

# Digitalisering in de Wijkgerichte Aanpak Energietransitie

Léon olde Scholtenhuis  
Karina Vink  
André Dorée  
Universiteit Twente

Christian Struck  
Hogeschool Saxion

Hans Poppe  
ROC van Twente

Remko Cremers  
Gemeente Hengelo

## Samenvatting

De ontkoppeling van gasnetten en nieuwbouwwoningen en de ambitie om acht miljoen gebouwen in 2050 geheel aardgasvrij te laten zijn, leiden tot een grote opgave voor ondergronds Nederland. Om deze Energietransitie te kunnen doorlopen, stellen het Rijk en gemeenten een integrale gebiedsgerichte aanpak, de wijkgerichte aanpak, voor. Op wijk- en buurtniveau zal de fysieke omgeving op de schop gaan en werken burgers en lokale overheden samen om de toekomstige energiebron(nen) en bijbehorende infrastructuur te bepalen. Als onderdeel hiervan zullen zij hierbij ook de financiële, technische en ruimtelijke impact van de transitie moeten meenemen. Dit artikel benoemt de uitdagingen en koppelkansen hiervan en licht toe hoe digitalisering van de infrastructuur en energievoorzieningen in wijken een cruciale bijdrage kan leveren aan het ontwerp en de planning van deze overgang naar nieuwe warmtealternatieven. We benoemen onze proeftuin-aanpak die ontwikkelingen in onderwijs binnen WO, HBO en MBO combineert en koppelt aan een wijktransitie in De Nijverheid te Hengelo. We lichten toe wat het belang is van een integrale digitalisering-aanpak waarbij onderwijs, onderzoek, ontwikkeling en ondernemers stapsgewijs ontwikkelen, implementeren en leren teneinde de Energietransitie-ambities mogelijk te maken.

## Steekwoorden

Wijkaanpak, digitalisering, kabels en leidingen, detectietechnologie, energietransitie

## **1. Energietransitie: een civieltechnische opgave**

Nederland staat aan het beginpunt van een ruimtelijke infrastructuurpuzzel die steeds ingewikkelder wordt. In deze paragraaf lichten we de complexiteit van huidige nutsprojecten toe, plaatsen we dit in de context van de energietransitie en leggen we uit welke digitaliseringsconcepten helpen om de transitie gestroomlijnd uit te kunnen voeren. De rest van dit artikel behandelt vervolgens hoe de concepten worden verkend in een Living Lab Digitalisering van de proeftuinwijk De Nijverheid Hengelo. We bespreken tot slot de onderzoeksvragen en bijdrage van het beoogde project aan de energietransitie en klimaatdoelstellingen.

### **1.1. Vervanging- en vernieuwingsopgave**

In de meeste delen van Europa en alle Nederlandse steden worden kabels, leidingen en buizen geplaatst in de ondiepe ondergrond. In Nederland liggen naar schatting circa 1,9 miljoen kilometers van deze nutsinfrastructuur, die een waarde vertegenwoordigt van 100-300 miljard euro (GPKL, N/A). Deze netwerken zijn allen op verscheidene momenten tot stand gekomen. Zo is bijvoorbeeld 91% van de 94.700 km vrij verval-riolering in de periode 1963-2013 aangelegd (Oosterom and Hermans, 2013) terwijl de ca 400.000 km aan CAI (centrale antenne inrichtingen)- en kopernetwerken, naar onze schatting, in de periode 1980-1990 in onze bodem terecht kwamen.

Het beheer van de verscheidene gas-, water-, telecom-, stadsverwarming-, riolering-, en openbare verlichtings-netten ligt bij zowel private als publieke partijen. Gemeenten zijn netbeheerder van de riolering en eigenaar van het wegennetwerk in de stad, terwijl water-, gas- en elektranetwerken in eigendom zijn van semi-private netbeheerders die een veelal als enige in een regio opereren. Door de liberalisering in 1998 zijn bovendien een groot aantal telecomaandbieders tot de markt getreden. Deze verschillende netwerkeigenaren voeren gelijktijdig werkzaamheden uit aan hun nutsinfrastructuur. Ze houden bovendien individueel bij wat de conditie en locatie van hun infrastructures zijn.

Nederland heeft een uitzonderlijke internationale aanpak van registratie en uitwisseling van nuts-data. Sinds 2008 is het namelijk via de wet informatie-uitwisseling ondergrondse netten (voorheen WION, nu WIBON) voor de graafketen verplicht om via het Kadaster een graaf- en oriëntatiemelding te doen. Deze 'KLIC-melding' levert aan een grondroerder een schematische tekeningen van infrastructuur op een bouwplaats. Hierbij staan echter niet altijd nauwkeurige locatiegegevens, omdat veel kabels- en leidingen in een digitaliseringslag werden overgezet vanaf een papieren naar digitale tekening. De oude papieren tekeningen bevatten gegevens van infrastructuur die veelal zonder hedendaagse landmeetkundige technieken ingemeten was. Ons KLIC-systeem helpt dus weliswaar om bekende liggingsgegevens in kaart brengen, maar het bevat ook verschillende niveaus van nauwkeurigheid, compleetheid en juistheid.

Deze veelheid aan fysieke netwerken die ieder een ander aanlegmoment en levensduur hebben en bovendien worden beheerd door een gefragmenteerd netwerk van organisaties, maken de regio over de binnenstedelijke ondergrond complex (zoals ook zichtbaar in figuur 1). Onzekerheid over ondergrondse condities en kans op vertraging door onwerkbaar weer vergroten de uitdaging om nutswerkzaamheden gestroomlijnd te laten verlopen. Als gevolg

hiervan zijn nutsprojecten notoir en moeilijk te opereren vanuit principes voor ‘hoogbetrouwbaar organiseren’ (olde Scholtenhuis and Doree, 2012). Uitloop en kostenoverschrijding komt dus voor, net als de circa 30-35.000 jaarlijkse schades (Agentschap Telecom, 2018) die rond de 30 miljoen directe kosten opleveren (Mil et al., 2013).

Nutswerkzaamheden worden in de toekomst ingewikkelder. Naast de noodzaak tot het vervangen van de bestaande infrastructuur, worden namelijk ook nieuwe netten aangelegd. Ontwikkelingen in het domein van smart cities zullen er bijvoorbeeld toe leiden dat netwerken aangelegd moeten worden die nu nog niet bestaan. Voorbeelden hiervan zijn de 5D small cells en massive-in-massive-out antennes, laadpalen voor auto’s en fietsen, afvaltransportsystemen, milieu-eilanden, glasvezelkabels en slimme lantaarnpalen.



*Figuur 1 – complexiteit binnenstedelijk nutsproject in Enschede*

## ***1.2. Energietransitie***

In het Klimaatakkoord is afgesproken dat het Rijk, overheden, bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties streven naar een vermindering van 49% CO<sub>2</sub>-uitstoot ten opzichte van 1990 (Nationaal Programma Regionale Energie Strategie, 2019a). Voor de gebouwde omgeving betekent dit dat in de periode tot aan 2050 acht miljoen gebouwen voorzien moeten worden van duurzame warmte en schone elektriciteit (Vereniging Nederlandse Gemeenten, 2020). De plannen zijn hoofdzakelijk om huizen en kantoren te isoleren, maar ook om in totaal 1.5 miljoen woningen aardgasvrij te maken voor 2030. De verantwoordelijkheden voor de uitvoering van de transitie worden gedragen door sectoren (d.w.z. provincie, waterschappen, gemeenten, de netbeheerders, het bedrijfsleven, maatschappelijke organisaties en burgerinitiatieven) en verschillende schaalniveaus

(nationaal, stad, wijk). Er zijn hiervoor plannen gemaakt aan de zgn. sectortafels Gebouwde omgeving en Elektriciteit. Er zijn tevens dertig energie-regio's benoemd die ieder strategieën voor energieopwekking en -infrastructuur vertalen in concrete regio-transitieplannen (Nationaal Programma Regionale Energie Strategie, 2019d).

De energietransitie zal leiden tot opgaves voor zowel de bovengrondse als de ondergrondse gebouwde omgeving (Nationaal Programma Regionale Energie Strategie, 2019b): op bouwfysisch en installatietechnisch gebied zullen huizen en kantoren aangepakt worden en de ondergrondse infrastructuur zal op veel plaatsen worden aangepakt vanwege de ontkoppeling van het aardgas. De mate waarin de GWW(grond, weg, en waterbouw)- en nutssector hun grondroerwerkzaamheden goed kunnen uitvoeren is dus medebepalend voor het behalen van de doelen in het Klimaatakkoord.

Tijdens de aanleg van nieuwe energienetten ontstaat de kans om de ondiepe binnenstedelijke ondergrond opnieuw te ordenen. Het 'werk met werk maken' wordt in deze context ook als 'meekoppelkans' benoemd. Eén hiervan is klimaatadaptatie. Doordat wateroverlast, hitte, droogte en overstromingen in steden vaker gaan voorkomen, zijn infiltratiesystemen, bergingen, afvoer en meer stedelijk groen nodig. Deze oplossingen vragen om herziening van afwatersystemen, vermindering van verhardingen en ruimte voor water in de ondergrond. De tweede koppeling kan worden gelegd met nieuwe infrastructuur - zoals riolering, glasvezelkabels en voertuiglaadpalen – die worden aangelegd in de periode waarin ook nieuwe energiesystemen (zoals warmtenetten) in wijken worden geïntroduceerd. Deze systemen komen veelal naast de bestaande kabels en leidingen en zullen dus gelijktijdig met de ontkoppeling van aardgasnetten kunnen worden gerealiseerd. Ten derde kunnen energietransitie-plannen gekoppeld worden met nieuwe vormen van ondergronds ruimtegebruik voor opslag van CO<sub>2</sub>, stikstof, waterstof en perslucht alsook de aanleg van zwaardere elektriciteitsnetten voor zonne-energie en warmtepompen. Wanneer deze grote ingrepen gevolgtijdelijk zouden moeten worden uitgevoerd, zouden vanwege de grote omvang en complexiteit veel projecten uitlopen of zelfs onhaalbaar zijn.

De energietransitie en de parallelle processen hebben een ruimtelijke impact die daarom vraagt om: *“driedimensionale ordening waarbij ondergrond en bovengrond in samenhang worden gezien en de kansen en de belemmeringen bij het gebruik van de ondergrond in een vroeg stadium van planvorming worden meegenomen”* (Nationaal Programma Regionale Energie Strategie, 2019c). Data over de bestaande driedimensionale stedelijke omgeving is momenteel echter zeer beperkt. Er zijn weinig Nederlandse steden die zowel hun bovengrondse als ondergrondse publieke ruimte ontwerpen in 3D. Om dit in de toekomst toch te kunnen, lijkt het onontkoombaar dat gegevens over de onder- en bovengrond gezamenlijk in kaart worden gebracht. Het registreren en digitaliseren van de ondergrond is daarom een spijtvrije actie in de energietransitie. Ter voorkoming van vertragingen, graafrisico's en schades zouden mapping- en detectietechnieken kunnen helpen om infrastructuurkaarten te actualiseren en completeren. Digitale modellen van de bestaande situatie maken het vervolgens mogelijk om engineeringstaken virtueel uit te voeren, waardoor verschillende ontwerp- en uitvoeringsalternatieven voor een wijk kunnen worden geanalyseerd, vergeleken en geoptimaliseerd.

### **2.3. Digitaliseringsconcepten en de ondergrond**

Building Information Modelling en 3D visualisatietechnieken (BIM) registreren geometrische aspecten (o.a. dimensionering en vormen) van ontworpen bouwwerken. In deze modellen kunnen ook relaties met andere objecten worden gemodelleerd, evenals niet-geometrische

eigenschappen van bouwelementen zoals hun materiaalsamenstelling, eigenaar, objecttype, en functie. Onderzoek naar gebruik van 3D modellen en de koppeling hiervan met uitvoeringsplanningen in 4D toont dat 3D, 4D en BIM civieltechnische ontwerpprocessen ondersteunen kunnen. Met deze modellen kan men bijvoorbeeld 3D visualisaties maken, bouwconflicten detecteren, bouwprocesknelpunten identificeren, kosten inschatten en tenders voorbereiden (Hartmann et al., 2008).

Onderzoek laat zien hoe 3D modellen opgesteld kunnen worden voor de ondergrond (Du et al., 2006, Guerrero et al., 2013, Lee and Zlatanova, 2008) en hoe onzekerheden hierin worden gevisualiseerd (olde Scholtenhuis et al., 2018). In de nutssector wordt 3D minder gebruikt dan in overige plekken in de bouw. In de energietransitie zullen dergelijke modellen inzicht kunnen brengen in de ruimtelijke complexiteit en ter ondersteuning van bijvoorbeeld energiesimulaties. Onderzoek naar de bruikbaarheid en opschaling van 3D modellering in energietransitie-vraagstukken is daarom nodig.

BI-Modellen worden vaak vanaf het ontwerp stadium in nieuwe projecten gemaakt. Een groot deel van de bebouwde omgeving is echter gerealiseerd nog voordat deze technologie bestond. Van oudere objecten wordt daarom vaak een zogenaamde digitale tweeling gereconstrueerd die de as-built situatie vastlegt. Bij het maken van een digitale tweeling van een brug, wordt daarbij bijvoorbeeld remote sensingtechnologie zoals laser scanning gebruikt (Lu and Brilakis, 2019). Deze brengt door middel van puntenwolken een fysiek object in kaart. Deze kan na filtering en opschoning worden omgezet in een virtuele replica van het fysieke model. Op vergelijkbare wijze zou ook ondergrondse infrastructuur kunnen worden gedetecteerd en gedigitaliseerd door inzet van detectiemethoden. Voorbeelden hiervan zijn geofysische methoden zoals de grondradar, elektromagnetisme en metingen van akoestiek en weerstandsvermogen (Metje et al., 2007). Deze worden nog niet op grote schaal toegepast om in Nederland kabels en leidingen in te meten.

Recent onderzoek brengt de toepassing van digitale modellen verder van ontwerpstadia naar bouwprocesuitvoering, beheer en onderhoud (Niu et al., 2019). Concepten als Internet of Things en Cyber-Physical Systems spelen hierbij een rol. Internet of Things maakt het mogelijk om via tags, sensoren en aandrijving objecten te monitoren en te controleren. Cyber-Physical Systems gebruiken geïntegreerde sensoren en processorsystemen om een tweewegkoppeling te leggen waarmee een virtueel model een werkelijk object kan monitoren, en waarmee data van een werkelijk object feedback kan versturen ter actualisering van het virtuele model. Tabel 1 vat de verscheidene digitaliseringsconcepten/-technologieën samen.

*Tabel 1 – Digitaliseringsconcepten, -technieken en -modellen*

Concept	Gerelateerde bouwfase	Beschrijving	Toepassing
<b>3D / 4D</b>	ontwerp en uitvoering	geometrische modellen die vormen, dimensies en relaties tussen objecten beschrijven van een ontwerp	visualisatie, knelpuntanalyse, planning en kosteninschatting
<b>BIM</b>	ontwerp en uitvoering	bovenstaand + niet-geometrische informatie, gemodelleerd als objecten, eigenschappen en relaties	bovenstaand + geavanceerde object-simulaties
<b>Digital twin</b>	beheer en onderhoud	een geometrische modellen gemaakt op basis van een bestaand fysiek gebouw object	Post-hoc modelleren van objecten ten behoeve van beheer en onderhoud
<b>Cyber-Physical System en Internet of Things</b>	uitvoering, beheer en onderhoud	modellen die BIM via tweewegcommunicatie koppelen met een fysiek object	Feedback en controle van een virtueel en werkelijk systeem ten behoeve van aanleg, beheer en onderhoud

Deze feedback- en controleloops ondersteunen verbetering in de procesmonitoring, bouwprocescontrole, as-built documentatie en duurzame bouwmethoden (Akanmu et al., 2013, Sutrisna et al., 2015). Zo heeft een Cyber-Physical System bijvoorbeeld hijswerkzaamheden in metro- en tunnelprojecten ondersteund en zijn sensoren op buisleidingen (Jin and Eydgahi, 2008) voorbeelden waarin een virtueel model kan worden gekoppeld met een fysiek object (Zhou et al., 2019). De energietransitie geeft de mogelijkheden om toepassing van Cyber-Physical Systems te ontwikkelen waarmee meervoudig ruimtegebruik en 3D monitoring en beheer van de ondergrond kunnen worden ondersteund.

Om alle data over de nutsinfrastructuur vast te leggen in modellen zoals hierboven beschreven, kunnen data-schema's zoals CityGML Utility ADE, (Hijazi et al., 2017, Kutzner and Kolbe, 2016) CityGML Energy ADE (Nouvel et al., 2015), en IMKL (Geonovum, 2019) gebruikt worden. Dit zijn internationale en nationale open standaarden voor nuts-data die gemaakt zijn voor netwerkanalyse, energiesimulaties en graafschadepreventie. De modellen missen momenteel (praktische) data die gebouweigenaren, ontwerpers, aannemers en overheden nodig hebben om tijdens een wijkaanpak verduurzaming van het energienet uit te voeren. Om modellen af te stemmen op de praktijk, zullen daarom datamodellen aangepast moeten worden die passen bij de informatiebehoeftes van stakeholders in de energietransitie.

De bovenstaande concepten en ontwikkelingen leiden tot een aantal centrale vragen die van belang zijn in het realiseren van een 'gedigitaliseerde energietransitie':

1. *Hoe kunnen digitaliseringsconcepten als 3D BIM, Digital Twin en Cyber-Physical Systems ingezet worden voor analyse en ruimtelijke planning in wijken?*
2. *Hoe kan de benodigde informatie voor transitie worden vastgelegd en opgeslagen in datamodellen en databases?*
3. *Hoe dienen deze data op bruikbare wijze gepresenteerd worden voor stakeholders?*
4. *Hoe kunnen digitale data grootschalig en gestructureerd worden verzameld?*

### **3. Living Lab Digitalisering**

De sectortafel Gebouwde Omgeving stelt in het klimaatakkoord dat 50.000 woningen tot 2021 en daarna zelfs 200.000 woningen per jaar moeten worden ontkoppeld. Gemeenten benoemen in een Transitievisie Warmte de wijken die zij op korte termijn willen aanpakken en welke warmteopties daarbij de voorkeur genieten. Vanaf 2021 maken zij een uitvoeringsplan waarin met burgers wordt overlegd hoe de transitie zal plaatsvinden (Vereniging Nederlandse Gemeenten, 2019). De overheid heeft een programmatische 100 wijken-aanpak gepland, waarin een aantal proeftuinen worden ingesteld om te experimenteren en leren de transitie soepel vorm te geven.

Gelijktijdig benoemt de Sociaal Economische Raad in haar advies dat er investeringen nodig zijn in bij- en omscholing van de beroepsbevolking en ter stimulering van de instroom van nieuw personeel in de installatie- en bouwsector (Vereniging Nederlandse Gemeenten, 2018). Om de energietransitie de kunnen uitvoeren, is het dus een uitdaging om zowel kwalitatief als kwantitatief te voldoen aan de vraag naar mankracht. Het Klimaatakkoord geeft hierbij aan dat hechte samenwerking van bedrijven, werkenden, overheid en de brede onderwijskolom nodig is hiervoor.

Om de benoemde digitaliseringsvraagstukken en opleidingsbehoefte aan te pakken, wordt in Twente voor proeftuinwijk De Nijverheid in Hengelo een *Living Lab Digitalisering* opgericht. Dit houdt in dat er tijdens een real-life project waarin een wijk aardgasvrij wordt gemaakt, onderzoeksvragen worden gesteld, concepten worden ontwikkeld en mensen worden opgeleid. Directe interactie tussen onderzoekers, docenten en de markt leiden vervolgens tot kennisontwikkeling en –deling. Daarnaast kunnen feedback en verbeteringen uit de praktijk worden meegenomen in R&D en onderwijs. Binnen het Living Lab zullen de volgende activiteiten worden uitgevoerd:

- Analyse en beschrijving van informatiebehoefte energietransitie in de wijk;
- Analyse en beschrijving van betrokken stakeholders en fasering;
- Verkenning naar grootschalige en systematische toepassing van detectie- en mappingtechnologie (zoals grondradar) voor kartering van de ondergrond;
- Verkenning van digitaliseringsconcepten van geïdentificeerde informatie;
- Ontwikkeling van een dataregistratie, -model, en -base waarin gegevens kunnen worden gedeeld tussen – en bewerkt door - stakeholders.

We lichten de korte termijn-activiteiten binnen dit lab hieronder toe door uiteen te zetten hoe we de eerste onderzoeksvragen in workshops gaan beantwoorden.

#### **4. Digitalisering-workshops**

Samen met de woningbouwstichting Welbions en Gemeente Hengelo, organiseren het ROC van Twente, Saxion en Universiteit Twente workshops. Studenten civiele techniek en bouwkunde zullen daarnaast in hun vakken en afstudeeropdrachten betrokken worden in deze wijkplannen en bijbehorende digitalisering. Het MBO richt zich hierbij op uitvoerende digitaliseringstaken zoals het uitvoeren van grondscans en het installeren van nieuwe installaties. Het HBO richt zich op de analyse van scandata en ontwikkeling van digitale tools waarmee energetische concepten worden bekeken, en de UT bestudeert hoe nieuwe datamodellen en visualiseringsmethoden stakeholdercoördinatie ondersteunen.

Na een aanloop in 2019, vinden in 2020 acht initiële workshops plaats binnen de proeftuin digitalisering. Tijdens deze workshops worden de gemeente, woningbouwcorporatie, installatiebedrijven, aannemers en GWW-aannemers, netbeheerders, bewoners en onderwijspartijen uitgenodigd om gezamenlijk input te geven voor een digitale versie de wijk De Nijverheid. Door gebruikers hierin te betrekken kunnen functionaliteiten en doelen van digitale modellen ('use cases') worden benoemd, die op hun beurt de basis vormen voor datamodellen. Iedere workshop wordt deze informatiebehoefte aangevuld en op een geleidelijke wijze wordt zo de structuur van een 'digitaal wijktransitiemodel' vastgelegd.

Specifieker houdt dit in dat we per workshop voor de wijktransitie de benodigde data uitdrukken in (fysieke en conceptuele) objecten, categorieën, relaties, eigenschappen en functies. Hiervan geven we tevens aan hoe deze te benaderen en bekijken zijn door stakeholders (zoals in een Model View Definition en Level of Detail beschrijving) en hoe deze worden uitgewisseld tussen hen (zoals in een Information Delivery Manual).



## **5. Beoogde resultaten**

Na de workshops zal uiteindelijk een blauwdruk ontstaan van een digitaal model voor de wijkaanpak. Om deze blauwdruk te vullen, zal in de proeftuin De Nijverheid door studenten en andere stakeholders data worden verzameld over woningen en ondergrondse infrastructuur. Tijdens onderwijs, trainingen, experimenten er pilotprojecten worden deze data geïmplementeerd in te ontwikkelen BIM, Digital Twin of Cyber-Physical Systems-modellen. Studenten zullen de technieken en protocollen testen, de praktijk zal deze op grotere schaal uitvoeren en uiteindelijk is het doel om een ‘open access model’ te krijgen waartoe belanghebbende partijen toegang krijgen. Het ideaalbeeld is om dit onderdeel te laten uitmaken van een (mobiele) werkplaats digitalisering die bij iedere volgende transitie-wijk als datacentrum kan dienen.

Gedurende dit traject willen we erkende protocollen voor detectietechnieken ontwikkelen, digitaliseringsconcepten ontwikkelen en deze implementeren in lopend onderwijs en onderzoek. Opgedane kennis zal telkens worden meegenomen naar een volgend project, zodat deze ook na pilot in De Nijverheid behouden blijft en zorgt voor verbetering en stroomlijning in de grote reeks wijktransities die nog komen.

## **5. Conclusie**

De energietransitie heeft een wezenlijke impact op de ruimtelijke ordening in alle Nederlandse wijken. Naast deze ontkoppeling van het aardgas, zorgen klimaatadaptatie, ondergronds ruimtegebruik en nieuwe netwerktechnologie voor een noodzaak tot een systematischer ingrijpen in de ordening en uitvoering van grondroerwerkzaamheden. Driedimensionaal denken is weliswaar essentieel in deze context, maar in veel Nederlandse wijken zijn gegevens over de derde (diepte) dimensie nog onvolledig of onnauwkeurig. Verder ontbreken concepten, prototypen en vaardigheden om deze driedimensionale modellen van de boven- en ondergrond in een virtuele omgeving te brengen.

Digitalisering is daarom een stap die, ongeacht de energiekeuze in een wijk, zal moeten bijdragen aan een soepelere energietransitie. In dit artikel lichten we een aantal concepten toe en leggen we uit hoe we een Living Lab (proeftuin) gebruiken om dergelijke digitaliseringsconcepten te verkennen. De pilotwijk De Nijverheid Hengelo betreft daarom acht stakeholdertypes om gezamenlijk datamodellen en visualisatieprincipes te ontwikkelen die de fysieke transities zouden moeten ondersteunen. Het plan is om deze modellen te ontwikkelen en open access beschikbaar te stellen in een zogenaamde dataroom. Deze zullen leiden tot doorlopende ontwikkeling, standaardisering en verbetering van methoden en technieken waarmee digitale modellen de wijktransitie kunnen ondersteunen.

De ambitie is om de programmatische aanpak en afstemming tussen onderwijs, onderzoek, ondernemingen en overheid te laten zorgen voor een samenhangende groei van nieuwe technieken, modellen en concepten en training en scholing hierover. Door deze plannen te schetsen, willen we overige partijen inspireren tot het digitaliseren van de boven- en ondergrond. In het Living Lab verwelkomen we organisaties die concepten en modellen willen testen of willen bijdragen aan onderwijs en onderzoek.



## Referenties

- AGENTSCHAP TELECOM. 2018. *Code Oranje blijft van kracht voor graafsector* [Online]. Available: <https://www.agentschaptelecom.nl/onderwerpen/kabels-en-leidingen/nieuws/2018/mei/15/code-oranje-blijft-van-kracht-voor-graafsector> [Accessed December 7 2019].
- AKANMU, A., ANUMBA, C. & MESSNER, J. 2013. Scenarios for cyber-physical systems integration in construction. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 18, 240-260.
- DU, Y., ZLATANOVA, S. & LIU, X. Management and 3D visualisation of pipeline networks using DBMS and AEC software. In: NAYAK, PATHAN & GARG, eds. Proceedings of the ISPRS commission IV symposium on geospatial databases for sustainable development, 27-30 September, 2006 2006. Goa, India, 395-400.
- GEONOVUM. 2019. *Technisch register voor geo-standaarden in Nederland* [Online]. Available: <https://register.geostandaarden.nl/?url=imkl2015> [Accessed 16 maart 2020].
- GPKL. N/A. *Kengetallen* [Online]. Available: <https://www.gpkl.nl/page/144/kengetallen/> [Accessed 16 maart 2020].
- GUERRERO, J., ZLATANOVA, S. & MEIJERS, B. 3D visualisation of underground pipelines: best strategy for 3D scene creation. 8th 3DGeoInfo Conference & WG II/2 Workshop, 27–29 November 2013 2013 Istanbul, Turkey. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS).
- HARTMANN, T., GAO, J. & FISCHER, M. 2008. Areas of application for 3D and 4D models on construction projects. *Journal of Construction Engineering and management*, 134, 776-785.
- HIJAZI, I., KUTZNER, T. & KOLBE, T. H. Use Cases and their Requirements on the Semantic Modeling of 3D Supply and Disposal Networks. *Kulturelles Erbe erfassen und bewahren-Von der Dokumentation zum virtuellen Rundgang*, 37. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, 2017 Würzburg. German Society for Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation (DGPF), 288-301.
- JIN, Y. & EYDGAHI, A. Monitoring of distributed pipeline systems by wireless sensor networks. Proceedings of The, 2008. 213-222.
- KUTZNER, T. & KOLBE, T. H. Extending semantic 3D city models by supply and disposal networks for analysing the urban supply situation. In: KERSTEN, T. P., ed. *Lösungen für eine Welt im Wandel, Dreiländertagung der SGPF, DGPF und OVG*, 36. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, 7. bis 9. Juni 2016 2016. Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF), 382-394.
- LEE, J. & ZLATANOVA, S. 2008. A 3D data model and topological analyses for emergency response in urban areas. *Geospatial information technology for emergency response*. London: CRC Press.
- LU, R. & BRILAKIS, I. 2019. Digital twinning of existing reinforced concrete bridges from labelled point clusters. *Automation in Construction*, 105, 102837.
- METJE, N., ATKINS, P., BRENNAN, M., CHAPMAN, D., LIM, H., MACHELL, J., MUGGLETON, J., PENNOCK, S., RACLIFFE, J., REDFERN, M., ROGERS, C., SAUL, A., SHAN, Q., SWINGLER, S. & THOMAS, A. 2007. Underground asset location and condition assessment technologies. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 22, 524-542.
- MIL, V. B., GOOSKENS, B., NOORDINK, M. & DUNNING, B. 2013. *Evaluatie WION*. Den Haag: Kwink Groep.

- NATIONAAL PROGRAMMA REGIONALE ENERGIE STRATEGIE. 2019a. *Nationale opgave en de RES* [Online]. Available: <https://www.regionale-energiestrategie.nl/ondersteuning/handreiking/nationale+opgave+en+de+res/default.aspx> [Accessed 16 maart 2020].
- NATIONAAL PROGRAMMA REGIONALE ENERGIE STRATEGIE. 2019b. *Opgave RES en fysieke leefomgeving* [Online]. Available: <https://www.regionale-energiestrategie.nl/ondersteuning/handreiking/opgave+res/opgave+res+en+fysieke+leefomgeving/default.aspx> [Accessed 16 maart 2020].
- NATIONAAL PROGRAMMA REGIONALE ENERGIE STRATEGIE. 2019c. *Parallele processen* [Online]. Available: <https://www.regionale-energiestrategie.nl/ondersteuning/handreiking/verdieping/parallele+processen/default.aspx> [Accessed 16 maart 2020].
- NATIONAAL PROGRAMMA REGIONALE ENERGIE STRATEGIE. 2019d. *Regio's op de kaart* [Online]. Available: <https://www.regionale-energiestrategie.nl/kaart+doorklik/default.aspx> [Accessed 16 maart 2020].
- NIU, Y., ANUMBA, C. & LU, W. 2019. Taxonomy and deployment framework for emerging pervasive technologies in construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145, 04019028.
- NOUVEL, R., BAHU, J.-M., KADEN, R., KAEMPF, J., CIPRIANO, P., LAUSTER, M., HÄFELE, K.-H., MUNOZ, E., TOURNAIRE, O. & CASPER, E. Development of the CityGML application domain extension energy for urban energy simulation. Building Simulation 2015-14th Conference of the International Building Performance Simulation Association, 2015. 559-564.
- OLDE SCHOLTENHUIS, L. & DOREE, A. De gordiaanse knoop van kabels en leidingen: hakken we hem door?: Problematische coördinatie van riool-, kabel-, en leidingreconstructies bekeken vanuit theorie over hoogbetrouwbaar organiseren. CROW Infradagen 2012, 2012.
- OLDE SCHOLTENHUIS, L. L., DEN DUIJN, X. & ZLATANOVA, S. 2018. Representing geographical uncertainties of utility location data in 3D. *Automation in construction*, 96, 483-493.
- OOSTEROM, E. & HERMANS, R. 2013. *Riolering in beeld*, Ede, Modern BV, Bennekom.
- SUTRISNA, M., KUMARASWAMY, M. M., AKANMU, A. & ANUMBA, C. J. 2015. Cyber-physical systems integration of building information models and the physical construction. *Engineering, Construction and Architectural Management*.
- VERENIGING NEDERLANDSE GEMEENTEN. 2018. *SER-advies: energietransitie vraagt investering in mensen* [Online]. Available: <https://vng.nl/nieuws/ser-advies-energietransitie-vraagt-investering-in-mensen> [Accessed 16 maart 2020].
- VERENIGING NEDERLANDSE GEMEENTEN. 2019. *tijdspad voor energie* [Online]. Available: [https://vng.nl/sites/default/files/tijdspad-voor-energie\\_20190211.pdf](https://vng.nl/sites/default/files/tijdspad-voor-energie_20190211.pdf) [Accessed].
- VERENIGING NEDERLANDSE GEMEENTEN. 2020. *Overzicht Energietransitie in de gebouwde omgeving* [Online]. Available: <https://vng.nl/artikelen/overzicht-energietransitie-in-de-gebouwde-omgeving> [Accessed 16 maart 2020].
- ZHOU, C., LUO, H., FANG, W., WEI, R. & DING, L. 2019. Cyber-physical-system-based safety monitoring for blind hoisting with the internet of things: A case study. *Automation in Construction*, 97, 138-150.