

DigiGO Kennisagenda

Versie 1.0 / 17-12-2020

Rapport DigiGO versnellingsproject

Auteurs:

dr. Rizal Sebastian (TNO), dr. Pieter Pauwels (TU/e), dr. Han de Wit (Tauf),
Berend Koudstaal (ISSO), drs. Jan Cromwijk (ISSO),
ir. Jan-Pieter Eelants MBA (CROW/BIM Loket)

Inhoud

1	Introductie.....	3
1.1	Het Kennisspoor in DigiGO	3
1.2	Belang en doel van de Kennisagenda	4
1.3	Scope van de Kennisagenda	6
2	Technologische ontwikkelingen	7
2.1	Digitalisering kennis- en innovatielijnen in Nederland	7
2.2	Bredere beschouwing van wetenschappelijke trends.....	9
3	Aansluiting op uitdagingen en ontwikkelingen in de praktijk	11
3.1	Trends in de bouwpraktijk.....	11
3.2	Aansluiting op kennisbehoefte in de praktijk.....	13
4	Kennisontwikkelingslijnen in deze agenda	15
4.1	Kennisontwikkelingslijn Digital Twin	15
4.2	Kennisontwikkelingslijn Artificial Intelligence	16
4.3	Kennisontwikkelingslijn Robotisering en Automatisering	16
4.4	Kennisontwikkelingslijn Virtual, Augmented, Mixed Reality	17
4.5	Kennisontwikkelingslijn Sociale Innovatie: inzicht in kennisadoptie, training en human capital.....	17
5	Operationalisering.....	18
5.1	Synergie tussen DigiGO, BTIC en toegepaste kennisplatforms.....	18
5.2	Vervolg workshop.....	18
5.3	Publicatie van de Kennisagenda in web format	19
	Annex: Opzet voor webpublicatie en concept literatuurlijst.....	20

1 Introductie

1.1 Het Kennisspoor in DigiGO

In De Bouwagenda is digitalisering als een belangrijke *enabler* gezien om de maatschappelijke uitdagingen aan te kunnen zoals:

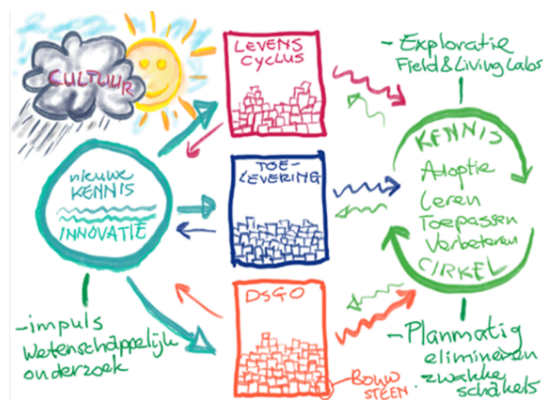
- energietransitie: ruim acht miljoen gebouwen en infrastructuur moeten energetisch worden gerenoveerd tegen 2050;
- circulariteit: schaarste van grondstoffen leidt tot de ambitie om spaarzaam om te gaan met bouw materiaal en materieel;
- industrieel bouwen: geautomatiseerde, gerobotiseerde en gestandaardiseerde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

De Nederlandse bouwsector moet actief (verder) digitaliseren en een actieve voortrekkersrol opnemen op Europees en internationaal vlak. In april 2019 is de DigiGO van start gegaan met een doel om sector-brede digitaliseringsaanpak en initiatieven te faciliteren en te versnellen, en afspraken te maken voor data van de gebouwde omgeving. Eén van de ambities is om de Nederlandse gebouwde omgeving in een digitaal stelsel te zetten voor 2030.

De DigiGO heeft een aantal werksporen waaronder het Kennisspoor. Het begrip 'kennis' wordt op verschillende manieren gebruikt van de praktische kennis (vaardigheden) van de vakman tot en met de fundamentele wetenschappelijke kennis. Zoals weergegeven in het plaatje hiernaast is bij het Kennisspoor onderscheid gemaakt in:

- ontwikkeling van nieuwe kennis – de linkerkant, zeegroen; en
- kenniscirkel gericht op toepassen, adoptie, leren en toepassen – de rechter groene kant.

Het Kennisspoor is eigenlijk geen separaat spoor, maar faciliterend aan de andere werksporen van DigiGO. Aan de ene kant komt vanuit de (wetenschappelijke) kennisinfrastructuur nieuwe kennis en innovatie die input zijn voor de andere lijnen van de DigiGO. Aan de andere kant zorgt de (toegepaste) kennisinfrastructuur voor goede implementatie en adoptie van nieuwe inzichten. Om deze ambitie goed te vervullen, moet in de sector beter duidelijk worden wat de kennisinfrastructuur te bieden heeft.



1.2 Belang en doel van de Kennisagenda

Belang

De kennisinfrastructuur in onderzoek, onderwijs en praktijk is nogal versnipperd. De kennisagenda helpt bij het 'ontsnippen' en maakt duidelijker wie wat doet. Het beter in kaart brengen van de schakels en proposities van de kennisinfrastructuur was ook een van de acties die opgenomen waren in de uitwerking van het DigiGO Kennisspoor in het najaar 2018.

De Kennisagenda vervult een belangrijke rol bij het vraaggestuurd programmeren. Bij het programmeren/agenderen van de nieuwe (wetenschappelijke) kennisontwikkeling hebben we te maken met vraag en aanbod, en vragers en aanbieders respectievelijk:

- Kennisvragers zijn de mensen in de praktijk die in staat zijn vanuit reflectie op de dagelijkse praktijk die zaken te identificeren die geschikt zijn voor (wetenschappelijke) kennisontwikkeling.

Voor het identificeren van interessante en relevante kennisbehoeften vanuit de vraagzijde is er dus een aanpak nodig als meertrapsraket. De practitioners reflecteren op hun werk en komen tot best practices en behoeften (bijv. een objecten bibliotheek, aangepaste standaarden etc.). De Kennisagenda richt zich op de mensen die verder willen kijken dan de bestaande kennis in de huidige bouwpraktijk. Samen met hen wordt vervolgens doorgedacht bij welke behoeften nieuwe kennis t.z.t. echt nodig is die evt. voor een doorbraak kan zorgen. De Kennisagenda vertaalt vervolgens dit idee naar interessante kennisvragen.

- Kennisaanbieders zijn universiteiten, hogescholen, onderzoeksinstituten, ingenieursbureaus, softwareontwikkelaars, ontwikkelende architecten, etc. die een 'push' geven vanuit nieuwe (wetenschappelijke) inzichten en technologische ontwikkelingen die toepasbaar zijn in de ontwerp-, bouw- en technieksector.

Voor sommige vraagstukken en ontwikkelingen is de praktijk het laboratorium (fieldlab) waarbij de kennisvragers en kennisaanbieders al samenwerkend in co-creatie de echte kennisbehoeften definiëren en oplossen. Fieldlab kan ook gebruikt worden in de kennisproductiefase als use case of voor validatie en demonstratie.

Door een gezamenlijke aanpak bij het opstellen van de Kennisagenda zowel door vertegenwoordigers van de kennisinstituten die oog hebben voor de praktijken als door vertegenwoordigers van de praktijk die oog hebben voor de wetenschap ontstaat een informeel platform van kennispartijen waarin men de discipline heeft om elkaar steeds op te zoeken rondom voorkomende initiatieven, en met elkaar zaken af te stemmen, oftewel het netwerk- en informatie-effect.

Dit platform zorgt samen met het DigiTeam voor het up-to-date houden van de Kennisagenda. In dit platform vinden organisaties elkaar hopelijk ook sneller en beter bij het initiëren van nieuwe kennis en innovatieprojecten en -programma's.

Wie zijn de belanghebbenden bij de Kennisagenda?

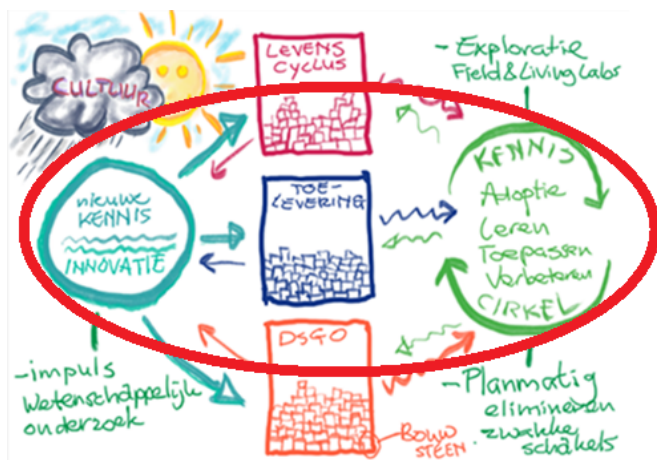
- Partijen die geïnteresseerd zijn in verdere digitalisering van de (brede) ontwerp-, bouw- en techniek sector.
- Partijen in de gebouwde omgeving (triple helix: overheid, markt, kennis) die inzicht willen krijgen in de te verwachte ontwikkelingen.
- Toekomstige financiers van strategisch wetenschappelijke onderzoek die goed moeten begrijpen / kunnen legitimeren waarom kennisontwikkeling nodig is.

Doel

Het doel van de DigiGO Kennisagenda is richting te geven aan kennisontwikkeling op het gebied van digitalisering in de gebouwde omgeving in samenhang met kennisadoptie, borging en deling. Daarbij is het doel om neveneffecten van de kennisinfrastructuur te versterken.

De agenda wordt up-to-date gehouden om nieuw mogelijkheden voor (wetenschappelijk) kennisontwikkeling te identificeren die een doorbraak in de praktijk kunnen leveren. De agenda draagt bij aan het verbinden van de twee cirkels in het plaatje hiernaast. Dit is de connectie met Kennisontwikkelingslijn Sociale Innovatie (zie verder subhoofdstuk 5.2).

Kennisadoptie, borging en deling worden geadresseerd in een andere DigiGO agenda ("leren en veranderen"). Hier spelen naast kennisinstituten, toegepaste kennisplatforms zoals ISSO, CROW, BIM Loket, STABU/ Ketenstandaard, een belangrijke rol omdat ze midden in de beroepspraktijk staan.



Een aansprekende Kennisagenda helpt bij het vinden van de juiste match tussen kennisvragers en kennisaanbieders in DigiGO versnellings- en innovatieprojecten, en zorgt voor een goede doorwerking, borging en verankering van nieuwe kennis in middellange termijn door middel van: a) de juiste kennisvragen en onderzoeksrichtingen te agenderen; en b) op termijn voor te zorgen dat nieuwe kennis niet opdroogt. Hierbij zijn goede valorisatie, doorwerking en borging en de bestaande versnellingsprojecten van belang. Een verbinding met onafhankelijke initiatieven zoals de Bouwdeltagroep is tevens gewenst waardoor gedachten over nieuwe concepten, standaarden en scholing sneller kunnen landen in de praktijk.

De doelgroepen van de Kennisagenda zijn:

- Het bredere publiek (de sector) om mensen met wetenschappelijke en toegepaste kennis in digitalisering bij elkaar te brengen.
- Het DigiTeam en de stakeholders van DigiGO, incl. BTIC (Bouw en Techniek Innovatiecentrum met daarin bedrijfsleven, overheidsinstanties en kennisinstellingen) en toegepaste kennisplatforms zoals CROW, ISSO, BIM Loket. De Kennisagenda gaat echt 'vliegen' als we het vanuit de gouden driehoek (triple helix: overheid, markt, kennis) gaan doen.

1.3 Scope van de Kennisagenda

De focus van de Kennisagenda ligt op het agenderen van te ontwikkelen, dus nieuwe kennis. Met andere woorden: het gaat hier om het agenderen van strategische, wetenschappelijke kennisvragen waar onderzoek nodig is in de toekomst.

Het gaat dus niet om het agenderen van praktische vragen. De agenda is tevens niet bedoeld als een verzameling/catalogus van huidige best practices vanuit de praktijk.

Het ambitieniveau van de Kennisagenda is:

- Inhoudelijke sturing: Tot nu toe zijn veel van de onderzoeksvoorstellen voor DigiGO versnellingsprojecten bottom-up opgesteld en die hebben behoefte aan inhoudelijke onderbouwing en input vanuit de kennisinfrastructuur.
- Verbinden en versnellen: Het verbinden van de relevante ontwikkelingen door kennisinstellingen en de bottom-up DigiGO versnellingsprojecten.
- Samenhang en integratie: Vraag en aanbod zijn nog niet goed bij elkaar gebracht, en een toegankelijk en begrijpelijk overzicht ontbreekt nog. Momenteel zijn er individuele onderzoeksprojecten die gericht zijn op specifieke deelvragen, maar missen een breed en consistent verhaal.

Belangrijkste vragen die geadresseerd zijn in de Kennisagenda zijn:

- Welke wetenschappelijke kennis is nodig voor het digitaliseren van de sector en in het bijzonder voor het realiseren van het digitale stelsel?
- Welke wetenschappelijke kennis is beschikbaar en welke nieuwe kennis moet ontwikkeld worden?
- Wat is het digitalisering kennislandschap/kennisecosysteem en hoe kan het verbeterd worden?

Zowel aanbod als behoefte aan kennis veranderen in de tijd. Het is zaak om de kennisagenda actueel te houden. In dit project is een eerste versie van de kennisagenda gemaakt. In ieder geval één keer per jaar zal de agenda geactualiseerd moeten worden.

2 Technologische ontwikkelingen

2.1 Digitalisering kennis- en innovatielijnen in Nederland

Vanuit een wetenschappelijk perspectief hebben 4TU.Bouw, Vereniging Hogescholen en TNO in het Bouw en Techniek Innovatiecentrum (BTIC) een concept strategische programma met 10 jaar tijdshorizon opgesteld met o.a. de kennislijnen waarop Nederlandse kennisinstellingen, bedrijven en overheden zich gezamenlijk zouden moeten richten om een toekomstbestendige leefomgeving te helpen vormen.¹ In dit concept strategische programma zijn vier technische kennis- en innovatielijnen aangegeven, te weten:

- 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, zijn twee socio-technische innovatielijnen gericht op het ontwikkelend implementeren in de praktijk (fieldlabs):

- a) Doorontwikkeling en integratie van de bovengenoemde technieken genoemd tot gebruiksscenario's/feldlabs
- b) Training en Human Capital: Living Labs waarin 4Os (onderwijs, onderzoek, overheid, onderneming) in learning communities digitalisering mogelijk maken.

Verschillende inhoudelijke onderwerpen hebben verband met de bovengenoemde technische kennis- en innovatielijnen, bijvoorbeeld:

- BIM, sensoriek en 3D scanning voor smart buildings en slimme bouwplaats/bouwlogistiek hebben verband met Digital Twins. BIM-modellen kan als basis / input dienen voor Digital Twins. Adoptie van BIM in de bouwpraktijk kan een belangrijke stap zijn richting de implementatie van Digital Twins. Data verzameling en sensoren zitten onder Digital Twins (timeseries databases in combinatie met BIM-modellen voor de 3D en semantiek) en ook onder AI want op basis van de sensordata kunnen predictive maintenance en foutdetectie ontwikkeld worden voor beheer en onderhoud.
- AI heeft onder andere betrekking op optimalisatie-algoritmes voor ontwerpondersteuning; leren en predictie; objectherkenning, foutdetectie en patroonherkenning; Python softwareontwikkeling.
- Robotisering en automatisering in "Construction 4.0" hebben te maken met industrialisatie en smart manufacturing; geautomatiseerde machines op de bouwplaats; onderhoud, monitoring en inspectie; sensors en IoT; Smart Buildings & Infrastructure (real-time connection); Additive Manufacturing (AM).
- Virtual, Augmented, Mixed, Extended Reality (VR/AR/MR/XR) kunnen nieuwe vormen van ontwerpprocessen, levenscyclusbeheer en trainingen ondersteunen.

¹ BTIC (2020), CONCEPT Strategische Programma Digitalisering 2020-2030 [\[online link\]](#). Schrijftteam: Pieter Pauwels, Léon Olde Scholtenhuis, Hans Voordijk, Farid Vahdatikhaki, Peter Russel, Christian Struck, Perica Savanovic, Rizal Sebastian.

- De combinatie van Digital Twin, AI, robotisering en VR/AR-ontwikkelingen worden ook toegepast voor “traceability & digital supply chain” waar sensortechnologie en -concepten cruciaal zijn bij circulariteit, bouwwerklevenscyclus en digitale toelevering (cfr. IoT, Blockchain).

Vanuit de overheid is, digitalisering voor de Nederlandse bouw geadresseerd in de KIA's (kennis- en innovatieagendas)² voor de programmering van gezamenlijk onderzoek door bedrijven, kennisinstellingen en overheden. Het meerjarig programma “Industry 4.0 for the Built Environment”³ staat opgenomen als één van de KIA sleuteltechnologieën⁴. Dit meerjarig programma bevat vier hoofdlijnen van onderzoek en de cross-overs daartussen, namelijk:

- Digital Transformation in Construction.
Centraal staat hierin het virtuele bouwwerk (Digital Twin) als permanente drager van informatie over het fysieke bouwwerk, de wijzigingen daarvan gedurende de levenscyclus en digitale aansturing van het geïndustrialiseerde productieproces.
- Robotica.
Concreet moet een aantal stappen gemaakt worden, waarvan de belangrijkste is: van single-robot naar multi-robot systemen (“swarm robotics”). Gebouwen zijn te groot en complex om met een single-robot te maken. Samenwerkende systemen moeten worden ontwikkeld.
- Engineering & fabrication technologies.
Het onderzoek is gericht op het ontwikkelen van technologie waarmee invulling gegeven wordt aan een industriële bouwproductieketen waarmee de gewenste aantallen in productie in de verduurzamingsopgave gerealiseerd kunnen worden.
- Advanced & circular materials for the Built Environment (bouw en infra).
Onderzoek richt zich op de milieu-impact verminderd kan worden door aanpassing van de samenstelling van de materialen, alternatieve materialen, optimalisering van de prestaties, verlenging van de levensduren, optimaal hergebruik en minimalisering van de restmaterialen bij het einde van de functionele levensduur.

In de Nederlandse Digitaliseringsstrategie 2018-2021⁵ zoals in juni 2018 is gepresenteerd door de staatssecretaris van Economische Zaken en Klimaat, de minister van Justitie en Veiligheid, en de staatssecretaris van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, is de bouw meegenomen in Smart Industry. Het kabinet zet in op de digitalisering van de industrie in brede zin. Naast de maakindustrie gaat dat bijvoorbeeld ook om bedrijven die actief zijn in de chemie en de bouw.

In Smart Industry worden kennisonderwerpen van digitalisering in de bouw geïntegreerd met lopende technologische ontwikkelingen zoals bijvoorbeeld: generative design, 3D & 4D printing, linked data, 3D printing drones, (quantum) blockchains, sensor embedded materials, en 5G communicatie. Crossovers tussen de 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 procesindustrie.

² <https://www.topsectoren.nl/publicaties/publicaties/rapporten-2017/december/11-12-17/kia-2018-2021>

³ Meerjaren programma “Industry 4.0 for the Built Environment”



















⁴ <https://www.hollandhightech.nl/kia-sleuteltechnologieen>

⁵ Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (juni 2018), [Nederlandse Digitaliseringsstrategie](#)

2.2 Brederre beschouwing van wetenschappelijke trends

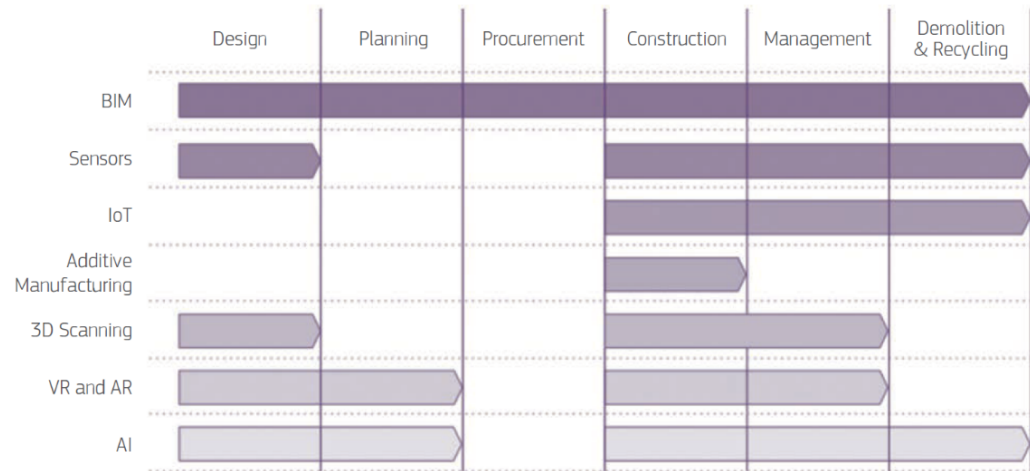
Digitalisering in de bouw en infra is onderdeel van de vierde industriële revolutie oftewel Industry 4.0. Digitaliseringsontwikkelingen in de bouw worden vaak genoemd als Construction 4.0 en omvatten⁶:

- *Industrial production (prefabrication, 3D printing and assembly, offsite manufacture)*
- *Cyber-physical systems (actuators, sensors, IoT, robots, cobots, drones)*
- *Digital and computing technologies (BIM, video and laser scanning, AI and cloud computing, big data and data analytics, reality capture, Blockchain, simulation, augmented reality, data standards and interoperability, and vertical and horizontal integration)*

Emerging Technology or Trend	Construction 4.0 Layer	Construction 4.0 Functions
 BIM	Digital	Modeling and simulation
 CDE	Digital	Collect, manage and disseminate documentation, the graphical model and non-graphical data for the whole project team
 Unmanned Aerial Systems	Digital	Aerial image collection
 Cloud-based Project Management	Digital	Digital tools to support delivery and business processes
 AR/VR	Digital	Virtual application in all phases and for all team members
 Artificial Intelligence	Digital	Classifying, predicting, image processing, mining and problem-solving
 Cybersecurity	Digital	Securing the physical-digital-physical loop
 Big Data and Analytics	Digital	Trend analysis and business intelligence
 Blockchain	Digital	Smart contracts, building trust, and maintaining records
 Laser Scanner	Digital	Point-cloud data collection
 Robotics and Automation	Physical	Transport, assembly and production
 Sensors	Physical	Collect location, temperature, humidity, and movement information
 IoT	Physical	Connectivity of things, people and data
 Workers with wearable sensors	Physical	Collect location, temperature, humidity, and movement information
 Actuators	Physical	Convert digital interactions into physical action
 Additive Manufacturing	Physical	Print parts and products using the BIM model
 Offsite Construction	Physical	Use manufacturing to produce parts and products
 Equipment with Sensors	Physical	Assembly of parts and products in a location aware environment

⁶ Sawhney, A., Riley, M. and Irizarry, J., eds. (2020), *Construction 4.0: An Innovation Platform for the Built Environment*, Routledge: New York.

De toepassing van de digitalisering sleuteltechnologieën in de levenscyclus van bouwwerken kan worden samengevat in het volgende schema⁷:



Ondanks de beschikbaarheid van nieuwe technologieën loopt de bouw achter de andere sectoren bij digitale transformatie. Volgens het onderzoek door de Europese Commissie⁸ dat o.a. door TNO is uitgevoerd, zijn de barrières voor digitalisering voor de bouw, in het bijzonder onder midden en kleine bedrijven die 90% van de bouwsector:

- *Lack of 'soft skills' for leadership of teamwork involving construction professionals and experts in data science, etc.*
- *Lack of investments to support and enable R&D for digitalization in the construction sector especially among the SMEs that are dependent on innovation funding schemes.*
- *Lack of standardised software and data exchange formats, leading to issues in communication between parties in the construction value-chain.*
- *Lack of standards and guidance for the technical and legal aspects of digitalisation.*

Steeds meer digitalisering en technologische oplossingen zijn beschikbaar, maar er zijn barrières voor de bouw om deze innovaties te adopteren en toe te passen binnen de organisaties van de ketenspelers en op de markt. Deze Kennisagenda geeft aan welke de ontwikkelingen zijn die de meeste perspectieven bieden voor Nederlandse bouwsector tot 2030 (sub hoofdstuk 2.2), welke nieuwe kennis nodig is bij de marktspelers (hoofdstuk 3) en wat de kennisontwikkelingslijnen zijn om de kloof tussen de state-of-the-art in de wetenschap en de state-of-practice in de sector te overbruggen (hoofdstuk 4).

⁷ European Commission Joint Research Centre (2019), *Digital Transformation in Transport, Construction, Energy, Government and Public Administration*, Publications Office of the European Union: Brussels. [\[online link\]](#)

⁸ European Commission (2019), *Supporting digitalisation of the construction sector and SMEs*, Publications Office of the European Union: Brussels. [\[online link\]](#)

3 Aansluiting op uitdagingen en ontwikkelingen in de praktijk

3.1 Trends in de bouwpraktijk

De ontwikkelingen in de wetenschap zoals kort aangegeven in het hoofdstuk 2 komen overeen met de trends in de bouwpraktijk. De Foresight Report⁹ van ENCORD (European Network of Construction Companies for Research and Development) als resultaat van de workshop in Amsterdam in maart 2019 laat zien dat **'data and intelligent systems'**, **'Artificial Intelligence'** en **'customisation and flexibility'** die direct gerelateerd zijn met digitalisering zijn onder de belangrijkste drijvers in de bouw tot 2030. De kennisbehoeften bij deze drijvers zijn weergegeven in de volgende vragen:

Considerations for Automation and Autonomy

- How can the acceptance of robotics be improved?
- What new job roles will emerge as a result of this trend?
- What changes are required during design and planning?
- How can we facilitate a rapid adoption of these techniques?
- Will autonomous robot systems still need humans in the future? Which activities will be replaced first?
- Can you remain competitive without these methods?
- Can self-learning algorithmic systems make operational business more productive?
- What cybersecurity risks must be considered due to increasing data flows and data dependency?

De bevindingen van de studie van BouwendNederland en USP¹⁰ laten zien dat dezelfde trends ook spelen in de Nederlandse bouw. De studie geeft ook aan welke uitdagingen er zijn in relatie tot deze trends:

- De bouw wordt steeds digitaler, en kan enorme slagen maken volgens experts. Bouwers hebben de eerste stappen gezet, maar de sector loopt nog achter op andere sectoren. Er is echter heel veel potentie.
- De bouw is gedigitaliseerd op individuele onderdelen, maar software en processen zijn nog weinig geïntegreerd. Er wordt gebruik gemaakt van veel verschillende software pakketten, maar de integratie tussen systemen is de volgende stap.
- Zowel experts als "de bouwers" erkennen dat de mate van digitalisering naar een hoger niveau moet, maar dit is lastig te realiseren. Ondanks gebruik van software worden lang niet alle mogelijkheden nog benut, dit kan naar een hoger plan

In de installatietechniek sector, TechniekNederland benadrukt ook het belang van digitalisering. De installatiebranche digitaliseert in hoog tempo. Ontwerpen worden in een digitale omgeving opgezet en machines worden vanuit deze ontwerpen

⁹ http://www.encord.org/?page_id=1960

¹⁰ <https://www.bouwendnederland.nl/actueel/publicaties/alle-publicaties/6050/op-weg-naar-een-digitale-bouw>

aangestuurd. De installatiebranche kent een aantal belangrijke technologische ontwikkelingen met impact voor de komende 10 jaar. Dit zijn:

- Internet of Things (IoT)
- Robotica
- Big Data
- 3D-printen / Additive Manufacturing

Robotisering en 3D-printing hebben specifieke aandacht gekregen in de branche innovatieagenda's^{11, 12}. De belangrijkste behoeften aan robotisering in deze sector en de redenen daarvoor zijn:

- Derde hand bij werkzaamheden ('tilhulp', 'installatiebot').
Redenen hiervoor zijn: mensen moeten duurzaam inzetbaar blijven en er is groeiend tekort aan vaklui.
- Kwaliteit, onderhoud, inspectie ('drones', 'beveiliging').
Reden hiervoor is: prestatieborging wordt heel belangrijk.
- Milieu, veiligheid, detectie ('veilig werken').
Reden hiervoor is: veiligheid blijft een randvoorwaarde.

De specifieke kennisbehoeften in relatie tot 3D-printing zijn weergegeven in de volgende vragen:

- Welke relaties zijn er tussen robotisering, IoT, circulaire economie, etc. en welke impact is er de komende jaren te verwachten?
- Welke (nieuwe) businessmodellen zijn relevant voor de installatiebranche? Nagegaan moet worden of 3D printen in genoemde gevallen ook daadwerkelijk tot 'business' leidt.
- Wat is het gewenste et kennisniveau van werknemers binnen de branche op het gebied van 3D-printen?

Meer gedetailleerde kennisbehoeften in relatie tot 3D-printing zijn geïdentificeerd in relatie tot de aspecten van: 1) proces – keten (bijv. m.b.t. ontwerp – productie); 2) juridisch kader (bijv. m.b.t. productverantwoordelijkheden); 3) kwaliteit, regelgeving en betrouwbaarheid; 4) product en materiaal (bijv. m.b.t. re-design, functie-integratie, en beschikbaarheid van kwalitatief hoogwaardige materialen); 5) printer / printprocédé (bijv. m.b.t. capaciteit en snelheid); en 6) Technische middelen en software.

Naast BouwendNederland en TechniekNederland geeft NLingenieurs ook aandacht aan digitalisering zoals de vinden onder het dwarsthema Digitalisering¹³ waar digitalisering opgevat wordt in brede zin met betrekking tot big data, BIM, Kunstmatige intelligentie, VR en AR en 3D-printen. Recent is er een NLingenieurs digitaliseringsgroep ontstaan.

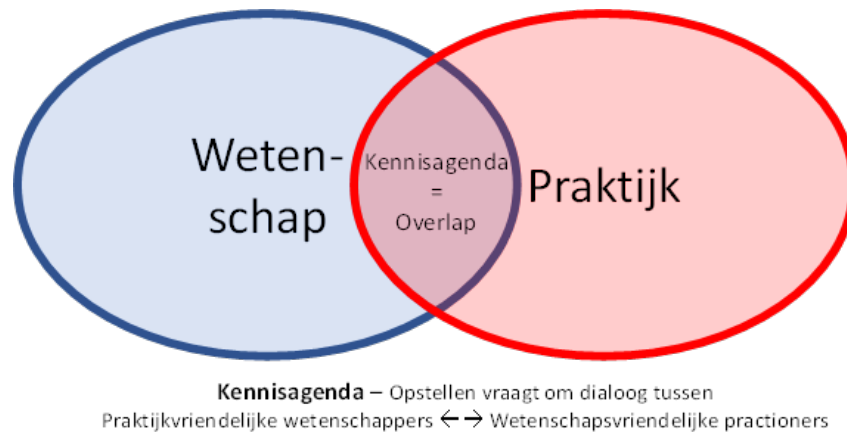
¹¹ <https://www.technieknederland.nl/stream/rapport-robotisering-in-de-installatiebranche>

¹² <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2018/12/30/generiek-afsprakenstelsel-voor-datadeelinitiatieven-als-basis-van-de-digitale-economie/Onderzoek+datadelen+MKB.pdf>

¹³ <https://www.nlingenieurs.nl/focus/dwarsthemas/digitalisering/>

3.2 Aansluiting op kennisbehoefte in de praktijk

De Kennisagenda geeft de digitalisering trends (zie hoofdstuk 2) en de kennisontwikkelingslijnen voor Nederland (zie hoofdstuk 4). Deze agenda is getoetst in email en online dialoogsessies met een groep praktijkvriendelijke wetenschappers en wetenschapsvriendelijke praktijkmensen.



De volgende vragen zijn geadresseerd voor deze toetsing:

- Zijn de aangegeven kennislijnen belangrijk zowel vanuit de wetenschap als de praktijk?
- Zijn er andere kennislijnen die in verband kunnen worden gebracht met deze selectie, of toegevoegd moeten worden aan deze selectie?

Overall is de feedback positief (quote: “eens met de stelling in het document”, “in grote lijnen een aansprekend document”, “leuk en herkenbaar stuk”). Op basis van de detail feedback is de Kennisagenda (dit document) aangevuld en verder aangescherpt.

Daarnaast is er specifieke feedback voor nadere beschouwing, te weten:

- De Kennisagenda kan een stimulans zijn om diverse disciplines elkaar op te zoeken. Denk na hoe de Kennisagenda hiervoor effectief kan worden ingezet.
- We ondervinden op diverse fronten dat de implementatie van nieuwe kennis in de praktijk bijzonder moeilijk lukt. Enkele voorbeelden daarvan zijn met betrekking tot open standaarden voor data naar de initiatieven van CB-NL, COINS/ICDD, BIMPro-OTL, etc. In het afgelopen jaar zijn we goede stappen aan het zetten met de NTA8035, NEN2660-2 en de overleggen tussen NEN2660(-2) en NEN3610/DiSGeo. Naast doorontwikkeling/kennisontwikkeling dient er aandacht gegeven te worden voor implementaties en doorvertaling van open standaarden naar de praktijk. Misschien is dit een vervolg onderwerp voor de kennisagenda: hoe vertaal je innovaties nog beter naar de praktijk. [Noot: Dit aspect is geadresseerd in subhoofdstuk 4.5 ‘kennisadoptie, training en human capital’.]
- De waarde van open standaarden en een digitaal stelsel (Digitaal Stelsel Gebouwde Omgeving [DSGO]) kan sterker en explicieter wordt toegekend aan de ontwikkeling van de basisinfrastructuur voor digitaal samenwerking in de gebouwde omgeving. Met andere woorden, open standaarden en voorzieningen als fundament. Dat erkent en versterkt de positie en rol van o.m. BIM-loket, CROW en Stichting RIONED. Die basisinfrastructuur zal naar onze overtuiging dienen als

enabler en katalysator van allerlei toepassingen en versnelling van gewenste ontwikkelingen.

- Daarbij past ook de expliciete erkenning dat met name overheden de drijvende kracht zijn van nieuwe markttuitdagingen en innovaties: zij financieren, hebben de grote maatschappelijke opgaven te realiseren, en bieden ook de ordening en prioritering.
- Nederland zou zich moeten aansluiten op internationaal vergelijkbare kennisontwikkelingstrajecten om elkaar te versterken.
- Voor de uitrol van de Kennisagenda kunnen de tijdpaden en concrete kennisproducten verder uitgewerkt worden. Periodieke toets is nodig om de echte knelpunten en aarzelingen van marktpartijen om digitaal grote stappen te zetten adequaat te adresseren.

4 Kennisontwikkelingslijnen in deze agenda

Dit hoofdstuk geeft een aanzet tot het invullen van kennisontwikkelingslijnen als verbinding tussen de ontwikkelingen vanuit de technologie/wetenschap (hoofdstuk 2) en de behoefte aan strategisch nieuwe kennis die gedestilleerd is uit de praktijk (hoofdstuk 3). De kennisontwikkelingslijnen zijn opgezet met referentie naar het *concept* BTIC Strategisch Programma Digitalisering.¹⁴ Hierin worden de kansen en uitdagingen geadresseerd met betrekking tot het verkennen, ontwikkelen, experimenteren en implementeren van verschillende digitaliseringsmodellen, -methoden, -technieken, -gebruiksconcepten en -processen.

4.1 Kennisontwikkelingslijn Digital Twin

In deze lijn richt kennisontwikkeling zich op het ontwikkelen van methoden waarmee van objecten en bouwprocessen in de gebouwde omgeving geometrische en gebruiksdata (sensoren) kunnen worden geregistreerd in gebruiksvriendelijke tools. Ontwikkeling van open standaarden voor Digital Twin data zal bijdragen aan de standaarden die nodig zijn voor het Digitale Stelsel voor de Gebouwde Omgeving (DSGO).

Voor bestaande bouw is Digital Twin toe te passen voor de monitoring en het beheer van bouw en infra assets. Voor nieuwbouw is Digital Twin toe te passen voor het ontwerpen en configureren, oftewel 'configurerend ontwerpen' gebruik maken van actuele / real-time / on-demand gebouw- en gebiedsinformatie in een virtuele ontwerpomgeving.

Onlangs heeft TNO een position paper gepresenteerd over Predictive Twins oftewel netwerken van Digital Twins met een voorspellend vermogen.¹⁵ In de Predictive Twins kan Artificial Intelligence (AI) een belangrijke rol spelen voor predictie, foutdetectie, patroonherkenning, etc.

De kennislijn Digital Twins is samen met DigiGO uitgewerkt in middellange termijn (3-6 jaar) deelprogramma van het BTIC.¹⁶ De hoofdaspecten bij kennisontwikkeling van Digital Twins zijn:

- Het creëren van Digital Twins: typologieën van digital twins en uniforme aanpak en standaarden voor het geautomatiseerd vastleggen, structureren, koppelen en delen van data en datamodellen
- Het intelligent maken van Digital Twins: methoden en technieken om AI¹⁷ te combineren met voorspellende op fysica (domein en vakkennis) gebaseerde modellen
- Het toepassen van digital twins: gebruiksscenario's voor de toepassing van digital twins in verschillende contexten van de bouw-, ontwerp- en technieksector.

¹⁴ BTIC (2020), CONCEPT Strategische Programma Digitalisering 2020-2030 [\[online link\]](#).

Schrijfteam: Pieter Pauwels, Léon Olde Scholtenhuis, Hans Voordijk, Farid Vahdatikhaki, Peter Russel, Christian Struck, Perica Savanovic, Rizal Sebastian.

¹⁵ <http://publications.tno.nl/publication/34637410/IYA5FO/TNO-2020-netwerken.pdf>

¹⁶ https://btic.nu/wp-content/uploads/2020/05/Digitalisering-DigitalTwins_Kennis-en-innovatieprogramma_BTIC.pdf

¹⁷ Zie tevens <https://nlaic.com/toepassingsgebied/gebouwde-omgeving/>

Deze aspecten komen overeen met de ontwikkellijnen en het ecosysteem van Digital Twins zoals aangegeven onder andere door TU München¹⁸, University of Cambridge¹⁹, Luxembourg Institute of Science & Technology²⁰, en buildingSMART International²¹.

4.2 Kennisontwikkelingslijn Artificial Intelligence

Kennisontwikkeling in AI 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 kan ook worden gezien als een onderdeel van Digital Twins, Robotics en Mixed Reality.

De belangrijkste aspecten bij kennisontwikkeling van AI zijn:

- Kennismodellering
- Validatie van data, risicomanagement en security
- Smart Buildings and Smart Cities
- AI algorithms voor voorspelling en leren (anomaly detection, pattern recognition, neural networks)

4.3 Kennisontwikkelingslijn Robotisering en Automatisering

Kennisontwikkeling richt zich op het ontwikkelen en testen van machines in productiehallen en op de bouwplaats (cfr. industrialised construction 4.0). 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.

De belangrijkste aspecten bij kennisontwikkeling van Robotisering en Automatisering zijn:

- Actuatoren die interactie met omgeving aangaan, op basis van input uit digital twins
- IoT doorheen de gebouwde omgeving: Ambient Intelligence ingebed in stedelijke context en gebouwcontext (responsieve omgeving)
- Robotisering op bouwplaats en in fabrieken
- Geautomatiseerde fabricage
- Traceability en bouwlogistiek
- Blockchain en digital supply-chain

¹⁸ https://publications.cms.bgu.tum.de/reports/2020_Brilakis_BuiltEnvDT.pdf

¹⁹ <https://www.cddb.cam.ac.uk/DFTG/GeminiPrinciples>

²⁰ <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179>

²¹ <https://www.buildingsmart.org/buildingsmart-positioning-paper-enabling-an-ecosystem-of-digital-twins/>

4.4 Kennisontwikkelingslijn Virtual, Augmented, Mixed Reality

Kennisontwikkeling in VR/AR/MR 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. In het bijzonder wordt het gebruik van AR in combinatie met Digital Twin-infrastructuur gestimuleerd voor verbeterde controle van bouwprocessen.

De belangrijkste aspecten bij kennisontwikkeling van AR/VR zijn:

- Responsieve visualisering in web-based dashboard
- VR/AR immersive environments (XR – mixed reality)

4.5 Kennisontwikkelingslijn Sociale Innovatie: inzicht in kennisadoptie, training en human capital

Met een focus op technologie alleen wordt DigiGO geen succes. Dat blijkt ook uit het “Analyserapport kennisinfrastructuur rond DigiGO” (uitgevoerd door ISSO, december 2020). Er zijn naast technische ook sociale innovaties op het vlak van kennisuitwisseling, leren, gedragsverandering en financieringsconstructies nodig. Denk bijvoorbeeld aan collectieve scholingsfondsen en -programma’s, waaraan meerdere bedrijven bijdragen. Kennis en praktijk zullen dichter naar elkaar toe moeten groeien. Een sociaal leerproces met een vertaling en verankering naar de praktijk. Vanuit de combinatie van de nieuwe kennis, de innovaties en de praktijkervaringen ontstaat nieuwe oplossingen.

Via een uitdagende en goed afgebakende kennisagenda zet je de deuren maximaal open voor nieuwe en verfrissende ideeën. Dit stimuleert ondernemerschap. Innovatie ontstaat door samenwerking van verschillende (en vaak niet alledaagse) combinaties.

Naast innovatie en kennisontwikkeling op projectniveau gaat het om: (a) kennisdoorstroming naar de uitvoeringspraktijk, (b) verbinding en synergie tussen alfa, bèta, gamma en tussen maatschappelijke sectoren, tussen privaat en publiek, en (c) slimme combinaties en innovaties op lokale schaal en in gebiedsontwikkelingen. Veel van de kennis die gebruikt wordt is ervaringskennis, die bij ieder project verrijkt en vernieuwd wordt.

In de Kennisontwikkelingslijn Sociale Innovatie willen wij kennis ontwikkelen over de didactische modellen die nodig zijn voor de verschillende doelgroepen in de digitale transitie: “Succesvolle digitalisering in de bouw betekent (onder andere) dat er goed geschoolde vakmensen zijn die de andere werkwijzen, afspraken en nieuwe kennis goed kunnen hanteren in de bouwpraktijk, het gebruik en de instandhouding van gebouwen en de gebouwde omgeving. De vakman heeft de juiste tools, richtlijnen en competenties nodig. Beschikbare en nieuw ontwikkelde kennis moet gemakkelijk stromen naar de vakmensen toe.” (Bron: DigiGO document ‘beter stromen kennis’).

De uitkomsten van de Kennisontwikkelingslijn Sociale Innovatie kunnen worden toegepast in het traject “Leren & Veranderen” van de DigiGO agenda en DSGO.

5 Operationalisering

5.1 Synergie tussen DigiGO, BTIC en toegepaste kennisplatforms

Het Bouw en Techniek Innovatiecentrum (BTIC)²² is een publiek-private samenwerkingsverband dat in juni 2019 van start is gegaan met als doel om efficiënte, gebundelde innovatieprocessen op te zetten. BTIC bundelt activiteiten van vraag-aanbod- en kenniszijde en brengt deze samen in integrale, meerjarige R&D-programma's. BTIC helpt marktpartijen, overheidsorganisaties en kennisinstellingen om consortia te vormen die gezamenlijk investeren in de uitvoering van kennis- en innovatieprogramma's. BTIC is daarmee het vliegwiel voor bouw-, ontwerp-, en techniekinnovaties.

Zowel DigiGO als BTIC zijn uit De Bouwagenda voortgekomen. Het gezamenlijke doel is een slimme bouwsector. Beide programma's zijn hiervoor een middel. Bij het opstellen van deze Kennisagenda staat BTIC digitalisering meer aan de innovatieontwikkeling / R&D-kant en DigiGO aan de praktijktoepassing / adaptie / cultuur kant. Kennisresultaten moeten toegepast worden in de praktijk – dit is de rol van BTIC en DigiGO samen.

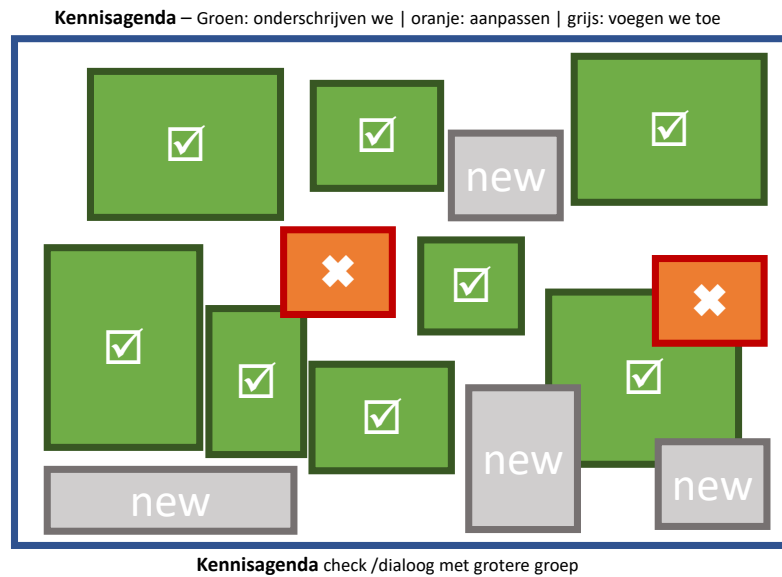
Deze DigiGO Kennisagenda moet herkenbaar zijn voor zowel de 'praktijkvriendelijke' wetenschappers en de 'wetenschapsvriendelijke' praktijkmensen. Hier vervullen toegepaste kennisplatforms zoals CROW en ISSO een belangrijke rol, en tevens de BIM Loket voor kennisborging met name in open standaarden voor BIM data en datamodellen.

Periodiek discussies en het blijven actualiseren van de Kennisagenda zijn een vorm om: (a) de uitwisseling / interactie tussen wetenschap en praktijk op niveau te houden; en (b) etalage voor derden om op aan te sluiten en ideeën in te brengen voor kennisvoorstellen.

5.2 Vervolg workshop

Een workshop met grotere groep praktijkvriendelijke wetenschappers en wetenschapsvriendelijke praktijkmensen wordt georganiseerd in begin 2021. De verwachte neveneffecten zijn dat de grotere groep elkaar beter leert kennen; bij leads / calls in onderzoeksprogramma's elkaar beter weten te vinden; en met elkaar de agenda actueel houden. De insteek is hieronder schematisch weergegeven.

²² <https://btic.nu/>



De workshop zou plaatsvinden in een dagdeel. Het programma op hoofdlijnen: plenaire toelichting en discussie; gevolgd door 2 of 3 ronden op sub-groepjes rondom aantal thema's; korte terugkoppeling.

5.3 Publicatie van de Kennisagenda in web format

In de Annex wordt de opzet voor webpublicatie gegeven. In deze opzet staat de Kennisagenda gepresenteerd op twee samenhangende "benen":

- Compacte teksten waar belangrijkste punten beknopt toegelicht worden. Dit kunnen ook een paar zinnen zijn met gerichte verwijzing naar achterliggende informatie in het Kennisagenda document.
- Verwijzing naar licht gedirigeerde selectie van bestaande publicaties.

Het website deel is als het ware de samenvatting van en de leeswijzer voor de volledige versie van de Kennisagenda en de referenties/publicaties. De website versie nodigt de lezers uit om op de Kennisagenda te reflecteren en feedback/input aan te leveren voor de (jaarlijkse) update van de agenda. Op BTIC website zou een referentie geplaatst worden naar de Kennisagenda op DigiGO website.

Enkele praktische suggesties voor de web redacteur:

- Op webpagina's is er een beperkte hoeveelheid tekstruimte. Zie voorstel van de structuur webpagina – koptekst – toelichting in de tabel in Annex. De lengte van de toelichting moet beperkt zijn. Langere toelichting, referenties, informatiebronnen en/of achtergrondinformatie kunnen geplaatst worden in een pop-up tekst box of iets dergelijks.
- Afhankelijk van de gekozen de menustructuur van de webpagina's en het content management, korte leesinstructie en disclaimer (standaard disclaimer van DigiGO website) kunnen tevens geplaatst worden op de webpagina's.
- Denk na over de web stijl, daar niet een 'traditionele' website van te maken, maar te onderzoeken of de online versie van de kennisagenda zelf een showcase kan zijn hoe kennisuitwisseling er in de toekomst uit zou kunnen zien.

Annex: Opzet voor webpublicatie en concept literatuurlijst

Voorstel titel webpagina	Koptekst	Korte teksten / toelichting (waar nodig editing en formatting door web-redacteur)	Evt. uitgebreidere toelichting o.b.v. delen van dit Kennisagenda document	Evt. links naar literatuur referenties (zie lijst onder deze tabel)
Introductie DigiGO Kennisagenda	Het Kennisspoor in DigiGO	<p>De DigiGO heeft een aantal werksporen waaronder het Kennisspoor. Het Kennisspoor is eigenlijk geen separaat spoor, maar faciliterend aan de andere werksporen van DigiGO.</p> <p><Insert: plaatje op pagina 3. Voor hoog-resolutie plaatje, vraag Jan Cromwijk, ISSO></p> <p>Aan de ene kant komt vanuit de (wetenschappelijke) kennisinfrastructuur nieuwe kennis en innovatie die input zijn voor de andere lijnen van de DigiGO. Aan de andere kant zorgt de (toegepaste) kennisinfrastructuur voor goede implementatie en adoptie van nieuwe inzichten.</p>	<p>Subhoofdstuk 1.1 Subhoofdstuk 5.1 Aanvullende link(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Link - Link 	
	Synergie tussen DigiGO en BTIC	<p>Het Bouw en Techniek Innovatiecentrum (BTIC www.btic.nu) is een publiek-private samenwerkingsverband dat in juni 2019 van start is gegaan het vliegwiel voor bouw-, ontwerp-, en techniekinnovaties.</p> <p>Zowel DigiGO als BTIC zijn uit De Bouwagenda voortgekomen. Het gezamenlijke doel is een slimme bouwsector. Bij het opstellen van deze Kennisagenda staat BTIC digitalisering meer aan de innovatieontwikkeling / R&D-kant en DigiGO aan de praktijktoepassing / adaptie / cultuur kant.</p> <p>Kennisresultaten moeten toegepast worden in de praktijk – dit is de rol van BTIC en DigiGO samen.</p>		
	Belang van de Kennisagenda	<p>De kennisinfrastructuur in onderzoek, onderwijs en praktijk is nogal versnipperd. De kennisagenda helpt bij het 'ontsnippen' en maakt duidelijker wie wat doet.</p> <p>De Kennisagenda vervult een belangrijke rol bij het vraaggestuurd programmeren van de nieuwe (wetenschappelijke) kennisontwikkeling samen met de kennisvragers en aanbieders.</p> <p>Wie zijn de belanghebbenden bij de Kennisagenda?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Partijen die geïnteresseerd zijn in verdere digitalisering van de (brede) ontwerp-, bouw- en techniek sector. • Partijen in de gebouwde omgeving (triple helix: overheid, markt, kennis) die inzicht willen krijgen in de te verwachte ontwikkelingen. • Toekomstige financiers van strategisch wetenschappelijke onderzoek die goed moeten begrijpen / kunnen legitimeren waarom kennisontwikkeling nodig is. 	<p>Subhoofdstuk 1.2, deel 'Belang'</p>	
	Doel van de Kennisagenda	<p>Het doel van de DigiGO Kennisagenda is richting te geven aan kennisontwikkeling op het gebied van digitalisering in de gebouwde omgeving in samenhang met kennisadoptie,</p>	<p>Subhoofdstuk 1.2, deel 'Doel'</p>	

		<p>borging en deling. Daarbij is het doel om neveneffecten van de kennisinfrastructuur te versterken.</p> <p>De doelgroepen van de Kennisagenda zijn:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Het bredere publiek (de sector) om mensen met wetenschappelijke en toegepaste kennis in digitalisering bij elkaar te brengen. • Het DigiTeam en de stakeholders van DigiGO, incl. BTIC (Bouw en Techniek Innovatiecentrum met daarin bedrijfsleven, overheidsinstanties en kennisinstellingen) en toegepaste kennisplatforms zoals CROW, ISSO, BIM Loket. De Kennisagenda gaat echt 'vliegen' als we het vanuit de gouden driehoek (triple helix: overheid, markt, kennis) gaan doen. 	<p>Aanvullende link(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Link 	
	Scope van de Kennisagenda	<p>Wat is het wel? De focus van de Kennisagenda ligt op het agenderen van te ontwikkelen, dus nieuwe kennis. Met andere woorden: het gaat hier om het agenderen van strategische, wetenschappelijke kennisvragen waar onderzoek nodig is in de toekomst.</p> <p>Wat is het niet? Het gaat dus niet om het agenderen van praktische vragen. De agenda is tevens niet bedoeld als een verzameling/catalogus van huidige best practices vanuit de praktijk.</p> <p>Belangrijkste vragen die geadresseerd zijn in de Kennisagenda zijn:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Welke wetenschappelijke kennis is nodig voor het digitaliseren van de sector en in het bijzonder voor het realiseren van het digitale stelsel? • Welke wetenschappelijke kennis is beschikbaar en welke nieuwe kennis moet ontwikkeld worden? • Wat is het digitalisering kennislandschap/kennisecosysteem en hoe kan het verbeterd worden? 	Subhoofdstuk 1.3	
	Volledig Kennisagenda document downloaden	<Weblink om de PDF versie van de Kennisagenda te downloaden>		
Trends in de wetenschap en praktijk	Digitalisering kennis- en innovatielijnen in Nederland	<p>Vanuit een wetenschappelijk perspectief hebben 4TU.Bouw, Vereniging Hogescholen en TNO in het Bouw en Techniek Innovatiecentrum (BTIC) een concept strategische programma met 10 jaar tijdshorizon opgesteld met o.a. de kennislijnen waarop Nederlandse kennisinstellingen, bedrijven en overheden zich gezamenlijk zouden moeten richten om een toekomstbestendige leefomgeving te helpen vormen.</p> <p><Weblink naar: https://btic.nu/wp-content/uploads/2020/05/BTIC_concept_agenda_digitalisering.pdf></p> <p>In dit concept strategische programma zijn vier technische kennis- en innovatielijnen aangegeven, te weten:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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 	Subhoofdstuk 2.1	7, 22, 27, 29, 31, 47

		4. Ontwikkelde VR/AR-infrastructuur voor ontwerp, engineering, bouwfase en operationele objecten		
	Bredere beschouwing van wetenschappelijke trends	<p>Digitalisering in de bouw en infra is onderdeel van de vierde industriële revolutie oftewel Industry 4.0. Digitaliseringsontwikkelingen in de bouw worden vaak genoemd als Construction 4.0 en omvatten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Industrial production (prefabrication, 3D printing and assembly, offsite manufacture) • Cyber-physical systems (actuators, sensors, IoT, robots, cobots, drones) • Digital and computing technologies (BIM, video and laser scanning, AI and cloud computing, big data and data analytics, reality capture, Blockchain, simulation, augmented reality, data standards and interoperability, and vertical and horizontal integration) 	Subhoofdstuk 2.2	1, 3, 4, 6, 13, 14, 16, 17, 18, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 38, 39, 41, 42, 49, 53, 54
	Trends in de bouwpraktijk	<p>ENCORD (European Network of Construction Companies for Research and Development) ziet dat 'data and intelligent systems', 'Artificial Intelligence' en 'customisation and flexibility' zijn met digitalisering zijn onder de belangrijkste drijvers in de bouw tot 2030.</p> <p>BouwendNederland en USP geven aan welke uitdagingen er zijn in relatie tot deze trends:</p> <ul style="list-style-type: none"> • De bouw wordt steeds digitaler, en kan enorme slagen maken volgens experts. • Bouwers hebben de eerste stappen gezet, maar de sector loopt nog achter op andere sectoren. • De bouw is gedigitaliseerd op individuele onderdelen, maar software en processen zijn nog weinig geïntegreerd. • Zowel experts als "de bouwers" erkennen dat de mate van digitalisering naar een hoger niveau moet, maar dit is lastig te realiseren. <p>In de installatietechniek sector, TechniekNederland benadrukt ook het belang van digitalisering. De installatiebranche digitaliseert in hoog tempo. Ontwerpen worden in een digitale omgeving opgezet en machines worden vanuit deze ontwerpen aangestuurd. Robotisering en 3D-printing hebben specifieke aandacht gekregen in de branche innovatieagenda's</p>	Subhoofdstuk 3.1	5, 15, 20, 45
	Aansluiting op kennisbehoefte in de praktijk	De digitalisering trends en de kennisontwikkelingslijnen voor Nederlandse bouw in deze Kennisagenda is getoetst in email en online dialoogsessies met een groep praktijkvriendelijke wetenschappers en wetenschapsvriendelijke praktijkmensen.	Subhoofdstuk 3.2	
Kennis-ontwikkelingslijnen in deze agenda	Kennisontwikkelingslijn Digital Twin	<p>In deze lijn richt kennisontwikkeling zich op het ontwikkelen van methoden waarmee van objecten en bouwprocessen in de gebouwde omgeving geometrische en gebruiksdata (sensoren) kunnen worden geregistreerd in gebruiksvriendelijke tools.</p> <p>Ontwikkeling van open standaarden voor Digital Twin data zal bijdragen aan de standaarden die nodig zijn voor het Digitale Stelsel voor de Gebouwde Omgeving (DSGO).</p>	Subhoofdstuk 4.1	2, 7, 8, 9, 46, 48, 50
	Kennisontwikkelingslijn Artificial Intelligence	<p>Kennisontwikkeling in AI 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 kan ook worden gezien als een onderdeel van Digital Twins, Robotics en Mixed Reality.</p> <p>De belangrijkste aspecten bij kennisontwikkeling van AI zijn:</p>	Subhoofdstuk 4.2	7, 10, 11, 12, 19, 21, 23, 25

		<ul style="list-style-type: none"> • Kennismodellering • Validatie van data, risicomanagement en security • Smart Buildings and Smart Cities • AI algorithms voor voorspelling en leren (anomaly detection, pattern recognition, neural networks) 		
	Kennisonwikkelingslijn Robotisering en Automatisering	<p>Kennisonwikkeling richt zich op het ontwikkelen en testen van machines in productiehallen en op de bouwplaats (cfr. industrialised construction 4.0). 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.</p> <p>De belangrijkste aspecten bij kennisonwikkeling van Robotisering en Automatisering zijn:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Actuatoren die interactie met omgeving aangaan, op basis van input uit digital twins • IoT doorheen de gebouwde omgeving: Ambient Intelligence ingebed in stedelijke context en gebouwcontext (responsieve omgeving) • Robotisering op bouwplaats en in fabrieken • Geautomatiseerde fabricage • Traceability en bouwlogistiek • Blockchain en digital supply-chain 	Subhoofdstuk 4.3	7, 24, 26, 36, 37, 40, 44, 51, 52
	Kennisonwikkelingslijn Virtual, Augmented, Mixed Reality	<p>Kennisonwikkeling in VR/AR/MR 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. In het bijzonder wordt het gebruik van AR in combinatie met Digital Twin-infrastructuur gestimuleerd voor verbeterde controle van bouwprocessen.</p> <p>De belangrijkste aspecten bij kennisonwikkeling van AR/VR zijn:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Responsieve visualisering in web-based dashboard • VR/AR immersive environments (XR – mixed reality) 	Subhoofdstuk 4.4	7, 43
	Kennisadoptie, fieldlabs, training en human capital	<p>Naast innovatie en kennisonwikkeling op projectniveau gaat het om: (a) kennisdoorstroming naar de uitvoeringspraktijk, (b) verbinding en synergie tussen alfa, bèta, gamma en tussen maatschappelijke sectoren, tussen privaat en publiek, en (c) slimme combinaties en innovaties op lokale schaal en in gebiedsontwikkelingen. Veel van de kennis die gebruikt wordt is ervaringskennis, die bij ieder project verrijkt en vernieuwd wordt.</p> <p>In de Kennisonwikkelingslijn Sociale Innovatie willen wij kennis ontwikkelen over de didactische modellen die nodig zijn voor de verschillende doelgroepen in de digitale transitie.</p>	Subhoofdstuk 4.5	7
Feedback, participatie en literatuur referenties	Feedback	<Online invulformulier voor commentaar>		
	Interesse in workshop participatie	<Nader toe te voegen informatie over toekomstige workshops met daarbij mogelijkheid voor online inschrijving>		
	Groeiende lijst van literatuur referenties	<Literatuurlijst hieronder en online invulformulier om publicaties toe te voegen>		

Literatuur referenties

1. Bashir, M.R. and Gill, A.Q. (2017). "IoT enabled smart buildings: A systematic review," 2017 Intelligent Systems Conference (IntelliSys), London, 2017, pp. 151-159, doi: 10.1109/IntelliSys.2017.8324283.
2. Boje, A. Guerriero, S. Kubicki, and Rezgui, Y. (2020). "Towards a semantic construction digital twin: Directions for future research", in: Automation in Construction, vol. 114, p. 103 179, 2020, ISSN: 0926-5805. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179>.
3. Bonsma, P., Bonsma, I., Ziri, A.E., Iadanza, E., Maietti, F., Medici, M., Ferrari, F., Sebastian, R., Bruinenberg, S. and Lerones. P.M. (2018). Handling huge and complex 3D geometries with Semantic Web technology. In: Proceedings of International Conference Florence Heri-Tech: The Future of Heritage Science and technologies, 16-18 may 2018, Florence.
4. Borrmann, M. König, C. Koch, and Beetz, J. (2018). "Building Information Modeling: Why? What? How?" In Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice. Springer International Publishing, 2018, ch. 1, pp. 1–24, ISBN: 978-3-319-92862-3. DOI:10.1007/978-3-319-92862-3_1.
5. Bouwend Nederland (2019). Op weg naar een Digitale Bouw. <https://www.bouwendnederland.nl/actueel/publicaties/alle-publicaties/6050/op-weg-naar-een-digitale-bouw>
6. BPIE (2017), Is Europe ready for the smart buildings revolution? Mapping smart-readiness and innovative case studies, Brussels: BPIE.
7. BTIC (2020). CONCEPT Strategische Programma Digitalisering 2020-2030. Schrijftteam: Pieter Pauwels, Léon Olde Scholtenhuis, Hans Voordijk, Farid Vahdatikhaki, Peter Russel, Christian Struck, Perica Savanovic, Rizal Sebastian. [online link]
8. BTIC (2020). Digitalisering deelprogramma Digital Twins. https://btic.nu/wp-content/uploads/2020/05/Digitalisering-DigitalTwins_Kennis-en-innovatieprogramma_BTIC.pdf
9. buildingSMART International (2020). Enabling an Ecosystem of Digital Twins. <https://www.buildingsmart.org/buildingsmart-positioning-paper-enabling-an-ecosystem-of-digital-twins/s://www.nlingenieurs.nl/focus/dwarsthemas/digitalisering/>
10. Chiara Foglietta, Dario Masucci, Cosimo Palazzo, Stefano Panzieri (2019). Chapter 8.4. Intelligent Management for Smart Buildings. In: Handbook of Energy Efficiency in Buildings: A Life Cycle Approach. 2019, Pages 597-673. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812817-6.00008-5>.
11. Chidubem Iddianozie, Paulito Palmes (2020). Towards smart sustainable cities: Addressing semantic heterogeneity in Building Management Systems using discriminative models. Sustainable Cities and Society Volume 62, November 2020, 102367. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102367>.
12. Cristiana Bolchini, Angela Geronazzo, Elisa Quintarelli (2017). Smart buildings: A monitoring and data analysis methodological framework. Building and Environment. Volume 121, 15 August 2017, Pages 93-105. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.014>.
13. Curry, E., O'Donnell, J., Corry, E., Hasan, S., Keane, M. (2013). Linking building data in the cloud: integrating cross-domain building data using linked data. Adv. Eng. Inform., 27 (2) (2013), pp. 206-219, 10.1016/j.aei.2012.10.00.
14. Damen, A.A.J., Sebastian, R., MacDonald, M., Soetanto, D., Hartmann, T., Di Giulio, R., Bonsma, P. and Luig, K. (2015). The application of BIM as collaborative design technology for collective self-organised housing. International Journal of 3-D Information Modeling, 4(1), pp. 1-18.
15. ENCORD Foresight Report (2019). http://www.encord.org/?page_id=1960
16. Esnaola-Gonzalez and F. J. Diez (2019). Integrating Building and IoT data in Demand Response solutions. Proceedings of the 7th Linked Data in Architecture and Construction Workshop - LDAC2019. <http://ceur-ws.org/Vol-2389/07paper.pdf>
17. European Commission (2019), Supporting digitalisation of the construction sector and SMEs, Publications Office of the European Union: Brussels.
18. European Commission Joint Research Centre (2019), Digital Transformation in Transport, Construction, Energy, Government and Public Administration, Publications Office of the European Union: Brussels.

19. Ferrandez-Pastor, F.-J.; Mora, H.; Jimeno-Morenilla, A.; Volckaert, B. (2018). Deployment of IoT Edge and Fog Computing Technologies to Develop Smart Building Services. *Sustainability*, 10, 3832. <https://doi.org/10.3390/su10113832>.
20. Innopay (2018). Generiek afsprakenstelsel voor datadeelinitiatieven als basis van de digitale economie. <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2018/12/30/generiek-afsprakenstelsel-voor-datadeelinitiatieven-als-basis-van-de-digitale-economie/Onderzoek+datadelen+MKB.pdf>
21. Ismagilova, E., Hughes, L., Rana, N.P. et al. (2020). Security, Privacy and Risks Within Smart Cities: Literature Review and Development of a Smart City Interaction Framework. *Inf Syst Front*. <https://doi.org/10.1007/s10796-020-10044-1>.
22. KIA Sleuteltechnologieën 2020-2023 (2020). <https://www.hollandhightech.nl/kia-sleuteltechnologieen>
23. Kofler, M.J., Reinisch, C., Kastner, W. (2012). A semantic representation of energy-related information in future smart homes. *Energ. Buildings*, 47 (April) (2012), pp. 169-179, 10.1016/j.enbuild.2011.11.04.
24. Kramers, A., Hojera, M., Lovehagen, N., Wangel, J. (2014). Smart sustainable cities – Exploring ICT solutions for reduced energy use in cities. *Environmental Modelling & Software* Volume 56, June 2014, Pages 52-62. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.019>.
25. Kučera A., and Pitner, T. (2018). Semantic BMS: Allowing usage of building automation data in facility benchmarking. *January 2018 Advanced Engineering Informatics* 35:69-84. 10.1016/j.aei.2018.01.002.
26. Lee, H., Lee, K., Kim H., and Lee, I. (2018). "Wireless Information and Power Exchange for Energy-Constrained Device-to-Device Communications," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 4, pp. 3175-3185, Aug. 2018, doi: 10.1109/JIOT.2018.2836325.
27. Meerjaren programma "Industry 4.0 for the Built Environment" (2019). https://www.hollandhightech.nl/sites/www.hollandhightech.nl/files/inline-files/30_MJP_Industry_4.0_for_the_Built_Environment_merged_update_29_mei.pdf
28. Moseley, P. (2017). EU Support for Innovation and Market Uptake in Smart Buildings under the Horizon 2020 Framework Programme. In: *Buildings*, 7, 105. doi:10.3390/buildings7040105.
29. Nederlandse Digitaliseringsstrategie. Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (juni 2018).
30. NEN (2020), NTA 8035:2020 Semantic modeling of information in the built environment, Delft: NEN.
31. O'Donnell, J., Corry, E., Hasan, S., Keane, M., Curry, E. (2013). Building performance optimization using cross-domain scenario modeling, linked data, and complex event processing. *Build. Environ.*, 62 (April) (2013), pp. 102-111, 10.1016/j.buildenv.2013.01.01.
32. Pauwels, P. and Terkaj, W. (2015). "EXPRESS to OWL for Construction Industry: Towards a Recommendable and Usable ifcOWL Ontology", in: *Automation in Construction*, vol. 63, pp. 100-133, 2016. DOI:10.1016/j.autcon.2015.12.00.
33. Pauwels, P., Krijnen, T., Terkaj, W., Beetz, J. (2017). Enhancing the ifcOWL ontology with an alternative representation for geometric data. *Automation in Construction*. Volume 80, August 2017b, Pages 77-94. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.03.001>.
34. Pauwels, P., Zhang, S., Lee, Y.C., (2017). Semantic web technologies in AEC industry: A literature overview. In: *Automation in Construction* Volume 73, January 2017, Pages 145-165. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.10.003>.
35. Petrova, E. A., Pauwels, P., Svidt, K. & Jensen, R. L. (2019). In Search of Sustainable Design Patterns: Combining Data Mining and Semantic Data Modelling on Disparate Building Data, 2019, *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering: Proceedings of the 35th CIB W78 2018 Conference: IT in Design, Construction, and Management*. Mutis, I. & Hartmann, T. (eds.). Cham: Springer, p. 19-26.
36. Prasse, A. Kamagaew, S. Gruber, K. Kalischewski, S. Soter and M. ten Hompel, (2011). "Survey on energy efficiency measurements in heterogenous facility logistics systems," 2011 *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Singapore, 2011, pp. 1140-1144, doi: 10.1109/IEEM.2011.6118093.

37. Rajasekhar and Pindoriya, N. (2015). "Decentralized energy management for a group of heterogeneous residential customers," IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA), Bangkok, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2015.7387183.
38. Rasmussen, M.H., Lefrancois, M., Pauwels, P., Hviid, C.A., and Karlshoj, J. (2019). Managing interrelated project information in AEC Knowledge Graphs. In: Automation in construction, 108:102956, 2019.
39. Rasmussen, M.H., Lefrancois, M., Schneider, G.F., and Pauwels, P. (2020). BOT: the Building Topology Ontology of the W3C Linked Building Data Group. Semantic Web Journal 2020.
40. Sattarian, M., Rezazadeh, J., Farahbakhsh, R. et al. (2019). Indoor navigation systems based on data mining techniques in internet of things: a survey. Wireless Netw 25, 1385–1402. <https://doi.org/10.1007/s11276-018-1766-4>.
41. Sawhney, A., Riley, M. and Irizarry, J., eds. (2020). Construction 4.0: An Innovation Platform for the Built Environment, Routledge: New York.
42. Sebastian, R., Böhm, H.M., Bonsma, P. and Helm, P.W. van den (2013). Semantic BIM and GIS for modelling energy-efficient buildings integrated in a healthcare district. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing II-2/W1, [online] Volume: ISPRS 8th 3DGeoInfo Conference. Available at: <http://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/II-2-W1/255/2013/>.
43. Sebastian, R., Olivadese, R., Piaia, E., Di Giulio, R., Bonsma, P., Braun, J.D. and Riexinger, G. (2018). Connecting the Knowhow of Design, Production and Construction Professionals through Mixed Reality to Overcome Building's Performance Gaps. Proceedings 2018, 2(15). Conference: Sustainable Places 2018 at Aix-les-Bains, France.
44. Stojkoska, B.L.R., Trivodaliev, K.V. (2016). A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions. Journal of Cleaner Production Volume 140, Part 3, 1 January 2017, Pages 1454-1464. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.006>.
45. Techniek Nederland (2016). Robotisering in de installatiebranche. <https://www.technieknederland.nl/stream/rapport-robotisering-in-de-installatiebranche>
46. TNO (2020). Naar netwerken van predictive twins van de gebouwde omgeving. <http://publications.tno.nl/publication/34637410/IYA5FO/TNO-2020-netwerken.pdf>
47. Topsectoren Kennis- en Innovatieagenda 2018-2021. <https://www.topsectoren.nl/publicaties/publicaties/rapporten-2017/december/11-12-17/kia-2018-2021>
48. TU München and Siemens (2019). Built Environment Digital Twinning. https://publications.cms.bgu.tum.de/reports/2020_Brilakis_BuiltEnvDT.pdf
49. Turk, Z. (2020). Interoperability in Construction – Mission Impossible? Developments in the Built Environment. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100018>.
50. University of Cambridge - Centre for Digital Built Britain (2018). The Gemini Principles. <https://www.cdcb.cam.ac.uk/DFTG/GeminiPrinciples>
51. Verbeke, Stijn; Aerts, Dorien; Reynders, Glenn; Ma, Yixiao; Waide, Paul (2020). Final report on the technical support to the development of a smart readiness indicator for buildings. Final report for the European Commission. <https://op.europa.eu/s/olv0>.
52. Vigna, I.; Perneti, R.; Pernigotto, G.; Gasparella (2020). A. Analysis of the Building Smart Readiness Indicator Calculation: A Comparative Case-Study with Two Panels of Experts. Energies, 13, 2796.
53. Volk, R., Stengel, J., and Schultmann, F. (2014). "Building Information Modeling (BIM) for Existing Buildings – Literature Review and Future Needs", in: Automation in Construction, vol. 38, pp. 109–127, 2014. DOI:10.1016/j.autcon.2013.10.023.
54. Wagner A., and Ruppel. U. (2019). BPO: The building product ontology for assembled products. In Maria Poveda-Villalon, Pieter Pauwels, RuiDe Klerk, and Ana Roxin, editors, Proceedings of the 7th Linked Data in Architecture and Construction Workshop (LDAC), CEUR Workshop Proceedings, volume 2389, pages 106–119, Lisbon, Portugal.