



BOUW & TECHNIEK INNOVATIECENTRUM

STRATEGISCH PROGRAMMA DIGITALISERING

2020-2030

(CONCEPT)

WERKDOCUMENT

draft door: Pieter Pauwels, Léon olde Scholtenhuis (4Tub)
i.s.m. Hans Voordijk, Farid Vahdatikhaki, Peter Russel, Christian Struck, Perica Savanovic,
Rizal Sebastian (HBO & 4Tub, TNO)

Contactpersoon: Andre Doree (4Tub)
a.g.doree@utwente.nl

LEESWIJZER

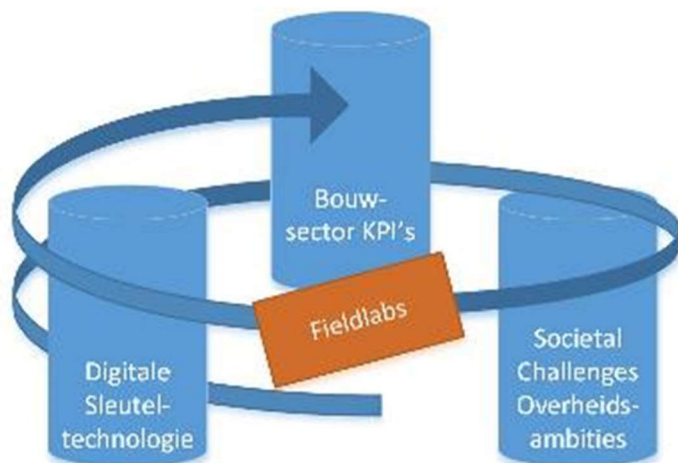
Het **strategische lange termijn programma** (10 jaar tijdshorizon) bevat op hoofdlijnen de lange termijn ambities, kennisdoelen, kennislijnen en roadmap van het digitaliseringsprogramma. Het lange termijn programma levert daarmee de kaders voor het middellange termijn programma (3 tot 6 jaar tijdshorizon). De verwachting is dat het middellange termijn programma de komende jaren uit verschillende deelprogramma's zal bestaan. Voorzien zijn de volgende deelprogramma's: Digital Twins, Robotisering & Industrialisatie, Artificial Intelligence en VR/AR. Doorlopend zal worden overwogen aan te vullen en/of te integreren bijvoorbeeld voor Generative design, 3D & 4D printing, linked data, 3D printing drones, quantum blockchains, sensor embedded materials, 5G.

Technologie heeft pas impact als het breed in de praktijk wordt toegepast. Daarom is in BTIC Digitalisering niet alleen oog voor digitale technologieën, maar ook voor de organisatorische veranderingen die hiermee samenhangen (zoals (fundamentele) veranderingen in processen, manieren van samenwerken, en businessmodellen). Het gecombineerd ontwikkelen van technologie, processen en skills is de sleutel tot versnellen van innovatie- en leercurves. De visie voorziet een programmatische fieldlab-aanpak zoals bepleit door het SER Kernteam arbeidsmarkt en scholing. In deze fieldlab benadering worden de prototype-ontwikkeling, demonstratie, toepassing, opleiding, standaardisatie en doorontwikkeling in korte en effectieve cycli georganiseerd (triple/quadruple helix).

Het aangeleverde strategische lange termijn programma Digitalisering is momenteel nog 'concept'. Het BTIC gaat de komende periode met een schrijfteam/commissie met vertegenwoordiging vanuit de 4 O's (Overheid, Ondernemingen, Onderwijs en Onderzoek) aan de slag en streeft naar een afronding van dit visie document eind 2020.

1. BTIC Digitalisering: een programmatische fieldlab-aanpak

Digitalisering en informatisering is één van de BTIC innovatieprogramma's naast **energietransitie bestaande bouw, circulariteit, infrastructuur, gebiedsontwikkeling en klimaatadaptatie**¹. Digitalisering is de *key enabler* voor alle grote uitdagingen binnen de BTIC thema's en past als sleuteltechnologie binnen het nationale topsectorenbeleid² en Thema 3 'digitalisering en informatisering' van de Nationale Bouwagenda³.



Figuur 1 - samenhangende ontwikkelingen gekoppeld in BTIC Fieldlabs

Dit document richt zich op de periode 2020-2030 en beschrijft voor het thema digitalisering de hoofdlijnen van de kennis- en innovatieagenda voor kennisinstellingen, bedrijven en overheden. De voorgestelde programmatische fieldlab-aanpak (Figuur 1) koppelt ambities in drie samenhangende domeinen, namelijk: (1) integraal en versneld aanpakken van **maatschappelijke uitdagingen en overheidsambities**; (2) vergroten en versterken van **prestaties van de bouwsector**; en (3) benutten van

kansen die gebruiksvriendelijke **digitale sleuteltechnologie** bieden voor een leefbaarder en beheersbaarder gebouwde omgeving. Dit document presenteert de ontwikkelingen en stelt tot slot een concept **roadmap** voor waarin stakeholders van grote en kleine schaal (bv. multinationals & MKBs) met verschillende snelheid, professionaliteit en focus kunnen digitaliseren.

Maatschappelijke uitdagingen en overheidsambities

Nederland kampt met een aantal ongekend omvangrijke uitdagingen:

- De **energietransitie** en achterliggende ambities om de klimaatopwarming tot 1.5°C te beperken, vragen de sector om,
- **Circulaire oplossingen** aan te dragen en CO₂-neutraal te bouwen. Hiervoor is o.a. inzicht nodig in energetisch gebruik van gebouwen en installaties.
- **Klimaatadaptatie** leidt tot herontwerp van stedelijk gebied, inclusief aanleg van nieuwe typen ondergrondse energienetten, oplossingen voor piek-regenwaterafvoer en slimme installatietechnieken.
- **Grootschalige renovatie-opgaven** vragen om voorspellend beheer en onderhoud, waarbij monitoring en de traceerbaarheid van bouwobjecten, installatiesystemen en componenten belangrijk zijn.
- Europese ambities om **smart cities te ontwikkelen**; door monitoren en meten (IoT) directe invloed op aanleg van nieuwe connectiviteit-oplossingen (zoals glasvezel, 5G, small cells, LoRa).

¹ <https://btic.nu/innovatieprogrammas/>

² <https://www.topsectoren.nl/missiesvoordetoekomst>

³ <https://www.debouwagenda.com/themas/917097.aspx?t=Thema+3%3a+digitalisering+en+informatisering>

Integraal inzicht in de samenhang van deze oplossingen is essentieel om deze aanzienlijke potentie in bouwopgave effectief en efficiënt te kunnen realiseren. Hiervoor is een grote hoeveelheid arbeid nodig. Voor de energietransitie alleen betreft dit naar schatting al 70.000 FTE (bron: TNO, 2018). Hierin zullen nieuwe nieuwe beroepen tot stand komen en er zal dus op grote schaal bij- en omscholing nodig zijn.

Ontwikkelingen in de Bouwsector

Maatschappelijke uitdagingen zijn onlosmakelijk verbonden aan de bouw- en infrasector (hieronder ingekort tot bouwsector). De Nationale Bouwagenda formuleerde in 2016 doelstellingen omtrent:

- **energietransitie:** ruim 8 mio gebouwen en infrastructuur moeten energetisch worden gerenoveerd tegen 2050;
- **circulariteit:** schaarste van grondstoffen leidt tot de ambitie om spaarzaam om te gaan met bouw materiaal en materieel;
- **klimateadaptatie:** objecten en bouwprocessen zullen bij moeten dragen aan verminderde uitstoot (d.w.z. CO₂-reductie, PFAS-normen);
- **grootschalige renoveren:** verouderende publieke infrastructuur behoeft grootschalige renovatie, waarbij predictive maintenance/ asset management essentieel is;
- **industriële bouwen:** geautomatiseerde, gerobotiseerde en gestandaardiseerde processen kunnen leiden tot minder verlies tijdens uitvoering en betere kwaliteitsborging alsmede tot implementatie en realisatie van smart-city oplossingen;
- **modulair bouwen:** standaardisatie van objecten en componenten (in modules en productfamilies bv.), maar ook flexibilisering van productie (met robots) ondersteunen mass-customization;

Deze hebben gevolgen voor techniek (product), processen en human capital. Een groeiend aantal complexe ontwerp-, renovatie-, en nieuwbouwprocessen moeten **betrouwbaar** en **veilig** worden uitgevoerd met minder mensen. De beperkte **productiecapaciteit** zorgen voor noodzaak tot investeringen in human capital en automatisering. Digitale samenwerking tussen gebruikers en professionele partijen in de bouw direct gerelateerd aan het productieproces zouden uiteindelijk **productie** moeten **versnellen** en **kosten verlagen**.

2. Roadmap

2.1. Structuur

Kennisinstellingen, bedrijven en overheden integreren de ontwikkelingen en digitaliseringslijnen in een fieldlab-programma om stapsgewijs tot een **competitieve gedigitaliseerde Nederlandse bouwsector** te komen in 2030. Dit leidt tot de volgende digitaliseringsdoelstellingen:

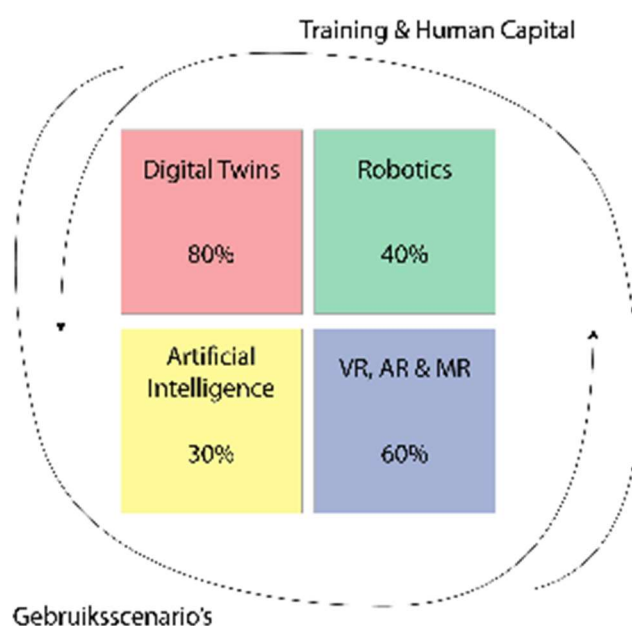
1. Digital Twin-infrastructuur voor de gebouwde omgeving
2. AI-algoritmes en -modellen geschikt voor gebruik in de praktijk (bouwplaatsen en operationele objecten),
3. Ontwikkelde robotisering en automatisering-prototypes voor bouwplaats, productiehallen, en operationele objecten.
4. Ontwikkelde VR/AR-infrastructuur voor ontwerp, engineering, bouwfase en operationele objecten

Naast deze technische kennis- en innovatielijnen, richten twee socio-technische programmalijnen zich op het **ontwikkelen en implementeren in de praktijk (fieldlabs)**:

5. Doorontwikkeling en integratie van technieken genoemd onder (a)-(d) tot gebruiksscenario's
6. Training en Human Capital: Living Labs waarin 4Os (onderwijs, onderzoek, overheid, onderneming) in learning communities digitalisering mogelijk maken.

2.2. Fieldlabs met ambitie

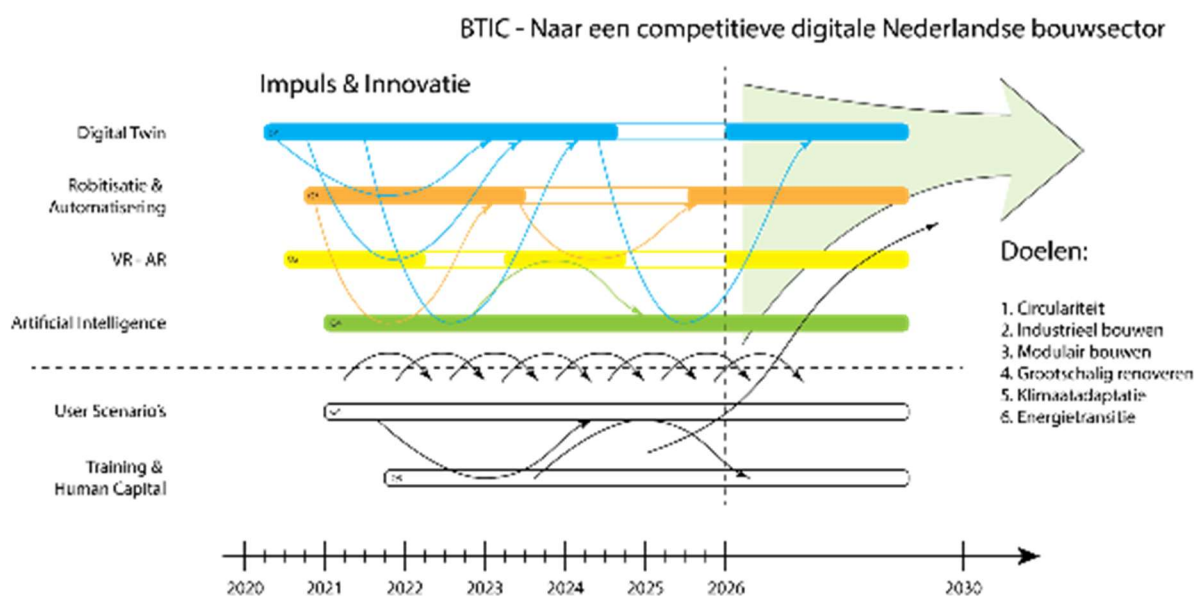
Door het verweven van de vier technische programmalijnen samen met de twee socio-technische, kunnen kennisdoelstellingen onderzocht worden op het snijvlak tussen onderzoek en praktijk en kunnen resultaten onmiddellijk getoetst in realistische context. Op deze manier wordt getracht om de technologische tools tot op een bepaald **ambitieniveau** op de markt te brengen tegen 2030, zoals aangegeven in Fig. 2. Zo is het bijvoorbeeld een ambitie om 80% van de bouwprocessen tegen 2030 te laten verlopen met gebruik van Digital Twin technologie.



Figuur 2 - Programmalijnen ter digitalisering worden pro-actief met elkaar gekoppeld, met een initiële focus op programmalijn 1 rond Digital Twins.

2.3 Fasering en multidisciplinariteit (cross-overs)

De ontwikkelingen plaatsen we in een gefaseerde BTIC roadmap voor digitalisering (figuur 3). Continue aanpassing en ontwikkeling aan deze roadmap door praktijk en kennisinstellingen geeft ieder de kans om aan minimaal één van deze programmalijnen bij te dragen. Binnen iedere programmalijn zullen samenhangende onderzoeks-, ontwikkeling- en implementatie-stappen mogelijk worden. Cruciaal in deze roadmap is de grote interactie tussen de verschillende programmalijnen. Al de genoemde programmalijnen kunnen onderling gecombineerd worden, ter ondersteuning van de bouwsector, om zo de aangehaalde doelstellingen voor Nederland te halen.



Figuur 3 - Programmalijnen ter digitalisering worden proactief met elkaar gekoppeld, met een initiële focus op programmalijn 1 rond Digital Twins.

2.4. Uitwerking van programmalijnen

Per thema wordt in de uitwerking van dit Strategische document het volgende beschreven:

- **Stand van zaken:** analyse van vertrekpunten aangaande specifiek digitaliseringsambitie;
- **Focus van kennisontwikkeling:** definitie van doelstellingen ontwikkelingen;
- **Traject voor ontwikkeling:** definitie ontwikkel- en innovatie-acties;
- **Monitoring en bijsturing:** analyse voortgang in BTIC Living Lab.

De programmalijn **Digital Twin** is momenteel uitgewerkt. In de programmalijnen wordt actief de connectie gezocht met innovaties op gebied van Digital Twins en Robotisering en automatisering (figuur 4).

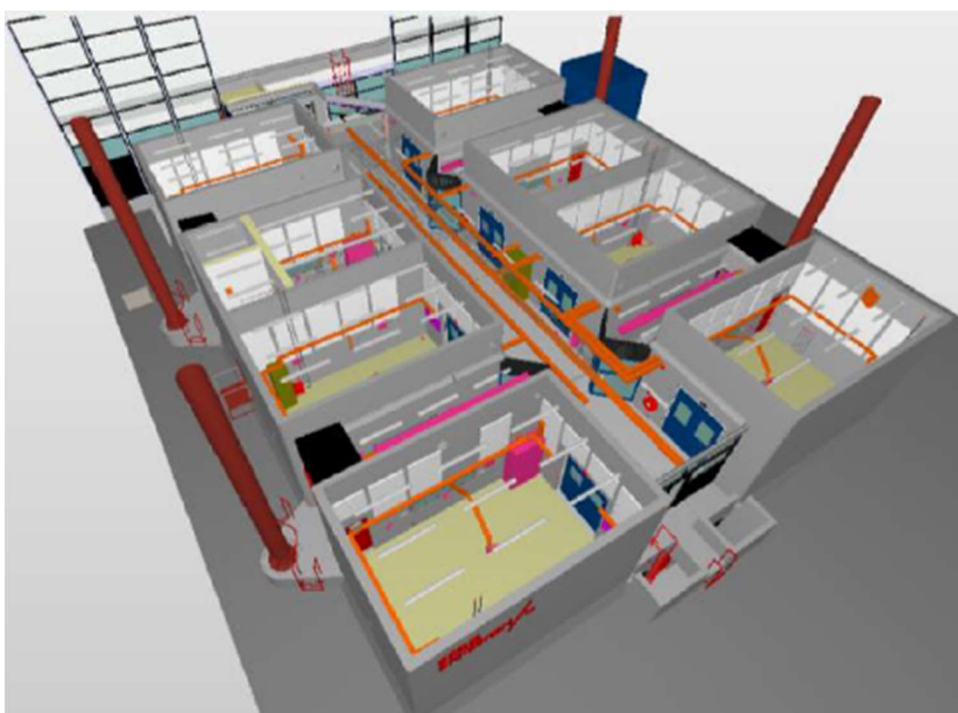
Het is onze visie om het onderzoek naar gebruikersscenario's en training en human capital (2022-2025) te combineren met de vier programmalijnen, zodat er gewerkt kan worden naar een Digitale bouwsector in Nederland die sterk genoeg is om actief in te zetten op circulair bouwen, industrieel en modulair bouwen, grootschalig renoveren, klimaatadaptatie en energietransitie en klimaatadaptatie.

3. Programmalijnen: Digitale sleuteltechnologie

Digitale sleuteltechnologie biedt kansen en uitdagingen met betrekking tot het verkennen, ontwikkelen, experimenteren en implementeren van verschillende datamodellen, processing

methoden, technieken, gebruikskoncepten en business processen. In Bouw en ICT-ontwikkelingen (o.a. in de White Paper AI Nederland, EU Joint Research Centre Digitale Transformatie, Digital Built Britain en bij de BTIC kennispartners) staan deze thema's centraal. We onderscheiden uitdagingen in vier technische en twee socio-technische programmalijnen. Deze vormen de kern van de agenda voor het BTIC Innovatieprogramma Digitalisering⁴:

1. Digital Twins zijn virtuele representaties van een object die van nut zijn in de gehele levenscyclus van bijv. gebouwen, boven- en ondergrondse infrastructuur en stedelijke gebieden (vb. Fig. 4). Digital Twins kunnen een realtime verbinding leggen met de fysieke wereld door middel van sensortechnologie om zo een cyber-physical system te vormen. Deze koppeling maakt het mogelijk om ontwerp- en bouwprocessen (bijv. voor bouwplaats-planning en realtime logistiek) te monitoren en analyseren, om bv. onderhoud en exploitatie van gebouwen en infrastructuur te optimaliseren en automatiseren (denk aan tunneltechnische installaties, HVAC-installaties, structural health, solar shading etc.). Maar ook om nieuwe ontwikkelingen mogelijk te maken, o.a. op basis van patronen.



Figuur 4 - Digital Twin op basis van BIM-model en sensordata voor Zero Emission Lab TU

Uitdagingen liggen in eerste instantie rondom: ontwikkelen van Digital Twin-concepten voor levenscyclusbeheer, het ontwikkelen van 'as-built modellen' en koppeling met BIM, veilige, privacy-bewuste data-opslag, koppeling met monitoring technieken en ontwikkelen van gebruikstoepassingen.

Doelstellingen: deze programmalijn richt zich op het creëren van digital twins in relatie tot BIM en uniforme afspraken sets voor informatie- en kennismodellering, het intelligent maken van digital twins door middel van data-analysetechnieken en Artificial Intelligence en het toepassen van digital twins in verschillende gebruiksscenario's. - Specifieke doelstellingen en gedetailleerde plannen van aanpak worden in de volgende stap door bedrijfsleven, kennisinstellingen en de overheid nader uitgewerkt.

⁴ <https://btic.nu/innovatieprogrammas/>

2. Robotics maakt gebruik van (semi) autonome machines die taken overnemen die voor de mens te risicovol, repetitief, moeilijk of inefficiënt zijn. Omdat omsteltijd van machines is afgenomen en flexibiliteit toegenomen, kunnen deze vaker goedkoper produceren dan een mens en spelen zij een rol in productiehallen. Integratie van robotica en mechanica op de (inherent) dynamische bouwplaats blijft echter een uitdaging. Machines zoals 3D concrete printers, staal-lassers, hijskranen, autonome voertuigen (AV), drones en graafmachines kunnen (semiautomatisch) vanuit controlekamers worden aangestuurd ter automatisering van de bouwplaats (Fig. 5).

Uitdagingen liggen rondom: het ontwikkelen van al deze toepassingen voor zowel gecontroleerde bouwhallen en gecontroleerde buitencondities. Dit staat momenteel in haar kinderschoenen, maar is absoluut van belang om onze doelstellingen van 2030 te kunnen realiseren.

Doelstellingen: deze programmajijn richt zich op het ontwikkelen en testen van machines in productiehallen en op de bouwplaats. In de eerste plaats zullen prototypes worden ontwikkeld voor verschillende bouwprocessen (bijv. ter ondersteuning van graaf, hijs-werkzaamheden, monitoring van vooruitgang op de bouwplaats of voor assemblage door lassen en 3D printen), waarna later ook implementatie studies in meer weerbarstige omgevingen worden gedaan. Specifieke gedetailleerde doelstellingen worden in de volgende stap door kennispartners en bedrijfsleven en overheid uitgewerkt.



Figuur 5 - Robotisatie en automated manufacturing als onderdeel van de digitalisering op de bouwplaats (voorbeeld Fieldlab Sensorized 3D Printed Bridge Campus UTwente)

3. Artificial Intelligence (AI) maakt gebruik van optimalisatietechnieken en grote datasets. Zelflerende algoritmes kunnen daarin bijvoorbeeld: voorspellingsmodellen voor gebouwsimulaties ontwikkelen, ontwerpmodellen en bouwprocessen analyseren, anomalieën en fouten in (gebouw)modellen vinden en zelflerende robots aansturen. In combinatie met het bovenstaande biedt het een sterke basis voor beslissingsondersteuning op allerhande plekken in de gebouwde omgeving.

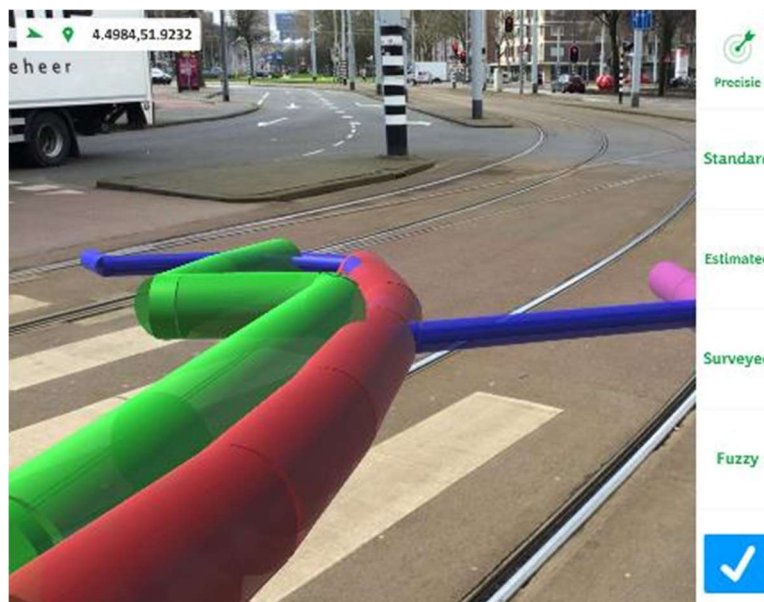
Uitdagingen zijn het ontwikkelen van betrouwbare, inzichtelijke en bruikbare AI-algoritmes die qua prestatie, betrouwbaarheid en logica minimaal ondersteunend, en in sommige gevallen vervangend zijn aan menselijk denkwerk en menselijk handelen.

Doelstellingen: deze programmaliijn richt zich op het ontwikkelen van methoden waarmee de betrouwbaarheid van bestaande data kan worden geanalyseerd, waarmee ontwerp en planning kunnen worden geautomatiseerd/geoptimaliseerd en waarmee machines zelflerend en veiliger worden. AI vindt ook plaats binnen de twee bovenstaande programmaliijnen, bijvoorbeeld door een koppeling tussen AI en ‘hardware in the loop simulaties,’ waarmee voorspellingen gedaan worden over bijvoorbeeld faalkansen van infrastructuur. Specifieke gedetailleerde doelstellingen worden in de volgende stap door kennispartners en BTIC-bedrijfsleven en –overheid uitgewerkt.

4. Virtual Reality, Augmented Reality en Mixed Reality integreren virtuele data real-time met een camerabeeld van de werkelijkheid. Dit ondersteunt een intuïtieve manier van visualisatie van belangrijke elementen in ontwerp, uitvoering, beheer, onderhoud en inspectie, maar biedt ook de basis voor training- en procesverbetering.

Uitdagingen zijn het ontwikkelen van real-time virtuele representaties van activiteiten binnen gebouwen, machines en robots, waardoor een digital twin op afstand kan worden ‘beleefd’ en onderhouden. Een andere uitdaging is het koppelen van VR met trainingen en procesverbeteringen in zgn. feedback support systems.

Doelstellingen. Deze programmaliijn richt zich op de toepassingen en analyse van off-the-shelf virtuele en augmented reality tools bij ontwerp, planning, uitvoering, beheer en onderhoud. Ook wordt bestudeerd hoe de technologie een rol krijgt in remote-controlling van bijvoorbeeld automatiseringsprocessen. Het houdt zich met name bezig met de manier waarop deze taken ondersteunen en in hoeverre de tools doorontwikkeld moeten worden om gebruiksscenario’s te ondersteunen. Specifieke gedetailleerde doelstellingen worden in de volgende stap door kennispartners en bedrijfsleven en overheid uitgewerkt.



Figuur 6 - Augmented Reality weergave van ondergrondse infrastructuur

5. Gebruiksscenario's

Deze programmalijn richt zich op de organisatie van scenario's en use cases behorend bij bovenstaande technieken; kwaliteitscontrole op afstand, transparantie en verificatie van bouwproces, veiligheid, hands-on ondersteuning van 'mass-customization' (incl. participatie van gebruikers) zijn enkele voorbeelden. De processen waarin de technieken een vorm krijgen in organisaties spelen hierbij een rol.

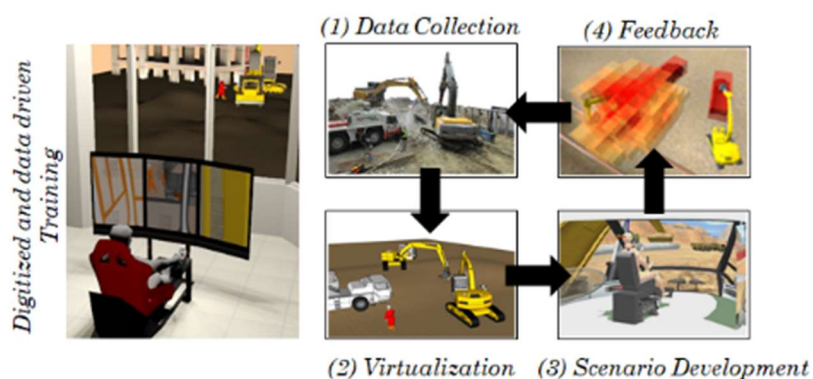
Studie van inbedding van technologieën in bestaande en nieuw in te richten processen is daarom essentieel om een vliegende start te kunnen maken. Mens en technologie kunnen niet los van elkaar worden gezien maar opereren in wisselwerking met elkaar en vormen integraal onderdeel een sociotechnisch systeem. Een dergelijk systeem bestaat uit verschillende stakeholders (individuen, bedrijven, organisaties), instituties (maatschappelijke of wetenschappelijke normen en standaarden), tastbare objecten en kennis. Deze systeembenadering is een belangrijk uitgangspunt in deze onderzoekslijn.

Het spreekt voor zich dat gebruiksscenario's vanuit de markt en praktijk gedreven worden en zo tot concrete scenario's en testomgevingen leiden waarin bovenstaande technieken gepast en op een multidisciplinaire manier kunnen getest worden en naar een hoger Technology Readiness Level (TRL) gebracht worden.

6. Training en Human Capital

In relatie tot de vier programmalijnen, richt deze programmalijn zich op de digital skills-training van uitvoerders, beheerders, ontwerpers en andere stakeholders in de processen over het gehele levenscyclus van bouwwerken. Het gaat hier om training *in bouwtechnologie* en training over operationele processen *met behulp van (VR-)technologie*. Met 'in' bedoelen we dat we opleidingen ontwikkelen voor professionals die hier in de dagelijkse praktijk mee te maken gaan krijgen (bijv. onderhoud met digital twins of AR-based inspectie), maar ook dat we technologie gebruiken voor opleiding van operationele taken (denk aan VR voor veiligheidstraining).

VR-technologie speelt bijvoorbeeld een rol in het opleiden van (graaf)machine-bedienden voor de bouw. Deze technologie richt zich echter veel op grafische weergave en modellering van fysische eigenschappen van bijvoorbeeld zand. Om voor veiligere, efficiëntere en duurzame bouwprocessen



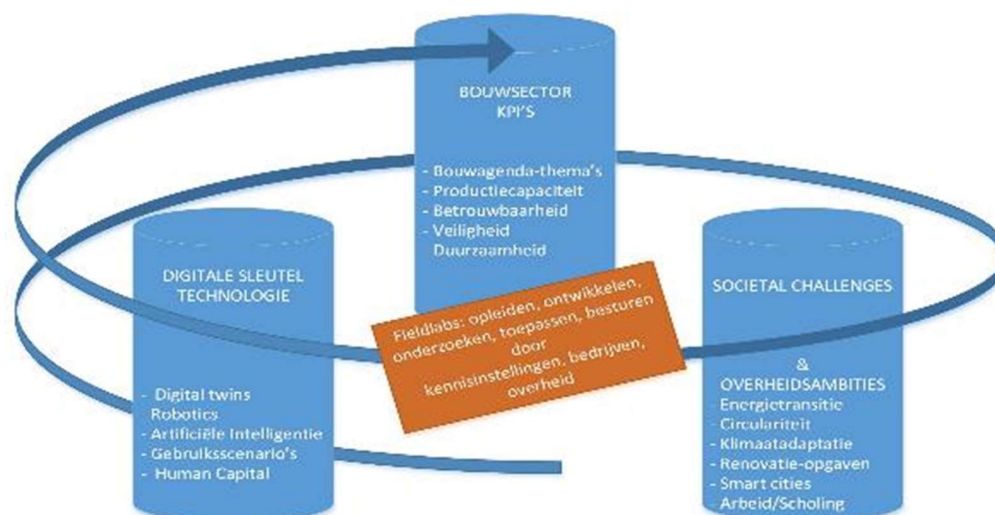
Figuur 7 - Virtual Reality training simulator-toepassing om machinebediening te professionaliseren (o.b.v. Living Lab Graafschade UTwente en SOMA College Harderwijk)

te zorgen, zullen VR-simulators ook moeten trainen op situationeel bewustzijn, samenwerking, en veiligheidsaspecten. Een uitdaging is dus om VR-simulators meer context-realistisch te maken door middel van bijvoorbeeld Digital Twin-technologie (Fig 7).

De uitdaging in deze programmalijn is om bij- en omscholingsconcepten te creëren die mee-ontwikkelen met de technologie en die tevens toegankelijk zijn voor een groot publiek. Een breed palet aan digitalisering-, programmeer-, en data handling skills zijn hiervoor nodig. Crossovers tussen hightech maakindustrie en de bouw zijn hier nuttig. Dit kan leiden tot standaardisering en harmonisering van processen en datamodellen, waardoor digitale samenwerking in de bouw vlotter gebeuren. Gestandaardiseerde communicatie in energie, domotica, verwarming en ventilatie kan bijvoorbeeld leiden tot betere gebouwcontrole, zoals ook het geval is in de procesindustrie⁵.

4. Aanbeveling

De benadering van BTIC Digitalisering heeft als doel om bedrijven, brancheorganisaties, onderzoek, onderwijs en bestuur met elkaar via korte- en langetermijnprojecten een integraal, gezamenlijk en interactieve ontwikkeling te laten doormaken op gebied van digitalisering. Hiervoor worden de volgende programmalijnen uitgewerkt: Digital Twins, Robotics, Artificial Intelligence, VR-AR-MR, Gebruiksscenario's, Training en Human Capital.



Figuur 8 - koppeling van ontwikkelingen tussen overheid, bouwsector en digitalisering-sector

Dit kan erg goed in fieldlabs waarin programmatisch wordt samengewerkt tussen meerdere partijen aan combinaties van de genoemde kennis- en innovatie-uitdagingen. Fieldlabs bieden hier een mogelijkheid voor bedrijven om actief bij te dragen met concrete cases, data en tools, zodat onderzoek en innovatie sterk samenhangen.

Wij streven niet naar een competitief, maar 'collaboratief' digitaliserings-model voor Nederland. Er zijn ten grondslag hieraan reeds 64 projecten bottom-up door kennispartners (4TU, TNO, hbo-lectoren) gedefinieerd. Deze zullen in nadere uitwerking synergie en aansluiting moeten vinden met de visie uit overheid en bedrijfsleven. We stellen deze aanpak voor om prototype-ontwikkeling, demonstratie, toepassing, opleiding, standaardisatie en doorontwikkeling in korte en effectieve cycli te kunnen organiseren. Hierdoor ontstaat een spiraal van doorlopende activiteiten en sterkere koppeling tussen de domeinen die digitalisering in de gebouwde omgeving mogelijk maken (Figuur 8).

⁵ bijv. met de Supervisory Control and Data Acquisition system (SCADA)