



# Emissieloos bouwen

## Kennis- en innovatieprogramma

BTIC  
versie 1.0  
15 juli 2021



# Inhoud

<b>1</b>	<b>Aanleiding</b>	<b>3</b>
1.1	Ambities en aanpak emissieloos bouwen	3
1.2	Sectorale aanpak en aandachtspunten	5
1.3	Van programma naar uitvoering	6
<b>2</b>	<b>Programmaopzet</b>	<b>8</b>
2.1	Deeltraject 1: Inzicht in emissies deelsegmenten bouw (B&U en GWW)	11
2.2	Deeltraject 2: Laag- en nul-emissie bouwmaterieel	13
2.3	Deeltraject 3: Slimme bouwlogistiek	15
2.4	Deeltraject 4: Industriële/ modulaire prefab bouw	17
2.5	Deeltraject 5: Integrale pilots	20
2.6	Deeltraject 6: Aanpak voor opschaling en kennisdelen met sector	21
2.7	Deeltraject 7: Monitoring en control	22
	Bijlage 1 Verantwoording	24
	Bijlage 2 Overzicht lopende onderzoeken/trajecten en planning deeltrajecten innovatieprogramma	26

# 1 Aanleiding

Voor de ontwerp-, bouw-, en technieksector liggen de maatschappelijke uitdagingen om de komende jaren tot een aanzienlijke versnelling van de nieuwbouw te komen (80.000 – 90.000 woningen per jaar), de renovatiesnelheid van bestaand vastgoed aanzienlijk te vergroten (tot 200.000 gebouwen per jaar) en invulling te geven aan een omvangrijke nieuwe uitbreiding- en vervangingsopgave bij grond-, weg en waterbouw om gebruik van de infrastructuur veilig en betrouwbaar te houden. Dit op een manier die betaalbaar blijft, de arbeidsproductiviteit van de sector vergroot en geen afbreuk doet aan mens, dier of milieu. Een belangrijk thema daarbij is het terugdringen van de bouwgerelateerde emissies van stikstof (NO<sub>x</sub>), koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) en fijnstof (PM) om op termijn toe te groeien naar emissiearme of geheel emissieloze bouw.

De bouw wordt hard geraakt door de stikstofmaatregelen. Projecten in de woningbouw en structurele werken worden sterk vertraagd of zelfs tegengehouden door de huidige wet- en regelgeving. Bovendien hangt verdere aanscherping, als onderdeel van de Europese of landelijke stikstofmaatregelen, als een dreiging boven de sector. Er lopen in Nederland verschillende regionale en landelijke initiatieven met betrekking tot het terugdringen van de bouwgerelateerde emissies (in zowel Burgerlijke en Utiliteitsbouw, B&U, als Grond-, Weg- en Waterbouw, GWW). In 2020 is op initiatief van het BTIC en de Groene Koers met een breed scala van partijen een verkenning uitgevoerd naar de stappen die gezet moeten worden om een emissieloze of emissiearme bouw mogelijk te maken (zie Bijlage 1). Het resulterende kennis- en innovatieprogramma 'Emissieloos bouwen' sluit aan bij lopende trajecten, de geleerde lessen uit afgeronde projecten en initiatieven van onder andere de ministeries van IenW en BZK, de Topsector Logistiek en digiGO. Het voorliggende kennis- en innovatieprogramma geeft een integraal beeld van de kennis- en innovatievragen die de komende jaren op het gebied van emissiereductie gezamenlijk beantwoord moeten worden. Alleen door een gezamenlijke inzet worden de gevolgen van aanscherping van eisen inzichtelijk en kan gezamenlijk een acceptabel, haalbaar en betaalbaar programma starten om de emissies versneld terug te dringen.

## BTIC KENNIS- EN INNOVATIEPROGRAMMA'S

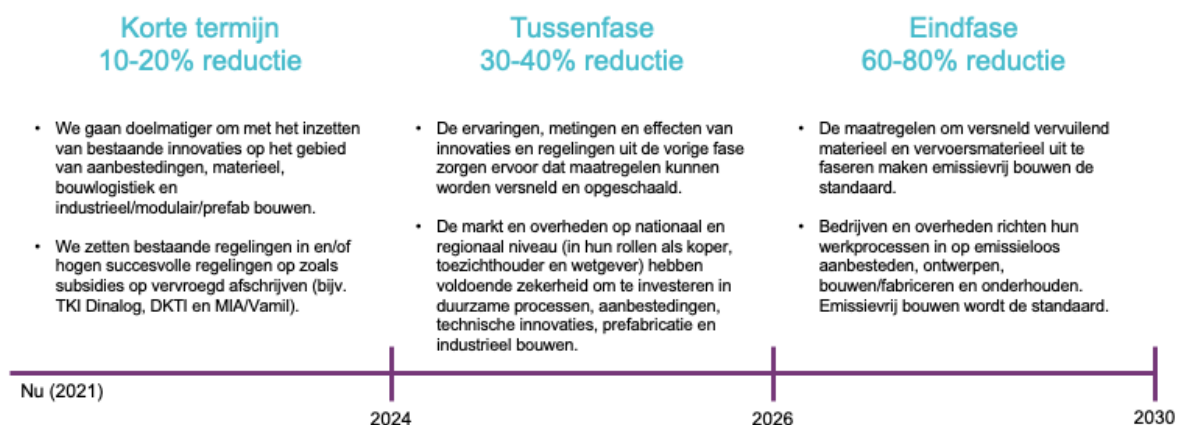
BTIC Kennis- en Innovatieprogramma's richten zich op ontwikkelingen die op de middellange termijn (2 – 6 jaar) toegepast kunnen worden. Het gaat hierbij om ontwikkelingen die niet, of sterk vertraagd, vanuit individuele partijen opgepakt kunnen worden. BTIC Kennis- en Innovatieprogramma's voorzien, in de opzet en uitvoering van het programma, in een nauw publiek-private samenwerking tussen het bedrijfsleven, overheidspartijen (landelijke/regionale/lokale overheden en publieke opdrachtgevers) en kennisinstellingen en in afstemming met andere (lopende) stimuleringsmaatregelen en opschalingsinitiatieven. Het kennis- en innovatieprogramma 'Emissieloos bouwen' is samen met de Groene Koers en in afstemming met een breed scala van betrokkenen tot stand gekomen. ●

## 1.1 Ambities en aanpak emissieloos bouwen

Het doel van het programma Emissieloos bouwen is om via een gefaseerde aanpak te komen tot maatregelen die bijdragen aan de ambities op het gebied van emissiereductie in de bouwsector

en met specifieke focus op het terugdringen van de stikstofemissies. Deze ambities zijn: 60%<sup>1</sup> stikstof emissiereductie in 2030, 0,4 Mton<sup>2</sup> reductie CO<sub>2</sub> uitstoot en 75%<sup>3</sup> fijnstof voor mobiele werktuigen. Daarnaast geeft het programma een vooruitblik naar de mogelijkheden tot en consequenties van verdergaande toekomstige reducties. Het betreft hier emissies van NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> en PM van het gehele bouwproces tot oplevering voor gebruik.

Het Klimaatakkoord, het Schone Lucht Akkoord en diverse Green Deals leverden al een impuls om de bouwsector te verduurzamen en te 'verschonen'. De recente stikstofproblematiek heeft de druk om de verduurzamingstransitie in de bouwsector te versnellen vergroot. In het eindrapport "[Niet alles kan overal](#)" van de Adviescommissie Remkes wordt de verduurzaming van de bouwsector nadrukkelijk als maatregel voorgesteld. Door deelname aan het voorliggende programma kan de sector zich voorbereiden en inspelen op beleid vanuit de ministeries van IenW en BZK om samen met de bouwsector en opdrachtgevers emissieloos bouwen al voor 2030 in groot deel van de markt de standaard te maken. De aanpak is gevisualiseerd in Figuur 1.



Figuur 1 Transitiepad naar emissiearm bouwen (% stikstofreductie) in 2030

Uit onderzoek blijkt dat de stikstofemissies in de bouwsector tot 2030 naar verwachting met 46% zullen dalen door reeds bestaand beleid.<sup>4</sup> De verdere beperking die het kabinet nastreeft, moet door een samenstel van maatregelen voor de bouwsector en het ontwikkelen en toepassen van innovatieve oplossingen worden bereikt. Reductiemaatregelen en -ontwikkelingen die dit programma moeten ondersteunen zullen met name impact hebben op de reductie in de tussen- en eindfase van Figuur 1.

<sup>1</sup> Percentage t.o.v. de stikstofuitstoot in 2018 gebaseerd op het totale reductiepotentieel berekend door TNO (TNO, Notitie NO<sub>x</sub>-reductiedoel, -pad en beleidspakket bouwsector aan het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 14 augustus 2020). En in lijn met ambities als vermeld in AMvB stikstofreductie en natuurverbetering van 4 december 2020.

<sup>2</sup> Voor de CO<sub>2</sub>-reductie is het zichtjaar 2030, waarbij een reductie tot 0,4 Mton wordt nagestreefd ten opzichte van 1990 voor mobiele werktuigen en (bouw)materieel met een verbrandingsmotor die worden ingezet op een bouwlocatie (Klimaatakkoord).

<sup>3</sup> In 2030 minimaal 50% gezondheidswinst uit binnenlandse bronnen te realiseren ten opzichte van 2016 en een reductie van de negatieve gezondheidseffecten van mobiele werktuigen van 75% (Schone Lucht Akkoord).

<sup>4</sup> TNO, Notitie NO<sub>x</sub>-reductiedoel, -pad en beleidspakket bouwsector aan het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties op 14 augustus 2020.



De doelstellingen van het programma Emissieloos bouwen zijn:

- Het versnellen van de toepassing van maatregelen die nu al mogelijk zijn;
- Het ontwikkelen, testen en stimuleren van maatregelen die leiden tot (kansrijke) toepassingen in de toekomst (ontwikkeltrajecten met kansrijke oplossingen);
- Het beantwoorden van onderzoeksvraagstukken om een vertaling te kunnen maken van vraagstuk naar oplossingsrichtingen;
- Het doen van voorstellen voor herziening of optimalisatie van bestaand beleid en regelgeving dan wel het doen van voorstellen voor nieuw beleid die bijdragen aan emissieloos bouwen;
- Het terugkoppelen van beantwoorde vraagstukken, kansrijke toepassingen en oplossing(s)richtingen), en leerervaringen uit de praktijk naar de bouwsector;
- Het actief en breed delen van de opgedane kennis naar de ontwerp-, bouw en technieksector; en
- Het verder stimuleren van de ketensamenwerking die nodig is om de transitie naar 2030 mogelijk te maken.

Aan de hand van deze doelstellingen wordt beoogd om alle stakeholders in de bouwsector de tools en handvatten te bieden om de emissiereductietarget van 60% stikstofreductie in 2030 te halen. De aanpak is gericht op praktische uitvoerbaarheid en realistische, haalbare en betaalbare maatregelen. Het programma wordt daarom gekenmerkt door een 'operationele' basis die is gericht op toepassingen en oplossingsrichtingen van ketenpartners in de praktijk om daarmee zichtbaarheid en snelheid te genereren.

## 1.2 Sectorale aanpak en aandachtspunten

Uit verschillende notities en onderzoeken blijkt dat er vergaande maatregelen moeten worden getroffen om de gestelde ambities op het gebied van stikstof-, CO<sub>2</sub>- en fijnstofemissies richting 2030 te halen.<sup>5</sup> Individuele bouwbedrijven nemen waar mogelijk al maatregelen. Dit is vaak gedreven door de eisen die gesteld worden in opdracht-aanbestedingen. Een gecoördineerde en sectorbrede aanpak is echter noodzakelijk om technologieën versneld te implementeren en op te schalen tegen acceptabele kosten. Om de sector in de volle breedte in beweging te krijgen om emissies terug te dringen zijn de volgende aandachtspunten van belang:

### 1 Sector vanuit de keten bezien

Om de beweging op gang te krijgen en de transitie mogelijk te maken is verbinding als keten nodig. Dat wil zeggen: met alle betrokkenen en beïnvloeders. Zoals overheden in de rol van wetgever én opdrachtgever, marktpartijen, leveranciers, kennisinstututen en ontwikkelaars. Om een transitie als deze mogelijk te maken is samenwerking en verbinding in de keten een kritische succesfactor om daarmee vraag en aanbod ook maximaal op elkaar aan te laten sluiten.

### 2 Technische beschikbaarheid van emissiereducerende oplossingen

Om emissies in de praktijk terug te dringen is een breed scala van oplossingen mogelijk. Het gaat dan om zowel op zichzelf staande oplossingen als integrale oplossingen. Hierbij is het van belang dat oplossingen ook daadwerkelijk beschikbaar zijn of – al dan niet met een impuls – beschikbaar

<sup>5</sup> O.a. TNO, Notitie NOx-reductiedoel, -pad en beleidspakket bouwsector aan het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 14 augustus 2020

worden gemaakt. Een voorbeeld is de beschikbaarheid van nul-emissie materieel en dan met name het grotere materieel. Om nul-emissie bouw materieel in te kunnen zetten moet het leverbaar zijn. Daarvoor is afstemming nodig met de leveranciers om deze urgentie onder de aandacht te brengen. Aan de andere kant hebben leveranciers zicht nodig op beoogde inkoop van nul-emissie materieel zodat zij kunnen versnellen met de beschikbaarheid hiervan.

### 3 Beleidskaders opdrachtgevers

Opdrachtgevers, zowel publieke als private, hanteren diverse beleidskaders als het gaat om emissiereductie en de daaraan verbonden doelstellingen en ambities. Een meer uniform beleidskader om de verduurzaming te bevorderen en te versnellen is één van de oplossingsrichtingen om invulling te geven aan de opgave van emissiereductie. Een goed haalbaar kader, vastgelegd in wetgeving, is nodig. Dit creëert een gelijk speelveld voor de bouwers en geeft (lokale) overheden meer wettelijke grondslag om emissiereductie af te dwingen (eventueel alleen op de plaatsen waar zich de grootste luchtkwaliteit- en bereikbaarheidsknelpunten bevinden). Ook het rekening houden met de kosten van verduurzaming in de (meerjaren)begroting van overheden draagt bij aan het stimuleren van deze noodzakelijke transitie.

### 4 Investerings- en verdienmodel

Het investeren in emissiereducerende maatregelen dan wel nul-emissie vergt een hogere investering dan regulier materieel. Op het moment dat partijen investeren in dergelijke maatregelen ligt daaraan een investeringsmodel ten grondslag, waarbij via het verdienmodel van de opdrachten de investeringen worden 'terugverdiend'. Voor degenen die investeren in emissiereducerende maatregelen dan wel nul-emissie is het hebben van zicht op de daadwerkelijke inzetbaarheid van hun materieel van belang om daarmee het investerings- en verdienmodel te kunnen bepalen.

Vanuit het perspectief van circulariteit en duurzaamheid is gebruik van middelen belangrijker dan bezit. Diverse alternatieven zijn mogelijk, zoals huur en lease, maar ook shared-assets. Shared assets kan interessant zijn voor de 'bijzondere' assets die een meer incidentele toepassing hebben. Daarmee zijn ze voor een enkele eigenaar kostentechnisch onrendabel, maar kunnen met meerdere gebruikers in de vorm van shared assets kostentechnisch juist erg interessant zijn. Dit vraagt van gebruikers om over de grenzen van eigen bezit heen te kijken. Tevens zou gekeken kunnen worden naar financiële mogelijkheden voor duurzame investeringen, zoals achtergestelde leningen of subsidiemogelijkheden. Bij achtergestelde leningen vindt aflossing plaats op basis van opdrachten waarbij emissiereducerende, dan wel nul-emissie, maatregelen worden ingezet.

Deze aandachtspunten vormen de basis van het voorliggende programma Emissieloos bouwen. In het programma wordt vanuit een ketenbrede aanpak en vanuit innovaties voor verschillende emissiebronnen innovaties naar de praktijk gebracht. Doelstelling hierbij is te komen tot een pallet aan concrete maatregelen die sectorbreed tot de vereiste en substantiële emissiereductie leidt.

## 1.3 Van programma naar uitvoering

Uitvoering van het programma is voorzien in een bottom-up proces. De opstellers van het programma hebben hierbij niet zelf de overall coördinerende rol, maar proberen hiermee richting te geven en samenwerking te bevorderen. De uitvoering van het programma zal idealiter bestaan

uit een aantal onderling afgestemde deeltrajecten, waarbij elke betrokken organisatie vanuit haar eigen rol en verantwoordelijkheden bij kan dragen aan het succesvol uit (laten) voeren van de benodigde activiteiten. De uitvoering kan door verschillende (deel)consortia, samengesteld uit marktpartijen, overheidsinstanties en kennisinstellingen, opgepakt worden. Daarbij is het open delen van data en beschikbare resultaten tussen de consortia randvoorwaardelijk om onnodige dubbellingen te voorkomen, efficiëntie te bewaken en een gezamenlijke leercyclus te doorlopen (open datadeling als randvoorwaarde voor uitvoerende consortia).

In afstemming tussen BZK, IenW, het BTIC, de Groene Koers, het programmabureau van de Topsector Logistiek en digiGO is voorzien om in 2021 in consortiumverband te starten met kennis- en innovatietrajecten rond slimme bouwlogistiek, digitalisering, industriële prefab bouw en de evaluatie hiervan in integrale pilots in de praktijk (praktijksituaties in afstemming met RWS, RVB en betrokken provincies en gemeentes te bepalen). De kennis- en innovatietrajecten zullen parallel lopen aan de in ontwikkeling zijnde routekaarten vanuit IenW en de regelingen ten behoeve van ontwikkeling en implementatie van emissieloos materieel. Door periodiek de resultaten van het uitvoerend consortium en de voortgang rond implementatie van emissiereducerende maatregelen in de praktijk bij elkaar te brengen, kunnen zowel de voortgang en toekomstige mogelijkheden getoond worden als eventueel gewenste aanpassingen aan het kennis- en innovatieprogramma besproken worden.



## 2 Programmaopzet

Het programma focust op drie relevante kennislijnen in de bouwsector waarop de emissiereducerende maatregelen betrekking hebben:

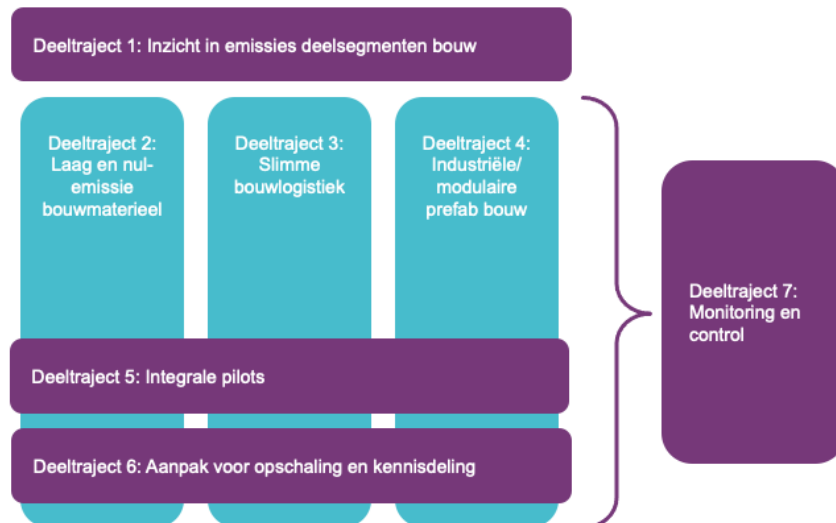
- Emissies van bouwmaterieel tijdens het bouwproces.  
*Reductie van NO<sub>x</sub>-, CO<sub>2</sub>- en PM-uitstoot van bouwmaterieel op de bouwplaats.*
- Emissies van bouwlogistiek  
*Reductie van NO<sub>x</sub>-, CO<sub>2</sub>- en PM-uitstoot ten gevolge van transportbewegingen naar en van de bouwplaats.*
- Bouwindustriegerelateerde emissies  
*Reductie van NO<sub>x</sub>-, CO<sub>2</sub>- en PM-uitstoot vanuit het ontwerp en de productie van bouwmaterialen/bouwdelen.*

Tussen de verschillende maatregelen zien wij belangrijke versterkende effecten. Door veranderingen in het bouwproces (bijvoorbeeld het gebruik van andere materialen en toepassing van prefab elementen van lichtgewicht materiaal) kan mogelijk de bouwlogistiek worden geoptimaliseerd aan de nieuwe situatie (bijvoorbeeld door meer just-in-time vanuit een bouwhub te werken). Hierdoor kunnen ook (meer) nul-emissie voertuigen worden toegepast op de last-mile. Bovendien kan in het bouwproces gebruik worden gemaakt van kleinere bouwmaterieel (lichtere kranen), waardoor eerder de overstap kan worden gemaakt naar gebruik van elektrische bouwmachines. Het is daarom van belang deze programmalijnen ook integraal te benaderen.

Op basis van bovenstaande drie kennislijnen is het Kennis- en Innovatieprogramma Emissieloos bouwen ingedeeld in zeven, deels parallel uit te voeren, deeltrajecten:

- [Deeltraject 1](#): Inzicht in emissies deelsegmenten bouw;
- [Deeltraject 2](#): Laag en nul-emissie bouwmaterieel;
- [Deeltraject 3](#): Slimme bouwlogistiek;
- [Deeltraject 4](#): Industriële/ modulaire prefab bouw;
- [Deeltraject 5](#): Integrale pilots;
- [Deeltraject 6](#): Aanpak voor opschaling en kennisdeling; en
- [Deeltraject 7](#): Monitoring en control.





**Figuur 2. Samenhang deeltrajecten (evaluatie interacties deeltrajecten 2, 3 en 4 voorzien in de integrale pilots onder deeltraject 5)**

Figuur 2 geeft de samenhang weer van de zeven deeltrajecten. Waar mogelijk wordt aangehaakt bij reeds lopende ontwikkelingen en onderzoeken.<sup>6</sup>

In deeltraject 1 wordt een benchmark uitgevoerd die inzicht geeft in het huidige werkproces en de bijbehorende emissies voor verschillende deelsegmenten in de bouw (B&U en GWW). Vanuit dit referentiekader wordt de mogelijke impact van de verschillende reductiemaatregelen in kaart gebracht en kan focus worden aangebracht in welk segment initieel met welke reductiemaatregel aan de slag wordt gegaan.

In deeltrajecten 2, 3 en 4 worden ontwikkeltrajecten voor de drie kennislijnen (bouwmaterieel, bouwlogistiek en industrieel bouwen) uitgevoerd waarop emissiereductie mogelijk is. De trajecten geven praktijkinzicht in de feitelijke impact van diverse reductie-opties op de korte en (middel)lange termijn.

In deeltraject 5 wordt de kennis voor de verschillende kennislijnen samengevoegd en wordt aan de hand van een aantal integrale pilots voor verschillende bouwsegmenten onderzocht welke mate van interactie er tussen de onderdelen is en hoe ze elkaar versterken.

In deeltraject 6 wordt de kennis uit alle deeltrajecten breed gedeeld zodat succesvolle resultaten kunnen worden opgeschaald. Dit werkpakket omvat ook community building, om de impact van ontwikkelde kennis zo groot mogelijk te maken.

In deeltraject 7 wordt een innovatieroadmap ontwikkeld voor de verschillende segmenten binnen de bouw. De resultaten van de deeltrajecten (2 - 5) worden gemonitord en vergeleken met de roadmap. Op basis hiervan kunnen de in uitvoering zijnde deeltrajecten programmatisch worden bijgestuurd.

<sup>6</sup> Voor een overzicht van onderzoeken/ontwikkelingen die al in beeld zijn zie Bijlage 2.

De ontwikkeltrajecten en pilots vanuit de deeltrajecten 2 - 5 worden waar mogelijk uitgevoerd op een aantal (fieldlab) locaties waar de komende jaren langer lopende projecten gerealiseerd worden die representatief zijn voor verschillende soorten bouw (B&U en GWW). De volgende locaties zijn voorbeelden van geschikte locaties:

- Overamstel Amsterdam – herontwikkeling van de buurt, bestaande uit zowel infrastructuur (verhardingen, kunstwerken) als woning- en utiliteitsbouw;
- Strijp-S Eindhoven – herontwikkeling van een stadsdeel in Eindhoven, zowel renovatie als innovatieve nieuwbouw;
- Samenwerkingsovereenkomst Amsterdam (SOK) – langer lopend onderhoudsproject voor elementverhardingen waarbij in het aanbestedingsproces nadruk ligt op de logistiek in relatie tot de bereikbaarheid en leefbaarheid van de stad;
- Lage Weide Utrecht – herstructurering van bedrijventerrein Lage Weide Utrecht en ontwikkeling groen tankstation voor waterstof;
- Merwedekanaalzone – ontwikkeling nieuw stadsdeel met hoge ambities van gemeente, grondeigenaren en ontwikkelaars wat betreft koppeling met gezondheid/luchtkwaliteit;
- Infra gerelateerde project(en) in overleg met RWS en Provincies (nader te bepalen); en
- Ruraal gebied nabij kwetsbare Natura 2000-gebieden. Bijvoorbeeld rondom Zaanstad en duingebied Noord-Holland of op de Veluwe (nader te bepalen).



## 2.1 Deeltraject 1: Inzicht in emissies deelsegmenten bouw (B&U en GWW)

In deeltraject 1 wordt inzicht verkregen in emissies voor de verschillende deelsegmenten van de bouw (B&U en GWW). Dit deeltraject kent twee hoofdactiviteiten:

- Ontwikkelen referentiekader voor de impact van reductiemaatregelen; en
- Doelen/ambities emissiereductie per deelsegment (B&U en GWW) en bron (bouwmaterieel, bouwlogistiek, bouwindustrie) vaststellen.

Op hoofdlijnen is de bijdrage van de bouwsector op het gebied van emissies bekend. Er is momenteel echter weinig kennis beschikbaar over de toedeling van emissies in de bouwsector naar de verschillende deelsegmenten (B&U en GWW) en naar de verschillende emissiebronnen (bouwmaterieel, bouwlogistiek, bouwindustrie). Daarvoor ontbreekt het nog aan betrouwbare en bruikbare data betreffende de omvang, aard, locatie, tijdperiode en overige relevante kenmerken van de verschillende bouwopgaven voor de komende jaren in Nederland. Om te weten welke reductiemaatregelen de grootste bijdrage kunnen leveren per segment, is het noodzakelijk dit in kaart te brengen voor een serie van bouwprojecten.

Dit beeld kan opgebouwd worden door het uitvoeren van een benchmark waarin huidige werkprocessen en bijbehorende emissies van verschillende bronnen (bouwmaterieel, bouwlogistiek en bouwindustrie) voor verschillende deelsegmenten (B&U en GWW) in kaart worden gebracht. Welk materiaal wordt gebruikt en wat is daarvan het productieproces (bouwindustrie)? Hoe wordt dit materiaal naar de bouwplaats getransporteerd (bouwlogistiek)? En, welk bouwmaterieel, met welke karakteristieken, wordt op de bouwplaats gebruikt? De verschillende type reductiemaatregelen hebben een sterke interactie en versterken elkaar. Om meer zicht te krijgen in deze keteneffecten is een verdiepingsslag voor de verschillende bouwsegmenten van belang.

Het resultaat is een referentiedataset die gebruikt kan worden om de potentiële impact van diverse emissiereducerende maatregelen voor verschillende bronnen in kaart te brengen, te verifiëren en te verfijnen. Tevens geeft dit een indicatie van de mogelijke impact van bekende maatregelen, zoals de inzet van laag- of nul-emissie bouwmaterieel en het gebruik van bouw hubs. Om deze referentiedataset up-to-date te houden zullen er periodiek updates plaatsvinden, waardoor ook de ontwikkelingen en impact van reductiemaatregelen over de jaren heen zichtbaar zullen worden en kunnen worden bijgestuurd. Dit gebeurt onder [deeltraject 7](#). Het verzamelen en registreren van deze gegevens neemt de onzekerheden weg, verbetert de hardheid van het te voeren beleid, maakt de voortgang beter te monitoren en maakt het beter mogelijk om de haalbaarheid en effecten van omschakeling naar nul-emissie goed in te schatten.

Dit traject bouwt onder andere voort op de materieelenquête (nulmeting) die onder de regie van TNO wordt uitgevoerd in opdracht van IenW en RWS (zie tevens Bijlage 2). De materieelenquête biedt inzicht in de totale vloot aan bouwmaterieel in Nederland. Betrouwbare registratiegegevens ontbreken echter vaak. In 2021 is registratie voor bouwmaterieel dat op de openbare weg rijdt gestart. Voor een goed overzicht zou dit uitgebreid kunnen worden naar bouwmaterieel dat wordt ingezet op bouwplaatsen. Dit is nodig omdat de diversiteit binnen mobiele werktuigen zeer groot is en de praktijkemissies voor een groot deel nog onbekend zijn.

## KENNIS- EN INNOVATIEVRAGEN DEELTRAJECT 1

Voor deeltraject 1 zijn de volgende kennis- en innovatievragen geformuleerd:

- Welke databronnen zijn beschikbaar voor het opbouwen van de referentiedataset?
- Aan welke data ontbreekt het nog?
- Welke registratie- en monitoringsprocessen moeten worden opgezet en geïnitieerd om de ontbrekende data in de komende periode op te bouwen? (Link met deeltraject 7)
- Welke innovaties en/of bestaande technologieën zijn daarvoor nodig?
- Wat is de opbouw van emissie-uitstoot voor de verschillende bouwsegmenten en hoe is spreiding hierbinnen?
- Wat zijn de belangrijke kenmerken en karakteristieken van een bouwwerk (input data) voor het modelleren van emissievraagstukken?
- Hoe kunnen de benodigde gegevens op een betrouwbare en veilige wijze worden vastgelegd, zodanig dat deze snel toegankelijk is en het beheer daarvan eenvoudig blijft? (Link met deeltraject 7)
- Wat is de verwachte impact van verschillende reductiemaatregelen (uit deeltrajecten 2, 3 en 4) inclusief keteneffecten (deeltraject 5)?

### Resultaten:

- Inzage in huidige situatie, impact reeds bestaande maatregelen en mogelijkheden om emissies te reduceren.

**Voorziene looptijd: 2021**

## 2.2 Deeltraject 2: Laag- en nul-emissie bouwmaterieel

In deeltraject 2 worden emissiereductiemaatregelen voor bouwmaterieel<sup>7</sup> ontwikkeld en getest in de praktijk. Dit deeltraject kent drie hoofdactiviteiten:

- Meten van realtime energieverbruik en emissies van bouwmaterieel in de praktijk;
- Evalueren en testen van reductiemogelijkheden voor het huidige materieel (bijvoorbeeld retrofit opties, vermindering stationair draaien en gebruik alternatieve brandstoffen); en
- Evalueren en testen in de praktijk van nul-emissie bouwmaterieel.

Voor bouwmaterieel bestaat veel meer onzekerheid rondom de bijdrage aan emissies dan voor het wegverkeer. Bovendien is er weinig bekend over het gebruik van de machines (aantal draaiuren en het gebruikte vermogen) en de bijbehorende emissies in de praktijk. Gegeven deze onzekerheid en het relatief grote belang van de uitstoot van bouwmaterieel voor de bouwsector, is het belangrijk hier meer inzicht in te krijgen. Dit is bijvoorbeeld van belang om te weten in welke mate nul-emissie bouwmaterieel mogelijk is en waarmee de grootste emissiereductie kan worden behaald.

In dit deeltraject wordt daarom een grootschaliger emissiemeetprogramma ontwikkeld, waarmee de daadwerkelijke prestaties in de praktijk en/of onder praktijk-representatieve omstandigheden op een relatief snelle wijze kunnen worden bepaald en waarbij meer data wordt verzameld over de daadwerkelijke emissies van bouwmaterieel onder gebruikscondities. Er is momenteel al een sterke behoefte bij bouwondernemingen aan reallife gebruiks- en emissiedata. Het is echter te kostbaar voor bouwondernemingen om deze metingen zelf uit te laten voeren. Wel is er bereidheid om een deel van de kosten te dragen als daarmee ook waardevolle inzichten over de eigen vloot beschikbaar komen. Partijen die aan dit deelprogramma deelnemen kunnen met een beperkte investering (en in ruil voor het beschikbaar maken van de data voor de sector) hun bouwmaterieel laten meten in de praktijk. De opgedane resultaten en kennis worden gebruikt om op basis van de praktijkemissies advies te geven over wat er verbeterd kan worden. Dit geeft ook handelingsperspectief voor bedrijven zodat zij keuzes kunnen maken om bepaalde investeringen te doen.

Aanpalend aan het meetprogramma kunnen gerichte testen worden gedaan met reductiemogelijkheden voor de huidige vloot aan bouwmaterieel. Voorbeelden hiervan zijn het toepassen van andere brandstoftypen zoals biobrandstof/HVO of GTL, de inzet van filtersystemen, retrofit toepassingen en het anders inrichten van operationeel gebruik (e.g. minder stationair draaien).

Tot slot worden in dit deeltraject oplossingen voor nul-emissie bouwmaterieel getest in de praktijk en geëvalueerd. Bijvoorbeeld de inzet van nul-emissie middelzwaar (e.g. kleine kranen en shovels) en (mogelijk) groter materieel (e.g. kranen en graafmachines) op verschillende type bouwplaatsen. Het doel is ervaring opdoen met het gebruik van nul-emissie materieel in de praktijk. Een aandachtspunt bij het inzetten van elektrisch bouwmaterieel is het organiseren van

---

<sup>7</sup> NB Verondersteld wordt dat nieuw materieel en/of revisiepakketten voor bestaand materieel buiten het voorliggende programma ontwikkeld worden. Er zal in dat kader nauw contact worden gehouden met lopende (Nederlandse) ontwikkelingen (o.a. retrofit oplossingen door bouwbedrijven en ontwikkelingen t.b.v. zwaar materieel vanuit ENI) en deze zullen zoveel mogelijk meegenomen worden in de praktijktesten op de verschillende pilotlocaties. Voor een overzicht van reeds lopende projecten zie Bijlage 2.



de laadinfrastructuur en de aansluiting op het elektriciteitsnetwerk. Dit kan sterk afhankelijk zijn van de locatie van de bouwplaats. Voorzien is om verschillende oplossingen, zoals het gebruik van tijdelijke kabels of batterijcontainers, te toetsen. Ook de keteneffecten van de inzet van nul-emissie bouwmaterieel worden in dit deeltraject inzichtelijk gemaakt. Wat is bijvoorbeeld de impact van het gebruik van nul-emissie bouwmaterieel op het bouwproces en het gebruik van materialen? Vanuit deze praktijktesten kan inzicht worden gegeven in de technische en economische haalbaarheid van nul-emissie oplossingen in de praktijk. Voor leveranciers van bouwmaterieel is deze stap essentieel om vertrouwen te krijgen dat er een markt is voor nul-emissie machines. Hiermee kan de introductie van nul-emissie materieel versneld worden.

## KENNIS- EN INNOVATIEVRAGEN DEELTRAJECT 2

Voor deeltraject 2 zijn de volgende kennis- en innovatievragen geformuleerd:

- Wat zijn de belangrijke onderdelen van de opzet van een grootschalig realtime emissiemeetprogramma specifiek gericht op bouwmaterieel?
- Welke bepalende karakteristieken van bouwmaterieel en het gebruik van materieel moeten worden gemonitord (link met deeltraject 7) en welke innovaties en technologieën zijn daarvoor nodig?
- Hoe verhouden de emissies van de praktijkmetingen zich tot de huidige prognoses die opgesteld zijn aan de hand van modelberekeningen in de emissieregistratie?
- Hoe kunnen de benodigde gegevens op een betrouwbare en veilige wijze in een interactieve database worden vastgelegd, zodanig dat deze snel toegankelijk is en het beheer daarvan eenvoudig blijft? (Link met deeltraject 7)
- In welke mate kan emissiereductie bereikt worden door het optimaliseren van het gebruik van het bouwmaterieel in de praktijk en inzet van emissiearm materieel?
- Hoe kunnen de emissieprestaties van emissiearm materieel gemonitord worden?
- Hoe ziet de ingroei van nul-emissie materieel er idealiter uit?
- In hoeverre kunnen shared assets bijdragen aan (een snelle) introductie van nul-emissie materieel?
- Wat is een goede bruikbare standaard voor het energiesysteem (e.g. uitrol energieinfrastructuur en/of standaardeisen voor uitwisselbaarheid van batterijpakketten of waterstof)?
- Welke standaardisatie kunnen producenten van materieel doorvoeren zodat het laden en wisselen van batterij- en waterstofpakketten zoveel mogelijk uniform en uitwisselbaar wordt tussen verschillende typen en merken materieel?
- Welke noodzakelijke aanpassingen zijn nodig, met betrekking tot scholing en opleiding, voor de omgang met waterstof of all-electric aangedreven oplossingen?
- Welke vervolgacties zijn nodig aan de hand van deze inzichten?

### Resultaten:

- Standaard meetprotocol realtime emissies bouwmaterieel (link met deeltraject 7)
- Inzage in emissiereductieopties bouwmaterieel (voor retrofit en nieuwe ontwikkelingen)

**Voorziene looptijd: 2021 - 2026**

### 2.3 Deeltraject 3: Slimme bouwlogistiek

De bouwsector is verantwoordelijk voor ongeveer 20% van het goederenvervoer in Nederland (zowel over de weg als over het water).<sup>8</sup> Bouwlogistiek levert een significante bijdrage aan bereikbaarheidsproblemen in steden en aan lokale, regionale en grensoverschrijdende luchtkwaliteitsproblemen (waaronder stikstofdepositie). De maatschappelijke ontwikkelingen rond duurzaamheid en klimaatbeleid zetten het logistieke proces van veel bouwbedrijven onder grote druk.

Dit deeltraject bestaat uit drie hoofdactiviteiten:

- Ontwikkeling van een control tower die bouwlogistieke maatregelen mogelijk maakt;
- Ontwikkeling van nieuwe bouwlogistieke toepassingen zoals het gebruik van hubs en inzet van nul-emissie vaar- en voertuigen; en
- Bevorderen van ketenregie en -samenwerking.

Er is een sterke samenhang tussen deze hoofdactiviteiten. Veel bouwlogistieke reductieopties vergroten de complexiteit van de keten en vragen om betere afstemming en integrale benadering. Voor toepassing in de praktijk moet daarom de ketenregie en -samenwerking worden verbeterd. Deze samenwerking is echter alleen mogelijk als hiervoor data over de gehele keten heen beschikbaar is. Hiervoor wordt een control tower aanpak voorgesteld: een gestandaardiseerde werkwijze van datadeling.

In dit deeltraject wordt een control tower ontwikkeld die realtime datadeling mogelijk maakt voor meerdere bouwprojecten/gebruikers (gebiedsgerichte aanpak). Bij de ontwikkeling van een control tower wordt verkend in hoeverre data breed ontsloten kan worden door de toepassing van digital twins (toelevering, bouwlogistiek, bouwindustrie). De digital twin kan bijvoorbeeld plannings- en uitvoeringsprocessen ondersteunen met zogenaamde 4D-modellen (e.g. 4D BIM). Deze modellen nemen de factor tijd mee waardoor geautomatiseerde controles mogelijk zijn en veiligheidsrisico's en vertragingen voorkomen of opgelost kunnen worden.

De ontwikkeling van een control tower vormt de basis voor verschillende vormen van ketenregie en -samenwerking. Afgelopen jaren is er veel onderzoek gedaan om het

#### BOUWHUBS

De inzet van bouwhubs als ontkoppelpunt in de keten wordt gezien als een belangrijk onderdeel van bouwlogistieke oplossingen die emissies moeten terugdringen. Door de inzet van hubs is het bijvoorbeeld mogelijk om voor de last-mile naar de stad nul-emissie voertuigen in te zetten. Lokaal maatwerk en een gebiedsgerichte aanpak is hierbij essentieel. Uit praktijk blijkt dat duidelijke en haalbare (lokale of zelf projectgebonden) kaders nodig zijn om bouwlogistieke innovatie zoals die in dit programma worden beoogd in praktijk toe te passen. Dit vraagt commitment van (lokale) overheden. Bijvoorbeeld voor het vrijmaken van (kostbare) fysieke ruimte rondom de stad om een (netwerk van) bouwhub(s) te realiseren, voor het omvormen van bouwhubs tot afvalhubs of circulaire hubs als de bouw voorbij is, of voor het ontwikkelen van een inkoopplatform zodat emissiereducerend materieel of voertuigen gezamenlijk worden ingekocht om bij verschillende bouwprojecten in te zetten. Tevens heeft een dergelijk platform de functie van collectieve gesprekspartner voor o.a. toeleveranciers en fabrikanten waardoor via één centrale toegang het gehele collectief zijn behoefte kan duiden en centrale afspraken gemaakt kunnen worden.

<sup>8</sup> Topsector Logistiek (maart 2020), *Quickscan Aard & Omvang bouwlogistiek*

bouwlogistieke proces te verbeteren, te professionaliseren en te verduurzamen. In verschillende projecten is gewerkt aan het realiseren van betere afstemming en coördinatie van logistieke stromen (ketenregie). Om een vertaalslag te maken vanuit data uit bouw-informatiesystemen naar verbeteringen in de dagelijkse praktijk in de bouwsector zijn aanvullende stappen en praktijkproeven noodzakelijk. Hierbij is het van belang dat alle relevante partijen zoals leveranciers, transporteurs, aannemers en overheden betrokken worden. Gezamenlijke agendering van bredere bouwopgaves (luchtkwaliteit, infrastructuur, verblijfskwaliteit, etc.) dragen bij aan betere ketensamenwerking. Belangrijke aandachtspunten hierbij zijn de afstemming van operationele planningen en de afstemming van businessmodellen (verdelen van kosten en baten van reductiemaatregelen). Ketenregie kan plaatsvinden binnen bouwprojecten, maar ook als gebiedsgerichte aanpak over bouwprojecten heen. Hierbij is het ook van belang dat er afstemming is over en uniformiteit is in het beleid van verschillende overheidslagen (landelijk, provincies, gemeentes).

Met behulp van het inzicht uit de control tower en de samenwerking vanuit ketenregie worden in dit deeltraject ook bestaande en nieuwe bouwlogistieke toepassingen ontwikkeld en getest in de praktijk. Zoals het gebruik van hubs, vervoer over water, gezamenlijke inkoop, logistieke aanbestedingsconstructies, nieuwe vormen van samenwerking en verdienmodellen (e.g. return on investment en split incentives) en de inzet van nul-emissie voertuigen voor transport en consolidatie van bouwstromen (e.g. impact van uniforme ladingdrager of circulaire hub).

### KENNIS- EN INNOVATIEVRAGEN DEELTRAJECT 3

Er is nog onvoldoende kennis op het gebied van het ontsluiten van verschillende gegevensbronnen en het uitwisselen van beschikbare (realtime) data in een bouwlogistieke keten om bruikbare instrumentarium (control tower) te ontwikkelen voor het uitvoeren van integrale ketenregie. Daarnaast moet er nog veel ervaring worden opgebouwd richting implementatie van bouwlogistieke concepten. Voor deeltraject 3 zijn de volgende kennis- en innovatievragen geformuleerd:

#### *Organisatorisch:*

- Hoe ziet een samenwerkingsmodel eruit met integrale ketenregie?
- Hoe kan op basis hiervan een ‘slimmere’ bouwlogistiek gepland worden en hoe kunnen innovatieve bouwlogistieke maatregelen worden geïmplementeerd?
- Wat levert het naast de emissiereducties op voor de ketenpartners in termen van snelheid van leveren, realtime inzicht in leveringen, kostenreducties door meer efficiënte logistiek, etc.?
- Welke kaders moeten/kunnen gemeentes stellen bij een project of locatie om tot succesvolle ketensamenwerking te komen die leidt tot een slimmere bouwlogistiek?
- Welk kaders/ afspraken zijn op andere niveaus nodig?

#### *Technisch:*

- Hoe kan beschikbare data en informatie uit de verschillende databronnen (BIM, TMS, bouwplanning, logistieke planning, etc.) en van verschillende partijen in een

- bouwlogistieke keten worden gedeeld, gekoppeld en gecombineerd?<sup>9</sup>
- Hoe kunnen slimme algoritmes deze data omzetten in beslissingsondersteunende toepassingen?
  - Welke innovaties en technologieën zijn nodig om het delen van data op een veilige en betrouwbare wijze tot stand te brengen?

**Resultaten:**

- Protocol voor uitwisseling data
- Inzage in mogelijkheden control tower ter optimalisatie emissieloze bouw

**Voorziene looptijd: 2021 - 2026**

## 2.4 Deeltraject 4: Industriële/ modulaire prefab bouw

Industrieel, Flexibel, Demontabel (IFD) en modulair bouwen kan de uitstoot van emissies bij productie, tijdens transport, op de bouwplaats en gedurende de levenscyclus (o.m. end-of-life) significant reduceren. Voorwaarde is dat activiteiten goed geïntegreerd zijn met het logistieke proces, geoptimaliseerd zijn vanuit de totale levenscyclus en gebruik gemaakt wordt van biobased of circulaire materialen. Daarnaast is vanuit een modulair bouwconcept, gebaseerd op een product platform, met een set van gestandaardiseerde subsystemen (e.g. bouwblokken en modules) en gebruikmakend van nieuwe industrialiseerbare en gerobotiseerde productiemethodes, een grote en efficiënte bouwstroom mogelijk. Hiermee kan het invulling geven aan de vereiste opschaling van betaalbare nieuwbouwwoningen en tevens aan het gestandaardiseerd aanbieden van bouwstenen voor grote infrastructurele projecten (versnellend, kostenreducerend en margevergroterend).

Een dergelijke product platform filosofie gaat uit van gestandaardiseerde producten, gestandaardiseerde (/gedigitaliseerde) processen en gestandaardiseerde toeleveringsketens. Dit deeltraject kent de volgende hoofdactiviteiten:

- Ontwikkelen van integrale, circulaire, lage-emissie ontwerpprocessen;
- Kennisontwikkeling industrialisatie prefab bouw;
- Ontwikkelen product platforms voor de bouwsector;
- Stroomlijnen levering en assemblage van componenten; en
- Onderzoek alternatieve lage-emissie bouwmaterialen.

Bij elk van deze hoofdactiviteiten speelt digitalisering een cruciale rol. Door vanaf het moment van idee-initiatie (opdrachtgever en/of projectontwikkelaar) tot oplevering van het bouwwerk, tijdens de operationele gebruiksfase en eventueel ook sloop en hergebruik van componenten en materialen, van één digitale representatie uit te gaan (digital twin), is een datagedreven optimalisatie over de gehele levensduur van een bouwwerk mogelijk en kan geleerd worden van

---

<sup>9</sup> Hierbij zal, net zoals voor de digitaliseringsaspecten onder deeltraject 4 (standaarden voor datadeling, digital twins, linked data, etc.), de open data-aanpak vanuit het Digitaal Stelsel Gebouwde Omgeving (digiGO) als uitgangspunt worden genomen.

het functioneren van een bouwwerk. Door te werken met modulaire bouwconcepten, gebaseerd op een product platform aanpak, kunnen basisonderdelen (modulaire ontwerp oplossingen, productie- en uitvoeringsmethoden, etc.) ook projectonafhankelijk worden ontwikkeld en gedigitaliseerd in bibliotheken.

Door een product platform aanpak verandert het ontwerpproces. Door toepassing van parametrisch of generatief ontwerp (generative design), in combinatie met de (gedigitaliseerde) basisonderdelen, kunnen ontwerpactiviteiten zeer efficiënt plaatsvinden. Hierbij kan optimalisatie plaatsvinden naar onderling afhankelijke aspecten als esthetiek, energieprestaties, circulariteit, maakbaarheid, materiaalgebruik en kosten. Hierbij kan tevens optimalisatie naar (tot nul) gereduceerde bouwemissies (NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, PM en geluid) vanaf het begin van het ontwerpproces meegenomen worden (in basisconcepten en in projectmatige invulling en optimalisatie). Dergelijke activiteiten kunnen zich richten op een bouwwerk, maar bijvoorbeeld ook op een geplande locatie (wijk, bestaande bebouwing, emissiezones, nabije Natura 2000-gebieden, etc.). Daarbij kunnen ook vergunningstrajecten digitaal uitgevoerd en versneld worden.

Een volgende stap is het industrieel produceren van de modulaire bouwdelen. Een ontwerp- en productieproces dat geoptimaliseerd is naar minimaal materiaalgebruik, of alternatief (biobased) materiaalgebruik (binnen de geldende bouweisen) kan hierbij zowel de emissies gerelateerd aan de productie en het transport van de uitgangsmaterialen, als het transport van de bouwdelen naar de bouwplaats en de uitstoot op de bouwplaats reduceren of zelfs tot nul terugbrengen. Dit betreft ook nieuwe manieren van (gerobotiseerd) produceren van prefab bouwdelen. Door het introduceren van zelflerende algoritmen (AI) die productie-, leverings- en assemblageprocessen volgen, kan betere analyse en optimalisatie van processen plaatsvinden en kan geleerd worden voor nieuwe projecten.

De focus met betrekking tot kennisontwikkeling en innovatie ligt in dit deeltraject op nieuwe, digitale, methoden die, met behulp van digital twins, robotisering en circulair en nul-emissie ontwerp, de processen rond ontwerp, werkvoorbereiding, productie, levering en assemblage van componenten, te stroomlijnen en te automatiseren. Het ontwikkelen van een typologie van (standaard) product platforms voor de bouwsector, inclusief toegevoegde waarde en haalbaarheid, en de ontwikkeling van een proof of concept productconfigurator waarmee ontwerpen kunnen worden geconfigureerd en geoptimaliseerd voor verschillende cases in de B&U en GWW is hierbij gewenst.

Daarnaast is het van belang om de gestandaardiseerde componenten en modules (en hun functioneren) te volgen tijdens de gehele levenscyclus (die uit verschillende bouwwerken kan bestaan). Door deze monitoring kunnen onderdelen beter hergebruikt worden. Ook kunnen we leren over het functioneren van deze onderdelen in praktijk, zodat leerervaringen meegenomen kunnen worden in de verbetering van de gestandaardiseerde subsystemen. Hierbij spelen nadrukkelijk niet alleen technische aspecten op het gebied van bijvoorbeeld bouwkunde en digitalisering een rol, maar zeker ook organisatorische aspecten zoals organisatie van processen en informatiestromen, gedrag van partijen, drijfveren, barrières en (nieuwe) businessmodellen ten aanzien van product platforms en emissiegereduceerd bouwen.

Validatie van techniek en methoden is voorzien in pilots (deeltraject 5) zowel gekoppeld aan bouw- als infraprojecten.





## KENNIS- EN INNOVATIEVRAGEN DEELTRAJECT 4

Voor deeltraject 4 zijn de volgende kennis- en innovatievragen geformuleerd:

- Hoe kunnen digital twins en robotisering worden toegepast in het kader van modulair en industrieel bouwen? In welke mate draagt dit bij aan emissiereductie en onder welke voorwaarden kunnen deze toegepast worden? Welke vernieuwende productiemethoden zijn hierbij mogelijk en hoe effectief zijn deze?
- Wat zijn toepassingsvormen (e.g. op verschillende niveaus: organisatie, keten(s), sector) van een aanpak gebaseerd op (digitale) product platforms en welke kansrijke toepassingen zijn er binnen de verschillende toepassingsgebieden (B&U en GWW)? Welke voordelen heeft dit en onder welke voorwaarden zijn deze toepassingen haalbaar?
- Welke proces- en productoptimalisaties, met name door het gebruik van digital twins, *Artificial Intelligence* (AI), productconfiguratoren en parametrisch en generatief ontwerp, zijn mogelijk en welke emissiereducties zijn hierdoor haalbaar en economisch rendabel?
- Hoe gaat het delen van data geregeld worden, zodat zowel de individuele belangen (e.g. van opdrachtgever, opdrachtnemer, onderaannemers, gebruikers en bewoners) als het overkoepelend maatschappelijk belang (e.g. voldoende betaalbare woningen en acceptabele emissiewaardes) gewaarborgd blijven? Wat zijn voorwaarden voor implementatie van deze innovaties en welke gevolgen heeft dit voor bestaande businessmodellen?
- Welke materialen kunnen door biobased materialen of vanuit secundaire materiaalstromen vervangen worden, zonder dat de betrouwbaarheid, veiligheid of beschikbaarheid van bouwmaterialen afneemt? Wat is de potentiële emissiereductie bij verschillende alternatieve materialen?
- Wat is de invloed van nieuwe keteninrichting en bouwlogistiek maatregelen (o.m. aan de hand van de control tower (deeltraject 3) en de inzet van emissiearm/-loos bouw materieel (deeltraject 2)) op de uitwerking van industriële modulaire productplatforms en vice versa?
- Vergaande digitalisering, industrialisering en modulaire bouw leidt tot andere vereiste vaardigheden bij werknemers in het ontwerp-, bouw- en technieksector (zowel aan de uitvoerende als opdrachtgeverskant). Hoe kunnen de opleiding en bijscholing op MBO, HBO en universitair niveau het best ingericht worden om de werknemers van de toekomst op tijd opgeleid te krijgen? (Link deeltraject 6)

### Resultaten:

- Blauwdruk voor digital twins/ data protocol
- Inzage in mogelijkheden voor industriële, modulaire prefabbouw en voor de toepassing van alternatieve materialen ter optimalisatie emissieloos bouwen

**Voorziene looptijd: 2021 - 2026**

## 2.5 Deeltraject 5: Integrale pilots

In dit deeltraject wordt de ontwikkelde kennis en ervaring vanuit de verschillende kennislijnen in deeltrajecten 2, 3 en 4 samengevoegd. Aan de hand van een aantal gerichte pilots voor verschillende bouwsegmenten wordt onderzocht welke mate van interactie er tussen de onderdelen is en hoe ze elkaar versterken. Dit deeltraject kent twee hoofdactiviteiten:

- Uitvoeren integrale pilots in de praktijk; en
- Evaluatie en synthese resultaten deeltrajecten en pilots.

Het samenbrengen en toetsen van de reductie-opties zal plaatsvinden in meerdere pilots gericht op eerdergenoemde bouwsegmenten (B&U en GWW). In deze pilots wordt aandacht besteed aan de interactie tussen verschillende emissiereducerende maatregelen (e.g. de relatie tussen ketenregie en bouwindustriële concepten) en de mate waarin reductiemaatregelen overdraagbaar zijn naar verschillende bouwsegmenten.

Om emissies in de praktijk terug te dringen is een breed scala van oplossingen mogelijk. Het gaat dan om zowel op zichzelf staande oplossingen als oplossingen in combinatie. Hierbij is het van belang dat oplossingen ook daadwerkelijk beschikbaar zijn of – al dan niet met een impuls – beschikbaar kunnen worden gemaakt. Bijvoorbeeld de beschikbaarheid van nul-emissie materieel, met name het grotere materieel (e.g. hijskranen en graafmachines). Om het in te kunnen zetten moet het leverbaar zijn. Afstemming met leveranciers is nodig om deze urgentie onder de aandacht te brengen. Aan de andere kant hebben leveranciers zicht nodig op beoogde inkoop van lage en nul-emissie voordat zij de productie op grote schaal opstarten. Om de omvang van de beoogde inkoop inzichtelijk te maken is een inkoopplatform namens de marktpartijen te overwegen.

Binnen dit deeltraject zal ook aandacht besteed worden aan de ex ante inschatting van kosten en de total cost of ownership (TCO) in relatie tot de businesscase en value chain. Het investeren in emissiereducerende maatregelen vergt mogelijk een hogere investering (zowel voor materieel als mogelijke benodigde infrastructuur). Op het moment dat partijen investeren ligt daaraan een investeringsmodel ten grondslag, waarbij via het verdienmodel van de opdrachten de investeringen worden 'terugverdiend'. Voor degenen die investeren in emissiereducerende maatregelen is het hebben van zicht, op bijvoorbeeld de daadwerkelijke inzetbaarheid van hun materieel, van belang om daarmee het investerings- en verdienmodel te kunnen bepalen. Bovendien zijn voor de nul-emissie opties de kosten voor energie (stroom/waterstof) bepalend voor de TCO, deze kunnen mogelijk sterk variëren per bouwplaats (afhankelijk van locatie en benodigde energie). Tevens zou gekeken kunnen worden naar financiële mogelijkheden voor duurzame investeringen, zoals achtergestelde leningen, waarbij aflossing plaatsvindt op basis van opdrachten waarbij emissiereducerende maatregelen worden ingezet of subsidiemogelijkheden.

## KENNIS- EN INNOVATIEVRAGEN DEELTRAJECT 5

Voor deeltraject 5 zijn de volgende kennis- en innovatievragen geformuleerd:

- Welke combinatie van concepten rondom emissieloos bouwen leiden tot de meest duurzame bouwketen voor de verschillende segmenten?
- Werken de bedachte (deel)oplossingen ook in de praktijk?
- Welke operationele zaken maken dat aanpassingen/bijstelling van de methodes en technieken nodig zijn (terugkoppeling naar deeltrajecten 2-4)?
- Welke organisatorische en beleidsmatige veranderingen in de bouwsector zijn noodzakelijk om deze maatregelen in de praktijk te realiseren? (Link met deeltraject 2, 3, 4 en 6)
- Welke stakeholders dienen welke acties te ondernemen?

### Resultaten:

- Validatie reductiemaatregelen integraal bekeken

**Voorziene looptijd: 2021 – 2026, pilots vanaf 2022**

## 2.6 Deeltraject 6: Aanpak voor opschaling en kennisdelen met sector

Om de praktijk klaar te maken voor adoptie van nieuwe digitale technologieën en circulaire, nul-emissie bouw- en ontwikkelmethodes, zijn niet alleen onderzoek en ontwikkeling nodig, maar ook praktische experimenteer- en leeromgevingen. Er zal een gericht programma per bouwsegment worden ontwikkeld, waarbij wordt gekeken naar welke kennis/bijstelling verschillende stakeholders in verschillende deelsegmenten van de bouw nodig hebben om de voorgestelde reductiemaatregelen op grote schaal in praktijk te brengen. Dit is van groot belang aangezien de inhoud van de bouwsegmenten divers is en de verschillende stakeholders mogelijk niet geheel elkaars “taal” praten. Niet alleen voor de kennisdisseminatie is dat cruciaal, maar ook voor de mogelijke knelpunten op het gebied van businessmodellen, planning (de zachte niet-technische kant) en opschaling. Hierbij wordt onder andere gekeken naar de inzet van serious games (waaronder Bouwlogistiek@Work, ontwikkeld onder de Topsector Logistiek) als vorm om kennis versneld te delen met de hele sector.

De koppeling met scholing, bijscholing en omscholing zal worden gelegd om de transitie breed te kunnen ondersteunen (learning communities). Via de scholingsroute (MBO, HBO en WO) kan over 3-6 jaar impact worden gemaakt omdat de nieuwe professionals de benodigde kennis hebben die ze direct kunnen toepassen in de bouwketen. Voorzien is dit zo veel mogelijk te koppelen aan bestaande regionale fieldlab initiatieven, zoals Pioneering (Overijssel), SPARK (Noord-Brabant), Green Village (Zuid-Holland), BuildinG (Groningen) en Zuyd (Limburg) en het inrichten van pilots gekoppeld aan grootschalige bouwprojecten (deeltraject 5).

## KENNIS- EN INNOVATIEVRAGEN DEELTRAJECT 6

Voor deeltraject 6 zijn de volgende kennis- en innovatievragen geformuleerd:

- Welke vaardigheden zijn nodig voor de medewerker van de toekomst om emissieloze bouw mogelijk te maken?
- Hoe kunnen de nieuwe technieken en werkmethodes het best ingebracht worden in het onderwijs?
- Welke rol kan het onderwijs invullen in de cyclus 'leren, werken, innoveren' en hoe is dit het best in te richten?
- Hoe kan bijscholing en omscholing het best ingericht worden?

### Resultaten:

- Jaarlijkse kennisdelingssessies in samenwerking met de betrokken brancheorganisaties en organisaties als Bouwcampus, Platform 31, DBGC, C-creators, etc.
- Ontwikkeling opleidingsmodules op MBO-, HBO- en WO-niveau

### Voorziene looptijd: gehele programma

## 2.7 Deeltraject 7: Monitoring en control

De monitoring van de verschillende deeltrajecten en integrale monitoring van de pilots vindt plaats onder deeltraject 7. Er zijn drie hoofdactiviteiten in dit deeltraject:

- Ontwikkelen innovatieroadmap (aan de hand van deeltrajecten 1 - 6);
- Monitoring deeltrajecten en pilots aan de hand van KPI's en dashboards; en
- Jaarlijks updaten en bijsturen innovatieroadmap aan de hand van voortgang monitoring.

Aan de hand van deze inzichten uit de verschillende deeltrajecten en pilots wordt een kennis- en innovatieroadmap<sup>10</sup> ontwikkeld voor de verschillende segmenten binnen de bouwsector. Deze roadmap laat zien in welke tijdspanne en met welke (deel)resultaten de doelstellingen, opgesteld in deeltraject 1, gehaald beoogd te worden. Het doel van de innovatieroadmap is om handelingsperspectief te bieden aan de verschillende stakeholders in de sector (zowel bouwondernemingen, toeleveranciers en overheden). Met deze innovatieroadmap wordt inzicht verkregen in welke nul-emissie en laagemissie verschooningsopties op de korte en lange termijn mogelijk zijn per bouwsegment, waarbij de integraliteit van de maatregelen meegenomen wordt.

Via monitoring en control wordt de bijdrage van reductiemaatregelen (deeltraject 2 - 4) aan de gestelde doelen (deeltraject 1) in kaart gebracht. Daarbij is het belangrijk dat het effect van de maatregelen vooraf (ex ante) goed berekenbaar en achteraf (ex post) goed aantoonbaar is.

<sup>10</sup> Bij het ontwikkelen van de innovatieroadmap is een samenwerking voorzien tussen BTIC, de Groene Koers en met respectievelijk IenW op de ontwikkeling van Routekaarten voor bouwmaterieel en de Topsector Logistiek voor bouwlogistieke ontwikkelingen. De roadmap zoals in dit programma benoemd betreft ook industrieel bouwen en de integratie van reductiemaatregelen op alle drie de thema's (bouwmaterieel, bouwlogistiek en industrieel bouwen).

Om de voortgang van verschillende maatregelen te kunnen monitoren en evalueren worden de doelstellingen uit deeltraject 1 vertaald naar Key Performance Indicators (KPI's). Via een opgesteld dashboard wordt periodiek inzicht verleend in bijdrage van de emissiereductiemaatregelen aan de doelstellingen. Middels deze KPI's wordt de roadmap jaarlijks geüpdatet en wordt het programma, wanneer nodig, bijgestuurd.

Voor het opzetten van de monitoring en control wordt voortgebouwd op inzicht verkregen uit lopende monitoringsprojecten van o.a. bouwlogistieke maatregelen in Amsterdam en Rotterdam en de wijze waarop deze worden gemeten en gepresenteerd aan de verschillende stakeholders (monitoringstool).

Door de resultaten uit het kennis- en innovatieprogramma te koppelen met de gegevens uit de praktijk wordt hiermee inzicht verkregen in:

- Veranderingen in de vraag naar bouwlogistiek of mobiele werktuigen (vraagverandering in de bouw);
- Veranderingen in efficiëntie van de bouwlogistiek en mobiele werktuigen (energiebehoefte per werk);
- Veranderingen in de samenstelling en inzet van de mobiele werktuigenvloot en de uitstoot van het gebruikte materieel (verschoning van de vloot); en
- Verwachte reductie bij de brede implementatie van de ontwikkelde innovatie in de vervolgjaren.

## KENNIS- EN INNOVATIEVRAGEN DEELTRAJECT 7

### Resultaten:

- Geïntegreerde roadmap innovatieprogramma en jaarlijkse update en bijsturing hiervan
- Definitie dashboard en KPI's
- Inzage in voortgang middels gedefinieerde KPI's

**Voorziene looptijd: Q4 2021 - 2026**



# Bijlage 1 Verantwoording

Het kennis- en innovatieprogramma is op verzoek van BTIC en de Groene Koers geschreven door vertegenwoordigers uit de ontwerp-, bouw- en technieksector. Het schrijfteam bestond uit:

## Schrijfteam

J. van Rijn, Ij. Kaper, J. Harmsen en R. Donkervoort W. van Schaik	TNO  <i>namens</i> De Groene Koers (initiatiefnemers Bouwend Nederland, BMWT en Cumela) Koninklijke Bouwend Nederland, KOMAT Hogeschool Utrecht/TU Delft TNO/Universiteit Twente Gemeente Rotterdam Techniek Nederland Koninklijke NLIingenieurs Ministerie van BZK Het BTIC
A.F. de Vries R. Vrijhoef A. Adriaanse J.R. Albrechts L. de Vrijer J. Eijer D. van der Woude R. Mulder, H. Keizers	

Bij de totstandkoming van het kennis- en innovatieprogramma 'Emissieloos bouwen' is op meerdere momenten inhoudelijk feedback gevraagd aan een brede klankbordgroep. Onder andere de volgende personen hebben bijgedragen aan de totstandkoming van het programma:

T. van den Berg J. Snijders B. van Bree, A. Veenstra C. Hermans R. Tieskens T. Cloosterman R. Frazer S. van Hees E. Lokkerbol, H. Versteeg E. van Mourik I. Groet V. Benjamins, H. Koning J. Pet M. de Vries S. Dorp, E. van Rijn, A. Meijles L. Borst, M. Ludema H. Laagland M. Meerburg	Ministerie van IenW Ministerie van BZK TKI Dinalog Royal HaskoningDHV digiGO Prorail VolkerWessels BAM De Bouwcampus Provincie Noord-Holland C-Creators Provincie Flevoland Gemeente Lelystad Gemeente Almere Gemeente Utrecht Gemeente Amsterdam Witteveen+Bos Rijksvastgoedbedrijf
--	---

## Bronnen

- 1 TNO, *Notitie NOx-reductiedoel, -pad en beleidspakket bouwsector* aan het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties op 14 augustus 2020
- 2 AMvB, *stikstofreductie en natuurverbetering*, 4 december 2020
- 3 *Klimaatakkoord*, 28 juni 2019
- 4 *Schone luchtakkoord*, 13 januari 2020
- 5 Topsector Logistiek (maart 2020), *Quickscan Aard & Omvang bouwlogistiek*



# **Bijlage 2 Overzicht lopende onderzoeken/trajecten en planning deeltrajecten innovatieprogramma**





Hoofductiviteiten per deeltraject:

	2021	2022	2023	2024	2025	2026
<b>Deeltrajecten:</b> <b>4. Industriële/ modulaire prefab bouw</b>	<b>Bekend/loopt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Diverse partijen betrokken bij industriële productie bouwcomponenten, bijvoorbeeld: Morgenwonen, Voorbij prefab, Van Wijnen, Plegt-Vos, TBI, Dijkstra Draaisma, RC panels, etc.</li> <li>Bouw woningfabrieken door o.a. aannemers</li> </ul>					
	Kennisontwikkeling rond integrale, circulaire, lage-emissie ontwerpproessen					
	Kennisontwikkeling industrialisatie prefab bouw					
	Ontwikkelen product platforms voor de bouwsector					
	Stroomlijnen levering en assemblage van componenten					
	Onderzoek alternatieve lage-emissie bouwmaterialen					
<b>5. Integrale pilots</b>	Uitvoeren integrale pilots in de praktijk					
	Evaluatie en synthese resultaten deeltrajecten en pilots					
<b>6. Aanpak opschaling en kennisdelen</b>	Koppeling scholing en opleiding					
<b>7. Monitoring en control</b>	Ontwikkelen geïntegreerde roadmap					
	Jaarlijks updaten en bijsturen aan de hand van roadmap					
	Monitoring deeltrajecten en pilots					







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)