

# Emissieloos bouwen

Openbare rapportage Q1 2022  
consortium industriële prefab bouw

Auteur Mario de Rooij

Versienummer 1.0

Datum 2 mei 2022

Emissieloos bouwen



# Inhoud

<b>1</b>	<b>Algemeen</b>	<b>4</b>
1.1	Inleiding	4
1.2	Ambities	4
1.3	Een integraal BTIC programma	5
1.4	Deeltraject 4 – Industriële modulaire prefab bouw	6
1.5	Meedoen?	7
<b>2</b>	<b>M1 – (Circulaire) Biobased Materialen</b>	<b>8</b>
2.1	Beoogde uitkomst	8
2.2	Partners	8
2.3	Samenvatting van het deelproject	9
2.4	Emissiereductie	11
<b>3</b>	<b>M2 – 2D gevelelementen</b>	<b>13</b>
3.1	Beoogde uitkomst	13
3.2	Partners	13
3.3	Samenvatting van het deelproject	13
3.4	Emissiereductie	15
<b>4</b>	<b>M3 – Exploded view beyond building</b>	<b>17</b>
4.1	Beoogde uitkomst	17
4.2	Partners	17
4.3	Samenvatting van het deelproject	18
4.4	Emissiereductie	19
<b>5</b>	<b>P1 – Digitalisering en industrialisering HoutKern®-bouw</b>	<b>22</b>
5.1	Beoogde uitkomst	22
5.2	Partners	22
5.3	Samenvatting van het deelproject	23
5.4	Emissiereductie	24
<b>6</b>	<b>P2 - Van gietbouw naar prefab</b>	<b>25</b>
6.1	Beoogde uitkomst	25
6.2	Partners	25

6.3	Samenvatting van het deelproject	25
6.4	Emissiereductie	27
<b>7</b>	<b>D1 – KPI dashboard prefab bouw</b>	<b>29</b>
7.1	Beoogde uitkomst	29
7.2	Partners	29
7.3	Samenvatting van het deelproject	30
7.4	Emissiereductie	30
<b>8</b>	<b>D2 – Industrieel bouwen</b>	<b>33</b>
8.1	Beoogde uitkomst	33
8.2	Partners	33
8.3	Samenvatting van het deelproject	33
8.4	Emissiereductie	34
<b>9</b>	<b>D3 – Digital twin Blauwdruk</b>	<b>36</b>
9.1	Beoogde uitkomst	36
9.2	Partners	36
9.3	Samenvatting van het deelproject	36
9.4	Emissiereductie	38

# 1 Algemeen

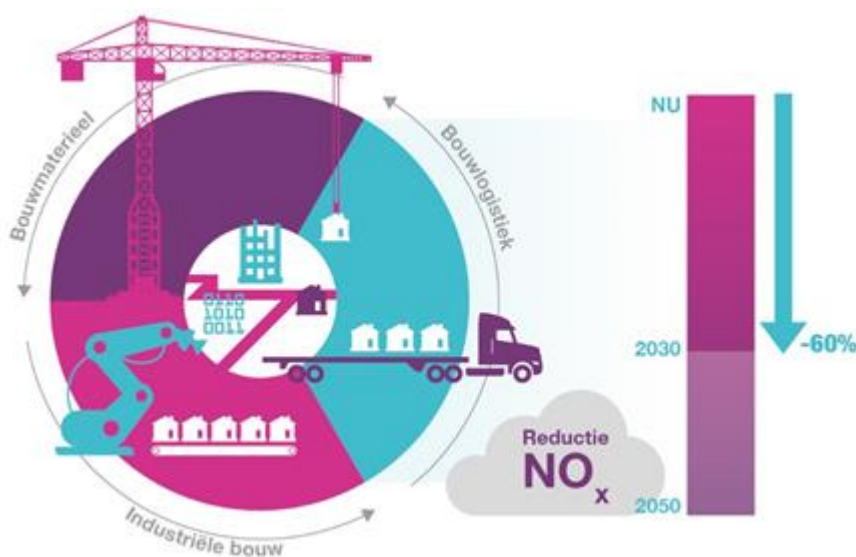
## 1.1 Inleiding

De uitstoot van stikstof in de bouw moet omlaag. Tot eind 2023 trekt de overheid daarom 50 miljoen euro uit binnen de routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen voor een kennis- en innovatieprogramma dat zich richt op emissiearm bouwen. Het BTIC heeft de regie over dit grootschalige onderzoeksprogramma, dat is getiteld 'Emissieloos Bouwen'. Emissieloos Bouwen is onderverdeeld in 7 deeltrajecten. TNO geeft leiding aan het deeltraject Industriële Modulaire Prefab (IMP) in een zogenaamd 'adaptief consortium'.

In deze eerste openbare voortgangsrapportage wordt een kort overzicht gegeven van de verschillende deelprojecten die binnen het TNO deel van het programma momenteel lopen. Elk deelproject heeft daarbij zijn eigen hoofdstuk.

In de rest van dit eerste hoofdstuk wordt wat meer achtergrond gegeven van het huidige programma.

## 1.2 Ambities



Figuur 1-1 BTIC Emissieloos bouwen programma kenmerken in infographic.

Het kennis- en innovatieprogramma 'Emissieloos bouwen' is samen met de Groene Koers en in afstemming met een breed scala van betrokken tot stand gekomen. Het doel van het programma is om via een gefaseerde aanpak te komen tot maatregelen die bijdragen aan de ambities op het gebied van emissiereductie in de bouwsector, met een specifieke focus op het terugdringen van de stikstofemissies. De ambities zijn daarbij:

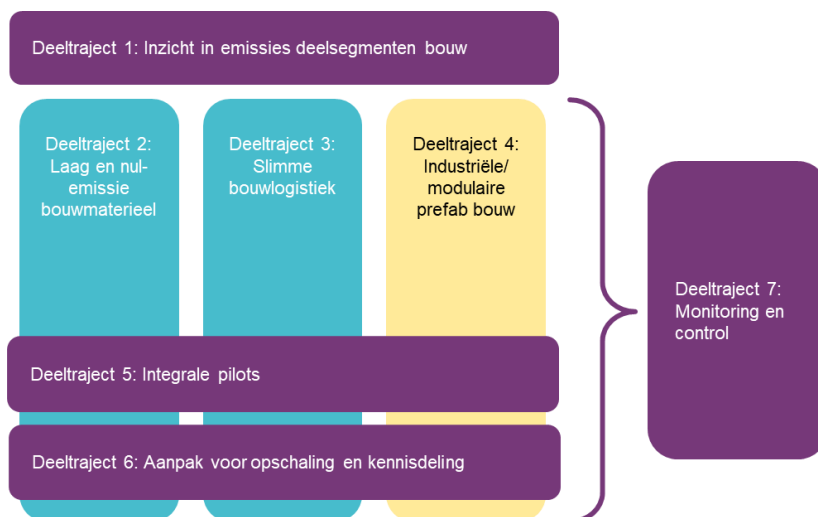
- 60% NO<sub>x</sub> reductie ten opzichte van 2018 in het jaar 2030
- 0,4 Mton CO<sub>2</sub> reductie ten opzichte van 1990 in het jaar 2030

- 75% fijnstof (PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>10</sub>) reductie ten opzichte van 2016 in het jaar 2030
- Het betreft hier emissies van het gehele bouwproces tot oplevering voor gebruik. Deze ambities komen overeen met de uitgangspunten voor de routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen (<https://www.opwegnaarseb.nl/>). Met deze routekaart ontwikkelen overheid en sectorpartijen maatregelen en een reductiepad op weg naar de genoemde ambities. Het kennis- en innovatieprogramma 'Emissieloos Bouwen' is een van de initiatieven die hieraan richting geeft.

Het programma 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.

### 1.3 Een integraal BTIC programma

BTIC programma's staan voor open innovatie, het breed delen van kennis en het koppelen met mogelijke opleidingstrajecten om zo de brede implementatie en adoptie in de sector te vergroten. In het BTIC programma 'Emissieloos bouwen' is een integraal programma voorzien. In Figuur 1-2 is dit programma in zijn samenhang weergegeven. Voor meer achtergrond informatie wordt verwezen naar het BTIC programma 'Emissieloos bouwen'. Dit gaat gepubliceerd worden op de website van het BTIC (<https://btic.nu>)



Figuur 1-2 Samenhang van het totale programma.

Vanuit de routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen wordt aan deeltraject 1 en 2 reeds invulling gegeven. De verwachting is dat op korte termijn hier eerste resultaten over naar buiten komen. Deze gegevens zijn belangrijk voor de overige deeltrajecten, zowel als bron van gegevens als een basislijn voor latere benchmarking.

Op verzoek van het ministerie van BZK en het ministerie van IenW en in afstemming met het BTIC, de Groene Koers, het programmabureau van de Topsector Logistiek en de digiGO is besloten in te zetten op kennis- en innovatieprojecten rond **slimme bouwlogistiek** (deeltraject 3, via de Topsector Logistiek) en **industriële prefab bouw** (deeltraject 4, via penvoerderschap van



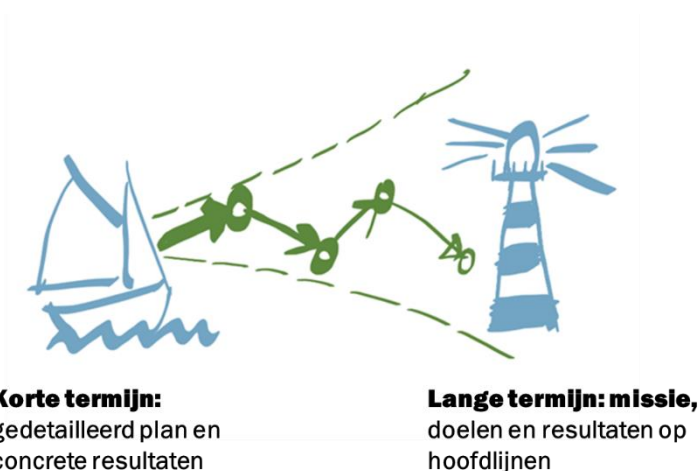
TNO), en de evaluatie en doorontwikkeling hiervan in **integrale pilots** in de praktijk (deeltraject 5, via de Topsector Logistiek). Deeltrajecten 6 en 7 zullen op een later tijdstip worden opgepakt.

## 1.4 Deeltraject 4 – Industriële modulaire prefab bouw

### 1.4.1 Programmatisch onderzoek volgens een nieuwe aanpak

De stikstofproblematiek waarmee onder andere de bouwwereld wordt geconfronteerd, en waarvoor het BTIC programma 'Emissieloos Bouwen' antwoorden en oplossingen zoekt, creëert ongewone uitgangspunten. Het probleem moet worden opgelost, maar eigenlijk is voor de modulaire bouw momenteel slechts beperkte specifieke kennis aanwezig waar stikstof gereduceerd kan worden en of deze reductie voldoende is. Het is bovendien een maatschappelijke vraag om daarmee de diversiteit van onze natuur te kunnen behouden.

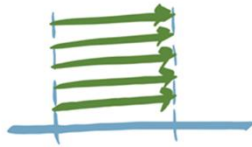
Om de doelen van het BTIC programma, zoals beschreven in paragraaf 1.2, te bereiken, is samenwerking tussen kennisinstellingen, bedrijven en overheden noodzakelijk. Gezien de urgentie van het stikstofprobleem is het bovendien nodig om een snelle start te maken met de uitvoering van het programma, zonder dat het totale programma al helemaal uitgedetailleerd is. Dit lukt alleen met verzekerde continuïteit, ook van financiële middelen, voor een adaptief consortium op basis van een programma met doelen en resultaten op hoofdlijnen, dat waar nodig kan worden bijgesteld naar de laatste inzichten. Het programma is daarmee zeer missie gedreven en adaptief.



Figuur 1-3 Programmaplan op hoofdlijnen en bijsturen op basis van voortschrijdend inzicht en aangescherpt zicht.

Juist om een snelle start te kunnen maken met het programma wordt ook de consortiumvorming anders georganiseerd dan te doen gebruikelijk is. In tegenstelling tot een klassiek consortium, zie Figuur 1-4A, wordt ingestoken op een flexibel en adaptief consortium, zie Figuur 1-4B. Partijen werken daarin samen in verschillende deelprojecten. De Programmamanager draagt er zorg voor dat de deelprojecten gezamenlijk leiden tot beantwoording van de kennisvragen, en dus tot realisatie van de doelstellingen. Deze manier van consortiumvorming zorgt er enerzijds voor dat

er snel gestart kan worden, waarna opgeschaald kan worden naar een steeds groter groeiend netwerk van partijen. Anderzijds biedt een adaptief consortium ook de mogelijkheid om mee te kunnen bewegen met de bijstellingen van het programmaplan, zoals schematisch is weergegeven in Figuur 1-3.



**A) Klassiek consortium:**

- kan pas starten als iedereen getekend heeft (langzaamste bepaalt)
- vaststaande einddatum
- geen uitbreiding mogelijk



**B) Ontwikkeld netwerk, 'adaptief consortium':**

- kan starten zodra de eerste partner wil beginnen
- continu in ontwikkeling
- open voor nieuwe partners
- flexibel en adaptief

Figuur 1-4 Verschillen tussen uitvoering door (A) een klassiek consortium en (B) een ontwikkelende netwerk, ook wel adaptief consortium genoemd.

#### 1.4.2 Hoofdpijnen van het programma

Deeltraject 4 uit het BTIC programma 'Emissieloos Bouwen' richt zich op efficiënter en meer geïndustrialiseerd bouwen met materialen die een verlaagde bijdrage hebben aan de emissie van met name NO<sub>x</sub>, maar ook van andere schadelijke stoffen zoals CO<sub>2</sub> en fijnstof. Gebaseerd op de kennis- en innovatievragen is het programma ingericht langs drie hoofdpijnen:

- **(M) – Lage uitstoot bouwmaterialen:** als we kijken naar het onderdeel 'materiaal', wat is dan potentiële uitstootreductie?
- **(P) – Geïndustrialiseerde productie:** welke -voor de bouw- vernieuwende productieprocessen zijn geschikt om uitstoot zoals genoemd in de ambities te realiseren? Wat kunnen zaken als bijvoorbeeld verdere industrialisatie, of file-to-factory hierin betekenen?
- **(D) – Optimalisatie van processen:** het logistieke proces vormt een belangrijk onderdeel tijdens de bouw van een bouwwerk. Is met aanpassingen in de logistieke volgorde winst te behalen? Of kan er meer op andere locaties worden uitgevoerd? Voor dit onderdeel wordt nauw samengewerkt met de andere twee programmalijnen namelijk TKI Logistiek en DSGO.

#### 1.5 Meedoen?

Geïnteresseerd en geïnspireerd door het onderzoek en de projecten die al lopen en wilt u meedoen? Kijk dan op de website van TNO:

[Deelnemers gezocht voor deeltraject Industriële Modulaire Prefab | TNO](#)

## 2 M1 – (Circulaire) Biobased Materialen

### 2.1 Beoogde uitkomst

Het doel van het project is het mogelijk maken van toepassing van meer biobased materialen in off-site te produceren units. De nadruk ligt daarbij op gebruikt en inlands hout. Het project richt zich op de gehele keten voor wat betreft opgewaardeerd en inlands hout en voor andere biobased materialen op de verwerking van de grondstof tot bouw materiaal. De beoogde uitkomsten van het project zijn:

- Inname- en scheidingsprotocol om geschikt gebruikt A-hout (niet-geïmpregneerd, ongelakt en onbehandeld hout) en B-hout (niet-geïmpregneerd, geschilderd/gelijmd/gelamineerd hout) te oogsten;
- Schatting van het jaarlijkse potentieel aan opgewaardeerd B-hout en biobased constructief materiaal;
- Beschrijving van een proces en deelprocessen om uit A- en inlands hout bruikbaar volhout te oogsten;
- Prototype van minimaal één machine die m.b.v. detectietechnieken bruikbare delen uit aangeleverd hout 'sniijdt' of 'zaagt' (halffabrikaten), inclusief raming van kosten voor zo'n machine met te definiëren capaciteit;
- Specificaties van te produceren grondstoffen en halffabrikaten voor timmerindustrie, zodat verdere opwerking mogelijk is;
- Prototype van minimaal één machine die halffabrikaten sorteert op o.a. afmetingen en kwaliteit, inclusief raming van de kosten voor zo'n machine met te definiëren capaciteit;
- Prototype van minimaal één machine die halffabrikaten opwerkt tot producten die gebruikt kunnen worden in de timmerindustrie (o.a. vingerlassen, lamineren en CLT-productie), inclusief raming van kosten voor zo'n machine met te definiëren capaciteit;
- Resultaten van emissieberekeningen: effecten van de onderzochte toepassing van meer biobased materialen op emissies (m.n. NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub>).

### 2.2 Partners

1. TNO ([www.tno.nl](http://www.tno.nl)), projectleiding, onderzoek en innovatie op het gebied van bouw, constructies en toepassingen van hout;
2. Hogeschool Amsterdam <https://www.hva.nl/urban-technology/gedeelde-content/hoofddocentschappen/digital-production-research-group/team/team.html>;
3. Heko spanten (<https://www.hekospanten.nl/>), de specialist in het construeren, fabriceren en monteren van gelijmde dragende houtconstructies met ambitie om (ook) gerecycled hout te gebruiken;
4. Noordereng Groep (<https://noorderenggroep.eu/>); vervangt Oosterhoff Groep - ABT, voor engineering en digitalisering;
5. Hedgehog Company (<https://hedgehogcompany.nl/>), duurzaamheidsberekening en optimalisering van producten en processen voor emissiereductie en -rapportage;
6. WEBO <https://www.webo.nl/>, innovatieve timmerfabrikant van houten kozijnen;



7. Helwig <https://www.helwig.nl/>, partner voor bouwondernemingen en woningbouwverenigingen met moderne machines;
8. HVC <https://www.hvcgroep.nl/>; in de bio-energiecentrale in Alkmaar wordt afvalhout verbrand dat niet meer hergebruikt of gerecycled kan worden; het percentage hout dat hergebruikt wordt, wil HVC door deelname aan dit project vergroten;
9. Woodjoint <https://woodjoint.nl/>, staat voor circulair ondernemen en werkt mee aan het hergebruik van hout en houtproducten door het kwalitatief hoogwaardig lamineren en vingerlassen;
10. Staatsbosbeheer <https://www.staatsbosbeheer.nl/zakendoen/inspirerende-voorbeelden/lumiere-cinema>, zoekt naar toepassingen van hout uit Nederlandse bossen. Dit betreft toepassing van inlandse houtsoorten die nu nog niet toegepast worden, als bouw materiaal en voor een groot deel verbrand worden. Ook zoekt SBB naar de mogelijkheid om bestaande technieken te gebruiken om de producten de gewenste (tijdloze) uitstraling te geven.

### 2.3 Samenvatting van het deelproject

De vraag naar (circulaire) biobased grondstoffen voor de bouw stijgt sterk. Hout kan ingezet worden voor constructieve toepassingen; andere biobased materialen hoofdzakelijk voor niet-constructieve toepassingen. De houtprijs stijgt en het aanbod van hout zal de vraag mogelijk structureel niet kunnen bijhouden. Dit is een bedreiging voor het realiseren van de ambitie om houtbouw en toepassing van biobased materialen in Nederland te laten toenemen. Om beter aan de vraag naar hout te kunnen voldoen, is het noodzakelijk om alternatieve bronnen van volhout te vinden. De prijsstijgingen van hout maken dat alternatieven voor de gangbare bronnen (ook financieel) interessant worden.

In dit project onderzoekt TNO samen met bedrijven en stakeholders hoe hout uit Nederlandse bossen en het herbruikbare deel van het A- en B-hout en andere biobased materialen op industriële wijze verwerkt kunnen worden tot grondstof voor nieuwe, hoogwaardige producten. Gebruik van hout uit Nederlandse bossen levert een aanzienlijke besparing op in NO<sub>x</sub>- en CO<sub>2</sub>-emissie, omdat het een alternatief voor aanvoer uit het buitenland is. Hergebruik van A- en B-hout resulteert in reductie van CO<sub>2</sub>-emissie doordat het tot een bouwproduct met substantiële waarde wordt gemaakt in plaats van verbrand in een biomassacentrale.

Dit project wordt uitgevoerd met bedrijven uit de gehele keten van aanvoer (Staatsbosbeheer, HVC) tot toepassing (Heko, WEBO, Helwig, Woodjoint).

De volgende activiteiten worden uitgevoerd:

#### 1. Aanvoer, scheiding, sortering

Als eerste stap worden de huidige logistieke processen beschreven en wordt onderzoek uitgevoerd hoe de processen te optimaliseren zijn. Met betrekking tot hergebruik van A- en B-hout is de eerste stap het scheiden bij de bron, bij gemeentewerven en door sloopbedrijven. Hier kan A-hout in zekere mate uniform en als redelijk 'ongeschonden' hout geogst worden. Vervolgens zullen ook minder uniforme stapels hout (B-hout) aangepakt worden. Er zal een inname- en scheidingsprotocol voor A- en B-hout en ook voor ander biobased materiaal worden opgesteld.

Informatie zal worden verzameld over het potentieel van de jaarlijkse hoeveelheid A- en opgevaardeerd B-hout en biobased constructieve materialen.

Periode: oktober 2021 – maart 2022

## 2. **Verwerking tot halffabricaat: imaging en selectie**

Bestaande imaging- en andere detectietechnieken worden toegepast om te bepalen in hoeverre geschikt hout geselecteerd kan worden. Onderzocht wordt in hoeverre het mogelijk is om 'vervuiling' (zoals spijkers, verf en slechte delen) efficiënt te verwijderen en zo bruikbare delen te selecteren uit het aangeleverde hout. Dat leidt tot een procesbeschrijving.

Op basis van een inventarisatie van bestaande machines (incl. prototypes) voor houtbewerking zal worden onderzocht welke eisen aan een machine voor detectie en zagen/snijden gesteld moeten worden, welke functionaliteiten nodig zijn en wat de kosten daarvoor zouden kunnen zijn. De intentie is om daarmee tot een eerste prototype te komen in samenwerking met een machinebouwer.

Periode: januari 2022 – juni 2022

## 3. **Sorteren & identificeren: specificaties van bruikbare delen**

Onderzocht wordt hoe een machine het hout automatisch efficiënt kan sorteren, o.a. op afmetingen en kwaliteit. De daarvoor relevante parameters (zoals het vochtgehalte) worden vastgesteld. Het resultaat van de sortering moet zijn dat het hout in verschillende bruikbare categorieën wordt ingedeeld voor verdere verwerking.

Op basis van een inventarisatie van bestaande machines (incl. prototypes) zal worden onderzocht welke eisen aan een sorteermachine gesteld moeten worden, welke functionaliteiten nodig zijn en wat de kosten daarvoor zouden kunnen zijn. De intentie is om daarmee tot een eerste prototype te komen in samenwerking met een machinebouwer.

Periode: april 2022 – september 2022

## 4. **Opwerken tot producten voor timmerindustrie**

Specificaties worden gedefinieerd van te produceren grondstoffen en halffabrikaten voor timmerindustrie, zodat het 'fit' met de vragen van parametrisch ontwerp en verdere opwerking mogelijk is. Denk hierbij aan vingerlassen, lamineren en CLT-productie.

Onderzocht zal worden welke eisen aan een machine gesteld moeten worden die halffabrikaten opwerkt tot producten die gebruikt kunnen worden in de timmerindustrie (o.a. vingerlassen, lamineren en CLT-productie), welke functionaliteiten nodig zijn en wat de kosten daarvoor zouden kunnen zijn. De intentie is om daarmee tot een eerste prototype te komen in samenwerking met een machinebouwer.

Periode: april 2022 – maart 2023

## 5. **Projectmanagement en emissieberekeningen**

Algemeen projectmanagement is onderdeel van het project. Gedurende het gehele project wordt gewerkt aan het opstellen en verbeteren van NO<sub>x</sub>- en CO<sub>2</sub>-emissieberekeningen om de emissiebeperkingen te kwantificeren die behaald worden door toepassing van inlands hout en gebruikt A- en B-hout.

Periode: oktober 2021 – maart 2023

Gedurende het project is er veel aandacht voor goede samenwerking tussen de partners. Naast regelmatige voortgangsbesprekingen met alle partners en thematische werksessies zal TNO

invulling geven aan het projectmanagement van het gehele project. Deelprojectleiders rapporteren maandelijks voortgang en partners rapporteren met betrekking tot urenbesteding.

## 2.4 Emissiereductie

Het beschikbaar maken van biobased materialen (met name hout) uit Nederland in een geschikte vorm voor toepassing in de bouw zal leiden tot vervanging van materialen die nu gebruikt worden. In constructieve toepassingen zal inlands en opgewaardeerd hout steenachtige materialen zoals beton kunnen vervangen. Voor niet-constructieve toepassing zullen hout en andere biobased materialen o.a. gips-, kalkzandsteen- en metalstud wanden kunnen vervangen. Dit leidt tot vermindering van de CO<sub>2</sub>-emissie op diverse manieren:

- Toepassing van meer hout in de bouw leidt tot een grotere vraag naar hout, wat kan leiden tot een groter areaal aan bos voor productiehout, waardoor meer CO<sub>2</sub> vastgelegd wordt;
- In hout is veel CO<sub>2</sub> opgeslagen. Dat wordt niet meer aan de lucht afgegeven (bij verbranding), maar na eventuele opwerking toegepast in de bouw, waardoor CO<sub>2</sub> langdurig opgeslagen blijft; hetzelfde geldt voor andere biobased materialen;
- Biobased grondstoffen (die bij de groei CO<sub>2</sub> hebben vastgelegd) zullen in toepassingen gebruikt worden waarvoor tot nu toe niet-biobased materialen gebruikt worden. Bij de winning en verwerking van de grondstoffen, bij de opwerking tot – vaak zware, steenachtige – bouwelementen en bij het vervoer komt veel CO<sub>2</sub> vrij. Toepassing van de lichtere biobased materialen als bouwelementen zal daarom leiden tot reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie;
- Biobased bouwelementen kunnen gemakkelijker dan de huidige bouwelementen off-site (prefab) geproduceerd worden. Dat leidt tot reductie van het aantal vervoerbewegingen van materialen en van bouwvakkers, dus tot reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie;

Op in ieder geval twee manieren leidt toepassing van biobased materialen ook tot een reductie van NO<sub>x</sub>-emissie:

- Off-site (prefab) productie van bouwelementen uit biobased materialen zal leiden tot minder gebruik van fossiele brandstoffen voor transport door minder transportbewegingen;
- Biobased bouwelementen zijn lichter dan de huidige – vaak zware, steenachtige – elementen, wat leidt tot minder gebruik van fossiele brandstoffen voor transport en voor bewegingen/logistiek op de bouwplaats.

De reductie van CO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissies is van veel factoren afhankelijk, die in dit deelproject deels worden onderzocht. Het effect op de emissies van deze verandering van bouwmaterialen wordt kwantitatief onderzocht tijdens dit project. Omdat transport en de toepassing van de huidige bouwmaterialen flink bijdragen aan CO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissies in de bouw, mag verwacht worden dat dit project een significante bijdrage zal leveren aan de reductie ervan.

In Q1 2022 is gestart met inventarisatie in meer detail van de manieren waarop CO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissie worden beperkt door toepassing van circulaire biobased materialen en hoe dat kan worden berekend (WP5). Daarbij wordt de meeste aandacht geschonken aan hout als biobased materiaal. Om de meeste waarde uit het project te halen hebben we geconcludeerd dat we naar CO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissie in de gehele keten kijken. Daarbij is als uitgangspunt genomen dat we

verschillende scenario's voor hergebruik bekijken en wat het effect is op de gehele levenscyclus van hout.

In Q2 2022 worden bestaande rekenmodellen gebruikt en waar nodig aangepast om deze emissiebeperkingen te berekenen. We gebruiken onder andere de levenscyclusanalyse (LCA) om de milieuwinst in kaart te brengen

## 3 M2 – 2D gevelelementen

### 3.1 Beoogde uitkomst

Systeemontwerp en eerste serieproductie van een gevelelement waarmee NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub> emissies worden gereduceerd t.o.v. bestaande gevelelementen. Dit nieuwe 2D gevelelement beoogt een optimale afweging te maken tussen enerzijds productie-, realisatie-, onderhoud en hergebruik en anderzijds materiaalkeuze, ontwerp methodiek en keteninrichting. Hiermee is efficiëntie te behalen met betrekking tot de bouw- en renovatieopgave en het beperken van de NO<sub>x</sub> uitstoot. Dit 2D gevelelement kenmerkt zich door het toepassen van (herbruikbare) biobased materialen, beperken van (primair) materiaalgebruik en het minimaliseren van vervoersbewegingen tijdens productie, realisatie en onderhoud.

### 3.2 Partners

- Webo
  - Levert BENG HSB gevelelementen, compleet met kozijnen
- Helwig
  - Heeft een moderne productielijn waarop prefab-elementen kunnen worden gemaakt met elke gewenste RC-waarde. De prefab-elementen kunnen fabrieksmatig al voorzien worden van kozijnen en/of elektriciteitsvoorzieningen. Ook kan de buitenzijde fabrieksmatig worden voorzien van een regelwerk zodat de gevelafwerking op de bouwplaats of zelfs al in de fabriek snel en effectief kan worden aangebracht.
- Weekamp
  - Begonnen als allround timmerbedrijf en richt zich sinds 1985 op binnen- en buitendeuren.
- TNO
  - TNO verbindt mensen en kennis om innovaties te creëren die de concurrentiekracht van bedrijven en het welzijn van de samenleving duurzaam versterken. Binnen de afdeling Building, physics and systems is ruime ervaring en kennis op het gebied van houtbouw, systems engineering, bouwfysica, product- en conceptontwikkeling, circulair ontwerpen.

— WEBO:

**“Het aanbieden van een concept- i.p.v. custom made-oplossing biedt mogelijkheden tot het zelf bepalen van ontwerpuitgangspunten en versterkt deelname van de producent aan het ontwerpproces. ”**

### 3.3 Samenvatting van het deelproject

De enorme nieuwbouw- en renovatieopgave maakt industrialisatie en prefabricage van 2D gevelelementen noodzakelijk. Een 2D gevelelement dat zo veel mogelijk off site en prefab wordt geproduceerd en geassembleerd maakt het mogelijk een efficiënt productie-, realisatie- en



onderhoudsproces in te richten. Hiervoor is een herontwerp van huidige 2D gevelementen nodig.

Doordat de te ontwikkelen 2D gevelementen worden geprefabriceerd leveren zij naast een versnelling van het bouwproces een bijdrage aan de opgave om emissie van NO<sub>x</sub> uitstoot te beperken. Dat gebeurt door het toepassen van biobased (herbruikbare) materialen en door een product te ontwerpen dat efficiënt kan worden getransporteerd en gemonteerd.

Het nieuwe 2D gevelement moet voldoen aan de publieke eisen, zoals het bouwbesluit.

Daarnaast stellen opdrachtgevers aanvullende private eisen met betrekking tot bijvoorbeeld energiebesparing en isolatie, circulariteit en LCC, betaalbaarheid en moet voorgesorteerd worden op de Wet Kwaliteitsborging.

Het project zal worden uitgewerkt in 4 werkpakketten:

### **WP1 Verkenning**

Doel: Definiëren randvoorwaarden van gevelementen die aan publieke en private eisen voldoen

Aanpak: Uitvoeren verkenningen en brainstormsessie; met focus op NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub> emissie besparing gegeven opbouw als het proces (o.a. inmeten). Ook wordt nagegaan in hoeverre de te produceren gevelementen aan welke regelgeving nu en in de toekomst zouden moeten voldoen.

Deliverable: Overzicht randvoorwaarden 2D gevelement, LCA van referentie 2D gevelement

### **WP2 Detaillering**

Doel: Herontwerp 2D gevelement

Aanpak: Uitvoeren verkenningen en brainstormsessie(s). Uitwerking van de detaillering van gevelementen, inclusief inbouwdetails. Binnen dit werkpakket worden de eerste schetsontwerpen gemaakt en vindt na selectie de uitwerking tot definitieve ontwerp(en) plaats.

Deliverable: Eén tot drie definitieve ontwerpen, LCA van herontwerp 2D gevelement

### **WP3 Test - Fabricage**

Doel: Eerste serieproductie

Aanpak: Productie en beoordelen van 1<sup>e</sup> generatie prototypes van 2D gevelementen.

Deliverable: Rapportage beoordeling eerste serieproductie 2D gevelementen

### **WP4 projectleiding, disseminatie en rapportage**

Doel: Aansturing om deliverables binnen tijd en budget te realiseren

Aanpak: Realiseren van goede samenwerking tussen de partners. Naast regelmatige voortgangsbesprekingen met alle partners en thematische werksessies zal TNO invulling geven aan het projectmanagement van het gehele project. Deelprojectleiders rapporteren per kwartaal voortgang en partners rapporteren met betrekking tot uren besteding.

Deliverable:

- financiële rapportages door middel van ingevulde formats programma emissieloos bouwen
- inhoudelijke rapportage: uitgevoerde onderzoeken/experimenten/verkenningen met betrekking tot de emissie reductie van NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub>.

### 3.4 Emissiereductie

2D gevelelementen geproduceerd, gerealiseerd en onderhouden volgens herontwerp beogen emissiereductie van NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub> aan de hand van onderstaande principes:

#### 1. Materiaal:

Beter gebruik van houtsoorten, goede detaillering en betere afstemming van de opbouw van de gevels zal leiden tot reductie van materiaalgebruik in het herontwerp. Door ook de mogelijkheid van demontage en hergebruik te integreren en uit te werken in een herontwerp zal het materiaalverbruik verminderen.

#### 2. Proces:

Beter ontwerp van het product en betere afstemming van het proces in de fabriek en naar de bouwplaats kan leiden tot besparingen op materiaalgebruik en op arbeid. Ook dit moet leiden tot het zo eenvoudig mogelijk monteren van de geveldelen in de te bouwen woning. De gevel die geleverd wordt, moet volledig kant en klaar zijn en ook moet bekend zijn welk onderhoud wanneer moet plaats vinden. Dit leidt tot minder vervoerbewegingen en daarmee tot reductie van de NO<sub>x</sub> uitstoot.

#### 3. Materieel:

Door het gevelelement lichter te maken kunnen er meer elementen tegelijkertijd door een vrachtwagen worden vervoerd. Dit betekent ook dat er in principe lichtere kranen e.d. nodig zijn op de bouw. Wanneer de elementen eenvoudig kunnen worden gemonteerd kan plaatsen sneller worden uitgevoerd, waardoor bouwmaterieel minder standtijd nodig heeft

### **Resultaten**

Om het herontwerp van 2D gevelelementen vorm te geven is er, in het eerste kwartaal 2022, aan de volgende onderwerpen en werkpakketten gewerkt:

#### Werkpakket 1 - Verkenning:

- Analyse huidige en inventarisatie toekomstige productie 2D-gevelelementen in een *nu-later-analyse* (deliverable D2). Op basis van een inhoudelijke - materialisatie, bouwmethode en processen – t.o.v. een tijds- en levenscyclus-as – productie, bouwfase, onderhoud en sloop/hergebruik (werksessie).
- Opzet van een communicatiemiddel (ondersteunend voor deliverable D5) in de vorm van een flow-diagram ter verantwoording van emissiereductie (deskwerk).
- *Vastlegging van randvoorwaarden* (deliverable D1), waaraan de keuzes van emissiereducerende maatregelen voor het nieuwe 2D-gevelontwerp getoetst kunnen worden. (deskresearch i.c.m. werksessie)

#### Werkpakket 2 - Detaillering:

- Aanzet tot detaillering: eerste concrete beslissingen over ontwerp en productieproces (brainstorm en werksessie). Zie ook Figuur 3-1.



Figuur 3-1 Werkbezoek en rondleiding bij WEBO, Rijssen - 11 maart 2022

## 4 M3 – Exploded view beyond building

### 4.1 Beoogde uitkomst

Het voorliggende project beoogt in het huis van ‘The Exploded View Beyond Building’ negen innovaties te stimuleren en te toetsen die NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub> emissiereductie in de bouwproductie bewerkstelligen.

Primair zal dit gebeuren door de potentie van de verschuiving van activiteiten op de bouwplaats naar prefabricage te onderzoeken / te demonstreren en daarnaast door een aantal nieuwe bouwmaterialen en daarmee geproduceerde bouwelementen te optimaliseren.

### 4.2 Partners

#### Producenten

Omlab (<https://www.omlab.nl/>)

Scape Agency, Lars van Vianen (<https://www.vianen.com/>).

Studio Klarenbeek & Dros (<https://www.ericklarenbeek.com/>)

Blueblocks (<https://www.blueblocks.nl/>)

Rik makes (<http://www.rikmakes.com/>)

Waterweg <https://www.waterweg.co/>

Exie (<https://exih2.be/>)

MOGU (<https://mogu.bio/>).

Strotec (<https://www.strotec.nl/>)

#### Ketenpartners:

Biobased Creations ([www.biobasedcreations.com](http://www.biobasedcreations.com))

BPD gebiedsontwikkeling (<https://www.bpd.nl/>) - gebiedsontwikkelaar

Conceptbouwers, ([Conceptenbouwers - Samenwerking - Buro Kade](#)) - ontwikkelaar

Buro kade (<https://www.burokade.nl/circulariteit/circulariteitbijburokade/>) - Architect

RoosRos Architecten (<https://www.roosros.nl/>) - Architect

Space and Matter, [spaceandmatter.nl](http://spaceandmatter.nl), - Architect

Primum, [Primum - Duurzaamheidsadvies](#), - Duurzaamheidsadvies

WAM & Van Duren (<https://www.wamenvanduren.nl/>) - bouwonderneming

Fiction Factory (<https://www.fictionfactory.nl/>) - bouwer

Caspar de Haan (<https://caspardehaan.nl/>) - aannemer

Stichting Agrodome, [Stichting Agrodome | kenniscentrum voor biobased en circulair bouwen](#),

Regio Alkmaar, [Homepage Regio Alkmaar | Regio alkmaar](#)

Provincie Noord-Brabant

### 4.3 Samenvatting van het deelproject

Er zijn drie belangrijke redenen om biobased bouwmaterialen te ontwikkelen en toe te passen:

1. De klimaatimpact van bouwen omlaag te brengen.  
Nu worden in de bouw vooral veel beton en staal gebruikt, materialen die enorm veel energie kosten om te produceren, wat met veel CO<sub>2</sub> emissie gepaard gaat. Dit geldt veel minder voor biobased materialen en bovendien houden die juist CO<sub>2</sub> vast. Ook zijn het hernieuwbare grondstoffen: het materiaal kan weer terug groeien.
2. Aardmaterialen worden schaars.
3. Andere redenen om voor natuurlijk materiaal te kiezen zijn de gezondheid en het comfort. “We gebruiken nu veelal isolatiemateriaal met piepschuim waardoor het te vochtig wordt in huis. Om dat op te lossen bouwen we weer allerlei ventilatie-installaties. Het is dus eigenlijk simpeler om natuurlijke materialen te gebruiken die het vocht opnemen”.

Er zijn al aardig wat biobased producten op de markt, maar die worden in vele gevallen niet grootschalig gebruikt. Doorontwikkelingen van biobased materialen voor grootschalige toepassingen en inzicht over het emissiereductiepotentieel binnen verschillende fases en onderdelen van de bouw zullen dan ook binnen dit traject worden onderzocht.

‘The Exploded View Beyond Building’ is een huis dat met verschillende circulaire toepassingen, prefab bouwmethodes en innovatieve materialen is opgebouwd. Het is het resultaat van een meerjarig onderzoek naar de mogelijkheden van nieuwe (biobased) materialen met hoge design-kwaliteit, prefab bouw mogelijkheden en circulaire bouwprincipes, zoals losmaakbaarheid en modulariteit. Hiermee worden de kansen getoond van hoe innovatie in bouwmaterialen kan bijdragen aan grote maatschappelijke uitdagingen; op gebied van klimaat, bijvoorbeeld CO<sub>2</sub> -en stikstofreductie, maar ook voor een duurzamere inzet van landbouw en de verbinding van de stad met platteland. Het vormt een pleidooi voor opschaling van duurzaam emissieloos bouwen door middel van industrialisatie en systeemverandering in de bouwsector.

Het huis werd als paviljoen gepresenteerd op de Dutch Design Week 2021 waarna het gedemonteerd is en in het voorjaar weer is herbouwd ten behoeve van wereldtentoonstelling Floriade 2022. Het huis is integraal onderdeel van het hieronder beschreven onderzoeksproject naar emissieloos bouwen.

In dit project maken 9 producenten van verschillende biobased materialen opschalingsstappen en ondersteunen elkaar daarbij.

De 9 producenten formuleren een duidelijke doelstelling op hun weg van een product op kleine schaal naar opgeschaalde en geïndustrialiseerde productie in relatie tot een specifieke toepassing in de bouw (ontwikkelstappen TRL niveaus).

Per toepassing van verschillende bouwdeelen zoals binnenwanden, gevels, constructies of bestratingen zullen emissiereducties door biobased materiaal ten opzichte van traditionele materialen worden becijferd.



Binnen de gehele circulaire levenscyclus van een gebouw - materiaalproductie, prefabricage, assemblage, onderhoud en hergebruik - wordt de impact van toepassingen middels biobased materiaal beoordeeld op onderlinge bijdrage aan het reductiepotentieel.

Dit ontwikkelproces wordt tijdens de 1,5 jaar dat dit project duurt telkens voorgelegd aan marktpartijen. Denk hierbij aan aannemers, architecten, consultancy bureaus, maar ook provincies en gemeentes. Hierdoor krijgen de producenten directe feedback en marktkennis mee om de propositie en opschaalbaarheid te toetsen. Door gebruiker en leverancier direct aan elkaar te koppelen wordt er een brug geslagen die kan zorgen voor betere kennisoverdracht en snellere acceptatie van “nieuwe” materialen ten opzichte van de standaard.

#### 4.4 Emissiereductie

Bij de inzet van de 9 industrieel geproduceerde, modulaire en biobased materialen binnen het Exploded View Floriade paviljoen, zijn rondom de activiteiten op de bouwplaats de volgende mogelijke (NO<sub>x</sub>) emissiereducties ten opzichte van traditionele materialen gedefinieerd. Daarbij wordt per fase in de totale levenscyclus van een product een vergelijking gemaakt met traditionele materialen en methoden.

##### 1. Materiaalproductie

- Reductie van CO<sub>2</sub> middels potentie van de biobased grondstoffen (bv. hennep of zeewier) om in de groeifase koolstof op te kunnen slaan.
- Vermeden emissies bij winning/productie nieuwe grondstoffen door toepassing van producten die worden gemaakt van secundaire (rest-)stromen (bv. bagger of waterzuiveringsslib).
- Reductie van transportemissies vanwege het feit dat de grondstoffen lokaal in de nabije of directe omgeving van de bouwplaats geoogst en verwerkt worden.

##### - Prefabricage

- Reductie van productie-emissies op de bouwplaats van traditionele materialen (bv. insitu-beton) door alle 9 bouwmaterialen te ontwikkelen voor prefabricage in de fabriek.
- Reductie van transportemissies door het lagere gewicht van de biobased bouwmaterialen.
- Verkorting of beperking van productie-emissies door innovaties in intelligentere procesmethoden (bv door reductie van uithardingstijd van bioreceptief beton) tot een aantrekkelijk geprefabriceerd product.

##### - Assemblage

- Reductie van assemblagetijd (minder uren) en materieelinzet (minder zware motoren) op de bouwplaats doordat de meeste materialen bestaan uit lichtere grondstoffen en industrieel samengesteld zijn tot afgewerkte producten (bv. constructie-elementen, binnenwanden of buitengevels).
- Reductie van transportemissies door minder verplaatsingen van materiaal en personeel naar de bouwplaats door overheveling en samenvoeging van bouwactiviteiten naar de fabriek.

- Reductie van productie-emissies door traditioneel verdeelde verrichtingen of arbeidsstappen op de bouwplaats te combineren in één handeling (bv. door 3D-print-methodes of plaatsing van complete bouwdelen).
- **Sloop en hergebruik**
  - Reductie van emissies van toekomstig nieuw te produceren primaire materialen en producten door huidige bouwmaterialen demontabel en modulair te ontwerpen zodat ze op een andere bouwlocatie hoogwaardig herbouwd kunnen worden.
  - Reductie van transportemissies door kortere transportwegen direct van de sloop naar een volgende bouwlocatie.
  - Reductie van emissies door eenvoudige scheiding en demontage van producten na afloop van de gebruiksfase.

Per materiaal zal daarnaast worden uitgezocht hoe en hoeveel emissiereductie bereikt kan worden. De som van bovenstaande levensfasen per product wordt daarnaast ook vergeleken met een traditioneel en nu gebruikelijk product en met de bijbehorende bouwmethode (bv. een zelfdragend biobased gevelsysteem ten opzichte van een in het werk gemetselde buitengevel of een binnenwand bestaand uit zeewierpanelen ten opzichte van een gipswand). Binnen een LCA analyse zal gekeken worden naar de totale milieueffecten, maar wordt specifiek ingezoomd op NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub> emissies per fase. Deze integrale benadering is belangrijk om inzichtelijk te maken waar de belangrijkste reducties te behalen zijn en geen suboptimale keuzes gemaakt. Ook zal een analyse worden gemaakt wat het potentieel is van de doorontwikkeling van de biobased innovaties (opschaling, efficiëntere productie, etc)

### Tussentijdse resultaten

- Oplevering Deliverable 1 middels een overzicht van alle opgehaalde eigenschappen en prestaties van de producenten. (WP 1)
  - Samenvatting van de technische eigenschappen en de financiële en organisatorische randvoorwaarden over het potentieel van de 9 bouwmaterialen.
- Kwalitatieve analyse op ontwikkelperspectieven per producent met een overzicht aan concrete werkafspraken (WP 2)
  - Individueel ontwikkelprofiel - bestaande uit de onderdelen: eisen formuleren, producten testen, opschaling vormgeven en Impact meten - waarbij per partij de nadruk op specifieke onderwerpen.
  - Bundeling overeenkomstige vragen, vertaald naar vraagstukken die gemeenschappelijk zullen worden opgelost.
  - Samenwerkingen tussen verschillende producenten tot geïntegreerde bouwelementen
  - Combinaties tussen marktpartijen en vertegenwoordigers van productgroepen ter afstemming vraag en aanbod
- Opzet Programma van Eisen per productgroep en bijbehorende toepassing (WP 3)
  - Vaststellingskader van meest belangrijke toepassingseisen t.o.v. biobased materiaalprestaties
- Start van lab-testen en prestatieberekeningen (WP 4)

- Tests m.b.t. mechanische prestaties van straatstenen en afwerkplaatmateriaal zoals druk-, buig en treksterkte of de hardheid van materialen
- Dynamische warmteverliesberekeningen ter integratie van bouwfysische en installatietechnische randvoorwaarden in samengestelde bouwelementen
- Opzet van een programma voor economische opschaling van de producten (WP 4)
  - Opzet workshops rondom de vier volgende thema's: 1 - Waardepropositie en business modelling, 2 - Ketenvorming (collaborative business models), 3 - Schaling en effect op de keten en 4 - Orchestrating innovation
- Remontage van alle producten voor de Floriade in Almere (WP5)
- Eerste verzameling gegevens voor het opstellen van Levenscyclusanalyses (WP 6)
  - Vergelijking traditionele en biobased straatstenen
- Voorbereiden van de tweede bijeenkomst met alle partners, die t.g.v. COVID maatregelen van januari naar april is verschoven. (WP7)
- Per materiaal is een eigen webpagina gemaakt op [www.theexplodedview.com](http://www.theexplodedview.com) zodat bezoekers meer te weten kunnen komen over het materiaal en de impact ervan. Deze webpagina is ook via een qr-code bij het materiaal in het huis op te vragen (WP7)

# 5 P1 – Digitalisering en industrialisering HoutKern®-bouw

## 5.1 Beoogde uitkomst

Een van de doelen van dit project is het optimaliseren van de off-site productie van de HoutKern® modules en de on-site assemblage van de modules tot verschillende gebouwen van uiteenlopende typologieën. Digitalisering en vergaande industrialisering en platformisering, gekoppeld aan parametrisch ontwerp en BIM, zijn noodzakelijk om de gestandaardiseerde modules met de noodzakelijke flexibiliteit tot verschillende gebouwen met goede (beeld)kwaliteit te maken.

Door adequate digitalisering zullen de faalkosten worden geminimaliseerd en de vereiste flexibiliteit worden bereikt om kosteneffectief de units en daarmee gemaakte gebouwen te realiseren. Daarnaast zal door deze digitalisering en off-site productie er een emissiereductie worden gerealiseerd ten opzichte van de bestaande bouw.

## 5.2 Partners

- TNO (<https://TNO.nl>)
  - Kennisinstituut
- Noordereng Groep (<https://noorderenggroep.eu/>)
  - ontwikkeling en levering HoutKern® modules en ontwikkelaar
- Heko spanten (<https://www.hekospanten.nl/>)
  - off-site productie van de HoutKern modules en andere houten onderdelen van de te assembleren gebouwen
- Lomans <https://www.lomans.nl/>
  - installatiebedrijf en toeleverancier van geïntegreerde, geprefabriceerde inbouwelementen
- Oosterhoff Groep - ABT (<https://abtwassenaar.nl/over-ons/oosterhoff-group>)
  - met diverse dochterbedrijven voor engineering en digitalisering
- DWA <https://www.dwa.nl/>
  - o.a. duurzaamheidsadvies
- Hedgehog (<https://hedgehogcompany.nl/>)
  - duurzaamheidsberekening en optimalisering van producten en processen voor emissiereductie en – rapportage

### 5.3 Samenvatting van het deelproject

Nederland wil in 2050 een circulaire economie zijn. De bouw wordt geacht hieraan bij te dragen. Hoe kunnen we ervoor zorgen dat er zo snel mogelijk emissiearm of zelfs emissieloos gebouwd gaat worden en daarnaast het aantal nieuwbouw woningen dat per jaar gebouwd significant verhogen?

In de discussie over een circulaire economie gaat het vaak over hergebruik van materiaal en het minimaliseren van sloopaval. Dit project richt zich op hergebruik van complete gebouwonderdelen in 2<sup>de</sup> toepassing, dat zal leiden tot aanzienlijke impact. Door fabrieksmatig te produceren en op de bouw alleen nog te assembleren zal een efficiënter bouwproces ontstaan. Door verschillende bouwfases en leveranciers van materialen en diensten aan elkaar te koppelen zal er een geoliede machine ontstaan. Deze manier van bouwen en nadenken over de bouwketen zal het mogelijk maken meer woningen per jaar te bouwen en tevens een emissiereductie te genereren. Om dit goed te kunnen doen is digitalisering in de bouw cruciaal.

In de praktijk zijn reeds verschillende digitale producten beschikbaar die ondersteunen bij het ontwerpproces, de productie en de montage in de bouw. Deze producten richten zich op (kleine) onderdelen van het bouwproces. In ontwerpfase wordt bijvoorbeeld steeds vaker gebruik gemaakt van parametrisch ontwerpen. Parametrisch ontwerpen is een ontwerpproces waarbij op basis van data en relaties tussen onderdelen een ontwerp wordt gegenereerd. Hierbij kan in de bouw het ontwerp vaak gekoppeld aan BIM-modellen en File-to-Factory systemen. Deze en soortgelijke systemen leveren de input voor zowel de geautomatiseerde productie als de montage. In andere fasen in de bouw zijn er weer andere systemen die gebruikt kunnen worden. Om te zorgen dat deze systemen naadloos op elkaar aansluiten is een zeer goede uitwisseling van data noodzakelijk. In dit project zal er gekeken worden naar het verzamelen van de benodigde data en een optimalisering van deze datacommunicatie zodat er tijdens het fabricage en assemblageproces geoptimaliseerd kan worden.

Naast het koppelen van de digitale systemen is een goede koppeling tussen de fysieke fabricageproces en het managementsysteem voor de productie en productiemiddelen cruciaal. Hierbij zijn de beheersbaarheid van materiaal logistiek, voorraadbeheer een grote factor. Model Based Design (MBD) en engineering worden gekoppeld met het maakproces. Hierbij is van belang dat de juiste productiecontroles worden uitgevoerd en gedocumenteerd. Met dedicated digitalisering en het identificeren van de kritieke punten in het maak- en assemblageproces en het verzamelen van data kan input verzameld worden om meer inzicht, efficiënt en emissiereductie te realiseren.

Elke bouwfase heeft zijn eigen emissie van CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>. Dit richt zich op de emissiereductie van het gehele bouwproces. Er zal hier specifiek gekeken worden naar de productie van HoutKern® modules. Wat zijn de effecten als de productie van HoutKern® modules in de fabriek (off-site) geoptimaliseerd wordt zodat er op de bouwplaats (on-site) zo min mogelijk gedaan moet worden? Er zal in dit project ook kritisch gekeken worden naar het materiaal gebruik en de keuze

De HoutKern® bouwmethode bestaat volledig uit CLT-hout en is als het ware een losse” bouwsteen. Deze modulaire houten ‘bouwsteen’ wordt in een korte tijd, op een duurzame manier en met een lage emissie gebouwd. Het gebruik van bio-based materiaal en een modulaire bouwtechniek zorgen voor een duurzame circulaire bouw.



van materialen t.b.v. de fabricage van de HoutKern® modules. Is het mogelijk meer Bio-based materialen toe te passen?

Door vergaande digitalisering van het ontwerpproces en de mogelijkheid om data te ontsluiten te koppelen met de effecten van ontwerpkeuzes en de fabricage, worden de effecten van emissiereductie inzichtelijk en kan er op verschillende momenten specifiek gestuurd worden.

## 5.4 Emissiereductie

Het behalen van een emissiereductie door aanpassingen op onsite assemblage van de HoutKern® modules zal mogelijk worden door de offsite productie van de HoutKern® modules en de materialisatie ervan te optimaliseren. De Houtkern® bouwmethode zal vergeleken worden met een aantal traditioneel gebouwde woningen.

In dit project wordt een aantal specifieke databronnen onder de loep genomen:

- Emissiereductie van NO<sub>x</sub> in de bouwfase. Benchmark van het RIVM is 3 kg NO<sub>x</sub> per woning voor de aanlegfase. HoutKern woningen zullen gerealiseerd kunnen worden met 1,4 kg NO<sub>x</sub> per woning.
- Emissiereductie van CO<sub>2</sub> bij de productie van bouw materiaal.
- Onderzoek heeft aangetoond dat - afhankelijk van de gebruikte houtsoort – er tot 0,9 ton CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> hout wordt vastgelegd.
- In een publicatie van 'Bouwen met hout' is berekend dat het bouw materiaal voor een modulaire houten woning 42% reductie van CO<sub>2</sub> emissie geeft ten opzichte van een woning met een traditioneel bouwsysteem.

Beoogde effect van dit project 'digitalisering en industrialisering van de HoutKern® modules':

- De beoogde bouw van 6.000 – 9.000 woningen of 150.000 – 250.000 m<sup>2</sup> BVO utiliteitsgebouwen.
- De bouw van deze aantallen woningen en/of (gedeeltelijk) de gebouwen zou leiden tot reductie van de emissie ter grootte van 15 ton NO<sub>x</sub> in de bouwfase en 630 kton CO<sub>2</sub> bij de productie van bouw materiaal.
- De offsite productie van de units zal beginnen met parametrisch ontwerp. Dit zal leiden tot minimaliseren van houtverbruik. Dit leidt tot minimaliseren van het gewicht van de units zodat er minder uitstoot van NO<sub>x</sub> zal plaatsvinden bij transport en onsite assemblage tot gebouwen.
- De inbouwelementen zoals de natte cellen en kant-en-klaar keukens zullen in de fabriek worden geplaatst. Digitalisering gekoppeld aan BIM en aansturing van de productielijn zal afval en faalkosten minimaliseren.
- Verwacht mag worden dat dit – bovenop de eerder genoemde emissiereductie – resulteert in 20% - 30% efficiencyverbetering en evenzo grote reductie van NO<sub>x</sub>-emissie.

In Q2 2022 wordt gestart met inventarisatie in meer detail van de manieren waarop CO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissie worden beperkt. Dit gebeurt voor dit project en voor project D1 (KPI Dashboard prefab gebouwen) tegelijk. De bedoeling was dat in Q1 2022 te starten, maar een aantal partners heeft tot april 2022 veel tijd moeten besteden aan bouw en oplevering The Natural Pavilion (Floriade). In Q2 wordt een forse versnelling van dit project verwacht. Ook in Q2 2022 worden bestaande rekenmodellen gebruikt en waar nodig aangepast om emissiebeperkingen te berekenen.

## 6 P2 - Van gietbouw naar prefab

### 6.1 Beoogde uitkomst

De doelstelling van het project is dat in 2023 een industrieel geproduceerd prefab beton casco zal worden gerealiseerd, waarmee de kracht van integrale optimalisatie van betonsamenstelling, proces en bouw wordt gedemonstreerd. Hiermee zal minimaal 40% emissiereductie van zowel CO<sub>2</sub> als NO<sub>x</sub> en herbruikbaarheid worden gerealiseerd op de bouwplaats ten opzichte van ter plaatse gestort beton. Bovendien worden duurzame en toekomstbestendige grondstoffen gebruikt, waar de sector ook in 2050 nog op kan rekenen.

### 6.2 Partners

- BTE Groep bestaat uit acht betonbedrijven en één betontechnologisch centrum, elk met zijn eigen specialisme(n). Dankzij die diversiteit is BTE in 95% van alle bouwsectoren in West-Europa actief.
- TNO is een onafhankelijk kennisinstituut, dat mensen en kennis verbindt om innovaties te creëren die de concurrentiekracht van bedrijven en het welzijn van de samenleving duurzaam versterken. Dat is onze missie en daar werken wij dagelijks aan.
- Twee 'R' Recycling Groep is één van de oudste bedrijven in Nederland dat zich heeft gespecialiseerd in de recycling van steenachtige materialen. Al sinds 1980 spant de onderneming zich in om beton en metselwerk dat vrijkomt uit sloop te recyclen tot hoogwaardige materialen die opnieuw kunnen worden gebruikt in infraprojecten, utiliteitsbouw en zelfs woningbouw.
- VBI: Als producent van innovatieve prefab vloersystemen biedt VBI industrieel maatwerk om samen met alle partijen in de keten te bouwen aan de toekomst.
- Voorbij Prefab is een toonaangevende en innovatieve producent van duurzame prefab betonproducten. Met een duidelijke focus op twee markten, woningbouw en industrie.
- PQ Silicas BV, onderdeel van PQ Corporation, is de leidende producent van silica producten, waaronder waterglas.
- Delgromij is specialist in klei. Of het nu gaat om het winnen van klei of het toepassen ervan.

### 6.3 Samenvatting van het deelproject

In de bouwsector wordt 40% van de fijnstof emissies veroorzaakt door transport- en bouw materieel en 60% door bouwactiviteiten zelf<sup>1</sup>. Industrieel prefab beton leidt tot reductie op de bouwplaats van fijnstof, CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> door een afname van de transportbewegingen, mengen van grondstoffen en bewerking van materialen. Bij industriële modulaire bouw is enkel nog montage nodig op de bouwplaats zelf. Echter, bij de omschakeling van ter plaatse gestort beton naar prefab betonproducten, komt een andere uitdaging om de hoek kijken, de emissies van het beton zelf.

<sup>1</sup> CE Delft, Stofemissies in de bouw(keten), 2006

Uit gesprekken met koplopers uit de industriële prefab betonsector<sup>2</sup>, waaronder consortium partners Voorbij en VBI, blijkt dat hun huidige productie proces al grotendeels geautomatiseerd is. Door het gebruik van BIM in combinatie met robotisering is het materiaalverlies nihil. De robotisering heeft al geleid tot o.a. 40% CO<sub>2</sub> reductie ten opzichte van de gangbare prefab beton productie. De huidige emissies van industriële prefab betonproducten worden nu vooral (55%) door beton veroorzaakt en de betrokken consortiumpartijen maken dan al gebruik van een nieuw snel uithardend mengsel met hoogovenslak in plaats van de standaard hoge-emissie Portlandcement (CEM I).

Alle in Nederland beschikbare hoogovenslak wordt echter al verwerkt door de betonindustrie, waardoor hoogovenslak van buiten Nederland moet worden geïmporteerd met juist extra emissies tot gevolg. De beschikbaarheid van hoogovenslak zal ook nog eens afnemen door wijziging in de staalproductie van TATA. Om de benodigde emissiereducties in de bouw te laten slagen is dus niet alleen een omslag nodig van ter plaatse gestorte betonmortel naar prefab beton, maar zal ook ingezet moeten worden op andere grondstoffen voor dit beton.

De beoogde emissiereductie van dit project is een industrieel geproduceerd prefab beton casco vanaf 2023, waarmee minimaal 40% emissiereductie en herbruikbaarheid worden gerealiseerd op de bouwplaats ten opzichte van ter plaatse gestort beton. Hierbij worden duurzame en toekomstbestendige grondstoffen gebruikt, waar de sector ook in 2050 nog op kan rekenen.

Alternatieve grondstoffen die in Nederland in grote hoeveelheid beschikbaar zijn en de potentie hebben om al dan niet in combinatie met elkaar de huidige Portlandcement en hoogovenslakken te vervangen in het industriële prefab proces zijn:

- Afgevangen fijn stof bij de verwerking van steenachtig bouw- en sloopafval, de zogenaamde ultrafijne fractie. Deze fractie kan nuttig ingezet worden om het aandeel cement te reduceren.
- Klei, een hernieuwbare grondstof die door verhitting (calcineren) en chemische reacties met calciumcarbonaat (een restproduct bij het industrieel afvangen van CO<sub>2</sub>) een alternatief is voor cement of hoogovenslakken

Om dit te bereiken worden vanaf het najaar 2021 tot en met december 2023 de volgende activiteiten uitgevoerd:

- Monitoren technische prestatie en impact:
  - o Programma van Eisen voor de technische prestatie van het betonmengsel in industrialisatie toepassing
  - o Evaluatierapport van de geschiktheid van een nieuw betonmengsel voor toepassing in prefab vloeren en wanden
  - o Quickscan milieu-impact met eerste indicatie emissie-reductie en milieu-impact
  - o Marktverkenning inclusief beschikbaarheid grondstoffen
- Verwerking grondstoffen en kwaliteitscontrole:

<sup>2</sup> Het Financieel Dagblad, Industrieel bouwen is onvermijdelijk, 6 juli 2020

- Rapport waarin kwaliteitsindicatoren (sleutel-eigenschappen) van de grondstoffen worden geselecteerd, die meetbaar zijn tijdens het verwerkingsproces van de (secundaire) grondstoffen
- Ontwikkeling bindmiddel- en betonsamenstelling:
  - Selecteren kansrijke combinatie alternatieve grondstoffen voor optimale prestatie van bindmiddelen onder fabrieksomstandigheden
  - Pilot om een duurzaam casco te produceren. Na productie wordt het casco ook beproefd en gemonitord om de werkelijke prestaties te bepalen.

Tot dusver zijn de volgende resultaten geboekt:

- Er is met geschikte mengsels opgeschaald van mortelniveau naar het betonniveau en deze mengsels zijn wat de sterkte-ontwikkeling betreft passend voor de prefab betonindustrie.

## 6.4 Emissiereductie

In de bouwsector wordt 40% van de fijnstof emissies veroorzaakt door transport- en bouw materieel en 60% door bouwactiviteiten zelf<sup>1</sup>. Hiervan is 60% toe te rekenen aan de bouwplaats (bewerking materialen, verwaaid stof), 20% aan metaalbewerking en 20% aan productie van bouwmaterialen.

Bij de bouw van betonnen woningen wordt nog jaarlijks circa 75% in het werk gestort<sup>3</sup>, terwijl industrieel prefab beton leidt tot reductie op de bouwplaats van fijnstof, CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> door een afname van de transportbewegingen, productie en bewerking van materialen. Als voorbeeld, de omschakeling van ter plaatse gestort beton naar kanaalplaatvloeren kan leiden tot 75% NO<sub>x</sub> reductie op de bouwplaats<sup>4</sup>. Bij industriële modulaire bouw is enkel nog montage nodig op de bouwplaats zelf. Echter, bij de omschakeling van ter plaatse gestort beton naar prefab betonproducten, komt een andere uitdaging om de hoek kijken, de emissies van het beton zelf.

Uit gesprekken met koplopers uit de industriële prefab betonsector<sup>2</sup>, waaronder consortium partners Voorbij en VBI, blijkt dat hun huidige productie proces al grotendeels geautomatiseerd is. Door het gebruik van BIM in combinatie met robotisering is het materiaalverlies nihil. De robotisering heeft al geleid tot o.a. 40% CO<sub>2</sub> reductie ten opzichte van de gangbare prefab beton productie. De huidige emissies van industriële prefab betonproducten worden nu veroorzaakt door: beton (circa 55%), staal (circa 25%), transport & montage bouwplaats (circa 8%) en productie op eigen terrein (circa 2%). De meeste winst is nu te behalen bij de productie van beton zelf.

De meest gebruikte cementsoort bij prefab beton bestaat hoofdzakelijk uit hoge-emissie Portlandcement (CEMI) omwille van de benodigde snelle uithardingstijd. Anderzijds, bij ter plaatse gestorte betonmortel wordt in Nederland voor het grootste deel lage-emissie hoogovencement (CEM III/B) gebruikt omdat snelle uithardingstijden daar niet cruciaal zijn. Voor CEM I zijn de NO<sub>x</sub> uitstoot 1,44 g/kg en CO<sub>2</sub> uitstoot 0,87 kg/kg, dat is dubbel zo hoog dan voor

<sup>3</sup> CE Delft, Milieu-impact van betongebruik in de Nederlandse bouw, 2013

<sup>4</sup> Bolech, Jansen, Dröge, 2020. Stikstof door Bouwactiviteiten. Intern TNO Rapport

CEM III/B waarbij de NO<sub>x</sub> uitstoot 0,78 g/kg en CO<sub>2</sub> uitstoot 0,41 kg/kg bedragen<sup>5</sup>. Dus hoewel de omschakeling van de bouwplaats naar de prefab fabriek erg relevant is voor het reduceren van niet-afvangbare emissies op de bouwplaats gerelateerd aan het ter plaatse storten van beton, moet hierbij voorkomen worden dat de gemiddelde emissies in NL gepaard gaande met betonproductie omhoog gaan bij het omschakelen naar volledige prefab betonproductie met CEM I.

Om dit te voorkomen wordt door consortiumpartijen ingezet op een nieuw snel uithardend mengsel met hoogovenslak. Alle in Nederland beschikbare hoogovenslak wordt echter al verwerkt door de betonindustrie, waardoor hoogovenslak van buiten Nederland moet worden geïmporteerd met juist extra emissies tot gevolg. De beschikbaarheid van hoogovenslak zal ook nog eens afnemen door wijziging in de staalproductie van TATA. Om de benodigde emissiereducties in de bouw te laten slagen is dus niet alleen een omslag nodig van ter plaatse gestorte betonmortel naar prefab beton, maar zal ook ingezet moeten worden op andere grondstoffen voor dit beton.

De beoogde emissiereductie van dit project is een industrieel geproduceerd prefab beton casco vanaf 2023, waarmee minimaal 40% emissiereductie en herbruikbaarheid worden gerealiseerd op de bouwplaats ten opzichte van ter plaatse gestort beton.

---

<sup>5</sup> Eco-Invent database, geraadpleegd mei 2021

# 7 D1 – KPI dashboard prefab bouw

## 7.1 Beoogde uitkomst

Om grip te krijgen op het optimaliseren van prestaties van de te realiseren units en gebouwen, zal een KPI-structuur worden gedefinieerd die als basis dient van het dashboard. Het dashboard wordt dusdanig ingericht dat deze toepasbaar is voor de onderscheiden bouwfases. Voor de bepaling van de verschillende prestaties van de KPI's van een beschouwd alternatief ontwerp zal, indien mogelijk, een digitale koppeling met reeds beschikbare software applicaties worden gemaakt. Uiteindelijk zal op één dashboard alle relevante resultaten van de verschillende keuzes in verschillende bouwfases zichtbaar worden gemaakt. Daarmee kan een onderlinge vergelijking van alternatieve ontwerpen gemaakt worden. Op deze manier is het in het voorontwerp mogelijk om verschillende alternatieven oplossingen naast elkaar te zetten. Tijdens het definitieve ontwerp kan de focus liggen op het afstemmen van onderdelen van het gebouw en het optimaliseren van een ontwerp. Gedurende de realisatie fase kan met het dashboard nagegaan worden wat voorgestelde wijziging voor effect hebben op de prestaties en kan geoptimaliseerd worden naar minimalisering van NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub> emissie. Voor de oplevering biedt het dashboard de mogelijkheid om de prestaties van de verschillende KPI's te rapporteren.

## 7.2 Partners

- TNO (<https://TNO.nl>)
  - Kennisinstituut
- Noordereng Groep (<https://noorderenggroep.eu/>)
  - ontwikkeling en levering HoutKern® modules en ontwikkelaar
- Heko spanten (<https://www.hekospanten.nl/>)
  - off-site productie van de HoutKern modules en andere houten onderdelen van de te assembleren gebouwen
- Oosterhoff Groep - ABT (<https://abtwassenaar.nl/over-ons/oosterhoff-group>)
  - met diverse dochterbedrijven voor engineering en digitalisering
- Hedgehog (<https://hedgehogcompany.nl/>)
  - duurzaamheidsberekening en optimalisering van producten en processen voor emissiereductie en – rapportage



### 7.3 Samenvatting van het deelproject

Nederland wil in 2050 een circulaire economie zijn. De bouw wordt geacht hieraan bij te dragen. Hoe kunnen we ervoor zorgen dat er zo snel mogelijk emissiearm of zelfs emissieloos gebouwd gaat worden en daarnaast het aantal nieuwbouw woningen dat per jaar gebouwd significant verhogen?

Het realiseren van gebouwen op basis van geïndustrialiseerd off-site vervaardigde houten units staat nog in de kinderschoenen. Deze bouwmethode zou echter tot een substantiële reductie van de emissie van NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub> kunnen leiden. De Noordereng Groep heeft de HoutKern® module ontwikkeld.

De HoutKern® bouwmethode bestaat volledig uit CLT-hout en is als het ware een losse" bouwsteen. Deze modulaire houten 'bouwsteen' wordt in een korte tijd, op een duurzame manier en met een lage emissie gebouwd. Het gebruik van bio-based materiaal en een modulaire bouwtechniek zorgen voor een duurzame circulaire bouw.

De ontwerpkeuzes hebben grote invloed op belangrijke prestaties van het gebouw bij oplevering en in de gebruiksfase. Dit betreft in het bijzonder de prestaties voor duurzaamheid (NO<sub>x</sub>-uitstoot tijdens de realisatie en gebruiksfase, MPG voor materiaalgebruik en BENG voor energieverbruik) en de prestaties voor optimalisatie van de kosten (APEX en COPEX voor stichtings- en exploitatiekosten, en MJOP voor onderhoudskosten). Het maken van een goede afweging van de prestaties is op dit moment belangrijk voor de realisatie van gebouwen die opgebouwd worden uit houten units en de emissies van NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub> aantoonbaar minimaliseren.

### 7.4 Emissiereductie

Met het KPI-dashboard kan een onderbouwde keuze worden gemaakt voor het ontwerp, engineering en realisatie van een gebouw bestaande uit HoutKern® modules. Daarmee worden de effecten van ontwerpkeuzes inzichtelijk gemaakt. Het gaat de effecten daarvan duidelijk maken op de uitstoot door materiaalkeuze, logistiek en activiteiten op de bouwplaats. Hierdoor kunnen in de ontwerpfase de emissies geminimaliseerd worden, afgezet tegen de eisen die aan het gebouw worden gesteld. In dit project worden relaties gelegd tussen de diverse KPI's en de onderliggende bepalingsmethodes.

Met het parametrisch ontwerp en digitalisering en industrialisatie van de productie van de HoutKern® modules is dit de bepalende factor in emissiereductie en efficiëntie, zodat de gewenste bouwproductie binnen de gestelde KPI's gerealiseerd kan worden. Goed ontwerp, optimale materialisatie, dynamisch digitaal planningsstelsel met een directe koppeling tussen BIM en bouwplanning zorgen voor stikstofreductie in materiaalgebruik, logistiek en materieel op de bouwplaats.

De 'traditionele' bouwmaterialen en het gebruik ervan veroorzaken direct of indirect grote emissies van CO<sub>2</sub> (productie van grondstoffen/bouwmateriaal) en NO<sub>x</sub> (transport van en naar fabriek en materieel op de bouwplaats en vervoer van personeel). Biobased materiaal reduceert CO<sub>2</sub>-uitstoot (of CO<sub>2</sub> wordt zelfs voor lange tijd vastgelegd) en het materiaal is lichter, wat leidt tot reductie tijdens transport en assemblage op de bouwplaats.

Het behalen van een emissiereductie door aanpassingen op onsite assemblage van de HoutKern® modules zal mogelijk worden door de offsite productie van de HoutKern® modules en de materialisatie ervan te optimaliseren. De Houtkern® bouwmethode zal vergeleken worden met een aantal traditioneel gebouwde woningen.

In dit project wordt een aantal specifieke databronnen onder de loep genomen:

- Emissiereductie van NO<sub>x</sub> in de bouwfase. Benchmark van het RIVM is 3 kg NO<sub>x</sub> per woning voor de aanlegfase. HoutKern woningen zullen gerealiseerd kunnen worden met 1,4 kg NO<sub>x</sub> per woning.
- Emissiereductie van CO<sub>2</sub> bij de productie van bouwmateriaal.
- Onderzoek heeft aangetoond dat - afhankelijk van de gebruikte houtsoort – er tot 0,9 ton CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> hout wordt vastgelegd.
- In een publicatie van 'Bouwen met hout' is berekend dat het bouwmateriaal voor een modulaire houten woning 42% reductie van CO<sub>2</sub> emissie geeft ten opzichte van een woning met een traditioneel bouwsysteem.

Opgemerkt wordt dat bovenstaande emissiereductie per woning en per m<sup>3</sup> hout niet toe te schrijven is aan dit project ("KPI Dashboard Prefab Gebouwen"), maar aan het nauw hieraan verwante project "Digitalisering en industrialisering HoutKern®-bouw". Emissiereductie via het verhogen van het aantal HoutKern® gebouwen is wel toe te schrijven aan dit project (zie onder).

#### Productie van HoutKern® modules

De 1<sup>e</sup> productielocatie van de Houtkern® modules is de fabriek van Heko in Ede. De productiecapaciteit op die locatie is 6.000 – 9.000 units per jaar. Voor een woning van 80 m<sup>2</sup> zijn 3 units nodig, zodat er 2.000 – 3.000 woningen per jaar gerealiseerd kunnen worden, gegeven die productiecapaciteit. Utiliteitsgebouwen zullen ook samengesteld kunnen worden uit de Houtkern® modules; dan is het mogelijk om ca 25 m<sup>2</sup> BVO met iedere unit te realiseren. De productie is schaalbaar; er zijn contacten met andere potentiële producenten van Houtkern® modules, waardoor de productie verdrievoudigd zou kunnen worden.

#### Beoogde effect van dit project 'KPI-dasboard'

Dit project zal leiden tot het realiseren van (meer) HoutKern® gebouwen. Potentiële opdrachtgevers zullen vanaf een vroeg stadium met de Noordereng Groep in discussie gaan over haalbare en gewenste KPI-scores die met het dashboard inzichtelijk kunnen worden gemaakt. Dat zal kunnen leiden tot de bouw van 6.000 – 9.000 woningen of 150.000 – 250.000 m<sup>2</sup> BVO utiliteitsgebouwen. Naarmate er meer gebouwd is, zullen ook de KPI-scores nauwkeuriger bepaald kunnen worden op basis van informatie uit de bouwprojecten in de praktijk. De bouw van deze aantallen woningen en/of (gedeeltelijk) de gebouwen zou leiden tot reductie van de emissie ter grootte van 15 ton NO<sub>x</sub> in de bouwfase en 630 kton CO<sub>2</sub> bij de productie van bouwmateriaal.

In Q1 2022 is via een uitgebreide vragenlijst bij de partners geïnterviewd welke KPI's en sub-KPI's relevant geacht worden. Deze lijst met KPI's heeft TNO gestructureerd en een voorstel gedaan voor een vijftal hoofd-KPI's met relevante sub-KPI's. Daarbij is een stappenplan opgezet om te komen tot het KPI-dashboard met achtergrondinformatie. In een bijeenkomst met de partijen is dit voorgelegd en zijn de belangrijkste KPI's voor dit project vastgesteld. Vervolgens is een serie sessies in gang gezet om deze vijf KPI's uit te werken, inclusief hun samenhang en een aanzet tot de onderliggende rekenmodellen.

De gekozen KPI's zijn NO<sub>x</sub>-uitstoot, BENG, MPG, comfort en kosten (zowel CAPEX als OPEX). Deze KPI's omvatten dus de CO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissies, maar gaan ook breder.

In Q2 2022 wordt in kaart gebracht hoe het materialenpaspoort, waaraan in Q4 2021 is gewerkt, toegepast kan worden binnen het dashboard. Het materialenpaspoort is een belangrijk instrument om de circulariteit te verantwoorden. Een belangrijk onderdeel daarbij is ook het genereren van de juiste datapunten.

Verder worden in Q2-Q3 bestaande rekenmodellen gebruikt en waar nodig aangepast om de KPI's en emissiebeperkingen te berekenen, rekening houdend met de onderlinge samenhang. Daarnaast wordt aan een eerste voorbeeld van een dashboard gewerkt en wordt gestart met het valideren van de opzet en invulling van het KPI-Dashboard op basis van een aantal voorbeeldgebouwen om zodoende het KPI-Dashboard praktisch bruikbaar te maken.

## 8 D2 – Industrieel bouwen

### 8.1 Beoogde uitkomst

Het doel van dit deelproject is: *Het ontwikkelen van een raamwerk, gebruiksscenario's en een functioneel programma van eisen voor de toepassing van digital twins bij modulaire en industrieel bouwen. Hierbij wordt inzichtelijk gemaakt wat de potentie van digital twins is voor het analyseren en minimaliseren van emissie uitstoot.*

Dit deelproject heeft de volgende beoogde uitkomsten:

- Digital twin raamwerk: een visie op het gebruik van digital twins en een raamwerk met (potentiële) digital twin toepassingen in verschillende procesfasen bij modulair en industrieel bouwen. Het raamwerk gaat uit van de procesfasen: ontwerp, productie, transport, realisatie/assemblage, gebruik, ontmanteling & hergebruik. Per digital twin toepassing wordt aangegeven wat deze toepassing inhoudt en wat de waarde is voor betrokken partijen en disciplines, mede in het kader van het analyseren en minimaliseren van emissie uitstoot.
- Digital twin gebruiksscenario's: uitgewerkte typische gebruiksscenario's (combinaties van digital twin toepassingen uit het digital twin raamwerk) voor het gebruik van digital twins bij modulair en industrieel bouwen in verschillende toepassingsdomeinen c.q. cases. Toepassingsdomeinen zijn onder andere: modulair en industrieel bouwen van (1) woningen en (2) hoogspanningsstations. In deze gebruiksscenario's wordt aandacht besteed aan de werking en het gebruik van digital twins, de bijbehorende voordelen voor betrokken partijen en disciplines, veranderingen in rollen van partijen en (organisatorische) voorwaarden voor succesvolle toepassing.
- Functionele eisen: functioneel programma van eisen voor de toepassing van digital twins bij modulair en industrieel bouwen (in de onderzochte toepassingsdomeinen).

### 8.2 Partners

De volgende partners nemen deel aan dit deelproject:

- Emergo Business Partners
- Heddes Bouw & Ontwikkeling
- Strukton Systems
- TBI Woon LAB I geWOONhout
- Universiteit Twente

### 8.3 Samenvatting van het deelproject

In dit deelproject wordt gekeken naar de rol van digital twins bij modulair en industrieel bouwen. Technisch gaat dit project uit van een uitbreiding van de toepassing van BIM, waarbij BIM transformeert naar een digital twin. Een digital twin wordt hierbij gezien als een digitale replica van een fysiek bouwwerk en van productie-, leverings- en bouwprocessen. 'Statische' BIM gegevens van bouwwerken worden verrijkt met actuele meetdata waardoor de actuele processen en prestaties van bouwwerken kunnen worden gemonitord en betere voorspellingen kunnen worden gedaan over de toekomst. Door vanaf ontwerp tot oplevering van het bouwwerk, maar

eventueel ook tijdens de operationele gebruiksfase en bij sloop en hergebruik van componenten en materialen, uit te gaan van één digitale representatie (digital twin), is een data gedreven optimalisatie over de gehele levenscyclus van een bouwwerk beter mogelijk en kan geleerd worden van het functioneren van een bouwwerk.

Een digital twin dient voor partijen in de bouw-, ontwerp- en technieksector als informatie- en kennisbron van en voor bouwwerken, biedt hen de mogelijkheden om tijdens het bouwproces en de levenscyclus van bouwwerken analyses en simulaties uit te voeren en stelt hen in staat om te leren van de werkelijke ontwerp-, productie-, leverings- en bouwprocessen en de prestaties van bouwwerken. Digital twins hebben de potentie om een belangrijke rol te spreken bij het inzichtelijk maken en terugbrengen van emissies bij de transitie naar emissieloos bouwen. Digital twins kunnen in de toekomst gebruikt worden om emissies bij het realiseren van nieuwbouw en renovatieprojecten te monitoren, te registreren, te voorspellen en automatisch te toetsen op de geldende eisen en normen. Met de opgebouwde kennis kunnen partijen in de bouw maatregelen nemen om deze emissies te minimaliseren, bijvoorbeeld door aanpassing van het ontwerp en van productie- en uitvoeringsmethoden en door de keuze van productielocaties.

De potentie van digital twins bij modulair en industrieel bouwen lijkt groot. Maar er spelen ook nog belangrijke kennisvragen. Want wat is een digital twin en wat kan dit concept concreet betekenen voor de context van modulair en industrieel bouwen? Wat is daar de waarde, ook in het kader van het analyseren en minimaliseren van stikstof emissies? Hoe en onder welke voorwaarden kunnen digital twins succesvol ingezet worden? En wat betekent dit voor betrokken partijen en disciplines? In dit deelproject wordt op deze kennisvragen ingegaan.

Dit deelproject is gestart in november 2021 en heeft een doorlooptijd van 24 maanden.

#### **8.4 Emissiereductie**

Het project richt zich op het gebruik van digital twins bij modulair en industrieel bouwen.

Eenzijds levert dit project een impuls aan modulair en industrieel bouwen doordat met digital twins efficiënter en effectiever kan worden gewerkt en beter geleerd kan worden van het functioneren van bouwwerken en processen. Door modulair en industrieel te bouwen kan ten opzichte van traditionele werkwijzen al emissiereductie plaatsvinden.

Anderzijds kunnen digital twins worden gebruikt om emissie impact en mogelijkheden voor emissiereductie in beeld te krijgen. Processen en producten kunnen op basis van die inzichten geoptimaliseerd worden. Naar verwachting kan op de volgende manieren bijgedragen kan worden aan emissiereductie:

- Verplaatsing van activiteiten van de bouwplaats naar de fabriek resulterend in minder uitstoot op de bouwplaats (en in kwetsbare gebieden);
- Efficiëntere productie en realisatieprocessen;
- Minimaliseren van transportbewegingen (logistiek, personenvervoer);
- Hergebruik van bouwelementen;

- Optimalisatie van processen en producten, mede op basis van inzichten in de emissie impact en de mogelijkheden voor emissiereductie.

De daadwerkelijke impact qua emissiereductie (het emissiereductie potentieel) wordt in dit project nader onderzocht.



## 9 D3 – Digital twin Blauwdruk

### 9.1 Beoogde uitkomst

In het project D3 “Digital twin blauwdruk en kennisuitwisseling in emissieloos bouwen” (kortweg Blauwdruk DT-EB) wordt een technologische blauwdruk voor digital twins ontwikkeld en toepasbaar gemaakt die bij gaat dragen aan emissieloos bouwen. Belangrijk hierbij is dat gemeenschappelijke methodiek en afspraken worden gemaakt voor het creëren, het intelligent maken, en het toepassen van digital twins in de gebouwde omgeving. Binnen dit programma werken we de volgende aspecten uit van de digital twin blauwdruk: de actuele stand-van-zaken in de praktijk en de benodigde functionele eisen die we stellen aan digital twins zoals deze benodigd zijn voor emissieloos bouwen. Denk hierbij aan schaalbaarheid en interoperabiliteit; het verkrijgen van inzichten over het materiaalgebruik, optimalisatie van logistiek en het hergebruik van materialen t.b.v. de circulariteit van de gebouwde omgeving. Hiervoor onderzoeken we het gebruik van open standaarden voor uitwisseling van data; de consequenties voor ICT implementatie en de integratie van kunstmatige intelligentie. Tot slot wordt gekeken naar de benodigde randvoorwaarden voor implementatie van digital twins bij ketensamenwerking.

Het in de zomer 2021 goedgekeurde deel van het project richt zich op Fase 1 (2021), waarin het project is opgestart en verder vormgegeven met de partners. In deze periode is een “Uitvoeringsplan Fase 2 (2022) Project “Blauwdruk Digital Twin voor Emissieloos Bouwen” (Blauwdruk DT-EB)” opgesteld, dat op 25 februari 2022 is ingediend.

### 9.2 Partners

Partner	Deelproject
ARCADIS Nederland	D3 - Blauwdruk
Arup Nederland	D3 - Blauwdruk
Avans Hogeschool	D3 - Blauwdruk
BIM-Connected V.O.F.	D3 - Blauwdruk
Kenter Engineering	D3 - Blauwdruk
Movares	D3 - Blauwdruk
RHDHV	D3 - Blauwdruk
Tauw	D3 - Blauwdruk
TNO	D3 - Blauwdruk
TU Delft	D3 - Blauwdruk
TU Eindhoven	D3 - Blauwdruk
UTwente	D3 - Blauwdruk
Waternet	D3 - Blauwdruk

### 9.3 Samenvatting van het deelproject

De Nederlandse overheid heeft beleid met bijbehorende wet- en regelgeving opgesteld om de stikstofuitstoot vanuit de bouwsector in 2030 met 60% te verminderen. Naar verwachting wordt per 1 juli 2022 een generieke verplichting van kracht om in bouwprojecten maatregelen te nemen die stikstofuitstoot verminderen.

Het Bouw en Techniek Innovatiecentrum (BTIC) heeft in afstemming met het ministerie van BZK, het ministerie van IenW, het programmabureau van de Topsector Logistiek en de digiGO besloten zich in te zetten op kennis- en innovatieprojecten gericht op emissiereductie in (industriële) bouwen. Eén van die projecten is “Digital Twin Blauwdruk” waarvan de resultaten kunnen bijdragen aan vermindering van de stikstofuitstoot en uiteindelijk zelfs aan emissieloos (industriële) bouwen. Dit innovatieproject richt zich op de ontwikkeling van digital twins als ‘enabler’ voor het bereiken van 60% stikstofemissie reductie in 2030 in de bouw -en infrasector. Met behulp van digital twins kunnen de ketenpartijen de emissie in de gehele levenscyclus van gebouwen en civiele infrastructuur (bouwproces, gebruik, beheer, onderhoud, renovatie en hergebruik) inzichtelijk maken, monitoren en voorspellen. Bovendien zullen digital twins bijdragen aan het optimaliseren van deze levenscyclus door de emissies te minimaliseren.

#### *Waarom een blauwdruk Digital Twins voor emissieloos bouwen?*

Een blauwdruk versnelt de adoptie van digital twins en draagt bij aan efficiënte en effectieve inzet van digital twins. De blauwdruk is een raamwerk voor de opzet van digital twins met een door de marktpartijen herkend en gedragen begrippenkader, een roadmap in de tijd met daarin een typologie van digital twins, een ontwikkelproces (specificatie, ontwerp en implementatie) en een referentiearchitectuur voor digital twins met daarin proces workflows, informatiestromen en software (in het bijzonder AI-algoritmen) en identificatie van relevante open standaarden.

Naast een versnelling in de ingebruikname en effectiviteit van digital twins voor emissieloos bouwen, zorgt de blauwdruk voor consistentie in de gebruikte definities en standaarden. Hiermee gaan we van individuele pilots naar een breed geaccepteerde werkwijze voor de Nederlandse (industriële) bouwsector. Uiteindelijk zal de blauwdruk ervoor zorgen dat digital twins vaker ingezet worden in (industriële) bouwprojecten voor de vermindering van de stikstofemissie, in samenhang met andere ambities.

De blauwdruk is geen nieuwe standaard, maar biedt een handreiking aan verschillende gebruikers in de bouwsector. Zo biedt de blauwdruk handvaten voor een plan van aanpak en geeft inzicht in de kosten en impact van de inzet van een digital twin op een project.

#### *Hoofddoelen van het project*

Om dit te bereiken heeft het project “Digital Twin blauwdruk” de volgende vier hoofddoelen:

1. Het positioneren van Digital Twins voor de functionaliteit emissieloos bouwen: op welke wijze bieden Digital Twins hiervoor een oplossing, wat is het bijbehorende begrippenkader en wat zijn typologieën (zowel over asset levenscyclus, als typologie van assets en functionaliteiten)?;
2. Het bieden van een blauwdruk met bijbehorende referentiearchitectuur, modellen, standaarden etc., toepasbaar voor functionaliteit emissieloos bouwen en in aansluiting op generieke principes uit andere initiatieven (zoals bijv. DSGO, DTFL, TA2025);
3. Het concretiseren van de toegevoegde waarde door het uitvoeren van experimenten/ proof of concepts in fieldlabs waarmee voorbeelden, inzichten en lessons learned verzameld worden in context van de emissieloos-bouwen-opgave;
4. Het creëren van draagvlak voor de toepassing van de blauwdruk en andere resultaten in de sector.

*De positionering van het project in relatie tot andere initiatieven*

De opgave van dit project is de reductie van stikstofemissie door het bevorderen en faciliteren van het gebruik van digital twins bij (industriële) bouwprojecten. Om dit doel te behalen wordt een blauwdruk ontwikkeld vanuit ervaring in fieldlabs. Impact van dit project wordt verder gerealiseerd door afstemming van de blauwdruk met gerelateerde programma's in de bouwsector, zoals TA25, DTFL en DSGO. De nationale DTFL-infrastructuur en de in dat programma ontwikkelde voorbeeld toepassingen zullen waar interessant als bouwblokken dienen in de blauwdruk. Ook zullen relevante samenwerkafspraken en uitwisselstandaarden die voortkomen uit bijvoorbeeld het DSGO-programma worden meegenomen in de blauwdruk. Tegelijkertijd zullen resultaten van dit project ingebracht worden in de andere programma's. Op deze wijze wordt synergie met lopende programma's geborgd en overlap zoveel mogelijk voorkomen.

*Overige randvoorwaarden*

Tenslotte heeft de blauwdruk vier randvoorwaarden. Hij is generiek in opzet (d.w.z. voor assetmanagement in het algemeen) en specifiek toepasbaar (voor emissieloos bouwen). Hij is direct inzetbaar (in de fieldlabs) en breed schaalbaar (naar bouw en infrasector als geheel). Hij is zowel procesmatig als technologisch toepasbaar. Tenslotte is het essentieel dat de blauwdruk laagdrempelig en toegankelijk is in gebruik.

**9.4 Emissiereductie**

De impact van de Digital Twin Blauwdruk wordt mogelijk gemaakt door kennisuitwisseling -en synthese. Er is een exponentiële groei in de hoeveelheid data die beschikbaar is en komt vanuit allerlei (digitale) sensoren, meetsystemen en bedrijfsprocessen. Het kunnen beschikken over, en effectief inzetten van, al die data is voor bedrijven, overheden en kennisinstellingen momenteel nauwelijks vorm te geven. Initiatieven blijven vaak binnen bedrijven of in beperkte coalities, en kennisdeling -en ontwikkeling is niet sector breed. Het effectief inzetten van deze enorme en steeds meer toenemende data is voor de bouw-, ontwerp- en technieksector, de overheden en kennis en onderwijsinstellingen een grote uitdaging én een kans.