeleverd door Pb7 Research, 2016



Figuur 7: Uitslag bevraging geënquêteerde Nederlandse bedrijven inzake cloudstrategie³⁹

Erkenning van het zakelijk-strategische belang van cloud services, evenals tegelijkertijd de terughoudendheid van Nederlandse bedrijven om in korte tijd verregaand over te gaan naar cloud services is door Cap-Gemini in 2015⁴⁰ vastgesteld en lijkt dus goed op met de hiervoor genoemde bevindingen.

De digitale transformatie waar de maatschappij in terecht gekomen zijn maakt het voor steeds meer organisaties van levensbelang om IT als business enabler te beschouwen en niet langer als 'slechts' ondersteunend. De belangstelling neemt toe voor nieuwe toepassingsmogelijkheden van cloudtechnologie waardoor cloud gebaseerde toepassingen voor bedrijven ook een strategischer betekenis krijgt. In het eerder aangehaalde onderzoek naar de adoptie van cloud computing bedroeg deze voor 2020 60% en voor 2025 tegen de 70%, dus een voorspelde geleidelijke stabilisering na 2020. Het is goed mogelijk dat het uiteindelijk op dit of op een lager percentage blijft steken. Daar waar IT een meer tactisch of zelfs strategisch karakter heeft, zal men eerder geneigd zijn het volledig in eigen huis te houden.

Het kwalitatief onderscheidende vermogen van bedrijven lag voorheen in fysieke producten en diensten. Er gaan steeds meer bedrijven komen die hun toegevoegde waarde volledig in het cyberdomein realiseren door een streven naar uniciteit in de aangeboden *digitale* toepassingen die waarde toevoegen in een bepaalde markt (zogenaamde virtual enterprises⁴¹). Geavanceerde vormen van cloud computing en data analytics spelen daarbij een belangrijke rol. Zie ook de hierna volgende tekst over Big Data.

Exploitatie van data; Big Data

In het bijzonder komt exploitatie van data door bedrijven steeds meer in zwang, zowel in bestaande als in volledig nieuwe business modellen waarbij wat betreft data ook met andere partijen wordt samengewerkt. Het besef is namelijk breed ontstaan dat er economische waarde zit in digitale data. Door de zeer hoge mate van maatschappelijke adoptie van digitale toepassingen en de datagroei die daarmee samenhangt, is dit een nieuw groeigebied.

³⁹ Bron: Dutch Datacenter Association. Data aangeleverd door Pb7 Research, 2016

⁴⁰ Bron: nl.capgemini.com

⁴¹ Virtual enterprises en onderliggende business modellen kunnen zeer vluchtig zijn, dus snel opkomen en ook weer verdwijnen.

De hoeveelheid data in de wereld groeit namelijk al enkele jaren met exponentiële snelheid, waarbij de hoeveelheid inmiddels elke twee jaar verdubbelt. De resulterende hoeveelheid data is inmiddels zo groot en complex geworden, dat de traditionele manieren om data te verwerken, niet meer toepasbaar zijn⁴². De behoefte aan krachtige tools voor dataprocessing en analyse neemt derhalve sterk toe. De opkomst van Internet of Things⁴³ zal daar bijzonder sterk aan bijdragen. Dit nieuwe gebied wordt omschreven als 'Big Data'⁴⁴. Business modellen van de eerder genoemde digitale platformen zijn volledig op slimmeexploitatie van Big Data gebaseerd. Ook bij partijen zoals banken, verzekeraars en telecomoperators die vanuit hun traditionele business model over zeer veel data beschikken groeit het bewustzijn van de potentiële mogelijkheden daarvan. Hierbij ontstaan geheel nieuwe rollen zoals die van *Information Value Provider* waarbij de waarde van data een belangrijke factor is⁴⁵. Ondanks het feit dat we rond Big Data een aantal remmende factoren constateren, is algehele verwachting is dat deze trend zich richting 2020-2025 zeer sterk zal gaan doorzetten met disruptieve effecten in bestaande ketens en netwerken (van bedrijven). Big Data toepassingen zijn gebaat bij het gebruik van data uit meerdere bronnen (heterogeniteit). Het gedistribueerde karakter van Big Data en daarop gebaseerde toepassingen, levert een aantal aandachtspunten op voor de inrichting van netwerken en connectiviteit⁴⁶. Dit betreft de beschikbaarheid van meerdere verbindingen via het netwerk, flexibiliteit in het omgaan met congestie, consistentie in latency performance en mogelijkheden om netwerken (virtueel) te partitioneren.

Box 2. Digitalisering in de maakindustrie

Digitalisering is een belangrijke transformerende kracht in de **maakindustrie**. Door digitalisering zijn nieuwe bedrijfsconcepten mogelijk en ontstaat de kans om economische activiteit in de maakindustrie te behouden, terug te halen uit het buitenland c.q. te vergroten. Deze trend is bekend onder de term o.a. 'Industrie 4.0' – in Nederland wordt de term 'Smart Industry' gebruikt. Hierbij wordt verwezen naar de vierde industriële revolutie die zich niet alleen kenmerkt door steeds verdergaande automatisering en robotisering, maar ook door steeds verdergaande 'vernetwerking' van productie- en bedrijfsprocessen. Deze trend maakt het mogelijk om producten in zeer lage volumes – dus: uniek toegesneden op de wensen van de klant – te produceren tegen de kosten van massaproductie. Iets wat enkel mogelijk is als productie-omgevingen tegen lage kosten (dus: sterk geautomatiseerd), met minimale uitval/zeer hoge kwaliteit (zero defect) en zeer flexibel (geen omsteltijden) kunnen produceren. Vanuit productieperspectief leidt dit ertoe dat bedrijven zich kunnen specialiseren op één specifieke productietechnologie en van hieruit een diversiteit aan klanten kunnen bedienen. Hierdoor veranderen supply chains. Een bekend voorbeeld is de supply chain van high-tech bedrijven als ASML en Philips Healthcare die voor een belangrijk deel verantwoordelijk zijn voor het economisch succes van de regio Eindhoven. Tenslotte leidt deze trend tot hele nieuwe bedrijfsconcepten, o.a. onder de noemer 'servitization' waarbij bedrijven niet enkel een product maken maar ook hiervoor verantwoordelijk blijven gedurende de gehele levenscyclus van het product. Een fysiek product en een dienst smelten zo samen.

⁴² Bron: [\[msdn.microsoft.com\]](https://msdn.microsoft.com)

⁴³ De Internet-of-Things ontwikkeling is bij 'aanbod' ondergebracht en wordt in paragraaf 3.5.2 besproken.

⁴⁴ Bron: [\[datascience.berkeley.edu\]](https://datascience.berkeley.edu)

⁴⁵ Zie ook Bijlage 4 voor een uitvoeriger bespreking van Big Data.

⁴⁶ Bron: [\[techtarjet.com\]](https://techtarjet.com)

In de maakindustrie zijn drie belangrijke ICT use cases te onderscheiden:

1. een vernieuwende automatiseringsomgeving binnen de fabriek, waarin Industriële Internet-of-Things technologie en big data analytics nodig zijn voor de benodigde aansturingssystemen en toepassingen als flexibel en 'zero defect' productie. Internet-of-things technologie en bijbehorende (vaak: draadloze) communicatietechnologieën (b.v. LoRa, narrowband LTE, Zigbee) zijn nodig om producten gedurende hun gehele levenscyclus te volgen.
2. omgevingen door data-gedreven innovatie: voor veel toepassingen moet data verzameld worden van verschillende partijen, zijn er platformen en dienstenaanbieders die hier algoritmen op toepassen en zijn er uiteindelijk weer andere partijen die daar gebruik van maken. Nieuwe cloudplatformen zijn nodig om dergelijke toepassingen op een open, gecontroleerde en vertrouwde manier mogelijk te maken. Nieuwe technologieën als blockchain/distributed ledgers zijn daarbij potentieel disruptief ten opzichte van traditionele platformmodellen waarin data op een centrale plek samenkomt.
3. omgevingen voor 'network centric collaboration' waarin bedrijven in een supply chain samenwerken aan ontwerpen, orders en andere productdata. Door de steeds dynamischere samenwerkingsvormen en het toegenomen gebruik van 'Internet of Things' voor het volgen van gemaakte producten is ook hier een behoefte voor veilige en snel op te zetten connectiviteit.

Momenteel wordt er vanuit diverse initiatieven gewerkt aan deze use cases. Vanuit de Amerikaanse ICT-industrie betreft dit het Industrial Internet Consortium dat zich met name richt op Internet-of-things technologie. Vanuit Duitsland is er een referentie-architectuur ontwikkeld onder de titel 'RAMI 4.0' waarin digitale connectiviteit als belangrijke laag onderscheiden wordt. Binnen het Industrial Data Space initiatief werken verschillende Europese ICT-bedrijven, onderzoeksinstituten en bedrijven uit de maakindustrie samen aan nieuwe concepten voor gestandaardiseerde informatie-delings. Tenslotte wordt voor de onderliggende connectiviteit Smart Industry beschouwd als belangrijke 'vertical' in de Europese ontwikkeling van 5G-technologie. Hierbij wordt niet enkel gekeken naar vereisten ten aanzien van bandbreedte, maar ook naar andere aspecten zoals betrouwbaarheid en low-latency voor (near-)realtime toepassingen, o.a. in de productiebesturing.

3.4.3 Groei prognoses data voor zakelijk segment

Hieronder zijn cijfers opgenomen die ontleend zijn aan Cisco VNI en inzicht geven in de groei van de databehoeftes in het zakelijke segment. De hier getoonde cijfers voor Nederland zijn bepaald door de groeicijfers van Duitsland en het VK te middelen, omdat Nederlandse cijfers ontbreken in de Cisco VNI overzichten.

Tabel 4: Overzicht van jaarlijkse groeicijfers IP-verkeer in het zakelijk segment. Bron: Cisco VNI

	Groeicijfers zakelijk		Duiding
	2015	2020	
IP-verkeer (2015-2020)	15%	18%	Versnelling in de groei van zakelijk IP
Internet verkeer	-/- ⁴⁷	21%	(Flinke) groei in zakelijk Internet
Internet-video verkeer	31%	33%	(Flinke) maar stabiele groei in zakelijk video
Internet verkeer over vast	16%	19%	Geen commentaar
Dataverkeer over mobiel	52%	45%	Forse groei mobiel t.o.v. vast

We zien ten eerste dat het zakelijk Internet verkeer harder groeit dan het zakelijk IP-verkeer, wat waarschijnlijk duidt op een toename in de populariteit van publieke cloud oplossingen. Ten tweede zien we evenals bij consumenten een sterke groei van het videoverkeer die de komende jaren ook aanhoudt. Ten derde zien we een bijzonder harde groei in het dataverkeer over mobiel, die aanhoudt maar wel wat in kracht afneemt tegen 2020.

3.4.4 Samenvatting vraag

De komende 5 jaar zien we in het zeer heterogeen samengestelde zakelijke segment de verdere adoptie van cloudificatie in de modernisering van IT-voorzieningen als hoofdtrend. Ondanks de aarzeling bij veel bestaande bedrijven om cloudtechnologie in te zetten voor strategische doeleinden is wel de verwachting dat dat gaat groeien. Zeker jonge bedrijven die hun toegevoegde waarde direct in de cloud realiseren omarmen cloudtechnologie volledig.

Een tweede trend die zich al aftekent maar op langere termijn voor veel meer bedrijven zal gaan spelen is exploitatie van data als business model. De komende jaren zullen we kennis gaan maken met virtuele bedrijven die vaak in genetwerkte gelegenheidsverbanden op zoek gaan naar (tijdelijk) succesvolle modellen voor de valorisatie van data, deze snel opbouwen als de opportunity ontstaat en weer afbreken zodra deze afzwakt. Geavanceerde Big Data toepassingen worden sterk gefaciliteerd door cloudificatie en door de opkomst van Internet of Things. Daardoor ontstaat behoefte aan geavanceerde tools voor data-analyse en interpretatie en dus aan dataopslag en rekenkracht.

Cloudificatie en zeker verregaande vormen daarvan heeft invloed op digitale connectiviteitsbehoeften. Vooral beschikbaarheid en betrouwbaarheid is van groot belang door de ontstane afhankelijkheid van cloud services. Eisen aan bandbreedte en latency zijn in algemene zin niet te formuleren omdat ze van diverse specifieke factoren zullen afhangen. Wel kan worden gesteld dat de toepassing van cloud computing baat heeft bij moderne datacentra en een hoogwaardige connectiviteit tussen organisatie (afnemer) en datacentrum (aanbieder) en tussen datacentra onderling.

⁴⁷ Niet opgegeven.

Geavanceerde vormen van cloud computing in het kader van Big Data applicaties kunnen, afhankelijk van de karakteristieken van de toepassing, aanleiding geven tot specifieke connectiviteitseisen die verband houden met de wijze waarop de dataverwerking wordt ingericht.

Wat betreft zakelijk dataverkeer zullen vooral video gerelateerd verkeer en mobiel dataverkeer een bijzonder sterke groei laten zien.

3.5 Aanbod: IT-ontwikkelingen voor digitale diensten

Er zijn een aantal specifieke IT-trends die van belang zijn voor de ontwikkeling en het aanbod van toekomstige digitale diensten, zowel voor het consumenten als ook voor het zakelijke segment. Deze IT-trends zijn van invloed op de digitale connectiviteit voor die diensten.

3.5.1 Ontwikkelingen in mediatechnologie

Het is bekend dat media gerelateerde diensten en toepassingen relatief gezien het grootste beslag leggen op netwerkvoorzieningen, waar ook ter wereld. Het vormt dus een dominant bestanddeel in de generieke vraag en het effect daarvan op de ontwikkeling van het aanbod moet niet worden onderschat. Het is daarom belangrijk om ook wat nadrukkelijker te kijken naar ontwikkelingen in mediatoepassingen omdat die de totale vraagontwikkeling verder kunnen beïnvloeden, in ieder geval ten aanzien van capaciteit maar ook wat betreft QoS (latency en jitter).

De ontwikkeling van mediatoepassingen is de laatste jaren aan behoorlijke veranderingen onderhevig. Men spreekt hier wel van de 4 i's: media wordt **Immersiever** (grotere schermen, Virtual Reality), media wordt **Interactiever** (reageren op beeld en geluid; meespelen in spelprogramma's), media wordt **Individueel** (uitzending gemist, begin gemist, video on demand) en **Informatiever** (second screen, relevante extra informatie). De bandbreedtebehoefte van media neemt daarmee niet alleen gestaag toe door grotere schermen die hogere resolutie content vereisen, maar juist ook doordat iedereen zijn eigen content kijkt. Bandbreedtegebruik van video neemt daardoor exponentieel toe, is nu al 70% van het Internet verkeer en groeiende, en daarin is reguliere lineaire TV dus niet meegenomen.

Daarnaast is het aanbod van media aan het verschuiven van het traditionele omroepbedrijf naar allerlei over-the-top partijen. Enerzijds bestaat er voor de zeer grote events (bijv. WK en EK voetbal) nog steeds behoefte aan een efficiënte infrastructuur voor massa-uitzending (9 miljoen kijkers in Nederland van finalepartijen), anderzijds is ook behoefte aan een zeer uitgebreide infrastructuur voor de persoonlijke bediening van het individu. Dit gebeurt meer en meer op basis van streaming i.p.v. via downloads of discs (Hoewel Netflix zeer recent heeft aangekondigd ook downloads te faciliteren). Dit streamen vereist slimme vormen van tijdelijke contentopslag (zogenaamde caches) diep in het netwerk, om al deze individuele vragen zo efficiënt mogelijk af te handelen, en dit in een omgeving met een grote verscheidenheid aan aanbieders. Delen van deze caches tussen aanbieders ligt voor de hand maar is zeker niet gemeengoed vandaag de dag. Verder vereist het streamen van media een stabiele bitsnelheid in de verbinding: fluctuaties kunnen direct invloed hebben op de beeldkwaliteit.

Het mediagebruik verplaatst ook van TV en PC naar tablet en smartphone. Dit heeft zijn weerslag op het gebruik van mobiele netwerken. Toepassingen als Virtual Reality kunnen zeker op mobiel voor de behoefte aan zeer hoge bandbreedtes zorgen, en deze in combinatie met zeer lage vertragingstijden (specifiek voor streaming VR). Ook is de eindgebruiker zelf steeds vaker producent van media, hetzij met eigen filmpjes (live en on-demand) hetzij door bijdrage aan media van derden (Live reporters voor NU.nl). De vraag naar bandbreedte is

dus niet alleen in de downstream richting, ook de upstream richting is van belang. Transport van media verandert van een *push-model* (UDP based) naar een *pull model* (HTTP based). In plaats van het afhandelen van (grote) datastromen in een richting gaat het om het afhandelen van een zeer grote hoeveelheid requests voor kleine stukjes data.

Met de opkomst van hoge kwaliteit maar betaalbare HMDs (Head Mounted Displays), zoals de Oculus Rift, de HTC Vive en de Sony Playstation VR, lijkt Virtual Reality nu voor het eerst een massaproduct te worden. Ook de houders die van je mobiele telefoon een HMD maken, zoals de Samsung GEAR VR of de Google Cardboard, maken virtual reality toegankelijk voor grote groepen gebruikers. Voor gebruikers verandert met virtual reality de beleving van diensten aanzienlijk: je staat er midden tussen in plaats van dat je door een venster (i.e. scherm) naar de wereld kijkt. De belangrijkste toepassingen in de consumentenmarkt zijn op dit moment gaming en video. Het momentum in ontwikkeling van nieuwe games en videodiensten ligt momenteel zeer hoog, waarbij moet worden aangetekend dat ontwikkelaars nog sterk zoekende zijn naar de concepten en uitwerking die echt werken. Voor de echte doorbraak is de hardware nu beschikbaar, maar dienen diensten en applicaties beschikbaar te komen waarbij virtual reality echt meerwaarde heeft boven een plat scherm. Naast VR is ook Augmented Reality (AR) in opkomst. AR displays bieden de mogelijkheid de fysieke wereld aan te vullen met virtuele elementen, en maken daarmee nieuwe belevingen mogelijk. Door de vooralsnog hogere prijzen voor goede AR displays, zoals bijvoorbeeld de Microsoft Hololens, is dit tot op heden meer geschikt voor zakelijke toepassingen, in bijvoorbeeld de zorg (beter inzichtelijk maken van scans en andere medische data) en bij ontwerpwerk. De sterke verwachting is dat AR en VR de komende tijd echt zullen doorbreken^{48,49}. Augmented & virtual reality kunnen een significante impact op netwerken en het gebruik daarvan hebben. Het streamen van omnidirectionele video vereist (veel) hogere bandbreedtes dan voor reguliere video. Op dit moment zijn er oplossingen in de maak die de bandbreedte-vereiste (deels) beperken, door alleen het deel van de video te streamen waar een gebruiker op een gegeven moment naar kijkt. Nadeel van die oplossingen is dat snelle overschakeling naar nieuwe beelden nodig is als de gebruiker zijn hoofd draait en naar een ander deel van de video gaat kijken. Naast hogere bandbreedtes zijn zeer lage netwerkvertragingen een belangrijke vereiste voor het streamen van video naar VR displays^{50,51}. Hier is dus sprake van een uitruil tussen bandbreedte en latency.

3.5.2 *Internet of Things technologie*

Er is een onmiskenbare groei op het gebied van het Internet of Things wat uiteindelijk zal gaan uitmonden in het *Internet of Everything*. De verwachting is dat uiteindelijk ieder object elektronisch aanspreekbaar, instrueerbaar en uitleesbaar zal worden gemaakt en aldus ook een virtuele representatie krijgt in het cyber domein, met een eigen op IPv6 gebaseerd IP-adres. Printable electronics en NFC technologie maken het mogelijk dit op uiterst goedkope wijze te doen. Als ICT veel kleiner en goedkoper wordt, dan is integratie in allerlei fysieke systemen logisch. Dit zal variëren van objecten in de openbare ruimtes (Smart Cities), in huishoudens (koelkasten, TV's, thermostaten) en op het lichaam (wearables). Een mooi

⁴⁸ Bron: Gartner, *Gartner's 2016 Hype Cycle for Emerging Technologies*, beschikbaar via [\[gartner.com\]](http://gartner.com)

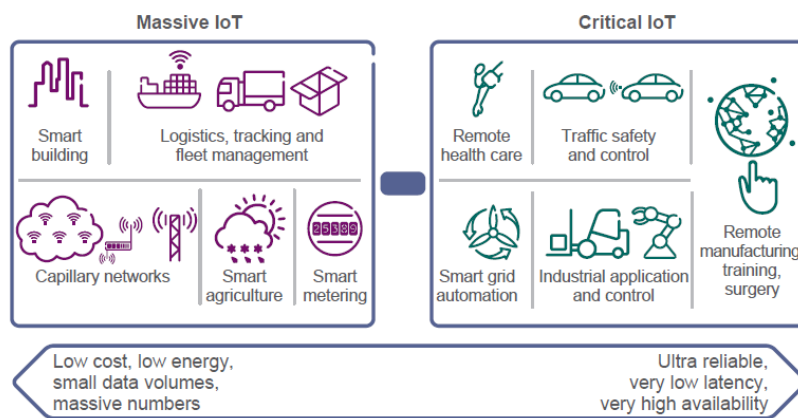
⁴⁹ Bron: IEEE, *IEEE Top 9 Technology Trends for 2016*, Beschikbaar via: [\[computer.org\]](http://computer.org)

⁵⁰ Bron: GSMA Intelligence, *Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile*, December 2014, Beschikbaar via: [\[gsmaintelligence.com\]](http://gsmaintelligence.com)

⁵¹ Bron: 3GPP, *TS 22.891, Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers*, June 2016

voorbeeld is een onlangs aangekondigde sensor⁵² waarbij de sensor en chip samen even groot zijn als een peperkorrel, de stroom wordt geharvest van WiFi en de peperkorrel kan real-time zijn sensordata doorsturen via Bluetooth naar een ontvanger, zoals bijvoorbeeld een telefoon. Niet alleen veranderen hierdoor de aanschafkosten, maar staat dit ook een volledig ander gebruik toe nu er geen stroomkabel nodig is en de sensor zo klein is dat hij overal in verwerkt zou kunnen worden.

De relevantie van het Internet of Things zit in eerste instantie in het lokaliseren, identificeren en uitlezen van relevante data van passieve objecten (bijvoorbeeld pakjes) en actieve objecten (sensor nodes) en in tweede instantie in elektronische aansturing van actieve objecten (sensoren maar ook (kleine) slimme en autonome systemen), waarvoor ook hogere eisen aan connectiviteit en systeemprestaties zullen gaan gelden. Ericsson⁵³ maakt een ons inziens zinvol conceptueel onderscheid tussen *massive IoT* en (*business*) *critical IoT*. Zie onderstaande figuur. Het onderscheid is van belang omdat beide wel tot IoT worden gerekend, maar voor de beide groepen toepassingen de connectiviteitseisen zeer verschillend zijn.



Figuur 8. Onderscheid tussen twee groepen IoT toepassingen: Massive IoT en Critical IoT.⁵⁴

Massive IoT is de vorm van IoT die we in feite nu al toegepast zien worden volgens het vrij klassieke model van datacollectie uit geografisch gedistribueerde sensoren, opwerking van die data naar informatie met een bepaalde economische of maatschappelijke waarde. Design uitdagingen liggen hier op het vlak van low cost en low energy specificaties van sensor nodes en het kunnen accommoderen van data van zeer grote aantallen van die nodes in IoT platformen. De toegevoegde waarde zit op het platformniveau. Wat er verandert en waarop met name draadloze netwerken moeten gaan inspelen is de massaliteit van IoT devices. Bandbreedte en latency eisen hangen van de toepassing af, maar IoT connecties in deze categorie worden typisch gekenmerkt door beperkte bandbreedtes (per connectie).

Critical IoT betreft de categorie van toepassingen waarbij functioneel complexere systemen (nodes) zijn uitgerust met een eigen sensorsuite, eigen dataverwerkings- en opslacapaciteit en eigen intelligentie. Toepassingen kunnen bedrijfs – en zelfs safety critical zijn. Design eisen liggen hier vooral op accommoderen van functionele complexiteit, op betrouwbaarheid en veiligheid (fysiek en cyber veiligheid). De economische en/of maatschappelijke waarde

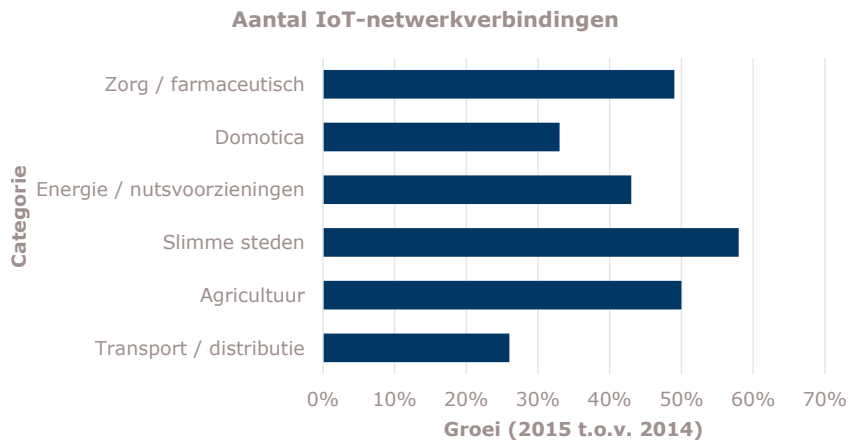
⁵² Bron: Intel

⁵³ Bron: Ericsson, *Cellular networks for massive IoT*, Whitepaper Uen 284 23-3278, January 2016.

⁵⁴ Bron: Ericsson

zit hier in de nodes zelf. Relevant in deze categorie is de ontwikkeling richting zogenaamde Smart systems.

De meeste push voor IoT komt op dit moment uit smart industries, smart cities, slimme infra, smart logistics en gezondheidszorg⁵⁵. In onderstaande figuur is de groei geïllustreerd in de periode 2014-2015.



Figuur 9 Groei van het aantal IoT netwerkverbindingen in 2015⁵⁶

IoT zal zeker in het zakelijke segment een belangrijke push geven aan de ontwikkeling van diensten en applicaties gebaseerd op vergaring, analyse en interpretatie van massieve hoeveelheden data. In het consumentensegment gaat het in de breedte minder hard, maar is wel sprake van een substantiële groei specifiek in de woonomgeving, waar overigens IoT al bestond voordat men het zo is gaan noemen.

Diverse oplossingen zijn momenteel in gebruik voor verschillende use cases. Er is momenteel eerder sprake van wildgroei dan van convergentie/consolidatie. Volgens Gartner zat IoT in 2015 op de top van de hype cycle en wordt IoT de komende 5-10 jaar mainstream. Ten einde te kunnen profiteren van schaalgrootte-effecten is interoperabiliteit door standaardisatie onontkoombaar. Gartner verwacht dat dit zeker tot 2018 gaat duren voordat relevante successen op standaardisatievlak worden bereikt⁵⁷. Naast gebrek aan standaardisatie zijn er een aantal andere remmende factoren bij de grootschalige uitrol en adoptie van IoT⁵⁸ :

- Harmonisatie van spectrum voor IoT-toepassingen;
- Beschikbaarheid van data analyse tools voor zinvolle uitnutting van vergaarde data (link met Big data en data analytics);
- Privacy issues (met name de anonieme vergaring van data in de omgeving en de toepassing van gecentraliseerde krachtige analyses);
- Cyber security issues;
- Afhankelijkheid van netwerken met adequate dekking en geschikt om (tijdkritische) IoT-data op massale schaal te transporteren.

⁵⁵ Bron: Infra - juli 2016.

⁵⁶ Bron: *The wireless Internet of Things: Spectrum utilization and monitoring*, Dialogic (2016). In opdracht van Agentschap Telecom. [agentschaptelecom.nl]. Cijfers op basis van literatuurstudie.

⁵⁷ Bron: Gartner; interview met Cearly

⁵⁸ Bron: Stratix (2015), Internet Society (2015)

Schattingen over toekomstige aantallen verbonden *devices* lopen nogal uiteen, afhankelijk van de geclaimde verstrekkendheid van IoT en de definitie van wat nog wel en wat niet tot IoT wordt gerekend. Behandeling van deze individuele schattingen is niet heel zinvol maar liggen in een bereik van 20 tot 100 miljard verbonden devices wereldwijd in 2020, tegen een connected populatie van ca. 5 miljard personen. Duidelijk is dat IoT tot een zeer substantiële aanwas zal kunnen leiden van on-line connecties mits de daarvoor benodigde digitale connectiviteit kan worden geboden. IoT stelt specifieke eisen aan digitale connectiviteit. Hoewel IoT-toepassingen onderling sterk kunnen verschillen, hebben ze gemeenschappelijk dat grote dichtheden van connecties moeten kunnen worden ondersteund en dat de verbindingen betrouwbaar zijn. Eisen aan bandbreedte en maximale latency hangen sterk van de toepassing af, waar we waarschijnlijk nog veel innovaties in gaan zien. De door IoT te verwachten massieve vraag naar IP-adresruimte wordt in paragraaf 3.5.5 besproken.

3.5.3 *Digitale diensten op basis van Platformen*

Voor zowel de consumenten- als zakelijke markt is het digitale platformmodel populair⁵⁹. Digitale platformen, zoals Google, Facebook en Booking.com, spelen een snel groeiende rol in het samenbrengen van vraag en aanbod van diensten^{60,61}. Onze verwachting is dat de betekenis van platformen zich niet alleen beperkt tot generieke diensten die op een massamarkt zijn gericht, maar dat platformen ook in professionele sectoren een steeds grotere rol gaan spelen om in de behoefte aan gespecialiseerde diensten te voorzien. Vanuit business perspectief zorgen platformen voor tal van nieuwe diensten en business modellen door het op nieuwe manieren verbinden van aanbieders en afnemers. We zien dat grote c.q. sterk groeiende platformspelers een proactieve, disruptieve strategie voeren in sectoren waar sprake is van een potentieel grote marktomvang en waarin de 'zittende dienstverleners' nog niet in het gat zijn gesprongen dat zo'n grote platformspeler ziet. Uber en Airbnb zijn daar goede voorbeelden van, maar ook Google met de zelfrijdende auto. Op deze manier forceren dergelijke spelers specifieke sectoren tot innovatie.

Het verbinden tussen aanbieders en afnemers gebeurt bij de bekende platformen op een wereldwijde schaal maar er zijn ook talloze voorbeelden van platformen die juist heel lokaal (tot aan buurtniveau toe) opereren, zoals Peerby en Thuisafgehaald.nl. We zien dus een duidelijk onderscheid tussen twee soorten diensten:

- Grootschalige digitale diensten met een grote impact komen tegenwoordig uit het buitenland. Hierbij komen bijna alle diensten uit de VS, een uitzondering als Spotify daargelaten⁶². Als wij kijken naar meest bezochte websites in Nederland, dan zien we vooral namen als Facebook, Google, Youtube, Live.com, Wikipedia, Instagram en Twitter^{63,64}. Pas later komen websites als marktplaats, nu.nl, funda en ing⁶⁵. Maar ook allerlei nieuwe platformdiensten zoals Uber, AirBnB en Etsy komen uit de VS.

⁵⁹ Zie bijlage 1 voor een uitvoeriger bespreking van digitale platformen.

⁶⁰ Bron: Kenney, Martin, and John Zysman, *The Rise of the Platform Economy*, Issues in Science and Technology 32, no. 3 (Spring 2016)

⁶¹ Bron: Van Eijk et al, *Digital Platforms: an analytical framework for identifying and evaluating policy options*, TNO report R11271, October 2015, Beschikbaar via: rijksoverheid.nl

⁶² Twee andere voorbeelden van Europese diensten zijn Skype (Zweden) en Booking.com (Nederland). Op dit moment zijn deze echter in Amerikaanse handen.

⁶³ Bron: similarweb.com

⁶⁴ Bron: alexa.com

⁶⁵ Waarbij tevens mag worden opgemerkt dat marktplaats eigendom is van eBay (VS) en nu.nl van Sanoma Media (Finland).

- Kleinschalige diensten komen geregeld uit Nederland. Denk aan allerlei diensten waarbij de Nederlandse taal een grote rol speelt of waarbij een fysieke koppeling met Nederland relevant is (banken, nieuws, sport, weer, overheid).

De ontwikkeling en exploitatie van steeds meer digitale diensten speelt zich direct af op mondiaal niveau in verband met de nagestreefde schaalgrootte-effecten. Over het geheel genomen zien we een zeer dynamische markt voor dienstenaanbieders waarbij het zwaartepunt dus in de VS ligt. De Nederlandse markt fungeert weliswaar niet zelden als proeftuin maar de Nederland-specifieke vraag staat dan niet centraal; er wordt gekeken naar en ganticipeerd op de vraag in de gehele westerse wereld. IT-ontwikkelingen zijn sowieso niet meer specifiek Nederlands: bedrijven zijn snel internationaal georiënteerd om schaalgrootte te bereiken. De druk neemt toe om zich te conformeren aan oplossingen die voor een grotere markt zijn ontwikkeld, overigens wel met steeds meer mogelijkheden tot 'customization' naar specifieke eisen per land. Wij zijn hier ten opzichte van vroeger dus minder *in control*. Een relevant verschil tussen platformen van buitenlandse en binnenlandse origine is dat bij buitenlandse platformen de digitale connectiviteit voor een belangrijk deel buiten Nederland ligt. Voor bepaalde typen diensten is dit nadelig of zelfs problematisch zodat platformpartijen hun datacenters dichterbij vestigen.

De eisen die platformen aan digitale connectiviteit stellen variëren overigens sterk. Voor veel *sharing economy* en e-commerce platformen is de benodigde bandbreedte beperkt, maar speelt in veel gevallen de responstijd (gerelateerd aan de vertragingstijd van de verbinding en de processing in het platform zelf) een grote rol. Om klanten vast te houden tijdens het koopproces op de website wordt in veel gevallen grootschalige buffering toegepast vanuit gedistribueerde datacentra om de websites zo responsief mogelijk te maken. Voor videoplatformen zoals Youtube en Netflix is responsiviteit ook belangrijk bij het zoeken door de catalogus, maar speelt daarnaast vooral de grote vraag naar bandbreedte om de stroom video's zonder hick-ups te kunnen uitspelen. Een aantal grote platformen is nadrukkelijk verbonden met devices, zoals Google's Android platform, Apple's iOS platform en het C-ITS (Cooperative Intelligent Transport System) platform. Hiermee hebben ze grote invloed op de digitale connectiviteit die door applicaties gebruikt kan worden vanuit deze devices.

In de toekomst kunnen platformen steeds meer gedistribueerd worden opgezet. *Blockchain* technologie is daar een belangrijke enabler voor en maakt coöperatieve/federatieve organisatievormen mogelijk. Met blockchain heb je namelijk geen problemen met de vraag wie de eigenaar is en kunnen trustrelaties worden opgebouwd zonder Trusted Third Party. In de financiële sector (banking) gaat het snel met de toepassing van blockchain (internationale betalingen). De relevantie van blockchain is meer gelegen in innovatie van organisatiemodellen dan in technologie, maar het kan de vorming van complexere platform structuren stimuleren. Het gedistribueerd opzetten van platformen impliceert noodzakelijke connectiviteit tussen de gedistribueerde onderdelen/fragmenten.

3.5.4 Modernisering in de IT; generalisering en cloudificatie

IT-modernisering (in de vakpers *IT modernisation*) betreft de vervanging van veel specifieke basisdiensten en -toepassingen door generieke oplossingen. Dit biedt afnemers van IT uitzicht op kostenbeheersing en kan ook interoperabiliteit met andere partijen in de keten bevorderen. De markt voor volledige gespecialiseerde ICT-oplossingen is sterk afgenomen en dwingt de IT-sector te kiezen voor maximaal gebruik van generieke functionaliteit en gestandaardiseerde koppelvlakken. Dat dwingt applicatiebouwers steeds meer om goed na te gaan wat nog echt domein specifiek is en wat generiek kan worden opgelost. Software-oplossingen worden zodanig ontwikkeld dat maatwerk voor specifieke afnemers zoveel

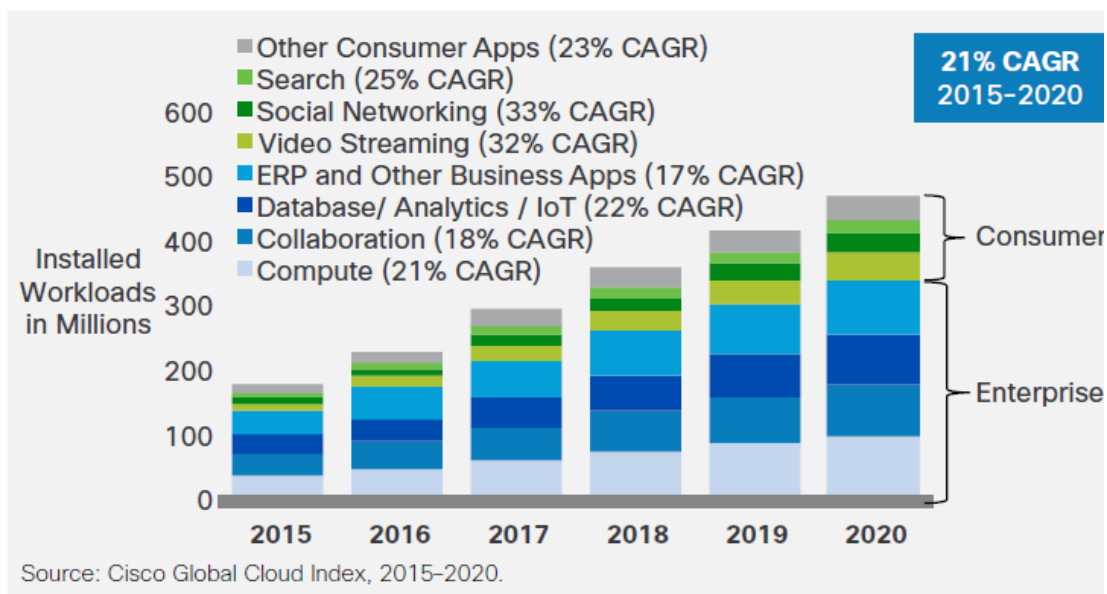
mogelijk kan worden geleverd door het configureren van standaard applicaties. Microsoft health heeft bijvoorbeeld tot procesnormalisatie geleid in de Amerikaanse zorgsector. Als men de differentiatie beperkt tot de content en de rest gemeenschappelijk kiest, dan kan men succesvoller standaardiseren. De toenemende complexiteit van ketens en netwerken van organisaties in sectoren is wel een remmende factor omdat de voor de IT zo belangrijke standaardisatie moeilijker van de grond komt.

Een belangrijk onderdeel van IT modernisering is cloudificatie, dat veel te maken met generaliseren van IT-functies. Zoals eerder is toegelicht wordt bij cloudificatie (XaaS) ⁶⁶ het gehele (brede) ICT-aanbod in een servicemodel gegoten en waarbij in plaats van fysieke servers, virtuele servers worden gebruikt die op generieke hardware draaien (virtualisatie). Virtualiseringstechnieken maken IT-functionaliteit niet langer meer locatie gebonden. Het kan overal (en indien gewenst gedistribueerd) worden ingericht waar generieke rekenkracht, opslag en connectiviteit voorhanden is. Deze technieken bieden dus grote voordelen qua flexibiliteit en schaalbaarheid. Moderne datacenters (in eigen beheer of van derde partijen), waar generieke rekenkracht, opslag en connectiviteit bij elkaar komen, maken intensief gebruik van deze technieken en spelen dus een belangrijke faciliterende rol in cloudificatie.

Steeds meer aanbieders van IT-producten en -diensten gaan hiertoe over. In het zakelijke domein zien we grote internationale aanbieders van cloud services als Microsoft, Cisco, IBM en Salesforce. Google en Amazon zijn zowel voor de zakelijke als consumentenmarkt van belang. Netflix en Facebook zijn bijna uitsluitend gericht op het consumentensegment. De opkomst van Big Data en op IoT-gebaseerde applicaties zal aan cloudificatie een boost geven. Hieronder is de (wereldwijde) ontwikkeling weergegeven van de verwachte jaarlijkse groei in geïnstalleerde *cloud workload*⁶⁷ en de samenstelling daarvan, opgesplitst tussen consument en zakelijk. Daaruit valt op te maken dat de groei voor een belangrijk deel zit bij consument gerelateerde toepassingen (video, social media, etc). In het zakelijke domein zit de meeste groei bij databases/data analytics/IoT.

⁶⁶ Zie bijlage 3 voor een uitvoeriger bespreking van cloudificatie.

⁶⁷ Cloud workload is de taak die aan 1 virtuele server wordt toegekend.



Figuur 10: Jaarlijkse groei in cloud workload in periode 2015-2020, verdeeld over consument en zakelijk.⁶⁸

Deze transitie naar een volledig op cloud technologie gebaseerd concept biedt aanbieders van diensten ook meer flexibiliteit in de afweging waar de cloud computing onder te brengen in relatie tot de (beschikbare) digitale connectiviteit vanaf die plaats(en) naar de afnemers en vice versa. Een partij als Netflix heeft Content Delivery Networks aangelegd met servers die binnen het domein van een Internet Access Provider liggen (dus dicht bij de afnemers), zodat men de streaming service vanaf dichtbij aan de afnemers kon aanbieden en daardoor niet of nauwelijks te maken heeft met Quality of Service issues. Omgekeerd zijn datacenters met (meerdere) adequate verbindingen via het publieke Internet of via gereserveerde IP-verbindingen een essentiële faciliteit voor cloud computing en zijn deze in de toekomst ook niet meer weg te denken in het ICT-landschap. In de toekomst wordt de introductie verwacht van *fog computing* en *distributed cloud*, wat er in beide gevallen op neer komt dat cloudprocessing veel dichtbij de eindgebruiker komt en ruimtelijk wordt gedistribueerd, uit oogpunt van schaalbaarheid en performance. Men zou daarbij kunnen spreken over mini- of micro datacenters (zie ook paragraaf 5.3 over datacenters).

3.5.5 Transitie naar IPv6

We bespreken de transitie van IPv4 naar IPv6 hier als een ontwikkeling aan de aanbodzijde, maar de noodzaak voor de transitie is duidelijk gedreven door de sterk toegenomen vraag naar IP-adressen en de daarin nog te verwachten groei.

IPv6 is in het leven geroepen omdat het oorspronkelijke Internetprotocol (IPv4, uit begin jaren '80) over te weinig unieke adressen beschikt (4 miljard) om alle apparaten transparant op Internet te kunnen aansluiten. IPv6, dat over vele malen meer adressen beschikt en de immense groei van aangesloten apparaten en sensoren wel aan kan, kent een vrij lange historie (sinds eind jaren '90) van beperkte uitrol⁶⁹. Na 2010 begonnen de verschillende

⁶⁸ CAGR: Cumulative Annual Growth Rate

⁶⁹ Van 2010 t/m 2014 heeft TNO uitgebreid aan het Ministerie van Economische zaken gerapporteerd over de uitrol van IPv6. Zie rijksoverheid.nl

internationale IPv4 voorraden uitgeput te raken. De risico's die hieromtrent veel zijn genoemd zijn dat zonder de introductie van IPv6 ontwikkelingen zoals het Internet of Things worden belemmerd en dat nieuwe aansluitingen, onder meer in opkomende landen, een kwalitatief minder goede Internetdienst geleverd krijgen.

De laatste paar jaar is duidelijk geworden dat de uitrol van IPv6 in Nederland en wereldwijd doorzet. Het aantal IPv4-aansluitingen is echter nog steeds veruit in de meerderheid, met zo'n 8% aan Nederlandse Internetgebruikers dat via IPv6 is aangesloten door een operator. Ter vergelijking, in België heeft zo'n 47% procent van de Internetgebruikers een IPv6-aansluiting, in Duitsland 26%, in de Verenigde Staten ongeveer 30%, in Noorwegen 7%, in Denemarken 2% en in Italië 1%⁷⁰.

De uitrol van IPv6 blijft een belangrijk aandachtspunt voor een toekomstvaste uitbreiding van het Internet. Ondanks dat Nederland internationaal niet vooroploopt met de uitrol van IPv6, zetten operators en Internet Service Providers stappen in de uitrol van IPv6 wanneer dit technisch en bedrijfseconomisch het beste uitkomt.

Als we specifiek naar IoT kijken, dan zijn er op hoofdlijnen twee connectiviteitsmodellen te onderscheiden: enerzijds een model waarbij sensoren via een gateway worden aangesloten en anderzijds een model waarbij sensoren direct, transparant, op Internet worden aangesloten. De keuze voor IPv4 of IPv6 (of beide) hangt samen met de complexiteit van het netwerk of de dienst. Een transparante aansluiting, wat met IPv6 mogelijk is, is minder complex en zal daarom voor toepassingen op grote schaal de voorkeur hebben. Echter, een aansluiting met IPv4 is meestal ook (nog) mogelijk, al vraagt dit om extra functionaliteit waarmee IPv4-adressen hergebruikt kunnen worden (o.m. NAT – Network Address Translation). De dienst-aanbieder of netwerkbeheerder zal een afweging maken wat in termen van beheer, kosten en dienstkwaliteit de voorkeur heeft. In standaardisatie zien we dat de eis wordt gesteld dat oplossingen zowel met IPv4 als IPv6 moeten kunnen werken, eenvoudigweg omdat IPv4 momenteel nog de dominante standaard is. De motivaties voor zowel het realiseren van meer IPv6-aansluitingen, als voor het ontwikkelen van manieren om langer met IPv4 te kunnen blijven werken zijn op deze manier beiden aanwezig.

3.5.6 *Samenvatting aanbod*

In de facilitering van het aanbod van digitale diensten zowel voor consumenten als voor de zakelijke markt zijn media, platformen, IoT en cloudificatie belangrijke trends.

In mediatechnologie is de innovatiesnelheid bijzonder hoog met als resultaat dat er de komende jaren meer geavanceerde mediatoepassingen aangeboden zullen worden, zowel voor het consumentensegment als ook voor het zakelijke segment.

De opkomst van IoT zal in het zakelijke segment een belangrijke push geven aan toepassingen die zijn gericht op vergaring van data. Het versterkt dus het al aanwezige aanbod van big data in zeer hoge mate en bevordert ook de ontwikkeling van geavanceerde applicaties die rusten op de analyse en interpretatie van massieve hoeveelheden data.

Platformen en cloudificatie leiden in belangrijke mate tot standaardisatie van IT-oplossingen tot generieke componenten waarmee digitale diensten kunnen worden gebouwd en afgeleverd.

Diverse succesvolle en voor Nederlandse gebruikers belangrijk geworden platformen zijn van buitenlandse (meestal Amerikaanse) origine. Dat kan betekenen dat de digitale connectiviteit

⁷⁰ Wereldwijde IPv6-uitrol volgens Cisco op 10 november 2016, [\[cisco.com\]](https://www.cisco.com)

naar die platformen voor een belangrijk deel buiten Nederland ligt. Daar ontstaan ook weer corrigerende acties op omdat platformen waarvoor dit uit oogpunt van performance van belang is hun presence dichterbij de eindgebruikers brengen. Cloudificatie is het middel dat wordt ingezet om diensten op kosteneffectieve wijze op te schalen. Cloudtechnologie met moderne datacenters als landingsplaats biedt dienstenaanbieders een grote mate van vereenvoudiging, flexibiliteit en zekerheid in de uitrol van diensten. Door de geografische flexibiliteit in het concept is men in staat zich aan te passen aan de lokale/regionale vraag.

De noodzakelijke transitie van IPv4 naar IPv6 zet gestaag door waarbij de markt voor concrete implementaties op efficiënte en vindingrijke manier omgaat met het bestaan van beide. We hebben niet de indruk dat er op dit moment in de praktijk een knelpunt ligt. Op basis van hoe het transitiemechanisme in de praktijk werkt, verwachten we dat een toenemende vraag naar IPv6-adressen bijvoorbeeld in verband met IoT, de relevante partijen in de keten hierin mee zullen bewegen.

3.6 Match vraag en aanbod

3.6.1 Consumentensegment

Hier gaat het om factoren die de markt voor digitale diensten voor consumenten beïnvloeden. Tekortkomingen in digitale connectiviteit die effect hebben op deze markt laten we hier dus nog buiten beschouwing. Dat komt later in dit rapport aan bod.

In de zeer dynamische en competitieve *consumentenmarkt* verwachten we beperkte issues met de match van vraag en aanbod van digitale diensten. De volgende opmerkingen kunnen worden gemaakt ten aanzien van (verwachte) mismatches in vraag en aanbod in deze markt.

- Er is mogelijk sprake van een natuurlijke vertraging van de reactie van de vraag op het aanbod (aanbod appelleert niet aan feitelijke maar aan latente vraag).
- Bepaalde digitale diensten kunnen devices vereisen die (in Nederland) nog niet op de markt zijn. Professionele aanbieders van digitale diensten houden daar in hun marktstrategie rekening mee. Een bekend voorbeeld is de support voor omroepdiensten in mobiele netwerken waar de technologie reeds voor beschikbaar is, maar de toestellen het nog niet ondersteunen.
- Een remmende factor bij de vraag van consumenten naar digitale diensten zijn zorgen over de veiligheid op Internet. Meer dan de helft van de Nederlanders heeft in 2015 wel eens afgezien van activiteiten op het Internet vanwege dit aspect⁷¹. Eén op de negen Nederlanders is daadwerkelijk slachtoffer geworden van cybercrime⁷².
- Een remmende factor is de door consumenten ervaren problematiek met huisnetwerken zoals WiFi netwerken die men niet goed op orde krijgt.

Dit zijn factoren die op langere termijn alsnog (grotendeels) kunnen verdwijnen.

3.6.2 Zakelijk segment

Ook in de markt voor diensten gericht op het *zakelijke segment* zien we op basis van desk research aangevuld met interviews met name een aantal factoren die de vraag remmen:

- Zorgen over de digitale veiligheid. Zowel bedrijven als publieke organisaties ervaren deze remmende factor. Hierbij speelt aan de ene kant de daadwerkelijke dreiging,

⁷¹ Bron: [\[cbs.nl\]](https://www.cbs.nl)

⁷² Bron: [\[cbs.nl\]](https://www.cbs.nl)

maar ook de onzekerheid en het gebrek aan kennis over het onderwerp remmen de vraag naar diensten. Hierbij gaat het zowel om aanvallen van buitenaf, zorgen over privacy, mogelijke chantage en andere vormen van cyber crime. Ondanks de goede positie van Nederland als het gaat om ICT⁷³, heeft slechts 32% van de Nederlands bedrijven een formeel ICT-beveiligingsbeleid⁷⁴

- Onvoldoende visie en kennis bij beslissers/bestuurders. In 'oudere' bedrijven maar vooral bij overheden lijkt o.a. op beslissersniveau nog vaak sprake te zijn van weinig (integrale) visie en actuele kennis; er wordt nog veel gedacht in silo's en ICT wordt nog vaak gezien als 'slechts' ondersteunend aan primaire processen. Dit kan ook neerslaan in weinig budget voor investeringen in ICT. Wanneer het gaat om disruptieve inzet van ICT is het voor de top van organisaties lang niet altijd duidelijk wat het kan betekenen voor het bedrijfsmodel.
- Grote schaarste aan gekwalificeerde mensen: Er is tijdens enkele interviews aangegeven, en wat ook door de vakpers wordt gepubliceerd, dat er in Nederland onvoldoende gekwalificeerde mensen beschikbaar zijn voor het gespecialiseerde werk. Dit wordt als een ICT-breed issue gezien en is niet specifiek gericht op diensten. In dezelfde categorie kan worden genoemd dat nieuwe kennis vanuit kennisinstellingen niet gemakkelijk landt bij bedrijven (met name MKB).
- Uitdagingen in ketenintegratie. Veel van de huidige digitale diensten zijn organisatorisch relatief eenvoudig: Email, telefonie, generieke kantoorautomatisering, et cetera. We zien ook al verschillende diensten waarbij een sterkere impact op ketens aanwezig is: Het hele digitale betalingsverkeer is hier een goed voorbeeld van. Er zijn echter tal van innovatieve toepassingen te verwachten die voor bestaande ketens een disruptief karakter zullen hebben. Een goed voorbeeld daarvan is Uber in de taximarkt, maar de sectorstudies (Hoofdstuk 6-10) hoofdstuk 4-8 bevatten andere, uitgewerkte voorbeelden. Hierna volgen een aantal typische keten-gerelateerde issues:
 - Discussies over standaarden. In veel sectoren zijn verschillende standaarden die onderling concurreren. Dit kunnen standaarden zijn die te maken hebben met digitale connectiviteit, maar het heeft veel vaker betrekking op sectorspecifieke aspecten. Teruggrijpend op het voorbeeld van digitaal betalingsverkeer: Hier is dit bijvoorbeeld op gelost door gebruik te maken van iDeal. Als het gaat om digitaal betalen is er concurrentie (geweest) tussen de fabrikant van de telefoon (Apple, Google), de eigenaar van de sim kaart (KPN, Vodafone) en de banken (ING, ABN-AMRO) welke stakeholder het platform ging leveren.
 - Ongelijke verdelen van voor- en nadelen. Als het goed wordt uitgevoerd dan betekenen digitale diensten een stap vooruit en een positief welvaartseffect. Hoewel de totale som positief is, zullen er ook partijen zijn die niet of minder profiteren van de ontwikkelingen. Kijken we naar het betalingsverkeer, daar zien we tegenwoordig dat banken en masse lokale kantoren sluiten of al gesloten hebben, met alle consequenties voor de werkgelegenheid van dien. Verlies van werkgelegenheid kan dus een remmend effect hebben op (verdere) digitalisering. We zien echter juist ook dat dat digitalisering kansen biedt voor nieuwe partijen die van meet af aan in het digitale (cyber) domein acteren, zoals Bunq in de financiële sector, AirBNB in de recreatiesector, Uber in de mobiliteitssector, et cetera.

⁷³ Bron: ec.europa.eu

⁷⁴ Bron: CBS, *ICT, kennis en economie 2016*, 2016.

- Discussies over wie welke rechten krijgt over de data. Met het perspectief van Big Data in het achterhoofd wordt het steeds meer partijen duidelijk dat de eigenaar van de data een unieke positie heeft. De eigenaar kan druk uitoefenen op de databron omdat hij kennis heeft van zijn processen. Maar de eigenaar van de data kan ook allerlei nieuwe diensten gaan ontwikkelen op basis van de data. Google en Facebook zijn uitermate geïnteresseerd in de betalingsgegevens van individuen.
- Legacyproblematiek in sommige delen van de keten. Om een totale keten om te krijgen, moet alle actoren tegelijkertijd een stap maken. We zien in de praktijk vaak dat sommige delen van de keten te maken hebben met technologie die nog niet afgeschreven is of extreem lastig af te schakelen is. Een goed voorbeeld is het gebruik van de programmeertaal COBOL, een programmeertaal uit 1960 (!). Ten tijde van het schrijven van dit rapport waren er in Nederland een kleine vijftig vacatures waarin werd gevraagd naar deze expertise.⁷⁵ Een groot deel hiervan komt uit de financiële sector (ING, SNS, Delta Lloyd). Het legacy issue creëert ook grote verschillen in dynamiek tussen enerzijds grote gevestigde bedrijven die langere tijd belangen en verantwoordelijkheden houden ten aanzien van legacy en anderzijds start-ups die een 'clean slate' benadering volgen en daarbij de allernieuwste technologie toepassen.

3.7 Conclusie

De conclusie met betrekking tot de markt voor digitale diensten is dat deze zowel in het consumentensegment als in het zakelijke segment tenminste de komende vijf jaar nog sterk zal groeien en naar verwachting ook daarna, zowel in de breedheid van de portfolio's als ook qua adoptie. Het succes van het Internet model evenals diverse belangrijke IT-innovaties hebben hier in zeer belangrijke mate daartoe bij gedragen. De adoptie van digitale diensten in Nederland zou groter kunnen zijn dan die nu is, gezien het feit er diverse vraagremmende factoren aan de orde zijn. Wellicht de belangrijkste waarvoor de oplossing ook binnen de ICT zelf moet worden gevonden is digitale veiligheid.

Eisen aan bandbreedte en aan maximale latency zijn in het algemeen vrij specifiek voor specifieke digitale diensten, maar de algehele trend is wel naar stijgende bandbreedtes en kortere latency tijden. Behoeften aan digitale connectiviteit in termen van bandbreedte en latency worden vooral in het consumentensegment sterk beïnvloed door mediadiensten. Gezien de sterk toenemende afhankelijkheid van personen, huishoudens en organisaties van digitale diensten worden steeds hogere eisen gesteld aan de beschikbaarheid en betrouwbaarheid van digitale diensten.

Voor het zakelijk segment staat cloudificatie gelijk aan outsourcing van IT. Voorlopig zijn en blijven bedrijven in Nederland voorzichtig met het buiten de deur plaatsen van tactische en strategische IT. Voor nieuwe bedrijven die hun toegevoegde waarde rechtstreeks in de cloud realiseren, bijvoorbeeld op het gebied van valorisatie van Big Data zal die terughoudendheid niet of in veel mindere mate gelden. In al die gevallen waar men gaat leunen op externe datacentra (in eigen beheer of van derden, inclusief publieke cloud) zullen aan de connectiviteit van bedrijfsvestigingen met datacentra zeer hoge beschikbaarheidseisen worden gesteld en zal de aansluitcapaciteit in downstream en upstream toereikend moeten zijn om het geaggregeerde dataverkeer tussen een vestiging met het datacentrum op te vangen zodanig dat de prestaties van individuele services uit de cloud er niet merkbaar onder lijden.

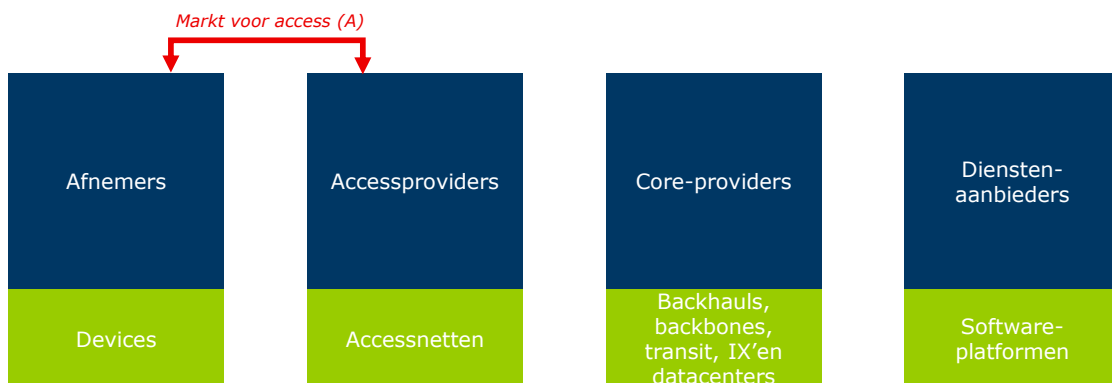
⁷⁵ Bron: indeed.nl

Er zijn geen algemene schattingen af te geven van de benodigde connectiviteit tussen bedrijfslocaties en de datacentra waar ze aan gekoppeld zijn. Omgekeerd kan wel worden gesteld dat de toepassing van cloud computing baat heeft bij moderne datacentra en een hoogwaardige connectiviteit.

4 Markt voor access

In dit hoofdstuk bekijken we de deelmarkt toegangsnetwerken (A) in Nederland, uitgaande van generieke vraag en aanbod. Hiervoor is aangegeven hoe de ontwikkeling van digitale diensten van invloed is op (end-to-end) connectiviteit. Het is bekend dat in end-to-end connectiviteit de toegangsnetwerken de bottleneck vormen. Derhalve wordt in dit rapport ruim aandacht besteed aan deze markt. Achtereenvolgens behandelen we:

- Vaste aansluitnetwerken
- Mobiele aansluitnetwerken
- Netwerken ten behoeve van Internet of Things



Figuur 11. Deelmarkten: markt voor access

4.1 Vaste aansluitnetwerken

Vaste aansluitnetwerken in Nederland maken gebruik van koper (DSL-technologie), coax (DOCSIS-technologie) en glasvezelinfrastructuur. Voor alle netwerken geldt dat zij verschillende topologieën kennen, en worden ingezet voor zowel consumenten- als zakelijke aansluitingen.

4.1.1 Vraag vanuit consumenten

Aansluitcapaciteit

De totale capaciteitsbehoefte van een huishouden hangt af van (1) de omvang en samenstelling van het huishouden, (2) de mate van adoptie van de verschillende diensten, en (3) de intensiteit van gebruik van deze diensten. Met het tweede wordt bedoeld of een huishouden een bepaalde dienst gebruikt, en zo ja, hoeveel personen de dienst gebruiken, en op hoeveel devices de dienst wordt gebruikt. De intensiteit van een dienst wordt bepaald door de vereisten die de dienst stelt aan de connectiviteit; video met zeer hoge kwaliteit stelt hoge eisen en is daarmee een 'intensere' gebruiker van connectiviteit.

In de woonomgeving worden digitale diensten zowel via vaste als ook via portable/mobiele toestellen met een WiFi-connectie geconsumeerd. Een relevant punt is het feit dat zeer veel mensen hun smart phone verkeer thuis laten lopen via de vaste aansluiting, teneinde de mobiele databundel niet onnodig aan te spreken. Verkeerstechnisch is de smart phone in dat scenario dus een toestel dat geen relatie heeft met het mobiele netwerk. Dit offloadingsprincipe wordt al veelvuldig toegepast en zal ook in de toekomst groeien. Cisco geeft (wereldwijde) de indicatie dat het verkeer via vaste aansluitingen voor ca. 2/3 bestaat uit

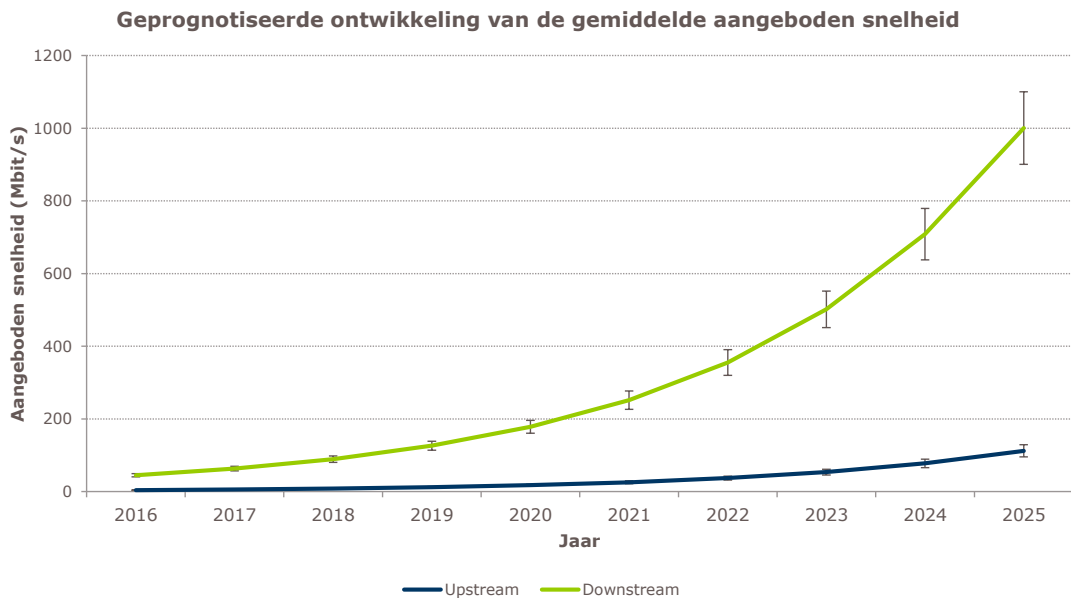
verkeer van WiFi gekoppelde toestellen. Ongeveer de helft van dat verkeer is afkomstig van toestellen met uitsluitend een WiFi-connectie; de overige helft van het verkeer is toe te schrijven aan offloading door smart phones.

Technisch geredeneerd dient de aansluitcapaciteit zodanig te zijn gedimensioneerd dat de meeste gebruiksscenario's qua geaggregeerde instantane verkeersbelasting (downstream en upstream) kunnen worden ondersteund en dat individuele diensten niet of weinig qua prestaties inboeten als gevolg van die verkeersbelasting. Het streamen van media vergt bijvoorbeeld een stabiele bitsnelheid in de verbinding: fluctuaties als gevolg van een hoge verkeersbelasting op de aansluiting kunnen direct invloed hebben op de beeldkwaliteit. Er is ook een relatie met latency: als de end-to-end throughput die een specifieke dienst of toepassing ervaart beneden een bepaald niveau zakt, dan zal zich dat vertalen in hogere latencies. Voor zover die beperking wordt veroorzaakt door het aansluitnetwerk is daar sprake van een uitrol tussen beide.

Dialogic en TU/e hebben op basis van metingen op netwerken van ISP's en modellen ten aanzien van de ontwikkeling van adoptie en intensiteit een inschatting gemaakt van de behoefte aan dataverkeer in termen van datavolume per huishouden.⁷⁶ Hierbij worden vier typen huishoudens onderscheiden naar de snelheid van adoptie van diensten (*laggards, mainstream users, innovators en power users*⁷⁷). Dit volume kan worden vertaald naar een behoefte in termen van gevraagde *bandbreedte* (Mbit/s) door te kijken naar *urgentie* van het verkeer; in andere woorden: hoe snel moet het verwachte datavolume worden verzonden om een fatsoenlijke gebruikerservaring te realiseren? De vertaalslag van volume naar urgentie is gedaan op basis van metingen, en vergelijkt het datavolume met de door ISP's *geadverteerde* snelheden (in de praktijk komen deze overeen met de maximaal haalbare snelheid op een verbinding).

⁷⁶ Dialogic & TU/e (2014). *Fast forward: how the speed of the internet will develop between now and 2020*; en Dialogic & TU/e (2016). *Beyond fast: how the speed of the internet will develop between now and 2022*. Het laatstgenoemde onderzoek betreft een herhaling van het eerste, op basis van dezelfde methodologie, en nieuwe data.

⁷⁷ **Power users** (2%): mensen die diensten ongebruikelijk vroeg adopteren en ze gebruiken op een wijze die ver uitsteekt boven het gemiddelde. **Innovators** (18%): mensen die gebruikelijk vroeg nieuwe diensten adopteren en de meeste door deze diensten geboden functies benutten. **Mainstream** (60%): de grote meerderheid van gebruikers. **Laggards** (20%): de groep van gebruikers dat terughoudend is in de adoptie van nieuwe technologieën en diensten. In het algemeen gebruiken zij Internet alleen omdat er eenvoudigweg geen 'offline' alternatief is.



Figuur 12. Verwachte ontwikkeling van de snelheid van een consumenten aansluiting per huishouden die voldoende is om aan de behoefte te voldoen

Figuur 12 toont de uitkomsten van het onderzoek van Dialogic en de TU/e. De lijnen geven de verwachte (geadverteerde) snelheden aan die een ISP moet hanteren om aan de behoefte van een gemiddeld huishouden te kunnen voldoen. Voor downstream wordt een jaarlijkse groei verwacht van 40,5%, voor upstream een groei van 44,1%. Ondanks het feit dat de groei sneller gaat voor upstream, blijft het voorlopig zo dat consumenten in de downloadrichting veel hogere snelheden nodig hebben dan in de uploadrichting. Onderaan de streep blijven huishoudens vooral consumenten van content.

WIK heeft recentelijk een deelresultaat gepubliceerd⁷⁸ van een onderzoek naar de capaciteitsbehoefte van huishoudens in 2025, dus 3 jaar voorbij het laatste jaar van de Dialogic prognose. Daarbij is een schatting gemaakt van de statistische verdeling van typen huishoudens en is per type een inschatting gemaakt van de capaciteitsbehoefte (downstream/upstream). Dit heeft geresulteerd in de prognose dat in 2025 75% van de huishoudens een capaciteitsbehoefte heeft van tenminste 500 Mbit/s (downstream) en 300 Mbit/s (upstream). Duitsland is Nederland niet, zodat deze resultaten niet automatisch ook voor Nederland zullen gelden. De orde-grootte indicatie is wel informatief.

Latency

Terugverwijzend naar de connectiviteitskenmerken van diverse digitale diensten is geconstateerd dat de latency toleranties sterk verschillen per dienst. Voor bepaalde diensten ligt deze ruim beneden de 100 ms en voor anderen is een seconde of langer geen bezwaar. Belangrijk is dat de eisen/verwachtingen van de diensten ten aanzien van latency slaan op de individuele end-to-end verbindingen, en die allemaal tenminste het aansluitnetwerk gemeenschappelijk hebben. De meest kritische dienst qua latency is niet noodzakelijkerwijs normatief voor het aansluitnetwerk an sich, hoewel dat wel voor de hand ligt. Zoals eerder

⁷⁸ Bron: I. Henseler-Unger, *Hochleistungsfähige Kommunikationsnetze: Wer investiert?*, WIK Consult, October 2016

gesteld kan een te krap op throughput gedimensioneerde individuele aansluiting c.q. het aansluitnetwerk resulteren in extra door de gebruiker ervaren vertragingen.

De trend naar de toekomst toe is dat met het oog op diensten in de entertainment sfeer zoals VR en gaming de eisen die consumenten stellen aan latency strikter worden. Zeker als het portfolio van latency gevoelige diensten in de toekomst breder wordt dan ontstaat er meer druk tot latency-reductie in het aansluitnetwerk. Onze inschatting is dat toch vooral de latency eisen van mediadiensten aan de aanbodzijde de push geven tot latency reductie, onder andere in het aansluitnetwerk (geldt idem voor mobiel).

Beschikbaarheid en betrouwbaarheid

De afhankelijkheid van huishoudens van digitale diensten is reeds groot en zal verder toenemen. Dit maakt dat men hogere eisen gaat stellen aan de beschikbaarheid en in lijn daarmee de betrouwbaarheid van connectiviteit met het Internet. Wel is de nuancering op zijn plaats dat men grofweg een verschil zou moeten maken tussen entertainment gerelateerde diensten en essentiële diensten omdat de impact van uitval niet van dezelfde orde is.

4.1.2 Vraag vanuit zakelijke afnemers

Evenals bij huishoudens is bij organisaties sprake van een bepaalde mix van generieke en specifieke toepassingen die voor een individuele organisatie optelt tot een bepaalde aansluitbehoefte. De grote heterogeniteit van de populatie van organisaties (profit en non-profit) leidt automatisch tot zeer uiteenlopende connectiviteitsbehoeften.

Het gebruikspatroon van organisaties wijkt uiteraard sterk af van dat van consumenten. In algemene zin zal het verkeer zich voornamelijk juist concentreren tijdens kantooruren, maar gedurende die uren wel relatief gelijkmatig zijn. De connectiviteitsbehoefte van een organisatie wordt kwalitatief vooral bepaald door:

Bij kleine organisaties:

- De toegang tot de publieke cloud (Vaak volstaat een consumentenaansluiting)

Bij grotere organisaties:

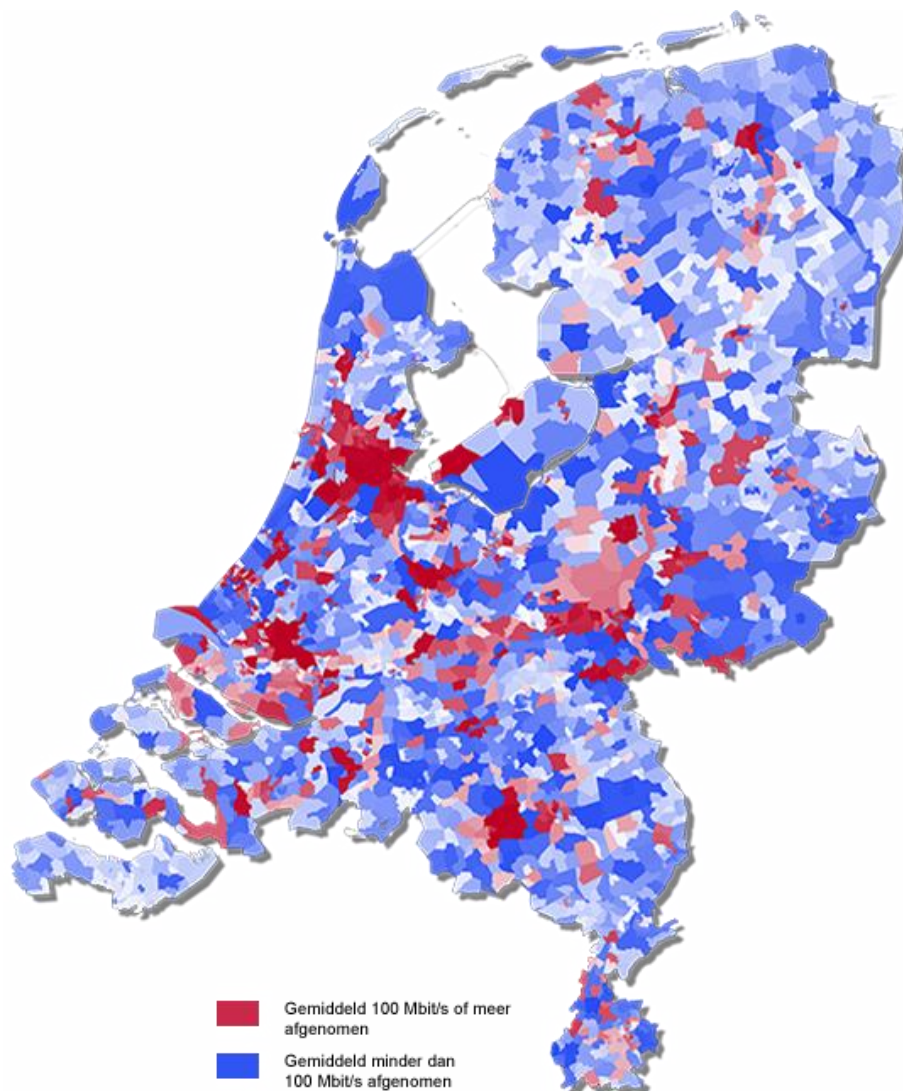
- De toegang tot de publieke cloud
- Eventuele private verbindingen met andere vestigingen
- De toegang tot de private cloud voor zover die in een extern datacentrum is ondergebracht.

De eerder besproken cloudificatietrend leidt ertoe dat steeds meer toepassingen als cloud-dienst (privaat/publiek) wordt afgenomen en dus in de connectiviteitsvraag moeten worden meegenomen.

Bandbreedte

Door Cisco is een inventarisatie gemaakt van actuele en moderne cloud toepassingen met een zakelijk karakter waaruit de diversiteit aan eisen qua bandbreedte en latency wel naar voren komen. Die uitkomst is voor ieder individueel bedrijf weer anders. We verwachten het effect dat bedrijven die hun IT buiten de deur zetten in een datacenter toch de 'LAN-ervaring' willen behouden waardoor instantane capaciteit en latency wel steeds belangrijker gevonden gaan worden. De aansluitcapaciteit moet dus ruim voldoende zijn om meerdere toepassingen simultaan te gebruiken met een geringe kans dat er congestie optreedt en daardoor performanceverlies in die toepassingen. Daarvoor moet door de afnemer ook rekening worden

gehouden met de overboekingsfactor van de aansluiting⁷⁹ (zie analyse aanbod). Aldus is onze conclusie dat de specificaties van de vaste aansluiting wat betreft aansluitcapaciteit (geaggregeerde bandbreedte) van belang is maar zich bijzonder lastig laat kwantificeren in verband met de heterogeniteit, het sterk statistische karakter van dit aspect en het ontbreken van een heldere afbreukcriteria (trade-off tussen bandbreedte en applicatieperformance).



Figuur 13. Gebruik zakelijke, vaste aansluitingen in Nederland.⁸⁰

Figuur 13 toont het huidige gebruik van zakelijke, vaste aansluitingen in Nederland. De gegevens zijn afkomstig uit een onderzoek van Dialogic en gebaseerd op opgaves van alle relevante aanbieders van zakelijke connectiviteit in de Nederlandse markt. Opvallend (en niet verrassend) is dat in de Randstad in een aantal gebieden zeer veel connectiviteit wordt

⁷⁹ In het aansluitnetwerk wordt verkeersaggregatie toegepast met een bepaalde overboekingsfactor. Des te hoger de factor des te gevoeliger de verbinding is voor ander verkeer door dat aansluitnetwerk.

⁸⁰ Bron: *Staat van Telecom*, Dialogic, 2016. Zie [\[destaatvantelecom\]](http://destaatvantelecom.nl)

gevraagd in termen van bandbreedte. In de meeste gevallen wordt dit veroorzaakt door de aanwezigheid van datacenters en grotere kantoorlocaties.

De komende jaren is in het zakelijke segment sprake van een groei van de totale verkeersvraag, zoals ook in de paragraaf over diensten is aangegeven op basis van schattingen van Cisco, met groeicijfers (qua verkeer) van 25-30% per jaar. Uit het eerder aangehaalde onderzoek van WIK komt naar voren dat in Duitsland de meerderheid van de bedrijven zich in 2025 in het segment "Medium" (150-500 Mbits/s downstream) bevindt. We zien geen redenen waarom Nederland hier sterk van zal afwijken.

Latency

Specifieke bedrijfsapplicaties die als dienst worden afgenomen en waarvoor zware latency eisen bepalen de resulterende *latency* eis die aan de digitale connectiviteit wordt gesteld. Voor wat betreft latency zal er voor diverse generieke toepassingen de trend zijn naar tijden onder de 100ms, op basis van de door Cisco opgestelde applicatie inventarisatie. Voor specifieke high performance applicaties kan dit willekeurig veel lager uitpakken. We verwachten in de toekomst een groeiende vraag naar low latency connectiviteit. Als die door de markt ter ondersteuning van belangrijke toepassingen niet kan worden geleverd kan het noodzakelijk zijn om de toepassing binnenshuis te hosten. Dat is overigens vooralsnog niet de hoofdreden waarom men afziet van de cloud-optie.

Beschikbaarheid en betrouwbaarheid

Zoals eerder opgemerkt worden in het licht van de cloudificatietrend beschikbaarheid en betrouwbaarheid van de extern geplaatste IT in een datacenter en van de connectiviteit tussen bedrijf en data center steeds belangrijker. Voor bedrijfskritische toepassingen zal gelden, als die al buiten worden geplaatst, dat men zal overgaan op redundante connectiviteit via een andere route.

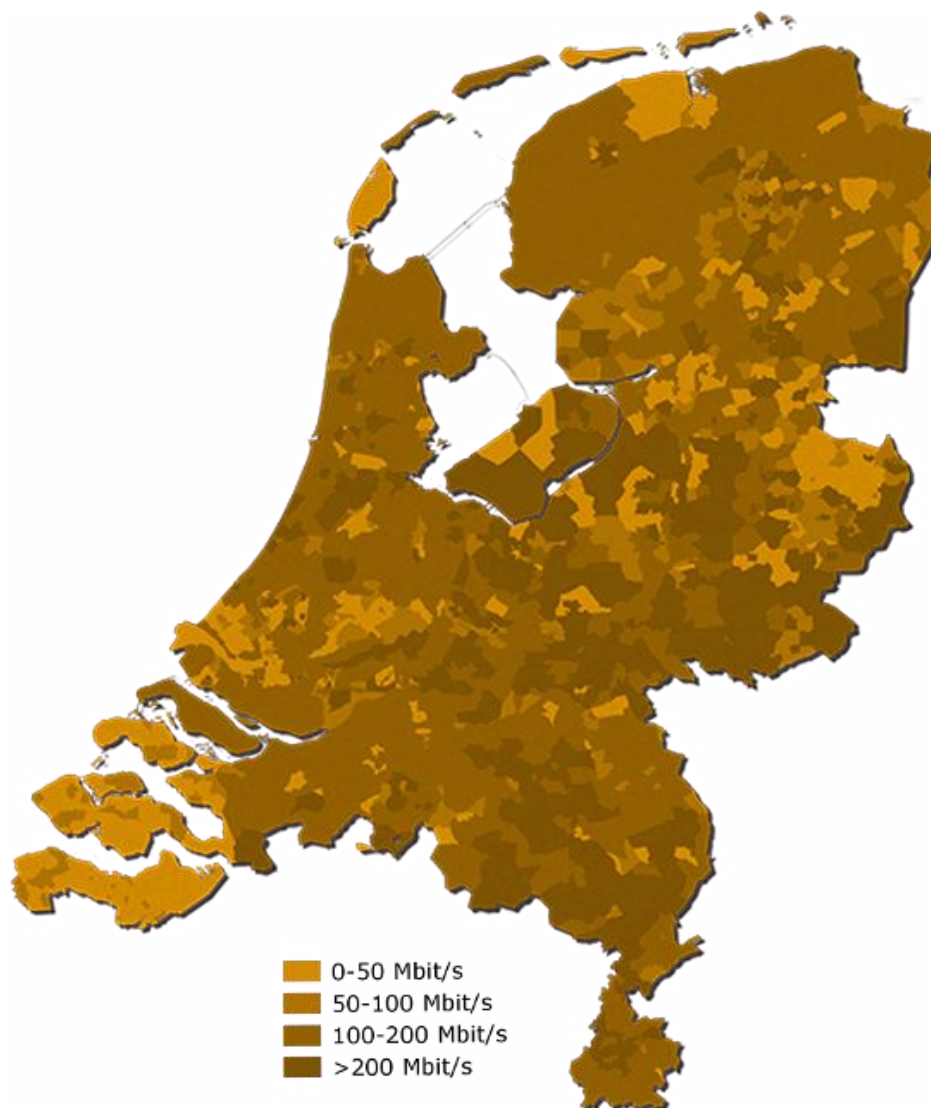
4.1.3 Actueel aanbod vaste netwerkconnectiviteit voor consumenten⁸¹

Na de voorgaande bespreking van de vraagzijde voor wat betreft vaste aansluitingen gaan we in deze paragraaf de aanbodzijde belichten voor zover die is gericht op huishoudens (de consument).

Integrale dekking (op basis van het NGA-criterium)

We bespreken als eerste de dekking van breedband netwerken die bepalend is voor de beschikbaarheid van een aansluiting voor individuele huishoudens. Het is zinvol om eerst te kijken naar de integrale dekking van vaste aansluitnetwerken als functie van de aansluitcapaciteit omdat het snel een eerste indruk geeft van het aanbod in Nederland. Daarbij wordt ook het bekende NGA-criterium gebruikt.

⁸¹ Inclusief kleinzakelijk gebruik.



Figuur 14. Gemiddelde maximaal beschikbare bandbreedte (downstream) op vaste aansluitingen voor consumenten.⁸²

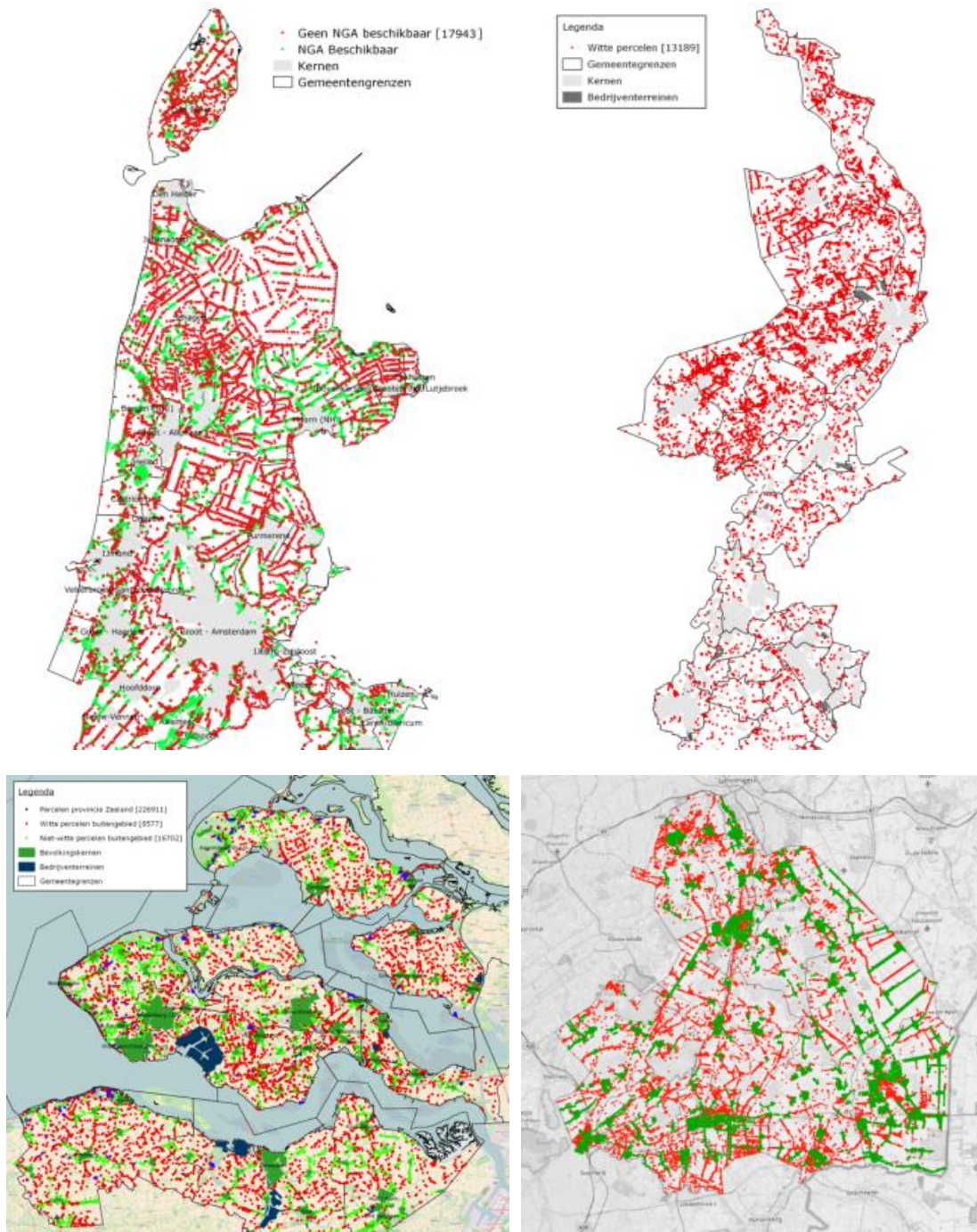
Figuur 14 toont welke maximumsnelheid (downstream) gemiddeld verkrijgbaar is per wijk in Nederland. De gegevens zijn afkomstig uit een onderzoek van Dialogic, welke zich heeft gebaseerd op data van alle grote aanbieders van vaste consumentenansluitingen in Nederland. De figuur laat zien dat grote delen van Nederland toegang hebben tot 100-200 Mbit/s downloadsnelheid⁸³. Uit eerder onderzoek van Stratix⁸⁴ in 2015 is naar voren gekomen dat van de 7,5 miljoen huishoudens in Nederland 196.000 geen toegang hadden tot NGA-snelheden (30 Mbit/s of hoger), dus minder dan 3%.

⁸² Bron: *Staat van Telecom*, Dialogic, 2016. Zie [\[destaatvantelecom.nl\]](http://destaatvantelecom.nl)

⁸³ Een aantal kleinere kabels is niet meegenomen in de afbeelding. Hierdoor lijkt de bandbreedte in bepaalde gebieden (zoals Zeeland, Texel, Noordoost Friesland, Westland) lager dan deze in werkelijk is.

⁸⁴ Bron: *Onderzoek LTE-dekking in Nederland*, Stratix, februari 2015.

Dialogic heeft tevens diverse gedetailleerde analyses uitgevoerd van de beschikbaarheid van breedband op NGA-niveau. Hieronder zijn afbeeldingen weergegeven van de beschikbaarheid van breedband in individuele provincies.



Figuur 15. Beschikbaarheid van snel InternetInternet in verschillende Nederlandse provincies.⁸⁵

De rode stippen in de hierboven getoonde afbeeldingen vertegenwoordigen op perceelniveau adressen waarop geen aansluiting beschikbaar is die voldoet aan de criteria voor *Next Generation Access* (NGA). In de regel wordt hiervoor het criterium van een minimum

⁸⁵ Bron: Dialogic. De peildatum voor de getoonde kaarten ligt (afhankelijk van de provincie) in 2016.

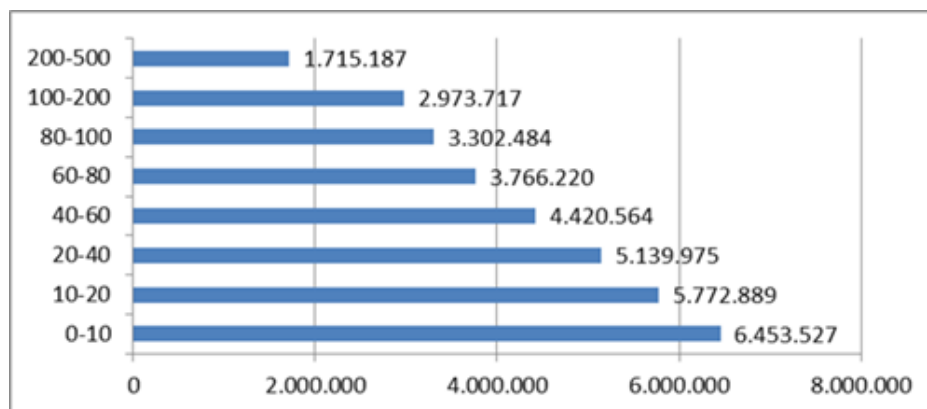
downloadsnelheid van 30 Mbit/s gehanteerd. Deze inventarisaties geven een iets minder rooskleurig beeld dan de vorige afbeelding voor geheel Nederland. De kaarten laten zien dat met name voor specifieke soorten adressen (veelal buiten de kernen en in het buitengebied) de beschikbaarheid van NGA problematisch is.

We zullen nu de dekking van de afzonderlijke typen aansluitnetwerken (DSL, Kabel, Glas) behandelen.

Dekking van DSL

Als gevolg van de aansluitplicht voor telefonie zijn vrijwel alle Nederlandse huishoudens aangesloten op het koperen netwerk. Dat wil niet zeggen dat alle huishoudens beschikking hebben over (snel) Internet over die aansluiting – het netwerk was immers origineel ingericht voor telefonie en is niet in alle gevallen geschikt gemaakt (of te maken) voor breedband Internet. Wanneer een aansluiting kan worden gerealiseerd is de snelheid in het geval van DSL sterk afhankelijk van diverse factoren, waaronder de door KPN uitgerolde DSL-technologie en de lengte van de koperlijn naar het huishouden.

Figuur 16 toont de maximaal haalbare snelheid over DSL per huishouden in Nederland, zoals ingeschat door KPN Wholesale (situatie mei 2016). In de figuur zijn twee groepen te onderscheiden. Ongeveer 3 miljoen huishoudens kunnen in principe beschikken over een snelheid van 100 Mbit/s of hoger. Daar staat tegenover dat ca 4,5 miljoen huishoudens het moeten doen met een lagere snelheid. De variatie in de snelheden is bij deze groep hoger dan bij de eerste groep.



Figuur 16. Maximaal haalbare snelheid over het koperen netwerk voor Nederlandse huishoudens⁸⁶

Dekking van kabel

De dekking van kabel bedraagt in Nederland circa 95% - dat betekent dat meer dan de helft van de huishoudens keuze heeft uit tenminste twee infrastructuren voor NGA. Kabel is veelal uitgerold in kernen. Op de locaties waar kabel beschikbaar is, is vrijwel altijd de hoogste snelheid leverbaar – dit in tegenstelling tot DSL. Uit de ACM Telecommonitor komt ook naar voren dat over de kabel vanaf eind 2015 meer aansluitingen zijn afgenomen met een snelheid substantieel bóven 100 Mbit/s.

⁸⁶ Zie [\[kpn-wholesale.com\]](http://kpn-wholesale.com). Merk op dat de cijfers zoals door KPN weergegeven optellen tot een totaal aantal huishoudens van 30 miljoen, en dus naar alle waarschijnlijkheid cumulatief zijn ten aanzien van de maximumsnelheid.

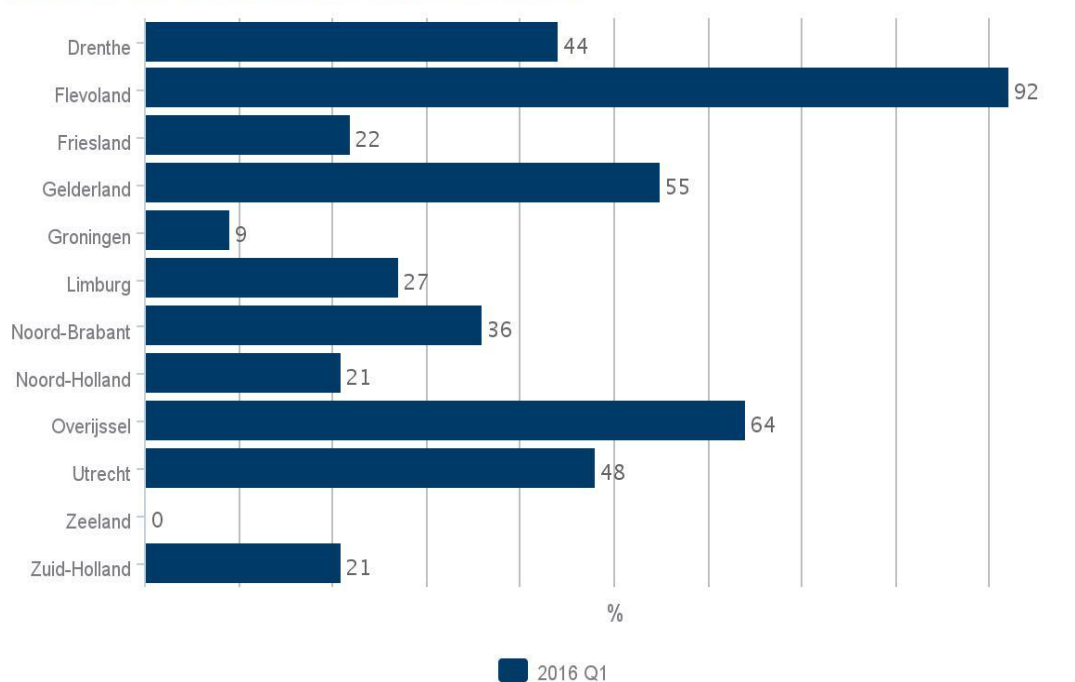
Dekking van glasvezel

Figuur 17 toont een redelijk actuele stand van zaken met betrekking tot de uitrol van glasvezel naar huishoudens in Nederland. Met name de partijen Reggefiber (marktleider, grotendeels in handen van KPN) en CIF (samen met lokale/regionale partijen) zijn actief met aanleg, hoewel in 2015 het tempo terugliep naar 200.000 huishoudens per jaar ten opzichte van 400.000 het jaar daarvoor⁸⁷. CIF concentreert zich vooral op Midden Nederland en in delen van de Randstad. In 2016 heeft 28% van de huishoudens in Nederland toegang tot NGA over zowel kabel, koper als glasvezel, en daarmee een keuze uit drie vaste infrastructuren.⁸⁸

Bij de uitrol van FttH in Nederland is ook sprake van diverse verschillende initiatieven op regionaal en lokaal niveau met verschillende betrokken actoren en verschillende financierings- en exploitatiemodellen. Door de verschillen tussen deze individuele infrastructuren wat betreft in openheid op de diverse lagen ontstaat het risico op een lappendeken wat de opschaling van nieuwe diensten op uniforme wijze over FttH kan belemmeren.

FTTH Homes Passed penetratie per provincie in Nederland

Penetratie 2016 Q1. Bron: Telecompaper FTTH Monitor



Figuur 17. Percentage huishoudens per provincie dat is aangesloten op glasvezel. Bij de interpretatie van de figuur moet er rekening mee worden gehouden dat provincies onderling duidelijk verschillen t.a.v. aantallen huishoudens⁸⁹.

Figuur 17 toont de uitrol van glasvezel voor huishoudens in Nederland (FttH) uitgesplitst naar provincies, peildatum medio 2014. Hoewel de figuur wat ouder is geeft deze inzicht in de wijze waarop glasvezel in Nederland wordt uitgerold. In de figuur valt op dat de aanleg

⁸⁷ Bron: telecompaper.com

⁸⁸ Bron: *Staat van Telecom*, Dialogic, 2016.. De cijfers zijn onder andere gebaseerd op cijfers uit de ACM Telecommonitor.

⁸⁹ Bron: Telecompaper FttH-monitor, eerste kwartaal 2016.

van glasvezel naar huishoudens vooral speelt in gebieden buiten de Randstad. Dit valt deels te verklaren door het feit dat in de Randstad en andere verstedelijkte gebieden veelal goede koper- en coxaansluitingen beschikbaar zijn. Ook is aanleg in minder verstedelijkte gebieden vaak eenvoudiger, onder meer doordat de benodigde graafwerkzaamheden makkelijker kunnen worden uitgevoerd dan in een stedelijke omgeving⁹⁰, en doordat vraagbundeling (welke nodig is om operators tot investering over te laten gaan) makkelijker verloopt.

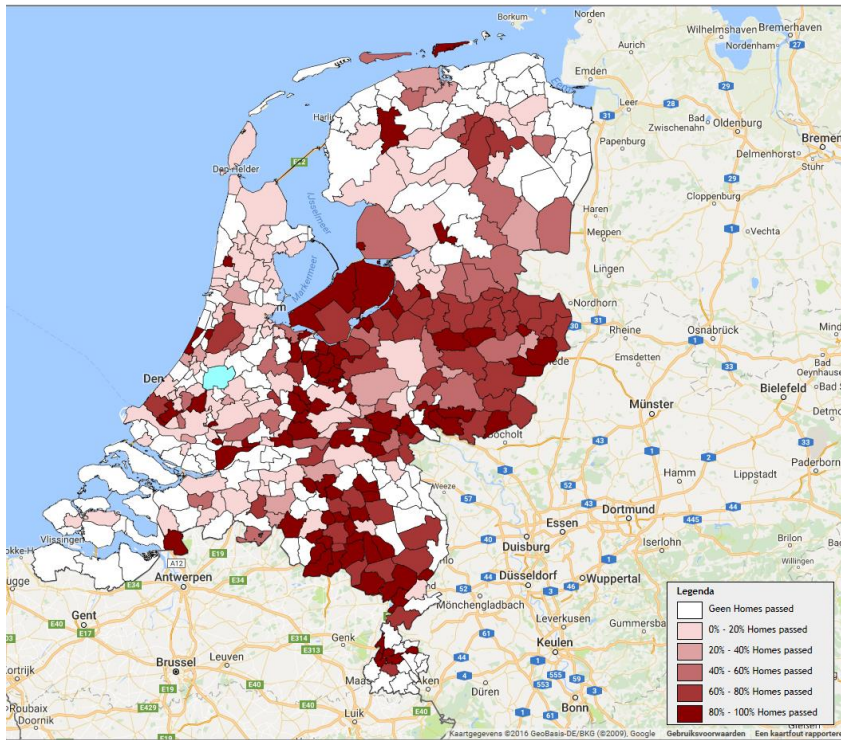
Uit de figuur valt verder op te maken dat Flevoland koploper is in de verglazing. Zeeland lijkt in deze ontwikkeling niet mee te doen. In Zeeland heeft Delta een kabelnetwerk dat is uitgerold tot in de allerkleinste kernen. Er is wel sprake van een beperkte uitrol door Reggefiber in kleine nieuwbouwwijken, maar het sterk versplinterde en uitgestrekte buitengebied en de aanwezigheid van Delta maakt het waarschijnlijk minder aantrekkelijk voor investeerders in FttH. Ook van belang te vermelden dat Greenet in Zeeland actief is. Verder zien we in de Randstad provincies Zuid – en Noord-Holland het beeld bevestigd dat er nog steeds beperkt wordt ingezet op aanleg van FttH, op een niveau dat vergelijkbaar is met de meest noordelijke provincies Groningen en Friesland. Alleen de Randstad- provincie Utrecht komt hier duidelijk boven uit. Dezelfde bron vermeldt dat wordt ingeschat dat in 2020 bijna de helft van de huishoudens toegang kunnen hebben tot glas.

Dat glasvezel beschikbaar is voor een bepaald huishouden betekent uiteraard nog niet dat er ook gebruik wordt gemaakt van de aansluiting – zeker wanneer ook andere infrastructuur voorhanden is. In maart 2016 is het aantal geactiveerde FttH-aansluitingen de 1 miljoen gepasseerd (op de ca 2,5 miljoen homes passed), wat neerkomt op ca. 13% van de huishoudens⁹¹. Telecom Paper⁹² publiceerde in november 2016 een percentage van 15% voor het derde kwartaal. Uitgaande van hun trendcijfers bedroeg de groei in deze markt over het afgelopen jaar 2%. Aldus neemt het belang van FttH geleidelijk aan toe in het Nederlandse breedbandaanbod.

⁹⁰ Bron: [\[wilookglasvezel.nl\]](http://wilookglasvezel.nl)

⁹¹ Bron: [\[dinl.nl/\]](http://dinl.nl/)

⁹² Bron: [\[telecompaper.com\]](http://telecompaper.com)



Figuur 18. Uitrol van glasvezel in Nederland volgens de Glaskaart van onderzoeksbureau Stratix. Peiling: eerste kwartaal 2016⁹³

Snelheden

Na dekking gaan we hier in op de maximale snelheden die met verschillende aansluitnetwerken haalbaar zijn. We doen dit gecombineerd voor de opties DSL, Kabel en Glas.

Zoals eerder aangegeven geldt voor DSL dat de haalbare snelheid sterk kan variëren per aansluiting – in de regel geven Nederlandse DSL ISP's daarom bij het afsluiten van een abonnement aan wat de maximaal haalbare snelheid is na het invullen van een adres. Met name op de koperlijnen waarop nu al hoge snelheden mogelijk zijn lijkt nog enige ruimte voor groei. Voor kabel geldt dat in de regel alle aangeboden snelheden beschikbaar zijn op een aansluiting, en dat er nog ruimte is voor het aanbieden van snellere abonnementen. Op glasvezelnetten wordt de snelheid (in theorie) niet beperkt door de glasvezel, maar door de actieve apparatuur die aan weerszijden is opgesteld. In de praktijk zien we in de markt snelheden tot 1 Gbit/s beschikbaar.

In Tabel 5 hieronder is voor een aantal providers per provider weergegeven welke hoogste snelheden (downstream/upstream) in Q3 van 2016 worden aangeboden⁹⁴ in de consumentenmarkt. Er is sprake van enige onderlinge variatie in de DSL-aanbiedingen. De duurste FTTH-opties zijn allen op 500 Mbit/s symmetrisch gespecificeerd. Beschikbaarheid en daadwerkelijke aansluitsnelheden worden bepaald aan de hand van de postcodecheck.

⁹³ Bron: stratix.nl/glaskaart/

⁹⁴ Bron: providercheck.nl

Tabel 5 Overzicht van aangeboden (geadverteerde) maximumsnelheden per provider en aansluittechnologie, samengesteld op basis van geadverteerde informatie.

Aansluittechnologie	KPN	Telfort	XS4ALL	Fiber	Vodafone	Ziggo
ADSL2+						
Downstream	20	12	20		20	
Upstream	2	1	2		2	
VDSL						
Downstream	60	80	100		80	
Upstream	6	8	5		8	
Kabel						
Downstream						300
Upstream						30
Glasvezel						
Downstream	500	100	500	500	500	
Upstream	500	100	500	500	500	

De tabel toont de geadverteerde snelheden die typisch hoger liggen dan de actueel haalbare snelheden. De top-3 rangorde is bekend: glasvezel biedt de hoogste aansluitcapaciteit, gevolgd door Kabel en VDSL2.

Latency

Zoals eerder besproken is latency voor een aantal toepassingen een belangrijke parameter die bepalend is voor de gebruikerservaring. Desondanks is informatie over de minimale en maximale latency die een verbinding kan bieden moeilijk te vinden, zeker voor consumentenaansluitingen. De gegevens blijken wel vaker beschikbaar te zijn voor zakelijke aansluitingen. Daarnaast publiceert KPN Wholesale gegevens ten aanzien van de performance van DSL-aansluitingen (Tabel 6).

Tabel 6 Overzicht specificaties DSL-aansluitingen⁹⁵

Type dienst	Parameter	ADSL2/VDSL2	Vectored VDSL2/G.INP*
Premium dienst	Latency	<23 ms	<9ms
	Jitter	<4 ms	<8 ms
	Frameverlies	<0,05%	<0,05%
Lite dienst	Delay	<27 ms	<13 ms
	Jitter	<4 ms	< 8ms

⁹⁵ Bron: KPN WBA Annex 2 (Technische specificaties) v5.7 geldig per 12 februari 2016.

Voor zowel kabel als DSL gelden typische latencies van 10-50ms (van het modem van de gebruiker tot aan het core-netwerk van de operator). Op DSL-verbindingen wordt de latency met name bepaald door technieken die worden gebruikt om over kwalitatief matige verbindingen met een hoge foutenkans toch voldoende capaciteit te bereiken. Omdat de kans op kwalitatief matige verbindingen gecorreleerd is met de *local loop*afstand, moet men bij DSL dus rekening houden met een afstandsafhankelijkheid in de latencyprestaties. Bij glasvezel en bij de Kabel is de latency in de regel niet afstandsafhankelijk, waarbij de latency bij glasvezel lager ligt dan die van de Kabel.

SamKnows heeft de resultaten gepubliceerd van een in 2016 in Canada uitgevoerde vrij omvangrijke meetcampagne⁹⁶ Onder andere zijn de gemeten latency-waarden voor DSL-, Kabel- en FTTH-verbindingen opgenomen. Dit rapport bevestigt de grootteorde voor wat betreft DSL (16-30ms) en Kabel (17-21ms). Voor FttH was in deze campagne een stabiele waarde van ca 11ms gemeten (in diverse scenario's)⁹⁷.

Cisco monitort de latency performance in verschillende regio's in de wereld. Voor client-server verbindingen over vaste netwerken zijn voor de gemiddeld gemeten latency de afnemende waarden 46 ms (2014), 44 ms (2015) en 38 ms (2016) gepubliceerd.

De diverse hier aangehaalde bronnen geven een indruk van de grootte-orde latency waarden die via vast kunnen worden aangeboden. Deze waarden krijgen meer betekenis als we ze vergelijken met latencyindicaties die we voor diverse diensten hadden afgegeven. Als we voor dat laatste een gemiddeld gewenste latency van 100 ms aanhouden dan kunnen alle netwerkopties daaraan voldoen als we de latencybijdrage buiten het toegangsnetwerk mogen verwaarlozen. Voor toepassingen waarvoor de latency eisen zwaarder zijn, zijn de marges bij DSL en Kabel krap en biedt glas op dit moment een betere propositie. Voor DSL en Kabel geldt wel dat voorgenomen innovaties in die netwerken uitzicht geven op verbetering van latency prestaties.

Betrouwbaarheid

In de consumentenmarkt speelt betrouwbaarheid van dienstverlening vooralsnog een minder prominente rol in de proposities van dienstenaanbieders. In tegenstelling tot de zakelijke markt wordt betrouwbaarheid van dienstverlening meestal ook niet gespecificeerd. Gezien de prioriteit van betrouwbaarheid voor de zakelijke markt is in dit rapport een beschouwing over dit aspect ook daar opgenomen (zie paragraaf 4.1.4).

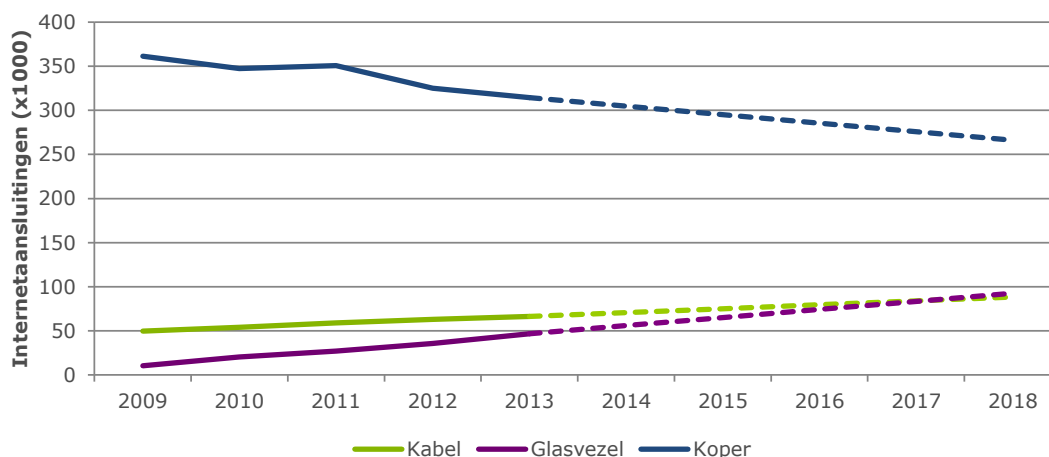
4.1.4 Actueel aanbod van vaste netwerkconnectiviteit voor zakelijke gebruikers

Dekking

Uit het eerder aangehaalde onderzoek van Stratix uit 2015 kwam naar voren dat van de 1,5 miljoen bedrijfsvestigingen er 132.000 (ca. 9%) geen toegang had tot NGA-snelheden. Figuur 19 toont de (geprognoseerde) verdeling van het aantal zakelijke aansluitingen over de verschillende infrastructuurtypen.

⁹⁶ Bron: crtc.gc.ca

⁹⁷ Deze metingen zijn weliswaar in Canada uitgevoerd, maar de in de test betrokken technologieën zijn vergelijkbaar met de hier beschouwde technologieën en het testscenario is niet sterk afwijkend van een scenario zoals dat in Nederland zou zijn gehanteerd. Daarom is ervoor gekozen deze indicaties hier toch te noemen.



Figuur 19. Prognose van het aantal zakelijke aansluitingen naar infrastructuur⁹⁸.

Ten aanzien van zakelijk DSL geldt dat de dekking in principe min of meer gelijk is aan de dekking zoals eerder weergegeven voor consumentenansluitingen. De zakelijke dienstverlening van KPN heeft eveneens te maken met het feit dat snelheid varieert naargelang de lengte van de koperlijn. De in Tabel 6 genoemde specificaties voor wholesale gelden tevens voor zakelijke aansluitingen zoals geleverd door KPN.

Zakelijke gebruikers kunnen ook gebruik maken van de kabel voor het realiseren van connectiviteit. Hoewel de dekking van kabel voor consumenten zoals eerder genoemd zeer hoog is, is dit voor zakelijke gebruikers niet het geval. Het kabelnetwerk ligt typisch in woonwijken want het is primair aangelegd om huishoudens van TV te voorzien. Dat betekent dat zakelijke percelen die tussen woningen liggen (zoals winkels, horeca, scholen, kleine kantoren aan huis) vaak wel een kabelaansluiting hebben, maar de zakelijke percelen die geclusterd zijn op bedrijventerreinen dit typisch niet hebben. Ziggo levert overigens wel een substantieel aantal zakelijke aansluitingen over glasvezel (marktaandeel circa 10-15%).

Zakelijke glasvezelaansluitingen worden in de regel specifiek voor een zakelijke locatie aangelegd (tenzij er sprake is van vraagbundeling op een bedrijventerrein, of een zakelijke adres kan 'meeliften' op uitrol voor consumenten). Wanneer een individuele aansluiting moet worden gerealiseerd is de afstand tot het aansluitnetwerk van de glasvezelaanbieder bepalend voor de kosten (die voornamelijk bestaan uit graafkosten). ACM geeft in haar marktanalyse⁹⁹ de volgende indicaties voor het percentage van de bedrijfslocaties in Nederland dat binnen 150 meter bereik ligt van een netwerk:

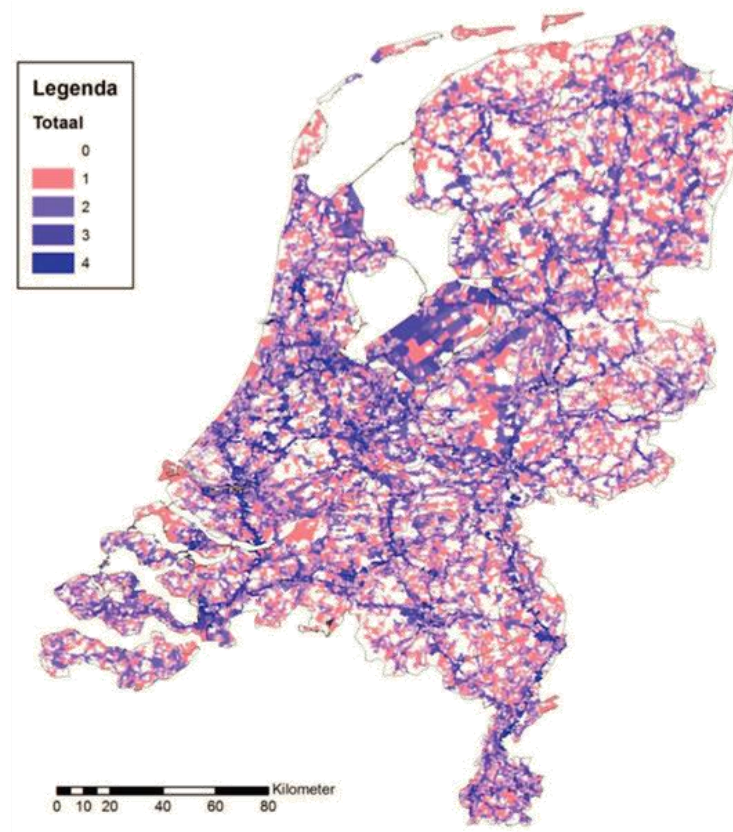
1. KPN (marktleider): 80-85% van de bedrijfslocaties "binnen bereik"
2. Ziggo: 60-65%
3. Eurofiber: 40-45%
4. Regionale Fiber-to-the-Office aanbieders

De onderstaande kaart (Figuur 20) laat op macroniveau zien hoe de beschikbaarheid van zakelijke netwerktoegang (glas) geografisch is verdeeld. Een niet onaanzienlijk deel van het grondgebied is wit of roze gekleurd. De roze inkleuring duidt wel op beperkte keuzevrijheid,

⁹⁸ Bron: *Prospectief onderzoek naar de marktaandeelontwikkeling op de telecommunicatiemarkten voor internettoegang, vaste telefonie en zakelijke netwerkdiensten*, Dialogic, 2014. Onderzoek in opdracht van ACM. [\[acm.nl\]](http://acm.nl)

⁹⁹ Bron: Marktanalyse FttO (publieke versie), ACM, september 2016

maar ACM heeft geen prijsopdrijvende effecten geconstateerd. Bedrijven gevestigd in de witte gebieden hebben zeer waarschijnlijk te maken met hogere aansluitkosten door langere graafafstanden. Merk op dat de blauwe lijnen vaak samenvallen met snelweg- en spoorinfrastructuur. Een goede digitale en fysieke infrastructuur valt dus samen. Dit heeft twee kanten: De meeste bedrijven op deze manier een goede fysieke en digitale infrastructuur, maar een deel van de bedrijven heeft geen van beide.



Figuur 20. Aantal zakelijke glasnetwerken per postcode-6-gebied¹⁰⁰.

Capaciteit en snelheid

Voor zakelijke aansluitingen over koper zien we op dit moment aangeboden snelheden tussen de 10 – 100 Mbit/s (downstream). Ziggo biedt over de kabel een zakelijk abonnement van 500 Mbit/s (downstream) met 40 Mbit/s (upstream). Het betreft hier generiek-zakelijk aanbod, gericht op MKB. Over glasvezel is in de regel geen beperking ten aanzien van de snelheid: zakelijke gebruikers met een zeer hoge bandbreedtebehoefte zullen op een gegeven moment kiezen voor (al dan niet managed) dark fiber, waarmee met eigen apparatuur kan worden gewerkt.

Overboeking

Voor zakelijke aansluitingen speelt naast de beschikbare bandbreedte, betrouwbaarheid en latency ook de *overboekingsfactor* een rol. Overboeking is de situatie waarin een aansluitverbinding wordt gedeeld door meerdere gebruikers, waardoor de maximale capaciteit niet altijd beschikbaar is (er kan congestie optreden op het netwerk, waardoor pakketten worden vertraagd of zelfs helemaal niet meer aankomen; netwerken zijn uiteraard zo gedimensioneerd dat ondanks de overboeking deze situatie nauwelijks voorkomt). Voor

¹⁰⁰ Bron: Marktanalyse FttO (publieke versie), ACM, september 2016.

consumentenaansluitingen is overboeking de norm en voor de gebruiker nauwelijks merkbaar, vanwege het karakter van het gebruik. Bepaalde zakelijke gebruikers zullen wel in alle gevallen alle capaciteit nodig hebben, en kunnen daarom minder goed leven met overboeking. Bij zakelijk aanbod wordt de overboekingsfactor (op het aansluitnetwerk) vaak gespecificeerd (1:15 tot 1:1 is gangbaar).

Latency

In onderstaande Tabel 7 zijn latency-waarden opgenomen die op dit moment in de markt courant zijn voor zakelijke aansluitingen via verschillende toegangsopties. Voor glasvezel geldt dat wanneer een zakelijke afnemer *dark fiber* afneemt, deze zelf kan kiezen welke apparatuur wordt gebruikt, en daarmee de latency volledig in eigen hand heeft (uiteraard binnen de grenzen van wat fysiek mogelijk is gegeven de lengte van de glasvezelverbinding en de lichtsnelheid in de vezel).

Betrouwbaarheid

Betrouwbaarheid van dienstverlening omvat diverse aspecten: de beschikbaarheid van het netwerk, de betrouwbaarheid van de prestaties van een verbinding (betrouwbare capaciteit, betrouwbare vertraging), maar ook de beschikbaarheid van de helpdesk en de betrouwbaarheid van hun support. Oorzaken van (tijdelijke) uitval kunnen systeem-intern zijn (bugs in de software van een router) of systeem-extern (energie-uitval, brand in gebouw of omgeving, of een Cyberaanval).

Telecommunicatiebedrijven hanteren evenals veel andere grote bedrijven in de IT van nature zware normen voor bedrijfszekerheid¹⁰¹. Daarnaast zullen aanbieders beducht zijn voor reputatieschade door negatieve berichtgeving of voor verlies van belangrijke zakelijke klanten (druk vanuit de markt) bij continuïteitsissues. Aanbieders van openbare telecommunicatiediensten evenals aanbieders van netwerkdiensten hebben echter ook een *wettelijke zorgplicht continuïteit*¹⁰² in verband met het vitale belang van telecom voor het maatschappelijk functioneren (druk vanuit de overheid). De zorgplicht omvat de plicht om passende maatregelen te nemen om netwerken en diensten continu beschikbaar te houden en om risico's van uitval te beheersen. 'Passend' betekent dat de maatregelen geschikt zijn gezien de stand van de techniek en de risico's die zich kunnen voordoen. Een en ander moet zijn vastgelegd in een continuïteitsplan dat wordt ge-audit door de overheid. Tevens geldt de verplichting om bij een technische storing, of bij uitval van het elektriciteitsnetwerk, alle noodzakelijke maatregelen te treffen om dienstverlening zo snel mogelijk te herstellen, ongeacht de kosten.

Vergroten van de robuustheid van netwerken is kostbaar en de keuze voor bepaalde maatregelen voor back-up of hot stand-by om het risico van uitval te mitigeren is een bedrijfseconomische afweging. De zorgplicht noopt telecomaandbieders dus om voldoende preventieve maatregelen in te bouwen voor de borging van de continuïteit. Er is daarbij uiteraard een verschil in weging van het belang van continuïteit van verschillende netwerkelementen: hoe dieper het netwerkelement in het netwerk staat, des te groter kan de impact op het netwerk zijn als dat element uitvalt. Telecomoperators werken onderling samen in het kader van continuïteit van dienstverlening, in de bestrijding van DDoS- en andere typen Cyberaanvallen.

¹⁰¹ Zie bijvoorbeeld ISO 22301.

¹⁰² Bron: [\[agentschaptelecom.nl\]](http://agentschaptelecom.nl)

Wat niet onvermeld mag blijven is dat nog veel consumenten problemen ervaren in hun eigen huisnetwerk wat bijdraagt aan de Quality of Experience in het gebruik van digitale diensten.

Er zijn bij diverse dienstenaanbieders geadverteerde waarden gevonden voor de beschikbaarheid (percentage up-time) van hun zakelijke diensten. Tabel 7 geeft een overzicht hiervan.

Tabel 7 Technische eigenschappen zakelijke aansluitingen

	Typ. snelheden (DS/US) ¹⁰³ (Mbit/s)	Latency (ms)	Uptime ¹⁰⁴
Koper			
ADSL2+	24/1	<30	99,6-99,9%
VDSL2	40/3	<30	99,8-99,9%
SDSL	2,3 (DS&US)	<30	99,8-99,9%
SDSL Bonded	9,2 (DS&US)	<30	
Ethernet over koper	<20		99,9%
Kabel			
	500/40	<20	99,6-99,8%
Managed Fiber			
Actief	10-10.000 (DS&US)	< 11	99,9-99,98%

4.1.5 Ontwikkelingen in vaste aansluitnetwerken

Als we de ontwikkelingen van de toegangsnetwerken op basis van DSL, kabel en glas op de wat langere termijn bekijken, dan komen we samengevat tot de volgende constatering (zie bijlage 4 voor een uitvoerige behandeling):

Wat betreft DSL gaan uitrol en upgradering van VDSL2 snel door in een tempo dusdanig dat de concurrentiepositie met de kabel op zoveel mogelijk locaties gehandhaafd blijft. Met VDSL kan de downstreamsnelheid nog verder worden opgevoerd tot uiteindelijk 400 Mbit/s. De vectoring technologie is daarbij cruciaal maar verhindert ook het langer aanhouden van het local loop ontbundelingsprincipe. Derhalve wordt waar nodig overgegaan op een wholesale aanbod van VULA-diensten door KPN aan ISP's. De volgende stap in dit access netwerk is verdere verglazing in combinatie met G.Fast. Dit biedt uitzicht op 1 Gbit/s snelheid flexibel te verdelen over downstream en upstream en latencies in de orde van 1 ms. Een andere optie is de sprong naar FttX maken. Deze migratiestrategie is niet triviaal en ook zeer afhankelijk van lokale factoren (en van de marktsituatie). Belangrijk in deze ontwikkeling is het besef dat de *footprint* van het DSL-netwerk geleidelijk aan kleiner wordt met de toename in snelheid. Onze inschatting op grond van de progressie in de markt qua aansluitsnelheden is dat dergelijke keuzes zich al voor 2020 gaan manifesteren, en dat het uitroldilemma vooral in steden gaat spelen.

Wat betreft de Kabel (coax): deze kent een geheel ander evolutietraject, sterk gebaseerd op DOCSIS 3.1. Dit vergt weliswaar ingrepen in het netwerk en de modems, maar de verdieping van de verglazing in het netwerk kan nog vrij lange tijd worden uitgesteld. De uitdagingen

¹⁰³ DS: Downstream; US: Upstream

¹⁰⁴ Gebaseerd op cijfers van Dataweb, Tele2, KPN, Ziggo, IPVisie, Signet, Previder en ACM.

waar de Kabel zich voor gesteld ziet zijn impopulaire neveneffecten van verruiming en herallocatie van het spectrum. Het betreft de continuïteit van de FM-omroepdiensten door een herbestemming van de onderband voor upstreamverkeer en mogelijke technische issues in de huisnetwerken als de bovenband maximaal wordt opgerek. Vergroting van de upstream capaciteit is noodzakelijk gezien de verwachte groei in de vraag van huishoudens. In tegenstelling tot het DSL access netwerk is bij de Kabel geen sprake van een reductie van de dekking. Met DOCSIS 3.1 worden lagere latencies mogelijk die concurrerend zijn met VDSL2.

De technische ontwikkelingen in glas zijn niet spannend. De kosten van actieve apparatuur worden steeds minder bepalend in de aansluitkosten. De aanlegkosten van de fiber blijven de grootste component, hoewel met nieuwe technieken deze kosten gemiddeld genomen dalen. Vooral voor zakelijke aansluitingen geldt dat wanneer de vezel er eenmaal ligt, optische transmissietechnologie volop mogelijkheden biedt om de capaciteit tegen aanvaardbare kosten naar behoefte uit te breiden.

4.1.6 Match van vraag en aanbod voor vaste aansluitnetwerken

De actuele match en toekomstige invloeden daarop bespreken we achtereenvolgens voor de bandbreedte (enkelvoudige aansluitcapaciteit) in combinatie met dekking, latency en betrouwbaarheid.

Aansluitcapaciteit en dekking

In onderstaande tabellen vergelijken we actuele cijfers over toegang en adoptie met elkaar, op basis van cijfers ontleend aan de ACM Telecom Monitor, de Staat van de Telecom en Telecompaper.

Tabel 8 Huidige stand van zaken toegang en adoptie breedband in Nederland

Type vast breedband	% Toegang
Broadband (<30 Mbit/s)	>99,9%
Fast broadband (>30 Mbit/s)	97%
Ultra fast broadband (>100 Mbit/s)	91%

Type vast breedband	% Adoptie
Broadband (<30 Mbit/s)	31%
Fast broadband (≥30 Mbit/s, <100Mbit/s)	36%
Ultra fast broadband (≥100 Mbit/s)	32%

Als we nagaan hoe de breedbandabbonnementen zijn verdeeld over de opties DSL, Kabel en glas, dan komt dat neer op de volgende verhouding (eerste kwartaal 2016): DSL: 37%, Kabel: 43% en glas: ca. 14%. Er is sprake van een gestage daling in DSL-aansluitingen, een zeer lichte daling van het aantal aansluitingen op de Kabel en een gestage groei in glasaansluitingen.

Wat betreft de komende jaren verwacht Telecom Paper voor de periode 2016-2020 een jaarlijkse groei in het aantal breedbandaansluitingen van 1,9%.

Uit deze cijfers over vraag en aanbod zowel voor het consumenten- als het zakelijke segment valt op te maken dat op vrijwel alle huishoudens in Nederland zijn geabonneerd op breedband. Een hoog percentage van huishoudens heeft toegang tot Fast en Ultra Fast Broadband

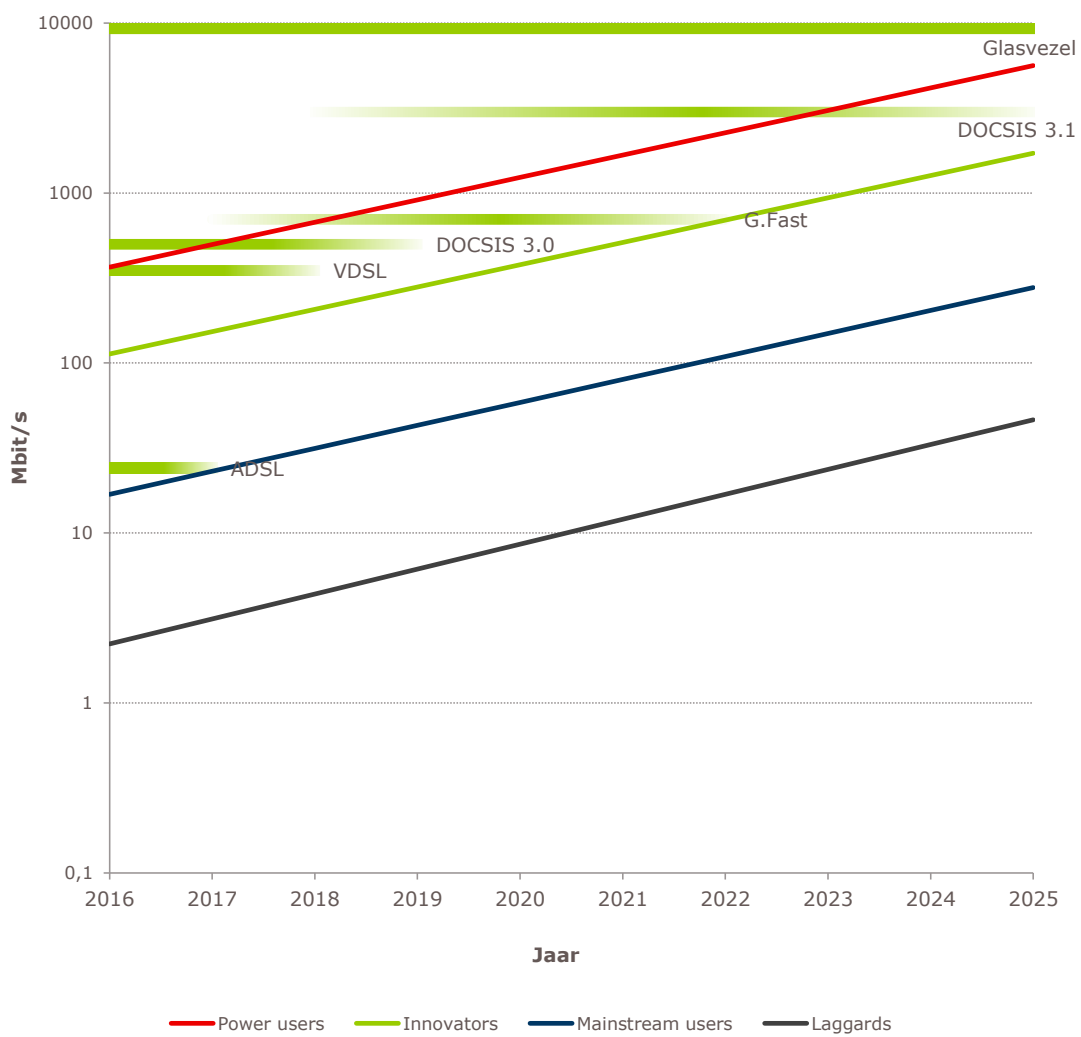
maar daar blijft de adoptie nog achter. De concurrentie tussen breedbandinfrastructuren heeft de beschikbaarheid van hoge downstream-snelheden de afgelopen jaren omhoog gestuwd. Een groot deel van de bovenstaande tabel wordt bepaald door het aanbod van netwerkaanbieders. Zij verhogen constant de maximaal aangeboden snelheid (% toegang) en de maximale snelheid van hun kleinste abonnement (% geabonneerd). Zij hanteren hierbij typisch de 30-40% groei per jaar¹⁰⁵.

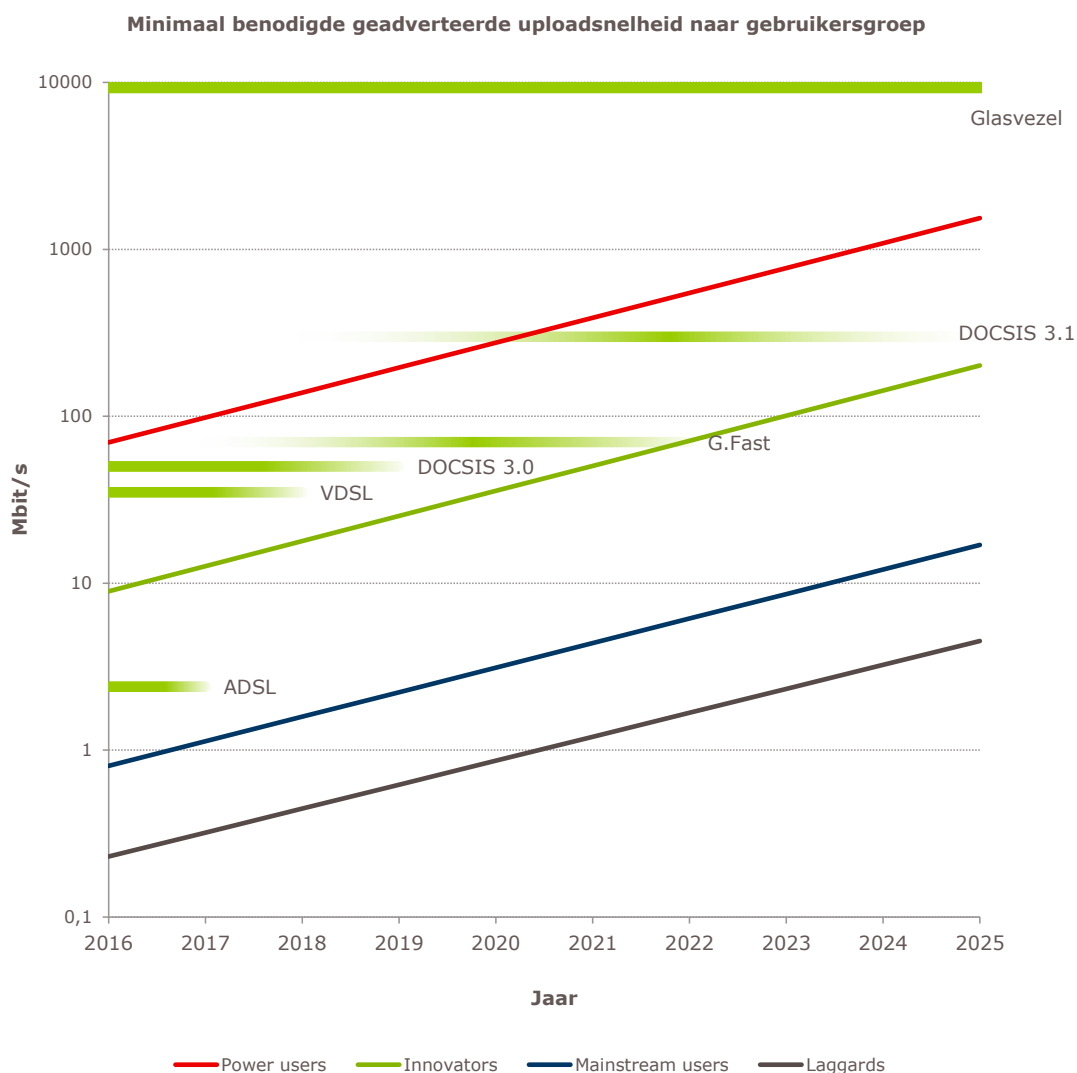
De vernieuwing in het aanbod wordt echter niet gelijk geadopteerd, omdat vooral huishoudens maar ook bedrijven in het lagere MKB-segment niet zomaar bereid zijn meer uit te geven voor breedbandconnectiviteit. Men zal wachten totdat bijvoorbeeld dure abonnementen boven de 100 Mbit/s qua prijs zijn gezakt tot het gebudgetteerde prijsniveau. Hoewel we niet over harde cijfers beschikken, vermoeden we dat er geen sprake van is dat de intrinsieke vraag van huishoudens en bedrijven grote groepen verleidt om voor een hoger segment te kiezen dan ze gewend zijn. Wat de adoptie in het lagere segment van de zakelijke markt lijkt af te remmen is een matige 'willingness to pay' voor hoogwaardige (op een SLA gebaseerde) breedbandconnectiviteit. Dit effect is genoemd tijdens diverse interviews en wordt verklaard uit het feit dat bedrijven in het genoemde segment moeite hebben om akkoord te gaan met zakelijke tarieven als zij menen dat een consumentenabonnement qua serviceniveau acceptabel is maar wel beduidend minder kost.

In de volgende figuren wordt voor wat betreft de aansluitcapaciteit de **match** tussen vraag en aanbod voor downstream en upstream richtingen weergegeven, voor de periode tot 2025. De grafieken zijn voor wat betreft de vraagkant gericht op consumenten/huishoudens. De groene 'strepen' corresponderen met indicaties voor de aangeboden maximale datasnelheden (downstream). De schuine lijnen laten de vraagzijde zien voor verschillende typen gebruik. Daar waar die schuine lijn boven een bepaalde horizontale streep komt schiet de toegangstechnologie tekort en komt een volgende, hoger gelegen optie aan bod. Langs deze weg wordt een indicatie verkregen vanaf wanneer een bepaalde accessoptie geen levensvatbaarheid meer heeft. Uit de figuur voor de downstream wordt duidelijk dat VDSL2 al over een paar jaar de meer eisende gebruikers (innovators) niet goed meer kan bedienen. Voor G.Fast ligt dat moment een stuk verder weg in de tijd. De figuur laat ook zien dat de Kabel met DOCSIS 3.1 niet langer kan wachten (uitgaande van hetzelfde type gebruiker als referentie) dan tot 2020-2021. Dat moment ligt dus wat verder t.o.v. VDSL2. Kijken we naar de upstream (volgende figuur), dan zien we dat die transitie momenten wat verder weg liggen dan bij downstream. Belangrijk bij de interpretatie is dat in de grafiek geen onzekerheidsintervallen zijn opgenomen. Ze zijn dus slechts indicatief.

¹⁰⁵ Vanuit dit perspectief zouden we een flinke sprong in de tabel over circa 2,5 jaar (medio 2019) kunnen verwachten. Rond dit moment zou Ziggo haar kleinste abonnement verhogen naar 100 Mbit/s en wordt van de ene op de andere dag een groot aantal afnemers een abonnee op ultrafast broadband.

Minimaal benodigde geadverteerde downloadsnelheid naar gebruikersgroep





Figuur 21. Minimaal benodigde geadverteerde snelheden naar gebruikersgroepen, op basis van analyse door Dialogic en TNO.

Voor DSL is hier specifiek aan de orde dat de hogere snelheden met VDSL2 tot een krimpende dekking leiden. In de komende jaren zal daarom de al ingezette dalende trend voor DSL doorzetten en zal in het consumentendomein de competitie zich meer en meer gaat toespitsen op kabel, glasvezel en mogelijk zelfs 4G+¹⁰⁶. In het zakelijke domein zal de uitrol van glasvezel gaan versnellen. Of dat laatste op zichzelf ook de uitrol van glasvezel naar huishoudens zou aanjagen is zeer de vraag omdat ACM al geconstateerd had dat deze retailmarkten niet sterk aan elkaar gerelateerd zijn. Andersom kunnen zakelijke afnemers in sommige gevallen meeliften met aanleg voor consumenten.

Knelpunt is de breedbandvoorziening in het buitengebied. De teruglopende dekking in DSL bij toenemende aansluitsnelheden wordt daar als eerste gevoeld. Dit perkt op zijn best de keuzevrijheid in. In dunner bevolkte gebieden zal voor glasvezelaanleg het organiseren van vraagbundeling belangrijk blijven. In zeer dun bevolkte gebieden is vraagbundeling geen

¹⁰⁶ Zie tevens: *Prospectief onderzoek naar de marktaandeelontwikkeling op de telecommunicatiemarkten voor internettoegang, vaste telefonie en zakelijke netwerkdiensten*, Dialogic, 2014. Onderzoek in opdracht van ACM. acm.nl

realistische optie meer en ligt aansluiting via een draadloze oplossing op korte termijn meer voor de hand. Mobiele connectiviteit *kan* soelaas bieden indien in het buitengebied voldoende dekking kan worden geboden met voldoende capaciteit. Zie daarvoor ook de beschouwing over mobiele connectiviteit.

Heeft de dominantie van downstream-snelheden in advertenties zijn beste tijd gehad? We verwachten dat consumenten en zakelijke afnemers zich meer bewust gaan worden van het belang van voldoende upstreamcapaciteit en betrouwbaarheid en dat die sterker mee gaat spelen in de (her-)oriëntatie van een breedbandabonnement¹⁰⁷. Gezien de opwaartse trend in upstreamcapaciteit van zowel VDSL2 als ook de Kabel, in relatie tot wat is vereist/verlangd voor moderne digitale diensten, verwachten we niet en ook niet op termijn, dat latency op zich voor consumenten een reden is om van abonnement te willen veranderen. In het zakelijke segment kunnen eisen t.a.v. upstreamcapaciteit wel redenen zijn om pro-actief op glas over te gaan. Dat zal sterk afhangen van de IT-strategie van een bedrijf en van belangrijke specifieke/innovatieve toepassingen.

Samengevat:

- Wat betreft aansluitcapaciteit (bandbreedte) volgt de vraag het aanbod, zowel in consumenten als in zakelijke markt. Geen knelpunt geconstateerd.
- De dekking met DSL loopt terug en is van invloed op consumenten en zakelijke markt: aanbod wordt krapper. Knelpunt met name in buitengebied voor wat betreft vaste (NGA-niveau) aansluitcapaciteit.

Latency

Diverse, maar niet alle digitale diensten, kunnen goed overweg met de latencies die via de besproken vaste toegangsnetwerken mogelijk zijn. Die scheidslijn is beslist niet scherp maar een verdere reductie in latency in de toekomst is toe te juichen. Dit is, ook gezien het feit dat er ook nieuwe toepassingen aankomen, zowel in de consumenten als in de zakelijke markt, die lage latencies gaan verlangen. Latency reductie is in de doorontwikkeling van aansluitnetwerken ook aan de orde. Wat zojuist is gesteld voor upstream capaciteit geldt op dezelfde wijze voor latency.

Samengevat:

- Latency wordt weliswaar belangrijker aan vraagzijde maar aanbod kan daarin tegemoet treden op korte en langere termijn. Geen knelpunt geconstateerd.

Betrouwbaarheid

Op termijn worden eisen aan de betrouwbaarheid hoger door de sterke afhankelijkheid van digitale diensten waaronder ook voor de consument essentiële diensten. De vraag is of en wanneer dit aspect zwaarder gaat meewegen in de keuze van aangeboden breedbanddiensten. Of er sprake is van een mismatch of knelpunt hebben wij niet als zodanig kunnen vaststellen.

In het zakelijke segment ligt dit sowieso anders (daar maakt een uptime-specificatie niet zelden deel uit van de overeenkomst) en wordt, gezien de onmiskenbare trend richting cloud services, betrouwbaarheid van connectiviteit alleen maar nog belangrijker. Wat we waarschijnlijk achten is dat men voor de connectiviteit een uptime nastreeft die ongeveer gelijk is aan dat van het datacenter waar men op aangesloten is. Die zijn nu vrij goed met elkaar

¹⁰⁷ Waarbij opgemerkt dat de markt (nog) geen latency specificaties opneemt in breedband aanbiedingen, wat het zeker voor consumenten lastig maakt zich daarop te oriënteren.

in overeenstemming maar er is een opwaartse druk in de markt t.a.v. de beschikbaarheids-eisen aan datacenters.

Samengevat:

In het consumentensegment lijkt betrouwbaarheid van vaste aansluitingen sowieso (nog) geen issue. In het zakelijke segment lijkt de markt hier haar werk te doen.

Overige punten

In aanvulling op de besproken indicatoren zijn in het onderzoek nog een aantal specifieke kwesties naar voren gekomen die van invloed zijn op de markt voor access netwerken:

- Er zijn (semi-)publieke organisaties die ervoor kiezen om eigen separate netwerken aan te leggen voor exclusieve eigen benutting. Dit heeft in relatie tot de markt van vraag en aanbod van connectiviteit twee effecten in de categorie 'gemiste kansen'. Ten eerste wordt deze (lokale) vraag naar connectiviteit aan de markt onthouden, waarbij overigens niet altijd duidelijk is waarom het marktaanbod niet voldoet. Een consequentie hiervan is *een opportunity loss* omdat de betreffende lokale publieke vraag naar connectiviteit de attractiviteit voor commerciële aanbieders om daar infrastructuur aan te leggen vermindert. Een tweede effect is dat daar waar publieke infrastructuur wel maar commerciële infrastructuur niet aanwezig is, deze publieke infrastructuur door het gewenste exclusieve eigen gebruik dus geen welkome bijdrage levert aan het lokale (beperkte) aanbod van connectiviteit.
- We hebben geconstateerd dat de Kabel uitzicht heeft op een positie als belangrijkste landelijk dekkend netwerk in Nederland voor breedband. De Kabel is echter niet zoals het koper aansluitnetwerk een open infrastructuur waar andere dienstverleners toegang toe hebben. Voor het koper aansluitnetwerk hebben we geconstateerd dat het belang ervan als landelijk dekkend aansluitnetwerk gestaag afneemt. In tegenstelling tot de Kabel is het koperen aansluitnetwerk wel opgesteld maar staat langer vasthouden aan ontbundeling op de fysieke laag een optimale uitnutting van de potentiële capaciteit op dat netwerk in de weg. De openheid moet daar worden gewaarborgd door de toepassing van VULA. Gegeven de relatieve posities en perspectieven van de beide infrastructuren is de huidige op het verleden gestoelde asymmetrie in regelgeving voor de beide netwerken ten aanzien van openheid niet te rechtvaardigen. Er is op dit moment onzekerheid over het perspectief (EC beleid).
- Lokale regelgeving/voorwaarden bij aanleg nieuwe infrastructuur (leges, degeneratiekosten, toezicht, aansprakelijkheden rond bodemgesteldheid, versnippering precario), en verschillen daarin tussen gemeenten, werken aan de aanbodzijde drempelverhogend. De boodschap is vanzelfsprekend niet dat lokale regelgeving ontoelaatbaar is, maar de vraag is wel of er bij de betreffende overheden voldoende zicht is op de impact van het *geheel aan regelgeving* op aanpassingen en uitbreidingen in communicatieinfrastructuur. Hier dringt zich een analogie op met andere markten waar deze effecten ook worden gesignaleerd.

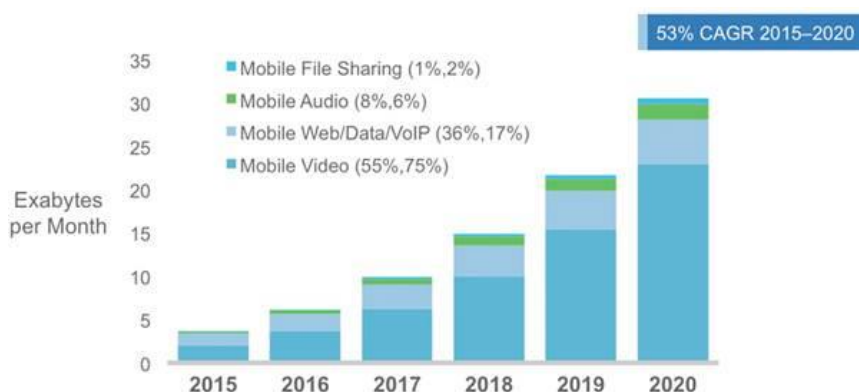
4.1.7 Conclusie

Een beschouwing van de markt voor vaste aansluitcapaciteit, vanuit een technisch-functioneel perspectief, leidt tot de conclusie dat de effectieve reductie in de dekking van DSL-netwerken in de komende jaren de keuzevrijheid qua aansluitnetwerken voor consumenten en bedrijven doet afnemen. Deze krimp van DSL wordt in de buitengebieden als eerste gevoeld. Op de overige aspecten constateren we op korte en langere termijn geen knelpunten.

4.2 Mobiele aansluitnetwerken

4.2.1 Vraag naar mobiele connectiviteit

Mobiel verbonden zijn met de rest van de wereld is niet meer weg te denken uit de hedendaagse maatschappij. Aan de oorspronkelijke functie van mobiel telefoneren zijn toegevoegd messaging (SMS), mobiel Internet en de laatste paar jaar is sprake van een flinke opmars in audio/video streaming diensten en de uitwisseling van fotografisch en videomateriaal, al dan niet in relatie tot sociale media. In onderstaande figuur is de jaarlijkse groei van mobiel dataverkeer in de komende jaren grafisch weergegeven, evenals de ontwikkeling van de mix van toepassingen.¹⁰⁸ Verderop wordt de verwachte groei verder gearticuleerd. Wat duidelijk opvalt is de bijzonder grote videocomponent.



Figuur 22. Groei van het mobiele dataverkeer (wereldwijd) en mix van toepassingen¹⁰⁹.

De snelle ontwikkeling van hoogwaardige technologie in smartphones heeft in zeer belangrijke mate bijgedragen aan het succes van mobiel, evenals de dienstverlening vanuit meerdere landelijk werkende operators. Een penetratiegraad van inmiddels 144% (gemiddeld 1,4 aansluitingen per hoofd van de bevolking) zegt veel over de populariteit.

Ten behoeve van de behandeling van mobiele aansluitnetwerken is het van belang onderscheid te maken tussen verbonden zijn met een mobiel netwerk (typisch onderweg) en via WiFi verbonden zijn met het vaste netwerk (thuis, op het werk of elders waar WiFi toegang wordt aangeboden). Gezien de kosten van mobiel Internet en de dataconsumptie van bepaalde toepassingen gaan veel gebruikers bewust om met dit onderscheid. Bij de interpretatie van onderstaande gepubliceerde groeicijfers moet dit verschil ook voor ogen worden gehouden.

Wereldwijd wordt een sterke groei verwacht van het mobiele dataverkeer. Die groei zal in een bepaalde mate ook in Nederland aan de orde zijn, is onze inschatting¹¹⁰. Cisco VNI is een gezaghebbende bron voor wat betreft voorspellingen van hoe Internetverkeer zich gaat ontwikkelen. Zij voorspellen voor de regio West-Europa het volgende:

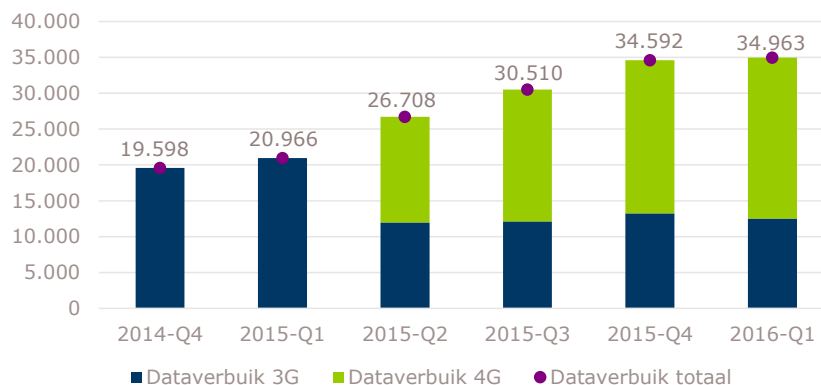
¹⁰⁸ Bron: [\[cisco.com\]](https://www.cisco.com)

¹⁰⁹ Bron: [\[cisco.com\]](https://www.cisco.com)

¹¹⁰ Hier wordt verwezen naar de duiding van ACM van de gemeten verkeersgroei in 2016 en de prognose voor de langere termijn.

- In 2019 zal 31% van al het IP-verkeer (wereldwijd) door mobiele devices zijn gegenereerd (via mobiel netwerk of via WiFi/Vast). Dat percentage zou in West-Europa/Nederland lager kunnen uitvallen door de hoge beschikbaarheid van vaste breedband netwerken.
- Er wordt in West-Europa een gemiddelde cumulatieve jaarlijkse groei van 45% verwacht in de periode 2015 tot 2020, voor mobiel data verkeer. Met dit percentage (44%) groeit ook het mobiele dataverkeer voor zakelijk gebruik in diezelfde periode.
- Verhouding tussen mobiele data (via mobiele netwerk) en offloaded data¹¹¹ (via WiFi) verandert (wereldwijd) van nu ca. 55%:45% naar 45%:55%. Het aandeel in offload verkeer neemt dus de komende jaren toe. Het is zeer goed mogelijk dat dit voor West-Europa ook opgaat (is niet gespecificeerd door Cisco). Offload geeft dus een extra neerwaartse druk op de capaciteitsvraag in mobiele netwerken.
- De groei in mobiele data (wereldwijd) komt hoofdzakelijk op het conto van 4G met een cumulatieve jaarlijkse groei van 72% t.o.v. 27% voor 3G.
- In 2020 zal ca 55% van het mobiele dataverkeer video betreffen.

Onderstaande grafiek toont het totale mobiele dataverbruik in Nederland zoals over het eerste kwartaal gerapporteerd door de mobiele operators aan ACM.



Figuur 23. Totale mobiele dataverbruik in Nederland (TByte) per kwartaal, eerste kwartaal 2016¹¹²

De grafiek laat twee opvallende zaken zien. Ten eerste een volledige afvlakking van dataverkeer over 3G. Het internationaal geconstateerde migratie-effect manifesteert zich in Nederland extra sterk. Met de snel gerealiseerde dekking en 4G-aanbiedingen is die trend opmerkelijk maar wel verklaarbaar. Bovendien zijn operators bezig om voormalige 3G frequenties ook in te zetten voor 4G. Dat kan ook een drukkend effect hebben op de vraag naar 3G-connectiviteit¹¹³. Wat ten tweede opvalt is dat er in Q1 2016 een afvlakking is te zien in de verkeersgroei ten opzichte van 2015. Volgens ACM is dit slechts een tijdelijk gevolg van

¹¹¹Offloaded data is data die niet via het mobiele netwerk wordt getransporteerd maar via een lokaal WiFi-toegangspunt.

¹¹² Bron: ACM Telecommonitor Q1 21016

¹¹³ Bron: tweakers.net

een extra groeispurt eind 2015¹¹⁴. De cumulatieve jaarlijkse groei over de periode Q1/2015-Q1/2016 bedroeg ca. 52%. Wel heeft de ACM aangegeven te verwachten dat er een einde gaat komen aan deze aanhoudend sterke groei in de komende jaren¹¹⁵. Als de door Cisco voorspelde groei van 45% voor West-Europa klopt en ook opgaat voor Nederland dat is dat nog steeds zeer substantieel te noemen. Het is niet duidelijk waarom Nederland sterk zou afwijken van de West-Europese trend. Het kan te maken hebben met het feit dat bij ons het aantal devices niet meer hard groeit en elders nog wel.

Wat betreft daadwerkelijk benutte datalinksnelheden (downstream) als indicator voor de vraag wordt door Cisco¹¹⁶ voor West-Europa een waarde van 8,3 Mbit/s aangegeven in 2016. Akamai rapporteert over Q2 van 2016 een gemiddelde waarde van 10,5 Mbit/s. Kijken we slechts een half jaar terug (Q4/2015) dan bedroeg dit 8,8 Mbit/s. Voor de komende jaren voorspelt Cisco voor West-Europa tot 2020 een jaarlijkse groei in de gemiddeld benutte datasnelheid van 28%, een groei die hoofdzakelijk op conto komt van smartphones. Over uplink snelheden zijn helaas geen indicaties gevonden.

Latency

Gebruikers hechten uit oogpunt van gebruiksgemak bij het browsen op hun smartphone aan zo kort mogelijke respons- en downloadtijden. Responstijd wordt bepaald door de optelling van afzonderlijke vertraging tussen toestel en de te raadplegen server (*latency*). De maximaal toelaatbare vertragingstijden in het mobiele netwerk zijn door 3GPP al met ingang van Release 8¹¹⁷ voor een aantal verschillende diensten vastgesteld. De downloadtijd wordt bepaald door de end-to-end datasnelheid tussen toestel en server. Het access netwerk is typisch de beperkende factor. De zojuist gerapporteerde toename van de gemiddeld benutte downloadsnelheid vertaalt zich maar ten dele in kortere downloadtijden omdat de omvang van (mobiele) webpagina's ook een systematische groei kent. Bouwers van web applicaties gebruiken het gemiddeld extra vrijkomende tijdsbudget om zwaardere sites te kunnen bouwen, met dien verstande dat men uitgaat van een zo groot mogelijke doelgroep.

Betrouwbaarheid van beschikbaarheid

Nederlanders gaan er steeds meer vanuit dat de mobiele connectiviteit er gewoon is, overal en altijd. De maatschappelijke acceptatie van gebrekkige verbindingen geografisch of in tijd is de afgelopen jaren sterk teruggelopen. Dat komt door de veelzijdige gebruiksmogelijkheden van hedendaagse mobiele devices gekoppeld aan het sterk toegenomen belang van online zijn. De vanzelfsprekendheid van beschikbaarheid van dergelijke diensten is geleidelijk steeds sterker in allerlei processen verankerd geraakt¹¹⁸. Als men het de gebruiker vraagt dan verlangt men 100% beschikbaarheid. In de realiteit (zie bespreking van het aanbod) proberen operators een zo groot mogelijke dekking na te streven, tegen aanvaardbare investeringen.

Samengevat

Samengevat is er sprake van een (sterk) toenemende vraag naar mobiele connectiviteit, zowel voor consument als voor zakelijk. Die groei zit niet in een verdere toename van het aantal devices (gezien de al zeer hoge adoptiegraad van mobiele devices) maar in de groei

¹¹⁴ Bron: [\[gsmhelpdesk.nl\]](http://gsmhelpdesk.nl)

¹¹⁵ Bron: [\[gsmhelpdesk.nl\]](http://gsmhelpdesk.nl)

¹¹⁶ Bron: [\[cisco.com\]](http://cisco.com)

¹¹⁷ 3GPP Release 8 betrof HSDPA (3G+), uitgifte 2009.

¹¹⁸ Zie ook publicaties van Agentschap Telecom inzake telekwetsbaarheid, en de taak van AT inzake toezicht op continuïteit van telecomnetwerken: [\[agentschaptelecom.nl\]](http://agentschaptelecom.nl)

van het verkeer per abonnee. De groei *kan* wijzen op een intensiever gebruik door abonnees maar slaat zeker ook op zwaarder wordende toepassingen (zwaardere webpagina's, hogere kwaliteit streaming, hogere resolutie van fotomateriaal, etc). De offload mogelijkheid wordt nog belangrijker en voorkomt nog een sterkere verkeerstoename op de mobiele netwerken.

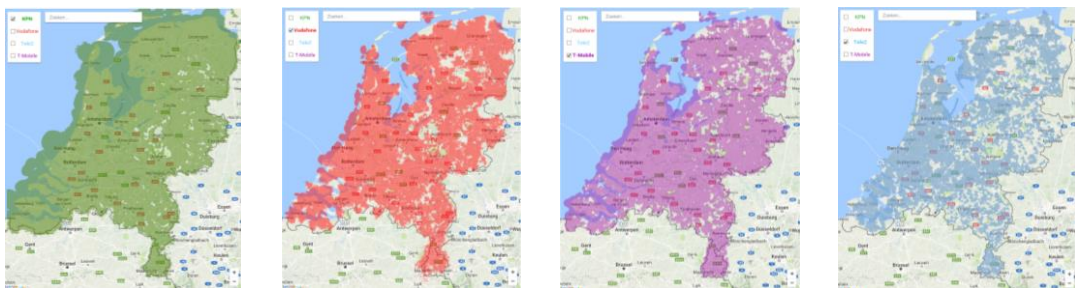
4.2.2 Actueel aanbod van mobiele netwerkconnectiviteit

In Nederland zijn vier mobiele netwerkoperators actief met een eigen netwerk (KPN, Vodafone, T-Mobile en Tele2) en een groot aantal virtuele operators (MVNO's) waarvan de meeste dochter zijn van KPN. Aangeboden connectiviteit is gebaseerd op 2G-, 3G- en 4G-technologie. Merk op dat 2G, 3G en 4G zogenaamde *technologiefamilies* zijn, waaraan door ITU bepaalde voorwaarden zijn gesteld. Binnen de families valt een aantal standaarden, welke continu worden verbeterd. Zo zijn de huidige 4G-netwerken in Nederland gebaseerd op (een bepaalde versie van) de LTE-standaard (*Long Term Evolution*). Er vindt zowel incrementele ontwikkeling plaats aan LTE, als meer disruptieve aan nieuwe standaarden (onder de noemer 5G).

In deze paragraaf wordt ingegaan op het actuele aanbod van 4G-gebaseerde mobiele connectiviteit alsmede op de aankomende 5G-ontwikkeling. Bovendien wordt aandacht geschonken aan netwerktechnologie ten behoeve van IoT. We verwijzen naar bijlage 1 voor een uitvoeriger beschouwing van ontwikkelingen in mobiele netwerken.

Dekking¹¹⁹

In Figuur 24 zijn de geografische en demografische dekkingspercentages weergegeven voor 4G die zijn gepubliceerd voor de vier mobiele netwerken.



Figuur 24. Dekkingskaarten 4G-netwerken (KPN, Vodafone, T-Mobile, Tele2) in Nederland¹²⁰. Peildatum: 7 november 2016

Nederland staat volgens de EC Scoreboard (2016) op de tweede plaats (na Denemarken) wat betreft mobiele dekking, inclusief in rurale gebieden. Er is in de EU, en zeker in Nederland, in een snel tempo gebouwd aan landelijk dekkende 4G-netwerken.

De gepubliceerde dekking geldt voor standaard 4G met een maximale downstream snelheid 75 Mbit/s. De gemiddelde snelheid ligt (aangezien de snelheid afneemt naarmate de afstand tot de mast toeneemt) een stuk lager (KPN: 20 Mbit/s). Inmiddels zijn drie van de vier operators gestart met 4G+-technologie, waarvoor een maximum snelheid van 225 Mbit/s (down) en 75 Mbit/s (up) wordt geadverteerd. Deze dekking wordt nog opgebouwd en is

¹¹⁹ Delen uit deze paragraaf zijn (bewerkt) overgenomen uit Monitor Draadloos, TNO, voorjaar 2016.

¹²⁰ Bron: bellen.com. Gepubliceerde afbeeldingen zijn gebaseerd op informatie van de providers.

zeker niet landelijk beschikbaar. 4G+ is ook wel bekend als LTE Advanced. Dit wordt in bijlage 1 nader toegelicht.

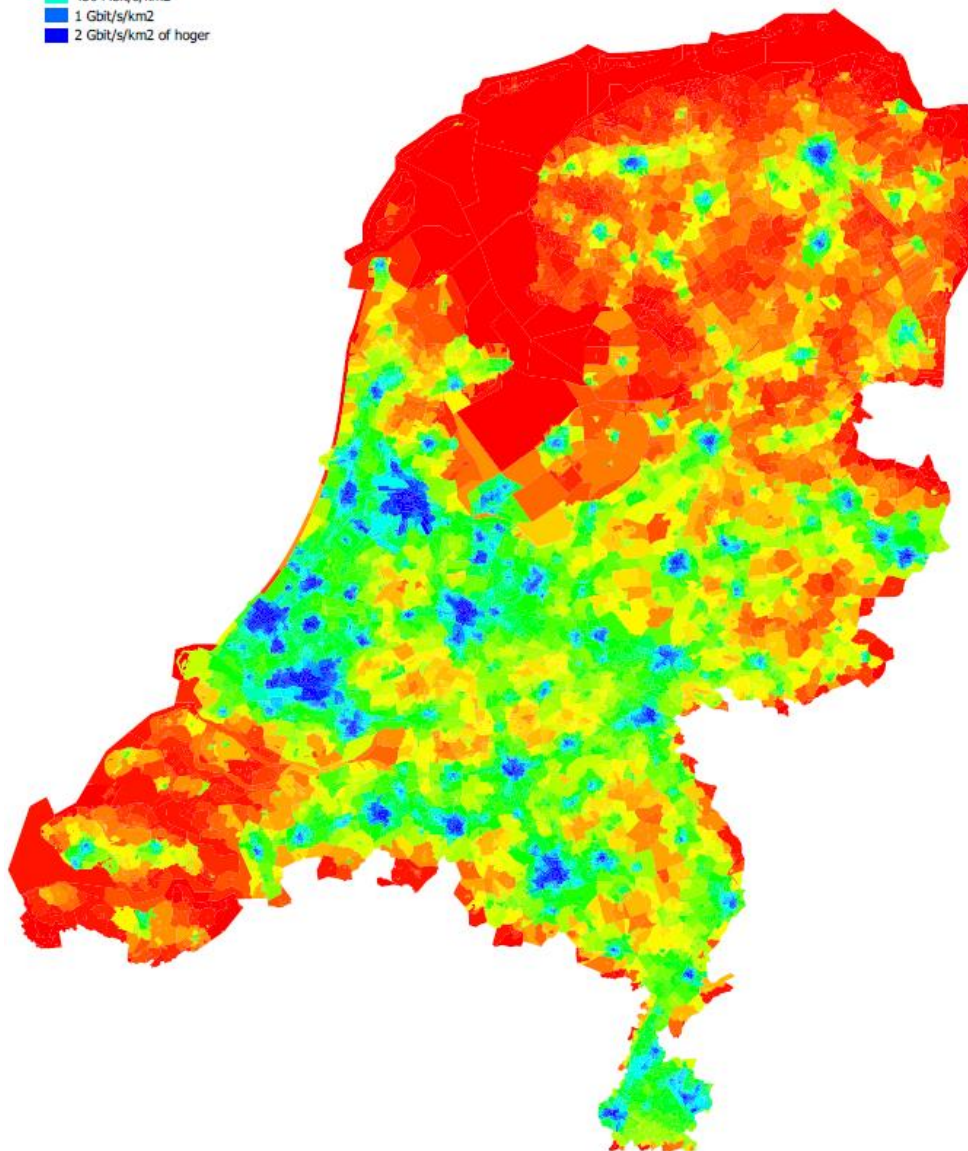
Capaciteit (netwerk)

Figuur 25 geeft de totale netwerkcapaciteit weer, geaggregeerd over alle mobiele netwerken. We zien daarin dat in een aantal steden binnen en ook buiten de Randstad een geaggregeerde capaciteit wordt geboden van 2Gbit/s/km² of hoger. Vooral in Zeeland en in Noord-Oost Nederland maar ook her en der in midden- en Zuid-Nederland zien we gebieden met een lage totale capaciteit, onder de 16 Mbit/s/km². De figuur daaronder toont de mate van overlap van netwerktechnologieën (1 operator ondersteunt typisch meerdere technologieën). De onderste figuur laat de mate van overlapping zien en geeft aan dat er een behoorlijke mate van redundantie bestaat met 3G. Bovendien is bijna overal in Nederland wel toegang tot tenminste één 4G-netwerk. Er zijn wel gebieden waar de keuzevrijheid beperkt is tot zelfs zeer beperkt. De overlap die de figuur illustreert geeft de redundantie weer in de Nederlandse netwerken, wat resulteert in een groter aantal connectiviteitsopties (zowel op 1 individuele SIM-kaart als in het algemeen).

Totale capaciteit mobiele netwerken in Nederland

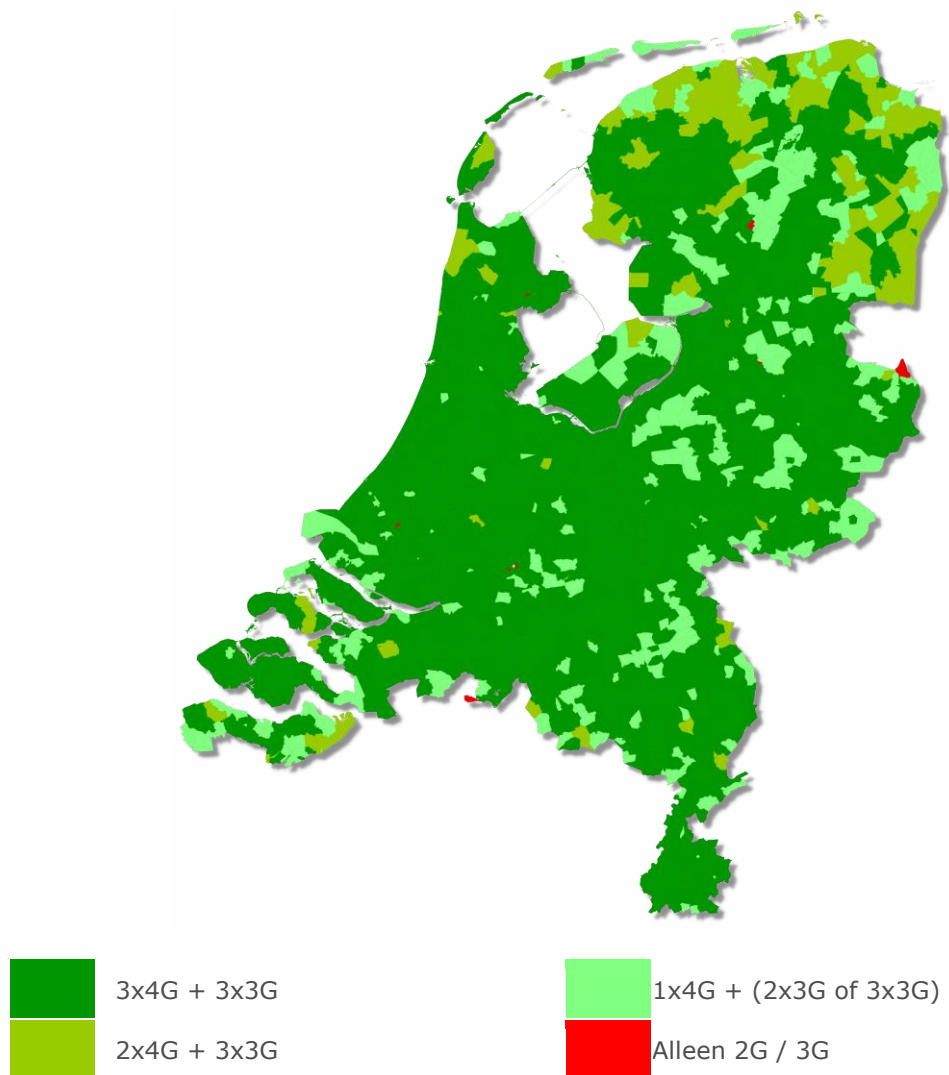
Februari 2016

- 16 Mbit/s/km² of lager
- 100 Mbit/s/km²
- 450 Mbit/s/km²
- 1 Gbit/s/km²
- 2 Gbit/s/km² of hoger



Figuur 25. Totale capaciteit van mobiele netwerken in Nederland. Stand februari 2016¹²¹).

¹²¹ Gemodelleerd door Dialogic, op basis van gegevens uit het Antenneregister, in opdracht van Agentschap Telecom. De cijfers zijn door Agentschap Telecom gepubliceerd in Staat van de Ether 2015 ([\[magazines.agentschaptelecom.nl\]](http://magazines.agentschaptelecom.nl)), waar ook een vergelijking met de stand van zaken per 1 januari 2015 te vinden is.



Figuur 4-26 Aantal aanbieders dat per wijk beschikbaar is (98% dekking binnen de wijk)¹²²⁾

De per km² beschikbare capaciteit zegt nog niets over de datasnelheid op individuele verbindingen. Dat wordt bepaald door de pieksnelheid (afhankelijk van de technologie) en door het totale verkeer in een cel (hoeveel gebruikers zijn er op dat moment actief). Wel roept de matige capaciteit in de voornoemde gebieden (met name in Noord-Nederland en in Zeeland) de vraag op of dit de geleverde quality of service op individuele verbindingen niet kwetsbaar maakt.

Capaciteit (individuele verbindingen)

Cisco¹²³ rapporteert voor Nederland een gemiddeld gemeten pieksnelheid van 30 Mbit/s (downstream) respectievelijk 13 Mbit/s (upstream). Dat betekent dat in ca. de helft van de metingen waar dit resultaat op is gebaseerd de NGA-snelheid van 30 Mbit/s niet is gehaald. In het Stratix onderzoek was uit de planningsdata van operators afgeleid dat ca. 7% van de

¹²² Bron: *Staat van Telecom, Dialogic, 2016*. Cijfers op basis van data opgeleverd door de mobiele operators.

¹²³ Bron: [\[cisco.com\]](http://cisco.com)

huishoudens geen LTE-dekking op NGA-snelheid (piek) zou hebben. Steekproefmetingen die destijds in het buitengebied door Stratix dit onderzoeksbureau zijn gedaan gaven een aanwijzing dat mogelijk een aanzienlijk groter percentage van de huishoudens deze grens niet haalt. De Cisco indicatie is recenter en wijst in dezelfde richting maar er is ons onvoldoende bekend over de wijze waarop dit is bepaald om daar stevige conclusies aan te verbinden. De netwerkkuitrol nu op basis van 4G+ verloopt snel dus dit soort metingen zijn momentopnames. We verwijzen naar de inzet hieronder over mobiel als alternatief voor vast en waarin we concluderen dat 4G(+) geen volwaardig alternatief is voor NGA op basis van vast.

Validaties, monitoring en bijsturingsmaatregelen die operators typisch doen met het oog op kwaliteitsbewaking veranderen weinig aan het feit dat individuele abonnees te maken *zullen* hebben met dergelijke fluctuaties en afhankelijk van hun toepassingen, daar hinder van *kunnen* ondervinden. In afwijking tot vaste netwerken, zijn specifieke SLA-afspraken met mobiele operators voor individuele bedrijven/organisaties nog niet goed mogelijk.

Box 3. Mobiele connectiviteit als vervanging voor vaste connectiviteit

Een relevante vraag is in hoeverre moderne mobiele netwerken kunnen worden gezien als alternatief voor vaste netwerken. In deze inzet wordt nader op die vraag ingegaan.

In de beantwoording van de vraag is in ieder geval van belang een onderscheid te maken tussen de technologie en de exploitatie van die technologie via een bepaald business model.

LTE-radiotechnologie is in principe geschikt om in te zetten voor Fixed Wireless Access toepassingen. LTE-technologie die op de markt wordt gebracht is afgestemd op frequentiebanden waarin die technologie wereldwijd c.q. regionaal kan worden ingezet. Dat betekent dat men is aangewezen op frequentiebanden voor mobiele communicatie. De regelgeving voor deze banden staat de FWA-toepassing niet in de weg, maar het gaat hier doorgaans om schaarse frequentiebanden die via spectrumveilingen zijn vergund aan mobiele operators. De FWA-toepassing is voor hen uit oogpunt van exploitatie van dat spectrum niet attractief. Een interessant geval is de 3.5 GHz frequentieband die in delen van Nederland beschikbaar is voor dergelijke toepassingen op basis van LTE-technologie en waarvoor ook door AT (lokale) vergunningen worden uitgegeven. Zover wij weten is de Greenet propositie hier ook op gebaseerd.

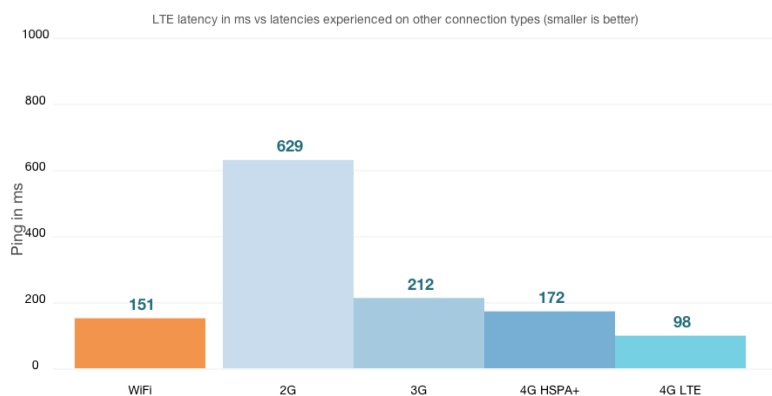
Dan de vraag of de landelijke mobiele netwerken kunnen voorzien in connectiviteit als equivalent voor een vaste aansluiting. Er is geen belemmering om te kiezen voor een vaste terminal (al dan niet voorzien van een geoptimaliseerde antenne) in plaats van een mobiel toestel. Waar het knelpunt ontstaat is ten eerste op de quality of service (QoS) die kan worden geleverd vanuit het mobiele netwerk. Ondanks de statische opstelling van de terminal en de technische mogelijkheden om de verbinding kwalitatief te verbeteren (richtantennes en slimme mult-SIM/multi-interface routers om capaciteit te sommeren), blijft deze van een andere orde dan bij een vaste aansluiting, zeker als wordt uitgegaan van een vergelijkbare grootte-orde van de abonnementskosten (vast en mobiel). Bepaalde QoS-gevoelige toepassingen en daarmee corresponderende apparatuur zullen een gebrekkige performance bieden, zeker als er sprake is van meerdere simultane toepassingen over dezelfde mobiele connectie. Ten tweede is de datalimiet op mobiele connecties een knelpunt. Deze wordt weliswaar structureel verhoogd, maar mobiele abonnementen met een hoge datalimiet zijn beduidend duurder dan vaste aansluitingen waar de datalimiet überhaupt niet aan de orde is. Afhankelijk van het profiel van de gebruiker(s) achter de mobiele aansluiting wordt deze limiet al dan niet al voor het einde van de maand bereikt,

waarna de kosten sterk zullen oplopen. Het is met het bestaande business model van mobiele operators niet in hun belang het beginsel van de datalimiet op te heffen.

Men kan derhalve niet spreken over mobiel als volwaardig alternatief voor vast. Dat neemt niet weg dat mobiele netwerken wel een basisvoorziening voor breedband toegang kunnen bieden.

Latency

De theoretische minimaal haalbare latency van een LTE-verbinding tussen basisstation en terminal bedraagt 5 ms. In de praktijk zijn diverse factoren aan de orde die tot langere latencies leiden. Ookla pingtesten op Verizon en AT&T LTE-netwerken in 2014 resulteerden in latencies van gemiddeld respectievelijk 92 ms en 52 ms. Een andere bron is een publicatie van OpenSignal uit 2013 waarvan de vastgestelde waarden hieronder zijn geïllustreerd.



Figuur 4-27 Voorbeelden van gemeten latencies op mobiele netwerken¹²⁴

Met name deze figuur (uit 2013) laat duidelijk zien dat met 4G (LTE) forse vooruitgang is geboekt ten opzichte van 3G (UMTS). Met de interpretatie van de absolute waarden is wel voorzichtigheid geboden omdat er ook een deel in zit dat zich buiten het mobiele netwerk bevindt. In de gamingwereld wordt voor 4G (LTE) rekening gehouden met een range tussen de 50 en 125ms ten opzichte van 3G (100-150 ms)¹²⁵. Cisco rapporteert in een internationale vergelijking uit 2015 een latency van gemiddeld 64ms voor een mobiele connectie in Nederland¹²⁶

Mobiele operators adverteren niet met latency-specificaties. Dat zal deels op technische gronden zijn en deels omdat het in de marketing van hun service propositie om andere KPI's gaat die in de markt belangrijker worden gevonden (downstream-snelheid, omvang data-bundel, et cetera).

Betrouwbaarheid van beschikbaarheid

Het is een bekend gegeven dat de connectiviteit in mobiele netwerken een minder hoge betrouwbaarheid heeft dan in vaste netwerken, wat vooral een gevolg is van de statistische karakteristieken van de radioweg – of een signaal aankomt is slechts in waarschijnlijkheden

¹²⁴ Bronnen: [\[5gnews.org\]](http://5gnews.org) en [\[opensignal.com\]](http://opensignal.com)

¹²⁵ Bron: [\[evdoinfo.com\]](http://evdoinfo.com)

¹²⁶ Bron: [\[cisco.com\]](http://cisco.com)

uit te drukken – het gedeelde karakter van het radiomedium, en hoe daar in de netwerkplanning mee om wordt gegaan. De maatregelen die door mobiele operators in het core-netwerk worden genomen verschillen namelijk niet wezenlijk van die in vaste (aansluit-)netwerken. De door de gebruiker ervaren onbetrouwbaarheid in mobiele communicatie is een gevolg van keuzes die worden gemaakt in de dimensionering van het radionetwerk qua dekking en capaciteit en waarbij van een bepaalde KPI's wordt uitgegaan die op basis van commerciële afwegingen worden gekozen en in de praktijk met een zekere statistische waarschijnlijkheid worden gehaald.

Het besef is bij operators en bij de overheid aanwezig dat uitval van mobiele communicatie diensten inmiddels grote maatschappelijke gevolgen kan hebben in het gebied waar het zich voordoet. Een belangrijke afspraak die operators onderling en met de overheid hebben gemaakt is de toepassing van nationale roaming voor mobiel bellen. Dat komt er op neer dat operators elkaar service kunnen overnemen als er sprake is van vrij grootschalige/langdurige uitval van het netwerk, zodat de serviceverlening richting afnemers er niet onder lijdt.

In nieuwe generaties netwerken worden technieken verwacht die meer stabiliteit mogelijk maken in de connectiviteit. Zie hiervoor ook bijlage 1.

Aan de afnemerszijde kunnen ook maatregelen worden genomen om de betrouwbaarheid te vergroten. Denk met name aan richtantennes en multi-SIM/multi-interface terminals waarmee een parallelle verbinding kan worden gemaakt via meerdere mobiele netwerken. In het modem/router worden deze separate bitstreams gesplitst respectievelijk samengevoegd. Bij uitval van een netwerk behoudt men nog de connectiviteit met een of twee andere.

Samengevat

In Nederland zijn vier moderne en onderling concurrerende mobiele netwerken beschikbaar die op het niveau van 4G-connectiviteit al in grote delen van Nederland dekking bieden. De opwaardering die nu plaatsvindt richting 4G+ zal zich ook snel uitspreiden over Nederland en op deze manier zullen deze netwerken door evolueren richting 5G. Er is sprake van een aanzienlijke redundantie in connectiviteit (2G/3G/4G) maar abonnees van individuele operators kunnen plaatselijk te maken hebben met gebrekkige of zelfs ontoereikende dekking. We zien een sterke ontwikkeling in de aangeboden snelheden en hoewel dat objectief niet is vastgesteld mag worden aangenomen dat operators er vrij goed in slagen het aanbod te laten aansluiten op de vraag. Wel valt op dat in bepaalde regio's in Nederland de geaggregeerde capaciteit per km² bijzonder laag is, wat de vraag oproept of dit niet leidt tot kwetsbaarheden in de quality of service op individuele verbindingen. Qua latency-prestaties is sprake van een gunstige ontwikkeling naar steeds kortere latencies. Operators zijn zich bewust van het maatschappelijk belang van continuïteit van hun netwerkvoorzieningen en worden daar door de overheid ook op aangesproken. De betrouwbaarheid van de radioverbindingen in een mobiel netwerk is een intrinsiek issue waar wel perspectief is op verbetering met nieuwe technieken. Het is echter aan individuele gebruikers om ook zelf maatregelen te nemen als dat van belang is voor de gebezigde diensten en toepassingen.

4.2.3 Ontwikkelingen in mobiele aansluitnetwerken

De toekomstige ontwikkeling in mobiele aansluitnetwerken in de komende 3-4 jaar laat zich als volgt samengevat beschrijven (zie bijlage 1 voor een uitvoeriger bespreking):

- Er worden diverse technieken toegepast om de groei in de vraag naar aansluitcapaciteit te adresseren. Deze technieken zijn noodzakelijk ondanks te voorziene uitbreidingen in mobiel spectrum.
- De uitrol van small cells wordt geïntensiveerd om voldoende capaciteit in hotspots te creëren. Dat is zowel outdoor als ook indoor van belang.

- Er komen technische oplossingen om op grote schaal combinaties van gelicenseerd en vergunningvrij spectrum toe te passen en medegebruik mogelijk te maken van reeds toegekende banden (waar dat kan op non-interferentiebasis).
- Er komen netwerkoplossingen die gericht zijn op reductie van latency in het mobiele aansluitnetwerk.

Na 2020 doet 5G-technologie zijn intrede. Dat is overigens geen big-bang scenario maar een evolutionair scenario dat niettemin een vrij sterke impact zal hebben. De focus van 5G ligt op 1) het gelijktijdig kunnen bedienen van een extreem groot aantal aansluitingen via één opstelpunt (IoT), 2) verdere capaciteitsverhoging en 3) betrouwbare en low latency communicatie. Ten opzichte van de generaties t/m 4G is 5G veel meer gericht op diverse 'verticals' waarvoor eisen zijn aangenomen die waarschijnlijk tegen 2020 in die sectoren aan de orde zullen zijn. Een daarvoor belangrijk concept in 5G is *network slicing* dat mogelijk wordt gemaakt door SDN- en NFV-technologie¹²⁷. Network slicing maakt het mogelijk om op efficiënte wijze meerdere parallele netwerkrealisaties te bouwen die onderling verschillend zijn geconfigureerd voor verschillende groepen afnemers. Met andere woorden: op één fysiek netwerk kunnen heel veel verschillende virtuele netwerken worden aangelegd die allemaal eigen kenmerken hebben. Dit biedt ook ruimte voor operators die zich op specifieke dienstverlening gaan richten.

In relatie tot de vraag in hoeverre mobiele netwerken kunnen fungeren als alternatief voor vaste netwerken wordt in onderstaande box ingegaan op de toekomstige situatie met netwerken op basis van 5G-technologie.

Box 4. 5G-connectiviteit als vervanging voor vaste connectiviteit

5G-technologie, in combinatie met een groter palet aan spectrummogelijkheden (gelicenseerd en vergunningsvrij en met name in hogere frequentiebanden) zal naar verwachting een groter scala aan toepassingsmogelijkheden bieden wat betreft draadloze connectiviteit. In lijn hiermee gaat het 5G-tijdperk gaat een grotere variatie in proposities en zelfs business modellen mogelijk maken, waarbij nog onduidelijk is welke nieuwe of vernieuwde modellen levensvatbaar blijken.

Als we het toespitsen op de kwestie van draadloos als alternatief voor vast, dan wordt gedacht over mogelijkheden om specifieke locaties gericht aan te stralen (ook wel *beamforming* genoemd) en op die plekken een hoge verbindingcapaciteit te faciliteren. Een praktisch voorbeeld is de uitrusting van lantaarnpalen met deze technologie zodat individuele huizen worden belicht. De 'cel' die wordt gecreëerd is dan zo groot als de ruimte van de aangestraalde woning. Met een dergelijke toepassing van 5G-technologie benadert men bepaalde karakteristieken van een vast aansluitnetwerk. We achten deze visie echter nog te pril met teveel vragen omringd dat we hier nog niet de conclusie aan verbinden dat 5G binnen de beschouwde periode een alternatief gaat bieden voor vaste aansluitnetwerken.

De specificaties voor 5G zijn opgehangen aan een vijftal use cases. Voor iedere use case zijn KPI's gedefinieerd waaraan waarden toegekend zijn. Die waarden geven een goede indruk van nagestreefde snelheden, latencies en beschikbaarheid op het niveau van individuele connecties. Voor de interpretatie van onderstaande tabel is het van belang aan te geven dat de gestelde doelen in diverse technologische uitdagingen resulteren, waarvan nog niet zeker is of ze zullen worden gehaald op de voorziene termijn (2020) en hoe e.e.a. neerslaat in de

¹²⁷ Zie bijlage 5 voor een nadere toelichting over SDN- en NFV-technologie.

internationale standaarden (work in progress). Bovendien blijft het aan commerciële operators om te bepalen hoe zij deze technologische mogelijkheden straks commercieel gaan inzetten.

Tabel 9. Tabel met KPI's en bijbehorende waarden voor verschillende use cases die door 5G moeten kunnen worden ondersteund

Gebruikersscenario's	Key Performance Indicatoren	Specificatie
I – dichtbevolkte stedelijke informatiemaatschappij	Gebruikerservaring	300 Mbit/s (down) en 50 (up) met 95% beschikbaarheid en 95% betrouwbaarheid
	End-to-end Round Trip Time latency	Minder dan 5 ms (voor augmented reality applicaties)
II – virtuele kantoren	Gebruikerservaring	5 (1) Gbps met 20% (95%) beschikbaarheid – down 5 (1) Gbps met 20% (95%) beschikbaarheid – up Beide met 99% betrouwbaarheid
	Gebruikerservaring	50 Mbit/s (down) en 25 (up) met 99% beschikbaarheid en 95% betrouwbaarheid
III – overall toegang tot breedband	Beschikbaarheid	99,9%
	Dichtheid van apparaten	1.000.000 apparaten/km ²
	Gebruik per apparaat	Enkele bytes/dag tot 125 bytes/seconde
IV – connected auto's	End-to-end eenrichting latency	5 ms (verkeersveiligheidsapplicaties)
	Gebruikerservaring	100 Mbit/s (down) en 20 (up) met 99% beschikbaarheid en 95% betrouwbaarheid
	Snelheid vervoersmiddel	Tot 250 km/u

4.2.4 Match van vraag en aanbod

De actuele match en toekomstige invloeden daarop bespreken we achtereenvolgens voor de bandbreedte (enkelvoudige aansluitcapaciteit) in combinatie met dekking, latency en betrouwbaarheid.

Capaciteit/bandbreedte

De competitie tussen mobiele operators jaagt de innovatie in mobiele netwerken op waardoor tenminste de aangeboden piek datasnelheden snel stijgen. Over de mate waarin ook de aangeboden capaciteit (per cel) voldoende is om de individuele vraag van iedereen in de cel te bedienen kan geen uitspraak worden gedaan omdat informatie daarover niet voorhanden is. Een indicatie van een structurele mate van ontevredenheid in *Quality of Experience* zou kunnen worden afgeleid uit *churn*cijfers, maar deze zijn niet publiekelijk bekend en bovendien kan optredende churn ook vele andere oorzaken hebben.

Er is een risico op een knelpunt in de toekomst waar het gaat om het realiseren van voldoende capaciteit (aanbod) in gebieden waar grote vraagconcentraties ontstaan, dus in stedelijk gebied. Het is niet a priori duidelijk of zelfs met uitbreidingen in spectrumruimte de

verwachte capaciteitsvraag in die gebieden kan worden opgevangen. De noodzakelijke ont-plooiing van grote aantallen small cells is het enige technische antwoord maar daar kleven nog diverse uitdagingen aan. De tijd zal moeten uitwijzen hoe zich dit ontwikkelt.

Samengevat: Mogelijk dus sprake van een toekomstig knelpunt in stedelijk gebied. Op dit moment geen knelpunt geconstateerd.

Dekking

Hoewel dekking strikt genomen een functie is van de aangeboden snelheid kan in Nederland met meerdere landelijke mobiele netwerken op basis van 3G/4G(+) niet worden gesproken van een matige dekking. De meeste gebruikers hebben keuzevrijheid tussen meerdere operators maar bij iedere individuele operator is sprake van kleine gebieden en locaties in de dekkingsplaatjes waar de door de gebruiker ervaren dekking gebrekkig zal zijn, waardoor mobiele diensten niet of gebrekkig zullen functioneren. Of dat een knelpunt is of niet, hangt van de gestelde norm. Als die is dat iedere abonnee op zijn eigen netwerk overal een gegarandeerde dekking dient te hebben (tenminste outdoor) dan is er een knelpunt; anders niet.

Een aandachtspunt is het toenemende potentiële belang van mobiel breedband voor locaties in het buitengebied, waar de beschikbaarheid van vast breedband niet (langer) aansluit op de groeiende behoefte. Het is twijfelachtig of mobiel breedband als een serieus alternatief mag worden beschouwd voor vast. Immers, we schatten in dat de dimensionering van individuele mobiele netwerken in die dunbevolkte gebieden daarvoor niet toereikend kan worden gemaakt zodat mobiel breedband in die gebieden als basisvoorziening moet worden beschouwd, in vergelijking tot wat vaste netwerken te bieden hebben. Greenet¹²⁸ is een interessant voorbeeld van vraagbundeling in het buitengebied, maakt wel gebruik van LTE-technologie maar is verder niet te vergelijken met een mobiel netwerk.

Een ander aandachtspunt is de mismatch tussen de vraag van gebouweigenaren en gebruikers naar indoor dekking dat aan hen eisen voldoet en de mogelijkheden die daar vanuit de markt voor beschikbaar zijn, al dan niet met betrokkenheid van de mobiele operators. *Neutral hosting* concepten vormen de meest kansrijke oplossingsrichting., Daarbij is het een derde partij, onafhankelijk van elk van de mobiele operators, die indoor dekking in een gebouw/complex faciliteert. De Neutral hoster (de gebouw eigenaar/verhuurder zelf, of een partij die dit als service aanbiedt aan de eigenaar/verhuurder) neemt dan de coördinatie met de operators op zich. Het alom bekende DAS-systeem is een vorm van Neutral hosting maar inmiddels zijn daar ook nieuwe oplossingen bij gekomen.

Samengevat: Dit is een knelpunt in het buitengebied, zeker als mobiel als een alternatief zou worden gezien voor vast. Een ander knelpunt is indoor dekking in gebouwen/complexen in verband met conflicterende verantwoordelijkheden.

Latency

De latency tijden via mobiele netwerken komen met 4G gemiddeld in de buurt van wat toegangsnetwerken nu bieden. Een verdere reductie ligt vooral met 5G in het vooruitzicht dat op dit punt de concurrentie aan zou kunnen met G.Fast (1 ms). Toch zal de latency performance in mobiele netwerken blijven afwijken van die op vaste netwerken door noodzakelijke mechanismen in het radioprotocol die dat teweeg brengen (m.a.w de spreiding is groter). De trend is dat meer digitale diensten met lagere latency verwachtingen/eisen ook via mobiele netwerken kunnen worden afgewikkeld. De introductie van 5G zal op dit punt merkbaar zijn.

¹²⁸ Bron: [\[greenet.nl\]](http://greenet.nl)

Samengevat: Op dit moment een waarschijnlijke inperking t.a.v. de keuze van latency gevoelige toepassingen via mobiel, zoals bijvoorbeeld bepaalde games, maar ook andere geavanceerde toepassingen met een hoog nuttigheidsprofiel zoals informatie en navigatie-toepassingen waariun gewerkt wordt met Augmented Reality concepten. Met de verwachte opeenvolgende innovaties in mobiele netwerken wordt dit geen knelpunt.

Betrouwbaarheid

Betrouwbaarheid is in mobiele connectiviteit een knelpunt wat sterk te maken heeft met de aard van het netwerk. De operators zijn reeds gehouden aan de wettelijke zorgplicht continuïteit wat betrekking heeft op de netwerkelementen in het mobiele netwerk. Wat nog over blijft is de betrouwbaarheid van de radioverbinding en dat is sterk gelinked aan dekking. Realisering van een zeer hoge betrouwbaarheid van mobiele connectiviteit zou tot zeer hoge infrastructuurkosten kunnen leiden en de vraag is of afnemers bereid zijn die extra kosten te nemen. Er komen wel technieken aan die helpen om tot stabielere verbindingen te komen. Individuele afnemers met hoge betrouwbaarheidseisen zullen vooral ook zelf maatregelen moeten nemen.

Samengevat: Dit is bij mobiele netwerken vooral vanwege de radioverbinding een intrinsiek knelpunt dat moeilijk oplosbaar is. Dit blijft ook deels verantwoordelijkheid van de afnemer die eigen maatregelen kan treffen om de betrouwbaarheid te vergoten.

Overige punten

In aanvulling op de besproken indicatoren zijn tijdens dit onderzoek nog een aantal specifieke kwesties naar voren gekomen die relevant zijn voor de markt voor mobiele connectiviteit:

- Als de bij 5G gehanteerde groeiverwachtingen uit gaan komen, resulteert dat in een flinke noodzakelijke verdichting van netwerken vooral in verstedelijkt gebied. Dit resulteert in een sterk groeiende behoefte aan backhaul en front-haul verbindingen. Dit moet worden gezien in combinatie met noodzakelijke innovaties in de vaste netwerken in diezelfde gebieden. We spreken niet al gelijk van een knelpunt, maar wel van een vraagstuk waar meerdere operators zich over (moeten) buigen in samenspraak met lokale overheden. Dit punt komt ook kort terug in het volgende hoofdstuk over Core netwerken.
- De flexibiliteit in toepassingsmogelijkheden met 5G-technologie houdt verband met de kwestie van netneutraliteit in de zin dat een gedifferentieerde inzet van die technologie gericht op specifieke klassen van diensten en toepassingen de vraag oproept hoe zich dat verhoudt tot de huidige wet – en regelgeving op het gebied van netneutraliteit. Het is voor de aanbodzijde en in het bijzonder voor telecomoperators een strategisch vraagstuk gezien het feit dergelijke differentiatiemogelijkheden een passende uitweg kunnen bieden uit de situatie waar men zich nu in bevindt waarin de toegevoegde waarde voor de eindgebruiker steeds meer gaat zitten in de diensten en toepassingen die Over-The-Top aan eindgebruikers worden aangeboden. In dat OTT-model bieden de telecomoperators wel de noodzakelijke generieke netwerkconnectiviteit, in een business model dat onder druk staat.

4.2.5 Conclusie

De conclusie is dat er op dit moment zorgpunten spelen, namelijk tekortkomingen in de mobiele dekking in bepaalde gebieden bij individuele operators en de dekking binnen grotere gebouwen. Beide kunnen voor getroffen gebruikers als knelpunt worden ervaren.

Op termijn is er een mogelijk knelpunt in verstedelijkt gebied om daar qua capaciteit vraag en aanbod opgelijnd te houden. Of dit een echt knelpunt wordt is op dit moment door verschillende onbekende factoren nog niet te zeggen. In verband hiermee vragen we ook aandacht voor de noodzaak tot coördinatie van de aanleg van backhaulverbindingen in verstedelijkt gebied, in het kader van 5G en wat kan samenvallen met aanpassingen in vaste aansluitnetwerken.

Tot slot geldt voor de huidige generatie mobiele netwerken door hun intrinsieke karakter dat het Quality of Service niveau en de betrouwbaarheid van dienstverlening niet van dezelfde orde kan zijn als die van vaste netwerken. Met 5G komt daar wel verandering in, maar hoe zich dat manifesteert is nog onduidelijk. We achten het op dit moment niet waarschijnlijk dat binnen de beschouwde periode 5G-technologie gaat leiden tot serieuze alternatieve en schaalbare proposities voor de huidige vaste netwerken. Hoe zich dat verder ontwikkelt moet worden afgewacht.

4.3 Netwerken ten behoeve van Internet of Things

De laatste categorie aansluitnetwerken die we hier beschouwen is die voor de koppeling van 'dingen' aan het Internet. Hiervoor verwijzen we de lezer aan de inhoudelijke inleiding in paragraaf 3.5.2.

4.3.1 *Vraag naar IoT-connectiviteit*

Connectiviteit is een vanzelfsprekende randvoorwaarde voor IoT. Het doet vooral een beroep op draadloze connectiviteit: voor veel devices is een vaste verbinding niet praktisch en niet nodig. Bijna elke ontwerper heeft een voorkeur om zijn systemen via draadloze communicatie aan te sturen. Bedraad is wellicht goedkoper, maar ook minder flexibel. Nu maakt dit voor bestaande desktop computers weinig uit, maar voor allerlei IoT-toepassingen is draadloze communicatie essentieel. Design keuzes zijn nu en later bepalend voor IoT communicatie via verschillende draadloze netwerken¹²⁹. Door Machina¹³⁰ wordt wat betreft de wereldwijde groei in IoT-connecties een cumulatieve jaarlijkse groei van 16% voorspeld en groeit het aantal IoT devices van 6 miljard in 2015 naar 27 miljard in 2025. In dat jaar genereert IoT 2 Zettabyte (10^{21}) aan data (=1% van cellulair).

Dergelijke voorspellingen geven een indruk van wat wordt verwacht, maar moeten met enige scepsis worden geïnterpreteerd. Dat is niet alleen in het licht van de genoemde issues en onzekerheden, maar ook omdat het een ecosysteem is dat nog sterk in ontwikkeling is en waarbij zaken als functionele specialisatie (use cases), orkestratie van IoT-devices en IoT-data (IoT-platformen) en de technologische complexiteit van IoT-nodes van invloed zijn.

Er zijn is geen informatie beschikbaar over de huidige vraag naar c.q. adoptie van IoT connecties.

4.3.2 *Aanbod van en ontwikkelingen in IoT-netwerken*

Anno 2016 is 71% van alle IoT connecties gebaseerd op een short range technologie (WiFi, Zigbee, of PLC)¹³¹. Om in te spelen op de ontluikende Internet of Things markt zijn zogenaamde *Low Power Wide Area* (LPWA) netwerken ontwikkeld en uitgerold. LPWA-netwerken

¹²⁹ Bron: Stratix (2015)

¹³⁰ Bron: [\[machinaresearch.com\]](http://machinaresearch.com)

¹³¹ Bron: [\[machinaresearch.com\]](http://machinaresearch.com)

zijn complementair aan de bestaande cellulaire netwerken en hebben een aantal gemeenschappelijke kenmerken: low cost technologie (zowel nodes als netwerk), laag stroomverbruik, grote gebiedsdekking en lage datasnelheden.

In Nederland zijn op dit moment twee LPWA-netwerken operationeel:

- Het SIGFOX-netwerk, een LPWA netwerk gebaseerd op proprietaire SIGFOX -technologie uit Frankrijk en in Nederland geëxploiteerd door Aerea.. De opgegeven maximale verbindingsafstand is ca. 13 km. De maximale snelheid bedraagt 100 bit/s. Dit netwerk is dus met name geschikt voor zeer eenvoudige uitlees- en controleacties waar weinig data bij komt kijken;
- LoRa-netwerken gebaseerd op proprietaire LoRa WAN-technologie voor LPWA. In Nederland is er een landelijk dekkend netwerk (geëxploiteerd door KPN), een relatief omvangrijk vrijwilligersinitiatief (in de vorm van The Things Network) en zijn er diverse lokale LoRa-netwerken uitgerold¹³². Het afstandsgebied met LoRa is met 11 km wat korter. De maximale bitsnelheid bedraagt 10 kbit/s, een stuk hoger dus;

Beide landelijke netwerken en de lokale netwerken zijn van belang omdat ze helpen een grootschaliger IoT- ecosysteem te laten ontstaan. Het is wel van belang zich te realiseren dat IoT een containerbegrip is: het omvat een zeer groot scala aan toepassingen inclusief Machine-to-Machine toepassingen. Er is daarom voor de connectiviteit ook geen 'one size fits all'. Mobiele operators stellen er belang in om een stuk van deze groeiemarkt te verkrijgen en zich daarbij in die markt qua service level te onderscheiden door carrier grade LPWA-netwerkdiensten te bieden in gelicenseerd spectrum. Derhalve wordt in 3GPP gewerkt aan nieuwe op LTE- en GSM-technologie gebaseerde standaarden¹³³.

Het actuele antwoord vanuit 3GPP op de proprietaire LPWA netwerken is Narrow-band LTE (NB-LTE), een nieuwe radiotechnologie met beperkte datasnelheden op de individuele connecties (eveneens LPWA). De uitrol van NB-LTE technologie in Nederland vindt dit jaar plaats door (tenminste) Vodafone en T-Mobile¹³⁴. Naast NB-LTE zijn de twee andere nieuwe loten aan de 3GPP-IoT boom¹³⁵:

- LTE-M1, dat bedoeld is om binnen de bestaande LTE-technologie ondersteuning te bieden aan het koppelen van goedkope sensoren met laag zendvermogen.
- EC-GSM, een oplossing met eveneens lage datasnelheden binnen de bestaande GSM-technologie gericht op onder meer verbetering van de batterijduur.

De nieuwe IoT-functionaliteiten zijn opgenomen in 3GPP Release 13. Producten gebaseerd op deze release komen naar verwachting in 2017 op de markt.

Machina voorspelt dat toch maar 11% van alle IoT-connecties (in breedste zin gedefinieerd) in 2025 zal gebruik maken van Low Power Wide Area (LPWA) zoals SIGFOX, LoRa en LTE-NB1. Voor Nederland wordt vanaf 2018 een jaarlijkse groei van 10 miljoen LPWA-gebaseerde

¹³² Dialogic (2016). *The wireless Internet of Things: Spectrum utilization and monitoring*. In opdracht van Agentschap Telecom. [agentschaptelecom.nl]. Cijfers op basis van literatuurstudie.

¹³³ Bron: Cellular Technologies Enabling the Internet of Things, 4G Americas, November 2015

¹³⁴ T-Mobile heeft NB-IoT op de eerste locaties geactiveerd in oktober 2016. Volgend jaar moet landelijke dekking zijn gerealiseerd ([tweakers.net]). Vodafone claimde rond dezelfde tijd binnen een half jaar met landelijke dekking te zullen komen ([tweakers.net]).

¹³⁵ Bron: [qsm.com]

IoT-devices verwacht. IoT-connectie op basis van cellulaire connectiviteit gaat van 334 miljoen (2015) naar 2,2 miljard in 2025. Bijna de helft daarvan valt in toepassingsgebied 'connected car'. Cisco VNI komt met andere met andere cijfers: 3 miljard devices in 2020 waarvan 72% met mobiele netwerken zijn verbonden en 28 % met LPWA netwerken.

Tot slot staan hieronder in Tabel 10 de diverse besproken IoT-opties getabelleerd. Deze tabel is zelfs nog niet compleet. 5G is hierboven niet apart besproken maar wel zijn de IoT ambities van 5G behandeld (zie bijlage 1).

Tabel 10 Overzicht van de belangrijkste kenmerken van de verschillende technologieën voor LPWA IoT¹³⁶

	Sigfox	LoRa	Clean Slate	NB LTE-M Rel. 13	LTE-M Rel 12/13	EC-GSM Rel. 13	5G (doelen)
Bereik (buiten)	<13 km	<11 km	<15 km	<15 km	<11 km	<15 km	<15 km
Spectrum	Ongelicenseerd	Ongelicenseerd	Gelicenseerd	Gelicenseerd	Gelicenseerd	Gelicenseerd	Gelicenseerd
Bandbreedte							
Bitrate	<100 bps	<10 kbps	<50 kbps	<150 kbps	<1 Mbps	<10 kbps	<100 Mbps
Batterijduur	>10 jaar	>10 jaar	>10 jaar	>10 jaar	>10 jaar	>10 jaar	>10 jaar
Beschikbaarheid	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	>2020

Het onderscheid dat gaat ontstaan tussen gelicenseerde en ongelicenseerde oplossingen kan zeer zinvol blijken, waarbij *massive* IoT-toepassingen door beiden kunnen worden bediend maar *critical* IoT-toepassingen zullen door de meer stringente QoS en betrouwbaarheidseisen naar alle waarschijnlijkheid de vraag naar IoT-connectiviteit in gelicenseerd spectrum doen ontstaan. Voor mobiele operators zal het een economische afweging zijn: met welke diensten wordt met beschikbare systeem een maximaal rendement behaald.

4.3.3 Match van vraag en aanbod

IoT komt in feite nog maar net op en heeft nog een weg te gaan. Het potentieel aan data-generatie is enorm als het de schaal krijgt die men nu veronderstelt.

Mogelijke vertragende factor in de verdere ontwikkeling van IoT is de beschikbaarheid van twee netwerken in Nederland met beperkte capaciteit, in combinatie met de heterogeniteit aan oplossingen en standaarden die onzekerheid geven in de markt. Het is ongeloofwaardig om te stellen dat ze allen succesvol gaan zijn. Juist ook 3GPP heeft aan deze verwarring bijgedragen. Er zal een shake-out moeten gaan plaatsvinden maar de tijd zal het leren welke gaat/gaan winnen. Als de standaarden-strijd lang duurt, heeft de IoT ontwikkeling en de uitrol van IoT daar onder te lijden.

4.3.4 Samenvatting en conclusie

IoT betreft een markt die nog sterk in ontwikkeling is maar wel veel potentieel kent. Qua connectiviteit is nu de aandacht nu vooral gericht op het bieden van dekking om het ecosysteem voor IoT goed op gang te krijgen. Deze netwerken zijn nog wel beperkt qua te ondersteunen bandbreedte. Voor de langere termijn is het zaak dat er meer duidelijkheid komt over de standaardisatie van IoT omdat het anders remmend werkt op de ontwikkeling van deze markt.

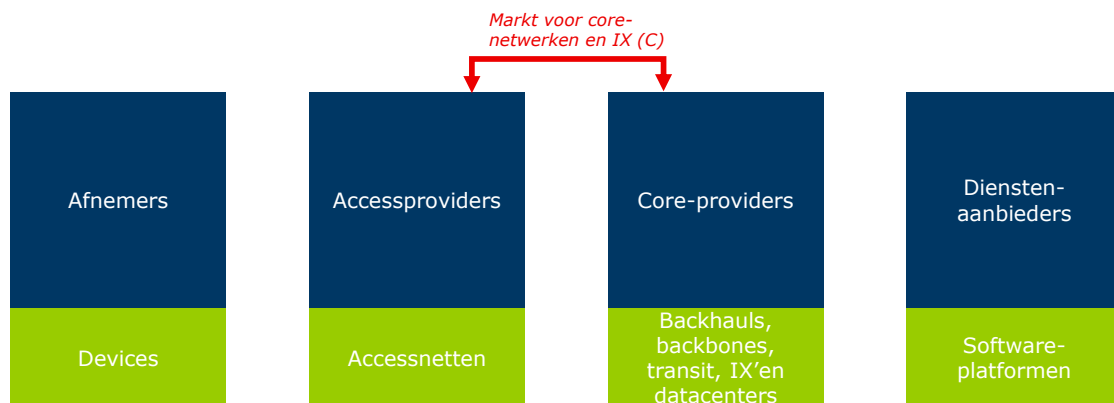
¹³⁶ Bron: alcatel-lucent.com

5 Markten voor core-netwerken, IX en datacenters

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden een tweetal deelmarkten besproken. Eerst volgt de markt voor core-netwerken en Internet exchanges. Daarna volgt de deelmarkt voor datacenters. In tegenstelling tot het vorige hoofdstuk over access worden hier uit oogpunt van leesbaarheid hier bandbreedte, dekking, latency en betrouwbaarheid niet steeds apart geanalyseerd maar is de beschouwing wel op dergelijke aspecten gericht. Aan het eind van beide paragrafen wordt de samenvatting en conclusie wel op die wijze verwoord.

5.2 Markt voor core-netwerken en Internet Exchanges



Figuur 28. Deelmarkten: markt voor core-netwerken en IX

Binnen deze paragraaf gaan we in op de verschillende markten voor IP-interconnectiviteit. Als eerste bespreken we corenetwerken waarin we naast de IP-backbone infrastructuur ook backhaul verbindingen bespreken. Backhaulverbindingen vormen de schakel tussen aansluitnetwerken en de IP-backbone. Vervolgens wordt ingegaan op transitverbindingen en tenslotte op Internet Exchanges, de schakelpunten waar partijen zich op kunnen aansluiten om IP-verkeer uit te wisselen.

5.2.1 Backbone en backhaulverbindingen

Vraag

Zoals hierboven is aangegeven groeit het verkeer over vaste aansluitnetwerken met grofweg 30-40% per jaar. Dit betekent niet alleen dat de aansluitnetwerken meer capaciteit moeten kunnen faciliteren, ook de backbone en de backhaul moeten dit aankunnen. Deze vraag is immers direct afgeleid van alle vraagcomponenten die we in de voorgaande paragrafen hebben besproken. Toch is de groei op dit niveau typisch geringer dan bij aansluitnetwerken.

Dit houdt ten eerste verband met de statistische multiplexing winst¹³⁷ die ontstaat bij aggregatie van meerdere verkeersstromen. Maar ten tweede wordt de laatste jaren steeds meer verkeer op knooppunten in het netwerk gecached. Hierdoor kan de belasting van kernnetwerken gemodereerd worden.

De groei van het mobiele verkeer is nog groter dan voor het vaste verkeer. De capaciteit van de core netwerken moeten dit ook faciliteren. Hoewel ook hier caching een rol zal spelen, is de groei van de vraag naar capaciteit op kernnetwerken substantieel. Zoals in de bespreking van 5G is aangegeven zal de uitrol daarvan betekenen dat het radionetwerk zeer substantieel moet worden uitgebreid waardoor de vraag naar nog verder vermaasde backhaul verbindingen sterk zal gaan toenemen de komende jaren.

Naast de vraag naar meer capaciteit, zal de vraag naar lage latency verbindingen ook toenemen omdat een aantal eindgebruikersdiensten daar om (gaan) vragen. Hiervoor dienen de investeringen in de actieve apparatuur op niveau te blijven, aangezien zij mede bepalen welke prestaties ten aanzien van latency tot stand kunnen komen. In de komende tien jaar zullen er ook hoge(re) eisen aan betrouwbaarheid en dekking worden gesteld. Via uitbreidingen in de diverse toegangsnetwerken vertalen die eisen zich door naar de kernnetwerken.

Naast de groeiende vraag naar klassieke parameters als bandbreedte, betrouwbaarheid, et cetera kent de markt ook een groeiende vraag naar flexibiliteit. Het core netwerk moet snel, goedkoop en eenvoudig op allerlei verschillende manieren te schakelen zijn. De realisatie van allerlei dynamische(!) virtuele netwerken voor organisaties zal hand over hand toenemen.

Aanbod

Er is op dit moment een substantieel aanbod van backbone en backhaul infrastructuur. De onderstaande afbeelding toont een groot deel van deze voornamelijk op glasvezel¹³⁸ gebaseerde infrastructuur in Nederland. In Nederland ligt meer dan 90.000 km van deze netwerken en zoals de kaart aangeeft wordt een groot deel van Nederland uitstekend bediend. Zoals bekend is de capaciteit over glasvezel sterk schaalbaar. Het wordt in de praktijk niet beperkt door het medium (zoals bij veel draadloze netwerken het geval is), maar door de apparatuur aan weerszijden van het medium. Meer capaciteit op de lijn kan in bijna alle gevallen¹³⁹ worden gerealiseerd door andere apparatuur op te stellen.

Backhaulverbindingen in vaste netwerken is dit de verbinding tussen bijvoorbeeld de DSLAM en de PoP van het backbone netwerk waarop die is aangesloten. In mobiele netwerken worden via backhaul verbindingen de basisstations met het mobiele kernnetwerk gekoppeld. Belangrijk is om te verduidelijken dat in mobiele netwerken de backhauling dus deel uitmaakt van het totale mobiele netwerk, wat niet hoeft te betekenen dat de mobiele operator deze zelf exploiteert; dat kunnen andere partijen zijn die deze verbindingen leveren.

¹³⁷ Statistische multiplexing slaat op het aggregeren van dataverkeer waarbij voor de bepaling van de benodigde totale capaciteit gebruik gemaakt wordt van het gegeven dat de afzonderlijke datastromen een fluctuerend (statistisch) karakter hebben. Dit is een belangrijk gegeven in verkeertheorie.

¹³⁸ Er worden voor backhauling ook andere typen verbindingen gebruikt. De getoonde kaart is ook niet volledig in dit opzicht.

¹³⁹ Uitzondering zijn netwerken waar zeer oude soorten glasvezel worden gebruikt. Dit is echter een klein deel van het netwerk.



Figuur 5-29. Een groot deel van de glasvezel backbones en backhauls (grofmazig) in Nederland¹⁴⁰

Als het gaat om de backhaulnetwerken die via straalverbindingen worden gerealiseerd, is er een minder goed overzicht. Dit komt ook doordat deze verbindingen minder statisch zijn dan vaste verbindingen. Het is vrij eenvoudig om een dergelijke verbinding bij- of af te schakelen. Wij zijn van mening dat straalverbindingen vooral voor de ontsluitingen van mobiele aansluitnetwerken een rol zullen blijven spelen. Ook in het kader van 5G komt er veel aandacht voor dergelijke verbindingen.

¹⁴⁰ Bron: Dialogic (2016). Staat van Telecom. [destaatvantelecom.nl]

De actieve apparatuur die gebruikt wordt voor deze netwerken wordt steeds intelligenter. Virtualisatie is hierin een belangrijke drijfveer. Middels SDN en NFV kunnen over (verschillende) fysieke netwerken verschillende virtuele netwerken gerealiseerd worden¹⁴¹ We zien dat SURFnet deze technieken al inzet om virtuele backhaul verbindingen te realiseren. Ook partijen als NLix en NDIX maken gelijksoortige stappen. De kracht van virtualisering ligt in het 'programmeerbaar' maken van netwerkelementen. Hierdoor neemt de complexiteit van de netwerkarchitectuur af (netwerkbeheer wordt mogelijk via een centrale SDN-controller), komt er een reductie in netwerkgerelateerde uitgaven tot stand (NFV maakt het mogelijk om programmeerbare generieke hardware in te zetten) en neemt de noodzaak tot verder innovatie af (operators worden voor de introductie van nieuwe toepassingen minder afhankelijk van standaardisatieorganen en toeleveranciers).¹⁴² Het is duidelijk dat deze ontwikkeling voor een sterke toename in flexibiliteit in de netwerken zijn leiden.

Match van vraag en aanbod

Als het gaat om backbonenetwerken dan zien we dat de capaciteit vrij eenvoudig te vergroten is. Of er betere (duurdere) apparatuur wordt ingezet, ongebruikte glasvezel wordt ingezet, nieuwe glasvezel wordt gerealiseerd of zelfs straalverbindingen worden ingezet, is vooral een bedrijfseconomisch vraagstuk. In de meeste gevallen zal worden gekozen voor de eerste of de tweede optie.

In welke mate de groei in bandbreedte van aansluitingen kan worden gefaciliteerd door de huidige backbonenetwerken hangt af van het type aansluitnetwerk:

- Bij glasvezel en kabel zijn de bestaande backhaul-netwerken door de bank genomen voldoende.
- Bij DSL-netwerken zal in de toekomst additionele backhaul-netwerken moeten worden aangelegd. Hoewel de lengte per backhaul relatief beperkt is, gaat het vaak om lijnen die in stedelijk gebied moeten worden gerealiseerd. Bovendien gaat het om een substantieel aantal lijnen. Uitbreiding vraagt derhalve om substantiële coördinatie en investeringen.
- Bij 5G zal substantieel geïnvesteerd moeten worden in het ontsluiten van nieuwe opstelpunten en de vervangingen van straalverbindingen door glasvezelverbindingen bij bestaande opstelpunten. Hier kan een potentieel knelpunt ontstaan (zie onder).

Als het gaat om de uitbreiding van de dekking van vaste aansluitnetwerken dan kan voor een groot deel worden gebruik gemaakt van de bestaande backbone netwerken. Op verschillende plekken zal dit netwerk wel moeten worden uitgebreid.

Als de bij 5G gehanteerde groeiverwachtingen uit gaan komen, resulteert dat in een flinke verdichting van netwerken vooral in verstedelijkt gebied. Dit resulteert in een sterk groeiende behoefte aan backhaul en front-haul verbindingen, waarbij aan front-haul verbindingen bijzonder hoge eisen worden gesteld, zodanig dat bestaande glasvezelverbindingen hier niet geschikt voor zijn. Dit moet worden gezien in combinatie met noodzakelijke innovaties in de vaste netwerken in diezelfde gebieden. We spreken niet van een knelpunt, maar wel van een vraagstuk voor meerdere operators en lokale overheden.

De toenemende vraag naar flexibiliteit kan ons inziens in het algemeen goed worden gefaciliteerd door SDN/NFV. De precieze ontwikkelingsrichting daarvan is op dit moment overigens nog niet volledig duidelijk.

¹⁴¹ Bron: [\[dialogic.nl\]](http://dialogic.nl)

¹⁴² Bron: Dialogic (2016) Exploratory study on network virtualization, beschikbaar via: [\[rijksoverheid.nl\]](http://rijksoverheid.nl)

5.2.2 Transitnetwerken

Vraag

In de vorige paragraaf gaven we aan dat de groei in vraag bij aansluitnetwerken op hogere netwerklagen gedempt wordt door caching. Dit speelt bij backbones, maar dat speelt in nog hogere mate bij transit netwerken een rol. We zien dan ook dat de groei in de vraag naar IP-transit lager is dan de groei in bandbreedte bij de eerder genoemde netwerken¹⁴³.

Naast de discussie over bandbreedte worden deze netwerken steeds belangrijker vanuit het perspectief van latency. Dienstenaanbieders willen hun diensten steeds sneller bij de eindgebruikers krijgen. Naast het dichterbij plaatsen van de content, is het hebben van een kortere (en dus snellere) verbinding een goede optie. De meest extreme vraag naar dergelijke lage latency transit diensten zien we overigens in de financiële sector in de toepassing van High Frequency Trading. Zoals in hoofdstuk 3 is aangegeven, kiezen deze partijen er voor om deze verbindingen middels straalverbindingen tot stand te laten komen, aangezien de transmissiesnelheid hier dichterbij de lichtsnelheid kan komen dan via glasvezel mogelijk is. Bij glasvezel is er immers altijd sprake van enige (minimale) afname in snelheid door reflectie in de kabel zelf.¹⁴⁴ We constateren tot slot dat er in de vraag naar transverbindingen doorgaans geen vraag is naar hogere lagen van netwerkfunctionaliteit. Dit is iets wat de gebruikers van deze capaciteit (datacenters, telco's, resellers, etc.) doorgaans zelf organiseren, al dan niet met de inzet van SDN en NFV¹⁴⁵.

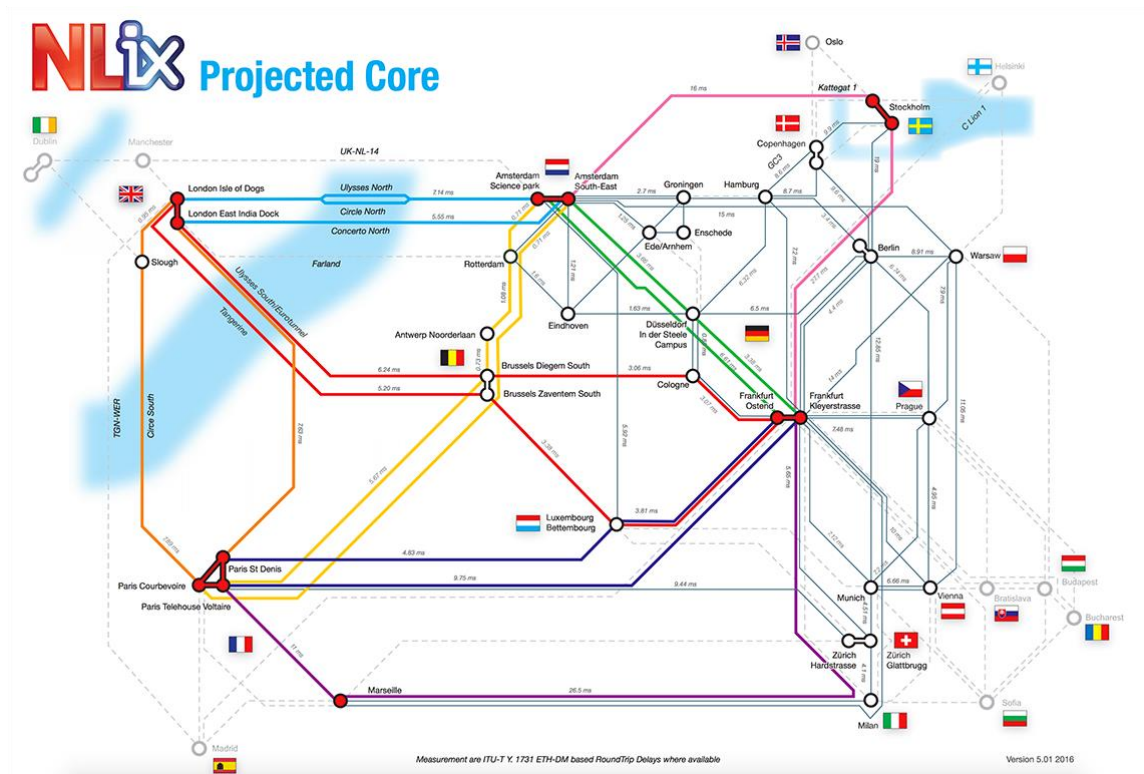
Aanbod

Het is niet eenvoudig om een goed overzicht te krijgen van aanbieders van transit verkeer in Nederland. Internationaal verkeer kan zowel via land als zee gaan, waarbij het lastig is om een beeld te krijgen van de internationale landkabels. Er is een groot aantal van deze kabels en realisatie hiervan is relatief eenvoudig. Hierdoor is er een groot aantal interconnecties ontstaan die in handen zijn van een groot aantal partijen. Middels onderstaande afbeelding van het core netwerk van NLiX, wordt enig inzicht verschaft in de beschikbare transitverbindingen binnen Europa (januari 2016). Tevens daarbij de delaytijden aangegeven.

¹⁴³ Bron: [\[telegeography.com\]](http://telegeography.com)

¹⁴⁴ Voor meer achtergrond: [\[ipvisie.com\]](http://ipvisie.com), [\[nrc.nl\]](http://nrc.nl) en [\[reuters.com\]](http://reuters.com)

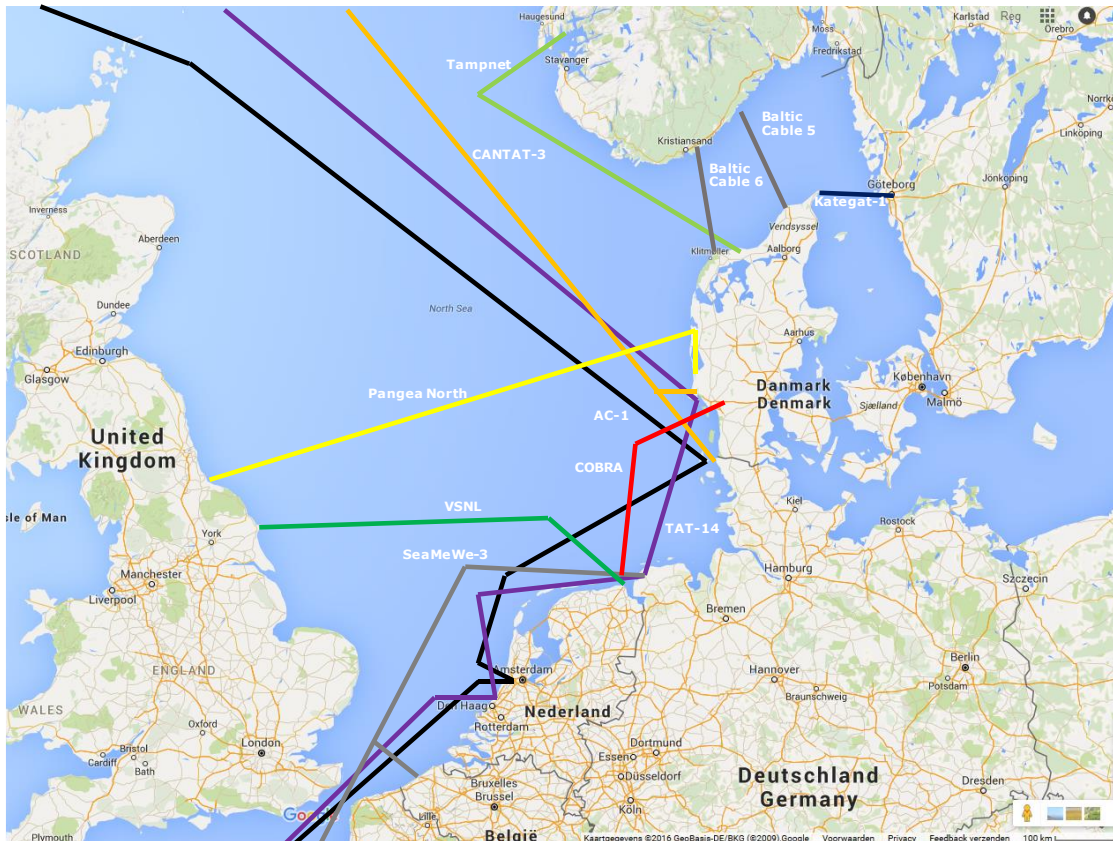
¹⁴⁵ Bron: Dialogic (2016) Exploratory study on network virtualization, beschikbaar via: [\[rijksoverheid.nl\]](http://rijksoverheid.nl)



Figuur 5-30. Schematisch overzicht van Europese core netwerk¹⁴⁶

De markt voor transit via zee kabels kent een andere dynamiek. In tegenstelling tot landkabels, is de aanleg hiervan een complexe en tijdsintensieve exercitie is. Hierdoor is het aantal kabels beperkt en is hun ligging doorgaans goed bekend. De onderstaande afbeelding en bijbehorende tabel geven hier een overzicht van. Het is duidelijk dat Nederland op dit moment goed ontsloten is.

¹⁴⁶ Bron: [\[nl-ix.net\]](http://nl-ix.net)



Figuur 5-31. Overzicht van de zeekabels rondom Nederland¹⁴⁷

Naam	Operator	In gebruik- name	Huidige capaciteit
VSNL Northern Europe	Tata Communications	2002	2.6 TBit/s
TAT-14	Consortium van KPN, BT, et cetera	2001	3.15 TBit/s
Atlantic Crossing-1	Level 3	1999	120 GBit/s

Als wij kijken naar de toekomst dan zien we dat er beperkt plannen zijn voor nieuwe kabels. De enige grootschalige kabel die in Nederland wordt gerealiseerd is een glasvezelkabel die gecombineerd wordt met een internationale stroomkabel "COBRA" van TenneT en Energinet.¹⁴⁸ Deze is op de bovenstaande kaart reeds weergegeven (rood).

Als we het aanbod van zeekabels bezien, dan valt op dat een groot deel van deze kabels rond de eeuwwisseling in gebruik is genomen. In de literatuur (en de praktijk!) is enige discussie over de levensduur van deze kabels. Vaak komt 20 jaar na ingebruikname naar voren als de periode waarin de levensduur gegarandeerd wordt en de kabel bij een breuk gerepareerd wordt. Daarna wordt het onzeker hoe lang de kabel blijft functioneren en kan een eigenaar lastig garantie geven op de dienstverlening. Daarbij kennen deze kabels een relatief lange *mean time to repair*, aangezien er een schip naar de locatie van de breuk moet varen en de reparatie zelf een complexe operatie is.

¹⁴⁷ Bron: Onderzoek Dialogic.

¹⁴⁸ Bron: tennet.eu

Match van vraag en aanbod

Als we kijken naar deze markt, dan is de verwachting dat de capaciteit groeit, maar de prijzen sterk blijven dalen. Dit betekent dat de totale opbrengsten van deze sector de komende jaren zullen blijven dalen, zoals onderstaande grafiek ook laat zien.

GLOBAL IP TRANSIT REVENUES, 2015-2021



Figuur 5-32. Verwachte omzet van IP-transit¹⁴⁹

We voorzien geen specifieke mismatch in het aanbod van en de vraag naar transit via landkabels. Dit is internationale en goed functioneerde markt, waarbij (net als in het geval van de nationale backbones) de inzet van nieuwe apparatuur of aanleg van nieuwe kabels een regulier bedrijfseconomisch vraagstuk behelst.

Vanuit Nederlands perspectief kan er enige zorg zijn over het feit dat onze positie als land dat uitstekend ontsloten is met zeekabels kan afbrokkelen. Zo komen meerdere kabels in de periode 2020-2025 aan het einde van hun technische levensduur. Het is vanuit onze positie echter niet goed mogelijk om inzicht te krijgen in de ontwikkelingen op de lange termijn. We onderschrijven wel de positieve spill-over effecten van deze zeekabels. Zo creëren zij (mede) een goed vestigingsklimaat voor datacenters en specifieke vraag uit bijvoorbeeld de financiële sector. De investeringsbeslissingen met betrekking tot de aanleg deze infrastructuur liggen echter op een internationaal niveau en kennen een complex beslissingsmodel. Zo zijn er in Noorwegen plannen om een trans-Atlantische kabel te realiseren en leggen Google en Facebook op dit moment een trans-Atlantische kabel aan die in Spanje uitkomt.¹⁵⁰ Deze tech-giganten streven hiermee verdere onafhankelijkheid van de bestaande telecompartijen en (zeekabel-)consortia na en zien Spanje als goede hub om de EMEA-regio te kunnen bedienen.

¹⁴⁹ Bron: [\[telegeography.com\]](https://www.telegeography.com)

¹⁵⁰ Bron: [\[wired.com\]](https://www.wired.com)

5.2.3 Internet exchanges

Internet eXchanges (IX) hebben een belangrijke rol in het Internet omdat het op een bepaalde locatie in een bepaalde regio de koppeling (typisch) op Laag 2 faciliteert tussen meerdere partijen met vraag en aanbod van IP-verkeer: typisch Internet Service Providers¹⁵¹ maar intussen ook allerlei andere partijen (content providers, transit providers, gaming partijen, etc). De interconnectiefunctie van exchanges is niet exclusief: diverse (grote) partijen hebben ook private interconnecties. De grote exchanges zoals die in Londen, Frankfurt en Amsterdam zijn internationale marktplaatsen waar bilaterale en multilaterale peering arrangementen worden afgesloten. De economische rol van een IX is reductie van transitkosten voor individuele partijen door de mogelijkheid van directe koppeling van partijen (*connectees*) die geografisch dicht bij elkaar liggen of bij elkaar gebracht kunnen worden. Een belangrijk technisch-functioneel voordeel is dat het de latency op end-to-end verbindingen over het Internet verkort. Het marktplaats- en knooppunt karakter van een IX maakt dat de regio waarin de IX is gesitueerd aantrekkelijk wordt voor ICT-partijen om zich daar te vestigen. In dat opzicht heeft het zeer vergelijkbare eigenschappen en effecten als logistieke knooppunten als de haven van Rotterdam en luchthaven Schiphol.

Vraag

Voor partijen aan de vraagzijde spelen een rol: de vestigingsplaats, de aangeboden peering- en transit- mogelijkheden van een IX, de beschikbaarheid van aanvullende connectiviteitsdiensten en last but not least de kosten voor de aansluiting op de IX (eenmalig en periodiek).

De eerder besproken diversiteit van digitale diensten, de groei in verkeer en toenemende geografische verkeersdichtheid leidt ook vanzelfsprekend tot groeiende behoefte aan interconnectiviteit. Gepubliceerde groeicijfers van bijvoorbeeld de AMS-IX (27% verkeersgroei, 20% extra connectees/jaar¹⁵²) en van de NLiX (18% extra connectees per jaar) tonen dat ook aan.

De aard van de vraag is aan het veranderen. Enerzijds verwachten we dat aanbieders van diensten en applicaties steeds vaker rechtstreeks toegang zullen zoeken tot een publieke Internet Exchange¹⁵³. Anderzijds signaleren we ook de trend dat Content- en Applicatie Service providers al rechtstreeks connectiviteitsafspraken maken met ISP's, die buiten de publieke Internet exchanges omgaan¹⁵⁴. Gegeven de te verwachten groei in de diversiteit van digitale diensten met een specifiek profiel, moet rekening worden gehouden met verandering van de vraag naar IP-interconnectiviteit en het ontstaan van een breder palet van IP interconnectiemodellen waar uit gekozen kan worden. Dat kan zijn een toename in private afspraken tussen die providers en ISP's en/of meer vraag naar gespecialiseerde Internet Exchange Points waar partijen binnen een specifieke branche zoals bijvoorbeeld financiën of industrie met specifieke maar onderling vergelijkbare (IP) connectiviteitsparameters onderlinge peerings aan kunnen gaan (zogenaamde communities), als aanvulling op de publieke Exchanges.

¹⁵¹ Kleinere ISP's kunnen er ook voor kiezen te koppelen aan een grote ISP.

¹⁵² Bron: [\[ams-ix.net\]](http://ams-ix.net)

¹⁵³ Bron: [\[ams-ix.net\]](http://ams-ix.net). Huishoudens en de meeste bedrijven hangen namelijk niet rechtstreeks aan het internationale internet via een IX, maar maken gebruik van een ISP die zelf wel aan een IX is gekoppeld en die zijn klanten een Internet toegangsdienst biedt.

¹⁵⁴ Bron: [\[ams-ix.net\]](http://ams-ix.net)

We verwachten ook dat de behoefte gaat toenemen aan exchange points op regionaal en lokaal niveau. Dat is een logisch uitvloeisel van de verdere intensivering van het op Internet gebaseerde diensten ecosysteem.

Aanbod

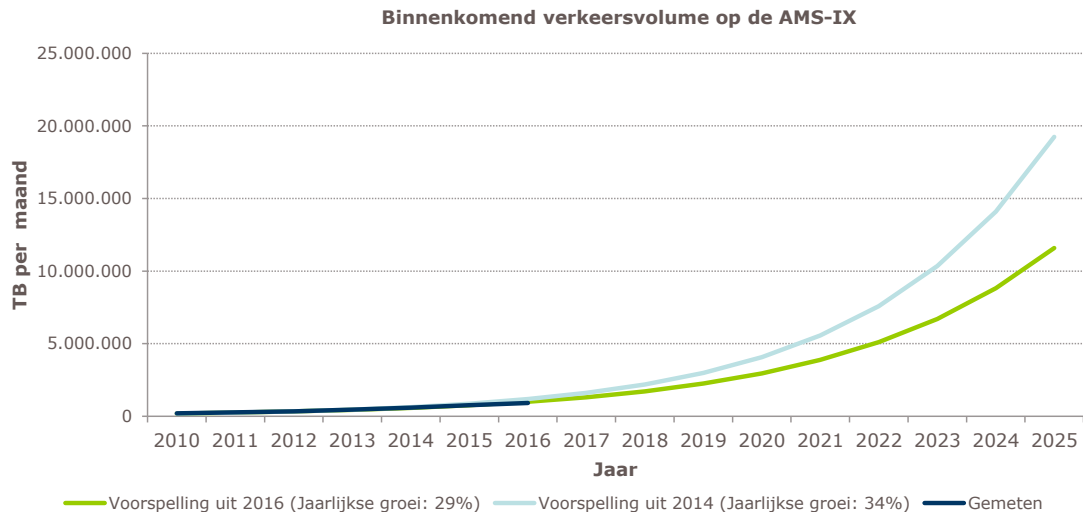
De onderstaande afbeelding toont de Internet exchanges in Nederland op dit moment en het aantal peers dat hiermee verbonden is.



Figuur 33. Overzicht van Internet exchanges in Nederland (excl. opstappunten) en het aantal aangesloten peers¹⁵⁵

¹⁵⁵ Bron: *Staat van Telecom*, Dialogic (2016). [\[destaatvantelecom.nl\]](http://destaatvantelecom.nl)

Uit de bovenstaande afbeelding wordt duidelijk dat het zwaartepunt van het verkeer over IX-en in de Randstad ligt. Vooral de AMS-IX (vereniging) in Amsterdam profiteert van haar traditioneel sterke positie en een ligging bij datacentra. Als we kijken naar het verkeer over de AMS-IX dan zien we een sterke stijging van het verkeer van circa 30% per jaar. Bij de NL-ix (privaat eigendom) zien we ook een dergelijke exponentiële groei, al is die doorgaans iets lager.



Figuur 34. Gemeten en geprognoseerde groei van het maandelijks binnenkomend verkeer op de AMS-IX.¹⁵⁶

De vraag is hoe de Internet Exchanges zich in de toekomst verder zullen gaan ontwikkelen. We benoemen hier een aantal van die ontwikkelingen.

Internet Exchanges hebben zich over de jaren heen ontwikkeld tot centra van digitale dienstverlening. Hoewel de peering functie nog steeds het hoofdbestanddeel is, zijn er diverse functies en services aan toegevoegd wat de aantrekkelijkheid van een IX voor partijen met behoeften op het gebied van digitale connectiviteit sterk vergroot. Er treedt daarbij een effect op dat we bij de luchthaven Schiphol ook zien, namelijk dat de AMS-IX zelf zich steeds meer richt op grote partijen en er satelliet exchanges (of virtuele exchanges) ontstaan die goed zijn aangekoppeld aan de AMS-IX en zijn toegespitst op dienstverlening aan kleinere partijen (tegen navenant lagere kosten).

Het is voorstelbaar dat er de komende jaren meer lokale Internet exchanges zullen gaan komen, die fungeren als lokale marktplaatsen en opstappunten voor digitale diensten en waar bedrijven en lokale dienstverleners op kunnen worden aangesloten. Een bedrijf als NDIX (Nederlands-Duits publiek/private samenwerking) positioneert zich al geruime tijd op deze wijze met de exploitatie van dergelijke marktplaatsen (opstappunten) in een aantal steden in Nederland. NLiX (nu eigendom van KPN) was ruim een decennium geleden ook opgericht vanuit het streven om digitale dienstverlening op regionaal/lokaal niveau te krijgen.

¹⁵⁶ Bron: *Beyond fast: how the speed of the internet will develop between now and 2022*, Dialogic (2016). Cijfers op basis van data van AMS-IX.



Figuur 35. Opstappunten (NL, DU, BE) van NDIX (IX gevestigd in Enschede). De kruisjes geven de koppeling aan met andere IX'en.¹⁵⁷

Een andere ontwikkeling is die van speciale communities. We zien onder andere NLiX bezig met de ontwikkeling van specifieke communities (Finance, Health, Delay Critical, Public, SaaS). De Life Science (Health) Community omvat bijvoorbeeld ziekenhuizen en andere zorgaanbieders, zorgverzekeringen, aanbieders van gespecialiseerde oplossingen, etc). Op termijn worden technologie- of industriespecifieke communities overwogen (Onderwijs, Entertainment, Detailhandel).

Er ontwikkelen zich geleidelijk aan nieuwe business modellen voor de aflevering van op IP-gebaseerde diensten naar eindgebruikers. Dat zijn modellen waarin gezocht wordt naar extra kwaliteitsgaranties in de end-to-end connectiviteit ten opzichte van het best-effort karakter van het publieke Internet, en die ook neerkomen op andere IP-interconnectie oplossingen. Het al bekende model is dat van 'deep caching' dat al, en waar mogelijk/interessant, wordt toegepast door Google, Netflix en Amazon en wat neerkomt op het plaatsen van servers dichtbij afnemers. In het onderzoek van A.D Little uit 2014 wordt de aandacht gevestigd op de uitbreiding van deze trend waarbij een drietal innovatieve IP interconnectiemodellen worden geïntroduceerd die aanvullend zijn op de bestaande (IP peering, transit en paid peering). Behalve deep caching zijn dat twee andere IP connectiemodellen (*assured delivery* en *secure M2M*) die beide te maken hebben met betere garanties qua connectiviteit. Deze nieuwe modellen concurreren in feite met de Internet Exchanges.

De technologie voor Interconnectie is ook sterk in ontwikkeling. Zo anticipeert Netherlight met haar innovatieve exchange concept, dat uitsluitend op lichtpaden is gebaseerd, op een toekomst van netwerkvirtualisatie. Netherlight, waarop ook Surfnet is aangesloten, biedt als

¹⁵⁷ Bron: NDIX

Open Exchange de mogelijkheid om aangesloten instellingen onderling te koppelen of externe dienstenaanbieders via Netherlight een geschakeld lichtpad aan te bieden richting een afnemer. Deze hoogwaardige en flexibele vorm van connectiviteit laat toe dat de netwerk- en samenwerkingsinfrastructuur volledig wordt aangepast aan (veeleisende) applicatiebehoefte (zoals bijvoorbeeld rekenintensieve applicaties in onderzoeksprogramma's).

Ergo, het aanbod van Internet Exchange services, of meer in het algemeen IP interconnectie diensten, is de komende jaren duidelijk in beweging.

Match van vraag en aanbod

Wij hebben geen feitelijke mismatches geconstateerd tussen vraag en aanbod van IP-connectiviteit, en in het bijzonder Internet Exchanges. De sterke flexibiliteit van deze branche zowel technologisch als zakelijk, maakt dat vraag en aanbod goed op elkaar afgestemd blijven. Het aanbod van diensten voor IP-interconnectiviteit is in Nederland van een hoog niveau en wordt ook afgenomen, waarbij wel opgemerkt dat het grootste deel van het IP-verkeer op de AMS-IX niet is gerelateerd aan puur Nederlandse vraag.

Juist vanwege dit maatschappelijke succes en het toenemende belang van Internet als het universele vehikel voor een uitdijend portfolio van digitale diensten is er wel een discussie gaande over de *toekomstige inrichting* van IP-interconnectiviteit als onderdeel van de discussie over het toekomstige Internet. Deze discussie is niet perse een precursor voor een toekomstige mismatch, maar afhankelijk van de uitkomsten van die discussie kunnen ontwikkelingen een kant uitgaan waarbij op zijn minst vraag en aanbod op een andere manier tegenover elkaar komen staan dan tot nu toe het geval is. Onder invloed van een toenemende behoefte aan en aanbod van digitale diensten met bepaalde kwaliteitsaspecten speelt de vraag of het 'Future Internet' meerdere modellen voor IP-interconnectiviteit naast elkaar moet kunnen ondersteunen of dat de capaciteit in corenetwerken, interconnectiepunten en toegangsnetwerken zodanig ver kan worden uitgebreid dat daarmee aan QoS-eisen van digitale diensten kan worden voldaan. Het meest waarschijnlijke scenario is dat er standaard meerdere interconnectiemodellen naast elkaar zullen worden gebruikt.

5.2.4 Samenvatting en conclusie

De voorgaande behandeling kan als volgt worden samengevat:

Bandbreedte: Geen knelpunten in IP-Transitverbindingen geconstateerd. Prijserosie in de markt voor transit zeer waarschijnlijk door overcapaciteit op (specifieke) transitverbindingen als gevolg van uitbreiding totale aanbod. Tevens geen knelpunten geconstateerd voor Internet Exchanges. Technologie-ontwikkeling stelt IX'en in staat om vraag te blijven accommoderen.

Latency: Geen knelpunten geconstateerd. Wat betreft Internet Exchanges zullen partijen met extreem hoge latency eisen direct aansluiting zoeken op een grote IX. Dat is reguliere marktwerking.

Dekking: Geen knelpunten geconstateerd.

Betrouwbaarheid: Er is sprake van een economisch end of life van aantal zeekabels. De technische betrouwbaarheid zal op korte termijn nog niet in geding zijn. Op langere duur is wel sprake van een risico op uitval. De planning van zeekabels is een internationaal complex beslissingsmodel en vergt een specifieke analyse. Geen knelpunten geconstateerd wat betreft Internet Exchanges.

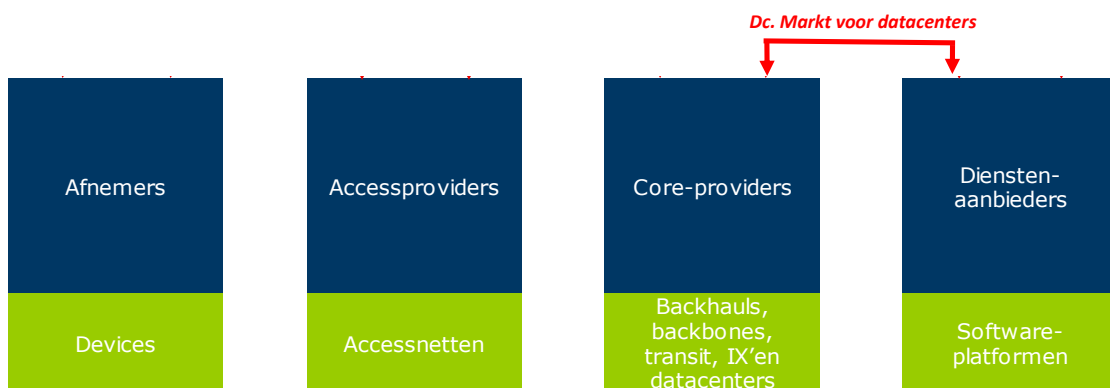
Overige punten: Aandachtspunt is het ontstaan van alternatieve IP-interconnectiviteitsmodellen naast de IX. Dit is relevant in het kader van de toekomstige ontwikkeling van het

Internet en in het kader van de netneutraliteitskwestie omdat deze alternatieve modellen ontstaan vanuit de behoefte aan kwaliteitsdifferentiatie voor specifieke diensten.

De hoofdconclusie van deze beschouwing is dat er geen feitelijke knelpunten zijn geconstateerd op de betreffende deelmarkten en die ook niet op afzienbare termijn worden verwacht. Over de zeekabels kunnen we op grond van de huidige ons beschikbare informatie geen goede uitspraken doen over eventuele knelpunten op termijn.

5.3 Markt voor datacenters

De laatste deelmarkt die we bespreken is die van datacenters. Datacenters kunnen diverse functies accommoderen en vervullen een belangrijke faciliterende rol zowel wat betreft het hosten van applicaties als ook het faciliteren van interconnectiviteit.



Figuur 36. Deelmarkten: markt voor datacenters

Vraag

De keuze van een professionele organisatie voor een datacenter kent een aantal mogelijke motiefactoren::

- Te weinig mogelijkheden of te duur om op de eigen bedrijfslocatie een serverruimte aan te houden. Men kan een eigen datacenter elders opzetten of kiezen voor colocation;
- Back-upfunctie in geval van calamiteiten op de eigen locatie. Idem de opties voor een eigen datacenter of via co-locatie;
- Gedeeltelijke of volledige outsourcing van IT beheerstaken naar derde partijen (hosting);
- Een grote mate van interactie met andere partijen waardoor een meer centrale locatie voor IT-processen te verkiezen valt boven een eigen locatie (co-locatie en hosting);
- Het afnemen van diensten van clouदानbieders die dat vanuit hun datacentra faciliteren (PaaS, SaaS en IaaS).

In het in 2013 door Pb7 uitgevoerde onderzoek naar trends in de Nederlandse datacenter markt¹⁵⁸ kwam naar voren dat over een periode van 3 jaar het percentage bedrijven dat koos voor faciliteiten op de eigen site terug zou lopen van 43%(2013) naar 28% (2016). In 2016 rapporteert de Dutch Data Association dat in 2016 44% van de ondervraagde bedrijven nog kiest voor een oplossing geheel op de eigen site, met de prognose dat dit in 2021 zou

¹⁵⁸ Bron: Datacenter Netwerk Trends in Nederland, Pb7 Research, 2013

zijn teruggelopen naar 40%. Op dit moment staat volgens de DDA 70% van de servercapaciteit nog bij de bedrijven zelf. Deze cijfers geven aan dat bedrijven nog vrij terughoudend zijn in de outsourcing van IT en de overstgeleidelijk maken. ap naar cloud De grootste driver is vooralsnog kostenbeheersing. Belemmerende factoren zijn verlies van autonomie en vrees voor beveiligingsrisico's.

De behoefte aan flexibiliteit en opslagcapaciteit bij afnemers nemen sterk toe, en er is sprake van opwaartse druk wat betreft garanties op beschikbaarheid. Datacenters zijn ingedeeld in SLA-categorieën (Tier-1 t/m 4). Tier 2 (99,741% beschikbaarheid) en Tier 3 (99,982%) waren in 2013 het meest courant, maar er is echter sprake van een opwaartse druk in de markt naar zwaardere SLA's op dit punt.

De eerder genoemde digitale transformatie zit nog in een stadium waarbij veel bedrijven nog worstelen met de transitie van 'oud-IP' naar 'nieuw-IP'¹⁵⁹ en voor hun *core business* geen noodzaak zien om veel zwaarder in te gaan zetten op cloudificatie. Dit zal richting 2020 sterker gaan aantrekken. Dit wordt ten eerste veroorzaakt door de cloudificatietrend die zich sowieso in de IT sterk manifesteert en die bedrijven verleidt daar in mee te bewegen. Ten tweede omdat er een nieuwe generatie van bedrijven opkomt die van meet af aan kiezen voor cloud computing en ook daar ook bestaande partijen in gaan meetrekken (concurrentiedruk). In het bijzonder zal de vraag naar IaaS¹⁶⁰ sterk gaan toenemen als meest flexibele basis voor cloud computing. Deloitte voorspelde in 2014 een groei van 19% tot/met 2018 voor IaaS-diensten, tegen 9% voor andere cloud gebaseerde diensten.

Trendwatchers in de datacentermarkt geven aan dat de vraag naar lokale datacenters zal stijgen¹⁶¹. De behoefte aan edge/fog computing zal toenemen in de toekomst, gemotiveerd vanuit verwachte IoT en Smart City ontwikkelingen. Dus kan men zich zelfs voorstellen dat er mini of zelfs micro atacentra gaan komen. Dat is een kwestie van naamgeving.

Aanbod

Uit het Deloitte onderzoek uit 2014 kwam naar voren dat Nederland een vooraanstaande positie heeft wat betreft het aanbod van datacenter faciliteiten. Enkele cijfers daarover, mede ontleend aan publicaties van DDA en Pb7:

Tabel 11. Cijfers Nederlandse markt voor datacenters

Indicator	Waarde
Aandeel NL in Europese DC markt	7%, tweede na het VK
Aantal m2 DC vloerruimte (netto)	271.000 m ² , 64% in regio A'dam
Aantal Datacenters	206

Onderstaande afbeelding geeft een overzicht van datacenters in Nederland. De concentratie in Amsterdam valt op¹⁶². Merk verder op dat twee zeer grote private datacenters die op dit moment gebouwd worden niet op de kaart staan, namelijk die van Google (Eemshaven) en Microsoft (Middenmeer).

¹⁵⁹ Zie ook het interview met Sander Bakker van Brocade, December 2015. Bron: datacenterdossier.nl

¹⁶⁰ IaaS betreft flexibiliteit in allocatie van generieke hardware en connectiviteit waarmee geavanceerde cloud computing applicaties (o.a. Big Data gebaseerd) tot de mogelijkheden behoren.

¹⁶¹ Bron: datacenterdossier.nl,

¹⁶² Bron: dutchdatacenters.nl

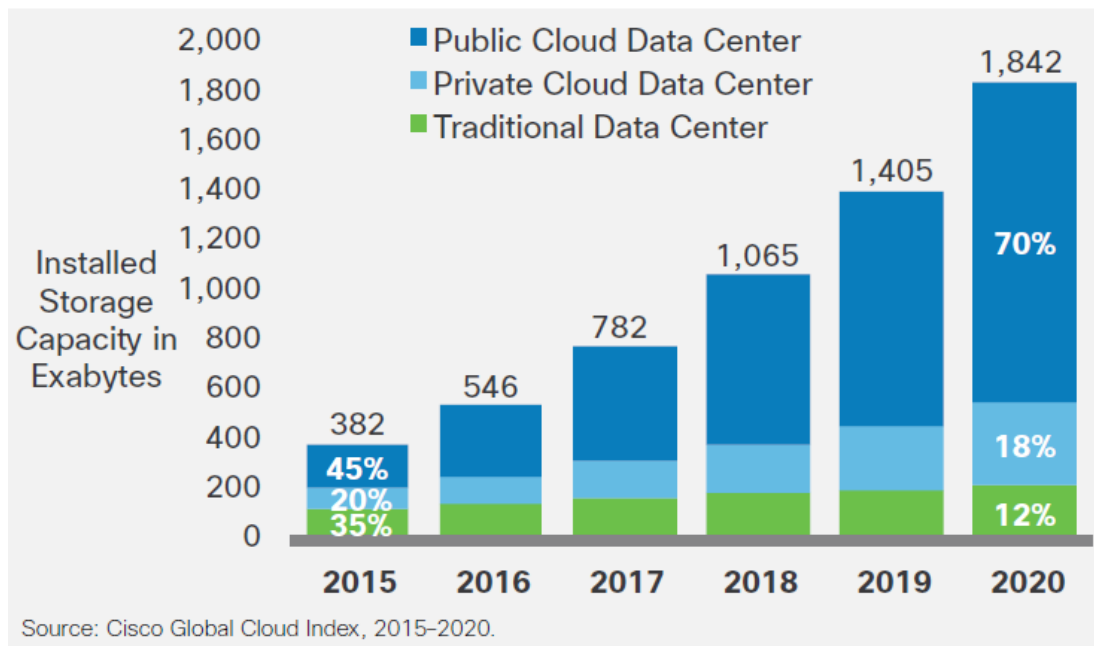


Figuur 37. Overzicht van datacenters in Nederland¹⁶³.

Op dit moment lijkt er sprake te zijn van overcapaciteit in de Datacentermarkt. Er is een proces van rationalisering en innovatie aan de gang om het aanbod beter op de sterk veranderende vraag aan te laten sluiten, tegen een concurrerend prijsniveau. Het leitmotiv is 'meer doen met minder'¹⁶⁴. Daarvoor wordt maximaal overgegaan op virtualisering om afnemers veel meer flexibiliteit te bieden, zijn investeringen nodig in opslag, connectiviteit (naar 100 Gbit/s poorten in 2020) en beschikbaarheid (opwaartse druk qua Tier niveau) en is energiebesparing van belang. Het netto effect van prijserosie op data-opslag en de veel sterker toenemende vraag naar opslagcapaciteit leidt tot netto kostenstijgingen.

¹⁶³ Bron: *Staat van Telecom*, Dialogic (2016). [destaatvantelecom.nl]

¹⁶⁴ Bron: *Verwachte ontwikkelingen in datacentra in de komende 5 jaar*, Hivos, 2013



Figuur 38. Verwachte groei in geïnstalleerde opslagcapaciteit in datacentra, 2015-2020¹⁶⁵

Wat betreft lokale vestigingsmogelijkheden van datacenters is het beleid van gemeenten een belangrijke factor. Net als bij de aanleg van kabels speelt ook in dit dossier dat er duidelijke verschillen in politieke/bestuurlijke voorkeuren op lokaal niveau zijn wat betreft voorzieningsniveau, ruimtelijke ordening, economische speerpunten en duurzaamheid, voorkeuren die zeer bepalend kunnen zijn. Voor deze markt (evenals voor de betreffende gemeenten) is het van belang dat de lokale overheid een goed geïnformeerde afweging kan maken van voordelen, nadelen en belangrijke randvoorwaarden voor de vestiging van datacenters. Aanbieders van datacenter-faciliteiten hebben bovendien belang bij afstemming tussen gemeenten over de eisen die aan datacenters worden gesteld¹⁶⁶.

Zeker daar waar economische stimulansen worden gezocht om teruglopende werkgelegenheid te bestrijden biedt de ontwikkeling van shared/multitenantdatacenters kansen. Daarbij draait het niet om het datacenter zelf maar om de spin-off effecten qua bedrijvigheid doordat (clusters van) nieuwe bedrijven (start-ups) zich gaan vestigen, een trend die we al enige tijd zien in steden met universiteiten en hogescholen. Een uitdaging voor datacenters is om het qua business case van de grond te krijgen in gebieden met een matig voorzieningsniveau (hoge vestigingskosten).

Mogelijkheden in de komende jaren voor de vestiging in steden van kleine datacentra of schakelpunten kunnen van belang worden, afhankelijk hoe hard het gaat met ontwikkelingen als IoT, ITS en Smart Cities. Er is echter nog onduidelijkheid hoe de ontwikkelingen op elkaar ingrijpen en wat dat betekent voor de behoefte aan en de inrichting van dergelijke mini- of microcentra.

¹⁶⁵ Bron: Cisco Global Cloud Index, 2016

¹⁶⁶ Zo wordt melding gemaakt van voorschriften van bepaalde gemeentes voor specifiek te hanteren koelmethodes, die echter nogal eens tot suboptimalisatie leiden qua energie-efficiëntie. Bron: nederlandict.nl

Match van vraag en aanbod

Er is op dit moment sprake van een bepaalde mismatch tussen vraag en aanbod door overcapaciteit (van verouderde systemen). Dat zou echter via reguliere marktwerking weer in evenwicht moeten kunnen komen. Technisch zijn er voorlopig geen issues, wat niet wil zeggen dat een tenminste kostendekkend exploitatiemodel voor een datacenter eenvoudig is te realiseren. Belangrijk voor deze markt is dat lokale overheden voldoende inzicht hebben in de problematiek en daardoor in staat zijn een goede belangenafweging te maken. Tevens is het voor partijen van belang dat er sprake is van afstemming tussen gemeenten over eisen en randvoorwaarden voor vestiging.

Samenvatting en conclusie

De voorgaande behandeling kan als volgt worden samengevat:

Bandbreedte: Er is sprake van een mismatch in de markt tussen vraag en aanbod van datacenterfaciliteiten. Dit heeft te maken met zaken als opslagcapaciteit, rekenkracht en mogelijk ook connectiviteit hoewel daar geen expliciete aanwijzingen voor zijn gevonden

Latency: Datacenters spelen een zeer belangrijke rol in de reductie van latency. De populatie van datacenters in Nederland draagt sterk bij tot reductie van latencies in digitale diensten. Hier zijn geen knelpunten aan de orde.

Dekking: Hier zijn geen knelpunten geconstateerd. Wel is er zorg over moeilijkheden bij de vestiging van datacenters door verschillen in lokale regelgeving.

Betrouwbaarheid: De Nederlandse markt heeft een aanbod van datacenters in verschillende klassen van betrouwbaarheid. Hier zijn geen knelpunten geconstateerd. Er zal een druk komen op hogere betrouwbaarheid maar er moet vanuit worden gegaan dat de markt dit oplost.

De conclusie van deze beschouwing is dat deze markt te maken lijkt te hebben met een mismatch tussen vraag en aanbod en met enige groeivertraging. Echter op grond van alle geschetste ontwikkelingen en de verwachte vraag, toch aan belang en aan omvang zal gaan toenemen in de beschouwde periode. Vestigingsvoorwaarden zijn belangrijk in de verdere verspreiding van datacenters in Nederland.

6 Digitale connectiviteit in agricultuur

In dit hoofdstuk gaan we nader in op digitale connectiviteit in de agricultuursector. We richten ons hierbij op de deeldomeinen akkerbouw, (glas)tuinbouw, veeteelt en visserij. We vertalen brede sectortrends in vraag naar digitale connectiviteit en bepalen vervolgens in welke mate het generieke aanbod hierin kan voorzien. Aansluitend behandelen we de geselecteerde casus (precisielandbouw), waarin we de meest uitdagende verwachte vraag naar connectiviteit nader beschouwen. Hieruit volgen de door ons vastgestelde knelpunten en de verklarende factoren achter deze knelpunten.

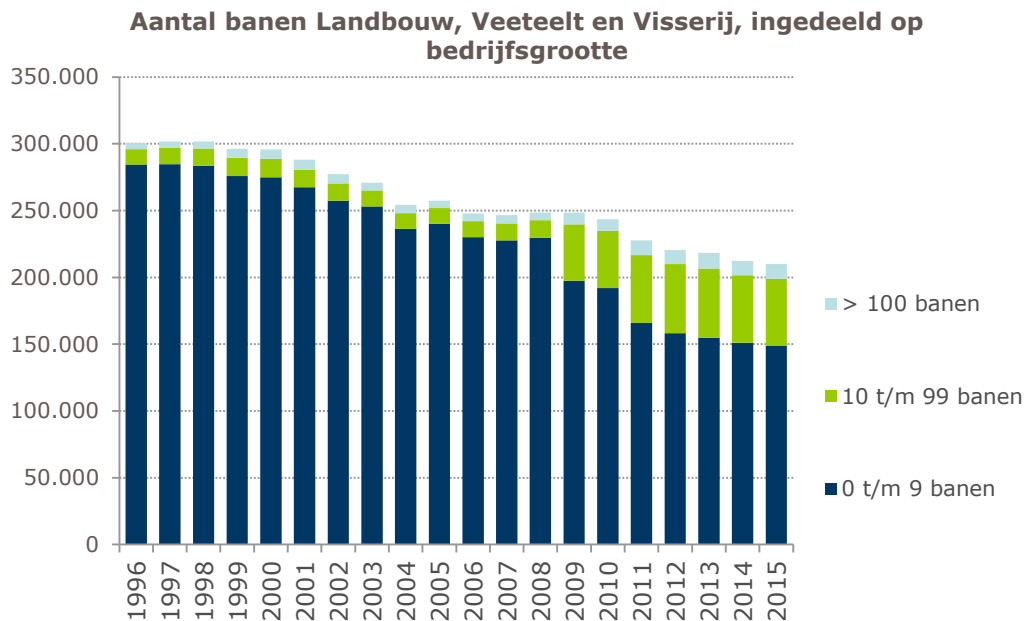
6.1 Sectortrends

De Nederlandse agricultuursector staat wereldwijd bekend om haar hoge efficiëntie. Op veel plaatsen ter wereld staat men binnen de sector voor dezelfde opgave: bevolkingsgroei zorgt voor een grotere vraag naar voedsel, terwijl veel landbouwgrond reeds in gebruik is. Dit vraagt om een toename in de efficiëntie binnen de hele productieketen. Daartegenover zet een tegenbeweging juist sterk in op kleinschaligheid, lokale gebondenheid en ecologisch verantwoord.¹⁶⁷ Sectorbreed herkennen we de volgende trends:

1. *Verhogen rendement* - Er is een noodzaak tot hogere productie door wereldwijde bevolkingsgroei. In combinatie met het afnemen van landbouwareaal stimuleert dit rendementverhogende interventies als precisielandbouw, maar ook schaalvergroting. Daarnaast kunnen nieuwe technieken voor veredeling en teelt (zoals vertical farming) een bijdrage leveren aan rendementsverhoging.
2. *Accreditatie* - In toenemende mate is er vraag naar precieze herkomstinformatie van producten. Dit wordt deels gedreven door een vraag naar duurzame producten.
3. *Toenemende ketenafstemming* - Toenemende data-uitwisseling binnen de keten stimuleert data-aggregatie en e-commerce toepassingen.
4. *Duurzaamheid en gezondheid* - Gedreven door veranderende vraag vanuit de consument en stringenter regelgeving, zien we een verdere verduurzamingsslag binnen het boerenbedrijf. Gerichtere inzet van bijvoorbeeld bestrijdingsmiddelen of antibiotica vragen om gedetailleerder inzicht in de conditie van gewassen of dieren. In diezelfde lijn zien we een vraag naar zo exact mogelijke informatie over voedingswaarde en inhoudsstoffen in voeding, hetgeen nauw samenhangt met wijze van produceren. Daarbij drijft de toenemende vraag naar biologisch en/of duurzaam geproduceerde producten en afnemende marges in het reguliere boerenbedrijf, steeds meer boerenbedrijven tot de overstap naar andere productiemethoden. Dit creëert meer vraag naar eerder genoemde zaken als ketenafstemming, accreditatie en e-commerce door de boer zelf.
5. *Waarneming op afstand* - Waarnemen op afstand, ter beveiliging, informatievoorziening of controle wordt steeds belangrijker, met name in het geval van geografisch verspreide percelen na integratie van kleinere bedrijven. Verder krijgen toezichthouders of ketenpartners (bijvoorbeeld slachthuizen) behoefte aan onderling inzicht in het productieproces. Preciezere metingen in het productiesysteem kunnen daarbij de kwaliteit van het teeltproces borgen.

¹⁶⁷ Bron: TKI Agrifood (2015) *Bijlage: innovatieagenda 'Hightech to feed the world'*. Beschikbaar via: [\[tki.agrifood.nl\]](http://tki.agrifood.nl)

Als gevolg van de getoonde verschuivingen binnen de sector, ontstaat een nieuw type boer, de zogenoemde farm manager. Met de toepassing van digitale middelen wordt het voor een enkele boer mogelijk om een grotere veestapel of breder landbouwersenaal te beheren. Daarbij zullen de losse boerenbedrijven vaker integreren tot een enkele organisatie, om tot nog betere benutting van schaalvoordelen te komen. Dit schaafeffect zien we dan ook terug in de historische data over de werkgelegenheid binnen de sector Landbouw en Visserij. Het totaal aantal banen neemt namelijk af, maar het aandeel ondernemingen met meer dan tien banen groeit van vijf naar bijna dertig procent in de periode 1996-2015.



Figuur 39. Ontwikkeling in bedrijfsgrootte in SBI-sector A¹⁶⁸

De agricultuursector is een sterk pluriforme sector en kent vele verschijningsvormen. Elk domein is niet alleen uniek in bijvoorbeeld schaalgrootte en ingezette technologieën, maar kent vooral eigen specifieke trends. De ontwikkeling in de vraag naar digitale connectiviteit verschilt daarmee ook van domein tot domein. Deze zullen we dan ook separaat behandelen in de volgende paragraaf, waarin we bovenstaande ontwikkelingen vertalen in de vraag naar digitale connectiviteit.

6.2 Vraag naar digitale connectiviteit

6.2.1 Akkerbouw

Binnen de akkerbouw is precisielandbouw een kernbegrip. Door water, bestrijdingsmiddelen en meststoffen steeds gericht te doseren zijn besparingen op grondstoffen en hogere opbrengsten mogelijk. De belangrijkste ontwikkeling is de schaal waarop wordt gehandeld. Waar men zich nu nog op een 'vlakniveau' van een hectare tot enkele vierkante meters

¹⁶⁸ Bron: CBS Statline (2016)

concentreert, zullen deze vlakken in de komende tien jaar steeds kleiner worden. Nog later zal op plant, plantorgaan of ziektekiemniveau kunnen worden gemonitord en bijgestuurd.¹⁶⁹

Centraal binnen deze ontwikkeling staat het genereren, combineren en beschikbaar krijgen van data. Denk hierbij aan geo- en sensordata over de biomassabedekking, (grond)hydratie en stikstofgehaltes. Het is op dit moment vooral de uitdaging om data vanuit meerdere meetmethoden en bronnen te combineren en effectief in te zetten. Tot slot is het de verwachting dat grote machines in de toekomst vervangen worden door kleinere, zelfrijdende machines. Het belang van een goede ketenintegratie en connectiviteit tussen de ketenpartners neemt hierdoor toe, aangezien uitval of te lage kwaliteit van de verbinding een steeds directe impact heeft op de bedrijfsvoering.

De inzet van deze nieuwe beheermethoden gaat hand in hand met de verdergaande trend van schaalvergroting. Deze ontwikkeling leidt tot een groter te beheren gebied, waarvan sommige stukken land verder van de boerderij liggen en soms omsloten zijn door land van een andere eigenaar. Hierdoor ontstaat onder andere een vraag naar toezicht op afstand middels camerabeelden. Dit vergroot het belang van voldoende snelle connectiviteit, bijvoorbeeld om de camerabeelden tussen de verschillende percelen te kunnen uitwisselen. Een enkele videostream vraagt immers al om een verbinding van 1,5 tot 5 Mbit/s, dus bij meerdere parallelle beelden stijgt de vraag naar bandbreedte navenant. Dit zelfde gaat op voor de grootschalige inzet van dronebeelden.

Een nieuwe ontwikkeling binnen het boerenbedrijf betreft de opkomst van de rol van stroomproducent. Met name boeren in Flevoland zijn op grote schaal ingestapt in de windenergietransitie.¹⁷⁰ Dit resulteert niet alleen tot organisatorische veranderingen; de geïnstalleerde biogasinstallaties, windmolens en zonnepanelenvelden hebben vaak een behoefte aan digitale verbindingen.¹⁷¹ De vraag naar digitale connectiviteit stijgt dus navenant mee met deze transitie.

6.2.2 (Glas)tuinbouw

Binnen de (glas)tuinbouw worden sensoren en actuatoren¹⁷² al op substantiële schaal ingezet. De uitdagingen voor deze deelsector zitten met name op het (verder) verduurzamen van de energiehuishouding. Slimme innovaties hebben ons land een wereldwijde koppositie bezorgd op het gebied van energie- en arbeidsbesparing en van efficiënte productiemethoden. Deze deelsector wordt verder gekenmerkt door zijn sterke concentratie rondom hoogwaardige (logistieke) infrastructuur. Er wordt met name gewerkt met sterk bederfelijke goederen (bloemen, groenten, fruit, etc.) die zo snel mogelijk over de waardeketen verspreid moeten worden. De digitale connectiviteitsbehoefte zit hierbij dus met name in de ondersteuning van de ketenintegratie.

Een aansprekende trend betreft het concept van vertical farming. Dit betreft bijvoorbeeld gebruik van gestapelde bedden voor kiemplanten, maar betreft in brede zin nieuwe methoden van voedselproductie. Uniek hieraan is de mogelijkheid om de productie op atypische locaties met kunstlicht te organiseren, bijvoorbeeld ondergronds of leegstaande kantoorpanden. Dit heeft als voorbeeld dat de productie nog dichter bij de consumptie kan plaatsvinden

¹⁶⁹ Bron: Kempenaar, C. (2010, Zomer). Precisielandbouw: slim combineren van nieuwe technologieën. Syscope, pp. 22-27.

¹⁷⁰ Bron: Endre Timár (2014) Herstructurering wind Flevoland, beschikbaar via: [\[rvo.nl\]](http://rvo.nl)

¹⁷¹ Zie de sectorstudie Energie voor verdere uitwerking van deze specifieke toepassing.

¹⁷² Geïntegreerde systemen die de omgeving te controleren en te beïnvloeden, zoals beregeninstallaties of systemen ten behoeve van temperatuurbeheersing.

dan nu het geval is. Voor commercieel interessante toepassing is echter schaalvergroting gewenst, bijvoorbeeld in loodsen op industrieterreinen. Hier is namelijk doorgaans goede logistieke aansluiting op de rest van de waardeketen. Verdere ontwikkelingen zijn gericht op hydrocultuur en andere kweekmethoden waarbij accurate toediening van grondstoffen eenvoudiger is. We zien hierbij met name een toenemende vraag naar (tijdelijk) toezicht en beheer op afstand, waarbij camerabeelden en sensoren worden ingezet om de groeilocaties te monitoren en bijsturen.

6.2.3 *Veeteelt*

Schaalvergroting in de (pluim)veeteelt, varkenshouderij en melkveehouderij is sinds geruime tijd een thema. Deze trend leidt tot minder individuele aandacht voor de dieren, terwijl deze grote onderlinge verschillen vertonen.¹⁷³ Sensoren en actuatoren bieden de mogelijkheid op deze grote(re) schaal toch op individueel niveau te kunnen monitoren en sturen.

Evenals in de andere (deel)sectoren, kan aggregatie van databronnen tot nieuwe inzichten leiden, bijvoorbeeld op het gebied fokkerij, management, gezondheid en gedrag. Daarnaast zien we dat technologieën steeds vaker gebruikt worden om dieren te sturen, voeren of van water te voorzien. Zo worden melk- en voerrobots op dit moment al sectorbreed binnen de melkveehouderij ingezet. Door meet- en toedieningsautomatisering te combineren, kan er automatisch op het niveau van individuele dieren gestuurd worden. Zo worden het (kracht)voer en andere supplementen afgestemd op informatie over het individuele dier. De dieren worden hierbij elektronisch herkend op basis van een chip. Toonaangevend zijn de verschillende lopende trajecten op het gebied van Smart Dairy Farming, zoals de samenwerkings-overeenkomst tussen CRV, Agrifirm en FrieslandCampina.¹⁷⁴ Dergelijke projecten en onderzoeken naar automatisering van bedrijfsprocessen en toepassing van sensortechnologie speelt overigens binnen andere diersectoren, zoals varkens en kippen.

Het runnen van een melkhouderij bestaat overigens niet alleen uit het verzorgen van de veestapel. Het beheren van graslanden ten behoeve van de veestapel is ook een relevant onderwerp binnen dit domein. Op deze weilanden kunnen soortgelijke systemen als in de akkerbouw de opbrengst optimaliseren, wat de ontwikkeling van de dieren weer kan vergroten. Verder kan de weidegang in de toekomst met behulp van tags en poortjes worden gecontroleerd.

6.2.4 *Visserij*

De visserijsector is sterk afhankelijk van satellietverbindingen. Vissers zetten deze verbindingen in voor communicatiedoelinden en positiebepaling. In toenemende mate wordt er kennis met de hele keten uitgewisseld. Zo kan er bijvoorbeeld gericht gevangen op soorten waar die dag klanten voor zijn, maar kan de vis vervolgens ook via e-commerce toepassingen nog op het schip aan de hoogste bieder verkocht worden. Satellietbeelden nemen verder een belangrijke positie in bij het bepalen van de positie van visscholen. In de toekomst kan gedacht worden aan intelligente systemen voor het duurzaam beheren van de visstand. Daarbij zien we ontwikkelingen rondom autonome schepen, waarbij intelligentie op het schip, zoals GPS, 3D-radar, sonar en weerinformatie, ingezet wordt.

¹⁷³ Bron: Kempenaar en Kocks (2013) Van precisielandbouw naar smart farming technology, beschikbaar via: [\[wur.nl\]](http://wur.nl).

¹⁷⁴ Bron: Datasnelweg voor de melkveehouder, beschikbaar via: [\[crv4all.nl\]](http://crv4all.nl).

De kweekvisserij is in opkomst binnen Nederland. Hoewel intelligente sensorsystemen hier al zijn geïntroduceerd, staat deze ontwikkeling nog wel in de beginfase. Binnen het Seventh Framework Programme van de Europese unie worden proeftrajecten gedraaid.¹⁷⁵

6.3 Match met generiek aanbod

6.3.1 Akkerbouw

De geprojecteerde combinatie van de grootschalige inzet van sensoren, het real-time gebruik van meerdere databronnen en de inzet van zelfsturende machines, maakt dat we hier binnen dit deeldomein knelpunten verwachten op het gebied van digitale connectiviteit. Deze bedrijfstak bevindt zich immers voor het grote merendeel in het buitengebied, waarvan we vanuit de generieke observaties weten dat zowel de geboden capaciteit en dekking op de reguliere vaste netwerken ondermaats is. De ondernemers zijn in het buitengebied toegewezen op een laagwaardige DSL-verbinding, aangezien kabel- en glasvezelverbindingen ontbreken. Daarbij hebben verschillende cellulaire netwerken beperkte dekking.¹⁷⁶ Uit de praktijk horen we op dit moment met name knelpunten rondom de uitwisseling van grote(re) databestanden, bijvoorbeeld ten behoeve van het updaten van *farm management systemen*, aansturingsoftware op machines en satellietbeelden uit de nationale satellietdatabank. Ditzelfde geldt voor het toekomstige (gezamenlijk) gebruik van videobeelden van drones (al dan niet extern ingekocht). Verder moet een ondernemer bij de selectie van sensoren op basis van GPRS of 3G op dit moment eerst vaststellen of er überhaupt voldoende dekking is (en door welke provider) op het perceel waar hij de sensor wil inzetten. Hoewel er een bundelings- en consolidatieslag gaande is binnen de sector, is er nog sprake van veel individuele bedrijven die, volgens verschillende partijen in de sector, niet voldoende kennis, kunde en betalingsbereidheid hebben om goede vraagarticulatie naar digitale infrastructuur tot stand te laten komen. Het samenvoegen van bedrijven (zoals bijvoorbeeld op de Hoeksche Waard plaats heeft gevonden), maakt betere hier verbetering mogelijk, wat tot voordeligere inkoop kan leiden. Ditzelfde geldt uiteraard voor coöperatieve en sector-overstijgende vraagbundeling.

6.3.2 (Glas)tuinbouw

Door steeds sterkere geografische concentratie van deze bedrijfsactiviteiten, is de eventuele groeiende connectiviteitsvraag een mindere uitdaging dan we bijvoorbeeld in de sterk verspreide akkerbouw zien. Zo is er in het Westland zowel glasvezel van CAIW en Eurofiber aanwezig, als een hoge penetratie van coax van Ziggo. Daarbij hebben deze partijen doorgaans substantiële schaal en zijn zij kapitaalkrchtig genoeg op een eigen verbinding te laten realiseren waar nodig. Hoewel we de data-intensivering van deze sector onderschrijven, verwachten we dat de knelpunten op het gebied van digitale connectiviteit hier beperkter zijn. De (glas)tuinbouwlocaties in de meer afgelegen gebieden zullen overigens wel een gelijksoortige problematiek ervaren als de akkerbouwers.

6.3.3 Veeteelt

Er kunnen duidelijke parallellen worden getrokken tussen de domeinen veeteelt en akkerbouw. Beide bedrijfstakken zijn sterk over het buitengebied verspreid, waardoor we snel

¹⁷⁵ Zie hiervoor: [\[sensorfish.eu\]](http://sensorfish.eu)

¹⁷⁶ Dit vormt overigens geen probleem voor technieken als rechtrijden op basis van RTK- of DGPS-technologie, aangezien men hier gebruik maakt van een landelijk netwerk van basisstations of satellieten. Voorbeelden hiervan zijn de systemen van MoveRTK en 06-GPS.

uitkomen op beperkingen op het gebied van dekking en capaciteit. De bedrijfsactiviteiten zijn wel sterker op het niveau van de stal en het erf geconcentreerd, waardoor problemen op het gebied van digitale connectiviteit gerichter opgelost kunnen worden. De melkveehouderij loopt op het gebied van digitalisering ten opzichte van de andere vormen van veeteelt en -houderij. Meer prominente issues spelen zich overigens af rondom integratie van de ketenpartners op het gebied van data over dierwelzijn en productkwaliteit, niet op het gebied van digitale connectiviteit. Merk hierbij op dat de internationaal opererende partijen binnen deze sector hun producten en diensten in grote mate afstemmen op de mondiale standaarden, ook wat betreft connectiviteit.

6.3.4 *Visserij*

Het belang van satellietverbindingen binnen deze sector is evident. Zowel de dataverbinding (typisch via satellietinternet) als de locatiebepaling moeten met een hoge mate van beschikbaarheid aanwezig zijn. De genoemde ontwikkelingen rondom duurzamere en efficiëntere vangst, al dan niet met inzet van autonome schepen, maken dat de afhankelijkheid van de verbindingen immers groter wordt. Aangezien hier een satellietverbinding de enige relevante oplossing is, plaatsen we eventuele knelpunten hieromtrent buiten de beschouwing van onze studie. De aanschaf van dergelijke apparatuur is namelijk primair een business case afweging van de visser. Daarbij is deze markt niet alleen beperkt tot de Nederlandse situatie, maar is het een internationale aangelegenheid. We hebben op dit moment geen aanwijzingen dat het aanbod via satelliet nu of in de periode tot 2025 een beperking is.

6.3.5 *Conclusie*

De mate waarin digitale connectiviteit op dit moment de beperkende factor binnen de verschillende domeinen verschilt. De relatie tot de algemene buitengebiedsdiscussie ligt echter het meest voor de hand: in delen van het buitengebied zijn de snelle publieke breedbandinfrastructuren op dit moment niet beschikbaar. Hoewel sommige ondernemers, met name in de (melk)veehouderij en (glas)tuinbouw, wellicht kapitaalkrchtig genoeg zijn om een individuele glasvezel, straal- of andersoortige hoogwaardige verbinding te laten realiseren, hebben een groot deel van de boeren nog steeds een trage DSL-verbinding.

Met de opkomst van de meer geavanceerde en data-intensieve vormen van (precisie)landbouw, rijst de vraag in hoeverre de huidige oplossingen voldoende soelaas bieden. Dit komt in de volgende sectie aan de orde, waarbij we met name ingaan op de vraag of het ontbreken van de hoogwaardige infrastructuren op dit moment de meest blokkerende factor zijn in het tot volledige wasdom laten komen binnen het moderne boerenbedrijf.

6.4 **Casus: Precisielandbouw in de akkerbouw**

De precisielandbouw is al lange tijd een ontwikkeling met grote beloften. De eerste toepassingen ontwikkelden zich de afgelopen tien jaar door de introductie van GPS-navigatie en rechtrijdtechnologie op landbouwmachines. Meer geavanceerde toepassingen zijn al enige tijd technisch mogelijk, maar pas sinds kort economisch interessant. Dit wordt mogelijk gemaakt door de dalende kosten van sensoren, autonome voertuigen, mobiele apparaten, dataverbindingen en computerkracht. Kortgezegd wordt steeds meer van de impliciete kennis van de boer expliciet gemaakt en overgenomen door digitale middelen. Het boerenbedrijf doorloopt daarbij de stappen in haar ontwikkelingspad naar automatisering¹⁷⁷:

¹⁷⁷ Bron: Dutch Digital Delta (2016) *Knowledge and Innovation Agenda ICT 2016 – 2019*. Sectie Smart Farming. Beschikbaar via: 4tu.nl

1. Gebruik van digitale middelen op bestaande landbouwmachines om nieuwe functies mogelijk te maken. Denk hierbij aan het rechtrijden op basis van GPS en GNSS.
2. Gebruik van bestaande databases en geaggregeerde informatie uit landbouwmachines om betere beslissingen te kunnen maken. Denk hierbij aan beslissingen omtrent bemesten, inzaaien en toedienen van bestrijdingsmiddelen.
3. "De boerderij als fabriek": Automatisering van werk door robots, autonomous vehicles en drones, nauwkeurige procescontrole op een steeds kleiner niveau. Dit vraagt om (re)combinatie van verschillende databronnen en -lagen.
4. Maximaal automatiseren: Integratie van databronnen, actuatoren en data van toeleveranciers en klanten om automatiseren een deel van de management taken. De boer heeft zijn handen vrij om het bedrijf te 'leiden'. Het is in toenemende mate mogelijk om zeer grote bedrijven te coördineren zonder veel mankracht.

Op dit moment bevindt circa 80% van de grofweg 10.000 Nederlandse akkerbouwers zich in de eerste stap van digitalisering, namelijk de toepassing van plaatsbepalingstechnologie op basis van GNSS. Hierbij moet men met name denken aan toepassen van technieken voor rechtrijden, waarbij de grootste winsten worden behaald in het verlengen van de effectieve beschikbare werktijden en het voorkomen van overlap in bezaaien en besproeien. Verdere verkleining van het zogenoemde dekkingsvlak van de data, maakt het mogelijk om verder optimalisatie van het zaai-, behandel- en oogstproces tot stand te brengen. De praktijk leert dat hier een efficiëntieslag van twintig tot dertig procent mee behaald kan worden ten opzicht van de oude productiemethoden. Het mes snijdt hierbij aan twee kanten: de boer hoeft minder producten in te kopen (minder kosten) en de opbrengst wordt groter (meer opbrengsten).

Deze ontwikkelingen zullen de komende tien jaar voor een groot aantal nieuwe toepassingen zorgen. Globaal zijn deze mogelijkheden in kaart gebracht in de volgende scenarioschets:

Tabel 12. Ontwikkeling van precisielandbouw

	0-5 jaar	5-10 jaar
Sensoren	Toename meetmogelijkheden landbouwmachines, inzet van Global Navigation Satellite System	Grootschalige toepassing vaste sensoren (IoT)
	Dataverzameling met vliegtuigen en drones om satellietbeelden aan te vullen	Inzet drones en zelfrijdende machines voor ziekte-opsporing, grondanalyse, grondopbrengst
	Beschikking over meer satellietmateriaal	Real-time satellietdata
	Uitgebreidere monitoring, met behulp van indentificatietools en cameratoezicht	
	Precisieweerberichten	
Actuatoren	Variable rate technologies, waarbij het uitrijden van grondstoffen en water varieert naar oppervlakte van een aantal vierkante meter	Variable rate technologies, waarbij het uitrijden van grondstoffen en water varieert per klein oppervlak/plant (uiteindelijk per plantorgaan) Inzet drones en zelfrijdende machines voor bemesting, wieden, bestrijdingsmiddelen, oogst

Dataverwerking	Gebruik van smartphones als monitoringplatform	Data-analyse op basis van zeer grote wereldwijd geaggregeerde datasets
	Schakelen van lokale naar online applicaties (cloud)	
Integratie	Beperkt	Complexe software die meerdere databronnen integreert

Hoewel er binnen de sector met name aandacht uitgaat naar de potentiële meeropbrengsten en besparingen die deze ontwikkelingen gezamenlijk opleveren (nog eens 20-30 procent optimalisatie bovenop de besparingen uit precisielandbouw 1.0), zijn we hier met name benieuwd naar de additionele vraag naar digitale connectiviteit.

6.4.1 Bandbreedte

Wanneer we kijken naar de verschillende applicaties binnen de precisielandbouw, dan kennen deze duidelijk verschillende gebruiksprofielen wat betreft bandbreedte. We presenteren de verschillende toepassingen in onderstaande tabel.

Tabel 13. Bandbreedtebehoefte per toepassing

Toepassing	Bandbreedtebehoefte
Sensoren in situ	Sensoren communiceren met kleine pakketjes data (ordergrootte 5 Kbit per plant per jaar). Per perceel komt dit momenteel neer op 200 MB per meting per perceel van 3 hectare. Waar we nu enkele metingen per week zien, komt er met de toekomstige ontwikkeling naar meer actuele data van 100 tot 200 duizend plantstengels per hectare een substantiële groei in dataconsumptie tot stand.
Sensoren remote	Door toenemende resolutie van satelliet- en dronebeelden en de inzet sensordata op kleiner vlakniveau, worden de gebruikte bestanden groter. We zien een ontwikkeling van een GIS-laag van enkele megabytes naar hoge resolutie beelden of grote databestanden van enkele gigabytes. Het is op dit moment nog de vraag in hoeverre de boer deze data zelf nodig heeft, of dat de analyse door centrale (cloud) partijen plaats zal vinden.
Actuatoren	De vraag naar bandbreedte komt hier met name voort uit het up to date houden van machinefirmware en managementsystemen. Deze bestanden hebben de orde grootte van enkele honderden megabytes, welke meermaals per jaar bijgewerkt moeten worden om de machines zo optimaal mogelijk te kunnen inzetten. Verder ontvangen de machines frequenter instructiebestanden van enkele megabytes ten behoeve van bemesten en gewasbescherming.
Dataverwerking	Hier zien we met name een groeiende generieke connectiviteitsvraag tussen ketenpartners, aangezien een groot deel van de dataverwerking door centrale cloudoplossingen zal plaatsvinden. Denk hierbij aan de oplossingen zoals deze nu door bijvoorbeeld Agrometius worden aangeboden. ¹⁷⁸
Integratie	De boer wil (steeds vaker via zijn smartphone of tablet) altijd en overal toegang hebben tot zijn data. Daarbij kunnen bijvoorbeeld sensordata en instructiebestanden gecombineerd worden met satellietbeelden. In geval van cloudoplossingen staat er weinig data meer lokaal, dus we zien hier met name een groeiende generieke vraag naar (mobiele) capaciteit.

¹⁷⁸ Bron: [\[agrometius.nl\]](http://agrometius.nl)

6.4.2 *Latency*

Binnen de agricultuursector zien we nu en de nabije toekomstige geen ontwikkeling van toepassingen waar een afwijkende of exceptioneel lage latency cruciaal is. Hiermee is de sectorale vraag dus niet anders dan de generieke ontwikkelingen. De enige toepassing voor de lange termijn zouden zelfrijdende machines kunnen betreffen, maar we verwachten – op basis van de gesprekken met de sector – geen grootschalige inzet binnen tien jaar.

6.4.3 *Dekking*

De verdergaande inzet van digitale middelen in het boerenbedrijf vraagt om een hoge dekking van hoogwaardige infrastructuur. De inzet van precisielandbouw zorgt voor verhoogde vraag naar hoogwaardige vaste en/of mobiele connectiviteit, onder andere ten behoeve van de managementsystemen en het up to date houden van machinefirmware. Hoewel de volledige geautomatiseerde boerderij op dit moment nog toekomstmuziek is, worden sommige boeren op dit moment al beperkt in hun basale communicatie met e-mail en eenvoudige bestandsuitwisseling. Dit aangezien internetdiensten via het DSL-netwerk van KPN aanzienlijk trager zijn door de afstand tot de wijkcentrale of VDSL-straatkast. Daarbij komt dat er aanvullend soms ook beperkingen zijn in het (4G) mobiele netwerk. Zo vraagt de inzet van sensoren in het veld om een goede dekking van de netwerken die het ontsluiten van deze sensoren mogelijk maakt. Dit is vandaag de dag al relevant, aangezien er bij de inzet van de huidige generatie sensoren (op basis van 2G of 3G) in de praktijk al gekeken moet worden welke mobiele aanbieder de beste dekking heeft. Voordat grootschalige inzet van sensoren en devices op basis LoRa, SigFox en Narrowband LTE tot stand kan komen, dienen deze netwerken eerst op grote schaal beschikbaar te komen. Verder willen boeren op elk moment en elke plek (dus ook in het veld) via hun smartphone of tablet toegang hebben tot hun cloudapplicaties en mobiele communicatiemiddelen, waardoor de dekking en capaciteit van de mobiele netwerken hier aan voldoen.

6.4.4 *Betrouwbaarheid*

Op het gebied van betrouwbaarheid zien we veel overeenkomsten met de generieke ontwikkelingen en de trends in de andere sectoren. ICT vormt een steeds centralere component voor de bedrijfsvoering. Wegvallen van de verbindingen leidt daardoor steeds sneller tot sterke afname in productiviteit. Het is op dit moment niet goed mogelijk om dit in termen van 99,99% procent beschikbaarheid te duiden. We neigen daarom meer naar de kwalitatieve benadering, welke we ook terugkrijgen van verschillende ketenpartijen uit de sector: de verbinding moet het in de perceptie van de ondernemer 'altijd' doen.

6.4.5 *Overige indicatoren*

Ketenintegratie

Digitalisering in de agrosector vergt meer dan alleen het installeren van digitale hulpmiddelen. Om tot effectieve inzet van de verschillende systemen en data te komen, dient de keten van onder andere de boeren, machinebouwers, softwareontwikkelaars, databeheerders, afnemers en telecomaانبieders aansluiting op elkaar te vinden. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de integratie van data van nieuwe leveranciers op de bestaande managementsystemen. Hiervoor zijn nog maar in beperkte mate de juiste standaarden ontwikkeld.

Data-eigenaarschap

Met de verdere integratie van de verschillende ketenpartijen, ontstaat de mogelijkheid om meer transparantie te creëren in het hele productieproces. Hiermee ontstaat direct de vraag wie het eigenaarschap van de data hieromtrent toe-eigent. Waar voorheen alleen de boer

zelf inzicht had in de hele keten van zaaien tot oogsten, kunnen nu ook toezichthouders en afnemers kennis nemen van bijvoorbeeld de hoeveelheid gebruikte meststoffen en bestrijdingsmiddelen. Dit kan voor de boer als remmende factor werken op zijn keuze op de meer geavanceerdere vormen van precisielandbouw toe te passen, aangezien deze mate van directe inzicht als ongewenst wordt ervaren. Daarbij kunnen de inkopende partijen bijvoorbeeld op basis van grootschalig inzicht in het productieproces speculeren op de voedselmarkt in geval van goede of juist slechte oogsten.

Lokale ICT-voorzieningen

De infrastructuur op de boerderij, erf en akkers zelf, zoals de computer, smartphone en het WiFi-netwerk (en wellicht het private LoRa-netwerk in de toekomst) vormt een aandachtspunt. De beschikbaarheid van deze ICT-componenten wordt van groter belang zodra de bedrijfsvoering nog sterker afhankelijk wordt van het goed functioneren hiervan. Dit vraagt om zowel investeringen in hoogwaardige producten en dienstverlening.

ICT-kennis en -vaardigheden

Binnen de sector ligt nog een grote opgave in de vergroting van de ICT-kennis en -vaardigheid. Er is daarbij sprake van een sterke mate van vergrijzing binnen de sector, waardoor er op korte termijn grote uitstroom van kennis en kunde wordt verwacht.¹⁷⁹ De nieuwe werkende beroepsbevolking is daarbij substantieel kleiner. De inzet van digitale middelen in de bedrijfsvoering kan een brug vormen in deze kennislacune. Door de relatief hogere leeftijd van de huidige beroepsbevolking heerst er op dit moment een behoudende cultuur binnen de sector. Hierdoor wordt de inzet van digitale middelen op dit moment nog niet voldoende op waarde geschat.

6.5 Knelpunten

Op basis van de huidige adoptie van precisielandbouwtechnieken (tachtig procent maakt gebruik technieken voor rechtrijden op basis van GNSS), voorzien we dat de akkerbouwers de komende tien jaar gradueel de stap naar meer geavanceerdere vormen van precisielandbouw zullen maken. Hierbij ligt de nadruk op de verdere integratie van de verschillende (data)ketenpartijen. We hebben daarbij vastgesteld dat op dit moment de voornaamste uitdagingen hierbij niet direct voortkomen uit beperkingen van digitale connectiviteit. Er is nog sprake van beperkte ketenintegratie en de kennis over de omgang met ICT is nog niet optimaal. Dit laatste beperkt op dit moment het effectieve gebruik van data.

Wanneer we de gepresenteerde (groeïende) vraag afzetten tegen de ontwikkelingen in het aanbod, dan voorzien we dat de knelpunten uit de volgende tabel zullen aanhouden of ontstaan. We vertrekken hierbij vanuit de sectorcasus en vullen die, waar mogelijk, aan met sectorbrede observaties. Deze uitkomst relateren we vervolgens aan ons conceptuele model waarin we de markt voor digitale connectiviteit beschrijven.

¹⁷⁹ De sector kende in 2014 al de hoogste gemiddelde leeftijd en generatie-index van alle sectoren, respectievelijk 45,6 en 1,91. Hieruit leiden we af dat de 50 tot 60 jarigen in de meerderheid zijn. Zie [\[statline.cbs.nl\]](http://statline.cbs.nl)

Tabel 14. Knelpunten in de markten voor digitale connectiviteit in de sector agricultuur (**bold** = knelpunt, *italic* = mogelijk knelpunt)

Indicator	Uitkomst	Knelpunt in markt	
		0-5 jaar	5-10 jaar
Bandbreedte	De vraag naar bandbreedte vanuit de precisielandbouw wijkt niet sterk af van de capaciteit die via generieke connectiviteit geleverd kan worden. Het knelpunt richt zich met name op de dekking van de verschillende netwerken, aangezien doorgaans alleen langzame DSL beschikbaar is in het buitengebied.	n.v.t.	n.v.t.
Latency	Er zijn geen aanwijzingen dat er op de bestudeerde termijn latencykritieke toepassingen worden ingezet binnen de sector. Daarmee sluit de sector dus aan op de generieke ontwikkelingen. Op de nog langere termijn kunnen zelfstuderende machines wel deze behoefte ontwikkelen, maar het is hoogst onzeker of deze ontwikkeling binnen tien jaar tot volledige wasdom komt.	n.v.t.	<i>Access</i>
Dekking	<p>Binnen de casus van de precisielandbouw, maar ook voor de sector in zijn geheel, is het de beperkte dekking van snelle infrastructuur (vast en mobiel) in het buitengebied de grootste en aanhoudende uitdaging.</p> <p>De beschikbare bandbreedte in het buitengebied is vaak niet afdoende. Op dit moment is de beschikbare bandbreedte via het vaste netwerk al beperkend voor het reguliere ICT-gebruik. Snellere verbindingen worden van groter belang, hoewel dataverwerking (uiteindelijk) in grote mate op centrale punten via cloudoplossingen aan de boer aangeboden zal worden. De vraag is dus niet anders dan de generieke trends. Merk hierbij op dat de functie wonen en werken in het geval van de agrosector doorgaans nog op hetzelfde perceel gesitueerd is. Het oplossen van de privé connectiviteitsproblemen (generiek) lost daardoor ook de zakelijke problemen (specifiek) op.</p> <p>Hoewel substitutie door mobiele oplossingen een oplossing kan zijn, zien we hier ook beperkingen in de gebruikerservaring. Ten eerste is de geïnstalleerde capaciteit van de mobiele netwerken in het buitengebied lager dan in en rond de kernen. Daarbij is er bij 4G-voor-thuis-proposities doorgaans sprake van een datacap.</p>	Access	Access
Betrouwbaarheid	De betrouwbaarheid van de verbinding wordt belangrijker naar mate ICT centraler komt te staan in de bedrijfsvoering. Wordt pas echt relevant bij de toepassing van zelfrijdende machines, wat nog in de vroege kinderschoenen staan.	n.v.t.	n.v.t.

Overig	De ICT-infrastructuur (devices, Wi-Fi, etc.) op de boerderij, het erf en de akkers is op dit moment doorgaans nog niet van het gewenst niveau.	Diensten	Diensten
	Er vindt beperkte ketenintegratie plaats tussen de gebruikers en aanbieders van digitale middelen ten behoeve van precisielandbouw. Zo ontstaan er discussies over data-eigenaarschap en zorgen over de rol en mogelijkheden van de toezichhouders.		

6.6 Verklarende factoren

Na vaststelling van de verschillende knelpunten ten aanzien van digitale connectiviteit staat de vraag centraal welke factoren de mismatch tussen vraag en aanbod kunnen verklaren. We plotten hiervoor de knelpunten op de markten voor digitale connectiviteit zoals we die in ons conceptuele model zie (paragraaf 2.2.3) hebben geordend.

6.6.1 *Beperkte dekking in het buitengebied*

Het meest pregnante knelpunt bij agricultuur is uiteraard de beperkte dekking van aansluitnetwerken, oftewel de markt voor access. De aanlegkosten van nieuwe infrastructuur in het buitengebied zijn substantieel hoger (een factor 2 tot 3 of hoger) dan in de kernen, waardoor de business case een stuk uitdagender is. Er zijn daarbij twee elementen die verklaren waarom er geen rendabele casus ontstaat, waarbij we wel duidelijk onderscheid zien tussen de verschillende aanbieders:

- Aan de aanbodzijde is sprake van een markt waarin beperkte prikkels voor uitrol in het buitengebied zijn.
 - KPN is de enige aanbieder van vaste netwerken in deze gebieden en ziet dat de kosten voor een opwaardering van hun netwerk zeer groot zijn. DSL in het buitengebied heeft weinig baat bij de opwaarderingen van de bestaande netwerken. Zo maakt G.Fast zeer hoge snelheden over het DSL-netwerk van KPN mogelijk, maar komt dit effect alleen ten goede aan de afnemers die zeer dicht bij de distributiepunten, straatkasten of wijkcentrales gesitueerd zijn. In sommige buitengebieden betekent het dat elk perceel zijn eigen verglaasde straatkast moet krijgen wil G.Fast nut hebben. Dit is uiteraard zeer kostbaar. Hierdoor worden alternatieve opties (draadloos of glasvezel) snel aantrekkelijker. Als KPN kiest voor een alternatieve optie, dan gaat haar nieuwe netwerk concurreren met haar oude netwerk. Vanuit dit vertrekpunt is er vanuit KPN als geheel een negatieve business case. Hier komt bij dat grote bedrijven vaak een uniforme propositie¹⁸⁰ op de consumentenmarkt willen hebben. Zowel in operations, marketing en sales is dat prettig. Indien KPN voor het buitengebied een andere propositie ontwikkeld met een hogere prijs, dan heeft dat negatieve impact op de voornoemde aspecten.
 - Ziggo richt primair zich op coaxnetwerken in de kernen. De kosten voor uitrol en exploitatie van deze netten in het buitengebied zijn zeer hoog. Maar indien ze deze uitrol doen, dan zullen ze hun markt moeten delen met KPN die in dit gebied al aanwezig is. De revenuen zijn daardoor beperkt. Daarbij gebruiken veel afnemers in dit gebied satelliet voor TV, waarvoor zijn

¹⁸⁰ We zien in Nederland aanbieders van diensten op de consumentenmarkt typische drie aanbiedingen hebben: Bovenkant van de markt ("goud"), midden van de markt ("zilver") en de onderkant van de markt ("brons").

investeringen in ontvangstapparatuur hebben gedaan en lopende contracten voor hebben. De gepercipieerde urgentie van overstappen zal hierdoor naar verwachting lager zijn voor de TV-diensten. Dit conflicteert met Ziggo's proposities op het consumentenmarkt waarin TV altijd is opgenomen. Ook voor Ziggo geldt het argument dat zij een beperkte differentiatie op de consumentenmarkt willen.

- Andere partijen hebben typisch geen vast netwerk in de kernen en een beperkte schaal. De kosten voor de realisatie en exploitatie van een geïsoleerd netwerk in het buitengebied zijn voor hen zeer hoog.
- Aanbieders van mobiel internet zien dat het overgrote merendeel van de vraag in de kernen ligt. Zij bouwen hun antennes dan ook vooral op deze locaties. In het buitengebied is de vraag lager en daardoor is de business case voor uitrol minder. Door de bank genomen is er vaak wel dekking in het buitengebied, maar is de snelheid hiervan laag en onvoorspelbaar. Verschillende mobiele aanbieders (KPN, T-Mobile) bieden 4G internet aan voor thuis, maar dit wordt in het buitengebied beperkt gebruikt. In de toekomst zal 5G worden uitgerold en hierdoor komen er hogere bandbreedtes ter beschikking. Het achterliggende probleem met de business case blijft echter bestaan: Waarom zouden aanbieders nu wel een uitstekend aanbod in het buitengebied gaan maken? Wij verwachten dat bij de uitrol van 5G het probleem niet volledig zal worden opgelost. Het aantal afnemers (en dus omzet) blijft immers beperkt, ondanks dat hun individuele vraag wel een sterk toenemend karakter heeft. Hierdoor zal de bandbreedte achter blijven lopen bij de bandbreedte in stedelijk gebied.
- Aan de vraagzijde spelen positieve externaliteiten een rol. De kosten voor de verbinding slaan alleen bij de afnemer neer, terwijl de revenuen bij een veel bredere scala aan stakeholders neerslaan. De aanwezigheid van goede netwerken zorgt ervoor dat verschillende (maatschappelijke) sectoren ook allerlei diensten aan de bewoners van het buitengebied kunnen bieden. In de agricultuur kunnen allerlei dienstenaanbieders (betere) diensten aanbieden en kan de publieke sector beter communiceren en monitoren. Maar in boerderijen wonen typisch ook gezinnen die gebruik kunnen maken van de verbindingen: Ouderen kunnen langer thuis wonen, leerlingen kunnen op afstand leren, artsen kunnen meer op afstand een consult doen, mensen kunnen beter thuiswerken, et cetera.

We zien de komende jaren verschillende partijen in het buitengebied op enige schaal tot uitrol komen:

- De uitrol van glasvezel door CIF. Dit komt voort uit de realisatie van het buitengebied in het COGAS-gebied. Deze kleine kabelaar verglaasde haar netwerk en nam daarna het buitengebied mee. Doordat zij de uitrol van netwerken beschouwen als een investering in infrastructuur hanteren zij een lager benodigd rendement. Daarnaast heeft CIF flinke kostenbesparingen bij de realisatie in het buitengebied gerealiseerd. Hierdoor kunnen zij in een flink aantal gebieden uitrollen. Vraag blijft echter of hun model in heel Nederland werkt. Ons beeld is dat er gebieden blijven bestaan waar de kosten voor realisatie te hoog zijn, zelfs indien er nog flinke innovaties in glasvezelrealisatie te verwachten zijn.
- De uitrol van glasvezel in het buitengebied door een reeks kleinere aanbieders en coöperaties van eindgebruikers. Zij kunnen in sommige gevallen efficiënt uitrollen omdat zij een zeer groot deel van de afnemers weten te overtuigen. De ervaring in de telecommunicatiesector is dat schaal een doorslaggevende factor is en het is de vraag in welke mate deze initiatieven kunnen opschalen.

- De uitrol van vast-draadloze netwerken door relatief kleine private partijen als Greenet en Skylinq. Deze aanbieders gebruiken WiFi of LTE technologie over de 3,5 of 5GHz band. Zij gebruiken buitenantennes om afnemers van snel internet te voorzien. Dit model werkt, omdat de kosten voor uitrol een fractie zijn van de uitrol van vaste netwerken. We zien dat de uitrol van deze netwerken op gang komt, met name in gebieden waarin de witte percelen sterk verspreid door het landschap liggen. Dit zien we met name op de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden, maar ook in de Flevo-polder.

Bovenstaande uitrol zal er voor zorgen dat de het aantal afnemers in het buitengebied zonder snel internet kleiner wordt. Maar door de stijgende vraag naar digitale connectiviteit wordt het probleem voor de resterende groep steeds groter. Met andere woorden: Van circa 5% van de percelen met een probleem, gaan we naar 2% van de percelen met een groot probleem.

6.6.2 *Vraag naar diensten wordt geremd*

De markt van digitale diensten (markt D) in de agrosector wordt geremd doordat het ecosysteem dat deze diensten moet ontwikkelen met een aantal uitdagingen kampt. De belangrijkste zijn:

- Er bestaat op dit moment nog verscheidenheid in IT-systemen en gebruikte standaarden. Dit vormt een belemmering voor intensieve ketensamenwerking.
- Er heerst verder een behoudende cultuur binnen de sector, welke met name wordt veroorzaakt door de hoge gemiddelde leeftijd van de beroepsbevolking. Hierdoor wordt de inzet van digitale middelen op dit moment nog niet voldoende op waarde geschat, waardoor investeringen in opwaardering van tekortschietende infrastructuur beperkt tot stand komen.
- Er is op dit moment huivering vanuit de afnemers om externe partijen volledig inzicht te geven in de directe bedrijfsvoering. Indien er sterk geïntegreerde dataketens ontstaan, krijgt bijvoorbeeld de overheid wellicht deze mogelijkheid om in te koppelen op deze systemen. Men vreest dat de overheid deze systemen wellicht zal misbruiken om de sector zwaarder te reguleren.
- Er zijn uitdagingen om de connectiviteit achter de voordeur (het LAN) goed op orde te krijgen. WiFi dekking rond de boerderij kan een uitdaging zijn, laat staan op de akkers.

7 Digitale connectiviteit in energie

In dit hoofdstuk gaan we nader in op de behoefte aan digitale connectiviteit in de energiesector. We beschouwen deze sector primair vanuit het perspectief van de leveranciers van elektriciteit en de beheerders van de elektriciteitstransportnetwerken. We vertalen hiervoor de brede sectortrends in de vraag naar digitale connectiviteit en bepalen vervolgens in welke mate het generieke aanbod hierin kan voorzien. Aansluitend behandelen we de geselecteerde casus, waarin we de meest uitdagende verwachte vraag naar connectiviteit nader beschouwen. Hieruit volgen de door ons vastgestelde knelpunten en de verklarende factoren achter deze knelpunten.

7.1 Sectortrends

De belangrijkste trend voor de energiesector is de continue strijd tegen de opwarming van de aarde. In 2015 hebben 195 landen in Parijs een historisch akkoord gesloten om de opwarming te beperken tot ruim onder de twee graden in 2100.¹⁸¹ Een aantal maanden eerder was Urgenda al door de rechter in het gelijk gesteld dat de Nederlandse Staat meer moet doen om de opwarming van de aarde tegen te gaan.¹⁸²

Om de opwarming van de aarde te beperken heeft Nederland in 2010 al met de andere landen van de Europese Unie afspraken gemaakt in het kader van het tienjarenplan Europa 2020. De voor de energiesector relevante afspraken zijn dat in 2020, (1) minimaal 20% minder broeikasgassen worden uitgestoten dan in 1990, (2) 20% van de energie uit duurzame energiebronnen komt en (3) 20% minder energie verbruikt wordt ten opzichte van 2005.¹⁸³ Inmiddels zijn deze doelen al weer bijgesteld en moet in 2030 40% minder broeikasgassen worden uitgestoten.¹⁸⁴

De doelstellingen zijn wel voor ieder land anders. Zo moet Nederland in 2020 een reductie van 16% in broeikasgassen realiseren. Dat doel is met een vermindering van 12% in 2015 in zicht.¹⁸⁵ Daarnaast hoeft maar 14% van de energie uit duurzame energiebronnen te komen. Voor Nederland is dat een behoorlijke opgave, want in 2015 kwam nog maar 5,8% van de energie uit duurzame bronnen.¹⁸⁶ Ondanks het feit dat tussen 2010 en 2014 de productie van elektriciteit uit zonnecellen is verdertienvoudigd, is dus nog een flinke weg te gaan.

De Rijksoverheid zet daarom in op duurzame energie. Het streven is om in 2020 voor 6.000 MW aan windturbines op land te hebben staan, een ruime verdubbeling van het aantal windturbines eind 2015 (2.950 MW). Daarnaast moet in 2023 voor 4.450 MW aan windturbines in zee staan, tegenover 357 MW in 2015. Voor wat betreft wind op zee heeft de overheid inmiddels de eerste twee kavels aanbesteed. Dong Energy gaat voor 700 MW aan windturbines bouwen voor de kust van Zeeland.¹⁸⁷

¹⁸¹ Bron: United Nations (2016) *The Paris Agreement*. [unfccc.int]

¹⁸² Bron: Urgenda (2016) *Klimaatzaak*. [urgenda.nl]

¹⁸³ Bron: Eurostat (2016) *Europe 2020 indicators – climate change and energy*. [ec.europa.eu]

¹⁸⁴ Bron: European Council (2016) *The 2030 climate and energy framework*. [consilium.europa.eu]

¹⁸⁵ Bron: CBS (2016) *Meer uitstoot broeikasgassen in 2015*. [cbs.nl]

¹⁸⁶ Bron: CBS (2016) *Verbruik hernieuwbare energie toegenomen naar 5,8 procent*. [cbs.nl]

¹⁸⁷ Bron: RVO (2016) *SDE+ Windenergie op Zee*. [rvo.nl]

Het toenemende belang van duurzame energie in de elektriciteitssector leidt tot een aantal veranderingen voor de beheerders van de elektriciteitsnetwerken. Zonne- en windenergie zijn allebei afhankelijk van het weer en daardoor minder voorspelbaar dan productie van elektriciteit uit traditionele energiedragers zoals kolen en gas. Daarnaast wordt elektriciteit steeds meer decentraal opgewekt.

7.2 Vraag naar digitale connectiviteit

De vraag naar digitale connectiviteit ontstaat deels vanuit de sectortrends, maar staat daar in sommige gevallen ook los van. In deze paragraaf worden twee verschillende toepassingen beschreven die een eigen vraag naar digitale connectiviteit genereren.

7.2.1 Smart grids

Stedin noemt *smart grids* een verzamelnaam voor allerlei technologische toepassingen die energieproblemen oplossen. Het wordt gezien als de oplossing voor de (mogelijke) problemen die ontstaan door het verduurzamen van de energie- en elektriciteitsvoorziening.

Voorbeelden van smart grid toepassingen zijn software voor energieopslag, een zelfherstellend elektriciteitsnetwerk¹⁸⁸ of een systeem voor vraagsturing¹⁸⁹. Een voorbeeld van de laatste toepassing is PowerMatcher, een toepassing die fungeert als besturingssysteem voor gebouwen. Het systeem ontvangt signalen over het actuele aanbod van en de actuele vraag naar energie, en stemt deze op elkaar af.¹⁹⁰ Om een systeem als PowerMatcher optimaal te laten functioneren is het hebben van een goede ICT-infrastructuur noodzakelijk. Dit omdat de data *real-time* moet worden doorgegeven. In Tabel 15 is weergegeven hoe de smart grid toepassingen zich verhouden tot de verschillende spanningsniveaus. Vraagsturing is daarbij een interessante toepassing omdat dat op alle spanningsniveaus kan worden ingezet.

Tabel 15 Smart grid toepassingen op de verschillende spanningsniveaus

Type	Spanningsniveau	Aangesloten vermogens	Smart grid toepassingen
Hoogspanningsnet	50 kV, 110 kV of 150 kV	35 tot 500 MVA	Vraagsturing
Middenspanningsnet	10 kV	0,2 MVA tot 35 MVA	Zelfherstellend net, vraagsturing
Laagspanningsnet	230 – 400 kV	Maximaal 200 MVA	Slimme meter, vraagsturing, energieopslag

Bovenstaande toepassingen richten zich meer op het faciliteren van de markt. Daarnaast zijn er ook nog toepassingen die gericht zijn op de primaire taak van de netbeheerder; het

¹⁸⁸ Een zelfherstellend net kan met behulp van speciale soft- en hardware bij een storing precies bepalen waar een kabel of trafostation defect is. Vervolgens wordt het defecte gedeelte geïsoleerd van het netwerk en worden de nog goed werkende delen van het netwerk automatisch weer ingeschakeld. De percelen die binnen het verzorgingsgebied van het defecte onderdeel vallen hebben geen stroom meer (hiervoor moet een monteur langskomen), maar de rest weer wel.

¹⁸⁹ Vraagsturing houdt in dat de vraag naar elektriciteit wordt aangepast aan het aanbod van elektriciteit. Een simpel voorbeeld is het aanpassen van het laadvermogen van elektrische auto's aan het aanbod van wind- en zonne-energie.

¹⁹⁰ Bron: Stedin (2016) *Couperus*. [\[stedin.net\]](http://stedin.net)

zo goed mogelijk distribueren van de elektriciteit. Voorbeelden hiervan zijn de gedigitaliseerde onderstations en de intelligente sturing en distributie.¹⁹¹

De vraag naar digitale connectiviteit uit zich vooral in het feit dat er een substantieel aantal aansluitpunten zijn. Nederland telt alleen al ca. 7,8 miljoen huishoudens, die allemaal voorzien kunnen worden van een slimme meter. De kwaliteitseisen die worden gesteld aan deze verbindingen variëren per toepassing. Uit de literatuur komt naar voren dat de bandbreedte in de meeste gevallen beperkt is en hooguit tientallen kbit/s bedraagt.¹⁹² Over de latency en betrouwbaarheid is minder eenduidigheid, het varieert per toepassing en is ook afhankelijk van de integratie in de bedrijfsprocessen. Als een smart grid toepassing een kritisch onderdeel wordt van het bedrijfsproces van een netbeheerder zal een hoge betrouwbaarheid noodzakelijk zijn. De eisen aan connectiviteit die aan een toepassing worden gesteld kunnen dus veranderen in de toekomst.

7.2.2 *Big data in de energiesector*

In de energiesector wordt ook steeds meer gebruik gemaakt van *big data*. Alle bedrijven in de olie- en gasector verzamelen enorme hoeveelheden data maar gebruiken nog niet alle mogelijkheden die deze data biedt. Met behulp van big data kunnen bedrijven bijvoorbeeld beter inzicht krijgen in de onderhoudskosten van verschillende apparaten om zo degene te kiezen met de laagste Total Cost of Ownership.¹⁹³

Voor windturbines wordt digitalisering en big data eveneens een steeds belangrijker thema. *General Electric (GE)* heeft bijvoorbeeld al zijn windturbines (in totaal 30.000) voorzien van een dataverbinding zodat ze op afstand gemonitord kunnen worden. Daarvoor heeft GE van elke windturbine een digitale kopie gemaakt, die laat zien hoeveel elektriciteit de turbine zou moeten produceren onder de huidige condities. Indien dit afwijkt van de daadwerkelijke productie worden algoritmes gebruikt om de problemen op te lossen.¹⁹⁴

Ook de smart grid toepassingen uit de vorige paragraaf kunnen als big data worden gezien. De smart grid toepassingen kunnen nu de gewenste data voor specifieke toepassingen opleveren (zoals informatie over de actuele vraag en aanbod van een huishouden). Met die data zou echter nog veel meer gedaan kunnen worden in de vorm van nieuwe toepassingen. Een voorbeeld hiervan is met big data voorspellen wanneer een slimme meter kapot gaat, zodat beter onderhoud uitgevoerd kan worden.

De vraag naar digitale connectiviteit die dit oplevert is lastig in te schatten. Voor de bandbreedte is het vooral bepalend hoeveel sensoren data doorgeven en op welke manier ze dit doen. Een trein bevat bijvoorbeeld al 300 sensoren die informatie door kunnen geven.¹⁹⁵ De latency hoeft geen (milli)seconden te bedragen omdat het vooral om optimalisatie van productie en bedrijfsprocessen, zoals onderhoud, gaat. De betrouwbaarheid kan wel een belangrijke component worden, als die dat al niet is. Als bedrijven hun bedrijfsprocessen

¹⁹¹ Bron: Netbeheer Nederland (2013) *Position paper Datacommunicatie*.

¹⁹² Bron: Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., Rahman, S. (2014) Communication Network Requirements for Major Smart Grid applications in HAN, NAN and WAN. *Computer Networks*, 67.

¹⁹³ Bron: Chidambaram, V., Evans, H. & Etheredge, K. (2015) *Big Data: Is the Energy Industry Starting to See Real Applications*.

¹⁹⁴ Bron: NRC (2016) *Dag en nacht een oog op de turbines*.

¹⁹⁵ Bron: Teradata (2015) *The Internet of Trains*.

inrichten op de data die zij ontvangen is het van belang dat de verbinding ook (bijna) te allen tijde werkt. In dit geval is een betrouwbaarheid van 99,99% gewenst.

7.3 Match met generiek aanbod

In dit hoofdstuk wordt de vraag naar digitale connectiviteit tegen het (generieke) aanbod aangehouden om te bepalen of sprake is van een mismatch is tussen de vraag en het aanbod.

7.3.1 Smart grids

Voor de smart grids wordt op dit moment gebruik gemaakt van een grote diversiteit aan connectiviteitsdiensten. Zo hebben Stedin en Alliander voor de slimme meter een apart bedrijf opgericht, Utility Connect, om de connectiviteit te verzorgen. Utility Connect heeft hiervoor een eigen CDMA-450 netwerk ingericht.¹⁹⁶ Enexis daarentegen opereert als een *private virtual network operator* (pvno) op het netwerk van een van de Nederlandse mobiele operators.

Uit het onderzoek kwam naar voren dat de slimme meter een hoop discussie oplevert. Een belangrijk aspect daarbij is dat de slimme meter een lange levensduur heeft, die langer is dan de gebruikte mobiele technologie. Het kan dan voorkomen dat de slimme meter alleen vervangen moet worden omdat de communicatiemodule niet meer functioneert.¹⁹⁷ Voor de netbeheerders kan dit leiden tot substantiële vervangingskosten.

Daarnaast spelen nog een aantal andere strategische overwegingen een rol voor de netbeheerders, één daarvan is *lock-in*. Een netbeheerder dient bij het kiezen van de technologie ook te kijken of er makkelijk kan worden overgestapt. Als dat niet kan, kan een aanbieder ervoor kiezen om in eerste aanleg een lage prijs te hanteren (om de netbeheerder te verleiden) en die te verhogen zodra het abonnement verlengd moet worden. Aangezien de netbeheerder niet makkelijk kan overstappen, moet hij vervolgens het hogere tarief wel betalen. Een netbeheerder zal dus eerder kiezen voor een duurdere technologie die gestandaardiseerd en open is dan een *proprietary* technologie.

Een ander issue is dat de functionaliteiten van de toepassingen in de komende jaren zullen gaan veranderen. Op dit moment wordt vraagsturing op basis van elektriciteitsprijzen alleen toegepast in proefprojecten.¹⁹⁸ Daarbij wordt gebruik gemaakt van de huidige technologieën, maar bij veranderende eisen (bijv. lagere latency) kunnen deze technologieën niet meer toereikend zijn. Bovendien is het ook nog niet gelukt om alle huishoudens te voorzien van de benodigde (digitale) connectiviteit. Daarbij is het van belang om te bepalen of dat ook daadwerkelijk nodig is om de (eventuele) problemen op te vangen die ontstaan door de verduurzaming van de energiesector.

7.3.2 Big data in de energiesector

Voor big data in de energiesector is al een aanbod beschikbaar. GE heeft bijvoorbeeld al zijn windturbines al aangesloten op een dataverbinding. Het is ook in het belang van een partij

¹⁹⁶ Een deel van de apparatuur werkt daarnaast op GPRS.

¹⁹⁷ Een andere dimensie is dat de technologie gedurende zijn levensduur niet hetzelfde serviceniveau kent. Een operator kan bijvoorbeeld te maken hebben met kapotte apparatuur waarvan een vervangend exemplaar niet meer beschikbaar is, of apparatuur die verminderd presteert maar waarbij het niet meer rendabel is om de apparatuur te vervangen.

¹⁹⁸ Zie voor meer informatie: [\[jouwenergiemoment.nl\]](http://jouwenergiemoment.nl)

als GE dat een dataverbinding beschikbaar is. Met de exploitant is vastgesteld welke prijs per megawatt (MW) betaald moet worden. Als de windturbine daar niet aan voldoet dreigen boetes.¹⁹⁹ Voor de olie- en gasindustrie kan een beter inzicht in de bedrijfsprocessen ook geld besparen.

In veel gevallen beschikken de fabrikanten en producten dus al over een dataverbinding of kunnen ze die snel realiseren. Het is vooral in hun eigen belang omdat zij geld kunnen besparen. Binnen deze toepassing lijkt dus geen mismatch te zijn tussen de vraag en het aanbod.

7.3.3 Conclusie

Uit voorgaande match is gebleken dat connectiviteit voor smart grids beschikbaar is vanuit de markt. Het realiseren van deze connectiviteit is wel een complexe situatie geweest door onder andere het verschil in levensduur tussen smart grids en mobiele technologieën en de mogelijke *lock-in* bij een bepaalde aanbieder of een *proprietary* technologie. Tijdens het onderzoek kwam naar voren dat deze discussie nog altijd speelt in de sector.

Daarnaast zijn ervoor wat betreft de digitale connectiviteit nog altijd een aantal onduidelijkheden, door de veranderende eisen aan de smart grids en de hoge verwachtingen met betrekking tot verduurzaming van energiesector. Voor big data toepassingen is vastgesteld dat in de meeste gevallen al een verbinding beschikbaar is, of dat deze gemakkelijk gerealiseerd kan worden. Een goede dataverbinding is vooral in het belang van producenten en fabrikanten omdat zij geld kunnen besparen

De belangrijkste mismatch lijkt bij de smart grids te zijn, mede gezien de discussie over de levensduur van de technologieën, lock-in en de veranderende eisen aan (nieuwe) toepassingen. In de komende paragraaf wordt daarom dieper ingegaan op de vraag naar digitale connectiviteit van smart grids.

7.4 Casus: Smart grids

Bij het analyseren van de vraag naar digitale connectiviteit van smart grids leggen we de focus op de regionale netbeheerders van elektriciteit. Zij beschikken namelijk over een groot aantal punten waar behoefte is aan digitale connectiviteit. Deze punten zijn onder meer de elektriciteitsmeters van de afnemers. De behoefte aan digitale connectiviteit van de gassector wordt niet expliciet benoemd. De slimme gasmeter wordt namelijk via de slimme elektrameter uitgelezen.

Voor wat betreft de toepassingen wordt gekeken naar onder andere de slimme meter, vraagsturing en monitoring van het elektriciteitsnetwerk. Bij vraagsturing gaat het om het aanpassen van de vraag naar elektriciteit op basis van elektriciteitsstarieven.

7.4.1 Bandbreedte

De bandbreedte van smart grid toepassingen zal geen bottleneck zijn in de vraag naar digitale connectiviteit. Een voorbeeld daarvan is de slimme meter die een bericht met informatie over het verbruik naar de netbeheerder stuurt. In de literatuur wordt aangegeven dat de grootte van dergelijke berichten tussen de 100 en 2.400 bytes zal zijn, afhankelijk van de

¹⁹⁹ Bron: NRC (2016) *Dag en nacht een oog op de turbines*.

hoeveelheid informatie die wordt doorgestuurd.²⁰⁰ Dit zou zich in termen van bandbreedte vertalen naar 1 tot 30 kbit/s.²⁰¹ Zelfs in het geval dat de grootte van de berichten met een factor tien tot twintig groeit, blijft de bandbreedte beperkt.

Bij de andere toepassingen zoals vraagsturing en monitoring van het elektriciteitsnetwerk zal de bandbreedte eveneens beperkt zijn. Zo heeft bijvoorbeeld NXP een slimme koelkast ontwikkeld die voor de communicatie berichten verstuurd die enkele tientallen bytes groot zijn.²⁰² Voor het monitoren van het elektriciteitsnetwerk wordt uitgegaan van dezelfde orde-grootte bij het versturen van de berichten.²⁰³

7.4.2 Latency

De latency van smart grid toepassingen is sterk afhankelijk van de gekozen applicatie en het gewenste niveau waarop deze applicatie opereert. Voor een slimme meter die één keer per dag de meterstanden doorstuurt is een latency van vijftien seconden al voldoende.²⁰⁴ Gaat het echter om een slimme meter die *real-time* data van elektriciteitsstarieven doorgeeft aan de netbeheerder om vraagsturing toe te passen bij bijvoorbeeld het laden van een elektrische auto, is een beduidend lagere latency gewenst. De gewenste latency is echter niet zo laag als bij de monitoring van het elektriciteitsnetwerk.

Bij de monitoring van het elektriciteitsnetwerk is de gewenste latency afhankelijk van de gekozen toepassing. Op het hoogspanningsniveau is voor de differentieelmetingen een latency van maximaal enkele milliseconden toegestaan.²⁰⁵ Daarom zijn alle hoogspanningsstations inmiddels ook voorzien van glasvezel. Voor het monitoren van storingen in een trafostation is de latency juist weer minder belangrijk, omdat storingen bij huishoudens nu veelal handmatig worden doorgegeven.

7.4.3 Dekking

De benodigde netwerkdekking van dataverbindingen voor smart grids is lastig te bepalen. Bij de slimme meter speelt bijvoorbeeld mee dat netbeheerders het mobiele netwerk zodanig dimensioneren dat ca. 95% tot 99% van de huishoudens en bedrijven gebruik kan maken van de slimme meter.²⁰⁶ Daar bovenop komt de complexiteit dat huishoudens en bedrijven mogen weigeren om hun intelligente meter te voorzien van een communicatiemodule. De regionale netbeheerders zal daardoor zeer waarschijnlijk geen volledige dekking bereiken met de slimme meter. Het is echter de vraag of een volledige dekking noodzakelijk is, omdat

²⁰⁰ Bron: Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., Rahman, S. (2014) Communication Network Requirements for Major Smart Grid applications in HAN, NAN and WAN. *Computer Networks*, 67.

²⁰¹ Bron: In deze situatie wordt ervan uitgegaan dat het versturen van de data in één seconde gebeurt. Als er een minuut wordt genomen voor het versturen van de data is de bandbreedte circa 0,02 tot 0,5 kbit/s.

²⁰² Bron: Pennings, M.C. (2011) Een slimme koelkast voor slimme netten. *TVVL Magazine*, 4(4), pp. 42-45.

²⁰³ Bron: Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., Rahman, S. (2014) Communication Network Requirements for Major Smart Grid applications in HAN, NAN and WAN. *Computer Networks*, 67.

²⁰⁴ Bron: Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., Rahman, S. (2014) Communication Network Requirements for Major Smart Grid applications in HAN, NAN and WAN. *Computer Networks*, 67.

²⁰⁵ Het gaat hierbij expliciet om de maximale latency en niet de gemiddelde latency.

²⁰⁶ Hetzij via een eigen netwerk (Stedin en Alliander) of via het netwerk van een mobiele operator (Enexis).

netbeheerders op basis van de gebruikers die wel een slimme meter hebben al tot nieuwe inzichten in het elektriciteitsverbruik kunnen komen.

Voor vraagsturing is het verhaal nog anders ingestoken. Daar is dekking namelijk niet afhankelijk van het aantal huishoudens en bedrijven dat gebruik kan maken van vraagsturing maar vooral van de grootte van de vraagsturing die zij in brengen. Als bijvoorbeeld in een bepaald gebied 1.000 huishoudens zitten die samen 1.000 kW inbrengen voor vraagsturing, maar ook een bedrijf dat in zijn eentje 10.000 kW inbrengt voor vraagsturing, dan is het van groter belang dat het bedrijf wordt voorzien van een dataverbinding dan de huishoudens.

7.4.4 *Betrouwbaarheid*

Betrouwbaarheid kent meerdere dimensies binnen de energiesector. Naast de betrouwbaarheid van de dataverbinding, is er bijvoorbeeld ook nog de betrouwbaarheid van de data zelf of de betrouwbaarheid van de voorspellingen. In deze paragraaf wordt het eerste type betrouwbaarheid behandeld, in de volgende paragraaf wordt dieper ingegaan op de andere twee typen.

De gewenste betrouwbaarheid van de dataverbinding is afhankelijk van de mate van toepassing van smart grid oplossingen in bedrijfsprocessen van de netbeheerder. Wanneer bedrijfsprocessen afhankelijk zijn van informatie verkregen van slimme meters, heeft het wegvallen van de dataverbinding een grote impact op de bedrijfsvoering. Vraagsturing op basis van de prijs bijvoorbeeld, wordt momenteel nog nauwelijks gebruikt – afgezien van enkele pilots die binnenkort van start zullen gaan.²⁰⁷ Voor de pilot hoeft noodzakelijkerwijs nog geen zeer betrouwbare (bijv. uptime van 99,99%) verbinding aanwezig te zijn, maar als het concept in heel Nederland wordt uitgerold is dat wel gewenst. Hetzelfde principe geldt ook bij de andere smart grid toepassingen.

Indien smart grid toepassingen invloed hebben op de kritische bedrijfsprocessen (het wel of niet leveren van energie) is betrouwbaarheid cruciaal. Daarbij ontstaat het issue dat de dataverbinding en elektriciteitslevering wederzijds afhankelijk zijn: zonder data geen stroom en vice versa. Mocht een black-out ontstaan in het elektriciteitsnetwerk dan wordt het opnieuw opstarten nog complexer. Een andere variant is overbelasting van het commerciële mobiele netwerk (bijvoorbeeld. Koningsdag of Oud en Nieuw) waardoor je smart grid toepassingen niet meer optimaal functioneren. Het verklaart deels waarom netbeheerders kiezen voor specifieke oplossingen (CDMA-450) en niet voor een generieke oplossing.

7.4.5 *Overige indicatoren*

Voor de energiesector zijn naast de vier standaardindicatoren ook nog een aantal andere indicatoren relevant. In deze paragraaf kijken we specifiek nog naar de brede betrouwbaarheid, levensduur en privacy en cybersecurity.

Brede betrouwbaarheid

Zoals aangegeven bij de betrouwbaarheid beperkt deze zich niet alleen tot de dataverbinding maar ook tot de data zelf en de voorspelling. Het eerste aspect houdt in dat netbeheerders zeker moeten zijn dat de data die zij ontvangen ook daadwerkelijk door de gebruiker is verstuurd. Daarnaast is het voor vraagsturing ook relevant dat de voorspellingen die worden gedaan betrouwbaar zijn. Als een netbeheerder bijvoorbeeld een lage productie vanuit

²⁰⁷ Zie voor meer informatie: [\[jouwenergiemoment.nl\]](http://jouwenergiemoment.nl)

zonne- en/of windenergie voorspelt en het blijkt het tegendeel te zijn, dan kunnen ernstige problemen ontstaan in het elektriciteitsnetwerk.

Levensduur van de technologieën

Een ander belangrijk aspect bij de *smart grids* is de levensduur van de verschillende technologieën. Een slimme meter die nu wordt uitgerold moet minstens vijftien jaar mee kunnen gaan, maar dat hoeft niet noodzakelijkerwijs te gelden voor de mobiele technologieën. Als een mobiele operator bijvoorbeeld besluit om een mobiele technologie niet langer te ondersteunen, kan dat leiden tot problemen voor de netbeheerder. De netbeheerder moet dan namelijk de communicatiemodules in de slimme meter gaan vervangen. Een andere dimensie is dat de technologie gedurende zijn levensduur niet hetzelfde serviceniveau kent. Een operator kan bijvoorbeeld te maken hebben met kapotte apparatuur waarvan een vervangend exemplaar niet meer beschikbaar is, of apparatuur die verminderd presteert maar waarbij het niet meer rendabel is om de apparatuur te vervangen.

Deze discussie speelt onder andere bij de slimme meters die werken via GPRS. Een van de Nederlandse operators heeft aangegeven GPRS in 2025 uit te faseren, terwijl een andere operator daar nog niet duidelijk over is geweest.

Privacy en cybersecurity

Een derde indicator, die raakt aan de brede betrouwbaarheid is privacy en cybersecurity. Bij de uitrol van de slimme meter is veel discussie geweest over de privacy van de gebruikers. Het heeft ertoe geleid dat gebruikers een slimme meter mogen weigeren. Dit betekent dat zij een meter krijgen die wel de slimme functionaliteiten heeft maar geen communicatiemodule. Het is daarnaast ook van belang dat de systemen goed worden beveiligd zodat een derde partij niet zomaar inzage kan krijgen in de gegevens, of zelfs het systeem kan manipuleren. Met de digitalisering van de het elektriciteitsnetwerk wordt dit laatste aspect steeds belangrijker.

7.5 Knelpunten

In is de vraag naar digitale connectiviteit voor de smart grids samengevat. Daarbij is per indicator aangegeven waar zich knelpunten bevinden. We vertrekken hierbij vanuit de sectorcasus en vullen die, waar mogelijk, aan met sectorbrede observaties.

Tabel 16 Knelpunten in de markten voor digitale connectiviteit in de sector energie (**bold** = knelpunt, *italic* = mogelijk knelpunt)

Indicator	Uitkomst	Knelpunt in markt	
		0-5 jaar	5-10 jaar
Bandbreedte	De gevraagde bandbreedte lijkt beperkt te zijn, zowel bij de slimme meters als de vraagsturing gaat het om tientallen kilobits per seconde.	n.v.t.	n.v.t.
Latency	Voor een deel van de toepassingen is een lage latency niet noodzakelijk (bijv. de slimme meter), maar voor andere, zoals de differentieelmetingen in het hoogspanningsnetwerk, juist wel. In de toekomst kan de latency voor meer toepassingen relevant worden, als bijvoorbeeld vraagsturing op basis van <i>real-time</i> prijzen wordt gedaan. Ook hier verwachten we overigens dat de behoefte (ook op	n.v.t.	n.v.t.

	termijn) aansluit bij de generieke latencyvereisten.		
Dekking	Netbeheerders dimensioneren hun netwerk voor de slimme meter zodanig dat ca. 95% tot 99% van de afnemers bediend kan worden. Dit is primair een kostenoverweging. Daarnaast mogen gebruikers een slimme meter ook weigeren, waardoor er altijd een alternatieve manier van doorgeven beschikbaar moet blijven. We constateren dan ook geen knelpunten op het gebied van dekking.	n.v.t.	n.v.t.
Betrouwbaarheid	De gewenste betrouwbaarheid hangt af van de toepassing en de mate waarin hij als bedrijf kritisch wordt gezien. Een deel van de toepassingen zal nu nog geen onderdeel zijn van het primaire proces van de netbeheerder, maar mogelijk in de toekomst wel. In de toekomst kan de betrouwbaarheid daardoor steeds belangrijker worden.	n.v.t.	n.v.t.
Overig	<p>Bij de betrouwbaarheid is niet alleen de dataverbinding relevant maar ook de data zelf (is de data die wordt aangeleverd ook van een gebruiker?) en de voorspellingen (hoeveel elektriciteit komt uit mijn windturbines?).</p> <p>De levensduur van de elektrische apparatuur (bijv. slimme meter) komt niet altijd overeen met die van de communicatietechnologieën (bijv. 2G kaart in de slimme meter).</p> <p>Privacy en cybersecurity zijn ook van belang bij de uitrol van smart grid toepassingen.</p>	Diensten	Diensten

7.6 Verklarende factoren

Na vaststelling van de verschillende knelpunten ten aanzien van digitale connectiviteit staat de vraag centraal welke factoren de mismatch tussen vraag en aanbod bij de casus kunnen verklaren.

Telecommunicatie is een zeer dynamische markt waar netwerken een beperkte levensduur hebben. Doordat de vraag exponentieel groeit en er talloze nieuwe diensten ontwikkeld worden is de telecommunicatiesector gedwongen om te blijven innoveren. De grootschalige adoptie van smartphones is bijvoorbeeld pas iets van de laatste 5 jaar: In 2012 had minder dan de helft van de huishoudens een smart phone.²⁰⁸ De energiemarkt is heel anders van aard. Hier worden netwerken ontworpen die generaties moeten meegaan. Veel van de apparatuur in deze netwerken is decennia oud. De vraag naar energie bij huishoudens is al 25 jaar stabiel.²⁰⁹ Bij digitale connectiviteit is deze vraag met minimaal een factor 1000 toegenomen.

De geschetste problematiek binnen de casus is van een andere aard dan we binnen de andere sectoren hebben vastgesteld: Het is niet het geval dat de netwerken niet aan de technische vraag kunnen voldoen. Het probleem is ligt vooral op een conflict met betrekking tot de

²⁰⁸ Bron: [\[statline.cbs.nl\]](https://www.statline.cbs.nl)

²⁰⁹ Bron: [\[clo.nl\]](https://www.clo.nl)

tijdshorizon. Met betrekking tot de slimme meters ging het concreet over de ondersteuning van het 2G-netwerk. De mobiele operators willen deze technologie namelijk uitfasen en vervangen door bijvoorbeeld 4G. Echter, vanuit het perspectief van de regionale netbeheerder bezien, hoeven de meters nog lang niet vervangen te worden. Een vervangingsoperatie zou zeer kostbaar zijn.

8 Digitale connectiviteit in mobiliteit

In dit hoofdstuk gaan we nader in op de behoefte aan digitale connectiviteit in de mobiliteitssector. We richten ons hierbij in eerste instantie op de deeldomeinen wegverkeer, spoorvervoer en luchtvaart. We vertalen brede sectortrends in vraag naar digitale connectiviteit en bepalen vervolgens in welke mate het generieke aanbod hierin kan voorzien. Aansluitend behandelen we de geselecteerde casus, waarin we de meest uitdagende verwachte vraag naar connectiviteit nader beschouwen. Hieruit volgen de door ons vastgestelde knelpunten en de verklarende factoren die hieraan ten grondslag liggen.

8.1 Sectortrends

8.1.1 Wegverkeer

Binnen het wegverkeer zijn meerdere trends waar te nemen. Zo is er de focus op het milieuvriendelijker en zuiniger maken van motorvoertuigen. Vanuit de overheid worden daarvoor verschillende maatregelen ingezet zoals subsidies voor de ontwikkeling van hybride en elektrische auto's, het stimuleren van alternatieve brandstoffen voor vervoer en een lage belasting van personenauto's en motorrijwielen (bpm) voor zuinige, hybride en elektrische auto's.²¹⁰

Daarnaast wordt ook veel verwacht van de zelfrijdende auto. Dat is ook terug te zien aan de partijen die zich met de zelfrijdende auto bezighouden. Het zijn niet alleen autofabrikanten maar ook technologiebedrijven zoals Google en Apple. Google verwacht dat in 2020 de eerste consumentenmodellen van zelfrijdende auto's de weg opgaan.²¹¹ In de tussentijd is het bij een aantal auto's al mogelijk om een deel van de functionaliteit uit handen te geven. Tesla heeft bijvoorbeeld eind 2015 de Autopilot-functionaliteit uitgebracht voor de Model S. Onderdeel van de Autopilot is de Autosteer-functie waarmee de auto automatisch in zijn huidige rijbaan blijft en ook de goede afstand houdt met zijn voorganger.²¹² Dit is nog niet vergelijkbaar met een zelfrijdende auto, maar Tesla is inmiddels wel bezig om alle nieuwe auto's uit te rusten met hardware die dit mogelijk moet maken.²¹³

Een trend die samenhangt met de zelfrijdende auto, zijn de Intelligente Transportsystemen (ITS). ITS is een verzamelnaam voor moderne informatie- en communicatietechnologieën in het wegverkeer, die zowel langs de kant van de weg staan als in het voertuig zitten.²¹⁴ Een voorbeeld van een ITS-toepassing is het doorgeven van een stoplicht aan een auto welke snelheid moet worden aangehouden, zodat de automobilist door groen rijdt, het voorkomen

²¹⁰ Bron: Rijksoverheid (2016) *Overheid stimuleert milieuvriendelijker rijden*. [\[rijksoverheid.nl\]](http://rijksoverheid.nl)

²¹¹ Bron: Nu.nl (2014) *Wat we in 2020 van zelfrijdende auto's mogen verwachten*. Te raadplegen via [\[nu.nl\]](http://nu.nl)

²¹² Bron: Tweakers (2015) *Tesla brengt Autopilot-functionaliteit uit voor Model S*. [\[tweakers.net\]](http://tweakers.net)

²¹³ Bron: Tweakers (2016) *Alles Tesla-auto's in productie krijgen hardware voor volledig autonoom rijden*. [\[tweakers.net\]](http://tweakers.net)

²¹⁴ Bron: SWOV (2010) *SWOV-Factsheet. Intelligente Transportsystemen (ITS) en verkeersveiligheid*. [\[swov.nl\]](http://swov.nl)

van botsingen of truck platooning.²¹⁵ In de literatuur wordt ook wel gesproken over *connected* voertuigen. Het toekomstbeeld is dat de zelfrijdende auto ook *connected* wordt en daardoor zonder tussenkomst van de bestuurder de snelheid van de auto kan aanpassen aan de hand van informatie van het overige wegverkeer en/of de wegwijkant.

8.1.2 Spoorvervoer

In het spoorvervoer is de belangrijkste trend dat het aantal treinreizigers blijft toenemen. De Rijksoverheid is daarom voornemens om meer treinen in te zetten.²¹⁶ De maatregelen die het daarvoor wil nemen zijn uiteengezet in het *Programma Hoogfrequent Spoorvervoer* (PHS).²¹⁷ De belangrijkste maatregel is het spoorboekloos rijden, waarmee uiterlijk in 2028 op de drukste trajecten zes intercity's en zes sprinters per uur per richting rijden.

De overheid hanteert bij het PHS de visie 'eerst beter, dan meer'.²¹⁸ Dit houdt in dat eerst het aantal storingen omlaag moet en dat het spoor nog veiliger wordt. Als die twee doelen zijn bereikt, is het mogelijk om meer treinen in te zetten. De focus ligt daarbij onder andere op het robuuster maken van de infrastructuur en de treindienst sneller opstarten na storingen. Dit draagt onder meer bij aan het voorkomen van grote landelijke storingen.

8.1.3 Luchtvaart

Binnen Nederland ligt de focus in de luchtvaart vooral op de ontwikkeling van de luchthavens. Schiphol neemt daarbij een belangrijke positie in als een van de grootste luchthavens ter wereld. In de actieagenda Schiphol heeft de Rijksoverheid uiteengezet hoe Schiphol kan concurreren met andere luchthavens en kan blijven groeien. Maatregelen die worden genoemd zijn het verminderen van de kosten voor de luchthavens, het beter bereikbaar maken van de luchthaven en het duurzamer maken van de luchtvaart.²¹⁹

8.2 Vraag naar digitale connectiviteit

Binnen de mobiliteitssector is een stijgende vraag naar digitale connectiviteit waar te nemen. Deze vraag ontstaat deels vanuit de sectortrends, maar staat daar in sommige gevallen ook los van. In deze paragraaf wordt een aantal verschillende toepassingen beschreven die een vraag naar digitale connectiviteit genereren.

8.2.1 Wegverkeer

De vraag naar digitale connectiviteit vanuit het wegverkeer is gecentreerd rondom ITS en de zelfrijdende auto. De grootste rol lijkt daarbij te zijn weggelegd voor ITS. Voor de werking van ITS-toepassingen dient communicatie plaats te vinden tussen auto's onderling en auto's en de wegwijkant. De vraag naar digitale connectiviteit vanuit de zelfrijdende auto lijkt beperkt te zijn omdat de intelligentie vooral in de auto zelf zit. Op deze manier kan hij onafhankelijk van een dataverbinding rijden. Het is wel de verwachting dat zelfrijdende auto's in de toekomst gebruik zullen maken van ITS-toepassingen, zoals ook in paragraaf 8.1.1 werd aangegeven. ITS-toepassingen worden nu nog op beperkte schaal ingezet. Het gaat voor

²¹⁵ Truck platooning houdt in dat vrachtwagens in een treintje over de (snel)weg. Op deze manier kan de veiligheid worden verbeterd en wordt er minder brandstof verbruikt. Voor meer informatie zie: [\[eutruckplatooning.com\]](http://eutruckplatooning.com)

²¹⁶ Bron: Rijksoverheid (2016) *Spoor*. [\[rijksoverheid.nl\]](http://rijksoverheid.nl)

²¹⁷ Bron: ProRail (2016) *Programma Hoogfrequent Spoorvervoer*. [\[prorail.nl\]](http://prorail.nl)

²¹⁸ Bron: Rijksoverheid (2016) *Spoor eerst beter, dan meer treinen*. [\[rijksoverheid.nl\]](http://rijksoverheid.nl)

²¹⁹ Bron: Rijksoverheid (2016) *Ontwikkeling van Schiphol*. [\[rijksoverheid.nl\]](http://rijksoverheid.nl)

namelijk om proeftrajecten, zoals op de A58, maar voor de toekomst zijn de verwachtingen hoog.

In termen van digitale connectiviteit gaat het bij ITS om toepassingen waarvoor een lage bandbreedte nodig is. De communicatie betreft alleen het versturen van berichten, die enkele bytes groot zijn. De latency en betrouwbaarheid zijn wel cruciaal voor ITS. Bij bijvoorbeeld truck platooning leidt een latency van enkele seconden ertoe dat de vrachtwagens op elkaar klappen als de voorste vrachtwagen plotseling moet remmen. Eenzelfde situatie kan ontstaan als de verbinding opeens wegvalt.

8.2.2 *Spoorvervoer*

Bij het spoorvervoer zijn meerdere toepassingen die een vraag naar digitale connectiviteit genereren. In deze paragraaf worden drie toepassingen behandeld: monitoring van spoorwissels, digitalisering van treinen en het European Rail Traffic Management System.

Monitoring van spoorwissels

Een van de ontwikkelingen is dat ProRail de verwarmingssystemen van de wissels rond Utrecht Centraal wil gaan monitoren.²²⁰ Met behulp van sensoren wordt de temperatuur van en de luchtvochtigheid rond de wissels geregistreerd. Deze informatie wordt vervolgens doorgegeven aan ProRail zodat zij kunnen zien of het verwarmingssysteem wel functioneert. Op dit moment gaat het nog om een pilot, maar voor de toekomst kan het een onderdeel worden van de standaard bedrijfsprocessen.

De vraag naar digitale connectiviteit zal in eerste instantie beperkt zijn. Sensordata is vaak enkele bytes groot²²¹ en zal dus leiden tot een beperkte bandbreedte. De latency hoeft ook geen (milli)seconden te bedragen omdat ProRail geen onmiddellijke actie kan ondernemen. De betrouwbaarheid is wel een cruciaal punt. Op dit moment is sprake van een proef en hoeft de betrouwbaarheid van de verbinding dus nog niet extreem hoog (bijv. >99,99%) te zijn. Als ProRail hier mee doorgaat en het een onderdeel maakt van de bedrijfsprocessen zal een hoge betrouwbaarheid wel gewenst zijn, zeker als het een kritisch bedrijfsproces betreft.

Digitalisering van treinen

Een tweede trend binnen het spoorvervoer is het digitaliseren van treinen. Uit het onderzoek kwam naar voren dat steeds meer fabrikanten hun treinen (maar ook bussen en trams) voorzien van een dataverbinding. Op die manier krijgen ze een beter inzicht in het functioneren van hun assets. Het betere inzicht leidt ertoe dat fabrikanten op een efficiëntere manier (preventief) onderhoud kunnen uitvoeren. In de toekomst zullen alle nieuwe treinen standaard worden uitgerust met een communicatiemodule.

De vraag naar digitale connectiviteit zal enigszins vergelijkbaar zijn met die van het monitoren van spoorwissels. De bandbreedte zou in theorie hoger moeten zijn omdat er meer informatie wordt doorgestuurd. Een trein kan namelijk tot wel 300 sensoren bevatten.²²² De daadwerkelijke bandbreedte is wel afhankelijk van wanneer, welke informatie wordt doorgestuurd. De latency hoeft ook geen (milli)seconden te bedragen omdat het gaat om lange

²²⁰ Bron: TPO (2016) *ProRail test LoRa-netwerk*. [tpo.nl]

²²¹ Bron: Pennings, M.C. (2011) Een slimme koelkast voor slimme netten. *TVVL Magazine*, 4(4), pp. 42-45.

²²² Bron: Teradata (2015) *The Internet of Trains*.

termijn monitoring met als doel preventief onderhoud.²²³ Net als bij het monitoren van wissels is de betrouwbaarheid wel een belangrijke component. Als de monitoring een onderdeel wordt van (kritische) bedrijfsprocessen is een hoge betrouwbaarheid (>99%) gewenst.

European Rail Traffic Management System (ERTMS)

Vanuit Europa is een initiatief gestart om de veiligheid op het spoor te verbeteren, het gaat daarbij om het *European Rail Traffic Management System* (ERTMS).²²⁴ Het ERTMS is de Europese standaard voor spoorbeveiliging en zal in Nederland het ATB (automatische treinbeveiliging) gaan vervangen. Het voordeel van ERTMS is dat het een Europese standaard is en treinen eenvoudiger tussen de verschillende landen kunnen rijden.

Het ERTMS bestaat uit twee componenten: het European Train Control System (ETCS) en het GSM-R netwerk. Vanuit dit onderzoek is met name de tweede component, het GSM-R netwerk, relevant omdat dit de communicatie verzorgt. Het gaat daarbij om communicatie tussen treinen, de trein en het controlecentrum maar ook de communicatie met het spoor. De eisen die worden gesteld aan GSM-R richten zich vooral op de functies die uitgevoerd moeten kunnen worden, zoals het bellen van specifieke personen op basis van de locatie van een gebruiker en groepsgesprekken. In de specificatie van de functionele eisen, die is opgesteld door het *European Integrated Railway Radio Enhanced Network*, wordt voor de eisen aan de verbinding alleen vermeld dat de vereiste bandbreedte 2,4 kbit/s moet zijn.²²⁵

Het is belangrijk om op te merken dat de NS begin 2016 een uitvraag heeft gedaan voor een nieuw communicatienetwerk. De belangrijkste eis die wordt gesteld aan het communicatienetwerk is een gegarandeerde communicatie met voldoende capaciteit om aan de behoeftes van de NS te voldoen.²²⁶

8.2.3 Luchtvaart

In de luchtvaartsector zijn meerdere toepassingen die een vraag naar digitale connectiviteit genereren. In deze paragraaf worden twee toepassingen behandeld: de digitalisering van Schiphol en WiFi in het vliegtuig.

Digitalisering Schiphol

Een belangrijke vraag naar digitale connectiviteit in de luchtvaartsector komt vanuit Schiphol, dat de beste digitale luchthaven ter wereld wil worden.²²⁷ Het streven van Schiphol valt uiteen in twee onderdelen. Zo moet door de verbeterde digitalisering de reiservaring van passagiers gemakkelijker, sneller en mooier worden. Daarnaast moet Schiphol een slimme luchthaven worden die op een effectieve manier beheerd kan worden.²²⁸

Om aan de doelstellingen te voldoen is Schiphol inmiddels voorzien van 2.000 radiobeacons waarmee Schiphol via een app de locatie van de gebruiker kan vaststellen om hem de juiste route inclusief looptijd naar zijn gate te geven. Daarnaast gebruiken ze digitale connectiviteit

²²³ Bron: Teradata (2015) *The Internet of Trains*

²²⁴ Bron: European Commission (2016) *ERTMS – What is ERTMS?* [ec.europa.eu]

²²⁵ Bron: European Integrated Railway Radio Enhanced Network (2015) *Functional Requirements Specification Version 8.0.0.* [era.europa.eu/]

²²⁶ Bron: Infraside (2016) *NS wil mobiele netwerk voor privaat gebruik: NS Hyperconnect.* [infraside.nl]

²²⁷ Bron: Computable (2015) *Best Digital Airport van de wereld.* [cstories.nl]

²²⁸ Bron: Verbinding (2016) *Schiphol: 'best digital airport' als doelstelling.*

voor verschillende missie kritische toepassingen zoals bagageafhandeling. De eisen die gesteld worden aan de communicatie zijn niet concreet geformuleerd, maar voldoende capaciteit en een hoge betrouwbaarheid zijn twee aspecten die worden genoemd.

WiFi in het vliegtuig

Een andere trend die een grote vraag naar digitale connectiviteit genereert zijn de consumenten die altijd en overal *connected* willen zijn.²²⁹ Consumenten willen bijvoorbeeld werken in het vliegtuig, video's kijken of hun sociale media bijwerken. De grootste vraag naar digitale connectiviteit wordt gegenereerd door het streamen van video's. Het kijken van video's via Netflix vereist al een bandbreedte tussen de 1,5 en 5 Mbit/s.²³⁰ De betrouwbaarheid van de verbinding heeft minder relevantie omdat het om een niet-kritische toepassing gaat. Voor de komende jaren zal de behoefte aan digitale connectiviteit alleen maar toenemen. Enerzijds komt dit doordat meer mensen *connected* willen zijn, en anderzijds door dat de applicaties veranderen (bijv. HD-kwaliteit kijken via Netflix waardoor de bandbreedte omhoog gaat).

8.3 Match met generiek aanbod

In dit hoofdstuk wordt de vraag naar digitale connectiviteit tegen het (generieke) aanbod aangehouden om te bepalen of er een mismatch is tussen de vraag en het aanbod.

8.3.1 Wegverkeer

Bij ITS is nog veel discussie over het aanbod. De discussie gaat specifiek over de in te zetten technologie: een standaard specifiek voor ITS (ITS-G5) of de inzet van cellulaire technologieën (3G/4G/5G).²³¹ ITS-G5 is een variant van de WiFi-standaard, en wordt ook wel WiFi-p genoemd (naar de IEEE 802.11p standaard). WiFi-p opereert in de 5,9 GHz band en kan de gewenste lage latency bieden. In de mobiliteitssector is echter nog veel discussie of dit de juiste technologie voor ITS is omdat een apart netwerk moet worden uitgerold. Dit netwerk kan dan alleen voor mobiliteitstoepassingen gebruikt kan worden. Cellulaire technologieën zoals 3G/4G (en in de toekomst mogelijk 5G) hebben hier geen last van omdat die technologieën ook voor andere toepassingen gebruikt kunnen worden. De discussie over de juiste technologie en de daarmee gepaarde onzekerheid, leidt ertoe dat de ITS-toepassingen nu nog maar in hele beperkte mate worden uitgerold.²³²

8.3.2 Spoorvervoer

Monitoring van spoorwissels

Voor de monitoring van spoorwissels wordt op dit moment gebruik gemaakt van het generieke LoRa²³³, wat op dit moment de vraag zou moeten afdekken. Het enige knelpunt kan mogelijk ontstaan rond de betrouwbaarheid. Als monitoring van spoorwissels onderdeel wordt van (kritische) bedrijfsprocessen en een betrouwbaarheid van bijvoorbeeld 99,99%

²²⁹ Het vliegtuig zelf genereert ook data (zoals bij de treinen), maar deze is vaak beperkt tot enkele bytes (zie ook [\[rolls-royce.com\]](http://rolls-royce.com)).

²³⁰ Bron: Netflix (2016) *Internet Connection Speed Recommendations*. [\[netflix.com\]](http://netflix.com)

²³¹ Bron: TNO (2016) *Assesment of wireless connectivity options in support of ITS*.

²³² Op dit moment wordt het alleen gebruikt in projecten. Een voorbeeld hiervan is de A58 waar een proef wordt uitgevoerd om spookfiles te voorkomen, zie ook [\[spookfiles.nl\]](http://spookfiles.nl) en [\[nm-magazine.nl\]](http://nm-magazine.nl).

²³³ Bron: TPO (2016) *ProRail test LoRa-netwerk*. [\[tpo.nl\]](http://tpo.nl)

gewenst is, is LoRa mogelijk niet de goede technologie. Indien steeds meer toepassingen gebruik maken van LoRa kunnen problemen op het netwerk ontstaan.²³⁴ Alternatieve IoT generieke technologieën, zoals NB-IoT zijn op dit moment al beschikbaar of worden op korte termijn beschikbaar gesteld door de Nederlandse mobiele operators.²³⁵

Digitalisering van treinen

Voor de digitalisering van treinen kan gebruik worden gemaakt van vergelijkbare technologie als bij de monitoring van spoorwissels. Het perspectief van de gebruikers (fabrikanten van treinen) is wel anders dan bij de monitoring van spoorwissels. Het gaat om een commercieel belang waarbij de fabrikanten willen dat hun assets optimaal presteren. Fabrikanten kiezen daarom mogelijk sneller voor een van de alternatieve technologieën, die weliswaar duurder maar ook betrouwbaarder zijn. Voorbeelden van alternatieve generieke technologieën zijn NB-IoT of zelfs 3G/4G machine-to-machine toepassingen. Bij de keuze van een technologie zullen fabrikanten vooral kijken hoeveel het hen oplevert.

European Rail Traffic Management System (ERTMS)

In Nederland is op de 900 MHz frequentieband reeds een GSM-R netwerk uitgerold. Van een mismatch tussen de vraag en het aanbod lijkt dus geen sprake te zijn. Echter, is er wel discussie over de impact van 4G-netwerken op het GSM-R netwerk. Door de uitrol van 4G ontstaan verstoringen aan de communicatiesystemen voor het spoor.²³⁶ Als gevolg van de verstoringen heeft het ministerie van Infrastructuur en Milieu een subsidieregeling opgezet met als doel het vervangen of aanpassen van treinradioapparatuur te stimuleren.²³⁷ Daarnaast zal met het nieuwe communicatienetwerk van de NS ook een groot deel van de problemen verholpen worden.

8.3.3 Luchtvaart

Digitalisering Schiphol

Schiphol neemt zelf al voldoende stappen om de beste digitale airport ter wereld te worden. Zoals in de vorige paragraaf aangegeven zijn al 2.000 radiobeacons geplaatst om passagiers beter te kunnen begeleiden. Daarnaast worden ook de *core* en distributie-laag van het vaste netwerk vervangen, en staat het aanpakken van de *access*-laag op de planning.²³⁸

Schiphol anticipeert zelfs al op mogelijke storingen door het veelvoud aan aanbieders van draadloze netwerken. Zo zijn ze in gesprek met mobiele operators om één partij een integraal (draadloos) netwerk aan te laten leggen waar de andere aanbieders dan gebruik van kunnen maken. Het grootste knelpunt bij Schiphol zit hem dus niet zo zeer in het niet beschikbaar zijn van de technologieën maar in de organisatorische afstemming.

WiFi in het vliegtuig

Een groot aantal airlines biedt al WiFi in het vliegtuig aan, dus het aanbod is er. Of de consumenten ook daadwerkelijk gebruik zullen maken van het aanbod is vooral afhankelijk van de tarieven. In veel gevallen moet een consument betalen voor WiFi in het vliegtuig. Het

²³⁴ Bron: Dialogic (2016) *The wireless Internet of Things: Spectrum utilisation and monitoring*.

²³⁵ Bron: Nu.nl (2016) *T-Mobile start uitrol landelijk 'internet of things'-netwerk*. [nu.nl]

²³⁶ Bron: SpoorPro (2014) *Oplossing voor verstoringen spoor door gsm-frequenties nabij*. [spoorpro.nl]

²³⁷ Bron: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (2016) *Subsidieregeling beheersing GSM-R interferentie*. [rvo.nl]

²³⁸ Bron: Verbinding (2016) *Schiphol: 'best digital airport' als doelstelling*.

gaat daarbij om bedragen van \$ 20,00 per vlucht of \$ 14,00 per uur.²³⁹ In 2017 wordt echter een nieuwe satelliet in gebruik genomen waardoor een nog beter dekkend netwerk zal ontstaan en mogelijk ook de prijzen om laag gaan. Consumenten kunnen dus al gebruik maken van WiFi in het vliegtuig; het is vooral de vraag of ze ervoor willen betalen.

8.3.4 Conclusie

Uit de voorgaande analyse is gebleken dat binnen het wegverkeer vooral een connectiviteitsvraagstuk ligt op het gebied van ITS, waarbij de verwachtingen hoog zijn. Op dit moment is vooral discussie over de in te zetten technologie. Het leidt ertoe dat de uitrol van ITS-toepassingen nog maar in beperkte mate plaatsvindt.

Binnen de het domein van de spoorwegen richt de digitalisering zich met name op het monitoren van spoorwissels, het digitaliseren van de trein zelf en ERTMS. Specifieke aandachtspunten zijn hierbij respectievelijk de betrouwbaarheid van de oplossingen, de betalingsbereidheid van de fabrikanten en de interferentie door 4G-netwerken van mobiele operators.

Binnen de luchtvaartsector ontstaat de grootste vraag door de digitalisering van Schiphol en de uitrol van WiFi in vliegtuigen. Bij de eerste toepassing is de uitrol inmiddels al ver gevorderd en centreert de discussie zich vooral rond de organisatorische afstemming. WiFi in het vliegtuig wordt daarnaast ook al door meerdere airlines aangeboden. Het is daarbij vooral de vraag of de consumenten de (hoge) tarieven willen betalen. In het komende jaar wordt het netwerk echter uitgebreid en kunnen de tarieven omlaag.

De belangrijkste mismatch met generieke connectiviteit lijkt bij ITS te zijn, omdat daar veel discussie is over de in te zetten technologie. Dit leidt ertoe dat de uitrol van ITS-toepassingen niet van de grond komt. In de volgende paragraaf wordt daarom dieper ingegaan om de vraag naar digitale connectiviteit van ITS-toepassingen.

8.4 Casus: Intelligente Transport Systemen

In deze paragraaf gaan wij dieper in op de behoefte naar digitale connectiviteit van ITS toepassingen. Binnen ITS worden verschillende applicaties onderscheiden. Vanuit Beter Benutten worden bijvoorbeeld als toepassingsgebieden evenementen, supermarktlogistiek, incidenten en C-ITS genoemd.²⁴⁰ Het grootste gedeelte van die toepassingsgebieden focust zich op informatiesystemen en het delen van veelal bestaande data. De eisen die aan digitale connectiviteit worden gesteld zijn in dit kader beperkt.

Bij C-ITS worden juist wel hoge eisen gesteld aan de digitale connectiviteit. C-ITS is een afkorting van coöperatieve ITS en staat voor communicatie tussen voertuigen onderling alsmede communicatie tussen voertuigen en wegwijk. Toepassingen die binnen het domein van coöperatieve ITS ontstaan, zijn bijvoorbeeld het voorkomen van botsingen, voorkomen van files of het waarschuwen in geval van ongelukken. Elk van deze toepassingen heeft een vraag naar digitale connectiviteit, die in veel gevallen overlappen met elkaar. In de komende paragrafen wordt dieper ingegaan op deze vraag naar digitale connectiviteit van C-ITS aan de hand van de volgende generieke indicatoren: bandbreedte, latency, betrouwbaarheid en dekking.

²³⁹ Bron: Tix (2015) *WiFi-tarieven op 10 kilometer hoogte*. [\[blog.tix.nl\]](http://blog.tix.nl)

²⁴⁰ Bron: Platform Beter Benutten (2016) *Slimmer, leuker en aantrekkelijker op weg*. [\[beterbenutten.nl\]](http://beterbenutten.nl)

8.4.1 *Bandbreedte*

De bandbreedte die gegenereerd wordt door C-ITS komt van de communicatie tussen voertuigen onderling en van de communicatie tussen voertuigen en de wegwijkant. De bandbreedte die per voertuig wordt gegenereerd is niet veel, alhoewel in sommige gevallen wel tien keer per seconde een bericht wordt verstuurd. Op dit moment wordt zeer beperkt gebruik gemaakt van C-ITS en is de bandbreedte nog geen probleem. Pas als iedereen gebruik maakt van C-ITS en sprake is van een drukke situatie, zoals een file, kunnen problemen ontstaan. Eventuele problemen zouden wel eenvoudig opgelost kunnen worden door het plaatsen van meer antennes.

8.4.2 *Latency*

Vanuit Beter Benutten is in 2016 een offerteaanvraag geweest voor een Innovatiepartnership Talking Traffic. Het doel van Talking Traffic is om C-ITS verder te ontwikkelen. De concrete doelen zijn²⁴¹:

- weggebruikers tijdig te adviseren en waarschuwen over zaken die buiten hun eigen directe gezichtsveld vallen zodat zij tijdig kunnen reageren (snelheid, remmen, rijstrookkeuze, route) door bi-directionele data- en informatie-uitwisseling met een lage vertragingstijdsduur.
- realiseren van maatschappelijk rendement door levering van tijdige adviezen op individuele maat, naar locatie en situatie toegesneden, met als gevolg vermindering van reistijden, afname van onnodig omrij- en zoekverkeer, verlagen van brandstofverbruik en ongevalsrisico's, in en rond de stedelijke-economische centra die zich in Beter Benutten hebben verenigd;

In de offerteaanvraag wordt meermaals verwezen naar de maximale latency waarden die in acht moeten worden genomen bij de voorstellen. Het gaat daarbij zowel om de latency voor het verwerken van ontvangen data, de eventuele bewerking van die data en het doorsturen en ontvangen ervan. Beter Benutten heeft voor verschillende toepassingen (bijv. in-car informatie over de maximumsnelheid, voorkomen/oplossen van files) een maximaal latency waarde gedefinieerd. Daarbij hebben ze een maximale latency waarde gedefinieerd voor de gehele keten alsmede voor de individuele onderdelen van de waardeketen.

Voor dit onderzoek is vooral de latency van het ontvangen en verzenden van de data van belang. Uit de tabel komt naar voren dat de latency tussen de 100 en 200 milliseconden moet bedragen, afhankelijk van de gekozen toepassing. Het gaat hier specifiek om de communicatie tussen de voertuigen en de wegwijkant. Bij truck platooning ligt de latency met 25 milliseconden zelfs nog een stuk lager.²⁴² De voertuigen moet bij truck platooning namelijk direct met elkaar communiceren. De eisen voor latency zullen de komende jaren niet veel veranderen; voor een optimale werking van de toepassingen moeten de latency waarden vanaf het begin goed zijn. Als de latency waarden dus niet worden gehaald, hebben de toepassingen minder effect (bijv. voorkomen van botsingen) of kunnen ze zelfs niet worden uitgevoerd (bijv. truck platooning) omdat dan de veiligheid in het geding komt.

²⁴¹ Bron: Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2016) Call for Innovation Partnerships for Smarter Urban and Inter-Urban Mobility through Intelligent Services. [\[beterbenutten.nl\]](http://beterbenutten.nl)

²⁴² Bron: Bergenhem, C., Hedin, E. & Skarin, D. (2012) Vehicle-to-Vehicle Communication for a Platooning System. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 48. pp. 1222 – 1233.

8.4.3 Dekking

De dekking van de verbinding speelt bij C-ITS een zeer grote rol. Binnen de mobiliteitssector is discussie over het inzetten van een standaard specifiek voor ITS (ITS-G5/WiFi-p) of het inzetten van generieke, cellulaire technologieën (3G/4G/5G)²⁴³. ITS-G5 werd in eerste instantie gezien als een belangrijke kandidaat om C-ITS-diensten te leveren aan weggebruikers. Het zou op papier kunnen voldoen aan de hoge eisen die worden gesteld aan de latency (zie ook paragraaf 8.4.2).

Het probleem met ITS-G5 zit vooral in de uitrol van de infrastructuur. Bij de wegwijk betekent dit dat op gezette afstanden langs de weg (ca. 500-1.000 meter) opstelpunten moeten worden geplaatst. Daarnaast moeten ook de voertuigen nog worden uitgerust met apparatuur, al lijkt daar een generieke oplossing (zoals een smartphone) wel tot de mogelijkheden te behoren.

Een belangrijke discussie is vooral wie de uitrol gaat financieren. De baten van de business case zijn een betere doorstroming van het verkeer, dat ook nog eens veiliger wordt. Deze niet-monetaire baten leiden ertoe dat er weinig prikkels zijn om een netwerk uit te rollen. Het wordt ook nog eens versterkt doordat het netwerk alleen voor ITS-G5 toepassingen kan worden gebruikt, terwijl cellulaire technologieën voor veel meer toepassingen kunnen worden gebruikt (bellen, sms'en etc.). De huidige, generieke, cellulaire technologieën (3G/4G) lijken op dit moment echter nog niet aan de gestelde latency eisen te kunnen voldoen²⁴⁴, maar de verwachting is dat het toekomstige 5G het wel kan. Het probleem met 5G is dat het nog niet beschikbaar is, de verwachting is dat het in 2020 uitgerold zal worden door de mobiele operators.

De discussie leidt ertoe dat er momenteel nauwelijks gebruik gemaakt wordt van C-ITS, op een enkele pilot na. Het is of te kostbaar voor marktpartijen (ITS-G5) of de gewenste technologie is nog niet beschikbaar (5G). Voor de werking van het systeem is het wel gewenst dat een zo groot mogelijke dekking wordt gerealiseerd. Een hybride uitrol van G5-ITS en 5G zou dan een mogelijke tussenoplossing zijn.

8.4.4 Betrouwbaarheid

De gewenste betrouwbaarheid is afhankelijk van de gekozen toepassing en de manier waarop deze toepassing wordt geïmplementeerd. In veel gevallen zal het gaan om toepassingen die slechts adviserend van aard zijn. Bij het ontstaan van een spookfile zal een bericht worden doorgegeven aan de bestuurder die zijn snelheid dan kan aanpassen. Daarbij kan het ook voorkomen dat de bestuurder zijn snelheid niet aanpast en naar eigen inzicht handelt.

Daarnaast speelt de toepassing ook nog een rol. Het voorkomen van botsingen heeft bijvoorbeeld een hogere prioriteit dan het voorkomen van spookfiles. Bij de eerste toepassing dient de verbinding zeer betrouwbaar te zijn, terwijl dat voor het tweede geval minder noodzakelijk is. Voor *truck platooning* waarbij trucks in een treintje over de snelweg rijden is een hoge betrouwbaarheid al helemaal gewenst. Het wegvallen van de verbinding leidt ertoe dat de trucks niet meer in een treintje kunnen rijden. Het probleem wordt nog serieuzer als er helemaal geen bestuurder in de vrachtwagen zit, dan kan de vrachtwagen überhaupt niet verder rijden.

²⁴³ Bron: TNO (2016) Assessment of wireless connectivity options in support of ITS.

²⁴⁴ Voor meer informatie zie ook [\[nm-magazine.nl\]](http://nm-magazine.nl).

De toekomstige betrouwbaarheid is vooral afhankelijk van de ontwikkeling van de zelfrijdende auto. Met de zelfrijdende auto komt alle intelligentie in de auto zelf te zitten. Mocht de dataverbinding bij een zelfrijdende auto die *connected* is wegvallen dan blijft de auto gewoon functioneren. De zelfrijdende auto is ook dan nog in staat om ongevallen te voorkomen. De betrouwbaarheid kan dus in sommige gevallen zelfs lager worden omdat er nog een noodscenario is.

8.5 Knelpunten

In Tabel 17 zijn de knelpunten in markt voor digitale connectiviteit ten behoeve de mobiliteitssector samengevat. We vertrekken hierbij vanuit de sectorcasus en vullen die, waar mogelijk, aan met sectorbrede observaties. Voor de mobiliteitssector, en specifiek voor C-ITS, is de dekking het meest belangrijke. In de huidige situatie wordt de uitrol van C-ITS-oplossingen belemmerd.

Tabel 17 Knelpunten in de markten voor digitale connectiviteit in de sector mobiliteit (**bold** = knelpunt, *italic* = mogelijk knelpunt)

Indicator	Uitkomst	Knelpunt in markt	
		0-5 jaar	5-10 jaar
Bandbreedte	De gevraagde bandbreedte lijkt beperkt te zijn, maar het is nog onduidelijk in hoeverre C-ITS robuust genoeg is als er veel voertuigen gebruik van maken en het druk is op de weg.	n.v.t.	<i>Access</i>
Latency	Voor een groot deel van de toepassingen is een maximale waarde voor de latency vastgesteld. Dit geldt voor zowel de gehele waardeketen als individuele onderdelen daarvan. Voor de transmissie bedraagt hij tussen de 100 en 200 milliseconden, maar in sommige gevallen wordt zelfs uitgegaan van 25 milliseconden. De gestelde eisen zijn op dit moment nog stringenter dan de grootschalig beschikbare generieke connectiviteit. 5G kan hier in de toekomst een oplossing voor bieden, aangevuld met sensoren en intelligentie in de voertuigen zelf.	Access, core, datacenters	n.v.t.
Dekking	De dekking is het meest van belang voor C-ITS, het is namelijk alleen nog maar uitgerold op een proeftraject (een stuk van de A58). Bovendien zijn er op dit moment ook weinig tot geen plannen om het op grote schaal uit te rollen. Momenteel is er veel discussie over de te gebruiken technologie: een specifieke standaard (ITS-G5) of een generieke cellulaire technologie (met name 5G). ITS-G5 is al beschikbaar maar kostbaar om aan te leggen, terwijl 5G nog niet beschikbaar is, maar waarschijnlijk wel sneller uitgerold wordt. Voor een optimale werking van C-ITS is het wel wenselijk dat er een zo groot mogelijke dekking wordt gerealiseerd.	Access	Access

Betrouwbaarheid	De gewenste betrouwbaarheid hangt af van het type applicatie en hoe hij wordt gebruikt. Bij een informerende applicatie voor spookfiles is een lagere betrouwbaarheid nodig dan bij bijvoorbeeld een applicatie ten behoeve van betere doorstroming bij verkeerslichten. Voor de uitrol van de netwerk is de meest kritische applicatie leidend, en is dus een hoge betrouwbaarheid gewenst.	n.v.t.	n.v.t.
Overig	De standaardisatiestrijd tussen 5G en ITS-G5 is op dit moment de meest blokkerende factor in de ontwikkeling van ITS-diensten en toepassingen.	Diensten	Diensten

8.6 Verklarende factoren

Na vaststelling van de verschillende knelpunten ten aanzien van digitale connectiviteit staat de vraag centraal welke factoren de mismatch tussen vraag en aanbod kunnen verklaren. We plotten hiervoor de knelpunten op de markten voor digitale connectiviteit zoals we die in ons conceptuele model (paragraaf 2.2.3) hebben geordend.

8.6.1 *Bestaande (aansluit)netwerken niet geschikt voor C-ITS*

Zoals hierboven aangeven zijn bestaande (aansluit)netwerken niet geschikt voor alle vormen van C-ITS. Vooral de combinatie van zeer lage latency en zeer hoge betrouwbaarheid is een knelpunt. Het is duidelijk dat de huidige generieke netwerken niet zijn ontworpen voor dergelijke toepassingen en de functionaliteit dan ook niet kunnen bieden.

8.6.2 *Uitrol van nieuwe (aansluit)netwerken voor C-ITS komt slecht op gang*

De uitrol van een technologie voor C-ITS toepassingen is op dit moment beperkt. We zien hierbij het gebrek aan goede ketenafstemming als primaire verklarende factor. De oorzaak hiervoor is dat de technologie die op dit moment beschikbaar (G5-ITS) is, kostbaar is om uit te rollen. Hier spelen twee aspecten:

- Er is zeer waarschijnlijk sprake van een korte terugverdiëntijd. Bij een groot deel van de markt bestaat het beeld dat 5G netwerken de benodigde functionaliteit ook kunnen bieden en dat ook grootschalig gaan doen. De verwachting is dat dit rond 2020 vorm gaat krijgen. Dat betekent dat nu uitrollen van G5 betekent dat de netwerken in een jaar of vijf terugverdiend moeten worden. Hierdoor is er een impasse aan het ontstaan bij de uitrol van C-ITS.
- Er is sprake van positieve externaliteiten. Een deel baten van C-ITS slaan niet bij de gebruiker neer, maar bij andere stakeholders. Denk hierbij aan betere doorstroming verkeer en minder botsingen. Dit leidt ertoe dat marktpartijen geen rendabele business case op kunnen zetten, tenzij een publieke partij bereid is geld in dit initiatief te stoppen.

9 Digitale connectiviteit in onderwijs

In dit hoofdstuk gaan we nader in op de behoefte aan digitale connectiviteit in de onderwijssector. We richten ons hierbij in eerste instantie op de volgende categorieën: primair onderwijs (PO en speciaal onderwijs), voortgezet onderwijs (VO en voortgezet speciaal onderwijs), beroepsonderwijs (MBO, HBO) en wetenschappelijk onderwijs (WO). Naast deze categorieën bestaan uiteraard nog andere onderwijsvormen die we hier buiten beschouwing laten, waarvan veel privaat en/of intern georiënteerd, of met het karakter van training/bij-scholing.

Binnen dit hoofdstuk vertalen we brede sectortrends in vraag naar digitale connectiviteit. Vervolgens bepalen we in welke mate waarin het generieke aanbod hierin kan voorzien. Aansluitend behandelen we de geselecteerde casus, waarin we de meest uitdagende verwachte vraag naar connectiviteit nader beschouwen. Hieruit volgen de door ons vastgestelde knelpunten en de verklarende factoren achter deze knelpunten.

9.1 Sectortrends

De connectiviteit die in Nederland beschikbaar is voor wetenschappelijke onderwijs- en onderzoeksinstellingen behoort tot de beste in de wereld. Vrijwel alle hogescholen, universiteiten en een groot aantal MBO-instellingen in Nederland zijn aangesloten op het SURF-netwerk²⁴⁵, waarmee ruimschoots wordt voldaan aan de connectiviteitsbehoefte voor het hoger onderwijs. Vooral in HBO en MBO speelt specifieke vraag naar connectiviteit tussen locaties. Het netwerk wordt met name gedimensioneerd op bandbreedtebehoefte uit onderzoek en op de behoefte in termen van piekbelasting (aantal devices) en leren op afstand in het onderwijs.²⁴⁶

De connectiviteit van SURF wordt mede gedimensioneerd op de behoefte die de aangesloten universiteiten hebben vanuit onderzoek, welke in de meeste gevallen groter is dan die voor onderwijs (denk aan het kunnen uitwisselen van zeer grote datasets tussen onderzoekers). De capaciteit is daarnaast flexibel schaalbaar. In de praktijk voldoet de infrastructuur dan ook vrijwel altijd aan de behoefte vanuit onderwijs. De infrastructuur en organisatie zijn verder ook ingespeeld op het bedienen van buitengewone vragen naar connectiviteit en grootschalige internationale samenwerkingsverbanden. Bekende voorbeelden zijn de lichtpaden richting de LHC/CERN²⁴⁷, maar ook het realiseren van connectiviteit met de Square Kilometer Arrays in Zuid-Afrika en Australië.²⁴⁸ In enkele gevallen blijkt daarbij zelfs de huidige infrastructuur niet voldoende.

De bij SURF aangesloten instellingen hebben zich ook organisatorisch goed voorbereid op het kunnen blijven voorzien in de digitale connectiviteitsbehoefte, onder andere door het

²⁴⁵ Een landelijk, hoogwaardig netwerk tussen instellingen in het hoger onderwijs. Het netwerk verbindt de instellingen met elkaar, met andere instituten in het buitenland, en met het internet. SURF verleent daarnaast allerlei andere diensten, zoals e-mail, webhosting, gedeelde reken- en opslagcapaciteit, en organisatorische ondersteuning (o.a. bij inkoop van ICT).

²⁴⁶ Bron: SURF

²⁴⁷ Bron: [\[surf.nl\]](http://surf.nl)

²⁴⁸ Bron: [\[astron.nl\]](http://astron.nl)

mogelijk maken van gezamenlijke inkoop, en het afnemen van infrastructuur 'als dienst' (rekencapaciteit, maar ook bijvoorbeeld Wi-Fi als dienst).

Elders in de sector is de situatie rondom connectiviteit anders, zowel als het gaat om behoefte als aanbod.

In de 'lagere' onderwijslagen zien we een andere dynamiek. Allereerst gaat het hier om een veel groter aantal locaties. In 2015 waren er 638 scholen in het voortgezet onderwijs²⁴⁹ (circa 1600 locaties²⁵⁰) en 6430 basisscholen²⁵¹ (circa 6500 locaties²⁵²), 56 MBO-instellingen²⁵³ (67 locaties²⁵⁴) en 37 HBO-instellingen²⁵⁵. De instellingen (en locaties) lopen met name in PO en VO sterk uiteen qua omvang.

In dit deel van de onderwijssector speelt een groeiende vraag naar, en is in toenemende mate ruimte voor, *passend onderwijs* en *gepersonaliseerd leren*. Bij het eerste worden leerlingen met speciale behoeften opgenomen in een 'gewone' klas (met een 'rugzakje') in plaats van gescheiden onderwijs. Ook worden in toenemende mate voorzieningen getroffen voor bijvoorbeeld hoogbegaafde of autistische leerlingen. Gepersonaliseerd leren kan daarnaast worden toegepast voor alle leerlingen. Er is als gevolg van deze trend (en wellicht de verwachtingen van ouders) ook veel aandacht voor het kunnen meten en *volgen van leerprestaties*.

In de onderwijssector wordt, niet minder dan in de andere sectoren, gestuurd op efficiëntie. Met name bij kleinere scholen zien we dat de soms forse benodigde investeringen in connectiviteit een struikelblok vormen.

Als gevolg van ontwikkelingen in de ICT is er een toenemende vraag naar *onderwijs over ICT*. Er is (in generieke zin maar zeker ook als het gaat om ICT-kennis) een voortdurend *tekort aan (gekwalificeerd) onderwijzend personeel*. Door het tekort aan ICT-kennis bij onderwijzend personeel nemen we aan dat ook het gebruik van ICT in het onderwijs achterblijft bij de situatie waarin onderwijzend personeel wel over ruime ICT-kennis had beschikt.

In het PO en VO speelt digitalisering een grote rol in het adresseren van de hierboven geschetste problematiek. Hierbij worden in toenemende mate *digitale leermiddelen* (al dan niet gekoppeld aan de lesmethode) ingezet in het klaslokaal, en veranderen digitale hulpmiddelen de rol van de docent. We zien de digitale leermiddelen als primaire drijfveer voor de behoefte aan digitale connectiviteit. Naast digitale leermiddelen spelen digitaal examineren en digitale procesondersteuning een grote rol. Onder deze ondersteuning valt ook de ondersteuning van het leerproces (met o.a. leerlingvolgsystemen).

We zien ook dat naast deze toepassingen ook veel vraag is naar generieke connectiviteit voor leerlingen, bijvoorbeeld voor het kunnen opzoeken van informatie ('mediatheek-gebruik') of simpelweg het gebruik van Wi-Fi in de pauze (ook niet-school gerelateerd). Een

²⁴⁹ Bron: Onderwijs in Cijfers (2015). *Aantal en omvang van vo-scholen*. [\[onderwijsincijfers.nl\]](http://onderwijsincijfers.nl)

²⁵⁰ Bron: DUO (2016). *Alle vestigingen VO*. [\[duo.nl\]](http://duo.nl)

²⁵¹ Bron: Onderwijs in Cijfers (2015). *Aantal en omvang van instellingen in het primair onderwijs*. [\[onderwijsincijfers.nl\]](http://onderwijsincijfers.nl)

²⁵² Bron: DUO (2016). *Adressen van alle schoolvestigingen in het basisonderwijs*. [\[duo.nl\]](http://duo.nl)

²⁵³ Bron: Onderwijs in Cijfers (2015). *Aantal instellingen mbo*. [\[onderwijsincijfers.nl\]](http://onderwijsincijfers.nl)

²⁵⁴ Bron: DUO (2016). *Adressen instellingen MBO*. [\[duo.nl\]](http://duo.nl)

²⁵⁵ Door de overheid bekostigde HBO-instellingen. [\[vereniginghogescholen.nl\]](http://vereniginghogescholen.nl). DUO geeft voor deze scholen één adres terwijl er sprake kan zijn van meerdere locaties.

ander belangrijk vraagstuk voor scholen is het kunnen controleren en sturen van het gebruik van mobiele devices door leerlingen (bijvoorbeeld tijdens lessen). Voor controle is daarnaast ook authenticatie van leerlingen op het netwerk noodzakelijk.

9.2 Vraag naar digitale connectiviteit

Door de sterke opkomst van digitale leermiddelen en steeds intensiever gebruik van tablets, laptops, pc's en digiborden is de vraag naar connectiviteit op scholen sterk gestegen. Basis-scholen en middelbare scholen moeten in toenemende mate 'cloud-gebaseerde' educatieve applicaties ondersteunen en 'Bring Your Own Device' wordt voor veel scholen ook steeds meer gangbaar.²⁵⁶ Met 20 tot 50 (of meer) pc's, 5 of meer digiborden en touchscreens, en een eigen server kunnen we spreken een serieuze ICT-omgeving waar professionele eisen aan gesteld dienen te worden.

In haar Technologiekompass 2016-2017 geeft Kennisnet een overzicht van technologieën en trends die in de onderwijssector spelen ten aanzien van digitalisering, en in welke fase deze zich bevinden.²⁵⁷ De belangrijkste globale trends in de onderwijssector, waarin ook de meeste door Kennisnet genoemde trends zijn te categoriseren, zijn onzes inziens (1) digitaal leren, (2) digitaal examineren en (3) digitale procesondersteuning. Naast deze trends speelt vraag naar generieke connectiviteit voor meer 'generiek' gebruik: het online kunnen opzoeken van informatie, maar ook privégebruik door leerlingen in de pauze.

Voordat we ingaan op de specifieke trends is het belangrijk om op te merken dat hoewel de trends op alle niveaus in het onderwijs spelen, de *connectiviteitsvraag* eruit vooral speelt in het primair-, voortgezet- en beroepsonderwijs. In het hoger onderwijs gaat het om een relatief klein aantal instituten dat (via SURFnet) haar connectiviteit op een niveau heeft gebracht waarmee het voorsnog goed kan voldoen aan de behoefte, en er een goede basis is voor verdere opschaling van de connectiviteit. We richten ons in het vervolg van dit stuk dan ook vooral op de onderwijscategorieën die *niet* zijn aangesloten op SURFnet. Verder laten we private onderwijsinstellingen ook buiten beschouwing, met name door het geringe aantal locaties dat hier mee gemoeid gaat.

9.2.1 Digitaal leren

Bij digitaal leren worden digitale leermiddelen (beschikbaar gemaakt via tablets, smartphones, laptops, desktops, maar ook digiborden en videoschermen, en gekoppeld aan online-omgevingen) ingezet ter ondersteuning of zelfs volledige vervanging van traditionele leermiddelen, zoals les- en werkboeken.

Het ontwikkelingspad voor digitaal leren bestaat uit enkele aan elkaar complementaire ontwikkelingen:

1. Het gebruik van digitale hulpmiddelen *naast traditionele leermiddelen* (vergelijk met "grafische rekenmachine"). De connectiviteitsvraag voor deze leermiddelen is relatief beperkt; in een aantal gevallen zal het zelfs gaan om volledig 'offline' toepassingen.
2. Het gebruik van ICT voor *specifieke delen van het curriculum*. We zien hier veelal het gebruik van gedeelde faciliteiten (zoals een 'computerlokaal', 'mediatheek' of

²⁵⁶ Bron: Kennisnet (2016). *Technologiekompass voor het onderwijs – Kennisnet Trendrapport 2016-2017*. [\[kennisnet.nl\]](http://kennisnet.nl)

²⁵⁷ Bron: Idem

'laptopkar'). In het beroepsgericht onderwijs kan ook sprake zijn van praktijksimulaties (bijvoorbeeld een 'proefdatacenter' voor studenten ICT-beheer).

3. Het *simultaan* gebruik van ICT en traditionele leermiddelen *in de klas* ("tablet-les", digi- en digiborden). Hierbij wordt het digitale leermiddel gebruikt als aanvulling op een les- of werkboek in de klas.
4. Op een bewust gekozen mix van ICT gebaseerde lessen, met een programma dat is aangepast aan de leerling. De rol van de docent kan hierbij radicaal veranderen. Er wordt in veel gevallen geen gebruik meer gemaakt van traditionele leermiddelen zoals les- en werkboeken in de klas.
5. "*Flipping the classroom*". Met deze term wordt de omkering van begeleid oefenen en instructie aangeduid.²⁵⁸ Er kan ook sprake zijn van een hoge mate van productie van materiaal door leerlingen zélf. Met deze omkering wordt beoogd meer ruimte en daarmee aandacht voor leerlingen te creëren in een lesuur.

Het digitaal leren heeft verreweg de grootste impact op digitale connectiviteit. De eerste reden hiervoor is dat digitaal leren mogelijk een intensieve vraag oplevert ten aanzien van connectiviteit: het gaat om veel media (video's, afbeeldingen). De tweede reden is dat digitaal leren grote impact heeft op het kernproces van het onderwijs, namelijk lesgeven. De digitale leermiddelen moeten een hoge mate van betrouwbaarheid en beschikbaarheid kennen. Omdat digitaal leren zo verweven is met de kern van het onderwijs is het tevens de *leidende* casus waarop digitale connectiviteit wordt gedimensioneerd.

9.2.2 Digitaal examineren

Bij digitaal examineren wordt gebruik gemaakt van digitale middelen voor het afnemen van een school- of landelijk examen. Digitaal examineren is met name een thema in het voortgezet onderwijs. We beschouwen digitaal examineren als een uitbreiding op het digitaal leren – in de praktijk kunnen de toepassingen geleverd worden door andere leveranciers, maar binnen dezelfde ICT-omgeving, en op hetzelfde type apparaten. Dat neemt niet weg dat digitaal examineren zijn eigen connectiviteitsvraag kent. We zien de volgende verschillen met het digitaal leren;

- Het is van groot belang dat de digitale examens goed (blijven) werken gedurende een examen. De benodigde connectiviteit moet dus een hoge mate van betrouwbaarheid kennen. Op toepassingsniveau spelen ook de aspecten integriteit en vertrouwelijkheid, maar we verwachten dat deze geen specifieke eisen stellen aan de connectiviteit.²⁵⁹
- In het voortgezet onderwijs is het belangrijk dat de capaciteit afdoende is voor een groot aantal gelijktijdige gebruikers. Een toets wordt in de regel gestart op vaste tijdstippen en met een grote groep leerlingen, wat een piek in dataverkeer kan veroorzaken. Bij het centrale examen is het zelfs zo dat deze tijden landelijk gelden, en bestaat de getoetste groep uit een groter aantal klassen. Aan de andere kant zou digitaal examineren ook het op gespreide tijdstippen afnemen van toetsen mogelijk moeten kunnen maken (bijvoorbeeld door het randomiseren van de toets).

²⁵⁸ Bron: Kennisnet (2015). *Alles wat je moet weten over flipping the classroom*. [kennisnet.nl]

²⁵⁹ We voorzien uiteindelijk (onder andere) end-to-end encryptie op applicatieniveau, en niet op netwerkniveau.

- Er mag geen ongelijkheid ontstaan tussen leerlingen (binnen dezelfde school of tussen scholen), die ertoe leidt dat een toets door de ene leerling beter kan worden gemaakt dan de andere. Als een leerling steeds te maken krijgt met wachttijd binnen de examentoepping kan dit negatieve gevolgen hebben voor het resultaat.

9.2.3 *Digitale procesondersteuning*

Scholen maken in toenemende mate gebruik van leerlingvolgsystemen, waarmee docenten en (in sommige gevallen) ouders en leerlingen zelf hun prestaties kunnen meten en volgen. De elektronische leeromgeving fungeert daarnaast als belangrijkste ingangspunt voor digitaal onderwijs. Naast deze systemen kennen scholen diverse andere systemen, bijvoorbeeld voor financiële- en personeelsadministratie, en documentbeheer. Deze systemen worden net als de leerlingvolgsystemen in toenemende mate als cloudoplossing afgenomen.

9.2.4 *Internettoegang*

Generieke toegang tot het internet is in de onderwijssector van groot belang. Het kan door leerlingen thuis en op school worden gebruikt om informatie te vinden, bijvoorbeeld voor het maken van een werkstuk of huiswerk. Leerlingen doen dit zowel op school (tijdens 'tussenuren' of specifiek daarvoor aangewezen tijdstippen) en vanuit huis. Voor docenten geldt uiteraard ook dat toegang tot online informatie (zoals op methode-sites van uitgevers) belangrijk kan zijn voor het vormgeven van lessen.

Naast onderwijs gerelateerd gebruik gebruiken leerlingen en docenten de toegang tot het internet uiteraard ook voor andere zaken. Veel scholen bieden leerlingen de mogelijkheid om hun eigen smartphone of tablet te verbinden aan een Wi-Fi-netwerk, en staan het gebruik van (bijvoorbeeld) sociale media en spelletjes toe (al dan niet uitsluitend tijdens de pauze). Dergelijke toepassingen kunnen een belangrijke sociale functie vervullen.

9.3 **Match met generiek aanbod**

De impact van de hierboven geschetste trends in termen van digitale connectiviteit speelt zich op een aantal vlakken af. Allereerst speelt de connectiviteit in het klaslokaal. Hiervoor is connectiviteit nodig op de schoollocatie, met een van het aantal leerlingen afhankelijke capaciteit. Ook binnen de school is de nodige infrastructuur vereist om de digitale leermiddelen tot hun recht te laten komen.

9.3.1 *Digitaal leren*

Bij digitaal leren wordt in de regel gebruik gemaakt van een toepassing die is ontwikkeld (en wordt gehost) door een uitgever. De elektronische leeromgeving van de school vormt de 'toegangspoort' hiertoe voor de leerling.

De hierboven beschreven inzet van digitaal leren stelt hoge eisen aan digitale connectiviteit. We zien de volgende functionele vereisten ten aanzien van connectiviteit:

- Er is communicatie nodig tussen datacenters en/of vestigingen (bijvoorbeeld voor consolidatie van internet- en telefonieverkeer), en de datacenters van uitgevers (ten behoeve van de digitale leermiddelen en bijvoorbeeld elektronische leeromgevingen).

- Naast de hierboven genoemde connectiviteit tussen specifieke locaties/diensten is generieke connectiviteit met het internet van belang. Leerlingen of docenten moeten thuis of zelfs mobiel van de digitale leermiddelen gebruik maken.
- Het moet mogelijk zijn gebruik te maken van videodiensten (YouTube en andere videoplatforms, bijvoorbeeld ten behoeve van *flipping the classroom*).
- Het moet mogelijk zijn om in de klas iedere leerling gebruik te laten maken van een of meerdere eigen device(s) (bijvoorbeeld tablet).
- De inzet van smartboards moet mogelijk zijn.
- De verbinding moet de (toekomstige) inzet van videoproductie- en presentatieplatformen ten behoeve van afstandsleren mogelijk maken.
- De verbinding moet betrouwbaar genoeg zijn om wanneer dat nodig is (tijdens lestijd en daarbuiten) toegang te hebben tot leerlinginformatie- en leerlingvolgsystemen.

Verderop gaan we nader in op de *specifieke* connectiviteit die nodig is voor de casus digitaal leren.

9.3.2 *Digitaal examineren*

Op het eerste gezicht lijkt digitaal examineren, voor wat betreft de connectiviteitsbehoefte, sterk op digitaal leren. Het type content en applicatie lijkt veel op die van het digitaal leren, en alle eisen die digitale leermiddelen daaraan stellen gelden ook voor digitaal examineren. Daar bovenop stelt digitaal examineren strengere eisen ten aanzien van betrouwbaarheid en beschikbaarheid.

9.3.3 *Digitale proces- en leerondersteuning*

Leerlingvolgsystemen ondersteunen diverse processen ter ondersteuning van de leerling. Waar de systemen in eerste instantie relatief 'ver' weg stonden van het onderwijs zélf, zien we dat er in toenemende mate integratie plaatsvindt, waarbij de leerlingvolgsystemen worden ingezet om lesmateriaal te adapteren aan leerlingen. Naast leerlingvolgsystemen maakt een school veelal gebruik van andere systemen, bijvoorbeeld voor financiële administratie en personeelszaken.

De ondersteunende systemen worden veelal 'in de cloud' als webapplicatie aangeboden. Vanwege het feit dat ze zo belangrijk zijn voor het dagelijkse functioneren van een school is de betrouwbaarheid van de benodigde connectiviteit van groot belang (ook aan zijde van de uitgever/aanbieder). Aan de andere kant valt de gevraagde bandbreedte relatief mee en zijn er minder stringente eisen aan latency. De applicaties zijn als webapplicatie niet veel anders dan de typische webapplicaties die nu over internet worden aangeboden en gebruikt in de consumentenmarkt. Derhalve zien we geen specifieke connectiviteitsvraag die niet door generiek aanbod kan worden voorzien.

9.3.4 *Internettoegang*

De vraag naar generieke toegang tot het internet speelt zowel bij docenten en leerlingen thuis als op school.

Op school is de belangrijkste vraag, met betrekking tot digitale connectiviteit althans, hoe ver de school moet gaan in het faciliteren van niet-onderwijsgerelateerd gebruik: moet de

school haar aansluiting verzwaren omdat leerlingen peer-to-peer filesharingtoepassingen gebruiken? In veel gevallen zien we scholen ervoor kiezen om de connectiviteit te (over)dimensioneren op de casus voor digitaal leren en -examineren.

Er is hier sprake van een zeker 'verdeeffect', in de zin dat een leerling die op een bepaald moment geen les heeft weliswaar het internet generiek gaat gebruiken, maar ondertussen geen gebruik maakt van een digitaal leermiddel in de klas. Ook tijdens pauzes wordt de connectiviteit voor digitale leermiddelen 'omgeruild' voor generieke connectiviteit. We pleiten er uiteraard wel voor dat scholen hun interne infrastructuur goed configureren, zodat het onderwijsgerelateerd gebruik eventueel 'voorrang' krijgt op het netwerk.

9.4 Casus: Digitaal Leren

In recent onderzoek in opdracht van het 'Doorbraakproject Onderwijs en ICT' is geïnventariseerd in hoeverre de digitalisering in het onderwijs en het verwachte gebruik van digitale leersystemen leidt tot een snel toenemende behoefte aan bandbreedte (Bandbreedtewijzer) en in hoeverre PO- en VO-scholen met hun huidige digitale connectie voldoende toekomstvast zijn toegerust.²⁶⁰ Aansluiting op hoogwaardig breedband is dan ook een actueel thema in de sector.

Er is een aantal redenen waarom de connectiviteitsvraag voor digitaal leren waarschijnlijk niet (volledig) met generieke connectiviteit kan worden gerealiseerd:

- Gezien de gestelde eisen ten aanzien van betrouwbaarheid zien we dat scholen zich zullen moeten oriënteren op de markt voor zakelijke connectiviteit. Hierbij worden door operators garanties afgegeven ten aanzien van 'uptime' van de verbinding, overboekingsniveaus, en de tijd die het maximaal kost voordat een niet werkende verbinding is gerepareerd.
- Scholen hebben behoefte aan ondersteuning, met name bij beveiligings- en verbindingproblemen. In de markt is reeds aanbod specifiek gericht op onderwijs, al kan het aanbod mogelijk nog verder worden uitgewerkt.
- Scholen hebben een grotere connectiviteitsbehoefte dan individuele huishoudens (zowel ten aanzien van de technische als de beheersmatige eisen). Desondanks bevindt een deel van de scholen zich op een locatie waar alleen generieke connectiviteit op consumentenniveau beschikbaar is.
- De verwachte groei in de inzet van digitale leermiddelen vraagt dat de connectiviteit toekomstvast is. Niet alle generieke vormen van connectiviteit zijn dit.
- Het realiseren van een (groot)zakelijke aansluiting is vaak (en zeker op de meer afgelegen locaties) erg kostbaar.
- Het lijkt aannemelijk dat de variatie en het aantal devices in de klas en het schoolgebouw flink zal toenemen. De variëteit van de devices kan een uitdaging vormen voor zover beheer als connectiviteit binnen de school (denk bijvoorbeeld aan apparatuur met een oudere versie van het Wi-Fi-protocol, wat bij gelijktijdig gebruik met

²⁶⁰ Bron: Dialogic (2015), *Inventarisatie hoogwaardige breedbandaansluitingen PO- en VO-scholen*, i.o.v. Doorbraakproject Onderwijs en ICT, Utrecht.

nieuwere apparatuur leidt tot lagere snelheden voor alle devices). Beleid op school-niveau kan hierin wel sturen.

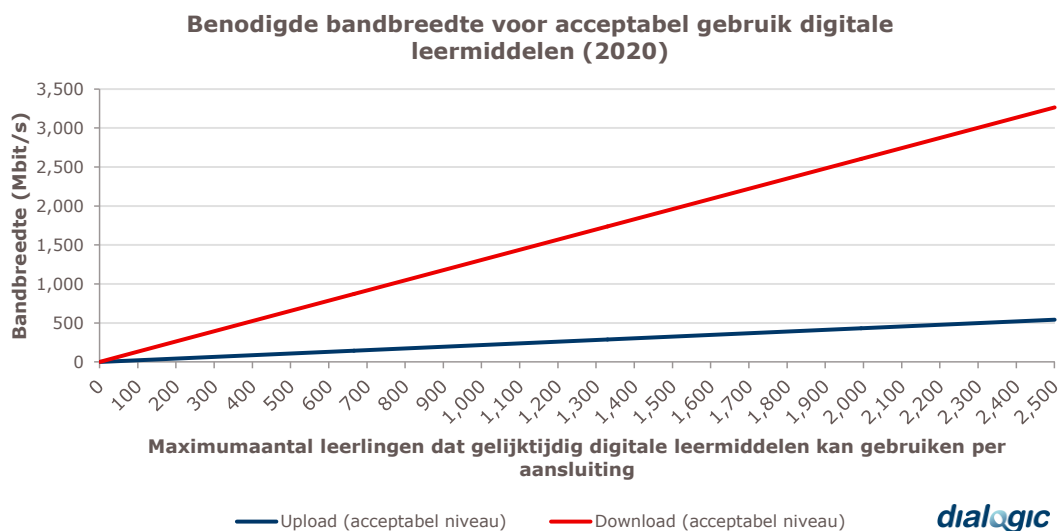
9.4.1 Bandbreedte

De digitale leermiddelen bestaan in toenemende mate niet alleen meer uit tekst, maar ook uit (bewegend) beeldmateriaal en interactieve onderdelen. Het ligt in de lijn der verwachting dat ook technologieën als *virtual* en *augmented reality* het onderwijs zullen bereiken – een aantal scholen experimenteert er al mee. Dergelijke inhoud trekt uiteraard een zware wissel op digitale connectiviteit.

Er worden door uitgevers en scholen zorgen geuit ten aanzien van het piekverbruik van bandbreedte die zich zou voordoen bij de start van de schooldag, of bijvoorbeeld vlak na de pauze. Zoals we eerder aangaven is het kostbaar om de infrastructuur zodanig te dimensioneren dat alle leerlingen de volledige bandbreedte ter beschikking hebben gedurende dit piekmoment. Door het meenemen van een beschikbaarheidsfactor leidt het model echter wel tot een bandbreedte die de maximale tijd dat de verbinding minder goed beschikbaar is voor een leerling beperkt blijft. Binnen de periode van beperkte beschikbaarheid laden pagina's mogelijk iets langzamer (uitstelbaarheid), en hebben video's mogelijk een lagere kwaliteit (adaptie). Het is echter niet zo dat direct een onwerkbare situatie ontstaat.

Tabel 18. Verwachte groei van het verkeersvolume per leerling per les van 50 minuten als gevolg van intensiteitsgroei digitale leermiddelen.

	Groei	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Download (MB/leerling/les)	26%	63	80	100	126	158	200
Upload (MB/leerling/les)	34%	6	8	12	15	20	27



Figuur 40 Benodigde bandbreedte voor acceptabel gebruik digitale leermiddelen (in 2020)²⁶¹

Het is, als gevolg van bovenstaande en gelijktijdig gebruik, niet mogelijk te spreken over een aantal Mbit/s dat nodig is per leerling. Uit onderzoek van Dialogic volgt dat een school in 2020 met 1.000 leerlingen een verbinding met een snelheid van 1,3 GBit/s (download) en

²⁶¹ Bron: Bandbreedtewijzer Dialogic ten behoeve van het Doorbraakproject Onderwijs en ICT. Beschikbaar via: kennisnet.nl

215 Mbit/s (upload) nodig heeft voor acceptabel gebruik van digitale leermiddelen. Hierbij wordt uitgegaan van één device per leerling²⁶², waarbij alle 1000 leerlingen tegelijkertijd gebruik maken van een digitaal leermiddel. Figuur 40 en Tabel 18 hierboven tonen de benodigde snelheden voor respectievelijk verschillende schoolgroottes en door de tijd (voor een gegeven schoolgrootte).

Bovenstaande figuur geeft inzicht in de bandbreedte die minimaal nodig is voor *acceptabel* gebruik van digitale leermiddelen. Naast digitaal leren speelt uiteraard ook andere (specifieke en generieke) bandbreedtebehoefte. SURF geeft aan dat het haar netwerk op dusdanige wijze dimensioneert, zodat connectiviteit geen belemmering vormt in het gebruik. Hoewel niet valt te ontkennen dat méér connectiviteit scholen wellicht nóg meer mogelijkheden kan geven, is het ook weer niet de bedoeling om scholen op hoge kosten te jagen. Daarnaast is alleen het aanbieden van zeer goede connectiviteit niet het enige dat nodig is om maximaal rendement te halen uit digitale toegang.

Voor een aantal scholen is de hoeveelheid beschikbare bandbreedte op dit moment problematisch. Dit is met name het geval in gebieden waar het kopernetwerk de enige beschikbare infrastructuur is, en waarbij de school ver van de KPN-centrale verwijderd is. Voor een aantal scholen wordt het bandbreedteplafond naar verwachting op korte termijn al bereikt. Een belangrijke vraag voor zowel koper- als kabelgebaseerde aansluitingen is of ook in de uploadrichting voldoende bandbreedte is, daar de uploadsnelheid voor dergelijke aansluitingen in veel gevallen significant lager is dan de maximale downloadsnelheid.²⁶³

9.4.2 Latency

Onderzoek heeft uitgewezen dat lange wachttijden bij het gebruik van digitale leermiddelen de effectiviteit van het leermiddel en prestaties van de leerling negatief kan beïnvloeden. Uitgevers geven aan dat wachttijd een belangrijkste parameter is waarop de performance van digitale leermiddelen wordt gemeten. Een typisch criterium is dat een actie (bijvoorbeeld het laden van een pagina) niet langer dan één of twee seconde mag duren.

Latency is weliswaar een vorm van 'vertraging' op de verbinding, maar leidt niet direct tot de gepercipieerde wachttijd. In de praktijk zien we dat vooral beperkte bandbreedte zorgt voor langere laadtijden. Als het gaat om 'zware' content zoals audiovisueel materiaal wordt de wachttijd veroorzaakt door buffering van het materiaal.

In de toekomst wordt met name voor virtual en augmented reality-toepassingen alsook 'tactiele' toepassingen een zeer lage latency gevraagd. Real-timetoepassingen (zoals audio- en videostreaming) stellen nu al hogere eisen aan de maximale latency. Deze eisen worden vooralsnog gehaald door alle beschikbare infrastructuren.

9.4.3 Dekking

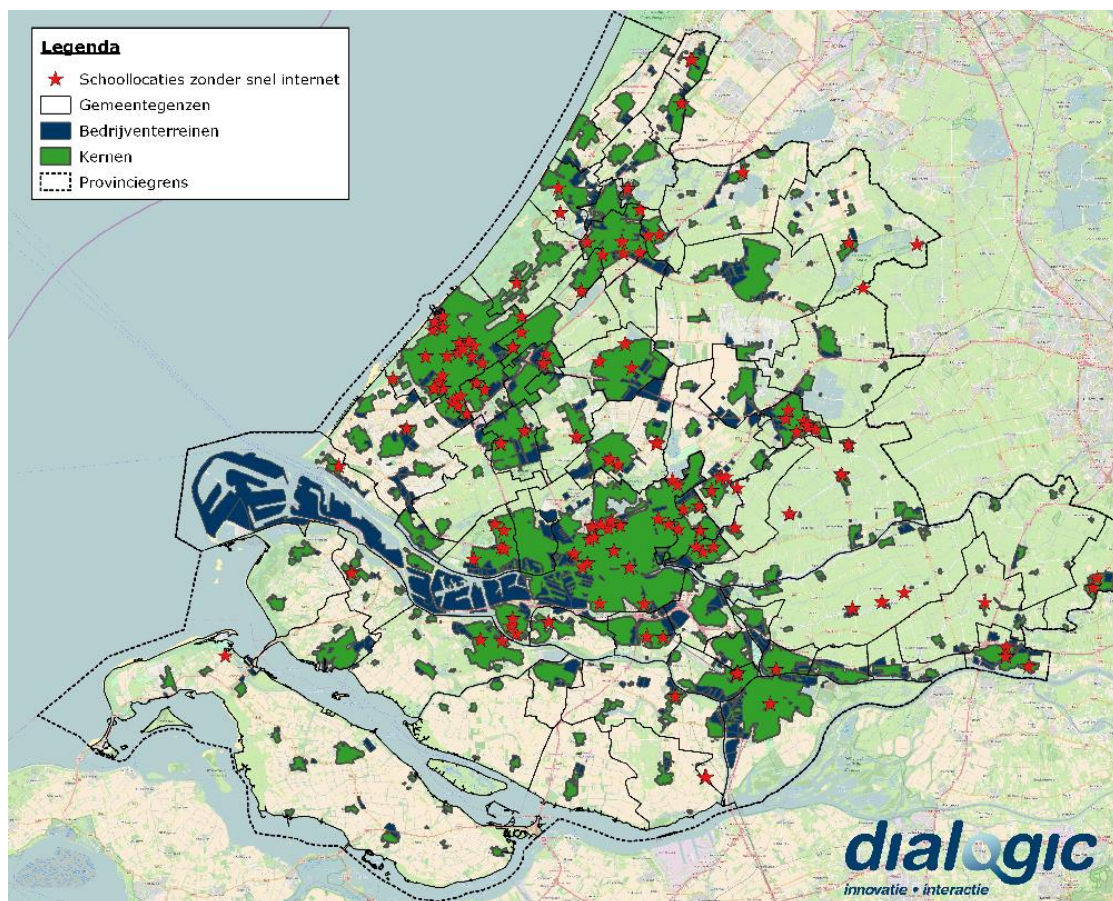
Het is te verwachten dat de meeste scholen niet kunnen volstaan met 'consumer grade' aansluitingen. Een aansluiting van zakelijk niveau biedt de vereiste beschikbaarheids garanties (in toenemende mate relevant, met name wanneer digitaal wordt getoetst),

²⁶² In het middelbaar onderwijs is het aantal leerlingen per device in eerste instantie teruggelopen, doordat van computerlokalen naar tablets en laptops in de klas werd overgeschakeld. Het is de verwachting dat uiteindelijk ook hier sprake zal zijn van (tenminste) één device per leerling.

²⁶³ Voor glasvezelaansluitingen geldt over het algemeen dat de maximumsnelheid voor uploadverkeer even hoog is als voor downloadverkeer. Op koper en kabel is dit in het algemeen niet het geval voor consumenten aansluitingen (daar zien we verhoudingen van 1:6 – 1:12), maar soms wel mogelijk voor zakelijke aansluitingen.

ondersteuning en technische eigenschappen. Zakelijke aansluitingen kunnen relatief goedkoop (dat wil zeggen, zonder grote investeringen voor het daadwerkelijk aanleggen van infrastructuur) worden gerealiseerd wanneer een school zich in een gebied bevindt waar ook hoogwaardige 'consumer grade' infrastructuur aanwezig is (bijvoorbeeld een kabel- of glasvezelaansluiting).

Wanneer een school zich niet in de buurt van hoogwaardige (consumenten)infrastructuur bevindt, is het realiseren van een geschikte aansluiting een stuk kostbaarder. Er zal voor deze scholen een eigen (groot)zakelijke aansluiting moeten worden gerealiseerd. Uit een inventarisatie van Dialogic (en later Stratix) blijkt dat circa 826 scholen, met name in het buitengebied, hierdoor niet over de benodigde infrastructuur kunnen beschikken.²⁶⁴ We verwachten dat de echte probleemgroep, dus daar waar het echt ontbreekt aan aanbod en nieuwe verbindingen erg kostbaar zijn, beperkter is dan deze totaalgroep. We zien dat een substantieel deel van de scholen uit deze groep in de kernen gesitueerd zijn, waardoor het (gepercipieerde) probleem relatief eenvoudig oplosbaar zou moeten zijn. Het kan zijn dat deze locaties in het verleden niet aangesloten zijn op het kabelnetwerk, of dat het een nevenlocatie van de aangrenzende schoollocatie betreft. Figuur 41 geeft ter indicatie de ligging van de desbetreffende scholen in Zuid-Holland weer.



Figuur 41. Schoollocaties zonder glas zonder coax.²⁶⁵

²⁶⁴ Bron: Doorbraakproject Onderwijs & ICT (2016). *Connectiviteit voor scholen*. [doorbraakonderwijs-nict.nl]

²⁶⁵ Bron: [doorbraakonderwijsnict.nl]

9.4.4 *Betrouwbaarheid*

Zeker bij de meer geavanceerde vormen van digitaal leren betekent uitval van de infrastructuur dat lessen geen doorgang kunnen vinden. Afhankelijk van de mate van integratie van digitaal leren in het onderwijs zal een docent wellicht nog wel kunnen terugvallen op 'ouderwetse' leermethoden en -middelen, zoals een whiteboard. Wenselijk is dat uiteraard niet, zeker wanneer een school in hoge mate gepersonaliseerd leren aanbiedt.

De betrouwbaarheid van de verbinding kan worden gedefinieerd in termen van 'uptime' (de verbinding moet 99.9% van de lestijd beschikbaar zijn). Een tweede belangrijkere parameter is de *mean-time-to-repair*, die aangeeft hoe lang het duurt voordat een onderbroken verbinding door de aanbieder is hersteld. Wanneer de verbinding uitvalt tijdens lestijd bepaalt deze parameter vrijwel rechtstreeks hoeveel uren onderwijs verloren gaan.

9.4.5 *Overige indicatoren*

Kennisniveau

Het kennisniveau van scholen ten aanzien van digitale connectiviteit is beperkt, met name in het PO. De standaard dienstverlening en ondersteuning (service levels) voor zowel de connectiviteit als de gerelateerde internet infrastructuur sluit hierdoor niet goed aan.

Interne en overige infrastructuur

De hoge mate van gelijktijdig gebruik en gevraagde niveau van betrouwbaarheid leent zich niet voor het gebruik van *consumer grade* verbindingen en apparatuur op scholen. Kennis over welke infrastructuur en apparatuur nodig is niet altijd beschikbaar, de infrastructuur zelf is niet altijd beschikbaar, en veelal is geen geld voor het verbeteren van de infrastructuur. Er lopen inmiddels wel diverse initiatieven op een aantal van deze vlakken.

Meer dan in andere sectoren moet digitale connectiviteit in de onderwijssector bestand zijn tegen 'digitaal kattenkwaad' (zoals DDoS-aanvallen, of het zwaar belasten van de Wi-Fi). Bij digitaal examineren heeft dit punt uiteraard nog eens extra relevantie.

Betalingsbereidheid

De betalingsbereidheid van scholen kan een knelpunt vormen bij het realiseren van de benodigde connectiviteit. We zien hier een aantal specifieke situaties. Allereerst is er een aantal scholen dat voor een substantiële investering staat om een aansluiting te laten realiseren, maar daar het geld niet voor heeft. Een andere categorie betreft scholen die wel over de benodigde aansluiting beschikken, deze kunnen 'upgraden' naar het benodigde niveau, maar daar niet in willen investeren. Een derde categorie scholen heeft beschikking over de benodigde infrastructuur (er is bijvoorbeeld glas aangelegd), maar durft niet te switchen of niet te investeren in een switch naar de hoogwaardige infrastructuur. De kwaliteitsvereisten in de onderwijssector vragen om het gebruik van zakelijke aansluitingen. Niet alle scholen blijken echter bereid of in staat om hier de benodigde financiële middelen tegenover te zetten. Hetzelfde geldt in situaties waar scholen over de huidige aansluiting meer bandbreedte nodig hebben en ook kunnen krijgen, maar hier toch niet voor kiezen.

In enkele gevallen lijken scholen op te zien tegen het 'switchen' tussen infrastructuren – zelfs wanneer al een hoogwaardige aansluiting in het pand gerealiseerd is, kan de school afzien van switchen vanwege de kosten of (gepercipieerde) risico's daarvan.

9.4.6 Conclusie

Het steeds intensiever gebruik van ICT-applicaties tijdens het onderwijs ('digitaal leren') heeft voor wat betreft connectiviteit met name consequenties voor de benodigde bandbreedte. De gelijktijdigheid van gebruik van apparatuur is sterk bepalend voor de behoefte aan bandbreedte. De hoge verwachte vraag naar bandbreedte, en de wens uit de onderwijssector om niet het minimaal acceptabele ter beschikking te hebben, maar juist voorop te kunnen lopen, vraagt om voldoende hoogwaardige en toekomstvaste infrastructuur.

9.5 Knelpunten

Ten aanzien van digitale connectiviteit zien we in hebben we, op basis van onze casus, de volgende knelpunten vastgesteld (Tabel 19). We vertrekken hierbij vanuit de sectorcasus en vullen die, waar mogelijk, aan met sectorbrede observaties.

Tabel 19 Overzicht knelpunten in markt voor digitale connectiviteit in de onderwijssector (**bold** = knelpunt, *italic* = mogelijk knelpunt)

Indicator	Uitkomst	Knelpunt in markt	
		0-5 jaar	5-10 jaar
Bandbreedte	Grote scholen (750+ leerlingen) hebben mogelijk een bandbreedtevraag die niet met generiek aanbod kan worden geleverd. Een aantal scholen heeft, ondanks de beschikbaarheid van internetinfrastructuur, niet de beschikking over de benodigde bandbreedte vanwege ligging (zie hieronder punt 'dekking'). Piekgebruik (aan het begin van een lesuur en examens) kan een issue zijn, afhankelijk van de implementatie van digitale leer- en examenmiddelen.	Access	Access
Latency	Wachttijden bij het gebruik van digitale leermiddelen zijn erg belangrijk, maar verwachten we vooral als gevolg van beperkte bandbreedte. Applicaties die zeer lage latency vereisen worden op dit moment weinig ingezet in het onderwijs. We voorzien geen wijdverspreide inzet hiervan in 2020. Wel kunnen ontwikkelingen als tactiel internet, augmented en virtual reality relevant worden voor het onderwijs, en we zien scholen hier nu al mee experimenteren. De ervaren reactie/wachttijd van toepassingen is uiteraard wel belangrijk (en mogelijk van invloed op de leerprestaties), maar zal eerder worden bepaald door bandbreedtebeperkingen dan door latency.	n.v.t.	<i>Access</i>
Dekking	Circa 826 scholen (zie eerdere onderzoeken Dialogic en Stratix) bevinden zich buiten dekkinggebied van internetinfrastructuur die kan voldoen aan de behoefte, omdat geen kabel- of glasinfrastructuur beschikbaar is. Het laten realiseren van een individuele, (groot)zakelijke	Access	Access

	aansluiting is voor veel scholen buiten bereik vanwege de hoge kosten en betalingsbereidheid.		
Betrouwbaarheid	Betrouwbaarheid is essentieel wanneer digitale leermiddelen het primaire onderwijsproces vervangen. Specifiek in deze sector is er bovendien op specifieke (toets)moment een strengere eis omtrent de betrouwbaarheid van het netwerk. Behalve de beloofde uptime van de verbinding is de 'mean time to repair' tijdens leestijd een belangrijke parameter.	<i>Diensten</i>	<i>Diensten</i>
Overig	Kennisniveau: er is, met name in het primair onderwijs, een beperkt kennisniveau ten aanzien van digitale connectiviteit. Interne en overige infrastructuur: de interne infrastructuur is niet altijd goed op orde (met name vanwege gebrek aan het daarvoor benodigde kennisniveau, en de manier waarop infrastructuur wordt ingekocht) Betalingsbereidheid: er bestaat variatie in de betalingsbereidheid en de mogelijkheden tot opwaardering.	Diensten	Diensten

9.6 Verklarende factoren

Na vaststelling van de verschillende knelpunten ten aanzien van digitale connectiviteit staat de vraag centraal welke factoren de mismatch tussen vraag en aanbod kunnen verklaren. We plotten hiervoor de knelpunten op de markten voor digitale connectiviteit zoals we die in ons conceptuele model (paragraaf 2.2.3) hebben geordend.

9.6.1 Beperkte dekking van aansluitnetwerken

Er is een groep scholen waar op dit moment het ontbreekt aan zowel een coax- als een glasvezelverbinding. Gelijk aan de algemene buitengebiedsdiscussie die we in de agrosector hebben toegelicht, komt dit in het geval van de scholen in de dunbevolkte gebieden voort uit eerdere investeringsbeslissingen vanuit de markt. De concentratie afnemers was ten tijde van realisatie te laag. Hoewel we verwachten dat een deel van deze scholen alsnog relatief eenvoudig aangesloten kunnen worden, bijvoorbeeld doordat er (inmiddels) wel andere hoogwaardig aanbod in de buurt is, is het voor echt kleine scholen in het buitengebied niet mogelijk om op eigen kracht tot een oplossing te komen. Dit knelpunt in de markt voor access zal dus blijven bestaan.

Naast de directe effecten, zijn er twee interessante neveneffecten als gevolg van de beperkte dekking van aansluitnetten te zien. De aspecten hebben een impact op de vraag naar diensten in deze sector:

- Uitgevers ontwikkelen hun leermateriaal zodat zoveel mogelijk scholen gebruik kunnen maken van de digitale leermiddelen. Een gemiddeld slechte connectiviteit remt de ontwikkeling van goede (Nederlandse) digitale leermiddelen. Voor digitaal examineren moeten ontwikkelaars zich zelfs op de kleinste gemene deler richten, waardoor de mogelijkheden nog beperkter zijn.

- Er is veel variatie in de connectiviteit die leerlingen thuis tot hun beschikking hebben, met name in het buitengebied.

9.6.2 *Onzekerheid met betrekking tot doorontwikkeling vaste aansluitnetwerken*

Naast de locaties in het buitengebied, zien we in sommige gevallen een (toekomstige) mismatch in de vraag naar connectiviteit in de kernen. Bij met name de grotere scholen kan in de nabije toekomst een behoefte naar hogere snelheden (down- en/of upload) ontstaan dan op dit moment via de bestaande generieke infrastructuur geboden kan worden. Waar een school nu wellicht nog goed bediend kan worden door coax of snelle DSL (en later G.Fast), kan dit op termijn toch een knelpunt worden. In dat geval ligt de stap naar glasvezel voor de hand.

9.6.3 *Rem op vraag naar diensten*

De andere, minstens net zo prominente factoren, spelen op de markt voor specifieke connectiviteitsdiensten (markt A). Binnen het primair onderwijs, en in mindere mate in het voortgezet onderwijs, is de kennis op het gebied van ICT, en in het bijzonder digitale connectiviteit, beperkt. Investeringsbeslissingen met betrekking tot inkoop van zowel interne infrastructuur als basale connectiviteit komt hierdoor niet altijd goed tot stand. Er zijn echter scholen waar op dit moment wel de mogelijkheid bestaat om een sneller aanbod af te nemen of tegen beperkte kosten een nieuwe aansluiting te laten realiseren, maar waar het op dit moment bij het bestuur ontbreekt aan de juiste kennis of prikkels. We constateren daarbij dat de uitgevers en andere leveranciers op dit moment hun leermiddelen zodanig schalen, dat deze voor vrijwel iedere school bruikbaar is, waardoor de slecht bediende scholen het aanbod voor de koplopers negatief beïnvloed. Dit is met name het gevolg van informatie-asymmetrie en coördinatiegebreken.

10 Digitale connectiviteit in zorg en gezondheid

In dit hoofdstuk gaan we nader in op de behoefte aan digitale connectiviteit in de sector zorg en gezondheid. We kiezen voor een ruime afbakening van deze sector en nemen brede ontwikkelingen op het gebied van gezondheid en welzijn mee in onze analyse. We beschouwen deze sector vanuit drie primaire IT-ecosystemen: de zorg, research en patiënt/cliënt/burger. We vertalen hiervoor de brede sectortrends in de vraag naar digitale connectiviteit en bepalen vervolgens in welke mate het generieke aanbod hierin kan voorzien. Aansluitend behandelen we de geselecteerde casus, waarin we de meest uitdagende verwachte vraag naar connectiviteit nader beschouwen. Hieruit volgen de door ons vastgestelde knelpunten en de verklarende factoren die hieraan ten grondslag liggen.

10.1 Sectortrends

Als we de ontwikkeling van de zorg- en gezondheidssector over de komende vijf tot tien jaar beschouwen vallen de volgende trends op:

- Verdergaande extramuralisering / delokalisering zorg;
- sterkere behoefte aan integrale ketenzorg;
- digitalisering gezondheid, toename zelfmanagement en personalisering;
- eigenaarschap data verandert;
- ICT-sector ziet zorg en gezondheidssector als groeimarkt.

In deze paragraaf wordt dieper ingegaan op de trends die spelen in de zorg en gezondheidssector, zowel sectorbreed als op het gebied van digitalisering. Daarbij onderscheiden we drie IT-ecosystemen en hun bouwblokken, te weten:

1. De zorg – ziekenhuisinformatiesystemen, huisartsinformatiesystemen, keteninformatiesystemen, verzekeraarsdeclaratiesystemen en imagingsystemen.
2. Research – veelal gesloten researchsystemen met *trusted third parties*, universiteitssystemen en biobanken.
3. Patiënt/cliënt/burger – apps, wearables, m-health, social media en platformen voor informele zorg.

10.1.1 Zorg

De financiële druk op het zorgsysteem leidt ertoe dat zorg, verpleging en monitoring steeds meer thuis of buiten de zorginstelling plaats hebben (*extramuralisering van de zorg*). Dit geldt zowel voor eerstelijns zorg als voor tweedelijns zorg. Tevens zien we migratie van tweedelijnszorg naar eerstelijnszorg.

Over de hele linie zet men in op zorg-op-afstand: bij diagnose, consult, behandeling, monitoring en nazorg. Hierdoor zullen ziekenhuizen op termijn zullen veranderen in sterk gespecialiseerde kenniscentra die focussen op uitvoering van hoogwaardige ingrepen (*concentratie van de zorg*). Sterkere specialisatie vergt vervolgens ook meer afstemming tussen zorgprofessionals op verschillende locaties.

Een tweede ontwikkeling betreft een steeds sterkere behoefte aan *integrale ketenzorg*, met name bij chronisch zieken. De complexere zorgvraag doet een groter beroep op ketenafstemming en vergt meer uitgebreide gegevensuitwisseling en gemeenschappelijke toegang tot digitale platformen.

10.1.2 Research

In researchomgevingen zien we een toename in dataverkeer. Dit is gevolg van toenemende frequentie van gegevensuitwisseling tussen instellingen (vooral nationaal maar ook internationaal) en steeds groei van de grootte van databestanden (radiologie, digitale pathologie, genomics). De sterke groei in beschikbare data vraagt ook om andere (big data) analysemethoden. Ontwikkelingen op het gebied van *deep learning*, *precision diagnostics* (zoals *IBM Watson*) spelen in op het benutten van de groeiende datastromen. Zo werken farmaceuten, wetenschappers en zorgaanbieders steeds vaker samen in het opstellen van voorspellende modellen om gepersonaliseerde zorg aan te bieden.

10.1.3 Patiënt/cliënt/burger

Er is een verschuiving van paternalistische zorg naar zorg waarin de zorgvrager steeds meer zelf een actieve rol inneemt (informed consent, shared decision making) en activiteiten van de zorgverlener overneemt (*co-producer on health*). Bij zelfmanagement, participatie en informele zorg zien we een toenemend belang van medische en gezondheidsinformatie, waarbij steeds vaker de burger/patiënt/cliënt in plaats van de zorgaanbieder als bron van data fungeert. Deze paradigmaverschuiving zal naar verwachting leiden tot meer democratisering van de zorg.

De datageneratie door burger/patiënt/cliënt trekt de aandacht van grote bedrijven zoals Facebook, Apple, Amazon, Google, en Philips. Vernieuwing en efficiëntieverbetering zijn steeds meer afkomstig van nieuwkomers vanuit het generieke (IT-)domein.

In samenhang met de extramuralisering wordt de zorg digitaler. Zo zal telecare een grotere rol gaan spelen in zorg en welzijn van burgers en (chronisch zieke) patiënten. Ook ontstaan er portalen voor (in)formele zorg, zoals Pazio en Zo-dichtbij.

10.2 Vraag naar digitale connectiviteit

Binnen de zorg en gezondheidssector is er steeds meer vraag naar digitale connectiviteit. Deze vraag ontstaat deels vanuit de sectortrends, maar staat er in sommige gevallen ook los van. In deze paragraaf beschrijven we verschillende toepassingen in de zorg, research en voor de patiënt/burger/cliënt die een eigen vraag naar digitale connectiviteit genereren.

10.2.1 Zorg

Onder invloed van de verdergaande vergrijzing en de sterk oplopende zorgkosten zien we dat er steeds meer digitale zorg- en gezondheidstoepassingen worden ingezet in de Nederlandse sector voor zorg en gezondheid.

Zorg-op-afstand

Er ontstaat een grote diversiteit aan telecare, waaronder e-consulten, online therapie, domotica toepassingen of serious games. Als we kijken naar belemmeringen van inzet van de zorg-op-afstand zien we dat deze veelal weinig te maken hebben met connectiviteitsissues.

Medisch specialisten vormen een nichemarkt waar behoefte is aan zeer hoogwaardige connectiviteit. Het gaat hier om ontwikkelingen als telesurgery en augmented reality. Momenteel

wordt telesurgery vooral ingezet bij complexe ingrepen die veelvuldig dienen te worden uitgevoerd, zoals een prostaatoperatie met behulp van een Da Vinci operatierobot. Naarmate ziekenhuizen sterker specialiseren neemt de vraag naar telesurgery toe. In sommige gevallen wordt bij telesurgery augmented reality ingezet. Bij telesurgery worden bijvoorbeeld de handen van de chirurg die op afstand werkt geprojecteerd op het beeld van de microscoop die de chirurg ter plaatse hanteert. Telesurgery vergt een zeer hoge betrouwbaarheid, hoge bandbreedte zowel down- als upstream en een lage latency.

Integrale ketenzorg

Ketenafstemming vraagt om IT-toepassingen voor dynamische regievoering en om hoogwaardige connectiviteit tussen ketenpartners. Echter, als we nader beschouwen wat nu informatie-uitwisseling belemmert, zien we dat dit voornamelijk wordt gedreven door andere issues dan digitale connectiviteit.

10.2.2 Research

De uitwisseling van grote databestanden tussen onderzoeksinstituten en academische ziekenhuizen vraagt om hoogwaardige verbindingen. Het gaat hierbij om 'massieve' data, waaronder patiëntgegevens voor onderzoeksdoeleinden, röntgenfoto's, MRI- en CT-scans, mammografieën en data voor trainingsdoeleinden. Ook dataverkeer voor *deep learning* en *precision diagnostics*, (IBM Watson en andere technologieën) stellen hoge eisen aan de digitale connectiviteit.

Een voorbeeld van een *precision diagnostics* technologie betreft IBM Watson. Dit is een cognitieve technologie die machine learning en natuurlijke taalverwerking gebruikt om inzichten te verkrijgen uit ongestructureerde informatie (tekst, plaatjes, audio en video). In de zorg kan IBM Watson worden ingezet als beslissingsondersteunend systeem voor klinische vraagstukken. Vooral nog gaat dit om verhoogd nationaal en internationaal dataverkeer tussen onderzoeksinstituten en datacenters enerzijds en uitwisseling tussen researchinstellingen en (met name academische) ziekenhuizen anderzijds.

10.2.3 Patiënt/cliënt/burger

Zorg-op-afstand

De recent ingezette extramuralisering vereist meer gebruik van applicaties voor zorg-op-afstand, zoals videoconsult, noodknoppen, valdetectie, connected medicijnendispensers, et cetera. Deze toepassingen hebben uiteenlopende eisen aan digitale connectiviteit. Zo vergt videoconsult een verbinding die beschikbaar is bij de patiënt of cliënt thuis, met hoge bandbreedte en lage latency. Een applicatie als valdetectie heeft weinig bandbreedte nodig maar vereist een zeer betrouwbare verbinding. Vooral in domoticatoepassingen met lage bandbreedtebehoefte zal IoT een belangrijke rol gaan innemen.

Continue monitoring zorg en welzijn

Naast thuis, zien we ook een stijgende connectiviteitsvraag onderweg. Met behulp van smartphones en wearables kan iedereen zelf allerlei lichaamsfuncties, slaapritmes, voeding, beweging et cetera monitoren. De mogelijkheden van wearables nemen exponentieel toe en verschuiven van lifestylegadgets naar 'echte' medische toepassingen die bloeddruk, bloedsuiker, hartslag, lichaamstemperatuur et cetera meten. Deze zullen uiteindelijk voor een groot publiek beschikbaar komen en steeds betrouwbaarder worden. RVZ (2015) noemt toepassingen als 'smartphoneversies' van elektronische stethoscopen, oor- en oogspiegels, ECG- en manchetloze continue bloeddrukmonitoren, zakformaat echoapparaten, medicijnen

met een ingebouwde chip en slimme contactlenzen, beslissingsondersteunende systemen zoals WatsonPaths van IBM.²⁶⁶

Naast wearables zien we een groot aantal ontwikkelplatformen in opkomst met hierop lifestyle en wellness apps, persoonlijke begeleidingssystemen, gezondheidsinformatie, toepassingen voor medicatieherinnering et cetera. Wearables en apps genereren allen grote hoeveelheden data. Het verdienmodel van apps zit hem vaak in benutting van deze data. Verschillende spelers in de markt proberen data naar zich toe te trekken, omdat de integratie van gezondheidsgegevens grote commerciële waarde kent. Dit doen ze door ontwikkelplatforms te lanceren die met bepaalde standaarden werken, zoals Healthkit (Apple), Google Fit (Google) of SAMI (Samsung).²⁶⁶ De leveranciers van platformen kennen verschillende verdienmodellen.

In veel gevallen is dataverzameling door zelfmonitoring niet plaatsgebonden maar gebeurt deze op de locatie waar de consument of patiënt zich op dat moment bevindt. Voor de ontwikkeling van zelfmonitoring spelen mobiele verbindingen een belangrijke rol. Naarmate toepassingen geavanceerder worden, en gegevens en preciezer op locatie dienen te worden uitgelezen, worden er hogere eisen gesteld aan netwerkdekking en betrouwbaarheid (uptime) van de mobiele verbindingen.

10.3 Match met generiek aanbod

10.3.1 Zorg

De groei van connectiviteitsvraag in de zorg gaat over het algemeen langzamer dan de generieke vraag in Nederland, waardoor de zorg naar verwachting geen bovengemiddelde vraag naar digitale connectiviteit zal opleveren. Een illustratief voorbeeld van het feit dat de zorgsector op het gebied van digitalisering 'achterblijft' is het nog steeds veelvuldig gebruik van fax en telefoon. Dossiers worden vaak gefaxt – en niet gemaïld. Afspraken met de huisarts worden vooralsnog vaak telefonisch ingepland en niet via een online planner.

De ontwikkeling van zorg-op-afstand en integrale ketenzorg wordt voornamelijk gehinderd door organisatie gerelateerde issues en niet door connectiviteitsvraagstukken. Er is echter wel een aantal aandachtsgebieden waar (op termijn) de connectiviteit onvoldoende is (of zal worden). Zo is de access verbinding van een aantal kleinere zorginstellingen op 'remote' locaties onvoldoende toekomst vast. Het gaat hier om locaties zoals die van de Geestelijke Gezondheidszorg (GGZ) en Verpleeg- en Verzorgingshuiszorg en Thuiszorg (VVT). In sommige gevallen is hier wel een hoogwaardige verbinding beschikbaar, of is deze betaalbaar, maar blijft de vraagontwikkelingen naar digitale toepassingen achter door organisatie gerelateerde issues. Andere locaties kennen een bijzondere ligging waardoor afname van een toekomstvaste verbinding zeer kostbaar is.

In ons onderzoek komt naar voren dat, m.u.v. voorgenoemde locaties met bijzondere ligging, de komende vijf tot tien jaar digitale connectiviteit niet het belangrijkste issue zal zijn: sterker nog, "wanneer dit wel het geval is mag de vlag uit".

²⁶⁶ Bron: RVZ. (2015). *Consumenten-eHealth. A game changer?!* Den Haag: Raad voor de Volksgezondheid & Zorg.

10.3.2 Research

Wij voorzien in het researchdomein zowel voor nu, alsook voor de toekomst weinig problemen met digitale connectiviteit, omdat de researchomgevingen en academische ziekenhuizen traditioneel goed voorzien zijn van hoogwaardige vaste infrastructuur (veelal gekoppeld op glasvezelnetwerk van SURFnet²⁶⁷).

Op langere termijn is het denkbaar dat ook direct van de patiënt/cliënt afkomstige data voor geautomatiseerde diagnose en continu onderzoek zal worden ingezet. In dat geval zijn ook de verbindingen naar de patiënt/cliënt/burger van belang. Tegelijkertijd zal het dataverkeer per individu (vooral meetgegevens en sturingsinformatie) beperkt blijven (ten opzichte van bijvoorbeeld videoverkeer).

10.3.3 Patiënt/cliënt/burger

Zorg-op-afstand

Zorg-op-afstand vergt geen bovengemiddelde behoefte aan digitale connectiviteit. De meeste wearables en domotica vereisen een lage bandbreedte. Videoconsult vergt wel meer bandbreedte, zeker wanneer dit in hoge resolutie zal gebeuren. Echter zal de generieke ontwikkeling van thuiswerken (teleconferencing) en populariteit van streamingdiensten de ontwikkeling van videoconsult faciliteren. De impact van videoconsults zal namelijk relatief beperkt zijn, simpelweg omdat een gemiddelde Nederlander veel meer uren naar online entertainment kijkt dan dat hij/of zij bij de dokter doorbrengt. Dus ook al zullen alle huisartsenconsulten online gebeuren, dan nog valt dit in het niet met wanneer streamingdiensten een hogere resolutie zal gaan aanbieden.

Knelpunten doen zich in Nederland vooral voor in de buitengebieden. In de zogenoemde witte gebieden is geen glasvezel of coaxverbinding aanwezig en functioneren koperverbindingen vanwege de lange afstanden beperkt. Juist deze gebieden hebben de sterkste behoefte aan een 'hospital at home': hier verdwijnen de ziekenhuizen en gelden lange aanrijtijden voor medisch personeel.

Zelfmonitoring zorg en welzijn

Applicaties voor zelfmonitoring leiden niet tot bovengemiddelde behoefte aan digitale connectiviteit. Hoewel vaak wel continu wordt gemeten, hoeven deze metingen maar periodiek te worden uitgelezen door zorgaanbieders.

In enkele niches (monitoring van vitale lichaamsfuncties (hartbewaking), valdetectie, noodknoppen etc.) is wel vraag naar een continue verbinding. Dit stelt hoge eisen aan het betrouwbaarheidsniveau en de netwerkdekking van mobiele netwerken.

10.3.4 Conclusie

Als we de impact van voorgenoemde trends op vraag naar digitale connectiviteit beschouwen zien we dat de meeste veranderingen zich voordoen in het IT-ecosysteem van patiënt/cliënt/burger. In de zorg zelf gebeurt veel, maar ontwikkelingen worden voornamelijk gehinderd door organisatie gerelateerde issues.

²⁶⁷ Zie voor een uitgebreid overzicht van op SURFnet aangesloten zorginstellingen en onderzoeksinstellingen: [\[surf.nl\]](http://surf.nl)

Tabel 20. Match vraag en aanbod digitale connectiviteit in de sector zorg en welzijn.

Toepassing	Uitkomst
Zorg	Vraagontwikkeling toepassingen gehinderd door organisatie gerelateerde issues. Vraag naar digitale connectiviteit voorzien vanuit generieke vraag, m.u.v. aantal kleinere instellingen op remote locaties.
Research	Ontwikkelingen als deep learning, precisions diagnostics en IBM Watson worden gefaciliteerd door bestaande verbindingen.
Patiënt/cliënt/burger	Ontwikkeling van zorg-op-afstand diensten over bekabelde verbindingen wordt gefaciliteerd vanuit de ontwikkeling van het generieke aanbod aan digitale connectiviteit bij huishouden, m.u.v. de witte gebieden (delen van de buitengebieden die niet aantrekkelijk zijn voor de markt om te voorzien van NGA). Zelfmonitoring van gezondheid en welzijn stelt in algemene zin geen bovengemiddelde eisen aan betrouwbaarheid en dekking van het netwerk. In enkele niches (hartbewaking, valdetectie etc.) is wel vraagontwikkeling naar continue, betrouwbare verbindingen.

Binnen het IT-ecosysteem van de patiënt/cliënt/burger heeft zelfmonitoring van gezondheid en welzijn een flinke impact op de connectiviteitsvraag. Juist omdat deze ontwikkeling zijn oorsprong kent buiten de 'traditionele' zorgsector kan deze een snelle vlucht nemen. Mogelijk staat hierbij een mismatch met het generieke aanbod. Om deze reden gaan we dieper in op de zelfmonitoring van gezondheid en welzijn.

10.4 Casus: Zelfmonitoring van gezondheid en welzijn

10.4.1 Voordelen

De praktische voordelen van zelfmanagement en zelfmonitoring zijn groot: het is efficiënter, goedkoper en duurzamer dan zorg ter plaatse. De genoemde wearables en apps ondersteunen zelfmanagement onder consumenten en patiënten. Naast applicaties en tools vanuit de consumentenmarkt zullen er ook innovaties vanuit de zorg (digitale consults, instructiefilms, online therapie) worden benut om zelf meer sturing te krijgen op de eigen gezondheid en benodigde zorg. Verder worden op termijn voordelen verwacht in de vorm van preventie en verhoogde levenskwaliteit.

10.4.2 Risico's en barrières

De belangrijkste risico's en barrières van zelfmonitoring hebben betrekking op het businessmodel, kwaliteit en transparantie. Vanuit andere sectoren leren we dat een goed functionerend ecosysteem noodzakelijk is om deze uitdagingen aan te gaan. Wat opvalt aan dit ecosysteem, is dat veel innovaties niet meer bij traditionele partijen uit de zorg vandaan komen (zorgverleners, farmaceuten, verzekeraars), maar bij partijen uit andere sectoren als internet-, marketing- en social networking bedrijven (Google, Apple, Facebook), bedrijven die consumer electronics (Samsung, Sony) en navigatie ontwikkelen (TomTom) en bedrijven in de sport en mode (Nike, Adidas, Under Armour, Hitoe).

De belangrijkste driver voor deze bedrijven om (in veel gevallen gratis) zorgapplicaties aan te bieden is de commerciële waarde van zorgdata. Hierbij ontstaat het risico dat gevoelige data in handen komt van internationale spelers. Of dat data niet of lastig zijn uit te wisselen. Tot slot is het niet eenvoudig om datastromen vanuit verschillende apparaten te combineren

om zo geïntegreerde data-analyses te kunnen uitvoeren. Ook zorgprofessionals hebben te maken met deze beperkingen.

De start-up Human API probeert met hun API-platform (Application Programming Interface) voor sensordata een oplossing te bieden. Het platform is in staat om data van meer dan 50 verschillende sensor- en databronnen te integreren en te analyseren (visualiseren), zoals activiteiten monitors, bloeddruk en glucose meters, digitale weegschalen, astma en voedsel 'trackers', lab uitslagen enzovoorts. De opkomst van deze dataplatformen, en zogenaamde API's zijn daarmee een andere belangrijke innovatie in het dataverwerkingsproces, om zo gegevens beter te kunnen benutten voor gezondheid en zorg.

Binnen de zorg wordt gebruik gemaakt van andere platformen en standaarden dan in de consumentenmarkt. De koppeling tussen de twee genoemde werelden vormt één van de belangrijkste thema's, zowel wat betreft IT-systemen alsook de noodzakelijke connectiviteit. Hier spelen issues die onder de term FAIR op de agenda zijn gekomen (Findable, Accessible, Interoperable, Re-usable).

10.4.3 *Kwaliteitseisen aan verbindingen*

Bandbreedte

Naast deze eerste-orde voordelen produceert een groot aantal applicaties flinke hoeveelheden data. Een algemene ontwikkeling is dat applicaties steeds geavanceerder worden, meer data gebruiken en bijna continu in gebruik zijn. Hierdoor vereisen zij betere, snellere netwerken met een hogere dekking.²⁶⁸ De datastromen die door wearables en applicaties worden gegenereerd zijn vaak overhypt. Natuurlijk gaat het om veel gebruikers, maar de uiteindelijk gegenereerde data kent een veel lager datavolume dan bijvoorbeeld streaming van videobeelden. De generieke vraag naar bandbreedte vanuit afname van streamingdiensten zal meer impact hebben.

Latency

De vraag naar latency is niet bovengemiddeld ten aanzien van de generieke vraag.

Dekking

Zelfmonitoring van gezondheid en welzijn heeft voornamelijk impact op de vraag naar mobiele en draadloze communicatietechnologieën. Het karakter van metingen stelt momenteel geen bovengemiddelde eisen aan netwerkdekking van draadloze communicatienetwerken, gegevens dienen wel continu gemeten te worden maar hoeven niet continu te worden verstuurd. Bij het meten van vitale lichaamsfuncties en bij toepassingen als valdetectie en noodknoppen speelt dekking (beschikbaarheid) wel een grote rol.

Met name in rurale gebieden en grensgebieden kunnen knelpunten ontstaan omdat hier de dekking van LTE-netwerken beperkter is. Hierdoor is niet overal een mobiele communicatieverbinding beschikbaar en kunnen continue metingen 'haperen'. Wearables en mobiele applicaties dragen bij aan een meer gelijkwaardige toegang tot zorg, als ook in afgelegen gebieden waar momenteel het zorgaanbod afneemt (krimpgebieden) kunnen worden bereikt. Het is daarom van groot belang dat juist in rurale gebieden goede toegang tot (mobiel) internet kan worden gegarandeerd.

²⁶⁸ Bron: Deloitte. (2014). *The four dimensions of effective mHealth*. Deloitte Development LLC.

Betrouwbaarheid

Naar mate de continue monitoring een centralere plek krijgt binnen het zorgecosysteem, wordt de betrouwbaarheid van groter belang.

Overige eisen

Naast betrouwbaarheid en netwerkdekking is het voor zelfmonitoring van gezondheid en welzijn van belang dat er geen gevoelige informatie uitlekt. End-to-end encryptie van data is daarom een vereiste.

10.5 Knelpunten

Zoals blijkt uit bovenstaande analyse is digitale connectiviteit niet de belemmerende factor voor ontwikkeling van digitale toepassingen voor de continue (zelf)monitoring van gezondheid en welzijn. De grootste bottlenecks zitten niet zozeer in de technische infrastructuur maar meer in het organisatievermogen van de keten. De meest genoemde issues betreffen:

- Gebrek aan interoperabiliteit van systemen
- Onbekendheid van oplossingen bij de consument
- Perverse financiële prikkels om geen digitale zorg in te zetten
- Cultuur waarin oudere systemen (fax, bellen, face-to-face contact) nog volop worden ingezet.
- Issues met beveiliging van verbindingen en data
- Privacy van opgeslagen gegevens / eigenaarschap van data.

Om die reden wijken eisen aan telecommunicatieverbindingen in de zorg niet sterk af van de generieke vraag naar digitale connectiviteit in Nederland. Sterker nog, de zorg lijkt hierop eerder achter te lopen, wat betreft de vraagontwikkeling. Dit impliceert dat voor de langere termijn geen grote connectiviteitsproblemen worden verwacht.

Wel kunnen we een aantal aandachtsgebieden en knelpunten aanduiden op basis van de leerpunten uit de casus. We vertrekken hierbij vanuit de sectorcasus en vullen die, waar mogelijk, aan met sectorbrede observaties. In de volgende tabel vatten we deze samen.

Tabel 21. Knelpunten in de markten voor digitale connectiviteit in de sector zorg (**bold** = knelpunt, *italic* = mogelijk knelpunt)

Indicator	Uitkomst	Knelpunt in markt	
		0-5 jaar	5-10 jaar
Bandbreedte	Voor zelfmonitoring worde geen specifieke eisen aan bandbreedte gesteld	n.v.t.	n.v.t.
Latency	Voor zelfmonitoring worde geen specifieke eisen aan latency gesteld.	n.v.t.	n.v.t.
Dekking	In buitengebieden wordt onvoldoende bandbreedte geboden om afnemers van telecare thuis en onderweg zorgdiensten aan te bieden. Het gaat hierbij om bandbreedte van zowel bekabelde als mobiele netwerken, waardoor dit knelpunt aansluit bij het eerder geconstateerde generieke knelpunt van dekking in het buitengebied. In de communicatie tussen ketenpartners ontstaan mogelijk issues doordat kleine instellingen van GGZ	Acces	Acces

en VVT momenteel geen NGA beschikbaar hebben of afnemen.

Zelfmonitoring van vitale functies met apps en wearables vereist fijnvermaasde mobiele netwerken. In de buitengebieden en grensgebieden loopt de dekking van deze netwerken achter op de rest van Nederland.

Betrouwbaarheid	Naar mate de continue monitoring een centralere plek krijgt binnen het zorgecosysteem, wordt de betrouwbaarheid van groter belang	<i>Diensten</i>	<i>Diensten</i>
Overige	De meest prominente knelpunten komen voort uit niet-technische aspecten, zoals gebrek aan keten-integratie, gebrek aan prikkels bij verzekeraars en zorgen om privacy en security.	Diensten	Diensten

10.6 Verklarende factoren

Na vaststelling van de verschillende knelpunten ten aanzien van digitale connectiviteit staat de vraag centraal welke factoren de mismatch tussen vraag en aanbod kunnen verklaren. We plotten hiervoor de knelpunten op de markten voor digitale connectiviteit zoals we die in ons conceptuele model (paragraaf 2.2.3) hebben geordend.

Ondanks de constatering dat zich in de sector zorg en gezondheid op dit moment, en naar verwachting ook in de toekomst, in brede zin geen grote knelpunten in connectiviteit voordoen die niet vanuit de (generieke) marktontwikkeling zijn te beantwoorden, is er wel een aantal redenen waarom specifieke digitale diensten - waaronder ehealth - en deelmarkten minder goed van de grond komen.

10.6.1 Knelpunten op de markt voor diensten

De meer prominente problemen binnen de markt voor digitale connectiviteit in de zorg zijn gesitueerd in de markt voor diensten.

- Ten eerste speelt informatie-asymmetrie een rol bij de grote onbekendheid bij patiënten/cliënten/burgers over de mogelijkheden van ehealth. Bedrijven in de zorg ervaren een marketingprobleem en kunnen de patiënt maar moeizaam bereiken en overtuigen. In feite ontbreekt hier een goed functionerende markt. De stuwende kracht wordt hier dan ook vooral verwacht van de grote internationale IT-bedrijven van buiten de zorg en minder van de zorgaanbieder.
- Vanuit de huidige financiële vergoedingssystematiek ontbreekt het zorgaanbieders/-verleners aan voldoende aan prikkels om ehealth-diensten grootschalig in te zetten. Sluitende businessmodellen komen hierdoor onvoldoende tot stand. Beschikbare technische oplossingen blijven veelal nog op de plank van aanbieders van ehealth-systemen.
- Cybersecurity is groot issue in de zorg. De partijen in de waardeketen dienen gezamenlijk voorwaarden op te stellen waarin de veiligheid en privacy van patiëntendata (eigenaarschap van data) in huidige en vooral nieuwe digitale platforms is geborgd. Dit speelt des te meer nu zich nieuwe marktpartijen begeven op de markt voor zorgdata en digitale diensten. De sector percipieert hier een lacune op het gebied van regelgeving en toezicht.
- Grote verscheidenheid in IT-systemen en gebruikte standaarden vormen een belemmering voor intensieve ketensamenwerking. Het veelvuldig gebruik van

legacy-systemen en een behoudende cultuur aangaande nieuwe IT-technologie maken dat de vraag naar connectiviteit in sector zorg en gezondheid achterloopt op het generieke niveau over de sectoren heen.

10.6.2 Dekking van aansluitnetwerken in het buitengebied

De beperkte of tekortschietende dekking in de buitengebieden voor zowel vaste als mobiele infrastructuur – oftewel de markt voor access, wordt veroorzaakt door zeer hoge aanlegkosten tegenover lage concentratie van bewoners/gebruikers in die gebieden. In eerdere sectorstudies is dit uitgebreid toegelicht.

11 Conclusie

In dit hoofdstuk wordt de centrale vraag in dit onderzoek beantwoord op basis van de analyse uit de voorgaande hoofdstukken. De centrale onderzoeksvraag:

Hoe matcht de toekomstige vraag en het aanbod van digitale connectiviteit in de periode tot 2026?

Deze hoofdvraag valt daarbij uiteen in de volgende afgeleide vragen:

- Hoe ziet de toekomstige vraag naar connectiviteit eruit?
- Wat is het verwachte aanbod van connectiviteit en welke factoren beïnvloeden dit aanbod?
- In hoeverre matcht het toekomstige aanbod met de vraag?
- Welke factoren verklaren het verschil tussen vraag en aanbod?

Bij de beantwoording van de vragen volgen we de benadering die is ingevoerd in hoofdstuk 2 en ook ten grondslag ligt aan de analyse in de voorgaande hoofdstukken. Deze benadering is gebaseerd op:

- Het onderscheid tussen *generieke en specifieke* vraag van en aanbod naar digitale connectiviteit
- Het beschouwen van de dimensies *bandbreedte, latency, betrouwbaarheid en dekking* binnen digitale connectiviteit
- Het beschouwen van vier markten in de waardeketen voor digitale connectiviteit: de markten voor end-to-end digitale diensten, access connectiviteit, core connectiviteit en datacenterdiensten

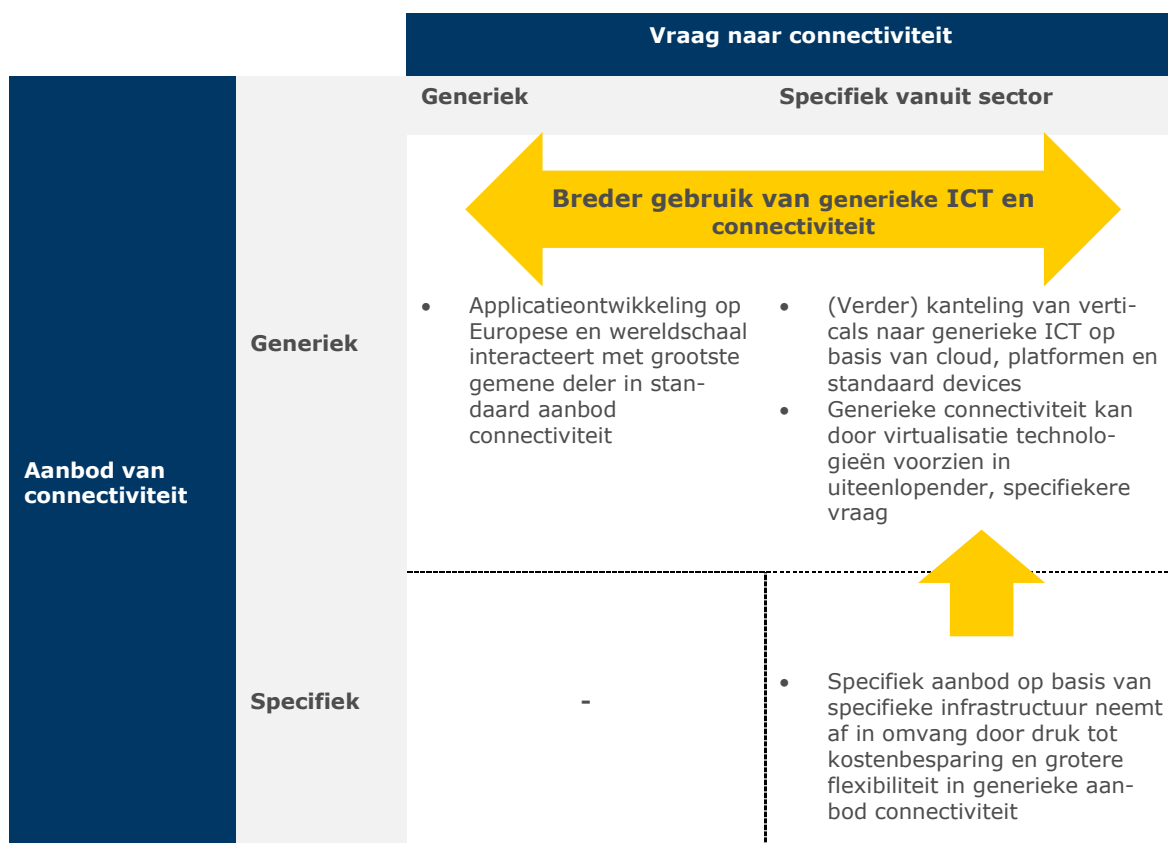
11.1 Algemene conclusie

Over de gehele periode 2016-2026 beschouwd zal de **vraag** naar capaciteit in digitale connectiviteit exponentieel blijven toenemen met daarbij een toenemend belang van complete dekking, lage latencies en hoge betrouwbaarheid. Deze eisen worden vooral gedreven door mediagebruik, het Internet of Things, clouddiensten en Big Data.

Het **aanbod** van digitale connectiviteit is op hoofdlijnen voldoende schaalbaar en er vindt voldoende innovatie plaats om de groei te faciliteren en te stimuleren. Naast het toenemen van de performance van connectiviteit op de vier dimensies bandbreedte, latency, betrouwbaarheid en dekking, is de grootste verandering in de vorm van vraag en aanbod te vinden in de (verdere) verschuiving van specifiek naar generiek aanbod van connectiviteit (Tabel 22). De concurrentie tussen infrastructures blijft een daarbij belangrijke aanjager voor de voortgaande ontwikkeling van het aanbod.

Op hoofdlijnen is er op middellange termijn (2016-2021) een goede **match** tussen vraag en aanbod van digitale connectiviteit te verwachten waar het gaat om bandbreedte, latency, betrouwbaarheid en dekking. Voor de lange termijn (2021-2026) is de invloed van een aantal onzekere factoren nu niet goed te overzien. Tegelijkertijd zijn er op dit moment geen duidelijke factoren aan te geven die een goede match tussen vraag en aanbod in deze periode zouden doorkruisen. De verwachting is daarom dat ook op lange termijn de match goed zal blijven.

Tabel 22. De verschuiving van specifiek naar generiek vraag en aanbod van digitale connectiviteit.



Bij deze hoofdlijn horen drie kanttekeningen over punten waarop de aansluiting tussen vraag en aanbod minder goed is of kan worden:

1. Aan de vraagkant zien we dat de **ontwikkeling van digitale diensten** in (maatschappelijke) sectoren wordt geremd door een complex van factoren anders dan digitale connectiviteit. Uit de sectorstudies blijkt dat veel zakelijke afnemers grote uitdagingen ervaren bij het digitaliseren van hun primaire processen. Debet hieraan zijn onder meer de lastigheden rondom innoveren in complexe ketens, (twijfels over) cybersecurity en privacy, en het deels ontbreken van kennis en visie op ICT. Het oplossen van dergelijke uitdagingen is zeer sterk afhankelijk van de specifieke casus. Ze raken echter wel de vraagkant en daarmee de verdere ontwikkeling van digitale connectiviteit.
2. Op de dimensie dekking constateren we dat het aanbod van **snelle accessnetwerken** op dit moment de toegankelijkheid van breedband voor vrijwel iedereen in Nederland waarborgt, **maar dat die toegankelijkheid in het buitengebied** een knelpunt blijft. De groep huishoudens en bedrijven die buiten de dekking valt kijkt tegen een achterstand in capaciteit aan, doordat de toepassingen steeds hogere eisen stellen. Dit effect wordt versterkt doordat er in de dienstverlening in veel (maatschappelijke) sectoren een verschuiving plaatsvindt van digital first naar digital only. Hierdoor heeft deze groep nu of op termijn geen of gebrekkige toegang tot belangrijke diensten vanuit bijvoorbeeld de zorg, overheid en het onderwijs. Mobiele netwerken zullen geen volwaardig alternatief worden voor vaste infrastructuren. Wel kunnen deze netwerken zorgen voor een breedband basisvoorziening in buitengebieden, mits daar bij de uitrol van die netwerken rekening mee wordt gehouden.

3. Op lange termijn (2021-2026) bestaat daarnaast onzekerheid over de **uitkomsten van de infrastructuurconcurrentie** die nu zorgt voor de verdere uitrol en ontwikkeling van accessnetwerken. Vanuit technologisch perspectief zijn er met G.fast voor DSL, DOCSIS3.1 voor kabel, glas en 5G ruim voldoende opties beschikbaar voor de voortzetting van de huidige concurrentie tussen technologieën c.q. de bedrijven die deze bezitten. De onzekerheid zit in de mate waarin de technologieën gaan worden ingezet en in het bijzonder hoe de uitrol van nieuwe DSL-technologieën zoals G.fast zich gaat ontwikkelen en hoe 5G ingezet gaat worden. Als de rol van het koperen aansluitnet kleiner wordt verschuift de concurrentie naar die tussen kabelnetwerken en glasnetwerken. De overlappen in (lokale) dekking en daarmee de mate van concurrentie die dit oplevert tussen infrastructures is nu niet te voorzien. Alles overziende is hier geen sprake van een concrete zorg maar wel van onzekerheden over de manier waarop infrastructuurconcurrentie op de lange termijn kan zorgen voor blijvende ontwikkeling van de access netwerken.

11.2 Aanvullende bevindingen

In aanvulling op de bovenstaande hoofdlijn hebben de sectorstudies en de analyse van de generieke vraag en aanbod naar digitale connectiviteit een groot aantal verdere inzichten opgeleverd. De inzichten uit de sectorstudies zijn samengevat in Tabel 23.

Tabel 23. Overzicht match vraag en aanbod uit sectoren casussen. Legenda: **v** – geen knelpunt, **x** – knelpunt, **?** – potentieel knelpunt.

Termijn (jaar)	Agri - Precisie- landbouw		Energie - Slimme meters		Mobiliteit – Intelligente Transport Sys- temen		Onderwijs - Di- gitaal leren		Zorg - Continue monitoring	
	0-5	5-10	0-5	5-10	0-5	5-10	0-5	5-10	0-5	5-10
Bandbreedte	v	v	v	v	v	?	?	?	v	v
Latency	v	?	v	v	x	v	v	?	v	v
Dekking	x	x	v	v	x	x	x	x	x	x
Betrouwbaarheid	v	v	v	v	v	v	?	?	?	?

De volgende paragrafen gaan verder in op de inzichten die ontstaan bij een horizontale analyse van de vier dimensies van connectiviteit (bandbreedte, latency, betrouwbaarheid en dekking) over de verschillende sectorstudies (Tabel 23) en het generieke vraag en aanbod (hoofdstuk 3).

11.2.1 Bandbreedte

Waar het gaat om capaciteit zijn geen substantiële knelpunten te verwachten. In de consumentenmarkt wordt de capaciteit van het generieke aanbod gedreven door (streaming) video in de downstream richting. Door het verder groeiende gebruik van cloud toepassingen groeit de capaciteit in de upstream richting iets sneller. Deze trend van groeiende upstream ten behoeve van cloud speelt nog sterker in de zakelijke markt. De algemene conclusie is dat de interactie tussen de generieke vraag en aanbod leidt tot voldoende capaciteit voor de beschouwde sectoren. Bij deze interactie speelt latente vraag een grote rol: de vraag naar

nieuwe toepassingen en de daarvoor benodigde connectiviteit komt pas tot uitdrukking nadat het aanbod is ontstaan.

11.2.2 Latency

Voor latency zijn in algemene zin ook geen grote knelpunten te verwachten. In applicatiegebieden die vragen om korte latencies, zoals in mobiliteit, kan worden voorzien via specifieke infrastructuur (ITS G5, zoals nu beproefd in pilots) of via de generieke 5G infrastructuur. De ontwikkeling van deze ITS G5 infrastructuur is technisch haalbaar op middellange termijn maar de dekking daarvan is vooral afhankelijk van de organisatie, ketenafstemming en business cases in de mobiliteitssector.

Voor het verkleinen van de end-to-end latency naar waarden tussen de 5 en 25 milliseconden bestaat op dit moment geen duidelijke driver in het generieke aanbod. Dat wil niet zeggen dat de latencies niet gaan afnemen, het is alleen niet duidelijk hoe snel ze naar dergelijke waarden gaan in het brede generieke aanbod. Virtual en augmented reality toepassingen in de consumentenmarkt, in nieuwe vormen van gaming en videogebruik, hebben de potentie om voor deze drive te zorgen. Deze toepassingen kunnen korte latencies in zowel downstream als upstream richting eisen. Het zijn daarnaast toepassingen die snel een grote groep gebruikers kunnen trekken op basis van populaire devices. In de zakelijke markt kan vanuit virtual en augmented reality toepassingen een vergelijkbare drive ontstaan.

Vanuit de techniek worden in 5G en ook in vaste netwerken dergelijke lage latencies als ontwerpdoelen gehanteerd en in de toekomstige netwerkarchitecturen geïmplementeerd met virtualisatie- en slicingtechnieken. De ingrediënten voor een constructieve vraag-aanbod interactie tussen virtual reality toepassingen en virtualisatietechnieken zijn hiermee in principe voorhanden, tegelijkertijd is het niet zeker dat deze gaat plaatsvinden.

11.2.3 Dekking

Dekking is een knelpunt dat duidelijk zichtbaar is in zowel generieke toepassingen als in de beschouwde sectoren. Naarmate de beweging van *digital first* naar *digital only* verder vordert wordt het ontbreken van dekking een steeds groter probleem voor de betrokken huishoudens en bedrijven en net zozeer voor de bedrijven en instanties die hen willen bedienen. Voor dekking geldt dat het geen technische maar een economische uitdaging is. Er zijn er geen technische belemmeringen om tot een grotere dekking van vaste en mobiele netwerken te komen.²⁶⁹ De dekking van netwerken wordt al geruime tijd bepaald door de business cases van de betrokken aanbieders en, bij mobiele netwerken, ook de uitrolverplichtingen in de frequentielicenties. De op plaatsen tekortschietende dekking van vaste en mobiele netwerken heeft de aandacht van de overheid en van de netwerkaanbieders. Voor 5G geldt dat de uitgifte van additioneel spectrum en de daarbij gestelde eisen vanuit de overheid van grote invloed zullen zijn op de uitrolstrategieën van netwerkaanbieders en daarmee voor dekking en capaciteit in zowel verstedelijkt gebied als het buitengebied. Zoals eerder aangegeven is niet te verwachten dat mobiele netwerken een volwaardig alternatief worden voor vaste infrastructuren. Wel kunnen deze netwerken zorgen voor een breedband basisvoorziening in buitengebieden, mits daar bij de uitrol van die netwerken rekening mee wordt gehouden.

De beperkte dekking in de buitengebieden voor zowel vaste als mobiele infrastructuur wordt veroorzaakt door zeer hoge aanlegkosten tegenover lage concentratie van bewoners/gebruikers in die gebieden. Hierdoor is de *prikkel tot investeren* in deze gebieden beperkt. Aan de

²⁶⁹ De enige uitzondering hierop betreffen de grensregio's, aangezien hier zaken omtrent interferentie met de netwerken uit de omliggende landen spelen.

vraagzijde spelen *positieve externaliteiten* een rol. De kosten voor de verbinding slaan alleen bij de afnemer neer, terwijl de revenuen bij een veel bredere scala aan stakeholders neerslaan.

Naast de buitengebiedsproblematiek wordt ook de indoordekking door sommige (groot)zakelijke gebruikers en in een aantal gevallen consumenten als tekortkoming in de markt ervaren. De verwachting is dat de vraag naar goede indoordekking verder zal groeien. Aan de aanbodkant zien we dat het gebruik van hogere frequenties en kleinere cellen in 5G een groter aantal grote en kleine opstelpunten noodzakelijk maakt, zowel buiten als binnen gebouwen. De techniek levert geen beperkingen op, de uitdagingen zitten in de coördinatie en ketenintegratie tussen de betrokken partijen: naast netwerkaanbieders wordt de keten uitgebreid met onder meer gebouw eigenaren. Ook de toenemende behoefte aan glas voor de mobiele backhaul en fronthaul in fijnmazige 5G aansluitwerken vraagt om extra coördinatie ten opzichte van de huidige situatie.

11.2.4 *Betrouwbaarheid*

Door het grote en verder toenemende belang van ICT-toepassingen voor consumenten, bedrijven en maatschappij neemt het belang van betrouwbare digitale connectiviteit in de breedte toe. De daadwerkelijk verwachte of geëiste betrouwbaarheid varieert daarbij sterk tussen de toepassingen. De interactie tussen de generieke vraag en aanbod, de paraplu waaronder het overgrote deel van de toepassingen vallen, zorgt naar verwachting voor een toename van de betrouwbaarheid van het generieke aanbod. In onderdelen daarvan, zoals de markt voor zakelijke verbindingen en datacentercapaciteit is die ontwikkeling expliciet zichtbaar in het aanbod van SLA's met steeds hogere garanties over betrouwbaarheid. In domeinen waarin een gegeven verbinding wordt gebruikt voor een reeks toepassingen met ieder een (impliciete) eis of verwachting voor betrouwbaarheid ontbreekt een expliciete prikkel voor het verhogen van de betrouwbaarheid en daarmee ook een specifieke economische prikkel bij netwerkaanbieders om de betrouwbaarheid van hun netwerken te verder verhogen. In voorkomende gevallen kan dan toch worden overgegaan op zakelijke verbindingen met SLA's. Een andere oplossingsrichting is maatwerk aan de kant van de gebruikers, bijvoorbeeld in de vorm van mobiele verbindingen als alternatief voor vaste verbindingen of redundante verbindingen in het algemeen.

11.2.5 *Andere factoren*

In zowel de generieke vraag naar digitale connectiviteit als in de vraag uit de beschouwde sectoren komen beperkende factoren naar voren die in essentie los staan van de eigenlijke digitale connectiviteit. In de voorgaande analyse van de verschillende dimensies van connectiviteit wordt er in een aantal gevallen aan geraakt. Opvallend is dat de meeste van deze factoren in de breedte voorkomen en sterk gekoppeld zijn aan de markt voor diensten. Daarom vatten we ze hier samen:

- Ketenintegratie en -afstemming. De grote verscheidenheid in IT-systemen en gebruikte standaarden vormen vaak een belemmering voor intensieve ketensamenwerking. Het veelvuldig gebruik van legacy systemen en substantiële transitieperioden bij introductie van nieuwe technologieën of platforms maken dat er verscheidenheid in systemen optreedt en markten niet efficiënt werken.
- Eigenaarschap van data en privacy. In veel ICT-toepassingen staat het verkrijgen en gebruik van (big) data centraal. Dit levert een nodige maar vaak ook lastige discussie over de waarde van de data en de rechten daarop.
- Zorgen over cybersecurity. Hierbij speelt zowel de daadwerkelijke dreiging als ook de onzekerheid en het gebrek aan kennis over het onderwerp.

- Visie van management en bestuurders over vernieuwing van processen via ICT. In bedrijven en overheden lijkt op het niveau van beslissers sprake te zijn van een gebrek aan integrale visie op het gebruik van ICT en actuele kennis daarover.

Deze factoren leveren in veel gevallen sterkere beperkingen op in de ontwikkeling en uitrol van nieuwe ICT-applicaties dan de digitale connectiviteit.

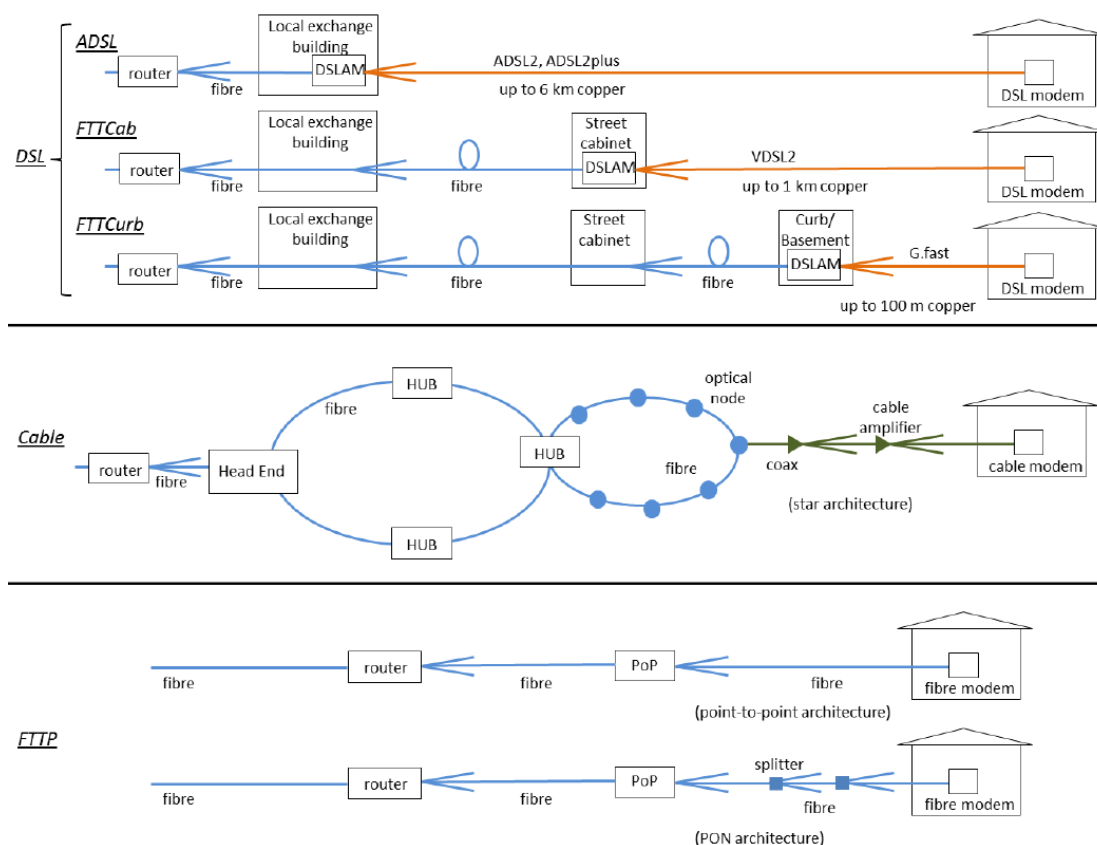
Bijlage 1. Ontwikkelingen in aansluitnetwerken

In deze bijlage zijn verdiepingen opgenomen over de volgende onderwerpen:

1. Vaste aansluitnetwerken
2. Mobiele aansluitnetwerken
3. Netwerken ter ondersteuning van IoT

Vaste aansluitnetwerken

Zowel in koper- als kabelnetwerken bestaat een groot deel van het aansluitnetwerk uit glasvezelverbindingen. In de meeste gevallen bestaat alleen het laatste stuk (richting de afnemer) uit een koper- of coaxverbinding. Figuur B1.1 toont de typische opbouw van elk van de drie typen vaste aansluitnetwerken in Nederland, getekend vanuit het core netwerk. De blauw gekleurde verbindingen zijn glasverbindingen.



Figuur B1.1. Schematisch overzicht van de opbouw van de drie typen aansluitnetwerken²⁷⁰

Ontwikkelingen in vaste aansluitnetwerken: DSL

De ontwikkeling van DSL-netwerken is er al jaren op gericht om door middel van steeds slimmere modulatie- en coderingstechnieken zo hoog mogelijke snelheden te halen over een

²⁷⁰ Bron: TNO

koperen aderpaar. De haalbare snelheden in downstream en upstream richting zijn afhankelijk van de lengte van het aderpaar, de eigenschappen van de bundel van aderpennen (overspraakeffecten) en van de nuttig in te zetten hoeveelheid spectrum. De afhankelijkheid van fysieke omgevingscondities leidt ook tot differentiatie in haalbare DSL-snelheden op individuele aansluitingen.

In 2015 is in Nederland een begin gemaakt met de uitrol van VDSL2 in combinatie met vectoring en pair bonding. Vectoring is een techniek waarbij door de lijnmodems gebruik wordt gemaakt van kennis over de karakteristieken van stoorsignalen (overspraak) zodanig dat deze uit het gewenste signaal kunnen worden weggerekend. Met deze techniek worden maximale snelheden tot net onder de 100 Mbit/s (downstream) mogelijk. Met de toepassing van pair bonding (combineren van twee aderpennen waar dat mogelijk is) kan dit nog worden verdubbeld.

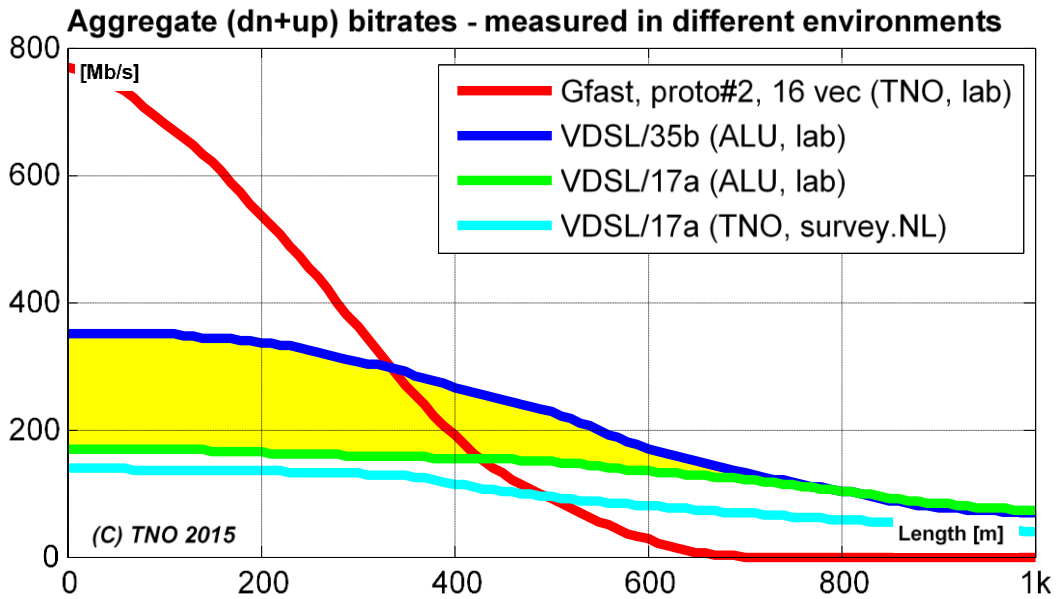
In 2016 is KPN gestart met de uitrol van VDSL2 (vectoring/bonding) vanuit de nummercentrales (binnenringen). In verband met problemen met spectrale co-existentie van dit type VDSL-verbindingen van verschillende aanbieders, wordt deze uitrol alleen door KPN gedaan en krijgen marktpartijen wholesale toegang tot VDSL2-diensten op bitstream niveau aangeboden (zogenaamde VULA-dienstverlening²⁷¹).

De huidige VDSL2-modems zijn gebaseerd op het zogenaamde 17b profiel – dit profiel zegt iets over het gebruikte frequentiespectrum. Een upgrade wordt voorzien naar het 35b-profiel (ook wel bekend als Vplus) waarmee opnieuw een verdubbeling in snelheid kan worden gemaakt. Dan komen snelheden van maximaal 400 Mbit/s (downstream) in zicht (VDSL2/35b met vectoring en bonding). Experts zien dit als de laatste ontwikkelingsstap van VDSL2.

Verdere verhoging vergt verglazing tot dichterbij de woning (zogenaamde *forwarded DSLAMs* in Fiber-to-the-Curb). De volgende technologische stap is G.Fast, een fundamenteel andere technologie dan de eerdere DSL-varianten. Ook van G.fast zijn al verschillende varianten te onderscheiden, namelijk 'plain' G.Fast (106 MHz spectrum, commercieel beschikbaar), G.Fast (212 MHz spectrum) en XG-FAST (500 MHz). De beide laatste zijn nog in Proof of Concept stadium.

Met de opeenvolgende varianten van G.Fast zijn aanzienlijk hogere snelheden mogelijk, maar wel over steeds kortere lijnlengtes. Bovendien is de verhouding tussen downstream en upstream bij G.Fast flexibel instelbaar, in tegenstelling tot bij VDSL2. In B1.2 zijn de technisch haalbare en afstandsafhankelijke snelheden voor de verschillende varianten geïllustreerd.

²⁷¹ Bron: [\[kpn-wholesale.com\]](http://kpn-wholesale.com)



Figuur B1.2: Maximaal haalbare snelheden bij gebruik van verschillende DSL-technologieën afhankelijk van de lijnlengte²⁷²

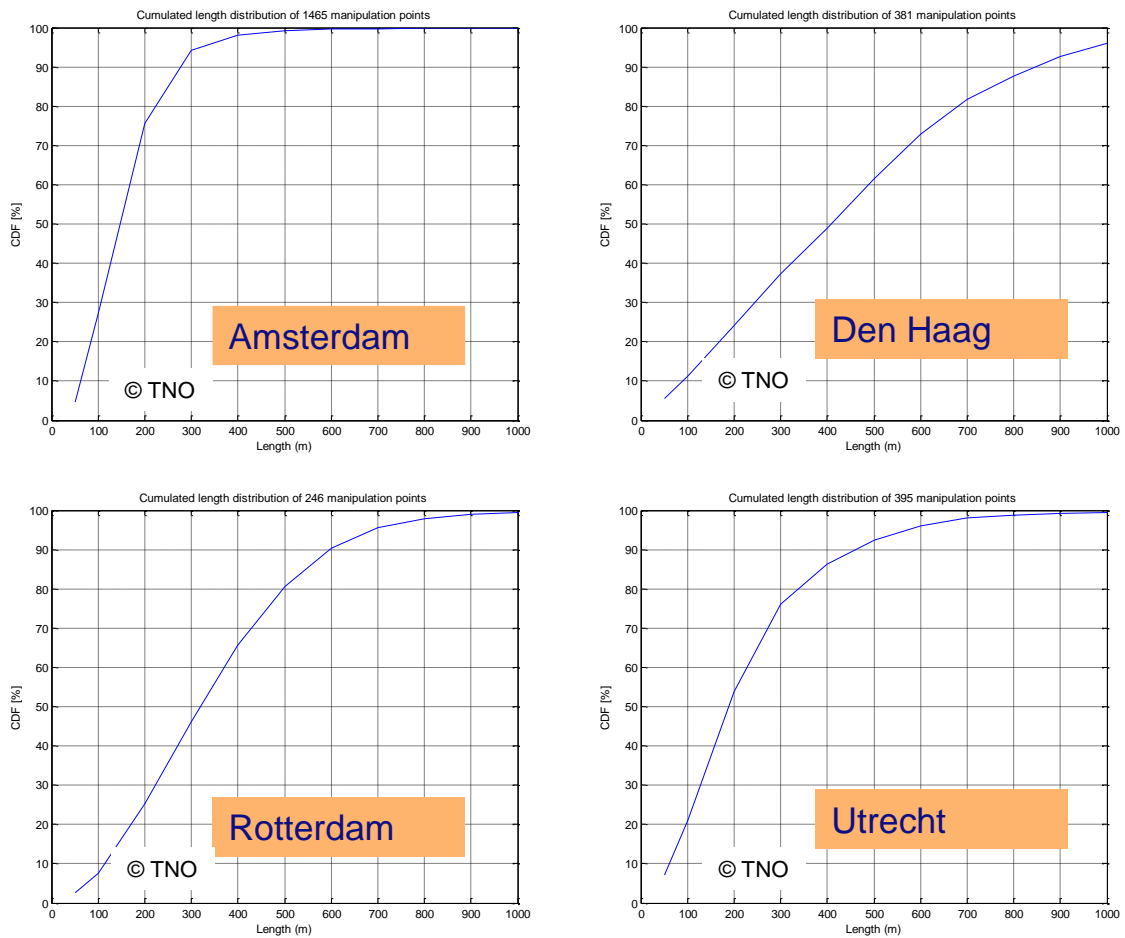
De gespecificeerde maximale latency voor G.Fast bedraagt 1ms²⁷³.

Op het moment dat VDSL2/35b (VPlus) in beeld komt dient zich overal in het aansluitnetwerk een tactische afweging aan, met drie mogelijke alternatieven: 1) introductie VDSL2/35b, 2) introductie G.Fast en 3) volledige verglazing tot aan de afnemer. Een optimale keuze is van diverse factoren afhankelijk (fysieke omgevingsparameters, marktsituatie, toekomstvastheid). Vanuit VDSL2/17a is een doorstap naar profiel 35b in eerste instantie logisch. Uit metingen blijkt echter dat G.Fast (107 MHz) het in de praktijk beter doet dan in de standaarden is aangegeven, op grond waarvan bijvoorbeeld in grote steden al vanuit de bestaande straatkasten ook voor G.Fast zou kunnen worden gekozen. De uitrolstrategie van G.Fast door BT in het VK is op dit inzicht gebaseerd. Operator A1 in Oostenrijk kiest voor opportunistische aanleg van FttH en FttB in de binnensteden (dense urban). In overig stedelijk gebied is FttC een extra optie. In hun FttX strategie wordt G.Fast ontplooid in FttB wijken (dus fiber tot zeer dicht bij de panden) en VPlus in FTTC gebieden. G.Fast zal modulair worden toegepast ter vergroting van de schaalbaarheid en minimalisering van initiële investeringen. G.Fast geeft uitzicht op gigabit snelheden.

Voor de Nederlandse situatie laat figuur B1.3 de verschillen zien tussen de steden Amsterdam, Rotterdam, Den Haag en Utrecht wat betreft de lengte van de aansluitlijnen.

²⁷² Bron: TNO

²⁷³ Bron: ITU-T (2014) Fast Access to Subscriber Terminals (FAST) - Physical Layer Specification, ITU-T Recommendation G.9701.



Figuur B1.3: Verdeling van de lengtes van koperaansluitingen in verschillende Nederlandse steden²⁷⁴

Op grond van deze karakteristieken kan worden geconcludeerd dat de toepassing van G.Fast in Amsterdam beter uitpakt dan in Rotterdam en Den Haag. Daar waar toch verdere verglazing noodzakelijk is richting FttC ontstaat de afweging of dan voor verdere exploitatie van koper moet worden gekozen (G.Fast evolutiepad of gelijk de grotere stap richting volledige verglazing). Die afweging hangt af van de marktsituatie, van de vereiste investeringen en van het risico op eventuele desinvesteringen. Vanuit de optiek van netwerk-architectuur zijn de keuzes voor een G.Fast evolutie en FttH namelijk niet noodzakelijkerwijs compatibel.

Onze inschatting op grond van de progressie in de markt qua aansluitsnelheden is dat dergelijke keuzes zich al voor 2020 gaan manifesteren, en dat de uitrol kwesties vooral in steden gaan spelen.

Ontwikkelingen in vaste aansluitnetwerken: de kabel

Met de nog vrij recente samenvoeging van UPC en Ziggo is er een groot, bijna landelijk dekkend kabelnetwerk ontstaan in Nederland. Internet, Telefonie- en video-on-demanddiensten wordt op dit moment gerealiseerd op basis van de EuroDOCSIS 3.0-technologie. Omroep- en televisiediensten worden gescheiden doorgegeven over de kabel, op basis van DVB-C-technologie.

²⁷⁴ Bron: TNO

De architectuur van een kabelnetwerk zoals deze is ontstaan vanuit de oorspronkelijke omroepfunctie is wezenlijk anders dan die van een DSL-aansluitnetwerk, waardoor ook de toekomstige migratieopties voor een kabeloperator geheel anders zijn. Een uitvoerige behandeling van de techniek van het kabelnetwerk en de dienstenafwikkeling is te vinden in enkele in 2014/2015 gepubliceerde papers²⁷⁵. Verder is van belang in gedachten te houden dat de kabel bepaalde omroepverplichtingen heeft, en dat geen van de operators wordt verplicht het netwerk open te stellen voor anderen (in tegenstelling tot KPN voor haar kopernetwerk).

De capaciteit in de downstream-richting bedraagt momenteel 600-800 Mbit/s voor een enkel verzorgingsgebied (homes passed) bestaande uit 800 aansluitingen. Met een marktaandeel van circa 50% is deze capaciteit dus onder 400 aangesloten abonnees gedeeld. In de upstream-richting is collectief circa 100 Mbit/s beschikbaar.

De mogelijkheden om met het Kabelnetwerk in de toekomst door te groeien staan in onderstaande tabel opgesomd, tezamen met indicaties voor de haalbare aansluitcapaciteit. Hierna volgt een toelichting op de interpretatie van de tabel.

Tabel B1-1: Overzicht van de mogelijkheden voor het upgraden van kabelaan sluitingen²⁷⁶

	Customers / segment	Channels DS/US	Capacity DS/US per segment (Mbps)	Range basic service DS/US (Mbps)
Splitting nodes	100	16/4	800/120	80/12 – 160/24
DOCSIS 3.1	100	16/5	1000/175	100/17,5 – 200/35
Redesign cable frequency plan	100	48/26	3000/900	300/90 – 600/180
FttGA	10	950/170 ²⁴ MHz	9500/1400	>2000/>300
FttLA	<10	950/170 MHz	9500/1400	Up to 9500/1400

Splitting nodes: Hier wordt de totaal beschikbare capaciteit aan steeds kleinere groepen abonnees toegekend (in de tabel uiteindelijk terug tot 100 aansluitingen per segment) zodat de gemiddeld beschikbare capaciteit per abonnee fors toeneemt. Het vergt bijplaatsing van extra CMTS-capaciteit in het netwerk en aanpassingen in de optische nodes. De techniek wordt al toegepast voor het accommoderen van gebieden met hoge vraag (bijvoorbeeld zakelijke aansluitingen).

DOCSIS 3.1: De migratie naar DOCSIS 3.1 is backwards compatibel met DOCSIS 3.0, en opent de deuren voor verdere doorgroeimogelijkheden van het netwerk, vooral qua spectrumgebruik. Behalve een hogere spectrumefficiëntie (van 6 naar 10 bits/Hz) kan ook een groter stuk spectrum in de down- en upstream richting worden belegd. Daarmee kan de capaciteit per segment worden verhoogd naar 1000/175 Mbit/s. Deze stap vergt aanpassingen in het netwerk en bij de klantmodems maar de investeringen zijn proportioneel met de

²⁷⁵ Zie TNO-papers: R10809 (Cable and DSL: a comparison of their capabilities and their upgrade roadmaps), R11198 (Dutch VULA Consumer Market Services over Cable).

²⁷⁶ Bron: TNO

vraag en er is in deze stap nog geen sprake van diepere verglazing. Liberty Global is voornemens om in 2017 met de uitrol van DOCSIS 3.1 in Nederland te starten, waarbij in 3 jaar tijd 80% van de footprint moet zijn gehaald²⁷⁷.

Herplanning frequentieband: Dit is een mogelijk maar wel ingrijpende stap, met name in verband met de consequenties voor de omroepdiensten. Het komt er op neer dat een veel groter deel van het potentieel beschikbare spectrum wordt vrijgemaakt voor DOCSIS. De potentiële capaciteit op de Kabel (indien alles voor DOCSIS zou worden aangewend) bedraagt 10G/1,7Gbit/s per segment. Rekening houdend met een resterend TV-omroep pakket is 3G/0,9 Gbit/s per segment voorlopig een realistischer specificatie. Met deze herplanning wordt vooral de upstream capaciteit sterk vergoot, echter met als consequentie dat FM-omroep in dit scenario sneuvelt.

FttGA & FttLA: De volgende stappen komen neer op verdere verglazing in het Kabelnetwerk. De eerste stap is verglazing tot aan de groepsversterkers eerstvolgende migratiestap is EuroDOCSIS 3.1 waarbij ook vrijwel het volledige spectrum aan DOCSIS kan worden toegekend²⁷⁸. Hier wordt dus de vrijwel volledige systeem capaciteit aan een beperkt aantal abonnees (10) toegewezen. De allerlaatste stap is verglazing tot aan de eindversterker/multitap schakelaar, waarmee de groep aangesloten abonnees nog verder kan worden verkleind. Deze laatste stappen zijn wel ingrijpend (en vergen aanmerkelijk hoge investeringen per aansluiting) maar komen t.o.v. het DSL-G.Fast traject pas in een veel later stadium om de hoek kijken.

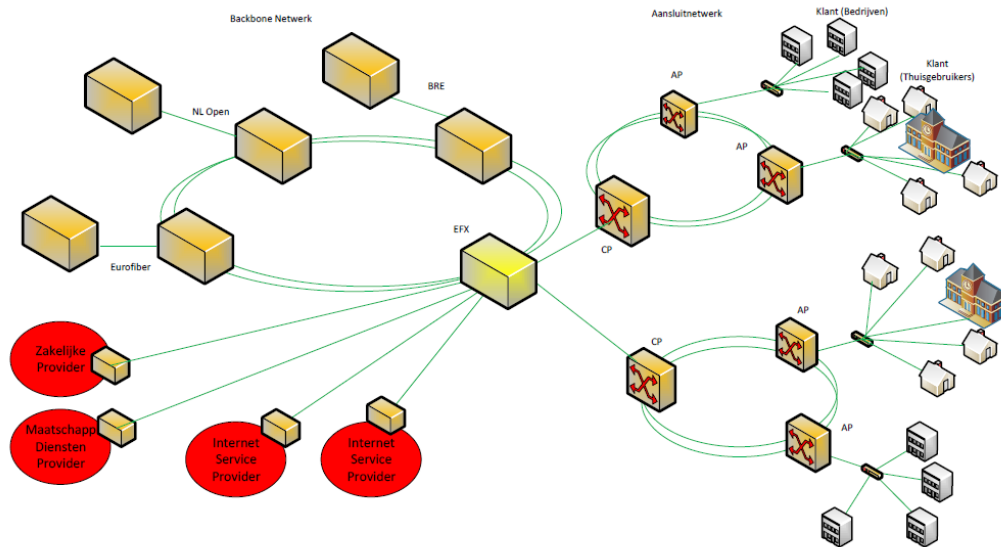
Ontwikkelingen in vaste aansluitnetwerken: FttP en FttO

Er bestaan verschillende architectuurmodellen voor FttH. In Nederland wordt de actieve ster architectuur het meeste toegepast door KPN en CIF die het grootste deel van de huidige markt bedienen. Het Passive Optical Network concept wordt hier en daar in lokale initiatieven gehanteerd. In de actieve sterinfrastructuur zijn via een glasvezelring van een zeer hoge capaciteit (bijv. 10 Gbit/s) verschillende wijkstations verbonden met het aansluitpunt op het backbone-netwerk. In deze wijkstations staat actieve apparatuur. In veel gevallen wordt xWDM-technologie ingezet om de capaciteit van deze ring te verhogen.

Vanaf de wijkstations (POP's) zijn individuele vezels tot aan de klantlocatie getrokken. Voordeel van deze oplossing is dat er gebruik gemaakt wordt van multiplexing waardoor de capaciteit van de ringstructuur niet even hoog hoeft te zijn als de som der capaciteiten van de individuele vezels in de subloop. Veelal zijn de ringstructuren voorbereid op hogere bandbreedtes, door meer vezels te leggen dan nu strikt noodzakelijk. In de toekomst kan de capaciteit van de gedeelde ring worden opgehoogd door meer van deze vezels in gebruik te nemen. Een voorbeeld van een implementatie van deze architectuur is hieronder weergegeven in figuur B1.4, en refereert aan de implementatie van FttB (inclusief FttO) in de regio Eindhoven.

²⁷⁷ Bron: [libertyglobal.com]

²⁷⁸ Een mogelijke optie is switched TV, waarbij dicht bij de woning slim wordt geschakeld tussen TV zenders (TV on demand) op basis van oproepen van de abonnee. Dan dus geen volledige spectrum-reservering meer voor omroepdiensten.



Figuur B1.4. Topologie van een typisch aansluitnetwerk gebaseerd op glasvezel²⁷⁹

Sinds 2013 rolt KPN in FTTH GoF (Gigabit over Fibre) technologie uit waarmee snelheden van tenminste 500 Mbit/s symmetrisch kunnen worden aangeboden op individuele aansluitingen. In het zakelijke segment kunnen op aanvraag aanzienlijk zwaardere FttO verbindingen worden geboden (10 Gbit/s). De toepassing van DWDM-technologie maakt verdere doorgroei van aansluitcapaciteit mogelijk.

Bij de uitrol van zien we dat innovaties vooral sterk gericht zijn op het reduceren van de aanlegkosten die wel dalende zijn, maar in Europa nog steeds een belangrijke belemmerende factor vormen in de uitrol van FTTP. Men moet daarbij denken aan²⁸⁰:

- Optimalisatie in benutting van beschikbare duct ruimte door meerdere partijen (duct sharing met gebruikmaking van micro duct technologie)
- Doorvoer van fiber in netten voor riolering, waterleiding en gas
- Eenvoudige licht-gewicht instrumentatie om fiber door te bestaande buizen te blazen
- Pushable fiber oplossingen
- Technieken voor verwijdering van de kern van bestaande telefoniekabels (gebundelde aderparen), om ruimte te maken voor glasvezel
- Nieuwe fiber koppel- en terminatie-oplossingen

²⁷⁹ Bron: besa-innovation.com

²⁸⁰ Bron: ftthcouncil.eu

Mobiele aansluitnetwerken

Carrier Aggregation en CoMP

Om in de toenemende vraag naar data te voorzien wordt de netwerkcapaciteit verhoogd door het gebruik van LTE-Advanced technologie. Met LTE-Advanced kunnen datasnelheden gehaald worden tot zo'n 300 Mbit/s door gebruik te maken van technieken zoals Carrier Aggregation (het samenvoegen van bandbreedte), MIMO (verschillende datastromen over meerdere antennes) en CoMP (Coordinated Multipoint, het afstemmen van zenden en ontvangen tussen basisstations).

Met CoMP-technologie is het voor een mobiel toestel mogelijk om verbinding te onderhouden met meerdere basisstations (van hetzelfde netwerk), waarbij het netwerk het toestel 'stuurt' naar bepaalde basisstations en frequenties, en de basisstations samenwerken bij het ontvangen en verzenden van data. In potentie wordt de verbinding tussen de terminal en het netwerk daardoor veel minder gevoelig wordt voor fluctuaties. Tevens kan efficiënter gebruik worden gemaakt van het spectrum (wat leidt tot hogere capaciteit). Het is niet bekend welke operators in Nederland deze technologie al hebben geadopteerd of gaan adopteren.

KPN past Carrier Aggregation toe door samenvoeging van de 800- en de 1800 MHz frequentiebanden. Begin 2016 heeft KPN plannen bekendgemaakt om nog een band hieraan toe te voegen, zodat in feite sprake is van "tri-carrier aggregation". Dit kan zowel de 2100 MHz²⁸¹ als de 2600 MHz²⁸² band zijn. Een test met deze technologie laat zien dat snelheden tot 391 Mbit/s gehaald kunnen worden²⁸³. Ook Vodafone heeft aangekondigd dat het testen uitvoert met tri-carrier aggregation, door combineren van de 800, 1800 en 2600 MHz banden²⁸⁴. Tele2, dat sinds 2013 een LTE-netwerk heeft, zou carrier aggregation toepassen voor de 800 en 2600 MHz banden²⁸⁵.

Naar verwachting zal in de toekomst verdere samenvoeging van frequentiebanden plaatsvinden. Dit wordt mogelijk gemaakt door de 3GPP-standaard die samenvoeging van vijf banden toestaat, tot een maximale gecombineerde bandbreedte van 100 MHz²⁸⁶. Bovendien zal de invoering van interferentiebeperkende technieken zoals CoMP leiden tot hogere datasnelheden voor gebruikers aan de rand van de mobiele netwerkcel.

Uitrollen kleine cellen voor lokale capaciteitsvergroting

Verwacht wordt dat in de komende paar jaar in toenemende mate kleine cellen zullen worden ingezet om een verdere verbetering van netwerkcapaciteit en datasnelheid te bereiken. Kleine cellen hebben een bereik tot ongeveer 200 meter en bestaan uit kleine, lichte basisstations met een laag vermogen die zowel binnen als buiten kunnen worden geïnstalleerd. Ze kunnen gebruik maken van dezelfde frequentieband als het "gewone" macrocelnetwerk of van een eigen frequentieband. Providers zullen kleine cellen met name inzetten om capaciteits- of dekingsproblemen in dichtstedelijk gebied op te lossen, zoals bijvoorbeeld in winkelstraten of op treinstations.

²⁸¹ Bron: [\[telecompaper.com\]](http://telecompaper.com)

²⁸² Bron: [\[telecompaper.com\]](http://telecompaper.com)

²⁸³ Bron: [\[telecompaper.com\]](http://telecompaper.com)

²⁸⁴ Bron: [\[telecompaper.com\]](http://telecompaper.com)

²⁸⁵ Bron: [\[tweakers.net\]](http://tweakers.net)

²⁸⁶ Bron: [\[qualcomm.com\]](http://qualcomm.com)

In Nederland heeft KPN plannen bekendgemaakt om een nieuw type kleine cellen in te zetten met gebruik van een zogeheten "Cloud-RAN" architectuur waarbij de kleine cellen volledig worden geïntegreerd met het macrocel netwerk²⁸⁷. Ook Vodafone heeft gemeld dat het kleine cellen inzet op drukke locaties in de Randstad²⁸⁸. Door de beperkte afmetingen van de apparatuur (specifiek de hoogte van de antenne) en het lage toegepaste zendvermogen hoeft doorgaans geen ingewikkelde vergunningsprocedure doorlopen te worden, waardoor kleine cellen snel en flexibel ingezet kunnen worden.

Gebruik van nieuwe banden en technologieën – LAA en LSA

Begin 2016 is *License Assisted Access (LAA)* gestandaardiseerd door 3GPP. Het is beschikbaar vanaf Release 13. LAA richt zich op het gebruik van LTE in vergunningvrije frequentiebanden, met name de 5 GHz ISM-band²⁸⁹. LAA bouwt voort op het carrier aggregation-concept, waarbij de vergunningvrije LTE-frequentie niet apart kan worden ingezet maar alleen in combinatie met een andere, gelicenseerde frequentie.

Een andere ontwikkeling is *Licensed Shared Access (LSA)*, dat ook wordt gestandaardiseerd binnen 3GPP. LSA betekent dat frequentiebanden die zijn toegewezen aan een bepaalde instantie (bijvoorbeeld defensie of een andere publieke organisatie) ook kunnen worden ingezet door andere partijen zoals mobiele providers. Vaak betreft het frequentiebanden die niet permanent in gebruik zijn of slechts in beperkte gebieden.

Mobile edge computing en directe communicatie tussen terminals

In verband met de groeiende behoefte aan opslag, processing en communicatie (hoge capaciteit en lage latency) is de trend ingezet richting ondersteuning van Mobile Edge Computing. In cellulaire netwerken betekent dat lokaal verkeer ook zoveel mogelijk lokaal moet kunnen worden afgehandeld. Dat betekent een opsplitsing van data en control functies en het decentraliseren van de intelligentie in een mobiel netwerk en verplaatsing van die intelligentie naar de randen van het netwerk. De exploitatie van mobile edge computing is niet triviaal. Vanuit verschillende applicaties groeit belangstelling maar het risico op suboptimalisatie door silovorming ligt daarbij op de loer. Een vorm van vraagbundeling is waarschijnlijk noodzakelijk om MEC met een positieve business case te kunnen uitrollen.

In het verlengde hiervan wordt in 3GPP ook aandacht geschonken aan de specificaties voor directe (peer-to-peer) communicatie tussen LTE terminals. Deze behoefte is hoofdzakelijk aan de orde in het mobiliteitsdomein (ITS) en in het domein van Openbare Orde en Veiligheid. Onder andere door Qualcomm zijn proprietaire versies ontwikkeld van deze techniek. Bij ITS moet het deel gaan uitmaken van het LTE V2X concept wat neerkomt op een combinatie van wegwagent-voertuig communicatie (typisch onder controle en in de frequentieruimte van een telecom operator) en voertuig-voertuig communicatie dat autonoom moet kunnen worden gebruikt (zogenaamde side-link), en daarom in de ITS frequentieband (5,9 GHz band) zou moeten worden onder gebracht. In Figuur hieronder een overzicht van de verschillende vormen van communicatie bij connected cars.

Onderweg naar 5G

Voor een groot deel is 5G nog toekomstmuziek – de ambities zijn wel duidelijk maar nog niet hoe 5G er technisch precies uit gaat zien.

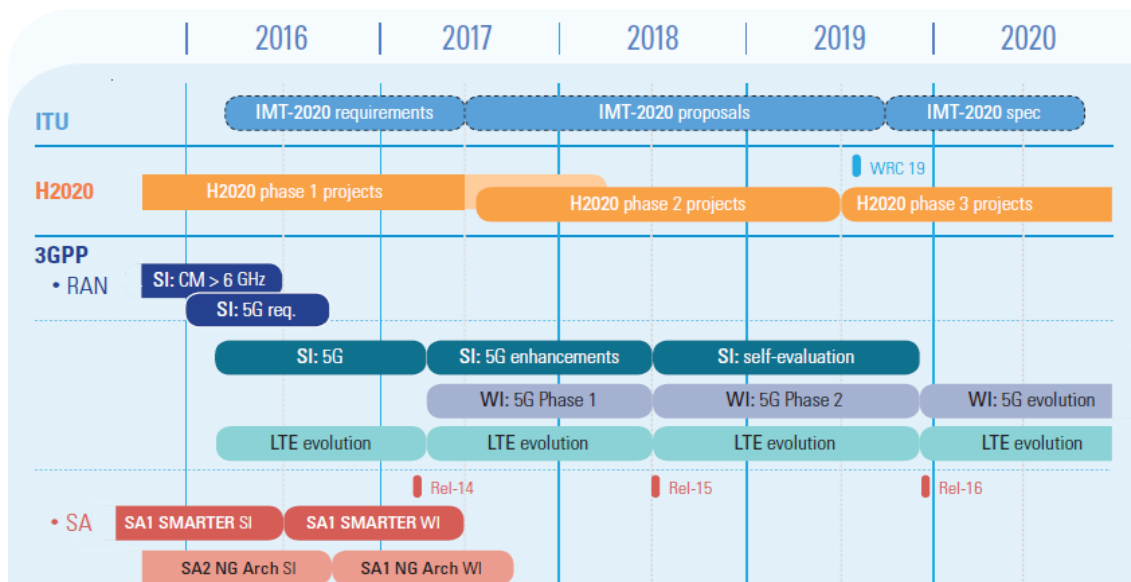
²⁸⁷ Bron: [\[telecompaper.com\]](http://telecompaper.com)

²⁸⁸ Bron: [\[telecompaper.com\]](http://telecompaper.com)

²⁸⁹ ISM staat voor Industrial, Scientific and Medical. ISM-banden kunnen door iedereen onder bepaalde voorwaarden (ten aanzien van zendvermogen, duty cycle, interferentie, et cetera) worden gebruikt.

De diverse proeven worden dan ook vooral opgezet om technologieconcepten uit te proberen die in 5G een rol kunnen gaan spelen. Dit is onderdeel van onderzoek en ontwikkeling op het gebied van 5G technologie die onder andere in Europese (H2020) projecten wordt uitgevoerd. Wat 5G daadwerkelijk moet gaan bieden en welke eisen er aan 5G technologie worden gesteld is onderdeel van de wereldwijde standaardisatie van 5G. Die standaardisatie vindt plaats in organisaties zoals de ITU en 3GPP. Met die standaardisatie van 5G staan we nog maar aan het begin. Tot nu toe is er in 3GPP vooral gewerkt aan studies om de eisen aan 5G te inventariseren. Aan het daadwerkelijk specificeren van de eisen begint men nu in 2016 toe te komen. Op basis van die eisen kan vervolgens worden begonnen met het standaardiseren van 5G radio- en netwerktechnologie. De eerste studies naar mogelijke 5G technologieoplossingen zijn inmiddels begonnen.

Een tijdschema voor de standaardisatie van 5G wordt weergegeven in figuur B1.5. De eerste standaarden worden verwacht in 2018. Op basis hiervan kan dan een eerste, op 3GPP standaarden gebaseerd 5G netwerk worden uitgerold voor de Olympische Spelen in Tokyo in 2020. Pas de tweede fase van 5G standaarden zal naar verwachting aan alle 5G eisen voldoen.



Figuur B1.5. Tijdschema voor 5G standaardisatie in ITU en 3GPP en het Europese H2020 onderzoek naar 5G²⁹⁰.

Mobiele telecommunicatie krijgt een steeds belangrijkere rol in de samenleving. Allerlei sectoren kunnen in de toekomst niet meer zonder mobiele telecommunicatie. Auto's worden via 5G op de hoogte gehouden van hun omgeving en kunnen straks zelfstandig rijden. Hartpatiënten kunnen hartbewaking op afstand krijgen. En in industriële processen communiceren sensoren met actuatoren en besturingssystemen via mobiele netwerktechnologie. De bedoeling is niet dat voor ieder van die toepassingen allemaal aparte netwerken worden opgetuigd. 5G moet op een flexibele manier al deze verschillende toepassingen – met vaak zeer verschillende eisen – kunnen ondersteunen. Het grote verschil aan eisen – van gasmeters die vele jaren met een batterij moeten kunnen tot teleconferentieapparatuur met meerdere 4k Ultra High Definition videokanalen – betekent dat waarschijnlijk meerdere smaken van 5G ontwikkeld zullen worden. Het is zeer goed mogelijk dat er meerdere radiotechnologieën

²⁹⁰ Bron: 5G empowering vertical industries, 5G-PPP whitepaper, 2016 (5g-ppp.eu)

komen die samen 5G vormen. Ieder van die radiotechnologieën kan dan toegesneden worden op een aantal specifieke toepassingsgebieden.

5G beoogt kortom een breed palet aan toepassingsdomeinen c.q. sectoren te accommoderen zoals energiebedrijven, industrie, logistiek, openbaar vervoer, gezondheidszorg en media²⁹¹. Tabel B1-2 geeft een overzicht van door ITU erkende use cases en kwantitatieve eisen die daaruit voortvloeien.

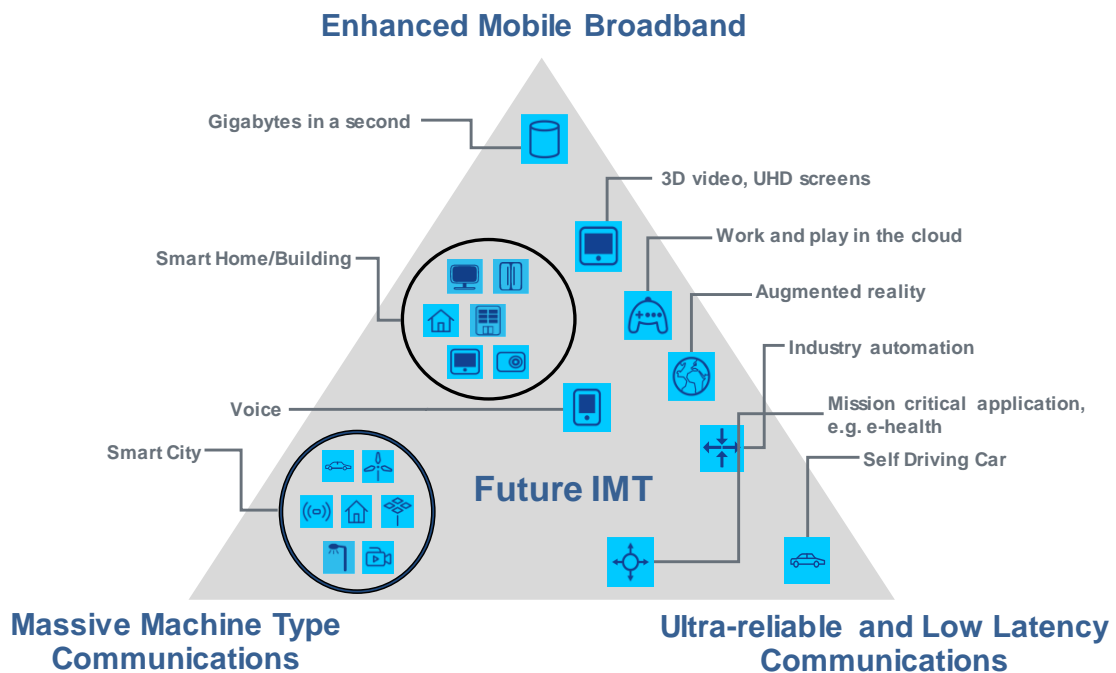
Tabel B1-2. Gebruikersscenario's en kwantitatieve eisen voor 5G²⁹²

Gebruikersscenario's	Key Performance Indicatoren	Specificatie
I – dichtbevolkte stedelijke informatiemaatschappij	Gebruikerservaring	300 Mbit/s (down) en 50 (up) met 95% beschikbaarheid en 95% betrouwbaarheid
	End-to-end Round Trip Time latency	Minder dan 5 ms (voor augmented reality applicaties)
II – virtuele kantoren	Gebruikerservaring	5 (1) Gbps met 20% (95%) beschikbaarheid – down 5 (1) Gbps met 20% (95%) beschikbaarheid – up Beide met 99% betrouwbaarheid
	Gebruikerservaring	50 Mbit/s (down) en 25 (up) met 99% beschikbaarheid en 95% betrouwbaarheid
III – overall toegang tot breedband	Beschikbaarheid	99,9%
	Dichtheid van apparaten	1.000.000 apparaten/km ²
	Gebruik per apparaat	Enkele bytes/dag tot 125 bytes/seconde
IV – grootschalige distributie van sensoren en actuatoren	End-to-end eenrichting latency	5 ms (verkeersveiligheidsapplicaties)
	Gebruikerservaring	100 Mbit/s (down) en 20 (up) met 99% beschikbaarheid en 95% betrouwbaarheid
	Snelheid vervoersmiddel	Tot 250 km/u

ITU heeft een driehoek ontworpen met in de hoeken de belangrijkste uitdagingen aan 5G vanuit de toepassingen bekeken (figuur B1.6). Ook 3GPP maakt van deze driehoek gebruik om de eisen aan 5G vanuit verschillende toepassingsgebieden vorm te geven. De 5G-ontwikkeling lichten we hierna toe aan de hand van deze driehoek. De kwantitatieve eisen aan 5G zijn weergegeven in Figuur B1-2.

²⁹¹ Bron: Idem

²⁹² Bron: ITU



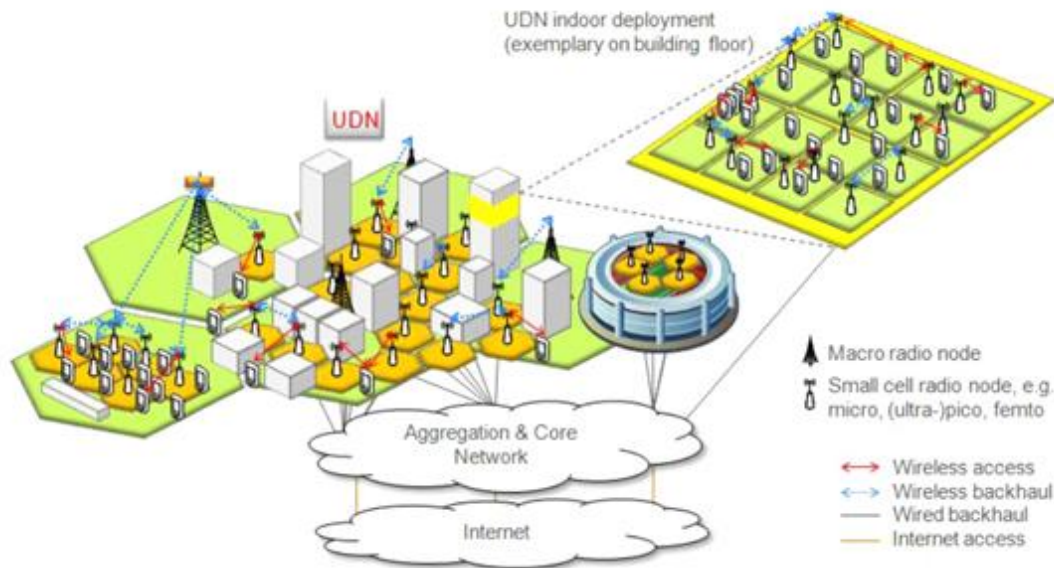
Figuur B1.6. Kwalitatieve eisen aan 5G.²⁹³

*Enable Mobile Broadband*²⁹⁴ appelleert aan één van de belangrijkste doelstellingen van 5G, namelijk om te voldoen aan de groei van mobiele data. De verwachtingen laten zien dat er rond 2020 bij het begin van 5G ongeveer 1000 keer meer mobiele dataverkeer is dan in 2010 bij het begin van 4G. Voor toepassingen in bijvoorbeeld kantoren worden datasnelheden tot 1 Gbit/s per gebruiker verwacht. In buitengebieden en bij hoge snelheden (tot 500 km/h) moet altijd nog minstens 50 Mbit/s kunnen worden gegarandeerd. Die groei aan dataverkeer moet worden opgevangen zonder dat het mobiele netwerk duizend keer duurder wordt, er duizend keer meer basisstations nodig zijn of het netwerk duizend keer meer energie gebruikt. 5G-technologie zal daarom een stuk efficiënter moeten zijn dan 4G technologie, maar meer frequentieruimte en grotere aantallen (kleinere) opstelpunten zijn onvermijdelijk.

Om dergelijke hoge datasnelheden mogelijk te maken zal mede gebruik gemaakt worden van spectrum met veel hogere frequenties dan nu gebruikelijk is voor mobiele telecommunicatie. In de zogeheten *millimeter wave* frequentiebanden van 30 GHz tot 100 GHz is nog veel spectrum beschikbaar dat voor 5G gebruikt kan worden. Het vinden van frequentieruimte voor mobiel breedband in deze banden staat op de agenda van de WRC2019. Deze hoge frequenties brengen echter wel fundamenteel andere karakteristieken mee voor radio-propagatie en planning. Door gebruik te maken van antennearrays met heel veel antennelementen (MIMO – Massive Input Massive Output) kunnen radiobundels specifiek op mobiele apparaten gericht worden. Daarmee kan interferentie worden verminderd, wat tot een groter bereik leidt. Daarnaast is het door bundelvorming mogelijk dezelfde frequenties voor verschillende apparaten te hergebruiken, wat een grotere capaciteit oplevert. Tot slot moet capaciteit worden gecreëerd door hoge dichtheden van kleine cellen (Ultra Dense Network). Zie ook figuur B1.7.

²⁹³ Bron: ITU

²⁹⁴ Bron: *Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers - Enhanced Mobile Broadband*, 3GPP TR 22.863 (3gpp.org)



Figuur B1.7. Schematisch overzicht van de opbouw van een Ultra Dense Network.²⁹⁵

Voor de front-haul verbindingen wordt gedacht aan glasvezel en mm-wave (draadloos). Behalve capaciteit zijn vooral de latency eisen hoog omdat een geoptimaliseerd interferentiemanagement (nodig om de benutting van de radiokanaalcapaciteit te maximaliseren, vereist dat de daarbij betrokken antennesystemen zeer goed onderling zijn gesynchroniseerd. De meest geavanceerde coördinatie-techniek²⁹⁶ legt een latency-eis op <0,5 ms.

Bij *Massive Machine Type Communications* is het vooral van belang om zeer grote aantallen apparaten te kunnen ondersteunen²⁹⁷. De verwachtingen voor de groei van het aantal op Internet aangesloten apparaten lopen enigszins uiteen (zie ook paragraaf □). 3GPP heeft als eis opgenomen dat de technologie van 5G in staat moet zijn om één biljoen aangesloten apparaten aan te kunnen. Dat zal voldoende moeten zijn om ook na 2020 nog tientallen jaren met 5G-technologie vooruit te kunnen. Huidige 4G mobiele netwerken hebben vooral problemen met een grote dichtheid aan mobiele apparaten. Voor 5G worden dichtheden tot 1 miljoen per vierkante kilometer, en lokaal in fabrieken zelfs tot 100 per vierkante meter, verwacht. Dat betekent dat een enkel basisstation veel meer apparaten tegelijkertijd moet aankunnen dan nu het geval is.

Ondersteuning van het Internet of Things gaat verder dan het ondersteunen van *Low Power Wide Area* toepassingen zoals sensoren en tracking & tracing. Voor het merendeel van de apparaten zal een draadloze technologie voor de korte afstand worden gebruikt²⁹⁸. Voor 5G zal 3GPP misschien een eigen versie van draadloze technologie ontwikkelen of anders combinatie met andere draadloze technieken ondersteunen. Het moet mogelijk zijn om

²⁹⁵ Bron: METIS

²⁹⁶ Dit betreft Downlink Joint Transmission. Bron: Synchronisation Aspects in LTE Small Cells

²⁹⁷ Bron: *Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers for Massive Internet of Things*, 3GPP TR 22.861. ([3gpp.org])

²⁹⁸ Bron: Machina, 2016

apparaten in het Internet of Things te kunnen adresseren en bereiken zonder dat de gebruiker eerst moet weten via welke technologie dat apparaat is aangesloten.

*Ultra reliable and low latency communication*²⁹⁹ omvat vooral de eisen van zakelijke en industriële toepassingen. Wanneer bijvoorbeeld treinbegeleiding of de elektriciteitsvoorziening gebruik gaat maken van een mobiel netwerk, dan moet dat mobiele netwerk een hoge mate van betrouwbaarheid en beschikbaarheid hebben. Ook de eisen aan de mobiele bedekking zijn hoog. Voor bijvoorbeeld hartbewaking op afstand is het niet acceptabel wanneer bij sommige patiënten de bedekking onvoldoende is.

Minder vertraging in het netwerk is een eis die een grote impact op 5G zal hebben. Voor toepassingen als virtual reality, chirurgie op afstand, en industriële besturing zijn zeer lage vertragingen van maximaal 1 tot 5 ms noodzakelijk. Om dergelijk lage vertragingen te kunnen realiseren moeten zowel de radio interface als het netwerk worden aangepast. Bij een radioverbinding levert momenteel foutencorrectie teveel vertraging op. In 5G moet dezelfde betrouwbaarheid dus met minder foutencorrectie worden gerealiseerd. Omdat netwerktransport via optische kabels over 200 km ook al een vertraging van 1 ms oplevert moet het mobiele netwerk anders ingericht worden. Applicaties die een lage vertraging nodig hebben zullen waar mogelijk lokaal (d.w.z. in de buurt van de apparaten) worden uitgevoerd. Dat leidt tot een veel meer gedecentraliseerd netwerk.

Netwerken ter ondersteuning van Internet of Things

Hier gaan we nader in op de connectiviteitseisen van een tweetal verschillende vormen van IoT, namelijk massive IoT en critical IoT.

Als we het door Ericsson gehanteerde onderscheid aanhouden, dan kunnen we ten aanzien van *Massive IoT* vaststellen dat de behoefte aan connectiviteit zich daar vooral gaat richten op het upstream kunnen transporteren van (kleine substanties) lokaal gegenereerde data. De impact van die eis op netwerken moet niet worden onderschat, omdat met name in de upstream de protocolarchitectuur en het radioresource management speciaal moet worden ingericht teneinde dit op efficiënte wijze te kunnen doen. Lage latency en hoge betrouwbaarheid kunnen, afhankelijk van de use case, wel van belang zijn maar zijn voor deze categorie in het algemeen niet kritisch. Dekking is echter wel essentieel teneinde geografisch niet beperkt te worden in de uitrol van sensoren voor een breed scala aan use cases (IoT vraagt om ubiquitous access). Het 5G-PPP Consortium hanteert voor 5G een design target van maar liefst 1 miljoen devices per km².

Bij *Critical IoT* ligt het anders omdat de individuele systemen (de nodes) zelf de toepassing vertegenwoordigen of daar een belangrijk onderdeel van vormen. Getalsmatig kan het nog steeds om grotere aantallen gaan, maar van een andere orde dan bij massive IoT. De soorten data die het systeem verzamelt om te analyseren, bepalen in hoge mate de connectiviteitseisen van een smart system. Als systeemprestaties belangrijk zijn en het onderhoud (downtime) moet kunnen worden beperkt, zal data veelal in de directe omgeving van het product worden verzameld ('immediate value data'), zodat die real-time kan worden ingezet. Als het systeem onderdeel is van een groter geheel (ecosysteem), dan wordt data uit verschillende externe bronnen en (andere) systemen gehaald, ook uit bronnen die niet in beheer van de producent zijn (weerdata, verkeersdata, marktprijzen, etc.). Dus heeft men te maken

²⁹⁹ Bron: 3GPP TR 22.862 "Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers - Critical Communications", beschikbaar via: [\[3gpp.org\]](http://3gpp.org).

met informatie die lokaal wordt gegenereerd, uit de cloud wordt betrokken of beide (hybride). Beschouwen we populaties van smart systemen, dan kunnen de volgende communicatiepatronen worden onderscheiden:

- Eén-op-één: een individueel systeem verbindt met een gebruiker of één ander systeem, bijvoorbeeld een robot die met een gebruiker interacteert. IoT biedt smart systems en robots daarbij ook een nieuwe mogelijkheid om aan objectherkenning te doen: door objects 'smart' en 'connected' te maken, hoeven smart systems de objecten niet meer zelf te herkennen met geavanceerde sensoren, maar maken de objecten zichzelf bekend aan deze systemen en vindt data-uitwisseling plaats tussen object en 'smart system'.
- Eén-naar-veel en vice-versa: een grote hoeveelheid systems is verbonden met een centraal systeem (cloud), bijvoorbeeld slimme auto's die verbonden zijn met het monitoring systeem van een fabrikant. Het combineren van smart systems en connectiviteit biedt deze smart systems een enorme hoeveelheid informatiebronnen om te gebruiken in hun redeneren (analyse) en interactie met de omgeving. Verbonden smart systems kunnen niet alleen informatie delen, maar dit ook naar de cloud sturen voor analyse en data-gestuurde beslissingen en ondersteuning³⁰⁰.
- Veel-veel: In een volgende stap zullen de onderling verbindingen ervoor zorgen dat smart systems niet alleen op zichzelf (Smart systems), maar zich gaan gedragen als netwerk van smart systems om zo te redeneren en beslissingen te nemen voor alle betrokken systemen (System of systems)³⁰¹. Smart systems verbinden zich met andere systemen en databronnen in een vermaasd netwerk. De intelligentie verplaatst zich daarmee in de nabije toekomst deels van de centrale cloud naar de systemen en devices aan de rand van dit netwerk. Intelligentie bevindt zich dan in objecten overal om ons heen (omgeving), op ons lichaam (kleding, gadgets) en in onszelf³⁰².

De kwalitatieve eisen die ten aanzien van connectiviteit van Critical IoT systemen kunnen worden verwacht zijn:

- Response tijd (latency): functionaliteit die safety critical is en in hoge mate van reactietijd afhangt, zit bij voorkeur in het systeem (bijvoorbeeld de safety shutdown van een systeem). Als connectiviteit wegvalt of vermindert, werkt deze functie nog.
- Locatie: systemen die op gevaarlijke of afgelegen plekken werken, kunnen een deel van de functionaliteit in de cloud plaatsen, om mitigerende maatregelen te kunnen nemen met beschikbaarheid van informatie als het systeem uitvalt. Anderzijds is niet noodzakelijkerwijs sprake van een eis tot dekking overal, maar zullen voor de beschouwde categorie wel hoge dekkingseisen gelden in het geografische gebied of langs de trajecten waar systemen zich functioneel ophouden.
- Betrouwbaarheid: in het verlengde van de eisen die aan de betrouwbaarheid van het systeem worden gesteld, kunnen ook hoge betrouwbaarheidseisen aan de connectiviteit gelden. Veel hangt ook af van wat in de navigatiewereld 'dead reckoning' wordt genoemd: hoe lang is een systeem in staat goed te functioneren zonder actualisering met externe informatie uit de cloud?

³⁰⁰ Bron: [\[intel.co.uk\]](http://intel.co.uk)

³⁰¹ Bron: [\[iot.telefonica.com\]](http://iot.telefonica.com)

³⁰² Bron: [\[theinternetofthings.eu\]](http://theinternetofthings.eu)

- Aard van de user interface: bij een complexe gebruikersinterface kan deze in de cloud geplaatst worden om een rijkere ervaring te bieden en om deze via meerdere kanalen aan te kunnen bieden (bijvoorbeeld een smartphone).

Upgrades/updates: het plaatsen in de cloud levert de mogelijkheid updates/upgrades gemakkelijker en vaker uit te voeren.

Bijlage 2. Ontwikkelingen in digitale platformen

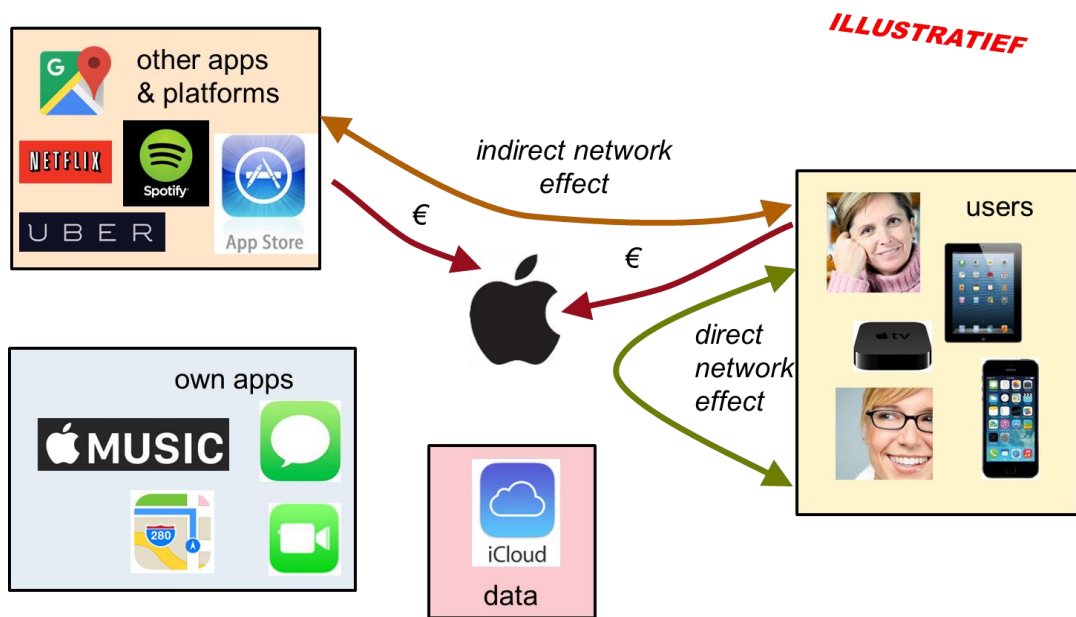
Digitale platformen, zoals Google, Facebook en Bookings.com, spelen een snel groeiende rol in het samenbrengen van vraag en aanbod van diensten^{303,304}. Onze verwachting is dat de betekenis van platformen zich niet alleen beperkt tot generieke diensten die op een massamarkt zijn gericht, maar dat platformen ook in professionele sectoren een steeds grotere rol gaan spelen om in de behoefte aan gespecialiseerde diensten te voorzien. Vanuit business perspectief zorgen platformen voor tal van nieuwe diensten en business modellen door het op nieuwe manieren verbinden van aanbieders en afnemers. Het verbinden gebeurt bij de bekende platformen op een wereldwijde schaal maar er zijn ook talloze voorbeelden van platformen die juist heel lokaal (tot aan buurtniveau toe) opereren, zoals Peerby en Thuisafgehaald.nl. We zien dat grote c.q. sterk groeiende platformspelers een pro-actieve, disruptieve strategie voeren in sectoren waar sprake is van een potentieel grote marktomvang en waarin de 'incumbent dienstverleners' nog niet in het gat zijn gesprongen dat zo'n grote platformspeler ziet. Uber en Airbnb zijn daar goede voorbeelden van, maar ook Google met de Google self-driving car. Op deze manier forceren dergelijke spelers specifieke sectoren tot innovatie.

De kracht van platformen komt voort uit hun *netwerkeffecten*: platformen worden waardevoller naarmate er meer gebruikers op zijn aangesloten. Bij *directe* netwerkeffecten gaat het om gebruikers die aan dezelfde kant van het platform actief zijn. Zo is het aantrekkelijk om als gebruiker te zijn aangesloten op een social media platform waar veel van de vrienden waarmee je wilt interacteren zijn aangesloten. Dit verklaart de aantrekkingskracht van bijvoorbeeld Facebook en Snapchat. Bij *indirecte* netwerkeffecten gaat het om de effecten tussen groepen gebruikers aan verschillende kanten van het platform. Zo is het Android platform aantrekkelijk voor app developers omdat er veel gebruikers met Android toestellen zijn, en andersom. Door de combinatie van technische platformen met verschillende business modellen die inspelen op de snelheid en schaalgrootte van IT-systemen en het Internet bepalen digitale platformen in grote mate hoe consumenten en bedrijven applicaties op het Internet gebruiken. De netwerkeffecten spelen ook een nadrukkelijke rol bij de innovatie die via platformen ontstaan³⁰⁵. Een bekend voorbeeld hiervan is Apple's iPhone en app store. Deze worden door app developers overal ter wereld gebruikt als basis voor complementaire diensten en producten, in de regel in de vorm van apps die functies toevoegen aan de basisfuncties van de iPhone. Deze rol van platformen in innovatie is ook van groot belang voor de sectoren die centraal staan in deze studie (agri, energie, mobiliteit, onderwijs en zorg),

³⁰³ Bron: *The Rise of the Platform Economy*, Kenney, Martin, and John Zysman, Issues in Science and Technology 32, no. 3 (Spring 2016)

³⁰⁴ Bron: *Digital Platforms: an analytical framework for identifying and evaluating policy options*, Van Eijk et al, TNO report R11271, October 2015, Beschikbaar via: rijksoverheid.nl

³⁰⁵ Bron: *The Rise of the Platform Enterprise*, Peter C. Evans, Annabelle Gawer The Center for Global Enterprise, January 2016, Beschikbaar via: thcge.net



Figuur B2.1: Directe en indirecte netwerkeffecten van Digitale Platformen

Vanuit technisch en connectiviteitsperspectief vormen platformen een technisch knooppunt voor het daadwerkelijk verbinden van aanbieders en afnemers. In praktische zin is het daarmee een standaard aanpak geworden voor applicatie aanbieders om hun applicaties eenvoudig naar een groot aantal gebruikers te distribueren en (omgekeerd) om data van een groot aantal gebruikers te verzamelen en te gebruiken in de applicatie of in een daarmee samenhangend (advertentie) business model. Voor de technische knooppuntfunctie wordt in de regel intensief gebruik gemaakt van cloud computing en Internetconnectiviteit, soms aangevuld met private verbindingen in het geval van gesloten platformen. De allergrootste platformen (zoals Google, Apple en Amazon) gebruiken eigen wereldwijd gedistribueerde cloud infra. De andere platformen huren cloud capaciteit (variërend van Amazon voor wereldwijde dekking, tot lokale aanbieders voor lokale dekking of specifieke sectoren). Veel digitale platformen verzamelen en verwerken grote hoeveelheden data, voor de applicaties die ze gebruikers bieden en (afhankelijk van hun verdienmodel) voor personaliseerde advertenties. Voor deze Big Data opslag en analytics wordt ook weer cloud infra gebruikt.

De eisen die platformen aan digitale connectiviteit stellen variëren sterk. Voor veel sharing economy en e-commerce platformen is de benodigde bandbreedte beperkt, maar speelt in veel gevallen de responstijd (gerelateerd aan de vertragingstijd van de verbinding en de processing in het platform zelf) een grote rol. Om klanten vast te houden tijdens het koopproces op de website wordt in veel gevallen grootschalige caching toegepast vanuit gedistribueerde datacentra om de websites zo responsief mogelijk te maken. Voor videoplatformen zoals Youtube en Netflix is responsiviteit ook belangrijk bij het zoeken door de catalogus, maar speelt daarnaast vooral de grote vraag naar bandbreedte om de stroom video's zonder hick-ups te kunnen uitspelen.

Een aantal grote platformen zijn nadrukkelijk verbonden met devices, zoals Google's Android platform, Apple's iOS platform en het C-ITS (Cooperative Intelligent Transport System) platform. Hiermee hebben ze grote invloed op de digitale connectiviteit die door applicaties gebruikt kan worden vanuit deze devices. In geval van zelf-rijdende auto's is het C-ITS platform op dit moment voornamelijk gericht op Wifi 11p verbindingen, terwijl verwacht kan worden dat toekomstige automotive platformen van Apple en Google zich op andersoortige

connectiviteit zullen baseren³⁰⁶. Een voorbeeld uit een ander toepassingsdomein is Chromecast, de aanpak van Google voor videodistributie binnenshuis, die voortbouwt op Google's Android platform en Chrome webbrowser. Dit laat zien dat de ontwikkeling van digitale connectiviteit niet alleen via functionele requirements van sector-specifieke applicaties wordt gestuurd, maar ook via de voorkeuren voor technologieën die binnen digitale platformen bestaan.

³⁰⁶ Bron: Assessment of wireless connectivity options in support of ITS, TNO Report 2016 R10216, March 2016, beschikbaar via: [\[connectingmobility.nl\]](http://connectingmobility.nl)

Bijlage 3. Ontwikkelingen in cloud computing

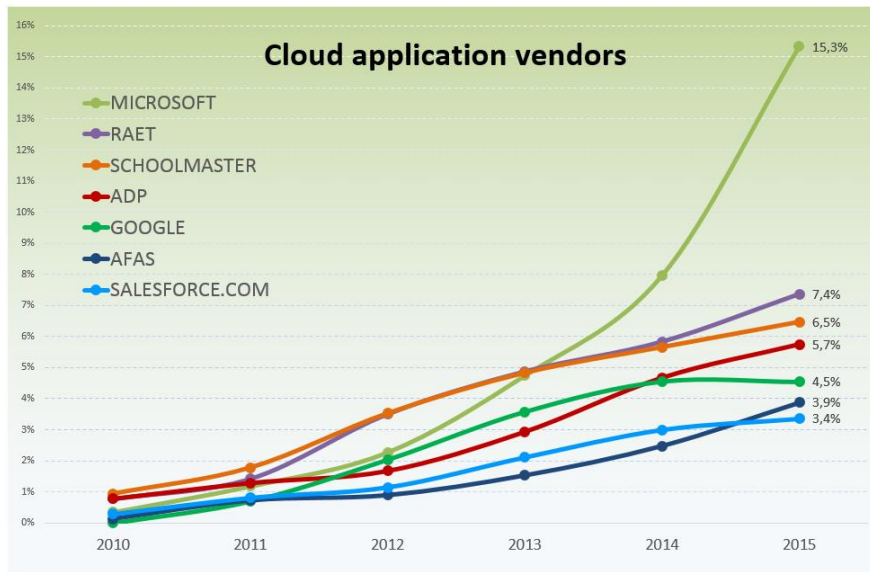
Bij cloud computing worden computing en storage functies ondergebracht op goed gekozen, nu nog over het algemeen centrale plaatsen in het Internet. Voor de gebruiker lijkt het alsof deze beschikt over eigen faciliteiten en diensten, maar deze zijn in werkelijkheid gevirtualiseerd. Cloud computing is in een aantal jaren uitgegroeid tot een gevestigde ICT aanpak, gedreven door de voordelen in schaalbaarheid en robuustheid voor de afnemers. Voor bedrijven is cloud computing nu nog vaak gelieerd aan het outsourcen van IT. Aan de consumentenkant maken apps op mobiele devices en ook op PCs vaak gebruik van de grote IT capaciteit die beschikbaar is in clouds. Cloud computing gaat zich in de komende jaren verder ontwikkelen, hand in hand met Big Data. Hierbij bestaat ook een duidelijk verband met digitale connectiviteit. Het gebruik van cloud computing voor nieuwe categorieën applicaties zorgt voor aanvullende functies en architecturen in cloud systemen die eisen opleveren aan de digitale connectiviteit. Andersom is cloud computing mede mogelijk gemaakt door snel groeiende beschikbaarheid van snelle en betrouwbare Internet-connectiviteit. Later in deze sectie wordt dit in meer detail geanalyseerd. Naast connectiviteit zijn er een aantal andere belangrijke factoren die bepalend zijn voor het tempo en de richting van de verder ontwikkeling, zoals het vertrouwen van afnemers in de beveiliging van gegevens, interoperabiliteit en portabiliteit tussen verschillende cloud providers en de toepasselijkheid van Europese dan wel Amerikaanse privacy regels op data in de cloud. De EU heeft een aantal van deze punten opgenomen in de European Cloud Strategy³⁰⁷.

In Nederland ligt het gebruik van cloud diensten door bedrijven met 28% op een hoger niveau dan het EU gemiddelde van 19%, maar substantieel lager dan in Finland (51%), IJsland (43%), Italië (40%) en Zweden (39%)³⁰⁸. Daarbij blijkt dat het gebruik van cloud in Nederland tot nu toe met name gebeurt vanuit operationele en tactische overwegingen van kostenbesparing en beschikbaarheid³⁰⁹. Er zijn tot nu toe weinig bedrijven die cloud strategisch inzetten in een cloud-gebaseerd business model, zoals bijvoorbeeld Netflix doet. Dit wordt geïllustreerd door onderstaande figuur over de populairste cloud applicaties onder middelgrote en grote bedrijven in Nederland. De algemene groei in het gebruik van cloud is duidelijk, met een opvallende rol voor Microsoft Office365.

³⁰⁷ Bron: [\[ec.europa.eu\]](http://ec.europa.eu)

³⁰⁸ Bron: [\[ec.europa.eu\]](http://ec.europa.eu)

³⁰⁹ Bron: Capgemini (2015), Dutch Cloud Readiness Report 2015, Beschikbaar via [\[capgemini.com\]](http://capgemini.com)



Figuur B3.1: Vendors en typen cloud applicaties onder middelgrote en grote bedrijven in Nederland. Bron: Computer Profile (2015)³¹⁰

Behalve drivers zijn er ook remmende factoren bij de adoptie van cloudconcepten door organisaties:

- Bewerkingsovereenkomst, melding van datalekken
- Veiligheid (feitelijk en perceptie)
- Performance (bij grote databases)
- Safe harbor e.d., cross border
- Onvoldoende kennis over en inzicht in cloud en cloud gerelateerde proposities
- Bestaande verticaal ingerichte IT huishouding en manier van werken moet worden losgelaten
- Vrees voor lock-in door beperkingen in interoperabiliteit en portabiliteit.
- Beperkingen in connectiviteit

Dit maakt dat het tempo van adoptie en afhankelijkheid van cloud technologie per segment/sector zal verschillen.

Wat men bij het interpreteren van dit type analyse voor ogen moet houden is dat cloud computing een containerbegrip is waar aanbieders verschillende elementen onder schuiven. Een veel gemaakte categorisering is die in termen van Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS) en Software as a Service (SaaS)^{311,312}, zie Tabel . Deze categorieën hebben met elkaar gemeen dat de afnemers toegang tot de diensten krijgen via het publieke Internet of via een private IP verbinding. IaaS geeft de afnemers de meeste vrijheid (maar ook het meeste werk) in het samenstellen van hun diensten, SaaS biedt kant en klare applicaties en neemt daarmee juist door verregaande virtualisatie het meeste werk uit handen. Aanbieders van cloud diensten bieden vaak alle drie de categorieën aan, waarbij ze zelf profiteren van het feit dat PaaS voorbouwt op IaaS en SaaS op zijn beurt op PaaS.

³¹⁰ Bron: computerprofile.com

³¹¹ Bron: support.rackspace.com

³¹² Bron: aws.amazon.com

Marketing bureau Statista³¹³ verwacht een groei van de wereldwijde markt voor IaaS van ca 25% per jaar tot aan 2021, om daarna af te vlakken.

Tabel B3-1: Karakteristieken van IaaS, PaaS en SaaS

Type Service	Karakteristieken	Voorbeelden
Infrastructure as a Service (IaaS)	Gevirtualiseerde hardware: afnemer kan hierop zijn eigen software draaien en daarmee een eigen IT platform samenstellen	Amazon Web Services, Rack-space, VMware
Platform as a Service (PaaS)	Gevirtualiseerd IT platform. Bedrijven draaien hun software op een virtueel IT platform in de cloud.	Amazon Web Services, Microsoft Azure, Sap HANA
Software as a Service (SaaS)	Gevirtualiseerde software. Consumenten en bedrijven gebruiken applicatiesoftware die draait in de cloud.	Microsoft Office365, Google Docs, SAP Hybris

Het gebruik van cloud computing in ICT applicaties binnen sectoren levert uiteenlopende eisen op aan de connectiviteit. Zonder adequate connectiviteit via het publieke InternetInternet of dedicated IP verbindingen kan cloud computing niet bestaan. Als organisaties besluiten hun applicaties in een datacenter onder te brengen dan blijft men wel gehecht aan de 'LAN-ervaring'. De precieze eisen aan de connectiviteit verschillen per toepassing, waarbij de nadruk kan liggen op bandbreedte, betrouwbaarheid, (geografische) dekking, latency en combinaties hiervan. Het is belangrijk om op te merken dat het niet eenvoudigweg gaat om eisen aan connectiviteit die vanuit cloud computing aan de netwerkinfrastructuur worden gesteld en waarin dan al dan niet voorzien kan worden voor een bepaalde prijs. In de verdere ontwikkeling van cloud computing speelt een veel genuanceerdere interactie tussen de processing, storage en connectiviteit die voor cloud nodig is. De Industry Group Cloud Computing³¹⁴ die voor de EC de verdere ontwikkeling van cloud geanalyseerd heeft geeft hiervan een goed overzicht, waar we hier drie belangrijke hoofdrichtingen uit halen vanwege hun invloed op connectiviteit.

Bij Edge en Fog computing vindt in beide gevallen een fysieke uitbreiding van de cloud plaats in de richting van de devices die ervan gebruik maken. Hiervoor kunnen verschillende redenen zijn, bijvoorbeeld het verlagen van de latency door transport bij sterk tijdkritische toepassingen in ITS systemen. In de context van 5G noemt met dit Mobile Edge Computing. Fog computing is een notie die onder meer door Cisco wordt gebruikt in de context van het Internet of Things³¹⁵.

Hiervoor kan upstream bandbreedtebesparing een reden zijn, maar daarnaast ook bijvoorbeeld veiligheid: het uitvoeren van lokale analyse of data voorkomt de noodzaak van transport naar centraler gelegen locaties. Dit is de zogenaamde data-centric cloud computing die vanuit Big Data perspectief specifieke voordelen kan hebben (Zie ook bijlage 4). In beide

³¹³ Bron: [\[statista.com\]](https://www.statista.com)

³¹⁴ Bron: *Report on the consultation with industry representatives on research challenges in cloud computing for H2020 Work Programme 2018-2020*, Final version, 12 February 2016

³¹⁵ Bron: *Fog Computing and the Internet of Things: Extend the Cloud to Where the Things Are*, Cisco, 2015, Beschikbaar via [\[cisco.com\]](https://www.cisco.com)

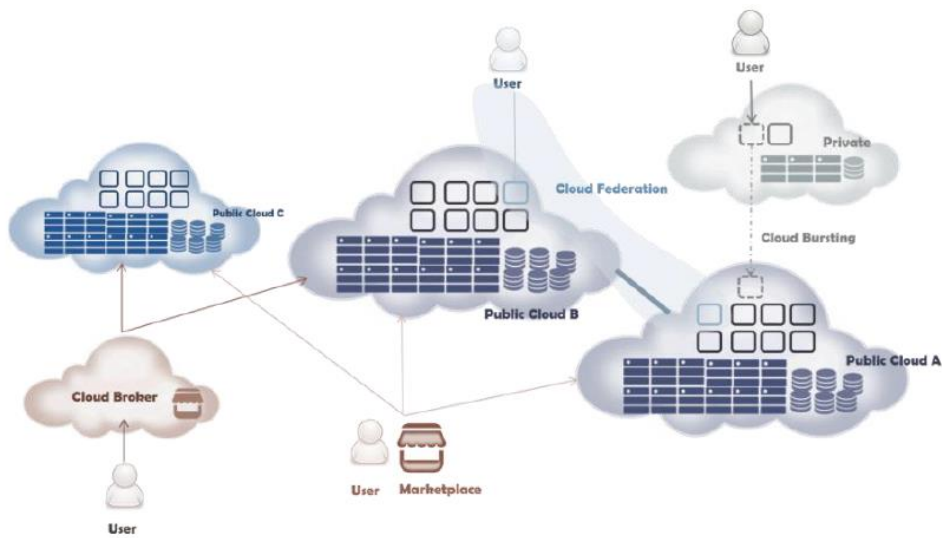
gevallen zien we dus dat eisen aan de connectiviteit kunnen leiden tot veranderingen in de architectuur van cloud computing: waar het aanbod van connectiviteit mogelijk niet voldoet ontstaat een beweging en herformulering aan de vraagkant die voor een andersoortige oplossing leidt.

Tabel B3-2: Fog nodes breiden de cloud uit tot aan de rand van het netwerk

	Meest nabije fog nodes vanaf IoT apparaat	Fog aggregatienodes	Cloud
Responsetijd	Milliseconden tot maximaal een seconde	Seconden tot minuten	Minuten, dagen, weken
Applicatie-voorbeelden	Haptonomische M2M-communicatie, inclusief teleshopping en training	Visualisatie Simpel analyse	Big data analyse Grafische dashboards
Opslagtijd	Kortstondig	Korte periode: mogelijk uren, dagen of weken	Maanden of jaren
Geografische dekking	Zeer lokaal, bijvoorbeeld een huizenblok	Breder	Wereldwijd

Hybrid cloud en cloud federation. Hybrid cloud is een bestaand concept waarbij bedrijven gebruik maken van een cloud die fysiek en logisch verdeeld is over verschillende lokaties, bijvoorbeeld een internationale public cloud (Amazon, Microsoft), een lokale/nationale cloud (een NL cloud) en eigen on-premise systemen. Afhankelijk van de eisen aan de veiligheid, jurisdictie, benodigde bandbreedte, responstijd en andere factoren verdeelt een bedrijf zijn data en processen over deze verschillende clouds. Dit samengesteld aanbod is commercieel beschikbaar. In de toekomst gaat deze ontwikkeling een stap verder in de vorm van cloud federation: bedrijven gebruiken flexibel samengestelde diensten van verschillende cloud providers voor het uitvoeren van applicaties. Naast techno-economische voordelen zoals verdere schaalbaarheid en kostenbesparingen belooft cloud federation ook het verminderen van lock-in bij cloud aanbieders en flexibeler omgang met juridische belemmeringen rondom buitenlandse clouds³¹⁶.

³¹⁶ Bron: Inter-cloud Challenges, Expectations and Issues Cluster Position Paper, December 2015, Beschikbaar via: eucloudclusters.files.wordpress.com

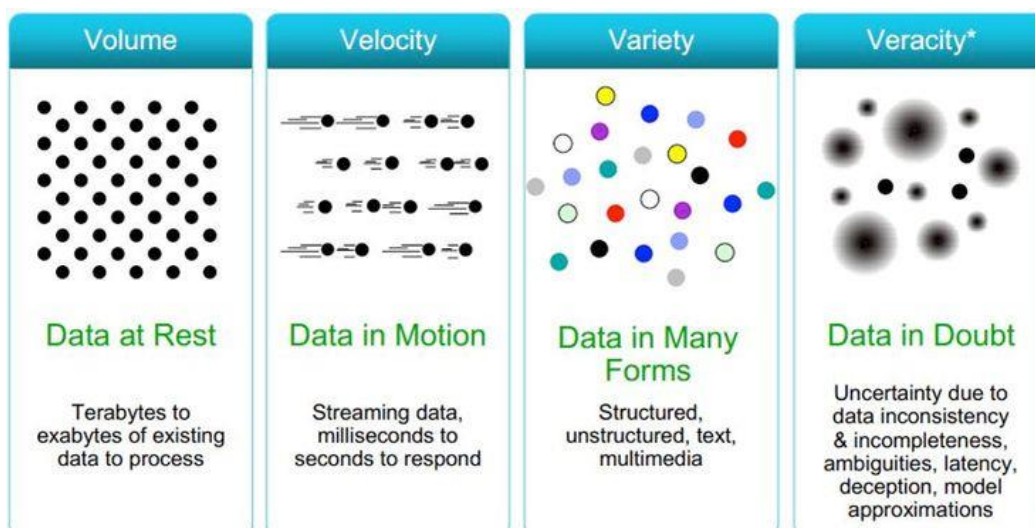


Figuur B3.2: Public Cloud en Cloud federation

In de huidige research fase wordt hierbij een beroep gedaan op verschillende vormen van connectiviteit, zoals het gebruik van Software Defined Networking voor flexibel gebruik van netwerken tussen clouds met tijdelijke bandbreedte en kwaliteitsreserveringen.

Bijlage 4. Ontwikkelingen in Big Data

De hoeveelheid data in de wereld groeit al enkele jaren met exponentiële snelheid, waarbij de hoeveelheid inmiddels elke twee jaar verdubbelt. Deze big data wordt gegenereerd door elk digitaal proces, elke uitwisseling op sociale media, wordt verzonden door systemen, sensoren en mobiele devices in een ons omringend netwerk van digitale 'dingen'. De resulterende hoeveelheid data is inmiddels zo groot en complex geworden, dat de traditionele manieren om data te verwerken, niet meer toepasbaar zijn³¹⁷. Dit wordt omschreven als 'Big Data'³¹⁸. Het concept Big Data wordt doorgaans gekarakteriseerd aan de hand van vier V-eigenschappen: *volume* (omvang/hoeveelheid van de data), *variety* (verschillende typen data in de data set), *velocity* (snelheid waarmee de data wordt gegenereerd), *veracity* (onzekerheid over kwaliteit van de data)³¹⁹. De term Big Data wordt echter ook steeds meer synoniem met de waarde die eruit wordt gehaald door met name de verschillende soorten analyse methoden (data analytics), zoals bijvoorbeeld predictive analytics (wat gaat er gebeuren op basis van de analyse van de data?), prescriptive analytics (wat moet er worden gedaan op basis van de inzichten uit de data?), user behaviour analytics (wat voor gedrag vertonen gebruikers?)³²⁰.



Figuur B4.1: De vier 'V's van Big Data

³¹⁷ Bron: [msdn.microsoft.com]

³¹⁸ Bron: [datascience.berkeley.edu]

³¹⁹ Bron: [ibmbigdatahub.com]

³²⁰ Bron: Big Data, Wikipedia, 11-10-2016

Er ontstaan tal van nieuwe toepassingen rond Big Data. Een actueel voorbeeld is het Urban Strategy project van Rotterdam dat visualisatie van data betreft. Gemeenten hebben behoefte aan een multidisciplinair data dashboard (mobiliteit, emissie, veiligheid) voor integraal beheer openbare ruimte (IBOR): een platform waarmee allerlei what-if analyses mogelijk zijn. Je krijgt urban city platforms voor allerlei controle en stuurfuncties. Het gaat hier over genereren van big data (uit diverse bronnen), het visualiseren daarvan evenals het gebruik in simulaties (denk aan serious gaming). Verkeerscentrales, operators van bruggen en sluizen komen bijvoorbeeld met behoeften om scenario's real-time uit te spelen: wat bijvoorbeeld doen bij ongeluk (Rotterdam Maastunnel sluiting, Velsertunnel, Zuidas). Dat vergt bepaalde (behoorlijke) informatiedichtheid. De behoefte hieraan wordt aangejaagd door wat men ziet in consumententoeepassingen zoals Pokamon Go. Telepresence is hier ook van belang: kan ik als professional ergens in de stad gaan staan en dan rondkijken?

Een rapport van McKinsey³²⁴ noemt drie componenten als onderdeel van een Big Data ecosysteem: analyse technieken (zoals machine learning, spraakherkenning, etc.), big data technologie (cloud computing en infrastructuur, databases, gedistribueerde filesystemen) en visualisatie technieken om big data weer te geven. Uitdagingen in Big Data zitten in analyse, vastleggen, opschonen, zoeken in, delen, opslag, uitwisselen, visualiseren en bevragen van big data. Big Data analyse legt daarbij in toenemende mate de focus op AI technologie, om te helpen grote hoeveelheden data te analyseren en voorspellingen te doen op basis van de data. Machine learning ondersteunt data verwerking door uit grote hoeveelheden data mathematische of voorspellende modellen te halen, of aan beeldherkenning te doen of aan predictive analytics³²⁵. Onderzoek en de technologieën die ten grondslag liggen aan AI hebben de afgelopen 25 jaar grote veranderingen ondergaan. De ontwikkelingen in machine learning (het leren van computersystemen zonder ze expliciet te programmeren), de beschikbaarheid van cloud computing en digitalisering van de economie waardoor steeds grotere hoeveelheden data beschikbaar komen, zijn daarvan belangrijke oorzaken. De verwachting is dat door AI de focus van digitalisering zal verschuiven van het verzamelen en ontginnen van hoeveelheden data naar het creëren van nieuwe modellen en algoritmes die het werk vergemakkelijken en gebruikers via digitale hulp zal ondersteunen bij diverse activiteiten.³²⁶

In verschillende marktvoorspellingen wordt de globale marktwaarde van AI of smart systems voor de periode van de komende 8 jaar geschat op minimaal enkele miljarden dollars, maar waarschijnlijker is dat deze tientallen miljarden dollars zal bedragen ^{327, 328, 329, 330}, waarbij onder AI meer of minder van de hierboven genoemde technologieën worden betrokken. Analistenbureau Gartner is zeer vooruitstrevend met betrekking tot de inzet van AI en verwacht

³²⁴ Bron: *Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity*, McKinsey, 2011, Beschikbaar via: [\[mckinsey.com\]](http://mckinsey.com)

³²⁵ Bron: *Is Big Data Still a Thing? (The 2016 Big Data Landscape)*, Beschikbaar via: [\[mattturck.com\]](http://mattturck.com)

³²⁶ Bron: *3 trends voor 2016: de echte digitale transformatie komt nog*, marketingfacts, 2016, Beschikbaar via: [\[marketingfacts.nl\]](http://marketingfacts.nl)

³²⁷ Bron: *Artificial Intelligence (AI) Market Global Forecast to 2020*, GII Research, Beschikbaar via: [\[giiresearch.com\]](http://giiresearch.com)

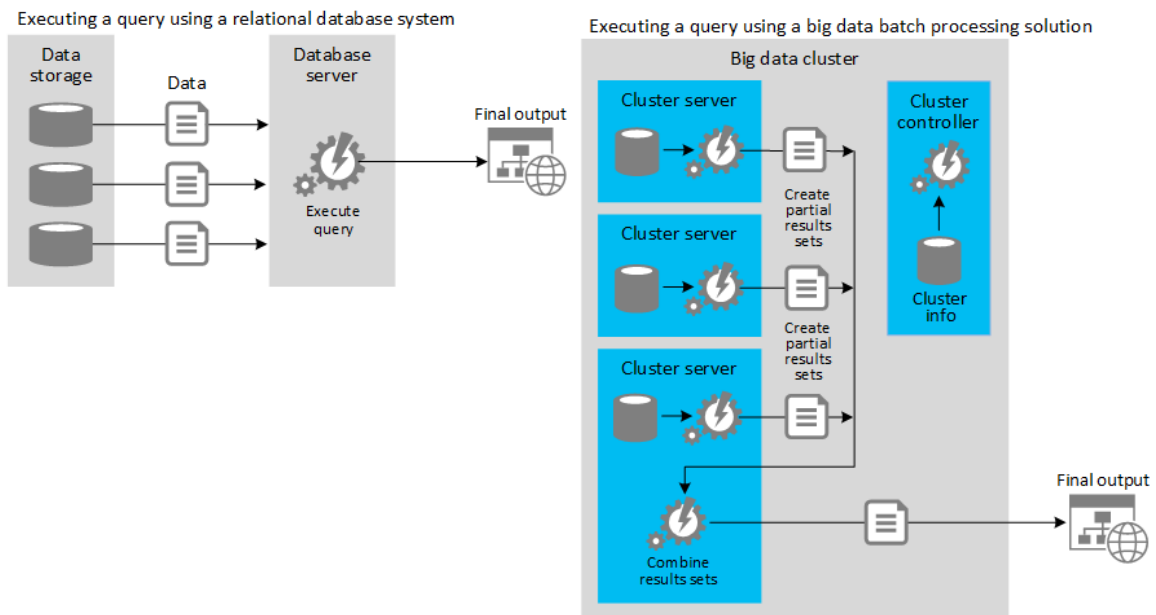
³²⁸ Bron: *Artificial Intelligence for Enterprise Applications to Reach \$11.1 Billion in Market Value by 2024*, Tractica, 2015, Beschikbaar via: [\[tractica.com\]](http://tractica.com)

³²⁹ Bron: *Smart Machines: Technologies and Global Markets*, BCC Research, 2016, Beschikbaar via: <http://www.bccresearch.com/market-research/instrumentation-and-sensors/smart-machines-tech-markets-report-ias094b.html>

³³⁰ Bron: *Robotics, AI to become \$153bn market by '20*, Bank of America Merrill Lynch, 2015

dat het slimmer maken van allerlei 'dingen' en systemen leidt tot compleet nieuwe economische agenten die net zoals bedrijven en consumenten zelfstandig kunnen meedraaien in onze economie. Hierdoor ontstaan nieuwe relaties tussen mensen, bedrijven en machines ontstaan die voorheen niet mogelijk waren³³¹.

Big data opslagtoepassingen gaan over grote hoeveelheden data, die alleen maar groter worden als deze worden gedupliceerd om fouten op te kunnen vangen (resilience). Het belangrijkste technologiekenmerk van big data is daarbij echter niet de hoeveelheid, maar het gegeven dat het één grotere taak die wordt uitgevoerd op de data set, kan worden opgesplitst in vele kleine activiteiten: systemen worden gedistribueerd en parallel aan het werk gezet om de kleinere activiteiten uit te voeren. Traditionele database systemen bestaan daarbij typisch uit een netwerk met een centrale node waar alle processing van de data plaats vindt, zodat de data eerst vanuit de opslagnodes naar deze centrale locatie moet worden verplaatst. De processing-capaciteit van de centrale node en de netwerk latency zijn daarbij beperkende factoren. Big data oplossingen zijn geoptimaliseerd om grote hoeveelheden data in allerlei formaten op te slaan (raw) in sterk gedistribueerde opslagsystemen (nodes) waarbij het verwerken van de data begint in de node. Dit betekent dat het merendeel van de data niet hoeft te worden verplaatst via het netwerk³³².



Figuur B4.3: Gepartitioneerde verwerking van queries in een Big Data context

Big Data toepassingen zijn gebaat bij het gebruik van data uit meerdere bronnen (heterogeniteit). Het gedistribueerde karakter van Big Data toepassingen, levert een aantal aandachtspunten op voor de inrichting van netwerken en connectiviteit³³³:

1. *Resilience* van het netwerk: beschikbaarheid is cruciaal voor de gedistribueerde dataresources, maar downtime van dezelfde resources is in de praktijk niet te

³³¹ Bron: The Arrival of Algorithmic Business, Gartner, 2015, keynote at Symposium/ITxpo Orlando, Beschikbaar via: [\[gartner.com\]](http://gartner.com)

³³² Bron: Why should I care about Big Data? Patterns & practices, Microsoft Developer Center, 11-10-2016, [\[msdn.microsoft.com\]](http://msdn.microsoft.com)

³³³ Bron: Six considerations for Big Data networks, TechTarget, 2016, [\[searchsdn.techtarget.com\]](http://searchsdn.techtarget.com)

vermijden. Netwerk connectiviteit moet daarom ingericht zijn op (1) beschikbaarheid van meer dan één pad tussen de resources (path diversity) en (2) snel kunnen reageren op fouten in de verbinding en een ander pad kiezen (failover).

2. *Netwerk congestie*: big data toepassingen genereren 'bursty' dataverkeer, dat kan zorgen voor verstoppingen (congestie) met vertraging (queueing delay), verlies van data (dropped packets) en het opnieuw versturen van data (hertransmissie) en verergering van de situatie tot gevolg. Netwerken moeten daarom zo worden opgezet dat verstoppingen efficiënt kunnen worden bestreden door het verkeer via meerdere paden te leiden.
3. *Netwerk latency*: bij de rekestijd voor data analyse in de seconden/minuten, is de netwerk latency doorgaans geen factor van betekenis. Omdat gedistribueerde taken parallel en synchroon starten, verschil in rekestijd wel van belang. Daarom is consistente netwerk performance (verschillende paden leveren dezelfde latency) belangrijker dan lage latency.
4. *Netwerk partitionering*: het scheiden van netwerkstromen door te zorgen voor een goede netwerkindeling is van belang om de impact van big data activiteiten op bijvoorbeeld mission-critical datastromen in hetzelfde netwerk te beperken. Verder moet rekening worden gehouden met typische multi-tenant inrichting in big data omgevingen (meerdere gebruikers/klanten werken op dezelfde software instantie) door logische en/of fysieke scheidingen aan te brengen in netwerken.

De eisen aan de digitale connectiviteit vanuit Big Data variëren per toepassing. Twee trends die een specifieke richting aan de vraag naar connectiviteit gaan geven zijn³³⁴:

1. Groeiend belang van data ownership en privacy-preserving analytics. Big data valt of staat met de bewuste bereidheid (nu nog vaak onbewuste toestemming) van mensen om data van hun devices beschikbaar te stellen voor analyses door dienstaanbieders. Een actief onderzoeksgebied richt zich op het wegnemen van drempels en bezwaren op dit gebied door het ontwikkelen van nieuwe aanpakken. Een voorbeeld daarvan is om de data niet naar centrale plaatsen te brengen voor verwerking, maar om het algoritme juist op de devices van de gebruiker te laten werken zodat hij zijn data niet hoeft af te staan. Deze aanpak heeft een link met *fog computing* (zie bijlage 3) en zorgt voor een afname van de hoeveelheid data die getransporteerd moet worden. Het is belangrijk op te merken dat voor het vinden van algoritmen en correlaties het in veel gevallen nog steeds nodig is om over een direct beschikbare, grote hoeveelheid data te beschikken³³⁵. Een andere aanpak die zich richt op het behoud van de privacy is *homomorphic encryption*. Daarbij worden bewerkingen gedaan op versleutelde data, op een zodanige manier dat de uitkomst kan worden berekend zonder dat de brondata ontsleuteld hoeft te worden. Deze aanpak vraagt wel om transport van (versleutelde) data naar centrale plaatsen. Eveneens vermeldenswaardig in dit kader is de toepassing van zogenaamde blockchain technologie. Blockchain technologie waar onder andere ook de bitcoin op is gebaseerd faciliteert met het onderliggende securitymechanisme zogenaamd gedistribueerd vertrouwen. Het biedt partijen in de big data waardeketen de mogelijkheid om op transactiebasis te werken met elkaars datasets die willekeurig geografisch verspreid kunnen zijn opgeslagen.

³³⁴ Deze trends zijn ontleend aan discussies binnen de Big Data Value Association ([\[bdva.eu\]](http://bdva.eu)) over Emerging Topics in Big Data, in het voorjaar van 2016.

³³⁵ Ook voor het vinden van correlaties en het afleiden van algoritmen wordt onderzocht of het mogelijk is data lokaal te houden en deze in een aantal iteraties te bezoeken, als alternatief voor de centrale aanpak.

2. Bij het interpreteren en nuttig gebruiken van inzichten uit Big Data analyses gaat visualisatie naar verwachting een grote rol spelen. Visualisatie van de analyse en de keuzes voor gebruikers kan sterk bijdragen aan het begrip van de analyse en de bereidheid om tot vervolgstappen over te gaan. De gevolgen voor connectiviteit hiervan zijn duidelijk: de presentatie van graphics en video levert een aanvullende vraag naar bandbreedte en, afhankelijk van de toepassing, eisen aan latency en betrouwbaarheid.

Digitale connectiviteit en Big Data beïnvloeden elkaar wederzijds. Doordat data makkelijker uit te wisselen is binnen sectoren én tussen sectoren, worden de mogelijkheden om op basis van steeds grotere en diversere datasets relevante analyses te plegen ook steeds groter.

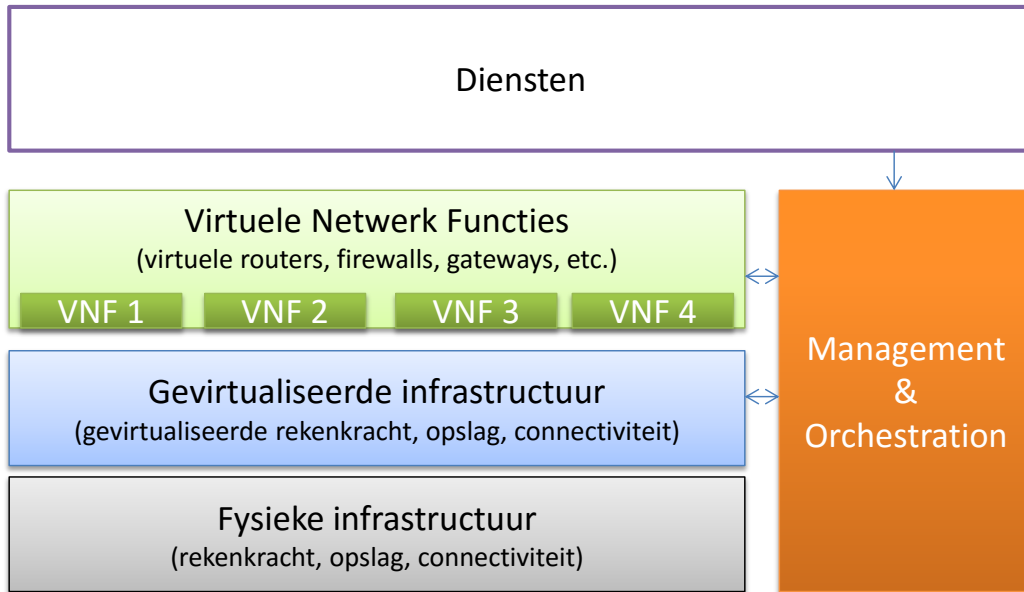
Bijlage 5. Ontwikkeling van SDN en NFV

Ook in communicatienetwerken die van belang zijn voor (inter-)connectiviteit wordt virtualisering belangrijk. De technieken SDN³³⁶ en NFV staan nog in de kinderschoenen maar bieden straks uitzicht op een zeer grote mate van flexibilisering in het organiseren van de functies die nodig zijn voor connectiviteit en in het dimensioneren daarvan (*bandwidth as a service*). Voor exploitanten van netwerken zitten daar allerlei voordelen aan qua schaalbaarheid, kosten, beheer, etc. maar bovendien biedt het mogelijkheden om snel nieuwe diensten te orchestreren en aan te bieden aan eindgebruikers. 'Nieuwe diensten' moet dan in brede zin worden opgevat: het gaat hierbij onder meer om het sneller kunnen uitrollen van diensten, of nieuwe functionaliteit van diensten, het kunnen personaliseren van diensten op grote schaal, het kunnen leveren van diensten met sectorspecifieke eisen over dezelfde basisinfrastructuur, en mogelijk ook robuustere diensten en weerbaardere netwerken. De combinatie van deze voordelen kan leiden tot een situatie waarbij allerhande (sector-) specifieke diensten met verschillende (performance- en beveiligings-) eisen op grote schaal over een grote, deels gemeenschappelijke infrastructuur geleverd kunnen worden. De technologie en standaardisatie van SDN en NFV zijn anno 2016 nog volop in ontwikkeling. De hierboven geschetste situatie zal op korte termijn dan ook niet in zijn volledigheid realiseerbaar zijn. Op middellange termijn kan hier wel een en ander van worden verwacht.

Voor een iets diepgaander analyse van de rol van SDN en NFV in digitale connectiviteit, is het van belang verder toe te lichten welke functionaliteit we in deze studie bedoelen als we het hebben over Network Functie Virtualisatie en Software Defined Networking. Hiervoor refereren we aan drie verschillende bronnen: 1) ETSI NFV ISG, 2) ONF en 3) 5G PPP.

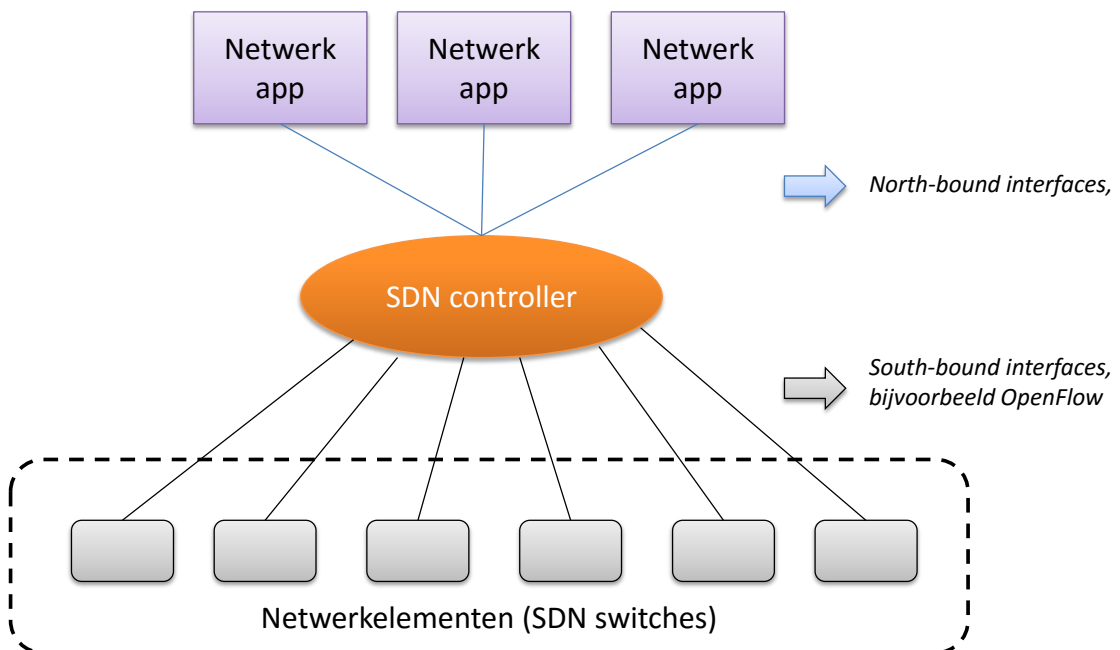
De ETSI Industry Specification Group over NFV heeft een referentiearchitectuur ontwikkeld voor het NFV ecosysteem. Deze architectuur is vereenvoudigd weergegeven in Figuur B5.1. NFV omvat hierin de gevirtualiseerde infrastructuur (NFVI) de virtuele netwerkfuncties (VNF) en het beheer en de orkestratie (MANO) van deze componenten. MANO omvat de functionaliteit die nodig is om de virtuele infrastructuur optimaal te benutten, waaronder resource management, het beheersen van beschikbaarheid van diensten, en het uitrollen en beheersen van end-to-end ketens van netwerkdiensten: de orchestrator is in staat om eisen van diensten te vertalen naar daadwerkelijke uitrol van deze diensten op de gevirtualiseerde infrastructuur.

³³⁶ SDN: Software Defined Networks en NFV: Network Function Virtualisation.



Figuur B5.1: Vereenvoudigd weergegeven versie van de ETSI NFV Referentiearchitectuur

De Open Networking Foundation (ONF) richt zich op de ontwikkeling en standaardisatie van Software Defined Networking. Hun belangrijkste wapenfeit is de standaardisatie van OpenFlow, een protocol waarmee vanuit een centrale controller bepaalde (vaste) netwerkelementen kunnen worden aangestuurd. Het kernprincipe van SDN is het aanbrengen van een scheiding tussen de aansturing, de zogenaamde control laag, en de data laag en daarbij het centraliseren van het control plane. De controller configureert vanuit een centraal punt de switches in het netwerk. Zogenaamde netwerkapplicaties kunnen worden ontwikkeld die aangeven hoe het netwerk geconfigureerd moet worden en moet omgaan met verschillende typen soorten verkeer, hoe congestie in het netwerk wordt voorkomen etc. Figuur B5.2 geeft de SDN-architectuur vereenvoudigd weer.



Figuur B5.2: SDN-architectuur

Ten opzichte van NFV, kan SDN worden gezien als de technologie waarmee verkeersstromen flexibel kunnen worden aangestuurd om enerzijds (virtuele) netwerkfuncties ad hoc met elkaar te kunnen verbinden, en anderzijds efficiënter gebruik gemaakt kan worden van de beschikbare connectiviteitinfrastructuur. Ook voor het realiseren van de vereiste QoS en QoE voor diensten is het juiste gebruik van SDN in combinatie met NFV cruciaal. Als bijvoorbeeld een tijdkritische toepassing gewenst is, dan moeten enerzijds de netwerkfuncties zo optimaal mogelijk in het netwerk worden geplaatst, terwijl de paden tussen deze netwerkfuncties met SDN zo moeten worden ingericht dat de verkeersstromen met de plaatsing van virtuele netwerkfuncties 'meebewegen' en SDN moet er bovendien voor zorgen dat minimale vertraging in het datatransport wordt opgelopen.

In plaats van de termen NFV en SDN, wordt steeds vaker gesproken over programmeerbare netwerken³³⁷ of softwarisering van netwerken, waarbij SDN en NFV en hun raamwerken invulling geven aan deze concepten. Ook 5G PPP gebruikt, naast de specifieke termen SDN en NFV, in de eerste plaats de meer omvattende termen *softwarization* en *programmability*.³³⁸ In de daar gepresenteerde richting en onderzoeksuitdagingen worden deze aspecten gepositioneerd als het meest cruciaal voor de 5G architectuur: de grootste uitdaging voor 5G netwerken zal zijn dat het een diverse set aan diensten met verschillende requirements, in termen van onder meer beschikbaarheid en low latency, moet kunnen faciliteren. Dit kan alleen als de flexibiliteit van de architectuur wordt verbeterd en dit moet worden gerealiseerd met SDN en NFV.

In de aankomende 5G-ontwikkeling gaan SDN en NFV een belangrijke rol spelen. We gaan hierna specifiek in op de vraag in welke mate SDN/NFV gaat zorgen voor connectiviteit toegesneden op de specifieke behoefte van sectoren, binnen de context van 5G.

In juli 2016 heeft 5G PPP³³⁹ een white paper gepubliceerd waarin de visie op architectuur van 5G wordt gepresenteerd door experts die deelnemen aan 5G onderzoeks- en ontwikkelprojecten binnen het Horizon 2020-programma van de Europese Commissie. Dit document geeft inzicht in de eisen die aan 5G worden gesteld en welke rol verschillende technologieën daarin hebben. Programmeerbaarheid en softwarisering, die door een SDN en NFV-ecosysteem gerealiseerd kunnen worden, spelen een grote rol in de vormgeving van de architectuur van 5G (zie H3 voor een behandeling van 5G).

Het 5G PPP consortium deelt de 5G use cases op in drie categorieën, op basis van de eisen aan de use case:

1. "Massive Broadband (xMBB)", dat gigabytes aan bandbreedte kan leveren waar nodig
2. "Massive machine-type communication (mMTC)", waarbij miljarden sensoren en apparaten kunnen worden aangesloten
3. "Critical machine-type communication (uMTC)", waar instantane terugkoppeling van het systeem met zeer hoge betrouwbaarheid nodig is, bijvoorbeeld voor het op afstand besturen van robots en autonoom rijden.

De uitdaging van 5G in het bijzonder en van data- en telecomnetwerken in het algemeen is om deze diversiteit aan diensten over hetzelfde netwerk te kunnen leveren. Hiervoor zijn SDN en NFV cruciale componenten. Als we echter kijken naar de individuele eisen van use

³³⁷ Bron: *User Programmable Virtualized Networks*, Meijer, R.J. et al., Proceedings of the Second IEEE International Conference on e-Science and Grid Computing (e-Science'06), 2006

³³⁸ Bron: *View on 5G Architecture*, 5G PPP Architecture Working Group, Version 1.0, July 2016

³³⁹ Bron: The 5G Infrastructure Public Private Partnership, [\[5g-ppp.eu\]](http://5g-ppp.eu)

cases in deze groepen, dan zijn er in de eerste plaats vernieuwingen in het radiodeel van mobiele netwerken noodzakelijk. Immers, het laatste stukje van het communicatie-pad zal bij 5G hoofdzakelijk via een draadloze verbinding plaatsvinden. De verwachting is dat use cases uit de verschillende categorieën andere eisen aan dit radiodeel stellen en dat er een grotere diversiteit aan radio access technologieën (RAT) zal ontstaan. Voor massive broadband is er behoefte aan een radiodeel dat gigabytes per seconde aan datarates kan transporteren, terwijl bij massive machine-type communications een grotere afstand tot het basisstation en het minimaliseren van energieverbruik door sensoren belangrijke eisen zijn. En dit laatste vereist mogelijk weer een ander type radio dan extreem tijdkritische communicatie, waarbij datapakketten zo snel mogelijk verstuurd moeten kunnen worden met zo hoog mogelijke betrouwbaarheid.

Voor **xMBB** is het gebruik van SDN en NFV voor het realiseren van meer bandbreedte op zichzelf geen vereiste. Ook een niet-gesoftwariseerd toekomstig mobiel netwerk zou dergelijke bandbreedtes kunnen realiseren. Echter, de manier waarop deze bandbreedte kan worden ingezet zal met SDN en NFV veel diverser zijn. Als netwerken programmeerbaar worden kunnen allerhande diensten (evt. van derde partijen) worden uitgerold over het netwerk die gebruik kunnen maken van de extra bandbreedte. Door ook de radionetwerken software-controllable te maken is de verwachting dat veel fijnmazigere aansturing en verdeling van de resources tussen bijvoorbeeld MVNO's mogelijk wordt.

Wat betreft **mMTC** zitten belangrijke ontwikkelingen enerzijds in het radiodeel, onder meer NB-IoT, en anderzijds in het transporteren van sensordata. De benodigde eisen die een mMTC dienst stelt hangt af van het type sensoren en actuatoren dat is aangesloten en wat er met deze sensordata gebeurt. Low-power sensoren zullen relatief weinig data genereren, terwijl videocamera's (bijvoorbeeld voor bewakingstoepassingen) juist zeer veel data genereren. De orkestratiefunctie van het gesoftwariseerde netwerk zal een belangrijke rol spelen om voor beide diensten op hetzelfde netwerk de juiste end-to-end keten van netwerkfuncties te creëren. Zo zal voor de videodienst waarschijnlijk een andere RAT nodig zijn dan voor de low-power sensors, al dan niet via dezelfde (software defined) basisstations. Verder kunnen SDN en NFV een rol spelen als het gaat om hoe de sensordata verkeersstromen lopen en waar de sensordata wordt verwerkt. Als lokale sensordata na verwerking in de dezelfde regio wordt gebruikt, dan is het wellicht niet nodig om alle sensordata eerst naar een cloudlocatie op Internet te sturen, het daar te verwerken en daarna weer terug te sturen. In plaats daarvan kan het gesoftwariseerde netwerk besluiten deze sensordata regionaal te verwerken, zodanig dat de core netwerken van de operator minder worden belast.

Wat betreft **uMTC** toepassingen gaat het om toepassingen die een zeer lage tolerantie voor vertraging in de communicatie hebben. Het gaat hierbij met name om toepassingen waarbij de reactietijd van het systeem om te reageren op bijvoorbeeld de omgeving of andere systemen zeer kort is. Een voorbeeld hiervan is zijn autonoom rijdende voertuigen waarbij het systeem tijdig moet kunnen ingrijpen om te kunnen remmen voor bijvoorbeeld een onverwachts overstekende voetganger. En hoe sneller de auto's rijden, des te korter is deze reactietijd. Dit betekent dat het systeem in de orde van enkele tientallen milliseconden of minder de situatie heeft moeten kunnen waarnemen, een beslissing heeft moeten kunnen maken, en het voertuig een actie heeft moeten laten uitvoeren. De tijd die het uitwisselen van data kost is hierbij een van de tijdsbepalende factoren en daarom bevinden deze verwerkingsfuncties zich bij voorkeur aan de rand van het netwerk. Ook in deze situatie geldt dat een dedicated systeem te bouwen is om dit te doen. Echter, de vraag is of het economisch rendabel is om een specifieke infrastructuur uit te rollen door heel Europa voor autonoom rijden, terwijl een groot deel van de 5G-infrastructuur, die commercieel sowieso wordt uitgerold, mogelijk hergebruikt kan worden om dergelijke diensten uit te rollen. De uitdaging

voor 5G operatoren is om in hun gesoftwareerde omgeving, waarop zij tijdkritische diensten aanbiedt, voldoende betrouwbaarheid te bieden, en mogelijk zelfs hogere betrouwbaarheid, dan een dedicated systeem kan bieden.

Concluderend kan worden gezegd dat het technisch mogelijk is om specifieke mobiele netwerken te ontwikkelen die elke aan een deel van de eisen van de verschillende 5G use cases kan voldoen. Echter, het ondersteunen van deze eisen op een enkel netwerk, dat kan worden gedeeld door allerhande gebruikers, is alleen mogelijk als dat netwerk, via SDN en NFV, over voldoende flexibiliteit beschikt. Bovendien is het, dankzij softwarisering veel eenvoudiger om nieuwe diensten te ontwikkelen, te testen in productieomgeving en uit te rollen, dan op een dedicated netwerk waarbij functionaliteit voor een groot deel aan fysieke elementen gekoppeld is. Als laatste is het realiseren van een gedeeld netwerk kosteneffectiever dan het bouwen van opzichzelfstaande netwerken, omdat de kosten voor de infrastructuur door verschillende partijen, mogelijk zelfs uit verschillende sectoren, met elkaar gedeeld kunnen worden.

Dan vervolgens de vraag wat SDN en NFV gaan betekenen voor het generieke aanbod. Zijn er bijvoorbeeld grote toepassingen die ervoor zorgen dat SDN/NFV een vlucht neemt (bijvoorbeeld generieke CDN infra)?

SDN en NFV kunnen worden beschouwd als kostenbesparende en zogenaamde enabling technologieën. SDN en NFV schrijven de diensten die op het netwerk uitgerold kunnen worden niet voor. Er verandert daarom niets aan de mogelijkheid om "gewoon Internet" te kunnen blijven aanbieden. Softwarisering en programmeerbaarheid van netwerken zal naar verwachting incrementeel plaatsvinden. De eerste beweegredenen voor de introductie van SDN en met name NFV bij operators zijn kostengedreven. Daarnaast worden nu langzaam de eerste gevirtualiseerde diensten op de markt gebracht. De eerste voorbeelden van diensten waarvan operators overwegen ze te virtualiseren zijn het virtualiseren van de CPE van bedrijven en het aanbieden van Software Defined WAN. Daarnaast is er aandacht voor het virtualiseren van Residential Gateways en het virtualiseren van mobiele core netwerken. Wat betreft het virtualiseren van CDN's³⁴⁰ kan NFV het eenvoudiger maken voor partijen om over administratieve operatordomeinen heen CDN's uit te rollen op de NFV infrastructuur van deze operators.

Wat betreft Internettoegang zijn er momenteel geen indicaties dat dit type aanbod gaat verdwijnen. Dit type dienst blijft, naast alle andere nieuwe mogelijkheden, gewoon mogelijk. Een belangrijkere vraag is wellicht of met de komst van 5G en alle mogelijkheden voor gespecialiseerde diensten er nog steeds een markt is voor 'generiek Internet'. Hierbij moet worden meegenomen dat een generieke best-effort Internet dienst naar verwachting goedkoper zal zijn voor operator en klant dan een dienst met specifieke QoS eisen. Echter, schaalgrootte speelt hierbij ook een rol. Als generiek Internet voldoende blijft voor de meerderheid van diensten, dan zal het zo'n vaart niet lopen. Als generiek Internet een 'niche' gaat worden, wordt het wellicht anders. Van de andere kant, het blijft, zonder QoS-garanties een vrij eenvoudige en daarmee goedkope dienst om te leveren.

Tot slot de vraag waar de timing rond SDN en NFV van afhangt. In hoeverre hangt deze af van specifieke toepassingen/business cases?

Wat betreft de timing van de introductie van SDN en NFV kan worden gezegd dat dit afhangt van verschillende factoren:

³⁴⁰ Bron: "Implications of SDN/NFV on the future telecommunications landscape", WIK, TNO, IDATE, October 2016

- Business cases bij de individuele operator
 - Kostengedreven
 - Opportunity gedreven
- Ondersteuning van (gestandaardiseerde) producten van fabrikanten
- Standaardisatie in onder meer 3GPP en Broadband Forum

Op dit moment is het mogelijk voor operatoren om NFV en SDN platformen te introduceren in hun operationele omgeving. Wat betreft NFV gaat het dan om het inrichten van een (cloud) data center, wat betreft SDN gaat het dan om geavanceerde configuratie management systemen. Dit soort systemen bevatten onderdelen van SDN en NFV zoals dat hierboven en in bv ETSI NFV wordt beoogd, maar zeker nog niet alle functionaliteit. Met name end-to-end flexibiliteit, automatisering van de systemen en 'puur SDN' zijn nog verre van volwassen of worden niet breed toegepast. Bovendien bieden fabrikanten producten die niet of deels op open standaarden zijn gebaseerd. Verder zien we dat operators het belang van softwarisering op korte maar zeker ook op langere termijn zien en regelmatig experimenteren met Proof-of-Concept. Echter, de keuze voor inzet in operationele zin hangt samen met de maturiteit van het product, en de betreffende business case waarbij ook meespeelt hoe SDN/NFV in het bestaande ecosysteem van de operator past.

Fabrikanten hebben te maken met het feit dat de standaardisatie van SDN en NFV nog in ontwikkeling zijn en er op sommige punten nog geen standaarden bestaan. Daarom zijn zij voor een deel ook genoodzaakt om met eigen oplossingen te komen. De komende jaren moeten uitwijzen in hoeverre alle interfaces, met name de inter- en intra-MANO interfaces gestandaardiseerd gaan worden.

Bijlage 6. Overzicht interviewrespondenten en workshopdeelnemers

Organisatie	Persoon
30mhz.com	Jurg van Vliet
Accenture	Raymond Pijpers
Accenture	Taimen Boumans
Agentschap Telecom	Rene Vroom
Agrometius	Jaap de Jong
Alliander Telecom	Arjan Olde Damink
ATOS International	Albert Seubers
CastelloServe	Rob Venema
CGI	Laurens Lapre
DINL	Michel Steltman
DNV GL	Marcel Volkerts
Eurofiber	Abdelhati Dada
Eurofiber	Frank van Berkel
Eurofiber	Harold Smeeman
Eurofiber	Lex Wils
Eurofiber	Michiel van Zeggeren
Eurofiber	Vincent van Mierlo
Fiber Carrier Association	Andrew van der Haar
Huawei	Jurjen Veldhuizen
IBM Benelux Technical Leader Healthcare & Lifesciences	Nicky Hekster
Kennisnet	Michael van Zeggeren
KPN	Eric Smeitink
KPN	Marloes van Caspel
Liander Assetmanagement	Maico Bongers
Malmberg	Jasper Janssen
Ministerie van Economische Zaken	Jan Luuk de Ridder
Ministerie van Economische Zaken	Paul Raven
Nedap	Kor Odinga
Nedap	Linda Meijer
NICTIZ	Hedde van der Lugt
Novifarm	Leon Noordam
Ons Middelbaar Onderwijs	Ed van Delft
Philips	Robbert Smet
Philips Healthcare	Mark van Meggelen
Philips Horticulture	Gus van der Feltz
Rathenau Instituut	Matthijs Kouw
Siemens	Leo Freriks
STCorp	Arthur van der Meer
SURF	Erik Fledderus
SURFnet	Alexander van den Hil
SURFnet	Erik Huizer
SURFnet	Marieke de Wit

SURFnet	Peter Hinrich
SURFnet	Richa Malhotra
Technische Universiteit Delft	Wally Keyzer
Technische Universiteit Eindhoven	Han Slootweg
ThiemeMeulenhof	Rimmer Hylkema
TNO	Charlotte Smit-Rietveld
TNO	Egbert-Jan Sol
TNO	Jan Wester
TNO	Joost Laarakkers
TNO	Lennart van der Burg
TNO	Matthijs Vonder
TNO	Toon Norp
Uitgeverij Zwijsen	Maarten Lommen
Universitair Mechisch Centrum Utrecht	Nick Guldmond
VAA ICT consultancy	Will Kroot
Verklizan	Riny van Zandwijk
VNO-NCW	David de Nood
Vodafone	Walter Kroeze
Wageningen University & Research	Bas Rodenburg
Wageningen University & Research	Corné Kempenaar
Wageningen University & Research	Corné Kempenaar
Wageningen University & Research	Tamme van der Wal
Ziggo	Jeroen God
Ziggo	Stein Smeets

Bijlage 7. Lijst met afkortingen

Afkorting	Beschrijving
2G/3G/4G/4G+/5G	Tweede, derde, vierde en vijfde generatie systemen voor mobiele (cellulaire) communicatie
3GPP	Third Generation Partnership Project
5G-PPP	5G Infrastructure Public Private Partnership
ACM	Autoriteit Consument en Markt
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
API	Application Programming Interface
AR	Augmented Reality
AT	Agentschap Telecom
BE	België
CDN	Content Delivery Network
C-ITS	Cooperative ITS
CDMA(450)	Code Division Multiple Access. CDMA-450 duidt op een netwerk dat is gebaseerd op CDMA-technologie en werkt in de 450 MHz frequentieband.
CMTS	Cable Modem Termination System
CoMP	Cooperative Multipoint
COBOL	Common Business Oriented Language
CRM	Customer Relation Management
DAS	Distributed Antenna System
DC	Datacenter
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	DSL Access Multiplexer
DU	Duitsland
EC	Europese Commissie
ECG	Elektro-CardioGram
EK	Europees Kampioenschap
EMEA	Europe Middle East Africa region
ERP	Enterprise Resource Planning
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ETCS	European Train Control System
ETSI	European Telecommunication Standards Organisation
EU	Europese Unie
FTTB	Fiber To The Building
FTTC	Fiber To The Curb of Fiber To The Cabinet
FTTGa	Fiber To The Group Amplifier (Kabelnetwerk)
FTTH	Fiber To The Home
FTTLA	Fiber To The Last Amplifier (Kabelnetwerk)
FTTO	Fiber To The Office
FTTP	Fiber To The Premises
GGZ	Geestelijke GezondheidsZorg
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPRS	General Packet Radio Service: Datacommunicatie via GSM
GSM	Global System for Mobile communications
HBO	Hoger Beroepsonderwijs
HTTP	Hyper Text Transport Protocol
IaaS	Infrastructure as a Service
ICT	Informatie- en Communicatietechnologie
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IPTV	Televisiedienst gebaseerd op IP-connectiviteit
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol

ISM	Industrial Scientific Medical (frequentieband)
ISP	Internet Service Provider
IT	Informatie Technologie
ITS	Intelligent Transport System
ITS-G5	Gestandaardiseerd data overdrachtsprotocol voor ITS-toepassingen
ITU	International Telecommunication Union
IX	Internet eXchange
KPI	Key Performance Indicator
kV	kilo Volts
LAA	License Assisted Access (spectrumtoegangsmethode)
LAN	Local Area Network
LoRa	Long Range (IoT-netwerkstandaard)
LPWA	Low Power Wide Area (IoT-netwerkstandaard)
LSA	License Shared Access (spectrumtoegangsmethode)
LTE	Long Term Evolution (ook bekend onder de naam 4G)
M2M	Machine to Machine
MANO	Management and Orchestration
MBO	Middelbaar BeroepsOnderwijs
MEC	Mobile Edge Computing
MIMO	Multiple Input Multiple Output (antenneconcept)
mMTC	Massive Machine Type Communication
MRI	Magnetic Resonance Imaging
MVNO	Mobile Virtual Network Operator
MVA	Megavoltampère
MW	Megawatt
NAT	Network Address Translation
NB-LTE	Narrowband LTE (IoT-netwerkstandaard)
NFV	Network Function Virtualisation
NGA	Next Generation Access
NL	Nederland
NS	Nederlandse Spoorwegen
ONF	Open Networking Foundation
PaaS	Platform as a Service
PO	Primair onderwijs
PoP	Point of Presence
QoS	Quality of Service
QoE	Quality of Experience
RAT	Radio Access Technology
RVO	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
SaaS	Software as a Service
SDN	Software Defined Network
SLA	Service Level Agreement
UDP	Universal Datagram Protocol
uMTC	Critical Machine Type Communication
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System (ook bekend onder de naam 3G)
V2X	Vehicle to anything communicatie (X=voertuig, wegkant, persoon)
VO	Voortgezet onderwijs
VoIP	Voice over IP
VDSL(2)	Very-high-bitrate Digital Subscriber Line (tweede generatie)
VNF	Virtual Network Function
VR	Virtual Reality
VULA	Virtual Unbundled Local Access
VVT	Verpleeg- en Verzorgingshuiszorg en Thuiszorg
WAN	Wide Area Network
WiFi	Wireless Fidelity
xMBB	Massive Broadband
ZZZP	Zelfstandige zonder personeel



Contact:

Dialogic
Hooghiemstraplein 33-36
3514 AX Utrecht
Tel. +31 (0)30 215 05 80
Fax +31 (0)30 215 05 95
www.dialogic.nl
Contactpersoon: Reg Brennenraedts

TNO
Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
Tel.: +31 (0)888 660000
www.tno.nl
Contactpersoon: Bram van den Ende

