



Ministerie van Economische Zaken

Slim graven voor gemeenten



Reflecties op elektronische communicatie nummer 9:

Slim graven voor gemeenten

een visie op de mogelijke rol van gemeenten bij de vooraanleg van
grondwerk ten behoeve van netwerken voor elektronische communicatie

■ Onafhankelijk onderzoek in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken

Prof. ir. J.W.J van Till , Hogeschool van Arnhem en Nijmegen (HAN)

Inhoudsopgave

1. Context en vraagstelling

2. Inleiding over de huidige situatie bij de aanleg van Fiber-to-the-X (FttX)

2.1 Situatie

2.2 Waar hebben we het eigenlijk fysiek over

2.3 De technisch-functionele structuur

2.4 Welke eisen moeten er aan de passieve fysieke voorzieningen voor FttX worden gesteld

3. Zin/ onzin van vooraanleg door gemeenten

3.1 Aanpak A lege buizen

3.2 Aanpak B lege buizen inclusief fiber

3.3 Praktijkervaring

4. Aanbevelingen

Bronnen

Management Summary

Uit dit onderzoek blijkt dat het heel zinvol is om gemeenten een rol te geven in de fysieke VOORaanleg van voorzieningen in de grond teneinde de grootschalige uitrol van de volgende fase van zeer breedbandige toegangsnetten de komende tien jaar in Nederland te versnellen. Let wel, er is door het in één keer aanleggen per gemeente van lege buizen (ducts), inclusief glasvezelkabels daarin tot in alle meterkasten, nog geen sprake van netwerken, communicatie-verbindingen of ICT-diensten. Commerciële partijen kunnen die netwerken en diensten daarna versneld en met grotere penetratie aanbrengen en aanbieden gebruikmakend van de dan reeds aangelegde ducts en glasvezels.

Om in ons land meer dan 7 miljoen huishoudens en bedrijfsvestigingen met serieuze en toekomstvastе breedbandverbindingen aan te kunnen sluiten, is voor graafwerk, ducts, kabels en montage concreet een investering nodig van ca. 3,5 miljard euro, gedurende meer dan tien jaar. De gemeenten toestaan hierin een rol te spelen, neemt belemmeringen voor de uitrol weg en versnelt deze. Zonder deze toestemming gaat het waarschijnlijk circa 25 jaar duren om in ons land de gewenste penetratie van ook in de toekomst serieus opschaalbare breedband-aansluitingen voor bedrijven en woningen te krijgen.

Er moet echter wel aandacht worden gegeven aan verbetering en waarborging van de technische en kwalitatieve vaardigheden van de aannemers en installateurs die deze werken moeten gaan uitvoeren. Ook moet de communicatie beter tussen de partijen, inclusief die met de bewoners en eigenaren van gronden en opstallen. Anders ontstaan er verschijnselen die te vergelijken zijn met het 'tandartseneffect': als je bij een nieuwe tandarts komt moeten er veel dingen overnieuw gedaan om het gebit op orde te brengen. Bij de beoogde vooraanleg moet dit later overnieuw moeten doen dus voorkomen zien te worden. Dit werken op het juiste kwaliteitsniveau door bouwbedrijven en installateurs ten behoeve van de juiste overdracht naar de volgende partij(en) in de waardeketen vereist een inspanning in opleidingen en kennisoverdracht om de opgedane veldkennis uit te zaaien, zodat het slimme aansluitgrondwerk van belemmering tot een zeer nuttige gemeenschappelijke infrastructuur voor ons land wordt. En dat kan voor netwerkkoperators en kabelexploitanten grote kansen bieden.

1. Context en vraagstelling

Context

In Amsterdam heeft ons land met de Amsterdam Internet eXchange (AMS-IX) haar derde mainport na Rotterdam en Schiphol. Dat is het grootste communicatieknooppunt van de wereld, voor niet alleen internetverkeer maar ook voor telefonie,

mobile operators en videostromen. De verbindingen vanuit de AMS-IX met vele operators in vele landen zijn via optic fiber (glasvezelkabels) over de zeebodem en over land. Ook in elk land is een grote dichtheid van glasvezelkabels in plastic buizen (tubes/ducts) die ingegraven zijn in gebruik, waarmee de grote bedrijven en organisaties zijn voor hun ICT-netwerken en -diensten. In de steden liggen die bedrijfs-glasverbindingen dus al en ze zijn ook voor kabelexploitanten met kabel(tv)netten en operators met telecommunicatienetten in gebruik. De netwerken van deze twee laatste zijn al bijna volledig verglaasd tot in de wijken. In wijken vindt de (optisch-elektrische) omzetting plaats van glas- naar koperkabels (respectievelijk de aanwezige getwijnde telefoniekabeltjes en de coaxkabels waar nu ook 'triple-play' over wordt geleverd) naar de huizen. Kabelaars en telco's zijn nu bezig de glasverbindingen dichter en dichter naar woningen en MKB te brengen. Er is dan sprake van Hybrid Coax/Fiber (HFC), Fiber-to-the-Curb (stoeprand) of Fiber-to-the-Building/Premises. Dit zijn tussenstappen om tot een volledige verglazing tot in de haarvaten (tot in de meterkasten) te komen. Maar dat laatste stukje glaskabel is in aantal zeer omvangrijk en dus opgeteld kostbaar om aan te leggen. De voordelen zijn echter navenant, zoals een bijna ongelimiteerde capaciteit over de hele verbindingen als die laatste bottleneck vlakbij de huizen is weggenomen, hogere beschikbaarheid en veel lagere operationele kosten (OPEX) aan verbindingen via glas- dan aan koperdraden. De vraag 'koper of glas' is dus incompleet. Alle partijen maken gebruik van optic fiber, de vraag is slechts: hoe snel verschuift men de omzetters glas-koper in de haarvaten tot in de woningen en bedrijven?

Er gelden thans historisch gegroeide beperkingen aan gemeenten om een rol te spelen in de aanleg van breedbandige communicatienetwerken, zoals Fiber-to-the-Home (FttH) en Fiber-to-the-Business (FttB) netwerken, gezamenlijk FttX genaamd, in hun gemeentelijk gebied. Dit komt door onzekerheden over de vraag en door de beperkingen uit de telecomregelgeving. Op dit moment is er echter bijna niemand meer in de sector nog die twijfelt óf het nodig is om zo spoedig mogelijk op grote schaal FttX-toegangsnetten tot in de haarvaten van onze samenleving aan te leggen. De vraag is nu in ons land en elders in Europa: wannéer komt het bij alle bewoners?

Een andere verandering in het politieke klimaat is de wens o.a. in de EU om via openbare werken werkgelegenheid te creëren in de crisissituatie van de respectieve economieën. Met name voor aannemers, bouwbedrijven en de technische installatie- en montagebranches waar men het moeilijk heeft, betekent FttX-aanleg zeer veel werk.

Finland heeft recent een National Fibre Strategy en actieplan [1] gepubliceerd waarin men als ambitie heeft: 'Finland aims to deliver 100 Mb/s fibre-based broadband for all citizens by 2015', dus reeds over zes jaar. Net als in Nederland heeft men daar reeds een zeer hoge penetratie van breedband bereikt door middel van DSL- of kabelmodems (met een capaciteit van 1 tot 10 Mb/s) via bestaande koperdraden naar de huizen. En vele vestigingen van

bedrijven, overheden en onderwijs- en R&D-instellingen zoals scholen zijn al via optische vezelkabels aangesloten, met een capaciteit van 100-1000 Mb/s. Maar ook de behoefte aan bandbreedte van MKB en bewoners groeit gestaag, voornamelijk aangedreven door computer-computercommunicatie (filesharing). Operators komen aan die behoefte tegemoet door de glasvezelkabels steeds dichter in de steden en wijken naar de gebruikers te brengen. Het steeds korter wordende stuk koperdraad of coaxkabel in de grond is nu een bottleneck aan het worden. De vraag is nu hoe we zo goed/snel/goedkoop mogelijk ook die 'first mile' in ons land kunnen verglazen. En de behoefte zal blijven doorgroeien. Basisscholen melden al een dringende behoefte aan 1000 Mb/s (1 Gb/s) internetaansluitingen. Dus die gewenste 'first mile' en 'middle mile' ICT-infrastructuur via optische fiber kabels in de steden zal opschaalbaar en toekomstvast moeten worden aangelegd. Via koperdraden reddten we dat niet meer.

Onderzoeksvraagstelling van EZ

Voer een kort onderzoek uit over de volgende zaken:

- 1) de zin (en misschien onzin) van aanleg/vooraanleg door gemeenten van ducts en/of lege buizen, die een gemeente vervolgens verhuurt aan aanbieders van commerciële breedbandige toegangsnetwerkdiensten (of anderszins laat gebruiken);
- 2) idem: maar dan ducts en/of lege buizen waar al passieve breedband kabel infrastructuur in is aangebracht;
- 3) praktijkervaringen met beide varianten (vooral variant 1) + aandachtspunten (do's and dont's).

Dit onderzoek moet EZ helpen bij de vraag welke rol gemeenten zouden mogen spelen, en vooral welke niet. Verder krijgt EZ zo meer inzicht in de mate waarin de aanleg van breedband wordt gestimuleerd, als gemeenten een bepaalde rol (kunnen) spelen.

EZ voert een open en neutraal (qua technologie) breedbandbeleid. De lege buizen die gemeenten eventueel zouden kunnen vooraanleggen moeten daarom beschikbaar worden gesteld aan alle geïnteresseerde telecomaانبieders. Het staat marktpartijen volledig vrij behalve stukken via fiberkabel ook delen van de verbindingen met koperkabels, zoals twisted pair draden (klassieke telefoniekabels) of coaxkabels, door deze lege buizen aan te leggen.

Omdat zulke nieuwe koperen gedeeltes van de netwerkverbindingen technisch gezien en qua beheer- en onderhoudskosten (operational expenses: OPEX) een flessenhals zouden vormen, acht de auteur dit een niet-waarschijnlijk scenario, maar onmogelijk is het niet. In dit onderzoek is daarom uitgegaan van het geval waarin glasvezelkabels door de lege buizen en geulen worden aangelegd.

Afbakening

Dit onderzoek richt zich op het mogelijke effect van de vooraanleg van lege buizen door gemeenten op de uitrol van breedbandnetwerken. Hierbij wordt geen rekening gehouden met effecten op de marktverhoudingen indien een gemeente een dergelijke rol op zich neemt. Tevens komt het juridische kader, waarbij met name kan worden gedacht aan staatssteun, hier niet aan de orde. EZ zal deze zaken apart moeten bestuderen, alvorens een uiteindelijke keuze kan worden gemaakt voor de meest gewenste vorm van participatie van gemeenten bij de uitrol van breedbandnetwerken.

Opmerking: Het gebruik van vaktermen is in dit rapport onvermijdelijk omdat leesbaarheid en vertaling naar nu algemeen bekende begrippen ten koste kan gaan van de technische exactheid van de beschrijvingen in dit nieuwe vakgebied, die daardoor ambigue kunnen worden. Zoveel mogelijk is in de eerste keer in de tekst een korte toelichting of uitwerking van een afkorting gegeven. Nadere uitleg kan desgewenst worden gegeven.

2. Inleiding over de huidige situatie bij de aanleg van Fiber-to-the-X (FttX)

2.1 Situatie

De X in FttX zijn: woningen, bedrijven, boerderijen, instellingen en installaties, zoals zendmasten voor mobiele telecommunicatie. In een aantal wijken van enkele steden is FttX als pilotproject aangelegd op schaal van steeds enkele duizenden bedrijven en woningen. Nu zijn er in tal van steden op basis van die pilots FttX-toegangsnetwerken in aanleg, op een steeds grotere projectschaal van tienduizenden. Op basis van die ervaringen en die van elders in Europa begint zich een wijze van werken te ontwikkelen bij de aanleg (met enige varianten van verschillende leveranciers en aanleggers) waarover in het veld redelijke consensus bestaat. En er wordt nog steeds geleerd en verder ontwikkeld in techniek en beheermiddelen.

In een aantal opzichten wijkt de situatie in ons land af van die in andere Europese landen, bijvoorbeeld wat betreft de slappe bodemgesteldheid en de topografie van huizen en gebouwen in steden en buitengebieden. Wat dat eerste betreft kunnen kabels en buizen (ducts) relatief makkelijk onder de grond worden aangebracht, maar ze kunnen zich zonder voorzorgen ook horizontaal en verticaal verplaatsen in de vochtige bodem. Het risico dat kabels en buizen worden geraakt door werkzaamheden is hier ook groter. En niet overal kunnen ze zomaar of in elk jaargetijde worden ingegraven. Dijklichamen en natuurgebieden zijn voor de hand liggende probleemgebieden. Qua technische complexiteit stelt de aanleg van FttX niet zo veel voor. Het bestaat uit van zo ongeveer elk huis naar een knooppunt

een paar straten verder een glasvezelkabel(tje) in te graven. Maar dat dan wel zo'n 7.500.000 maal, naar woningen en bedrijven. Dat betekent voor ons land een organisatorisch complexe en grootschalige logistieke operatie, vergelijkbaar met de invoering en aanleg van het aardgasnet. Dat nam zo'n tien jaar voordat het aangelegd was en daarna nog zo'n vijf jaar voordat het overal doordrong bij vervanging van stookolietanks in tuinen. Idem dito heeft de aanleg van kabelTV (CATV-aansluitingen) op grote schaal meer dan tien jaar geduurd. Schattingen van de doorlooptijd voor de aanleg van 'elke naar elke' vestiging van op fiber gebaseerde aansluitnetten zijn 15 á 25 jaar, afhankelijk van de aanpak. Met name hangt het af van hoe en hoe vaak we het benodigde graafwerk gaan doen. Dat 'hoe vaak' heeft te maken met de kwaliteit van het werk, d.w.z. of het slordig gedaan is of niet.

Om de gedachte te bepalen: de nu beschikbare graafwerk-, aanleg- en montage- capaciteit in Nederland is in staat om in 2009 ongeveer 200.000 glasaansluitingen te maken. Als dit zo'n 5% per jaar groeit door kennisoverdracht binnen de sector, dan zal dit dus achtereenvolgens zijn:

2010	210.000
2011	220.000
2012	230.000
2013	240.000
2014	255.000
2015	268.000
2016	280.000
2017	295.000
2018	310.000
2019	325.000
2020	341.000
2021	359.000

Over 13 jaar zitten we dan op totaal 3,5 miljoen aansluitingen, dat wil zeggen dan zijn we halverwege. Kunnen we de capaciteit eerder op 500.000 per jaar brengen, en houden, dan duurt het voor 7 miljoen huishoudens nog steeds ruim 14 jaar. Tegelijkertijd zal de vraag naar aantallen aansluitingen ook exponentieel toenemen, maar sneller dan 5% per jaar, wat zal resulteren in wachtrijen voor de beperkte bouwcapaciteit en prijsopdrijving van aanleg door de marktwerking. De vraag is natuurlijk hoe die wachttijd van jaren te zijner tijd kan worden uitgelegd en gerechtvaardigd. Dat stelt ons land dus niet voor een technisch probleem, maar voor een doorlooptijd- en kwaliteitsprobleem.

Er zijn dus argumenten om de fiber-uitrol te versnellen. Dat kan op z'n minst door *belemmeringen weg te nemen* en door zo veel mogelijk *parallel* te gaan werken, in plaats van in serie waarbij alle opeenvolgende stappen steeds doorlopen moeten zijn, voordat schaarse resources weer elders kunnen worden ingezet. De verwachting dat werknemers uit andere landen ons te hulp zullen komen biedt slechts ten dele een oplossing. Dat gebeurt nu al en in alle Europese landen zal dit verschijnsel zich ongeveer tegelijkertijd voor gaan doen. Er zijn dus redenen om niet te wachten.

2.2 Waar hebben we het eigenlijk fysiek over

De ondergrondse infrastructuur voor FttX wordt thans in de praktijk als volgt planmatig opgestart. Men zoekt bij het maken van een *systeemtekening voor aanleg* in een stad een gebied uit met ongeveer 2500 woningen, zeg op schaal van een wijk. Er is mogelijk een bepaalde mix van hoogbouw (flatwoningen in een gebouw), laagbouw met of zonder tuinen, bedrijven, winkels, kantoren, agrarische bedrijven, etc. In Nederland is 40% van de woningen particulier eigendom en 60% gehuurd. Via een computerprogramma wordt op basis van postcodegegevens en straatgegevens (plaatsbepaling m.b.v. GPS) uitgerekend waar het 'wijkknoppunt', ook bekend als areaPOP, het beste gesitueerd kan worden om een zo kort mogelijke totale sleufafstand te hoeven graven.

Een *areaPOP* is de "Point Of Presence" waar de fiberkabels van de verschillende netwerkoperators op kunnen worden aangesloten, al of niet via een stadsring (middle-mile netwerken). Die verlenen op hun beurt weer toegang voor tal van computerapplicaties en diensten in de wereld. Dat wijkknoppunt kan worden voorgesteld ter grootte van een garage (b x l x h=3x6x2,5 m) waarin verdelerracks voor buisjes en vezels, opstellingsplaats voor netwerkkapapparaat, airco, backup powersupplies, aarding en bewakingsapparatuur kunnen worden geplaatst. Wordt geen juiste ruimte gevonden op de geprojecteerde plek, dan wordt zo'n opstellingsplek in de buurt van de projectie gezocht en de berekening herhaald vanuit het gevonden punt. Van daar uit vertakt de structuur zich naar zo'n 52 plaatsen met een distributiepunt ofwel *splicebox* waarin de kabels met buisjes en vezels weer worden uitgesplitst naar zo'n 48 individuele woningen (volgens huidige projectiemethodieken voor FttHome-netwerken). Het is aan te bevelen deze spliceboxen *in te graven*, maar wel ondergronds toegankelijk via een zg. handhole (een deksel met daaronder ruimte voor werkzaamheden) Vanuit de spliceboxen lopen er strengen kabels of buisjes naar de erfgrans van de woningen, zoveel mogelijk samen in geulen.

Voor deze topologie is zo'n 32,5 km te graven hoofdgeul nodig voor 2500 woningen, dat wil zeggen gemiddeld 13 à 14 meter graven per woning. Dit is de parameter die, behalve de duct- en de kabelprijs per meter, het meest doorwerkt in de kosten. De afmeting van zo'n gebied heeft doorgaans een straal van een paar honderd meter (first mile). Van *erfgrans* naar *gevel* van de woning is het nog eens 6 à 7 meter graven.

Na de graafploeg, in de straten en op het erf, komt er nog een vezelkabel-/buisjesinblaasploeg aan te pas van knoppunt tot in de woning en vervolgens een vezellas en –montageploeg die ook naar binnen moet.

Als orde van grootte van kosten voor FttX schatten we nu voor aanleg:

- Passieve (fysieke) infrastructuur (ruimte wijkknoppunt, graven geulen met de juiste diepte en buigradius en alle handling eromheen, aanbrengen spliceboxen, plastic ducts en

vezelkabels tot de gevel, uitmeten kwaliteit glaslassen en vezels, afwerken tot in de meterkast): per woning ca. 800 tot 850 euro per aansluiting. Deze passieve infrastructuur kan 25 tot 30 jaar mee, zij het dat er een paar procent van deze kosten per jaar aan onderhoud en beheer moet worden gepleegd in verband met bijvoorbeeld verleggen en andere straatwerkzaamheden.

- Actieve elektro-optische netwerkaansluit- en schakelapparatuur, in areaPOP en in meterkast: thans ongeveer 350 euro per aansluiting. Dat bedrag daalt door toenemende seriegroottes, maar deze hardware heeft een korte levensduur van enkele jaren (huidige businessmodellen: vijf jaar), net als bijvoorbeeld een laptopcomputer of een mobieltje. Hierop moet door de netwerkoperators een netwerkbeheer-systeem, netbeheer en provisioning worden toegepast, wat maandelijkse kosten met zich meebrengt.

Grofweg kost het in steden thans dus circa 1200 euro voor een werkende FttH-aansluiting en is het grootste deel van de aanlegkosten (850 euro = zeventig procent) fysiek: graven + glas (circa 500 euro per aansluiting) en monteren (350 euro). In de buitengebieden van steden, (ruraal gebied en dorpskernen) waar zich overigens een mix van woningen, bedrijven en boerderijen bevindt, loopt dit afhankelijk van de dichtheid van vestigingen op van 2000 tot 3000 euro per aansluiting. Nog steeds een bedrag dat vergeleken met bouwkosten van huizen en andere opstal vrij gering is. Maar dan moet het wel slim aangepakt en samen gedaan worden en met hoge kwaliteit dus vakwerk.

2.3 De technisch-functionele structuur

Er is van beneden in de aarde naar boven geredeneerd sprake van horizontale lagen:

- a. *sleuven* in de grond, hierop bevinden zich wijkknoppunten en spliceboxen
- b. in de sleuven worden (b1) Direct Buried Fiberkabels gelegd zonder ducts óf (b2) lege ducts ofwel *buizen* aangebracht van HDPE (High Density PolyEthylene/PolyEtheen), dat is een plastic kunststof die wordt gemaakt bij lage druk en een kristallijne structuur heeft. Door middel van een juiste SDR (standard dimension ratio van binnen en buitenstraal) kan de buis een maximale druk van bijvoorbeeld 10 bar aan. De buizen hebben verschillende kleuren en behoren voorzien te worden van een bandje met codering, dat correspondeert met info op digitale GIS (geografisch informatiesysteem) kaarten van de installatie. Zodat ze later terug te vinden zijn.
- c. In de buizen worden (c1) sub-ducts ingeblazen met *fiberkabels* er al in, óf er worden (c2) lege zg. 'geleide buisjes' ingeblazen (Geleide Buis Techniek, GBT) waarin later fiberkabeltjes kunnen worden geblazen.
- d. Als de optische vezels tot in de meterkast zijn afgemonteerd, onderweg zijn gelast en uitgemeten, ontstaat er een end-to-end optisch pad (*dark fiber*) waardoor fotonen, met hoge fluctuatie om bits te coderen, (t.z.t. ook voor FttH met verschillende

lichtkleuren) in twee richtingen kunnen worden verstuurd. Het wordt nodig en voldoende geacht om iedere woning met twee optische vezels aan te sluiten op een verdelerrack in het wijkknoppunt.

- e. Via *actieve elektro-optische omzetapparatuur* aan beide kanten van de dark fiber kunnen dan digitale informatiestromen als dataverbindingen voor onder andere: video, telefonie en internetdiensten in een netwerk worden doorgegeven, geschakeld, gerouteerd en beheerd/verzorgd door netwerk-providers. Binnenshuis is daarvoor een infrastructuur (o.a. WiFi en LAN) met zeer hoge capaciteit.
- f. De ethernet- en *computertoepassingen* in huizen en bedrijven en aan de andere zijde de ISP services en allerhande IP gebaseerde informatie en communicatiediensten in de wereld.

Deze horizontale lagen hebben ieder een eigen functie en dynamiek. En ze kunnen apart in parallel worden aangebracht beheerd en verbeterd. Ten minste als er moeite gedaan is de wisselwerkingen en afhankelijkheden tussen de lagen zo minimaal mogelijk te maken, en liefst te beperken tot kwantitatieve invloed. Dat geeft ruimte om te verbeteren, op te schalen, uit te breiden in groei, onderdelen te wijzigen, zonder dat het geheel opnieuw moet worden gebouwd/ aangelegd.

Je kan deze lagen bijvoorbeeld voorstellen als iets wat wij ook thuis als slaappleaats hebben: een vloer van een kamer, een frame als bed; daarop een matras, daarop lakens, de mens ertussen, en bovenop dekens en kussens. Ieder van deze onderdelen kan je (relatief) apart vervangen/verplaatsen/onderhouden.

Er is dus bij een dergelijke ontwerpwijze geen "verticale integratie". Pas bij het gebruik grijpen deze lagen in elkaar. Een ander voorbeeld is autorijden. Tijdens het rijden raken autobanden de openbare weg. Transportbedrijven hoeven geen eigenaar van de wegen te zijn.

Er is in de wereld een trend om de ICT- en FttX-infrastructuurlagen, zoals bovenbeschreven a. t/m f., te clusteren in een horizontaal drielagen model. En wel de nu volgende drie gezien hun respectieve zeer verschillende levensduur als opzichzelfstaand te beschouwen, er in te investeren en ze ieder strategisch/tactisch apart te besturen:

III f: computerapplicaties, communicatie- en informatiediensten;

II e: netwerkkaparaatuuur en toegangnetwerkdiensten;

I (OSI -1) a: sleuven; b: buizen; c: fiberkabels; (OSI o) en d: dark fiber paden. Zoals hierboven beschreven voor FttX.

De vraagstelling van dit onderzoek is om naar mogelijke versnelling van de aanleg van de fysieke (nuts)voorzieningen I te kijken, met behulp van vooraanleg door gemeenten. We hebben het dan, zoals verderop nader wordt gespecificeerd, over het naar voren halen van ca. 3,5 miljard euro over een tijdverloop van circa 10 jaar door de zo'n 400 gemeenten in ons land.

2.4 Welke eisen moeten er aan de passieve fysieke voorzieningen voor FttX (laag I van het drielagenmodel) worden gesteld

Voor de nieuwe netwerkeconomie en de maatschappelijke sociale cohesie zijn serieus breedbandige verbindingen een levensbehoefte aan het worden. In het transectorale 'lange termijn & algemeen belang van de samenleving' behoort bij ontwerp en aanleg van de ondergrondse infrastructuur t.b.v. FttX in steden een aantal eisen te worden gesteld die maatschappelijkbelang-investeringen rechtvaardigen. Het gaat dan namelijk om meer dan uitsluitend verhogen van aandeelhouderswaarde van bedrijven (waar op zich niks mis mee is).

In verscheidene steden is met wisselend commercieel en marketingsucces door zeer verschillende partijen FttX aangelegd. Er was altijd wel commentaar en kritiek op de uitvoering. Die kritiek loopt van 'verkeerde kabels op de verkeerde plaatsen', via 'nog zeer lage uptake (verhouding homes connected/homes passed)' tot 'rommelig en slordig aangelegd, zoals vergeten overall dopjes op de buizen te doen'. Wel is er veel van geleerd, waardoor we nu deze en toekomstige projecten langs een aantal meetlatten kunnen leggen.

Wat zijn die gemeenschapseisen:

e.1 *Any-any* tot in de haarvaten. Uiteindelijk moet elk aansluitpunt in huis of bedrijf onderling ongehinderd met elk ander aansluitpunt kunnen communiceren om de vruchten te kunnen plukken van verschillende netwerkeffecten. Voor telefonie heeft men rond 1900 hiervoor het 'universal service'-begrip geïntroduceerd. Reeds nu melden bedrijven dat als zij niet spoedig FttBusiness-access krijgen, ze hun vestigingen die dat niet hebben zullen moeten verplaatsen. Zelfs komt het al voor dat er burgers zijn die zich in verband met hun soort werk niet willen vestigen in een gemeente waar niet spoedig FttHome komt.

e.2 *Innovatiebevorderend*. Open voor onbekende nieuwe dingen in de toekomst en voor alle partijen zoals concurrerende commerciële bestaande netwerkkoperators en nieuwe toetreders, die kunnen doen waar zij goed in zijn.

e.3 *Toekomstbestendige investeringen* (capital expenses CAPEX). Als het gedaan wordt moet het in één keer *kwalitatief goed* met het oog op levensduur, OPEX (operationele uitgaven voor beheer en onderhoud die bij glasnetten vele malen lager blijken te zijn dan bij koper-netten) en overdracht bij aanleg tussen de partijen. Het werk moet niet deels overgedaan hoeven worden. Daarna moet het opgeschaald, uitgebreid, verbeterd en gewijzigd kunnen worden, opnieuw zonder (totale) herbouw of steeds opnieuw massaal vervangen van apparatuur.

Concreet betekent dit minimaal:

- ≥ 100 Mb/s verbindingen met doorgroei mogelijkheid naar 1-10 Gb/s per aansluitpunt;
- Symmetrisch, dus 100/100 of 1000/1000 Mb/sec. Dit is noodzakelijk omdat immers voor ongehinderde communicatie tussen aangeslotenen de zendsnelheid van de ene gelijk moet kunnen zijn aan de ontvangstsnelheid van de andere partij;
- Verderop in het netwerk zitten vaak tientallen huisaansluitingen samen op een verbinding verder het netwerk in (upstream). Dit is de zogenaamde 'overbooking ratio'. Die ratio 1 : N moet laag zijn anders kunnen gebruikers met veel verkeer elkaar hinderen omdat er congestie optreedt.
- 'End-to-end sustained (ononderbroken) dataflows' toestaan van minstens 2x20 Mb/s ten behoeve van videostreamen in SD en HD (High Definition), ook in twee richtingen.

Voor het onderhoud (verleggen, bijhouden van geografische bestanden (GIS databases van geografische informatie van de kabeltrajecten), communicatie met het KLIC (Kadaster) en de rechten en plichten voortvloeiend uit de WION [Wet Informatie Uitwisseling Ondergrondse Netten], etc.) moet wel geld gereserveerd worden of in de verhuurprijs doorbelast kunnen worden.

Oplossingsrichting is zoals bovenvermeld door complexiteit te reduceren via opdelen in horizontale lagen met duidelijke scheidsvlakken en operationele procedures ertussen. Populair gezegd volgens de bed-analogie moet je af en toe de lakens kunnen vervangen zonder dat het hele bed vernieuwd moet worden, als de constructie eenmaal goed in elkaar steekt.

e.3.1 *Verticaal de lagenstructuur zo veel mogelijk ontkoppelen en ontkoppeld houden*. Dit vloeit voort uit e.3. De architectuur en de topologie moet dit toestaan.

e.4 *Zo spoedig mogelijk, en zo kort mogelijke doorlooptijd landelijke uitrol*. Polderen moet het proces niet ophouden. Zie 1.1 over de doorlooptijd: het kan sneller dan in 25 jaar door middel van vooraanleg en parallel werken.

e.5 *Zo goedkoop mogelijk qua aanleg en qua gebruikskosten (price/performance)*.

e.6 *Zo min mogelijk overlast bij openen van grond en straten, op openbare grond en op/via privéterreinen*.

e.7 De ICT-infrastructuur moet voor de gebruikers een *hoge beschikbaarheid* (lange mean time between failure MTBF; korte mean time to repair MTTR) hebben. In het ontwerp moeten maatregelen en systemen ingebouwd zijn die kwetsbaarheid voor verstoringen/uitval (door single points of failure SPOFS) enzovoorts minimaliseert. Het is onacceptabel dat hele wijken langdurig zonder enige vorm van communicatie komen te zitten.

3. Zin/ onzin van vooraanleg door gemeente

3.1 Aanpak B lege buizen

Vraag van EZ 1 de zin (en misschien onzin) van aanleg/vooraanleg door gemeenten van ducts en/of lege buizen, die een gemeente vervolgens verhuurt aan commerciële FttX accessnetwerkdienstenaanbieders (of anderszins laat gebruiken);

Er bestaan een aantal verschillende varianten en alternatieven om via de plastic ducts en/of geleidebuizen 'kabelruimte' naar de huizen te krijgen, zoals deels in het voorgaande beschreven. Dus nog zonder fibers of fiberkabels daarin aante brengen. Grofweg komt dat neer op ducts van 40 millimeter van areaPOP-knooppunt naar splicebox en kleinere ducts van daaruit naar erfgrans en vervolgens naar vlak voor de gevel van het woonhuis. De eerstgenoemde buizen bieden voldoende ruimte om daar te zijner tijd kabels met daarin 96 fiberaders doorheen te blazen en de tweede soort duct moet ruimte bieden aan later in te blazen kabeltjes met twee fibers. Hier kleven echter een aantal voor- en nadelen aan die we hier niet allemaal zullen opsommen, zoals relatief 'te kostbaar' en moeilijkheden met het voldoen aan de gewenste kwaliteitseisen. Na consultatie met enkele ervaren aanleggers komen we tot de volgende meer specifieke en praktisch uitvoerbare invulling.

Praktisch model A voor aanpak van vooraanleg gemeenten: RUIMTE GEVEN, nog zonder fibers.

Leg in de volgens beschreven methodiek geprojecteerde hoofdgeulen tussen wijkknooppunt en in te graven 52 spliceboxen geen lege buis maar een speciale versterkte Direct Buried duct met daarin zes lege tubes t.b.v. geleidebuis techniek (GBT). Ieder van deze tubes moet te zijner tijd een fiberkabel met 96 vezels voor 48 woningen kunnen bevatten of iets anders. Wat kan er met die andere vijf tubes gedaan worden? Bijvoorbeeld: fiberkabels voor aansluiting van basisstations voor mobiele communicatie met hogere snelheden; koppelingen tussen wijkknooppunten i.v.m. verlagen van de kwetsbaarheid; transit kabeltrajecten voor bedrijven en instituten. Vanuit de spliceboxen worden er dan vier strengen met ieder 24 buisjes van 5 millimeter (waarin later kabeltjes met twee fibers kunnen) direct buried via geulen naar de huizen gelegd en onderweg (een buisje) afgesplitst naar de woning erfgrans en vervolgens verder ingegraven tot een buis rolletje (HPE = homes passed entry module) tegen de gevel. De splicebox met handhole moet zodanig geconstrueerd (met geïntegreerde lasmodule) zijn dat als er later een 96-aderige fiberkabel ingebracht wordt deze in een keer naar de 4*24 buisjes met twee fibers naar en binnen de 48 huizen gelast kan worden. Een variant is dat je in geval van nieuwbouw wel de buisjes met twee fibers tot in de meterkast afmonteert en uitmeet. Aldus wordt met gezond verstand en optimaal met de fysieke nutsfunctie van de ondergrondse ruimte (OSI -1: lege areaPOP's, tubes, spliceboxen en geleidebuisjes) van de gemeente omgesprongen. Investering in fiberblazen van

fiberparen per huis, monteren en meting wordt dus in dit Model A scenario te zijner tijd aan commerciële partijen overgelaten en vervolgens kan men de netwerkoperators uitnodigen om op het wijkknooppunt per specifieke abonnee-vezelpaar actieve apparatuur aan te sluiten.

Het antwoord op vraag 1 van EZ luidt, in het licht van het voorgaande in dit rapport en met de Model A (Ruimte geven) als aanpak voor de gemeenten, als volgt:

Ja, het is zinvol om de volgende redenen:

- (1) De grootste huidige belemmering voor het snel opschalen van de uitrol van glasvezelnetwerken zijn de businesscases die als drempel een bepaald *minimum uptake percentage* (homes connected/homes passed) moeten hebben voor de verticaal totale aanleg (zie boven a-f), terwijl de bevolking nog zeer verschillend reageert op het voor hen nieuwe aanbod. Sommigen hebben het nu nodig en kunnen geen dag meer wachten en anderen denken het voorlopig nog niet nodig te hebben. Tenminste, dat krijg je te horen bij peilingen naar de vraag. Velen van degenen die echter de beschikking krijgen over zeer snelle netwerktoegang vragen zich nu af hoe ze ooit zonder hebben gekund. Dus moet eerst vraagbundeling plaatsvinden in elke wijk van een paar geselecteerde steden en woonkernen om het rendabel te maken om zo'n wijk gedeeltelijk te gaan verglazen. Indien echter de gemeente vooraanleg van het fysieke onderstuk naar alle woningen doet, met ongeveer de helft van de kosten, dan wordt het onzekere deel uit die uitrolplannen van netwerkoperators gehaald. Immers, na het aanbrengen van fibers weer in één slag voor alle huizen kunnen respectieve klanten 'een voor een' door patching van fibers in het wijkknooppunt en aanbrengen van actieve apparatuur worden aangesloten.
- (2) Een andere hobbel die wordt genomen is dat door deze aanpak voorkomen wordt dat er cherry picking van en in de meest getalsmatig belangstellende en daardoor rendabele wijken en gebieden (het laaghangend fruit eerst) plaatsvindt, waardoor aanvankelijk minder belangstellende of minder communityminded delen van ons land nog zeer lang verstoken zullen blijven van glasvezelaansluitingen. En daar wordt de aansluiting relatief steeds onaantrekkelijker voor ondernemers die zouden willen aanleggen. De fasering was tot nu toe in volgorde verglazen van: SURFnet-verbindingen, grote vestigingen van bedrijven: verbinden tussen meerdere vestigingen, voor scholen, op bedrijfsterreinen, voor sommige MKB'en, powerusers en dan pas het grote publiek. Op dit moment zijn met name MKB en ZZP'ers belangstelling aan het krijgen voor fiberaansluitingen en willen powerusers die diensten willen aanbieden met spoed deze verbindingen hebben. Maar omdat dezen verspreid over wijken in steden zitten worden deze wijken voorlopig niet verglaasd en dus belemmerd in hun ontplooiing. Cherry-picking werkt alleen voor grote bedrijven en valt daarna stil. Deze voorgestelde Aanpak A van 'in één klap door de gemeente ruimte geven voor glas overall' voorkomt deze cherry picking en is dus zinvol.
- (3) Het ontwerpen en aanleggen van de lege ruimte om glas in te leggen kan nu al tegelijkertijd en in parallel op zeer veel plaatsen

gedaan worden met *inschakeling van deels lokale bedrijven, mits kwalitatief goed*. En die worden dan meteen opgeleid om het elders te herhalen. Aldus versnelt dat de uitrol. Geen kip/ei impasses en ook minder kans op vele wachtrijen die aangroeien als de publieke belangstelling plotseling explosief aangroeit zoals ook bij ADSL en kabelmodems het geval was.

(4) De investering voor/door gemeenten in deze lege ondergrondse infrastructuur is in feite een investering in *gemeenschappelijk vastgoed* (nutsfunctie) zonder zeer grote risico's of plotselinge veroudering, over een lange tijdschaal van ruim 25 jaar, en hiervoor kan naar wij aannemen 'geduldig kapitaal' gevonden worden. En om deze reden is het belangrijk om geen verticale integratie van infrastructuur en netwerkdiensten toe te staan waardoor de investeringen toch een korte termijn- karakter krijgen.

(5) Het gebruik te maken van graafwerkzaamheden van andere projecten in en van de gemeente (zoals vervanging elektriciteitskabels of rioolbuizen, herbestrating bij renovatie en nieuwbouw, etc.) verhoogt de totale aanlegcapaciteit in ons land dramatisch, wat de doorlooptijd van de uitrol van glas kan bekorten.

Het tweede deel van het antwoord is echter:

Ja, maar succesvolle uitvoering door gemeenten van Aanpak A staat of valt met een aantal kwalitatieve voorwaarden waaraan moet worden voldaan, wil het in één keer goed gedaan worden en niet verzanden in fouten en gebreken die hersteld moeten worden. Let wel, op deze schaal van miljoenen aansluitvoorzieningen leidt een fout- of reparatiepercentage van 1% tot tienduizenden storingen en graafwerkzaamheden per jaar. Zie onder andere in de 'do's en dont's' en de 'ervaringen met vooraanleg' verderop in dit rapport. Die kwalitatieve voorwaarden zijn o.a.:

- De gemeente moet qua opdracht en uitvoering van Aanpak A een goed rentmeester zijn die alle rechten en plichten voortvarend, volgens plan en grondig uitvoert.
- Het werk van elke partij in de keten van aanleg moet van zeer hoge kwaliteit zijn en gewaarborgd door garanties, inspecties en beloningen. Dit stelt hoge eisen aan de kwaliteit van werk waardoor bijv. lekken door te korte bochten, beschadigde geleidebuisjes, incorrecte coderingen en geografische informatie (GIS) ter plaatse gecorrigeerd kunnen worden. Kwaliteitswaarborging in de aannemerij en installatiebranche dus. Dit kan slordigheid met zeer kleine foutjes betreffen, zoals het vergeten doppen op buizen te doen of te scherpe bochten in de buizen leggen waardoor inblazen van kabels niet meer lukt.
- Er moeten te zijner tijd ondernemers en/of telecombedrijven gevonden worden die dark fiber kabels in deze vooraangelegde ducts willen (laten) aanleggen, naar binnen brengen in huizen en bedrijven en willen laten uitmeten.
- De handover tussen 'graaf- en aanlegploeg' in opdracht van de gemeente en de fiberploeg en de actieve netwerkinstallatieploeg moet optimaal qua informatie zijn en tot acceptabele overdracht leiden.
- Met de eigenaren van de grond waarop en via welke deze lege infrastructuur wordt aangelegd en met de bewoners moet goed samengewerkt worden, terwijl feitelijke bruikbare verbindingen

pas na een aantal stappen gereed komen. Dat vergt nogal wat coördinatie.

3.2 Aanpak B lege buizen inclusief fiber

Vraag EZ 2) De zin (en misschien onzin) van aanleg/vooraanleg door gemeenten van ducts en/of lege buizen waar al passieve breedband kabel infrastructuur in is aangebracht;

Het antwoord is: **Ja, dit is nog veel zinvoller dan vooraanleg van louter lege ducts maar dan zodanig dat er minstens al 2 passieve glasvezels tot in de meterkasten worden aangebracht, afgemonteerd en uitgemeten ;**

Om de genoemde kwalitatieve vereisten in verband met overdracht tussen partijen van Aanpak A kort te sluiten blijkt uit de recente ervaringen van de aanlegsector in het veld dat het verstandiger is deze vooraanleg door gemeenten meteen en direct tot en met de bruikbare uitgemeten dark fiber uit te voeren, inclusief afmontage in de meterkast. Dat betekent concreet het volgende.

Praktisch model B voor aanpak van vooraanleg gemeenten: ondergronds werk inclusief 2 DARKFIBERS/woning geïnstalleerd van wijkknooppunt tot in meterkast.

Praktische uitvoering hiervan kan het beste geschieden door:

- Tussen areaPOP (wijkknooppunt) en splicebox (distributiepunt) een 40 millimeter duct met daarin een optische vezelkabel van 96 vezels. Extra kabels kunnen later desgewenst nageblazen worden;
- Op de splicebox aangesloten direct bury glasvezelkabels met twee vezels naar de erfafscheidig, naar de huizen en naar binnen afmonteren in de meterkast;
- Alle vezels in de splicebox lassen en deze vervolgens ingraven plus handhole;
- Holle buisjes die water aantrekken worden dus vermeden en door uittesten kan direct geconstateerd worden of er kwaliteitsgebreken zijn.

Alle zinvolle voordelen van Aanpak A zijn hierbij ook geldig maar niet de risico's die gelopen worden doordat de kwaliteit van werk en handover in de tijd verdeeld worden.

Nadelen van deze nog directere aanpak door gemeenten zijn:

- Het is aanzienlijk duurder voor gemeenten door het gebruik van meer materiaal (fibers en kabels) en meer gekwalificeerd werk (lassen, afmonteren en uitmeten);
- Het laat veel minder ruimte voor latere toevoegingen en veranderingen, waardoor mogelijk toch vroeg of laat opnieuw gegraven moet worden of de vezels vervangen. Via gebruik van meerdere lichtkleuren per vezel voor verschillende operators kan dit mogelijke nadeel echter te zijner tijd worden opgevangen.

Kortom: deze aanpak kan in één keer goed gedaan worden en het risico van rommelig werk is geminimaliseerd. **Daarom geniet Aanpak B de voorkeur.**

3.3 Praktijkervaring

Vraag EZ 3) praktijkervaringen met beide varianten (vooral de variant van vraag 1 – vooraanleg zonder fiber) + aandachtspunten (do's and dont's).

Met vooraanleg van (delen van) FttX volgens Aanpak A (alleen kabeltrajectruimte vooraanleggen) is ervaring opgedaan in de steden Almere, Deventer in het buitengebied en Dordrecht. Mede op grond van interviews over die ervaringen met betrokkenen is dit rapport opgesteld.

Een zeer slecht voorbeeld van vooraanleg volgens Vraag 1 was het zg. Trilink concept (op initiatief van KPN, VolkerWessels en BAM), dat in een aantal steden is uitgevoerd voor eigen rekening en risico van aannemers. Hierbij zijn kale buizen ingegraven en daarin buizen met de geleide buis techniek (GBT). Het werk is echter rommelig uitgevoerd en vele buizen liggen niet goed. Door gaatjes die ontstonden was het nodig van de 800 buizen er 500 alsnog in te moeten graven of te herstellen. Dit is een van de redenen dat men nu een voorkeur heeft voor direct bury fiberkabels, d.w.z. zonder ducts. Maar ook de beschreven Aanpak A en Aanpak B in dit rapport zijn hier een verbetering op.

Do's en Dont's

In dit rapport staan op de plaatsen waar dat in het betoog te pas komt al een groot aantal aanwijzingen hoe slim te werk moet worden gegaan door gemeenten en anderen. Hieronder zijn een paar dingen nog wat meer in detail uitgewerkt.

- Maak een aantal systeemtekeningen van gebieden/wijken waarin zo'n 2500 huizen/bedrijfsvestigingen liggen. Stem dit af met de KLIC-gegevens en maak een digitale GIS-inventaris van de FttX-verbindingen die al aanwezig zijn in de gemeente.
- Maak gebruik van situaties waarbij de grond toch opengaat, zoals in nieuwbouwwijken en (her)aanleg van andere modaliteiten zoals gas, water, elektriciteit en riolering.
- Houd de ondergrondse gemeentelijke infrastructuur zo neutraal, open en toekomstvast als maar mogelijk is.
- Laat ontwerpen en plannen maken voor onder andere:
 - Plaatsbepaling en reservering/beschikbaar krijgen van vloerruimte van wijkknooppunten/areaPOPs;
 - aanmelding aan KLIC volgens de wet WION;
 - graven, dichten geul;
 - openbrekingen waarbij bijv. asfalt moet worden opengemaakt of ondergraven (15%) en definitief opengeul bedekking (85% van de gevallen);
 - leggen en leveren van de direct bury GBT kabels en strengen;
 - aanbrengen en leveren van buiskoppelingen, merkbanden en spliceboxen
 - verzorgen van de revisie (tekeningen en databases);
 - legeskosten;
 - kosten voor materiaal, projectwerk, engineering, verzekering, locatiekosten, afspraken vastleggen, transactiekosten en regie;
 - 'degeneratiekosten': voor bestratingen etc.;

- begrotingen, besluitvorming, communicatie;
 - opleidingen
- e. Zie toe op de kwaliteit van het werk, o.a. over diepte en dichtheid. Laat garanties afgeven.
 - f. Laat (groepen van) eigenaren van privéterrein zelf graven onder kwaliteitseisen.
 - g. Laat niet toe dat eigenaren het kunnen tegenhouden wanneer buistrajecten over of via privégronden moeten worden ingegraven.

Het gaat hier om versnelling van de uitrol van een voor de samenleving vitale resource, reden om daar als gemeenschap en gemeente aan mee te werken.

Slimme netwerken maken ons land slimmer en scheppen werk! En het kan voor zowel telecomoperators als kabels grote kansen bieden.

4. Aanbevelingen

- Geef de gemeenten in ons land toestemming om op hun grondgebied vooraanleg van fysieke voorzieningen ten behoeve van de uitrol van FttX te laten uitvoeren volgens Aanpak B d.w.z. vanaf het wijkknooppunt lege tubes en geleidebuisjes met daarin twee darkfibers per woning afmonteerd en uitgemeten tot in de meterkast.
- Indien gemeenten die dergelijke vooraanleg laten aanleggen van mening zijn dat zulks te veel geld vergt en besluiten slechts lege infrastructuur tubes en buisjes te laten aanleggen (slechts volgens Aanpak A) moeten ze wel zorgen dat dit onder hoge kwaliteitseisen moet worden uitgevoerd. Zo niet, kan later blijken dat grote delen van de vooraangelegde infrastructuur onbruikbaar zijn.
- Bij nieuwbouwwijken dient installatie volgens B overal en onverwijld onderdeel te zijn van de aanleg van de wijk. Dit is een voorwaarde die door de gemeente gesteld moet worden aan de projectontwikkelaar.
- Betrek bewoners, huiseigenaren en grondeigenaren in het proces van uitrol door de gemeenten.
- Bij graafwerkzaamheden voor andere modaliteiten (gas, water, elektriciteit, riool) moet verplicht nevenaantleg (ook wel genaamd duoaanleg) plaatsvinden van buizen voor glasvezels, eventueel leidend tot zg 'kanalisatie' (kabelstraten). Dat de verschillende kabels in het straatprofiel netjes en ver van elkaar zouden af liggen is een sprookje.
Dus niet zozeer meeleggen door concurrenten in de sector, maar *transsectoraal bijleggen* moet verplicht worden als de grond toch opengaat. Maar dan wel planmatig en op kwalitatief correct niveau, volgens een vooraf voor de hele stad gemaakte systeemtekeningen-/FttX-plan. Tevens behoort de gemeente een inventaris van de reeds gemaakte FttX-trajecten bij te houden en met het KLIC te synchroniseren. Dit moet netjes geregeld en uitgevoerd worden overeenkomstig de WION (Wet Informatie Uitwisseling Ondergrondse Netten), maar ook in externe

onderlinge menselijke en digitale communicatie. Als anderen daar informatie over willen verkrijgen dient die tegen redelijke betaling en termijn ter beschikking gesteld te worden. Dit behelst een zogenaamde 'lijnmakelaars functie' die de gemeente kan uitbesteden.

Bronnen

- [1] Paul Budde, Australië; *Finland's National Fibre Strategy – Pragmatic policies to create future demand*, May 1, 2009.
- [2] Jaap van Till et al, *Slim Graafwerk – Advies van de ISOC* Commissie Andriessen, Internet Society Nederland, 21 juni 2001. <http://isoc.nl/publ/slimgraafwerk/slimgraafwerk.pdf>
- [3] Berichten, o.a. in mei 2009, over in Europa gebruikelijke wijzen van aanleg van FttX in Discussion list 'Arch-Econ' (Architecture and Economy of Internet), Gordon Cook, moderator.
- [4] Jon Pijnacker, Schuuring BV, *Documentatie slim graafwerk - voor een toekomstvaste ICT infrastructuur*, in opdracht van de gemeente Dordrecht; 25 juli 2003.

Legenda.

In dit rapport zijn consequent de meestal Engelstalige vaktermen gebruikt zoals die gangbaar zijn in Europa. Afkortingen worden zoveel mogelijk de eerste keer dat ze voorkomen in de tekst voluit genoemd en soms nader uitgelegd.



Deze brochure is een uitgave van:

Ministerie van Economische Zaken
Postbus 20101 | 2500 EC Den Haag
T telefoonnummer (ma t/m vrij 9.00 – 21.00 uur)

© Slim graven voor gemeenten | Auteur: Prof. ir. J.W.J van Till | Oktober 2009 |