

Brassersplein 2
Postbus 5050
2600 GB Delft

www.tno.nl

T +31 15 285 70 00
F +31 15 285 70 57
info-ict@tno.nl

TNO-rapport

Vraag en aanbod Next-Generation Infrastructures 2010 – 2020

Datum	25 februari 2010
Auteur(s)	TNO ICT en Dialogic
Opdrachtgever	Ministerie van Economische Zaken
Projectnummer	035.33377
Rubricering rapport Titel Samenvatting Rapporttekst Bijlagen	Ongerubriceerd
Aantal pagina's	167 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	11

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Managementuittreksel

Titel	:	Vraag en aanbod Next-Generation Infrastructures 2010 - 2020
Auteur(s)	:	TNO Informatie- en Communicatietechnologie en Dialogic
Datum	:	Februari 2010
Opdrachtnr.	:	I-7122
Rapportnr.	:	35254

Achtergrond

Snel en hoogwaardig breedband wordt algemeen gezien als voorwaarde voor een concurrerende, innoverende en duurzame kenniseconomie. Nederland neemt op dit terrein internationaal een koploperspositie in, onder meer gebaseerd op sterke concurrentie in de *last mile*. In ieder geval staat Nederland in de Europese ranglijst op de eerste plaats. Het Ministerie van Economische Zaken hecht er grote waarde aan deze positie ook in de toekomst te behouden en optimaal te benutten. De verdere ontwikkeling van bestaande en nieuwe breedbandinfrastructuren naar *Next Generation Infrastructures* (NGI) wordt dan ook gezien als van groot strategisch belang voor de ontwikkeling van maatschappij en economie als geheel. Dit belang wordt ook door de Tweede Kamer breed gedragen getuige de onlangs aangenomen motie Vendrik-Van der Ham. De hamvraag is hoe op basis van vraag en aanbod de migratie naar deze NGI's zou kunnen plaatsvinden. Aan de **aanbodzijde** is sprake van een reeks technologieën die een rol kunnen spelen in de verdere ontwikkeling van breedbandinfrastructuren en dan met name in het aansluitnetwerk. Er zijn vele scenario's te bedenken waarin deze technologieën elkaar aanvullen en opvolgen in de tijd. Verschillende vragen zijn relevant ten aanzien van (1) het tempo van migratie, (2) toekomstvastheid, duurzaamheid, openheid en schaalbaarheid van technologieën en (3) de robuustheid van investeringen. Aan de **vraagzijde** bestaat ook geen eenduidig beeld. Wel is duidelijk dat breedbandige netwerken van strategisch belang zijn voor de hele BV Nederland, wat betekent dat ook transsectorale ontwikkelingen op het terrein van energie (o.a. smart grids, slimme meter), zorg (o.a. teleconsultancy, zorg-op-afstand etc.), mobiliteit (o.a. elektrische auto's, anders betalen voor mobiliteit etc.) en onderwijs en cultuur (o.a. virtueel collectief onderwijs, ontsluiting cultureel erfgoed etc.) een rol zullen moeten spelen in de overwegingen.

Vraagstelling

Het Ministerie van Economische Zaken heeft TNO en Dialogic de opdracht gegeven om een onafhankelijk onderzoek uit te voeren naar de te verwachten aanbod en vraag in Next Generation Infrastructures in Nederland in 2010, 2015 en 2020. Dit rapport is het resultaat van dat onderzoek, dat zich overigens niet heeft bezig gehouden met marktordening- en reguleringsvraagstukken die in de grotere vraagstelling wel van invloed zijn. In het onderzoek wordt een, bij stakeholders getoetste, inventarisatie opgeleverd van de aanbod- en behoefteontwikkeling aan capaciteit in *Next Generation Infrastructures*, uitgaande van de huidige situatie in Nederland en met de focus op vaste netwerken. Het rapport is onder andere bedoeld als input voor de recent door het ministerie ingestelde Task Force Next-Generation Networks die het ministerie van advies zal dienen over de vraag hoe decentrale overheden een rol kunnen spelen bij de verdere stimulering van breedbandinfrastructuren in Nederland.

Aanpak

Het onderzoek is hoofdzakelijk gebaseerd op desk research waarbij beschikbare openbare bronnen zijn geraadpleegd, aangevuld met expert opinions en professionele inschattingen van de onderzoekers. De bevindingen zijn op hoofdlijnen gevalideerd met een tiental stakeholders aan de vraag- respectievelijk aanbodzijde.

Bevindingen

Ontwikkeling van de vraag naar breedband

Er komen steeds meer digitale diensten beschikbaar én de adoptie, diversiteit en afhankelijkheid van die verschillende diensten neemt toe. Maar minstens zo belangrijk voor het bandbreedteverbruik is het feit dat diensten steeds breedbandiger worden. Dat is met name het gevolg van de integratie van videobeelden in tal van diensten, ook transsectoraal.

Op basis van diverse gerenommeerde bronnen schatten wij dat de vraag naar bandbreedte tussen nu en 2020 op vaste aansluitingen in Nederland *exponentieel* zal groeien met circa 30% tot 40% per jaar. Dit is een conservatieve inschatting.

Om een aantal redenen hebben wij gekozen voor een betrekkelijk conservatieve schatting. De belangrijkste reden hiervoor is dat er in Nederland nauwelijks meer exogene groei op het vaste net zal plaatsvinden, enkel endogene. De groei zal bijna volledig moeten komen uit 'Nederlanders die meer gaan internetten' en niet uit 'meer Nederlanders die gaan internetten'. Wel valt te verwachten dat binnen huishoudens het gelijktijdig gebruik nog verder toeneemt. Berekeningen laten een brede marge zien voor de gemiddelde downloadsnelheid in 2020, die neerkomt op 75 Mbit/s – 400 Mbit/s. De onvoorspelbaarheid van het succes van toekomstige diensten en devices die veel bandbreedte gaan gebruiken – zoals Net TV, HD-streaming, cloud computing en HD-teleconferencing – geven een grote mate van onzekerheid aan voorspellingen voor 2020. Hetzelfde geldt voor het versneld aanbieden van grote bandbreedtes als gevolg van grote investeringen in NGN-infrastructuur. We verwachten dat de huidige, vrij sterke bandbreedte-asymmetrie aan de vraagzijde weliswaar minder wordt maar dat asymmetrie een blijvend kenmerk is, met een indicatieve ondergrens van ca 1:5. In principe hoeven asymmetrische accesstechnologieën geen beperking te vormen voor het goed faciliteren van symmetrische diensten zoals HD-videoconferencing, zolang de upsnelheid voldoende hoog en gegarandeerd is.

Ontwikkeling van breedband infrastructures tot 2020

Het fiber-kopernetwerk (DSL) en het fiber-coax netwerk (de kabel) zijn nu in Nederland de dominante breedband infrastructures met een groot bereik en een capaciteitsaanbod dat de vraag volgt en zelfs stimuleert. Full fiber (rechtstreeks FttH) bevindt zich nog in een pril stadium. Internet via dial-up verbindingen zal geleidelijk gaan verdwijnen.

In de beschouwing hoe breedband infrastructures zich in de toekomst ontwikkelen in verhouding tot de verwachte vraag, is en blijft capaciteit (downstream/upstream) een belangrijk vergelijkend kenmerk. Echter voor het ondersteunen van een breed pallet aan (essentiële) diensten in een groot aantal verschillende sectoren, ten behoeve van een zo groot mogelijk dekking van Nederlandse huishoudens is voldoende capaciteit per aansluiting weliswaar een noodzakelijke maar niet voldoende en meest bepalende voorwaarde. Naast capaciteit is vooral openheid een belangrijk technisch maar ook marktorganisatorisch kenmerk. Tot slot is de kostenfactor, als onderdeel van de business case, sterk van invloed op de ontwikkeling van infrastructures.

Migratiepad 1: DSL richting FttH

Wij verwachten dat al in de komende paar jaar in het fiber-koper netwerk de belangrijke en relatief kostbare stap naar VDSL2 vanuit de straatkast zal moeten worden gemaakt om de vraag te kunnen blijven volgen en qua snelheid concurrerend te blijven t.o.v. de kabel. VDSL2 gaat op termijn zonder verdere verglazing in toenemende mate tekortschieten voor de gevraagde bandbreedtes in de bovenkant van de markt, maar blijft nog een tijd relevant voor de (omvangrijke) onderkant van de consumentenmarkt. De DSL-migratie koerst op termijn af op een volledige FttH oplossing, al dan niet met nog een Ultimate-DSL tussenstap op de laatste meters koper in geschikte scenario's. Het tempo waarin de migratie zich voltrekt zal worden bepaald door marktontwikkelingen. Veel meer dan bij de bestaande versies van DSL het geval is geweest zal er in het verdere migratietraject van regionale/lokale differentiatie sprake zijn op grond van kostenoverwegingen.

Migratiepad 2: Ontwikkeling kabel

De kabel lijkt de *meest graduele migratie* naar NGA te zullen doormaken, waarbij de extra investeringen (CAPEX) voor de middellange termijn (2015) relatief het minst zijn. De stap naar HFC Next Generation die qua impact verder reikt dan de zojuist genoemde ADSL->VDSL migratie wordt aanzienlijk later in de tijd voorzien (na 2015). In tegenstelling tot DSL zal kabel niet, of in ieder geval niet binnen de beschouwde periode 2010-2020, uitmonden in een FttH aansluiting vanwege de zeer hoge intrinsieke capaciteit van coax. Openheid is technisch mogelijk maar niet op alle relevante lagen automatisch gewaarborgd.

De huidige wedloop tussen DSL en HFC zal het komende decennium een ander karakter krijgen waarbij geleidelijk HFC en FttH concurrerende proposities worden omdat deze de verwachte groei in de vraag naar capaciteit nog vele jaren kunnen volgen. DSL-technologie over koper kan dat (zonder verdere verglazing) niet in die mate. DSL blijft echter, ook op langere termijn, wel belangrijk voor de "onderkant" van de breedbandmarkt.

Opkomst full fiber

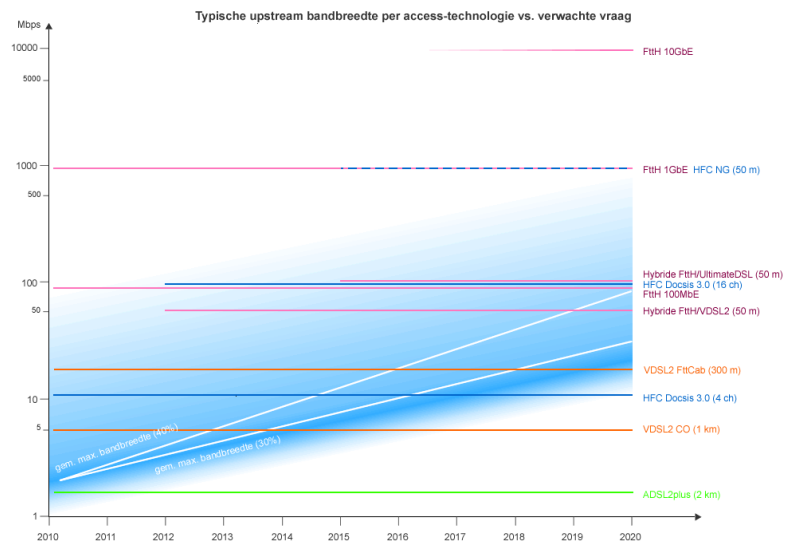
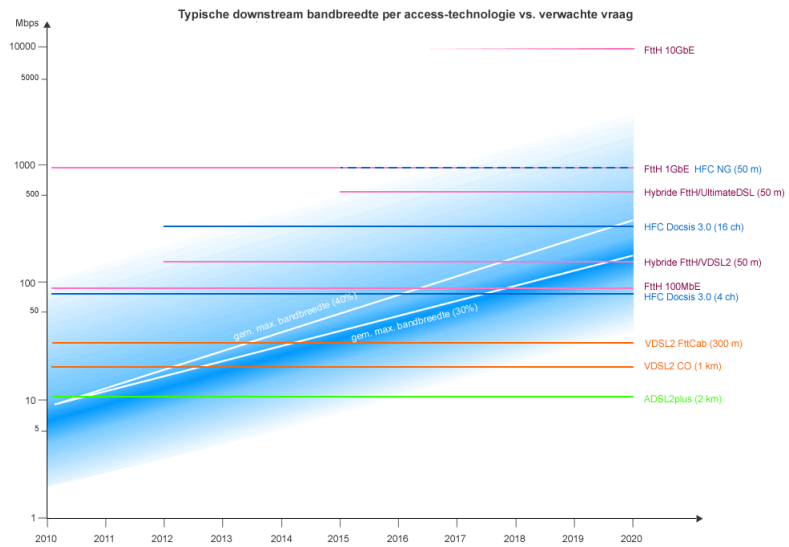
Full fiber netwerken vragen zeer kapitaalintensieve investeringen op de korte termijn en vragen lange adem voordat nationale dekking is bereikt (minimaal 10 jaar, waarbij 100% dekking niet realistisch/rendabel wordt geacht). Intussen wordt door KPN, Reggefiber en door andere partijen binnen de telecomsector niettemin vaart gemaakt met volledige FttH met een groeitempo (streefgetal) van ca 600.000 homes passed per jaar. Ook partijen buiten de telecom sector filosoferen over nieuwe full fiber netwerken. Full fiber uitrol zal naar verwachting lokaal/regionaal zijn gedifferentieerd. Open toegang is technisch geen issue maar is niet automatisch gegarandeerd.

De FttH propositie (via DSL migratie en/of via full fiber implementatie) leunt op de "oneindige bandbreedte" belofte. Dit aspect kan FttH ondanks de kosten van aanleg in de toekomst een belangrijke competitief voordeel geven ten opzichte van HFC. Ook *volledige* symmetrie bij FttH is een *unique selling point* ten opzichte van DSL en HFC.

Relevantie Broadband Wireless Access

Bij dit alles speelt BWA, althans in Nederland, een hoofdrol in mobiel breedband maar het speelt geen rol van betekenis als alternatieve infrastructuuroptie voor vast breedband op grotere schaal. Wel is BWA met de noodzakelijke aansluiting van basis stations van 3G/4G netwerken juist mede verantwoordelijk voor de toenemende capaciteitsvraag op het vaste aansluitnetwerk. Het verwachte effect van regionale differentiatie kan in het bijzonder nadelig uitpakken voor rurale gebieden. BWA is mogelijk een acceptabel alternatief. Daarvoor zal moeten worden aangetoond of BWA in rurale gebieden een relatief aantrekkelijke bandbreedtepropositie kan bieden op basis van een positieve business case.

Aldus verwachten wij, waarschijnlijk al ruim voor 2020, een vernieuwd landschap waarin HFC, FttH/DSL en FttH/Full Fiber in onderlinge regionaal/lokaal verschillende verhoudingen concurreren. De rol van BWA is en blijft daarin relatief bescheiden en kan wellicht van betekenis blijken voor rurale gebieden waar aanleg/upgrading van vaste aansluitnetwerken zeer kostbaar is.



Inhoudsopgave

	Managementuittreksel.....	2
1	Inleiding	11
1.1	Achtergrond	11
1.2	Vraagstelling.....	12
1.3	Gebruikte bronnen	13
1.4	Afbakening	13
1.5	Leeswijzer.....	14
2	Aanbod van breedband: aansluitnetwerken.....	15
2.1	Inleiding.....	15
2.2	Functionele kenmerken van breedband aansluitnetwerken.....	17
	2.2.1 Capaciteit (datasnelheid).....	18
	2.2.2 Topologie.....	18
	2.2.3 Bereik (bedekking)	19
	2.2.4 Kwaliteit van de verbinding.....	19
	2.2.5 Mobiliteit van eindgebruikers	20
	2.2.6 Openheid.....	20
	2.2.7 Kostenaspecten	20
	2.2.8 Migratiepotentie.....	20
2.3	Karakterisering van vaste aansluitnetwerken.....	21
	2.3.1 Het voormalige telefonienetwerk.....	21
	2.3.2 Kabelnetwerken	25
	2.3.3 Aanleg van green-field full-fiber netwerken	28
2.4	Draadloze aansluitnetwerken	32
	2.4.1 Breedband draadloze aansluitnetwerken als alternatief voor breedband toegang in landelijke gebieden	34
	2.4.2 Breedband draadloze aansluitnetwerken als vervanging van vaste breedband abonnement.....	35
	2.4.3 Vast – mobiel convergentie.....	35
	2.4.4 Aansluitnetwerk voor BWA-basisstations.....	35
	2.4.5 Spectrumbeschikbaarheid.....	36
2.5	Factoren buiten het aansluitwerk met invloed op de breedband Internet performance..	36
	2.5.1 Het aansluitnetwerk als onderdeel van de breedband Internet keten	36
	2.5.2 Het huisnetwerk	37
	2.5.3 Het aansluitnetwerk.....	38
	2.5.4 Het provider core netwerk	38
	2.5.5 Het internet	39
2.6	Samenvatting	39
3	Vraag naar breedband	47
3.1	Inleiding.....	47
3.2	Adoptie van breedband en breedbanddiensten.....	47
	3.2.1 Relevante breedbanddiensten	47
3.3	Huidig en toekomstig bandbreedtegebruik	50
	3.3.1 Het huidige bandbreedteverbruik	50
	3.3.2 De groei van bandbreedteverbruik	51
	3.3.3 Verwachte omvang van het verkeer	60
3.4	Conclusie	63

4	Synthese vraag- en aanbodontwikkeling	65
4.1	Capaciteit upstream en downstream	65
4.2	Migratiepaden	67
4.3	Kwaliteit	68
4.4	Bereik; dekking.....	69
4.5	Openheid.....	70
4.6	Kosten.....	71
5	Eindconclusies.....	75
6	Ondertekening.....	79

Bijlage(n)

- A Functionele kenmerken aansluitnetwerken: taxonomie
- B Aanbodzijde: ontwikkeling van het telefonienetwerk
- C Aanbodzijde: ontwikkeling HFC
- D Aanbodzijde: ontwikkeling glasvezel (green field)
- E Aanbodzijde: toelichting op kostenschattingen
- F Aanbodzijde: verslagen interviews met marktpartijen
- G Vraagzijde: gebruik van ICET-diensten
- H Vraagzijde: ontwikkeling van mobiele breedband diensten
- I Vraagzijde: ontwikkeling van TV-diensten
- J Vraagzijde: transsectorale toepassingen
- K Bronnen onderzoek vraagzijde

Lijst van afkortingen

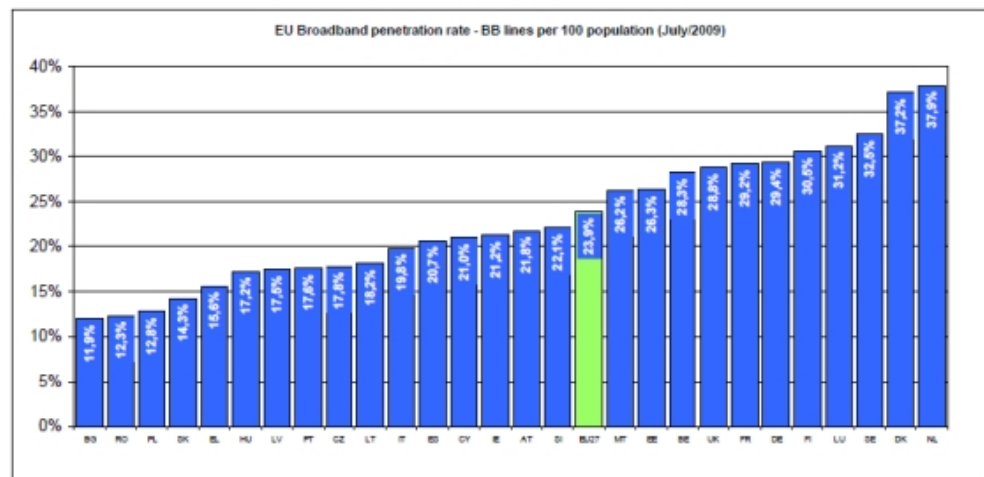
ADSL	Asymmetrical DSL
AMS-IX	Amsterdam Internet Exchange
AOP	Abonnee Overgave Punt
APON	ATM PON
BWA	Broadband Wireless Access
CAPEX	Capital Expenditure
CBR	Constant BitRate
CMTS	Cable Modem Termination System
CRM	Customer Relations Management
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	DSL Access Multiplexer
DTV	Digitale TV
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-C	DVB over Cable
EC	Europese Commissie
ERP	Enterprise Resource Planning
ETTH	Ethernet-to-the-Home
EuroDOCSIS	DOCSIS variant afgestemd op de Europese markt
FttC	Fiber to the Cabinet
FttH	Fibre to the Home
FTU	Fibre Termination Unit
GBB	Generation BroadBand
GBit/s	Gigabit/seconde
GPON	Gigabit PON
GPRS	General Packet Radio Service
HDM	High Definition Multimedia
HDSL	High-speed DSL
HDTV	High Definition TV
HFC	Hybrid Fibre Coax
HFC NG	HFC Next Generation
HSPA	High Speed Packet Access
ICET	Informatie, Communicatie, Entertainment en Transactiediensten
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISP	Internet Service Provider
IP	Internet Protocol
IPTV	TV-dienst gebaseerd op het Internet Protocol
ITU	International Telecommunications Union
LINX	London Internet Exchange
LTE	(UMTS-) Long Term Evolution
Mbit/s	Megabit/seconde
MINTS	Minnesota Internet Traffic Studies
MKB	Midden- en Kleinbedrijf
MPEG	Motion Pictures Expert Group
NGI	Next Generation Infrastructures
NGN	Next Generation Networks
NMA	Nederlandse MededingingsAutoriteit
ONT	Optical Network Termination
OPEX	Operational Expenditure

OPTA	Onafhankelijke Post en Telecommunicatie Autoriteit
PC	Personal Computer
PDA	Personal Digital Assistant
P2P	Point-to-Point
P2MP	Point-to-Multipoint
PON	Passive Optical Network
POP	Point Of Presence
QoS	Quality of Service
R&D	Research and Development
RTV	Radio & TV
SCART	Syndicat des Constructeurs d'Appareils Radiorécepteurs et Téléviseurs
SDSL	Symmetrical DSL
SDTV	Standard Definition TV
SLA	Service Level Agreement
STB	Set Top Box
TNO	Stichting voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
USB	Universal Serial Bus
VDSL	Very-high-bitrate DSL
VOD	Video On Demand
WBA	Wholesale Broadband Access
WDM	Wavelength Division Multiplex
WiFi	Wireless Fidelity
WPAN	Wireless Personal Area Network

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Snel en hoogwaardig breedband wordt algemeen gezien als voorwaarde voor een concurrerende, innoverende en duurzame kenniseconomie. Nederland neemt op dit terrein internationaal een koploperspositie in, onder meer gebaseerd op sterke concurrentie in de *last mile*. In ieder geval staat Nederland in de Europese ranglijst op de eerste plaats zoals blijkt uit onderstaande door de EC in november 2009 gepubliceerde grafiek inzake de penetratie van vaste breedband aansluitingen (peiling: juli 2009).



Figuur 1-1: Nederland staat op de eerste plaats in de Europese ranglijst voor wat betreft breedband penetratie (vast). Bron: www.technischweekblad.nl

Het Ministerie van Economische Zaken hecht er grote waarde aan deze positie ook in de toekomst te behouden en optimaal te benutten. De verdere ontwikkeling van bestaande en nieuwe breedbandinfrastructuren naar *Next Generation Infrastructures* (NGI)¹ wordt dan ook gezien als van groot strategisch belang voor de ontwikkeling van maatschappij en economie als geheel. Dit belang wordt ook door de Tweede Kamer breed gedragen getuige de onlangs aangenomen motie Vendrik-Van der Ham waarin de Kamer de regering verzoekt:

“.....in het voorjaar van 2010 met een uitgewerkt plan te komen hoe in Nederland in de komende vijf tot tien jaar voorzien wordt in een landelijk dekkende aanleg van de volgende generatie aansluitnetwerken.....”,

¹ De ITU hanteert voor Next Generation Networks de volgende definitie: A Next Generation Network is a packet based network able to provide services including Telecommunication Services and able to make use of multiple broadband, QoS enabled transport technologies and in which service related functions are independent from underlying transport-related technologies. NGN kan men opsplitsen in NGN Core en NGN Access.

De Kamer lijkt daarin de ambitie van Zweden te willen navolgen, die eind 2009 haar breedband strategie heeft aangekondigd. Zweden streeft naar een 90% breedband-penetratie (min 100 Mbit/s) in 2020 en ca 40% reeds in 2015².

Vraag daarbij is vooral hoe op basis van vraag en aanbod de migratie naar deze NGI's zou kunnen plaatsvinden. Hierbij zijn verschillende vragen aan de orde: 1. het tempo van migratie; 2. de toekomstvastheid, duurzaamheid, openheid en schaalbaarheid van technologieën; 3. de robuustheid van investeringen en natuurlijk; 4. de ontwikkelingen aan de vraagzijde.

Aan de aanbodzijde is sprake van een reeks technologieën die een rol kunnen spelen in de verdere ontwikkeling van breedbandinfrastructuren en dan met name in het aansluitnetwerk: DSL technologieën op het koperen aansluitnet, DOCSIS technologie op coax aansluitnetten, verschillende technologieën voor volledig verglaasde aansluitnetten en daarnaast ook nog de draadloze technologieën. Er zijn vele scenario's te bedenken waarin deze technologieën elkaar aanvullen en opvolgen in de tijd.

Aan de vraagzijde bestaat ook geen eenduidig beeld. Wel is duidelijk dat breedbandige netwerken van strategisch belang zijn voor de hele BV Nederland, wat betekent dat ook transsectorale ontwikkelingen op het terrein van energie (o.a. smart grids, slimme meter), zorg (o.a. teleconsultancy, zorg-op-afstand etc.), mobiliteit (o.a. elektrische auto's, anders betalen voor mobiliteit etc.) en onderwijs en cultuur (o.a. virtueel collectief onderwijs, ontsluiting cultureel erfgoed etc.) een rol zullen moeten spelen in de overwegingen.

Het Ministerie van Economische Zaken heeft TNO en Dialogic de opdracht gegeven om een onafhankelijk onderzoek uit te voeren naar de te verwachten aanbod en vraag in Next Generation Infrastructure in Nederland in 2010, 2015 en 2020. Dit rapport is het resultaat van dat onderzoek. In het onderzoek wordt een, bij stakeholders getoetste, inventarisatie opgeleverd van de aanbod- en behoefteontwikkeling aan capaciteit in *Next Generation Infrastructures*, uitgaande van de huidige situatie in Nederland. Het rapport is onder andere bedoeld als input voor de recent door het ministerie ingestelde Task Force Next-Generation Networks die het ministerie van advies zal dienen over de vraag hoe decentrale overheden een rol kunnen spelen bij de verdere stimulering van breedbandinfrastructuren in Nederland.

Hoewel een beschrijving van mogelijke toekomstige marktstructuren geen onderdeel uitmaakt van deze opdracht, zijn ontwikkelingen op dit terrein logischerwijs van grote invloed op (commerciële) keuzes die binnen de mogelijke scenario's gemaakt kunnen worden. Zo is het niet onwaarschijnlijk dat investeringen in en exploitatie van NGI's ook vanuit andere sectoren dan de traditionele telecom en kabel hoek zal komen. Nu reeds zijn serieuze activiteiten vanuit energiebedrijven, woningbouwcorporaties en de bouw- en installatiewereld zichtbaar.

1.2 Vraagstelling

De vraagstelling van het ministerie aan TNO en Dialogic valt uiteen in drie delen

1. **Aanbod** van technologieën voor breedbandinfrastructuren.
 - Welke technologieën zijn nu, in 2015 en 2020 beschikbaar voor breedbandige aansluitnetwerken, en wat voor capaciteiten bieden ze? Hierbij vraagt het ministerie om specifiek de topologie van de Nederlandse netwerken (zoals

² Bron: FttH Council.

KPN's kopernetwerk, 'kabelnetwerken van partijen als UPC en Ziggo) in beschouwing te nemen, en in ieder geval de volgende technologieën te beschouwen: ADSL, ADSL2+ en VDSL(2) voor de koper infrastructuur, kabelinternet en DOCSIS voor de coaxinfrastructuur, en FttC en FttH bij verglaasde infrastructures. Tevens is van belang draadloze infrastructures in de studie mee te nemen.

- Welke groei- en ontwikkelpaden zijn logische voor deze technologieën, welke schattingen voor incrementele kosten van opschaling en doorlooptijden horen hierbij?
 - Welke andere factoren dan deze technologieën kunnen mogelijk beperkend zijn voor de feitelijk te bereiken breedbandsnelheden, zoals de kwaliteit van backbone en core netwerken, en de capaciteit van Internet exchanges? Welke eisen moeten er aan backbones worden gesteld om er voor te zorgen dat gemeentelijke netwerken voldoende met elkaar kunnen communiceren, ook als er door gemeentelijke initiatieven verbeteringen in lokale netwerken tot stand komen?
2. **Vraag** naar breedband vanuit diensten.
- Wat is het huidige (2010) breedbandgebruik van een doorsnee huishouden?
 - Wat is de te verwachten breedbandbehoefte in 2015 en 2020, vanuit in ieder geval de volgende toepassingen: (1) "huidig internet gebruik", zoals webbrowsing, e-mail, video streaming, VoIP, (2) verschillende vormen van mobiel en draadloos internet, (3) nieuwe toepassingen zoals TV, HDTV, interactieve TV en (4) transsectorale diensten als smart grids, e-consulting en e-health.
 - Wat zijn de onzekerheden in deze schattingen van de breedbandbehoefte?
3. **Conclusie** uit vergelijking aanbod en vraag.
- Wat is op basis van de bovenstaande gegevens over aanbod en vraag de benodigde en realistisch haalbare breedbandinfrastructuur in 2015 en 2020?

1.3 Gebruikte bronnen

Voor de beantwoording van de bovenstaande vragen in dit rapport gebruiken TNO en Dialogic openbaar beschikbare informatie, waarvan de bronnen staan aangegeven in footnotes en in een aanvullende referentielijst (bijlage K). Deze openbare informatie wordt in beperkte mate aangevuld met inschattingen van TNO en Dialogic.

De bevindingen uit het onderzoek zijn op hoofdlijnen getoetst bij een aantal relevante marktpartijen middels interviews.

1.4 Afbakening

Bij het lezen van dit rapport en het hanteren van de conclusies is de volgende afbakening van belang:

- Het rapport beperkt zich tot het aanbod van breedbandtechnologieën en de vraag naar breedband vanuit diensten. De analyse van de mogelijke organisatorische rol van marktpartijen en (decentrale) overheden, en de mogelijke manieren waarop zij kunnen samenwerken in de ontwikkeling van vraag en aanbod van breedbandinfrastructures valt buiten het kader van dit onderzoek.
- Voor wat betreft het aanbod van technologieën ligt in dit rapport de nadruk op de ontwikkeling van technologieën voor vaste aansluitnetwerken. Technologieën gericht op mobiele en draadloze aansluitnetwerken komen wel aan de orde, maar alleen voor zover dat van belang is voor de ontwikkeling van vaste aansluitnetten.

1.5 Leeswijzer

Na dit inleidende hoofdstuk volgt in hoofdstuk 2 een analyse van de eigenschappen en de toekomstige ontwikkeling van typen breedbandige aansluitnetwerken in de Nederlandse context. Deze analyse gebeurt door de infrastructuurtypen te beschouwen vanuit een verzameling sleutelkenmerken, zoals capaciteit, bereik, openheid en kosten. Op basis van publieke bronnen en eigen expertinzicht schetsen we voor de beschouwde netwerken de waarschijnlijke migratiepaden. In hoofdstuk 3 wordt de ontwikkeling van de bandbreedtebehoefte bekeken, waarbij we op basis van een historische analyse en huidige trends trachten aan te geven in welke richting en met welk tempo de vraag zich het komende decennium waarschijnlijk zal gaan ontwikkelen. In hoofdstuk 4 worden het aanbod aan breedband infrastructures en de vraag naar breedband met elkaar geconfronteerd en worden de conclusies gevormd. Daarin speelt capaciteit een belangrijke rol, maar evenzo diverse andere aspecten zoals dekking, openheid en kosten.

Dit rapport wordt afgesloten met een slotbeschouwing en de formulering van de belangrijkste eindconclusies in hoofdstuk 5.

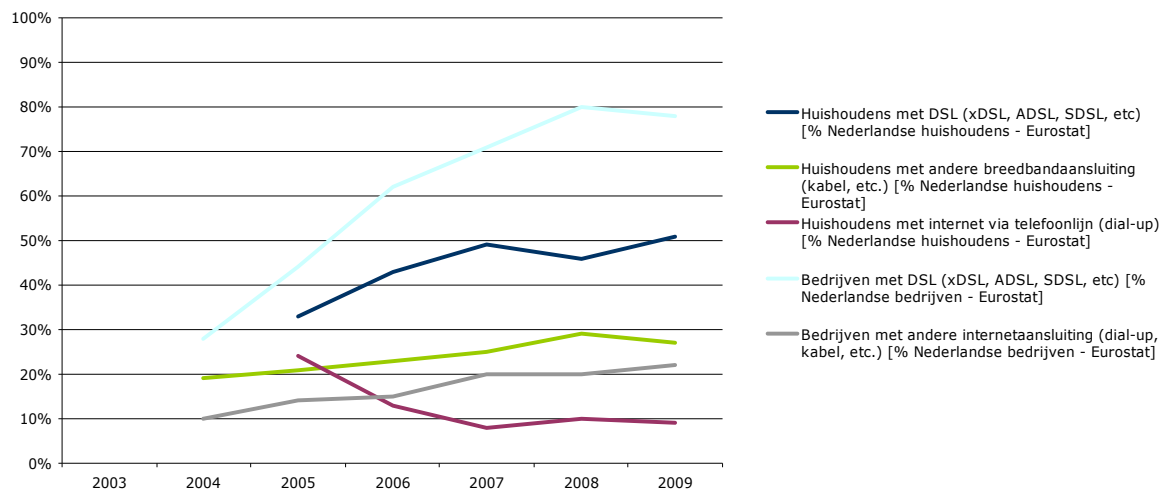
2 Aanbod van breedband: aansluitnetwerken

Dit hoofdstuk behandelt kernachtig de onderzoeksbevindingen met betrekking tot de breedband aanbodzijde, in casu het fiber-koper aansluitnetwerk (voormalige telefonienetwerk), het fiber-coax netwerk (de Kabel), green field glasvezelnetwerken en tenslotte draadloze netwerken. Om deze studie op systematische wijze te doen, een vergelijking tussen de opties te faciliteren, *en* recht te doen aan het feit dat in de vergelijking van aansluitnetwerken verschillende aspecten meespelen, is een taxonomie van functionele kenmerken opgesteld. Deze taxonomie wordt hier kort geïntroduceerd maar uitvoerig toegelicht in bijlage A. De karakterisering van de voornoemde vaste aansluitnetwerken is volledig op basis hiervan uitgevoerd. Van draadloze netwerken die een wezenlijk afwijkende capaciteitspropositie kennen, is de karakterisering minder volledig en algemener gehouden en is in dit hoofdstuk vooral aandacht geschonken aan specifieke punten die directe relevantie hebben in de discussie over de ontwikkeling van vaste netwerken.

Bij dit hoofdstuk horen behalve bijlage A nog een aantal andere bijlagen. Bijlagen B, C en D bieden de verdieping van de in dit hoofdstuk gepresenteerde bevindingen over de vaste aansluitnetwerken. Bijlage E bevat een toelichting op de gerapporteerde kostenschattingen. Bijlage F bevat de goedgekeurde interviewverslagen van drie Nederlandse partijen actief aan de aanbodzijde, namelijk KPN, Ziggo en Breednet.

2.1 Inleiding

Koppeling van huishoudens en bedrijven aan het wereldwijde internet (de backbone) vergt een aansluitnetwerk dat kan voorzien in een adequate aansluitcapaciteit in twee richtingen. In Nederland zien we een tweetal typen vaste aansluitnetwerken die het landschap domineren namelijk 1) het voormalige telefonienetwerk (dial-up toegang, DSL) en 2) de kabel. In onderstaande figuur is weergegeven hoe de penetratie van verschillende typen toegang voor huishoudens en bedrijven zich sinds 2003 heeft ontwikkeld.

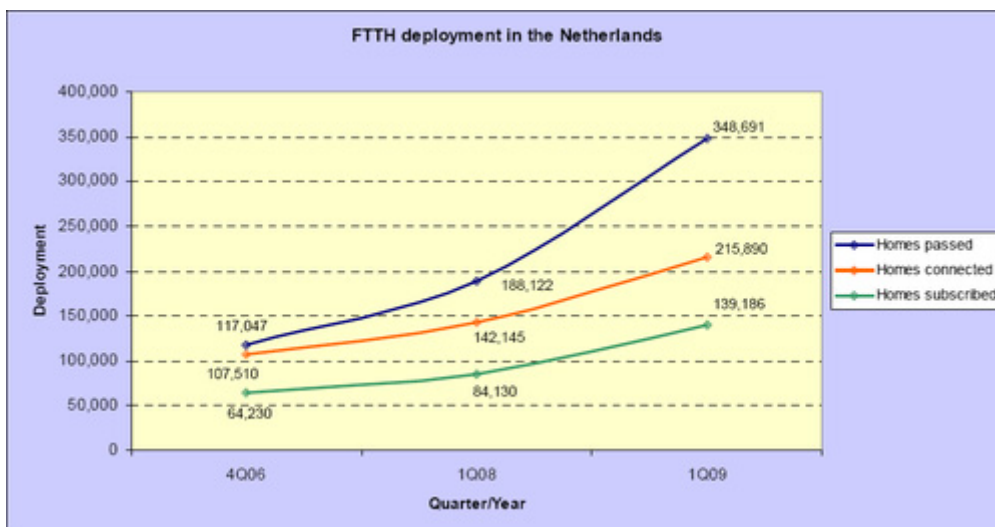


Figuur 2-1: Type internetaansluitingen Nederlandse huishoudens (donkerblauw, groen en paars) en bedrijven (grijs en lichtblauw).

Figuur 2-1 laat zien dat het bedrijfsleven de afgelopen jaren sterker dan huishoudens hebben ingezet op breedband via DSL en dat pas sinds 2008 sprake lijkt van een trendbreuk (lichte terugloop in DSL-aansluitingen). De koppositie van DSL voor het bedrijfsleven is niet verrassend omdat de Kabel zich in het verleden sterker gericht heeft op de consument en bedrijven sneller dan huishoudens op fiber overgaan. De figuur laat verder zien dat de laatste paar jaar Internet via dial-up verbindingen voor ca. 10% van de huishoudens een acceptabele propositie is gebleven en slechts weinig verder in populariteit afneemt. Voor 50% van de huishoudens is ADSL de dominante aansluitetechniek, gevolgd door kabel met ongeveer 30 procent.

In deze figuur is niet te zien wat de huidige stand van zaken is met betrekking tot glasvezel (Fiber to the Home, FttH). Bij FttH zijn de begrippen *homes passed*, *homes connected* en *homes subscribed* van belang. *Homes Passed* zijn hierbij de huizen waarbij glasvezel tot aan het pand is aangelegd. *Homes Connected* zijn huizen waarbij de vezel ook daadwerkelijk tot in de meterkast is afgemonteerd, en *Homes Subscribed* zijn die huishoudens die ook daadwerkelijk diensten geleverd krijgen over hun glasvezelverbinding.

Uit figuur 2-2 blijkt dat de uitrol van FttH in absolute termen nog gering is: het gaat om ongeveer 450.000 *homes passed*. Ongeveer een derde van deze populatie is feitelijk aangesloten (*homes connected*) en neemt daadwerkelijk diensten over glasvezel af (*homes subscribed*). Er is het afgelopen jaar echter een flinke groei ingezet – met name wat betreft het aantal *homes passed* – en deze zal de komende jaren doorzetten, wat uit de grafiek mag worden opgemaakt.



Figuur 2-2: Ontwikkeling aantal glasvezelaansluitingen (bron: Stratix)

De voornamelijk historische lijnen uit figuren 2.1 en 2.2 zijn een gevolg van technologische ontwikkelingen en van marktverhoudingen die in de loop van de tijd zijn geëvolueerd. Voor een *estimated guess* over de toekomstige ontwikkeling van breedband staan we in dit hoofdstuk van het rapport uitvoerig stil bij de *voorziene* technologische ontwikkeling van de relevante aansluitnetwerken (DSL, Kabel en Glasvezel) en kijken we ook naar kosten en andere uitrolaspecten. In combinatie met inzicht in de voorziene vraagontwikkeling (H3) leidt dit tot meer inzicht in hoe het aanbod van breedband infrastructuur zich in Nederland zou kunnen ontwikkelen.

In de behandeling ligt het zwaartepunt op de volgende typen *vaste* netwerken:

- Full copper (twisted pair) en hybride (fiber - twisted pair). Dit is het voormalige telefonienetwerk;
- Full copper (coax) en hybride (HFC: fiber - coax). Dit is het voormalige RTV-distributienetwerk, de 'Kabel';
- Nieuw aangelegde full fiber netwerken.

We gaan in dit rapport ook in op de ontwikkeling van draadloze toegangsnetwerken, zij het minder diepgaand.

2.2 Functionele kenmerken van breedband aansluitnetwerken

Functionele kenmerken zijn kenmerken die de gebruiksmogelijkheden van een aansluitnetwerk weergeven, van buitenaf gezien en onafhankelijk van hoe dat netwerk is geïmplementeerd. Ondermeer de volgende functionele kenmerken kunnen als relevant beschouwd worden voor het onderscheiden van verschillende technologieën en technologiegeneraties:

- Capaciteit (datasnelheid)
- Topologie
- Bereik (bedekking)
- Kwaliteit van de verbinding
- Mobiliteit van eindgebruikers
- Openheid (Ontbundelingsaspecten)
- Kosten

Ze worden één voor één hieronder kort benoemd. Voor een uitvoerige toelichting wordt naar bijlage A verwezen.

2.2.1 *Capaciteit (datasnelheid)*

De technische capaciteit van een netwerk, oftewel de hoeveelheid bits die per tijdseenheid getransporteerd kan worden, is bepalend voor welk dienstenpakket nog geleverd kan worden (het aantal en soort diensten dat nog gelijktijdig aangeboden kan worden).

Vanuit technisch perspectief en vanuit gebruikerservaring is het van belang onderscheid te maken tussen twee definities van datasnelheid:

1. Piek datasnelheid, d.w.z. de maximale up- of downstream datasnelheid die *kortstondig* door het netwerk kan worden gerealiseerd voor één klant. In de praktijk is deze snelheid gelijk aan de datasnelheid van de link waarmee de gebruiker is verbonden;
2. Sustained datasnelheid, d.w.z. de gegarandeerde datasnelheid per klant die langdurig en die onafhankelijk van het gebruik van andere klanten kan worden gehandhaafd.

Behalve het verschil tussen piek- en sustained datasnelheid is ook symmetrie een belangrijk en aan capaciteit gekoppeld kenmerk. Wanneer downstream- (richting de abonnee) en upstream- (van de abonnee vandaan) snelheden gelijk zijn dan spreken we van een symmetrische verbinding, anders is sprake van asymmetrie.

Het is van belang dat men zo correct mogelijk met capaciteitsaanduidingen omgaat omdat hierover gemakkelijk misverstanden kunnen ontstaan en verkeerde conclusies kunnen worden getrokken. In de analyse blijkt het nuttig te zijn om ten aanzien van aansluitcapaciteit een onderscheid te maken tussen de volgende generaties in breedband access³, uitgedrukt in pieksnelheid:

- 1GBB (tot 1 Mbit/s)
- 2GBB (1-10Mbit/s)
- 3GBB (10-100 Mbit/s)
- 4GBB (100-1000 Mbit/s)

Momenteel is 2GBB op zeer grote schaal in Nederland beschikbaar en is de transitie naar 3GBB volop gaande. Lokaal zien we ook al dat de sprong wordt gemaakt naar 4GBB.

2.2.2 *Topologie*

Een belangrijk topologisch verschil tussen infrastructures is het verschil tussen punt-punt en punt-multipunt:

- *Punt-punt (P2P)*. Iedere eindgebruiker krijgt rechtstreeks vanuit het netwerk een eigen signaal aangeleverd, in principe onafhankelijk van andere abonnees. Een intrinsieke eigenschap is dat op deze verbinding in het aansluitnetwerk de sustained datasnelheid die de eindgebruiker krijgt gelijk is aan de piekdatasnelheid;
- *Punt-multipunt (P2MP)*. Meerdere eindgebruikers krijgen hetzelfde digitale signaal aangeleverd, en de apparatuur van de eindgebruiker “filtert” de desbetreffende data eruit. Het is een gedeeld (‘shared’) medium. De ‘sustained’ datasnelheid per

³ Bron: 4GBB project. GBB is de afkorting voor Generation BroadBand

eindgebruiker ligt hier altijd lager dan de piekdatasnelheid van de verbinding waarop de eindgebruikers zijn aangesloten.

2.2.3 **Bereik (bedekking)**

Het bereik van een aansluitnetwerk geeft antwoord op de vraag hoe goed een aansluitnetwerk in staat is om een bepaald gebied met eindgebruikers te bedienen. Daarbij zijn twee vervolgvragen belangrijk:

1. *Wat is de geografische afstand die technisch overbrugd kan worden?*
De afstanden die in een bepaalde transportinfrastructuur gehaald kunnen worden is vooral voor de op elektrische principes gebaseerde infrastructuur afhankelijk van de gewenste datasnelheid. Naarmate men grotere afstanden wil overbruggen gaat de maximaal haalbare datasnelheid verder naar beneden en vice versa.
2. *Kunnen binnen het dekkings- of verzorgingsgebied alle aansluitingen gerealiseerd worden?* Hoewel vaak in eerste instantie niet gelijk iedereen aangesloten wordt op een nieuwe infrastructuur, moet de mogelijkheid aanwezig zijn om volgens een gefaseerde roll-out een bepaald percentage van de gepasseerde huizen aan te sluiten (penetratiegraad).

Hoewel niet gelijke mate spelen beide kwesties met name voor de kopernetwerken (twisted pair en coax) en de draadloze netwerken waarin specifieke elektromagnetische aspecten van de betreffende transmissiemedia in combinatie met topologie bepalend zijn voor de te behalen prestaties in het aansluitnetwerk. Netwerken gebaseerd op glasfiber kennen in veel mindere mate deze gevoeligheid.

2.2.4 **Kwaliteit van de verbinding**

Iedere dienst heeft zijn eigen kenmerken, en stelt ook zijn eigen eisen aan de kwaliteit die nodig is voor een goede dienstverlening. De benodigde capaciteit is hier maar één onderdeel van. De kwaliteit van de netwerkverbinding heeft vaak een directe invloed op de kwaliteitsbeleving van de gebruiker en is om die reden zeer van belang. Bij gaming bijvoorbeeld is de capaciteit in bit/s minder relevant dan de opgebouwde vertragingstijd in de verbinding. Spraak en videodiensten zijn zeer gevoelig voor variaties in de vertragingstijd. Toepassingen hebben vaak specifieke *quality of service (QoS)* eisen waaraan moet worden voldaan om de gebruiker van de toepassing de gewenste beleving te geven⁴ of een machine2machine protocol goed te laten verlopen. Quality of service moet *end-to-end* worden beoordeeld (zie ook paragraaf 2.5.1). Toegangsnetwerken zijn een schakel in de end-to-end keten en van belang is dat een aansluitnetwerk de QoS eisen voor de getransporteerde diensten kan ondersteunen.

Technisch gesproken gaat QoS in essentie over wachtrijen voor pakketjes. Op de transmissielag (laag 1) is de capaciteit van de verbinding belangrijk: als deze zeer groot is, dan ontstaan er geen wachtrijen. Indien er capaciteitsbeperkingen zijn, dan is het van belang dat pakketten met prioriteit in ieder geval op tijd worden afgehandeld. Is dit op laag 2 (Medium Access) niet of niet goed geregeld dan kunnen afhankelijk van het verkeersaanbod QoS issues ontstaan. Voor de beschouwde toegangsnetwerken geven we aan of sprake is van QoS ondersteuning op laag 2. Laag 3 (IP) valt buiten de

⁴ De invloed van netwerk kwaliteit (QoS: quality of service) op de kwaliteitsperceptie van eindgebruikers is met speciale geïjkte software tools redelijk objectief vast te stellen, waardoor de netwerkkwaliteit meetbaar is geworden.

scope van toegangsnetwerken.

In de operationele praktijk hangt de kwaliteit van de dienstverlening nauw samen met het netwerkcapaciteitsbeheer. Een aanbieder moet ervoor zorgen dat het netwerk voldoende capaciteit heeft om de gevraagde capaciteit te leveren. Indien er een capaciteittekort is, zal dit onherroepelijk tot een degradatie van de dienstverlening leiden, hetzij in de vorm van een verminderde beschikbaarheid, hetzij in de vorm van een verminderde dienstkwaliteit.

2.2.5 *Mobiliteit van eindgebruikers*

De verschillende breedband toegangnetwerken (vast en draadloos) ondersteunen in verschillende mate mobiliteit van eindgebruikers. Mobiliteit betekent dat eindgebruikers, die aansluiting tot een communicatienetwerk zoeken en onderhouden, dat niet steeds vanaf dezelfde fysieke locatie doen.

In de telecommunicatie worden drie verschillende niveaus van mobiliteit van gebruikers onderscheiden, te weten vast, nomadisch en mobiel. In de uitgevoerde karakterisering, waarin de aandacht vooral is gericht op vaste netwerken, is het mobiliteitskenmerk in de evaluatie niet verder meegenomen.

2.2.6 *Openheid*

Bij het beoordelen van breedbandinfrastructuren wordt vaak ook de zogenaamde openheid in aanmerking genomen. Kenmerkend voor openbare breedbandinfrastructuren is dat er een veelheid aan diensten van verschillende dienstaanbieders en gebruikers geleverd kan worden over één infrastructuur. Deze vorm van openheid ontstaat door de van oorsprong technische ont koppeling die in de infrastructuur is aangebracht tussen de applicaties en de IP (Internet Protocol) laag. Naast deze scheiding zijn er nog andere plaatsen in de zogenaamde protocol stack waar technisch gesproken een ont koppeling kan plaatsvinden. Voor toegangsnetwerken is vooral openheid van belang op laag 0 (passieve infrastructuur), laag 1 (actieve infrastructuur-transmissie) en laag 2 (actieve infrastructuur – datalink).

2.2.7 *Kostenaspecten*

Naast het beoordelen van verschillen tussen infrastructuur op technologisch vlak dienen ook de verschillen in kosten en kostenontwikkeling in ogenschouw genomen te worden. Een oplossing voor breedband kan technologisch superieur zijn in datasnelheid, maar als de kostenaspecten een groot obstakel vormen dan zal een andere technologie (met lagere bitsnelheden) snel het aanbod gaan domineren.

Ten aanzien van kosten dient onderscheid gemaakt te worden tussen de initiële investering (Eng: CAPEX) die noodzakelijk is om een nieuwe accessvorm aan te bieden, en de terugkerende operationele kosten (OPEX) die een aansluitoptie met zich meebrengt. In het onderzoek hebben we kwalitatief en waar mogelijk kwantitatief inzicht gegeven in dergelijke aspecten, met de nadruk op de investeringskosten.

2.2.8 *Migratiepotentie*

Met migratiepotentie wordt bedoeld de mogelijkheden van een bepaald type aansluitnetwerk om mee te kunnen groeien met een toenemende of veranderende vraag naar connectiviteit. Migratiepotentie is geen functioneel kenmerk als zodanig maar in het licht van dit onderzoek is het wel een belangrijk aspect. Per type aansluitnetwerk wordt uit de eerder beschreven functionele kenmerken en daarin verwachte ontwikkelingen de migratiepotentie aangegeven.

2.3 Karakterisering van vaste aansluitnetwerken

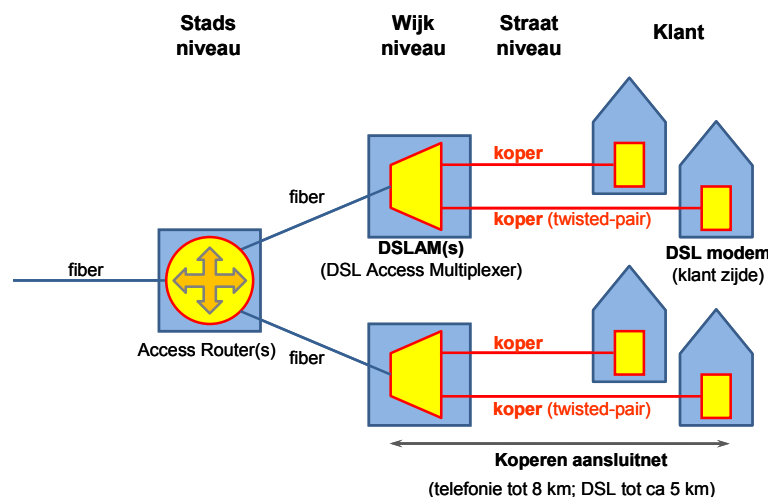
Deze paragraaf is gewijd aan de karakterisering van de vaste aansluitnetwerken die in dit onderzoek van belang worden geacht, namelijk hybride glas-koper, hybride glas-coax en greenfield verglazing. De behandeling hier is kernachtig. Bijlagen B t/m D gaan hier uitvoerig op in, inclusief de achtergronden.

2.3.1 Het voormalige telefonienetwerk

2.3.1.1 Inleiding

Het twisted-pair koper netwerk is het aansluitnetwerk dat ooit is aangelegd ten behoeve van analoge telefonie en waarvan het aansluitnetwerk bestond uit zeer grote aantallen koperen aderparen die in gebundelde vorm in de nummercentrales ontsprongen en naar huizen en bedrijven waren aangelegd. Tot ver in de tachtiger jaren waren via dit koperen aansluitnetwerk uitsluitend telefonie-, telex- en facsimile diensten mogelijk, alsmede smalbandige datacommunicatie tussen computers d.m.v. analoge spraakband modems. De digitalisering van de centrales was in de tachtiger jaren van de vorige eeuw in volle gang en aan het einde van dat decennium werd dat voor de abonnees merkbaar met de introductie van ISDN (Integrated Services Digital Network).

Vanaf 1999 is de DSL-ontwikkeling (DSL: Digital Subscriber Line) geïntroduceerd in de consumentenmarkt met ADSL (Asymmetric DSL). ADSL en de daaropvolgende generaties met steeds hogere datasnelheden (ADSL2, ADSL2+) kon tegen betaalbare tarieven aan de consument worden aangeboden en heeft de ontwikkeling van breedband in Nederland ook een flinke boost gegeven. Gezien de steeds verdere verglazing van het aansluitnetwerk spreekt men al geruime tijd over het hybrid fiber-koper netwerk.



Figuur 2-3: DSL-technologie op het koperen aansluitnet

Het koperen aansluitnetwerk

Vanuit een hoofdverdeler in een centrale vertrekken er dikke koperen distributiekabels naar de eindgebruikers toe. Die distributiekabels bestaan in Nederland in de meeste gevallen uit 900 koperen aderparen, en vertakken zich gaandeweg totdat een aderpaar bij een eindgebruiker is afgeleverd. Meestal zit er nog een kabelverdeler in een

straatkast tussen, en soms zelfs twee straatkasten (in cascade). Voor hele korte afstanden wordt zo'n straatkast soms overgeslagen.

Iedere eindgebruiker heeft minimaal één eigen koperen aderpaar tot zijn beschikking, maar incidenteel is er zelfs sprake van meerdere aderparen en/of reserve aderparen die door tussenkomst van een monteur beschikbaar gesteld kunnen worden. Zo'n aderpaar wordt ook wel 'twisted pair' genoemd, aangezien het hier twee in elkaar gedraaide koperdraadjes betreft.

DSL

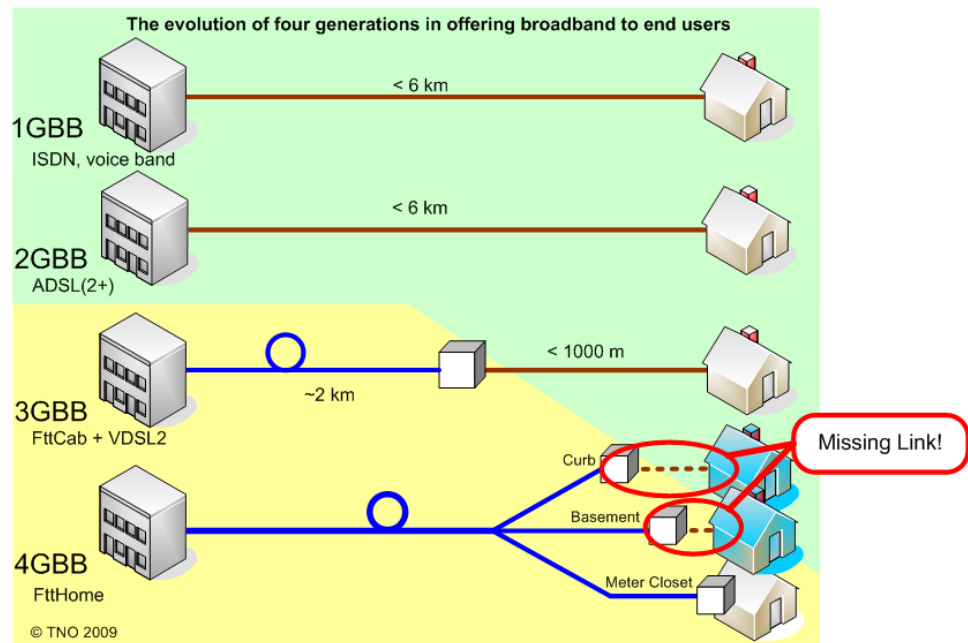
In de nummercentrales staan zogenaamde DSL Access Multiplexers (DSLAMs) van een DSL operator opgesteld die het verkeer uit het core netwerk over de hierop aangesloten DSL-lijnen verdeelt (multiplext) en vice versa. Iedere DSL-lijn ontspringt bij de DSLAM en eindigt (termineert) bij de abonnee in het DSL modem. Bij ADSL loopt de gehele lijn over koper.

DSL-technologie bestaat inmiddels uit de volgende typen en generaties (met name die welke relevant zijn voor de consumentenmarkt):

- *ADSL*: Asymmetric Digital Subscriber Line
- *ADSL2*: Opvolger van ADSL met verbeteringen
- *ADSL2+*: Opvolger van ADSL2, met hogere capaciteit
- *VDSL*: Very high bitsnelheid DSL: nieuwe generatie DSL-technologie geoptimaliseerd voor toepassing vanaf de straatkast. Is als voorloper van VDSL2 in Europa nauwelijks toegepast
- *VDSL2*: Opvolger van VDSL met tal van verbeteringen om ook naast ADSL2+ gebruikt te kunnen worden.

Belangrijk aspect bij de opeenvolgende generaties DSL-technologieën is dat een steeds hoger wordende capaciteit alleen realiseerbaar is over steeds kortere afstanden van de koperkabel. Als gevolg van dit effect moet de glasvezel dichterbij de huizen gebracht worden om alle huishoudens de mogelijkheid te geven van een hogere capaciteit van een technologie als VDSL2 te laten profiteren. In onderstaande figuur is aangegeven hoe deze DSL-ontwikkeling verloopt waarbij het glas steeds dichterbij de huizen gebracht wordt. De allerlaatste stap in dit migratietraject is waarbij het glas tot aan het pand is aangelegd en alleen nog het laatste stukje koperdraad (over het erf of in het pand) wordt gebruikt. Met die nu nog ontbrekende stap is er bijna sprake van een volledige FttH oplossing. Met DSL-technologie kan dus in principe stapsgewijs naar een FttH eindstadium worden gemigreerd.

Bijlage B bevat een uitvoerige verhandeling over de ontwikkeling van DSL-toegangsnetwerken.



Figuur 2-4: Voorziene migratie van het voormalige telefonienetwerk

2.3.1.2 Karakterisering⁵

Hieronder is de karakterisering aangegeven voor dit type aansluitnetwerk.

Functionele aspecten

Functionele kenmerken DSL

Capaciteit

Met de huidige ADSL2+ technologie en topologie kan theoretisch maximaal 24 Mbit/s⁶ (downloadsnelheid) worden gehaald (zie ook bijlage B) en met een upload snelheid van maximaal 1.3 Mbit/s is sprake van asymmetrische capaciteit. DSL-technologie kan qua capaciteit echter verder doorgroeien op basis van hybride glas-koper topologiën. Bij verglazing tot op straatkastniveau en gebruik van VDSL2-technologie voor het resterende kopersegment (tot 1km lengte) zijn voor de massa snelheden voor een 3GBB dienstenpakket haalbaar. Bij verdere verglazing tot nabij het huis (voorgevel, fietsenkelder, etc), gevolgd door 20-200m bestaand koper waarop VDSL2 wordt toegepast, worden snelheden voor een 4GBB diensten pakket haalbaar. In de toekomst zou technisch gesproken het gehele 4GBB bereik kunnen worden bestreken met een specifiek daartoe te ontwikkelen 'ultieme' DSL technologie op de laatste 20-200 meter koper, Dit laatste concept bevindt zich nog in een onderzoeksstadium en is mogelijk over 5 jaar commercieel beschikbaar.

⁵ Wijzigingen voorbehouden

⁶ Gemiddeld ca 12 Mbit/s over alle afstanden.

Functionele aspecten	Functionele kenmerken DSL
<i>Topologie</i>	<p>Een topologie waarbij tussen centrale en huisaansluiting geen actieve apparatuur wordt toegepast is voor 3GBB niet optimaal en voor 4GBB niet te handhaven.</p> <p>Hogere DSL snelheden vereisen kortere koperkabels. Dit resulteert dan in een hybride glas-koper topologie, waarbij met DSL over bestaand koper het laatste traject wordt overbrugd. Voor 3GBB dient met name verglaasd te worden tot op straatkast niveau (100-1000m koper) en voor 4GBB met name tot nabij het pand (20-200m koper). Als koperlijnen heel kort zijn kan 3GBB ook vanuit de centrale geleverd worden, maar dan wel alleen aan dichtbij gelegen panden (ca 1.000-1.500 meter).</p>
<i>Bereik</i>	<p>Met de huidige 2GBB technologie wordt een groot bereik gehaald (technische penetratiegrens nog niet bereikt). Handhaving van het huidige bereik bij toenemende datasnelheden vergt verdere verglazing en bijplaatsing actieve apparatuur “halverwege”. Bij DSL moet blijvend rekening worden gehouden met de variatie in daadwerkelijk realiseerbare aansluitcapaciteit (van adres tot adres).</p>
<i>Kwaliteit</i>	<p>Vanuit DSL-transmissieoptiek kan een continue bitsnelheid worden gegarandeerd. DSL-modems ondersteunen QoS, momenteel nog voornamelijk op basis van ATM (PVC's) en in de toekomst op basis van Ethernet. ADSL2+ biedt geen volledig symmetrische aansluiting. VDSL2 is ook niet zo gedimensioneerd.</p>
<i>Openheid</i>	<p>Het koperen aansluitnetwerk biedt nu en in de toekomst openheid aan DSL-operators op de passieve (koper) infrastructuur. Dit zal ook in de toekomst zo blijven.</p>
<i>Kosten</i>	<p>De CAPEX kosten voor het aanbod van breedband over VDSL2 vanuit de nummercentrale worden geschat op gemiddeld 125-175 Euro per aansluiting maar levert slechts een verhoging aan capaciteit voor een beperkt deel van de markt. VDSL2 vanuit de straatkast wordt geschat op gemiddeld ca.325-425 Euro per aansluiting. De kosten van de toekomstige aanleg van een hybride fiber-koper verbinding tot aan het pand (Ultimate DSL) zijn zeer variabel per aansluiting maar worden indicatief geschat op ca 160 Euro lager in kosten dan een volledige FttH oplossing, echter op basis van de aanname dat voor deze nieuwe generatie modems een met ADSL2+/VDSL2 vergelijkbaar prijsniveau gaat gelden.</p>
<i>Migratiepotentie</i>	<p>De migratie van breedband op basis van DSL gaat hand in hand met verglazingstappen richting de eindgebruiker. Via een dergelijk migratietraject kan de capaciteit over koper in technische zin voorlopig meegroeien met een toenemende vraag. De benodigde investeringen in de huidige kabelverdeekasten (bijplaatsing van actieve apparatuur “halverwege”) is een majeure netwerkmigratiestap. DSL migreert via VDSL2+ langzaam naar een hybride FttH concept, waarbij het transport over de laatste 20-200m koper via Ultimate-DSL” een mogelijke eindstap is voor DSL-technologie. Deze technologie bevindt zich nu nog in een R&D stadium.</p>

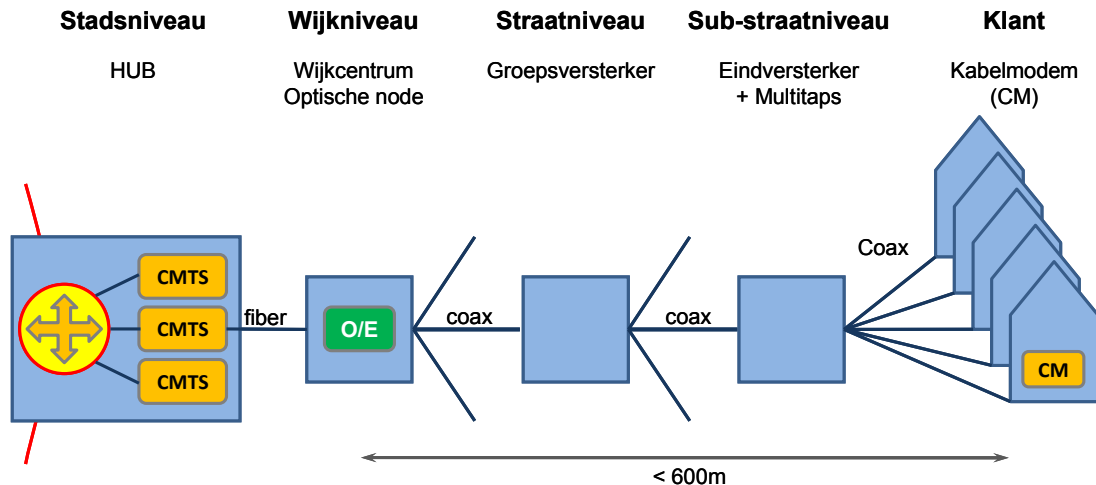
2.3.2 Kabelnetwerken

2.3.2.1 Inleiding

De huidige Nederlandse kabelnetwerken komen voort uit de talloze lokale kabel TV netwerken die veelal op gemeentelijk initiatief in de jaren zeventig en tachtig van de vorige eeuw zijn aangelegd. De ontwikkeling tot de huidige netwerken is mede bepaald door:

- de schaalvergroting van de netwerken van enkele duizenden huizen tot netwerken van meerdere honderdduizenden huizen. Deze aggregatie is in eerste instantie met coaxiale trunks gerealiseerd, maar vanaf medio jaren negentig worden de lokale netwerken met glasvezel gekoppeld;
- de liberalisering van de telecommarkt heeft ertoe geleid dat vele van de publieke netwerken verkocht zijn aan private aanbieders zoals Ziggo en UPC;
- de opwaardering van de coaxiale broadcast netwerken naar een twee-weg hybride fiber coax architectuur waarbij glas tot op enkele honderden meters van de huizen is aangelegd. Landelijke afstemming tussen de toenmalige aanbieders heeft tot een in hoge mate uniforme en zeer schaalbare architectuur geleid.

Momenteel zijn alle Nederlandse kabelnetwerken twee-weg geschikt en is 97% van alle Nederlandse huizen aangesloten. Typisch bestaat het huidige dienstenaanbod uit analoge TV (ruim dertig zenders), digitale standaard definitie TV (SDTV), HDTV, video-on-demand (in opkomst), breedband internet en vaste telefonie.



Figuur 2-5: Opbouw van het Kabelnetwerk. CMTS met CM's vormen tezamen het EuroDOCSIS concept.

Het kabelnetwerk is vanuit het core netwerk verglaasd tot aan de wijkcentrales. Daarin bevinden zich zogenaamde optische nodes waar glas overgaat in coax. Het coax netwerk vertakt zich in een aantal stadia en komt uiteindelijk tot in de huizen. Het HFC netwerk is uitgerust met kasten op straatniveau waarin actieve apparatuur is geplaatst. Het pluriforme dienstenaanbod brengt met zich mee dat er, althans heden ten dage, verschillende systemen/platformen een rol spelen. De architectuur van "De Kabel" bestaat in feite uit een stapeling van drie lagen (analoge broadcast, videodiensten en Internetdiensten). Belangrijk in het totale capaciteitsmanagement is de frequentie-indeling op het intrinsiek breedbandige coax netwerk, waarbij men vooralsnog een

substantiële hoeveelheid spectrum (ca 30%) reserveert voor de analoge omroepdiensten. Beperken we ons hier tot de ‘Internetlaag’, dan vindt het transport van IP-verkeer van en naar abonnees plaats op basis van een combinatie van DVB-C transmissie (laag 1) en EuroDOCSIS-technologie (laag 2). Daartoe zijn groepen van kabelmodems (zogenaamde segmenten) gevormd die elk door een CMTS⁷ worden aangestuurd. De kabelmodems binnen één segment delen de in dat segment beschikbaar gestelde digitale capaciteit (shared medium). De CMTS-systemen zijn regionaal georganiseerd. De door EuroDOCSIS-technologie en HFC netwerktopologie gefaciliteerde combinatie van het bundelen van DVB-C kanalen⁸ en lokale verkleining van segmenten maken een HFC/EuroDOCSIS netwerk zeer schaalbaar. In combinatie met ‘slim’ capaciteitsmanagement is een HFC-operator aldus over langere periode in staat evolutionair te migreren qua capaciteit, afhankelijk van de (lokale) vraag naar breedband internet.

Hoewel DVB-C en EuroDOCSIS technisch verder evolueren, is het op termijn voorstelbaar dat een overgang wordt gemaakt naar een geheel ander netwerkconcept (HFC Next Generation) waarbij naar iedere woning een ongedeelde coax kabel beschikbaar komt waarover Gbit Ethernet connectiviteit (Ethernet to the home) kan worden geboden.

Belangrijk aandachtspunt bij HFC-netwerken en de verdere ontwikkeling ervan is behoud van compatibiliteit met de ether (storingen op en vanuit de ether).

Bijlage C bevat een uitvoerige verhandeling over de ontwikkeling van HFC-toegangsnetwerken.

2.3.2.2 Karakterisering

Hieronder is de karakterisering aangegeven voor dit type aansluitnetwerk.

Functionele aspecten	Functionele kenmerken
<i>Capaciteit</i>	<p>De digitale capaciteit van de huidige kabelnetwerken kan evolutionair worden vergroot. Technisch is het met de DOCSIS-technologie mogelijk een digitale netwerkcapaciteit stapsgewijs te vergroten tot gemiddeld 48(D)/12(U) Mbit/s per klant bij 50% marktaandeel. Met bonding van 16 kanalen is een maximale klantbitsnelheid van 320(D)/100(U) Mbit/s. De migratiestappen kunnen bereikt worden zonder dat graafwerkzaamheden en investering in glas noodzakelijk zijn. Hiermee reiken de huidige moderne HFC-netwerken reeds tot in de 4GBB klasse. Essentieel hierbij is wel steeds meer kanalen in de coax hierbij voor internet ingezet dienen te worden. Dit gaat in eerste instantie ten kosten van analoge TV-kanalen. Op basis van een goed netwerkontwerp, goed capaciteitsmanagement en inzet van goede technologie kan de kabelaanbieder waarborgen dat de gevraagde bitsnelheid ook wordt geleverd.</p> <p>Verdere capaciteitsvergroting vergt een ander netwerkconcept (Ethernet-to-the-Home) inclusief verglazing tot aan de eindversterker in de straatkast. Met die upgrade is een bitsnelheid van 1 Gbit/s per klant of meer leverbaar (4GBB).</p>

⁷ CMTS: Cable Modem Termination System

⁸ Ieder DVB-C kanaal is goed voor maximaal 52 Mbit/s (downlink)..

Functionele aspecten	Functionele kenmerken
<i>Bereik</i>	Het bereik van HFC netwerken is in Nederland bijzonder groot (> 97% van de woningen hebben een aansluiting). Door de principiële opbouw van HFC-netwerken zal dat in de toekomst ook zo blijven. Bij HFC is evenals bij DSL sprake van een afhankelijkheid tussen bereik en capaciteit, maar die is van een andere orde. Om bij stijgende capaciteitsvraag het bereik op peil te houden, moet bundeling van frequentiekanalen plaatsvinden al dan niet in combinatie met het verkleinen van de omvang van een segment..
<i>Kwaliteit</i>	Er is sprake van gegarandeerde kwaliteit voor lineaire tv, VoD en telefonie. Bij goed capaciteitsmanagement is ook de maximale klant bitsnelheid gegarandeerd voor Breedband Internet. EuroDOCSIS ondersteunt QoS. Reservering van VoD-capaciteit en maximale klant bitsnelheid tijdens piekuren is een zakelijke keuze van de aanbieder. Ondersteuning breedbandige symmetrische diensten is beperkt zolang bestaande scheiding in up- en downstream banden gehandhaafd blijft.
<i>Openheid</i>	In technisch opzicht kunnen HFC netwerken op verschillende niveaus worden opengesteld (tenminste op netwerk- en coax/glas niveau ⁹). Daadwerkelijke openstelling op coax/glas-niveau is in de praktijk mogelijk lastig.
<i>Kosten</i>	De evolutionaire vergroting van de netwerkcapaciteit vereist stapsgewijze incrementele investeringen van een, in vergelijking met een upgrade naar next generation HFC architectuur, beperkte omvang. Het migratiemoment is een bedrijfsstrategische keuze van de aanbieder. Een grove inschatting van de benodigde CAPEX per home activated bedraagt 75 tot 275 euro voor EuroDOCSIS 3.0, en tussen 375 en 625 euro voor HFC Next Generation, , beiden met een marge naar boven vanwege onzekerheid.
<i>Migratiepotentie</i>	De migratiepotentie van HFC netwerken is bijzonder groot. De migratiestrategie van aanbieders wordt slechts in beperkte mate bepaald door de beschikbaarheid van technologie, maar juist wel van marktomstandigheden en van kosten/baten afwegingen voor individuele migratiestappen. Operators zullen de capaciteitsexpansie in eerste instantie op transmissieniveau zoeken in betere benutting van het kabelspectrum binnen de huidige specificaties van het HFC netwerk. In tweede instantie zal men geleidelijk investeren in transmissie- en netwerkapparatuur in de zin van upgradering (hogere snelheden) en eventueel bijplaatsing van apparatuur in de wijkcentra. In derde en laatste instantie zal men kiezen voor duurdere maatregelen die ingrijpen in de netwerkarchitectuur dan wel consequenties hebben op diverse plaatsen in de totale infrastructuur (tot bij de abonnee). Dit is een evolutionair traject met tal van mogelijke technische maatregelen die tot de beschikking staan van de operator en die op basis van steeds terugkerende business case analyses zullen worden overwogen. Er is derhalve niet één migratietraject te schetsen. Op een zeker moment kan het lonen om de stap te maken naar een vernieuwd HFC netwerkconcept, waarbij verglazing tot aan de bestaande straatkasten aan de orde is en plaatsing van Gbit Ethernet switches in de straatkasten. Met die migratiestap levert HFC aansluitcapaciteit op 4GBB niveau.

⁹ Openstelling op transmissieniveau via CMTS is niet eerder onderzocht.

2.3.3 *Aanleg van green-field full-fiber netwerken*

2.3.3.1 *Inleiding*

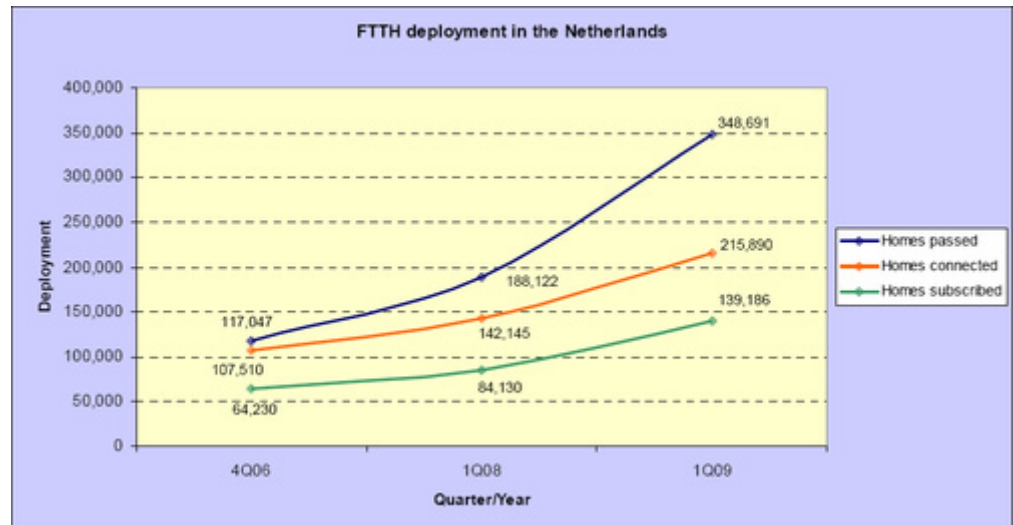
Glasvezelcommunicatie is technologisch geen novum¹⁰. Laat men buiten beschouwing de ontdekking van de grondbeginselen van de laser door Einstein in 1917, dan zien we in de zestiger jaren van de vorige eeuw de eerste uitvindingen van praktische lasers (optische bron). De mogelijkheden van optische communicatie door een gebogen waterstraal werden in al in 1870 door Tyndall gedemonstreerd en in 1966 werd door het duo Hockam en Kao voor het eerst breedbandige datacommunicatie via glasvezel aangetoond. Sinds die tijd heeft de innovatie en daarmee de haalbare bandbreedte over glas een enorme vlucht genomen en is glasvezelcommunicatie vooral grootschalig toegepast in backbone netwerken. De prijzen van vezels en optische apparatuur gingen dalen door massaproductie en daarmee werd de toepassing van glas geleidelijk aan ook in de lagere regionen van de telecommunicatienetwerken economisch haalbaar. Door de bandbreedte wedloop in bestaande toegangsnetwerken (telefonie en kabel) en de hoge aanlegkosten was de full fiber optie lange tijd geen serieus alternatief, maar is het geleidelijk vanuit de backbone netwerken tot in bestaande access netwerken geopenetreerd.

Inmiddels worden, in aanvulling op het koper-fiber aansluitnetwerk (voormalige telefonienetwerk) en het coax-fiber netwerk (de Kabel) in Nederland ook green-field (volledig nieuw) full fiber aansluitnetwerken aangelegd. Partijen zoals Reggefiber (via een Joint Venture constructie verbonden met KPN), maar ook meer regionale initiatieven zoals OnsNet (OnsNet Nuenen, OnsNet Eindhoven, OnsBrabantNet) leggen hiervoor glasvezel tot in de meterkast in diverse gebieden in Nederland. Over deze netwerken bieden bestaande operators zoals KPN of Online (in voorbereiding), en relatief nieuwe operators zoals XMS of Solcon hun diensten aan.

In het eerste kwartaal van 2009 waren er in Nederland ongeveer 350.000 'homes passed'¹¹, een groei van 85% t.o.v. 2008. In 2011 wordt verwacht dat er zo'n 1,1 miljoen 'homes passed' wordt bereikt. (Bron: Stratix FttH Deployment overview 2009). Figuur 2-6 laat de groei van de FttH uitrol vanaf 2006 tot heden zien.

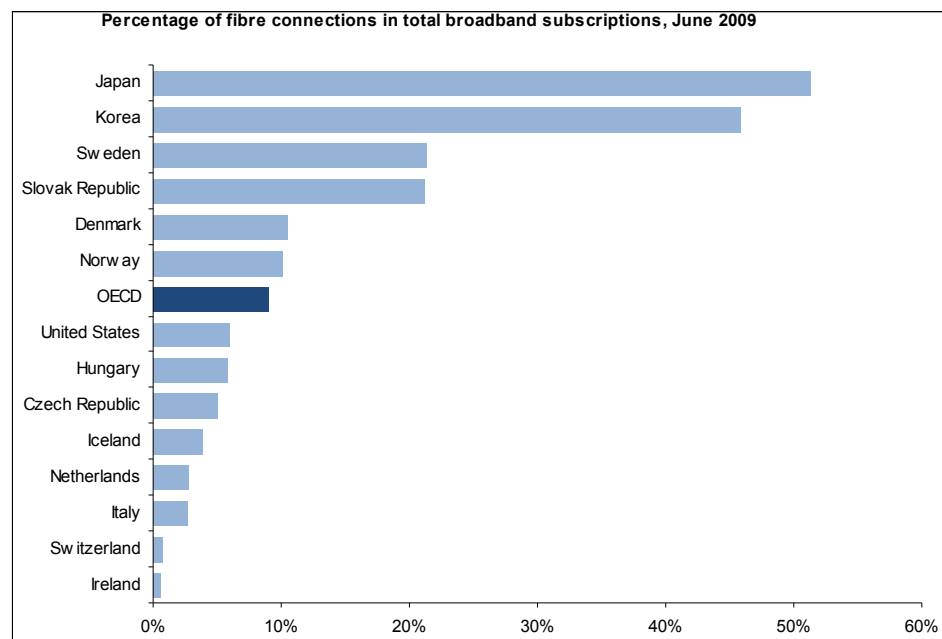
¹⁰ Diverse bronnen. Wetenswaardig artikel via http://canada.esat.kuleuven.be/docarch/onderwijs/vakken/H245/kursusnotas_aktueel/HFDST%201%20Histo-riek.pdf

¹¹ Zie paragraaf 2.1 voor toelichting begrippen 'homes passed', 'homes connected' en 'homes subscribed'.



Figuur 2-6: Ontwikkeling van FttH aanleg in Nederland tussen 2006 en 2009 (Bron: Stratix)

Ook KPN geeft dergelijke prognoses af. In 2012 prognosticeert KPN tussen de 1,1 en 1,3 miljoen homes passed gerealiseerd te zullen hebben (KPN, update on KPN's fiber roll-out, 15 december 2009).



Figuur 2-7: Nederland zit met 3% fiber penetratie nog onder het OECD gemiddelde Internationaal (OECD, june 2009):.

Het is zeer onwaarschijnlijk dat FttH voor 2020 een dekkingsgraad bereikt zal hebben die vergelijkbaar is met die van de full copper of hybride aansluitnetwerken van heden. In dunbevolkte gebieden is de businesscase voor FttH zeer lastig rond te krijgen, waardoor hier op deze termijn niet veel FttH aansluitingen te verwachten zijn. Daarnaast zijn er beperkingen in de jaarlijkse graafcapaciteit in Nederland.

Marktonderzoeksbureau Telecompaper schat in dat in 2020-2023 een penetratie van 70% tot 80% van de Nederlandse huishoudens zal zijn bereikt, in termen van homes passed (Telecompaper, Fiber-to-the-Home (FttH) in the Netherlands, mei 2008).

2.3.3.2 Concept

Het grootste pluspunt van optische communicatie zijn de zeer hoge bidirectionele capaciteitswaarden die kunnen worden bereikt in vergelijking tot koper en coax. In 2008 is een bitsnelheid van 111 Gbit/s gerealiseerd over een afstand van 1140 km, iets wat onmogelijk is over een koperen verbinding. Glas is ongevoelig voor interferentie door elektromagnetische velden, een eigenschap die steeds meer op de voorgrond komt vanwege de steeds verder toenemende “elektromagnetische druk”, o.a. door steeds intensiever gebruik van de ether. Glas heeft als nadeel dat het kwetsbaarder is en moeilijker is te monteren/herstellen. Glasvezel voor communicatiedoeleinden bestaat in twee versies, namelijk monomode (relatief goedkopere vezel maar duurdere apparatuur, zeer hoge capaciteit over lange afstanden) en multimode (relatief dure vezel maar goedkopere apparatuur en minder capaciteit, geschikt voor zeer korte afstanden). Voor de toepassing in toegangsnetwerken biedt monomode vezel met bijbehorende actieve apparatuur de beste propositie. De te behalen capaciteit is > 10 Gbit/s, volledig symmetrisch. Ook van belang te vermelden is de WDM¹² ontwikkeling die neerkomt op de overdracht van meerdere kleuren (golflengtes) op de vezel, waarbij iedere golflengte een breedbandig signaal kan voeren. WDM apparatuur is relatief hoog geprijsd en wordt vooral in core en metronetwerken gebruikt.

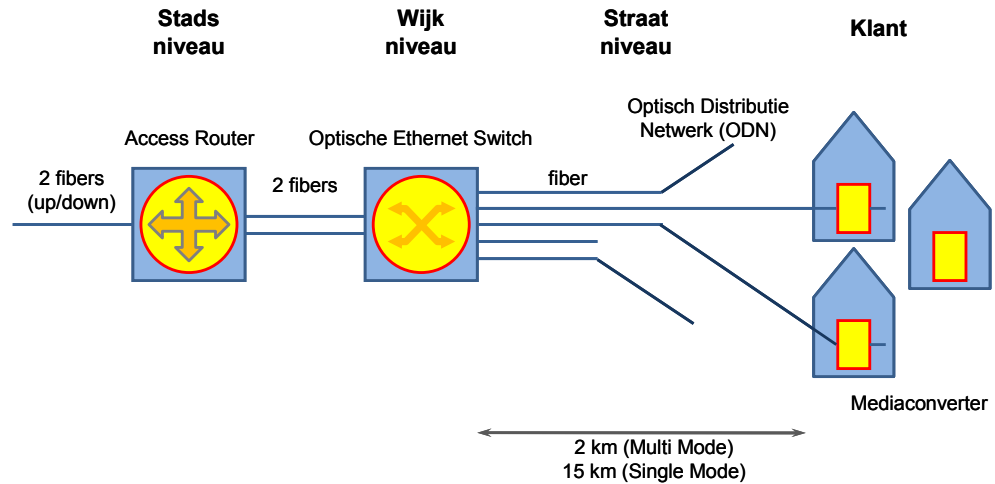
Voor FttH staan drie families van aansluitnetwerken bekend, te weten Home run (P2P topologie), actieve ster (P2P topologie) en passieve ster (PMP technologie). In het licht van de hoge kosten van de aanleg van glasvezel is bij glas de juiste topologiekeuze essentieel:

- In het geval van een Home run architectuur (1) worden direct vanuit een aansluitpunt met het backbone-netwerk individuele fibers tot aan een klantlocatie getrokken. Voordeel van deze aanpak is de extreme overdimensionering in capaciteit (ieder huis een eigen vezel). Een belangrijk nadeel zijn de aanlegkosten.
- Bij een passieve ster infrastructuur (3) is niet voor iedere klant een aparte vezel getrokken maar wordt de capaciteit van een vezel gedeeld door alle huishoudens binnen het segment waarop de vezel is aangesloten. Via passieve optische splitters wordt het signaal steeds verder opgedeeld. Een dergelijke oplossing biedt grote kostenvoordelen. Het concept van gedeeld gebruik kan een minpunt blijken bij toekomstige capaciteitsuitbreiding.

In Nederland is met name de actieve stertopologie (2) in zwang. Bij een actieve ster-infrastructuur 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.

¹² WDM: Wavelength Division Multiplex

Bij P2P-topologieën zoals actieve ster en Home Run wordt meestal gebruik gemaakt van Ethernet technologie, bij een PMP-topologie zien we typisch ‘Passive Optical Network (PON)’ technologie toegepast worden.



Figuur 2-2-8: Een actieve ster infrastructuur, in Nederland het meeste toegepast.

Het bestaan van verschillende FttH concepten kan aanleiding geven tot issues bij de onderlinge koppeling van netwerken die door verschillende partijen zijn aangelegd, op basis van eigen keuzes. Met name de koppeling van een PON met een P2P type infrastructuur is een probleem omdat deze op laag 2 onderling niet compatibel zijn. PON-netwerken worden gekenmerkt door een gebrekkige openheid. Een zinvolle eis aan nieuw aan te leggen netwerken is om op laag 2 een interface aan te bieden op basis van ethernet (courante standaard). In Nederland is PON echter niet courant, dus laag-2 compatibiliteit van fiber netwerken zou in Nederland geen issue hoeven zijn.

Als we kijken naar de passieve infrastructuur voor glasvezelnetwerken, dan zijn er twee hoofdsoorten te onderscheiden, die trouwens voor beide topologieën (P2P en PMP) kunnen worden gebruikt. Dat zijn de *direct buried cable* (leggen van kabels) en de *direct buried duct* (leggen van buizen). Bij de keuze tussen beide opties speelt mee wanneer welke kosten het meest economisch kunnen worden genomen en hoeveel flexibiliteit men nastreeft in het netwerkconcept. Er is in Nederland langzaam een verschuiving te zien. Waar er eerst sprake was van een hybride duct-cable oplossing met als feeder een duct en in de distributie cables, naar een oplossing die meer beheerst wordt door ducts.

Tenslotte de daadwerkelijke uitrol van de passieve infrastructuur. Uit onderzoek door TNO in 2005 is naar voren gekomen dat in de praktijk ‘slim graven’ en ‘slim meeleggen’ niet eenvoudig leiden tot de verwachte verlichting in de maatschappelijke kosten van de aanleg van glasvezel. Het is namelijk niet duidelijk wie de extra CAPEX kosten voor zijn rekening neemt (zie ook bijlage D).

2.3.3.3 Karakterisering

Functionele aspecten	Functionele kenmerken
<i>Capaciteit</i>	De capaciteit van glasvezelverbindingen in het aansluitnetwerk kan technisch tot zeer grote waarden oplopen. 100Mbit/s (Nederland) en 1Gbit/s (Zuid-Korea, Japan) wordt op dit moment geleverd. Topologie (PON vs. P2P) en de (kosten van) apparatuur zijn de belangrijkste beïnvloeders van de capaciteit. De fysieke eigenschappen van het medium (glas) spelen geen rol. De capaciteit kan volledig symmetrisch worden aangeboden.
<i>Topologie</i>	Zowel P2P als PMP zijn mogelijk, maar de in Nederland meest toegepaste topologie is P2P, vergelijkbaar met de topologie van het telefonienetwerk. Visie op topologie is essentieel bij de aanleg van FttH omdat door de hoge aanlegkosten aanpassingen niet eenvoudig zijn te realiseren.
<i>Bereik</i>	In 2020 zal voor ~70% van de Nederlandse huishoudens FttH beschikbaar zijn (homes passed). De uitrol zal zich concentreren op stedelijk gebied.
<i>Kwaliteit</i>	Uitgaande van ethernet als laag-2 protocol is sprake van QoS ondersteuning. Capaciteitsmanagement op een hoger aggregatieniveau wordt belangrijk aandachtspunt. Breedbandige symmetrische diensten kunnen volledig worden ondersteund.
<i>Openheid</i>	Een typisch breedbandinfrastructuur gebaseerd op glas biedt de technische mogelijkheden voor toegang op de relevante niveaus. PON-gebaseerde FttH concepten kennen echter beperkingen qua openheid op laag 2.
<i>Kosten</i>	Aanleg van FttH is in vergelijking tot de andere aansluitopties de meest kostbare, hetgeen vooral wordt veroorzaakt door de graafkosten en de aansluiting in de meterkast. Voor een FttH aansluiting kan men uitgaan van 1.125 – 1.425 euro initiële investering per klant. Door het grote aandeel arbeidskosten in dit bedrag is niet de verwachting dat in de toekomst deze kosten significant gaan dalen, ook al is er door de huidige economische crisis wellicht tijdelijk toegang tot goedkopere arbeidskrachten.
<i>Migratiepotentie</i>	Tijdens de opbouwperiode van FttH zijn er verschillende opties mogelijk voor een evolutionaire ontwikkeling, met beperkt hergebruik van bestaande infrastructuur. De vraag is echter of hier daadwerkelijk kostenvoordelen behaald worden, doordat de netwerktopologie dan minder efficiënt is. Wanneer FttH is aangelegd kan apparatuur met steeds hogere capaciteit worden geplaatst (100Mbits → 1Gbit/s → 10Gbit/s). Dit gaat relatief eenvoudig voor een P2P structuur, maar bij een PMP (PON) structuur wordt veel eerder een bovengrens bereikt

2.4 Draadloze aansluitnetwerken

Broadband Wireless Access (BWA) netwerken bieden de mogelijkheid van breedbandige draadloze toegang voor vaste, nomadische en mobiele gebruikers tot de vaste communicatie-infrastructuur.

In chronologisch opzicht kunnen draadloze aansluitnetwerken voor mobiele gebruikers worden opgedeeld in de volgende generaties:

- De tweede generatie (2G) mobiele aansluitnetwerken (GSM en de data extensies GPRS/EDGE) was nog voornamelijk gericht op spraakverkeer en bood lagere data snelheden per gebruiker (100 – 200 kbit/s). De verwachting is dat de 2G mobiele netwerken langzamerhand zullen worden afgebouwd en vervangen door 3G en 4G draadloze systemen.
- De derde generatie (3G) mobiele netwerken is geïntroduceerd aan het begin van het tweede millennium met UMTS en recentelijk geüpgraded met High-Speed Packet Acces (HSPA) functionaliteiten voor hoge data snelheden, theoretisch tot 14.4 Mbit/s in de downlink (DL) en 5.76 Mbit/s in de uplink (UL).¹³ Op dit moment overwegen verschillende operators om de HSPA-technologie te evolueren naar zogenoemd HSPA+ met theoretische data snelheden 50 Mbit/s in DL en 22 Mbit/s in UL. Werkelijke snelheden zijn afhankelijk van actueel verkeer, afstanden en omgevingsfactoren (zie ook de voernoot).
- Een reële optie voor veel operators zijn de mobiele draadloze systemen zoals LTE en WiMAX (IEEE 802.16e) die een tussenstap zijn tot de echte vierde generatie (4G) breedband draadloze systemen (zie onder). De piek data snelheden (idem theoretisch) in deze systemen zijn tot boven 100 Mbit/s in DL en rond 50 Mbit/s in UL. De mobiele WiMAX-systemen zijn nu beschikbaar op de markt. LTE is inmiddels gestandaardiseerd en in Zweden beperkt uitgerold, en wordt binnen enkele jaren in de Nederlandse markt geïntroduceerd.
- De vierde generatie (4G) mobiele systemen zoals LTE Advanced en IEEE 802.16m gaan meer capaciteit bieden maar hebben daar ook meer spectrum voor nodig. Bijvoorbeeld geldt voor LTE Advanced dat met verbeterde zend- en ontvangsttechnieken een spectrumbehoefte van 100 MHz aan de orde is om piek snelheden te bereiken tot 1 Gbit/s (bij lage mobiliteit). Deze systemen zijn nog in ontwikkeling.

We zien de laatste jaren in Nederland maar ook in tal van andere landen dat er een groeiende vraag is naar de combinatie van breedband en mobiliteit. Behalve mobiele spraakcommunicatie is de belangstelling voor breedbandige mobiele data- en multimediadiensten sterk groeiende. Dit leidt er enerzijds toe dat bestaande netwerken voor mobiele communicatie worden gemoderniseerd voor het aanbod van mobiel breedband diensten, maar ook dat mobiele netwerken in aanmerking komen voor nomadische breedbanddiensten. Een ander belangrijk aspect is de convergentie tussen draadloze systemen voor binnenshuis gebruik zoals WiFi en recentelijk femtocellen met mobiele breedband draadloze netwerken, de zogenaamde vast - mobiel convergentie. BWA-netwerken kunnen worden beschouwd als een paraplu netwerk boven de sterk locatiegebonden WiFi and femtocell netwerken (short range).

¹³ In praktijk is de data snelheid lager t.o.v. de theoretische waarden. Bijvoorbeeld metingen in maart/april 2009 van de drie grote operators in VS (Verizon, Sprint, en AT&T) laten zien dat de haalbare snelheid in DL ligt tussen 0.6 en 1.4 Mbit/s en de snelheid in UL tussen 0.28 en 0.7 Mbit/s. Dit overzicht is verkrijgbaar via de volgende link: <http://www.pcworld.com/zoom?id=167391&page=1&zoomIdx=1>



Figuur 2-9: BWA-systemen voorzien in breedband toegang voor vaste, nomadische en mobiele gebruikers

Dit hoofdstuk over draadloze aansluitnetwerken heeft een andere indeling dan de vorige hoofdstukken omdat we vooral die aspecten willen bespreken die rechtstreeks relatie hebben met de ontwikkeling van vaste netwerken. De rest van deze paragraaf bevat beknopte besprekingen van:

- draadloze systemen die alternatief kunnen zijn voor breedband toegang via ADSL en/of de Kabel in landelijke gebieden in Sectie 2.4.1;
- de vervanging van vaste breedband abonnement met draadloze breedband abonnement voor gebruikers in stedelijke gebieden in Sectie 2.4.2;
- de vast – mobiel convergentie in Sectie 2.4.3;
- de ontwikkeling van de vraag naar aansluitcapaciteit voor BWA-basisstations in sectie 2.4.4;
- Korte bespreking inzake spectrum beschikbaarheid (randvoorwaarde) in sectie 2.4.5.

2.4.1 **Breedband draadloze aansluitnetwerken als alternatief voor breedband toegang in landelijke gebieden**

Een belangrijke trend in de ontplooiing van BWA-netwerken is het bieden van een concurrerend alternatief aan bedrijven en huishoudens voor breedband toegang via ADSL en/of de Kabel, meestal voor landelijke gebieden.

In het algemeen kan in landelijk gebied de afstand vanuit het huishouden/gebouwen tot de telefooncentrale (of straatkast) redelijk groot zijn. Als gevolg daarvan zijn de haalbare datasnelheden via bijvoorbeeld de xDSL lijn aanzienlijk lager. Verder geldt dat de aanleg van koper/coax of glasvezel in buitengebieden kostbaar is. BWA (WLL in modern jasje) biedt voor deze typen gebieden een betere propositie. Met bijvoorbeeld LTE-technologie is het mogelijk om een capaciteit van enkele Mbit/s (up en downlink) te bereiken bij afstanden van enkele kilometers. Van belang is echter aan te geven dat de met BWA-haalbare snelheden altijd een orde lager zijn dan wat via vaste netwerken kan worden aangeboden (vuistregel: factor 10). Een dergelijke inzet van draadloze netwerken als alternatief voor vaste netwerken is in verschillende andere landen effectief vanwege de beperkte aanwezigheid van vaste netwerken (bijv. coax) en lange afstanden. Nederland heeft echter een redelijke unieke positie waarbij beide bestaande infrastructures een zeer hoge dekkingsgraad hebben.

2.4.2 **Breedband draadloze aansluitnetwerken als vervanging van vaste breedband abonnement**

Een andere noemenswaardige trend betreft gebruikers in stedelijke gebieden die geen zware breedband diensten afnemen (bijv. IPTV of hoge internetsnelheden) en voorkeur geven aan een mobiel abonnement(en) voor telefonie, internet¹⁴ en TV-content (via mobiele TV).

Voor digitale TV ontvangst is geen aansluiting op een vast netwerk vereist omdat men zich kan abonneren op DTV via de ether. Nomadische gebruikers kunnen profijt hebben op DTV receivers die als USB stick op de laptop kunnen worden aangesloten.

Het gaat hier om gebruikers die vaak 'on the move' zijn en/of kosten willen besparen door zich niet op vaste netwerkdiensten te abonneren, en bereid zijn concessies te doen aan de kwaliteit en capaciteit. Voor gebruikers die mobiliteit belangrijker achten dan hoge capaciteit of kwaliteit vormt BWA een goed alternatief.

2.4.3 **Vast – mobiel convergentie**

Tot op heden zijn nomadische/vaste gebruikers voor breedbandige connectiviteit aangewezen op zogenaamde WiFi hot spots. Een belangrijke recente ontwikkeling is de opkomst van femtocellen die een alternatief vormen voor de conventionele WiFi hot spots. In Europa hebben al marktintroducties van femtocellen plaats gevonden, bijvoorbeeld door Vodafone UK sinds juni 2009. De femtocellen komen vanuit de wereld van mobiele draadloze systemen. Het zijn zeer kleine basisstations die geïnstalleerd zijn in het huis, en gekoppeld zijn aan het netwerk van de mobiele operator via de vaste breedband verbinding naar het huishouden. Femtocellen maken dus geen deel uit van een mobiel netwerk maar van het in-huis netwerk dat via een residential gateway aan het vaste netwerk is gekoppeld.

Een mogelijke strategie van de mobiele operators is om het verkeer van locaties binnenshuis te 'offloaden' via WiFi of femtocell hotspot. Deze strategie is wenselijk omdat:

- het radio verkeer via het macrocellen is verminderd en bij wijze van spreken meer capaciteit wordt overgehouden voor gebruikers die niet met een hotspot verbonden zijn;
- het verkeer via het backhaul netwerk (het vaste netwerk die de basisstations verbindt met het core netwerk van de operator) kan worden ontlast;
- hogere data snelheden kunnen worden geboden aan de eindgebruiker in vergelijking met een verbinding met de macrocel buiten (geen grote afstanden, signaal penetratie verlies, etc).

Deze 'offload' strategie kan in een behoorlijk hoge eis resulteren aan de capaciteit van de vaste breedband verbinding naar het huishouden. Bijvoorbeeld, voor een WiFi hotspot of een LTE femtocell zijn data snelheden van tientallen Mbit/s haalbaar op de radioweg (door de korte afstanden en geringe aantal gebruikers die tegelijkertijd bediend worden). Deze datasnelheden moeten dan ondersteund worden door de vaste breedband verbinding.

2.4.4 **Aansluitnetwerk voor BWA-basisstations**

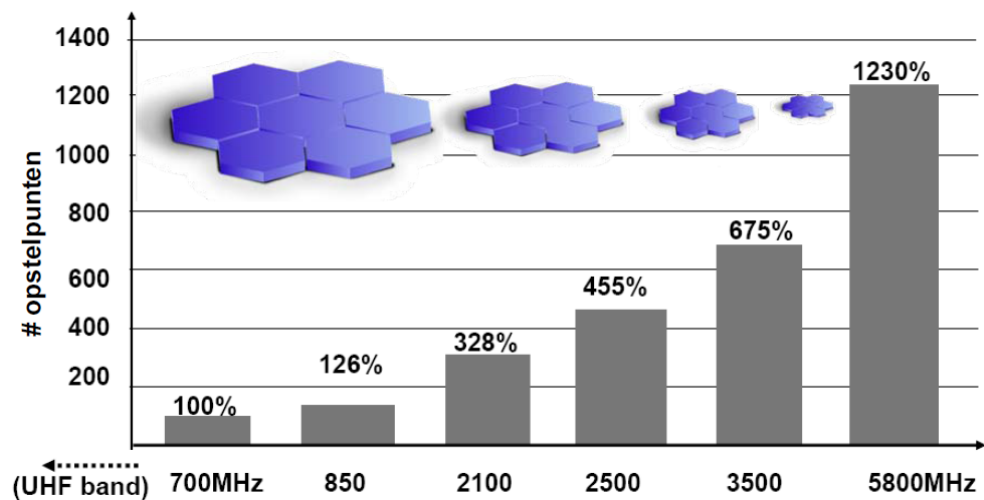
Een belangrijke ontwikkeling die in feite, vanuit het perspectief van vaste netwerken, ook aan de vraagzijde loopt, is de toenemende behoefte aan aansluitcapaciteit voor basisstations voor 3G/4G netwerken. We zien een duidelijke trend naar steeds kleiner

¹⁴ Hier wordt nog een cijfer voor opgenomen.

wordende cellen in mobiele netwerken om aan de lokale capaciteitsvraag te kunnen voldoen. Dit leidt tot een verdere toename van de dichtheid van basisstations die op het vaste netwerk moeten worden aangesloten. Vooral in stedelijke gebieden is deze ontwikkeling aan de orde, terwijl juist ook in die gebieden de verglazing van het vaste aansluitnet speelt. In de business case voor verglazing en de afweging van netwerktopologie dient men oog te hebben voor de ontwikkeling van deze vraag.

2.4.5 *Spectrumbeschikbaarheid*

Een cruciale factor om draadloze breedband diensten te bieden is de beschikbaarheid van voldoende spectrum. Daarnaast is ook van belang in welke frequentieband dit spectrum beschikbaar is, zeker wanneer dekking in grotere gebieden moet worden gerealiseerd. Hoe hoger de frequentie band hoe meer opstelpunten nodig zijn (zie onderstaande figuur).



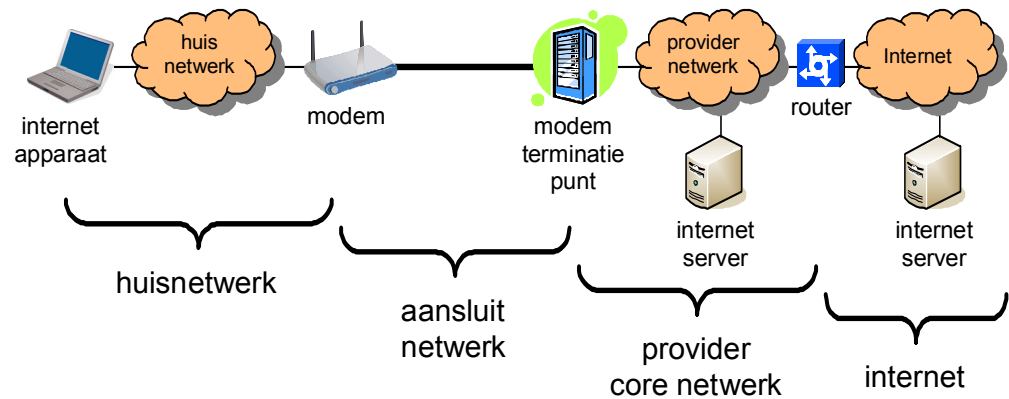
Figuur 2-10: Toename in aantal opstelpunten in een BWA-netwerk als functie van de frequentieband (bron: Ericsson)

Voor BWA-systemen is in het Nationale Frequentieplan ruimte gereserveerd in de 2,6 GHz band (sub-banden 2500 – 2565 MHz en 2620 – 2685 MHz) welke naar verwachting in het eerste kwartaal van 2010 zal worden uitgegeven. Een andere potentiële BWA-band is de 3.5 GHz band (tussen 3400 en 3600 MHz). Verder is een belangrijke ontwikkeling de Europese aanbeveling om het spectrum bestemd voor elektronische communicatiediensten in de banden vanaf 900 MHz t/m 2.1 GHz technologieneutraal te maken. Gezien het feit dat de 900 MHz en 1.8 GHz GSM frequentie licenties zullen aflopen in 2013 en de UMTS frequentie licenties in 2.1 GHz zullen aflopen in 2017, zullen deze banden opnieuw verdeeld worden en worden geëxploiteerd met de dan geldende state-of-the-art technologie (LTE en vergelijkbaar).

2.5 Factoren buiten het aansluitwerk met invloed op de breedband Internet performance

2.5.1 *Het aansluitnetwerk als onderdeel van de breedband Internet keten*

In de breedband internet keten voor consumenten speelt een aaneenschakeling van verschillende apparatuur en transportmedia een rol. Het aansluitnetwerk, waarvoor eerder in dit hoofdstuk een reeks technische mogelijkheden zijn besproken, is één van de schakels in deze keten.



Figuur 2-11. De aaneenschakeling van onderdelen in de breedband internet keten.

De keten bevat de volgende elementen, gelezen van links naar rechts in de figuur:

- Een huisnetwerk, bestaande uit een internetapparaat, een modem, en alle apparatuur en mogelijk kabels of draadloze verbindingen die hiertussen zitten;
- Een aansluitnetwerk, bestaande uit een modem aan de kant van de gebruiker en een modem terminatie punt aan de kant van de aanbieder van internettoegang, en een transportmedium hiertussen;
- Een provider core netwerk, mogelijk bestaande uit allerlei netwerkapparatuur (routers, switches) verbonden door een glasvezelnetwerk;
- Het publieke internet, bestaande uit een verzameling netwerken van allerlei verschillende partijen.

Als een consument vanaf een internet apparaat een internet dienst afneemt, zijn alle onderdelen uit de keten van invloed op de performance van de dienst. Hieronder worden deze vier delen verder besproken.

2.5.2 **Het huisnetwerk**

In het huisnetwerk kunnen vele factoren een rol spelen bij prestaties van internetdiensten.

Ten eerste kan het gebruikte transportmedium in het huisnetwerk veel uitmaken voor de prestaties over dit netwerk. Grofweg kunnen transportmedia gesplitst worden in gedeeld en ongedeeld.

- Gedeeld wil zoveel zeggen als: meerdere apparaten delen samen de bandbreedte op het netwerk. Als er maar één apparaat wordt gebruikt, kan dat de maximale prestaties bereiken van het gebruikte medium, als er meer apparaten tegelijkertijd gebruik maken van het netwerk, moeten ze de prestaties delen. De meest bekende variant van een gedeeld medium is WLAN (Wireless Local Area Network), bij het publiek vaak bekend als “draadloos internet”. Andere varianten van een gedeelde capaciteit zijn powerline communications, waarbij het elektriciteitsnetwerk binnen een huis gebruikt wordt voor data transport, en het gebruik van een hub in een bedraad ethernet netwerk.
- Ongedeeld wil zeggen dat ieder apparaat zijn eigen transportcapaciteit heeft in het netwerk. Met andere woorden, als twee apparaten data uitwisselen over het huisnetwerk, hebben eventuele andere apparaten op dit huisnetwerk daar geen hinder van. Het modem geldt hier ook als apparaat.

Een relevante ontwikkeling is het gebruik van andere apparaten dan PCs en laptops voor toegang tot internet diensten. Tegenwoordig zijn steeds meer mobiele telefoons en

andere draagbare apparaten zoals Personal Digital Assistants (PDAs) uitgerust met netwerk mogelijkheden en software om internetdiensten te benaderen. Deze apparaten kunnen thuis via het eigen draadloze netwerk worden gebruikt. Maar deze apparaten zijn ook vaak veel minder krachtig dan een PC en kunnen daardoor eerder een bottleneck zijn bij het internet gebruik.

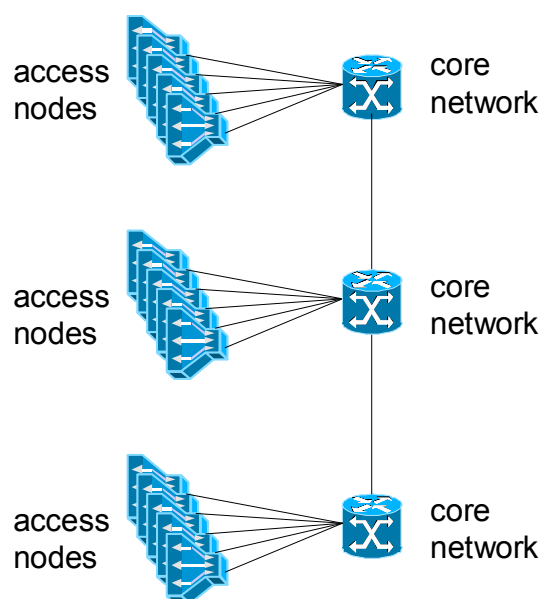
2.5.3 *Het aansluitnetwerk*

Het aansluitnetwerk is het deel van het netwerk dat een verbinding van een consument met het netwerk van een internet toegangsprovider realiseert. Eerder in dit hoofdstuk zijn hiervoor de relevante technieken besproken voor aansluitnetwerken gebaseerd op twisted-pair koper, coax, glas en radio. Elke techniek heeft zijn eigen voordelen en beperkingen, zowel qua capaciteit (meer of minder bandbreedte) als qua toepasbaarheid (bedraad of draadloos).

2.5.4 *Het provider core netwerk*

Aanbieders van internet toegangsdiensten zullen een verbinding moeten realiseren tussen het punt waarop een gebruiker op hun netwerk is aangesloten en het internet. Het geheel van apparatuur dat daarvoor wordt ingezet, noemen we hier het provider core netwerk. Omdat er van de access nodes (DSLAM voor DSL, CMTS voor HFC netwerken) er vaak veel zijn, is er meestal sprake van een aggregatie van verschillende access nodes naar het echte core netwerk.

Een internet aanbieder houdt meestal rekening met de hoeveelheid dataverkeer die consumenten daadwerkelijk genereren. Niet alle huishoudens zullen tegelijkertijd hun internet gebruiken, en de meeste huishoudens gebruiken op een willekeurig moment maar een bepaald deel van hun maximale capaciteit. Zowel in het aggregatienetwerk als in de verbinding tussen de internet aanbieder en het internet, hoeft dus minder capaciteit beschikbaar te zijn dan de optelsom van alle maximale snelheden van alle gebruikers. Een typische overboekingsfactor voor een consumenten internet toegangsdienst is bijvoorbeeld 1 op 20 of 1 op 25. Dit wil zoveel zeggen als: voor elke 20 of 25 Mbit/s capaciteit op toegangslijnen, is er 1 Mbit/s capaciteit beschikbaar voor toegang tot het internet.



Figuur 2-12. Een schematisch overzicht van een provider core netwerk.

Voor internet toegangsaanbieders is het zaak het verkeer in het eigen netwerk in de gaten te houden, om ervoor te zorgen dat hier geen bottlenecks ontstaan. Mocht blijken dat gebruikers gemiddeld een groter percentage van hun verbinding gaan gebruiken, of mocht blijken dat steeds meer gebruikers tegelijkertijd van hun verbinding gebruik maken, dan kan een internet aanbieder hierop anticiperen. Met trendanalyses kan de aanbieder dit doen, en in het core netwerk kan de aanbieder een overcapaciteit aanhouden om op mogelijke groei in te spelen. Indien de aanbieder dit deel van het netwerk goed dimensioneert, zal het niet snel een beperkende factor voor het internetgebruik zijn. De meeste aanbieders in Nederland zijn hier actief mee bezig.

Daarnaast ligt er nog een aantal aspecten bij de internet toegangsaanbieder, die van invloed zijn op de te behalen snelheden van internetdiensten:

- Veel toegangsaanbieders bieden zelf een aantal diensten aan. Diensten als e-mail, toegang tot nieuwsgroepen en hosting van webpagina's worden veelal door de toegangsaanbieder geboden. Hierbij bepaalt de toegangsaanbieder de snelheid van deze diensten. Deze is onder meer afhankelijk van de capaciteit in de aansluiting van deze diensten en de beschikbare servercapaciteit voor deze diensten.
- Daarnaast kan een internet toegangsaanbieder slimme technieken toepassen om andere internettoepassingen te versnellen. De bekendste hiervan is caching. Caching is een techniek waarbij een toegangsaanbieder een kopie maakt van bijvoorbeeld populaire webpagina's. Als gebruikers webpagina's opvragen die de aanbieder in de cache heeft staan, dan kunnen deze direct uit de cache aan de gebruiker worden geleverd. Dit ontlast de verbinding van de aanbieder met het internet, en kan extra snelheid in de levering van de dienst opleveren.
- Een bijzondere vorm van caching wordt geleverd door Content Delivery Networks (CDNs). CDNs cachen met slimme methodes veelgevraagd videomateriaal en andere grote bestanden op vele locaties in het wereldwijde internet. Juist videomateriaal vereist veel bandbreedte en caching daarvan kan veel voordeel opleveren.

Bottom-line hierbij is dat er geen feitelijke technische beperkingen zitten in het provider-netwerk. Extra capaciteit kan gerealiseerd worden met extra de plaatsing van extra apparatuur en de daarvoor noodzakelijke investeringen. Het is daarmee een economische overweging.

2.5.5 *Het internet*

“De internet core” is een verzameling IP transit verbindingen van verschillende aanbieders tussen de internet exchanges, zoals de Amsterdam Internet Exchange (AMS-IX) en de London Internet Exchange (LINX). Het internet als zodanig ligt buiten de invloedssfeer van een internet toegangsaanbieder. Als een internet dienst onvoldoende capaciteit in de servers of in de aansluiting naar het internet heeft, dan zal dit invloed hebben op de snelheid waarmee die dienst kan worden geleverd.

2.6 **Samenvatting**

Zie volgende pagina's.

Functionele aspecten	Karakterisering		
	DSL	HFC	Green field Fiber
<i>Capaciteit</i>	<p>Met de huidige ADSL2+ technologie en topologie kan theoretisch maximaal 24 Mbit/s¹⁵ (downloadsnelheid) worden gehaald (zie ook bijlage B) en met een upload snelheid van maximaal 1.3 Mbit/s is sprake van asymmetrische capaciteit. DSL-technologie kan qua capaciteit echter verder doorgroeien op basis van hybride glas-koper topologiën. Bij verglazing tot op straatkastniveau en gebruik van VDSL2-technologie voor het resterende kopersegment (tot 1km lengte) zijn voor de massa snelheden voor een 3GBB dienstenpakket haalbaar. Bij verdere verglazing tot nabij het huis (voorgevel, fietsenkelder, etc), gevolgd door 20-200m bestaand koper waarop VDSL2 wordt toegepast, worden snelheden voor een 4GBB diensten pakket haalbaar. In de toekomst zou technisch gesproken het gehele 4GBB bereik kunnen worden bestreken met een specifiek daartoe te ontwikkelen ‘ultieme’ DSL technologie op de laatste 20-200 meter koper. Dit laatste concept bevindt zich nog in een onderzoeksstadium en is mogelijk over 5 jaar commercieel beschikbaar.</p>	<p>De digitale capaciteit van de huidige kabelnetwerken kan evolutionair worden vergroot. Technisch is het met de DOCSIS-technologie mogelijk een digitale netwerkcapaciteit stapsgewijs te vergroten tot gemiddeld 48(D)/12(U) Mbit/s per klant bij 50% marktaandeel. Met bonding van 16 kanalen is een maximale klantbitsnelheid van 320(D)/100(U) Mbit/s. De migratiestappen kunnen bereikt worden zonder dat graafwerkzaamheden en investering in glas noodzakelijk zijn. Hiermee reiken de huidige moderne HFC-netwerken reeds tot in de 4GBB klasse. Essentieel hierbij is wel steeds meer kanalen in de coax hierbij voor internet ingezet dienen te worden. Dit gaat in eerste instantie ten kosten van analoge TV-kanalen. Op basis van een goed netwerk ontwerp, goed capaciteitsmanagement en inzet van goede technologie kan de kabelaanbieder waarborgen dat de gevraagde bitsnelheid ook wordt geleverd.</p> <p>Verdere capaciteitsvergroting vergt een ander netwerkconcept (Ethernet-to-the-Home) inclusief verglazing tot aan de eindversterker in de straatkast. Met die upgrade is een bitsnelheid van 1 Gbit/s per klant of meer leverbaar (4GBB).</p>	<p>De capaciteit van glasvezelverbindingen in het aansluitnetwerk kan technisch tot zeer grote waarden oplopen. 100Mbit/s (Nederland) en 1Gbit/s (Zuid-Korea, Japan) wordt op dit moment geleverd. Topologie (PON vs. P2P) en de (kosten van) apparatuur zijn de belangrijkste beïnvloeders van de capaciteit. De fysieke eigenschappen van het medium (glas) spelen geen rol. De capaciteit kan volledig symmetrisch worden aangeboden.</p>

¹⁵ Gemiddeld ca 12 Mbit/s over alle afstanden.

Functionele aspecten	Karakterisering (vervolg)		
	DSL	HFC	Green field Fiber
<i>Topologie</i>	<p>Een topologie waarbij tussen centrale en huisaansluiting geen actieve apparatuur wordt toegepast is voor 3GBB niet optimaal en voor 4GBB niet te handhaven. Hogere DSL snelheden vereisen kortere koperkabels. Dit resulteert dan in een hybride glas-koper topologie, waarbij met DSL over bestaand koper het laatste traject wordt overbrugd. Voor 3GBB dient met name verglaasd te worden tot op straatkast niveau (100-1000m koper) en voor 4GBB met name tot nabij het pand (20-200m koper). Als koperlijnen heel kort zijn kan 3GBB ook vanuit de centrale geleverd worden, maar dan wel alleen aan dichtbij gelegen panden (ca 1.000-1.500 meter).</p>	<p>Het HFC-netwerk kent schaalbare kabelsegmenten waarbinnen sprake is van capaciteitsdeling tussen abonnees binnen één segment. Het HFC-netwerk is daartoe reeds uitgerust met actieve apparatuur op wijkcentrumniveau. Op termijn kan een topologie-wijziging aan de orde zijn, waarbij op straatkast niveau netwerkapparatuur wordt geplaatst en iedere huisaansluiting vandaar uit een ongedeelde breedband verbinding krijgt over coax. De bandbreedte van de coax is dusdanig dat een “Ultimate-DSL”-scenario (met een glasvezel-infrastructuur tot heel dichtbij de huizen) voor de kabel niet noodzakelijk wordt geacht.</p>	<p>Zowel P2P als PMP zijn mogelijk, maar de in Nederland meest toegepaste topologie is P2P, vergelijkbaar met de topologie van het telefonienetwerk. Visie op topologie is essentieel bij de aanleg van FttH omdat door de hoge aanlegkosten aanpassingen niet eenvoudig zijn te realiseren.</p>
<i>Bereik</i>	<p>Met de huidige 2GBB technologie wordt een groot bereik gehaald (technische penetratiegrens nog niet bereikt). Handhaving van het huidige bereik bij toenemende datasnelheden vergt verdere verglazing en bijplaatsing actieve apparatuur “halverwege”. Bij DSL moet blijvend rekening worden gehouden met de variatie in daadwerkelijk realiseerbare aansluitcapaciteit (van adres tot adres).</p>	<p>Het bereik van HFC netwerken is in Nederland bijzonder groot (> 97% van de woningen hebben een aansluiting). Door de principiële opbouw van HFC-netwerken zal dat in de toekomst ook zo blijven. Bij HFC is evenals bij DSL sprake van een afhankelijkheid tussen bereik en capaciteit, maar die is van een andere orde. Om bij stijgende capaciteitsvraag het bereik op peil te houden, moet bundeling van frequentiekanalen plaatsvinden al dan niet in combinatie met het verkleinen van de omvang van een segment..</p>	<p>In 2020 zal voor ~70% van de Nederlandse huishoudens FttH beschikbaar zijn (homes passed). De uitrol zal zich concentreren op stedelijk gebied.</p>

Functionele aspecten	Karakterisering (vervolg)		
	DSL	HFC	Green field Fiber
<i>Kwaliteit</i>	Vanuit DSL-transmissieoptiek kan een continue bitsnelheid worden gegarandeerd. DSL-modems ondersteunen QoS, momenteel nog voornamelijk op basis van ATM (PVC's) en in de toekomst op basis van Ethernet. ADSL2+ biedt geen volledig symmetrische aansluiting. VDSL2 is ook niet zo gedimensioneerd.	Er is sprake van gegarandeerde kwaliteit voor lineaire tv, VoD en telefonie. Bij goed capaciteitsmanagement is ook de maximale klant bitsnelheid gegarandeerd voor Breedband Internet. EuroDOCSIS ondersteunt QoS. Reservering van VoD-capaciteit en maximale klant bitsnelheid tijdens piekuren is een zakelijke keuze van de aanbieder. Ondersteuning breedbandige symmetrische diensten is beperkt zolang bestaande scheiding in up- en downstream banden gehandhaafd blijft.	Uitgaande van ethernet als laag-2 protocol is sprake van QoS ondersteuning. Capaciteitsmanagement op een hoger aggregatieniveau wordt belangrijk aandachtspunt. Breedbandige symmetrische diensten kunnen volledig worden ondersteund.
<i>Openheid</i>	Het koperen aansluitnetwerk biedt nu en in de toekomst openheid aan DSL-operators op de passieve (koper) infrastructuur. Dit zal ook in de toekomst zo blijven.	In technisch opzicht kunnen HFC netwerken op verschillende niveaus worden opengesteld (tenminste op netwerk- en coax/glas niveau ¹⁶). Daadwerkelijke openstelling op coax/glas-niveau is in de praktijk mogelijk lastig.	Een typisch breedbandinfrastructuur gebaseerd op glas biedt de technische mogelijkheden voor toegang op de relevante niveaus. PON-gebaseerde FttH concepten kennen echter beperkingen qua openheid op laag 2.

¹⁶ Openstelling op transmissieniveau via CMTS is niet eerder onderzocht.

Functionele aspecten	Karakterisering (vervolg)		
	DSL	HFC	Green field Fiber
<i>Kosten</i>	<p>De CAPEX kosten voor het aanbod van breedband over VDSL2 vanuit de nummercentrale worden geschat op gemiddeld 125-175 Euro per aansluiting maar levert slechts een verhoging aan capaciteit voor een beperkt deel van de markt. VDSL2 vanuit de straatkast wordt geschat op gemiddeld ca.325-425 Euro per aansluiting. De kosten van de toekomstige aanleg van een hybride fiber-koper verbinding tot aan het pand (Ultimate DSL) zijn zeer variabel per aansluiting maar worden indicatief geschat op ca 160 Euro lager in kosten dan een volledige FttH oplossing, echter op basis van de aannahme dat voor deze nieuwe generatie modems een met ADSL2+/VDSL2 vergelijkbaar prijsniveau gaat gelden.</p>	<p>De evolutionaire vergroting van de netwerkcapaciteit vereist stapsgewijze incrementele investeringen van een, in vergelijking met een upgrade naar next generation HFC architectuur, beperkte omvang. Het migratiemoment is een bedrijfsstrategische keuze van de aanbieder. Een grove inschatting van de benodigde CAPEX per home activated bedraagt 75 tot 275 euro voor EuroDOCSIS 3.0, en tussen 375 en 625 euro voor HFC Next Generation, , beiden met een marge naar boven vanwege onzekerheid.</p>	<p>Aanleg van FttH is in vergelijking tot de andere aansluitopties de meest kostbare, hetgeen vooral wordt veroorzaakt door de graafkosten en de aansluiting in de meterkast. Voor een FttH aansluiting kan men uitgaan van 1.125 – 1.425 euro initiële investering per klant. Door het grote aandeel arbeidskosten in dit bedrag is niet de verwachting dat in de toekomst deze kosten significant gaan dalen, ook al is er door de huidige economische crisis wellicht tijdelijk toegang tot goedkopere arbeidskrachten.</p>

Functionele aspecten	Karakterisering (vervolg)		
	DSL	HFC	Green field Fiber
<i>Migratiepotentie</i>	<p>De migratie van breedband op basis van DSL gaat hand in hand met verglazingstappen richting de eindgebruiker. Via een dergelijk migratietraject kan de capaciteit over koper in technische zin voorlopig meegroeien met een toenemende vraag. De benodigde investeringen in de huidige kabelverdeelkasten (bijplaatsing van actieve apparatuur “halverwege”) is een majeure netwerkmigratiestap. DSL migreert via VDSL2+ langzaam naar een hybride FttH concept, waarbij het transport over de laatste 20-200m koper via Ultimate-DSL” een mogelijke eindstap is voor DSL-technologie. Deze technologie bevindt zich nu nog in een R&D stadium.</p>	<p>De migratiepotentie van HFC netwerken is bijzonder groot. De migratiestrategie van aanbieders wordt slechts in beperkte mate bepaald door de beschikbaarheid van technologie, maar juist wel van marktomstandigheden en van kosten/baten afwegingen voor individuele migratiestappen. Operators zullen de capaciteitsexpansie in eerste instantie op transmissieniveau zoeken in betere benutting van het kabelspectrum binnen de huidige specificaties van het HFC netwerk. In tweede instantie zal men geleidelijk investeren in transmissie- en netwerkapparatuur in de zin van upgrading (hogere snelheden) en eventueel bijplaatsing van apparatuur in de wijkcentra. In derde en laatste instantie zal men kiezen voor duurdere maatregelen die ingrijpen in de netwerkachitectuur dan wel consequenties hebben op diverse plaatsen in de totale infrastructuur (tot bij de abonnee). Dit is een evolutionair traject met tal van mogelijke technische maatregelen die tot de beschikking staan van de operator en die op basis van steeds terugkerende business case analyses zullen worden overwogen. Er is derhalve niet één migratietraject te schetsen. Op een zeker moment kan het lonen om de stap te maken naar een vernieuwd HFC netwerkconcept, waarbij verglazing tot aan de bestaande straatkasten aan de orde is en plaatsing van Gbit Ethernet switches in de straatkasten. Met die migratiestap levert HFC aansluitcapaciteit op 4GBB niveau.</p>	<p>Tijdens de opbouwperiode van FttH zijn er verschillende opties mogelijk voor een evolutionaire ontwikkeling, met beperkt hergebruik van bestaande infrastructuur. De vraag is echter of hier daadwerkelijk kostenvoordelen behaald worden, doordat de netwerktopologie dan minder efficiënt is. Wanneer FttH is aangelegd kan apparatuur met steeds hogere capaciteit worden geplaatst (100Mbit/s→ 1Gbit/s→10Gbit/s) of kan een netwerk eventueel van een PON structuur naar P2P groeien</p>

In aanvulling op de voorgaande tabel nemen we in deze samenvatting de volgende hoofdpunten op:

- Voor komende generaties Broadband Wireless Access netwerken wordt een sterke capaciteitsgroei voorzien. BWA-netwerken zijn in Nederland echter geen reëel alternatief voor vaste netwerken (ook niet in rurale gebieden) en bieden vooral toegevoegde waarde aan nomadische en mobiele gebruikers;
- BWA-netwerken leiden wel tot extra vraag naar vaste aansluitcapaciteit, namelijk door de populariteit van draadloze huisnetwerken inclusief femtocells, en door de voorziene groei in basisstations die op het vaste netwerk moeten worden aangesloten;
- Het aansluitnetwerk is slechts één schakel in de keten van apparatuur en transportmedia voor breedband internet diensten tussen providers en gebruikers en gebruikers onderling. In een aantal andere schakels kunnen capaciteits- of QoS issues optreden die consequenties hebben voor de (ervaren) end-to-end kwaliteit. Internet(-toegangs)aanbieders hebben in ieder geval een belangrijke invloed op de prestaties en hebben tevens mogelijkheden en tools om capaciteitsmanagement adequaat uit te voeren om de prestaties te optimaliseren.

3 Vraag naar breedband

3.1 Inleiding

Het gebruik van het internet is in 10 jaar tijd explosief gegroeid en heeft in de afgelopen jaren grote impact gehad op onze economie en samenleving. Dit hoofdstuk kijkt niet alleen naar de ontwikkeling van de vraag naar breedband in het verleden, maar kijkt juist ook vooruit. We beginnen door in te zoomen op de adoptie van verschillende soorten diensten. Het betreft ontwikkelingen in gebruik van achtereenvolgens:

- Vast breedbandinternet;
- Mobiel en draadloos breedband;
- Nieuwe digitale televisiediensten;
- Transsectorale breedbandtoepassingen (e-health, e-learning, e-government, e-business en smart living)

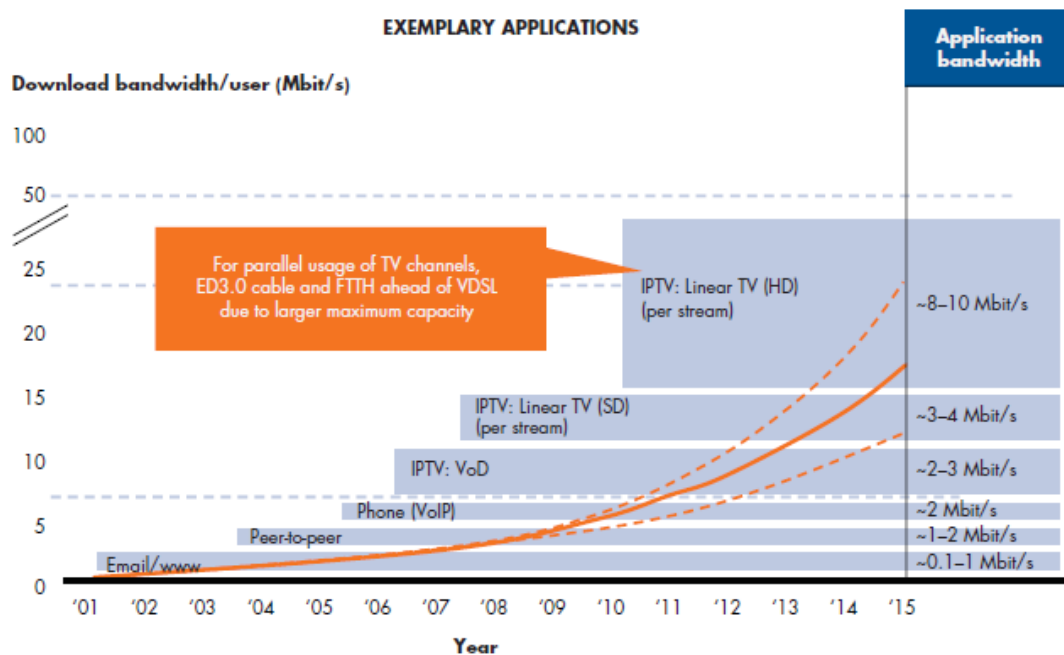
Vervolgens maken we een analyse van de ontwikkeling van bandbreedte op een meer geaggregeerd niveau. Feitelijk schetsen we op basis van beschikbare gegevens over dataverkeer de groei in de benodigde bandbreedte in de afgelopen jaren, evenals de verwachte groei voor de komende jaren. Daarbij komen vragen aan de orde als: hoeveel bytes ‘verbruikt’ een typisch huishouden en hoe ontwikkelt zich dit in de toekomst; en met welke snelheid (bit/s) wil een gemiddeld huishouden data en diensten binnenhalen? Hierbij gaat het nadrukkelijk om alle voor de gebruiker beschikbare toegangsnetwerken, de last-mile, en niet om de kern van het netwerk. Het hoofdstuk sluiten we af met de belangrijkste conclusies.

3.2 Adoptie van breedband en breedbanddiensten

Deze paragraaf beschrijft de adoptie van breedband en breedbanddiensten in Nederland. Ten eerste bespreken we welke diensten/toepassingen momenteel courant zijn en hoe dit zich in de toekomst mogelijk gaat ontwikkelen. Daarna komt aan de orde welke implicaties het huidige (en toekomstige) dienstengebruik heeft (en zal hebben) voor het bandbreedteverbruik in Nederland.

3.2.1 Relevante breedbanddiensten

Over de laatste jaren is het gebruik van breedbanddiensten langs verschillende lijnen toegenomen en dat zal in de toekomst niet anders zijn. Er komen steeds meer diensten beschikbaar én de adoptie van die verschillende diensten neemt toe. Maar minstens zo belangrijk voor het bandbreedteverbruik is het feit dat diensten steeds breedbandiger worden. Dat is met name het gevolg van de integratie van videobeelden.



Figuur 3-1. Breedbandgebruik; bron: Bain & Company, oktober 2009.

Figuur 3-1 maakt deze verschillende groeilijnen inzichtelijk. Over de tijd zijn meer en meer breedbanddiensten geïntroduceerd (meer grijze blokken). De diensten worden steeds breedbandiger (hoogte grijze blokken neemt toe), met name als gevolg van video. Niet weergegeven is de toenemende adoptie van de diverse diensten (adoptiecurve per grijs blok).¹⁷ Al deze groeilijnen zijn van invloed op het bandbreedte gebruik per gebruiker: de oranje lijn.

Deze paragraaf gaat in op de laatste groeilijn: (de ontwikkeling van) de adoptie van een breedbanddiensten. In de hoofdtekst wordt een aantal diensten aangestipt. De focus ligt daarbij op breedbandige diensten, in veel gevallen dus diensten waarbij video een rol speelt. Deze en andere diensten worden in de bijlagen in meer detail behandeld.¹⁸ In bijlage E t/m H komen achtereenvolgens aan de orde:

1. Vaste breedbanddiensten, uitgesplitst naar informatie-, communicatie-, entertainment- en transactietoepassingen;
2. Mobiele breedbanddiensten;
3. Televisiediensten;
4. Transsectorale diensten, met aandacht voor e-health, e-learning, e-government, e-business en smart-living.

Deze indeling staat ook in de huidige paragraaf centraal.

Vaste breedbanddiensten

Meest interessante ontwikkeling op het gebied van vaste breedbanddiensten is de toename van de adoptie van video(-gerelateerde) diensten. Deze ontwikkeling vinden we terug over de volle breedte van het vaste dienstenaanbod:

¹⁷ E-mail kent bijvoorbeeld een adoptie van 85%, terwijl maar 10% van de Nederlanders aan P2P-filesharing doet.

¹⁸ In de bijlage zijn ook de bronverwijzingen te vinden.

- Steeds meer mensen gebruiken internet voor toegang tot nieuws en nieuwsachtergronden en inmiddels kijkt (of luistert of leest) 60% van de Nederlanders nieuws via internet.
- Communicatie via videoconferencing is in het verleden dominanter geworden (tussen 2005 en 2007 verviervoudigde de adoptie: van 5 tot 20 procent) en die toename zal in de toekomst doorzetten: tussen nu en 2012 zal de markt naar verwachting in omvang verdubbelen.
- Naar verwachting is 1 op de 2 Nederlanders in 2013 actief op een website voor social networking. Het gebruik van social networking websites is *an sich* niet zo data-intensief maar dergelijke websites worden in toenemende mate gebruikt voor het delen van muziek- en videocontent en genereren dus veel verkeer bij bijvoorbeeld Youtube.
- De adoptie van P2P-filesharing (met name gebruikt voor de uitwisseling van video en audio) mag dan laag zijn (ongeveer 10%), volgens sommige onderzoeken is P2P verantwoordelijk voor 50% van het totale internetverkeer.
- P2P levert de laatste tijd echter in t.o.v. regulier webverkeer. Dat is het gevolg van enerzijds een sterke groei van bestand uitwisselingsdiensten als RapidShare (opnieuw voornamelijk voor de uitwisseling van video en audio) en anderzijds een sterke toename van vooral streaming video (tussen 2007 en 2009 steeg het aantal streams dat online wordt bekeken via uitzendinggemist.nl van 107 miljoen tot 130 miljoen).
- Tussen 2006 en 2008 verviervoudigde¹⁹ het aantal mensen dat online gekochte films (en muziek) ook online laat bezorgen. De transactie zelf is niet data-intensief maar een online bezorgde HD-film veroorzaakt als snel enkele GB's aan data.

Mobiele breedbanddiensten

Het aantal mobiele internetters groeit van 5 à 6 miljoen nu, tot 9 miljoen in 2012. Het aantal regelmatige gebruikers (minimaal 1 keer per dag) ligt daar ver onder: momenteel ongeveer 15 procent van het totaal. Amerikaanse cijfers laten zien dat circa drie procent van de mobiele internetabonnees 40 procent van de totale netwerkcapaciteit gebruikt, met name door downloaden en streamen van video en muziek via de iPhone.

Televisiediensten

Televisiediensten zijn deels eerder al aan bod gekomen. Op het vaste internet zien we een sterke stijging van het aantal videostreams. Een deel daarvan wordt gestart via sites als uitzendinggemist.nl, in feite een vorm van uitgesteld TV kijken. Daarnaast zien we dat tussen nu en 2013:

- het aantal IPTV-aansluitingen zal verdubbelen tot 600.000;
- het aantal HD-enabled IPTV-abonnees zal verachtvoudigen, van 25.000 tot 200.000;
- het aantal huishoudens met toegang tot VoD zal verdubbelen: van 3,5 miljoen tot 7 miljoen, een penetratie van bijna 100 procent.

Transsectorale diensten

Ook voor wat betreft transsectorale diensten valt de toenemende integratie van video op:

- Bij verschillende thuiszorgorganisaties is inmiddels videocommunicatie mogelijk tussen cliënten en o.m. familie. Ook zijn er speciale 'zorg op afstand-arrangementen' ontwikkeld voor specifieke groepen, zoals cliënten met diabetes, COPD of hartfalen. De groei van zorg op afstand in de komende jaren

¹⁹ Van 7,5 tot 30 procent. Daarna neemt het aantal merkwaardig genoeg sterk af.

tot aan 2015 en 2020, zal naar verwachting en gezien de urgentie van de problematiek in de sector sterk kunnen toenemen.

- In het onderwijs zien we een graduele groei van het gebruik van ICT-toepassingen. Vooralsnog is het live volgen van online cursussen of colleges nog beperkt maar wordt internet wel gebruikt voor het terugkijken van conferenties of lezingen op een later tijdstip. HD-videoconfering bevindt zich nu nog in een beginfase van marktontwikkeling en wordt enkel gebruikt door gespecialiseerde instellingen.
- De grotere gemeenten in Nederland doen vrijwel allemaal aan of audio- of audiovisuele verslaglegging van vergaderingen. De verhouding audio – audiovisueel is nu ongeveer 50-50.
- In het e-business domein zien we een toenemend gebruik van multimedia toepassingen voor marketing en verkoop, zoals videoanimaties van vastgoedobjecten. Daarnaast valt de toename in het aantal online diensten, zoals backup online en met als meest vergaande vorm ‘cloud computing’ op.
- Interessant is tevens de opkomst van Smart Metering: elektriciteit- of gasmeters die uitwisseling van informatie over het energieverbruik per huishouden mogelijk maken. Dergelijke informatie kan gebruikt worden om energievraag en -aanbod beter op elkaar af te stemmen. In Nederland is vooralsnog alleen sprake van enkele proefprojecten maar het draagvlak onder energiebedrijven en het aanbod van diverse automatiseerders neemt toe. In Zweden en Italië worden de meters op termijn zelfs verplicht gesteld. Voor het communiceren over energievraag en -aanbod, en eventueel ‘real-time’ monitoren van het energiegebruik per huishoudens, is data-uitwisseling nodig. Die uitwisseling is relatief smalbandig maar grootschalige toepassing en gelijktijdig gebruik kunnen desalniettemin gevolgen hebben voor de vraag naar bandbreedte.

3.3 Huidig en toekomstig bandbreedtegebruik

In deze paragraaf ligt de focus op bandbreedte en de bits en bytes. We beginnen met een analyse van de bandbreedte die huishoudens op dit moment verbruiken. Daarna geven we een inschatting van de wijze waarop zich dit in de toekomst zou kunnen ontwikkelen. We sluiten uiteraard af door deze data te combineren en een beeld te geven van de eisen aan de aansluitingen in 2015 en 2020.

Voordat we ons op de inhoud richten is het goed om een goede afbakening te geven van het concept bandbreedte. We richten ons in dit kader op bandbreedte die via een internetaansluiting aan een huishouden wordt aangeboden. Denk hierbij aan internet via de kabel, DSL of glasvezelinternet. Diensten die via dezelfde media worden aangeboden maar niet via internet sluiten we uit van deze discussie over bandbreedte. Voorbeelden van dergelijke diensten zijn televisiekanalen (via de coaxkabel of glasvezelkabel) of telefonie (via de twisted pair van de telefonieaansluiting).

3.3.1 *Het huidige bandbreedteverbruik*

Het meten van up- en downloadsnelheden is complex. De schattingen van de gemiddelde downloadsnelheid lopen dan ook flink uiteen. Dit komt door een aantal redenen.

- Ten eerste kan (de locatie van) het bestand dat gedownload wordt van invloed zijn op de snelheid.
- Ten tweede is het niet altijd duidelijk waarover er een gemiddelde wordt genomen: Het aantal downloads of het aantal aansluitingen.

- Ten derde is de downloadsnelheid van een verbinding niet noodzakelijk constant over de tijd. Sommige lijnen kennen op drukke momenten lagere snelheden.
- Ten vierde kunnen eigenschappen van het ontvangende systeem, zoals een firewall of een wireless verbinding, een meting beïnvloeden.

Ondanks bovenstaande complexiteiten is het toch mogelijk om een schatting te maken van de gemiddelde down- en uploadsnelheid van een Nederlands huishouden. Hiervoor hanteren we een aantal bronnen. De cijfers hieruit lopen echter wel flink uiteen.

Tabel 1. Verschillende metingen en schattingen van de gemiddelde downloadsnelheid in Nederland

Gemiddelde downloadsnelheid	Bron
5,4 Mbit/s	Akamai (2009)
6,9 Mbit/s	Analyse Dialogic, op basis van data van Speedtest.nl (2010)
9 Mbit/s	Interviews
10 Mbit/s	Interviews
11,0 Mbit/s	Speedmatters (2009)
12,2 Mbit/s	Ipingtest.nl (2010)
13,8 Mbit/s	Speedtest.net (2010)

Voor gemiddelde uploadsnelheid van een Nederlands huishouden geldt een soortgelijk verhaal. Hiervoor is echter minder data beschikbaar, zoals blijkt uit de onderstaande tabel.

Tabel 2. Verschillende metingen en schattingen van de gemiddelde uploadsnelheid in Nederland

Gemiddelde uploadsnelheid	Bron
1,0 Mbit/s	Analyse Dialogic, op basis van data van Speedtest.nl (2010)
2 Mbit/s	Actuele marktgegevens
3,4 Mbit/s	Speedtest.net (2010)

3.3.2 De groei van bandbreedteverbruik

Exponentiële groei van internetverkeer

Er zijn legio bronnen die bijna net zo veel indicatoren gebruiken om de historische en toekomstige groei van het internet te duiden. Een overeenkomst tussen de bronnen is echter dat ze een exponentiële groei laten zien als het gaat om datastromen. Er lijkt dus overeenstemming te zijn over de wijze waarop het internet groeit. Echter, geen enkele bron kan exact aangeven hoeveel bit en bit/s een Nederlands huishouden ‘verbruikt’ en zal verbruiken. Er worden allerlei indirecte indicatoren gebruikt om dit te benaderen. De onderstaande tabel toont een aantal bronnen en de mate waarin zij denken (dachten) dat het internetverkeer in 2009 groeit (zou groeien). Sommige bronnen maakten in 2008 een voorspelling voor 2009 op basis van historische gegevens, andere bronnen zijn daadwerkelijk metingen aan het netwerk. Echter alle bronnen tonen een exponentiële groei van het verkeer.

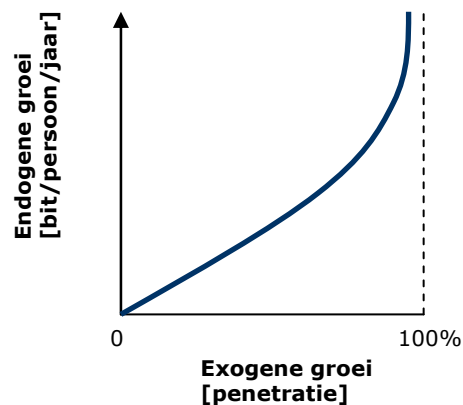
Indicator	Annual growth	period	source
Internetdata in Western Europe	33%	2009-2013	CISCO (2009)
Consumer video on demand in Western Europe	43%	2009-2013	CISCO (2009)
Business IP WAN and business Internet in Western Europe	30%	2009-2013	CISCO (2009)
Mobile data in Western Europe	150%	2009-2013	CISCO (2009)
Internet traffic growth rates (both US & World)	50%	2010	Odlyzko (2009)
US-IP traffic	54%	2010-2015	Swanson & Gilder (2008)
Average traffic volumes on international links in Western Europe	56%	2009	Telegeography (2009)
Typical high end user connection: Nielsen's Law	50%	n/a	Wikipedia (2009)
Digital information created, captured and replicated worldwide	58%	2009	IDC (2008)
Volume downloaded by Japanese subscribers (bps)	24%	2005-2008	MIC ²⁰ (2009)
Volume uploaded by Japanese subscribers (bps)	19%	2005-2008	MIC (2009)
Estimated average download traffic per Japanese subscriber (bps)	11%	2005-2008	MIC (2009)
Estimated average upload traffic per Japanese subscriber (bps)	16%	2005-2008	MIC (2009)
Measured and predicted traffic rate on AMS-IX	81%	2005-2008	Steenman (2009)

Figuur 3-2. Verschillende inzichten van de jaarlijkse groei van het internetverkeer

Een schatting van de toekomstige groei in internetverkeer

De bovenstaande cijfers tonen allen een exponentiële groei, maar ze lopen tevens sterk uiteen. Een belangrijke factor die deze spreiding kan verklaren is het verschil tussen endogene en exogene groei. Endogene groei ontstaat als individuen meer gebruik gaan maken van internet. Omdat een typische gebruiker nu bijvoorbeeld veel meer gebruik maakt van videodiensten (zoals Youtube) dan enkele jaren geleden is de hoeveelheid verkeer in Nederland flink toegenomen. Exogene groei in de hoeveelheid bandbreedte die wordt veroorzaakt doordat steeds meer individuen het internet gaan gebruiken. Ook dit heeft de afgelopen jaren in Nederland voor een flinke groei in het verkeer gezorgd. Endogene en exogene groei verschillen op een cruciaal punt. Exogene groei is per definitie eindig, niet meer dan 100% van de bevolking kan gebruik maken van internet. Endogene groei daarentegen is in principe oneindig. Vroeger waren foto's over internet bijzonder, nu zijn on demand videoclips van redelijke kwaliteit normaal. In de toekomst is het waarschijnlijk normaal om mobiel real time ultra high definition videostreams te bekijken. Het onderstaande figuur illustreert dit proces.

²⁰ Deze data uit Japan wijkt duidelijk af van andere datapunten. Dit komt niet door de meetmethode; MIC heeft ongetwijfeld goede metingen bij gebruikers uitgevoerd. Wij vermoeden echter dat het komt doordat deze gebruikers van glasvezel in Japan in absolute zin grootverbruikers zijn van bandbreedte. Hun gebruik is de afgelopen jaren waarschijnlijk veel sneller gegroeid dan het gebruik van andere gebruikers. Daarom zullen zij op dit moment relatief weinig applicaties vinden die volledig gebruik kunnen maken van de bandbreedte die zij tot beschikking hebben.



Figuur 3-3. Endogene en exogene groei

Als er sprake is van zowel exogene als endogene groei, dan zijn er extreme groeicijfers in het verkeer waar te nemen. Dit zien we momenteel bijvoorbeeld in Zuid-Oost Azië, het Midden-Oosten en Oost-Europa (Telegeography, 2009). Hier groeit het verkeer met respectievelijk 116%, 112% en 108% (ibid.). Dit soort groei kenden we in het verleden ook in Nederland, maar hier is de markt inmiddels redelijk verzadigd (later in het rapport wordt hier in meer detail op ingegaan) en is exogene groei nauwelijks meer mogelijk. De toekomstige groei zal dus vrijwel volledig endogeen zijn.²¹

Verschillende bronnen maken een concrete schatting van de groei van het internet in de toekomst. Hierbij is echter zelden Nederland het uitgangspunt. We hanteren daarom bronnen die het verkeer schatten op basis van West-Europa, USA of de hele wereld. In de eerste twee gevallen is – gezien de vergelijkbaarheid aangaande exogene groei – een vergelijking goed mogelijk. In het geval van mondiale cijfers is meer voorzichtigheid geboden. Hieronder bespreken we de belangrijkste bronnen.

- Het Minnesota Internet Traffic Studies (MINTS) houdt de groei van het internet structureel bij. (zie www.dtc.umn.edu/mints/) Zij maakt hierbij gebruik van gegevens die internet exchanges publiek maken. Het instituut schat dat het totale internetverkeer zowel in de VS als wereldwijd met circa 40 tot 50% per jaar zal groeien. Bovendien geeft zij aan dat deze exponentiële groei de komende jaren zal afvlakken.
- Cisco is een van grootste producenten van netwerkapparatuur ter wereld. Omdat zij eenvoudig aan gegevens kunnen komen – veel verkeer gaat immers via hun systemen – en omdat zij afhankelijk zijn van de verkoop van netwerkapparatuur meten zij het verkeer nauwkeurig. Op basis van deze gegevens probeert men een indicatie te geven van de groei van het internetverkeer. Voor West-Europa denken zij dat het vaste internetverkeer tussen 2009 en 2013 met circa 30% per jaar zal groeien. De groei wordt echter wel elk jaar iets minder. De groei van consumenten video-on demand verkeer zal 40%-50% bedragen volgens hun cijfers.
- Bret Swanson en George Gilder probeerden in 2008 het internetverkeer in de Verenigde Staten te schatten in het rapport *Estimating the Exaflood*. Ook zij erkennen dat het internetverkeer exponentieel toeneemt. Ook zien zij dat de groeivoet afneemt, van 70% in het begin van deze eeuw, tot circa 50% op dit moment.

²¹ Het gaat hier over vast internet. Bij mobiel internet liggen de zaken anders omdat hier momenteel pas eenderde van de Nederlanders gebruik van maakt.

- In het telecommunicatiedomein is er een equivalent van de bekende Moore's law²²: Nielsen Law. Nielsen geeft op basis van historische data aan dat de bandbreedte van een snelle internetverbinding voor consumenten met 50% per jaar groeit.
- De AMS-IX is de locatie waar verschillende autonome systemen onderling verkeer uitwisselen. Om ervoor te zorgen dat zij goed is uitgerust voor de toekomst, maakt ook zij voorspellingen voor de toekomst. Zij schat –wederom op basis van historische gegevens die zij zelf verzameld heeft- dat het verkeer in 2009, 2010 en 2011 met circa 80% zal groeien. Bovendien komt ook uit haar data naar voren dat de groeivoet afneemt.

Op basis van de bovenstaande gegevens schatten wij dat de vraag naar bandbreedte tussen nu en 2020 op vaste aansluitingen in Nederland zal groeien met circa 30% tot 40% per jaar. Wij maken dus een neerwaartse correctie ten opzichte van de meeste bovenstaande indicatoren, om een aantal redenen. Ten eerste zal er in Nederland nauwelijks exogene groei zijn. De groei zal bijna volledig moeten komen uit 'Nederlanders die meer gaan internetten' en niet uit 'meer Nederlanders die gaan internetten'. Ten tweede gaat veel van de bovenstaande data over internetverkeer in het algemeen en niet over internet verkeer via vaste verbindingen. Omdat mobiel internet een sterke groei gaat vertonen, moet er een neerwaartse correctie op de cijfers worden uitgevoerd als we alleen spreken over vast internetverkeer. Merk overigens op dat deze groeivoet bijna gelijk is aan de groeivoet van Moore's Law, welke circa 41% is.²³

Kwalitatieve aspecten van de groei van het internetverkeer

Net zoals de hoeveelheid water die jaarlijks door de Rijn stroomt niet het volledig verhaal van deze rivier vertelt, zegt ook de groei in het internetverkeer niet alles. Beide indicatoren (liter per jaar en bits per jaar) zijn weliswaar belangrijk, maar er zijn verschillende andere aspecten die relevant zijn.

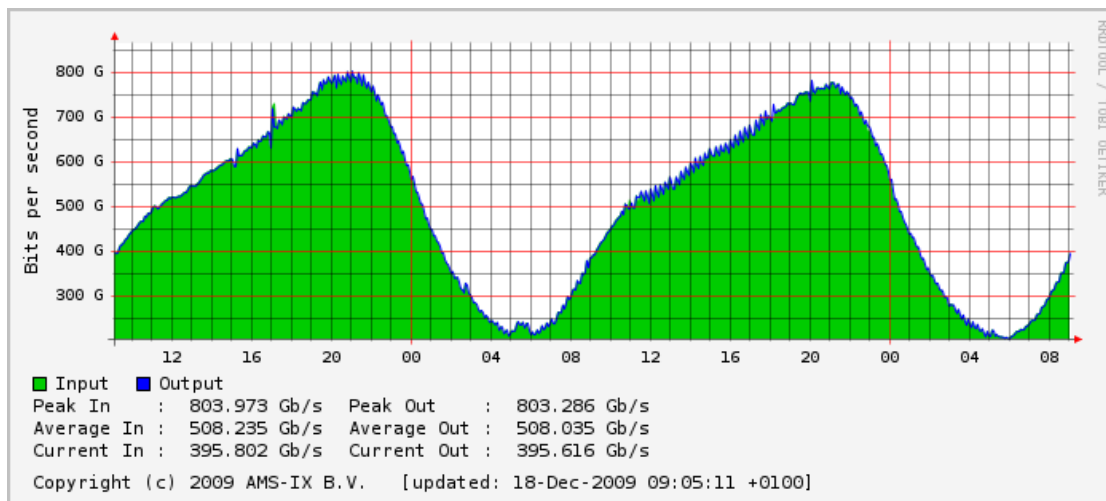
Bandbreedte

Een groei in data (bit) betekent niet direct dat de bandbreedte (bit/s) navenant toeneemt. Zo kan een verbinding met een bepaalde snelheid simpelweg intensiever gebruikt worden. Een concreet voorbeeld zijn gebruikers die vierentwintig uur per dag camerabeveiliging aanzetten. Hierdoor wordt de verbinding intensiever gebruikt.²⁴ De onderstaande afbeelding toont de relatie tussen bandbreedte (bit/s) en hoeveelheid verkeer (bit). De blauwe lijn toont de bandbreedte, het groene oppervlakte de hoeveelheid verkeer. Hieruit komt ook naar voren dat privégebruik van het internet (tussen 19.00u en 22.00u) een groot effect heeft.

²² Zoals waarschijnlijk bekend zegt de wet van Moore dat het aantal transistors op een computerchip elke twee jaar verdubbelt.

²³ Een groei van 41% per jaar betekent een groei van 100% (dus een verdubbeling) in twee jaar.

²⁴ Hier gaat een fraaie analogie met de Rijn op. Hier stroomt veel water doorheen in de winter en weinig in de zomer. De totale hoeveelheid water die jaarlijks voor de Rijn stroom kan groeien, maar als deze groei in de zomer plaatsvindt hoeft niet tot overstromingen te leiden.



Figuur 3-4. Verloop van het internetverkeer op de AMS-IX tussen 10.00u op 16.12.2009 en 9.00u op 18.12.2009 (AMS-IX, 2009)

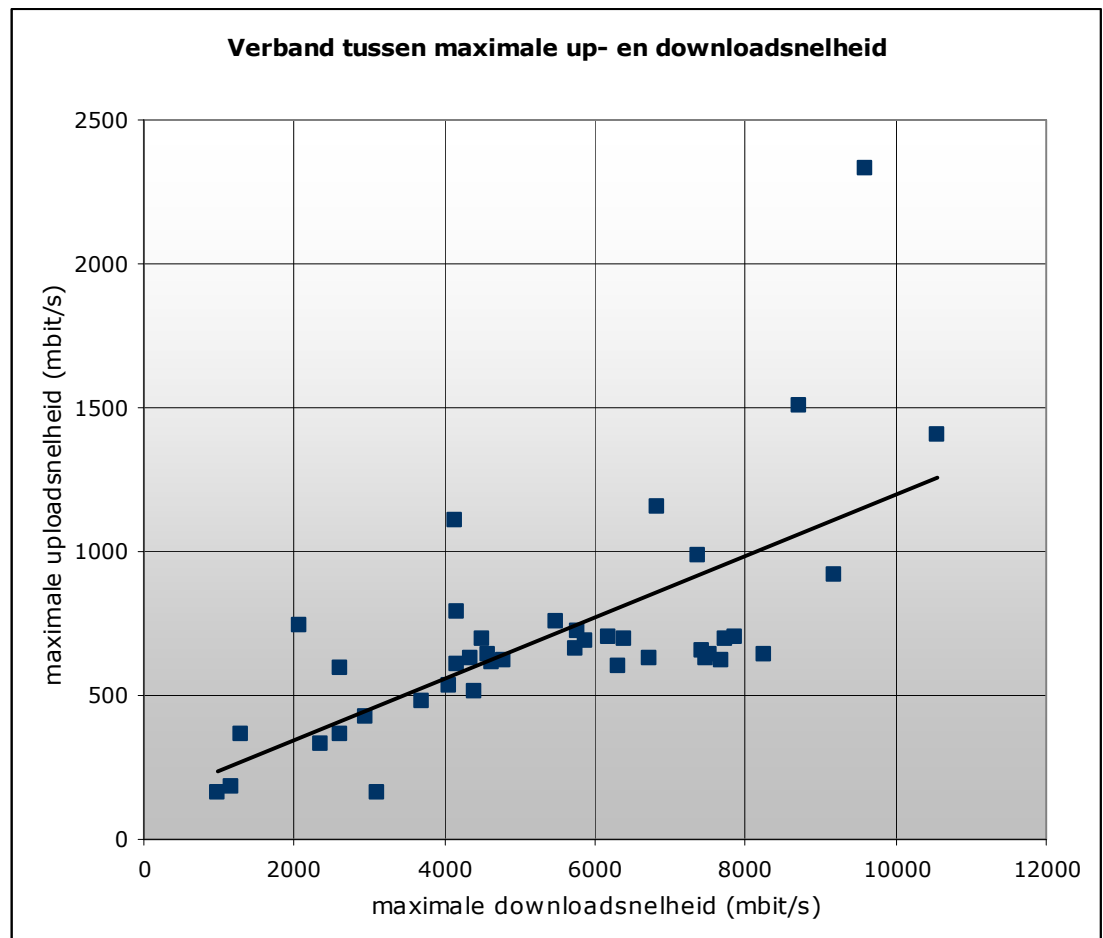
Wij verwachten de komende jaren met name veel groei in dataverkeer als gevolg videodiensten. Een beperkt aantal van deze diensten (zoals het eerder genoemde camerabeveiliging) heeft een gelijkmatig karakter, maar de meeste diensten zullen on-demand worden opgestart. Denk aan on-demand (HD)TV kijken via internet of teleconferencing. Om deze reden denken wij dat de vraag naar bandbreedte (bit/s) iets sterker zal groeien dan de vraag naar data (bit).²⁵

Upload versus download

De symmetrie van verkeer wordt bepaald door de verhouding tussen download en upload. In tegenstelling tot een rivier, gaat internetverkeer twee kanten op. Verbindingen waarvan de up- en downloadcapaciteit gelijk is worden symmetrische verbindingen genoemd. Als dit niet het geval is, is er sprake van asymmetrische verbindingen. Op dit moment is het verkeer naar huishoudens veelal asymmetrisch: Er is veel meer download dan upload.²⁶ In de markt leeft het beeld dat het leveren van asymmetrisch verkeer beter aansluit bij de klantvraag. Wel ziet men dat verkeer minder asymmetrisch wordt. Op basis van gegevens van Speedtest.nl (2010) zien we dat de gemiddelde verhouding van de maximale snelheid op moment circa 1:8 is. Uit de interviews kwam naar voren dat dit in het verleden op circa 1:10 lag. Er is dus een relatieve stijging van uploadsnelheid gaande. Interviews geven verder aan dat de verhouding verder zou kunnen dalen. Men verwacht echter dat de ondergrens bij circa 1:5 zal liggen. De onderstaande grafiek toont de huidige relatie tussen up- en downloadsnelheid van een groot aantal Nederlandse abonnementen.

²⁵ Wederom de analogie met de Rijn: Er zal dus meer water doorheen gaan, maar er komt ook steeds meer water in pieken. Bij het vergroten van de (band!)breedte van de Rijn, moet met beide elementen rekening worden gehouden.

²⁶ ADSL staat voor Asymmetric Digital Subscriber Line. Maar ook kabelinternet en zelfs glasvezelinternet zijn vaak asymmetrisch.



Figuur 3-5. Relatie tussen up- en downloadsnelheden van verschillende abonnementen in Nederland - Analyse Dialogic, gebaseerd op data van speedtest.nl (2010).²⁷

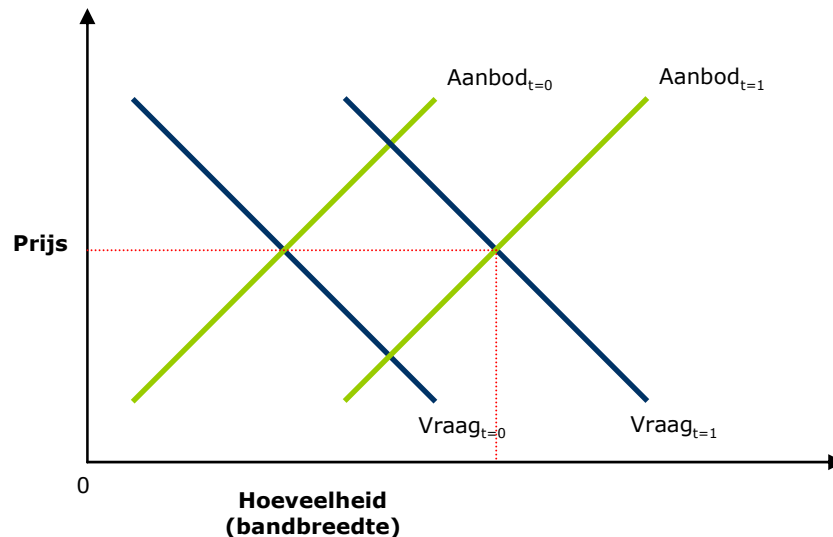
Een mogelijke verklaring van de toenemende vraag naar upload is de dichotomie tussen Web1.0 en Web2.0. Het oude internet was vooral gericht op het binnenhalen van gegevens. Denk aan de klassieke webpagina's met informatie. Web2.0 is veel meer gericht op het delen van gegevens, online samenwerking, et cetera. Het is evident dat hiervoor veel meer upload nodig is. Het lijkt onwaarschijnlijk dat er vanuit consumenten op korte termijn vraag komt naar volledig symmetrische verbindingen. Dit zou immers betekenen dat huishoudens net zoveel content produceren als consumeren. Logisch gevolg van symmetrie op het gebied van beeld is dat een bepaald fragment gemiddeld één keer gekeken moet worden. Uit de praktijk weten we dat dit niet zo is. Zo wordt het journaal 's avond door misschien twee miljoen mensen bekeken en gaan deze mensen daarna niet een half uur content uploaden die nooit bekeken wordt. Alleen dan is het gemiddelde één en is er sprake van symmetrie.

Interactie tussen vraag en aanbod

De groei van het internetverkeer wordt niet alleen gedreven door consumenten, maar ook door aanbieders van internet. De match van vraag en aanbod op een bepaald tijdstip bepaalt de prijs en de hoeveelheid productie (in dit geval bandbreedte). De onderstaande afbeelding toont de aanbod- en vraagcurven op twee punten in de tijd. Wij zien dat

²⁷ Vanwege de helderheid van de grafiek is het abonnement van OnsNet niet in deze grafiek opgenomen. Dit glasvezelabonnement een zeer hoge down- en uploadsnelheid biedt en is een zeer sterke outlier in deze dataset.

aanbieders (vooral) als gevolg van technologische innovatie hun diensten steeds goedkoper aanbieden. Hierdoor verschuift de groene lijn naar rechts. Maar de afnemers hebben ook steeds meer behoefte aan bandbreedte, zij willen gebruik maken van de nieuwe diensten die via internet te zijn gebruiken. Hierdoor blijft de prijs gelijk en neemt de hoeveelheid productie toe. Dit is exact het patroon voor veel Nederlandse consumenten: zij blijven elk jaar ongeveer hetzelfde betalen voor hun internetverbinding, maar de snelheid wordt steeds hoger.²⁸



Figuur 3-6. Relatie tussen vraag en aanbod en de ontwikkeling over de tijd

Bij het bepalen van de groei in het internetverkeer zijn we ervan uitgegaan dat zowel de vraag als de aanbod zich hetzelfde blijven ontwikkelen. Voor de aanbodzijde²⁹ in Nederland hoeft dit niet het geval te zijn. Onderinvesteringen en een beperkte marktwerking kunnen bijvoorbeeld zorgen voor een stagnerende aanbodsontwikkeling. Dit resulteert in een beperktere groei van bandbreedte. Het effect van hoge investeringen in netwerken en een goede marktwerking zal het omgekeerde tot gevolg hebben. Ergo, aanbieders en overheden kunnen de groei in hoeveelheid data beïnvloeden. Het aanbieden van weinig bandbreedte omdat er geen vraag zou zijn en het aanbieden van veel bandbreedte omdat er veel vraag zou zijn, zijn op zekere hoogte zelf fulfilling prophecies.

Kwaliteit van de verbindingen

Naast de snelheid en capaciteit van de verbindingen, zijn ook andere eigenschappen van de verbinding belangrijk. Twee belangrijke aspecten zijn latency en jitter³⁰. Vooral bij toepassingen die zeer tijdskritisch zijn, is het belangrijk om dit goed ingericht te hebben. Het bekendste voorbeeld is misschien de nieuwslezer en de reporter in het buitenland die via een satelliettelefoon elkaar constant interrumpen. Als we kijken naar nieuwe internetdiensten dan zal vooral voor beeldbellen (teleconferencing) en gaming een goede latency en jitter zeer belangrijk zijn.

²⁸ Zie bijvoorbeeld de snelheidsverhoging van Ziggo in het najaar van 2009. De downloadsnelheid van veel abonnementen ging met 50% tot 150% omhoog terwijl de prijzen gelijk bleven (Tweakers, 2009)

²⁹ Uiteraard kan ook de vraagzijde enigszins anders ontwikkelen dan verwacht. Echter, hier is duidelijk sprake van een globale markt. Youtube, GoogleDocs, GoogleMaps en talloze vormen van cloud computing zijn overal te verkrijgen.

³⁰ Latency is de vertraging die op een lijn zit: Hoelang duurt het voordat een pakketje van gebruiker A naar gebruiker B is verplaatst? Jitter is de mate waarin de latency fluctueert over de tijd.

De impact van applicaties op de groei van de bandbreedte

De groei van het dataverkeer kan ook worden gezien vanuit het perspectief van applicaties. De onderstaande grafiek geeft hier inzicht in. Het maakt gebruik van data van Cisco (2009). Hierbij valt direct op dat ook Cisco voor het vaste verkeer een groei van circa 35% per jaar hanteert. Maar ook enkele applicaties vallen op:

- Web, e-mail en filesharing zijn en blijven omvangrijk, maar groeien minder dan gemiddeld.
- Internet gaming en voice hebben nu en in de toekomst nauwelijks bandbreedte nodig.
- Alle video diensten zorgen nu voor een beperkt gedeelte van het verkeer, maar hun gebruik zal exploderen. 'Internet video to PC' wordt in absolute zin de grootste verbruiker van bandbreedte in 2013. Maar ook diensten als 'internet video to TV' –de zogenaamde net-tv's- zullen een flink aandeel krijgen. Een ontwikkeling die ook interessant is, is de ambient video. Dit zijn videobeelden voor bijvoorbeeld beveiliging of toezicht.

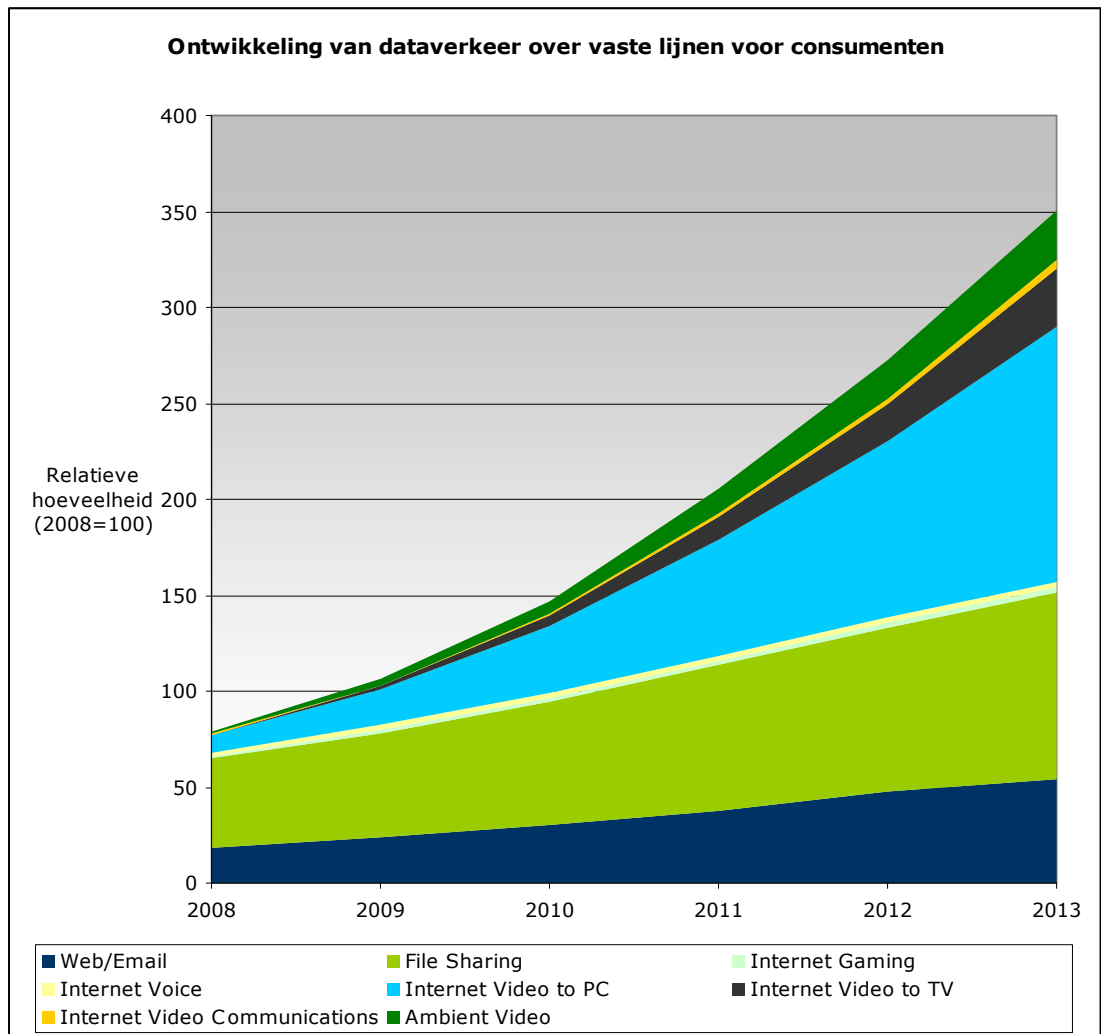
Consumer VoD

Video on demand voor de consumentenmarkt gaat doorgaans niet via de internetverbinding. Al het verkeer dat zo gerouteerd wordt, wordt in dit onderdeel behandeld. Verkeer dat wel via de internetverbinding loopt valt onder internet video (zie hierboven). Cisco (2009) denkt dat dit verkeer de komende jaren relatief sterk zal stijgen met gemiddeld 42% per jaar. Dit type verkeer is nu al vrij omvangrijk is en dat zal in 2013 dus niet anders zijn.³¹

Business

Cisco (2009) doet ook een uitspraak over de groei van het dataverkeer voor bedrijven. Hierbij gaat het om zowel internetverkeer als verkeer tussen locaties. Zij schatten in dat dit verkeer zal groeien met circa 25% de komende jaren.

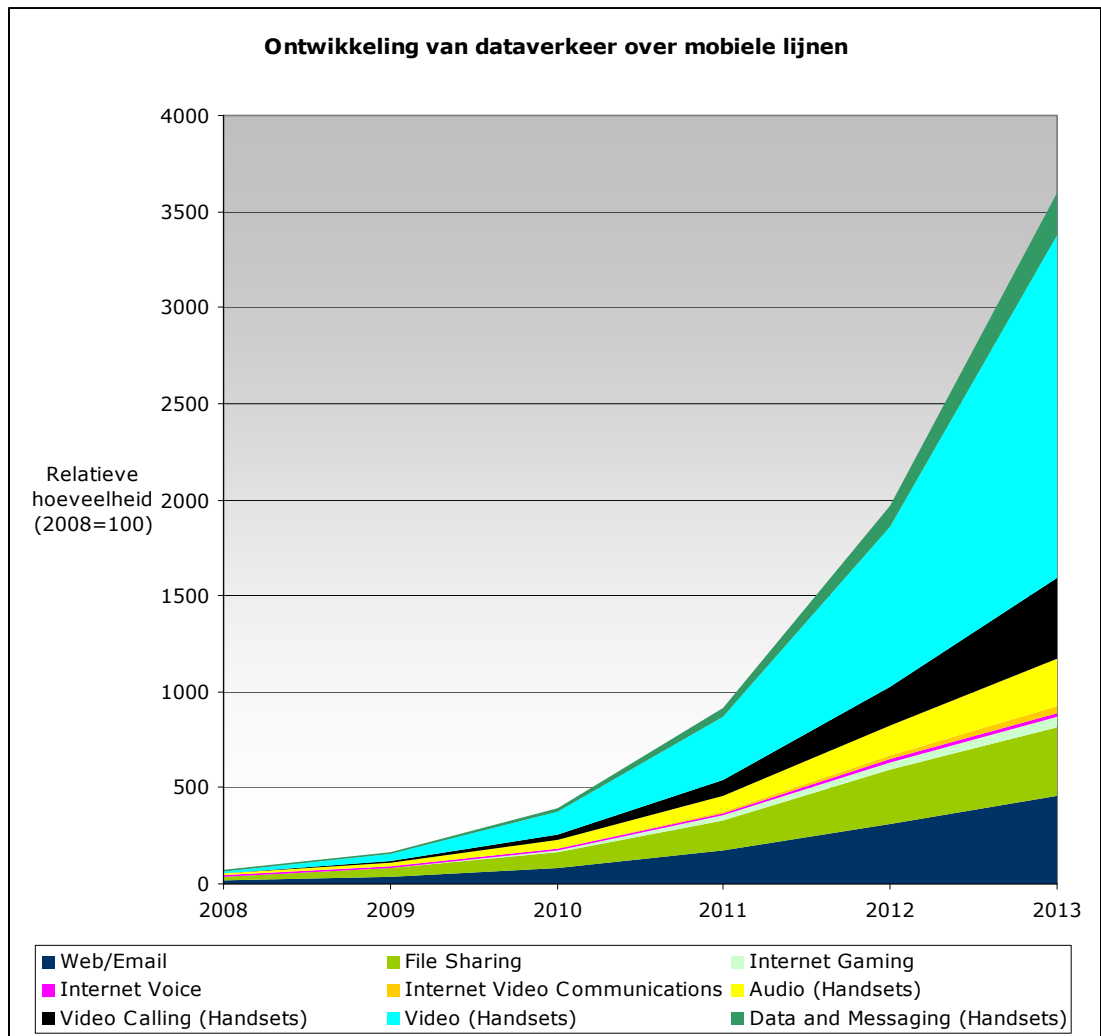
³¹ Indien we het in Figuur 3-7 zouden toevoegen dan heeft het een dikte van 12 in 2008 en 71 in 2013.



Figuur 3-7. Groei van het dataverkeer, uitgesplitst naar verschillende applicaties (Cisco 2009 – bewerking door Dialogic)

Mobiel

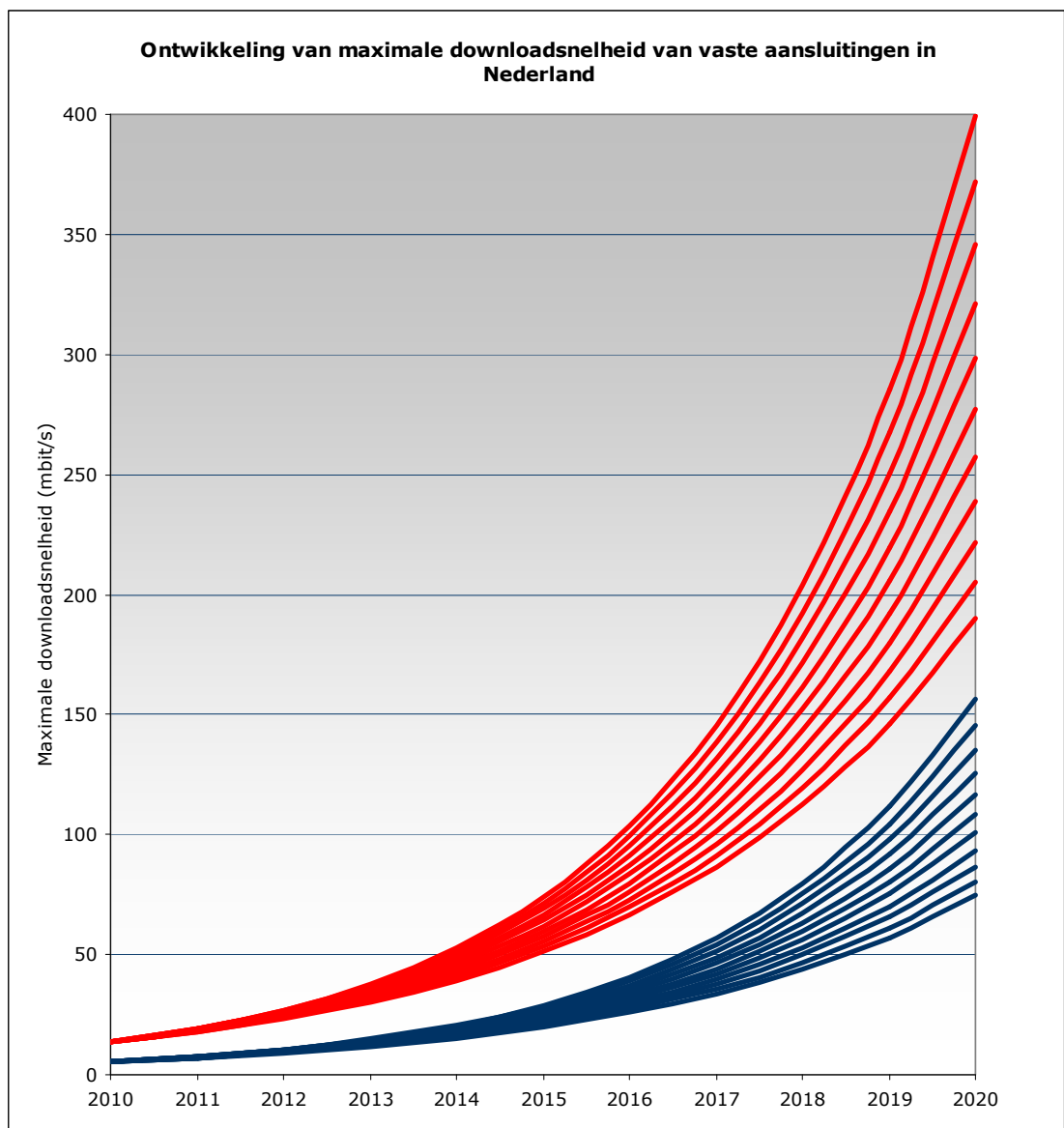
De meest spectaculaire groei van internetverkeer zal de komende jaren in het mobiele domein plaatsvinden. Over dit onderwerp zijn bijna alle experts het eens. Hier denkt men aan groeicijfers van 100% per jaar, dit betekent een verdubbeling van het verkeer per jaar. De onderstaande grafiek toont de verwachte ontwikkeling van het dataverkeer over mobiele verbindingen. De meest extreme groeicijfers zijn te zien bij video (generiek) en bij videocalling. Maar ook diensten als internet en file sharing zullen sterk toenemen.



Figuur 3-8. Ontwikkeling van het mobiele verkeer (Cisco 2009, bewerking Dialogic)

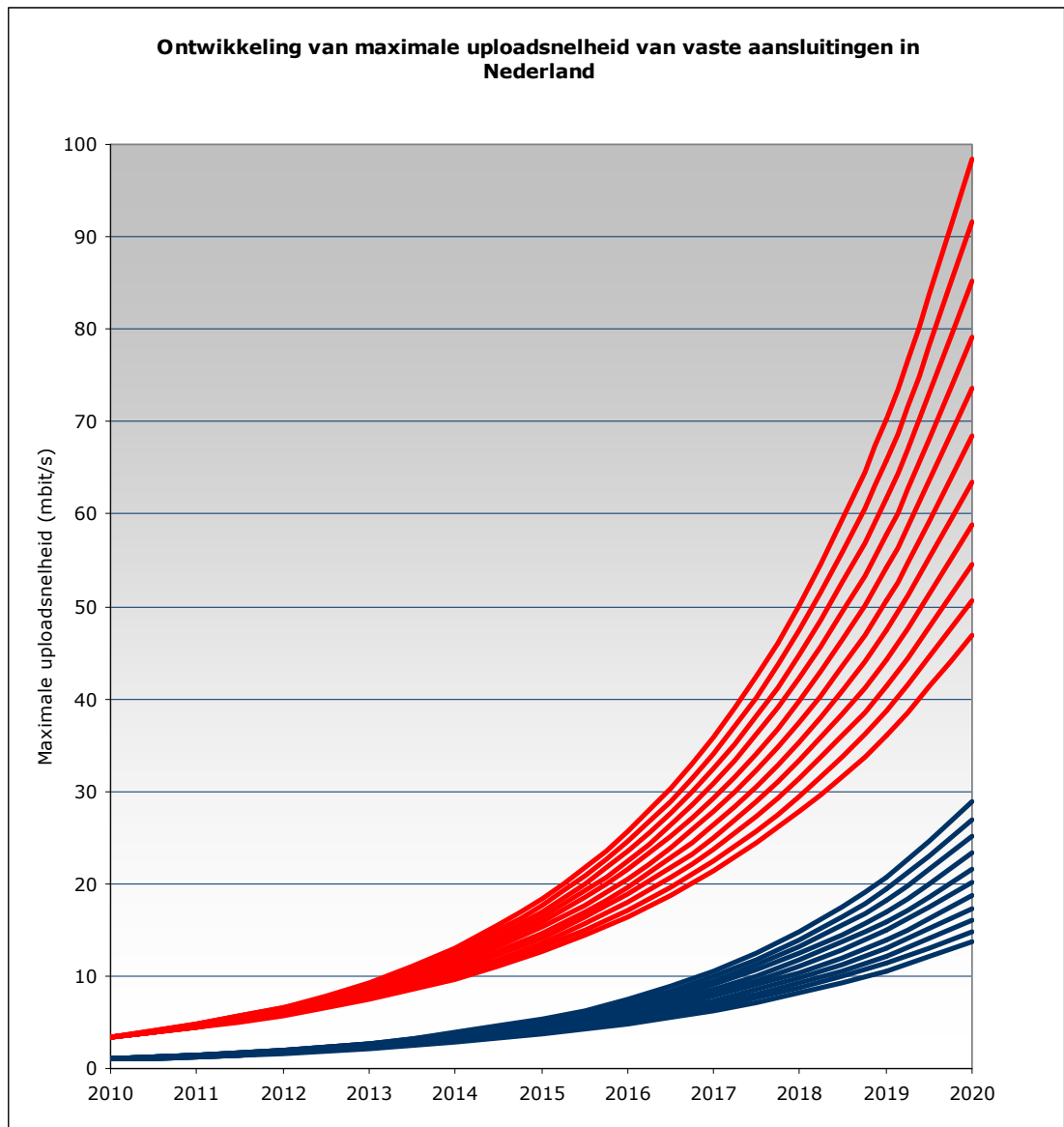
3.3.3 Verwachte omvang van het verkeer

Nu we een schatting kunnen maken van het huidige bandbreedtegebruik en we een gevoel hebben voor de groei, kunnen we deze gegevens combineren. Hierbij hanteren we de laagste en de hoogste gemiddelde downloadsnelheid en de hoogste en laagste verwachte groei. Op deze manier ontstaat onderstaande grafiek. Hieruit komt naar voren dat de gemiddelde downloadsnelheid van verbindingen in 2020 tussen circa 75Mbit/s en 400 Mbit/s zal liggen.



Figuur 3-9. Verwachte ontwikkeling in de downloadsnelheid van vaste consumentenansluitingen in Nederland

Voor de gemiddelde uploadsnelheid is het mogelijk om dezelfde analyse te maken. Wederom kiezen we de laagste en hoogste inschatting van de gemiddelde uploadsnelheid en een spreiding van de groei tussen de 30% en de 40%. Uit de grafiek komt naar voren dat de gemiddelde maximale uploadsnelheid in 2020 zal liggen tussen circa 15 Mbit/s en 100 Mbit/s.



Figuur 3-10. Verwachte ontwikkeling in uploadsnelheid van vaste consumentenansluitingen in Nederland

3.4 Conclusie

Er komen steeds meer diensten beschikbaar én de adoptie van die verschillende diensten neemt toe. Maar minstens zo belangrijk voor het bandbreedteverbruik is het feit dat diensten steeds breedbandiger worden. Dat is met name het gevolg van de integratie van videobeelden in tal van diensten, vooral ook transsectoraal.

Op basis van diverse gerenommeerde bronnen schatten wij dat de vraag naar bandbreedte tussen nu en 2020 op vaste aansluitingen in Nederland *exponentieel* zal groeien met circa 30% tot 40% per jaar. Om een aantal redenen hebben wij gekozen voor een betrekkelijk conservatieve schatting. De belangrijkste reden hiervoor is dat er in Nederland nauwelijks meer exogene groei op het vaste net zal plaatsvinden, enkel endogene. De groei zal bijna volledig moeten komen uit 'Nederlanders die meer gaan internetten' en niet uit 'meer Nederlanders die gaan internetten'. Berekeningen laten een brede marge zien voor de gemiddelde downloadsnelheid in 2020, die neerkomt op 75 Mbit/s – 400 Mbit/s. De onvoorspelbaarheid van het succes van toekomstige diensten en devices die veel bandbreedte gaan gebruiken – zoals Net TV, HD-teleconferencing en cloud computing – geven een grote mate van onzekerheid aan voorspellingen voor 2020. Het zelfde geldt voor het versneld aanbieden van grote bandbreedtes als gevolg van grote investeringen in NGN-infrastructuur.

4 Synthese vraag- en aanbodontwikkeling

In dit hoofdstuk analyseren we hoe de breedband technologieën uit hoofdstuk 2 aansluiten bij de vraagontwikkeling geschetst in hoofdstuk 3. Deze analyse van de aansluiting van vraag en aanbod voeren we grotendeels uit langs de functionele kenmerken die we eerder hebben gebruikt voor het karakteriseren van de technologieën.

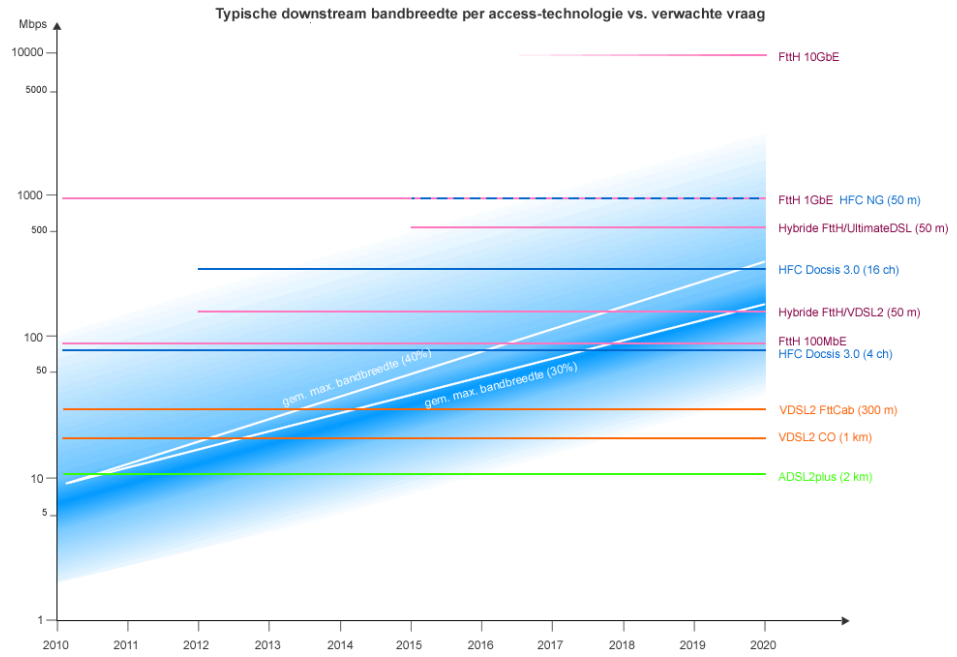
4.1 Capaciteit upstream en downstream

Een cruciaal kenmerk in de ontwikkeling van breedband is de gevraagde en beschikbare bandbreedte. Zoals eerder beschreven zijn er verschillende manieren om bandbreedte te karakteriseren: piek datasnelheid, sustained datasnelheid, upstream, downstream, geadverteerde capaciteit. Per dienst varieert welk type capaciteit het meest relevant is voor de gebruikerservaring. Daarnaast liggen de verhoudingen tussen de verschillende typen capaciteit per technologie verschillend. Figuur 4-1 en Figuur 4-2 vergelijken – met de bovengenoemde beperkingen - de ontwikkeling van vraag en aanbod van capaciteit in de tijd voor de consumentenmarkt. De downstream en upstream worden los behandeld.

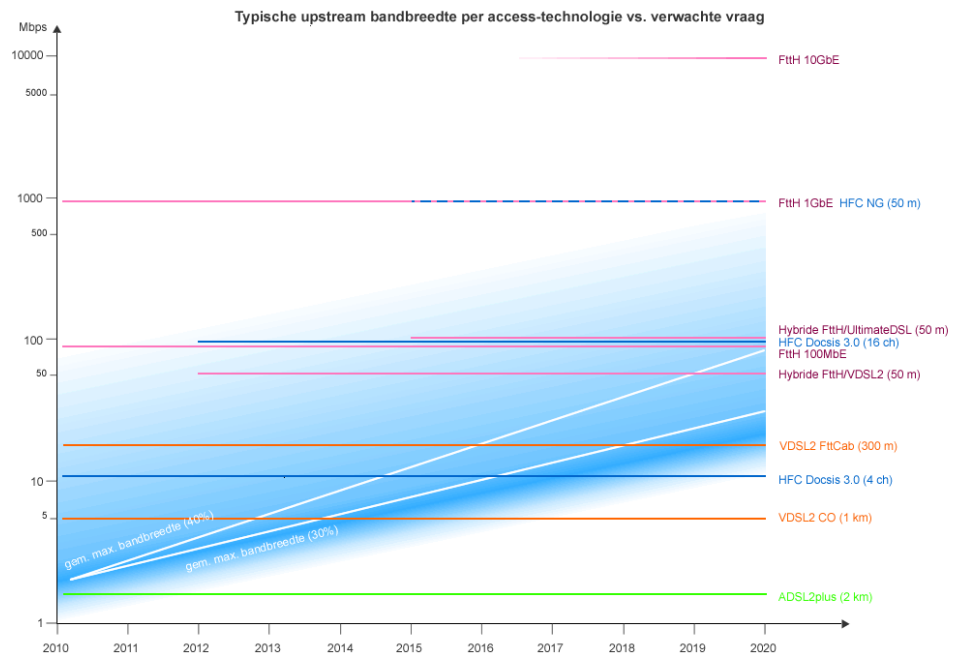
Het blauw gearceerde gebied geeft aan binnen welke grenzen de vraag ligt en hoe deze zich waarschijnlijk ontwikkelt in de komende jaren. De vraag naar capaciteit groeit in deze figuur zoals beschreven in hoofdstuk 3 met een vaste groeivoet (percentage) per jaar. Bij de interpretatie van deze vraaglijnen is het goed om te realiseren dat er een breed aanbod aan breedband internet abonnementen wordt aangeboden, variërend van instapabonnementen (rond de 2 Mbit/s in 2010) tot hele snelle abonnementen (met een geadverteerde snelheid tot 120 Mbit/s in 2010). Deze spreiding is in de figuren aangegeven door de breedte van het blauw gearceerde gebied, waarbij de mate van arcering aangeeft waar het zwaartepunt van de klantvraag ligt. Dit zwaartepunt ligt typisch aan de onderkant van de markt, doordat de abonnementen met zeer hoge datasnelheden (FttH 100Mbit/s of EuroDOCSIS 3.0 120 Mbit/s) slechts door weinig gezinnen worden afgenomen, maar wel het gemiddelde flink beïnvloeden. Binnen de gearceerde gebieden zijn “gemiddelde” lijnen ingetekend die het gemiddelde van de afgenomen capaciteit per klant weergeeft. Deze ligt niet precies in het hart van het gearceerde gebied omdat de betreffende kansverdeling niet symmetrisch is.

De horizontale lijnen in de figuren geven de typische bandbreedte voor een technologie, startend in een bepaald jaar. Met typische bandbreedte wordt die bandbreedte bedoeld die in de praktijk voor een groot deel van de populatie haalbaar is. Voor HFC/EuroDOCSIS en DSL geldt dat er verschillen bestaan tussen de theoretische haalbare capaciteit onder ideale omstandigheden en de capaciteit die in de praktijk haalbaar is bij goede dimensionering en capaciteitsmanagement. Bij xDSL is steeds aangegeven op welke afstand van klant tot aan actieve apparatuur deze typische snelheid haalbaar is, bij HFC EuroDOCSIS is aangegeven over hoeveel kanalen bonding is toegepast. Dat een technologie beschikbaar is wil uiteraard niet zeggen dat hij ook daadwerkelijk wordt ingezet. Zo is 1 Gbit/s over glas technisch al een tijd mogelijk, maar het wordt (nog) niet aangeboden in de consumentenmarkt. De in de figuur opgenomen lijnen voor FttH, HFC/EuroDOCSIS en DSL geven typische capaciteiten die daadwerkelijk haalbaar zijn voor een groot deel van de consumentenmarkt. Wanneer meerdere technologieën eenzelfde typische capaciteit leveren is de lijn voor de technologie die dat pas later kan leveren als een stippellijn weergegeven, puur voor de leesbaarheid (FttH 1Gbits – HFC NG).

In beide figuren wordt verder aangenomen dat de aanbieders van breedband-aansluitingen de capaciteit in hun core netwerken zodanig uitbreiden dat de core geen bottleneck vormt voor de capaciteit die beschikbaar is voor hun klanten.



Figuur 4-1: Vraag en aanbod downstream capaciteit



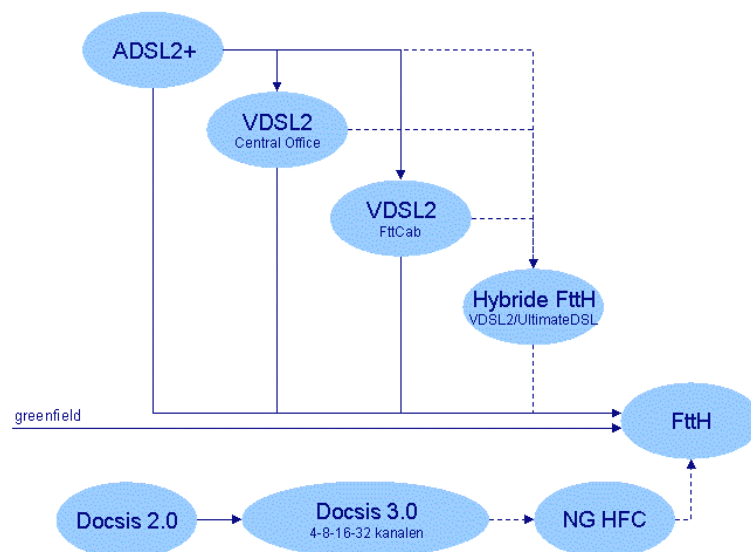
Figuur 4-2: Vraag en aanbod upstream capaciteit

Figuur 4-2 geeft eenzelfde vergelijking voor de upstream capaciteit. Zoals uitgelegd in hoofdstuk 3 ligt de verwachting voor de gevraagde upstream capaciteit een factor vier lager dan de gevraagde downstream capaciteit. In de MKB/kleinzakelijke markt ligt dit anders: daar is een groeiende vraag naar symmetrische capaciteits te verwachten voor toepassingen als LAN interconnect. De Nederlandse praktijk laat zien dat aanbieders in deze behoefte voorzien met speciaal op deze markt gerichte producten gebaseerd op symmetrische glasaansluitingen.

De conclusie uit figuren Figuur 4-1 en Figuur 4-2 is dat kabel (HFC) en volledig verglaasde (FtH) aansluitnetten de verwachte groei van de vraag naar capaciteit nog jaren goed kunnen volgen. Aansluitnetten met VDSL2 vanuit de centrale of vanuit de straatkast krijgen met de jaren moeite om groeiende vraag naar capaciteit bij te houden. Tegelijkertijd blijft VDSL2 heel bruikbaar voor een deel van de consumentenmarkt. Immers, doordat er een grote spreiding is in de snelheden van abonnementen die consumenten afnemen, en doordat die verdeling scheef is richting van de instapabonnementen, blijft er nog lange tijd een groep consumenten over die goed met VDSL2 bediend kan worden. De hybride aansluitvormen FttH/VDSL2 en FttH/UltimateDSL leveren voor een groot deel van de markt lange tijd acceptabele snelheden, maar zullen in slechts een beperkt aantal aansluitingen worden toegepast.

4.2 Migratiepaden

Zoals eerder aangegeven wordt een nieuwe breedband technologie pas ingezet door commerciële partijen als hun business cases uitwijzen dat er voldoende vraag is naar hogere snelheden. Financieel-economische overwegingen spelen hiermee net zo'n belangrijke rol in migratiebeslissingen als de technische mogelijkheden van huidige en toekomstige technologieën. Figuur 4-3 schetst de belangrijkste migratiepaden voor koper, kabel en glasnetwerken. Kenmerkend voor de migratie van breedbandnetwerken is dat de beslissingen over migratie in essentie per regio, zoals (een deel van) een gemeente genomen worden. De lokale marktomstandigheden, in termen van vraag en concurrentie, bepalen in sterke mate het verloop van de migratie.



Figuur 4-3: Migratiepaden

Op het telefonie-netwerk is ADSL2+ op dit moment de dominante technologie voor het leveren van consumenten breedband. De migratie naar VDSL2 is in 2009 begonnen, waarbij twee hoofdvormen zijn te onderscheiden: VDSL2 Central Office (vanuit de centrale) en VDSL2-FTTCab (vanuit de staatkast). Zoals eerder aangegeven levert VDSL2 meer capaciteit dan ADSL2+. Na een aantal jaren gaat VDSL2 voor de bovenkant van de markt tekort schieten om aan de stijgende vraag naar capaciteit te voldoen. Een logische stap is dan om ook in die gebieden volledig te verglazen en FttH aan te bieden, mits dit kosteneconomisch verantwoord is.

Aangezien VDSL2 vanuit de Central Office of vanuit de straatkast (FttCab) op middellange termijn moeite krijgt om de stijgende vraag naar capaciteit te volgen, wordt door Reggefiber op dit moment FttH aangelegd in samenwerking met KPN. Daarnaast bestaan er ook (veelal regionale) initiatieven waarbij andere partijen, die zelf geen xDSL netwerk bezitten, overgaan tot het aanleggen van FttH netwerken. Dat is in deze figuur aangegeven met greenfield (niet te verwarren met het aanleggen van FttH in nieuwbouw-wijken, wat soms ook met diezelfde term wordt aangeduid). In sommige gevallen kan ook een migratie naar Hybride FttH / VDSL2 danwel UltimateDSL een optie zijn om te voldoen aan de toekomstige vraag.

De in figuur 4.3 geschetste migratie van VDSL2 topologieën naar een volledige FttH infrastructuur verloopt niet zonder slag of stoot. Een deel van de investeringen gedaan voor de VDSL2-infrastructuur (zowel qua apparatuur als qua graafwerk) zal niet hergebruikt kunnen worden voor een optimale FttH-infrastructuur. Lokaal zal worden bekeken welke uitrolstrategie de voorkeur heeft, waarbij bijvoorbeeld de ligging en de dimensionering van bestaande straatkasten in het betreffende gebied een belangrijke factor is. Waar dit voor FttH ongunstig uitpakt, zal men overwegen de topologie te wijzigen.

De kabelnetwerken zijn momenteel bezig met een migratie van EuroDOCSIS 2.0 naar EuroDOCSIS 3.0. Met de mogelijkheid van EuroDOCSIS 3.0 voor incrementele groei door middel van channel bonding van steeds meer kanalen (4, 8, 16, 32 kanalen) en door het steeds verder segmenteren kan het HFC-netwerk nog lange tijd in incrementele stappen meegroeien met de verwachte stijgende vraag naar capaciteit. Als op lange termijn de verdere evolutie van DOCSIS op het HFC netwerk economisch niet meer aantrekkelijk is of onvoldoende toename in capaciteit oplevert, kan de kabel via een verdere verglazing tot de eindversterker worden opgewaardeerd tot een NG HFC netwerk met een potentieel veel hogere capaciteit. Merk op dat voor deze upgrade substantieel minder graafwerk nodig is dan voor FttH aanleg, omdat er voor NG HFC niet tot aan het huis hoeft te worden gegraven.

De in de grafiek met een gestippelde lijn aangegeven migratiepaden zijn mogelijke opties, de met een vaste lijn aangegeven paden zijn opties die partijen in de markt nu uitvoeren danwel over communiceren die uit te gaan voeren.

Daarnaast is het op alle momenten mogelijk access via een draadloze technologie aan te bieden, maar vanwege overzichtelijkheid is dat niet in deze figuur opgenomen.

4.3 Kwaliteit

De Nederlandse discussie over migratie van breedbandnetwerken heeft de neiging om zich toe te spitsen op de ontwikkeling van vraag en aanbod van hoge capaciteitswaarden (al dan niet symmetrisch). Dit is uiteraard een relevant aspect, waarop in de vorige secties is ingegaan. Er zijn echter toepassingen waarvoor andere aspecten dan de

beschikbare capaciteit het nut of de kwaliteit van de gebruikerservaring bepalen.

Voorbeelden hiervan zijn:

- Toepassingen in de zorg of energie stellen vaak harde eisen aan de betrouwbaarheid en beschikbaarheid van breedbandverbindingen.
- Verschillende populaire gaming toepassingen stellen nauwelijks eisen aan capaciteit maar des te meer aan de responstijden die over breedbandnetwerken gehaald kunnen worden (de zogenaamde “ping” tijden).
- Ook voor toepassingen in de zakelijke markt zoals LAN-interconnect zijn garanties voor de responstijd nodig.

Voor het ondersteunen van een breed pallet aan diensten over breedbandnetwerken is een aanbod van voldoende capaciteit dus wel een noodzakelijke, maar geen voldoende voorwaarde.

4.4 Bereik; dekking

Zowel het telefonie-netwerk als het kabeltelevisionetwerk hebben een zeer hoge dekkingsgraad in Nederland (tussen de 95% en 98%). Het overgrote deel van deze verbindingen zijn geschikt om ook (breedbandig) internet over te leveren, en er zijn maar weinig situaties waar geen internet beschikbaar is via zowel HFC als xDSL. Voor internet via glasvezel is deze situatie volkomen anders. Begin 2009 was het in minder dan 5% van de Nederlandse woningen mogelijk om een glasvezelabonnement af te sluiten³²

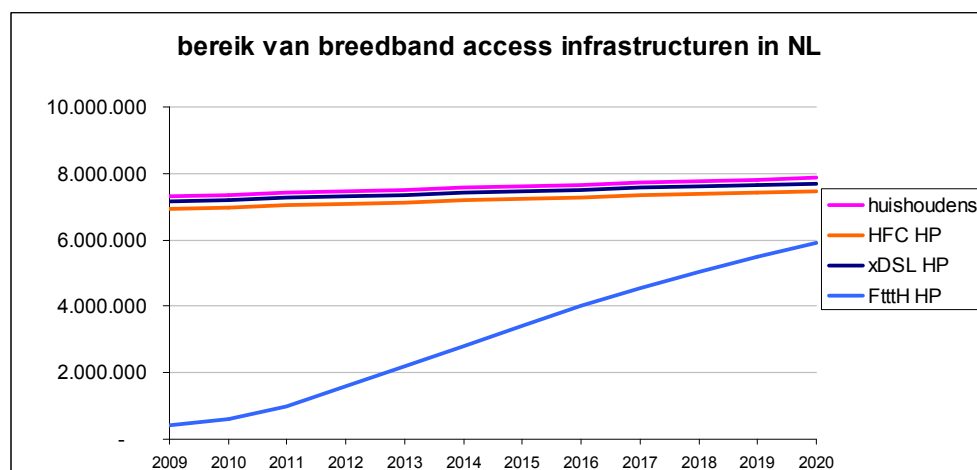
KPN noemt een maximale uitrolcapaciteit van FttH van zo'n 600.000 Homes Passed per jaar (zie gespreksverslag in bijlage F. Deze grens is gebaseerd op praktische belemmeringen zoals de aanwezigheid van (geschoold) personeel, maar ook op de mate van overlast die Nederlandse gemeenten willen tolereren.

In de grafiek in Figuur 4-4 is te zien hoe de ontwikkelingen qua bedekking door de 3 netwerktypen over de tijd grofweg zouden kunnen verlopen. FttH zal via een korte ramp-up de maximale uitrolcapaciteit van 600.000 huishoudens per jaar bereiken. Daarmee is in 2015 ruwweg 50% van Nederland verglaasd (bij een marktaandeel van FttH van 50% zou vanaf dan dus 25% van de Nederlanders internet via glasvezel afnemen). Een uiteindelijke bedekking van 100% is onrealistisch. De OPTA geeft hier 4 redenen voor³³:

- Geen enkel telecom netwerk levert 100% bedekking
- Graafcapaciteit (personeel) is slechts beperkt beschikbaar
- Het feit dat in Nederland alternatieve access-infrastructuren bestaan die hoge capaciteitswaarden kunnen leveren kan werken als een “first mover disadvantage”
- In sommige gebieden is de businesscase voor FttH negatief, vanwege hoge graafkosten en/of lage verwachte opbrengsten

³² Stratix 2009, FttH Deployment Overview March 2009

³³ OPTA 2008, Fiber-to-the-Home (FttH) in the Netherlands



Figuur 4-4: Bereik van breedband access infrastructuur

Merk op dat deze figuur de geschatte ontwikkeling op landelijk niveau samenvat. Tussen regio's kunnen flinke verschillen gaan ontstaan, doordat migratiebeslissingen worden genomen op basis van lokale business cases. Zowel KPN, lokale FttH-aanbieders als de kabelpartijen zullen op basis van economische afwegingen kiezen in welke regio's ze hun netwerken upgraden dan wel nieuwe netwerken uitrollen. In sommige regio's zal de concurrentie hevig zijn, in andere regio's zal de ene partij besluiten minder te investeren, waardoor een andere partij er daar een lager upgrade danwel uitroltempo op na kan houden. Hierdoor zullen er in Nederland regio's met verschillende typen breedbandbedekking gaan ontstaan, waaronder:

- Regio's met xDSL en HFC
- Regio's met zowel xDSL, HFC en FttH

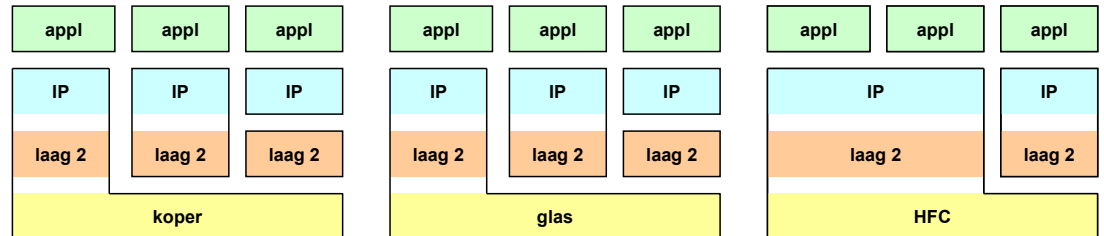
Hiermee leidt de regionale uitrol en migratie van accessnetwerken in de overgangsperiode tot een ongelijkere verdeling van capaciteitswaarden over Nederland dan nu het geval is.

Merk ook op dat in deze grafiek evenals in diverse andere grafieken over glasuitrol in dit rapport Homes Passed wordt weergegeven. Waar bij xDSL en HFC netwerken geldt dat bijna 100% van de homes passed ook daadwerkelijk is aangesloten, is bij FttH netwerken nog onduidelijk welke verhouding tussen Homes Passed en Homes Connected zal ontstaan, doordat niet ieder huishouden FttH tot in de meterkast zal laten afmonteren. Cijfers over Homes passed geven dus een relatief rooskleurig beeld over feitelijk danwel voorgenomen FttH penetratie.

4.5 Openheid

Zoals hierboven beschreven zullen het tempo van de ontwikkeling van breedbandnetwerken en de keuzes die door betrokken partijen daarin gemaakt worden variëren tussen verschillende regio's in Nederland. Dit rapport gaat niet in op de commerciële en beleidsmatige overwegingen die daarbij een rol spelen. We geven hier wel kort aan hoe bepaalde keuzes kunnen leiden tot verschillende gradaties in openheid. We laten hierbij analoge TV en digitale TV diensten geleverd over de kabel via DVB-C buiten beschouwing en concentreren ons op de openheid die relevant is voor internet toegang.

Figuur 4-5 schetst de situatie in gebieden waar naast de kabel en DSL netwerken een volledig verglaasd aansluitnet ontstaat. De koper en glas infrastructuur bieden toegang op alle lagen (fysiek, laag 2 en IP), de kabelinfrastructuur biedt toegang op de IP laag. In puur technisch-functionele zin is ook toegang mogelijk op het HFC netwerk, maar in de praktijk is dit waarschijnlijk lastig. Naast deze vormen van toegang is er infrastructuurconcurrentie tussen drie infrastructuren.



Figuur 4-5: Situatie openheid en toegang voor DSL, Full Fiber en HFC

Zoals eerder besproken, zal op termijn de capaciteit geleverd door VDSL2 over koper tekortschieten om te voldoen aan de vraag uit de bovenkant van de consumentenmarkt. In deze abonnementen kan dan worden voorzien door diensten over glas en HFC.

Door het regionale karakter van de breedbandmigratie zullen er ook gebieden zijn waar (nog) geen glas beschikbaar is. De bovenkant van de consumentenmarkt kan in die regio's worden bediend over HFC-netwerken, met toegangsmogelijkheden op de IP laag maar niet op laag 2 en praktisch gezien waarschijnlijk ook niet op de HFC-laag.

4.6 Kosten

Met de verschillende typen netwerkupgrades danwel netwerkaanleg zijn verschillende kosten gemoeid.

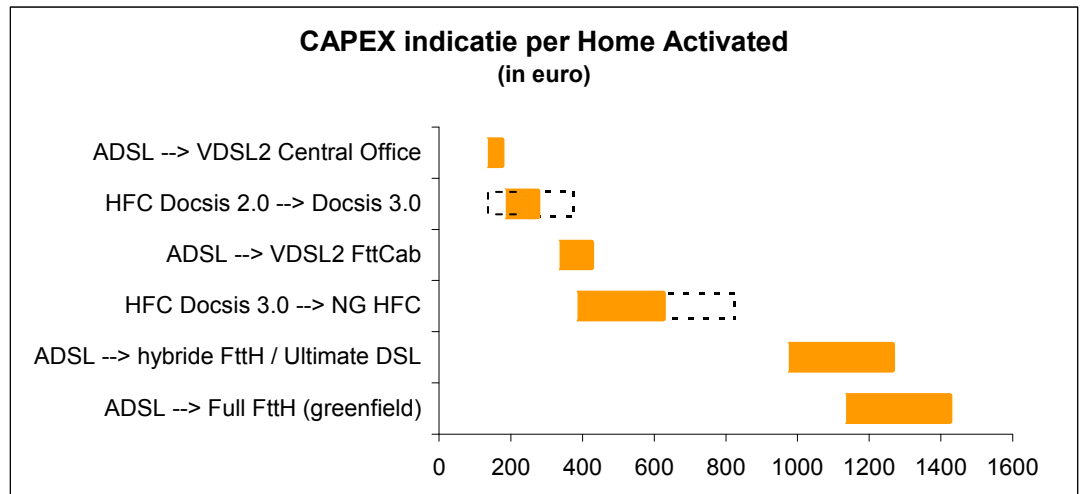
Op het gebied van de operationele kosten (OPEX) van de verschillende netwerken kunnen geen gedetailleerde uitspraken worden gedaan. Vuistregel is dat de OPEX van gedeelde accessnetwerken (shared medium) lager is dan die van een point-to-point infrastructuur. Voor kopernetwerken geldt dan dat een HFC-netwerk een lagere OPEX heeft dan een xDSL netwerk. Een fibernetwerk dat gebruikt maakt van een PON-architectuur zal dan ook een lagere OPEX hebben dan een fibernetwerk met P2P architectuur.

Van fibernetwerken wordt gesteld dat deze een lager energieverbruik³⁴ hebben dan kopernetwerken, en bovendien lagere reparatiekosten doordat de (nieuwe) glasvezelkabels en –onderdelen minder onderhoud behoeven. We achten dit een plausibel statement, maar in dit onderzoek is daar geen analyse op uitgevoerd om de stelling te verifiëren of bij te stellen. Het was tevens niet mogelijk om binnen de grenzen van dit onderzoek tot een betrouwbare uitspraak te komen of een shared HFC netwerk een hogere of lagere OPEX heeft dan een P2P fiber netwerk.

Op het gebied van investeringen (CAPEX) is wel een gedetailleerder beeld te geven. Figuur 4-6 geeft een indicatie van die investeringskosten. Investeringskosten in nieuwe klantmodems worden hier tot de CAPEX gerekend. Kosten voor het leveren van

³⁴ Een lager energieverbruik is van belang uit oogpunt van duurzaamheid.

digitale TV (STB's, netwerkapparatuur) zijn niet meegenomen. Er is bij de inschatting van deze kosten steeds uitgegaan van de in Nederland dominante topologieën.



Figuur 4-6: CAPEX inschatting per Home Activated

Uit die grafiek is af te leiden dat VDSL2 Central Office de goedkoopste upgradevariant is. De kosten voor deze upgrade zitten met name in kosten voor nieuwe netwerkapparatuur, monteurskosten en klantmodems. Er hoeft bij deze upgrade geen extra glasvezel aangelegd te worden.

Voor de upgrade van HFC/EuroDOCSIS 2.0 naar EuroDOCSIS 3.0 is feitelijk alleen een nieuw modem en een software-upgrade in de CMTS nodig, waardoor deze upgrade zeer goedkoop genoemd kan worden. Deze upgrade is echter slechts het begin van een incrementeel pad naar steeds hogere snelheden door het aantal kanalen stapsgewijs uit te breiden en steeds verder te segmenteren. Daarom is een upgrade naar EuroDOCSIS 3.0 op langere termijn duurder dan de VDSL2-upgrade in een ADSL netwerk. De gestippelde lijnen in de grafiek geven deze extra onzekerheid in deze kosteninschatting weer.

De kosten van het upgraden van een ADSL-netwerk naar FttC zijn fors hoger dan die voor de VDSL2 Central Office-upgrade, omdat hierbij naast de eerder al beschreven werkzaamheden ook glasvezels getrokken moeten worden tot aan de straatkast, en hier actieve apparatuur in geplaatst moet worden.

Wanneer investeringen in EuroDOCSIS 3.0 niet meer in verhouding staan tot de snelheidswinst die nog geboekt kan worden door verdere 'bonding' of segmentatie kan de kabel overstappen op HFC NG. Hiervoor dient tot relatief dichtbij de erfrens verglaasd te worden. Het is echter nog steeds mogelijk om de bestaande coax-bekabeling vanuit huis tot aan dit punt (~50 meter) te benutten. De kosten voor deze technologie zijn nog vrij onzeker, maar zullen hoger uitvallen dan FttC (omdat er verder verglaasd dient te worden) en lager dan FttH (omdat er niet helemaal tot in huis verglaasd hoeft te worden).

Voor de upgrade van ADSL naar Hybride FttH – UltimateDSL is onze inschatting dat dit per home activated 160,- goedkoper zal zijn dan de uitrol van Full FttH. Er hoeft niet tot in de meterkast verglaasd te worden, maar er is wel nieuw te ontwikkelen netwerkapparatuur noodzakelijk (inclusief behuizing) die op zeer korte afstand tot de woning geplaatst dient te worden.

De kosten voor FttH zijn het hoogst, doordat er volledig verglaasd dient te worden, en ook een vrij dure optisch-elektrische omzetter in de woning geplaatst moet worden. Er wordt in deze berekeningen van uitgegaan dat eerdere investeringen in VDSL2 Central Office, VDSL2 FttC of Hybride FttH/UltimateDSL niet hergebruikt kunnen worden in FttH. Dit wordt uitgedrukt middels de benaming *greenfield* (niet te verwarren met de aanleg van FttH in een nieuwbouwwijk (dus vóór of tijdens de bouw), waarvoor deze benaming ook vaak gebruikt wordt). De kosten voor zo'n situatie zullen lager uitvallen, doordat de graaf- en installatiekosten veel lager uitvallen. Dit geldt overigens ook voor de aanleg/migratie van andere accessnetwerken in nieuwbouwwijken.

Een specificatie van de gevolgde berekening is bijgevoegd als bijlage E.

5 Eindconclusies

Ontwikkeling van de vraag naar breedband

Er komen steeds meer digitale diensten beschikbaar én de adoptie, diversiteit en afhankelijkheid van die verschillende diensten neemt toe. Maar minstens zo belangrijk voor het bandbreedteverbruik is het feit dat diensten steeds breedbandiger worden. Dat is met name het gevolg van de integratie van videobeelden in tal van diensten, ook transsectoraal.

Op basis van diverse gerenommeerde bronnen schatten wij dat de vraag naar bandbreedte tussen nu en 2020 op vaste aansluitingen in Nederland *exponentieel* zal groeien met circa 30% tot 40% per jaar. Dit is een conservatieve inschatting.

Om een aantal redenen hebben wij gekozen voor een betrekkelijk conservatieve schatting. De belangrijkste reden hiervoor is dat er in Nederland nauwelijks meer exogene groei op het vaste net zal plaatsvinden, enkel endogene. De groei zal bijna volledig moeten komen uit ‘Nederlanders die meer gaan internetten’ en niet uit ‘meer Nederlanders die gaan internetten’. Wel valt te verwachten dat binnen huishoudens het gelijktijdig gebruik nog verder toeneemt. Berekeningen laten een brede marge zien voor de gemiddelde downloadsnelheid in 2020, die neerkomt op 75 Mbit/s – 400 Mbit/s. De onvoorspelbaarheid van het succes van toekomstige diensten en devices die veel bandbreedte gaan gebruiken – zoals Net TV, HD-streaming, cloud computing en HD-teleconferencing – geven een grote mate van onzekerheid aan voorspellingen voor 2020. Hetzelfde geldt voor het versneld aanbieden van grote bandbreedtes als gevolg van grote investeringen in NGN-infrastructuur. We verwachten dat de huidige, vrij sterke bandbreedte-asymmetrie aan de vraagzijde weliswaar minder wordt maar dat asymmetrie een blijvend kenmerk is, met een indicatieve ondergrens van ca 1:5. In principe hoeven asymmetrische accesstechnologieën geen beperking te vormen voor het goed faciliteren van symmetrische diensten zoals HD-videoconferencing, zolang de upsnelheid voldoende hoog en gegarandeerd is.

Ontwikkeling van breedband infrastructuur tot 2020

Het fiber-kopernetwerk (DSL) en het fiber-coax netwerk (de kabel) zijn nu in Nederland de dominante breedband infrastructuren met een groot bereik en een capaciteitsaanbod dat de vraag volgt en zelfs stimuleert. Full fiber (rechtstreeks FttH) bevindt zich nog in een pril stadium. Internet via dial-up verbindingen zal geleidelijk gaan verdwijnen.

In de beschouwing hoe breedband infrastructuur zich in de toekomst ontwikkelen in verhouding tot de verwachte vraag, is en blijft capaciteit (downstream/upstream) een belangrijk vergelijkend kenmerk. Echter voor het ondersteunen van een breed pallet aan (essentiële) diensten in een groot aantal verschillende sectoren, ten behoeve van een zo groot mogelijk dekking van Nederlandse huishoudens is voldoende capaciteit per aansluiting weliswaar een noodzakelijke maar niet voldoende en meest bepalende voorwaarde. Naast capaciteit is vooral openheid een belangrijk technisch maar ook marktorganisatorisch kenmerk. Tot slot is de kostenfactor, als onderdeel van de business case, sterk van invloed op de ontwikkeling van infrastructuur.

Migratiepad 1: DSL richting FttH

Wij verwachten dat al in de komende paar jaar in het fiber-koper netwerk de belangrijke en relatief kostbare stap naar VDSL2 vanuit de straatkast zal moeten worden gemaakt om de vraag te kunnen blijven volgen en qua snelheid concurrerend te blijven t.o.v. de kabel. VDSL2 gaat op termijn zonder verdere verglazing in toenemende mate tekortschieten voor de gevraagde bandbreedtes in de bovenkant van de markt, maar blijft nog een tijd relevant voor de (omvangrijke) onderkant van de consumentenmarkt. De DSL-migratie koerst op termijn af op een volledige FttH oplossing, al dan niet met nog een Ultimate-DSL tussenstap op de laatste meters koper in geschikte scenario's. Het tempo waarin de migratie zich voltrekt zal worden bepaald door marktontwikkelingen. Veel meer dan bij de bestaande versies van DSL het geval is geweest zal er in het verdere migratietraject van regionale/lokale differentiatie sprake zijn op grond van kostenoverwegingen.

Migratiepad 2: Ontwikkeling kabel

De kabel lijkt de *meest graduele migratie* naar NGA te zullen doormaken, waarbij de extra investeringen (CAPEX) voor de middellange termijn (2015) relatief het minst zijn. De stap naar HFC Next Generation die qua impact verder reikt dan de zojuist genoemde ADSL->VDSL migratie wordt aanzienlijk later in de tijd voorzien (na 2015). In tegenstelling tot DSL zal kabel niet, of in ieder geval niet binnen de beschouwde periode 2010-2020, uitmonden in een FttH aansluiting vanwege de zeer hoge intrinsieke capaciteit van coax. Openheid is technisch mogelijk maar niet op alle relevante lagen automatisch gewaarborgd.

De huidige wedloop tussen DSL en HFC zal het komende decennium een ander karakter krijgen waarbij geleidelijk HFC en FttH concurrerende proposities worden omdat deze de verwachte groei in de vraag naar capaciteit nog vele jaren kunnen volgen. DSL-technologie over koper kan dat (zonder verdere verglazing) niet in die mate. DSL blijft echter, ook op langere termijn, wel belangrijk voor de “onderkant” van de breedbandmarkt.

Opkomst full fiber

Full fiber netwerken vragen zeer kapitaalintensieve investeringen op de korte termijn en vragen lange adem voordat nationale dekking is bereikt (minimaal 10 jaar, waarbij 100% dekking niet realistisch/rendabel wordt geacht). Intussen wordt door KPN, Reggefiber en door andere partijen binnen de telecomsector niettemin vaart gemaakt met volledige FttH met een groeitempo (streefgetal) van ca 600.000 homes passed per jaar. Ook partijen buiten de telecom sector filosoferen over nieuwe full fiber netwerken. Full fiber uitrol zal naar verwachting lokaal/regionaal zijn gedifferentieerd. Realisatie van open toegang is technisch geen principeel issue maar is niet automatisch gegarandeerd.

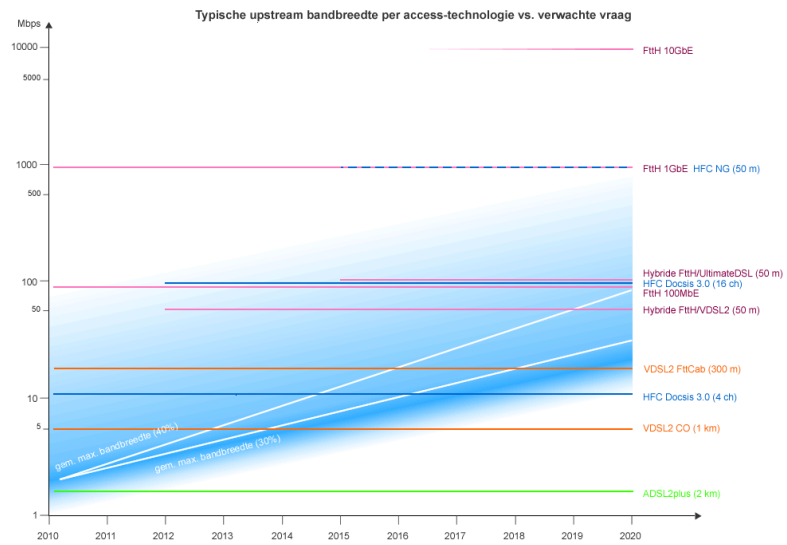
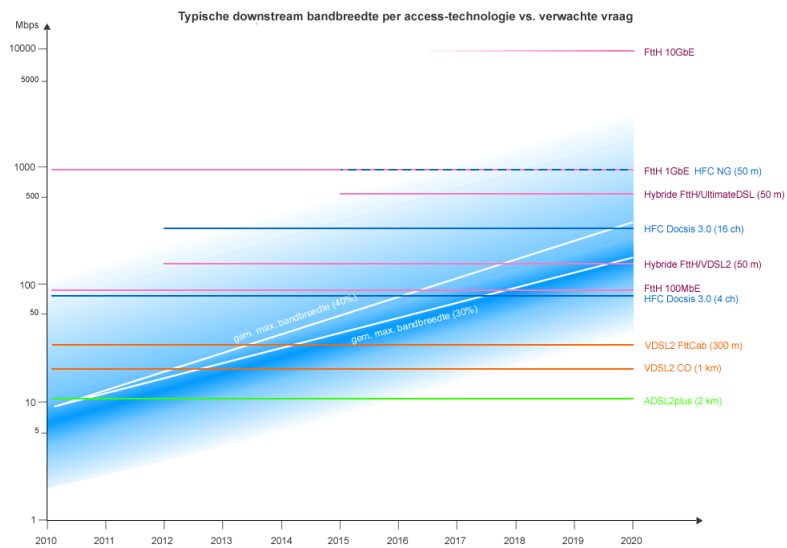
De FttH propositie (via DSL migratie en/of via full fiber implementatie) leunt op de “oneindige bandbreedte” belofte. Dit aspect kan FttH ondanks de kosten van aanleg in de toekomst een belangrijke competitief voordeel geven ten opzichte van HFC. Ook *volledige* symmetrie bij FttH is een *unique selling point* ten opzichte van DSL en HFC.

Relevantie Broadband Wireless Access

Bij dit alles speelt BWA, althans in Nederland, een hoofdrol in mobiel breedband maar het speelt geen rol van betekenis als alternatieve infrastructuuroptie voor vast breedband op grotere schaal. Wel is BWA met de noodzakelijke aansluiting van basis stations van 3G/4G netwerken juist mede verantwoordelijk voor de toenemende capaciteitsvraag op

het vaste aansluitnetwerk. Het verwachte effect van regionale differentiatie kan in het bijzonder nadelig uitpakken voor rurale gebieden. BWA is mogelijk een acceptabel alternatief. Daarvoor zal moeten worden aangetoond of BWA in rurale gebieden een relatief aantrekkelijke bandbreedtepropositie kan bieden op basis van een positieve business case.

Aldus verwachten wij, waarschijnlijk al ruim voor 2020, een vernieuwd landschap waarin HFC, FttH/DSL en FttH/Full Fiber in onderlinge regionaal/lokaal verschillende verhoudingen concurreren. De rol van BWA is en blijft daarin relatief bescheiden en kan wellicht van betekenis blijken voor rurale gebieden waar aanleg/upgrading van vaste aansluitnetwerken zeer kostbaar is.



6 Ondertekening

Delft, 25 februari 2010,

TNO Informatie- en Communicatietechnologie



Ing E. Harreveld
Afdelingshoofd



A.H. van den Ende
namens de auteurs

A Functionele kenmerken aansluitnetwerken: taxonomie

A.1 Capaciteit (datasnelheid)

De technische capaciteit van een netwerk, oftewel de hoeveelheid bits die per tijdseenheid getransporteerd kan worden, is bepalend voor welk dienstenpakket nog geleverd kan worden (het aantal en soort diensten dat nog gelijktijdig aangeboden kan worden).

Vanuit technisch perspectief is het van belang onderscheid te maken tussen twee definities van datasnelheid:

- Piek datasnelheid, d.w.z. de maximale up- of downstream datasnelheid die *kortstondig* door het netwerk kan worden gerealiseerd voor één klant. In de praktijk is deze snelheid gelijk aan de datasnelheid van de link waarmee de gebruiker is verbonden;
- Sustained datasnelheid, d.w.z. de gegarandeerde datasnelheid per klant die langdurig en die onafhankelijk van het gebruik van andere klanten kan worden gehandhaafd.

De technische capaciteit van een aansluitnetwerk lijkt ondubbelzinnig vastgesteld te kunnen worden door de piekdatasnelheid te noemen, maar is dat niet. De piekdatasnelheid kan soms vele malen hoger zijn dan de sustained datasnelheid onder hoge netwerk belasting (gelijktijdige vraag naar vele diensten vanuit verschillende eindgebruikers). Dat heeft verschillende oorzaken:

- *Topologie verschillen*: Sommige oplossingen zijn niet *punt-punt* (P2P) zijn maar *punt-multipunt* (P2MP) uitgevoerd (P2P: ieder zijn eigen verbinding; P2MP: ieder deelt zijn verbinding met andere gebruikers). Oplossingen voor coaxiale koper netwerken (de “kabel”) en draadloze netwerken zijn typische voorbeelden van punt-multipunt (een *shared medium*). Oplossingen voor twisted-pair koper netwerken met (“telefonie” bekabeling) met DSL zijn punt-punt.
- *Dimensioneringsverschillen*: Ook als het aansluitnetwerk punt-punt is uitgevoerd, wordt het verkeer langs een *access multiplexer* gevoerd om gezamenlijk verder afgewikkeld te worden. Doordat niet iedereen gelijktijdig de volle bitsnelheid afneemt, is de bitsnelheid aan de andere zijde van de *access multiplexer* (veel) lager dan de som der maximale bitsnelheden aan de kantzijde. Hier wordt in de dimensionering rekening mee gehouden, door van een zekere overboekingsfactor gebruikt te maken. En als die te krap gedimensioneerd is voor het verkeersaanbod, dan loopt het verkeer daar alsnog op vast.
- *Symmetrie verschillen*: In veel aansluitnetwerken is de transport snelheid naar de eindgebruiker toe (*downstream*) veel hoger dan de transport snelheid van de eindgebruiker af (*upstream*). Die asymmetrie is geen probleem als er veel downstream verkeer is, zoals broadcast video, maar als er ook veel upstream verkeer afgewikkeld moet worden (zoals bij video conferencing) dan loopt het verkeer daarop vast. De koper netwerken met DSL en kabelmodems zijn doorgaans asymmetrisch uitgevoerd; verhoudingen van 6:1 zijn niet ongebruikelijk.

Van belang is dat met de introductie van deze technische parameters beslist niet alles is gezegd over de feitelijk aangeboden capaciteit per individuele aansluiting. Er bestaat ten eerste het fenomeen advertentiecapaciteit, de snelheden waarmee providers proberen de klant te verleiden in- of over te stappen. Aan de advertentiecapaciteit ligt geen formele definitie ten grondslag waardoor aanbiedingen van verschillende partijen feitelijk niet met elkaar zijn te vergelijken, met als gevolg verwarring en misverstanden bij de consument. Door bijvoorbeeld te adverteren met piekdatasnelheid die (onder geringe netwerkbelasting) aan een eindgebruiker leverbaar is kunnen aanbieders suggereren dat de capaciteit van hun oplossing superieur is aan die van een andere oplossing.

Ten tweede kan men spreken van de contractuele capaciteit, d.w.z. de capaciteit (piek en sustained) die de provider bereid is te leveren aan de klant op basis van de gekozen abonnementsvorm. De provider kan met andere woorden technisch mogelijk meer leveren dan hij feitelijk doet, op basis van het afgesloten contract. Providers van capaciteit op basis van een gedeeld concept (de Kabel en mobiele netwerken) richten zich bij capaciteitsdimensionering op de bewaking van de klantperceptie. Door het klantverkeer per cel of segment te monitoren en tijdig netwerkcapaciteit bij te plaatsen kunnen ze ervoor zorgen dat bij een toenemende marktvraag de klant een constante beschikbaarheid ervaart. Capaciteit wordt dus actief gemanaged.

In de analyse blijkt het nuttig te zijn om ten aanzien van aansluitcapaciteit een onderscheid te maken tussen de volgende generaties in breedband access³⁵:

- 1GBB (tot 1 Mbit/s)
- 2GBB (1-10Mbit/s)
- 3GBB (10-100 Mbit/s)
- 4GBB (100-1000 Mbit/s)

Momenteel is 2GBB op zeer grote schaal in Nederland beschikbaar en is de transitie naar 3GBB volop gaande. Lokaal zien we ook al dat de sprong wordt gemaakt naar 4GBB.

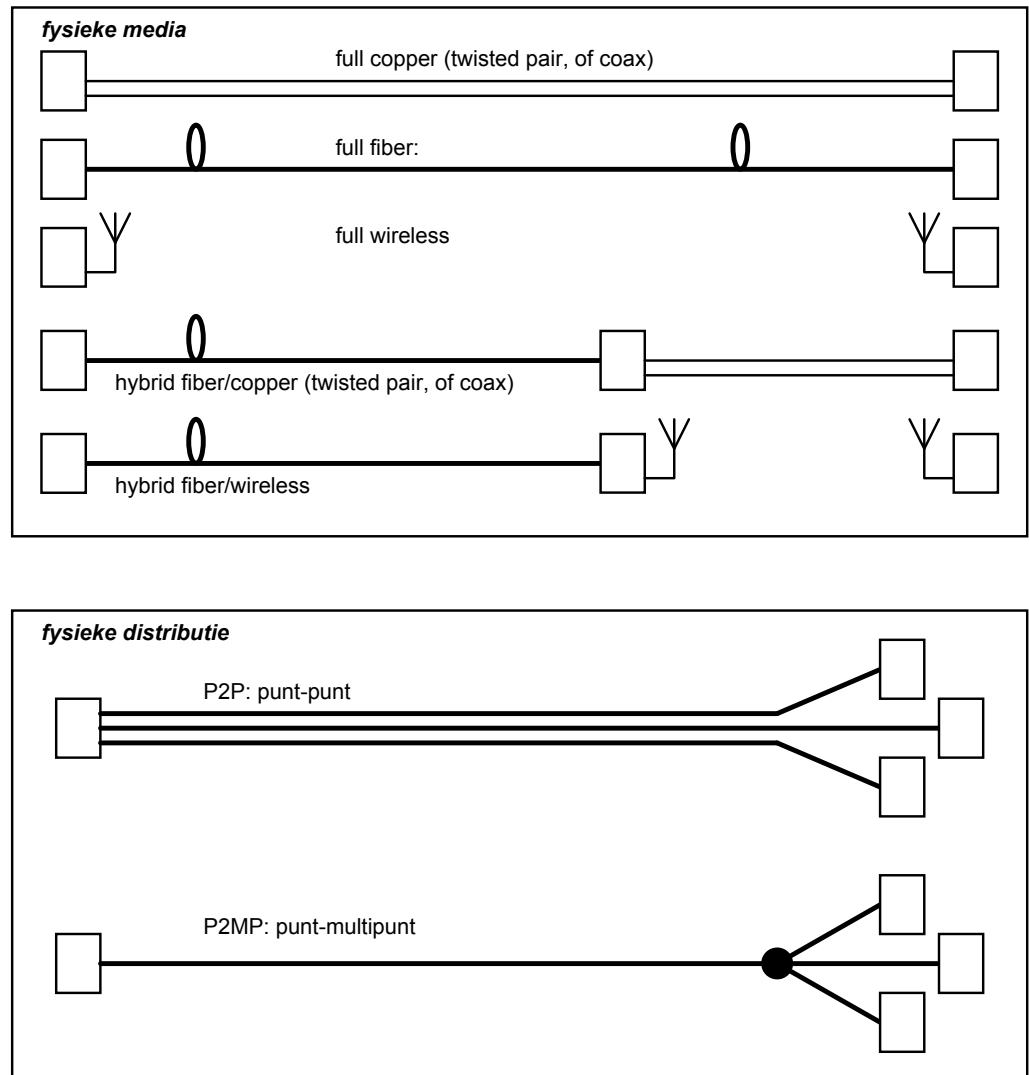
A.2 Topologie

Een belangrijk kenmerk van infrastructuren dat bepaalt in welke mate deze in staat zijn om een bepaalde ‘sustained’ datasnelheid te kunnen realiseren is of het een ‘shared’ medium is of niet. Dit verschil wordt ook wel aangeduid met punt-multipunt of punt-punt.

- *Punt-punt (P2P)*. Iedere eindgebruiker krijgt een eigen signaal aangeleverd en alles blijft gescheiden. Een intrinsieke eigenschap is dat op deze verbinding in het aansluitnetwerk de sustained datasnelheid die de eindgebruiker krijgt gelijk is aan de piekdatasnelheid;
- *Punt-multipunt (P2MP)*. Meerdere eindgebruikers krijgen dezelfde signalen aangeleverd, en de apparatuur van de eindgebruiker “filtert” de desbetreffende data eruit. Het is een ‘shared’ medium. De ‘sustained datasnelheid per eindgebruiker ligt

³⁵ Bron: 4GBB project

hiet altijd lager dan de piekdatasnelheid van de verbinding waarop de eindgebruikers zijn aangesloten.



Figuur A-1: Typen fysieke media in access netwerken (boven) en topologie-opties (beneden)

Enkele praktijk voorbeelden:

- Een volledig verglaasd netwerk is dus een *full fiber* netwerk, en kan zowel *punt-punt* als *punt-multipunt* uitgevoerd zijn. In het eerste geval krijgt ieder zijn eigen vezel; in het tweede geval wordt een vezel aan het “uiteinde” uitgesplitst in afzonderlijke vezels naar iedere woning (bijvoorbeeld een PON, ofwel een passief optisch netwerk).
- Een coaxiaal kabel netwerk is doorgaans een *hybrid fiber/copper* netwerk, en *punt-multipunt* uitgevoerd. De coax kabel wordt vanuit een gemeenschappelijke glasvezel gevoed, maar dicht bij de woningen wordt die kabel uitgesplitst. Het kabel modem “filtert” vervolgens de desbetreffende data eruit.

- Twisted pair DSL netwerken migreren momenteel (2009) van full-copper naar hybrid fiber-copper netwerken, maar het koperdeel is altijd *punt-punt* uitgevoerd.
- Draadloze netwerken zijn bijna altijd punt-multipunt, maar door ze bijvoorbeeld te scheiden in frequentie banden kunnen er meerdere van dit soort netwerken naast elkaar bestaan. De straalverbindingen die vroeger veelvuldig gebruikt werden zijn voorbeelden van draadloze punt-punt verbindingen.

A.3 Bereik (bedekking)

Het bereik van een aansluitnetwerk geeft antwoord op de vraag hoe goed een aansluitnetwerk in staat is om een bepaald gebied met eindgebruikers te bedienen. Daarbij zijn twee vervolgvragen belangrijk:

- *Wat is de geografische afstand die technisch overbrugd kan worden?*
De afstanden die in een bepaalde transportinfrastructuur gehaald kunnen worden is bijna altijd afhankelijk van de gewenste datasnelheid. Naarmate men grotere afstanden wil overbruggen gaat de maximaal haalbare datasnelheid verder naar beneden en vice versa.
- *Kunnen binnen het dekkings- of verzorgingsgebied alle aansluitingen gerealiseerd worden?* Hoewel vaak in eerste instantie niet gelijk iedereen aangesloten wordt op een nieuwe infrastructuur, moet de mogelijkheid aanwezig zijn om volgens een gefaseerde roll-out een bepaald percentage van de gepasseerde huizen aan te sluiten (penetratiegraad).

A.4 Kwaliteit van de verbinding

Iedere dienst heeft zijn eigen kenmerken, en stelt ook zijn eigen eisen aan de kwaliteit die nodig is voor een goede dienstverlening. De benodigde capaciteit is hier maar één onderdeel van. De kwaliteit van de netwerkverbinding heeft vaak een directe invloed op de kwaliteitsbeleving van de gebruiker en is om die reden zeer van belang. Bij gaming bijvoorbeeld is de capaciteit in bit/s minder relevant dan de opgebouwde vertragingstijd in de verbinding. Spraak en videodiensten zijn zeer gevoelig voor variaties in de vertragingstijd. Toepassingen hebben vaak specifieke *quality of service (QoS)* eisen waaraan moet worden voldaan om de gebruiker van de toepassing de gewenste beleving te geven³⁶ of een machine2machine protocol goed te laten verlopen. Quality of service moet *end-to-end* worden beoordeeld (zie ook paragraaf 2.5.1). Toegangsnetwerken zijn een schakel in de end-to-end keten en van belang is dat een aansluitnetwerk de QoS eisen voor de getransporteerde diensten kan ondersteunen. Omdat er ontelbaar veel soorten van diensten zijn, en er nog steeds veel nieuwe bijkomen, is het zinnvoller die diensten te classificeren op grond van de volgende rangorde:

- Mate van *elasticiteit* (elastisch, inelastisch). De mate waarin de oorspronkelijke verkeersstroom aangepast kan worden zonder gevolgen, zoals het uitsmeren over de tijd om de bitsnelheid te verlagen.

³⁶ De invloed van netwerk kwaliteit (QoS: quality of service) op de kwaliteitsperceptie van eindgebruikers is met speciale geïjkte software tools redelijk objectief vast te stellen, waardoor de netwerkqualiteit meetbaar is geworden.

- Mate van *interactiviteit* (interactief, niet-interactief). De mate waarin de gebruiker een snelle reactie verwacht op grond van wat deze invoert.
- Mate van *symmetrie* (symmetrische, asymmetrisch). De mate waarin de hoeveelheid informatie naar de gebruiker toe (een videobeeld) en van de gebruiker af (een paar muisklikken) verschillen.
- Benodigde *beschikbaarheid* (standaard, high). De mate waarin het relevant is dat wanneer een verbinding is opgebouwd, deze ook zonder onderbrekingen en/of fouten functioneert. Bij een elastische dienst (zoals e-mail) kan fout ontvangen informatie gewoon weer opnieuw uitgezonden worden, maar bij een inelastische dienst (bijvoorbeeld telefonie) kan dat niet.
- Benodigde *capaciteit* (laag of smalbandig, hoog of breedbandig). De hoeveelheid informatie die heen en weer wordt gestuurd.
- Variatie in bitsnelheid (Constance bitsnelheden CBR, variabele bitsnelheden VBR)

De belangrijkste classificatie van diensten wordt door de eerste twee niveaus bepaald:

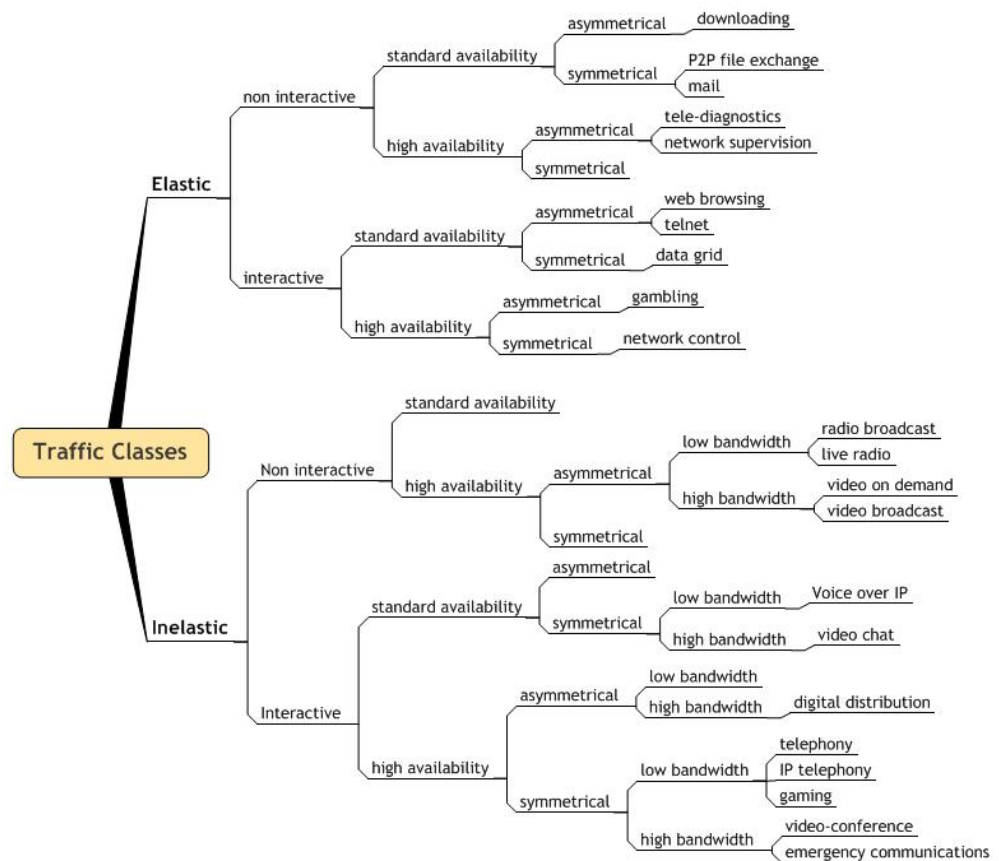
- *Elastische, niet-interactieve, diensten* worden ook wel *best-effort* diensten genoemd. Voorbeelden zijn e-mailen en downloaden. Het mag gerust minuten lang vertraagd worden, als het er maar ooit eens komt.
- *Elastische, interactieve, diensten* worden ook wel *transactionele* diensten genoemd. Voorbeelden zijn webbrowsing; enige vertraging is toegestaan, zolang het maar niet te lang duurt.
- *In-elastische, niet-interactieve, diensten* worden ook wel *streaming* diensten genoemd. Voorbeelden zijn broadcast radio en –video. Het mag een constante factor in tijd vertraagd worden, om geluid en beeld zonder haperen af te kunnen leveren, zolang die tijdsvertraging vertraging maar acceptabel is.
- *In-elastische, interactieve, diensten* worden ook wel *real-time* diensten genoemd. Voorbeelden zijn video conferentie of telefonie, maar ook gaming.

Figuur A.2 geeft bovengenoemde taxonomie weer, met voorbeelden van bijpassende diensten.

De relevantie van bovengenoemde classificatie is dat sommige aansluitnetwerken matig of ongeschikt zijn voor sommige klassen van diensten. Een netwerk kan sterk asymmetrisch ontworpen zijn, en daardoor heel geschikt voor *broadcast video* zijn, maar dat is niet handig voor *video conferencing* van gelijksoortige kwaliteit.

Ook kunnen netwerken soms veel tijdvertraging veroorzaken tussen bron en ontvanger (ook wel *latency* genoemd). Dat is belemmerend voor interactieve diensten zoals telefonie en (wederom) videoconferencing. En als die netwerken zo zijn ingesteld dat ze hun data onder minder tijdsvertraging kunnen afleveren, dan kunnen ze weer gevoeliger worden voor verkeersdrukte en/of elektrische verstoringen van buitenaf. En dat gaat dat weer ten koste van hun beschikbaarheid waardoor video diensten hinderlijke *glitches* vertonen, of het beeld soms zelfs seconden lang bevroren is.

Andere netwerken zijn weer sterk gevoelig voor variabele belasting waardoor soms de benodigde bitsnelheid (tijdelijk) niet leverbaar is. Dat is weer heel belemmerend voor *streaming* diensten.



Figuur A-2: Onderverdeling in typen verkeer met voorbeelden (bron:)

Technisch gesproken gaat QoS in essentie over wachtrijen voor pakketjes. Op de transmissie laag (laag 1) is de capaciteit van de verbinding belangrijk: als deze zeer groot is, dan ontstaan er geen wachtrijen. Indien er capaciteitsbeperkingen zijn, dan is het van belang dat pakketten met prioriteit in ieder geval op tijd worden afgehandeld. Is dit op laag 2 (Medium Access) niet of niet goed geregeld dan kunnen afhankelijk van het verkeersaanbod QoS issues ontstaan. Voor de beschouwde toegangsnetwerken geven we aan of in technische zin sprake is van QoS ondersteuning op laag 2. Laag 3 (IP) valt buiten de scope van toegangsnetwerken. In de operationele praktijk hangt de kwaliteit van de dienstverlening nauw samen met het netwerkcapaciteitsbeheer. Een aanbieder moet ervoor zorgen dat het netwerk voldoende capaciteit heeft om de gevraagde capaciteit te leveren. Indien er een capaciteittekort is, zal dit onherroepelijk tot een degradatie van de dienstverlening leiden, hetzij in de vorm van een verminderde beschikbaarheid, hetzij in de vorm van een verminderde dienstkwaliteit.

De invloed van netwerk kwaliteit (QoS: quality of service) op de kwaliteitsperceptie van eindgebruikers is redelijk objectief vast te stellen. Er bestaan software tools, die werken met gestandaardiseerde algoritmen, die de perceptie van kwaliteit in een getal kunnen uitdrukken. Ze zijn geïkht met opiniecijfers van duizenden testgebruikers (de

MOS waarde, Mean-opinion Score), waardoor de netwerk kwaliteit meetbaar is geworden.

A.5 Mobiliteit van eindgebruikers

De verschillende breedband toegangsnetwerken (vast en draadloos) ondersteunen in verschillende mate mobiliteit van eindgebruikers. Mobiliteit betekent dat eindgebruikers, die aansluiting tot een communicatienetwerk zoeken en onderhouden, dat niet steeds vanaf dezelfde fysieke lokatie doen.

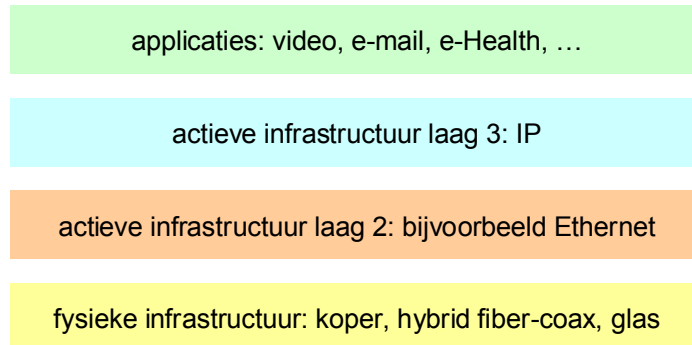
In principe zijn er drie verschillende niveaus van ondersteuning van mobiliteit van eindgebruikers:

- 1) *Vast*: netwerk toegang is mogelijk alleen op een vaste locatie en zodra de eindgebruiker zich verplaatst naar een andere locatie is de verbinding met de netwerk verloren.
- 2) *Nomadisch*: de eindgebruiker kan zich verplaatsen naar een andere locatie en aldaar opnieuw toegang krijgen tot de telecommunicatie diensten waarop hij zich heeft geabonneerd. De twee locaties kunnen dicht bij elkaar zijn gelegen (bijv. binnen een groot gebouw of campus, binnen een stad centrum, luchthaven, etc.) of juist ver uit elkaar (bijv. twee bedrijfsvestigingen in verschillende steden). Typisch voor dit soort mobiliteitondersteuning is dat het netwerk niet (volledig) toegankelijk is tijdens de verplaatsing.
- 3) *Mobiel*: de eindgebruiker kan zich vrij verplaatsen van de ene naar de andere locatie zonder de netwerktoegang of de dienstverlening te verliezen. De snelheid van de eindgebruiker waarbij nog netwerktoegang mogelijk is, is aan een limiet gebonden. Bijvoorbeeld 2G- and 3G-draadloze netwerken werken tot snelheden van 300 km/h maar met beperkte datasnelheid.

In de uitgevoerde karakterisering, waarin de aandacht vooral is gericht op vaste netwerken, is het mobiliteitskenmerk niet verder meegenomen.

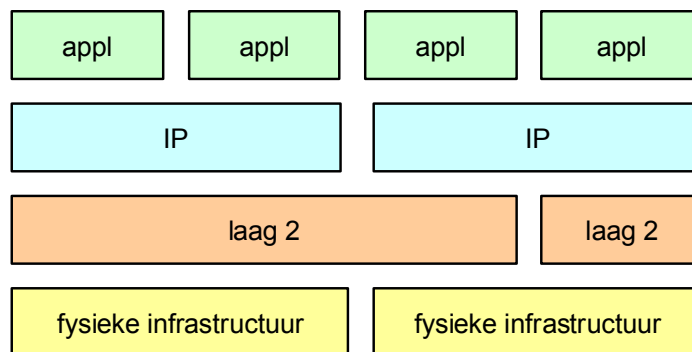
A.6 Openheid

Bij het beoordelen van breedbandinfrastructuren wordt vaak ook de zogenaamde openheid in aanmerking genomen. Kenmerkend voor openbare breedbandinfrastructuren is dat er een veelheid aan diensten van verschillende dienstverleners geleverd kan worden over één infrastructuur. Deze vorm van openheid ontstaat door de van oorsprong technische ont koppeling die in de infrastructuur is aangebracht tussen de applicaties en de IP (Internet Protocol) laag. Naast deze scheiding zijn er nog andere plaatsen in de zogenaamde protocol stack waar technisch gesproken een ont koppeling kan plaatsvinden, zie figuur A-3.



Figuur A-3: Ontkoppeling tussen lagen in de protocolstack

Door deze ont koppelingen ontstaat een openheid in de breedband waardeketen: meerdere dienst aanbieders kunnen hun diensten leveren over de IP netwerken van meerdere ISPs, die weer gebruik kunnen maken van meerdere fysieke infrastructuren, zie figuur A-4. Uiteraard blijft het mogelijk dat één aanbieder zowel de dienst, de actieve infrastructuur en de passieve infrastructuur levert. In de Nederlandse praktijk zijn ook niet alle mogelijke ont koppelingen daadwerkelijk ontstaan. Commerciële overwegingen en in een aantal gevallen ook regelgeving zijn sterker bepalend voor de ont koppelingen die daadwerkelijk ontstaan dan de puur technische mogelijkheden.

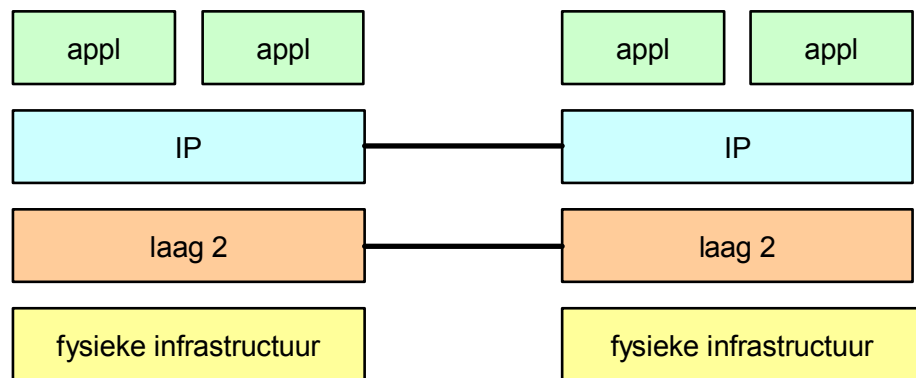


Figuur A-4: Openheid faciliteert meerdere diensten en toepassingen over verschillende fysieke infrastructuren

De ont koppeling tussen applicaties en de IP-laag zorgt ervoor dat klanten met een willekeurig internet abonnement gebruik kunnen maken van alle applicaties die op het internet beschikbaar zijn. Dit is niet alleen belang voor klanten, die hiermee kunnen kiezen tussen een groot aantal onderling concurrerende applicatieaanbieders, maar ook voor de applicatieaanbieders die over IP een wereldwijd publiek en schaal kunnen bereiken. Ontkoppelingen op de lagere lagen kunnen zorgen voor concurrentie tussen netwerkaanbieders. Een voorbeeld hiervan is de concurrentie tussen de verschillende ISPs (XS4All, KPN, Tele2, Online, ...) die allemaal ISP diensten bieden over het KPN

kopernet. Dit is een vorm van infrastructuurconcurrentie: er ontstaan verschillende Ethernet en IP netwerken bovenop een gedeelde fysieke infrastructuur. In Nederland bestaat daarnaast ook nog een vollediger vorm van infrastructuurconcurrentie, waarbij de ISPs op het KPN kopernetwerk concurreren met de ISPs van de kabelbedrijven op de kabel.

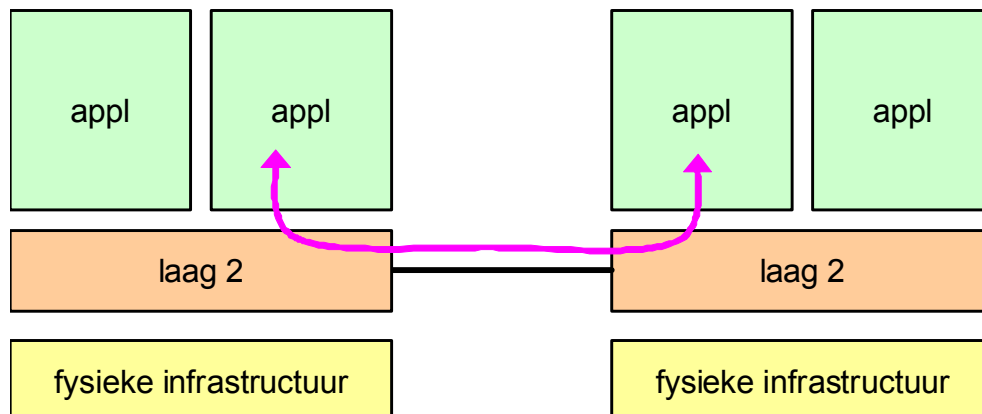
Naast de hierboven beschreven openheid die ontstaat door ont koppeling van horizontale lagen in de infrastructuur is voor de breedbandmarkt ook nog een andere soort openheid van groot belang: interconnectie. Bij interconnectie worden verbindingen gemaakt tussen infrastructuren op hetzelfde niveau in de gelaagde breedbandinfrastructuur, zie figuur A-5.



Figuur A-5: Interconnectie: koppeling van infrastructuren op gelijk niveau (laag 2 of 3)

Door de zogenaamde *peering* (en daarnaast ook *IP transit*) tussen publieke IP netwerken ontstaat het wereldwijde internet. Doordat deze IP netwerken verbonden zijn, kunnen klanten die op verschillende IP netwerken zijn aangesloten elkaar e-mails sturen. Daarnaast hoeft een dienst aanbieder maar op één IP netwerk te zijn aangesloten om toch aan alle klanten op het publieke internet zijn diensten te kunnen aanbieden.

Het verbinden van netwerken op IP-niveau is wijdverbreid. In een aantal gevallen is het gewenst om de koppeling op een lager niveau, op laag 2, uit te voeren, bijvoorbeeld als er diensten zijn die geen gebruik maken van IP maar direct van Ethernet gebruik maken, zie figuur A-6.



Figuur A-6: Koppeling tussen infrastructuren op laag 2

A.7 Kostenaspecten

Naast het beoordelen van verschillen tussen infrastructuren op technologisch vlak dienen ook de verschillen in kosten en kostenontwikkeling in ogenschouw genomen te worden. Een oplossing voor breedband kan technologisch superieur zijn in datasnelheid, maar als de kostenaspecten een groot obstakel vormen dan zal een andere technologie (met lagere bitsnelheden) snel het aanbod gaan domineren.

Ten aanzien van kosten dient onderscheid gemaakt te worden tussen de initiële investering (Eng: CAPEX) die noodzakelijk is om een nieuwe accessvorm aan te bieden, en de terugkerende operationele kosten (OPEX) die een aansluitoptie met zich meebrengt. Om de investeringen, waar in dit onderzoek met name naar is gekeken, goed met elkaar te vergelijken is begrip van een aantal dwarsdoorsnedes vereist. De investering die nodig is om een verbinding over een nieuwe aansluitoptie te leveren valt uiteen in:

- investeringen in het netwerk (openbreken van straten, trekken van kabels tot aan straatkast of tot in de meterkast, plaatsen van straatkasten, etc.)
- investeringen in apparatuur in het netwerk (DSLAM, CMTS, versterkers, ODF, xWDM, noodstroomvoorziening, etc)
- investeringen in apparatuur bij de klant thuis (ONT/FTU, modem)

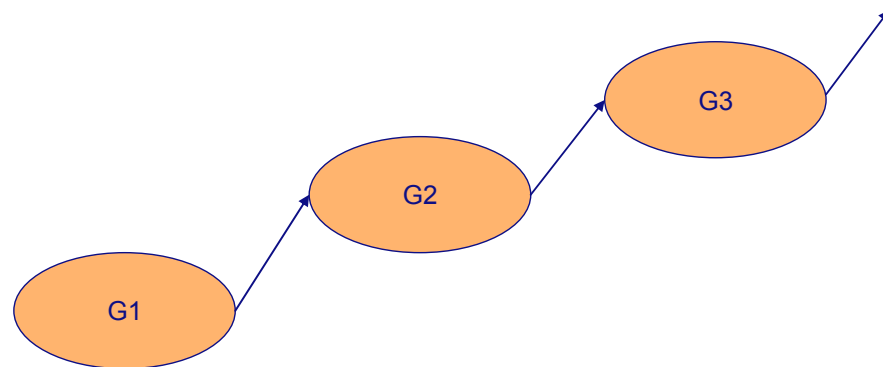
Er bestaan 3 niveau's waarop deze investeringen gepleegd worden:

1. *Home passed*: het aansluitnetwerk is aangelegd tot aan de erfgrans van een klant
2. *Home connected*: het aansluitnetwerk is tot in de woning van de klant afgemonteerd
3. *Home activated*: de klant kan diensten ontvangen over het aansluitnetwerk doordat een modem/router is geïnstalleerd bij de klant en deze een abonnement bij een ISP afneemt.

Per aansluitoptie zal kwalitatief en waar mogelijk kwantitatief inzicht worden gegeven in dergelijke aspecten.

A.8 Migratiepotentie

Met migratiepotentie wordt bedoeld de mogelijkheden van een bepaald type aansluitnetwerk om mee te kunnen groeien met een toenemende of veranderende vraag naar connectiviteit (zie figuur A-7). Migratiepotentie is geen functioneel kenmerk als zodanig maar in het licht van dit onderzoek is het wel een belangrijk aspect. Per type aansluitnetwerk wordt uit de eerder beschreven functionele kenmerken en daarin verwachte ontwikkelingen de migratiepotentie aangegeven.



Figuur A-7: Mogelijkheden voor een bepaald type aansluitnetwerk om technologisch mee te groeien met de verandering van de vraag.

B Aanbodzijde: ontwikkeling van het telefonienetwerk

B.1 Inleiding

Het twisted-pair koper netwerk is het aansluitnetwerk dat ooit is aangelegd ten behoeve van analoge telefonie en waarvan het aansluitnetwerk bestond uit zeer grote aantallen koperen aderpennen die in gebundelde vorm in de nummercentrales ontsprongen en naar huizen en bedrijven waren aangelegd. Tot ver in de tachtiger jaren waren via dit koperen aansluitnetwerk uitsluitend telefonie-, telex- en facsimiele diensten mogelijk, alsmede smalbandige datacommunicatie tussen computers d.m.v. analoge spraakband modems. De digitalisering van de centrales was in de tachtiger jaren van de vorige eeuw in volle gang en aan het einde van dat decennium werd dat voor de abonnees merkbaar met de introductie van ISDN (Integrated Services Digital Network). ISDN bood een volledig op digitale transmissie gebaseerde huisaansluiting, samengesteld uit twee separate digitale spraak kanalen (2xB: ieder 64 kbit/s) en nog een datakanaal (D: 16 kbit/s). ISDN bood in de negentiger jaren een sneller alternatief voor de analoge modems om verbinding met het Internet te maken. Organisaties in het zakelijke segment hadden voor hun bedrijfscentrales en computerverbindingen de mogelijkheid van een HDSL aansluiting, goed voor 2 Mbit/s.

Rond 1999 is voor de consumentenmarkt ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) geïntroduceerd. ADSL en de daaropvolgende generaties met steeds hogere datasnelheden (ADSL2, ADSL2+) kon tegen betaalbare tarieven aan de consument worden aangeboden en heeft de ontwikkeling van breedband in Nederland ook een flinke boost gegeven. Rond 2001 is het aansluitnetwerk ontbundeld om meerdere DSL operators toegang te verlenen, en dat heeft de concurrentie in gang gezet wat extra heeft aan de introductiesnelheid heeft bijgedragen³⁷. Gezien het oprukkende glas in dit aansluitnetwerk spreekt men al geruime tijd over het hybrid copper/fiber netwerk.

B.2 Het twisted-pair kopernetwerk; DSL

B.2.1 Topologie

Vanuit een hoofdverdeler in een centrale vertrekken er dikke koperen distributie kabels naar de eindgebruikers toe. Die distributie kabels bestaan in Nederland in de meeste gevallen uit 900 koperen aderpennen, en vertakken zich gaandeweg (via kabels van 300, 100 of minder aderpennen) totdat een aderpaar bij een eindgebruiker is afgeleverd. Meestal zit er nog een kabelverdeler in een straatkast tussen, en soms zelfs twee straatkasten (in cascade). Voor hele korte afstanden wordt zo'n straatkast soms overgeslagen.

Iedere eindgebruiker heeft minimaal één eigen koperen aderpaar tot zijn beschikking, maar in een significant aantal gevallen is er zelfs sprake van meerdere aderpennen en/of reserve aderpennen die door tussenkomst van een monteur beschikbaar gesteld kunnen worden. Zo'n aderpaar wordt ook wel 'twisted pair' genoemd, aangezien het hier twee

³⁷ In 2007 gevolgd door OPTA-richtlijnen voor subloop ontbundeling.

B.2.3 *Elektrisch ontwerp*

De spraakband, waar dit netwerk oorspronkelijk voor bedoeld was, loopt in het electromagnetische spectrum van 300Hz tot 3 kHz. Het twisted-pair koper netwerk wordt nu dus ook gebruikt voor doorgifte van digitale signalen. De daarvoor ontwikkelde DSL technologie maakt gebruik van frequenties tot ver boven de oorspronkelijke analoge spraakband, afhankelijk van de gekozen DSL- technologie. De elektrische eigenschappen van de bekabeling (demping, overspraak koppeling, aantal+soort van DSL-systemen in dezelfde kabel) en de spectrale eigenschappen van het uitgezonden DSL signaal hebben grote invloed op de maximale bitsnelheid die nog betrouwbaar kan worden getransporteerd. Hoe breder het gebruikte signaal spectrum is, des te hoger de haalbare capaciteit zou kunnen zijn. De huidige DSL- modems worden vanuit de centrale gevoed, maar nieuwe generatie modems (VDSL2) zijn juist ontworpen om ook vanuit een straatkast uitgerold te kunnen worden.

B.2.4 *Apparatuur aan netwerk- en eindgebruiker zijde*

Aan de netwerzijde zijn in de centrale (of in straatkasten) zogenaamde DSL Access Multiplexers (DSLAMS) opgesteld, welke worden gevoed vanuit het IP core netwerk. De DSLAMs zetten per individuele aansluiting het DSL-protocol en signaal in de juiste frequentieband op het betreffende aderpaar (toegevoegd aan het telefoniesignaal). Aan de zijde van de eindgebruiker wordt het telefonie en DSL-signaal weer gescheiden met een frequentie splitter, waarna het DSL-signaal aan een DSL-modem wordt aangeboden. Als analoge telefonie niet gelijktijdig geleverd hoeft te worden, is een splitter niet nodig, en kan DSL ook die frequentiebanden gebruiken.

DSL modems passen zich aan de kabeleigenschappen aan, waardoor ze altijd bijna het theoretisch maximum kunnen halen uit hetgeen nog net fysisch mogelijk is binnen een beschikbare frequentie band. Anders gezegd, ze werken dicht tegen een fysische limiet aan die de Shannon limiet heet. Dit kenmerk vertaalt zich in het volgende karakteristieke DSL gedrag: *hoe korter* de koperlijn (minder demping), *en hoe beter* de kwaliteit van een aderpaar (minder overspraak koppeling), *des te hoger* de maximale bitsnelheid zal zijn die een DSL modem nog betrouwbaar kan transporteren. Zo'n modem kan tijdens het opstarten autonoom bepalen tot welke bitsnelheid hij nog betrouwbaar kan functioneren ("rate adaptive" gedurende het opstarten).

B.3 **Capaciteit en bereik**

Gezien het feit dat bij DSL capaciteit en bereik (dekking) onlosmakelijk met elkaar zijn verbonden, komen beide aspecten integraal aan bod in de navolgende beschouwing.

B.3.1 *Enkele beginselen*

Haalbare datasnelheden - zijn in het geval van DSL van heel veel factoren afhankelijk. Ten eerste is de *lengte* van de koperlijn waarover het DSL-signaal loopt van invloed. Kortweg kan men stellen dat hoe langer de koperlijn is, hoe lager de maximaal haalbare datasnelheid. Ten tweede is de kwaliteit van een aderpaar van belang in termen van overspraak. Een distributie kabel bevat in Nederland meestal 900 aderen. Al die aderen storen elkaar enigszins (overspraak), en dat gaat ten koste van de maximaal haalbare datasnelheid op de individuele aderen. Ten derde is van invloed hoeveel systemen er gelijktijdig gebruik maken van de verschillende aderen in dezelfde kabel. Hoe zwaarder een bundel is belast met DSL-verkeer (ongeacht van welke

provider) des te groter de onderlinge overspraak en des te lager de maximaal haalbare datasnelheid. En doordat signaaldemping toeneemt met de lengte van een aderpaar, wordt de invloed van die overspraak sterker, en neemt de haalbare bitsnelheid af met de lengte van het aderpaar en met het aantal DSL-systemen in dezelfde kabel. Zonder topologie-aanpassingen in het aansluitnetwerk loopt DSL daarom tegen een maximale penetratiegrens aan.

Omdat er ook nog eens heel veel *spreiding* zit in de overspraak koppeling tussen de aderparen, gaat de haalbare bitsnelheid via een bepaald aderpaar eveneens gepaard met heel veel spreiding. In een zeer extreem geval kan het zelfs voorkomen dat een eindgebruiker 22 Mbit/s via ADSL2+ geleverd kan krijgen, terwijl zijn buurman (ander aderpaar, even lang maar van “slechte” kwaliteit) niet meer dan 1 Mbit/s geleverd kan krijgen. Met de bekende postcode check kunnen consumenten bepalen welke capaciteit op hun adres haalbaar is. Dekking en capaciteit zijn derhalve direct aan elkaar gerelateerd.

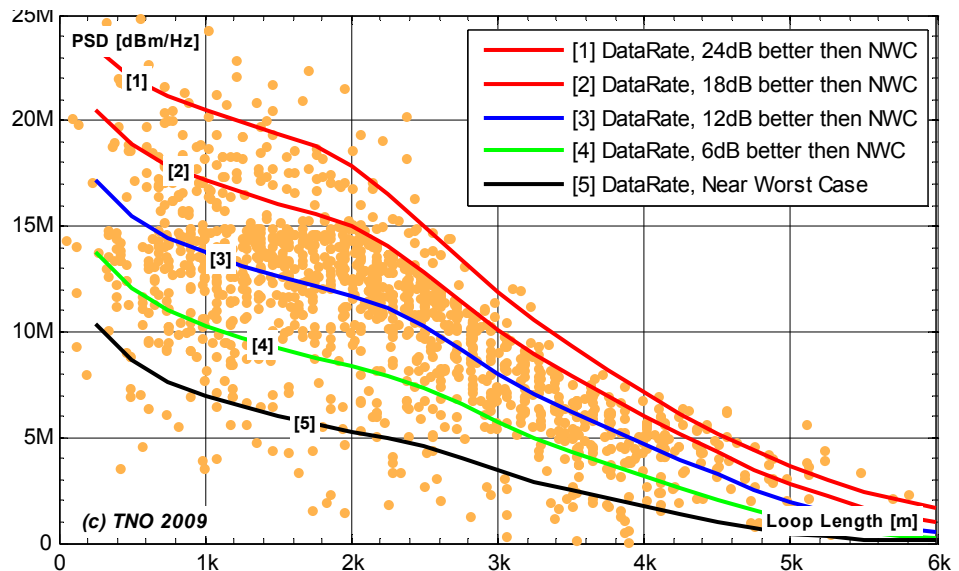
Het is daarom tamelijk betekenisloos te spreken van *de* haalbare capaciteit voor een bepaalde DSL technologie. In praktijk is er eerder sprake van een “puntenwolk” waarvan de bitsnelheden ook nog eens zwak gecorreleerd zijn met de koper lengte (zie figuren verderop in deze paragraaf). Men kan vooraf hooguit statistische uitspraken doen en achteraf monitoren wat het precies geworden is, wat ook gebeurd is voor 1 miljoen lijnen voor het aanmaken van de figuren in dit rapport. Men kan daarom beter spreken van een *generatie* breedband diensten (2GBB, 3GBB, 4GBB) die met een bepaalde DSL-technologie goed te bedienen is.

Symmetrie - Spectrale keuzes uit het verleden hebben ervoor gezorgd dat de datasnelheden van ADSL en VDSL beide sterk asymmetrisch zijn. De downstream bitsnelheden zijn daardoor doorgaans veel hoger dan de upstream. Voor SDSL zijn andere keuzes gemaakt, waardoor ze symmetrisch in bitsnelheid zijn. In tegenstelling tot ADSL en VDSL verandert bij SDSL de breedte van het zendspectrum met de bitsnelheid. Dit beperkt echter ook hun gebruik, want ze gaan ADSL onevenredig verstoren als de datasnelheid (per aderpaar) te groot gekozen wordt voor een gegeven afstand.

B.3.2 *Huidige capaciteit van DSL-technologie*

In Nederland zijn de eerste en tweede generatie breedband (1GBB, tot 1Mbit/s) (2GBB, 1-10 Mbit/s) al grootschalig gerealiseerd. De grootschalige introductie van eerste generatie breedband via twisted-pair verliep via spraakband modems, via ISDN modems en later via de eerste ADSL modems. Alles verliep via bestaand koper, maar de beschikbare capaciteit van dat koper werd toen nog niet benut. Momenteel (2009) is tweede generatie breedband via twisted-pair grootschalig uitgerold in Nederland. De oplossing verloopt nog steeds volledig via bestaand koper, van centrale naar de eindgebruiker, maar ditmaal worden alle technische mogelijkheden daartoe ook daadwerkelijk benut. ADSL, ADSL2 en ADSL2plus zijn de DSL technologieën die voor het leveren van een 2GBB dienstenpakket aan de consumentenmarkt is ontwikkeld. In Nederland waren in september van 2009 in totaal 3.5 miljoen DSL-aansluitingen (Bron: Telecom paper). Dit betreft vrijwel volledig 2GBB technologie.

Ter illustratie is in onderstaande figuur aangegeven welke snelheden met ADSL2+ kunnen worden bereikt, voor verschillende aderpaarcondities. Dit zijn metingen gebaseerd op pakweg 1 miljoen operationele ADSL-verbindingen. Verticaal is de gerapporteerde haalbare datasnelheid uitgezet in Mbit/s, horizontaal de lengte van de local loop.

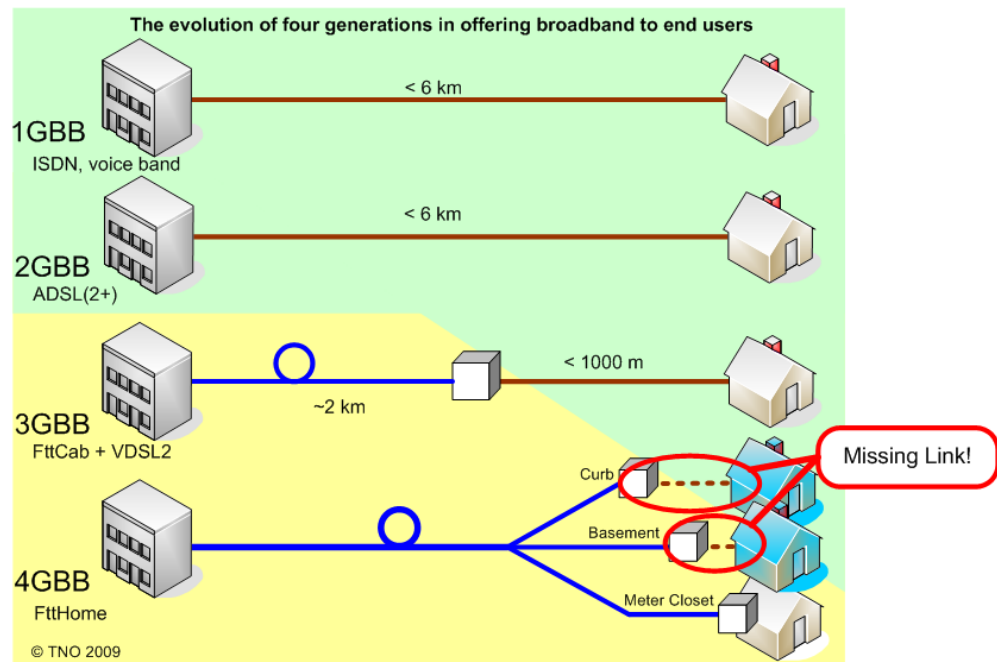


Figuur B-6-2: Gemeten datasnelheid bij ADSL2+ als functie van de local loop lengte, voor verschillende condities van de aderparen. Bron: TNO

B.3.3 Verdere capaciteitsverhoging - potentie

Gegeven de hiervoor besproken karakteristieken van DSL vergt de migratie van het twisted-pair koper netwerk, om het geschikt te maken voor hogere datasnelheden dan vandaag, een belangrijke topologische verandering. Die komt er op neer dat door DSL-apparatuur "halverwege te plaatsen en het resterende deel via bestaand koper af te leggen de aderparen worden verkort en dat de bundeldichtheid wordt verkleind. In combinatie hiermee kan het spectrum worden verbreed. Overigens geldt voor dat laatste wel dat hoe hoger de frequenties is des te moeilijker het wordt die door te geven. Daarom zit er al snel een bovengrens aan de verbreding van het spectrum voor een gegeven koperlengte, en dus aan de hoogte van de haalbare capaciteit. Verbreding van het spectrum levert steeds minder winst op, tot op een punt waar het niet meer de moeite loont.

Door de combinatie van gedeeltelijke en steeds verder door te voeren verglazing, in combinatie met de verbreding van het spectrum kunnen nog zeer substantiële migratiestappen worden gezet. De migratie van het twisted-pair koper netwerk zal daarom ook langs deze lijnen verlopen, zoals symbolisch is weergegeven in onderstaande figuur, en hieronder wordt toegelicht.



Figuur B-6-3: Voorziene migratie van het voormalige telefonienetwerk

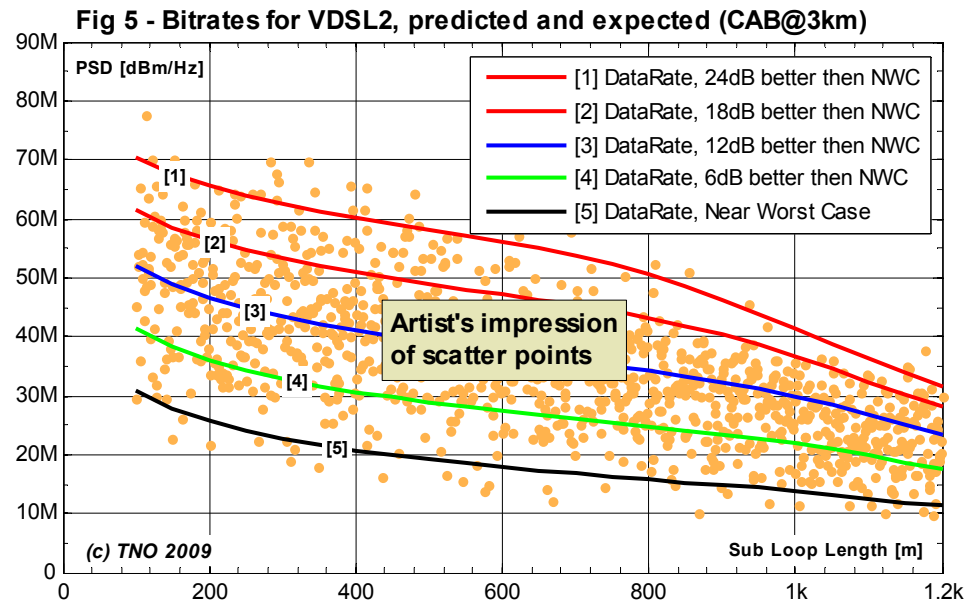
In de topologie voor 4GBB is het dan eerder een FttH topologie waarbij de laatste 20-200 meter via bestaand koper wordt afgelegd, dan een DSL-topologie waarbij ook nog wat vergraasd is.

B.3.4 Verhogen van de capaciteit – migratie naar 3^e generatie breedband (3GBB)

De transitie naar het kunnen leveren van een derde generatie breedband diensten pakket (3GBB, 10-100 Mbit/s) via twisted-pair is inmiddels in gang gezet. Daarvoor moest de koperafstand verkort worden, als onderdeel van een hybride glas-koper oplossing. Dat wordt mogelijk door DSL vanuit straatkasten te gaan uitrollen. Vanaf dat punt is immers 90% van Nederland binnen 1 km koperafstand bereikbaar via bestaand koper. Dit twisted-pair traject wordt de *sub loop* genoemd. Er moet dan wel eerst glas gelegd worden naar de betrokken straatkasten, voeding voor de betrokken DSL-apparatuur worden aangelegd, en de kasten worden vergroot om DSL-apparatuur te kunnen bijplaatsen. Hiermee ontstaat dus een FttCab scenario (Fiber-to-the-Cabinet).

VDSL2 is de DSL-technologie die voor deze toepassing is ontwikkeld. Op dit moment (2009) heeft KPN al diverse veldproeven met VDSL2 gehouden, en al veel straatkasten voorbereid voor plaatsing van VDSL2. Een grootschalige markt introductie zal daarom niet lang op zich laten wachten. Andere DSL-operators zijn later begonnen en hebben al markt aankondigingen gedaan. Naar verwachting zal het gebruik van VDSL2 een sterke groei ondergaan, zowel in Nederland als mondiaal, afhankelijk van de werkelijke marktvraag naar een 3GBB dienstenpakket waar dit soort bitsnelheden voor nodig zijn. Een klein deel van de eindgebruikers (ca 15-20%) woont binnen 1 km koperafstand van de centrale, en voor hen zal VDSL2 vanuit de centrale hetzelfde gaan bieden als VDSL2 vanuit de straatkast voor de rest van Nederland.

De figuur hieronder geeft een schatting van de downstream bitsnelheden die verwacht worden vanuit de straatkast. De upstream bitsnelheid is vele malen lager. Het spectrum van VDSL2 is opgedeeld in strikt gescheiden banden voor up en downstream signalen, en mag niet meer dan 12 MHz bedragen. Dit is om redenen van Spectraal Management, en wordt hier niet verder toegelicht. De standaard kent ook varianten tot 30MHz, maar het 30 MHz spectrum is niet toegestaan in de subloop.



Figuur B-6-4: *Artist impression van de datasnelheid bij ADSL2+ als functie van de local loop lengte, voor verschillende condities van de aderparen. Bron: TNO*

Op dit moment (2009) is er ook sprake van het uitrollen van VDSL2 vanuit de centrale (local loop). De bitsnelheid zal dan iets lager uitpakken dan hierboven is weergegeven en alleen geschikt zijn voor klanten die heel dicht bij de centrale wonen.

De DSL-systemen voor de sub loop zullen straks met name derde generatie breedband (3GBB, 10-100 Mbit/s) grootschalig mogelijk gaan maken.

B.3.5

Verhogen van de capaciteit – migraties naar 4^e generatie breedband (4GBB)

De transitie naar het kunnen leveren van een vierde generatie breedband diensten pakket (*4GBB, 100-1000 Mbit/s*) via twisted-pair vereist nog kortere koper afstanden en daarom is een FttH scenario voor dit soort snelheden onvermijdelijk (Fiber-to-the-Home). Maar FttH wil niet noodzakelijkerwijs zeggen dat de glasvezel dan ook tot helemaal *in* de woning moet worden doorgetrokken (bijvoorbeeld tot in de meterkast). Het kan namelijk ook als “to the stoeptegél”, of “to the voorgevel”, of als “to the fietsenkelder” uitgevoerd worden. In dat geval zou de laatste 20-200m ook via bestaand twisted-pair koper afgewikkeld kunnen worden. De daarvoor beoogde technologie wordt aangeduid met Ultimate DSL en bevindt zich nog in een onderzoeksstadium. Echter met de huidige 30 MHz VDSL2 varianten is deze topologie nu ook al mogelijk (100-200 Mbit/s over 50m koper).

In bepaalde scenario's, vooral in bestaande bouw, kan een dergelijk hybride scenario kostenbesparend zijn in vergelijking tot een algehele FttH oplossing. De besparing zit dan met name op de installatiekosten. Een voorbeeld zijn de woonblokken, met bovenwoningen, die veelvuldig in grote steden voorkomen. In plaats van glas door te trekken naar al die afzonderlijke bovenwoningen, langs alle verdiepingen, is het in die gevallen ook mogelijk de bestaande telefonie bekabeling op te graven, door te knippen, er opto-elektrische apparatuur te plaatsen en vervolgens weer in te graven.

Bij de uitrol van een FttH oplossing kan men dan per huizenblok de afweging maken of het laatste stuk full-fiber of hybride glas-koper uitgevoerd moet worden. In eerste instantie kan dan voor de benodigde hogere bitsnelheden VDSL2 gebruikt worden, maar dan in een variant met het breedste spectrum (de VDSL2 standaard voorziet nu al in varianten met spectra tot 30 MHz). Bovendien is er in dat laatste stuk koper vaak sprake van een (ongebruikt) tweede aderpaar, waardoor de bitsnelheid kan verdubbelen. De echte winst in capaciteit zal behaald gaan worden met nieuwe DSL-technologie die een nog breder spectrum gebruikt. Daar deze DSL-technologie nog niet bestaat, wordt dit laatste stukje van een hybride FttH scenario in bovenstaand figuur de "missing link" is genoemd. Mogelijk komt Ultimate DSL binnen ca 5 jaar op de markt.



Figuur B-6-5: Aanleg van FttH is duur, vooral in bestaande gebouwen met meerdere aansluitingen

B.4 Topologie

DSL wordt toegepast in een op telefonie gebaseerd netwerkconcept met punt-punt verbindingen vanuit de nummercentrales naar de individuele abonnees. Tot op heden hebben operators uit kostenoverwegingen aan deze topologie vastgehouden, die een belangrijk intrinsiek voordeel kent t.o.v. HFC-netwerken namelijk een ongedeeld aanbod van capaciteit per aansluiting. Een topologie waarbij tussen centrale en huisaansluiting geen actieve apparatuur wordt toegepast is echter voor 3GBB niet optimaal en voor 4GBB niet te handhaven. Hogere DSL snelheden vereisen kortere koperkabels. Dit resulteert dan in een hybride glas-koper topologie, waarbij met DSL over bestand koper het laatste traject wordt overbrugd. Voor 3GBB dient met name verglaasd te worden tot op straatkast niveau (tot 100-1000m koper) en voor 4GBB met name tot nabij het pand (20-200m koper). Als koperlijnen heel kort zijn kan 3GBB ook vanuit de centrale geleverd worden, maar dan wel alleen aan dichtbij gelegen panden.

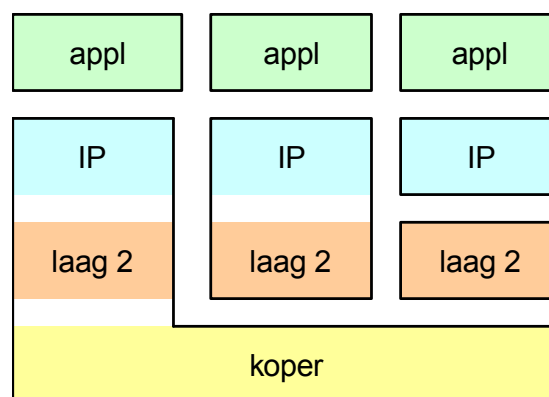
B.5 Kwaliteit

In de voorgaande paragraaf is uitvoerig gesproken over capaciteit als belangrijkste capaciteitsaspect. Andere kwaliteitsaspecten die in relatie tot DSL te noemen zijn, zijn:

- *Asymmetrie*: ADSL en VDSL kennen ten gevolge van de historisch vastgelegde definities van frequentiebanden een asymmetrie (downlink capaciteit groter dan uplink capaciteit). Bij VDSL is de symmetrie t.o.v. ADSL overigens verbeterd. Dit kwaliteitsaspect gaat voor de gebruiker spelen indien/zodra de behoefte aan upload capaciteit het DSL aanbod overstijgt, ten gevolge van upload tijden die dan als te lang worden ervaren.
- *Ondersteuning Quality of service (QoS)*: DSL is een transmissietechniek (Laag 1) en biedt de hogere lagen feitelijk niets anders dan een ruwe 'bitpijp' met een vaste capaciteit. De QoS ondersteuning voor verschillende typen diensten wordt bepaald door de Laag2/Laag3 oplossing van de door de operator toegepaste DSL modems (en Access Multiplexers) en vooral ook hoe met capaciteitsmanagement wordt omgegaan. Het is een bekend feit dat operators overboeking toepassen uit efficiency oogpunt. Hoe groter de overboekingsfactor, des te groter het risico van QoS verlies op een individuele aansluiting. Het is dus de combinatie van de technische (L2/L3) oplossing voor QoS-ondersteuning in de DSL modems en de wijze waarop de operator capaciteitsmanagement uitvoert, die de QoS bij de eindgebruiker uiteindelijk bepalen. Dit is voor alle typen accessnetwerken aan de orde..

B.6 Openheid

Een aantal jaren geleden is in Nederland ontbundeling van de local loop ingevoerd, wat de mogelijkheid introduceerde dat meerdere DSL operators toegang kregen tot de fysieke (koper) infrastructuur. Dit zal in de toekomst ook zo blijven. Naast deze toegang op fysieke laag bestaat in het kopernetwerk ook openheid op laag 2 en op de IP laag. Al deze vormen van toegang worden in de praktijk ook toegepast in Nederland.



B.7 Kosten

De kracht van twisted-pair koper oplossingen zit voornamelijk in het kosten aspect. Hergebruik van bestaand koper spaart graaf- en installatiekosten uit. De investeringen van DSL kunnen meegroeien met de marktvraag.

- Voor het kunnen leveren van eerste en tweede generatie breedband waren er geen graafkosten nodig. En er waren nauwelijks installatie kosten bij de eindgebruikers thuis; een doe-het-zelf pakket was in de meest gevallen al afdoende. Vandaar dat de twisted-pair oplossing voor 1GBB en 2GBB zo snel en grootschalig beschikbaar is gekomen, in tegenstelling tot volledig verglaasde oplossingen.
- In de transitie naar een derde generatie breedband (3GBB) ligt de zaak anders. De eerste en goedkoopste optie is uitrol van VDSL2 vanuit de nummercentrale. Voor adressen binnen relatief korte afstanden t.o.v. de nummercentrales kan dit een optie zijn. De geschatte kosten zijn gemiddeld ca 175 Euro per aansluiting.
- De volgende stap is VDSL2 vanuit de verdeelkasten (“halverwege”), maar daar worden dan wel graafkosten gemaakt om een straatkast van glas en voeding te kunnen voorzien, plus de kosten om zo’n kast voor te bereiden op plaatsing van DSL apparatuur. Het geschikt maken van een straatkast voor VDSL2 (zonder VDSL2 apparatuur) al gauw zo’n 5-20 kEuro, maar daarna is het ook wel beschikbaar voor honderden eindgebruikers tegelijk. Apparatuur wordt pas aan de klant geleverd, en zo nodig in een straatkast pas bijgeplaatst, als de verbinding ook daadwerkelijk is besteld. Dit is een voordeel (in termen van kosten) ten opzichte van een directe geheel verglaasde oplossing. Het is dan meer een kwestie van hoe lang een dergelijke oplossing gebruikt kan worden om de totale kostenafweging te kunnen maken. In onderstaande tabel zijn schattingen vermeld voor de kosten bij de toepassing van VDSL(2) vanuit de straatkast. De geschatte kosten liggen tussen de 325 en 425 Euro. Aannee hierbij is dat VDSL(2) tegen dezelfde op de consumentenmarkt afgestemde kostprijs kan worden ontwikkeld als dat dit momenteel voor ADSL het geval is. Aan deze voorwaarde kan worden voldaan als VDSL technologie op vergelijkbare schaalgrootte kan worden geproduceerd. Het wordt in dat opzicht dus vrij cruciaal hoe de markt voor VDSL zich in andere Europese landen zich gaat ontwikkelen.
- Voor vierde generatie breedband worden de kosten vergelijkbaar voor die van een volledig verglaasd FttHome scenario, waarvoor als vuistregel geldt een investering per aansluiting tussen de 800-1000 Euro, bij grootschalige aanleg in een woonwijk (zie behandeling greenfield fiber). Bij gebruik van een hybride glas-koper oplossing waarbij glas tot bij de woningen wordt aangelegd wordt er bespaard op (a) de kosten van invoering in het pand, (b) de graafkosten door de tuin tot aan de splitlas, en (c) gedoe- en voorrijdkosten bij de klant thuis. Dit voordeel wordt deels teniet gedaan doordat de totale apparatuur kosten iets hoger zal uitvallen dan bij full fiber omdat er een actief verdeelpunt nodig is nabij een blok woonhuizen. De kosten van een hybride FttH oplossing zijn dus zeer variabel per aansluiting maar worden indicatief geschat op ca 160 Euro lager in kosten dan een volledige FttH oplossing. Hierbij geldt t.a.v. de toekomstige aanschafkosten van een Ultimate-DSL modem dezelfde opmerking inzake de marktontwikkeling voor Ultimate-DSL-technologie.

Het is de vraag of voor Ultimate-DSL-technologie een vergelijkbare massamarkt zal ontstaan als voor ADSL.

B.8 Migratiepotentie

De migratie van breedband op basis van DSL gaat hand in hand met verglazingsstappen richting de eindgebruiker. Via een dergelijk migratietraject kan de capaciteit over koper in technische zin voorlopig meegroeien met een toenemende vraag. De benodigde investeringen in de huidige kabelverdeelkasten (bijplaatsing van actieve apparatuur “halverwege”) is een majeure netwerkmigratiestap die overigens momenteel reeds wordt ingezet. VDSL2+ is het voorlopige praktische eindstadium voor DSL. Ultimate DSL is nu nog conceptueel maar biedt wellicht in een aantal scenario’s wel een interessante laatste tussenstap naar FttH.

Enkele Referenties

- [1] Rob F.M. van den Brink, “*The art of deploying DSL; Broadband via noisy telephony wiring*”, TNO 35090, White paper on DSL, Oct 2009 (revision from June 2008)
- [2] Rob F.M. van den Brink, “*The art of Spectral Management; Access rules for VDSL2*”; TNO 35091, white paper on DSL, Oct 2009.
- [3] Rob F.M. van den Brink, “*The art of Spectral Management; Frequency allocations for VDSL2*”; TNO 35092, White paper on DSL, Oct 2009.
- [4] Rob F.M. van den Brink, “*The art of Spectral Management; Downstream power back-off for VDSL2*”; TNO 35093, White paper on DSL, Oct 2009.
- [5] Rob F.M. van den Brink, “*The art of Spectral Management; Upstream power back-off for VDSL2*”; TNO 35094, White paper on DSL, Oct 2009.
- [6] Odling et al, “*The fourth generation broadband concept*”. IEEE Communications Magazine, January 2009, p63-69

C Aanbodzijde: ontwikkeling HFC

C.1 Inleiding

De huidige Nederlandse kabelnetwerken komen voort uit de talloze lokale kabel TV netwerken die veelal op gemeentelijk initiatief in de jaren zeventig en tachtig van de vorige eeuw zijn aangelegd. De ontwikkeling tot de huidige netwerken is mede bepaald door:

- De schaalvergroting van de netwerken van enkele 1000den huizen tot netwerken van meerdere 100.000 huizen. Deze aggregatie is in eerste instantie met coaxiale trunks gerealiseerd, maar vanaf medio jaren negentig worden de lokale netwerken met glasvezel gekoppeld,
- De liberalisering van de telecommarkt. Dit heeft ertoe geleid dat vele van de publieke netwerken verkocht zijn aan private aanbieders zoals Ziggo en UPC.
- Upgrade van de coaxiale broadcast netwerken naar een twee-weg hybride fiber coax architectuur waarbij glas tot op enkele honderden meters van de huizen is aangelegd. Landelijke afstemming tussen de toenmalige aanbieders heeft tot een in hoge mate uniforme en zeer schaalbare architectuur geleid.

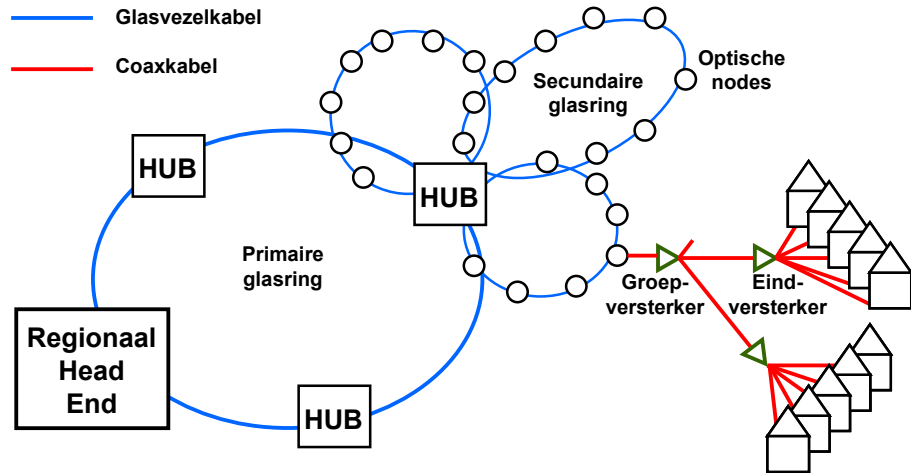
Momenteel zijn alle Nederlandse kabelnetwerken twee-weg geschikt en is 97% van alle Nederlandse huizen aangesloten. Typisch bestaat het huidige diensten aanbod uit analoge TV (ruim dertig zenders), digitale standaard definitie TV (SDTV), HDTV, video-on-demand, breedband internet en vaste telefonie.

C.2 Het HFC-netwerk

C.2.1 Topologie

Figuur C-1 toont de hiërarchische architectuur van de Nederlandse HFC netwerk met daarin aangegeven de verschillende netwerkconcentratiepunten: het regionaal headend, de HUB en de optische node. Vanuit de HUB lopen glasvezelringen waaraan een aantal optische nodes zijn gelegen. Voor de aanvoer van het downstream signaal en voor de afvoer van het retoursignalen zijn per optische node minimaal twee glasvezels van de glasvezelkabel in gebruik.

De nodes in Nederland zijn typisch 800 tot 1000 huizen groot waarbij glas tot op enkele honderden meters van de huizen is aangelegd. Typisch bedient elke node 4 tot 6 groepversterkers. Een groepversterker levert daarmee signaal aan ongeveer 200 huizen.



Figuur C-1: Hiërarchische architectuur HFC netwerk³⁸ met hierin aangegeven de primaire en secundaire glasringen, het coaxiale distributienetwerk, het regionaal headend, de HUBs en de optische nodes. Typisch zijn zo'n 800 tot 1000 huizen aangesloten op een optische node.

Effectief gezien bestaat het HFC-netwerk uit twee netwerken, een broadcast netwerk waarbij met een aantal frequentiekanalen hetzelfde signaal in het gehele verzorgingsgebied wordt geleverd en een “cellulair” netwerk (cellen heten hier kabelsegmenten) waarbij per node frequentiekanalen hergebruikt kunnen worden.

C.2.2 Geleverde communicatiediensten

Functioneel gezien kan de kabelaanbieder momenteel twee typen communicatiediensten leveren:

- Broadcastdienst (analoog/digitaal)
Deze dienst wordt gebruikt voor de levering van lineaire radio en TV diensten, analoog als ook digitaal. Exact hetzelfde signaal wordt aan alle huizen in het verzorgingsgebied van het regionaal headend geleverd.
- Een narrowcastdienst (digitaal)
De narrowcastdienst wordt gebruikt voor de levering van gepersonaliseerde diensten zoals telefonie, internet en video-on-demand. Dit vereist verbijzondering van de aangeboden signalen. De specifieke informatie van een klant wordt elektronisch versleuteld. Alleen de klant voor wie de informatie bestemd is krijgt de sleutel, en kan dus als enige het signaal ontsleutelen.

C.2.3 Elektrisch ontwerp

In het huidige twee-weg ontwerp van de kabelnetwerken is het spectrum van 5 tot 65 MHz gealloceerd voor upstream signalen en het spectrum vanaf 85 MHz voor downstream signalen. In de Nederlandse netwerken is momenteel 862 MHz de frequentieboven grens. Het upstream en het downstream spectrum zijn in frequentie-

³⁸ Het plaatje geeft een vereenvoudigde architectuur van de UPC Nederland HFC netwerken

kanalen verdeeld, waarbij elk kanaal voor een specifieke dienst kan worden gebruikt. De downstream kanalen zijn 7 of 8 MHz groot, de upstreamkanalen 1,6, 3,2 of 6,4 MHz.

C.2.4 Apparatuur aan netwerk- en eindgebruikerzijde

Tot op heden is de benodigde apparatuur aan netwerk- en abonneezijde nog sterk gekoppeld aan het type diensten. Vanwege het huidige pluriforme aanbod van omroep en communicatiediensten zijn voornamelijk verschillende platformen in gebruik. Voor de levering van digitale diensten zijn met name DVB-C technologie en EuroDOCSIS van belang te noemen.

Voor de levering van de digitale diensten wordt momenteel en in de voorzienbare toekomst de combinatie van DVB-C en EuroDOCSIS technologie (versie 2.0->3.0) toegepast. DVB-C technologie wordt ten eerste voor de broadcastdiensten gebruikt. In het regionaal headend staan DVB-C zenders en bij de klant thuis is een digitale ontvanger geïnstalleerd, ook wel set-top-box of mediabox geheten. EuroDOCSIS-technologie is van belang voor de levering van telefonie- en internetdiensten³⁹. EuroDOCSIS maakt voor de downstream transmissie eveneens gebruik van standaard DVB-C technologie. EuroDOCSIS ondersteunt voor de upstream een scala van kanaalbreedtes en modulatie-opties. Aan de abonneezijde wordt het netwerk met een kabelmodem getermineerd.

VoD kan in principe ook met het EuroDOCSIS platform worden geleverd, echter vanuit kostenoverwegingen leveren de aanbieders de VoD videostream direct met DVB-C zenders. Het bestellen van de video, de besturing (start, pauze, etc) en de afrekening maken wel gebruik van EuroDOCSIS. Het videomateriaal staat op videoservers in het netwerk van de aanbieder.

C.3 Capaciteit

C.3.1 Enkele beginselen

Het karakter van het capaciteitsvraagstuk bij HFC-netwerken is sterk gerelateerd aan zowel topologie en netwerkontwerp van hedendaagse HFC-netwerken, als ook aan het voor HFC karakteristieke portfolio van communicatiediensten. Zoals in de vorige paragraaf is toegelicht biedt de kabelaanbieder functioneel gezien twee typen communicatiediensten (broadcast en narrowcast diensten) en is voor wat betreft broadcast tevens sprake van een gemengd analoog en digitaal aanbod. De capaciteit voor analoge Radio/TV-, digitale broadcast TV- en digitale narrowcast diensten vormen daarbij een systeem van communicerende vaten, met dien verstande dat momenteel de totale spectrumruimte alsmede de verdeling tussen upstream en downstream spectrum voornamelijk vast is gedefinieerd⁴⁰:

³⁹ EuroDOCSIS ondersteunt ook digitale videotransmissie maar in de praktijk wordt dat rechtstreeks via DVB-C gedaan.

⁴⁰ Er is geen technisch-fundamentele reden waarom de huidige spectrumruimte en de verdeling ervan tussen downstream en upstream ongewijzigd zou blijven. Met aanpassingen zijn kosten gemoeid maar ze kunnen deel uitmaken van een migratietraject om aan de wensen van de markt te blijven voldoen.

- De downstreamband

- Een groot deel van de downstreamband in HFC-netwerken van 85 MHz tot 862 MHz wordt momenteel gebruikt voor analoge Radio/TV en digitale downstreamdiensten (broadcast/narrowcast).
- Een nog steeds significant deel van de downstreambandbreedte wordt heden ten dage belegd door analoge broadcastdiensten. De benodigde bandbreedte wordt direct bepaald door het aantal doorgegeven zenders (1 videokanaal of FM-kanaal per zender. De analoge techniek biedt geen mogelijkheden het spectrum efficiënter te benutten dan nu het geval is. Zoals bekend is het huidige analoge beslag op de kabel niet spectrumefficiënt. De verwachting is dat de komende jaren het analoge zender aanbod zal worden afgebouwd ten faveure van het digitale aanbod.
- De resterende bandbreedte in de downstreamband is beschikbaar voor digitale diensten en moet worden gedeeld tussen de broadcastdiensten (digitale TV) en de narrowcastdiensten (telefonie, internet en VoD).. Aan ieder 8 MHz kanaal wordt een DVB-C drager toegekend met een totale capaciteit van 38 Mbit/s of 52 Mbit/s. Elke drager kan meerdere standaard digitale TV of enkele HDTV programma's transporteren. De per huis beschikbare capaciteit voor narrowcastdiensten hangt af van de grootte van de kabelsegmenten (zie opmerking verderop). De kabelaanbieder heeft de vrijheid om het aantal kanalen voor broadcast- en de narrowcast vast te stellen, zolang het totale aantal kanalen het totale frequentiespectrum van 85 tot 862 MHz niet overstijgt. In tegenstelling tot de analoge broadcastsignalen zijn hier nog wel mogelijkheden om de capaciteit per kanaal efficiënter te benutten door geavanceerdere modulatie- en coderingstechnieken (DVB-C2 technologie).
- In de downstreamband kunnen niet alle kanalen voor digitale dienstverlening worden gebruikt. Momenteel wordt landelijk en internationaal bijvoorbeeld overwogen om de frequentieband van 790 MHz tot 862 MHz te gebruiken voor mobiel breedband (UMTS LTE of WiMAX). Dit spectrum komt vrij als gevolg van de digitalisering van de aardse TV (470 – 862 MHz) waarbij er sprake is van een netto spectrum overschot, het zogeheten Digitaal Dividend. Eerste onderzoeken laten zien dat binnenshuis gebruik van LTE of WiMAX mobiele devices de door een kabelaanbieder geleverde diensten zeer sterk storen, en feitelijk inhouden dat de aanbieder de 790 – 862 MHz frequentieband niet meer kan gebruiken. Dit is een externe ontwikkeling met een mogelijke significante impact op de capaciteit van HFC-netwerken.

- De upstreamband

- Deze frequentieband tussen 5 en 65 MHz is van belang voor het retourkanaal voor diverse digitale communicatiediensten (broadcast/narrowcast);
- De upstreamband is relatief smal t.o.v. de downstreamband, hetgeen overigens geen fundamentele beperking van HFC betreft, maar een historische ontstane situatie;
- Ook hier heeft de aanbieder de vrijheid om kanalen in te delen zolang hij binnen de frequentieband blijft;

- In de praktijk kan een kabelaanbieder ook in deze frequentieband niet de volledige capaciteit gebruiken voor digitale diensten. Deze wordt momenteel beperkt door de instraling van stoorsignalen in de huisomgeving.

Ten aanzien van de beschikbare downstream/upstream capaciteit bij narrowcast diensten merken we nog het volgende op. Voor (per definitie gepersonaliseerde) narrowcastdiensten bestaat er de mogelijkheid om in de HUB het dienstenaanbod per optische node te verbijzonderen. Immers elke optische node is met een eigen upstream/downstream vezel met de HUB verbonden. Het verbijzonderde signaal wordt dus alleen geleverd aan de optische node waarop de betreffende klant samen met een N-tal andere klanten is aangesloten. Technisch kan een aanbieder optische nodes combineren zodat grotere cellen ontstaan (zogenaamde kabelsegmenten), waarin de frequentiekanalen hergebruikt worden. De kabelsegmenten kunnen juist ook worden gesplitst zodat de capaciteit met minder gebruikers hoeft te worden gedeeld, en er per gebruiker een grotere capaciteit geleverd kan worden. Daar zowel de segmentgrootte als het aantal narrowcastkanalen variabel is, is een HFC netwerk bijzonder schaalbaar; een aanbieder kan zijn netwerkcapaciteit afstemmen met de door de markt gevraagde capaciteit. Naarmate de vraag naar capaciteit groeit, is verdere opsplitsing van segmenten noodzakelijk.

C.3.2 *Huidige capaciteit in HFC-netwerken*

Een operator gebruikt momenteel 45 tot 55 kanalen voor digitale diensten. Elk kanaal heeft een capaciteit van 38 of 52 Mbit/s⁴¹, zodat de huidige maximale digitale downstreamcapaciteit tussen de 1,7 Gbit/s en 2,8 Gbit/s ligt. De huidige upstream capaciteit is maximaal 50 tot 80 Mbit/s per kabelsegment groot.

C.3.3 *Evolutionaire migratie*

Kenmerkend voor de evolutionaire netwerkverbeteringen is, dat de aanpassingen geleidelijk en stapsgewijs worden geïmplementeerd. Dit betreft zowel de maatregelen om de bestaande capaciteit beter (efficiënter) te benutten als ook om de up- of downstream capaciteit te vergroten. Eerst zal een aanbieder de technologie voor de aanpassing volledig uitontwikkelen en in een trial testen, waarna de aanpassing geleidelijk wordt ingevoerd. Aanpassingen zoals een splitsing van een segment en/of bijplaatsing van een optische node worden daarbij pas uitgevoerd als dit noodzakelijk. De gevraagde capaciteit wordt per segment gemonitord, en als de gevraagde capaciteit de beschikbare capaciteit nadert zal een aanbieder het betreffende segment splitsen. Op deze wijze wordt de implementatie van een verbetering uitgesmeerd over de tijd.

C.3.3.1 *Mogelijkheden voor capaciteitsvergroting binnen bestaande concept*

Binnen het bestaande HFC netwerkconcept zijn zonder majeure (extra) investeringen door de operator nog de volgende efficiëntiemaatregelen mogelijk die tot een betere benutting van de capaciteit van het netwerk leiden:

- *Reductie van het analoge TV-aanbod*
Momenteel leveren de aanbieders een pakket van ruim dertig analoge TV zenders. Gefaciliteerd door een verdere penetratie van digitale TV kunnen de operators de

⁴¹ Voor 52 Mbit/s is een hoger signaalniveau vereist dan voor 38 Mbit/s. Daar het totale signaalvermogen van een HFC netwerk beperkt is, is het niet altijd mogelijk om uitsluitend 52 Mbit/s kanalen in te zetten.

analoge levering van specifieke zenders beëindigen. Indien meer dan 80% van de klanten digitale TV hebben komt de door de Mediawet opgelegde verplichting om het must carry pakket (7 Nederlandstalige publieke omroepen) en 8 door de betreffende programmaraad voorgeschreven omroepen analogoog door te geven te vervallen. CAI Westland heeft op basis van een voldoende digitale penetratie aangegeven de gehele analoge TV distributie al in 2010 te beëindigen. Zij loopt daarmee vooruit op deze ontwikkeling. Er moet niet worden verwacht dat de grote aanbieders op korte termijn zullen volgen. Wel is te verwachten dat ook bij hen het analoge programma aanbod over een tijdsspanne van tien jaar geleidelijk zal worden afgebouwd tot zo'n 15 zenders.

- *Uitfasering van verouderde (proprietary) systemen.*
Aanbieders hebben nog immer verouderde platformen in hun netwerken staan zoals het CableSpan telefonieplatform van Tellabs (UPC Nederland) of COM21 voor internet (Ziggo). Uitfasering van deze systemen levert enkele 8 MHz kanalen op.
- *Hergebruik videorecorderkanalen*
De traditionele videorecorder wordt momenteel in de huiskamer vervangen door digitale recorders met een SCART aansluiting en diensten als "uitzending gemist" welke met een interactieve digitale ontvanger met ook een SCART of HDMI aansluiting worden ontvangen. Daarmee vervalt de noodzaak van de aanbieder om enkele (2 tot 4) 8 MHz kanalen vrij te houden, en kunnen in de toekomst ook deze kanalen voor digitale dienstverlening worden benut.
- *Migratie van MPEG-2 naar MPEG-4 (H.264) video-encoding*
H.264 codering levert ongeveer een halvering van de bitsnelheid op benodigd voor de levering van standaard definitie TV programma's. Het overgrote deel van de huidige digitale ontvangers zijn niet geschikt voor H.264 ontvangst, maar voor HDTV dienen de kijkers over een H.264 ontvanger te beschikken. Te verwachten is dat komend decennium de penetratie van H.264 ontvangers voldoende hoog zal zijn om het aanbod op basis van MPEG-2 te reduceren dan wel volledig te beëindigen. Het gaat hier dus om een maatregel op een hoger protocolniveau met als effect dat TV/video content efficiënter kan worden vervoerd en dus minder capaciteit vergt dan met de huidige MPEG-2 codering.
- *Migratie van standaard digitale broadcast naar switched TV*
Gezien het grote aanbod van digitale TV (meer dan 100 omroepen) is het niet waarschijnlijk dat op elke optische node ook daadwerkelijk elke zender door een kijker wordt bekeken. In de toekomst is tevens een verdere verkleining van de nodes te voorzien, tot zo'n 200 a 250 huizen zodat de kans dat er in het geheel geen kijker naar een zender kijkt nog groter wordt. Capaciteitswinst is dus te behalen door zenders waar niemand naar kijkt ook niet door te geven. Dit is mogelijk op basis van een slimme interactieve digitale ontvanger en door de minder bekeken zenders te migreren van het broadcast naar het narrowcast platform. Indien een kijker een zender wil zien die niet in het broadcastpakket zit, dan wordt deze via het narrowcast platform op de betreffende optische node uitgezonden. Zapt de kijker weg, dan wordt de narrowcast van de zender weer gestopt.

Het feit dat deze maatregelen geen grote extra investeringen vergen wil nog niet zeggen dat al deze maatregelen reeds op korte termijn zullen worden genomen. De keuzes die worden gemaakt en het tempo van implementatie hangen af van de ontwikkeling van breedband vraag- en aanbod in een concurrerende markt, maar bijvoorbeeld ook van de adoptiesnelheid van nieuwe randapparatuur bij eindgebruikers en uitfasering van oudere apparaten. Het is bekend dat hier lange tijden mee gemoeid kunnen zijn.

C.3.3.2 Mogelijkheden voor capaciteitsvergroting op basis van netwerkaanpassingen

Capaciteitsexpansie downstream

- *Reductie van de grootte van de segment- en optische nodes*

De standaard aanpak om meer capaciteit voor narrowcast diensten te creëren is het splitsen van de upstream en downstream kabelsegmenten. Momenteel zijn de segmenten één of enkele optische nodes groot, afhankelijk van lokale marktomstandigheden. Zonder grote kosten kunnen de segmenten worden gesplitst tot op het niveau van een enkele optische node ter grootte van 800 tot 1000 huizen omdat de benodigde glasvezels tussen de HUB en de optische nodes er al liggen. Verdere segmentatie is technisch mogelijk omdat elke optische node 4 tot 6 afzonderlijke kabelsegmenten voedt. Wel vereist deze segmentatie:

- Extra optische nodes; voor elke afgesplitst kabelsegment is een optische node vereist.
- Gebruik van wavelength division multiplexing (WDM) technologie omdat er veelal geen of een onvoldoende voorraad glas tussen de optische nodes en de HUB ligt en er voor optische node zowel een downstream als ook een upstream pad moet zijn, hetzij een glasvezel of wel een golflengte.

Leveranciers van optische nodes anticiperen met hun producten al op de bovengenoemde behoefte. Onder andere zijn modulaire optische nodes welke WDM technologie ondersteunen regulier leverbaar.

Te voorzien is dat het splitsen van de nodes in Nederland tot een gemiddelde grootte van 250 - 200 huizen leidt. Afhankelijk van de ontwikkelingen in de breedband marktvaart kan een aanbieder het splitsen versnellen of afremmen.

- *Uitrol DVB-C2*

De uitrol van DVB-C2 is in de Nederlandse situatie op korte termijn niet aantrekkelijk daar er geen directe noodzaak toe bestaat en omdat het een nieuwe digitale ontvanger bij de klant vergt. Op de middellange termijn is het echter te voorzien dat DVB-C2 standaard in de digitale ontvangers worden ingebouwd, en dat de meerprijs gering zal zijn. Daarmee is op de lange termijn DVB-C2 ook voor de Nederlandse situatie een realistische optie.

- *Expansie van het frequentiespectrum van 862 MHz tot 1 GHz*

Omdat de HFC-netwerken van de aanbieders volledig afgeschermd zijn en dus geen of verwaarloosbare last van instraling van aardse zenders hebben en evenmin signalen uitstralen, zijn er geen principiële beletsels welke het gebruik van het spectrum boven de 862 MHz beletten. Wel moet een aanbieder rekening houden met instraling van bv. GSM in het inhuus netwerk en zullen mogelijk alle optische nodes en versterkers en alle passieve componenten zoals spitters, multitaps en

voedingfilters moeten worden vervangen. Straatkasten, glasvezel en coaxkabels kunnen alle hergebruikt worden.

Gezien de vele bovengenoemde opties om de downstream capaciteit op evolutionaire wijze is uit te breiden, is nu de exacte netwerkroadmap niet vast te stellen. Wel is een ruwe schatting van het capaciteitsplafond van de netwerken aan te geven indien de capaciteitsbesparingen en netwerkaanpassingen worden uitgevoerd. Uitgaande van de inzet van 600 MHz (75 kanalen) ten behoeve van digitale diensten en gebruik DVB-C2 met een bitsnelheid van 80 Mbit/s per 8 MHz kanaal, is een totale capaciteit van 6 Gbit/s per kabelsegment leverbaar. Bij een segmentgrootte van 250 huizen en een marktaandeel van 50%, kan er per klant gemiddeld een bitsnelheid van 48 Mbit/s worden geleverd. Bij gebruik van EuroDOCSIS 3.0 met 16 gebundelde kanalen (832 Mbit/s) kan een maximale bitsnelheid van 320 Mbit/s aan de klant worden geleverd.

Capaciteitsexpansie upstream

De huidige upstream capaciteit is momenteel beperkt door stoorsignalen die in het inhuus-netwerk van de klant worden opgepikt. In de praktijk kunnen de Nederlandse aanbieders als gevolg van deze stoorsignalen slechts een deel van de 5 – 65 MHz frequentieband gebruiken. Om het upstreamkanaal efficiënter te gebruiken zijn diverse technische oplossingen beschikbaar. Daarnaast zijn er nog lange termijn opties op de retourband zelf te vergroten:

- *Gedeeltelijke reductie van het ruisniveau*
Om de band beter te kunnen gebruiken zijn er momenteel diverse technische verbeteringen in het netwerk van de kabeloperator mogelijk, zoals plaatsing van speciale blocking filters, vervanging van signaalcombiners door combiners met 180° fasedraaiing, het plaatsen van een wandcontactdoos met een extra netwerk poort waar het kabelmodem direct op dient te worden aangesloten. Daarnaast resulteert ook het splitsen van de kabelsegmenten en van de optische nodes tot een reductie van de stoorsignalen.
- *Volledige reductie van het ruisniveau*
Om de frequentieband van 5 – 65 MHz volledig te kunnen gebruiken is echter een veel drastischer oplossing vereist. Momenteel is het inhuus netwerk van de klant feitelijk een verlengstuk van het HFC-netwerk van de aanbieder. Het retourkanaal van het HFC-netwerk begint dan ook in huis bij de klant. Door het retourpad bij het signaal overgave punt te beginnen en door inhuus andere netwerktechnologie toe te passen kunnen stoorsignalen afkomstig uit de huisomgeving in de 5 – 65 MHz band worden geweerd. In principe is dan de gehele upstream band bruikbaar. Wel moet de aanbieder ten behoeve van deze oplossing een netwerk terminatie unit op de plaats van het signaal overgave punt plaatsen⁴². Geheel geïmplementeerd is op deze wijze een upstream capaciteit van 250 Mbit/s per kabelsegment te realiseren. Wel is

⁴² Een eenvoudige terminatie van de fysieke laag en beperkt tot de upstreamband en eventueel een specifieke deel van de downstreamband (bv. de 790 – 862 MHz band) kan hier in principe volstaat. Dit betekent dat de netwerk terminating unit een EuroDOCSIS modem omvat en een of meerdere inhuus netwerktechnologieën zoals Ethernet (100BaseT), WiFi, powerline Communications, HomePNA of MOCA.

met de plaatsing van een netwerk terminating unit een forse investering gemoeid.

- *Expansie van de huidige upstream band boven 65 MHz*
De distributie van FM radio in de band van 87 – 107,5 MHz belet momenteel het gebruik van dit spectrum als upstreamkanaal. In de toekomst als digitale radio een volwaardig alternatief is, kunnen de aanbieders de FM band opofferen, en ook het spectrum boven de 65 MHz als upstream kanaal gebruiken. Wel dient de EuroDOCSIS standaard te worden aangepast, moet de aanbieder de duplex filters in het netwerk en de wandcontactdozen bij de klant thuis vervangen, moet deze nieuwe EuroDOCSIS retourkanaal ontvangers in het netwerk plaatsen en moet het kabelmodem bij de klant worden vervangen. Typisch kan op deze wijze de upstream capaciteit worden uitgebreid tot 500 – 750 Mbit/s. Ook deze oplossing vergt een forse investering van de aanbieder.
- *Tweede upstreamband boven 862 MHz*
Technisch is het mogelijk om boven de 862 MHz een tweede retourpad te creëren. In principe is er geen beperking van de bandbreedte van zo'n band en kan er bijvoorbeeld 200 MHz worden ingezet, corresponderend met een extra capaciteit van 1 Gbit/s of meer per kabelsegment.

Evenals voor de downstreamcapaciteit hebben kabelaanbieders dus diverse opties om ook de upstreamcapaciteit bij een toenemende vraag stapsgewijs te vergroten. De netwerkroadmap is nu niet vast te stellen, wel is een indicatie van de maximale bitsnelheid die aan een klant geleverd kan worden te geven indien al de bovengenoemde opties geïmplementeerd worden. In dat geval is 300 MHz upstream spectrum beschikbaar corresponderend met een capaciteit van 1,5 Gbit/s. Bij een segmentgrootte van 250 huizen en een marktaandeel van 50% kan dan per klant een bitrate van 12 Mbit/s worden geleverd. Door EuroDOCSIS 3.0 in te zetten en 8 upstream kanalen te bundelen kan een aanbieder aan een individuele klant een upstream bitsnelheid van 100 Mbit/s leveren.

C.3.4 *Evolutie Eurodocsis*

EuroDOCSIS 3.0 is dezelfde technologie als EuroDOCSIS 2.0, echter met de aanvullende mogelijkheid upstream en downstream kanalen te bundelen. Door steeds 4 downstream kanalen van 52 Mbit/s te bundelen ontstaat een brede transportpijp met een capaciteit van 208 Mbit/s.. Momenteel is een bundeling van 4 kanalen het meest gangbaar, de leveranciers echter bieden al een bundeling van 8 kanalen aan. In principe is het aantal kanalen dat op deze wijze kan worden samengevoegd onbeperkt. In de praktijk zal 32 gebundelde kanalen het maximaal haalbare zijn. EuroDOCSIS 3.0 biedt tevens de mogelijkheid van bundeling van upstream kanalen van elk 30 Mbit/s maximaal, te beginnen met een bundeling van 2 kanalen (60 Mbit/s) om vervolgens, als de markt daarom vraagt, ook bundeling van 4 en 8 kanalen en in de verdere toekomst mogelijk 16 kanalen te ondersteunen. Deze laatste optie vergt wel een extensie van de upstream band tot 100 MHz bruikbaar spectrum.

Een (gebundeld) EuroDOCSIS kanaal zal altijd meerdere kabelmodems bedienen en daarom zal een kabelaanbieder nooit een dienstaanbod met een bitsnelheid gelijk aan de capaciteit van het (gebundelde) EuroDOCSIS kanaal aanbieden, maar een substantieel lagere bitsnelheid. De hoogste bitsnelheid die een kabelaanbieder wil leveren is een

zakelijke afweging die afhangt van *i*) de capaciteit van het (gebundelde) EuroDOCSIS kanaal, van *ii*) het verwachte aantal klanten per segment dat de dienst wil afnemen, *iii*) het risico dat de aanbieder aanvaardbaar acht dat tijdelijk de gevraagde bitsnelheid groter is dan de totaal beschikbare capaciteit, van *iv*) benodigde netwerkinvesteringen en van *v*) de door de kabelaanbieder gewenste positionering in de markt. Kortom, bij de bundeling van kanalen dient een onderscheid te worden gemaakt tussen de capaciteit van een (gebundeld) kanaal en de commercieel leverbare maximale bitsnelheid van de dienst die de aanbieder wenst te leveren. De onderstaande tabel geeft een indicatief overzicht van de bitsnelheden die op basis van bundeling kan worden geleverd.

Tabel C.1: Capaciteit en commercieel leverbare maximale bitsnelheid EuroDOCSIS 3.0

Downstream			Upstream		
<i>Aantal kanalen</i>	<i>Capaciteit (Mbit/s)</i>	<i>Maximaal marktaanbod (Mbit/s)</i>	<i>Aantal kanalen</i>	<i>Capaciteit (Mbit/s)</i>	<i>Maximaal marktaanbod (Mbit/s)</i>
1	52	20	1	30	12
4	208	80	2	60	24
8	416	160	4	120	48
16	832	320	8	240	96
32	1664	640	(16)	(480)	(192)

Overige mogelijkheden voor capaciteitsvergroting, op basis van netwerkaanpassingen

C.3.5 *Revolutionaire migratie naar een next generation HFC-architectuur*

Als gevolg van de bovengenoemde schaalbaarheid en de grote potentiële capaciteit van de Nederlandse kabelnetwerken, heeft de upgrade naar een next generation architectuur voor de Nederlandse aanbieders geen hoge urgentie. Echter, als de in de markt gevraagde bitrate het capaciteitsplafond van het HFC netwerk nadert, dan zal de aanbieder zijn netwerk uiteindelijk ingrijpender moeten upgraden.

De Nederlandse aanbieders hebben inmiddels een voor de Nederlandse netwerken geschikte en kosteneffectieve *next generation* architectuur ontwikkeld, Ethernet to the Home (EttH) geheten, en uitgetest in een grote technische trial in Boxmeer (Essent Kabelcom). In deze next generation architectuur wordt het glasvezel netwerk doorgetrokken tot de eindversterkers en wordt er in de straatkast een ethernet switch geplaatst. De verglazing betekent dat de aanbieders in alle straten glasvezelkabel moeten aanleggen. De klant krijgt over de coax aansluiting een ongedeelde Ethernetdienst geleverd waarvoor een nieuwe actieve netwerkscheiding nodig is tussen het HFC-netwerk van de aanbieder en het huisnetwerk van de klant. Technisch kan op deze wijze een ongedeelde 1 Gbit/s Ethernet verbinding aan elk huis worden geleverd. Momenteel is deze technologie niet beschikbaar, maar het betreft reguliere radiotechnologie welke geen bijzondere eisen aan de coaxkabel stelt. Andere next generation kabeltechnologieën waarmee een bitsnelheid groter dan 1 Gbit/s kan worden geleverd worden momenteel onderzocht in bijvoorbeeld het 7^e kader onderzoeksprogramma van de Europese Commissie (ReDeSign).

Gezien de schaalbaarheid van de huidige HFC architectuur en de beschikbaarheid van een goede next generation oplossing waarmee 1 Gbit/s of mogelijk meer aan elk aangesloten huis kan worden geleverd is de netwerkstrategie van een kabelaanbieder gebaseerd op twee elementen, namelijk evolutionaire optimalisatie van het HFC-netwerk en “revolutionaire” migratie naar een next generation HFC-architectuur. Het moment waarop de aanbieder zal migreren en precies hoe is nu niet te voorspellen. De afweging en de precieze timing zal worden bepaald door aspecten zoals de ontwikkeling van de marktvraag, kostprijs, economische levensduur van de vereist netwerkaanpassingen en de bedrijfsstrategie. Hierbij speelt dat voor een aanbieder wellicht een volledige evolutionaire groei tot het genoemde 6 / 1,5 Gbit/s capaciteitsplafond niet het meest aantrekkelijke scenario is, en dat aanbieders er voor kiezen hun netwerken eerder te upgraden. EuroDOCSIS en de daarmee geassocieerde systemen, netwerk- en dienst oplossingen zijn specifiek voor kabelnetwerken ontwikkeld. Dit betekent dat deze technologie een geringer voordeel van schaalgrootte heeft dan bijvoorbeeld Ethernet en DSL technologie en daarmee structureel duurder is en zal blijven. De migratiestrategie van een kabeloperator kan dus mede worden beïnvloed door die onbalans in technologiekosten (life cycle kosten).

C.4 Kwaliteit

De kabel is een gedeeld medium met als potentieel risico dat de gebruikers meer capaciteit vragen dan het netwerk kan leveren. Om de dienstverlening volledig te kunnen garanderen beschikt de kabelaanbieder over meerdere instrumenten:

- *Goed capaciteitsmanagement*
Een aanbieder monitort de capaciteitsvraag continue, en ruimschoots voordat de vraag de beschikbare capaciteit overtreft zal deze extra capaciteit creëren, bijvoorbeeld door kabelsegmenten te splitsen en transmissieapparatuur bij te plaatsen.
- *Dienstenarchitectuur waarmee de kwaliteit van de diensten gewaarborgd kan worden*
Digitale TV en Video-on-demand wordt geleverd op basis van DVB-C transportstreams met een vaste capaciteit van 38 of 52 Mbit/s, waarbij een beperkt aantal TV of VoD streams in een transportstream worden gemultiplexed. De kwaliteit van de diensten is daarmee volledig te garanderen. Daarnaast wordt bijvoorbeeld loadbalancing technologie toegepast om de gevraagde EuroDOCSIS of VoD capaciteit goed over de beschikbare 8 MHz kanalen in het netwerk te verdelen.
- *Specifieke technologie*
EuroDOCSIS ondersteunt diverse quality-of-services classes waarmee telefoniediensten en vaste verbindingen met een gegarandeerde kwaliteit kunnen worden geleverd. Internetdiensten worden standaard met een best-effort dienst geleverd.

Om de beschikbare capaciteit eerlijk en naar redelijkheid aan de gebruikers en diensten toe te wijzen, is in EuroDOCSIS een capaciteitsmanagement protocol geïmplementeerd. Dit protocol maakt QoS ondersteuning mogelijk en ondersteunt onder andere de volgende diensten:

- *Unsollicited grant service*
In de upstream en downstream wordt een vaste capaciteit gealloceerd. Deze dienst wordt voor telefonie en voor vaste verbindingen voor de zakelijke markt gebruikt.
- *Real-time polling service*
Het kabelmodem kan in een korte tijdsyclus capaciteit reserveren. Deze dienst wordt voor telefonie gebruikt.
- *Best effort service*
De beschikbare capaciteit wordt toegewezen op basis van onder andere de maximale bitrate van het klantabonnement, een minimaal gegarandeerde bitrate en het aantal actieve gebruikers. De internetdienst wordt geleverd op basis van de best effort service.

In de praktijk monitoren de aanbieder het klantverkeer per kanaal. Indien de verkeersbehoefte van de klanten de maximale capaciteit nadert, wordt er EuroDOCSIS capaciteit bijgeplaatst waarna de klanten worden herverdeeld over de beschikbare kanalen. Bij een goed management is er dus nooit sprake van een capaciteitstekort.

Door de bovengenoemde technologie, dienstenarchitectuur en capaciteitsmanagement op een correcte wijze in te zetten, zijn kwaliteitsproblemen in principe volledig te ondervangen, en kan een aanbieder voor al haar diensten vaste minimale service levels garanderen.

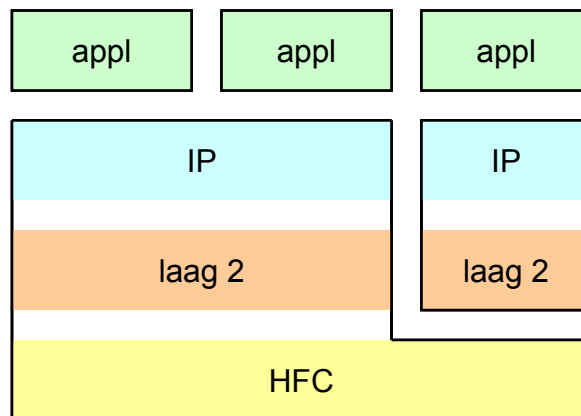
C.5 Openheid

Kabelinfrastructuren bieden diverse mogelijkheden tot openstelling in de vorm van wholesale toegang voor andere dienstverleners. De daadwerkelijke openstelling hangt daarbij af van zakelijke overwegingen van de aanbieder en van een mogelijke op concurrentieoverwegingen gebaseerde door toezichthouder opgelegde regulering.

Openstelling van laag 3 is mogelijk; zo leverden alle kabelaanbieder in het verleden wholesale toegang aan NLtree en Casema tevens aan Wanadoo.

Openstelling op laag 2 zou in geval van de kabelinfrastructuur toegang tot de CMTS inhouden. De mogelijkheden hiertoe zijn in zoverre TNO hier kennis van heeft nooit onderzocht.

Technisch gezien kan een kabelaanbieder toegang tot het HFC netwerk bieden opdat een andere aanbieder met een eigen EuroDOCSIS platform (CMTS + klantmodems) internetdiensten kan leveren. Deze toegang is te vergelijken met de linesharing in geval van het twisted-pair kopernetwerk. Een andere aanbieder zal minimaal een downstream en een upstream kanaal in het HFC netwerk moeten afnemen. Echter, op basis van een downstream en een upstream kanaal kan de andere aanbieder hoogst waarschijnlijk geen marktconform (bitrate en prijs) aanbod doen. Daarnaast is het beschikbare spectrum beperkt (met name upstream), en leidt de toegang van andere aanbieders tot een inefficiënt gebruik van het spectrum. In de praktijk is deze vorm van toegang daardoor waarschijnlijk lastig.



Toegang op de coax kabel is daarnaast mogelijk bij de eindversterker. Een andere partij krijgt dan direct toegang tot het laatste stuk ongedeelde coax naar de klant. De andere aanbieder moet dan wel glasvezel naar alle eindversterkers aanleggen.

C.6 Kosten

De evolutionaire vergroting van de netwerkcapaciteit vereist stapsgewijze incrementele investeringen van een, in vergelijking met een upgrade naar next generation HFC architectuur, beperkte omvang. Het migratiemoment is een bedrijfsstrategische keuze van de aanbieder. De kosten zijn momenteel zeer moeilijk in te schatten omdat veel van de oplossingen nu nog niet commercieel leverbaar zijn, en doordat de kosten in zeer grote mate door de gekozen upgrade strategie worden bepaald. Met name door de upgrades uit te stellen tot dat de benodigde technologie goed beschikbaar is en vervolgens geleidelijk uit te voeren zijn de kosten laag te houden en worden desinvestering voorkomen. Een structureel probleem zijn de kosten van de EuroDOCSIS apparatuur, daar met de exponentieel groeiende capaciteitsvraag de jaarlijks bij te plaatsen hoeveelheid apparatuur (exponentieel) toeneemt. Wel zoekt de industrie naar kosteneffectieve oplossingen zoals EdgeQAM en is de jaarlijks vereiste capaciteit goed in te schatten zodat ook de prijs per eenheid van capaciteit jaarlijks (fors) afneemt. Een grove inschatting van de benodigde CAPEX per home activated bedraagt 175 tot 275 euro voor EuroDocsis 3.0, en tussen 375 en 625 euro voor HFC NG, beide met een marge naar boven vanwege onzekerheid.

C.7 Migratiepotentie

De migratiepotentie van HFC netwerken is bijzonder groot. De migratiestrategie van aanbieders wordt slechts in beperkte mate bepaald door de beschikbaarheid van technologie, maar juist wel door marktomstandigheden en van kosten/baten afwegingen voor individuele migratiestappen. Operators zullen de capaciteitsexpansie in eerste instantie op transmissieniveau zoeken in betere benutting van het kabelspectrum binnen de huidige specificaties van het HFC netwerk. In tweede instantie zal men geleidelijk investeren in transmissie- en netwerkapparatuur in de zin van upgradering (hogere snelheden) en eventueel bijplaatsing van apparatuur in de wijkcentra. In derde en laatste instantie zal men kiezen voor duurdere maatregelen die ingrijpen in de netwerkkarchitectuur dan wel consequenties hebben op diverse plaatsen in de totale

infrastructuur (tot bij de abonnee). Dit is een evolutionair traject met tal van mogelijke technische maatregelen die tot de beschikking staan van de operator en die op basis van steeds terugkerende business case analyses zullen worden overwogen. Er is derhalve niet één migratietraject te schetsen. Op een zeker moment kan het lonen om de stap te maken naar een vernieuwd HFC netwerkconcept, waarbij verglazing tot aan de bestaande straatkasten aan de orde is en plaatsing van Gbit Ethernet switches in de straatkasten. Met die migratiestap levert HFC aansluitcapaciteit op 4GBB niveau.

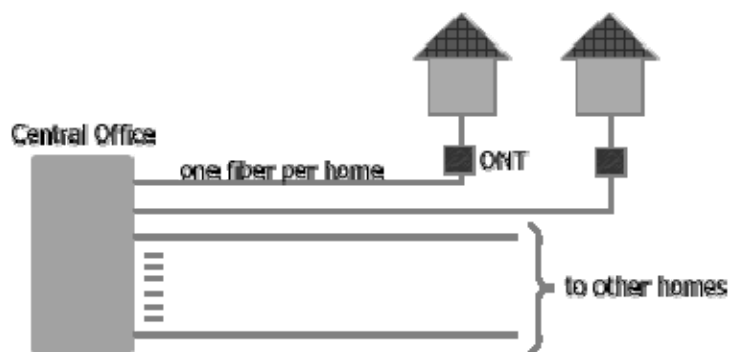
D Aanbodzijde: ontwikkeling glasvezel (green field)

D.1 Glasvezelnetwerken; FttH

D.1.1 Topologie

De twee meest gebruikte topologieën (zie ook paragraaf 2.2 Topologie concepten van breedband aansluitnetwerken) zijn Point-to-Multipoint en Point-to-Point. Deze 2 topologieën kunnen in het geval van FttH leiden tot 3 families van aansluitnetwerken: Home run (P2P), actieve ster (P2P) en passieve ster (PMP).

Bij PMP-topologie wordt gebruik gemaakt van ‘Passive Optical Network (PON)’ technologie en bij P2P meestal van Active Ethernet technologie. Het is theoretisch echter ook mogelijk om PON te leveren over een home-run of actieve ster topologie, alleen komt dit in de Nederlandse situatie tot op heden niet voor.

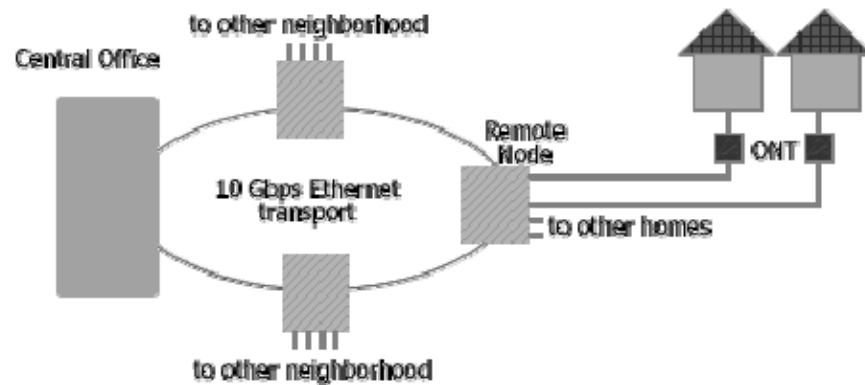


Figuur D-1: Een home-run architectuur⁴³

In het geval van een home-run architectuur worden direct vanuit een aansluitpunt met het backbone-netwerk individuele fibers tot aan een klantlocatie getrokken.

Een voordeel van deze oplossing is dat iedere klant beschikt over een volledig eigen vezel in het aansluitnetwerk, waardoor er nooit dimensioneringsproblemen in het aansluitnetwerk ontstaan. Het aanleggen van deze infrastructuur is echter duur vanwege de grote hoeveelheid aan individuele glasvezels die helemaal tot aan een inkoppelpunt moet worden getrokken, maar daartegenover staat dat deze infrastructuur relatief goedkoop kan worden opgewaardeerd wanneer nieuwe netwerkapparatuur beschikbaar komt die hogere snelheden mogelijk maakt, en er geen extra graafwerkzaamheden verricht hoeven te worden.

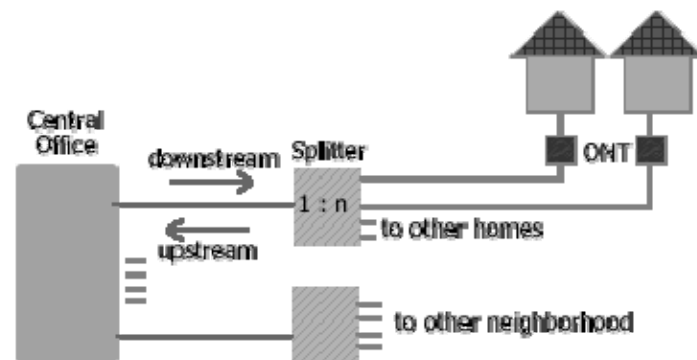
⁴³ Op afbeeldingen 2.8 t/m 2.10 rusten copyrights. TNO komt hier met eigen afbeeldingen



Figuur D-2: Een actieve ster infrastructuur

Bij een 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.



Figuur D-3: Een passieve ster infrastructuur

Bij een passieve ster infrastructuur is geen actieve apparatuur geplaatst tussen de klantlocatie en het aansluitpunt met het backbone netwerk. Toch is er niet voor elke klant een aparte vezel getrokken. Via passieve optische splitters wordt het signaal steeds verder opgedeeld. Alle aangesloten huishoudens ontvangen daardoor alle informatie die op zo'n segment wordt verzonden. Apparatuur op klantlocatie filtert de juiste informatie voor dat specifieke adres daar tussenuit (vergelijkbaar met de werking van het kabelnetwerk of mobiele netwerken). Een dergelijke oplossing biedt grote

kostenvoordelen doordat minder glasvezels getrokken hoeven te worden, geen actieve apparatuur geplaatst hoeft te worden (zowel installatie, onderhoud als stroomkosten) en dat een live TV signaal maar 1 maal verzonden hoeft te worden en daarmee alle klanten tegelijkertijd bereikt.

In Nederland wordt voor het grootste deel van de FttH-aansluitnetwerken voor Point-to-Point technologie via een actieve ster topologie gekozen.

D.1.2 *Uitrolaspecten*

In definitie van de FttX – infrastructuur wordt er onderscheid gemaakt tussen passieve en actieve infrastructuur en de interactie daartussen. Het gaat hier om onderscheid tussen de topologieën gebruikt voor de inzet van de vezels en buizen (passief) en de technologieën die worden gebruikt om data transport over de vezels (actief).

Als we kijken naar de passieve infra zijn er twee hoofdsoorten te onderscheiden, die trouwens voor beide topologieën kunnen worden gebruikt. Dat zijn de *direct buried cable* en de *direct buried duct*. Bij *direct buried cable* worden er gewapende glasvezelkabels gelegd naar de gewenste aansluitingen. Bij *direct buried duct* worden er buizen gelegd, met daarin eventueel kleine buizen, waardoor glasvezelbundels of glasvezelkabels kunnen worden geblazen. Bij de keuze tussen deze aanlegmethodieken spelen een aantal aspecten een rol:

- Initiële kosten en investeringen versus kosten en investeringen tijdens gebruik: bij het aanleg van een netwerk moet gekeken worden naar de Total Cost of Ownership, hoeveel kost het netwerk over de gehele levensduur. Het uitstellen van initiële investeringen naar een later tijdstip kan financiële voordelen opleveren. Daarnaast kunnen keuzes voor een goedkope eerste aanleg, qua investeringen, CAPEX, later tot hoge kosten, OPEX leiden.
- Flexibiliteit: hoe makkelijk kan worden omgegaan met potentiële toekomstige wijzigingen in het netwerk? Extra aansluitingen, kabelbreuken, nieuwe technologieën leiden tot aanpassingen in je netwerk.

Welke aanlegmethodiek voor de passieve infrastructuur beter is hangt af van de doelstellingen en de specifieke case. Een duct gebaseerde oplossing is flexibeler, er is makkelijk extra capaciteit te realiseren, de materialen zijn duurder maar er kan bespaard worden op OPEX gedurende de levensduur en er kan CAPEX worden uitgesteld. Een *direct buried cable* oplossing is initieel goedkoper (qua CAPEX) maar meestal minder flexibel voor extra capaciteit of bij andere aanpassingen van het netwerk. Voorraad die reeds bij aanleg is verzorgd is makkelijker te benutten. Er is in Nederland langzaam een verschuiving te zien. Waar er eerst sprake was van een hybride duct-cable oplossing met als feeder een duct en in de distributie cables naar een oplossing die meer beheerst wordt door ducts.

Tenslotte de daadwerkelijke uitrol van de passieve infrastructuur. TNO heeft in 2005 onderzoek gedaan naar mogelijkheden tot aanleg van FttH netwerken waarbij er een afweging kon worden gemaakt tussen harde kosten (Opex en Capex) en maatschappelijke kosten. Bij maatschappelijke kosten kan gedacht worden aan omzetterdrijving, langere reistijd door congestie veroorzaakt door graafwerkzaamheden etc. Deze maatschappelijke kosten konden verlaagd worden door te

kiezen in de aanleg voor gleufloze technieken, zoals het gebruiken van bestaande lege buizen (ducts), boren of persen, het kiezen van een andere (langere) route, het meeleggen met andere infrastructuur (gas, riool, herbestratingen) of de infrastructuur van derden. In de praktijk is dit lastig gebleken. Het is onvoldoende duidelijk wie de extra CAPEX moet neerleggen voor het besparen van de maatschappelijke kosten en het kiezen van de alternatieve aanlegmethodes werden vaak als hinderlijk of toch extra kostenverhogend door de aanleggende partij beleefd. Het tempo van aanleggen van glasvezelbuizen is aanzienlijk hoger dan het tempo van aanleg van rioolbuizen. De projectkosten voor de glasvezelbuizen loopt dan dermate op dat het voordeel van minder graafwerk te niet wordt gedaan.

D.2 Capaciteit en topologie

De capaciteit die geleverd kan worden hangt af van de netwerktypologie. Voor PON-technologie gelden verschillende snelheden voor de diverse standaarden. APON is relatief langzaam met 622 Mbit/s downstream en 155 Mbit/s upstream. GE-PON/EPON kent 1.0 Gbit/s symmetrisch en GPON zit nog hoger met 2.5/1.25 Gbit/s asymmetrisch. Een volgende stap is bijvoorbeeld 10GEPON, met 10 Gbit/s downstream en 1 Gbit/s upstream.

Bij P2P typologie is Ethernet het dragend protocol. Ook hier bestaan verschillende standaarden, die elk een eigen maximum snelheid hebben. Gigabit Ethernet (1GbE) kan maximaal 1 Gbit/s leveren, terwijl de 10 Gigabit Ethernet standaard (10GbE) logischerwijs 10 Gbit/s kan leveren. 100 Gigabit Ethernet producten zijn net op de markt gekomen. Een volgende generatie is Terabit Ethernet (1 Tb is 1000 Gb), waarbij 1 Tbit/s op dit moment in testsituaties al haalbaar is.

D.3 Bereik

Zoals ook in de inleiding van deze aansluitoptie is aangegeven is het bereik van glasvezel op dit moment nog minimaal. De hoogte van de aanlegkosten maakt dat er sprake is van selectieve aanleg. Bij nieuwe woningbouw kan FttH kosteneffectief worden meegenomen, maar in bestaande bouw gaat dit niet op (zie ook kostenaspecten). Vanwege de extreem hoge kosten in rurale gebieden is het uiterst onwaarschijnlijk dat deze gebieden op afzienbare termijn met FttH zullen worden bediend (tenzij dit zwaar wordt gesubsidieerd).

D.4 Kwaliteit

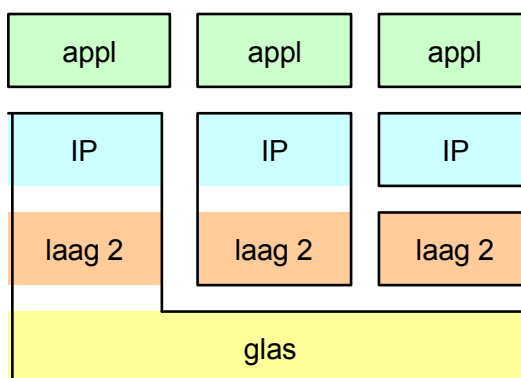
Hier moet wederom een onderscheid worden gemaakt tussen de P2P en de PMP oplossingen.. Bij de laatste geldt dat deze een gedeelde transmissiecapaciteit kent met de nadelen die al eerder zijn vermeld. Ook de daar genoemde instrumenten kunnen gebruikt worden bij de capaciteitsbeheersing van de Point to Multipoint oplossing over glasvezel waardoor bij correct capaciteitsmanagement een uitstekende kwaliteit geleverd kan worden. Bij P2P gelden deze beperkingen niet, maar dient de backbone waarop deze P2P verbindingen vervolgens zijn aangesloten wel voldoende goed te zijn gedimensioneerd om de beloofde bitsnelheden ook waar te kunnen maken.

Naast dit sterk aan capaciteit gerelateerde kwaliteitsaspect gelden voor FttH ook de andere kwaliteitsaspecten zoals beschikbaarheid, betrouwbaarheid of responsetijden. Op dit moment is geen onderbouwde uitspraak te doen over de kwaliteitsverschillen tussen FttH en de overige accessnetwerken op die vlakken. Operators hebben door dimensionering, inrichting van monteursorganisatie, SLA's etc. de mogelijkheid om deze kwaliteitsaspecten sterk te beïnvloeden, waardoor een uitspraak puur op basis van technische eigenschappen niet relevant is.

D.5 Openheid

Een typisch breedbandinfrastructuur gebaseerd op glas biedt mogelijkheden voor toegang op verschillende niveaus.

- Toegang tot de fysieke glaslaag is technisch goed mogelijk als het glas in de in Nederland gebruikelijke point-to-point topologie wordt aangelegd.
- Toegang tot laag 2, in de meeste gevallen Ethernet, is technisch goed mogelijk.
- Toegang tot laag 3, de IP laag, is uiteraard mogelijk. Door deze toegang kunnen klanten aangesloten op de infrastructuur de toepassingen op het publieke internet bereiken.



D.6 Migratiepotentie

Aangezien voor FttH een volledig nieuw aansluitnetwerk aangelegd dient te worden is nauwelijks sprake van het begrip migratie. Toch kan in de aanleg wel rekening worden gehouden met toekomstige veranderingen, en kunnen beperkte onderdelen van bestaande telecom- danwel overige infrastructuur worden hergebruikt.

Bij het aanleggen van een nieuw FttH netwerk zijn er verschillende methoden om dit gefaseerd te doen om zo tot een beheersing van de kosten te komen. Ten eerste kan gekozen worden voor een fysieke oplossing \waarbij niet-noodzakelijke investeringen zoveel mogelijk naar de toekomst worden verschoven. Denk hierbij aan huishoudens die nu niet aangesloten willen worden. Er kan voor worden gekozen om toch al zo veel mogelijk van deze aanleg voor te bereiden op een mogelijke latere aansluiting door bijvoorbeeld een direct buried cable opgerold in de tuin of onder de stoep neer te leggen. Wanneer op dit adres dan op een later tijdstip alsnog een FttH-aansluiting wordt aangevraagd hoeven hiervoor niet opnieuw graafwerkzaamheden uitgevoerd te worden. Een alternatief hiervoor is het

leggen van een buis tot aan de woning, waarbij er alleen een glasvezel hoeft te worden geblazen bij latere ingebruikname van de aansluiting. Ten tweede kan het netwerk zelf organisch groeien, gebaseerd op mogelijkheden tot slim meeleggen. Een gemeente kan er bijvoorbeeld voor kiezen om overal waar de stoep opengaat alvast ducts in de grond te laten leggen. Aangenomen dat gedurende een aantal jaar er overal wel riool vernieuwd moet worden of herbestratingen plaats vinden, kan er op die manier langzamerhand en zonder veel extra kosten een buizennetwerk in de grond gelegd worden dat als basis kan dienen voor een nieuw FttH aansluitnetwerk.

Daarnaast kunnen op andere plaatsen voorbereidingen voor de toekomst worden getroffen. Zo kunnen bijvoorbeeld in de ringstructuren van de actieve ster netwerken alvast extra glasvezels geplaatst worden of extra ducts geplaatst te worden, zodat bij een toekomstige capaciteitstoename alleen deze extra vezels belicht hoeven te worden of alleen een vezel door de ducts hoeft te worden geblazen.

Een migratie van een Fiber-to-the-Cabinet (FttCab) topologie naar een Fiber-to-the-Home topologie is ook een optie. Hierbij zou voor een deel gebruik gemaakt kunnen worden van de glasvezelringen die in een FttCab topologie de straatkasten met elkaar verbinden. In de praktijk blijkt echter dat een FttCab-netwerk een veel fijnmazigere structuur heeft dan een FttH netwerk (er zijn per FttCab-straatkast een factor 10 minder aansluitingen mogelijk dan per FttH-AreaPop). Daarnaast kan op de locatie van een straatkast niet zonder slag of stoot een (fors grotere) AreaPop geplaatst kan worden. De inefficiëntie en extra complexiteit die dit oplevert weegt waarschijnlijk niet op tegen de kostenbesparing van het hergebruik van de glasvezelringen. Een deel van de investeringen gedaan voor de VDSL2-infrastructuur (zowel qua apparatuur als qua graafwerk) zal dus niet hergebruikt kunnen worden voor een optimale FttH-infrastructuur.

Ook binnen de FttH familie is migratie mogelijk. Enerzijds vindt dit plaats door het bijplaatsen van apparatuur, zoals bijvoorbeeld het vervangen van 100Mbit/s netwerk-apparatuur door 1Gbit/s netwerk-apparatuur. Anderzijds is ook een migratie van PON naar P2P mogelijk. Wanneer wordt gestart met het aanbieden van PON (gedeelde capaciteit over n gebruikers via een splitter) kan steeds verder worden gesegmenteerd (bijplaatsen van een splitter waardoor de beschikbare capaciteit door minder gebruikers hoeft te worden gedeeld). Wanneer dit proces van segmenteren wordt voortgezet komt men uiteindelijk uit op een capaciteit die slechts met 1 gebruiker hoeft te worden gedeeld, oftewel P2P. Voordeel van deze aanpak is dat de initiële aanlegkosten laag zijn, en de capaciteit van het netwerk kan meegroeien met de klantvraag, in lijn met de incrementele opwaardering van het HFC-netwerk.

D.7 Kostenaspecten

Het grootste kostenverschil tussen de aanleg van een greenfield FttH-netwerk en de migratie van bestaande netwerken is gelegen in de initiële investeringen die dit met zich meebrengt.

Het volledig nieuw aanleggen van een aansluitnetwerk is een zeer grote kostenpost, die ineens moet worden gemaakt, nog voordat daar opbrengsten van gebruikers tegenoverstaan. De migratiescenario's voor full copper en hybride aansluitnetwerken kunnen veelal geleidelijk worden doorgevoerd, de initiële kosten van migratie zijn lager en er is al een grote groep gebruikers die via hun maandelijkse abonnementskosten voor een inkomensstroom zorgen. Bij Greenfield fiber dient een groot deel van de investeringen ineens gedaan te worden, zijn die investeringen hoger, en zijn er nog geen bestaande klanten die al voor inkomsten zorgen.

Er zijn vier fasen te onderscheiden in het aanleggen van een greenfield fibernetwerk, die allemaal kosten met zich meebrengen:

Allereerst moet vanaf de centrale tot aan ieder huis een glasvezel worden gelegd. In bijna alle gevallen zal hiervoor de straat moeten worden opgebroken, wat naast grote kosten ook overlast tot gevolg heeft. Ook moeten op diverse plaatsen zogenaamde POP's (Points of Presence) worden geplaatst.

Vervolgens moet voor ieder huis de glasvezelkabel vanaf de straat worden doorgetrokken tot in de woning, totdat deze in de meterkast uitkomt. De kosten hiervoor zijn zeer fors, en worden mede bepaald door de bereidwilligheid van bewoners om de monteurs toe te laten, en het type woning (wel of geen tuin, wel of geen kelder, bereikbaarheid van de meterkast, bovenwoningen, etc). Wanneer bewoners niet bereid zijn de monteur toe te laten wordt de vezel veelal onder de grond opgeslagen voor de woning, zodat deze aansluiting op een later tijdstip alsnog gemakkelijk gemaakt kan worden. Vanuit een kostenperspectief zijn dit investeringen die nu gemaakt moeten worden, terwijl de opbrengsten die daartegenover staan pas later zullen plaatsvinden, en een zekere mate van onzekerheid in zich hebben.

Wanneer het glas in de meterkast is aangebracht dient daar nog apparatuur te worden geplaatst die het optische signaal omzet in een elektrisch signaal, de ONT (Optical Network Terminal), ook wel FTU (Fiber Termination Unit) genoemd.

Daarnaast moet ook in de POP actieve apparatuur geplaatst worden die de signalen van en naar de wijk bundelt en ontbundelt (multiplexing) en doorstuurt richting het koppelpunt met de backbone-infrastructuur.

Alle kosten behalve de kosten voor apparatuur op klantlocatie, moeten gemaakt worden voor de aangesloten huishoudens (Homes Passed en Homes Connected), ongeacht of deze huishoudens ook daadwerkelijk klant zullen gaan worden (Homes Activated). De adoptiegraad is daardoor een zeer cruciale factor in de berekeningen of de aanleg van glasvezel op de middellange termijn rendabel is, net als de maandelijkse ARPU (Average Revenue Per User) die een operator voor haar dienstverlening kan vragen in de toekomst. Om in ieder geval zeker te zijn van een minimale adoptie – en daarmee een inkomstenstroom - wordt in veel uitrolscenario's gewerkt met voorintekening. Pas wanneer in een bepaalde wijk een percentage van bijvoorbeeld 40% van de huishoudens een abonnementscontract afsluit wordt overgegaan tot het verglazen van zo'n wijk. De OPTA geeft aan dat Reggefiber intern uitgaat van een marktaandeel van 60% om de

netwerkuitrol te kunnen bekostigen en daarnaast voldoende rendement te leveren voor haar investeerders.⁴⁴

De door TNO geschatte investeringskosten voor FttH ligt tussen de 1.125 en 1.425 Euro per geactiveerde klant. De genoemde kosten zijn gebaseerd op analyses van de OPTA van het Reggefiber netwerk, wat te classificeren is als een Actieve Ster Point-to-point FttH aansluitnetwerk met een combinatie van ducts en buried cables. De kosten zijn als volgt opgebouwd.

Greenfield FttH	kosteninschatting (euro)
Aanlegkosten tot in meterkast	775 - 1025*
actieve apparatuur in netwerk (DSLAM, xWDM)	100**
apparatuur bij klant (ONT, RG, geen STB)	250-300***

* OPTA: tariefbesluit ontbundelde glastoegang 2009

** inschatting TNO

*** ONT 200,- (op basis van KPN: update on KPN's fiber roll-out, 15 december 2009), RG 50-100,- (inschatting TNO)

Figuur D-4: Kostenopbouw FttH

Op basis van deze inschatting zal voor de uitrol van een FttH-netwerk dat in 2020 70% van Nederland bedekt een netwerkinvestering van tussen de 3 en 5 miljard euro noodzakelijk zijn⁴⁵. Daarnaast zullen de operators die over dit FttH netwerk hun diensten gaan aanbieden natuurlijk nog diverse andere kosten maken, zoals (maar zeker niet beperkt tot) kosten voor marketing en distributie, installatie door een monteur, customer care of content-rechten voor het aanbieden van TV. Deze kosten kunnen – met name in de aanlooperperiode – hoger uitvallen dan vergelijkbare kosten voor bestaande netwerken.

Voor de toekomst is de verwachting dat de kostprijs van apparatuur zal dalen (wanneer wereldwijd meer FttH-netwerken gebaseerd op vergelijkbare technologie worden uitgerold gaan economies of scale spelen). De kostprijs van de aanleg zal in de toekomst waarschijnlijk gelijk blijven dan wel stijgen, aangezien een groot deel van deze kosten bestaat uit (gespecialiseerde) arbeidskosten en hier weinig verdere schaalvoordelen op te behalen zijn.

Tegenover deze hoge initiële investeringen staat de belofte van lagere maandelijkse kosten (OPEX) in vergelijking tot die van bestaande aansluitnetwerken.

⁴⁴ OPTA 2009, tariefbesluit ontbundelde glastoegang FttH

⁴⁵ ~1125 tot ~1425 Euro * ~70% dekking * ~60% penetratie * ~7.800.000 huishoudens

E Aanbodzijde: toelichting op kostenschattingen

Naast het beoordelen van verschillen tussen infrastructuren op technologisch vlak dienen ook de verschillen in investerings- en onderhoudskosten in ogenschouw genomen te worden.

Daarbij dient onderscheid gemaakt te worden tussen de initiële investering die noodzakelijk is om een nieuwe accessvorm aan te bieden, en de terugkerende operationele kosten die een accessvorm met zich meebrengt.

Om deze investeringen goed met elkaar te vergelijken is begrip van een aantal dwarsdoorsnedes vereist.

De investering die nodig is om een verbinding over een nieuwe accessvorm te leveren valt uiteen in

- investeringen in het netwerk (openbreken van straten, trekken van kabels tot aan straatkast of tot in de meterkast, plaatsen van straatkasten, etc.)
- investeringen in apparatuur in het netwerk (DSLAM, CMTS, versterkers, ODF, xWDM, noodstroomvoorziening, etc)
- investeringen in apparatuur bij de klant thuis (ONT/FTU, modem)

Er bestaan 3 niveaus waarop deze investeringen gepleegd worden:

- Home passed: het aansluitnetwerk is aangelegd tot aan de erfgrans van een klant
- Home connected: het aansluitnetwerk is tot in de woning van de klant afgemonteerd
- Home activated: de klant kan diensten ontvangen over het aansluitnetwerk doordat een modem/router is geïnstalleerd bij de klant en deze een abonnement bij een ISP afneemt.

Een groot verschil tussen de greenfield-situatie van FttH en de evolutionaire paden van xDSL en HFC is dat er bij FttH een glasvezel moet worden aangebracht vanaf de erfgrans tot in de woning. Nadat de glasvezelkabel (veelal in de meterkast) de woning binnen komt wordt deze afgemonteerd in een ONT/FTU (Optical Network Terminal / Fiber Termination Unit). Migraties van xDSL en HFC benutten de bestaande koperverbinding (twister-pair of coax) die al aanwezig is tot in een punt in de woning, en daar al is afgemonteerd in het ISRA-punt (InfraStructuur / RandApparatuur-punt) voor DSL of de AOP (Abonnee Overname Punt) voor HFC netwerken.

Om de glasvezel tot in de woning te installeren is medewerking van de bewoners nodig, terwijl dat niet nodig is bij migraties van xDSL en HFC. Wanneer in een wijk glasvezel wordt uitgerold zullen er dus méér homes passed zijn (alle huizen uit die wijk waar de glasvezel ook daadwerkelijk tot aan de erfgrans komt) dan homes connected (aantal huizen waar de glasvezel ook daadwerkelijk in de meterkast is afgemonteerd), doordat niet iedere huiseigenaar toegang wil of kan verlenen. Bij xDSL en HFC netwerken zijn er slechts zeer weinig Homes Passed die niet Homes Connected zijn, doordat het telefonienetwerk en het kabeltelevisienetwerk in gebieden waar ze beschikbaar zijn in vrijwel alle woningen zijn afgemonteerd.

Wanneer huizen zijn aangesloten kunnen er op dat adres diensten geleverd worden. Niet alle homes connected zullen ook homes activated worden, omdat bewoners de keuze hebben uit meerdere infrastructures, of om geen diensten af te nemen.

F Aanbodzijde: verslagen interviews met marktpartijen

Gezien het feit dat de ontwikkeling van breedbandinfrastructuren in Nederland het hoofdthema is in dit rapport, zijn de goedgekeurde verslagen van de interviews met drie partijen aan de aanbodzijde expliciet en volledig separaat in dit rapport opgenomen. Achtereenvolgens betreft dit KPN, Ziggo en Breednet. Bij de interviews is de in dit rapport aangehouden methodiek voor de karakterisering van accessnetwerken zoveel mogelijk aangehouden.

F.1 Verslag interview met KPN

Datum: 8 januari 2010
Geïnterviewden: Jos Huigen en Jan Wildeboer

1. Capaciteit

KPN zet verschillende DSL technologieën naast elkaar in op het kopernetwerk: ADSL2+ en VDSL2. ADSL2+ levert klanten gemiddeld zo'n 5,8 Mbit/s downstream. Dit getal ontleent KPN aan een onderzoek van Telecompaper (zie <http://www.telecompaper.com/news/article.aspx?cid=706404>). Naast ADSL2+ zet KPN ook VDSL2 in. In eerste instantie wordt VDSL2 vanuit de centrale gebruikt. VDSL2 levert een hogere snelheid dan ADSL2+ als de lengte van de koperlijn tussen klant en centrale minder is dan ongeveer 1,5 km. In de Nederlandse situatie betekent dit dat ongeveer 70% van de klanten met VDSL2 een hogere snelheid krijgt dan ADSL2+. Voor de andere klanten levert VDSL2 geen noemenswaardige snelheidsverhoging op, doordat ze verder van de centrale zitten.

In de gevallen dat met VDSL2 een hogere bandbreedte geleverd kan worden betekent dit niet automatisch dat KPN een dienst met een hogere "geadverteerde" bandbreedte kan gaan aanbieden. Op dit moment wordt voor breedband internet in de consumentenmarkt alleen de in theorie maximaal haalbare snelheid genoemd. Deze geadverteerde snelheid wordt bij veel klanten in de praktijk niet gehaald. De inzet van VDSL2 biedt KPN de mogelijkheid om klanten een hogere snelheid te bieden (tot 40 Mbit/s) danwel bestaande klanten een snelheid te leveren die dicht in de buurt van de nu geadverteerde snelheid komt. De daadwerkelijke ervaring van de klanten zal met de overgang naar VDSL2 in veel gevallen veel beter worden. De winst in bandbreedte kan ook gebruikt worden om extra (HD-) TV kanalen te leveren.

Naast VDSL2 vanuit de centrale is KPN ook gestart met VDSL2 vanuit de straatkast (Fiber to the Curb). Voor klanten dicht bij de straatkast levert dit potentieel snelheden tot 30-50 Mbit/s downstream. Minstens zo belangrijk voor KPN is dat met VDSL vanuit de straatkast eenvoudigweg meer klanten een hogere bandbreedte kunnen krijgen dan alleen met VDSL vanuit de centrale. Er zijn daarvoor teveel klanten die te ver van een centrale zitten voor dergelijke snelheden. KPN heeft geen plannen om het aantal straatkasten of concentratiepunten dichtbij de klant uit te breiden.

Op dit moment staat er na VDSL2 geen andere technologie meer op de roadmap voor het koperen aansluitnet. Als de capaciteit wordt vergroot door verdere verglazing is het voor KPN niet aantrekkelijk om een nieuw concentratiepunt dichterbij de huizen in te richten voor DSL apparatuur voor nog kortere afstand, omdat daarvoor te veel bestaand koper verlegd en opnieuw aangesloten moet worden. Als er dan toch gegraven moet worden voorziet KPN een volledige verglazing.

Een andere mogelijkheid die KPN zeker serieus neemt is om het laatste stuk in het aansluitnet te overbruggen met hoge capaciteit draadloze verbindingen (LTE). In Nederland zal het gebruik van draadloze technologieën als vervanging voor het vaste aansluitnet wellicht niet zo'n vlucht nemen als in bijvoorbeeld Oostenrijk. De verhouding tussen vaste en draadloze technieken in het aansluitnet verschilt sterk per land. In andere landen is zichtbaar dat draadloos met name een alternatief vormt als er een relatief lage penetratie van breedband op vaste infrastructuur bestaat.

Voor volledig verglaasde aansluitnetten ziet KPN geen technische beperkingen aan de capaciteit, mits het glas in een point-to-point (P2P) topologie wordt aangelegd. KPN vindt het belangrijk dat er geen technische beperkingen ontstaan om symmetrische bandbreedtes te bieden. Consumenten gebruiken nu volgens KPN vooral asymmetrische toepassingen omdat de bestaande aansluitnetwerken asymmetrische bandbreedte bieden, met een veel hogere downstream dan upstream. Als de aansluitnetwerken eenmaal symmetrische bandbreedtes bieden, komen de symmetrische toepassingen vanzelf.

2. Topologie

De topologie van het kopernetwerk is een gegeven, KPN gaat daarin geen veranderingen meer doorvoeren. De straatkast zal het laatste concentratiepunt zijn waarin KPN actieve apparatuur opstelt.

Voor glas heeft KPN een voorkeur voor de point-to-point (P2P) topologie boven point-to-multipoint topologieën als PON, om verschillende redenen:

- P2P is het meest toekomstvast, alle vezels die in de toekomst nodig kunnen zijn worden met een P2P topologie aangelegd. Als er toch gegraven moet worden, heeft deze aanpak KPN's voorkeur.
- P2P levert een ongedeeld aansluitnetwerk, waarin de capaciteiten die individuele gebruikers krijgen elkaar niet beïnvloeden.
- P2P is rechtoe-rechtaan te ontbundelen op de fysieke laag.
- P2P biedt de meeste mogelijkheden om apparatuur te concentreren in het hoofdnet, en dat zorgt voor lagere operationele kosten.

KPN/Reggefiber gebruikt voor de aanleg van verglaasde aansluitingen geen buizen (ducts): de glasvezelkabels liggen direct in de grond.

3. Bereik

KPN ziet geen enkele technische beperking voor de afstand die met verglaasde aansluitingen overbrugd kan worden. KPN heeft eerder al uitgesproken dat het verwacht in 2015-2016 tussen de 30 en 60% van de Nederlandse huizen volledig

verglaasd te hebben aangesloten. KPN neemt het besluit tot verglazing per regio op basis van een lokale business case. De uitrol wordt vooral bepaald door de commerciële afweging in de business case. Het aantal nieuwe glasaansluitingen dat per jaar kan worden gerealiseerd is door beperkingen in mankracht en graafwerk beperkt tot zo'n 600.000. Los daarvan moet het graafwerk in gemeenten gedoseerd worden: te grootschalig graven in een gemeente levert veel overlast door opgebroken straten en stoepen.

4. Kwaliteit

KPN levert verschillende producten op basis van DSL met ieder hun eigen kwaliteitsgaranties. Voor glas geldt hetzelfde. Omdat glas intrinsiek een hoge kwaliteit levert, verwacht KPN dat de verschillen in kwaliteitgaranties gaan afnemen.

5. Openheid en ontbundeling

KPN ziet voor glas een open model waarin andere partijen op verschillende niveaus toegang kunnen krijgen tot het netwerk, variërend van fysiek niveau tot IP niveau.

- Fysiek niveau: glasfiber
- Ethernet niveau
- IP niveau.

Op dit moment is er vooral vraag naar het fysieke en het IP niveau. Niet alle mogelijkheden voor ontbundeling zijn nu op ieder niveau beschikbaar. KPN ziet graag zoveel mogelijk verkeer over zijn netwerken lopen, en trekt daarom graag verkeer van andere partijen aan.

6. Kosten van breedbandinfrastructuren

Voor wat betreft de kosten verwijst KPN naar de analistenpresentatie "Update on KPN's fiber roll-out" van 15 december 2009 (publiek beschikbaar via <http://www.kpn.com/corporate/en/ir/Update-Fibre.htm>). Daarin zijn onder meer de volgende kosten vermeld:



Fiber Capex overview

Different stages in roll-out process have different Capex and parties involved

		Homes passed	Homes connected	Homes activated
FtH	What	<ul style="list-style-type: none"> Roll-out of dark fiber to premises 	<ul style="list-style-type: none"> Install FTU² in homes 	<ul style="list-style-type: none"> Install own equipment and provide (wholesale) services
	Who	<ul style="list-style-type: none"> Reggefiber 	<ul style="list-style-type: none"> Reggefiber 	<ul style="list-style-type: none"> KPN Alternative operator
	Capex ¹	<ul style="list-style-type: none"> € 700 - 800 	<ul style="list-style-type: none"> ~ € 200 	<ul style="list-style-type: none"> ~ € 400 (triple-play)
FtC	What	<ul style="list-style-type: none"> Roll-out of fiber to street cabinets 	<ul style="list-style-type: none"> Active network equipment 	<ul style="list-style-type: none"> Install own equipment and provide (wholesale) services
	Who	<ul style="list-style-type: none"> KPN 	<ul style="list-style-type: none"> KPN 	<ul style="list-style-type: none"> KPN Alternative operator
	Capex ¹	<ul style="list-style-type: none"> € 150 - 200 	<ul style="list-style-type: none"> € 100 - 150 	<ul style="list-style-type: none"> ~ € 400 (triple-play)

¹ Cost per home

² Fiber Termination Unit

30

Bovenstaand overzicht gaat in op de investeringskosten (CAPEX). De operationele kosten (OPEX) spelen ook een grote rol bij investeringsbeslissingen. Voor FttH netwerken is de initiële CAPEX hoog, o.a. vanwege de graafkosten. Aan de OPEX kant ziet KPN mogelijkheden tot forse besparingen vergeleken met het kopernet. Deze besparingen komen voort uit o.a. een flink kleinere hoeveelheid actieve apparatuur, minder onderhoud, eenvoudiger provisioning en een lager energieverbruik.

F.2 Verslag interview met Ziggo

Datum: 11 januari 2010

Geïnterviewden: Jan Pieter Witsen-Elias, Frans Schijver en Bert Gierveld

1. Capaciteit

Ziggo levert nu diensten over de kabel door middel van verschillende technologieën:

- Analoge TV
- Digitale TV via DVB-C
- Internet via DOCSIS.

Voor internet diensten maakt Ziggo op dit moment de migratie van DOCSIS 2.0 naar DOCSIS 3.0. Met DOCSIS 3.0 is het mogelijk om substantieel hogere snelheden aan klanten te leveren door gebruik te maken van channel bonding. Bij channel bonding worden meerdere 8 MHz kanalen uit het kabelspectrum gebundeld. Binnen de huidige

DOCSIS technologie moet daarbij gedacht worden aan 4 tot 8 kanalen, later kan dat ook met 16 of 32 kanalen. In principe kan het daarna met nog meer kanalen, bijvoorbeeld met de 80 kanalen die nu beschikbaar zijn. Ziggo ziet hiervoor geen technische beperkingen, het is eerder de vraag of er marktvrage is naar de snelheden die met deze verdere bundeling mogelijk worden. Bonding kan zowel voor de downstream als voor de upstream toegepast worden.

In de downstream levert één kanaal bij de huidige modulatie circa 50 Mbit/s aan bandbreedte. Met bundeling van 32 kanalen wordt de capaciteit 1,5 Gbit/s. Deze capaciteit wordt gedeeld door de klanten die op één kablesegment zijn aangesloten. Op dit moment zitten er typisch 1000 klanten in een segment. Ziggo voorziet dat bij groeiende vraag naar bandbreedte dit aantal omlaag gaat naar 250 en later eventueel naar 100. Door het aantal klanten in een segment te verkleinen neemt de bandbreedte die per klant gemiddeld beschikbaar is toe. Voor het verkleinen van segmenten rekent Ziggo een doorlooptijd van een half tot één jaar.

Op basis van kanaalbundeling levert Ziggo op dit moment internet diensten tot maximaal 50/8 Mbit/s (down/up) en in een deel van het verzorgingsgebied 120/10 Mbit/s (down/up). Ziggo besteedt daarbij veel aandacht aan het correct dimensioneren van het netwerk, omdat Ziggo de bij klanten gewekte verwachtingen over bandbreedte daadwerkelijk wil waarmaken. Ziggo ziet dat de verhouding tussen de bandbreedte genoemd in marketing uitingen en de in de praktijk geleverde bandbreedte een onderwerp is dat meer gaat leven bij het publiek, o.a. naar aanleiding van onderzoek van de consumentenbond.

2. Topologie

De kabelaars hebben in het verleden al geïnvesteerd in hun netwerk en daarbij onder meer glasvezel dichtbij bij de huishoudens gebracht, hemelsbreed gemeten gemiddeld op 300 m. Deze korte afstand in combinatie met de grote intrinsieke bandbreedte van coaxkabel zorgt er voordat de bandbreedte die aan klanten geleverd kan worden nog lang door kan groeien zonder dat daarvoor extra graafactiviteiten nodig zijn. Ziggo verwacht nog vele jaren door te kunnen groeien door het bijschakelen van extra kanalen en verkleining van de kablesegmenten (zie boven). Daarmee kan voor netwerk een “pay-as-you-grow strategie” worden aangehouden waarmee investeringen pas gedaan worden wanneer een groei in bandbreedte gevraagd wordt vanuit de markt.

Mocht op een gegeven moment de evolutionaire groei via DOCSIS technologie niet meer economisch aantrekkelijk zijn dan kan er gekozen worden voor een andere technologie over de coax: Gigabit Ethernet-to-the-Home. Dit is een grotere stap waarbij meer investeringen nodig zijn. ETTH-Gbs kan gecombineerd worden met glas tot aan de eindversterker, waarmee de capaciteit nog verder wordt opgevoerd. Gemiddeld gezien wordt in dit geval de glasvezel tot op 50 m van de huizen gebracht. Gegeven de grote intrinsieke capaciteit van coax is niet nodig om de glasvezel door te trekken naar de huizen om dezelfde snelheid als FTTH te realiseren. Ziggo heeft reeds Ethernet-to-the-Home proeven gedaan maar gaat daar momenteel niet mee door omdat deze stap nog niet op afzienbare termijn nodig is.

Op dit moment is er nog geen DOCSIS 4.0 standaard, er wordt ook niet aan gewerkt. De huidige DOCSIS 3.0 standaard biedt de komende jaren nog voldoende ruimte voor verdere groei van de internetsnelheden op basis van channel bonding. Op dit moment is bonding tot 32 kanalen mogelijk, maar dit is geen bovengrens. Indien vanuit de operators de behoefte aan verdere bundeling daadwerkelijk materialiseert, dan verwacht Ziggo dat een dergelijke ontwikkeling niet meer dan een jaar hoeft te duren.

Op zichzelf is coax een symmetrisch medium. Binnen kabelnetwerken is de capaciteit echter zo ingericht dat er meer capaciteit richting de klant beschikbaar is (downstream) van de klant af (upstream). Volgens Ziggo is dit in lijn met de observatie dat het gebruik in grote mate bestaat uit het halen van informatie en content naar de gebruiker toe. Ziggo heeft tot nu toe in de consumentenmarkt geen verandering in deze asymmetrie in het verkeer kunnen constateren. De toekomstige ontwikkelingen in diensten worden volgens Ziggo bepaald door maatschappelijke innovatie en niet door de mogelijkheden van de huidige netwerken. Als er vraag ontstaat naar meer symmetrische bandbreedtes kan Ziggo daarop inspelen door de upstream capaciteit te vergroten via bundeling van kanalen en verder segmentatie.

3. Bereik

Ziggo ziet nauwelijks beperkingen voor het geografische bereik van breedbanddiensten geleverd via het HFC netwerk. Zonder graafwerk kan de capaciteit nog ver doorgroeien.

4. Kwaliteit

De DOCSIS technologie is ontwikkeld voor toepassing over het gedeelde HFC netwerk. Met DOCSIS technologie wordt daarom een statistische kwaliteit geleverd. Volgens Ziggo is leveren van kwaliteit vooral een kwestie van dimensionering. Met meer capaciteit (en investeringen) kan een hogere statistische kwaliteit geleverd worden. Dit geldt overigens niet alleen voor het aansluitnetwerk, maar ook voor de core netwerken van operators en voor het publieke internet.

Voor bepaalde toepassingen is niet de gemiddelde bandbreedte, maar de gegarandeerde responstijd en piekcapaciteit van belang voor de uiteindelijke klantbeleving. Dit speelt onder meer in delen van de zakelijke markt. Voor dergelijke behoeften heeft Ziggo een symmetrische diensten van 100/1000 Mbit/s over glas. Echter, het grootste deel van de MKB markt heeft vergelijkbare eisen als de consumentenmarkt. Ziggo ziet HFC (Hybrid Fibre Coax) als een goede infrastructuur om diensten te leveren aan de onderkant van de zakelijke markt, eventueel met een aangepast service level. Voor partijen die hogere eisen stellen kunnen diensten over glas geleverd worden. In principe kunnen deze diensten ook over HFC geleverd worden, maar Ziggo kiest ervoor om deze infrastructuur zoveel mogelijk op standaarddiensten te richten om een hoge efficiëntie te bereiken. Ziggo levert daarom geen 100 Mbit/s symmetrisch als “special” over HFC.

5. Openheid en ontbundeling

De openstelling van de kabel en wederverkoop van diensten moet volgens Ziggo per dienst bekeken worden. Voor TV vindt momenteel de implementatie plaats van de wederverkoopverplichting voor analoge TV over de kabel (WLR-C) en de doorgifte

verplichting voor digitale televisie. Los daarvan hebben programma-aanbieders al toegang tot de Ziggo kabel door opname in de zenderpakketten van Ziggo. Deze vorm van toegang komt tot stand via normale commerciële onderhandelingen.

Voor internet over kabel ligt openstelling anders dan bij DSL omdat er gebruik gemaakt van een gedeelde topologie. Een wholesale aanbod op de IP-laag is uiteraard mogelijk. Toegang op laag 2 is niet mogelijk vanwege de access technologie. Ziggo gelooft dat een aanbod op de IP-laag voldoende mogelijkheden biedt en dat een openstelling op een lagere laag niet nodig is. In principe is ontbundeling op de fysieke laag mogelijk bij de eindversterker. Een andere partij krijgt dan direct toegang tot het laatste stuk ongedeelde coax naar de klant. Om deze toegang zinvol te kunnen benutten moet die andere partij dan wel glasvezel naar de eindversterkers aanleggen en het is twijfelachtig of dat economisch aantrekkelijk is.

6. Kosten van breedbandinfrastructuren

Vanwege de pay-as-you-grow strategie is het moeilijk aan te geven hoeveel Ziggo moet investeren voor de volgende “stap” in capaciteit. Er is veel minder sprake van een eenmalige investeringsstap dan bijvoorbeeld bij Fiber-to-the-Home. Als kanttekening brengt Ziggo naar voren dat voor zowel coax als glas er herhaaldelijk geïnvesteerd zal moeten worden in nieuwe generaties actieve apparatuur. Het is volgens Ziggo niet zo dat in het geval van Fiber-to-the-Home de investeringen voorbij zijn na de aanleg van de glasvezel.

Ziggo schat dat er voor glas tot aan de eindversterker in combinatie met Ethernet-to-the-Home ongeveer vijf keer minder graafwerk nodig is dan voor Fibre-to-the-Home. De verwachte kosten van deze oplossing zijn hiermee een stuk lager.

F.3 Verslag interview met Breednet

Datum: 4 januari 2010

Geïnterviewde: Ton van Mil

Over BreedNet (bron: <http://www.breednet.nl/>)

Het project BreedNet maakt een snelle glasvezelverbinding voor kleinere en middelgrote bedrijven en instellingen betaalbaar en toegankelijk. BreedNet levert zelf geen aansluiting of diensten, maar bundelt de vraag naar glasvezel en aanbieders van breedbanddiensten. Hierdoor kunnen gunstige tarieven worden afgesproken met de glasvezelaanbieders. Gerenommeerde marktpartijen realiseren en exploiteren de infrastructuur. Op BreedNet kunnen zowel commerciële als niet-commerciële partijen hun diensten aanbieden.

Onderstaand verslag van het interview is gestructureerd aan de hand van de functionele kenmerken geïntroduceerd in hoofdstuk 2 van dit rapport. Drie volgens TNO belangrijke aandachtspunten uit dit interview zijn:

- Bedrijven die nauw met partners willen samenwerken via ICT applicatie-applicatie interactie hebben behoefte aan externe netwerkverbindingen die net zo snel zijn als hun interne bedrijfsnetwerk. Dit is voor BreedNet de motivatie om onder meer symmetrische 100 Mbit/s en 1 Gbit/s aansluitingen aan te bieden. Met deze

- snellheden blijft de performance (responsetijd) van de applicaties behouden tijdens pieken in het dataverkeer. Zie verder onder het onderwerp “capaciteit”
- Naast de bekende openheid vanuit de horizontale gelaagdheid van breedband infrastructures (passieve infra, actieve infra, diensten) is ook openheid in verbindingen met andere infrastructures (interconnectie) van groot belang. Bij BreedNet gaat het daarbij specifiek om Ethernet-Ethernet koppelingen tussen netwerken van verschillende providers. Zie verder onder het onderwerp “openheid en ontbundeling”.
 - De vraag naar hoge capaciteit bandbreedte in de (klein)zakelijke markt verschilt van die in de consumentenmarkt. De eisen in de (klein)zakelijke markt zijn in een aantal gevallen hoger. Dat betekent dat een aantal diensten geleverd wordt over Ethernet en niet over IP zoals veel consumentenmarkt diensten.

1. Capaciteit

BreedNet richt zich uitsluitend op kleine en middelgrote bedrijven. De ICT en netwerkbehoefte van deze bedrijven verschillen enerzijds van bedrijven in de grootzakelijke markt en anderzijds van de behoeften van consumenten.

Meer specifiek richt BreedNet zich op bedrijven die behoefte hebben aan intensieve onderlinge samenwerking in de vorm van ICT applicatie-applicatie interactie. Voor dit type interactie is het essentieel dat de performance van een applicatie die draait bij een ander bedrijf hetzelfde is als de performance van een applicatie die draait binnen het eigen bedrijfsnetwerk. Gegeven dat huidige bedrijfsnetwerken snellheden van typisch 100 Mbit/s of 1 Gbit/s hebben, betekent dit dat BreedNet deze snellheden aanbiedt voor externe netwerkverbindingen. Over de tijd gemiddeld is de belasting van bedrijfsnetwerken en de BreedNet verbindingen veel lager dan deze snellheden, omdat de hoeveelheid dataverkeer die de applicaties genereren sterk fluctueert in de tijd. Toch is het essentieel dat deze hoge snellheden beschikbaar zijn om de vereiste performance en responsetijd van de applicaties te halen. Deze performance wordt juist bepaald door hoe goed het netwerk kan omgaan met de pieken in het dataverkeer.

Verder is het belangrijk dat capaciteit symmetrisch beschikbaar is, omdat er bij samenwerking tussen bedrijven geen sprake is van een duidelijke upstream en downstream richting. Dat wil niet zeggen dat het gemiddeld gebruik voor een bedrijf symmetrisch hoeft te zijn (aanbieders zullen meer upstream hebben, terwijl gebruikers meer downstream verkeer zullen zien) maar om de gewenste performance te behalen is in beide richtingen een hoge bandbreedte nodig.

De marktpartijen die de BreedNet infrastructuur leveren gebruiken daarvoor in het overgrote deel van de gevallen volledig verglaasde aansluitingen. BreedNet ziet geen technische belemmeringen voor het verder opvoeren van de capaciteit van de verglaasde aansluitingen. BreedNet biedt zelf aansluitingen tot 1 Gbit/s. De hogere snellheden vanaf 10 Gbit/s zijn nu nog niet aan de orde voor de middelgrote bedrijven. Voor grote bedrijven zijn deze snellheden wel beschikbaar via diverse marktpartijen buiten het BreedNet project om.

2. Topologie

Omdat BreedNet optreedt als vraagbundelaar en niet de feitelijke provider is, heeft BreedNet geen direct betrokkenheid bij het ontwerp en de bouw van het netwerk. De

organisatie is daarom niet in detail op de hoogte van de gebruikte technologieën en architecturen. BreedNet weet wel dat de marktpartijen die BreedNet leveren in de meeste gevallen Point-to-Point (P2P) topologieën inzetten, vanuit een actieve ster. De details van de topologie van de glasnetwerken zijn voor BreedNet niet relevant, want die worden bepaald door de marktpartijen die de BreedNet infrastructuur leveren. Voor BreedNet is alleen relevant dat de topologie de functionaliteit ondersteunt zoals die voor een BreedNet aansluiting is gespecificeerd.

3. Bereik

BreedNet ziet geen relevante technische beperkingen aan het bereik van glasvezelnetwerken. Het bereik van het BreedNet netwerk wordt bepaald door de mate waarin BreedNet erin slaagt om voldoende vraagbundeling tot stand te brengen.

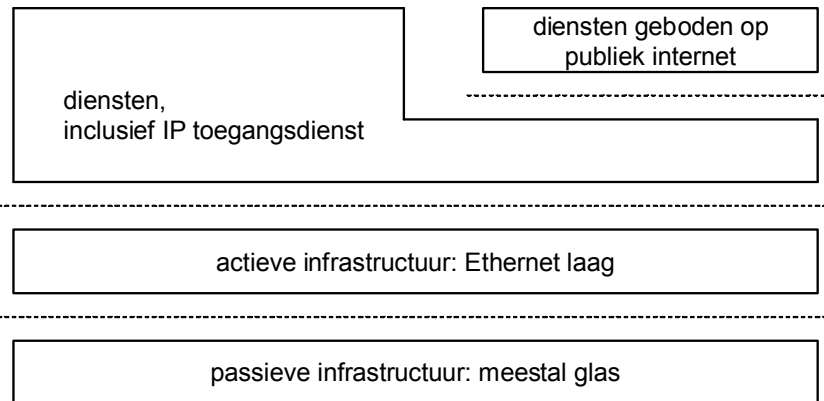
De specificaties van het BreedNet netwerk zijn functioneel geformuleerd. BreedNet staat daarom open voor netwerken gebaseerd op andere technologieën dan glas, zoals HFC of straalverbindingen, zolang ze aan de specificatie voldoen. Het staat marktpartijen dus vrij om gebieden waar de inzet van glas economisch gezien niet aantrekkelijk is aan te sluiten op BreedNet met andere technologieën dan glas. Marktpartijen die deelnemen in BreedNet kijken hier ook naar.

4. Kwaliteit

BreedNet heeft in zijn Service Level Agreements eisen opgenomen voor de delay, jitter en Ethernet frameloss in het netwerk. De marktpartijen die de BreedNet infrastructuur leveren voldoen hier in de praktijk aan. De netwerkqualiteit die zo tot stand komt is voldoende voor de veeleisende applicatie-applicatie interacties van de BreedNet klanten.

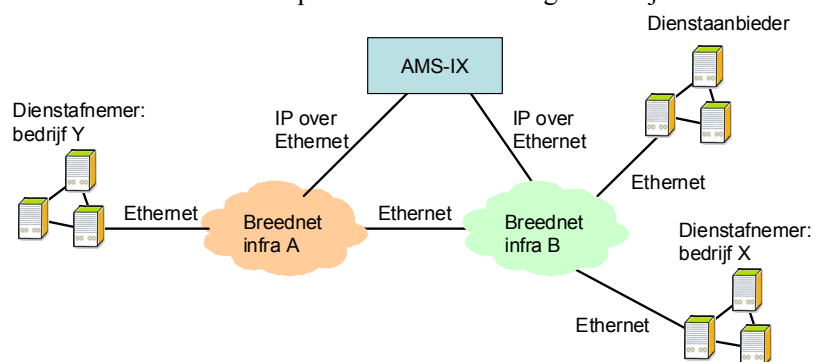
5. Openheid en ontbundeling

Voor BreedNet zijn twee soorten openheid van de infrastructuur van belang. Ten eerste is er de welbekende horizontale gelaagdheid, zie onderstaande figuur. In principe kan iedere laag in het model geleverd worden door een andere marktpartij, aangenomen dat de technische specificatie van de interface tussen de lagen afdoende is. Op één passieve infrastructuur kunnen meerdere marktpartijen een Ethernet laag aanbieden. Op deze Ethernet laag kunnen diensten worden aangeboden (isdn30, camerabewaking, mirroring van rekencentra, post productie). Voor BreedNet is de IP toegangsdienst één van de diensten die wordt aangeboden over Ethernet. Met deze IP toegangsdienst worden alle diensten op het publieke internet beschikbaar.



Het BreedNet aanbod en de vraagbundeling spelen zich af op de Ethernet laag. De reden hiervoor is dat het voor veel van de applicatie-applicatie interacties die BreedNet wil stimuleren nodig is om op de Ethernet laag eisen te stellen. Eisen op de IP laag (die in de praktijk vaak best-effort is) zijn hiervoor onvoldoende. Hier gaat de BreedNet behoefte dus verder dan veel van de huidige discussies over breedband ontbundeling, waarin geen scheiding tussen de Ethernet en IP actieve lagen wordt aangehouden en bovendien wordt verondersteld dat het leveren van (best effort) connectiviteit op IP voldoende is voor alle toepassingen en dienstverleners.

BreedNet kent ook een tweede soort openheid, in aanvulling op bovenstaande horizontale gelaagdheid. Voor het bereiken van voldoende schaalgroote is het voor BreedNet essentieel dat er Ethernet-Ethernet koppelingen tussen BreedNet infrastructuren geleverd door verschillende marktpartijen zijn, zie onderstaande figuur. Zonder deze Ethernet-Ethernet koppelingen kunnen dienstverleners alleen klanten bedienen die op dezelfde infrastructuur zijn aangesloten als zijzelf. In onderstaand plaatje zou de dienstverlener dus alleen bedrijf X kunnen bedienen. Met de Ethernet-Ethernet koppeling komt ook bedrijf Y binnen zijn bereik. Uiteraard zijn alle BreedNet infrastructuren ook met elkaar verbonden via het publieke internet en dus meestal via de AMS-IX internet exchange. Dit is echter een publieke IP koppeling die niet voldoet aan de BreedNet netwerk eisen die op het Ethernet niveau gesteld zijn.



De Ethernet-Ethernet koppelingen zijn op dit moment nog "specials" voor de leveranciers van de BreedNet infrastructuur. BreedNet voorziet dat in de toekomst deze koppelingen gaan worden gerealiseerd volgens de specificatie van het Metro Ethernet Forum (MEF). Deze specificaties zijn nu al beschikbaar en zijn door de telecomoperatoren en toeleveranciers voor deze operatoren ontwikkeld vanuit de gedachte dat alle bestaande operatorketens (dus ook het huidige telefoonnetwerk) op termijn

zullen migreren naar universele op ethernet gebaseerde netwerken. Telefoniediensten en internet access worden dan als dienst over deze netwerken geleverd.

Een complicatie die BreedNet ondervindt bij het verder ontwikkelen van de Ethernet-Ethernet koppeling is dat de huidige Wholesale Broadband Access (WBA) diensten een combinatie zijn van de access dienst en de Ethernet transport dienst. De Ethernet-Ethernet koppeling heeft een nauwe samenhang met het Ethernet transport deel van de WBA dienst, maar staat los van het access deel van de WBA dienst. Doordat deze twee delen in de bestaande WBA diensten gebundeld zijn ondervindt BreedNet moeite om de Ethernet-Ethernet koppeling breder ingevoerd te krijgen. Volgens BreedNet is deze bundeling het resultaat van de recente OPTA regulering van deze markt en remt de bundeling de ontwikkeling van (breedband)diensten. Dit terwijl het voor de dienstaanbieders belangrijk is om de Ethernet-Ethernet koppeling los te kunnen inkopen, omdat hun dienstafnemers over het algemeen al een aansluiting (access) hebben. Als dienstaanbieders door de bundeling van Ethernet transport en access gedwongen worden om een extra access af te nemen, worden hun kosten onnodig hoog.

BreedNet ziet een vergelijkbare complicatie bij het leveren van diensten door BreedNet aanbieders aan huishoudens aangesloten op Fiber-to-the-Home (FttH) infrastructuur. Op zichzelf is daar meestal toegang op Ethernet niveau mogelijk. Echter in de huidige wholesale diensten van bijvoorbeeld Reggefiber is die Ethernet toegang beschikbaar voor één service provider per huishouden. Dit introduceert lastige keuzes als een huishouden bijvoorbeeld internet en telefonie van KPN afneemt over het Reggefiber netwerk, en daarnaast een over Ethernet geleverde dienst van een BreedNet dienst aanbieder wil afnemen. Immers, als de op BreedNet aangesloten dienst aanbieder de Ethernet toegang overneemt van KPN, verdwijnen voor het huishouden de internet- en telefoniedienst. Dit remt de ontwikkeling van op Ethernet gebaseerde diensten in FttH gebieden. Voor diensten die over best-effort public IP geleverd kunnen worden ontstaat dit probleem niet, maar in de BreedNet ervaring lenen lang niet alle relevante diensten zich voor deze best-effort IP behandeling.

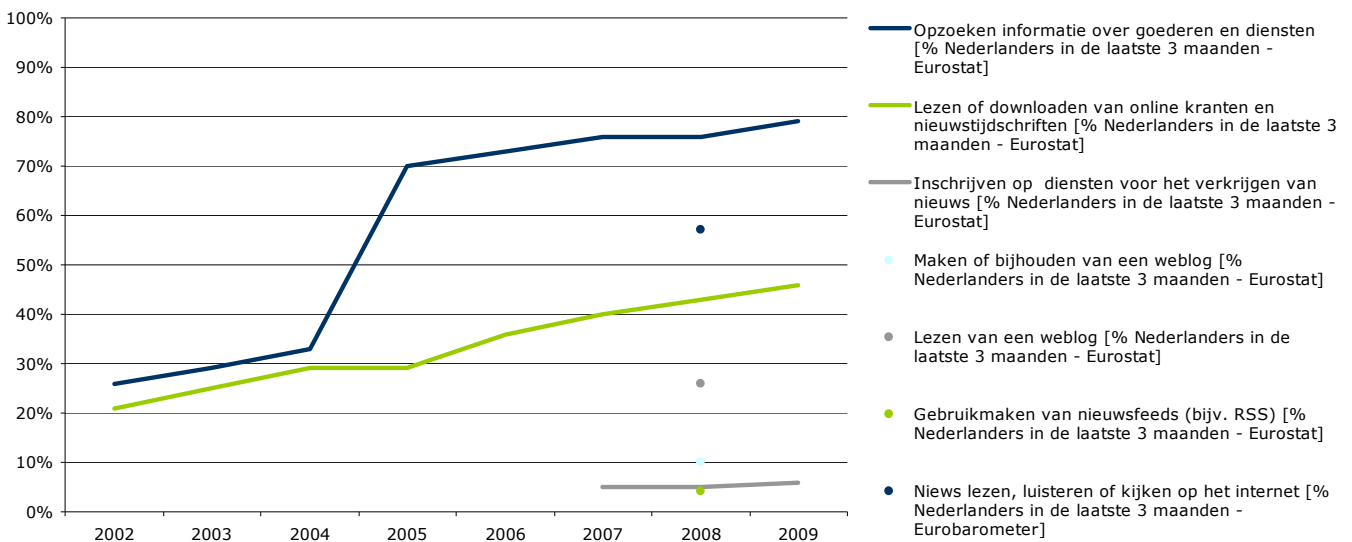
6. Kosten van breedbandinfrastructuren

Voor BreedNet zijn de tarieven die de marktpartijen vragen voor hun BreedNet infrastructuur aanbod relevant, deze zijn publiek beschikbaar op de BreedNet website. De kosten die de marktpartijen maken zijn voor BreedNet niet erg relevant, die zijn vooral een zaak voor de marktpartijen zelf. BreedNet heeft daarom alleen indirect zicht op de kosten van verglaasde infrastructuur.

G Vraagzijde: gebruik van ICET-diensten

G.1 Informatiediensten

Internet is – niet verwonderlijk – voor steeds meer mensen een belangrijke bron van informatie. Inmiddels kijkt 80 procent van de Nederlanders voor informatie over producten en diensten online; drie tot vier keer meer dan 7 jaar geleden. Ook voor toegang tot actualiteiten wordt internet steeds belangrijker. Bijna 50 procent leest of download online kranten en nieuwstijdschriften. Belangrijker is dat online nieuws steeds meer multimediaal wordt. Bijna 60 procent van de Nederlanders geeft aan nieuws te kijken, luisteren of lezen via internet. Dat betekent een groot aantal – relatief data-intensieve – audio- en videostreams.

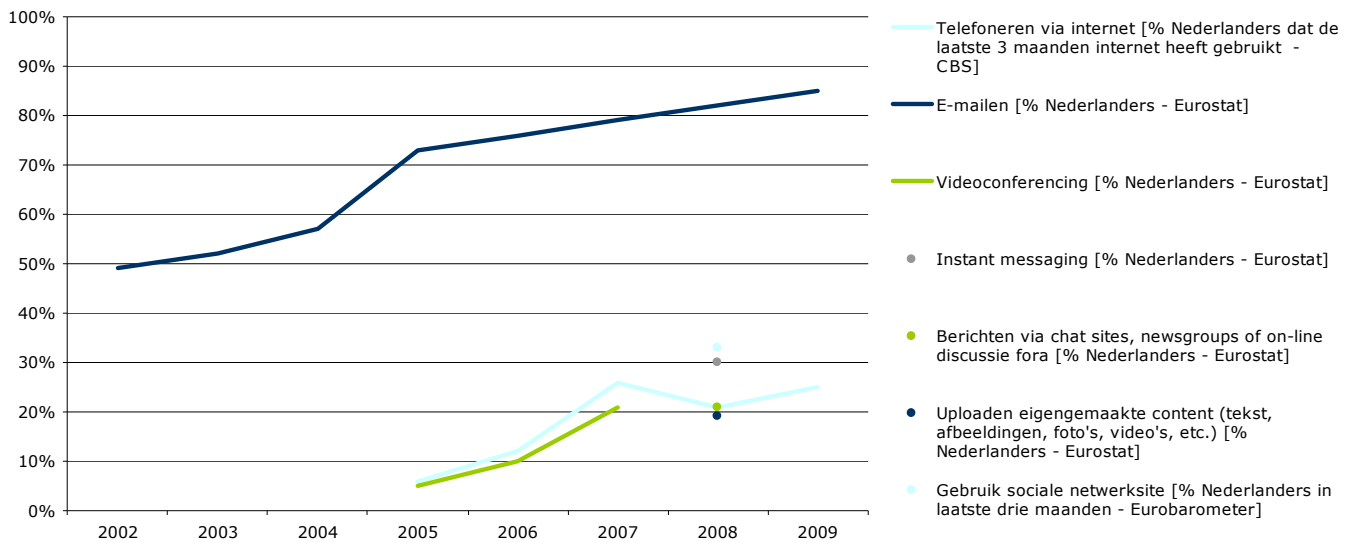


Figuur G-1: Informatievoorzieningen via internet; bron: Eurostat en Eurobarometer

G.2 Communicatiediensten

De belangrijkste vorm van communicatie is en blijft e-mail. Ongeveer 85% van de Nederlanders maakt hier gebruik van. De groei blijft beperkt tot een paar procent per jaar.

Bellen via internet kent een adoptie van ruim 25 procent. Tussen 2006 en 2007 kende de adoptie een sterke groei van bijna 150 procent. Vreemd genoeg is de adoptie van bellen via internet sindsdien licht gedaald.

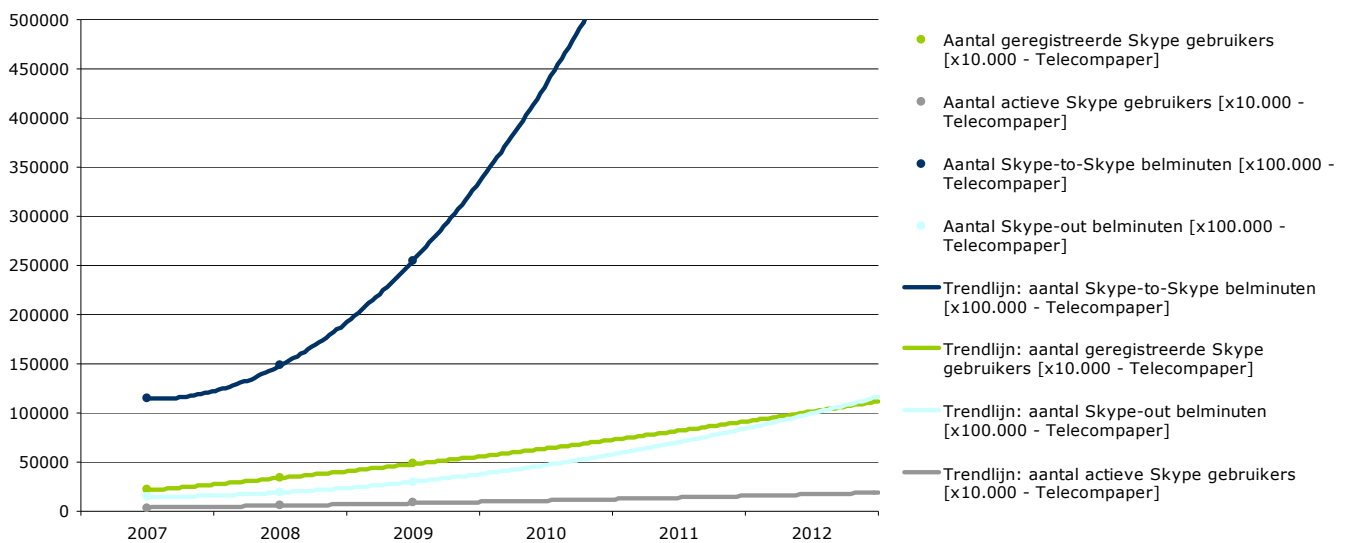


Figuur G-2: Communicatiediensten via internet; bron: CBS, Eurostat en Eurobarometer

Kijken we in meer detail naar de groei van Skype⁴⁶ ('s werelds belangrijkste aanbieder van bellen via internet) dan zien we dat het aantal belminuten veel sneller stijgt dan het aantal gebruikers. De groei van de adoptie van bellen via internet lijkt in voorgaande figuur wellicht relatief laag (en dat wordt bevestigd door de groei van het aantal Skype-gebruikers), het gegenereerde internetverkeer groeit vele malen harder. Overigens zal Skype zich vanaf medio 2010 ook op de zakelijke markt gaan begeven, iets wat de groei van het aantal gebruikers en daarmee van het gegenereerde internetverkeer mogelijk verder zal doen versnellen⁴⁷.

⁴⁶ Let op: het gaat hier om de wereldwijde ontwikkeling van Skype, de cijfers zijn niet zondermeer representatief voor Nederland

⁴⁷ Bron: <http://www.telecompaper.com/nl/article.aspx?cid=698194>



Figuur G-3: Skype-gebruik; bron: Telecompaper

Merk op dat het in bovenstaande figuren gaat om bellen via internet en niet om bellen via IP (VoIP). Die markt is in het derde kwartaal van 2009 gegroeid tot 3,43 miljoen abonnees, een kleine 50 procent van de Nederlandse huishoudens en bijna 60 procent van de vaste telefonie abonnees. De markt groeit nog steeds – daarvoor zijn met name de kabels verantwoordelijk – maar met steeds lagere cijfers⁴⁸.

Ook videoconferencing kende tussen 2006 en 2007 een sterke groei: ongeveer 100 procent. Helaas zijn er geen meer actuele EUROSTAT cijfers beschikbaar, maar diverse bronnen verwachten ook de komende jaren een sterke groei. Tussen nu en 2012 zal de markt naar verwachting in omvang verdubbelen. Dat kan zowel het gevolg zijn van een toename in het aantal gebruikers, als een toename in de intensiteit bij bestaande gebruikers. Wellicht ten overvloede: videoconferencing is een zeer data-intensieve dienst⁴⁹.

In 2008 was ongeveer 1 op de 3 Nederlanders actief op een social networking site. In Amerika verwacht men tussen nu en 2013 een toename van bijna 45%. Voor Nederland zou dat in 2013 een penetratie van bijna 50 procent betekenen. Het gebruik van social networking websites is *an sich* niet zo data-intensief. Dergelijke websites worden echter in toenemende mate gebruikt voor het delen van muziek- en videocontent en genereren dus veel verkeer bij websites als Youtube⁵⁰.

G.3 Entertainmentdiensten

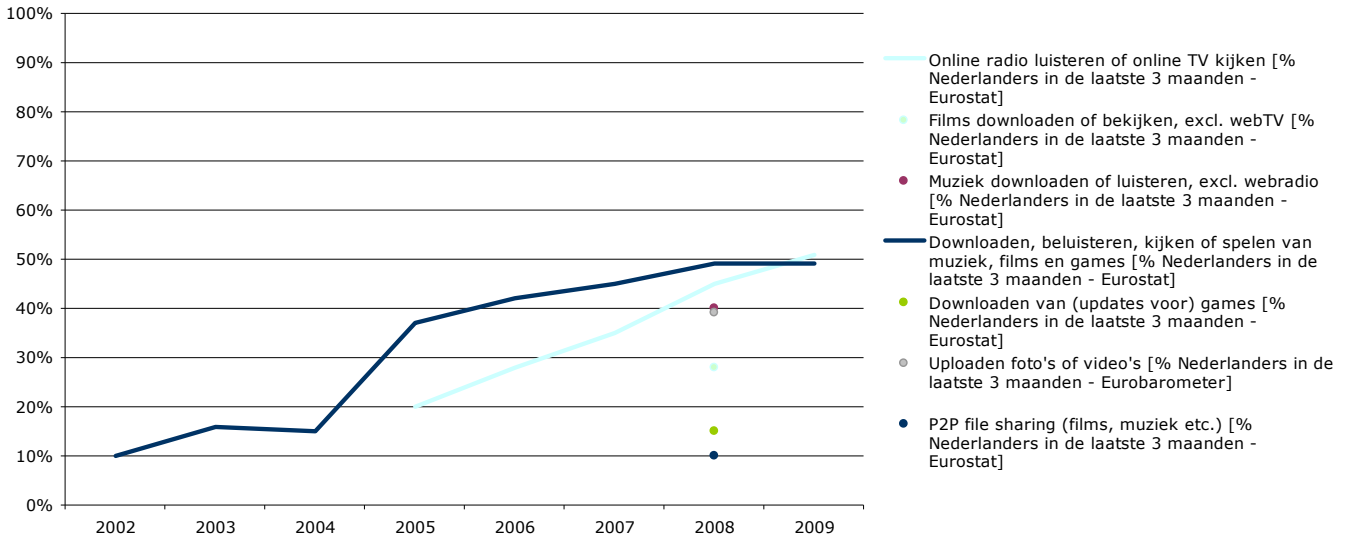
Ongeveer 50 procent van de Nederlanders download, beluistert, kijkt of speelt online muziek, films en games. Ongeveer evenveel Nederlanders kijken online TV, of luisteren online radio. 27 procent van de Nederlandse huishoudens keek in 2008 ‘wel

⁴⁸ Bron: <http://www.telecompaper.com/nl/article.aspx?cid=708244>

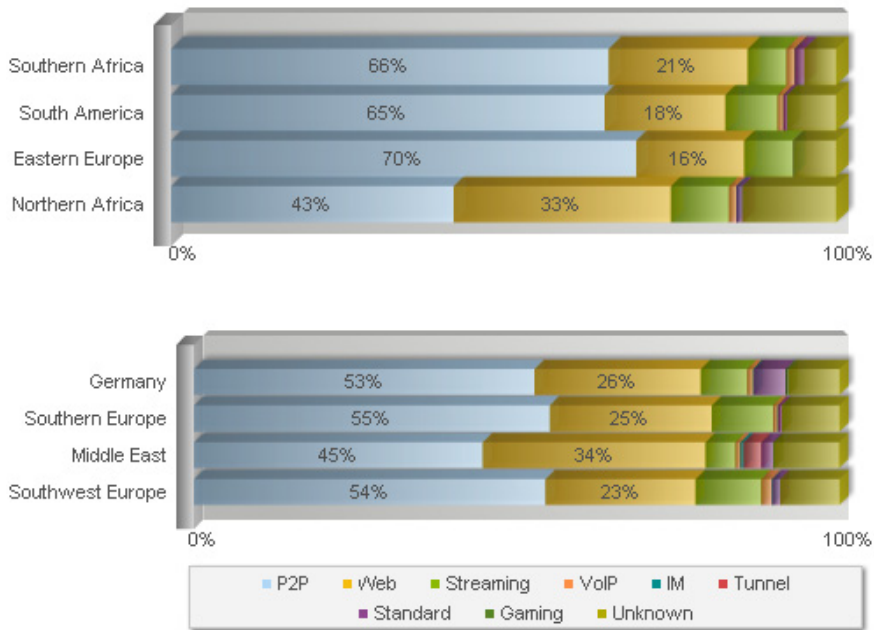
⁴⁹ Bron: <http://blogs.ft.com/techblog/2009/10/sharper-focus-on-video-conferencing/>

⁵⁰ Bron: <http://www.bluelizardgroup.com/2009/02/09/social-networking-forecast-to-grow-442-per-year/>

eens' televisie via de computer⁵¹. Een kleine 40 procent van de Nederlanders plaats foto's of video's online. En ongeveer 10 procent van de Nederlanders doet aan file sharing via P2P.



Figuur G-4: Gebruik online entertainmentdiensten; bron: Eurostat en Eurobarometer



Figuur G-5: Verschillende internetprotocollen en hun aandeel in het internetgebruik; bron: Ipoque

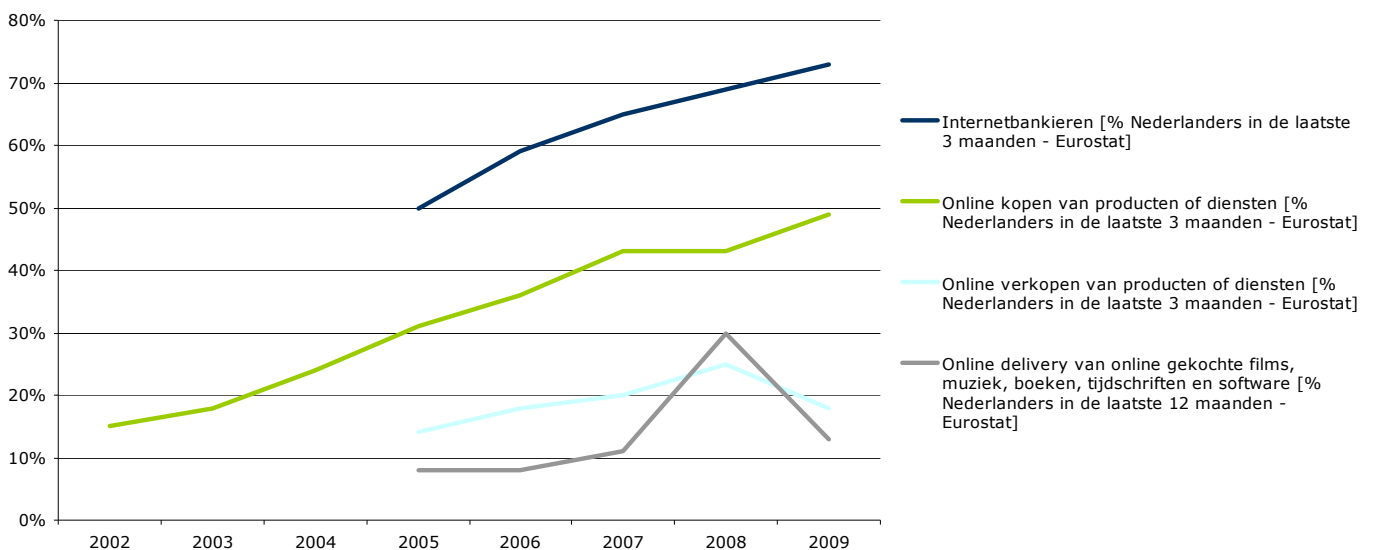
⁵¹ Bron: Stichting Kijkonderzoek (2008)

Interessant genoeg zijn deze adoptiecijfers niet erg indicatief voor de hoeveelheid dataverkeer die met de betreffende dienst gepaard gaat. Uit recent onderzoek van het Duitse Ipoque (producent van apparatuur voor deep-packet-inspection) blijkt dat P2P-verkeer (met name bittorrent) gemiddeld zo'n 50 procent van het totale internetverkeer uitmaakt. Streaming zit slechts rond 10 procent⁵².

P2P-verkeer groeit nog steeds maar het aandeel in de totale hoeveelheid webverkeer neemt af; andere soorten verkeer groeien met andere woorden harder. Uit hetzelfde Ipoque onderzoek blijkt dat met name regulier webverkeer sterk toeneemt. Een mogelijke reden is de sterke groei van bestanduitwisselingsdiensten als RapidShare. Recent onderzoek van Cisco – en onderzoek van *The Leading Question* onderschrijft dat – wijst op een sterke toename van vooral streaming video ten koste van P2P. Nederlandse data lijkt die trend te bevestigen: tussen 2007 en 2009 steeg het aantal streams dat online wordt bekeken via uitzendinggemist.nl van 107 miljoen tot 130 miljoen⁵³⁻⁵⁴⁻⁵⁵.

G.4 Transactiediensten

Steeds meer Nederlanders kopen online: het aandeel is gegroeid van 15 procent in 2002 tot 50 procent nu. Ook online verkopen wordt steeds meer gemeengoed, al is van 2008 tot 2009 een lichte daling waarneembaar van 25 tot 18 procent. Driekwart van de Nederlanders regelt bankzaken online.



Figuur G-6: Gebruik online transactiediensten; bron: Eurostat

Interessanter is het aantal Nederlanders dat online gekochte producten (muziek, films, boeken, software) ook online laat bezorgen; een bekend voorbeeld is muziek aangeschaft via iTunes. In tegenstelling tot de andere transactiediensten afgebeeld in

⁵² Bron: http://www.ipoque.com/resources/internet-studies/internet-study-2008_2009

⁵³ Bron: <http://tweakers.net/nieuws/58559/groei-dataverkeer-p2p-neemt-af.html>

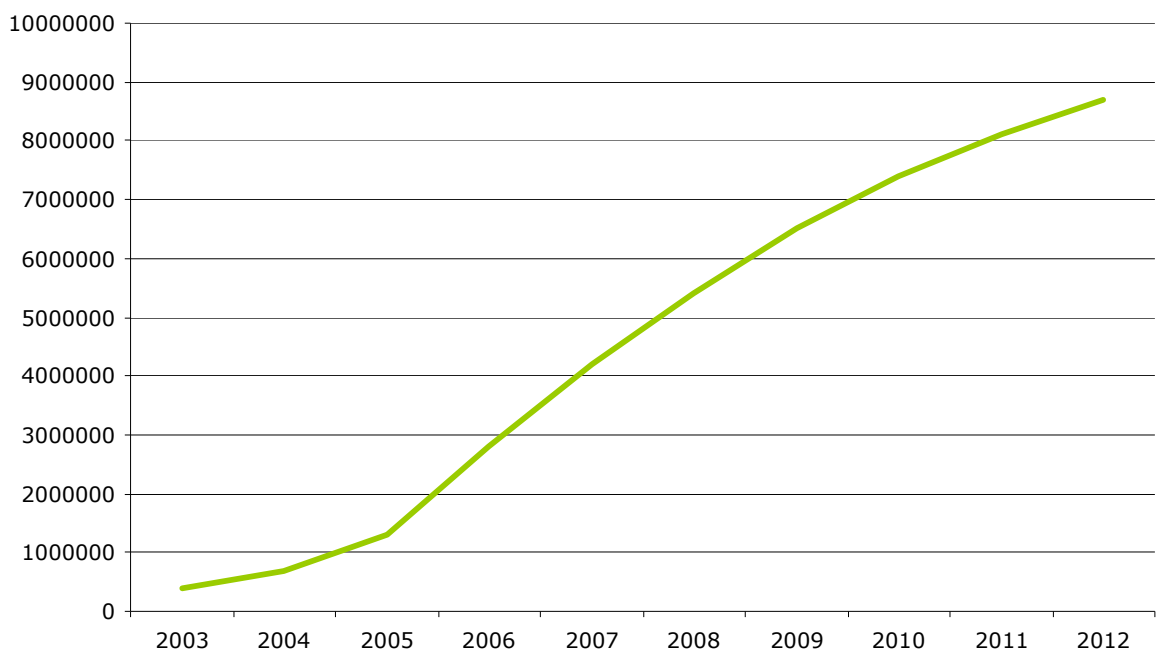
⁵⁴ Bron: <http://www.telecompaper.com/nl/article.aspx?cid=675753>

⁵⁵ Bron: <http://www.musically.com/theleadingquestion/downloads/090713-filessharing.pdf>

bovenstaande figuur is deze dienst wél data-intensief. Een online bezorgde HD-film veroorzaakt als snel enkele GB's aan data. Hun aantal verdrievoudigd tussen 2007 en 2008 maar daalt in 2009 merkwaardig genoeg sterk.

H Vraagzijde: ontwikkeling van mobiele breedband diensten

In 2008 hadden 5 tot 6 miljoen Nederlanders een telefoon met UMTS of GPRS internet⁵⁶. Het aantal mobiele internetters zal naar verwachting groeien tot bijna 9 miljoen in 2012 (zie grafiek). Het aantal regelmatige gebruikers van mobiel internet ligt daar nog flink onder: hun aantal groeide van 2 miljoen in 2008⁵⁷ tot ruim 2,4 miljoen in 2009⁵⁸. *Figuur H-1* laat zien dat slechts 15 procent van de Nederlanders één of meer keer per dag gebruik maakt van mobiel internet.

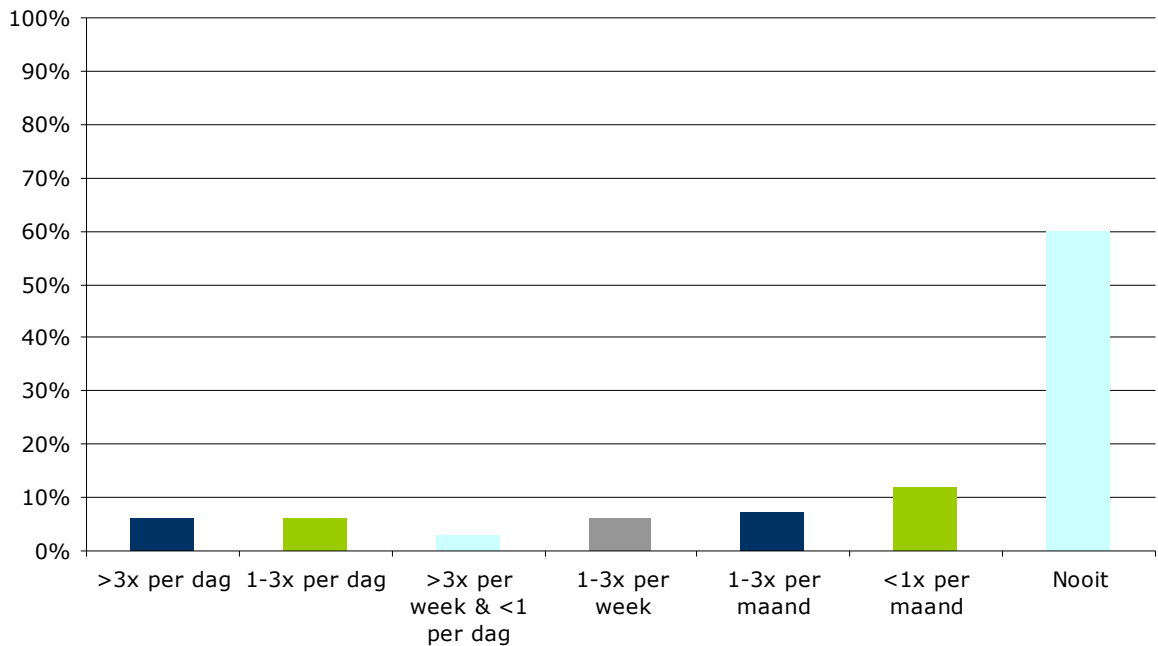


Figuur H-1: Aantal mobiele internetabbonementen in Nederland; bron: PWC

⁵⁶ Bron: OMI

⁵⁷ Ibid

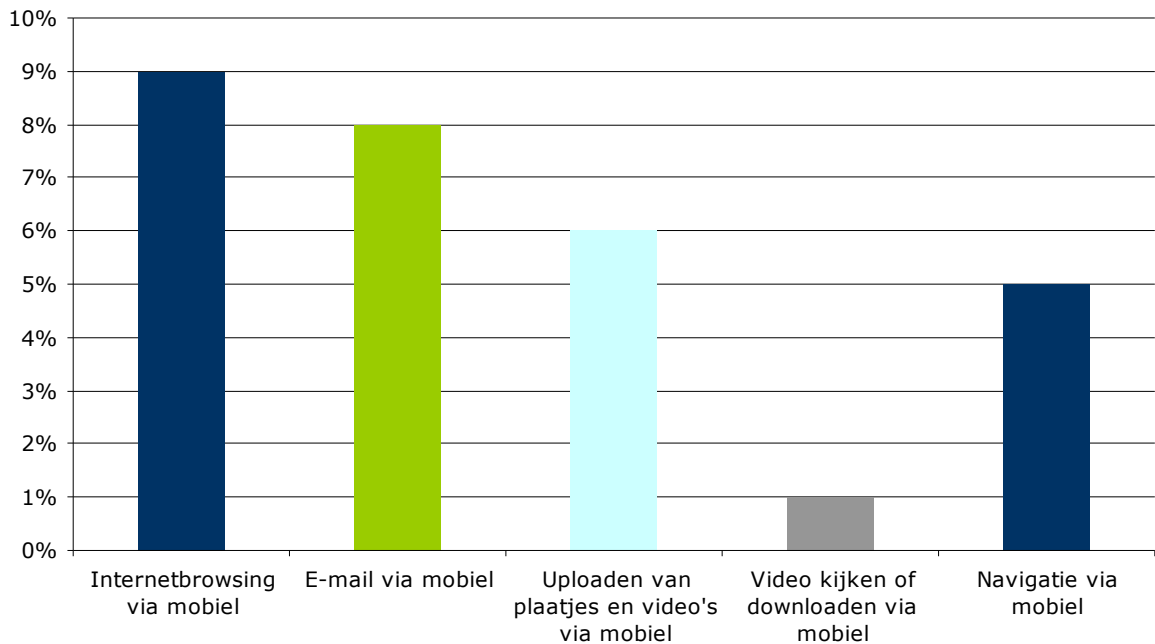
⁵⁸ Bron: Mads



Figuur H-2: Frequentie mobiel internetgebruik, % Nederlanders in 2009; bron: MEC

Browsing en e-mail zijn de dominante activiteiten via mobiel internet, met een penetratie van 9 respectievelijk 8 procent in 2008. Het kijken of downloaden van video's blijft daar nog sterk bij achter: slechts 1 procent van de Nederlanders (ca 160.000 gebruikers) deed dat in 2008. Maar de ontwikkelingen op het mobiele internet gaan zo snel dat deze cijfers eigenlijk alweer achterhaald zijn. Zeker omdat medio 2008 Apple's iPhone in Nederland werd geïntroduceerd, een toestel dat het gebruik van (vooral breedbandige) mobiele internetapplicaties een enorme boost heeft gegeven. Tijdens de Tour de France 2009 werden via mobiele telefoons 88 duizend livestreams opgestart (waarvan bijna 75 procent via de iPhone), 4,5 keer zoveel als tijdens de Olympische Spelen 2008. Dagelijks kijken zo'n 14 duizend mensen het journaal via een mobiele stream⁵⁹.

⁵⁹ Bron: <http://www.frankwatching.com/archive/2009/08/26/nos-2009-is-jaar-van-doorbraak-mobiele-video/>



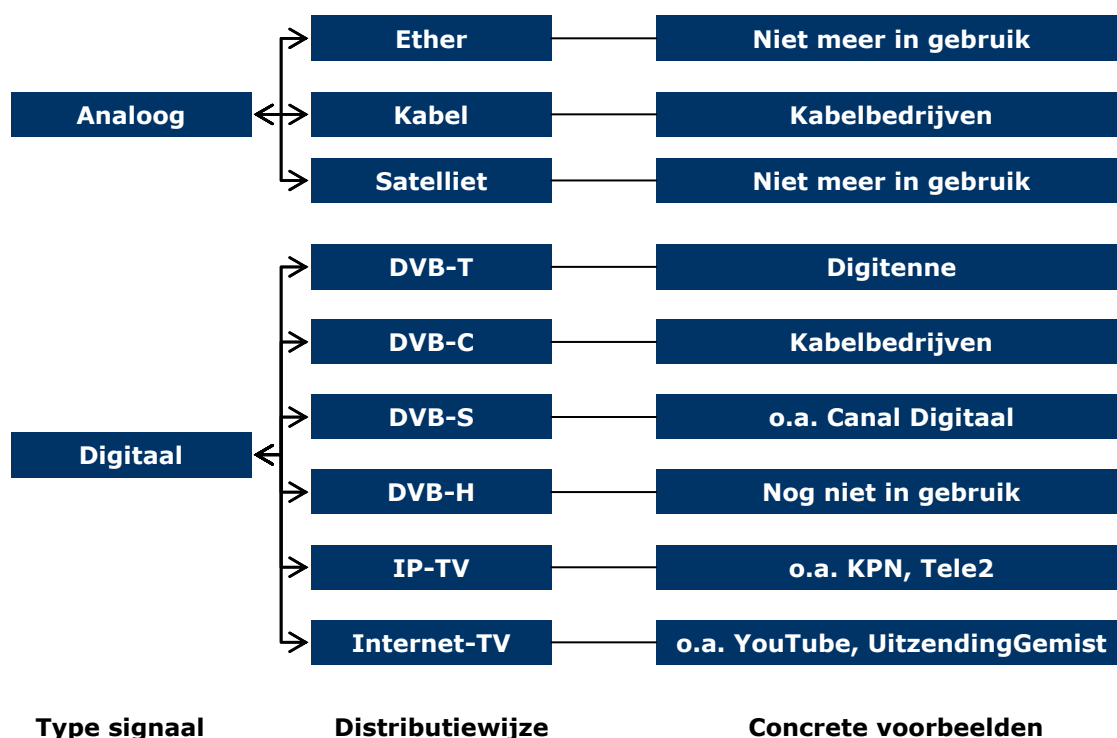
Figuur H-3: Mobiel internetgebruik, % Nederlanders in 2008; bron: Eurostat

Maar ook deze cijfers geven onvoldoende inzicht in de groei van het mobiele dataverkeer. Onlangs werd bekend dat de Amerikaanse telecomoperator AT&T overweegt mobiel internet anders te gaan tarifieren om zo het dataverkeer dat wordt veroorzaakt door smartphones te verminderen. AT&T kent steeds vaker problemen met tijdelijke overbelasting van het mobiele netwerk, met name door downloaden en streamen van video en muziek. Volgens AT&T is de iPhone een belangrijke veroorzaker. Circa drie procent van de mobiele abonnees van AT&T zou 40 procent van de totale netwerkcapaciteit van AT&T gebruiken⁶⁰. Bottom line: een kleine groep intensieve gebruikers is verantwoordelijk voor een aanzienlijk deel van het datagebruik op het mobiele internet. De groep blijft in absolute zin voorlopig wellicht nog klein. Desalniettemin heeft een verdubbeling van de groep – gecombineerd met een verdere toename van de intensiteit van hen gebruik – forse implicaties voor het totale mobiele dataverkeer.

⁶⁰ Bron: <http://www.telecompaper.com/nl/article.aspx?cid=708263>

I Vraagzijde: ontwikkeling van TV-diensten

Alvorens meer inzicht te geven in ‘het nieuwe tv-kijken’ en de invloed daarvan op bandbreedte verbruik, is enig inzicht in de verschillende distributiekkanalen van belang. Van de in figuur I-1 getoonde kanalen zijn alleen Internet-TV en IP-TV van invloed op bandbreedte verbruik. Internet-TV maakt gebruik van het publieke internet: videobeelden worden via websites aangeboden. Deze vorm van TV kijken is eerder in dit rapport aan bod gekomen (zie entertainmentdiensten). IP-TV maakt gebruik van gesloten netwerken van telecomoperators. Consumenten nemen (bij hun internetverbinding) een zenderpakket af waarvoor apart betaald wordt. Naast dit zenderpakket kunnen consumenten vaak ook gebruik maken van een soort videotheek: Video on Demand (Vod).

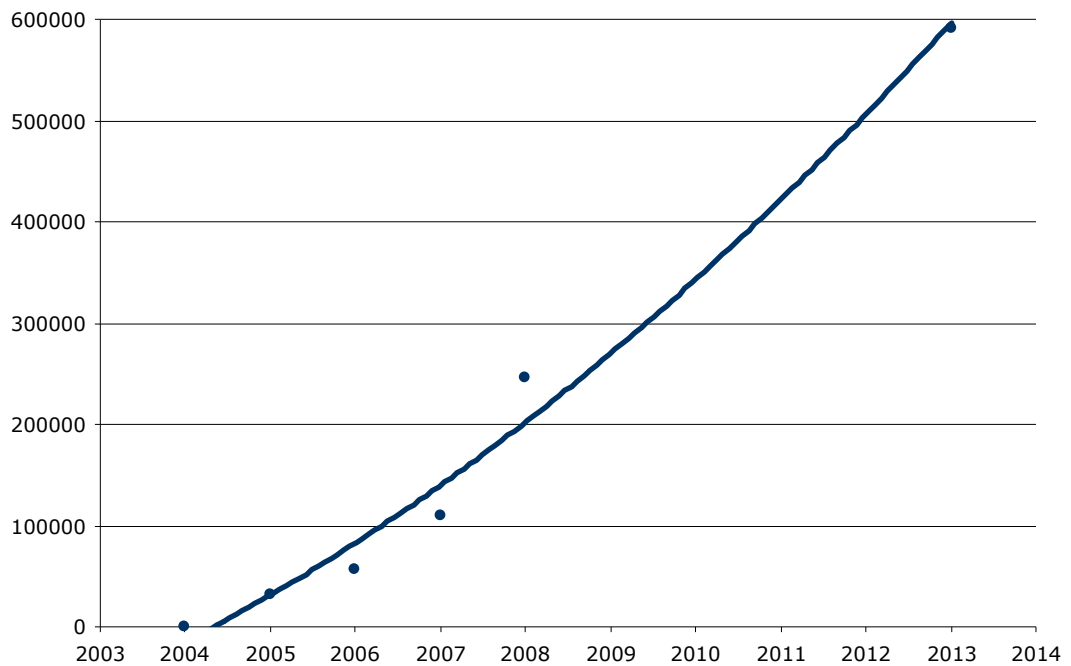


Figuur I-1: Distributiekkanalen voor televisie; bron Dialogic

Hoewel het overgrote deel van de Nederlandse huishoudens voor het bekijken van televisie nog steeds een analoge kabelaansluiting heeft, is IP-TV duidelijk in opkomst. Waar in 2004 nog geen Nederlandse huishoudens waren aangesloten op IP-TV, is in de jaren daarna een stijging ingezet tot 210.000 huishoudens in 2008⁶¹. Hoewel het aantal aansluitingen in vergelijking tot aansluitingen via de analoge kabel (3.920.000 aansluitingen in 2008) laag is, is een duidelijke groei ingezet.

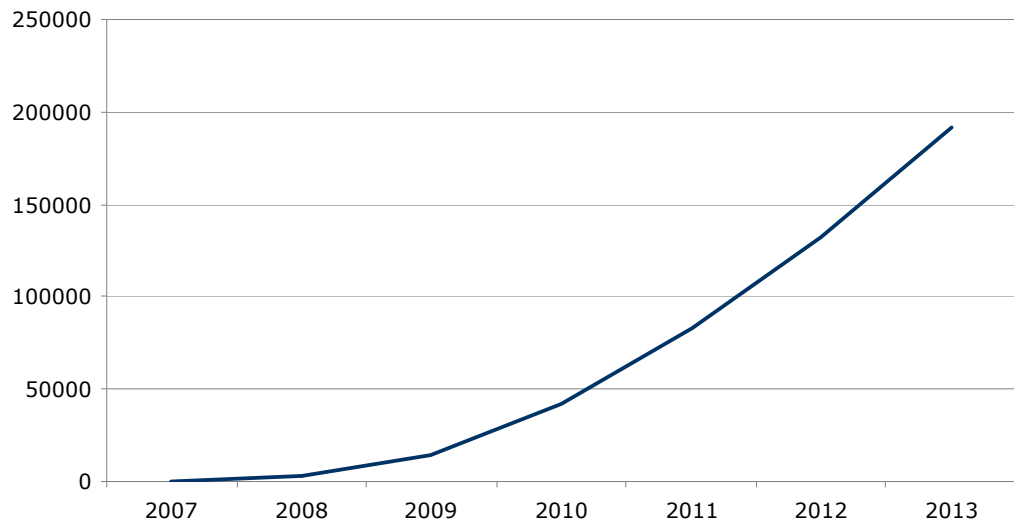
⁶¹ Volgens MEC waren er in 2008 niet 210.000 maar zelfs 282.000 Nederlandse huishoudens aangesloten op IP-TV.

In een studie van Strategy Analytics⁶² wordt in de United States een groei van IP-TV verwacht van een penetratiegraad van 5% in 2009 tot 13% in 2013. Voor Nederland, met ook een huidige penetratiegraad van ongeveer 5%, zou dit uitkomen op 546.000 huishoudens aangesloten op IP-TV in 2013. Wereldwijd zal het aantal IP-TV aansluitingen groeien van 26.7 miljoen in 2009 tot 81 miljoen in 2013. Dit is een jaarlijkse groei van gemiddeld 32%. Voor Nederland zou dat betekenen dat in 2013 638.000 huishoudens aangesloten zijn op IP-TV.



Figuur I-2: Aantal aansluitingen IP-TV; bron: Bain, MEC en Strategy Analytics

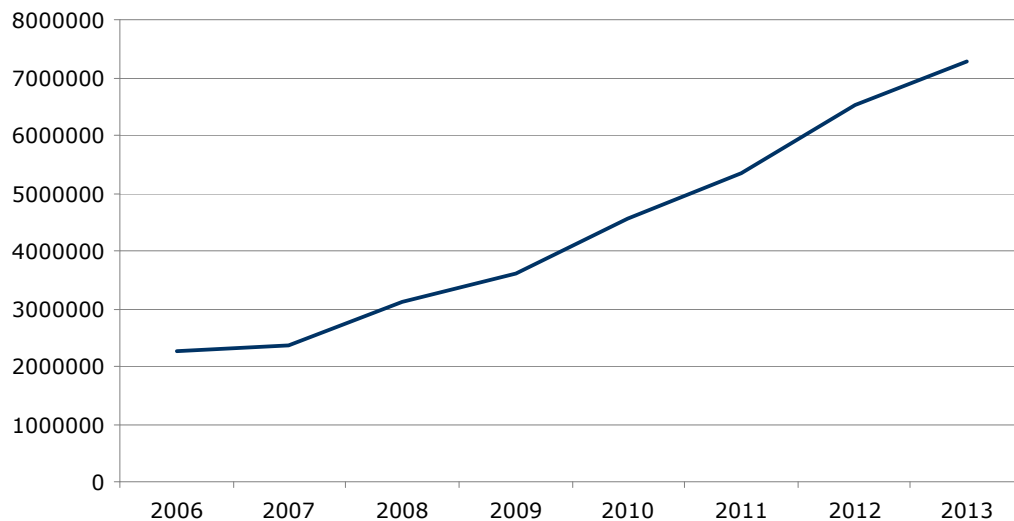
⁶² Strategy Analytics (2009). United States IP-TV Market Sizing: 2009-2013



Figuur I-3: Aantal aansluitingen HD-enabled IP-TV; bron: Screen Digest

Een deel van de huishoudens met IP-TV is tevens HD-enabled. In 2003 bedroeg dit slechts 3.000 huishoudens, maar de verwachting is dat dit in 2013 is gegroeid tot 192.000 huishoudens.

Een andere trend is het on-demand bekijken van televisie. In 2009 was het aantal huishoudens in Nederland met on-demand TV gestegen tot 3.600.000. De verwachting is dat deze stijging door zal zetten tot 7.300.000 huishoudens in 2013. Dat betekent een penetratie van bijna 100 procent.

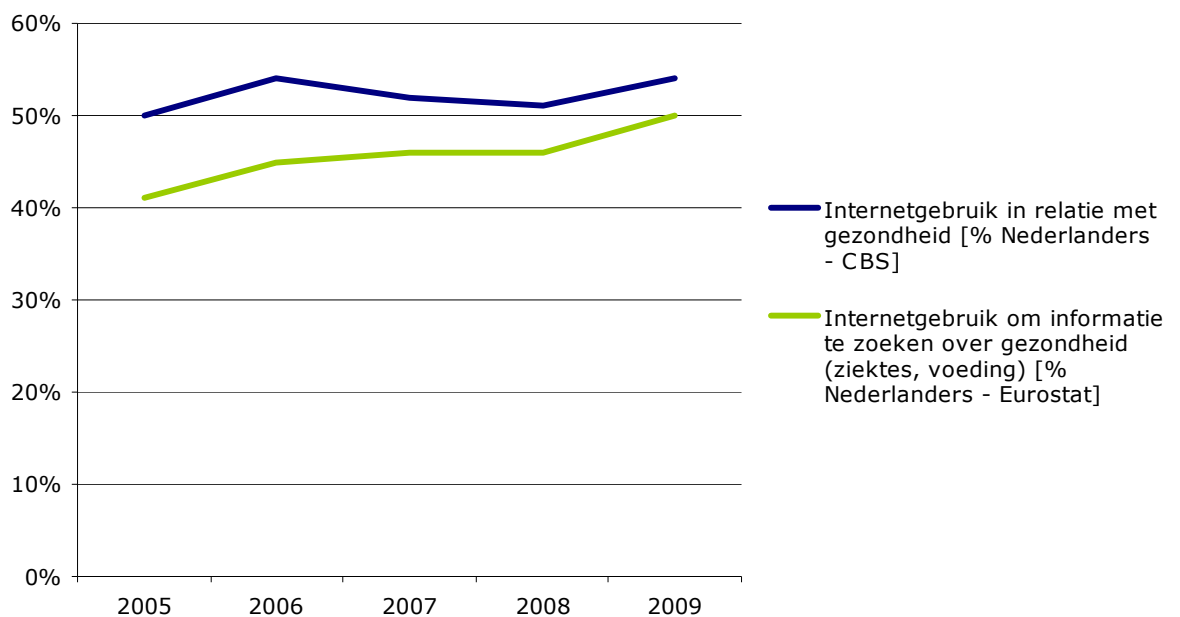


Figuur I-4: Aantal aansluitingen op on-demand TV; bron: Screen Digest

J Vraagzijde: transsectorale toepassingen

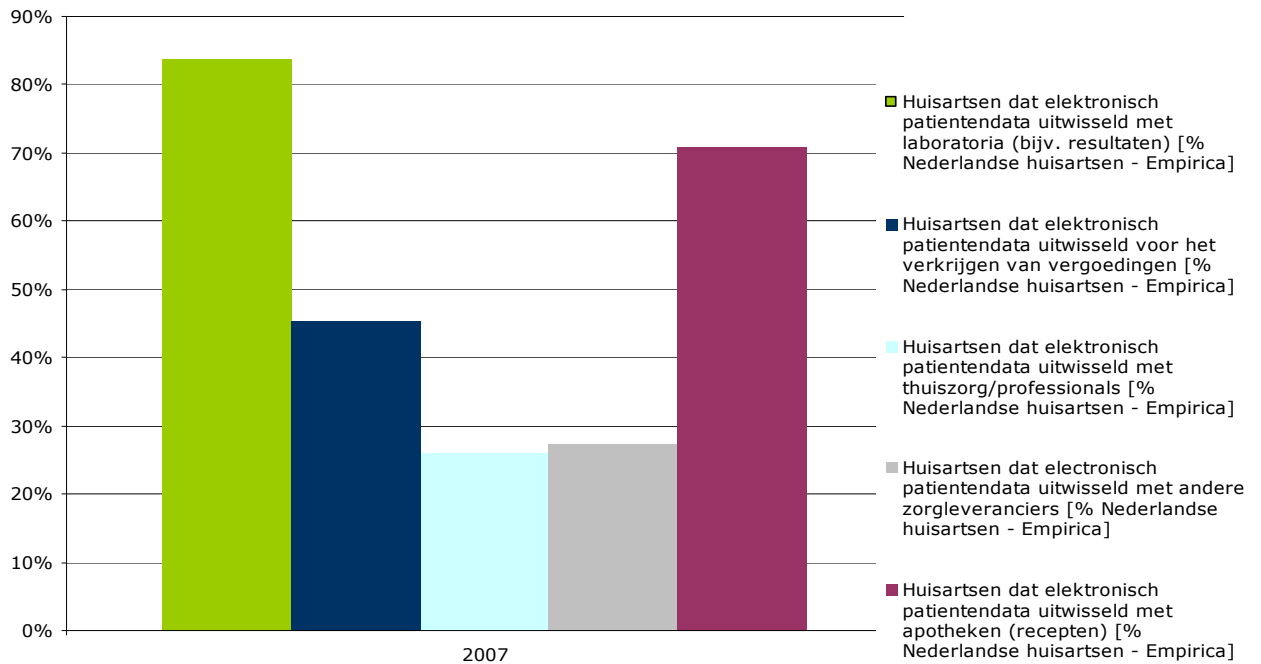
J.1 E-health

Onder druk van verdergaande vergrijzing en een toenemende zorgvraag, ziet de zorgsector zich genoodzaakt verbeteringen door te voeren op het gebied van kwaliteit, toegankelijkheid en output van de zorg op een zo kostenefficiënt mogelijke wijze. Breedbandtoepassingen kunnen een belangrijke rol spelen in het realiseren van deze ambities.



Figuur J-1: Internet als informatiebron over zorg; bron: CBS en Eurostat

Momenteel gebruikt circa 55% van de Nederlandse inwoners internet voor zorg- of gezondheidsdoeleinden. Daarbij gaat het voornamelijk om informatievergaring. Het merendeel van Huisartsen is inmiddels digitaal verbonden met tal van zorgpartijen. Zo wisselt ruim 80% van de huisartsen data uit met laboratoria en 70% met apotheken.



Figuur J-2: Data-uitwisseling door huisartsen; bron: Empirica

Uit het onderzoek *Breedband en de Gebruiker 2007* blijkt dat 30% van de ondervraagden in de toekomst zeker beeld en geluid willen gebruiken wanneer het communicatie betreft met of vrienden die verblijven in zorginstellingen.⁶³ Ruim 60% van de respondenten gaf blijf behoefte te hebben aan een Elektronisch Patiënten Dossier (EPD) dat via internet te raadplegen is.⁶⁴

Een belangrijk ontwikkeling van e-health voor de thuissituatie is zorg op afstand. Zorg op afstand voorziet in snelle bereikbaarheid van de thuiszorg, zonder 'fysiek' contact. Een recente peiling van NIVEL gaf aan dat elf organisaties zorg op afstand leverden aan 1021 cliënten: 765 kregen videocommunicatie en 256 telebegeleiding. Dit aantal is ongeveer gelijk gebleven aan het voorgaande jaar.⁶⁵ Uit een eerdere peiling van NIVEL is gebleken dat cliënten zich hierdoor veiliger voelen en verwachten langer thuis te kunnen wonen. Zorg op afstand is ook een antwoord op de toenemende vraag naar zorg en het verwachte tekort aan thuiszorgmedewerkers.

Bij negen thuiszorgorganisaties is inmiddels videocommunicatie mogelijk van de cliënt met kinderen en kleinkinderen, mantelzorgers en familie. Ook zijn er speciale 'zorg op afstand-arrangementen' ontwikkeld voor specifieke groepen, zoals cliënten met diabetes, COPD of hartfalen. Voor de toekomst liggen er plannen om het dienstenaanbod verder te ontwikkelen en de techniek te standaardiseren. Financiering van grotere projecten is vooralsnog een bottleneck voor een snelle doorgroei via de markt. Dit soort projecten wordt vaak tijdelijk gefinancierd, aldus NIVEL. Er moet duidelijkheid komen over de vervolgfianciering en de techniek moet worden

⁶³ Dialogic (2008), *Breedband en de Gebruiker 2007*, Utrecht, p. 79.

⁶⁴ Ibid, p. 81.

⁶⁵ NIVEL (2009), *Monitor Zorg op Afstand*, Verslaglegging van de peiling eind 2008/begin 2009, Utrecht, p.9.

gestandaardiseerd. Oorspronkelijk was deze vorm van zorg bedoeld voor mensen met een AWBZ-indicatie, maar zorg op afstand wordt nu ook veel aangeboden aan ouderen die nog relatief gezond zijn. Cliënten, mantelzorgers en betrokken medewerkers zijn positief.⁶⁶

De groei van zorg op afstand in de komende jaren tot aan 2015 en 2020, zal naar verwachting en gezien de urgentie van de problematiek in de sector sterk kunnen toenemen en zal daarmee daarmee van invloed zijn op de bandbreedtebehoefte in woonhuizen voor ouderen. Wel zal de mate waarin de groei zich voordoet in sterke mate afhangen van het financiële beleid en economische ontwikkeling in de sector.

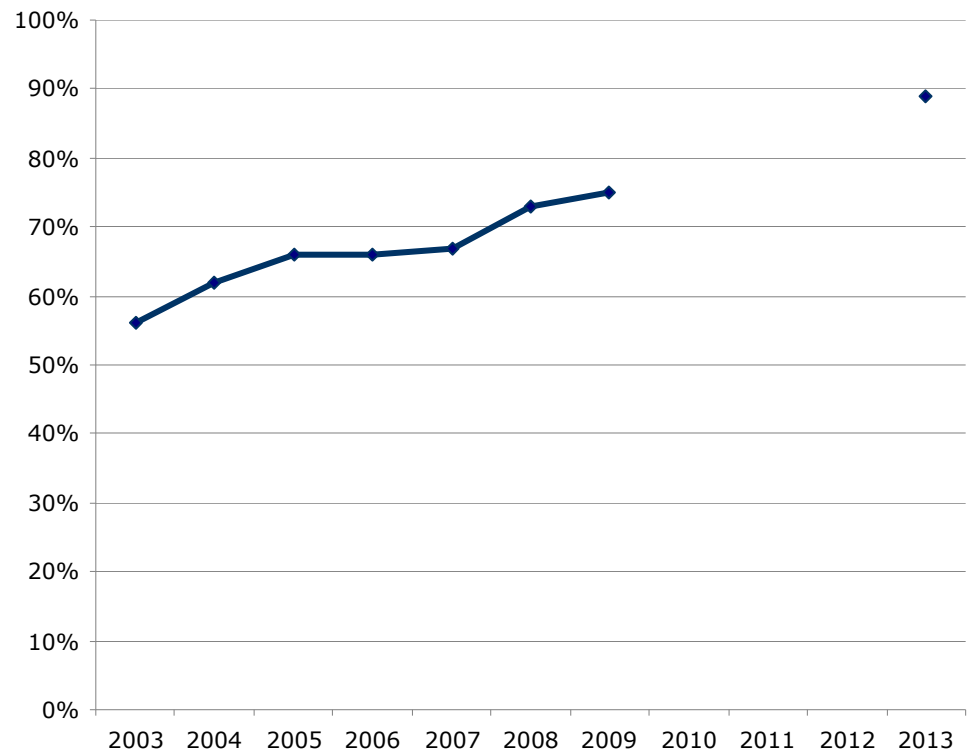
J.2 E- learning

Leerlingen, studenten en docenten gebruiken in toenemende ICT voor educatieve doeleinden, zowel in de klas als thuis. Ook het bedrijfsleven maakt steeds meer gebruik van afstandsonderwijs en online trainingen. De ontwikkeling en toepassing van ICT in het onderwijs heeft (nog) niet geleid tot radicale verschuivingen in de manier waarop leerprogramma's zijn ontwikkeld of georganiseerd. Het betreft hier veelmeer een graduele ontwikkeling. Onderwijsexperts geven echter aan dat deze ontwikkeling verre van volledig is en dat de intensiteit van ICT-gebruik in het onderwijs de komende jaren substantieel zal toenemen. Het percentage docenten dat tijdens de les gebruikmaakt van computers zal naar verwachting zijn toegenomen van 75% in 2009 naar 89% in 2012 (zie figuur J-3)⁶⁷. Onderwijzers verwachten dat in de komende drie jaar de gebruikintensiteit van ICT-toepassingen met 40% zal toenemen. In 2012 zullen docenten in Nederland gemiddeld 8 tot 11 uur per week lesgeven met behulp van ICT-middelen.⁶⁸

⁶⁶ Persbericht NIVEL, 6 juli 2009 Aanbod zorg op afstand groeit, gebruik stagneert, www.nivel.nl.

⁶⁷ Bron: TNS NIPO (2003–2009).

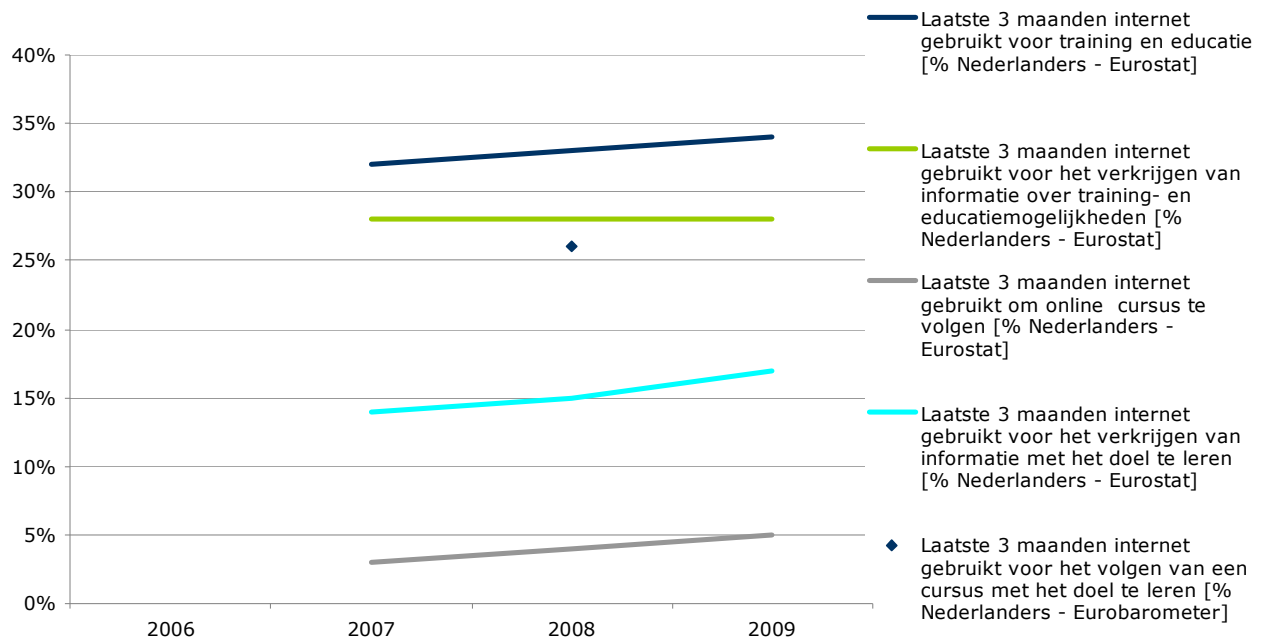
⁶⁸ Bron: Four in balance Monitor 2009, ICT at Dutch Schools, p.7.



Figuur J-3: Percentage docenten dat computers in de les gebruiken; bron TNS-NIPO

Daarnaast gebruikt circa de helft van de docenten de computer meer dan 5 uur per week thuis voor schoolwerkzaamheden.⁶⁹ Leerlingen en studenten gebruiken hun computer online ook met groeiende intensiteit thuis voor educatieve doeleinden. Internet wordt in Nederland door 35% van de inwoners eens in de drie maanden gebruikt voor educatieve- en/of trainingsdoeleinden.

⁶⁹ Ibid.



Figuur J-4: Internetgebruik voor educatiedoeleinden; bron: Eurostat en Eurobarometer

HD-Video conferencing:

Vooral in het hoger en wetenschappelijk onderwijs wordt al tien jaar gewerkt met videoconferencing. Dit vond in eerste instantie plaats via ISDN-lijnen en nu steeds meer via zeer breedbandige – veelal glasvezel - verbindingen. Videoconferencing met HD-kwaliteit betekent in de praktijk een uitstekende beeld- en geluidskwaliteit zonder storingen of haperingen.

De Universiteit Groningen heeft hiermee inmiddels goede ervaring. Wanneer vanuit de eigen universiteit een verbinding wordt opgezet met bijvoorbeeld een onderwijsinstelling in Australië, blijkt de kwaliteit heel constant te zijn. Men kan daarbij met maximaal twaalf personen vergaderen zonder daarbij tijdens de sessie de camera hoeft te bewegen of te zoomen.⁷⁰

Gebruik van audiovisuele archieven:

Hoogwaardige breedbandtoegang biedt leerlingen, studenten en docenten toegang tot digitale leeromgevingen en tot intensiever gebruik van tal van lokale, regionale en nationale databases voor zowel educatief als administratief gebruik. Het nationaal audiovisueel archief (Beeld en Geluid) evenals daarop gebaseerde educatieve toepassingen zoals Teleblik⁷¹ zijn hiervan goede voorbeelden. Met name het raadplegen

⁷⁰ Met de applicatie SURFcontact kunnen alle op SURFnet aangesloten onderwijsinstellingen in hoge kwaliteit met meer dan één partij vergaderen over het internet. Om hiervan gebruik te maken, moet een instelling beschikken over een videoconferencing-end-point en een snelle internetverbinding. Tijdens een sessie kunnen tegelijkertijd databestanden op het scherm worden geprojecteerd. Het is mogelijk de sessies op te nemen, zodat mensen zonder de benodigde apparatuur live mee kunnen kijken.

⁷¹ Teleblik is een onderwijsproject met duizenden uren televisiemateriaal, rechtstreeks uit de archieven van Beeld en Geluid. In Teleblik worden televisie-uitzendingen van o.a. de publieke omroepen en Polygoon via internet toegankelijk gemaakt voor het onderwijs. Het materiaal is snel en gemakkelijk te doorzoeken en af

van audiovisuele data vraagt om breedbandige verbindingen. De mate waarin het gebruik van deze applicaties zal gaan toenemen is dat ook van groot belang voor de capaciteitsbehoefte.

Afstandsonderwijs:

Afstandsonderwijs wordt in Nederland in toenemende mate toegepast. Zo levert de Open Universiteit hoogwaardig afstandsonderwijs voor volwassenen op academisch niveau. Ongeveer 22.000 studenten en alumni maken vanuit huis gebruik van de elektronische leeromgeving. Voor persoonlijke begeleiding en bijeenkomsten zijn er achttien studiecentra - waarvan zes in Vlaanderen - en drie provinciale steunpunten. De meeste studenten van de Open Universiteit studeren thuis en zijn vooral afhankelijk van de kwaliteit van hun eigen ADSL- of kabelverbinding. Bandbreedte beperkingen worden vooral als hinderlijk ervaren voor het downloaden van onderwijsmateriaal en het gebruik van audiovisuele middelen in het taalonderwijs. In het laatste geval gaat om het juiste begrip van veelal subtiele verschillen in spraak. Grotere downloadsnelheden dragen in het algemeen name bij aan een 'rijkere leerervaring'.⁷²

Belang van video in het hoger en wetenschappelijk onderwijs:

Recent gebruikersonderzoek voor SURFnet uitgevoerd door WaU/Faxion (september 2009) brengt goed in beeld hoe groot eindgebruikers het belang achten van video(toepassingen) via internet in het hoger en wetenschappelijk onderwijs. Dit belang wordt vooral gezien door docenten (62% vindt het (heel) belangrijk).⁷³

Toch is het volgen van online colleges door studenten aan academische instellingen – met uitzondering van de de Open Universiteit - nog niet zo populair als wellicht verwacht. Volgens Eurostat heeft circa 5% van de Nederlandse inwoners in 2009 in de laatste drie maanden een online cursus gevolgd (zie figuur J-4). Het SURFnet Eindgebruikersonderzoek toont aan dat studenten colleges vrijwel niet live (online) volgen. 23% zegt deze wel on demand te volgen. Er is nog duidelijk sprake van nog de nodige onbekendheid, aldus het onderzoek. Een conferentie of lezing terugkijken wordt veel vaker gedaan (37%).⁷⁴

Het gebruik van internet en e-learning door bedrijven voor het trainen werknemers is in de afgelopen 6 jaar verdubbeld. In 2009 maakt 16% van de ondernemingen gebruik van e-learning applicaties voor het trainen van werknemers (zie figuur J-5). De gemiddelde groei bedroef ongeveer 1,3% per jaar en heeft daarmee een eveneens een graduueel karakter.

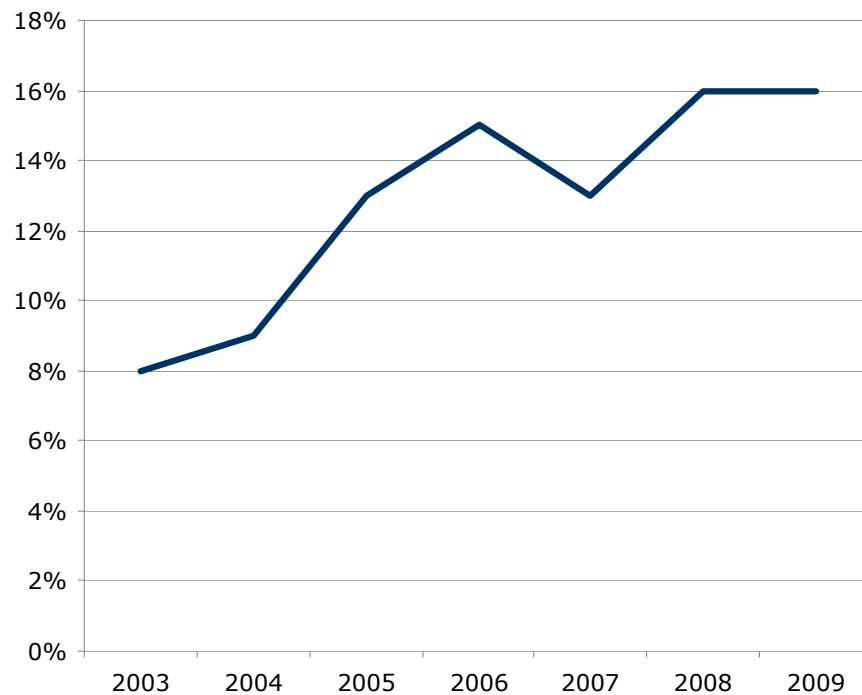
te spelen. U kunt zoeken op trefwoord, op omroep en via de alfabetische trefwoordenlijst. Bovendien kunt u met de digitale snijmachine zelf fragmenten uit programma's snijden of eenvoudige montages maken. U kunt Teleblikmateriaal opnemen in uw eigen (digitale) lesmateriaal of elektronische leeromgeving.

⁷² Bron: OECD (2009), Network development in support of innovation and user needs.

DSTI/ICCP/CISP(2009)2/FINAL, Parijs, 9 december

⁷³ Bron: WaU/Faxion, *Eindgebruikersonderzoek 2009 SURFnet*, p. 15.

⁷⁴ Ibid, p. 22.



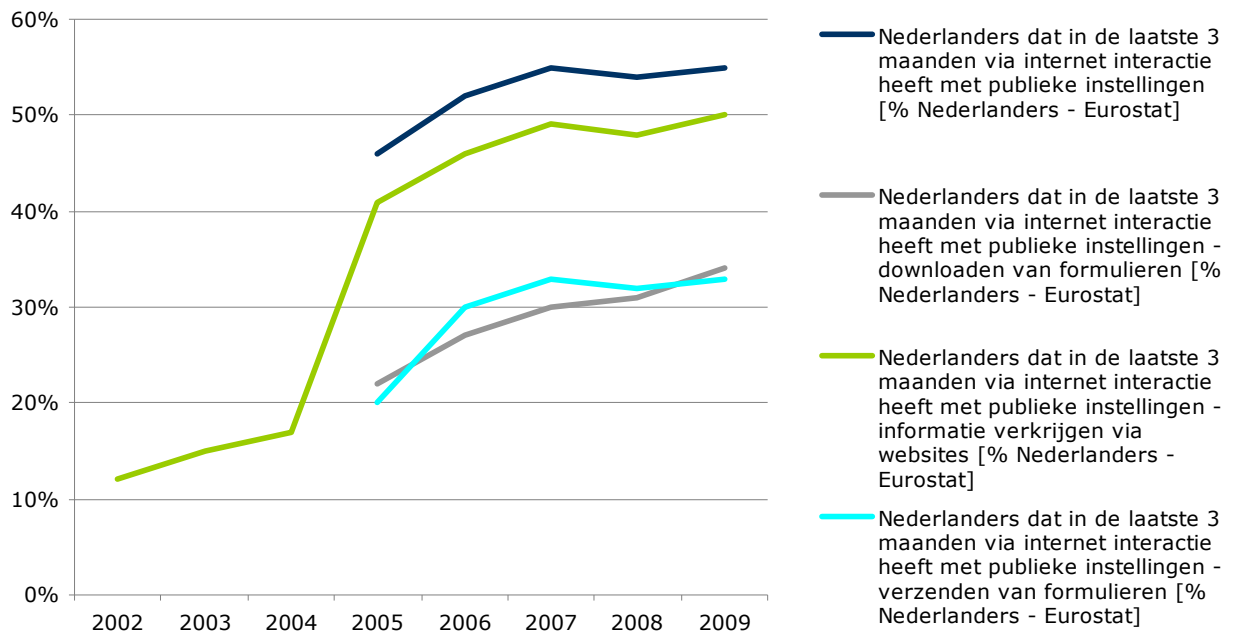
Figuur J-5: Percentage bedrijven dat internet gebruikt voor educatiedoeleinden; bron: Eurostat

Overall stellen we vast dat het gebruik van ICT en breedbandige toepassingen eerder gradueel dan progressief groeit. Wel wordt een in de komende 3 jaar een groei van verwacht in computer- en internetgebruik op scholen van rond de 40%. Het thuisgebruik van internet voor educatieve doeleinden zal hier naar verwachting redelijk bij in de pas blijven lopen. Bandbreedte implicaties komen vooral voort uit toenemend gebruik van video(toepassingen). Vooralsnog is het live volgen van online cursussen of colleges nog beperkt en maar wordt internet wel gebruikt voor het terugkijken van conferenties of lezingen op een later tijdstip. HD-videoconferencing bevindt zich nu nog in een beginfase van marktontwikkeling en wordt enkel gebruikt gespecialiseerde instellingen.

J.3 E-government

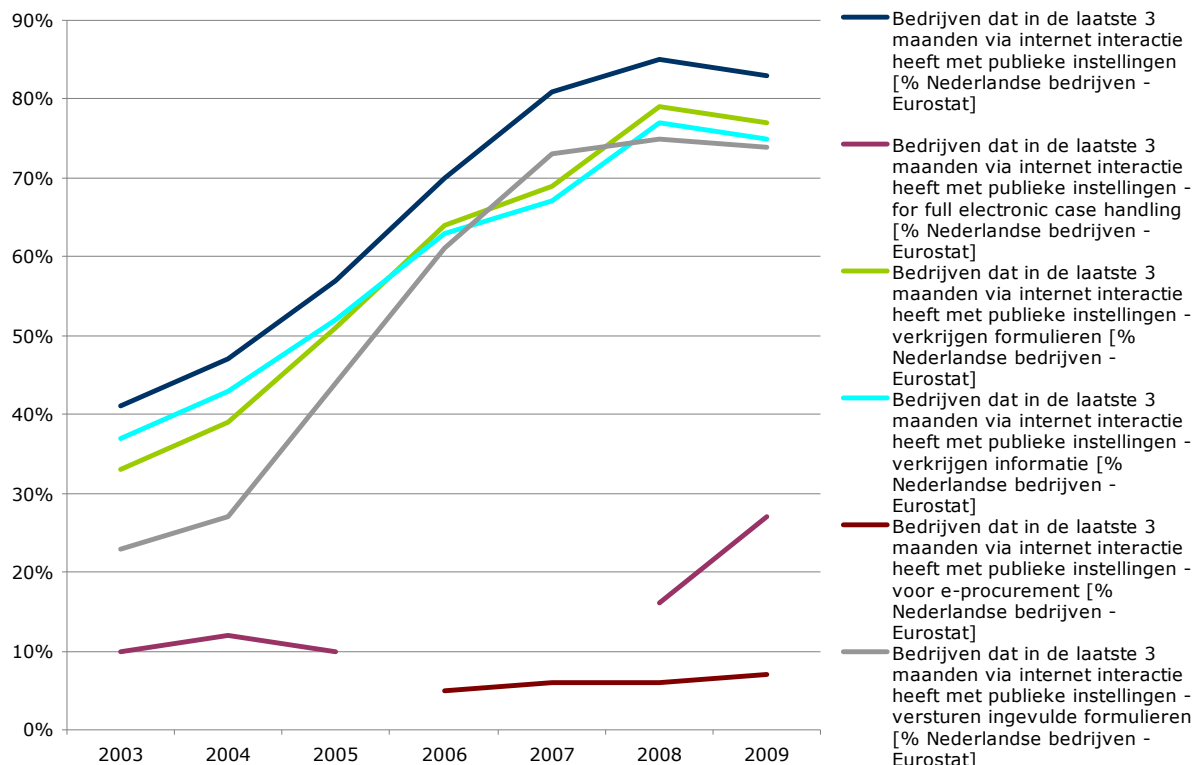
De online interactie van burgers met overheden en overige publieke instellingen is de afgelopen 5 jaar weliswaar sterk toegenomen, maar heeft al in 2007 een eerste hoogtepunt bereikt.

Na een lichte daling in 2008 heeft in circa 55% van de inwoners van Nederland de laatste drie maanden online interactie gehad met overheden of andere publieke instellingen, vrijwel gelijk aan het niveau in 2007.



Figuur J-6: Online interactie burger en overheid; bron: Eurostat

Wat betreft de interactie tussen bedrijfsleven en overheid ligt de piek in 2008 en treedt inmiddels een teruggang op. In 2009 had 83% van de Nederlandse bedrijven in de laatste drie maanden online interactie gehad met publieke instellingen.



Figuur J-7: Online interactie bedrijfsleven en overheid; bron: Eurostat

Ook uit andere bronnen stellen we vast dat de gebruiksfrequentie en intensiteit van het contact tussen overheid en burger achterblijft bij de verwachtingen. Hoewel de faciliteiten bijvoorbeeld bij veel gemeenten aanwezig is blijkt het gebruik van het digitale kanaal veelal zeer gering ten opzichte van andere mediakanalen zoals het callcenter en de balie.⁷⁵ Het merendeel van dee-government dienstverlening bestaat uit informatievoorziening, formulieren, vergunningen en transacties.

Audiovisuele verslaglegging van Raads- en commissievergaderingen:

Een echte breedbandtoepassing in het e-governmentdomein die vraagt om bovengemiddelde bandbreedte is het online (al of niet live) volgen van raads- en commissievergaderingen van gemeenten. De grotere gemeenten in Nederland hebben doen vrijwel allemaal aan of audio- of audiovisuele verslaglegging van vergaderingen. Uit Dialogic onderzoek uit begin 2008 bleek dat het merendeel (van 80%) van de afnemers (gemeenten, provincies) koos voor een systeem waarin er alléén audio uit een archief wordt aangeboden. Twintig procent van de afnemers koos voor video archiefbestanden; de helft hiervan bood naast archiefbeelden ook live-uitzendingen aan op de eigen gemeentesite. Inmiddels (per eind 2009) is het aantal 'nieuw gebruikmakende gemeenten' sterk gestegen en kiezen deze gemeenten vrijwel geheel voor webcasting. De verhouding audio – audiovisueel is nu ongeveer 50%. Op dit

⁷⁵ Zo bleek uit recent onderzoek naar kanaalstrategie voor een grote Zuid-Hollandse gemeente. (vertrouwelijk onderzoek).

moment beschikken 128 gemeenten, provincies en waterschappen over een online audio- of audiovisueel verslagleggingssysteem op hun websites. Wetende dat er nog ruim 300 gemeenten niet over een dergelijk systeem beschikken, is de markt voorlopig dus nog niet verzadigd.

Het aantal bezoekers aan politiek.residentie.net (gemeente Den Haag) was in 2006 gegroeid naar gemiddeld 400-450 unieke bezoekers per dag. Uitschieters waren er in de maanden rond de gemeenteraadsverkiezingen toen er dagelijks 600 tot 700 bezoekers werden geteld. Het jaarlijks aantal bezoekers was gestaag gestegen van 36.102 in 2004 naar 110.000 bezoekers in 2006.⁷⁶ De gemeente Amsterdam gaf in 2007 aan dat er 300 tot 400 mensen naar de live raadsvergaderingen kijken, met een gemiddelde kijkduur van 20 minuten. De Tweede Kamer kent momenteel 5.000 bezoekers per dag waarvan het merendeel live streams van kamerdebatten bekijkt.

De grote vraag is uiteraard in welk tempo en in welke vorm de verdere ontwikkelingen de komende jaren zullen plaatshebben. De markt is nu nog sterk aanbodgedreven.

Wanneer de grootste nationale aanbieder (NotuBiz; 90% marktaandeel) bijvoorbeeld overstapt van audio op enkel video (incl. geluid) kan dat het aanbod van video op met name gemeentewebsites snel doen toenemen.

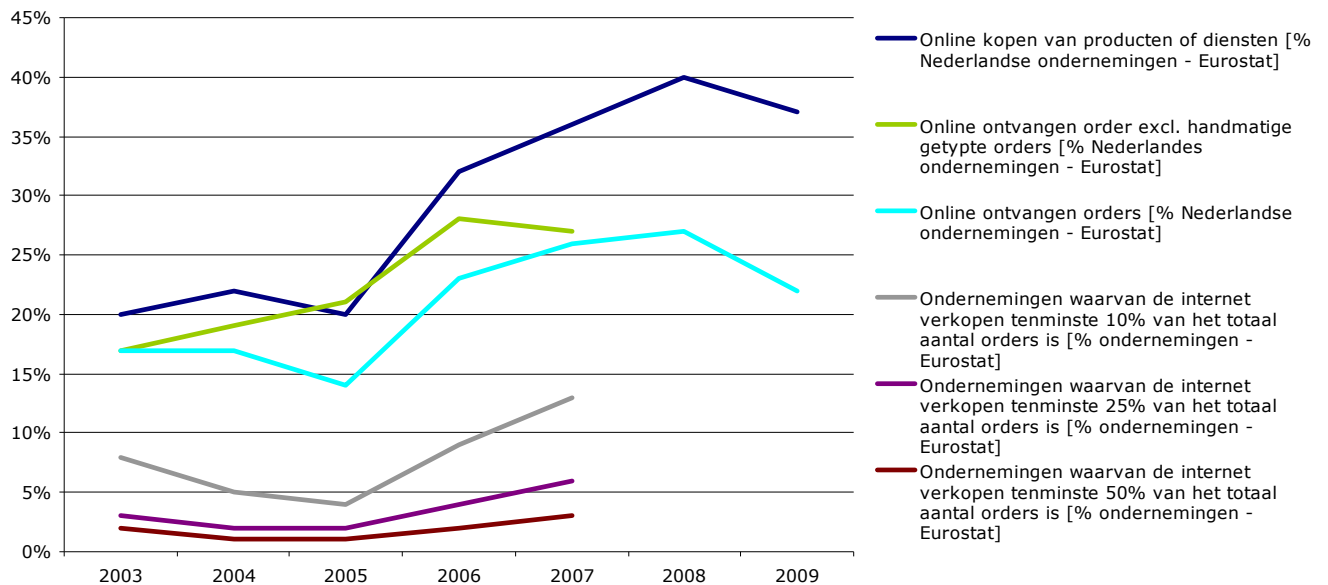
J.4 E-business

In de afgelopen jaren heeft e-business een vlucht genomen. In 2008 gebruikte 57% van de Nederlanders dagelijks het internet voor werk.⁷⁷ Dit geeft aan dat internet op het werk een belangrijkere plaats heeft ingenomen voor informatievoorziening en klantcommunicatie.

Bedrijven maken in toenemende mate gebruik van geïntegreerde ICT oplossingen – zoals ERP en CRM software pakketten – welke gekoppeld kunnen worden aan bijvoorbeeld voorraadbeheer. Deze oplossingen hebben de mogelijkheid om elektronisch orders te ontvangen en verzenden. Het percentage van ondernemers welke online orders ontvangen of verstuurd hebben is vooral in 2005 sterk toegenomen, in 2009 is echter weer een daling te zien. Deze is waarschijnlijk te wijten aan de financiële crisis. Het percentage elektronische orders van het totaal aantal orders is langzaam aan het toenemen.

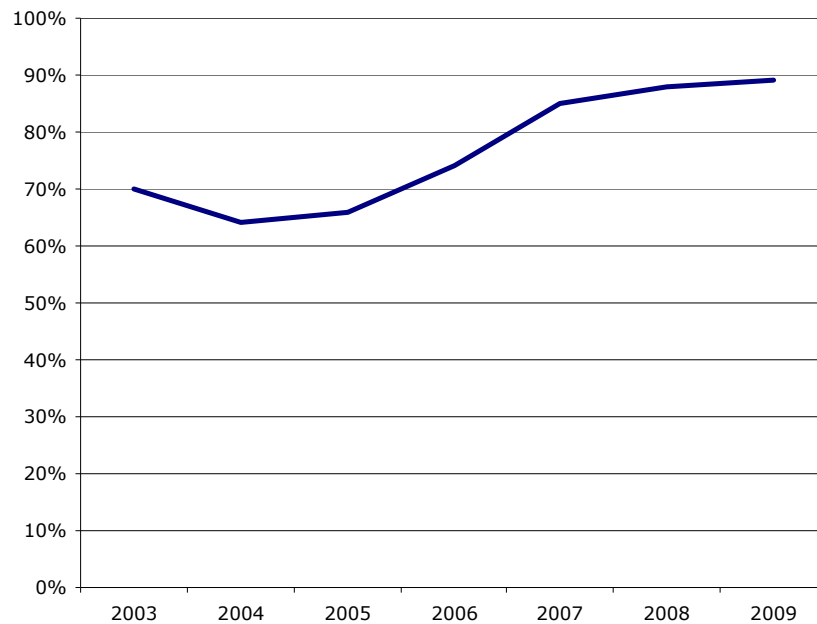
⁷⁶ Bron: Jaarverslag Griffie (2006).

⁷⁷ Bron: CBS (2009). De Digitale Economie



Figuur J-8: E-business diensten; bron: Eurostat

Internetbankieren heeft de afgelopen jaren een enorme vlucht genomen. Al vanaf 2003 lag de penetratiegraad van internet bankieren rond de 70%. Met een lichte daling in 2004 is de adoptie van de dienst daarna gestaag toegenomen tot nu ongeveer 90%. Internetbankieren kent echter een lage bandbreedtebehoefte. De hoge adoptie zal dus weinig impact hebben de behoefte aan bandbreedte. In de toekomst is het echter niet ondenkbaar dat financiële diensten voorzien worden van audio en video, bijvoorbeeld een online assistent.



Figuur J-9: Zakelijk gebruik van internetbankieren; bron Eurostat

Er zijn ook een aantal trends waarneembaar in het e-business domein. Als we e-commerce toepassingen buiten beschouwing laten (zoals webshops e.d.) zien we vooral:

- Toenemend gebruik van multimedia toepassingen voor marketing en verkoop zoals videoanimaties van vastgoedobjecten;^{78 79}
- Verdere toename van een integratie van bedrijfsprocessen zoals koppelingen met online bestelsystemen (CRM, ERP en telefonie), en videoconferentie oplossingen;⁸⁰
- Toename in het aantal online diensten, zoals backup online en met als meest vergaande vorm ‘cloud computing’ waarbij alle services via het web aangeboden worden (server, en server beheer);^{81 82}
- Toenemende mate van het gebruik van Virtual Reality (VR) in informatievoorziening en verkoop. Een voorbeeld hiervan is VR programma Second Life virtuele goederen en diensten verhandeld kunnen worden tegen een nieuwe betaalmethoden.
- Virtual Mobility en Avatars.⁸³

Nieuwe verkoopkanalen en assistentie op basis van online applicaties en multimediatoepassingen worden verwacht toe te nemen. De vraag is echter in welk tempo dit zal ontwikkelen. De hype rondom VR is alweer afgenomen, al is er nog steeds ontwikkeling in deze sector⁸⁴.

⁷⁸ <http://www.nieuwbouw20.nl/tag/video/>

⁷⁹ http://www.makelaarsvideo.nl/over_makelaarsvideo.html

⁸⁰ <http://www.few.vu.nl/~x/knipselkrant/vint.html>

⁸¹ <http://www.zibb.nl/10242963/Artikel/Trend-2-Online-backups.htm>

⁸² <http://www.mkbackup.nl/nl-html/mkbackup-mkb-vraagt-naar-online-back-up.html>

⁸³ Baken et al. (2009), “Virtual Mobility Enabling Multidimensional Life”, Universiteit van Delft en KPN

⁸⁴ <http://www.mdweekly.nl/916786/second-life-richt-zich-op-zakelijke-gebruikers>, 12 Januari 2010

J.5 Smart living⁸⁵.

De industrie rondom Smart Living is zich al een aantal jaren aan het ontwikkelen. Met Smart Living worden doorgaans alle activiteiten in het dagelijks leven bedoeld die door ICT geïntegreerd ondersteund kunnen worden. Deze vinden plaats in de residentiële omgeving, onderweg of op het werk, school, ziekenhuis etc.. Het gaat hier primair om het verbinden van deze activiteiten binnen verschillende biotopen (biotoop huis, wijk, stad etc.) waarbij vanuit behoefte wordt geredeneerd. Het Smart Living concept moet daarom niet verward worden met techniek gedreven concepten als: "domotica", "home automation" en "the connected home". Het doel van Smart Living is om innovaties over sectoren heen (duurzaamheid, energie-, waterbesparing, gezondheidszorg, veiligheid, entertainment, onderwijs, mobiliteit etc.) te integreren. Deze integratie kan dus met recht transsectoraal genoemd worden en brengt een heel scala aan nieuwe diensten met zich mee waarbij integratie aan de aanbiederkant en personalisatie aan de gebruikerskant worden geoptimaliseerd. Het omvat tevens de ontwikkeling van open en semantisch inter-operabele "Service Mediation Platforms" met zich mee. Voor deze connectiviteit en vooral om deze ook mobiel te maken is een grote rol weggelegd voor breedbandige verbindingen.

Zorg, onderwijs en entertainment:

Diverse sectoren zijn al in voorgaande paragrafen behandeld. Entertainment toepassingen (zoals TV, PC en Hifi) zullen in huis aan elkaar gekoppeld worden om lokale en diensten op afstand mogelijk te maken. Het mag duidelijk zijn dat met e-health initiatieven ook verdere eisen gesteld zullen worden aan netwerkverbindingen, en een zekere mate van thuisautomatisering nodig zal zijn om zorg op afstand mogelijk te maken. Eveneens geldt dit voor het toekomstige gebruik van e-learning.

Smart meters/Smart Grids:

Met smart meters wordt doorgaans gesproken over elektriciteit- of gas- meters die gebruik maken van tweewegcommunicatie. Hierbij moet gedacht worden aan het doorsturen en registreren van meterstanden, in- en uit- schakelen en reduceren van elektriciteitslevering op afstand, updaten van de slimme meters, en het doorsturen van storingen (zoals fraude meldingen). Smart meters worden meestal in verband gebracht met de energiesector en zogenoemde Smart Grids. Een definitie van Smart Grids is: "Smart Grids zijn infrastructuur voor elektriciteit, gas en warmte, waaraan ICT-systemen zijn toegevoegd voor het meten van energiestromen met toepassingen voor het aansturen en regelen van consumptie en productie van energie. Ze verzamelen informatie die wordt gebracht naar plaatsen waar deze verder verwerkt kan worden, zodat er ook communicatie mogelijk is met allerlei randapparatuur en toepassingen bij energiepactijen".⁸⁶ Dit opent vanzelfsprekend ook de mogelijkheid communicatie te openen voor eventuele andere dienstverleners en komen concepten als integraal energie management in woon en werk omgevingen in beeld. Door het in kaart brengen van het energiegebruik kan de consument zijn energieverbruik aanpassen. De uitwisseling van informatie over het energieverbruik (per huishouden) kan gebruikt worden om de energievraag en aanbod beter op elkaar af te stemmen. Een van de grote voordelen hiervan is de mogelijkheid tot efficiëntere energieopslag waarmee tevens piek

⁸⁵ "The art of SmartLiving" publicatie TNO, 2009

⁸⁶ Wolthuis, A. (2009), TNO Magazine 2009, pp. 16-18.

belastingen opgevangen kunnen worden. Het afstemmen van vraag en aanbod zal ook steeds belangrijker worden bij een toename van decentrale energieopwekking door bijvoorbeeld zonnepanelen. Momenteel lopen er slechts enkele proefprojecten van Smart Grids in Nederland op kleine schaal.⁸⁷ Cijfers over mogelijk datacapaciteit n.a.v. een verder Smart Grid ontwikkeling is nog niet te geven. Wel kan het nodige gezegd worden over de te verwacht capaciteitsvraag van Smart meters. Er is vanuit de energieleveranciers een groot draagvlak voor smart meters in Nederland.⁸⁸ Ook grote automatiseringsbedrijven bieden oplossingen aan voor smart grids zoals Hewlett Packert, Logica en Cisco.

Voor het communiceren de energievraag en aanbod, en eventueel 'real-time' monitoren van het energiegebruik per huishoudens, is data-uitwisseling nodig. Er zijn verschillende schattingen gemaakt over de datacapaciteit die benodigd zou zijn om de smart meters uit te lezen. Verschillen in deze studies zitten voornamelijk in de frequentie waarmee de meters uitgelezen worden:

- Een studie van GE wees uit dat een minimale bandbreedte van 100Kbit/s nodig is om per uur de meter uit te lezen.⁸⁹
- Een studie van de Working Group voor WPAN's geeft een minimale bandbreedte van 40Kbit/s aan, en een maximum van 1Mbit/s.⁹⁰ Dit kan dan oplopen tot een datastream van 11 Gigabyte per dag voor een miljoen huishoudens.⁹¹
- In een ander rapport wordt een (typisch) dataverkeer van 32Kbit genoemd voor het uitlezen van de meetgegevens en maximaal 16Mbit.⁹²

Vanaf 2007 is er een duidelijk stijging waarneembaar in het aantal smartmeters in Europa. Volgens een onderzoek van Berg Insight zal de groei van smartmeters in Europa vanaf 2011 zelfs nog verder toenemen met een groei van 16,2% per jaar, wat uitkomt op 96,3 miljoen huishoudens in 2014.⁹³ Ook is het denkbaar dat smart meters op termijn verplicht gesteld zullen worden in Nederland, zoals in andere Europese landen zoals Zweden en Italië reeds gebeurd is.⁹⁴ Uit de onderzoeken blijkt dat het gegenereerde dataverkeer sterk afhangt van de uitleesfrequentie.

Beveiliging:

Domotica leent zich uitstekend voor beveiliging zoals integratie van alarmsystemen en videobewaking. Momenteel heeft circa 12% van de Nederlandse huishoudens een elektronisch inbraak alarm. Dit percentage lijkt echter niet sterk toe te nemen. Bij een toename in domoticasystemen kunnen echter beveiligingsystemen makkelijker geïnstalleerd worden. Hierbij kan gedacht worden aan toepassingen waarbij op afstand de beveiligingscamera's bestuurd en bekeken kunnen worden. De bandbreedte van

⁸⁷ TNO Magazine 2009, December, pp. 16-18

⁸⁸ <http://www.ecorys.nl/extranet/metermarkt/StellingenEnergieNed.html>, 6 Januari 2010

⁸⁹ DSTI/ICCP/CISP(2009)2/FINAL, p.19 ; "What is the real potential of the Smart Grid?", GE Energy Presentation, Autovation 2007, The AMRA International Symposium, 30 september – 3 oktober 2007: www.ge-energy.com/prod_serv/plants_td/en/downloads/real_potential_grid.pdf.

⁹⁰ Smart Grid Communications Preliminary Proposal to IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks, 1 maart 2009.

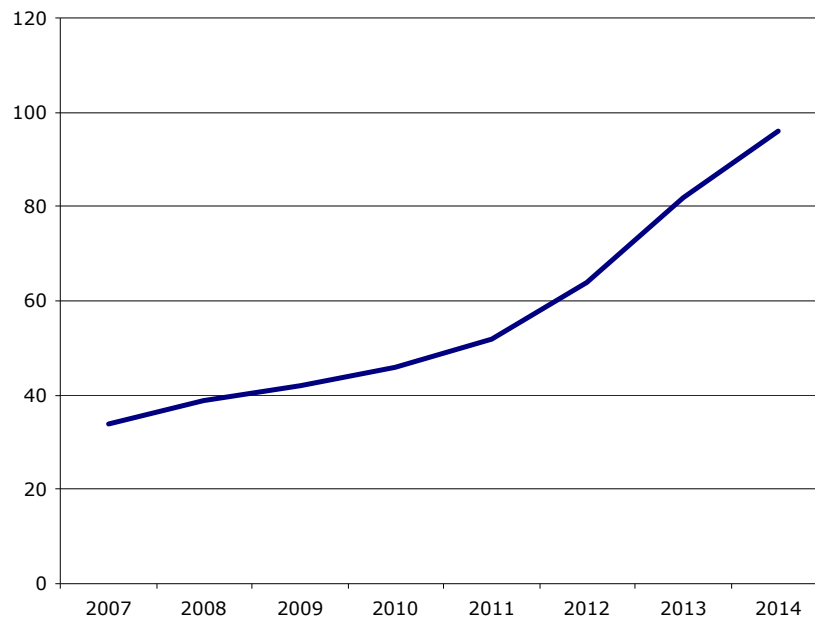
⁹¹ Houseman, D & Shargal, M. (2009), "The Big Picture of Your Coming Smart Grid", *Smart Grid News*, Maart 2009, (www.smartgridnews.com/artman/publish/commentary/)

⁹² Studie communicatiemiddelen voor slimme meters, Universiteit Leuven, mei 2007.

⁹³ Berg Insight (2009), "Smart Metering in Western Europe - 6th Edition", Juni 2009

⁹⁴ Media Eenheid, "Slimme meterkast in de lift, Nederland twijfelt", 30 juni 2009

beveiligingscamera's (afhankelijk van de kwaliteit van de camera) is al snel 3 Mbit/s per camera.⁹⁵ Vooral nog blijkt uit de statistieken geen sterke toename.



Figuur J-10: Aantal geïnstalleerde smart meters (EU23+2); bron: Berg Insight

Besturing en andere woondiensten:

In Amerika zijn al meer dan een miljoen huizen uitgerust zijn met domotica systemen. Verwacht wordt dat deze markt zich tot 2014 zal verdubbelen.⁹⁶ In Nederland verwacht ongeveer 60% van de woningcoöperaties een toename in het gebruik van domotica bij nieuwbouw.⁹⁷ Van de respondenten geeft 50% aan dat de toegevoegde waarde voornamelijk in de energiebesparingmogelijkheden zal zitten. In mindere mate wordt de toegevoegde waarde van domotica in zorg (46%) en veiligheid (24%) genoemd. Essentieel zijn ontwikkelingen in monitor- en besturingsapparaten. Verschillende samenwerkingsverbanden om deze te ontwikkelen zijn al gesloten zoals Zigabee⁹⁸ en Z-Wave. Integratie van andere systemen die op afstand te benaderen zijn, zal alleen maar toenemen. De verwachte impact op de bandbreedtetoeename is moeilijk in te schatten, aangezien de verschillende besturingsdiensten nog in de kinderschoenen staan.

⁹⁵ http://www.boundless.com/wireless_video_surveillance_bandwidth.html, 10 Januari 2010

⁹⁶ EC&M, "U.S. Home Automation Market on the Rise", 11 December 2009

⁹⁷ BouwKennis Jaarrapport 2009/2010

⁹⁸ <http://zigbee.nectareen.com/?p=32>, 6 Januari 2009

K Bronnen onderzoek vraagzijde

Akamai (2009) State of The Internet Report. Beschikbaar via:

<http://www.akamai.com/stateoftheinternet/>

AMS-IX (2010) Traffic Statistics. Beschikbaar via <http://www.ams-ix.net/statistics/>

Bain & Company (2009) Next Generation Competition. Beschikbaar via:

<http://www.lgi.com/PDF/LGI%20Public%20Policy%20Report%202009.pdf>

Baken et al. (2009) Virtual Mobility Enabling Multidimensional Life".

Berg Insight (2009) Smart Metering in Western Europe. Beschikbaar via:

<http://www.berginsight.com/ReportPDF/Summary/bi-m2mseries09-sum.pdf>

Blue Lizard Group (2009) Social Networking Forecast to Grow 44.2% per Year.

Beschikbaar via: <http://www.bluelizardgroup.com/2009/02/09/social-networking-forecast-to-grow-442-per-year/>

BouwKennis (2009) Bouwkennis Jaarrapport 2009/2010. <http://www.bouwkennis.nl/>

CBS (2010) Statline / De Digitale Economie. Beschikbaar via: www.cbs.nl

Cisco (2009) Visual Networking Index <http://www.ciscovnipulse.com/>

Dialogic (2008) Breedband en de Gebruiker 2007. Beschikbaar via:

www.breedbandgebruiker.nl

EC&M (2009) U.S. Home Automation Market on the Rise. Beschikbaar via:

<http://ecmweb.com/ezone/home-automation-market-20091211/>

Empirica (2007) Benchmarking ICT use among General Practitioners in Europe.

Beschikbaar via

ec.europa.eu/information_society/europe/i2010/docs/benchmarking/gp_survey_final_report.pdf

Eurobarometer (2008) Information society as seen by EU citizens. Beschikbaar via:

http://ec.europa.eu/public_opinion/flash/fl_241_en.pdf

Eurostat (2009) Information Society Statistics. Beschikbaar via:

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/information_society/data/database

Houseman & Shargal (2009) The Big Picture of Your Coming Smart Grid. Beschikbaar

via: [http://www.smartgridnews.com/artman/publish/commentary/](http://www.smartgridnews.com/artman/publish/commentary/The_Big_Picture_of_Your_Coming_Smart_Grid-529.html)

[The_Big_Picture_of_Your_Coming_Smart_Grid-529.html](http://www.smartgridnews.com/artman/publish/commentary/The_Big_Picture_of_Your_Coming_Smart_Grid-529.html)

Ipingtest (2010) Beschikbaar via: <http://www.ipingtest.com/nl>

Ipoque (2009) Internet Study 2008/2009. Beschikbaar via:

http://www.ipoque.com/resources/internet-studies/internet-study-2008_2009

IDC (2008) The diverse and exploding digital universe. An updated forecast of the worldwide information growth through 2011

Janssen [Frank Watching] (2009) NOS: 2009 is jaar van doorbraak mobiele video.

Beschikbaar via: <http://www.frankwatching.com/archive/2009/08/26/nos-2009-is-jaar-van-doorbraak-mobiele-video/>

KennisNet (2009) Four in balance monitor 2009, ICT at Dutch Schools. Beschikbaar

via: <http://onderzoek.kennisnet.nl/onderzoeken/monitoring/fourinbalance2009>

KU Leuven (2007) Studie communicatiemiddelen voor slimme meters, Katholieke

Universiteit Leuven via (VREG/2006/0192). Beschikbaar via:

http://www.vreg.be/vreg/documenten/Consultatienota/46884_slimme_meters.pdf

Mads (2009) 2,4 miljoen Nederlanders op mobiel internet. Beschikbaar via:

<http://www.emerce.nl/nieuws.jsp?id=2987777>

- Media Eenheid (2009) Slimme meterkast in de lift, Nederland twijfelt. Beschikbaar via: <http://media-eenheid.blogspot.com/2009/06/slimme-meterkast-in-de-lift-nederland.html>
- MIC Communications News (2009) Figures and Estimates for Japan's Broadband Subscription Numbers and Network Traffic. Vol. 19 No. 19
- Nemertes (2008) Internet interrupted: Why architectural limitations will fracture the net"
- NIVEL (2009a) Monitor Zorg op Afstand. Beschikbaar via: <http://www.zorginnovatieplatform.nl/upload/file/Rapport%20Monitor%20Zorg%20op%20afstand%20NIVEL%20peiling%20eind%202008-begin%202009.pdf>
- NIVEL (2009b) Aanbod zorg op afstand groeit, gebruik stagneert. Beschikbaar via www.nivel.nl
- Odlyzko, Andrew (2009) Minnesota Internet Traffic Studies (MINTS) <http://www.dtc.umn.edu/mints/igrowth.html>
- OECD (2009), Network development in support of innovation and user needs. Beschikbaar via: http://www.oecd.org/document/58/0,3343,en_2649_34225_44245946_1_1_1_1,00.html
- Open Mobiel Internet (2008). Twee miljoen Nederlanders op mobiel internet. Beschikbaar via: <http://www.emerce.nl/nieuws.jsp?id=2804166>
- Palmer [Financial Times] (2009) Sharper focus on video conferencing. Beschikbaar via: <http://blogs.ft.com/techblog/2009/10/sharper-focus-on-video-conferencing/>
- PWC (2009) Mobile Advertising. Beschikbaar via <http://www.pwc.com/nl/nl/publicaties/mobile-advertising.jhtml>
- Screen Digest (2009) Diverse databases, niet publiekelijk beschikbaar.
- Speedmatters (2009) A report on internet speeds in all 50 states. Beschikbaar via: http://cwafiles.org/speedmatters/state_reports_2009/CWA_Report_on_Internet_Speeds_2009.pdf
- Speedtest.net (2010). World Speedtest.net Results. Beschikbaar via: <http://speedtest.net/global.php>
- Speedtest.nl (2010) Ranglijsten. Beschikbaar via <http://www.speedtest.nl/>
- Steenman, Henk (2009) Capacity planning at AMS-IX. <http://www.ripe.net/ripe/meetings/ripe-58/content/presentations/amsix-capacity-planning.pdf>
- Stichting Kijkonderzoek (2008) TV in Nederland 2008. Beschikbaar via: <http://www.kijkonderzoek.nl/images/stories/rapporten/raptvinnederland08v2.pdf>
- Strategy Analytics (2009). United States IP-TV Market Sizing: 2009-2013. Beschikbaar via: <http://www.strategyanalytics.com/default.aspx?mod=ReportAbstractViewer&a0=4971>
- Swanson, Bret & George Gilder (2008) Estimating the Exaflood - The Impact of Video and Rich Media on the Internet – A ‘zettabyte’ by 2015? <http://www.discovery.org/a/4428>
- Telecompaper (2009a) Skype test betaversie zakelijk aanbod. Beschikbaar via: <http://www.telecompaper.com/nl/article.aspx?cid=698194>
- Telecompaper (2009b) EBay verkoopt Skype-belang tegen goede prijs, met optie op meer. Beschikbaar via <http://www.telecompaper.com/nl/article.aspx?cid=689171>
- Telecompaper (2009c) VoIP-markt groeit naar 3,5 miljoen per eind 2009. Beschikbaar via: <http://www.telecompaper.com/nl/article.aspx?cid=708244>
- Telecompaper (2009d) Toename videoverkeer (en niet P2P) dwingt tot aanleg NGA netwerken. Beschikbaar via <http://www.telecompaper.com/nl/article.aspx?cid=675753>
- Telecompaper (2009e) Mobiel netwerk AT&T overbelast door datagebruik. Beschikbaar via: <http://www.telecompaper.com/nl/article.aspx?cid=708263>

Telegeography (2009) Global internet geography

The leading question (?) Filesharing music amongst UK teens down by a third.

Beschikbaar via: <http://www.musically.com/theleadingquestion/downloads/090713-filesharing.pdf>

TNO (2009a) Marktrapportage Elektronische Communicatie. Beschikbaar via:

<http://www.ez.nl/Actueel/Onderzoeken>

TNO (2009b) The Art of Smart-Living. Beschikbaar via:

http://www.tno.nl/images/shared/overtno/magazine/tno_mag_8_december_2009_10.pdf

Tweakers (2009a). Ziggo voert in juli geplande snelheidsverhoging door.

<http://tweakers.net/nieuws/60566/ziggo-voert-in-juli-geplande-snelheidsverhoging-door.html>

Tweakers (2009b) Groei dataverkeer p2p neemt af. Beschikbaar via:

<http://tweakers.net/nieuws/58559/groei-dataverkeer-p2p-neemt-af.html>

WaU/Faxion (2009) Eindgebruikersonderzoek 2009 SURFnet. Beschikbaar via:

http://www.surfnet.nl/Documents/indi-2009-10-016%20%28Eindrapportage%20Eindgebruikersonderzoek_2009%29.pdf

Wikipedia (2009) Nielsen's Law

http://en.wikipedia.org/wiki/Jakob_Nielsen_%28usability_consultant%29