



# Civiele Kunstwerken

## Kennis- en Innovatieprogramma

Het BTIC  
versie 1.0  
29 april 2021



# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>3</b>
1.1	BTIC	3
1.2	Afbakening Kennis- en innovatieprogramma	3
1.3	De opgave	4
1.4	Gezamenlijke inzet op innovatietrajecten	6
1.5	Hoofdpijnen van het deelprogramma	6
<b>2</b>	<b>Ontwikkeling betrouwbare reststerkte- en voorspellingsmodellen op areaalniveau</b>	<b>9</b>
2.1	Omschrijving	9
2.2	Innovatietrajecten/-kansen	9
2.3	Resultaat	10
<b>3</b>	<b>Ontwikkeling geautomatiseerde data- en inspectietechnieken</b>	<b>12</b>
3.1	Omschrijving	12
3.2	Innovatietrajecten/-kansen	12
3.3	Resultaat	13
<b>4</b>	<b>Ontwikkeling en testen levensduurverlengende maatregelen en bio-based materialen</b>	<b>14</b>
4.1	Omschrijving	14
4.2	Innovatietrajecten/-kansen	16
4.3	Resultaat	16
<b>5</b>	<b>Ontwikkeling Industrieel en modulair bouwen nieuwe bruggen</b>	<b>17</b>
5.1	Omschrijving	17
5.2	Innovatietrajecten/-kansen	18
5.3	Resultaat	19
<b>6</b>	<b>Geschied voor vervoer van de toekomst</b>	<b>21</b>
6.1	Omschrijving	21
6.2	Innovatietraject	21
6.3	Resultaat	22
<b>7</b>	<b>Kennisdeling &amp; opschaling</b>	<b>23</b>
	Bijlage 1 Lijst van inbreng	24

# 1 Inleiding

## 1.1 BTIC

In 2016 is door drie ministeries (BZK, EZK, IenW) en de brancheverenigingen in de bouw de Bouwagenda gelanceerd. Doel van de Bouwagenda is het gezamenlijk komen tot een ambitieus vernieuwingsprogramma rond grote maatschappelijke uitdagingen waar Nederland zich voor ziet gesteld. Door samen krachtig in te zetten op innovatie en opschaling kunnen opgaven zoals de energietransitie van de gebouwde omgeving, het duurzamer gebruik van schaarse grondstoffen, de beperking van uitstoot, verregaande digitalisering en industrialisatie van de bouwsector en grootschalige vervanging en renovatie van infrastructuur beheersbaar, betaalbaar en uitvoerbaar worden en blijven.

Gezamenlijke aanpak vergt het bundelen van krachten. Om de innovatiekracht van de bouwsector te versterken is, op voorzet van de Bouwagenda, door de overheid, brancheverenigingen en kennis-/onderwijsinstellingen in mei 2019 het Bouw en Techniek Innovatiecentrum (BTIC) opgericht. Dit publiek-private samenwerkingsverband is van start gegaan met als doel om efficiënte, gebundelde innovatieprocessen op te zetten, gericht op kennis- en innovatieontwikkeling van dat wat 'we' nog niet weten of kunnen. Maar waarvan we al wel aanvoelen dat we het over 2 tot 6 jaar grootschalig nodig gaan hebben om de maatschappelijke uitdagingen aan te kunnen pakken. Het BTIC zet zich in als het vliegwiel voor de bouw-, ontwerp-, en technieksector waarin innovatievragen, kennisaanbod en investeringen samenkomen.

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 de consortia die het BTIC (mede) helpt vormen. Deze afstemming levert niet alleen technologische innovaties op, maar zorgt ook voor sociale en procesverbeteringen. 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.

## 1.2 Afbakening Kennis- en innovatieprogramma

In 2019 en 2020 zijn door het BTIC meerjarige en integrale kennis- en innovatieprogramma's van start gegaan voor de Energietransitie in de bestaande bouw, digitalisering en circulaire bouwconomie. Deze richten zich op de (middel-)lange termijn. Het is de wens om ook rond civiele infrastructuur een dergelijk meerjarig integraal kennis- en innovatieprogramma te maken. Het veld van civiele infrastructuur is zeer breed. Het omvat o.a. aanleg en onderhoud van wegen, spoorwegen, kanalen, rivieren, (ondergrondse) kabels en leidingen, bruggen, viaducten, sluizen, tunnels en (verkeers-)technische installaties. Het kent inzet van diverse materialen (bijvoorbeeld asfalt, beton en staal), een grote hoeveelheid instrumenten (bijvoorbeeld innovatief inkopen en assetmanagement) en een grote hoeveelheid individuele infrastructuurbeheerders en bedrijven.

Het opstellen van een op de (middel-)lange termijn gericht alomvattend kennis- en innovatieprogramma voor de gehele civiele infrastructuur is een enorme, zo niet onmogelijke, opgave. Om die reden is ervoor gekozen om specifieke deelgebieden te identificeren waar (nog) onvoldoende sprake is van bundeling en acuut behoefte is aan (toegepaste) kennis- en innovatieontwikkeling. Het BTIC kan op een dergelijk deelgebied haar toegevoegde waarde als onafhankelijke facilitator/makelaar/verbinder bewijzen, door een aanzet te geven voor een bundeling/coalitievorming/koppeling van de investeringen van die partijen.

De noodzaak daartoe wordt breed gedeeld. Een observatie is dat de (grotere) beheerders van infrastructuur elk hun eigen koers varen en de kleinere beheerders vaak afwachten met welke vernieuwingen de grote beheerders komen. Het opzetten van een gezamenlijk meerjarenprogramma voor kennisontwikkeling en innovatie vergroot de efficiency en de kwaliteit. Samenwerking in de 'gouden driehoek' (overheden, bedrijven en kennisinstellingen) is hierbij gewenst, zoals in de topsectoren. Zo'n aanpak is niet nieuw. Voor veel constructietypen bestaat al een gezamenlijke landelijke aanpak:

- Het COB voor ondergrondse infrastructuur;
- De Asphalt-Impuls voor wegverhardingen;
- Het kennisprogramma Natte Kunstwerken voor sluisen, stuwen, waterkeringen en damwanden (Deltares, Marin, RWS en TNO); en
- Stichting RIONED voor riolen en stedelijk waterbeheer.

Een soortgelijke aanpak ontbreekt echter voor bruggen, viaducten, en sluisen (al is voor sluisen recent gewerkt aan een Scan toepassingsgerichte kennis- en innovatiekansen V&R-opgave sluisen). Het BTIC neemt met dit document het initiatief voor het opzetten van een kennis- en innovatieprogramma civiele kunstwerken vanuit de 'gouden driehoek'. Het BTIC heeft daarbij de onafhankelijke functie om innovatietrajecten te faciliteren, coalitievorming te ondersteunen of mede mogelijk te maken en, waar mogelijk, de innovatietrajecten en/of coalities te koppelen aan financiële middelen.

### 1.3 De opgave

Ons land heeft veel water en wegen en daardoor ook veel civiele kunstwerken (waaronder bruggen, viaducten en sluisen). Alle civiele infrastructuur samen is meer dan 300 miljard euro waard. De infrastructuur vertegenwoordigt verreweg het grootste publieke bezit in Nederland.

Zowel bij rijks- en spoorwegen als bij de provinciale, gemeentelijke en waterschapsinfrastructuur komt een groot deel van de civiele kunstwerken (vooral uit de jaren zestig en zeventig) de komende jaren voor (grootschalig) onderhoud of vervanging in aanmerking. De opgave, en bijkomende kosten, voor het renoveren en/of vervangen van deze kunstwerken, waaronder 85.000 bruggen en viaducten, groeit de komende decennia flink (zie Figuur 1). Vervanging en (grootschalig) onderhoud heeft vooral betrekking op het aanpassen of vernieuwen van bestaande kunstwerken, bijvoorbeeld vanwege nieuwe eisen, technische veroudering of economische veroudering.

Niet alleen de hoeveelheid kunstwerken die moet worden aangepakt neemt steeds verder toe, maar dat ook de (toegevoegde) kwaliteit van de kunstwerken is van belang. Het gaat dan niet

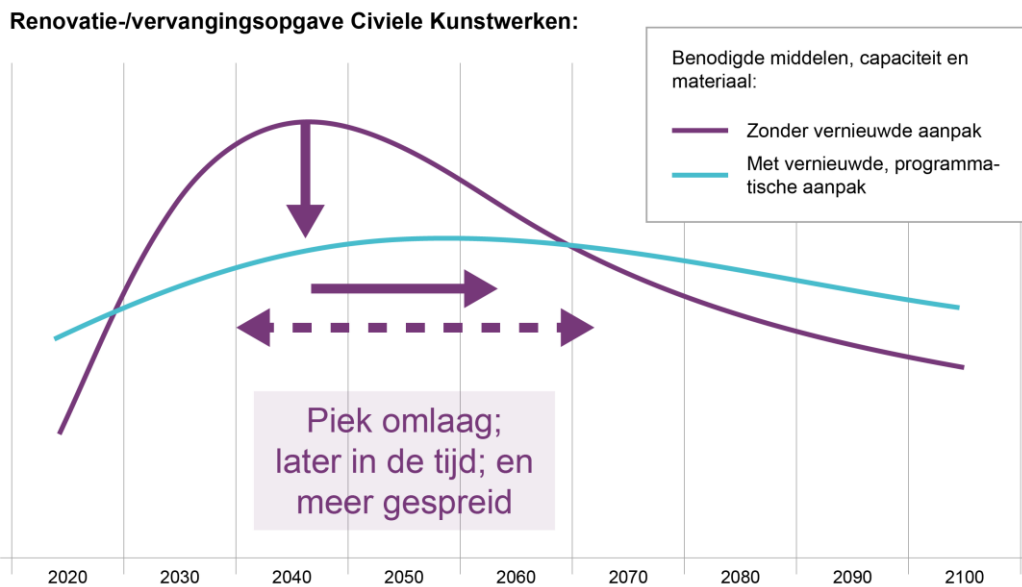
alleen om individuele kwaliteiten voor gebruikers, zoals bereikbaarheid en betrouwbaarheid, maar ook om nieuwe maatschappelijke wensen zoals duurzaamheid, circulariteit, nieuwe mobiliteitsvormen en veiligheid. Ook zullen de kunstwerken moeten bijdragen aan doelstellingen op het gebied van bijvoorbeeld energievoorziening en zal er de komende jaren een verdere vervlechting plaatsvinden tussen de civiele kunstwerken en de ICT hieromheen.

Deze toenemende complexiteit van de opgave wordt nog versterkt doordat veel van de kunstwerken zich bevinden in drukke gebieden waar de fysieke ruimte beperkt is en de maatschappelijke hinder door (onverwachte) afsluiting voor omgeving, gebruikers en de economie groot is.

Om de komende onderhouds- en vervangingsopgave in goede banen te leiden, heeft de Bouwagenda als doel gesteld:

**“We willen onze civiele kunstwerken toekomstbestendig maken: qua functionaliteit, qua klimaatadaptatie, qua energieneutraal gebruik, qua circulaire aanpak. En we willen dat de totale kostencurve lager komt te liggen dan dat we nu denken.”**

Het doel van het Kennis- en Innovatieprogramma Civiele Kunstwerken is het verlagen van de vervangings- en renovatiepiek voor bruggen en viaducten. Door de vervangings- en renovatieopgave te spreiden over de tijd kunnen middelen, capaciteit en hinder gedrukt worden (zie Figuur 1).



**Figuur 1 Visualisatie aanpak programma ‘Civiele Kunstwerken’**

Deze maatschappelijke uitdaging vergt een stevige en gebundelde investering op het verleggen van onze huidige toegepaste kennis, processen en producten. Om de grote renovatie- en vervangingsopgave haalbaar en betaalbaar te maken is het noodzakelijk om in te zetten op een vernieuwende, programmatische en consistente innovatie-aanpak. Het is nodig om onze kennisgrens te verleggen en innovaties te ontwikkelen en te testen, zodat deze bij bewezen successen op de

middellange termijn (2-6 jaar) snel toepasbaar en opschaalbaar zijn voor alle partijen in de bouwketen. De aanpak die in dit deelprogramma wordt voorgesteld richt zich op de civiele kunstwerken: bruggen, sluizen en viaducten.

#### **1.4 Gezamenlijke inzet op innovatietrajecten**

De hierboven beschreven opgave is zo groot en complex dat individuele beheerders en bedrijven met de huidige beschikbare kennis en instrumenten deze opgave niet grootschalig, kostenefficiënt en met meerjarig (bedrijfs-)perspectief kunnen realiseren. Dit vraagt om innovatie op meerdere gebieden. Nieuwe technieken en producten moeten worden ontwikkeld die voldoen aan de nieuwste eisen en regels. Ook zullen beheerders, kennisinstellingen en bedrijven op een nieuwe manier moeten samenwerken. Dit vraagt om sociale innovaties op het gebied van nieuwe vaardigheden en vormen van samenwerking tussen werknemers.

Van de grote hoeveelheid innovatieve ideeën en initiatieven die er al zijn bestaat de indruk dat deze veelal projectgericht zijn en geen vaste plek krijgen in het dagdagelijkse werk van infrastructuurbeheerders, bedrijven en kennis-/onderwijsinstellingen. Veel goedbedoelde initiatieven komen niet voorbij de 'Vallei des doods' omdat er sprake is van één-op-één opdrachten, er vooraf geen breder doel is geformuleerd voor de innovaties en geen zicht is geboden op repetitie en bredere toepassing van de oplossing. Hierdoor worden met veel inzet van tijd en middelen allerhande nieuwigheden ontwikkeld zonder dat die het aanpakken van de opgave grootschalig, gebundeld, kostenefficiënt, met meerjarig (bedrijfs-)perspectief en met een oplopende leercurve mogelijk maken.

Het is noodzakelijk om gezamenlijk de bestaande kennisgrens te verleggen door de obstakels die beheerders en bedrijven ervaren te identificeren en gezamenlijk te experimenteren hoe deze het beste kunnen worden opgelost. Zodat dat wat er nu nog niet is, maar wel noodzakelijk is, wordt ontwikkeld en gereed gemaakt wordt voor grootschalige toepassing, procesaanpassingen en nieuwe businessmodellen en dienstenaanbod. Dit deelprogramma richt zich niet op het beter maken van wat al kan (excelleren), maar om dat te ontwikkelen en te testen van wat er nu nog niet is, en essentieel wordt geacht om maatschappelijke doelen steeds slimmer, steeds efficiënter en met zowel bedrijfsmatig als maatschappelijk rendement te behalen.

Waar nodig wordt de opgedane/gevalideerde kennis uit het kennis- en innovatieprogramma vastgelegd in gezaghebbende publicaties zoals NEN-norm of CROW-aanbevelingen.

#### **1.5 Hoofdpijnen van het deelprogramma**

Het voorliggende kennis- en innovatieprogramma Civiele Kunstwerken is in samenspraak met vertegenwoordigers uit het bedrijfsleven, de overheid en kennisinstellingen opgesteld<sup>1</sup>. Het programma focust hierbij op ontwikkelingen die zonder een vergaande mate van samenwerking tussen de verschillende partijen niet, of sterk vertraagd, van de grond zullen komen. Uitvoering van de voorgestelde kennis- en innovatietrajecten is voorzien in nauwe samenwerking tussen partners (consortia) uit het bedrijfsleven, kennisinstellingen en de overheid. Het programma geeft hierbij concreet invulling aan o.a. de Bouwagenda, de Transitieagenda Rijkswaterstaat, het Infra

<sup>1</sup> Zie Bijlage 1: Lijst van inbreng voor een overzicht van de betrokken partijen

Innovatie Netwerk van decentrale overheden, position-papers van Koninklijke NLIingenieurs, Koninklijke Bouwend Nederland en Techniek Nederland.

Het kennis- en innovatieprogramma Civiele Kunstwerken heeft vijf programmalijnen die samen te vatten zijn onder twee thema's: **Kennis over de staat van de civiele kunstwerken**; en **Duurzaam renoveren of vervangen**. De thema's worden hieronder toegelicht.

### **1.5.1 Kennis over de staat van de civiele kunstwerken**

Eén van de hardnekkige oorzaken die leiden tot de geringe aandacht voor instandhouding van de infrastructuur is het gebrek aan kennis van verouderende infrastructuur. Doorgronden van een 60 of 100 jaar oude constructie is moeilijker dan het ontwerpen van een nieuwe constructie. Dit komt doordat er vaak veel niet bekend is van een oud kunstwerk. Soms zijn de tekeningen en ontwerp-berekening onvindbaar en is de kwaliteit van het gebruikte materiaal onbekend. Kennis van degradatiemechanismen, zoals vermoeiing van stalen onderdelen en 'betonrot', is nog onvoldoende om goede schattingen van de restlevensduur te maken. Ook bestaat onzekerheid over de belastingen die in de loop van decennia op de constructie hebben ingewerkt.

Omdat veiligheid voorop staat, wordt bij elke onzekerheid een veilige aanname gedaan. Veel van deze veilige aannames samen resulteren in een zeer conservatieve beoordeling. Regelmatig komt voor dat door gebrek aan kennis een constructie niet voldoet aan de voorschriften, terwijl die feitelijk wel veilig is. Om dit aan te kunnen tonen is meer kennis nodig van de constructie, de materialen en de belastingen. Nieuwe meet- en rekentechnieken zijn in ontwikkeling om dit soort kennislacunes op te vullen. Hiermee is het vroegtijdig vervangen van constructies die alleen op papier niet meer voldoen te voorkomen.

Met de huidige kennis en technieken is het niet mogelijk de restlevensduur van een heel areaal aan constructies te voorspellen. Hierdoor is het niet hard te maken wanneer welk kunstwerk aan de beurt is voor renovatie of vervangen en dus ook niet wanneer er hoeveel geld nodig is voor de renovatie- en vervangingsopgave. De toename van het aantal ongeplande afsluitingen is evenmin te voorzien. Dit gebrek aan harde cijfers draagt bij een onvoldoende politieke prioriteit. Omgekeerd leidt dit gebrek aan prioriteit ertoe dat er onvoldoende investeringen plaatsvinden in kennisontwikkeling waarmee wel nauwkeuriger schattingen van levensduren en storingen mogelijk zijn.

Om de toepassingsgerichte kennislacune en innovatieontwikkeling (versneld) te vullen wordt in dit kennis- en innovatieprogramma ingezet op innovatietrajecten gericht op:

- 1 Ontwikkeling betrouwbare reststerkte- en voorspellingsmodellen op areaalniveau; en
- 2 Ontwikkeling geautomatiseerde data- en inspectietechnieken.

### **1.5.2 Duurzaam renoveren of vervangen**

De vervangingsopgave moet circulair en emissiearm/-loos zijn. Nederland heeft immers ambitieuze doelen om de CO<sub>2</sub>-emissies te verminderen met 49% in 2030 en met 95% in 2050 ten opzichte van 1990.<sup>2</sup> Daarbovenop heeft de stikstofproblematiek geleid tot de wens om de stikstofemissie bij bouwactiviteiten fors te reduceren. Daarnaast is het de landelijke ambitie om het

---

<sup>2</sup> Klimaatakkoord, 28 juni 2019

gebruik van primaire grondstoffen in 2030 halveren en wil Nederland in 2050 een volledig circulaire economie hebben.<sup>3</sup> Infrastructuur zal hier uiteraard ook aan moeten bijdragen.

Het bruist van ideeën, pilots en samenwerkingsverbanden voor circulaire, klimaatneutrale en emissiearme/-loze infrastructuur. Deze creatieve fase is het goede begin van elk innovatieproces. De eerste trede van circulaire bouw is het langer gebruiken van bestaande infrastructuur. Dit spaart grondstoffen en energie uit en is meestal ook goedkoper. Om deze reden is het bepalen van de technische levensduur ook een prioriteit bij verduurzaming van de infrastructuur: voorkom voortijdige vervanging. Maar als er dan vervangen gaat worden zal, meer dan nu het geval is, het hergebruik van (componenten van) het kunstwerk niet het einde zijn, maar juist het begin van een kringloop. Om dat te kunnen doen zal kennis en ervaring opgedaan moeten worden bij het ontwerp, de bouw, de installatie, het onderhoud en het hergebruik van civiele kunstwerken. Industrialisatie en digitalisering van het ontwerp-, maak-, installatie- en onderhoudsproces is hierbij randvoorwaardelijk.

Niet alleen de kunstwerken zelf veranderen, ook de eisen die in de toekomst aan de infrastructuur (en daarmee ook de civiele kunstwerken) worden gesteld zullen veranderen. Voer- en vaartuigen communiceren steeds meer (in-)direct met de infrastructuur, kunstwerken worden voor hun bediening steeds 'slimmer' en door gebruik van sensoren meer voorspelbaar in hun onderhoud of mogelijk falen.

Om de toepassingsgerichte kennislacune en innovatieontwikkeling (versneld) te vullen wordt in dit kennis- en innovatieprogramma ingezet op innovatietrajecten gericht op:

- 3 Ontwikkeling en testen levensduurverlengende maatregelen en bio-based materialen;
- 4 Ontwikkeling Industrieel en modulair bouwen nieuwe bruggen; en
- 5 Geschikt voor vervoer van de toekomst.

Bovenstaande programmalijnen 2, 3 en 4 hebben een link met de BTIC Kennis- en Innovatieprogramma's digitalisering ([Digital Twins](#)) en respectievelijk Circulaire Bouweconomie/Circulair Beton, en Circulair Ontwerp (zie [Circulaire Bouweconomie](#)). Innovatietrajecten die onder de programmalijnen 2 en 3 worden ontwikkeld, zullen in nauwe afstemming met Digitalisering, respectievelijk Circulaire Bouweconomie/Circulair Beton worden vormgegeven. Innovatietrajecten onder programmalijnen 3 en 4 zullen in nauwe afstemming met het programma Emissieloos bouwen worden vormgegeven.

---

<sup>3</sup> Wet Natuurbescherming en de omgevingswet (stikstofreductie en natuurverbetering), aangenomen in Tweede Kamer op 17-12-2020 en in de Eerste Kamer op 09-03-2021.



## 2 Ontwikkeling betrouwbare reststerkte- en voorspellingsmodellen op areaalniveau

### 2.1 Omschrijving

Bruggen, viaducten en sluizen die nu onderdeel uitmaken van het verkeers-/vaarnetwerk zijn een gegeven. Van veel van deze kunstwerken weten we wanneer ze zijn gebouwd, maar niet alle ontwerpen zijn in de loop der tijd bewaard gebleven of systematisch geregistreerd. Daardoor weten we lang niet van alle kunstwerken die op de lijst staan om vervangen te worden (met name jaren 60/70) welk materiaal er precies in zit. Wel is de ontwerpfilosofie voor deze constructies vaak gestoeld op veilige (conservatieve) sterktemodellen. Bekend is dat er hierdoor vaak 'verborgen sterktes' aanwezig zijn zoals membraanwerking en herverdelingscapaciteit. Op laboratoriumschaal zijn dergelijke fenomenen in sommige gevallen ook al aangetoond. Maar, betrouwbare uitspraken op areaalniveau zijn (nog) niet te doen. Dit kan leiden tot te vroeg of te laat ingrijpen.

Voor het nemen van de juiste beslissing is goede, actuele en betrouwbare informatie nodig. Een beheerder moet in staat zijn om informatie over de conditie, prestaties en kosten te analyseren op gepaste detailniveaus. Zonder inzicht in degradatie- en faalmechanismen kan een beheerder geen betrouwbare voorspellingen doen over de toekomstige (onderhouds-)behoefte. En zonder inzicht in de reststerkte kan hij niet prioriteren vanuit veiligheids- en kosten oogpunt.

Er is behoefte aan betrouwbare reststerkte- en voorspellingsmodellen. Met name voor de beoordeling van de constructieve veiligheid van bruggen, sluizen en viaducten met een kleinere overspanning/omvang is het uitvoeren van een herberekening en/of proefbelastingen relatief kostbaar. Dit kan komen door de prijs en importantie van een dergelijk kunstwerk, of omdat er weinig bekend is over het kunstwerk. Voor veel overheden met bijvoorbeeld metselwerk boogbruggen en andersoortige (oude) materialen zoals natuursteen, is het doen van destructief (bijv. proefbelastingen) onderzoek niet wenselijk. Hetzelfde geldt voor sluizen. Om modellen voor bestaande constructies bruikbaar te maken is het noodzakelijk dat deze resultaten worden gegeneraliseerd door rekenregels op te stellen. Het doel is snellere en betrouwbare voorspellingsmodellen te ontwikkelen op areaalniveau om beheerders perspectief te bieden op de voorliggende opgave en hen in staat te brengen vervangings- en/of renovatiewerk beter in te plannen.

### 2.2 Innovatietrajecten/-kansen

Diverse groepen van gelijksoortige civiele kunstwerken worden door de beheerders gebundeld in een landelijk onderzoekstraject en testcase voor belastbaarheid en bezwijkanalyse. Dit hoofdstuk kent de volgende innovatietrajecten/-kansen:

#### 2.2.1 *Reststerkte en voorspellingsmodel gemetselde boogbruggen en giet- en smeedijzeren constructiedelen<sup>4</sup>*

Hierbij wordt in eerste instantie gekeken naar de grote kennisleemte die er is bij gemeenten en provincies ten aanzien van gemetselde boogbruggen en giet- en smeedijzeren constructiedelen. Hierin wordt gekeken naar experimentele validatie van geavanceerde (minder conservatieve) en

<sup>4</sup> In dit programma ligt de focus op giet- en smeedijzeren bruggen omdat daar nog weinig over bekend is. Op het gebied van betonnen bruggen lopen al meerdere onderzoeken/innovatieprojecten, o.a. bij RWS.

datagedreven modellen voor de beoordeling van het draagvermogen van constructies, het toepasbaar maken van ‘verborgen sterktes’ door de ontwikkeling van rekenregels en normen en de ontwikkeling van een methode en procedure voor het uitvoeren van proefbelastingen. Dit gebeurt op basis van Artificial Intelligence (AI) technieken en de ontwikkeling van zelflerende restlevensduurmodellen.

### **2.2.2 Reststerkte en voorspellingsmodel sluisen**

Door slim(mer) gebruik van bestaande metingen en data kan de voorspelling van de technische levensduur van een sluis worden verbeterd. Kansen liggen in de kennisleemte ten aanzien van chemische/fysische aantasting van betonnen sluiscolken/-hoofden, en veroudering van stalen keermiddelen en bewegingswerken.

### **2.2.3 Voorspellingsmodel reststerkte funderingen**

Funderingen zijn een belangrijk onderdeel van bruggen, viaducten en sluisen. Kansen liggen in het beter beschrijven van chemische en biologische aantasting van funderingen en het ontwikkelen van niet-destructieve proefbelastingen. Net als bij 3.2.1 kunnen door het slim(mer) gebruik maken van data en AI zelflerende modellen worden ontwikkeld die inzicht geven in de restlevensduur van de funderingen van bruggen (niet alleen giet- en smeedijzeren), viaducten en sluisen op areaalniveau.

### **2.2.4 Voorspellingsmodel falen installaties (beweegbare bruggen)**

Het bewegingswerk is onderdeel van een brug en/of sluis. Door de Machinerichtlijn<sup>5</sup> en oude rekenregels staat veel van de machinerie op de nominatie om vervangen te worden. Een betere beschrijving van de levensduur van het bewegingswerk (theoretische levensduur) zal leiden tot latere vervanging van het bewegingswerk<sup>6</sup>. De interpretatie van de Machinerichtlijn is zodanig conservatief dat veel onderdelen onnodig preventief worden vervangen. Er ligt een behoefte bij de markt en bij beheerders om van deterministische regels over te stappen naar probabilistische. In het deterministisch model wordt uitgegaan van vaste wiskundige relaties; de invoerwaarde leidt altijd tot dezelfde uitvoerwaarde. Voorbeeld: Een verkeersmodel waarin de bestuurders altijd voor de kortste route kiezen. In een probabilistisch model wordt rekening gehouden met onzekerheden. Daardoor leiden dezelfde invoerwaarden tot andere uitkomsten. Voorbeeld: een verkeersmodel waarin de routekeuze van de bestuurders wordt bepaald door ‘toeval’. Een probabilistische aanpak heeft als voordeel dat (faal-)risico’s expliciet worden meegenomen (en doorgerekend). Dat maakt inzichtelijk waar en wanneer risicobeheersing nodig is. Daarnaast leidt een probabilistische aanpak leidt tot een meer realistische planning. Ieder kunstwerk kent onzekerheden die op enig moment kunnen optreden. Het niet meenemen van deze onzekerheden in de onderhouds-/vervangingsplanning creëert onjuiste verwachtingen over het tijdstip en de mate van (grootschalig)onderhoud/vervanging.

## **2.3 Resultaat**

- ✓ Voorspellende modellen (voor gemetselde boogbruggen, smeed- en gietijzeren constructiedelen, funderingen en installaties) voor betrouwbare uitspraken over de vervangingsopgave. Dit biedt de basis voor de budgetbehoefte en programmering van projecten op korte en

<sup>5</sup> Zie [Machinerichtlijn 2006/42/EG](#)

<sup>6</sup> Zie bijvoorbeeld het promotiewerk van Kodo Sektani en het startende werk bij TNO

middellange termijn. Dit vormt de basis voor raming van de lange termijn en programmering van de uitvoering en het ontwikkelen van tijdelijke en permanente beheers- en versterkingsmaatregelen om de veiligheid te garanderen tot moment van renovatie/vervanging. Ingenieursbureaus en bouwbedrijven kunnen dit samen met de beheerders doen. Kennisinstellingen kunnen de veiligheid toetsen.

- ✓ Inzicht in werkelijke materiaaleigenschappen en restlevensduur van oude bouwmaterialen, gietijzeren/smeedijzeren/betonnen/stalen constructiedelen (inclusief funderingen) en installaties van bruggen of sluisen en hun bezwijkmechanismen. Hieruit kunnen nationaal toepasbare rekenmodellen, reststerktes en dynamisch gedrag van de constructie worden herleid voor alle beheerders, ingenieursbureaus en infrabedrijven. Door een betere voorspelling van de technische toestand van het object wordt onnodige vervanging en renovatie bij een sluis voorkomen.
- ✓ Uitwerking van de Machinerichtlijn in heldere probabilistische rekenregels. Dit zal leiden tot behoud van historisch erfgoed en een sterke verlaging van kosten.



## 3 Ontwikkeling geautomatiseerde data- en inspectietechnieken

### 3.1 Omschrijving

Huidige gebruikelijke inspectie- en monitoringstechnieken zijn arbeidsintensief en geven slechts een beperkt beeld van de conditie van het materiaal waaruit een kunstwerk bestaat. Gedurende de hele levenscyclus van een materiaal, zou de conditie goedkoop, snel en betrouwbaar moeten kunnen worden vastgesteld. Hierdoor kunnen constructies tijdig worden onderhouden. Bovendien zouden de data uit inspectie en monitoring verwerkt kunnen worden tot inzicht in de (verschillen) in levensduur. Bij staal en beton is dit bijvoorbeeld nodig om een beter beeld te krijgen van faal-mechanismen.

Het ontwikkelen van betrouwbare reststerkte en voorspellingsmodellen op areaalniveau (zie [Hoofdstuk 2](#)) biedt het benodigde inzicht op modelniveau. 'Real-time' metingen en een juiste interpretatie van die metingen verkleinen de onzekerheden. Daarvoor zijn innovatieve methoden en technieken nodig die simpel, goedkoop en grootschalig toegepast kunnen worden om het hele areaal 24/7 te inspecteren en te monitoren, zowel op het gebied van de constructie als de installaties. Door deze data open beschikbaar te stellen voor de markt kan worden toegewerkt naar *predictive maintenance*, met als doel storingen en bijbehorende overlast voor te zijn.

Moderne technologie moet worden ingezet voor het verzamelen van de benodigde gegevens. Veel technologie is reeds beschikbaar, maar deze wordt ad-hoc toegepast en kent geen uniforme aanpak qua registratie (diverse systemen). De verzamelde data en de kennis die wordt opgedaan door de interpretatie van deze data sluit niet altijd aan op de behoefte van de beheerder.

Het ontwikkelen en toepassen van breed inzetbare slimme dataverzamelingstechnieken en data-modellen helpt om meer waarde te halen uit informatie. Het inrichten van processen en informatiesystemen vraagt aanzienlijke investeringen in tijd en geld, maar zijn van grote waarde voor beheerders en bedrijven. Het is noodzakelijk om samen te werken aan het ontwikkelen van nieuwe werkwijzen, gestandaardiseerde objectstructuren, modellen en informatieoplossingen. Daarbij wordt, waar nodig, onderscheid gemaakt in de monitoring van bestaande constructies en nieuw te realiseren constructies. Beide scenario's vragen om verschillende strategieën.

Inzet van drones, Internet of Things, AI en slimme sensoren zijn voorbeelden van technieken die in de civiele sector meer en breder toegepast moeten worden.

### 3.2 Innovatietrajecten/-kansen

Dit hoofdstuk kent de volgende innovatietrajecten/-kansen:

#### 3.2.1 *Ontwikkelen uniforme assetmanagement systematiek*

Samen met de keten worden *performance indicators* opgesteld om tot een uniforme assetmanagement systematiek voor civiele kunstwerken te komen. Waarop stuur je onderhoud/vervanging? Welke data/ methoden zijn hiervoor nodig? En welke data/ methoden ontbreken nog?

### **3.2.2 Ontwikkelen ontbrekende meettechnieken en -methoden**

Identificeren en ontwikkelen van technieken en methoden waarmee beschikbare meetgegevens kunnen worden aangewend als informatievoorziening voor het beheer en onderhoud van kunstwerken. Er is al veel data beschikbaar. Hoe zetten we (big-)data om in kennis om de vervangings- en renovatieopgave mee te sturen? Daarbij speelt ook de vraag in hoeverre beheerders in staat zijn om met deze (nieuwe) technieken om te gaan en daarop te sturen (zie [Hoofdstuk 7](#)).

### **3.2.3 Experimenteren met nieuwe monitoringstechnieken**

Experimenteren met nieuwe monitoringstechnieken en de data die daaruit voorkomt. Huidige 'smart-bridge' concepten vormen het fundament waarop wordt doorontwikkeld. In het smart-bridge concept worden op bestaande kunstwerken tientallen sensoren geplaatst die volcontinuë in beeld brengen welk effect het verkeer heeft op de constructie: van belasting tot doorbuiging. Op basis van deze werkelijke data kunnen voorspellingen worden gedaan over het tijdstip van ingrijpen.

### **3.2.4 Ontwikkelen sensoren op materiaalniveau.**

Waar onder [3.2.3](#) naar de gehele constructie wordt gekeken, neemt ook de behoefte aan inzicht in de materialen waaruit kunstwerken zijn opgebouwd steeds meer toe. Hiervoor moeten kleine, goedkope, wireless, en self-powering sensoren worden ontwikkeld die de staat, het welzijn of de gezondheid van de in het kunstwerk verwerkte materialen aangeven. Als de staat van het materiaal verandert is dat een aanwijzing dat er iets staat te gebeuren. Ingrijpen op het juiste moment kan schade aan de constructie voorkomen. Dit is een onderzoeksgebied dat voor constructiematerialen nog in de kinderschoenen staat. In andere takken van sport, zoals de auto-industrie of de gezondheidszorg worden deze sensoren al op grote schaal toegepast. Hier moeten we in de bouw ook naar toe. Voor het ontwikkelen van deze sensoren is fundamenteel en toepassingsgericht onderzoek nodig met input van verschillende disciplines.

Er is een nadrukkelijke link met de innovatietrajecten binnen het BTIC Kennis- & Innovatieprogramma [Digitalisering](#).

## **3.3 Resultaat**

- ✓ Datagedreven prioritering voor onderhoud en vervanging (inzicht op uitstelpotentieel).
- ✓ Uniforme en gevalideerde monitoringstechniek voor bepaling restlevensduur.
- ✓ Asset management systematiek die als basis kan dienen voor nieuwe businessmodellen/onderhoudscontractvormen.
- ✓ Sensoren voor monitoring op materiaalniveau. En dan niet alleen om de 'gezondheid' te monitoren gedurende de levensduur, maar ook om processen tijdens de bouw te sturen.

## 4 Ontwikkeling en testen levensduurverlengende maatregelen en bio-based materialen

### 4.1 Omschrijving

#### 4.1.1 Levensduurverlenging

De vraag naar nieuwe bouwmaterialen wordt afgeremd door de levensduur van bestaande constructies te verlengen. Dit vermindert ook de hinder en de risico's en kosten voor beheerders. Voor levensduurverlenging is echter wel een technologische sprong nodig op het gebied van:

- Reparatiemethoden (lokaal), zodat de levensduur van materialen maximaal kan worden verlengd. Veel betonreparaties gaan bijvoorbeeld slechts 10 jaar mee, terwijl het ook mogelijk is het beton te repareren voor 30 jaar of langer. Dit beperkt niet alleen materiaalgebruik maar ook hinder en kosten.
- Renovatiemethoden (gehele constructie) zoals het versterken van constructies zodat ze voldoen aan de huidige (en toekomstige, zie [Hoofdstuk 6](#)) verkeersbelastingen. Er bestaan technieken om bijvoorbeeld bestaande betonnen bruggen te versterken, maar het ontbreekt aan betrouwbare methoden om de resterende levensduur te bepalen.

#### 4.1.2 Introductie van bio-based materialen

In het Rijksbrede programma: 'Nederland circulair in 2050'<sup>7</sup> is de ambitie vastgelegd dat Nederland in 2050 volledig circulair moet zijn, inclusief de infrabouw. Op middellange termijn (binnen 10 jaar) zullen beheerders in hun uitvragen de eis gaan stellen dat de gebruikte materialen 'circulair' zijn. Om ervoor te zorgen dat die materialen dan ook daadwerkelijk grootschalig beschikbaar zijn, is het noodzakelijk nu al te starten met het ontwikkelen, toepassen en testen van nieuwe (duurzame) materialen. Aangezien deze nieuwe (duurzame) materialen niet passen binnen de huidige beoordelingskaders is er behoefte aan ervaring in het gebruik ervan en aan kaders voor de beoordeling van de veiligheid. Concreet heeft dit betrekking op afwijkende sterktemodellen binnen de beoogde toepassing. Met name het tijdsafhankelijke gedrag en het effect daarvan op het krachtswerking en het draagvermogen spelen hierin een belangrijke rol. Om hiermee ervaring op te doen is het van belang dat op basis van concrete cases pilots worden gestart voor dergelijke innovatieve materialen en oplossingen.

---

<sup>7</sup> Zie [Nederland Circulair in 2050](#)

## R-LADDER

De mate van circulariteit wordt vaak gerelateerd aan de zogenaamde R-ladder. Hoe hoger een strategie op deze ladder staat, hoe circulaarder de strategie is. Waarbij R1 de hoogste trede is. De Rijksoverheid hanteert de volgende R-ladder, die ook wordt gebruikt voor monitoring van het Rijksbrede Programma Circulaire Economie.

### R1 REFUSE EN RETHINK (AFWIJZEN EN HEROVERWEGEN)

- Product overbodig maken door van zijn functie af te zien, of die met een radicaal ander product te leveren.
- Productgebruik intensiveren (bijvoorbeeld door producten te delen of multifunctionele producten).

### R2 REDUCE (VERMINDEREN)

- Grondstoffen efficiënter gebruiken door minder grondstoffenverbruik tijdens de productie en het gebruik van producten.

### R3 RE-USE (HERGEBRUIKEN)

- Hergebruik van afgedankt nog goed product, in dezelfde functie door andere gebruiker.

### R4 REPAIR, REFURBISH, REMANUFACTURE EN REPURPOSE (REPAREREN, OPKNAPPEN, REVISEREN EN HERGEBRUIKEN)

- Reparatie en onderhoud van kapot product voor gebruik in zijn oude functie.
- Opknappen en/of moderniseren van oud product.
- Onderdelen van afgedankt product gebruiken in nieuw product met dezelfde of andere functie.

### R5 RECYCLING

- Materialen verwerken tot grondstoffen met dezelfde (hoogwaardige) of mindere (laagwaardige) kwaliteit dan de oorspronkelijke grondstof.

### R6 RECOVER (TERUGWINNEN)

- Verbranden van materialen met energierecuperatie.

**REDUCE**  
Verminderen consumptie en productie en slimmer gebruik producten

**RE-USE**  
Verlengen levensduur producten en onderdeelen van producten

**RECYCLE**  
Nuttig toepassen hergebruik materialen

Het ultieme doel is om in de gebouwde omgeving enkel met hernieuwbare materialen te werken, zonder dat de betrouwbaarheid, veiligheid of beschikbaarheid van bouwmaterialen afneemt. De beschikbaarheid van secundaire of bio-based grondstoffen is een aandachtspunt, zeker wanneer andere sectoren gebruikmaken van dezelfde grondstoffen.

#### 4.2 Innovatietrajecten/-kansen

- Up-scaling van nieuwe materialen (lange slanke UHSB-liggers, constructies in vezelversterkte kunststoffen, self-healing beton, staal, biocomposiet, etc.).
- Methoden voor betonreparaties die minimaal 30 jaar meegaan.
- Constructies met alternatieve betonsoorten/binders.
- Nieuwe (bio-based) materialen zonder/ met minder primaire grondstoffen.
- Biodynamische constructies/building with nature

Afhankelijk van de prioritering zal in het eerste jaar door het BTIC in brede sessies met marktpartijen verkend worden, welke coalities van partijen de komende jaren hieraan gaan werken. Prioriteit zal worden gegeven aan materialen en constructies die veel worden gebruikt en waarbij naar verwachting op korte termijn veel vooruitgang mogelijk is.

Er is een nadrukkelijke link met de innovatietrajecten binnen het BTIC Kennis & Innovatieprogramma [Circulaire Bouweconomie/Circulair Beton/Circulair Ontwerpen](#).

#### 4.3 Resultaat

- ✓ Veilige levensduurverlenging van bestaande kunstwerken. Dit levert ook de benodigde kennis om betere voorspelling van de technische levensduur te kunnen maken.
- ✓ Ontwikkeling en toepassing van bewezen nieuwe bio-based materialen voor renovatie en vervanging van kunstwerken.



## 5 Ontwikkeling Industrieel en modulair bouwen nieuwe bruggen

### 5.1 Omschrijving

Vervanging van (beweegbare) kunstwerken is een omvangrijke opgave. Daarvoor zijn innovatieve oplossingen nodig. Niet alleen vanwege de druk op financiële middelen, maar ook door de toenemende (gewicht van) verkeer en door toenemende eisen op het gebied van duurzaamheid en circulariteit. Er is behoefte aan opschaalbare en gestandaardiseerde afspraken zodat (beweegbare) elementen waaruit een kunstwerk bestaat makkelijker te realiseren, onderhouden en te vervangen zijn.<sup>8</sup>

Er ligt potentieel voor Industrieel, Flexibel en Demontabel (IFD) ontwerpen, produceren, bouwen en onderhouden/beheren in de GWW-sector. IFD zijn ontwerp- en bouwprincipes die zodra deze zijn omarmt, sterk bijdragen aan het verhogen van de productiecapaciteit en circulariteit van de sector. In sectoren zoals de auto-industrie, scheepsbouw en de consumentenelektronica wordt al langere tijd gestandaardiseerd geproduceerd. In de bouwsector wordt gestandaardiseerd bouwen vooral in de B&U en in het bijzonder in de bouw van woningen, kantoren en zorgvastgoed toegepast. Daar is het geëvolueerd van het bouwen met zeecontainers naar het bouwen van compleet uitgeruste prefab modules waarmee woningen en kantoren gerealiseerd worden. In de hierboven genoemde sectoren waar het IFD gedachtengoed is omarmt zijn waardeketens georganiseerd om geïndustrialiseerde en seriematige productie en ontwerpvarianties te faciliteren. Ook voor de GWW-sector is het nodig/noodzakelijk om te streven naar een andere inrichting van de waardeketen. Dit vergt naast organisatie óók het ontwikkelen en implementeren van nieuwe logistieke processen en productietechnologieën.

De voordelen van IFD-bouwen zijn door het Economisch Instituut van de Bouw (EIB) in kaart gebracht.<sup>9</sup> Daarnaast wordt er door het EIB een vervolgonderzoek uitgevoerd naar de kansen en acties voor IFD in de GWW. Deze kansen zijn onder andere:

- Een toename van de beheersbaarheid van het bouwproces en kwaliteit van het eindproduct door afname van weersinvloeden door prefabricage;
- Een gunstig effect op de bouwtijd, minder omgevingshinder, een bijdrage aan veiligere arbeidsomstandigheden vanwege assemblage (montage) in plaats van in-situ op de projectlocatie; en
- Een bijdrage aan verduurzaming en circulaire bouweconomie door:
  - minder afval en grondstoffengebruik;
  - meer aanpasbaarheid door standaardisatie van componenten; en
  - hoogwaardig hergebruik door de losmaakbaarheid van componenten.

De Bouwagenda geeft ook aan kansen te zien voor industrieel en modulair bouwen in de infrastructuur, waarbij de vervangings- en renovatieopgave van de civiele kunstwerken momenteel veel perspectief biedt. Op dit moment wordt voor iedere situatie een unieke brug gebouwd. Elke

<sup>8</sup> Zie EIB 2017, *Bouwstenen voor beweegbare bruggen*

<sup>9</sup> Zie EIB 2017, *Bouwstenen voor beweegbare bruggen*

brug of sluis wordt helemaal van de grond af aan ‘geëngineerd’ en geproduceerd. Niet alleen op architectonisch vlak, maar elk klein element is uniek, terwijl de functie over de objecten heen nagenoeg gelijk is. Het toepassen van IFD-principes in de GWW is een radicale ‘game-changer’. Genormaliseerde toepassing vindt echter nog nauwelijks plaats, omdat aan een aantal essentiële randvoorwaarden nog niet of onvoldoende is voldaan. De volgende uitdagingen moeten overwonnen worden om IFD in de GWW een succes te maken:

- Standaardisatie van componenten vraagt om schaal en repeterend vermogen;
- Ontwerpen, produceren en bouwen volgens IFD-principes vraagt om het ontwikkelen van andere competenties en het toepassen/combineren van andere technologieën;
- Het ontbreekt aan kwaliteits- en prestatiegaranties en certificering van (gebruikte) brugonderdelen, waardoor mogelijkheid voor hergebruik in de toekomst wordt beperkt;
- Gepercipieerde beperking van ontwerprijheid;
- Aanpassing tijdens de bouw is niet eenvoudig en kostbaar. Er is voorafgaand aan de productie al een op hoog detailniveau uitgewerkt ontwerp nodig waarin ook eventuele installaties zijn meegenomen; en
- Transport en plaatsing kan uitdagend zijn bij grote en zware onderdelen.

Standaardisatie vergt ook gezamenlijk (NEN-)afspraken tussen wegbeheerders, ingenieursbureaus, bruggenbouwers, bouwbedrijven en toeleveranciers. De coalitie ‘IFD in de GWW’ heeft zich reeds gevormd binnen het platform Bruggen en sinds 2018 actief met het ontwikkelen van Nederlandse Technische Afspraken (NTA) voor IFD-bouwen voor diverse civiele kunstwerken. Ze hebben in 2018 gewerkt aan een NTA voor verschillende interfaces die de basis vormen voor het (IFD-) aanbesteden, ontwerpen en bouwen van beweegbare bruggen.<sup>10</sup> Eind 2020 is er bij de NEN een vervolgtraject in gang gezet voor een NTA voor het IFD- aanbesteden, ontwerpen en bouwen van vaste bruggen. Binnen MultiWaterWerk (MWW) en IA en 3B (bediening, besturing en beveiliging) Bouwblokken zijn veel aspecten van standaardisatie van sluisen onderzocht, o.a. welke sluisonderdelen zich lenen voor standaardisatie. Alle drie de trajecten bieden een fundament waarop verdere doorontwikkeling en opschaling mogelijk moet worden.

## 5.2 Innovatietrajecten/-kansen

Dit hoofdstuk kent de volgende innovatietrajecten/-kansen. Deze innovatietrajecten hebben veel parallellen met de methodologische en technologische ontwikkelingen rondom industrie 4.0 en zijn aansluitend aan de circulaire bouwconomie en verduurzamingsopgave.

### 5.2.1 *Digitaliseren, industrialiseren en standaardiseren van het ontwerp-, productie- en bouwproces*

Om IFD een succes te maken moet er een verandering plaatsvinden in hoe bruggen ontworpen, geproduceerd en gebouwd worden. Prefabricage van liggers is al lange tijd gebruikelijk in de bouw van (vaste) bruggen. Andere componenten (subsystemen), zowel uit het civiele, het werktuigbouwkundige als het elektrotechnische domein zijn ook geschikt voor prefabricage. Hiervoor dient er meer fabrieksmatig geproduceerd en op locatie geassembleerd te worden. Dit vraagt om

---

<sup>10</sup> Zie [IFD in de GWW](#).

technologische en methodologische ontwikkelingen die voldoende maatwerk kunnen leveren waar nodig (bijvoorbeeld 3D-printen en modulaire opbouw van E-domein).

Onderhevig aan deze veranderingen is het gebruiken van moderne ontwerpmethodieken en -technieken. Ontwerpautomatisering dient echter wel rekening te houden met de projectspecifieke context (ontwerpvrijheid). Hierbij dient te worden ingezet op ontwikkelingen rondom Model Based Systems Engineering (MBSE) en bouw informatiemodellen (multidimensionale BIM). Deze technologieën (zoals bijvoorbeeld automatisering, robotisering) zijn data-gedreven en de waardeketen is gefragmenteerd. Hiervoor zijn IT-architecturen en uitwisselingsprotocollen als enabling-technologies nodig.

### **5.2.2 Logistieke veranderingen rondom de activiteiten gedurende de levenscyclus van objecten**

IFD- bouwen en onderhouden vraagt om een andere indeling van de bouwlogistiek gedurende de gehele levenscyclus van kunstwerken. Hiervoor zijn naast het organisatorische en technologische vraagstuk economische prikkels nodig zoals het stimuleren van de juiste partijen (zoals gespecialiseerde toeleveranciers) en het onderzoeken van nieuwe businessmodellen en benodigde rollen.

Er dient gekeken te worden naar (niet toereikend):

- Nodige businessmodellen en rollen om (hoogwaardig) hergebruik te faciliteren (zowel reuse, remanufacture, refurbish en recycle); o.a.
  - Onderzoeken mogelijkheden modules en/of brug as-a-service modellen;
  - Optimaliseren vervanging en onderhoud kortcyclische modules (WTB en E-domein) zoals bijvoorbeeld installaties as-a-service;
  - Herdefiniëren van slopers als oogsters en competenties ontwikkelen in demontage-technieken; en
  - Opslag, certificering en verhandelen van modules en materialen om nieuwe productie te faciliteren.
- Het ontsluiten van grondstoffen (materialen) en herbruikbare modules (ook bestaande componenten) om nieuwe productie te faciliteren;
- Ontsluiten van modules (bijvoorbeeld WTB en E-domein) om revisie te faciliteren; en
- Logistiek rondom het vervoer en de assemblage van modules op locatie tijdens de 'bouw', het onderhoud en aanpassing van kunstwerken.

### **5.2.3 Modulaire elementen en losmaakbare verbindingen**

Momenteel worden veel kunstwerken onlosmaakbaar opgebouwd. Dit maakt hoogwaardig hergebruik nagenoeg onmogelijk. Door modulair en daarmee flexibel en demontabel te bouwen worden kunstwerken functioneel aanpasbaar. Wanneer modules demontabel moeten zijn moet gebruik worden gemaakt van droge verbindingen tussen de modules. De verschillende mogelijkheden van deze verbindingen zijn onvoldoende zichtbaar (we weten niet wat we weten) en inzetbaar (wet en regelgeving). Daarnaast speelt de vraag of er innovatievere en optimalere verbindingvormen bestaan. Bijvoorbeeld verbindingen die minder snel zorgen voor slijtage en onderhoud.

## **5.3 Resultaat**

- ✓ Aanbod projecten vanuit opdrachtgevers stimuleren transitie industrieel en modulair bouwen.

- ✓ Eerste waardeketen binnen de GWW georganiseerd conform industrieel en modulair bouwen (logistiek, businesscase, productie en transactie).
- ✓ (Door)ontwikkelen complementaire industriële technologieën zoals 3D-printen, industriële automatisering en MBSE.
- ✓ Realiseren van civiele kunstwerken conform IFD-principes en de circulaire strategieën reuse, remanufacture, refurbish en recycle.

Er is een nadrukkelijke link met de innovatietrajecten binnen het BTIC Kennis & Innovatieprogramma [Circulaire Bouweconomie/Circulair Beton/Circulair Ontwerpen](#) en [Digitalisering](#).



## 6 Geschied voor vervoer van de toekomst

### 6.1 Omschrijving

De vervanging en renovatie van infrastructuur in Nederland zal nooit klaar zijn. De grote renovatie en vervangingsopgave geeft aan dat gebruik en eisen die aan de infrastructuur worden gesteld in de loop der tijd kunnen veranderen. Bovendien veranderen deze eisen in een tempo dat steeds meer toeneemt. Vooruitkijkend naar 2050 zijn de volgende trends waarneembaar en/of met grote mate van zekerheid voorspelbaar:

- Verdere implementatie van intelligente wegsystemen, geautomatiseerde Bediening, Bewakingen en Besturing van kunstwerken;
- Onderlinge informatie-uitwisseling tussen auto's en tussen auto's en fietsers en bromfietzers: alle nieuwe auto's en vrachtauto's in Nederland zullen via het internet en met elkaar verbonden zijn en mogelijk ook met de infrastructuur zelf;
- Standaard gebruik van voertuigdata van auto's, fietsen en bromfietsen voor monitoren van de wegen;
- Het merendeel van voertuigen in Nederland zal een schone technologie hebben, ook vrachtverkeer (naar verwachting);
- Zelfsturende auto's zullen een onderdeel van het straatverkeer zijn;
- Individualisering leidt tot meer huishoudens, meer zelfstandigheid binnen huishoudens, meer auto's en meer verplaatsingen; en
- Extreme neerslag, hitte, droogte en extreme waterstanden kunnen van invloed zijn op de doorstroming en op de schade aan het wegdek. Extreme neerslag en hitte kunnen ook de verkeersveiligheid nadelig beïnvloeden.

Voertuigontwikkelingen, ontwikkelingen op het gebied van de technologie en demografie, en overige ontwikkelingen zoals verstedelijking, mobiliteits- en klimaatverandering, hebben allemaal in meer of mindere mate invloed op de veroudering en slijtage van infrastructuur, waaronder de civiele kunstwerken. Het gaat dan vooral om ontwikkelingen die zorgen voor verandering in gebruik of belasting. Er liggen ook interessante vraagstukken op het gebied van verdere automatisering/digitalisering bij de bediening en besturing van kunstwerken. Dat moet veilig kunnen, zowel voor de gebruikers, als voor de beheerders. Cybersecurity is daarbij een cruciaal onderwerp.

De toekomst is en blijft onzeker, maar er moet wel degelijk gekeken worden naar het gebruik in de toekomst, toekomstige functionaliteiten en nieuwe criteria en eisen zoals circulariteit, klimaatbestendigheid, energiebesparing en duurzaamheid. Wat betekenen droogte en hittestress, zwaardere en autonoom rijdende (elektrische) auto's en vrachtwagens, elektrificatie van de gebouwde omgeving, energieopwekking en -opslag via het wegennetwerk, een voortdurende ICT-ontwikkeling en streng(ere) milieueisen voor de infrastructuur in het algemeen en de belasting en bouw van civiele kunstwerken in het bijzonder? En hoe kan de ontwerp-, bouw- en technieksector hier innovatief aan bijdragen?

### 6.2 Innovatietraject

Afhankelijk van de prioritering zal in het eerste jaar door het BTIC in brede sessies met marktpartijen en beheerders verkend worden, welke coalities van partijen de komende jaren hieraan gaan

werken. Het recente Rijkswaterstaat Innovatieprogramma 'Innovatieagenda 2030 Samen sneller met focus innoveren'<sup>11</sup> zal hierbij een belangrijke richtinggevende rol spelen.

### **6.3 Resultaat**

Kijkend naar wat nu beschikbaar is en wordt ontwikkeld, blijkt dat gebrek aan kennis en ervaring ertoe leidt dat nieuwe (vaar-)wegconcepten zoals duurzame en slimme wegen en wegen van andere materialen zoals plastic, ertoe leidt dat nieuwe concepten nog niet snel grootschalig zullen worden toegepast. Meer proeven met zichtbare resultaten kunnen dat proces kunnen versnellen.

---

<sup>11</sup>Zie: RWS [innovatieagenda 2030](#)



## 7 Kennisdeling & opschaling

Kennis is (nog) geen kunde. Om de praktijk klaar te maken voor adoptie van nieuwe meet- en beheermethodes en IFD-bouwen zijn niet alleen onderzoek en ontwikkeling nodig, maar ook praktische experimenteer- en leeromgevingen.

Ondernemers en overheid hebben behoefte aan state-of-the-art laboratoriumfaciliteiten en apparatuur en aan kennis en kunde voor het uitvoeren van onderzoek: fieldlabs of living labs. Door het delen van faciliteiten kunnen experimenten plaatsvinden met toepassing van nieuwe technologieën. Docenten en studenten kunnen kennis van nieuwe technologieën opdoen. Ook bestaat de mogelijkheid nieuwe technologie in praktijksituaties te demonstreren: 'proof of practice'. Het voordeel voor bedrijven is dat zij over geavanceerde faciliteiten, kennis en kunde kunnen beschikken die anders niet binnen de eigen financiële mogelijkheden liggen. Praktijkomgevingen van deze aard zijn in zeer diverse vormen te vinden. De ontwikkeling hiervan past in de bredere ontwikkeling, ook in Europees verband, van de fieldlabs ofwel living labs.

Kennisinstellingen, universiteiten en hogescholen spelen een cruciale rol voor onderzoek, scholing, bijscholing en omscholing om ervoor te zorgen dat innovaties door kunnen groeien in de praktijk. In de vorm van *learning communities* en (regionale) *field labs* komen (praktijkgericht) onderzoek, onderwijs en toepassing bij elkaar. Ook bij bedrijven moet het vormen en behouden van inhoudelijke deskundigheid meer aandacht krijgen. Niet alleen programma's voor 'management-trainees', maar ook programma's voor technische trainees (bijv. i.c.m. met HR-programma waarin PDEng wordt ingepast).

In alle innovatietrajecten die worden ondernomen in dit programma moet expliciet aandacht worden besteed aan pre concurrentie kennis-/praktijkontwikkeling en toepassing. Die vraag naar meer fundamentele, toegepaste en praktijkgerichte kennisontwikkeling op deelthema's zal worden ingevuld door universiteiten, hogescholen en TO2 instituten.

# Bijlage 1 Lijst van inbreng

Dit document is tot stand gekomen dankzij inbreng/ meelesen door:

L. Brandt	Provincie Gelderland
P. Waarts, Alexander Bletsis	Provincie Noord-Holland
J. van Kerkvoorde	Provincie Zuid-Holland
E. Schlangen	TU Delft
A. Doree	TU Twente
J. Asscheman	Bouwend Nederland / VCB
M. Wijbrands	Techniek Nederland
B. van Leeuwen	Movares
W. Peelen	TNO
P. Boelhauer	MKB-Infra/CROW
R. Trommel	CROW
R. Mulder	BTIC

Nadere invulling van de innovatietrajecten krijgt vorm in afstemming met - naast bovenstaande - onder andere Rijkswaterstaat, Platform Bruggen, Infra Innovatie Netwerk, Bestuurdersnetwerk Infra en Nationaal Lectorenplatform Gebouwde Omgeving (NL-GO).





Bouw en Techniek **Innovatiecentrum**

Van der Burghweg 1  
2628 CS Delft

[office@btic.nu](mailto:office@btic.nu)  
[www.btic.nu](http://www.btic.nu)