

# MJP: Industry 4.0 for the Built Environment

## 1. Titel en bestaand of nieuw uit te werken

Hoewel het voortbouwt op diverse bestaande programma's is dit meerjarenprogramma als zodanig is een nieuw programma.

## 2. Tot welke van de clusters van technologieën behoort dit MJP:

Digital technologies, Advanced materials, Chemical technologies, Engineering and fabrication technologies.

## 3. De volgende sleuteltechnologieën staan centraal:

**Engineering & Fabrication Technologies:** Additive Manufacturing Technologie (AMT), 3D Printen, Mechatronica, Robotica;

**Advanced Materials:** advanced materials i.c.m. impact assessment; **Digital technologies:** Deep learning, Artificial intelligence (AI), IoT, Big data, linked data, machine learning (ML), Digital Twin incl. Augmented Reality (AR), blockchain, multi-agent software bots (BIM Bots); collaborative robotics (cobotics) incl. 3D printing, security, HPC, woningclassificatiesystematiek.

## 4. Positie NL: Wat is de relatieve positie van NL in deze technologieën in EU en mondiaal?

Nederland is mede door de woningnood na WOII, koploper op het gebied van prefabricage in de bouw (Industry 2.0) en wordt door landen die streven naar een hogere productiviteit van de bouwsector, zoals Singapore, gezien als voorbeeld. De ontwikkeling van Bouw Informatie Modellen (BIM) en de digitale ontwerpomgeving biedt een goede uitgangssituatie voor *Industry 4.0*. Zo kan aangesloten worden op het netwerk van IoT. De *Smart Buildings Revolution* (vierde industriële revolutie) wordt gekenmerkt door een paradigmaverschuiving waarbij een verbinding ontstaat tussen de werkelijke en de virtuele/digitale wereld. Nederland is één van de front-runners in Europa op het gebied van voor de bouw te ontwikkelen digitale technologieën als *Digital Twin* en *Augmented Reality*. Om deze leidende positie van Nederland en Europa te mondiaal vast te houden zijn urgent deze nieuwe fundamentele en toegepaste kennis en innovaties nodig (BPIE, 2017). Volledige digitalisatie, integratie van bouwtechnieken en robotisering zijn hierbij essentieel.

Additive Manufacturing Technologie (AMT) is, als productiestrategie uitermate geschikt voor toepassing in een *Industry 4.0* omgeving. Nederland is koploper voor deze technologie in de bouw (zowel wetenschappelijke kennisontwikkeling, als toepassing in de bouwpraktijk). 3D printen in de gebouwde omgeving staat sterk in de belangstelling van de media<sup>1</sup>. De TU/e behoort tot een selecte kopgroep waar de kennis op het gebied van het 3D printen van beton wordt ontwikkeld, en is gastheer van het 2<sup>e</sup> RILEM congres Digital Concrete 2020. Onderzoek en ontwikkeling vinden wereldwijd navolging in onder meer Dubai en Singapore. De AMT markt ontwikkelt mondiaal in hoog tempo van 'emerging' naar *complete supply chain* waarin Nederland samen met landen als Amerika en Duitsland voorop loopt. De maatschappelijke uitdagingen om CO2 te reduceren en circulair te werken hebben direct invloed op bouwmaterialontwikkeling. De bouw is een van de 5 sectoren om invulling te geven aan het ambitieuze nationale beleid Circulaire Economie. Technologieontwikkeling richt zich in Nederland als eerste op beton en asfalt. De keten van grondstofwinning en productie van toeslagstoffen strekken zich uit voorbij de landsgrenzen en er wordt Europees samengewerkt. In Nederland zijn TNO en diverse universiteiten actief, in combinatie met bedrijven uit de keten. Dit wordt ondersteund door Materials innovation institute (M2i) en het Bouw Techniek en Innovatie Centrum (BTIC).

## 5. Korte beschrijving van voorgesteld meerjarenprogramma voor onderzoek en ontwikkeling

Het MJP wordt ontwikkeld langs een aantal hoofdlijnen van onderzoek en de cross-overs daartussen:

### A. Digital Transformation in Construction<sup>2</sup>

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. Voor geïndustrialiseerde bouwprocessen, zoals het printen van beton, is de kwaliteit van het eindproduct afhankelijk van vele factoren. Robots moeten worden aangestuurd vanuit een digitaal model, de kwaliteit worden bewaakt met niet-destructieve meettechnieken en, waar nodig, direct worden bijgestuurd (inzet van deep learning (AI) technologie en real-time omgang met grote hoeveelheden data, inclusief tijdens embedded sensor data). Om industrialisatie, standaardisatie en opschaling van gebouwrenovaties mogelijk te maken dient een woningclassificatie systeem ontwikkeld te worden.

B. **Robotica.** De bestaande robots zijn niet ontwikkeld voor de bouw. De schaal, omgeving en aard van de werkzaamheden in de bouw vereisen robotica systemen die specifiek voor de bouw zijn ontwikkeld (on site en off-site). Concreet moet een aantal stappen gemaakt worden, waarvan de belangrijkste is: van single-robot naar multi-robot systemen ("swarm robotica"). Gebouwen zijn te groot en complex om met een single-robot te maken. Samenwerkende systemen moeten worden ontwikkeld. Hiervoor kan worden voortgebouwd op TU/e expertise dit gebied (wereldkampioen robotvoetbal).

### C. 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. Dit betreft onderzoek naar industriële productieprocessen en de toepasbaarheid en het potentieel van deze technieken t.b.v. on-site en off-site bouwproductie incl. digitale aansturing (o.a. robotisering, 3D printing, cobots); onderzoek naar en ontwikkelen van ontwerpmethoden t.b.v. industriële bouwoplossingen met maximale potentie voor industrialisatie en de noodzakelijke

<sup>1</sup> Worldwide media attention: Groundbreaking 3D concrete printing projects have received media attention worldwide (CNN, BBC, The Washington Post, The Guardian, Reuters, etc.). The experimental research is supported by state-of-the-art modeling activities, which recently have led to a landmark publication (with media attention) on the mechanistic modeling of structural collapse during 3D printing processes (Suiker, 2018, Int. J. Mech. Sci.).

<sup>2</sup> Zeer recent zijn op sectorniveau (Bouw & Infra) de kennisprogramma's Digitalisering van het BTIC en de DigiDeal Gebouwde Omgeving (DigiDealGO) opgestart om de nationale digitaliseringsagenda een sterke impuls te geven en volgens de visie van de sector (Bouwagenda) te komen tot het realiseren van een Digitaal Stelsel van de Gebouwde Omgeving (DGSO). In de concept Implementatie Roadmap van DigiDealGO 'Betere Kennisontwikkeling' wordt BTIC aangegeven als trekker van 'impuls voor fundamenteel en toegepast onderzoek'. Naar verwachting gaan 10 onderzoeksprojecten in 2019 van start in combinatie met Field Labs/Living Labs. Deze projecten worden verlengd/uitgebreid in 2020-2023 in de vorm van strategisch toegepast onderzoek en fundamenteel onderzoek waarin de sleuteltechnologieën centraal staan.

flexibiliteit (o.a. platform, product, family design); ontwikkelen van eerste generatie field labs voor geselecteerde industriële (deel)processen en producten; ontwikkelen van kritische componenten voor duurzame verwarming en koeling (warmtepompen, warmteopslag) tot breed geaccepteerde installaties (kostenverlaging, minder overlast door geluid en volumegebruik) die tevens een verschuiving van vraag en aanbod door verliesvrije/verliesarme decentrale warmteopslag mogelijk maken.

#### D. **Advanced & circular materials for the Built Environment (bouw & infra)**

Materiaalgebruik in de bouw en infra heeft een zeer grote milieu-impact (o.a. broeikasgasemissies en embodied energie) in het bijzonder het gebruik van asfalt en beton. 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. Het bestaat uit de deelonderwerpen: a) materiaalkennis en sensing-technieken voor nauwkeurige bepaling van risico's en betrouwbaarheid van bestaande constructies met oog op verlenging levensduur; b) materiaalkennis en sensing-technieken voor sterk verbeterde bepaling vereiste prestaties van secundaire materialen bij toepassing in constructies en het mogelijk maken van hergebruik; c) optimalisering van Levenscyclusanalyse (LCA) voor beoordeling van de milieuprestatie van innovatieve materialen en producten (incl. integratie van toekomstscenario's in LCA's en vaststelling van de restwaarde van bouwmaterialen). Met AMT in betonconstructies zorgt voor een materiaalbesparing van 35%. Op de middellange termijn kan een verdere CO<sub>2</sub>-reductie worden gerealiseerd door de ontwikkeling van duurzame printmortels, bijvoorbeeld op basis van een betere pakking (cement reductie) of het gebruik van geopolymeren in plaats van cement. Voorts kunnen verschillende functies in het geprinte beton worden geïntegreerd. Hierbij worden in één productiegang composieten geprint met meerdere functionaliteiten, waaronder constructieve sterkte, isolatie, warmteopslag, elektrische geleiding en zelf een herstellend vermogen bij een beschadiging. Hierdoor neemt het aantal bouwmaterialen, het transport en fragmentatie in de uitvoering af.

#### 6. **Ecosysteem:**

*Welke clusters, kennisinstellingen, overheden en private partijen maken deel uit van het ecosysteem rondom deze technologieën en onderschrijven dit MJP?*

- **Nationaal:** [BTIC](#) (overheden, kennisinstellingen en marktpartijen in de Bouw- en Technieksector), DigiDealGO, Topsector HTSM – Roadmap Smart Industry, High TechNL, Rijkswaterstaat, 4TU, De Renovatieversneller. KPN SmartONE flagship, M2i, SKKB, BIM Loket, NWO-TTW, RvO: Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's voor de gebouwde omgeving (MMIP3 Versnelling energierenovatie in de gebouwde omgeving (met name 3.2 Robotisering, digitalisering); MMIP4 Duurzame warmte en koude in de gebouwde omgeving), MMIP6 Sluiting van industriële kringlopen.
- **Regionaal:** [Holland Robotics/High Tech NL](#), [Brainport Smart District](#), High Tech Systems Center (HTSC), TNO en AMSYSTEMS Center, Eindhoven Engine, Gemeente Eindhoven
- **Europees:** The European Construction, built environment and energy efficient building Technology Platform ([ECTP](#)), INTERREG-NWE - Interreg North-West Europe Programme, Digital Europe Programme (€9,2 miljard) en Digital & Industry (incl. bouw & infra) in het kaderprogramma Horizon2020 (€15 miljard), Horizon2020 – EEB (Energy Efficient Building), Horizon Europe (opvolger van Horizon2020).
- **Industry:** Saint Gobain, BAM, Besix, Weber Beamix, Witteveen+Bos, CRH, Bekaert, Siemens, Van Wijnen, Concrete Valley, SGS, Consolis, Verhoeven.
- **Academia & Applied Universities** etc.: Singapore University (Nanyang Technical University NTU Singapore), Stellenbosch University South Africa, ISSTAR (Topinstituut), Deltares, Summa College, Hogeschool Utrecht, TU Delft, EuroTech Universities Alliance, Universiteit van Dresden, ETH Zürich, DTI, Loughborough, University of Naples, Universiteit van Gent.

#### 7. **Organiserend vermogen:** Welke organisaties treden op als nationale penvoerder?

BTIC is bereid als penvoerder op te treden.

#### 8. **Kans op maatschappelijke impact op de korte en lange termijn:**

*Op welke wijze draagt dit MJP bij aan de vier thematische Kennis & Innovatie Agenda's.*

##### • **Energie en Duurzaamheid**

De bouwsector in Nederland staat voor drie opgaven met grote maatschappelijke impact: 1) transitie van gas naar elektriciteit, 2) het vergaand renoveren van bestaande woningen naar circa 50.000 woningen in 2021 tot 200.000 woningen jaarlijks vanaf 2030 (Klimaatakkoord, 2018) en 3) onderhoud en vervanging van een groot arsenaal aan civiele constructies dat het einde van de levensduur nadert. De huidige bouwsector zal verder niet kunnen voldoen aan de vraag naar (ver)nieuwbouw. De ontwikkeling en implementatie van Industry 4.0 adresseert deze uitdaging op meerdere manieren en is noodzakelijk als enabler voor het behalen van de doelstellingen zoals tevens benoemd in de Bouwagenda: 1) tenminste 10% productiviteitsstijging in de bouwsector in 2025, 2) 100% energieneutrale nieuwbouw van woningen en utiliteitsgebouwen vanaf 2020, 3) komen tot een energieneutrale gebouwde omgeving en een geheel circulaire bouwsector in 2050.

##### • **Gezondheid en Zorg**

Door de toenemende verstedelijking, klimaatverandering en verschuivende demografie staan we tevens voor enorme uitdagingen op het gebied van gezondheid en welbevinden. De maatschappelijke impact van een versnelling in de bouw loopt langs twee lijnen:

1. De bouwsector wordt gekenmerkt door een hoge mate van verzuim en vroegtijdige arbeidsongeschiktheid, met een grote impact op de Nederlandse economie. Toenemende robotisering zal leiden tot langer en gezonder doorwerken. Dit biedt een aantrekkelijk alternatief op de lopende maatschappelijke discussie over vervroegd pensioen in zware beroepen zoals in de bouw.
2. Woon-, werk- en samenlevingsvormen worden met de versnelling in de bouw flexibeler en kunnen meer vraag gestuurd ontwikkeld worden waarbij er tijdig ingespeeld wordt op de vraag naar nieuwe woon- en samenlevingsvormen voor bijvoorbeeld ageing-in-place waarbij de hoog oplopende zorgkosten door vergrijzing en dementie worden gedrukt en waarbij de vitaliteit en het welbevinden van de mens toeneemt. Zo biedt 3D Printen een alternatief op de eenvormigheid die ontstaat als

gevolg van de schaarste aan goedkope woningen in combinatie met wereldwijde verstedelijking (*mass customization*), met een belangrijke positie en rol voor de eindgebruiker, waarbij cultuur, ontmoeting en sociale omgang centraal staan.

- **Veiligheid**

De bouw wordt gekenmerkt door een relatief hoge mate van werk gerelateerde ongevallen. De introductie van Industry 4.0 zal voor verbetering zorgen en het aantal ongevallen met letsel verminderen: door industrialisatie van bouwprocessen kan bij de uitvoering beter aan gewenste veiligheidsnormen worden voldaan en kan de veiligheid van het bouwwerk beter controleerbaar zijn. Tevens zal de introductie van Industry 4.0 bijdragen aan de ontwikkeling van het proces van het on-the-spot bouwen van *emergency houses*.

### **9. Kans op economische impact op korte en lange termijn:**

*Beschrijf de investeringsbereidheid van private partijen, de technologische rijpheid (TRL-niveau), en de timing waarop de impact naar verwachting grootschalig zal plaatsvinden in de markt (binnen vijf jaar, tussen 5-10 jaar en na 10 jaar)*

Door in te zetten op een sterk data gedreven en industriële bouwproductie kan het regionale en projectgebonden karakter van de sector doorbroken worden. 3D printen in de gebouwde omgeving zal zowel door de multi-disciplinaire benadering als het samenbrengen van AMT, Robotics en digitalisering en automatisering van het bouwproces, de innovatie van de bouwsector helpen versnellen. De combinatie van AMT, (toegepast) materiaalonderzoek, robotics, architectuur, software design en het betrekken van de eindgebruiker (industriële maatwerk) voor de constructie van betaalbare woningen zal de AM waardeketen versterken.

De totale omzet van de bouwsector wereldwijd bedraagt 10 triljard dollar per jaar. De grote omvang (de bouw staat garant voor circa 7% van het totale nationale bruto product) betekent dat een kleine verandering al een groot economisch effect heeft. De eerste 5 jaar ligt de nadruk op proeftuinen, het ontwikkelen van regelgeving en het uitbouwen van het draagvlak. Impact op de sector en de gebouwde omgeving zal gerealiseerd worden binnen 5-10 jaar.

De bouw heeft afgelopen decennium een digitale ontwerp transitie doorgemaakt waardoor de mogelijkheid is ontstaan ook digitaal te produceren en assembleren. Dit alles op basis van één gemeenschappelijke dataset. De focus verschuift hierdoor in de sector van eindproduct naar productontwikkeling. Innovaties moeten nu direct worden afgeschreven en zijn daarmee schaars. Met de komst van parametrische modellen voor bepaalde gebouw groepen en kunstwerken kan worden geïnvesteerd in processen en ontwerpmethoden. Dit versnelt de innovatie, vergroot marges voor de bouwbedrijven en zal leiden tot nieuw intreders in het bouwproces. De economische impact strekt daarmee voorbij de innovatie van digitaal ontwerpen en digitaal produceren door een cross over met robotisering in de innovatie van het bouwproces.

Door de samenwerking met Brainport Smart District (BSD) dat zich ontwikkelt tot Quadruple Helix Innovation Lab, krijgt de verbinding met de eindgebruiker letterlijk vorm. De nieuwe wijze van constructie en productie van woningen door deze nieuwe technologie kan in BSD verder worden ontwikkeld in een proeftuin voor co-creatie met de bewoners.

### **10. Krachtenbundeling: Met welke andere nationale, regionale en/of Europese (inhoudelijke) initiatieven en programma's wordt samengewerkt of is het voornemen om samen te werken.**

Verbindingen bestaan of zijn gelegd met:

Nationaal: Topsector HTSM – Roadmap Smart Industry, Bouwagenda, BouwTechniek Innovatie Centrum (BTIC) (met Ministeries van EZK, BZK en IenW, TNO, 4TU.Bouw, Vereniging Hogescholen, NLIingenieurs, UNETO-VNI, Bouwend Nederland en veelvoud aan partijen, > 100, in consortium verband), Rijksbrede programma Circulaire Economie, Rijkswaterstaat, NWO (ORC, TTW), OCIB en de HCA.

Regionaal: Brainport Smart District, Eindhoven Engine als innovatieversneller en Brainport Development.

Europees: The European Construction, built environment and energy efficient building Technology Platform (ECTP), EuroTech Universities Alliance, INTERREG-NWE, Vanguard Initiative Pilot Project High Performance Production through 3D Printing, EIT Manufacturing, EIT Digital Cities, European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities (EIP-SCC).

Mondiaal: Singapore Governmental Agencies (Knowledge & Technology Transfer), Dubai Road and Transportation Authority & Industries (idem). RILEM TC DFC (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (lid Technical Committee, co-auteurs van state-of-the-art rapport, TU/e is host/organisator van 2nd RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication in 2020), deelname in NSF International Consortium (National Science Foundation, USA).

In het kader van de Sectorplannen heeft intensief overleg plaatsgevonden in 4TU verband en zal onder andere gefocust worden op de volgende relevante zwaartepunten: 1) Sustainable Civil Engineering materials and structures, en 2) Traditional building materials and systems. Het TU/e Structural Design Laboratorium is uniek in de wereld en is geëquipeerd om grootschalige projecten (gebouwen en civiele kunstwerken) te printen en te testen op constructieve veiligheid.

### **11. Cross-over karakter: Op welk(e) snijvlak(ken) van wetenschaps- en technologievelen en bedrijfstakken zullen innovaties plaatsvinden? Welke sleutelmethodeën uit de alfa, bèta en gamma en engineering disciplines zijn hierbij essentieel?**

Industry 4.0 in de bouw heeft per definitie een cross-disciplinaire en cross-sectorale aanpak en naast additive manufacturing ontwikkeling, is kennis & implementatie nodig van onder andere Robotica, Informatica, materialen & chemie (fysisch), process engineering, software development, architectuur, wiskunde, mechanica, stedenbouw, ontwerp en design, IoT, Data Sciences and technische bedrijfskunde, psychologie, governance, fysica, gedragskunde, omgevingswetenschappen en informatietechnologie alsook civiele techniek, elektrotechniek, industrieel ontwerpen, logistiek en supply chain management, constructief onderzoek, onderzoek aan sensortechnologie, digitalisering, systeemanalyse van transities, business modellen.

**12. Indicatie van benodigde gemiddelde jaarlijkse financiering en commitments voor de periode 2020-2023**  
 zie tabel:

<b>Bron</b>	<b>Totaal- bedrag</b>	<b>Waarvan reeds gecommitteerd</b>	<b>Waarvan te mobiliseren</b>
Private middelen	16,7	10	6,67
PPS toeslag	5	3,0	2,0
TO2 middelen	3,8	2,5	1,33
NWO	10	0	10
Universiteiten/hogescholen	5	2	3
Regionale middelen (provincie, gemeente)	2	1	1
Departementale middelen	30	20	10
EU middelen	5,5	0,5	5
ROMs en InvestNL	0	0	0
Anders, namelijk:	2	1	1
<b>Totaal bedrag (mln EUR per jr)</b>	<b>80</b>	<b>40</b>	<b>40</b>