

Smart cities bouwen volgens de knieoperatiemetafoor: onderzoeksrichtingen binnen het domein van binnenstedelijke (infra)reconstructie

Dr. Ir. Léon olde Scholtenhuis
Prof. Dr. Ir. Ing. André Dorée
Universiteit Twente, afdeling Bouw-Infra

Samenvatting

Het Smart cities-fenomeen is actueel en aantrekkelijk. Veel steden willen slimmer worden; sommige om technologische vernieuwing een kans te bieden, anderen, omdat ze niet achter willen lopen op steden die 'het ook doen'. Hoewel over de definitie van 'smart cities' weinig consensus bestaat, gaan de meeste interpretaties er vanuit dat nieuwe infrastructuur (o.a. smart energy grids, WKO, glasvezel, ondergrondse afvalverwerking) gerealiseerd moet worden om steden slimmer te maken. Een onderbelicht uitgangspunt is hier dat nieuwe netwerken vaak ingepast moeten worden in een grond die al vol ligt met kabels, leidingen, bassins en boomwortels. Tevens wordt het aanleggen van nieuwe infrastructuur ingewikkelder, omdat autoriteiten strikte eisen stellen ten aanzien van bereikbaarheid en overlast. Aannemers zijn dus vaker genoodzaakt om straten bloot te leggen terwijl 'de winkel gewoon open blijft.' De realisatie van smart cities vergroot deze druk op binnenstedelijke infraprojecten en vraagt daarom om een minimaal-invasieve aanpak die ervoor zorgt dat projecten hindervrij, zorgvuldig en efficiënt verlopen. Dit artikel introduceert de knieoperatie als metafoor voor deze denkrichting. We leggen uit hoe onderwijs en onderzoek naar nieuwe technologieën bijdragen aan deze filosofie omtrent stroomlijning van binnenstedelijke bouwprocessen. We beschrijven een recentelijk afgerond onderzoek naar hoe 4D-bouwprocesvisualisaties de coördinatie van nutsprojecten ondersteunen. We bespreken tevens hoe ontwikkelingen aan bijvoorbeeld graaf- en inspectietechnieken, grondradar en 3D-geoinformatie binnenstedelijke projecten kunnen verbeteren en versnellen.

Steekwoorden: binnenstedelijk bouwen; nieuwe technologie; inner-city surgery; ondergrond.

1. Het smart cities-fenomeen en haar impact op binnenstedelijk bouwen

In de afgelopen jaren heeft de term ‘smart city’ een vogelvlucht genomen. Internationaal gezien is het onderwerp actueel. Zo introduceert India de lijst van “100 Smart cities” (Ministry of Urban Development, 2016), werken de Verenigde Arabische Emiraten aan de duurzame stad Masdar en ontwikkelt Portugal de slimme stad PlanIT Valley (Hatch, 2012). Ook in Nederland richten overheid, bedrijfsleven en kennisinstellingen zich op het ontwerpen en realiseren van de slimme stad. Voorbeelden van recente initiatieven zijn: de nationale beleidsverkenning Smart Urban Delta (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014), Philips’ Intelligent City, en de initiatieven in Amsterdam (Amsterdam Smart City, 2016), Utrecht (Smart City Utrecht, 2016) en Enschede (Jelyta, 2015). Tabel 1 geeft een overzicht van deze initiatieven en hun focus.

Tabel 1 – selectie van recente smart city-initiatieven wereldwijd en in Nederland

Initiatief	Locatie	Realisatiewijze	Sleutelwoorden
100 Smart Cities	India	Greenfield en retrofitting	Duurzaam, economie, mobiliteit, veiligheid, inclusiviteit/bereikbaarheid, gezondheid
Masdar	Ver. Arab. Emiraten	Greenfield	Duurzame en schone stad
PlanIT Valley	Portugal	Greenfield	Internet of Things
Smart Urban Delta	Nederland		Duurzaamheid, energie, mobiliteit
Amsterdam Smart City	Amsterdam	Retrofitting	Mobiliteit, economie, big data, energie, participatie
Smart City Grid 030	Nederland	Retrofitting	Energie, big data
Enschede	Nederland	Retrofitting	Internet of Things, duurzaamheid,
Intelligent City Philips	Wereldwijd	Retrofitting	Duurzaamheid, leefbaarheid, veiligheid

Tabel 1 laat zien dat de verscheidene initiatieven verschillende doelen en realisatiewijzen hebben. Omdat overheden, bedrijven en kennisinstellingen smart cities op verschillende manieren interpreteren, is het moeilijk om een eenduidige definitie te vinden van het begrip (Kitchin, 2014). Als gevolg hiervan is het lastig vast te stellen hoe een stad ‘smart city wordt’, wanneer een stad het predicaat ‘smart’ verdient, en wanneer niet. Ondanks de verschillende interpretaties is er wel overlap tussen verschillende initiatieven. Zo veronderstellen de meeste steden bijvoorbeeld als uitgangspunt en motivatie voor hun plannen dat verstedelijking toeneemt, bevolking doorgroeit en technologische vooruitgang tot meer data en nieuwe oplossingen leidt (IEEE, 2016). In het kader van deze maatschappelijke en technologische ontwikkelingen worden ‘slimme oplossingen’ ontwikkeld die bijdragen aan duurzaamheid, leefbaarheid, mobiliteit, economie, participatie en veiligheid.

Ondanks de verschillen is een onvermijdelijk gevolg van bijna alle smart city-initiatieven dat er nieuwe soorten infrastructuur zal worden aangelegd om tot een slimmere stad te komen. Voor klassieke smart cities – zoals Masdar en PlanIT Valley – is dit een weinig problematisch punt. Deze tekentafelontwerpen worden namelijk gerealiseerd op maagdelijk terrein (greenfields). Hoewel dergelijke ontwerpen inspiratie bieden voor bestaande steden die slimmer willen worden, zijn ze voor de meeste steden weinig realistisch. Hieronder leggen we uit waarom.

Hoeho Smart city? Uitdagingen voor aanleg en onderhoud.

De meeste smart city-oplossingen worden geïmplementeerd in een *bestaande* stad waarin al operationele infrastructuur ligt. Dit houdt voor Nederland bijvoorbeeld in dat ‘smart city infrastructuur’ zal worden aangelegd tussen de ca. twee miljoen kilometers (Gemeentelijk Platform Kabels en Leidingen, n/a) bestaande kabels en leidingen. In de praktijk zullen oplossingen zoals smart grids, gescheiden rioleringen, afvalverwerkingssystemen, sensornetwerken, breedbandverbindingen, oplaadpalen voor auto’s en warmte-koudeopslagsystemen dus een plaats vinden in de bestaande boven- en ondergrond. Omdat in veel Nederlandse steden de ondergrondse infrastructuur op min of meer organische wijze is dichtgegroeid (d.w.z. zonder vooraf opgezet plan is geordend), vormen de meeste hedendaagse binnenstedelijke reconstructieprojecten al een ruimtelijke puzzel.

Naast deze fysieke aspecten wordt ook de organisatie van binnenstedelijke infraprojecten ingewikkelder. Dit komt onder andere, doordat het liberalisering- en privatiseringsbeleid van de afgelopen decennia de verantwoordelijkheid voor aanleg, beheer en onderhoud heeft versnipperd (Steenhuisen, Dicke, & de Bruijn, 2009). Gemeenten zijn veelal nog wel eigenaar van rioleringsnetten, maar het eigendom van gas-, water-, energie- en telecomnetten ligt in handen van private netbeheerders. Deze beheren ieder hun eigen netgegevens en besteden bovendien de reconstructiewerk uit aan diverse aannemers. Gemeenten houden bij uit- en aanbesteding aan wetgeving en selecteren daarom bij ieder project opnieuw een aannemer. Netbeheerders zijn hiertoe niet verplicht en kunnen op basis van raamwerkcontracten een aannemer voor langere periodes inhuren.

Binnen deze fysieke en organisatorische context gelden er voor binnenstedelijke infraprojecten ook een aantal strikte randvoorwaarden. Zo introduceren gemeenten vaak deadlines en bereikbaarheidseisen om overlast te beperken. Het gevolg daarvan is dat de beschikbare tijd en ruimte voor reconstructiewerk kleiner wordt. Het wordt daarmee voor aannemers een grotere uitdaging om efficiënt te werken en om graafschade, onveilige situaties en ongeplande netonderbrekingen te voorkomen.

De versnippering van het eigendom en beheer over nutsvoorzieningen zorgt er vandaag de dag dus voor dat binnenstedelijke nutswerkzaamheden worden uitgevoerd door meerdere opdrachtgevers en opdrachtnemers. Deze constellatie wordt ook een ‘multi-opdrachtgever, multi-aannemer netwerk’ genoemd. Hierin is het plannen en bijsturen ingewikkelder dan in een hiërarchisch georganiseerde bouwproject met maar één opdrachtgever en hoofdaannemer (L. L. olde Scholtenhuis, Meijberg, & Boes, 2014). Uitloop, overlast en graafschade komen, deels ten gevolge hiervan, dus ook nog veelvuldig voor. De komst van smart cities doet de druk op informatiemanagement en coördinatie verder toenemen. Het is daarom aannemelijk om te veronderstellen dat de kans op uitloop en schade in de toekomst groeit. *Hoe pakken we dit aan?*

Het vervolg van dit artikel beschrijft een ontwikkelende onderzoeksrichting die zich richt op deze ‘Smart city uitdagingen’. We leggen uit dat de organisatorische en ruimtelijke druk op binnenstedelijk bouwen vragen om een minimaal-invasieve benadering en introduceren de knieoperatie als metafoor.

2. Minimaal-invasieve bouwprocessen

Bij binnenstedelijke bouwprojecten wordt de werk- en aanlegruimte beperkt: nieuwe infrastructuur moet ingepast worden in een schaarse ondergrond, netonderbrekingen dienen dus zo kort mogelijk te zijn, onbedoelde onderbrekingen (graafschade) zullen moeten worden voorkomen en de omgeving mag bovendien weinig hinder mag ondervinden van werkzaamheden. Deze ruimtelijke eisen aan binnenstedelijke werkzaamheden zijn op conceptueel niveau vergelijkbaar met een minimaal-invasieve operatie (bijvoorbeeld een knie- of liesoperatie). Minimaal-invasieve chirurgie houdt in dat er bij een operatie zo min mogelijk incisies worden gemaakt in bestaand weefsel. Alleen noodzakelijke sneden worden gemaakt zodat met precieze technologie een operatie kan worden uitgevoerd op de plek waar dit nodig is. Dit heeft minder littekens, minder pijn, sneller herstel en lagere 'ziektelkosten' tot gevolg (American Institute of Minimally Invasive Surgery, n/a).

Tabel 2 vergelijkt de twee soorten ingrepen en laat zien dat binnenstedelijke werkzaamheden en minimaal-invasieve operaties beide: (1) beperkt worden door bestaande objecten, (2) deze omliggende objecten zoveel mogelijk intact dienen te houden, en (3) de pijn ten gevolge van de ingreep dienen te minimaliseren. Een significant verschil tussen de medische en infrastructurele ingreep is echter dat voor het menselijk lichaam de posities van omliggende objecten (weefsel) min of meer bekend zijn, terwijl de binnenstedelijke ondergrondse infrastructuur niet altijd volledig en nauwkeurig is gedocumenteerd.

Tabel 2 - conceptueel vergelijk binnenstedelijk reconstructie en minimaal-invasieve chirurgie

Eisen binnenstedelijk reconstructieproject	Analogie met minimaal-invasieve chirurgie
Operationele werkzaamheden beperkt door omliggende fysieke objecten	Bestaand weefsel en organen beperken 'werkruimte' chirurg
Fysieke netwerken dienen zoveel mogelijk operationeel te blijven tijdens werkzaamheden	Beschadiging aan bestaand weefsel beperkt functioneren direct en vergroot mogelijk ook hoeveelheid pijn
Werkzaamheden zijn begrensd door deadlines	Door zo min mogelijk weefsel te beschadigen kan de ingreep in kortere tijd worden uitgevoerd

Om meer volgens de knieoperatiemetafoor te werken, zouden voor binnenstedelijke rioleringsprojecten enkele verbeteringen gewenst zijn:

- De informatie over ligging van bestaande infrastructuur dient completer en nauwkeuriger in kaart te worden gebracht om ontwerp te ondersteunen en om graafschade aan niet-gedocumenteerde leidingen te voorkomen.
- De functionele status van bestaande infrastructuur dient nauwkeuriger in kaart te worden gebracht, zodat helder wordt welke infrastructuur risico loopt beschadigd te worden door de krachten die ontstaan tijdens aanleg- en graafwerkzaamheden.
- Het ontwikkelen van slimmere aanlegtechnieken en methoden waarmee ontgravingen weinig schade veroorzaken aan omliggende infrastructuur.
- As-built gegevens van aangelegde netwerken dienen zo rijk mogelijk (x, y, z-coördinaat) te worden opgeslagen en beschikbaar zijn voor netbeheerders.
- Beheer en onderhoud van verschillende bestaande infrastructuurnetten zodanig op elkaar afstemmen dat wegen meerdere malen in korte tijd worden opgebroken.

We bespreken in het volgende hoofdstuk wat de trends en onderzoeksactiviteiten zijn die erop gericht zijn om de bovenstaande verbeteringen door te voeren. We leggen vervolgens uit hoe hier binnen lopend onderzoek en onderwijs invulling aan wordt gegeven.

3. Start van een onderzoeksrichting ‘non-invasive inner city engineering’

Een aantal ontwikkelingen vormen onderzoek en onderwijs in de richting van smart cities en ‘city surgery.’ In onderstaande paragrafen bespreken we deze ontwikkelingen. Als eerst zoomen we in op een recentelijk afgerond onderzoek (2012-2015) naar de stroomlijning van nutswerken met 4D bouwprocesvisualisaties. In paragraaf 3.2 wordt een beschrijving gegeven van de aandachtspunten en doelstellingen die voor de komende jaren op de onderzoekagenda staan.

3.1 Resultaten van studie naar impact 4D bouwprocesvisualisaties op nutscoördinatie

Het ontwerp, de werkvoorbereiding en uitvoering van nutsprojecten worden gedaan door verschillende partijen. Netbeheerders maken zelf netwerkberekeningen en -ontwerpen, waarna ze, al dan niet gezamenlijk met netbeheerders, aanlegwerkzaamheden uitbesteden aan nutsaannemers. Bij wegreconstructies ontwerpt een gemeente vaak zelf de infrastructuur op maaiveld en besteedt dit vervolgens uit aan een civiele aannemer. Hoewel voorbereidende en uitvoerende werkzaamheden vaak individueel worden uitgevoerd door iedere organisatie, hebben de ontwerpen en plannings raakvlakken. Netbeheerders en aannemers stemmen hun deelontwerpen- en plannings dus met elkaar af om te voorkomen dat ontwerp- of uitvoeringsconflicten ontstaan.

Veel afstemming vindt plaats tijdens vergaderingen waarbij stakeholder mondeling en via papieren documenten ontwerpen, schetsen, deadlines en plannings met elkaar uitwisselen. Wanneer een projectteam bestaat uit meerdere netbeheerders en aannemers en wanneer tevens weinig voorbereidingstijd is, wordt de papieren en handmatige afstemming foutgevoeliger en complexer. Om te onderzoeken hoe dit handmatige proces kon worden ondersteund met ICT, zijn door ons pilots uitgevoerd met 4D. 4D is een technologie die 3D ontwerptekeningen koppelt aan een vierde dimensie: tijd. Door 3D modellen te koppelen aan een planning (tijd) ontstaat een visualisatie van een gepland bouwproces. Hoewel 4D is onderzocht en toegepast bij onder andere de bouw van stations (Hartmann & Fischer, 2007), kantoorgebouwen (Koo & Fischer, 2000), hoogbouw (Russell, Staub-French, Tran, & Wong, 2009) en treinstations (Trebbe, Hartmann, & Dorée, 2015), werd de techniek nog niet bestudeerd bij binnenstedelijke nutsprojecten.

Voor het 4D-nutsonderzoek werden daarom in gemeenten Hof van Twente, Enschede en Hengelo totaal vijf projecten ondersteund met deze tool. Figuur 1 toont een foto van hoe 4D gebruikt werd tijdens het project Toekomststraat Enschede (links) en een schermafbeelding van de 4D visualisatie voor het project Koningsplein Enschede (rechts). Wij verzamelden hier 350 foto's, 20 verslagen, 21 2D CAD-tekeningen en negen planningsdocumenten. Tijdens de pilots hadden we een leidende rol in de ontwikkeling van circa 70 4D CAD bestanden die werden ingezet tijdens 18 vergaderingen. Op basis van de verzamelde data ontwikkelden we een methode voor inzet van 4D bij nutsprojecten (L. olde Scholtenhuis, Hartmann, & Dorée, 2016a) en evalueerden we het effect van 4D op coördinatie (L. olde Scholtenhuis, Hartmann, & Dorée, 2016b). Observaties tijdens vergaderingen en planningsbijeenkomsten leidden bijvoorbeeld tot de bevinding dat 4D modellen helpen om betrouwbaarheid van coördinatieprocessen te vergroten.



Figuur 1 - 4D model gebruikt tijdens vergadering project Toekomststraat (links) en schermafbeelding van 4D model Koningsplein

Naar aanleiding van ons onderzoek concludeerden we dat 4D-gebruikers:

1. *Zich in detail richten op geplande operationele processen*, doordat 3D modellen van bestaande situaties kunnen worden geïntegreerd met alle (deel)ontwerpen en plannings (4D). Het resulterende model maakt het voor alle stakeholders mogelijk om de interactie tussen geplande werkprocessen inzichtelijk te maken;
2. *Zich richten op procesverstoringen en fouten*, omdat de gecombineerde 3D modellen en plannings het mogelijk maken om visueel en vroegtijdig knelpunten tussen objecten (bijv. tussen gasleidingen, bomen, elektrakabels) te identificeren en om volgorde van verschillende werkzaamheden (bijv. de aanleg van gasnetten, het rooien van kabels en asfalteren van wegdek) te optimaliseren.
3. *Minder geneigd zijn om een vereenvoudigde interpretatie van de realiteit te accepteren*, omdat ze op eenvoudige wijze 3D-gemodelleerde situaties kunnen integreren en middels gedetailleerde visualisaties gemakkelijk een complexe werkplanning kunnen begrijpen.
4. *Kunnen veerkrachtige bouwplannen ontwikkelen*: gebruikers van 4D kunnen eenvoudig analyseren wat het effect van een vertraging is op de doorlooptijd en volgorde van werkzaamheden. Hierdoor kunnen ze meer plannings ontwikkelen, deze beter afwegen en het effect van een procesverstoring eenvoudiger modelleren en beoordelen.

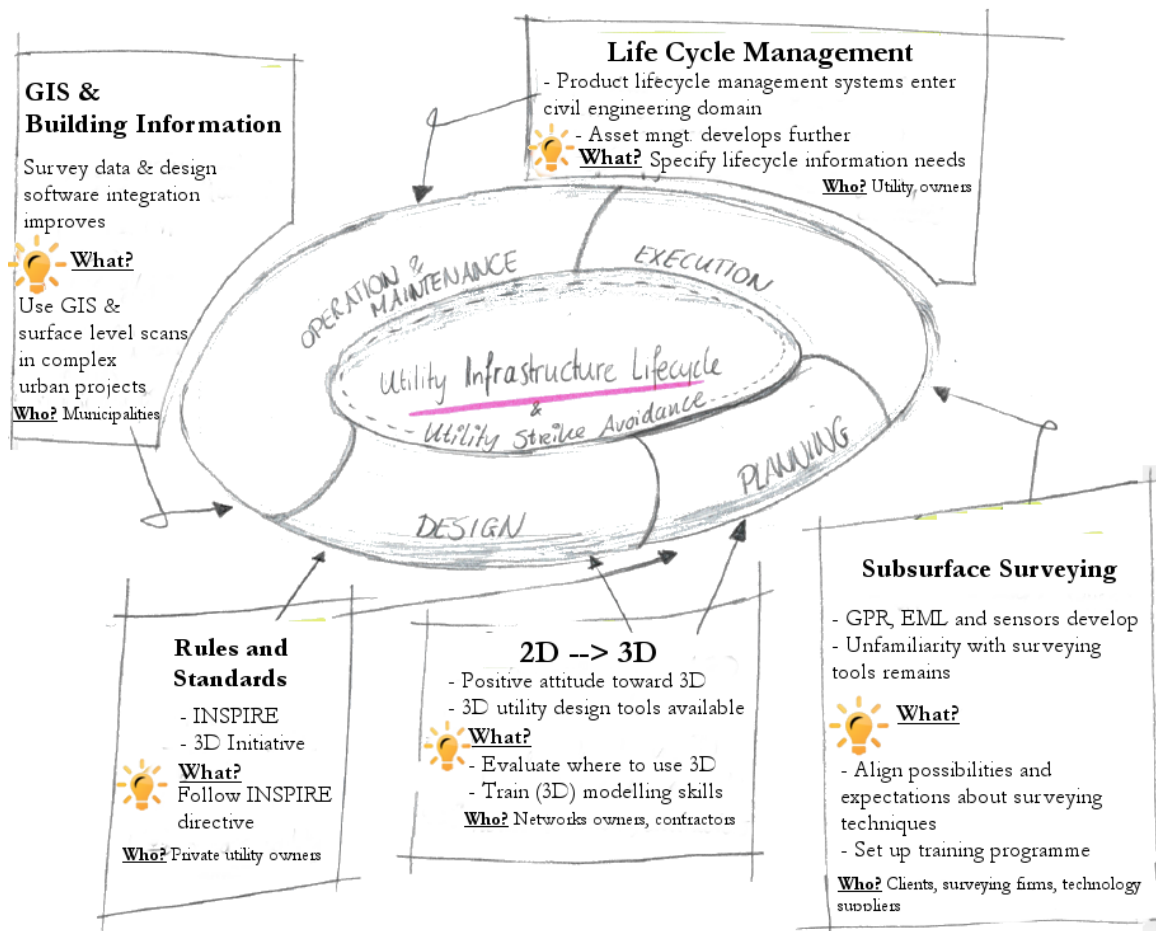
De genoemde observaties zijn in lijn met de principes voor hoogbetrouwbaar organiseren (Weick, Sutcliffe, & Obstfeld, 2008). Dit duidt erop dat 4D modellen de stakeholders van nutsprojecten helpen om beter op fouten te anticiperen en de effecten van onverwachte procesverstoringen betere in te dammen. Gezien deze bevinding ligt er een taak en kans voor de praktijk om dergelijke technologieën te adopteren en gebruiken. Hiervoor zal eerst het 3D-ontwerpen en het expliciet plannen eigen moeten worden gemaakt door netbeheerders, gemeenten en aannemers. Er zijn twee 4D-trainingssessies met gemeentes georganiseerd en binnen het onderwijscurriculum wordt ook steeds meer aandacht geschonken virtueel bouwen.

3.2 Een vooruitblik naar overige technologieën

Hoewel 4D een aanzienlijke procesbijdrage levert bij aanleg en reconstructie van nutsvoorzieningen, zijn meerdere trends en ontwikkelingen gaande die helpen om reconstructiewerkzaamheden volgens de knieoperatiemetafoor te laten plaatsvinden. Op basis van het proefschrift van de eerste auteur (L. Olde Scholtenhuis, 2015) worden deze trends

hieronder geordend naar hun bijdrage aan de levenscyclusfase van een nutsnetwerk (zie figuur 2 voor een overzicht). Het onderstaande vormt geen uitputtende lijst van beschikbare technieken, maar heeft het als doel om een overzicht te geven van gerelateerde thema's binnen het ontwikkelende onderzoek-, en onderwijsdomein.

Ten aanzien van *ontwerp (design)* zal de EU-richtlijn INSPIRE ervoor zorgen dat publieke partijen hun gegevens over nutsinfrastructuur voortdurend (24/7) beschikbaar moeten hebben. Hoewel liggingsgegevens momenteel nog decentraal (bij netbeheerders zelf) worden opgeslagen, kan het dus zijn dat er in de komende tijd een centrale database gebouwd wordt waarin alle gegevens van publieke netten worden opgeslagen. Een eenvoudige en continue toegang tot liggingsgegevens ondersteunt ontwerpprocessen. Hoewel INSPIRE verplicht is voor publieke netten, zouden private netbeheerders ook kunnen besluiten om mee te gaan met dit initiatief. Onderzoek zal het verloop van dit proces over dataopslag blijven analyseren en om te kijken hoe de nieuwe databronnen en –beschikbaarheid leidt tot verbetering van ontwerpproces.



Figuur 2 - Ontwikkelingen die een bijdrage geven langs de levenscyclus van nutsvoorzieningen

Voor *ontwerp, werkvoorbereiding en uitvoering (design, planning, execution)* is het bovendien relevant om rijkere informatie ter beschikking te hebben. Vandaag de dag zijn de meeste beschikbare liggingsgegevens van netten nog steeds gevisualiseerd in 2D CAD polylijnen. Een dieptedimensie (z-coördinaat) is veelal niet bekend. Mede door de komst van het 3D Doorbraak initiatief (o.l.v. TU Delft, Prof. Stoter) lijkt er een kentering te komen in gebruik van geoinformatie. Het wordt hierdoor waarschijnlijker dat ook diepte-informatie zal worden gaan opgeslagen. Zoals in het Verenigd Koninkrijk (Rogers et al., 2012) wordt er

verder steeds vaker gebruik gemaakt van de grondradar (GPR) om de ligging kabels en leidingen te bepalen. Een radar is echter niet toepasbaar bij alle soorten ondergrond, werkt bovendien niet bij alle weersomstandigheden en heeft een beperkt bereik. Dit leidt bij toepassing soms tot onduidelijkheid. Er staan daarom een aantal activiteiten op de agenda:

1. opleidingstrajecten ontwikkelen voor gebruik van de grondradar, gebruik makende van standaards uit het Verenigd Koninkrijk (bijv. PAS 128)
2. onderzoeken hoe aanbieders en afnemers van GPR-diensten beter kunnen worden geïnformeerd over de mogelijkheden en beperkingen van GPR;
3. onderzoeken hoe 3D informatie over kabels en leidingen op een goede manier kan worden gerepresenteerd. Hierbij wordt bijvoorbeeld gekeken naar hoe informatie met verschillende nauwkeurigheidsniveaus kunnen worden gevisualiseerd;
4. bestuderen hoe de werkpraktijk van 3D-ontwerpen zich binnen gemeenten en netbeheerders ontwikkeld.

Ten aanzien van beheer en onderhoud (*operation and maintenance*) observeren we verder dat ontwikkeling plaatsvindt aan technieken die met minimaal grondbeslag kunnen ingrijpen in bebouwde ondergrondse omgeving. Lokale reparatie en onderhoud, zijn bijvoorbeeld mogelijk door middel van in-pipe inspectiesystemen, slimme gestuurde boringen, grondborstels en vacuüm-gronduigers. Deze worden doorontwikkeld en steeds meer toegepast buiten experimentele omgevingen. Daarnaast zijn netbeheerders doende hun assetmanagement verder te professionaliseren. Het is daarom noodzakelijk dat wordt geïnventariseerd welke object-informatie gedurende een productlevenscyclus benodigd is om assetmanagement goed uit te voeren. Ook dient te worden onderzocht hoe deze attributen opgenomen worden opgenomen in productlevenscyclusmanagement IT-systemen.

Een andere trend is de samenkomst van geografische data en bouw-informatiemodellen. Het wordt bijvoorbeeld steeds gemakkelijker om middels laserscans en fotogrammetrie een beeld te maken van de (bovengrondse) project omgeving. Met deze data zouden ontwerpers en projectleiders mogelijk in staat zijn om de interactie tussen bestaande en ontworpen situaties betere in kaart te brengen en om grondradarbeelden beter te positioneren. Voor de civiele sector is het daarom relevant om deze trend te volgen en om na te gaan welke invloed de nieuwe mapping-technologieën hebben op ontwerp en uitvoering van nutsprojecten. Een vraag die hierbij centraal staat is bijvoorbeeld welke levenscyclusdata van nutsobjecten opgeslagen en gerepresenteerd dient te worden om zowel ontwerp, beheer en onderhoud te ondersteunen.

De voordelen van centraal beschikbare data over nutsvoorzieningen, 3D geodata, 3D inmeten en ontwerpen, productlevenscyclusmanagement en de integratie van BIM en GIS werpen zich langzaam af. Graafschade vermindert zich geleidelijk. Op de Universiteit Twente-campus zullen nieuwe technologieën bijvoorbeeld worden ingezet voor onderwijs, onderzoek en training. In de vorm van een 'levend lab' worden hier praktijk, studenten en onderzoekers aan elkaar verbonden om uiteindelijk binnenstedelijke (nuts)reconstructies te kunnen verbeteren en uitvoeren als zijnde minimaal-invasieve chirurgie. Deze activiteiten zijn reeds gestart in samenwerking met het facilitair bedrijf. Met hen is de ambitie gesteld om de ondergrond van de campus in 3D in kaart te brengen. Tevens hebben in het eerste semester van collegejaar 2015/16 een dertigtal derdejaars UT-studenten deelgenomen aan het vak 'Smart Ways to get Smart cities Smarter'. In dit vak werden ontwerpprojecten uitgevoerd binnen het thema "slimmer, sneller en veiliger realiseren van nutsprojecten". Studenten ontworpen bijvoorbeeld informatievoorzieningen om graafschade te voorkomen, een methode om 2D kaartinformatie om te zetten in 3D en maakten een conceptueel ontwerp van een slimme raketboring.

4. Conclusie & discussie

Dit artikel introduceert het fenomeen smart cities als een ruim begrip dat voor veel interpretaties vatbaar is. Veel smart cities worden ontworpen met de veronderstelling dat een 'slimme stad' en haar infrastructuur compleet vanuit een greenfield wordt opgebouwd. Steden die voornemen om smart city te worden, zullen echter niet vanuit het niets worden opgebouwd. Op basis van deze uitdaging introduceert dit artikel de metafoor van de minimaal-invasieve operatie.

Dit artikel stelt dat zowel deze operatie als binnenstedelijke bouwprojecten: (1) omringd worden door bestaande objecten, dat (2) deze omliggende objecten zoveel mogelijk intact gehouden moeten worden, en dat (3) de pijn ten gevolge van de ingreep minimaal zou moeten zijn. Idealiter zou men een binnenstadsproject daarom kunnen uitvoeren langs te principes van minimaal-invasieve chirurgie. Dit houdt in dat ingrepen zo lokaal mogelijk worden gedaan zodat littekens en pijn minimaal zijn en dat omliggende processen weinig worden gehinderd. Lopende onderzoek- en onderwijsprogramma's hebben de ambitie om dit de bewerkstelligen door:

- Rijkere en nauwkeurige kaartinformatie van bestaande infrastructuur te verkrijgen;
- De functionele status van bestaande infrastructuur in kaart te brengen;
- Slimmere aanlegtechnieken en methoden door te ontwikkelen;
- De ondergrond 3D in kaart te brengen;
- Werkzaamheden van netbeheerders op elkaar te laten afstemmen.

De projecten die in de komende jaren op de agenda staan zullen de professionalisering van binnenstedelijke reconstructieprojecten trachten te vergroten door onder andere het onderzoeken van informatie-uitwisseling tussen netbeheerders, 3D in kaart brengen van geo-informatie over de ondergrond, ontwikkelen van een leertraject voor gebruik van de grondradar voor kabels- en leidingdetectie en het identificeren van infrastructuur-informatie die nodig is voor ontwerp-, beheer en onderhoudstaken in de levenscyclus van binnenstedelijke infrastructuur. Al met al groeit de onderzoek- en onderwijsagenda voor binnenstedelijk ondergronds bouwen. We nodigen u uit om hierover met ons in gesprek te gaan en om deelgenoot te worden van de initiatieven.

5. Referenties

- American Institute of Minimally Invasive Surgery. (n/a). What is MIS. Retrieved from <http://www.aimis.org/what-is-minimally-invasive-surgery/>
- Amsterdam Smart City. (2016). Amsterdam Smart City. Retrieved from <http://amsterdamsmartcity.com/>
- Gemeentelijk Platform Kabels en Leidingen. (n/a). Kengetallen. Retrieved from <http://www.gpkl.nl/page/144/kengetallen.html>
- Hartmann, T., & Fischer, M. (2007). Supporting the constructability review with 3D/4D models. *Building Research & Information*, 35(1), 70-80.
- Hatch, D. (2012). Smart Cities Are futuristic metropolises good investments? *CQ Researcher*, 22, 645-668.
- IEEE. (2016). IEEE Smart Cities. *About*. Retrieved from <http://smartcities.ieee.org/about.html>

- Jelyta, F. (2015). Enschede zet in op smart city-technologie. *DuurzaamBedrijfsleven*. Retrieved from <http://www.duurzaambedrijfsleven.nl/infra/10509/enschede-zet-in-op-smart-city-technologie>
- Kitchin, R. (2014). Making sense of smart cities: addressing present shortcomings. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, rsu027.
- Koo, B., & Fischer, M. (2000). Feasibility study of 4D CAD in commercial construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(4), 251-260.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2014). *Smart Cities naar een 'smart urban delta'*. Retrieved from
- Ministry of Urban Development, G. o. I. (2016). Smart Cities Mission. Retrieved from <http://smartcities.gov.in/>
- Olde Scholtenhuis, L. (2015). *Enhancing mindful coordination in fragmented utility construction practices: by developing, implementing and evaluating virtual design and construction models*: Universiteit Twente.
- olde Scholtenhuis, L., Hartmann, T., & Dorée, A. (2016a). 4D CAD Based Method for Supporting Coordination of Urban Subsurface Utility Projects. *Automation in Construction*, 62, 66-77.
- olde Scholtenhuis, L., Hartmann, T., & Dorée, A. (2016b). Testing the Value of 4D Visualizations for Enhancing Mindfulness in Utility Reconstruction Works. *Journal of Construction Engineering and Management*, 04016015.
- olde Scholtenhuis, L. L., Meijberg, E., & Boes, J. (2014). *EMVI en snellere binnenstedelijke rioleringsprojecten: wat te doen met nutscoördinatie?* Paper presented at the CROW Infradagen 2014, Ermelo, the Netherlands.
- Rogers, C. D. F., Hao, T., Costello, S. B., Burrow, M. P. N., Metje, N., Chapman, D. N., . . . Saul, A. J. (2012). Condition assessment of the buried utility service infrastructure - A proposal for integration. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 28(0), 202-211.
- Russell, A., Staub-French, S., Tran, N., & Wong, W. (2009). Visualizing high-rise building construction strategies using linear scheduling and 4D CAD. *Automation in Construction*, 18(2), 219-236.
- Smart City Utrecht. (2016). Smart City Grid 030. Retrieved from <http://www.smartcityutrecht.nl/about/>
- Steenhuisen, B., Dicke, W., & de Bruijn, H. (2009). “Soft” Public Values in Jeopardy: Reflecting on the Institutionally Fragmented Situation in Utility Sectors. *International Journal of Public Administration*, 32(6), 491-507. doi:10.1080/01900690902861753
- Trebbe, M., Hartmann, T., & Dorée, A. (2015). 4D CAD models to support the coordination of construction activities between contractors. *Automation in Construction*, 49, 83-91.
- Weick, K. E., Sutcliffe, K. M., & Obstfeld, D. (2008). Organizing for high reliability: Processes of collective mindfulness. In A. Boin (Ed.), *Crisis Management* (Vol. 3, pp. 31-66). Los Angeles: Sage. (Reprinted from: Reprinted from Research in Organisational Behavior, pp. 81–123, by Sutton, K.M. and Staw, B.M., 1999, JAI Press, Greenwich CT).