

Emissieloos bouwen

Openbare rapportage Q3 2021
consortium industriële prefab bouw

Auteur Mario de Rooij
Versienummer 1.0
Datum 1 december 2021

Emissieloos bouwen



Inhoud

1	Algemeen	4
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
2	M1 – (Circulaire) Biobased Materialen	8
2.1	Beoogde uitkomst	8
2.2	Partners	8
2.3	Samenvatting van het deelproject	9
2.4	Emissiereductie	11
3	M2 – 2D gevelementen	12
3.1	Beoogde uitkomst	12
3.2	Partners	12
3.3	Samenvatting van het deelproject	12
3.4	Emissiereductie	14
4	M3 – Exploded view beyond building	15
4.1	Beoogde uitkomst	15
4.2	Partners	15
4.3	Samenvatting van het deelproject	16
4.4	Emissiereductie	17
5	P1 – Digitalisering en industrialisering HoutKern®-bouw	19
5.1	Beoogde uitkomst	19
5.2	Partners	19
5.3	Samenvatting van het deelproject	20
5.4	Emissiereductie	21
6	P2 - Van gietbouw naar prefab	22
6.1	Beoogde uitkomst	22
6.2	Partners	22

6.3	Samenvatting van het deelproject	22
6.4	Emissiereductie	24
7	D1 – KPI dashboard prefab bouw	26
7.1	Beoogde uitkomst	26
7.2	Partners	26
7.3	Samenvatting van het deelproject	27
7.4	Emissiereductie	27
8	D3 – Digital twin Blauwdruk	29
8.1	Beoogde uitkomst	29
8.2	Partners	29
8.3	Samenvatting van het deelproject	29
8.4	Emissiereductie	30

1 Algemeen

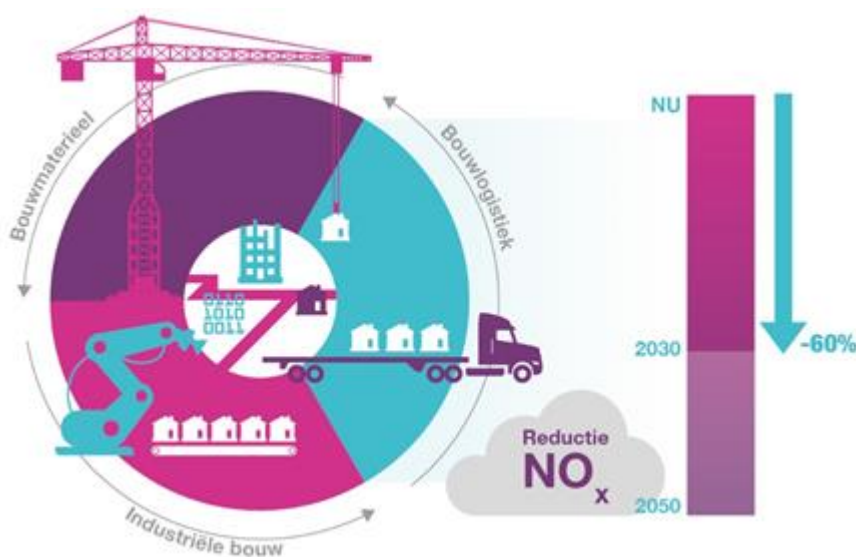
1.1 Inleiding

De uitstoot van stikstof in de bouw moet omlaag. De komende 2,5 jaar 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:

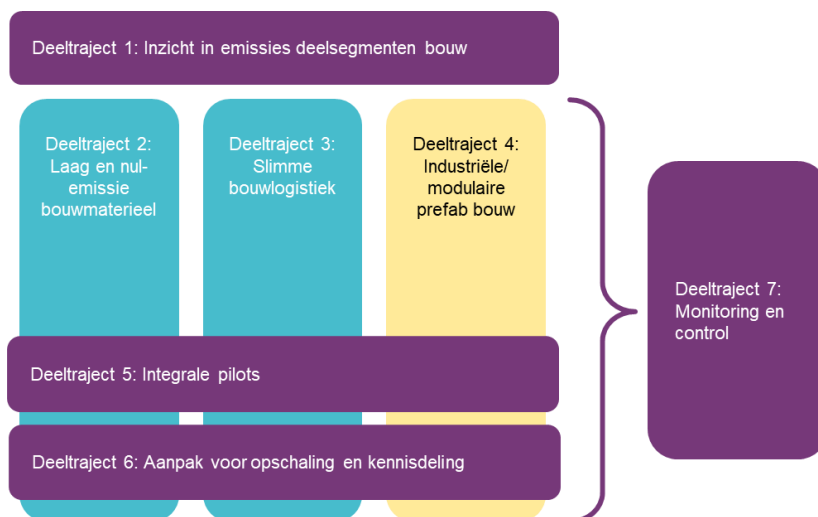
- 60% NO_x reductie ten opzichte van 2018 in het jaar 2030
- 0,4 Mton CO₂ reductie ten opzichte van 1990 in het jaar 2030

- 75% fijnstof (PM_{2,5} en PM₁₀) 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

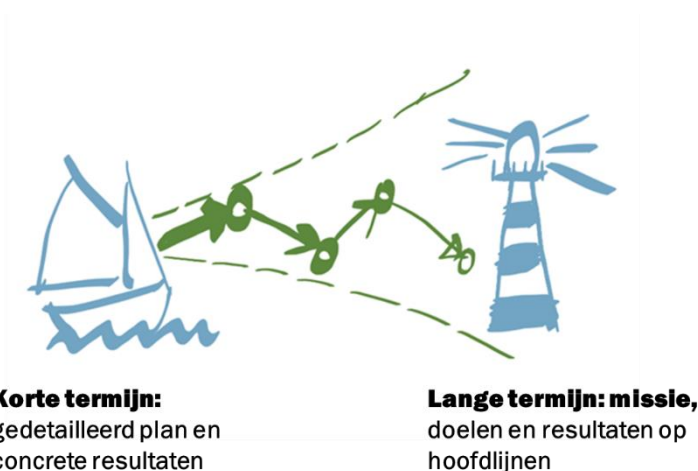
TNO), en de evaluatie en doorontwikkeling hiervan in **integrale pilots** in de praktijk (deeltraject 5, via de Topsector Logistiek). Deeltrajecten 6 en 7 zullen op een later tijdstip worden opgepakt.

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.

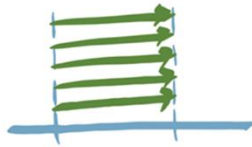
Om de doelen van het BTIC programma, zoals beschreven in paragraaf 1.2, te bereiken, is samenwerking tussen kennisinstellingen, bedrijven en overheden noodzakelijk. Gezien de urgentie van het stikstofprobleem is het bovendien nodig om een snelle start te maken met de uitvoering van het programma, zonder 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_x, maar ook van andere schadelijke stoffen zoals CO₂ 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 opgevaardeerd 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- en B-hout te oogsten;
- Schatting van het jaarlijkse potentieel aan opgevaardeerd 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 'snijdt' 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.

2.2 Partners

1. TNO;
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. Dit is de partij waar de HoutKern modules zullen worden geproduceerd;
4. Oosterhoff Groep - ABT (<https://abtwassenaar.nl/over-ons/oosterhoff-group>), met diverse dochterbedrijven 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. Dit betreft hout voor constructieve toepassingen, maar biobased materialen 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_x- en CO₂-emissie, omdat het alternatief aanvoer uit buitenland is. Hergebruik van A- en B-hout resulteert in reductie van CO₂-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 (inclusief up-to-date planning, zie paragraaf 2.1):

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 – december 2021

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.

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.

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.

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_x- en CO₂-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 CO₂-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 CO₂ vastgelegd wordt;
- In hout is veel CO₂ opgeslagen. Dat wordt niet meer aan de lucht afgegeven (bij verbranding), maar na eventuele opwerking toegepast in de bouw, waardoor CO₂ langdurig opgeslagen blijft; hetzelfde geldt voor andere biobased materialen;
- Biobased grondstoffen (die bij de groei CO₂ 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 CO₂ vrij. Toepassing van de lichtere biobased materialen als bouwelementen zal daarom leiden tot reductie van de CO₂-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 CO₂-emissie;

Op in ieder geval twee manieren leidt toepassing van biobased materialen ook tot een reductie van NO_x-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 CO₂- en NO_x-emissies is van veel factoren afhankelijk, die in dit deelproject deels zullen 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 CO₂- en NO_x-emissies in de bouw, mag verwacht worden dat dit project een significante bijdrage zal leveren aan de reductie ervan.

3 M2 – 2D gevelelementen

3.1 Beoogde uitkomst

Systeemontwerp en eerste serie productie van een 2D gevelelement waarmee NO_x en CO₂ emissies worden gereduceerd ten opzichte van bestaande gevelelementen. Dit nieuwe 2D gevelelement beoogt een optimaal productie-, realisatie- en onderhoud proces. Hiermee is efficiëntie te behalen met betrekking tot de bouw en renovatie opgave en het beperken van de NO_x 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
- Timmerfabriek Neede
 - Producent van gevel- en wandelementen die perfect op elkaar zijn afgestemd met hoge RC-waardes en een uitstekende lucht- en kierdichting.
- 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
 - Ruime ervaring en kennis op het gebied van houtbouw, systems engineering, bouwfysica, product- en conceptontwikkeling, circulair ontwerpen.

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 onderhoud proces in te richten. Hiervoor is een herontwerp van huidige 2D gevelelementen nodig, welke het resultaat zijn van jarenlang gestapelde en knellende (private) regelgeving. Doordat 2D gevelelementen worden geprefabriceerd leveren zij naast een versnelling van de bouwopgave een bijdrage aan de opgave om emissie van NO_x uitstoot te beperken door het toepassen van biobased (herbruikbare) materialen en een ontwerp te maken dat efficiënt kan worden getransporteerd en gemonteerd.

Het nieuwe 2D gevelement voldoet aan de publieke eisen. Daarnaast stellen opdrachtgevers private eisen met betrekking tot 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 geveleden die aan publieke en private eisen voldoen

Aanpak: Uitvoeren verkenningen en brainstormsessie; met focus op NO_x en CO₂ emissie besparing gegeven opbouw als het proces (o.a. inmeten). Ook zal moeten worden nagegaan in hoeverre de te produceren geveleden aan welke regelgeving nu en de toekomst zou moeten voldoen.

Deliverable: Overzicht randvoorwaarden 2D gevelement

WP2 Detaillering

Doel: Herontwerp 2D gevelement

Aanpak: Uitvoeren verkenningen en brainstormsessie(s). Uitwerking van de detaillering van geveleden, inclusief inbouwdetails. Ook worden hier de eerste schetsontwerpen gemaakt en selectie tot uitwerken definitieve ontwerp(en).

Deliverable: Eén tot drie definitieve ontwerpen

WP3 Test - Fabricage

Doel: Eerste serieproductie

Aanpak: Productie en beoordelen van 1^e 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 maandelijks voortgang en partners rapporteren met betrekking tot uren besteding.

Deliverable:

- financiële rapportage door middel van ingevulde formats programma emissieloos bouwen
- inhoudelijke rapportage: uitgevoerde onderzoeken/experimenten/verkenningen met betrekking tot de emissie reductie van NO_x en CO₂.

3.4 Emissiereductie

2D gevelelementen geproduceerd, gerealiseerd en onderhouden volgens herontwerp beogen emissiereductie van NO_x en CO₂ 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 materiaal. Door ook de mogelijkheid van demontage en hergebruik mee te beschouwen zal het materiaalverbruik verminderen en daarmee zowel de CO₂ uitstoot door minder materiaal verbruik en langer vastleggen van CO₂ en vermindering van transportbewegingen.

2. Proces:

Daarnaast kan door beter ontwerp van het product en het beter afstemmen van het proces in de fabriek en naar de bouwplaats leiden tot besparingen en beter gebruik van materialen en een besparing op arbeid. 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_x uitstoot.

3. Materieel:

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

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_x en CO₂ 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/>)

Marktpartijen

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 - 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.

1. De klimaat impact van bouwen oplaag brengen.

Nu worden in de bouw vooral veel beton en staal gebruikt, materialen die enorm veel energie kosten om te produceren. Dit geldt veel minder voor biobased materialen en bovendien houden we juist CO₂ vast. Ook kan het materiaal in enkele decennia weer terug groeien.

2. Aardmaterialen worden schaars
3. Binnenklimaat verbeteren

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 worden in vele gevallen niet grootschalig gebruikt. Doorontwikkelingen van biobased materialen voor grootschalige toepassingen en inzicht over het emissie reductiepotentiaal 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 CO₂ -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 wordt als paviljoen gepresenteerd op de Dutch Design Week 2021 waarna het gedemonteerd zal worden en in het voorjaar weer wordt herbouwd ten behoeve van wereldtentoonstelling Floriade 2022. Het huis is integraal onderdeel van het hieronder beschreven onderzoeksproject naar emissieloos bouwen.

We gaan in dit project 9 producenten van verschillende biobased materialen opschalingsstappen laten maken.

De 9 producenten formuleren een duidelijk 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 aan 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 - word de impact van toepassingen middels biobased materiaal beoordeeld op onderlinge verhouding van het reductiepotentiaal.

Dit ontwikkelproces wordt tijdens de 1,5 jaar dat dit project duurt telkens voor gelegd aan marktpartijen. Denk hierbij aan aannemers, architecten, consultancy bureaus, maar ook provincies en gemeentes. Hier krijgen ze 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_x) emissiereducties ten opzichte van traditionele materialen gedefinieerd. Daarbij worden per fase in de life-cycle vergelijkingen met traditionele materialen en methoden uitgevoerd:

- **1. Materiaalproductie**
 - o Reductie van CO₂ middels potentie van de biobased grondstoffen (bv. hennep of zeewier) om in de groeifase koolstof op te kunnen slaan.
 - o Vermeden emissies bij winning/productie nieuwe grondstoffen door toepassing van materialen die worden gemaakt van secundaire reststromen (bv. bagger of waterzuiveringsslib)
 - o Reductie van transportemissies vanwege het feit dat de grondstoffen lokaal in de nabije of directe omgeving van de bouwplaats geogost en verwerkt worden,
- **2. Prefabricage**
 - o Reductie van productie emissies op de bouwplaats van traditionele materialen (bv. insitu-beton) door alle 9 bouwmaterialen te ontwikkelen voor prefabricage in de fabriek.
 - o Reductie van transportemissies door het lichtere gewicht van de biobased bouwmaterialen.
 - o Verkorting of beperking van productie emissies door innovaties in intelligentere procesmethoden (bv door reductie uithardingstijd van bioreceptief beton) tot een aantrekkelijk geprefabriceerd product.
- **3. Assemblage**
 - o Reductie van assemblagetijd (minder uren) en materieelinzet (minder sterke 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 op transportemissies door minder materiaal- en personeelsverplaatsingen naar de bouwplaats door verlegging en samenvoeging van bouwactiviteiten naar de fabriek
- Reductie van productie emissies door traditioneel verdeelde verrichtingen of arbeidsstappen op de bouwplaats te combineren door een handeling (bv. door 3D-print-methodes of plaatsing van complete bouwdelen)
- **4.Sloop en hergebruik**
 - Reductie op 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 te kunnen worden.
 - Reductie op transportemissies door mogelijk kortere transportwegen naar een volgende bouwlocatie.
 - Reductie op sloop emissies door eenvoudige scheiding en demontage van producten na afloop van de gebruiksfase

Per materiaal zal daarnaast worden uitgezocht op welke manier en in welke mate tot emissiereductie zou kunnen worden gekomen. De som van boven uiteen gezette vergelijkingen per materiaal wordt daarbij gespiegeld aan een traditionele en gebruikelijke hedendaagse materialisatie en bouwmethode (bv. een zelfdragend biobased gevelsysteem ten opzichte van een op het werk gemetselde buitengevel of een binnenwand bestaand uit zeewierpanelen ten opzichte van een gipswand)

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^{de} 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 CO₂ en NO_x. 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 on-site assemblage van de HoutKern® modules zal mogelijk worden door de off-site productie van de HoutKern® modules en de materialisatie er van te optimaliseren. De Houtkern® bouwmethode zal vergeleken worden met een aantal traditioneel gebouwde woningen.

In dit project worden een aantal specifieke bronnen van data die hierbij onder de loep worden genomen.

- Emissiereductie van NO_x in de bouwfase Benchmark van het RIVM is 3 kg NO_x per woning voor de aanlegfase. HoutKern woningen zullen gerealiseerd kunnen worden met 1,4 kg NO_x per woning.
- Emissiereductie van CO₂ bij de productie van bouw materiaal.
- Onderzoek heeft aangetoond dat - afhankelijk van de gebruikte houtsoort – er tot 0.9 ton CO₂/m³ hout wordt vastgelegd.
- In een publicatie van 'Bouwen met hout' wordt berekend dat het bouw materiaal voor een modulaire houten woning 42% reductie van CO₂ emissie geeft ten opzichte van een woning met traditionele bouwsysteem.

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

- Dat beoogde bouw van 6000 – 9000 woningen of 150.000 – 250.000 m² BVO utiliteitsgebouwen.
- De bouw van deze aantallen woningen en/of (gedeeltelijk) de gebouwen zou leiden tot reductie van de NO_x emissie ter grootte van 15 ton NO_x in de bouwfase en 630 kton CO₂ bij de productie van bouw materiaal.
- De off-site 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_x zal plaatsvinden bij transport en on-site assemblage tot gebouwen.
- De inbouw elementen 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 resulteren in minimale afval en faalkosten.
- Verwacht mag worden dat dit – bovenop de eerder genoemde emissiereductie – resulteert in 20% - 30% efficiency verbetering en evenzo grote reductie van NO_x-emissie.

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 CO₂ als NO_x 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.

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 zelf¹. Industrieel prefab beton leidt tot reductie op de bouwplaats van fijnstof, CO₂ en NO_x 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.

Uit gesprekken met koplopers uit de industriële prefab betonsector², 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% CO₂ reductie ten opzichte van de gangbare prefab beton

¹ CE Delft, Stofemissies in de bouw(keten), 2006

² Het Financieel Dagblad, Industrieel bouwen is onvermijdelijk, 6 juli 2020

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 CO₂) 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:
 - o Rapport waarin kwaliteitsindicatoren (sleutel-eigenschappen) van de grondstoffen worden geselecteerd, die meetbaar zijn tijdens het verwerkingsproces van de (secundaire) grondstoffen
- Ontwikkeling bindmiddel- en betonsamenstelling:
 - o Selecteren kansrijke combinatie alternatieve grondstoffen voor optimale prestatie van bindmiddelen onder fabrieksomstandigheden
 - o Pilot om een duurzaam casco te produceren. Na productie wordt het casco ook beproefd en gemonitord om de werkelijke prestaties te bepalen.

6.4 Emissiereductie

In de bouwsector wordt 40% van de fijnstof emissies veroorzaakt door transport- en bouw materieel en 60% door bouwactiviteiten zelf¹. 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 gestort³, terwijl industrieel prefab beton leidt tot reductie op de bouwplaats van fijnstof, CO₂ en NO_x 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_x reductie op de bouwplaats⁴. 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 betonsector², 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% CO₂ 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_x uitstoot 1,44 g/kg en CO₂ uitstoot 0,87 kg/kg, dat is dubbel zo hoog dan voor CEM III/B waarbij de NO_x uitstoot 0,78 g/kg en CO₂ uitstoot 0,41 kg/kg bedragen⁵. 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

³ CE Delft, Milieu-impact van betongebruik in de Nederlandse bouw, 2013

⁴ Bolech, Jansen, Dröge, 2020. Stikstof door Bouwactiviteiten. Intern TNO Rapport

⁵ Eco-Invent database, geraadpleegd mei 2021

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.

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_x en CO₂ 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_x en CO₂ 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_x-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_x en CO₂ 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 zullen de relaties tussen de diverse KPI's en de onderliggende bepalingsmethodes worden gelegd.

Met het parametrisch ontwerp en digitalisering en industrialisatie van de productie van de HoutKern® modules is 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 planningsysteem met een directe koppeling tussen BIM en bouwplanning zorgen voor stikstof reductie in materiaalgebruik, logistiek en materieel op de bouwplaats.

De 'traditionele' bouwmaterialen industrie veroorzaken direct of indirect grote emissies van CO₂ (productie van grondstoffen/bouwmateriaal) en NO_x (transport van en naar fabriek en materieel op de bouwplaats en vervoer van personeel). Biobased materiaal reduceert CO₂ uitstoot (of wordt het 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 on-site assemblage van de HoutKern® modules zal mogelijk worden door de off-site productie van de HoutKern® modules en de materialisatie er van te optimaliseren. De Houtkern® bouwmethode zal vergeleken worden met een aantal traditioneel gebouwde woningen.

In dit project worden een aantal specifieke bronnen van data die hierbij onder de loep worden genomen.

- Emissiereductie van NO_x in de bouwfase Benchmark van het RIVM is 3 kg NO_x per woning voor de aanlegfase. HoutKern® woningen zullen gerealiseerd kunnen worden met 1,4 kg NO_x per woning.
- Emissiereductie van CO₂ bij de productie van bouwmateriaal.
- Onderzoek heeft aangetoond dat - afhankelijk van de gebruikte houtsoort – er tot 0.9 ton CO₂/m³ hout wordt vastgelegd.
- In een publicatie van 'Bouwen met hout' wordt berekend dat het bouwmateriaal voor een modulaire houten woning 42% reductie van CO₂ emissie geeft ten opzichte van een woning met traditionele bouwsysteem.

Productie van HoutKern® modules

De 1^e productielocatie van de Houtkern modules is de fabriek van Heko in Ede. De productiecapaciteit op die locatie is 6000 – 9000 units / per. Voor een woning van 80 m² zijn 3 units nodig, zodat er 2000 – 3000 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 m² BVO met iedere unit te realiseren.

De productie is schaalbaar; er zijn contacten met andere potentiële producenten van Houtkernmodules, 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 met de Noordereng Groep in discussie gaan over de KPI's die met het dashboard inzichtelijk kunnen worden gemaakt. Dat zal kunnen leiden tot de bouw van 6000 – 9000 woningen of 150.000 – 250.000 m² BVO utiliteitsgebouwen.

De bouw van deze aantallen woningen zou leiden tot reductie van de NO_x emissie ter grootte van 15 ton NO_x in de bouwfase en 630 kton CO₂ bij de productie van bouwmateriaal.

8 D3 – Digital twin Blauwdruk

8.1 Beoogde uitkomst

In het project D3 “Digital twin blauwdruk en kennisuitwisseling in emissieloos bouwen” (kortweg Blauwdruk DT) 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 goedgekeurde deel van het project richt zich in 2021 met name op de eerste 6 maanden, waarin het project zal worden opgestart en verder vormgegeven met de partners. In deze periode wordt een “Uitvoeringsplan Digital twin blauwdruk en kennisuitwisseling in emissieloos bouwen, 2022-2023” opgesteld, dat eind 2021 zal worden ingediend.

8.2 Partners

	Naam
1	ARCADIS Nederland
2	Arup Nederland
3	Avans Hogeschool
4	BIM Connected
5	Kenter Engineering
6	Movares
9	RHDHV
11	Tauw
12	TNO
13	TU Delft
14	TU Eindhoven
15	UTwente
16	Waternet

8.3 Samenvatting van het deelproject

In dit project wordt de aanpak voor emissieloos bouwen met behulp van digital twins voor de bouw en infrasector ontwikkeld. Om te komen tot een reductie van stikstof door de inzet van verregaande digitalisering en de ontwikkeling van digital twins van de gebouwde omgeving worden gemeenschappelijke digitaliseringsmethodieken en -afspraken ontwikkeld en gebundeld in een blauwdruk voor digital twins. In het algemeen ondersteunt digitalisering de totstandkoming van een efficiënter, beter bouwproces alsmede tot een duurzamere instandhouding (beheer en onderhoud) van de gebouwde omgeving. Specifiek voor emissieloos bouwen zal deze blauwdruk bijdragen aan

de verdere industrialisatie van de sector, het inzichtelijk maken van emissiereductie en circulariteit, en een optimalisatie van de logistiek.

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.

Dit project geeft antwoord op kennisvragen: Welke eisen stellen we aan digital twins wanneer deze worden toegepast als middel bij het behalen van de doelstellingen voor emissieloos bouwen? Welke aanpak bij de implementatie van digital twins is generiek en makkelijk toe te passen voor verschillende casussen?

De partners die commitment hebben afgegeven bij de start van dit project zijn:

Kennisinstellingen	TNO, TU Delft, TU Eindhoven, Avans Hogeschool, U Twente
Bedrijven	Movares, TAUW, ARCADIS, Arup, RHDHV, BIM-Connected, Kenter Engineering
Opdrachtgevers	Waternet

Dit projectplan richt zich met name op de eerste 6 maanden, waarin het project zal worden opgestart en verder vormgegeven met de partners. Er wordt subsidie aangevraagd voor deze eerste periode. In deze periode wordt een "Uitvoeringsplan Digital twin blauwdruk en kennisuitwisseling in emissieloos bouwen, 2022-2023" opgesteld, dat eind 2021 zal worden ingediend.

8.4 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.