



KENNIS- EN INNOVATIEPROGRAMMA  
DIGITALISERING  
(DEELPROGRAMMA DIGITAL TWINS)

---



# INHOUD

1.	INLEIDING .....	2
1.1.	Introductie .....	2
1.2.	Toekomstbeeld: naar digital twins van de gebouwde omgeving .....	3
1.3.	Rol, ambitie en doelstellingen BTIC deelprogramma digital twins.....	6
1.4.	Dit document (leeswijzer).....	10
2.	HET CREËREN VAN DIGITAL TWINS.....	11
2.1.	Probleemstelling en kennisdoelen.....	11
2.2.	Informatiemodellering, asset lifecycle informatiemanagement en data integratie .....	11
2.3.	Kennismodellering, borging -en deling.....	13
2.4.	Data inwinning en het creëren van digital twins van bestaande bouwwerken.....	14
3.	HET INTELLIGENT MAKEN VAN DIGITAL TWINS .....	16
3.1.	Probleemstelling en kennisdoelen.....	16
3.2.	Validatie van data en analysemodellen.....	16
3.3.	Integratie van Artificial Intelligence in digital twins.....	18
4.	HET TOEPASSEN VAN DIGITAL TWINS IN VERSCHILLENDE GEBRUIKSSCENARIO'S .....	20
4.1.	Probleemstelling en kennisdoelen.....	20
4.2.	Circulair bouwen .....	20
4.3.	Industrieel en modulair bouwen en renoveren.....	21
4.4.	Supply-chain management en bouwlogistieke optimalisatie.....	22
5.	FIELDLABS EN TRAINING .....	24
5.1.	Kennisdoelen en mogelijkheden Fieldlabs voor digitalisering .....	24
5.2.	Demonstreren van digital twins en robotisering.....	24
5.3.	Training met behulp van VR/AR.....	25
6.	SCHAALBAARHEID EN SAMENHANG MET DIGIDEALGO .....	26
	BIJLAGE: SCHRIJFTEAM .....	27

# I. Inleiding

## I.1 INTRODUCTIE

De bouw-, ontwerp- en technieksector spelen een belangrijke rol bij maatschappelijke opgaven zoals energietransitie, duurzaam gebruik van grondstoffen, klimaatverandering, mobiliteit, digitalisering en gezondheid. Onderlinge samenhang in onderzoek en ontwikkeling van benodigde innovaties ontbreekt om deze opgaven op te lossen. Om deze versnipperde werkwijze tegen te gaan, heeft De Bouwagenda daarom het BTIC opgericht, het Bouw en Techniek Innovatiecentrum. Dit publiek-private samenwerkingsverband is in juni 2019 van start gegaan met als doel om efficiënte, gebundelde innovatieprocessen op te zetten. Het BTIC is daarmee het vliegwiel voor bouw-, ontwerp-, en techniekinnovaties.

Het BTIC bundelt activiteiten van vraag- aanbod- en kenniszijde en brengt deze samen in integrale, meerjarige R&D-programma's. Marktpartijen, overheidsorganisaties en kennisinstellingen investeren gezamenlijk in de uitvoering van kennis- en innovatieprogramma's en consortia die het BTIC helpt vormen. Deze afstemming levert niet alleen technologische innovaties op, maar zorgt ook voor sociale en procesverbeteringen. Het BTIC prioriteert op basis van de noodzaak van onderzoek en ontwikkeling: wat bestaat in zijn geheel nog niet en wat bestaat al dat sneller en goedkoper gemaakt moet worden?

De BTIC werkwijze is er een van aanjager, facilitator en makelaar. Het BTIC inventariseert de innovatieopgaven en werkt deze op hoofdlijnen programmatisch uit. Het mobiliseert en richt financieringsmogelijkheden op de bouw-, ontwerp- en technieksector voor de uitvoering van deze programma's. Het initieert consortia, bestaand uit bedrijven, overheid en kennisinstellingen, die gezamenlijk innovatietrajecten voorstellen en uitvoeren. Het monitort de voortgang van de innovatietrajecten, bewaakt het open karakter en geeft partijen toegang tot de ontwikkelde kennis en innovatie.

Het BTIC programma Digitalisering richt zich op verschillende digitale ontwikkelingen, zoals digital twins, robotisering, Artificial Intelligence en Virtual, Augmented en Mixed Reality. Deze digitale ontwikkelingen worden vertaald in verschillende kennislijnen die via deelprogramma's worden opgepakt. Dit programma wordt in samenspraak tussen vertegenwoordigers uit het bedrijfsleven, de overheid en kennisinstellingen opgezet (zie bijlage 1). Het gaat om ontwikkelingen die zonder een vergaande mate van samenwerking tussen de verschillende partijen niet, of sterk vertraagd, van de grond zouden komen.

Dit document beschrijft de programmalijn 'Digital Twins', inclusief essentiële relaties met AI, VR/AR en robotisering & automatisering, van het BTIC middellange termijn programma digitalisering (2 tot 6 jaar). Deze programmalijn geeft tevens de invulling aan de middellange termijn innovatievragen vanuit de DigiDealGO op dit gebied. Parallel aan dit middellange termijn programma wordt momenteel

gewerkt aan een strategisch lange termijn kennisprogramma (10 tot 15 jaar tijdshorizon). Dit meerjarige kennisprogramma bevat de lange termijn ambities, kennisdoelen, kennislijnen en roadmap van het digitaliseringsprogramma en levert daarmee kaders voor de middellange termijn kennisontwikkeling. Op basis van het strategische lange termijn kennisprogramma is voorzien het middellange termijn programma de komende tijd verder aan te vullen, waarbij de volgende deelprogramma's zijn voorzien: Digital Twins, Robotisering en Industrialisatie, AI en VR/AR.

In het vervolg van dit document wordt eerst verder ingegaan op een toekomstbeeld over digital twins voor de gebouwde omgeving en worden de ambities en doelstellingen van dit BTIC deelprogramma digital twins beschreven. Vervolgens worden in verschillende hoofdstukken de onderdelen van het deelprogramma verder uitgediept. Dit document wordt afgesloten met een toelichting op de wijze waarop dit deelprogramma samenhangt met de DigiDealGO.

## I.2 TOEKOMSTBEELD: NAAR DIGITAL TWINS VAN DE GEBOUWDE OMGEVING

De bouw-, ontwerp en technieksector<sup>1</sup> staat voor grote uitdagingen gesteld, mede door de sleutelrol die deze sector speelt bij de grote veranderingen waar onze samenleving mee te maken heeft. Deze uitdagingen zijn door de Bouwagenda vertaald naar de volgende doelstellingen (de Bouwagenda, 2016):

1. Komen tot een energie neutrale gebouwde omgeving in 2050; en 100% energie neutrale nieuwbouw van woningen en utiliteitsgebouwen vanaf 2020;
2. 50% minder gebruik van primaire grondstoffen in de bouw in 2030; in 2050 moet de sector geheel circulair zijn;
3. Tenminste 10% productiviteitstijging in de bouwsector in 2025.

Voor het realiseren van deze doelstellingen is onder andere een verregaande digitale transformatie van de bouw-, ontwerp- en technieksector noodzakelijk. Een digitale transformatie die ook helpt om mogelijke nieuwe businessmodellen te ontplooiën die de bestaande barrières in de bouw-, ontwerp- en technieksector doorbreken en leidt tot duurzamer, veiliger en sneller bouwen met meer rendement.

---

<sup>1</sup> De term 'bouw-, ontwerp- en techniek' heeft in dit document betrekking op zowel de B&U-sector als de GWW-sector.

## Bouwsector kent verschillende barrières op het pad naar digitalisering, motivatie om deze weg te nemen ontbreekt



Bron: Digitalisering in de gebouwde omgeving, Juni 2019. INNOPAY / Bouwend Nederland

Voor het doorbreken van de barrières (wat leidt tot hogere efficiëntie en het ontplooiën van nieuwe competitieve activiteiten) is het faciliteren van programmatische gezamenlijke initiatieven, kennisdeling en opleiding nodig. Niet door het bedrijfsleven alleen, maar samen met kennis- en onderwijsinstellingen en met de overheden.

Er is een exponentiële groei in de hoeveelheid data die beschikbaar is en komt vanuit allerlei (digitale) sensoren, meetsystemen en bedrijfsprocessen. Het kunnen beschikken over, en effectief inzetten van, al die data is voor bedrijven, overheden en kennisinstellingen momenteel nauwelijks vorm te geven. Initiatieven blijven vaak binnen bedrijven of in beperkte coalities, en kennisdeling en -ontwikkeling is niet sector breed. Het effectief inzetten van deze enorme en steeds meer toenemende data is voor de bouw-, ontwerp- en technieksector, de overheden en kennis en onderwijsinstellingen een grote uitdaging én een kans. Het ontwikkelen van nieuwe inzichten, instrumenten en werkwijzen om op betrouwbare wijze onderhoud te voorspellen, circulair te bouwen, right-on-time delivery mogelijk te maken, real-time inzicht in kosten te geven, slim in te kopen, slimmer te ontwerpen, en duurzaam te bouwen worden mogelijk als bedrijfsleven – overheid - kennis/onderwijsinstellingen gezamenlijk het uitwisselen van data daadwerkelijk 'waarde' geven door alle databronnen en alle toepassingen te verbinden en anders te gaan samenwerken.

Een instrument dat uitermate geschikt en kansrijk is om de komende jaren gezamenlijk door te ontwikkelen is 'Digital twins'. Bij het gebruik van Digital Twin draait het juist om toegang tot data, het regelen van het delen van die data in de sector en het vormen van een brug tussen de fysieke en de digitale wereld.

In de toekomst heeft elk bouwwerk een digital twin (waar BIM een belangrijk onderdeel van is). Tijdens de levenscyclus van deze bouwwerken (ontwerpen, realiseren, beheren en onderhouden, ontmantelen) wordt informatie over het bouwwerk samengebracht in deze digital twin. Tevens staat het fysieke

bouwwerk (vanaf het moment dat deze wordt gerealiseerd) in verbinding met zijn digitale twin. Hierdoor monitort de digital twin de fysieke twin, leert de digital twin van de fysieke twin en kan de digital twin beslissingen voorstellen of (indien gewenst) beslissingen nemen voor de fysieke twin. De digital twin heeft toegang tot externe online kennisbronnen. Met de digital twin kunnen tijdens de levenscyclus van bouwwerken allerlei simulaties en voorspellingen worden gedaan ten aanzien van het (toekomstige) gedrag van de fysieke twin. Doordat er digital twins zijn van allerlei bouwwerken in de gebouwde omgeving kunnen er ook op netwerkniveau, vanuit een ecosysteem van digital twins, analyses worden uitgevoerd en datagedreven (beleids)keuzes worden gemaakt.

Een digital twin dient voor partijen in de bouw-, ontwerp- en technieksector als informatie- en kennisbron van en voor bouwwerken in de gebouwde omgeving en biedt hen bovendien mogelijkheden om tijdens de levenscyclus van bouwwerken allerlei analyses en simulaties uit te voeren en te leren van de werkelijke prestaties van bouwwerken. Dit biedt kansen om processen over de levenscyclus van bouwwerken te stroomlijnen en te optimaliseren.

Digital twins kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan het behalen van de eerder genoemde doelstellingen van de Bouwagenda. Hieronder worden voor elke van de 3 doelstellingen voorbeelden gegeven van de wijze waarop het toekomstbeeld t.a.v. digital twins kan bijdragen aan het realiseren van de doelstellingen:

- Met digital twins kan het energiegebruik op gebouw en gebiedsniveau worden gemonitord en voorspeld, waardoor het energiegebruik geoptimaliseerd kan worden en vraag en aanbod van energie beter op elkaar kan worden afgestemd. Digital twins worden daarmee een enabler voor het smart grid. Tevens kunnen de inzichten vanuit de digital twins gebruikt worden in de ontwerpfase van nieuwe bouwprojecten.
- Met (een ecosysteem van) digital twins kunnen vraag en aanbod van circulaire bouwelementen en bouwmaterialen beter op elkaar worden afgestemd. Welke gebruikte bouwelementen en bouwmaterialen zijn of komen in een bepaalde periode beschikbaar? Hoe kan de bouwlogistiek worden geoptimaliseerd ('zero emission' bouwen)? Welke prestaties worden verwacht bij het gebruik van die elementen en materialen in een nieuw bouwwerk? En hoe functioneren deze (hergebruikte) elementen en materialen vervolgens tijdens het gebruik?
- Met de toepassing van digital twins tijdens de levenscyclus van bouwwerken kunnen substantiële productiviteitsstijgingen worden behaald door betrokken partijen. Dit komt vooral door: (a) het betere hergebruik van informatie tijdens de levenscyclus van bouwwerken (bijvoorbeeld als input voor ontwerp-, productie-, realisatie, onderhouds- en hergebruiksprocessen), (b) het simuleren en voorspellen van toekomstige situaties/gedrag als input voor besluitvorming en (c) het beter inbrengen van aanwezige kennis in een digital twin en de vanuit digital twins opgedane kennis in digital twins van nieuwe bouwwerken.

Het geschetste 'digital twin toekomstbeeld' sluit tevens nauw aan bij behoeften die door opdrachtgevers en opdrachtnemers vanuit de DigiDealGO zijn geformuleerd (zie onderstaande kader).

**Belangrijke behoeften van opdrachtgevers en opdrachtnemers in de bouw-, ontwerp- en technieksector (DigiDealGO):**

- Een gedigitaliseerde (en slimme) versie van het object (Objectdossier / Materialen paspoort / Digital Twin) waarmee:
- Aangevoerd kan worden dat de gevraagde prestaties geleverd gaan worden
- De ontwerp / realisatie / onderhoud / sloop fasen en processen gefaciliteerd kunnen worden
- De communicatie met opdrachtgever kan worden ondersteund
- Informatie ter beschikking hebben die betrouwbaar is
- Minder informatieverlies hebben bij overdrachtsmomenten tussen partijen
- De beschikking hebben over een informatie infrastructuur die mee kan groeien met technologie en informatie evolutie

Een digital twin is een breed begrip. Een digital twin kan bestaan uit verschillende onderdelen: (a) informatie en kennisbronnen (inclusief actuele meetdata), (b) software/ interface met gebruikers en (c) reken- en analysemodellen. In het 'digital twin toekomstbeeld' voor de bouw-, ontwerp- en technieksector speelt BIM een belangrijke rol. In ons toekomstbeeld wordt asset informatie over de levenscyclus van bouwwerken volgens de BIM filosofie vastgelegd, beheerd, gecombineerd en gebruikt. Ons toekomstbeeld gaat uit van een uitbreiding van de BIM filosofie, waarbij BIM transformeert naar een digital twin. 'Statische' BIM gegevens van bouwwerken worden verrijkt met actuele meetdata van bouwwerken, waardoor de actuele prestaties van bouwwerken kunnen worden gemonitord. En door deze data te combineren met (op AI gebaseerde) voorspellende modellen kan een digital twin leren van zijn fysieke twin en bijvoorbeeld toekomstig gedrag van bouwwerken worden voorspeld. Een digital twin wordt dus gevormd door een combinatie van onderdelen waarin digitale ontwikkelingen als BIM, sensornetwerken en AI een belangrijke rol spelen.

Hoewel digital twins belangrijke toegevoegde waarde gaan leveren in de bouw-, ontwerp- en technieksector dreigt ook het gevaar dat technologische oplossingen te uitgebreid zijn voor de behoeften in specifieke situaties. Heeft elk type bouwwerk en elke fase in de levenscyclus van bouwwerken bijvoorbeeld dezelfde geavanceerde digital twin nodig? Het is dan ook van belang dat er duidelijkheid wordt gecreëerd over welk type digital twin in welke situatie in de bouw-, ontwerp- en technieksector nodig en wenselijk is.

### **I.3 ROL, AMBITIE EN DOELSTELLINGEN BTIC DEELPROGRAMMA DIGITAL TWINS**

Het BTIC deelprogramma digital twins richt zich op het ontwikkelen van de benodigde kennis om de transitie naar het geformuleerde toekomstbeeld mogelijk te maken. Daarbij wordt op een



programmatische wijze kennis ontwikkeld op een aantal gebieden die niet of lastig individueel vanuit partijen uit de bouw-, ontwerp- en technieksector of ICT-sector kunnen worden opgepakt.

Voor de middellange termijn richt het BTIC deelprogramma zich op een drietal onderdelen: (a) het creëren van digital twins, (b) het intelligent maken van digital twins en (c) het toepassen van digital twins. Deze onderdelen zijn hieronder benoemd en gekoppeld aan doelstellingen en kennisresultaten. Het BTIC deelprogramma digital twins richt zich op het ontwikkelen van de benodigde kennis. De kennis zal gevalideerd worden in een aantal cases en gedemonstreerd worden in verschillende fieldlabs. Het ontwikkelen van de kennis gebeurt in samenwerking met de DigiDealGO en partijen uit de bouw-, ontwerp-, en technieksector. Tevens gebeurt het selecteren van cases in samenspraak met partijen uit deze sector. Het breed implementeren van de ontwikkelde kennis ligt vervolgens bij de DigiDealGO en partijen uit de bouw-, ontwerp- en technieksector.

## Het creëren van digital twins (a)

1. Ontwikkelen en valideren van een blauwdruk voor een typologie van digital twins voor bouwwerken in de gebouwde omgeving (met bijbehorende toepassingsgebieden en voordelen).

**Toelichting:** Er zijn vele mogelijke toepassingsvormen van digital twins te onderscheiden en er zijn ook al verschillende concepten ontwikkeld. Maar welke typen digital twins zijn interessant voor de bouw-, ontwerp- en technieksector? En in welke context (type bouwwerk, fase in de levenscyclus van bouwwerken, etc.) is welk type digital twin nu relevant? Welke voordelen levert dit type digital twin dan op? Het is van belang om op sectorniveau te analyseren wat er ontbreekt en een blauwdruk uit te werken voor een typologie van digital twins met bijbehorende toepassingsgebieden en voordelen, om zo een blauwdruk en taal te creëren voor breed geaccepteerde toekomstige digital twin ontwikkelingen en toepassingen.

**Kennisresultaat:** Een blauwdruk voor een typologie van digital twins voor de gebouwde omgeving (en bijbehorende toepassingsgebieden en voordelen).

2. Ontwikkelen en valideren van uniforme afsprakensets voor het (geautomatiseerd) vastleggen, structureren, koppelen en delen van assetdata en -kennis voor digital twins in de gebouwde omgeving.

**Toelichting:** In een digital twin komen allerlei soorten informatie samen die tijdens de levenscyclus van specifieke bouwwerken (door allerlei partijen) wordt vastgelegd. Het gaat hier om 'statische' BIM informatie, maar bijvoorbeeld ook om dynamische data die gegenereerd worden door meetsystemen.

Naast informatie over specifieke bouwwerken (bijvoorbeeld een specifieke beweegbare brug) wordt er binnen de sector allerlei generieke kennis ontwikkeld, vastgelegd en gedeeld over typen bouwwerken (bijvoorbeeld over beweegbare bruggen in het algemeen). Die generieke kennis over typen bouwwerken is van grote waarde bij afwegingen over specifieke bouwwerken op bouwprojectniveau.



De vraag is nu hoe genoemde informatie en kennis vastgelegd (gemodelleerd) moet worden en met welk detailniveau dit moet gebeuren voor verschillende typen digital twins (zie doel 1). Het is van belang om principeafspraken te ontwikkelen die op sectorniveau gebruikt gaan worden voor de vastlegging van informatie en kennis, zodat deze op het niveau van specifieke bouwwerken gebruikt kunnen worden in/voor digital twins en informatie goed uitgewisseld kan worden tussen partijen en projecten. Door eenduidige afspraken kunnen bijvoorbeeld ook op verschillende abstractieniveaus (bouwwerk, wijk, stad, etc.) analyses uitgevoerd worden in een netwerk van digital twins.

**Kennisresultaat:** Uitgewerkte principes voor afspraken voor het vastleggen van informatie en kennis, zodat deze gebruikt kunnen worden in (verschillende typen) digital twins van de gebouwde omgeving. De principes zijn getoetst in een aantal cases (veel voorkomende asset typen en toepassingsituaties).

## Het intelligent maken van digital twins (b)

3. Ontwikkelen en valideren van geavanceerde (AI-gebaseerde) oplossingen om data uit verschillende databronnen (van verschillende partijen) geautomatiseerd te kunnen analyseren (op dataniveau). Op basis daarvan worden verbetervoorstellen gedaan aan gebruikers (of worden geautomatiseerd verbeteringen doorgevoerd). Toepassingsgebieden kunnen zijn:
  1. Detecteren (en oplossen) van knelpunten in data kwaliteit
  2. Detecteren van knelpunten en optimalisatiemogelijkheden in data van bouwwerken c.q. digital twins of op gebiedsniveau in een netwerk van digital twins

**Toelichting:** Bij veel data analyses in en tussen digital twins worden allerlei databronnen geraadpleegd die vaak ook weer door verschillende partijen worden beheerd. De vraag is of er geen geautomatiseerde (AI-gebaseerde) analyses en handelingen uitgevoerd kunnen worden in dit netwerk van databronnen. Huidige (AI-gebaseerde) methoden en technieken zijn nog onvoldoende ontwikkeld en vertaald naar de context van de bouw-, ontwerp- en technieksector.

**Kennisresultaat:** Proofs-of-concept van methoden en technieken voor belangrijke geautomatiseerde data analyse en optimalisatie (in de context van meerdere databases van verschillende partijen). De specifieke toepassingsgebieden waarop gefocust wordt, worden nog nader met de bouw-, ontwerp- en technieksector bepaald. De proofs-of-concept worden getoetst in een aantal representatieve cases.

3. Ontwikkelen en valideren van methoden en technieken om AI te combineren met voorspellende op fysica (domein en vakkennis) gebaseerde modellen en deze te integreren in een digital twin voor een bouwwerk of netwerk van bouwwerken.

**Toelichting:** In geavanceerdere vormen van digital twins worden verschillende digitale technologieën geïntegreerd, zoals BIM, meetdata, voorspellende modellen en AI. Daarnaast moeten analyses op verschillende abstractieniveaus kunnen worden uitgevoerd: binnen een digital twin (voor een bouwwerk) en binnen een netwerk van digital twins (voor een netwerk van bouwwerken). De

belangrijkste uitdaging hierbij is het combineren van op fysica gebaseerde modellen met AI en deze voorspellende modellen te integreren in digital twins. Wat zijn nu methoden en technieken voor deze integratie? Deze kennisontwikkeling is nodig, omdat huidige (AI gebaseerde) methoden en technieken nog onvoldoende zijn ontwikkeld en vertaald naar de context van de bouw- en technieksector.

**Kennisresultaat:** Proofs-of-concept van methoden en technieken voor belangrijke voorspellende (reken) modellen en de integratie hiervan in een digital twin op het niveau van een bouwwerk en een netwerk van bouwwerken. De toepassingsgebieden waarop gefocust wordt, worden nog nader met de bouw-, ontwerp- en technieksector bepaald. De proofs-of-concept zijn getoetst in een aantal representatieve cases.

## Het toepassen van digital twins (c)

4. Ontwikkelen van gebruiksscenario's voor de toepassing van digital twins in verschillende contexten van de bouw-, ontwerp- en technieksector. Tevens in kaart brengen van de effecten van digital twins op (bestaande en nieuwe) rollen in de bouw-, ontwerp- en technieksector en (organisatorische) voorwaarden waaronder deze 'digital twin gebruiksscenario's' succesvol kunnen functioneren.

**Toelichting:** Een belangrijke uitdaging bij de invoering van digital twins in de bouw-, ontwerp- en technieksector is om te bepalen hoe digital twins ingepast kunnen worden in de dagelijkse praktijk van de bouw-, ontwerp- en technieksector. Hoe kunnen deze digital twins gebruikt worden tijdens de levenscyclus van bouwwerken en in de samenwerking tussen partijen? Hoe kan dat uit verschillende bronnen en met verschillend eigenaarschap gedeeld worden? Welke voordelen levert dit op? Welke effecten heeft dit op de processen en rollen in de sector? En onder welke (organisatorische) voorwaarden kunnen digital twins goed functioneren? Dergelijke vragen zullen beantwoord moeten worden om een succesvolle invoering van digital twins te kunnen borgen. In dit onderzoek wordt niet alleen gekeken naar de context van 'traditionele projecten', maar ook naar andere contexten met andere processen en/of business modellen zoals:

- Circulair bouwen;
- Modulair en industrieel bouwen en renoveren;
- Supply chain management en bouwlogistieke optimalisatie (voor verschillende bouwprojecten en ter ondersteuning van beleid);
- Datagedreven beheer- en onderhoud vastgoed.

De definitieve contexten die onderzocht worden, worden in samenspraak met de bouw-, ontwerp- en technieksector bepaald.

**Kennisresultaat:** Gebruiksscenario's voor de toepassing van digital twins in verschillende contexten van de bouw-, ontwerp- en technieksector met bijbehorende voordelen, voorwaarden voor succes en

gevolgen voor bestaande en nieuwe rollen in de sector. Dit kennisresultaat is getoetst in een aantal representatieve cases.

5. Demonstreren van eindproducten in field labs.

**Toelichting:** om kennisresultaten te kunnen demonstreren zullen verschillende fieldlabs opgezet worden. Deze (regionale) fieldlabs en de uitgevoerde demonstratietrajecten zullen hierbij tevens actief ingezet worden in het kader van scholing, bijscholing en omscholing op MBO, HBO en universitair niveau, om zo zorg te dragen voor voldoende en gekwalificeerd personeel dat bekend is met de nieuwste digitale technologieën en werkmethodes.

**Kennisresultaat:** dit onderdeel betreft verdere professionalisering van de bouw-, ontwerp- en technieksector met bovenstaande kennisresultaten. Door gerichte kennisoverdracht zal bijgedragen worden aan de training en opleiding van medewerkers op voor de bouw-, ontwerp en technieksector.

## I.4 DIT DOCUMENT (LEESWIJZER)

Dit document beschrijft de programmalijn 'Digital Twins', inclusief essentiële relaties met AI, VR/AR en robotisering & automatisering, van het BTIC middellange termijn kennis- en innovatieprogramma digitalisering (focus: 2 tot 6 jaar). In hoofdstuk 2, 3 en 4 worden de hoofdlijnen van kennisontwikkeling zoals beschreven in hoofdstuk 1 nader uitgewerkt. In deze hoofdstukken worden de probleemstelling, stand-van-zaken (welke kennis is al beschikbaar en welke kennis ontbreekt er nog) en focus van kennisontwikkeling verder uitgelicht.

Het gaat om:

- *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.

Deze activiteiten worden beschouwd als iteratief (niet sequentieel) waarbij het creëren en het intelligent maken van de digital twins mede afhankelijk is van de toepassing / gebruiksscenario's.

In hoofdstuk 5 wordt een praktische insteek voorgesteld voor professionalisering van de bouw en kennisdisseminatie door middel van fieldlabs.

In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de wijze waarop de binnen het BTIC deelprogramma digital twins ontwikkelde kennis verspreid en geïmplementeerd kan worden binnen de bouw-, ontwerp- en technieksector. De DigiDealGO speelt hierin een belangrijke rol, met name bij de inbedding van de ontwikkelde kennis in beleid op sector- en organisatieniveau.

## 2. Het creëren van digital twins

### 2.1 PROBLEEMSTELLING EN KENNISDOELEN

#### Probleemstelling

Voor het creëren van digital twins is het belangrijk om een aanpak te hebben voor (a) informatiemodellering, (b) kennismodellering, en (c) het inwinnen van data.

Verschillende soorten assetdata zijn nodig voor het creëren van digital twins. Deze data zijn al dan niet gemodelleerd volgens bepaalde standaarden. Er zijn verschillende, niet samenhangende uitgangspunten, standaarden en afspraken met betrekking tot informatiemodellering en kennismodellering op basis van assetdata. Dit vormt een uitdaging bij het creëren van digital twins.

In de praktijk wordt veel (master)planning, ontwerp en werkvoorbereiding in Bouwwerk Informatiemodel (BIM) en Geografisch Informatiesysteem (GIS) gedaan, terwijl inspecties en monitoring plaatsvinden via bijvoorbeeld sensoren. Data die voortkomt uit real-time monitoring of LiDAR-scans van kunstwerken is hierbij een extra uitdaging vanwege het grote volume van ruwe data, die vaak eerst omgezet (verrijkt) moeten worden naar 'betekenisvolle' data.

#### Kennisdoelen

Kennisontwikkeling zoals beschreven in dit hoofdstuk sluit aan bij doel<sup>2</sup> 2 en het conceptuele deel van doel 1 (met name bij informatie -en kennismodellering ten behoeve van digital twins).

In de volgende subhoofdstukken de richting voor kennisontwikkeling wordt beschreven. Dit heeft betrekking op: (a) een uniforme aanpak voor informatiemodellering, asset lifecycle informatiemanagement en data integratie in digital twins; (b) een uniforme aanpak voor kennismodellering, -borging en -deling; en (c) een methode voor het efficiënt creëren en het met data voeden van digital twins van bestaande bouwwerken.

### 2.2 INFORMATIEMODELLERING, ASSET LIFECYCLE INFORMATIEMANAGEMENT EN DATA INTEGRATIE

#### Stand van zaken

Er zijn veel nationale en internationale standaarden en afspraken met betrekking tot informatiemodellering. Sommige standaarden/afspraken zeggen iets over het formaat (ISO STEP, XML, OWL/RDF) waarin data wordt opgeslagen of de benadering hiervan (querytalen zoals SPARQL of GraphQL). Andere standaarden/afspraken richten zich op het modelleren van concepten uit de

---

<sup>2</sup> Zie toelichting kennisdoelen in hoofdstuk 1.

werkelijkheid in datamodellen ontologieën of objecttype-bibliotheken (OTL). Weer andere standaarden leggen een link met de levenscyclus van een asset. De Nederlandse VISI standaard geeft bijvoorbeeld aan wie, wat, en wanneer moet uitwisselen. Een standaard zoals de COINS/ISO ICDD container geeft aan hoe data en documenten gecombineerd kunnen worden. Daarnaast zijn er momenteel verschillende Informatie Leveringsspecificaties (ILS) ontwikkeld door grote opdrachtgevers, opdrachtnemers, en koepelorganisatie.

Over de datastructuren en kennis wordt er in de wetenschap en R&D gesproken van ‘data ecosystemen’ of ‘netwerken van ontologieën’. Daar wordt een uniforme aanpak in de vorm van een gemeenschappelijke Modelling & Linking Guide voor de data en kennis als essentieel gezien. In deze aanpak gaan Linked Data en Semantic Web technologieën van de W3C een steeds belangrijker rol spelen voor het modelleren, vastleggen en verbinden van data en bijbehorende data structuren en kennis vanuit verschillende databronnen door middel van Object Type Libraries (OTLs) en ontologieën. Binnen deze context ligt de focus van kennisontwikkeling op het creëren van overzicht, analyse en verbinding tussen bestaande data en kennis standaarden/afspraken.

Waar digitalisering met Bouwwerk Informatiemodel (BIM) begon bij het uitwisselen van (3D) virtuele ontwerpmodellen, ontstaat tegenwoordig de behoefte om ontwerpdata te hergebruiken tijdens uitvoering, beheer, onderhoud en sloop. Dit levert een zoektocht op naar manieren waarop verschillende stakeholders gedurende de levenscyclus van een bouwwerk data kunnen verzamelen, registreren, standaardiseren en ontsluiten. Deze zogenaamd Asset Lifecycle Information Management (ALIM) vraagt tevens om verandering van de rollen en taken van stakeholders. Momenteel wordt er over de levenscyclus van een bouwwerk gebruik gemaakt van verschillende informatiestandaarden, definities, gesloten systemen en leverancier-afhankelijke dataplatformen en applicaties. Gedeelde definities en open platformen zijn urgent nodig om een de gefragmenteerde werkwijze te kunnen veranderen.

Een uniforme aanpak is nodig zowel met betrekking tot data standaarden als het gebruik van dataplatformen voor digital twins. Grote IT-bedrijven zoals Google, Microsoft, Cisco, etc. bieden Smart City platformen aan op de markt. De eigendom van data binnen deze platformen is onduidelijk. Vaak spelen juridische aspecten daar een belangrijke rol. Dit is niet wenselijk in de Europese markt en daarom is de Europese Unie gestart met o.a. de ontwikkeling van FIWARE. De toepassing hiervan in de praktijk moet nog plaatsvinden.

### **Focus van kennisontwikkeling**

De focus van kennisontwikkeling ligt op: (1) nieuwe/aangepaste datamodellen (voor digital twins); (2) bijdragen/impact voor de standaarden; en (3) optimaal gebruik maken van platforms voor big data en digital twins. Hieronder worden deze onderwerpen kort beschreven:

- Kennisontwikkeling is nodig voor het maken van keuzes, afstemming, en slimme toepassingen van standaarden voor Asset Management (AM), Building Information Modelling (BIM), Geospatial Information Systems (GIS), Systems Engineering (SE), en Monitoring & Control (M&C). Het standaardiseren en het maken van afspraken hebben betrekking op het vastleggen, structureren, koppelen, en delen van assetdata en kennis. Dit zal leiden tot nieuwe en vernieuwde datamodellen met onderlinge verbindingen en standaardisatie hiervan.
- Bij informatiemodellering en asset lifecycle informatiemanagement wordt er rekening gehouden met de behoefte aan uitbereiding van bepaalde standaarden, bijvoorbeeld om standaarden ook om te kunnen laten gaan met dynamische (real-time) data. W3C heeft het initiatief genomen om ontologieën te definiëren voor bijvoorbeeld temporele aspecten (Time Ontology) en het vastleggen van sensordata (Semantische Sensor Netwerken (SSN)).
- Tevens levert kennisontwikkeling input voor de uitbreiding van de meest relevante standaarden, bijvoorbeeld voor ISO ICDD Basic Semantics, CEN Linked Data implementation for Product Data Templates, NEN Ordeningsregels voor gegevens, NEN Conditiemeting, CBNL Next Generation, BIM – GIS integratie, BIM Geo-locatie, BIM shape – GIS shape.
- Voor ontwikkeling van een digital twin over het bouwwerk levenscyclus, is nieuwe kennis van asset lifecycle information management nodig ten behoeve van een eenduidige aanpak voor het verzamelen, onderhouden, verrijken, opslaan en gebruiken van de informatie van gebouwen en infrastructuur. Het betrouwbaar combineren van data uit verschillende bronnen en het ontsluiten van de deze informatie voor de juiste partijen is vanuit de platformaanpak een belangrijk aandachtspunt. Daarbij dient nieuwe kennis ontwikkeld te worden met betrekking tot de meest optimale benaderingen voor een generieke / open dataplatform om informatie op te slaan en te beheren gedurende de levensduur van gebouwen en infrastructuur, zowel individueel als collectief in een ‘Smart District’ of ‘Smart City’.

## 2.3 KENNISMODELLERING, BORGING -EN DELING

### Stand van zaken

Van oudsher is de bouw een ambacht. Hoewel grote stappen gemaakt zijn in vorm van automatisering, is nog veel kennis en kunde gevat in de hoofden van het personeel. Een belangrijk ‘human capital’ aspect is het extraheren, expliciet vastleggen en borgen van kennis zodat deze kan worden benut in combinatie met digitale ondersteuning. Het verhogen van de capaciteiten, kwaliteiten en instroom van personeel met geschikte digitalisering competenties is nodig voor het oplossen van het tekort aan mensen in de bouw. Dit zal leiden tot een sector-brede transitie naar optimale inzet van human capital in de digitale bouw -en infrasector.

Op het gebied van kennisborging en -deling zijn verschillende studies en onderzoeksprojecten uitgevoerd, een voorbeeld hiervan is het RWS KEBO (Kennis Borging) project voor NDO-inspectietechnieken bij natte kunstwerken. Desondanks zijn de verschillende projecten en studies nog

nooit met elkaar verbonden. Er is veel aandacht voor bouwdata, maar relatief weinig aandacht voor het idee dat de structuur van de data nauw samenhangt met eerdergenoemde kennis. Er ontbreekt aan een integrale aanpak die hogere efficiëntie en kruisbestuiving kan leveren.

### Focus van kennisontwikkeling

De focus van kennisontwikkeling ligt op het ontwikkelen van richtlijnen voor de modellering van kennis, zodat deze eenduidig wordt vastgelegd en ook bruikbaar is in een digital twin. Het modelleren van kennis hierbij is van belang zowel voor mens als voor software.

De focus van kennisontwikkeling kan vertaald worden naar de volgende onderzoeksthema's:

Identificeren welke human capital belangrijk is voor digitalisering, en op welke wijze kennisborging - en deling geautomatiseerd kan worden. De kennisvragen hierbij zijn: Hoe kunnen we uniform en toekomstbestendig bouwkennis vastleggen, borgen, en delen? Op welke manier passen we die kennis toe bij ontwerp, bouw, -en onderhoudsbeslissingen?

Ontwikkeling van een toekomst-vaste wijze om de kennis van ontwerpers, specialisten, bouwers en assetmanagers toegankelijk te maken en de leercurve van nieuwe medewerkers te versnellen.

## 2.4 DATA INWINNING EN HET CREËREN VAN DIGITAL TWINS VAN BESTAANDE BOUWWERKEN

### Stand van zaken

Het creëren, updaten en voeden van digital twins van bestaande bouwwerken begint met data inwinning. Data kan bijvoorbeeld ingewonnen worden met behulp van foto's en laserscans. Naast statische beelden kan real-time data over een gebouw of infrastructuurasset ook worden verzameld, bijvoorbeeld uit sensoren. Zo is het met het Internet of Things (IoT) al mogelijk om data uit installatiesystemen te verzamelen via sensoren. Dergelijke data kunnen ons wat vertellen over de prestaties van de installaties en ook over bijvoorbeeld water- en energieverbruik, bezetting van ruimten, en gewichtsbelasting van wegdekken. Deze data zijn bruikbaar voor beheer en onderhoud, om bestaande virtuele gebouwmodellen van bouwwerken te verfijnen en te updaten, en als basis voor toekomstige ontwerpen.

Echter werkwijzen, datamodellen en (beheer)systemen zijn op dit moment nog niet aangepast op dergelijke input vanuit installatiesystemen en sensoren. Verder gaat de verwerking van (remote) sensoren en 3D scan data in BIM en GIS nog niet foutloos en automatisch. Als gevolg hiervan, kunnen point clouds nog niet worden toegepast bij bepaalde taken, bijvoorbeeld bouwprocesvoortgangcontrole. Verder ondersteunt veel software de integratie van point clouds met BIM-data nog niet.



## Focus van kennisontwikkeling

De focus van kennisontwikkeling ligt op betrouwbare en nauwkeurige methoden en technieken waarop asset-data frequent en geautomatiseerd verzameld kan worden. De hoofdaspecten zijn: inwinning, beoordeling en registratie van data tijdens definitie, ontwerp, realisatie, beheer, -en onderhoudsprocessen, en daarbij de integratie en beoordeling van de ingewonnen data. Belangrijke uitdagingen daarbij zijn de accuraatheid van de informatie en de mogelijkheid om informatie van het object mee te laten evolueren gedurende de levenscyclus van het bouwwerk ter ondersteuning van communicatie, toetsing en besluitvorming.

Onderzoek naar efficiënte digital twin-reconstructie met scan -en sensordata is nodig. Er wordt bestudeerd hoe data uit sensoren (voor bijv. monitoring van installaties of gebruik metingen) kunnen worden ingezet om een digital twin te ontwikkelen en te verrijken. Het onderzoek identificeert de geschikte manieren voor de installatie van sensoren, analyseert de sensordata, en ontwikkelt prototype algoritmen voor extractie van topologie, geometrie en attribuut-informatie. Tevens is onderzoek nodig naar de integratie van 3D point clouds van stedelijke gebieden in BIM-GIS. Dit onderzoek tracht met point cloud data digital twins te ontwikkelen voor ontwerptoeepassingen. Hier wordt gebruik gemaakt van open geo-bouw standaarden, meshing en voxelization. Er wordt onderzocht hoe deze point clouds en BIM-data kunnen worden geïntegreerd in 3D GIS-omgevingen.

Kennisontwikkeling richt zich hierbij op de automatisering van de inwinning van ruwe data en de verwerking van deze data tot een digital twin. Huidig onderzoek naar visualisatie van data van publieke infrastructuur geeft aan dat het aan kennis ontbreekt om aan te tonen hoe compleet, betrouwbaar en bruikbaar infra- en geodatamodellen zijn. Bij de verzameling van data uit gebouwen wordt IfcSensor ontwikkeld, maar er is nog niet bekeken hoe gebouwd data BIM-modellen kan helpen updaten en daarom dient nieuwe kennis ontwikkeld te worden.

## 3. Het intelligent maken van digital twins

### 3.1 PROBLEEMSTELLING EN KENNISDOELEN

#### Probleemstelling

Voor het intelligent maken van digital twins is het belangrijk om een aanpak te hebben voor (a) validatie van data en analysemodellen en (b) integratie van Artificial Intelligence in digital twins.

De ontwikkeling van AI volgt een top-down of een bottom-up benadering. In de top-down benadering stellen experts verschillende leidraden ('common-sense') voor machine interpretatie van een probleem mede afhankelijk van de hoeveelheid datasets. In de bottom-up benadering wordt statistische analyse gebruikt om patronen te herkennen op basis van grote hoeveelheden data. Deze bottom-up benadering wordt ook wel Machine Learning (ML) genoemd. AI wordt nog maar beperkt toegepast in de bouw- en infrasector. Een eerste reden hiervan is, dat de leidraden (heuristiek) van het ontwerp van een bouwwerk niet duidelijk geformuleerd zijn en daarmee kan top-down AI moeilijk toegepast worden voor ontwerpprocessen. Ten tweede, voor bottom-up AI zijn grote hoeveelheden data nodig die nog niet altijd beschikbaar, bruikbaar of toegankelijk zijn.

#### Kennisdoelen

Kennisontwikkeling zoals beschreven in dit hoofdstuk sluit aan bij doelen <sup>3</sup> 3 en 4. De volgende subhoofdstukken zijn een de eerste uitwerking van de richting voor kennisontwikkeling in: validatie van data en analysemodellen en integratie van AI in digital twins.

### 3.2 VALIDATIE VAN DATA- EN ANALYSEMODELLEN

#### Stand van zaken

Het valideren en het geschikt maken van Big Data voor digital twins, analyse en simulaties zijn een uitdaging. Een voorbeeld: in de Nederlandse woningbouw sector zijn datasets over woningeigenschappen, markt- en consumentengedrag sinds kort beschikbaar, maar deze datasets zijn echter niet geschikt voor geaggregeerde analyse van tekortkomingen in woningen en openbare ruimten op het niveau van bevolkingsgroepen. Data-analyse technologieën kunnen experts en beleidsmakers helpen om correlaties en causale verbanden tussen data en features/functionaliteiten af te leiden. De uitkomst hiervan wordt dan gebruikt voor het maken van toekomstscenario's.

Om dit in de praktijk te brengen, zijn er nog substantiële beperkingen, met name:

- Data bevatten veel onzekerheden en de datamodellen kennen beperkte mogelijkheden om deze te kunnen beschrijven.

---

<sup>3</sup> Zie toelichting kennisdoelen in hoofdstuk 1

- Er ontbreken algoritmen die nieuwe data automatisch kunnen verwerken, analyseren en visualiseren; trends kunnen detecteren; en rekening kunnen houden met onzekerheden.
- Simulaties op basis van BIM of digital twin data zijn vaak een 'black box' en daardoor niet controleerbaar.

### Focus van kennisontwikkeling

Kennisontwikkeling moet leiden tot een methodologie waarmee onzekerheden en risico's behorend bij data van bouwwerken inzichtelijk kan worden gemaakt en geregistreerd. Dit houdt in dat algoritmen en agent technologie (zogenaamd 'bots') worden opgesteld die zelf kunnen leren en hiermee de kwaliteit van informatie verhogen. Nieuwe kennis dient te worden ontwikkeld voor de toepassing van Semantic Linked Data in combinatie met 'bots'. Daarbij wordt geavanceerde compliance checking ontwikkeld voor BIM en digital twins voordat deze modellen worden ingezet voor simulatie doeleinden.

Bij het omgaan met Big Data voor digital twins is er behoefte aan security en risicomanagement strategieën voor datavalidatie, data analytics en AI. Hierbij dient de potentie van Blockchain technologie inzichtelijk en toepasbaar te worden gemaakt. Kennisvraag hierbij is: 'Hoe kan Blockchain technologie toegepast worden bij het delen van informatie in ontwerp, inkoop, realisatie, beheer, onderhouds, -en sloopp processen, en welke meerwaarde brengt deze technologie met zich mee?' Als onderdeel van kennisontwikkeling dient een proof-of-concept opgesteld te worden van gebouw/infra/materiaal dossiers met gedistribueerde registratie waar technieken (o.a. Blockchain) de basis kunnen vormen voor een robuust systeem met een grote mate van privacy, veiligheid en transparantie. De meerwaarde van deze technologie kan getoetst worden mede in relatie tot de juridische en financiële aspecten bij vergunningsverlening en keuring van bouwwerken en installaties.

Tegelijkertijd richt kennisontwikkeling zich op het benutten van nieuwe mogelijkheden van digitale data-analyse technieken op basis van digital twins van gebouwvoorraad, bijvoorbeeld in de woningbouw. Hierbij worden algoritmes voor management en planning van woningen en woonwijken ontwikkeld o.a. ten behoeve van het versnellen van renovatie van de woningvoorraad. Binnen de EU is in juni 2018 de start gemaakt met de introductie van Smart Readiness Indicators (SRIs) voor gebouwen als onderdeel van de revisie van Energy Performance of Buildings Directive (EPBD). Dit Europese initiatief is ook voor Nederland belangrijk, bijvoorbeeld in het kader van het beleid om energetische renovatie te versnellen en de gebouwvoorraad gasvrij te maken. Nieuwe kennis is nodig voor de integratie van Smart Readiness Indicators (SRI) in de datasets van de huidige woningvoorraad en de toepassing van SRI in relatie tot data-analyse technieken met digital twins.

### 3.3 INTEGRATIE VAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DIGITAL TWINS

#### Stand van zaken

De ontwikkeling van Artificial Intelligence (AI) volgt een top-down of een bottom-up benadering. In de top-down benadering stellen experts verschillende leidraden ('common-sense') voor machine interpretatie van een probleem mede afhankelijk van de hoeveelheid datasets. In de bottom-up benadering wordt statistische analyse gebruikt om patronen te herkennen op basis van grote hoeveelheden data. Deze bottom-up benadering wordt ook wel Machine Learning (ML) genoemd. AI wordt nog maar beperkt toegepast in de bouw- en infrasector. Een eerste reden hiervan is, dat de leidraden (heuristiek) van het ontwerp van een bouwwerk niet duidelijk geformuleerd zijn en daarmee kan top-down AI moeilijk toegepast worden voor ontwerpprocessen. Ten tweede, voor bottom-up AI zijn grote hoeveelheden data nodig die nog niet altijd beschikbaar, bruikbaar of toegankelijk zijn.

Data Analytics en Artificial Intelligence (AI) technologieën maken toepassingen mogelijk zoals ketenautomatisering bij vergunningverlening en handhaving, bewijsvoering dat bij oplevering aan bouwregelgeving is voldaan, en metingen van de bouwwerkprestaties en vergelijking hiervan met eisen. Op de middellange termijn voorzien we dat optimalisering op gebied van functie, energie verbruik bij gebouwen, infrastructuur en voertuigen mogelijk wordt gemaakt door koppeling van simulaties, sensoren en aansturingssystemen met behulp van AI.

De komst van open standaarden om steden en gebouwen te beschrijven biedt een antwoord op het probleem om consistent semantische data van de gebouwde omgeving vast te leggen. Ontwikkelingen met betrekking tot Generative Adversarial Networks (GANs) is van bijzonder belang daarbij om 'onhandelbare' data te tackelen. In een GAN 'spelen twee aparte Machine Learning (ML) systemen kat-en-muis' zodat ze elkaars kunstmatige intelligentie kunnen trainen onder de juiste begeleiding. Standaardisatie en generieke datamodellen dragen bij aan de grotere mogelijkheden voor ML en AI. Er wordt een inventarisatie gemaakt van beschikbare data uit web-gebaseerde publieke bronnen (zoals CBS, NVM, BAG, Google) en databases van ketenpartijen. Met fusietechnieken wordt deze data geïntegreerd in toekomstbestendige databases.

#### Focus van kennisontwikkeling

Voor een effectieve implementatie in de bouw en infra richten we ons op de toepassing van AI in combinatie met digital twins. Hier ligt de focus op de ontwikkeling van een raamwerk voor Data Analytics en AI bij een 'predictive twin' van een bouw of infra-asset. Kennisontwikkeling wordt gericht op nieuwe methoden die besluitvorming ondersteunen op basis van een set van data met verschillende kwaliteitsniveaus en oorsprong. Hierbij hoort de opmerking dat besluiten (over het algemeen) niet door kunstmatige intelligentie worden genomen, maar dat kunstmatige intelligentie het vermogen heeft om

meer oplossingen te bedenken dan mensen en deze ter beschikking kan stellen voor besluitvorming door mensen.

Verder is kennisontwikkeling nodig om de mogelijke toepassingen van AI in digital twins te implementeren in verschillende proofs-of-concept, bijvoorbeeld: voor assetmanagement en monitoring van bruggen, voor geautomatiseerde ontwerpprocessen, voor toetsing bouwregelgeving en voor Smart Buildings en Smart Cities concepten.

Een voorwaarde om de gewenste opschaling in AI te bereiken is dat de nieuwe technologie niet afhankelijk is van standalone (commerciële) software systemen. Er dient dus technologie ontwikkeld te worden om verschillende analyseprocessen en kunstmatige intelligentie schaalbaar beschikbaar te stellen aan de stakeholders in het ontwerp, engineering, bouw -en beheerproces.

## 4. Het toepassen van digital twins in verschillende gebruiksscenario's

### 4.1 PROBLEEMSTELLING EN KENNISDOELEN

#### Probleemstelling

Een belangrijke uitdaging bij de invoering van digital twins in de bouw-, ontwerp- en technieksector is om te bepalen hoe digital twins ingepast kunnen worden in de dagelijkse praktijk van de bouw-, ontwerp- en technieksector: Hoe kunnen deze digital twins gebruik worden tijdens de levenscyclus van bouwwerken en in de samenwerking tussen partijen? Welke voordelen levert dit op? Welke effecten heeft dit op de processen en rollen in de sector? En onder welke (organisatorische) voorwaarden kunnen digital twins goed functioneren? Dergelijke vragen dienen beantwoord te worden om een succesvolle invoering van digital twins te kunnen borgen.

Het is van belang om bij de beantwoording van deze vragen niet alleen te kijken naar de context van 'traditionele projecten', maar ook naar andere contexten met andere processen en/of business modellen.

#### Kennisdoelen

Kennisontwikkeling in gebruiksscenario's in relatie tot digital twins sluiten aan bij kennisdoel<sup>4</sup> 5 en het praktische deel van kennisdoel 1 (typologieën van digital twins in relatie toe gebruiksscenario's). De volgende subhoofdstukken zijn een de eerste uitwerking van de richting voor kennisontwikkeling op toepassingsgebieden: circulair bouwen; modulair en industrieel bouwen en renoveren; en supply-chain management en bouwlogistieke optimalisatie. Voorzien is datagedreven beheer- en onderhoud coöperatief vastgoed op vergelijkbare wijze als gebruiksscenario op te pakken.

### 4.2 Circulair bouwen

#### Stand van zaken

Momenteel zijn er een aantal private initiatieven (o.a. Madaster) die zicht richten op het creëren van een materialendatabase, maar de integratie met BIM en digital twins is nog niet gebeurd. Tevens zijn er behoeften om vraag en aanbod van circulaire bouwelementen en materialen beter op elkaar af te stemmen. Digital twins van bouwwerken kunnen een rol spelen bij het bijeen brengen van vraag (t.a.v. de ontwikkeling van een nieuw bouwwerk) en aanbod (de beschikbaarheid en prestaties van bestaande bouwelementen). De vraag is of en hoe vraag en aanbod beter bij elkaar kunnen worden gebracht (gebruik makend van digital twins) en onder welke voorwaarden dat kan gebeuren.

---

<sup>4</sup> Zie toelichting kennisdoelen in hoofdstuk 1

### Focus van kennisontwikkeling

Kennisontwikkeling richt zich op de ontwikkeling van zogenaamd gebouwdossiers en materialenpaspoorten van bouwwerken (in digital twins). Er is onderzoek nodig met betrekking tot de (statische en dynamische) data die van bouwelementen vastgelegd moeten worden ten behoeve van circulair bouwen.

Daarnaast richt kennisontwikkeling zich op scenario's rond het gebruik van digital twins bij de ontwikkeling van nieuwe bouwwerken. Onderzoek richt zich met name op hoe digital twins gebruikt kunnen worden voor (a) het vastleggen van (circulaire) gebouwinformatie, (b) het simuleren van prestaties van circulaire gebouwelementen en (c) het matchen van vraag en aanbod t.a.v. circulaire gebouwelementen en bouwmaterialen. Er wordt tevens gekeken organisatorische veranderingen nodig zijn om deze gebruiksscenario's te kunnen realiseren (veranderingen in business modellen, processen, informatievoorziening, etc.).

## 4.3 INDUSTRIEEL EN MODULAIR BOUWEN EN RENOVEREN

### Stand van zaken

Modulair bouwen en renoveren gebaseerd op een productplatform is mogelijk met een set van gestandaardiseerde subsystemen (bouwblokken, modules) en interfaces. Deze zijn met de intentie gepland en ontwikkeld om een gemeenschappelijke structuur te vormen van waaruit een stroom van afgeleide producten efficiënt kan worden ontwikkeld en geproduceerd. Vanuit het platform kan dus een heel scala aan oplossingen worden samengesteld en geleverd. Een product platform filosofie gaat vaak niet alleen uit van gestandaardiseerde producten, maar ook van gestandaardiseerde (gedigitaliseerde) processen en toeleveringsketens.

Productplatforms worden in andere industrieën gebruikt om de voordelen van industriële productie(capaciteit) te combineren met het kunnen leveren van individuele / personaliseerbare producten. De toepassing van product platforms, in combinatie met geïndustrialiseerde en gedigitaliseerde processen breekt in de bouw-, ontwerp- en technieksector steeds verder door.

### Focus van kennisontwikkeling

Digital twins en robotisering zijn belangrijke *enablers* voor industrieel en modulair bouwen en renoveren. Hierbij ligt de focus van kennisontwikkeling op nieuwe methoden om met behulp van digital twins en robotisering processen rond ontwerp, productie, levering en assemblage van componenten te stroomlijnen en te automatiseren. Hiervoor zijn de juiste aanpakken en modellen nodig om BIM-data en digital twins geschikt te maken voor *real-time* en data gedreven aansturing en



monitoring van ontwerp-, (gerobotiseerde) productie, leverings- en assemblageprocessen van modulaire concepten en mass-customization.

De vraag hierbij is wat gebruiksscenario's zijn voor de toepassing van digital twins en robotisering in kader van modulair en industrieel bouwen en renoveren? Wat zijn de voordelen van deze toepassing, wat zijn voorwaarden voor succes en wat zijn gevolgen voor bestaande en nieuwe rollen in de verschillende processen? Naast de technische implementatie is het inbrengen van de gebruikerswensen en -gedrag een belangrijk aandachtspunt.

## 4.4 SUPPLY-CHAIN MANAGEMENT EN BOUWLOGISTIEKE OPTIMALISATIE

### Stand van zaken

In een typisch bestaand bouwproces worden toeleveranciers benaderd nadat ontwerp- en planningskeuzes zijn gemaakt. Hun kennis en input wordt daarmee beperkt benut. Een gevolg hiervan is dat een grondige afweging van logistieke keuzes (d.w.z. vervoersstromen naar, op en van de bouwplaats of meerdere bouwplaatsen) momenteel regelmatig suboptimaal is. Een bijkomstigheid is dat hierbij momenteel veel vertrouwd wordt op ervaring en expert-oordelen, zonder dat deze experts ondersteuning krijgen van meer geavanceerde simulatie-, analyse- of besluit ondersteuningssystemen.

Er ontstaat bovendien grotere druk op een optimalisering van het logistieke proces vanwege de transitie die Nederland maakt richting circulaire economie en de noodzaak om tot emissieloos bouwen te komen. Hierbij is niet alleen een logistieke optimalisering nodig om bouwprocessen te verbeteren, maar dient ook inzicht te ontstaan in de (her)bruikbaarheid van bouwdelen -en materialen en de uitstoot van CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en fijnstof als onderdeel van het bouwproces.

Steeds meer productleveranciers leveren zogenaamde productbibliotheken, maar deze zijn vaak bruikbaar door specifieke gebruikers, moeilijk te vergelijken met bibliotheken van andere aanbieders, en bovendien niet te combineren met andere bouwdelen of een gebouw als geheel.

### Focus van kennisontwikkeling

Kennisontwikkeling is nodig om digital twins toe te passen in digitale toelevering, bouwlogistiek en bouwplaats optimalisatie, eventueel in combinatie met robotisering. Op het gebied van bouwlogistiek kan een digital twin plannings- en uitvoeringsprocessen ondersteunen met zogenaamde 4D-modellen en geautomatiseerde controles uitvoeren om veiligheidsrisico's, vertragingen en overschrijding van opslagkosten tijdig op te sporen en op te lossen. Dit zal een positieve impact creëren door effectievere, veiligere en efficiëntere bouwplaatsen met name in drukke steden. AI kan toegepast worden in

combinatie met digital twins als optimalisatietechniek voor bouwlogistiek planning en uitvoeringsprocessen.

Onderzoek behorend bij de kennisontwikkeling zal gericht zijn op digital twin methoden en software robot (bots) technologieën om: (1) kennis en data van toeleveranciers al vroeg te betrekken (bijvoorbeeld vanaf de vroege ontwerpfase); (2) de verdere industrialisatie van het bouwproces te faciliteren door stroomlijning van ontwerp, productie (inclusief 3D printing), levering, realisatie en onderhoud; en (3) digital twins (op basis van o.a. real-time 4D BIM-modellen) toepasbaar te maken voor ontwerpvalidatie, bouwlogistiek, en aansturing van robots.

Er wordt gekeken naar verschillende gebruiksscenario's, de voordelen die dit leveren voor de betrokken partijen, en de voorwaarden waaronder deze gebruiksscenario's succesvol kunnen verlopen. Tevens wordt er gekeken naar de gevolgen voor de (bestaande en nieuwe) rollen in het bouwproces.

## 5. Fieldlabs en training

### 5.1 KENNISDOELEN EN MOGELIJKHEDEN FIELDLABS VOOR DIGITALISERING

Om de praktijk klaar te maken voor adoptie van nieuwe digitale technologieën, zijn niet alleen ontwikkeling en onderzoek nodig, maar ook praktische experimenten en trainingen. Dit kan geschieden via fieldlabs. BTIC kan aanhaken bij de lopende fieldlabs initiatieven zoals ZoARG | ReDUCE (SOMA en UTwente), Stichting Pioneering (UTwente), Spark (TU/e) and Green Village (TUD), BuildinG (Hanze Hogeschool en TNO) en Stipo. Deze Field Labs kunnen tevens worden ingezet voor kennisdisseminatie.

Bij de fieldlabs voor digitalisering wordt bepaalde ontwikkelde kennis gedemonstreerd. Daarbij worden vaardigheden en ervaringen opgebouwd, o.a. in combinatie met robotisering en training met behulp van Virtual Reality en Augmented Reality (VR en AR) technologieën. De uitgevoerde demonstratietrajecten zullen hierbij actief ingezet worden in het kader van scholing, bijscholing en omscholing op MBO, HBO en universitair niveau.

Fieldlab activiteiten in relatie tot digital twins sluiten aan bij kennisdoel<sup>5</sup> 5 en het praktische deel van kennisdoel 6.

### 5.2 DEMONSTREREN VAN DIGITAL TWINS EN ROBOTISERING

Verschillende fieldlab aanpakken zijn mogelijk om te demonstreren hoe digital twin data gebruikt kan worden voor het aansturen van robots. Enkele voorbeelden:

- Proef met robotisering op de bouwplaats met inzet van digital twins.
- Proef met fysieke autonome robots en 3D-printing / additive manufacturing technologieën voor in de fabriek / werkplaats (off-site production) in het kader van industrieel / prefab bouwen.

Hiervoor is onderzoek nodig om te bepalen welke digital twin data geïntegreerd moet worden om een dergelijke vorm van industrialisatie mogelijk te maken. Componenten die van verschillende leveranciers komen moeten geheel op elkaar afgestemd zijn en op het juiste moment geleverd worden. Dit vraagt een andere werkwijze waarbij het slim gebruik van data centraal staat.

Dit onderwerp wordt verder uitgewerkt in het deelprogramma robotisering–industrialisatie.

---

<sup>5</sup> Zie toelichting kennisdoelen in hoofdstuk 1

### 5.3 TRAINING MET BEHULP VAN VR/AR

De impact van Virtual Reality en Augmented Reality technologieën (VR en AR) in de bouw-, ontwerp- en technieksector in verschillende fasen van een bouw- of infrastructuurproject wordt steeds groter. Momenteel wordt VR voornamelijk toegepast aan het begin van de bouwwerk levenscyclus, bijvoorbeeld: (1) ter ondersteuning van het voorlopige ontwerp en (2) ter visualisatie van de geplande werkzaamheden tijdens de bouwfase mede door gebruik van 'serious gaming' voor opleiding van de medewerkers. Deze toepassingen zijn echter statisch: ze zijn vaak gebaseerd op een weergave van handelingen en beslissingen die in een eerder stadium of project zijn genomen.

VR/AR kan dynamischer worden ingezet, bijvoorbeeld door digital twin data te koppelen met de data uit de omgeving en door de gebruikers iteratief/actiever de inhoud van de VR/AR-simulatie te laten bepalen. Zo kan VR een virtueel scenario weergeven waar een specialist analyses kan uitvoeren, en biedt AR de gelegenheid om digitale informatie over een beeld van de werkelijkheid heen te leggen. In ontwerp, uitvoerings-, en onderhoudsprocessen kan VR/AR ruwe project data visualiseren in begrijpelijke beelden voor opdrachtgevers, ontwerpers, uitvoerders en medewerkers. De rol en impact van deze technologie dienen nog te worden verkend, bijvoorbeeld bij monitoring en (veiligheid)controle van graafwerkzaamheden en bij ondersteuning van onderhoudstaken.

VR en AR ondersteunen visualisatie, analyse en simulatie/optimalisatie in ontwerp-, uitvoering-, en beheerprocessen teneinde productiviteit, veiligheid en overdraagbaarheid van projecten te verbeteren. Deze nieuwe werkwijze vraagt om studie, training en bijscholing. Mogelijke aanpakken voor de fieldlabs zijn:

- VR in voorlopig ontwerpfase van stedenbouwkundige projecten: state-of-the-art review, programma van eisen, casestudies en user-interface proof-of-concept ProfEd (Professional Education) modules.
- AR voor ontwerppreview: state-of-the-art review, rapportering casestudie voorbeelden AR voor ontwerp-review o.a. vanuit rollen en competentie perspectief.
- VR-training scenario's voor graafmachinisten: raamwerk voor VR-prototype, uitgewerkte VR-training scenario's voor training efficiëntie en veiligheid van graafwerkzaamheden, proof-of-concept game.
- AR voor het beheer van stedelijke infrastructuur: AR-onderhoudsprototype voor stedelijke infrastructuur, definitie van competenties en functies voor AR-beheer infrastructuur.

Dit onderwerp wordt verder uitgewerkt in deelprogramma VR/AR.

## 6. Schaalbaarheid en samenhang met DigiDealGo

Het opschalen van kennisontwikkeling in digitalisering zal plaatsvinden in samenhang met DigiDealGO. Dit BTIC programma draagt tevens bij aan de ontwikkeling van een Digitaal Stelsel voor de Gebouwde Omgeving (DSGO) als een belangrijke doelstelling van de DigiDealGO.

In het kader van het 'Betere Kennisontwikkelingspoor' van de DigiDealGO wordt momenteel een Kennisagenda opgesteld, waarvoor het BTIC digitaliseringsprogramma de middellange termijn invulling vormt. De DigiDealGO Kennisagenda heeft als doelen:

- Inhoudelijke sturing voor de DigiDealGO versnellingsprojecten. Momenteel hebben veel van de voorstellen van de (bottom-up) versnellingsprojecten behoefte (en zelfs vragen) om inhoudelijke onderbouwing en input vanuit de kennisinfrastructuur.
- Inhoudelijke onderbouwing via sterkere rol van BTIC en toegepaste kennisplatforms zoals CROW, ISSO en BIMLoket. Kennisinstellingen zijn bezig met relevante ontwikkelingen die ze graag willen koppelen aan de (bottom-up) versnellingsprojecten, en daar ook (onderzoeks)gelden voor hebben of kunnen aanvragen.
- Samenhang en integratie. Momenteel zijn digitalisering kennis vraag en aanbod nog niet goed bij elkaar gebracht, en een toegankelijk en begrijpelijk overzicht ontbreekt nog. Er zijn wel individuele onderdelen, gericht op specifieke deelvragen, maar er is nog geen breed gedragen en consistente kennisagenda.

## Bijlage: Schrijfteam

Delft, mei 2020

### Auteurs

- Rizal Sebastian, Arjen Adriaanse (TNO)
- Bauke de Vries (Technische Universiteit Eindhoven)
- Léon Olde Scholtenhuis, Farid Vahdatikhaki, Andre Dorée (Universiteit Twente)
- Peter Russell (Technische Universiteit Delft)
- Christian Struck (Saxion Hogeschool / Vereniging van Hogescholen)

Met bijdrage van de collega's van TNO, 4TUBouw en de Vereniging Hogescholen.

Daarnaast hebben een breed scala van personen en partijen in de periode juni 2019-maart 2020 bijgedragen aan de totstandkoming van het programma:

- Joppe Duindam, Arjan Walinga (Bouwend Nederland), met inbreng van o.a. Dura Vermeer, Hochtief, Heembouw, BAM, Volker Wessels, De Nijs, TBI, Heijmans
- Peter Zwakhals (Techniek Nederland)
- Han de Wit (DigidealGo)
- David van der Woude, Joram Snijders (BZK)
- Huub Keizers, Richard Mulder (MT BTIC)