

Kwartaalrapportage

Openbare rapportage Q3 2022 consortium industriële prefab bouw

Emissieloos bouwen

EMISSIELOOS BOUWEN

Openbare rapportage
Q3 - 2022

0110
1010
0011

Mario de Rooij
versie 1.0
15 november 2022

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
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	13
3.1	Beoogde uitkomst	13
3.2	Partners	13
3.3	Samenvatting van het deelproject	13
3.4	Emissiereductie	14
4.	M3 – Exploded view beyond building	17
4.1	Beoogde uitkomst	17
4.2	Partners	17
4.3	Samenvatting van het deelproject	17
4.4	Emissiereductie	18
5.	P1 - HoutKern®-bouw	23
5.1	Beoogde uitkomst	23
5.2	Partners	23
5.3	Samenvatting van het deelproject	23
5.4	Emissiereductie	25
6.	P2 - Van gietbouw naar prefab	26
6.1	Beoogde uitkomst	26
6.2	Partners	26
6.3	Samenvatting van het deelproject	26
6.4	Emissiereductie	28
7.	P3 – Next level prefab	29
7.1	Beoogde uitkomst	29
7.2	Partners	29
7.3	Samenvatting van het deelproject	30
7.4	Emissiereductie	32
8.	P4 – Fijn wonen	34
8.1	Beoogde uitkomst	34
8.2	Partners	34
8.3	Samenvatting van het deelproject	34
8.4	Emissiereductie	35
9.	P5 – Modulaire hoogbouw	37
9.1	Beoogde uitkomst	37
9.2	Partners	37
9.3	Samenvatting van het deelproject	39
9.4	Emissiereductie	41
10.	P6 – Industriële houtbouw	42
10.1	Beoogde uitkomst	42
10.2	Partners	42
10.3	Samenvatting van het deelproject	42
10.4	Emissiereductie	43

11.	D1 – KPI dashboard prefab bouw	45
11.1	Beoogde uitkomst	45
11.2	Partners	45
11.3	Samenvatting van het deelproject	45
11.4	Emissiereductie	46
12.	D2 – Industrieel bouwen met productplatforms	48
12.1	Beoogde uitkomst	48
12.2	Partners	48
12.3	Samenvatting van het deelproject	48
12.4	Emissiereductie	49
13.	O3 – Samen versnellen naar HNN	51
13.1	Beoogde uitkomst	51
13.2	Partners	51
13.3	Samenvatting van het deelproject	51
13.4	Emissiereductie	52

1. Algemeen

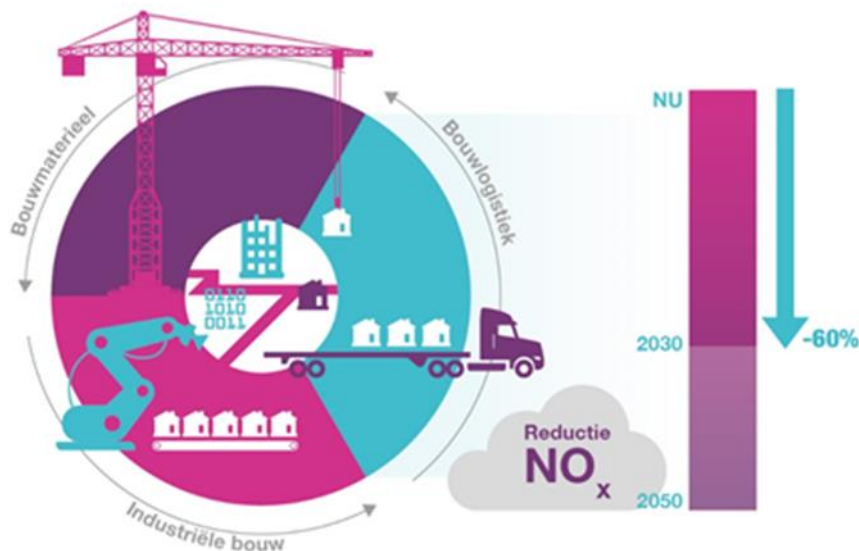
1.1 Inleiding

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:

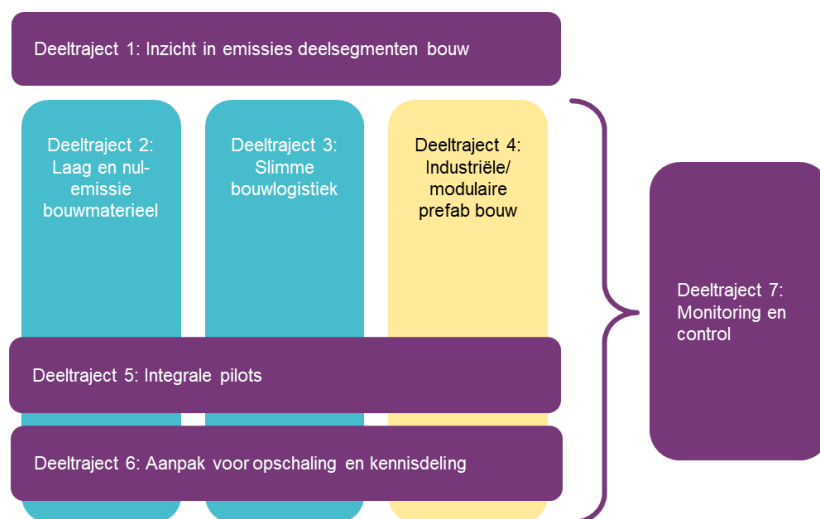
- 60% NO_x reductie ten opzichte van 2018 in het jaar 2030
- 0,4 Mton CO₂ reductie ten opzichte van 1990 in het jaar 2030
- 75% fijnstof (PM_{2,5} en PM₁₀) reductie ten opzichte van 2016 in het jaar 2030

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 staat gepubliceerd op de website van het BTIC (<https://btic.nu>). Sinds 1 juli 2022 is het BTIC overgegaan in het TKI Bouw en Techniek (<https://tki-bouwentechniek.nl>). Op deze website zullen vanaf nu voortgangsrapportages verschijnen, alsmede verdere stappen richting een vervolg van het huidige onderzoeksprogramma.



Figuur 1-2 Samenhang van het totale programma.

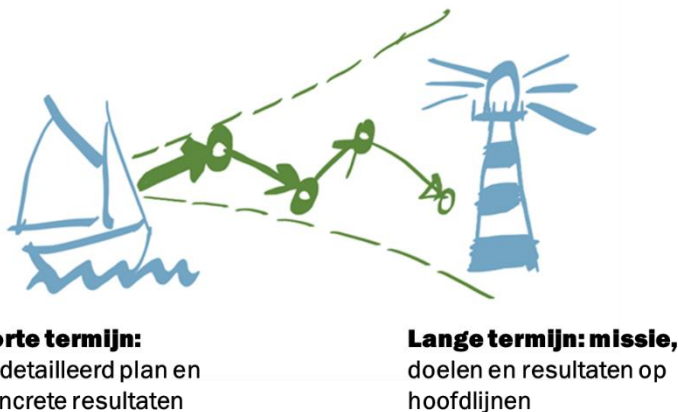
Vanuit de routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen wordt aan deeltraject 1 en 2 reeds invulling gegeven. De verwachting is dat op korte termijn hier eerste resultaten over naar buiten komen. Deze gegevens zijn belangrijk voor de overige deeltrajecten, zowel als bron van gegevens als een basislijn voor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

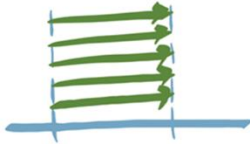
De stikstofproblematiek waarmee onder andere de bouwwereld wordt geconfronteerd, en waarvoor het BTIC programma 'Emissieloos Bouwen' antwoorden en oplossingen zoekt, creëert ongewone uitgangspunten. Het probleem moet worden opgelost, maar eigenlijk is voor de modulaire bouw momenteel slechts beperkte 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 **Error! Reference source not found.**, 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.

Een recent uitgevoerde evaluatie van de eerste uitvoeringsfase laat zien dat deze vernieuwende innovatie-aanpak vruchten afwerpt. Voorbeelden daarvan zijn de snelle start, de korte doorlooptijd tussen indienen en goedkeuren van nieuwe projectideeën, de uitbreiding van het consortium (zwaan-kleef-aan) en het daadwerkelijk missiegedreven werken zonder 'valbijl-mechanisme' waarin een voorstel alleen goed- of afgekeurd wordt. Deelnemers zijn blij met de geboden continuïteit én de kans om met een laagdrempelige aanpak samen te werken aan innovaties, voortbouwend op de eerste resultaten. Verdere stappen in de nieuwe aanpak worden inmiddels gezet; steviger regie op een samenhangend en missiegedreven geheel en meer aandacht voor communicatie, kennisdeling en opschaling.

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.

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-hout (niet-geïmpregneerd, ongelakt en onbehandeld hout) en B-hout (niet-geïmpregneerd, geschilderd/gelijmd/gelamineerd 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: effecten van de onderzochte toepassing van meer biobased materialen op emissies (m.n. NO_x en CO₂).

2.2 Partners

- 1 TNO (www.tno.nl), projectleiding, onderzoek en innovatie op het gebied van bouw, constructies en toepassingen van hout;
- 2 Hogeschool Amsterdam (HvA) <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/>);
- 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 en HSB elementen;
- 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 (SBB) <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.

- 11 A. van Liempd sloopbedrijven (<https://www.avanliempd.nl/>) staat voor duurzaam slopen en zoveel mogelijk hergebruik van bouwmaterialen.
- 12 Hooijer Renkum (<http://www.hooijer.nl>) voert o.a. grondwerk, sloopwerk en sanering uit en zet zich in voor maatschappelijk verantwoord ondernemen, waarvan circulair werken en hergebruik van materialen onderdeel is.

Een projectuitbreiding is aangevraagd om inzicht te krijgen in het proces om sloophout 'op te werken' tot CLT qua kwaliteit, technische haalbaarheid en CO₂-emissiereductie t.o.v. gebruik van nieuw hout. Bij akkoordbevinding zullen een sloopbedrijf en een CLT-producent deel gaan uitmaken van dit deelconsortium.

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. Verwacht wordt dat het aanbod van hout de vraag niet structureel kan bijhouden: een bedreiging voor de ambitie om meer houtbouw en biobased materialen toe te passen. 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 zulke alternatieven (ook financieel) steeds interessanter worden.

In dit project onderzoekt dit deelconsortium hoe hout uit Nederlandse bossen en herbruikbaar 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-emissie, omdat het een alternatief voor aanvoer uit het 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.

In dit project zijn bedrijven betrokken uit de gehele keten van aanvoer (Staatsbosbeheer, HVC, A. van Liempd, Hooijer Renkum) tot toepassing (Heko, WEBO, Helwig, Woodjoint).

De volgende activiteiten worden uitgevoerd (inclusief planning):

1 Aanvoer, scheiding, sortering

De huidige logistieke processen zijn beschreven en er wordt onderzocht hoe de processen te optimaliseren zijn. Met betrekking tot hergebruik is de eerste stap het scheiden bij de bron, bij milieustraten en door sloopbedrijven. A-hout kan uniform en als redelijk 'ongeschonden' hout geogst worden. Meer aandacht is nodig voor B-hout. Een inname- en scheidingsprotocol voor A- en B-hout is opgesteld en wordt bijgewerkt aan de hand van nieuwe informatie. Informatie is verzameld over het potentieel van de jaarlijkse hoeveelheid A- en opgevaardeerd B-hout.

Status: A) De informatie voor het inname- en scheidingsprotocol voor de milieustraat en voor sloopbedrijven is verzameld en geanalyseerd; het protocol is weergegeven in flowcharts en wordt aangescherpt waar gewenst. B) Er is een inschatting van de potentiële hoeveelheid A- en B-hout; onderzocht wordt nog of een extra evaluatieronde bij een milieustraat gewenst is. Om het aanbod van gebruikt en inlands hout te evalueren in het licht van de vraag t.b.v. woningbouw, is het rapport *Bio-based materialen in de bouw: literatuuronderzoek naar*

houtbouw en benodigde volumes opgesteld.

Periode: oktober 2021 – augustus 2022, daarna voor de 'slooproute' tot februari 2023

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

Bestaande 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 houtdelen te selecteren. Dat leidt tot een procesbeschrijving.

Op basis van een inventarisatie van bestaande machines voor houtbewerking wordt 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 prototype te komen i.s.m. een machinebouwer.

Status: A) Veel informatie is verkregen voor het oogsten van volhout door bewerking van A-, B- en inlands hout. Flowcharts maken inzichtelijk hoe scheiding (WP1) en de eerste bewerkingen (WP2) kunnen plaatsvinden.

B) De eisen aan een machine die bruikbare delen uit hout selecteert (detecteren en zagen/snijden) zijn min of meer bekend. Detectie van metaal en andere 'ongerechtigdheden' is goed mogelijk met Röntgentoepassingen ('security-scanner' of een kleine CT-scanner). Huidige specificaties en uitbreidingsmogelijkheden daarvan voeden de eisen die we aan het detectie-deel stellen. Deze apparaten kunnen opgenomen worden in een 'verwerkingsstraat'. De eerste proeven zijn uitgevoerd, maar het betrouwbaar verwijderen van metaal blijkt een complexe stap te zijn.

Periode: januari 2022 – augustus 2022 (A) en maart 2023 (B)

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

Onderzocht wordt hoe een machine het hout efficiënt kan sorteren, o.a. op afmetingen, houtsoort en kwaliteit. Relevante parameters (zoals het vochtgehalte) worden vastgesteld. Resultaat moet zijn dat het hout in verschillende bruikbare categorieën wordt ingedeeld.

Op basis van een inventarisatie van bestaande machines zullen eisen opgeteld worden en zal onderzoek gedaan worden naar functionaliteiten en kosten. De intentie is om tot een eerste prototype te komen i.s.m. met een machinebouwer.

Status: A) Er wordt goed inzicht verkregen in de specificaties van de verschillende bruikbare fracties hout, afhankelijk van de toepassing en de benodigde bewerking bij timmerbedrijven. In de specs wordt nog meer detail en structuur aangebracht.

B) Voor het sorteren en identificeren zijn de onder WP2 genoemde Röntgentoepassingen geschikt. Het scheiden van de houtfracties op kwaliteit kan na het verwijderen van metaal e.d. door een andere machine plaatsvinden; dat is al aangetoond. Eisen aan zo'n sorteermachine zullen opgesteld worden; deze zijn naar verwachting eenvoudig. Aandacht zal met name besteed worden aan het koppelen van de detectiestap aan de sorteer- en bewerkstap (algoritme). Met een machinefabrikant is contact gelegd om bestaande robottechnologie hierop toe te passen.

C) Toepassing van inlands of gebruikt hout in geveltoepassingen wordt belemmerd door regelgeving m.b.t. de brandklasse en de noodzaak van brandproeven. Een korte studie is uitgevoerd naar mogelijkheden om dit te vereenvoudigen.

Periode: april 2022 – (A) november 2022, (B) maart 2023 en (C) oktober 2022

4 **Opwerken tot producten voor timmerindustrie**

Specificaties worden gedefinieerd van te produceren halffabrikaten voor timmerindustrie, zodat verdere opwerking mogelijk is (vingerlassen, lamineren, CLT-productie).

Onderzocht zal worden welke eisen aan een machine gesteld moeten worden die halffabrikaten opwerkt tot producten voor de timmerindustrie (o.a. zagen en schaven, vingerlassen en lamineren), tot massief-houtproducten (kozijnen, randhout/ spouwlaten, HSB-stijlen, regels) en tot CLT-producten. Onderzoek zal ook plaatsvinden naar gewenste functionaliteiten en kosten. De intentie is om tot een eerste prototype te komen i.s.m. een machinebouwer.

Periode: september 2022 – juni 2023 (was oorspronkelijk maart 2023)

5 Projectmanagement en emissieberekeningen

Gedurende het project wordt gewerkt aan het opstellen en verbeteren van NO_x- en CO₂-emissieberekeningen om mogelijke emissiereducties te kwantificeren.

Periode: oktober 2021 – juni 2023 (was oorspronkelijk maart 2023)

Gedurende het project is er veel aandacht voor goede samenwerking tussen de partners. Naast regelmatige voortgangsbesprekingen met alle partners en thematische werksessies geeft TNO invulling aan het projectmanagement van het gehele project.

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 opgevoerd 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 meer prefabricage mogelijk maakt en leidt tot minder gebruik van fossiele brandstoffen voor transport en voor bewegingen/logistiek op de bouwplaats.

De bijdrage aan NO_x-emissiereductie is lastig te kwantificeren naar emissies op de bouwplaats, want dit project betreft een volledige ketensamenwerking waar de bouwplaats een minimaal onderdeel van is. Het hoogwaardig hergebruiken van hout op grote schaal betekent eigenlijk het creëren van een nieuwe grondstof.

In voorgaande onderzoeken werd vaak geconcludeerd dat het door de rekenregels beter is om hout te verbranden dan te recyclen. In Q3 hebben we op ketenniveau het tegenovergestelde aangetoond: als gebruikt hout hoogwaardig toegepast wordt i.p.v. te versnipperen, vindt er een significante emissiereductie plaats.

In Q3 is ook gestart met de LCA van gelamineerde liggers van HEKO. De productieprocessen zijn in kaart gebracht en een milieuprofiel is opgemaakt. Er is nu een gedegen dataset waarmee verdere analyses gedaan worden. Ook zijn van twee stro-

producten LCA-analyses gemaakt. Onderzocht wordt of deze data gebruikt kan worden voor andere biobased materialen.

In Q4 ronden we het onderzoek naar de milieu-impact af:

- Verdere LCA-analyses op producten die zijn geproduceerd uit gebruikt hout;
- In de HEKO-dataset scenario's maken m.b.t. verwerking, recycling, input van gebruikt hout;
- Onderzoeken of we globaal de stikstofwinst en de indirecte verbanden met de bouwplaats kunnen kwantificeren.

3. M2 – 2D gevelementen

3.1 Beoogde uitkomst

Systeemontwerp en eerste serieproductie van een gevelement waarmee NO_x en CO₂ emissies worden gereduceerd t.o.v. bestaande gevelementen. Dit nieuwe 2D gevelement 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_x uitstoot. Dit 2D gevelement 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 gevelementen, 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.

3.3 Samenvatting van het deelproject

De enorme nieuwbouw- en renovatieopgave maakt industrialisatie en prefabricage van 2D gevelementen noodzakelijk. Een 2D gevelement 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_x 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 wordt uitgewerkt in 4 werkpakketten:

WP1 Verkenning

Doel: Definiëren randvoorwaarden van geveldelen 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 wordt nagegaan in hoeverre de te produceren geveldelen 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 geveldelen, 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 1e 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_x en CO₂.

3.4 Emissiereductie

2D gevelementen 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 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 NOx 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 lichtere kranen e.d. nodig zijn op de bouwplaats. Wanneer de elementen eenvoudig kunnen worden gemonteerd kan plaatsen sneller worden uitgevoerd, waardoor bouwmaterieel minder standtijd nodig heeft.

Resultaten:

Binnen werkpakket-detaillering zijn de algemene uitgangspunten van de referentie- en de nieuwe gevels verder vastgelegd:

- Referentie 1A en B. Om twee duidelijke uitgangspunten te creëren t.o.v. emissiereductie van de nieuwe 2D-gevelementen, zijn twee traditionele referentievarianten (1A:Kalkzandsteen en 1B:HSB met voorzetwand) definitief gemaakt in materialisatie en bouwmethodiek.
- Voor alternatief 2 is in samenwerking met projectpartner Vorm een concreet project gekozen waarbinnen deze variant wordt toegepast.
- Het plaatsen is de aankomende tijd live te volgen: [Livestream - VORM](#)
- Voor alternatief 3 - de biobased variant – zijn de bouwonderdelen bepaald waarvoor biobased alternatieven worden onderzocht. Hiervoor is een van de meetings georganiseerd op de Floriade tentoonstelling, waarbij inspiratie is opgedaan voor biobased materialen en hun toepassingsmogelijkheden.
 - Op het gebied van de binnen beplating, de isolatie en de gevelafwerking werden vervolgens verschillende materialen op eisen in diverse toepassingsmogelijkheden (Hoog- en laagbouw, vrijstaand en rijtjestypologie) onderzocht. De sterkte (stijfheid van de elementen) en brandwerendheid (brandoverslag) van de materialen werden daarbij als de meest kritieke prestaties geïdentificeerd.
 - Daarnaast zijn mogelijkheden t.o.v. toekomstig hergebruik van gevelonderdelen onderzocht. Hiervoor zijn op basis van de hoogst verwachte emissiereductie een aantal bouwonderdelen geïdentificeerd, die middels hergebruik toekomstige nieuw productie van materialen kunnen voorkomen. De LCA-methodiek zal daarbij als ontwerp-tool worden ingezet.

Zie ook Figuur 3-1 voor een overzicht van de verschillende gevel elementen.



Figuur 3-1 Referentie varianten 1a en 1b, alternatieve gevels 2 en 3.

Binnen werkpakket 3 – emissie verantwoording is de volgende voortgang geboekt:

- Op basis van de LCA-methodiek zijn emissie-berekeningen gemaakt voor de varianten Referentie 1b HSB-standaard en Alternatief 2.
- Om de mogelijkheden van emissiereductie t.o.v. traditionele gevelbouw (referentie 1a) af te zetten wordt een dergelijk proces met partner Vorm vanuit zijn projectervaring in beeld gebracht. Met de input over transportgegevens en de inzet van materieel op de bouwplaats kan ook de emissie-berekening voor deze referentie worden afgerond.
- De emissie-berekening voor Alternatief 3 – de biobased variant – wordt pas uitgevoerd op moment dat een definitieve materiaalkeuze is afgerond. Wel is de LCA-methodiek als ontwerptool ingezet, waarmee deelaspecten werden beoordeeld – zoals de invloed van hoog- i.p.v. laagwaardig hergebruik van materiaal aan het einde van de levensduur.

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/>)

Ketenpartners:

Biobased Creations (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, - Architect

Aveco de Bondt - 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| kenniscentrum voor biobased en circulair bouwen,
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 CO₂ emissie gepaard gaat. Dit geldt veel minder voor biobased materialen en bovendien houden die juist CO₂ 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 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 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_x) 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 CO₂ 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.
- Reductie van transportemissies door het lagere gewicht van de biobased bouwmaterialen.

2. Prefabricage

- Reductie van productie-emissies op de bouwplaats van traditionele materialen (bv. insitu-beton) door bouwmaterialen te ontwikkelen voor prefabricage in de fabriek. Niet al de producenten hebben prefab bouwsystemen, maar zijn losse producten. In dat geval is er voornamelijk gekeken naar de impact tijdens de productiefase.
- Verkorting of beperking van productie-emissies door innovaties in intelligentere procesmethoden (bv door reductie van uithardingstijd van bioreceptief beton) tot een aantrekkelijk geprefabriceerd product.

3. 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). Tijdens dit onderzoek is gebleken dat er een tekort is aan data van bouwplaats processen (materieel inzet per FE product). De producenten hebben voornamelijk invloed op de productie van hun eigen producten, en minder op bouwplaats processen.
- Reductie van transportemissies door minder verplaatsingen van materiaal en personeel naar de bouwplaats door overheveling en samenvoeging van bouwactiviteiten naar de fabriek. Dit geldt alleen voor bouwsystemen. Producenten die alleen een bouwproduct ontwikkelen zijn afhankelijk van de afnemer, en hoe die met het product omgaan.
- 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).

4. 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. Wederom geldt hier voor de producenten die een bouwsysteem ontwikkelen dat ze wel invloed hebben in de demontabelheid van hun product, alleen voor de producenten van bouwproducten geldt dat ze afhankelijk zijn van hoe de afnemer met hun product omgaat.
- 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_x en CO₂ 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)

Openbare resultaten

Werkpakket 3 'verkenning eisen':

Dit werkpakket is afgerond middels een rapportage.

Deze rapportage vormt een samenvatting van de meest relevante eisen op het gebied van uitvoering, gebruik en beheer en behoud en koppelt deze aan prestaties van de in het traject onderzochte producttoepassingen wandbeplatingen, wandelementen en vloerbedekkingen. De informatie is opgehaald via een marktonderzoek d.m.v. enquêtes, brainstormsessies tussen producenten en marktpartijen en literatuuronderzoek.

Het doel daarbij is tweeledig:

- Ten eerste wordt daarmee voor de producenten van biobased bouwmaterialen inzicht gegeven in de eisen en wensen waar ze met hun nieuwe producten in de huidige markt aan moeten voldoen. Dat biedt de mogelijkheid doelgericht hun eigen producten op prestaties te kunnen testen en met de resultaten de basis te kunnen leggen om vervolgstappen in de doorontwikkeling van hun producten te formuleren.
- Daarnaast biedt het inzichten voor de sector in hoeverre de huidige eisen nog voldoen aan de actuele praktijk, waar wellicht aanpassingen noodzakelijk zijn of op welke gebieden aanvullingen geformuleerd moeten worden waar nog geen eisen bestaan.

Werkpakket 4 'Deep dive':

Mechanische, brandwerende en akoestische prestaties

- Tests zijn gedaan en in voorbereiding m.b.t. mechanische prestaties zoals druk-, buig en treksterkte of de hardheid van materialen
- Detaillering van een woningscheidende biobased wandopbouw, die geschikt is om aan zowel brandwerende als ook akoestische eisen te voldoen is bepaald. Hierbij lag de nadruk om de systeem mogelijkheden van twee partijen met de eisen voor branddoorslag en contactgeluid te integreren.
- Samples van een aantal producenten zijn gekozen en geproduceerd, die indicatief op geluidsabsorptie worden getest. Hierbij wordt de impact van verschillende productiemethoden (bv persen en printen), diverse grondstofsamenstellingen als ook het wel/niet toevoegen van afwerkingen met elkaar vergeleken.

Economische opschaling van de producten

Op basis van interviews, workshops, gezamenlijke en individuele sessies met de producenten zijn profielschetsen van de producenten opgesteld. Doel is om inzicht te bieden waar de grootste uitdagingen voor opschaling liggen en in welke maturiteitsfase de producenten zich bevinden. Aan de hand van deze profielschetsen was het mogelijk de producenten te clusteren in drie groepen met vergelijkbare uitdagingen. Voor deze drie groepen zijn drie gerichte workshops gemaakt:

- De eerste workshop focuste zich op de rol van de waarde keten in opschaling.
- De tweede workshop was gericht op collaboratieve business modellen voor de waardeketen.
- Als laatste ging workshop 3 over klanten perspectief voor markt implementatie.

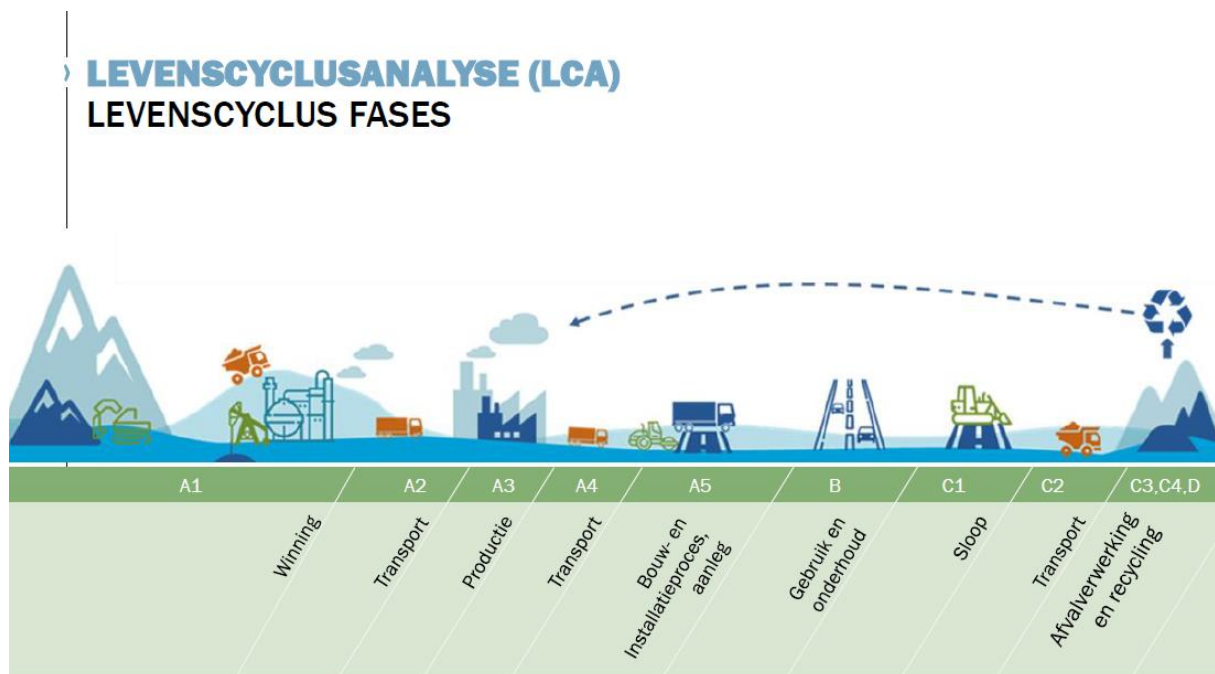
Het voornaamste doel van de workshops was om de producenten nieuwe ideeën en manieren van denken te geven met betrekking tot het schalen van hun bedrijf. De enthousiaste participatie en ontvangen feedback duiden erop dat dit doel gelukt is. In de individuele vervolgsessies is meer ruimte om specifiek in te gaan op uitdagingen waar de producenten tegen aanlopen. Deze sessies worden in oktober gehouden en zullen daarna uitgewerkt worden.

WP6 - Impact assessment: NO_x en CO₂ emissies

Binnen de lopende Emissieloos projecten, zal met behulp van twee verschillende methodes stikstof data worden gegenereerd, met twee verschillende doeleindes:

- Methode: De LCA methode (methode binnen exploded view)
 - Doel: Het analyseren van de emissies over de hele keten (grondstofwinning t/m einde levensduur (A-D)) (deze absolute waarden kunnen niet direct gebruikt worden in de maatschappelijke stikstof discussie)
 - Resultaat: Inzicht in waar de emissies plaatsvinden over de hele levenscyclus, en waar ze aangepakt kunnen worden (hotspots). Inzicht in het effect van een maatregel, niet alleen op de totale reductie, maar ook waar de emissies plaats vinden (zo min mogelijk op de bouwplaats, dit is relevant voor NO_x emissies).
- Methode: De Emissiefactoren van AERIUS
 - Doel: Het berekenen van lokale emissies op de bouwplaats (A4-A5)
 - Resultaat: Inzicht in emissies op de bouwplaats. Deze waarden worden nu gebruikt bij vergunningsaanvragen in de bouw. We kunnen met deze methode geen data over de hele keten berekenen (daar hebben we LCA voor nodig), maar alleen op de bouwplaats.

Zie ook Figuur 4-1 voor een schematische weergave van de fases.



Figuur 4-1 Levenscyclus analyse (LCA) – levenscyclus fases (A1 t/m D)

Toelichting LCA methode:

Met behulp van de LCA methode kan de milieu-impact van producten, materialen of processen inzichtelijk gemaakt worden per levenscyclusfase. Dit is een beproefde methode wanneer de CO₂ of MKI footprint berekend wordt. De NO_x emissies zijn ook

onderdeel van de milieu-impact databases die gebruikt worden voor het berekenen van CO₂ of MKI. Deze emissies kunnen ook apart uit de LCA getoond worden per levenscyclusfase.

De Levenscyclusfases kunnen opgedeeld worden in productie (A1-A3), bouwplaats (A4-A5), gebruiksfase (B), sloopfase (c), verwerkingsfase (D). In Nederland wordt er gestuurd om de stikstof emissies tijdens de bouwplaats fase (A4-A5) te reduceren. Het Exploded View project gaat voornamelijk over de productie van biobased/innovatieve materialen. Deze analyse heeft voornamelijk betrekking over de productiefase (A1-A3) van de producten, en heeft bijna geen directe impact op de bouwplaats omdat het niet per definitie vraagt om een andere bouwmethode. De activiteiten op bouwplaats bestaan uit een transportfase (A4) en aanlegfase (A5). Het gewicht van de toegepaste materialen kan impact hebben op de transportfase (lichtere materialen zorgen voor minder transport emissies), maar in deze indicatieve LCA analyse van de biobased producten wordt de aanleg niet uitgebreid onderzocht. De verwachting is dat de aanleg methode van het innovatieve materiaal niet ver afwijkt van de aanleg methode van het traditionele materiaal, en daarmee de milieu-impact op de bouwplaats ook niet ver af zal wijken. Een aantal producenten ontwikkelen geïntegreerde bouwelementen welke ook bijdragen aan een meer geïndustrialiseerd bouwsysteem (prefab wanden/gevel) wat mogelijk ook de emissies op de bouwplaats anders maakt dan traditioneel. De voor Nederland wettelijk relevante stikstof reductie is voornamelijk te behalen op de bouwplaats, hier zijn maatregelen die focussen op bouwsystemen en materieel van belang.

WP7 - Communicatie

Er is op verschillende momenten gepubliceerd en gecommuniceerd over het project:

- Circulair bouwen vraagt om een ander landschap
- <https://www.worlddesignembassies.com/topics/circulair-bouwen-vraagt-om-een-ander-landschap/>
- Het project 'The Exploded View Beyond Building' is geshortlist voor de Dezeen Awards 2022. [Post](#) | [Feed](#) | [LinkedIn](#)
- Op de website van The Exploded View Beyond Building is een overzicht geplaatst van een groot deel van de media uitingen over The Exploded View Beyond Building: <https://theexplodedview.com/nl/the-exploded-view-beyond-building/pers-2/>
- Perskit: <https://theexplodedview.com/nl/the-exploded-view-beyond-building/pers-2/>
- Videotours: <https://theexplodedview.com/nl/the-exploded-view-beyond-building/tour/>

5. P1 - HoutKern®-bouw

5.1 Beoogde uitkomst

Eén van de doelen van dit project is het optimaliseren van de offsite productie van de HoutKern® modules en van de onsite 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 offsite productie er een emissiereductie worden gerealiseerd ten opzichte van de bestaande bouw.

Daarnaast zal hergebruik en 2^e leven van HoutKern® modules kunnen worden voorspeld, waarbij het bepalen van kritische assets en het monitoren van elementen/modules tijdens een gebruiksfase van belang is. Hierbij dient ook het 6-S model Stewart Brand meegenomen te worden met de betrekkelijke levensduur van onderdelen uit de units.

5.2 Partners

- TNO ([tno.nl](https://www.tno.nl))
Kennisinstelling
- Noordereng Groep ([noorderenggroep.eu/](https://www.noorderenggroep.eu/))
Ontwikkeling en levering HoutKern® modules en ontwikkelaar, in samenwerking met Quake b.v. (www.quake-innovation.eu) namens de Oosterhoff Group voor engineering en digitalisering
- Heko spanten ([hekospanten.nl/](https://www.hekospanten.nl/))
Off-site productie van de HoutKern® modules en andere houten onderdelen van de te assembleren gebouwen
- Lomans ([lomans.nl/](https://www.lomans.nl/))
Installatiebedrijf en toeleverancier van geïntegreerde, geprefabriceerde inbouwelementen
- DWA ([dwa.nl/](https://www.dwa.nl/))
O.a. duurzaamheidsadvies
- Hedgehog ([hedgehogcompany.nl/](https://www.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 de hoeveelheid sloopafval. 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; in dit project wordt daartoe een goede aanzet gegeven. 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 de 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 worden 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 het fysieke fabricageproces en het managementsysteem voor de productie en productiemiddelen cruciaal. Hierbij is de beheersbaarheid van materiaal, logistiek en 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, efficiëntie en emissiereductie te realiseren.

Elke bouwfase heeft zijn eigen emissie van CO₂ en NO_x. Dit project 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 (offsite) geoptimaliseerd wordt zodat er op de bouwplaats (onsite) zo min mogelijk gedaan moet worden? Er zal in dit project ook kritisch gekeken worden naar het materiaalgebruik en de keuze van materialen t.b.v. de fabricage van de HoutKern® modules. Is het mogelijk meer bio-based materialen toe te passen?

HoutKern®

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

Door vergaande digitalisering van het ontwerpproces en de mogelijkheid om data te ontsluiten en 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_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' is berekend dat het bouw materiaal voor een modulaire houten woning 42% reductie van CO₂ 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 m² 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_x in de bouwfase en 630 kton CO₂ bij de productie van bouw materiaal.
- De offsite productie van de units zal beginnen met parametrisch ontwerp. Dit zal leiden tot minimaliseren van houtgebruik. Dit leidt tot minimaliseren van het gewicht van de units zodat er minder uitstoot van NO_x 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_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.

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 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 combinatie van robotisering met aanpassingen in de mengsels 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 vooral (55%) door beton veroorzaakt en de betrokken consortiumpartijen maken dan al

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

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

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 fijnstof 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:
 - Programma van Eisen voor de technische prestatie van het betonmengsel in industrialisatie toepassing
 - Evaluatierapport van de geschiktheid van een nieuw betonmengsel voor toepassing in prefab vloeren en wanden
 - Quickscan milieu-impact met eerste indicatie emissiereductie en milieu-impact
 - Marktverkenning inclusief beschikbaarheid grondstoffen
- Verwerking grondstoffen en kwaliteitscontrole:
 - 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 en verwerkbaarheid betreft passend voor de prefab betonindustrie.

6.4 Emissiereductie

In de bouwsector wordt 40% van de fijnstof emissies veroorzaakt door transport- en bouwmaterieel 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 productieproces al grotendeels geautomatiseerd is. Door het gebruik van BIM in combinatie met robotisering is het materiaalverlies nihil. De combinatie van robotisering met aanpassingen in de mengsels 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 omhooggaan 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 wordt gerealiseerd op de bouwplaats ten opzichte van ter plaatse gestort beton.

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

7. P3 – Next level prefab

7.1 Beoogde uitkomst

KlokGroep en Emergo hebben rond 2018 samen met andere partners een compacte prefab woning ontwikkeld. Daarna heeft Emergo in 2019-2020 "Premodu" ontwikkeld en gerealiseerd, een compleet prefab modulair woningconcept voor kleinere huishoudens. De haalbaarheid van het realiseren van deze energiezuinige prefab woningen is in 2021 in een kleinschalig project (12 woningen te Overasselt) aangetoond. Echter, er is ook behoefte aan woningen voor grotere huishoudens (eengezinswoningen). Door de toename in sloop- en nieuwbouwprojecten is een integrale aanpak van het hele sloop- en nieuwbouwproces nodig, om impact te kunnen realiseren op het gebied van emissies, duurzaamheid en hergebruik van materialen.

Dit project richt zich op versnelling van prefab bouw, meer specifiek op prefabricage van grondgebonden eengezinswoningen. Het doel van dit project is het ontwikkelen van een prefab woning voor de grotere huishoudens (eengezinswoningen, 3 bouwlagen), inclusief het ontwikkelen van de processen, producten en faciliteiten om een emissieloos sloop- en nieuwbouwproces te realiseren.

De beoogde deliverables van dit project zijn:

- a Ontwerp en realisatie van een prototype prefab modulaire energiezuinige eengezinswoning met een lage MPG-score, die op de bouwplaats in 5 werkdagen te realiseren is;
- b Ontwikkeling van emissieloze sloop- en prefab nieuwbouwprocessen die op elkaar afgestemd zijn;
- c Ontwikkeling van een zero-emissie bouwplaats voor prefab bouw;
- d Inzicht hoe geogste materialen optimaal en zo lokaal mogelijk in nieuwe producten of projecten toepasbaar zijn;
- e Test- en validatieresultaten van het ontwikkelde sloop- en nieuwbouwproces;
- f Digitalisering van het ontwerp-, productie-, en realisatieproces.
- g Inzicht in losmaakbaarheid van bouwelementen in de ontwikkelde eengezinswoning en in kwaliteitsmonitoring daarvan gedurende de gebruiksfase.

7.2 Partners

Hooijer Renkum

Hooijer Renkum (www.hooijer.nl) is gespecialiseerd op het gebied van grondwerk, sloopwerk, groenwerk, recycling, civieltechnische werkzaamheden en asbestsanering. Hooijer ontwikkelt nu en in de toekomst in toenemende mate duurzame activiteiten als het oogsten van materialen, hergebruik, productie van duurzame energie en het fabriceren van materialen uit reststromen.

KlokGroep

KlokGroep (www.klokgroep.nl) is gespecialiseerd in de volledige cyclus: initiëren, ontwikkelen, bouwen, wonen, onderhouden, beheren. Hierdoor heeft KlokGroep gedurende de volledige levensduur van de woningen inzicht in de kwaliteit van de gebruikte materialen om zo aan de voorkant de juiste keuzes te maken. Met vaste partners, co-makers en onze opdrachtgevers gaan wij langetermijnsamenwerkingen aan om voor elk project tot de meest passende oplossing te komen.

Emergo

Emergo (www.emergo.nl) is gespecialiseerd in de ontwikkeling van prefab houten bouwcomponenten, -modules en complete prefab woningen. Ook biedt Emergo integrale

duurzame energiesystemen voor de seriematige grondgebonden woningbouw. Emergo is de industriële partner die vanuit totaalconcepten maximale impact maakt op duurzaamheid.

7.3 Samenvatting van het deelproject

Dit project richt zich op versnelling van prefab bouw, meer specifiek op prefabricage van grondgebonden eengezinswoningen. Het doel van dit project is het ontwikkelen van een prefab woning voor de grotere huishoudens (eengezinswoningen, 3 bouwlagen), inclusief het ontwikkelen van de processen, producten en faciliteiten om een emissieloos sloop- en nieuwbouwproces te realiseren.

Het project is ingedeeld in 10 werkpakketten, zie onderstaande tabel met daarin zichtbaar gemaakt welke partner voor welk werkpakket in de lead is.

Lead: TNO – Emergo – Hooijer - KlokGroep

Nr	Omschrijving	Kennis / Ontwikkeling
1	Verkenning	State-of-the-art
2	Ontwerp prefab EGW (doorontwikkeling)	Integrale ontwerpproces
3	Optimalisatie off-site productie (incl. digitalisering)	Integrale ontwerpproces en off-site productieproces
4	On-site sloop + hergebruik van materialen	Demoneren en hergebruik materialen en reductie uitstoot
5	Optimalisatie perceelinrichting	Reductie uitstoot
6	On-site montage (incl. digitalisering)	Integrale ontwerpproces en on-site montage
7	Zero-emissie bouwplaats	Emissiereductie
8	Prestatiemeting	Behalen van gewenste prestaties
9	Impact assessment (emissies, re-montage, circulariteit)	Emissieloos (ver)nieuwbouwen
10	PL en rapportage	

In onderstaande 10 werkpakketten worden de activiteiten uitgevoerd. Alle werkpakketten starten in het 3^e of 4^e kwartaal van 2022 en lopen t/m oktober of november 2023.

1 - Verkenning

De stand van zaken m.b.t. prefabricage en standaardisatie van grondgebonden woningen wordt vastgelegd, met speciale aandacht voor emissies. Ook wordt een verkenning gedaan van de mogelijkheden in de nabije en verdere toekomst op het gebied van prefab bouw, emissieloos transport en hergebruik van materialen. Vervolgens worden belangrijke indicatoren vastgelegd, en gebruikt als leidraad om een programma van eisen op te stellen voor emissieloze sloop en nieuwbouw.

2 - Ontwerp prefab eengezinswoning (doorontwikkeling)

Dit betreft de doorontwikkeling van de geprefabriceerde bouwdelen in de fabriek en (de)montage van woningen op de bouwplaats. Hierbij zijn proces, materialisatie en productie bepalend voor de emissies. Vergaande standaardisatie van de planning en projectuitvoering bieden mogelijkheden tot optimalisatie van de bouwprojecten en daarmee minimaliseren van emissies. De huidige prefab woning voor kleinere huishoudens wordt doorontwikkeld tot prefab eengezinswoning (EGW). Dit vereist nieuwe, grotere bouwmodules en bouwcomponenten en de ontwikkeling van nieuwe aansluitingen. De toepassing van materialen wordt onderzocht en optimalisaties worden

meegenomen in het ontwerp. Aandachtsvelden: detailleringen, losmaakbaarheid, materiaaltoepassingen en ontwerpprincipes.

3 – Optimalisatie off-site productie (incl. digitalisering)

De off-site productie van prefab 2D- en 3D-bouwcomponenten in de fabriek en bij toeleveranciers wordt geoptimaliseerd. Belangrijke aandachtspunten zijn stekkerklaar bouwen en integratie van installatietechniek in prefab bouwdelen. Gewerkt wordt aan het digitaliseren van het productieproces, waaronder werkinstructies, kwaliteitsborging en logistiekbeheersing. De nieuwe productiemethoden gaan gepaard met het bieden van de juiste opleiding en instructies. Ook wordt onderzoek gedaan naar emissies in de productiefase, met aanbevelingen voor mogelijke reducties.

4 – On-site sloop & hergebruik materialen

Het slopen van gebouwen en complexen betreft niet alleen het weghalen van het bestaande, maar steeds meer het optimaal hergebruiken van de beschikbare deelproducten en materialen. Hiervoor zijn nieuwe processen, werkinstructies en tools nodig. Aan de hand van een praktijkcasus wordt een sloopprotocol opgesteld en worden optimalisaties doorgevoerd om de emissies van het sloopproces te reduceren. Ook wordt onderzocht hoe geogste materialen in nieuwe producten of projecten toegepast kunnen worden.

5 – Optimalisatie perceelinrichting

Slimme inrichting van percelen en toepassing van de juiste producten en beplantingen kan leiden tot afname van CO₂-emissie bij productie van materialen en uitvoering. Daarnaast kan zelfs opname van CO₂ en NO_x uit de omgevingslucht gerealiseerd worden. Bijvangst is de afname van hittestress, gebruik van drinkwater en toename van biodiversiteit.

6 – On-site montage (incl. digitalisering)

Om fors sneller te bouwen is toepassing van prefab bouwcomponenten met geïntegreerde installaties essentieel. Daar hoort een efficiënt montage- en afwerkingsproces bij, dus met aandacht voor logistiek, just-in-time delivery, goede werkvolgordes en werkinstructies. Het digitaliseren van werkinstructies, tekeningen en kwaliteitsborging is een belangrijk thema voor het optimaliseren en het verkorten van de bouwtijd.

7 – Zero-emissie bouwplaats

De zero-emissie bouwplaats richt zich op het reduceren van emissies in de bouwplaatsvoorzieningen. Beschikbaarheid van alternatieve energiebronnen wordt onderzocht en getest, gericht op een zelfvoorzienende bouwplaats.

Ook de logistiek op de bouwplaats is een aandachtspunt, waarbij transportbewegingen in kaart gebracht en geminimaliseerd worden. Dit is nodig voor zowel emissie- als overlastbeperking.

8 – Prestatiemeting

De in WP1 gedefinieerde KPI's en eisen worden a.h.v. een praktijkcasus geregistreerd en gemonitord. Dit betreft emissies in het hele proces, van sloop tot productie, realisatie en oplevering. Onderzocht wordt of de beschikbare data gebruikt kan worden in een digital

twin, wat mogelijk kan leiden tot een predictive twin. Die zou de doorontwikkeling van het concept en het prefab bouwen in algemene zin ten goede komen.

Naast technische prestaties kunnen ook gebruiks- en gebruikersprestaties gemonitord worden, indien dit in de looptijd van het programma haalbaar is. Verder zal het on-site montageproces zowel bij de prototype eengezinswoning als bij de praktijkcasus gemonitord worden.

9 – Impact assessment (m.b.t. emissies, re-montage en circulariteit)

De emissies en de milieuprestaties worden vastgelegd door bestaande rekenmethodieken toe te passen. Input zal verkregen worden door het monitoren van de activiteiten op de off-site productielocaties, transportbewegingen van materiaal, gebruik van materieel op de bouwplaats voor de on-site assemblage en vervoerbewegingen van werknemers. Ook zal de mate van circulariteit van hergebruik van materiaal uit de bestaande woningen worden bepaald.

Voor wat betreft het kwantificeren van emissies bij het slopen van de bestaande woningen zal onderzocht worden of de Slim Slopen Tool gereactiveerd en aangepast kan worden tot een oplossing waar integraal over het gehele project de CO₂- en NO_x-uitstoot kan worden berekend ('slim-uitstoot-tool'). Hierin kan dan ook de uitstoot voor de inrichting van de percelen worden meegenomen.

Naast de meetbare onderdelen voor circulariteit en re-montage wordt als deliverable een KPI-lijst bepaald met parameters die inzichtelijk maken in welke mate de re-montage en circulariteit worden beïnvloed en een indicatie geven wat haalbaar wordt geacht in de toekomst.

10 – Projectmanagement en rapportage

Gedurende het project heeft TNO als penvoerder doorlopend aandacht voor voortgang en goede samenwerking tussen de partners in de werkpakketten (in verschillende samenstellingen). Er zijn periodieke afstemmingsoverleggen tussen de 4 partners, werkgroepjes per werkpakket waarbij één van de partijen de trekker is, en bijeenkomsten van de projectpartners gezamenlijk.

Na ieder kwartaal wordt een kwartaalrapportage opgesteld (TNO is in de lead) en worden van de partners de kostendeclaraties verzameld.

7.4 Emissiereductie

De te verwachten impact van de grootschalige toepassing van dit bouwsysteem is substantieel, zowel voor het product als het proces. Hieronder wordt dit aangegeven met in **groene letter** de impact die betrekking heeft op emissiereductie.

In dit stadium zijn het schattingen, c.q. gerechtvaardigde verwachtingen en deze zullen in het project gevalideerd worden.

1. Verkorting bouwtijd

Door toepassing van het prefab woningconcept wordt (ver)nieuwbouw van een rij eengezinswoningen gerealiseerd in circa 16 werkweken. Dit reduceert overlast voor omwonenden en bewoners en faciliteert de gewenste groei van het aantal jaarlijkse te realiseren woningen. Door de versnelling van het sloop- en realisatieproces wordt de reductie in kosten voor bouwplaatsvoorzieningen geschat op circa 10-15%.

2. Procesmatig

Digitalisering van werkinstructies, processen en kwaliteitsborging o.a. door het elimineren van registratietijden zou kunnen leiden tot een productiever snelling van de bouw tot 10%.

3. Slopen van bestaande woningen (in geval van vernieuwbouw)

In het project in Tricht zullen 16 bestaande woningen circulair gesloopt worden. Door demonteren, selectief slopen en efficiënte logistiek kunnen CO₂- en NO_x-emissies gereduceerd worden. Door zo hoogwaardig en lokaal mogelijke afzet van vrijkomend materiaal worden emissies gereduceerd. Voorkeur heeft het toepassen van materialen afkomstig uit de oude woningen in de nieuwe situatie, bijvoorbeeld in bergingen, erfafscheidingen en pergola's.

4. Bouwproces

Door het toepassen van prefab bouwcomponenten wordt verwacht dat vervoersbewegingen van en naar de bouwplaats van (1) vrachtwagens met materialen en producten, (2) busjes met bouwplaats personeel en (3) groot materieel op de bouwplaats tot wel 50% gereduceerd zal worden. Dit zou een enorme reductie in emissies tijdens het bouwproces betekenen.

5. (Her)inrichting van het deel van de wijk

Naast het circulair slopen omvat de casus ook de inrichting van de percelen waarop de woningen gerealiseerd worden. Door reductie van materiaalgebruik, het toepassen van circulaire producten en het aanplanten van groen worden emissies gereduceerd en kan ook na realisatie CO₂ opgenomen worden door beplanting. Door hemelwater te bergen op de percelen wordt het rioolstelsel ontlast, neemt hittestress af en wordt gebruik van leidingwater gereduceerd.

6. Zero-emissie bouwplaats

Door het ontwikkelen van een zero-emissie bouwplaats kunnen bouwplaats kosten worden gereduceerd. Als de bouwplaats zelfvoorzienend gemaakt kan worden, zal een bouwaansluiting niet meer nodig zijn. Op de bouwplaats zal dan de benodigde elektriciteit opgewekt kunnen worden en waar mogelijk worden elektrische machines ingezet worden. Daarnaast wordt afval optimaal gescheiden en waar mogelijk als reststroom weer terug in de keten gebracht.

7. Verkenning van re-montage van prefab woonmodules na EOL cycle

Van de modules of onderdelen wordt bepaald hoe deze flexibel inzetbaar zijn. Een prognose van de impact op emissies kan worden bepaald als het proces van fabricage van nieuwe woningen en/of het herplaatsen van woning/modules goed bekend is. Een belangrijk criterium is de aanpasbaarheid op nieuwe (bouw)eisen van de toekomst, waarop bepaald kan worden in hoeverre re-montage en circulariteit als principe haalbaar voor deze modules. De ambitie is om in de on-site assemblage te komen tot een uitstoot van maximaal 2 kg NO_x/rijwoning, een reductie van ca. 1 kg t.o.v. de nu gangbare uitstoot.

8. P4 – Fijn wonen

8.1 Beoogde uitkomst

Van Wijnen gaat binnen het programma Emissieloos Bouwen met de onafhankelijke expertise van TNO inzichtelijk maken wat de 'winst' is in de reductie van stikstofdepositie en CO₂-footprint van het realiseren van Fijn Wonen-woningen, geproduceerd in de Smart Structures 2.0 fabriek en geassembleerd door Smart Assembly 2.0.

Het gehele maakproces (off-site geïndustrialiseerd bouwen en on-site assemblage) zullen beoordeeld worden en gezocht worden naar verbeterpunten van beide onderdelen, om die stappen te verbeteren waar de emissies nog verder kunnen worden gereduceerd. Met betrekking tot de off-site productie: de woonfabriek is gereed en wordt in bedrijf gesteld en alle stappen kunnen doorgelicht worden. Met betrekking tot de on-site assemblage zullen 8 grondgebonden Fijn Wonen demonstratiewoningen gerealiseerd worden op het Suikerunieterrein in Groningen en daarbij kunnen onder andere de emissies bij de on-site assemblage worden geanalyseerd. Daarnaast zullen er op een tweede demo-site de eerste ervaringen worden opgedaan met zero-emissie materieel en hoe deze de winst in reductie verder kunnen vergroten.

Het project heeft twee onderdelen:

1. het 'doorlichten' van het productieproces / de woonfabriek.
2. het bepalen van de emissiereductie met het bouwen van woningen van het Fijn Wonen concept en verkennen van verbeteringen.

Op het Suikerunieterrein in Groningen staat reeds een pop-up wijk en living lab met Fijn Wonen-producten: de Loskade. De grondgebonden woningen en appartementen die hier staan zijn van een eerdere versie dan het finale 3.0-product. Deze eerdere versie waren een belangrijke demonstratie, de resultaten ervan gaven voldoende vertrouwen om de strategische keuze te maken voor de investering in de Smart Structures-fabriek en het daarbij horende 3.0-product. Dit product is vele malen complexer, veelzijdiger en daardoor ook geschikter voor de markt.

8.2 Partners

- Van Wijnen (<https://www.vanwijnen.nl/>)
Ontwikkelaar Fijn Wonen Concept en Smart Structures fabriek
- TNO ([tno.nl](https://www.tno.nl))
Kennisinstelling in samenwerken met HedgeHog Company voor de impact assessment

8.3 Samenvatting van het deelproject

Van Wijnen heeft zich de afgelopen jaren ingespannen om een nieuw woningconcept te lanceren: Fijn Wonen (<https://www.fijn.com/>). Hierbij wordt gebruik gemaakt van grootschalige industrialisatie, productstandaardisatie en -configuratie Dit alles krijgt vorm in het Fijn Wonen-concept en de nieuwe woonfabriek, de Smart Structures 2.0-fabriek in Heerenveen (<https://www.vanwijnen.nl/projecten/woningfabriek/>). Het Fijn Wonen-product brengt een betaalbaar concept op de markt voor grondgebonden woningen en appartementen. Het Fijn Wonen-product is gebaseerd op een volledig gedigitaliseerd configuratieproces waardoor er extreem veel variaties zijn samen te stellen. Op deze manier is iedere woning uniek vorm te geven past deze goed in het Nederlandse straatbeeld. Door middel van industrialisatie en automatisering in de fabriek realiseert Van Wijnen een sterk verkorte procestijd tegen een aantrekkelijke prijs en constante,

hoge kwaliteit. Op de bouwlocatie wordt een woning uiteindelijk in één dag geassembleerd waar een reguliere bouwmethode normaal gesproken zestig (werk)dagen in beslag neemt.

De missie van Van Wijnen en Fijn Wonen is betaalbaar wonen weer bereikbaar te maken voor alle inkomensniveaus. Fijn Wonen is specifiek gericht op sociale huurwoningen, middeldure huur en koop. Onder de Nationale Hypotheek Garantie-grens heeft Fijn Wonen grondgebonden woningen en appartementen beschikbaar.

Bij het ontwikkelen van het Fijn Wonen product zijn betaalbaarheid, duurzaamheid, de carbon footprint en circulariteit belangrijke aandachtspunten geweest. De woningfabriek is allereerst all-electric en wordt voorzien van groene stroom uit zon en wind. De fabriek zelf bevat veel hergebruikte materialen, onder andere een vloer van gerecycled beton en een staalconstructie van gerecycled staal en het gebouw is op circulaire waarden ontworpen. Het Fijn Wonen-product maakt gebruik van een eigen ontwikkeld betonmengsel met een sterk gereduceerde footprint, o.a. door een verbeterde samenstelling en een zelf ontwikkelde curing chamber die geen gebruik maakt van aardgas. Ook wordt de supply chain gekenmerkt door zeer korte ketens, just-in-time delivery een beperkt aantal leveranciers. Dit leidt ertoe dat een woning geproduceerd in de Smart Structures fabriek een naar schatting tenminste 60% lagere CO₂-footprint heeft dan een woning die op reguliere wijze met prefab beton gebouwd. (N.B. Deze schattingen zijn ten opzichte van maatwerk en gaan in dit project geverifieerd worden). Door de kortere assemblage tijd op locatie worden er eveneens een groot aantal transportbewegingen van mens en materieel bespaard. De Fijn Wonen-producten zijn tevens zo circulair mogelijk ontworpen. De woningen zijn demontabel, de verschillende modules kunnen na afloop van de eerste bestemmingsduur losgemaakt worden waarna de gehele woning op een andere locatie opnieuw geassembleerd en ingezet kan worden. Is dit niet het geval, dan kunnen de materialen voor een groot deel onttrokken worden en opnieuw gebruikt.

Het Fijn Wonen-concept en de realisatie van de Smart Structures 2.0 fabriek zijn allemaal voortgekomen uit eigen onderzoek en ontwikkeling binnen Van Wijnen. Voor Van Wijnen is het belangrijk de resultaten van het nieuwe concept en proces onafhankelijk te valideren. Daarom werkt Van Wijnen binnen dit project samen met het programma Emissieloos Bouwen en TNO om de totale footprint voor wat betreft CO₂ en stikstof en inzichtelijk te maken voor markt en overheid.

8.4 Emissiereductie

De schatting is dat de CO₂-footprint van de Fijn woningen minimaal 60% lager is en NO_x-emissie tijdens de on-site assemblage minstens 50% lager is, beide ten opzichte van maatwerk. Binnen dit project zal de daadwerkelijke depositie van stikstof tijdens de assemblage worden gemeten zodat empirische getallen de schattingen kunnen vervangen.

Deze schattingen met betrekking tot de NO_x-emissie in de realisatiefase van het realiseren van de 8 grondgebonden Fijn Wonen demonstratiewoningen op het Suikerunieterrein in Groningen worden in onderstaande tabel getoond.

In deze tabel wordt de range gegeven waarbinnen de uitkomst van Aerius berekeningen naar verwachting zal uitkomen. De uitkomsten worden bepaald door de aannames die gemaakt worden (bijvoorbeeld met betrekking tot de afstand tot stikstofgevoelige gebieden). In het project zullen de aannames expliciet gemaakt worden en om de claims

met betrekking tot emissiereducties te onderbouwen zullen de data verzameld worden en daarmee de berekeningen gemaakt worden.

Er zullen 3 scenario's worden doorgerekend:

- 1 realiseren van 8 woningen met traditionele bouw;
- 2 realiseren van de 8 Fijn Wonen demonstratie woningen met de standaard assemblage-methode;
- 3 realiseren van de 8 Fijn Wonen demonstratie woningen met de standaard assemblagemethode, waarbij gebruikt gemaakt wordt van elektrisch materieel / zero-emissie bouwplaats.

Uitgaande van een aantal aannames (bijv. benodigde activiteiten om de bouwplaats voor te bereiden; afstand van fabriek naar de bouwplaats; kengetallen van traditionele betoncascobouw; benodigde vervoerbewegingen van werknemers in de afbouwfase; etc.) worden de aangegeven uitkomsten van de berekeningen verwacht.

Scenario		Geschatte NOx-uitstoot voor dit project (tov betoncascobouw)
1	Traditionele prefab betoncascobouw	100%
2	Fijn Wonen concept - standaard assemblage-methode	Ca 70%
3	Fijn Wonen concept - Zero emissie bouwplaats	Ca 35%

Omdat Van Wijnen in 2030 CO₂-neutraal wil zijn in al haar operaties, zal in het project de eerste ervaring opgedaan worden met zero-emissie bouwmatieel. Dit betreft zowel het uitvoeren van het transport van bouwdelen van de fabriek naar de bouwplaats als het assemblageproces.

9. P5 – Modulaire hoogbouw

9.1 Beoogde uitkomst

We willen een boost geven aan de markt voor industriële modulaire lage emissie prefab voor hoogbouw in Nederland. Als uniformiteit, meetbaarheid, vraag en aanbod met innovatie wordt samengebracht, kan de markt hierop inspelen. Daarom is het einddoel van dit project: *Alle G4 gemeenten vragen bij gronduitgifte de komende vier jaar op uniforme manier uit op gebied van duurzaamheid voor de hoogbouw (>30m).*

Om dit te bereiken willen we:

- 1 De **toepasbaarheid en beschikbaarheid van lage emissie bouwmaterialen** uit onuitputtelijke bronnen, inclusief inzet van biobased materialen en hergebruik regionale en landelijke afvalstromen en landbouwproductie voor modulaire hoogbouw onderzoeken om lage emissie materialen te realiseren;
 - Overzicht eigenschappen van bouwproducten voor geïndustrialiseerd modulair hoogbouwsysteem
 - Prioriteringsmatrix biobased grondstoffen voor lage emissie hoogbouw
 - Aanbevelingen opzetten productieketens biobased grondstoffen voor lage emissie hoogbouw
 - Levenscycluskostenanalyse biobased materialen voor lage emissie hoogbouw
- 2 **Strategieën voor emissievrije bouwlogistiek en bouwprocessen** voor geïndustrialiseerde modulaire lage emissie hoogbouw ontwikkelen en testen; en
 - Uitbreiding logistieke software bouw hubs
 - Procesontwerp voor industriële biobased bouwketen
 - Studie uitbreiding benodigde hub faciliteiten voor geïndustrialiseerd biobased modulaire hoogbouw
- 3 Adequate beleidsinstrumenten om deze oplossingen schaalbaar toe te passen ontwikkelen, met centraal een **standaard uitvraag voor duurzame hoogbouw**.
 - Nulmeting milieu impact conventionele hoogbouw
 - Nulmeting financiële kosten conventionele hoogbouw



9.2 Partners

Naam deelnemer	Kort	Type organisatie	Rol en expertise in project	Contactpersoon
Amsterdam Institute for Advanced Metropolitan Solutions	AMS	Onderzoek	Penvoerder, operationele projectleiding WP6, ondersteuning co-creatief proces WP1, ondersteuning fieldlab bouw hub WP3	Joke Dufourmont, joke.dufourmont@ams-institute.org Ton Jansen Ton.jansen@ams-institute.org
Gemeente Amsterdam	GA	Overheid	Probleemeigenaar, ontwikkeling beleidsinstrumenten en fieldlab uniforme uitvraag WP4	Annoesjka Nienhuis A.Nienhuis@amsterdam.nl en Jeroen van der Waal J.van.der.Waal@amsterdam.nl
Technische Universiteit Delft	TUD	Onderzoek	Onderzoek optimalisatie bouwprocessen en fieldlab bouw huis WP3	Ruben Vrijhoef, r.vrijhoef@tudelft.nl

Naam deelnemer	Kort	Type organisatie	Rol en expertise in project	Contactpersoon
Technische Universiteit Delft	TUD	Onderzoek	Onderzoek bouwsystemen WP 2	Stijn Brancart s.brancart@tudelft.nl
Wageningen Research	WR	Onderzoek	Onderzoek lage emissie bouwmaterialen WP2	Martien van den Oever, martien.vandenoever@wur.nl
Wageningen University	WUR	Onderzoek	Meten emissies geoptimaliseerde bouwprocessen WP3	Juliane Fry, juliane.fry@wur.nl
MIT Senseable City Lab	MIT	onderzoek	CO2, NOx and CO meters en bijbehorende onderzoek	Fabio Duarte, fduarte@mit.edu
City lab logistiek	HVA	onderzoek	Tussendepot met logistiek t.b.v. industrieel en circulair bouwen WP3	Walther Ploos van Amstel w.ploos.van.amstel@hva.nl
Witteveen + Bos	W+B	Advies	Onderzoek current state analysis WP1 en impact analyse lage emissie bouwmaterialen WP2	Maarten Schöffner, maarten.schaffner@witteveenbos.com
VGG Adviseurs	VG G	Advies	Onderzoek levenscycluskostenanalyse WP1 en WP2	Hans van Voorden, h.vanvoorden@vgg.nl
Copper8	C8	Advies	Zetelen in kerngroep, trekken co-creatieproces duurzaamheidsdoelstellingen WP1	Sybre Bosch, bosch@copper8.com
Cirkelstad	CS	Netwerk	Opschalen WP5, zetelen in kerngroep	Gertjan de Werk, gertjan@cirkelstad.nl
Dura Vermeer	DV	Industrie	Bouwhub Zuidoost WP3	Bouwe van der Tuuk, b.v.d.tuuk@duravermeer.nl
Volker Wessels	VW	Industrie	Bouwhub Ankerweg WP3	Ron Frazer, rfrazer@materieeldienst.nl
Wooden City	WC	Industrie	concept ontwikkelaar WP3	Jorden Goossenaerts, j.goossenaerts@woodencycity.nl
Johan Cruijff Arena	JCA	Locatie	Kavel 16 als proefproject inbrengen vanuit Amsterdam	Sander van Stiphout, S.van.Stiphout@johancruijffarena.nl
Gemeente Rotterdam	GR	Overheid	Zetelen in kerngroep, tech-transfer en kennisuitwisseling WP5	Hanneke van der Heijden, h.vanderheijden@rotterdam.nl
Gemeente Utrecht	GU	Overheid	Zetelen in kerngroep, tech-transfer en kennisuitwisseling WP5	Wim Beelen, w.beelen@utrecht.nl
Gemeente Den Haag	GD H	Overheid	Zetelen in kerngroep, tech-transfer en kennisuitwisseling WP5	Ger Kwakkel, ger.kwakkel@denhaag.nl

Naam deelnemer	Kort	Type organisatie	Rol en expertise in project	Contactpersoon
BPD Gebiedsontwikkeling	BPD	Industrie	Zetelen in kerngroep	Sladjana Mijatovic, s.mijatovic@bpd.nl
Ballast Nedam Development	BND	Industrie	Zetelen in kerngroep	Onno Dwars, o.dwars@ballast-nedam.nl
LEVS Architects	LEVS	Industrie	Zetelen in kerngroep	Jurriaan van Stigt, jurriaan.vanstigt@levs.nl
Frontwise Facades	FF	Industrie	Zetelen in kerngroep	Dominique Vosmaer, dominique.vosmaer@frontwisefacades.nl
VORM	Alba	Advies	Zetelen in kerngroep	Norbert Schotte norbert@albaconcepts.nl

9.3 Samenvatting van het deelproject

We willen een boost geven aan de markt voor industriële modulaire lage emissie prefab voor hoogbouw in Nederland. Als uniformiteit, meetbaarheid, vraag en aanbod met innovatie wordt samengebracht, kan de markt hierop inspelen. Daarom is het einddoel van dit project: *Alle G4 gemeenten vragen bij gronduitgifte de komende vier jaar op uniforme manier uit op gebied van duurzaamheid voor de hoogbouw (>30m).*

Om dit te bereiken willen we:

- 1 De **toepasbaarheid en beschikbaarheid van lage emissie bouwmaterialen** uit onuitputtelijke bronnen, inclusief inzet van biobased materialen en hergebruik regionale en landelijke afvalstromen en landbouwproductie voor modulaire hoogbouw onderzoeken om lage emissie materialen te realiseren;
- 2 **Strategieën voor emissievrije bouwlogistiek en bouwprocessen** voor geïndustrialiseerde modulaire lage emissie hoogbouw ontwikkelen en testen; en
- 3 Adequate beleidsinstrumenten om deze oplossingen schaalbaar toe te passen ontwikkelen, met centraal een **standaard uitvraag voor duurzame hoogbouw**.

We beginnen met een strategische verkenning welke reductie doelstellingen we zouden kunnen stellen voor de hoogbouw (WP1). Parallel starten we twee trajecten op waarin we onderzoeken welke bouwmaterialen en -processen we kunnen toepassen om deze doelstellingen te realiseren. We analyseren dan in hoeverre deze haalbaar zijn en welke milieuwinsten we ermee kunnen realiseren (WP2 en WP3). Gedurende het traject bouwen we bovendien een kennisinfrastructuur op rond duurzame hoogbouw in de G4 (WP4). Het geheel wordt in goede banen geleid door een ervaren projectmanager (WP5).

In het verlengde van dit project ontwikkelen we bovendien een standaard uitvraag voor duurzame hoogbouw (WP6). Deze activiteit bouwt integraal verder op, maar valt buiten deze subsidieregeling en wordt gefinancierd door de Gemeente Amsterdam en AMS Institute.

WP 1 Strategische verkenning

We verkennen wat realistische doelstellingen zijn om de uitstoot van CO₂, NO_x en NH₃ te verminderen in de hoogbouw. We beginnen met het in kaart brengen wat de huidige uitstoot is, en organiseren dan een dialoog tussen overheid, markt- en kennispartijen welke reductiedoelen we ons zouden kunnen stellen op de hoogbouw wanneer we op

grote schaal anders gaan uitvragen. Deze strategische analyse levert een eerste basis voor het opstellen van uniforme duurzaamheidsdoelstellingen voor hoogbouw in Nederland.

WP2: Lage uitstoot bouwmaterialen

In WP2 onderzoeken we hoe we hoogbouw kunnen verduurzamen vanuit materiaal perspectief. De stikstofuitstoot vanuit de bouwmaterialenindustrie heeft namelijk—in tegenstelling tot die van materieel en logistiek—nog geen natuurlijke neerwaartse tendens ingezet. Tegelijk biedt met name de toepassing van biobased bouwmaterialen kansen in de transitie naar een circulaire economie en de gestelde klimaatdoelstellingen. Zo zou een 50% aandeel van biobased materialen een CO₂ reductie van 40% opleveren. De recent getekende Green Deal Houtbouw stelt de ambitie om de draagconstructie van maar liefst 20% van alle nieuwbouwwoningen in biobased materialen te realiseren. We zoomen daarom in op drie materiaalstromen: hout, landbouwgewassen en organisch afval (o.a. afvalproducten uit de voedingsmiddelenindustrie zoals bietenpulp). WP 2 levert uiteindelijk een haalbaarheidsstudie van hoogbouw op basis van bio/emissiearme grondstoffen. De uitkomsten van dit WP leveren de eerste basis voor het vaststellen van de verkenning uit WP1 in beleid in WP4.

WP3: Optimalisatie bouwprocessen

In WP3 onderzoeken we hoe we (biobased geïndustrialiseerde modulaire) hoogbouw kunnen verduurzamen vanuit het perspectief van het bouwproces. Lokale uitstoot van koolstof, stikstof en fijnstof door de bouw wordt grotendeels veroorzaakt tijdens uitvoering door transport en materieel op en naar de bouwplaats enerzijds, en de manier van bouwen anderzijds. De introductie van bouw hubs aan de stadsrand voor bundeling en optimalisering van transporten naar binnensteden heeft daarbij in recente jaren positieve effecten gehad op beperking van lokale uitstoot tot ongeveer 80%. Verdere logistieke optimalisaties van bouwhuis vinden plaats door toevoegen van circulaire functionaliteit en laad faciliteiten voor emissieloze voer- en vaartuigen. Inmiddels zien we in Amsterdam een eerste emissieloze bouwhub voor infrawerken, een circulaire bouwhub, en diverse multimodale bouwhubs aan water ontstaan. WP3 zal de verdere ontwikkeling van bouwhubs en logistieke sturing alsmede de effecten op emissies onderzoeken, als gevolg van biobased, geïndustrialiseerde, modulaire ontwerp- en bouwprincipes. Met name zal deze vorm van bouwen impact hebben op vorm en gewicht van bouwdelen, en dus op transport gewichten en -volumes, en andere inrichting van transport en logistiek vergen, en met lagere emissieniveaus gepaard gaan. De uitkomsten van dit WP leveren de tweede basis voor het vaststellen van de verkenning uit WP1 in beleid en normering in WP4. Via de kennisinstellingen zullen ook de regiogemeenten (uit de G40) rondom de G4 worden geïnformeerd en feedback gevraagd op de producten.

WP4: Beleid

In WP4 ontwikkelen we instrumenten zodat we lage uitstoot materialen en geoptimaliseerde bouwprocessen structureel kunnen ondersteunen vanuit beleid. Deze ondersteuning is nodig om versneld een duurzame bouwpraktijk te bereiken en verschillende strategische doelstellingen te behalen. We ontwikkelen beleidsinstrumenten als onderdeel van Het Nieuwe Normaal en valideren die in een uitvraag als fieldlab. En daarna standaardiseren met het Rijk voor de G4 (grote gemeenten). Zodat er een uniforme uitvraag komt die de markt uitdaagt op te minimaliseren bouw emissies. Uniform en berekenbaar met een software. Zonder dat bouwmethodes worden voorgeschreven.

9.4 Emissiereductie

Op basis van kengetallen hebben we een voorlopige berekening gemaakt welke impact het project op lange termijn zou hebben op emissies van de bouwsector in de G4. Met de nieuwe duurzaamheidsnorm die we ontwikkelen kunnen we in potentie alle hoogbouw in biobased materialen realiseren. Hiermee bereiken we de volgende potentiële impact, uitgaande van vermeden stikstof emissies, vermeden broeikasgasemissies en CO₂ opslag als gevolg van biobased en modulaire bouw materialen en -componenten.

- Vermeden stikstofemissies (de stikstof die we niet zullen uitstoten door efficiëntere bouwprocessen en lichter transport): **1.209 ton / jaar vermeden NO_x emissies** (eerste serie hoogbouw in de G4), met een herhaling potentieel van 4.031 ton / jaar NO_x vermeden emissies als we niet alleen de hoogbouw, maar de gehele woningbouwopgave van de G4 in biobased materialen realiseren.
- Vermeden broeikasgasemissies (de CO₂ die we niet zullen uitstoten door weg te bewegen van conventionele bouwmaterialen): **1.620 ton / jaar CO₂ eq. vermeden emissies** (eerste serie hoogbouw in de G4), met een herhaling potentieel van 5.400 ton / jaar CO₂-eq. als we niet alleen de hoogbouw, maar de gehele woningbouwopgave van de G4 in biobased materialen realiseren.
- CO₂ opslag (de CO₂ die in hout is opgeslagen en door middel van biobased bouwen in de gebouwde omgeving wordt vastgelegd): **216 kton / jaar CO₂ opslag** (eerste serie hoogbouw in de G4), met een herhaling potentieel van 720 kton / jaar CO₂ als we niet alleen de hoogbouw, maar de gehele woningbouwopgave van de G4 in biobased materialen realiseren.

Dit is een conservatieve inschatting, puur op basis van vermeden emissies door substitutie van conventionele bouwmaterialen voor biobased alternatieven. Levensduurverlenging en hergebruik lussen vanuit circulair ontwerp en circulaire verdienmodellen zijn hierin niet meegenomen. Geoptimaliseerde bouwlogistiek d.m.v. multimodale bouwhubs (WP3) zijn hierin ook niet meegenomen. Bovendien is het opschaling potentieel alleen voor de G4 berekend. De verwachting is dat de geïmplementeerde innovaties in de hele bouwsector opgeschaald worden. Activiteiten hiertoe zijn opgenomen in WP5.

Doorheen het projecten meten en berekenen we welke impact we effectief zullen kunnen realiseren d.m.v. lage uitstoot bouwmaterialen en geoptimaliseerde bouwprocessen in de hoogbouw. Dit doen we in WP2 en WP3, waar we niet alleen met levenscyclusanalyse berekeningen aan de slag gaan voor materialen, maar ook feitelijke emissies en concentraties gaan meten in en rond de bouw hubs en -plaatsen.

10. P6 – Industriële houtbouw

10.1 Beoogde uitkomst

Het resultaat van ons project is dat aan het einde van dit project op industriële schaal betaalbare grondgebonden woningen en appartementen gebouwd kunnen worden waarbij dusdanig weinig stikstof en overige emissies vrijkomen dat het geen afbreuk doet aan mens, dier of milieu.

De houten elementen die we nu gebruiken worden altijd gebruikt in combinatie met een betonconstructie. Wij als Plegt-Vos zien een kans om door deze betonconstructie te vervangen voor een bio-based oplossing om onze stikstof emissies en overige emissies nog verder te reduceren. Door dit op concept niveau te ontwikkelen als totaalconcept, inclusief integratie van alle installaties en het industriële productieproces daarop in te richten is het mogelijk om structureel onze stikstofuitstoot laag te houden en niet enkel project specifiek.

We ontwikkelen 2 bouwmethodieken om een snelle haalbare schaal voor de industriële productielijn te krijgen. We richten ons op hoogbouw en laagbouw, die door dezelfde industriële productielijn geproduceerd worden.

Hierin zitten een aantal uitdagingen:

- Betaalbaarheid;
- Aanwezigheid van (on)voldoende vakmensen/timmerlieden;
- Brandwerendheid/rookarm;
- Geluidwerendheid;
- Industriële opschaling;
- Integraliteit met andere gebouw componenten, zoals installaties;
- Circulariteit;
- Demontabel en re-montabel

Dit project levert drie deel resultaten op:

- een nieuw constructie concept voor grond gebonden woningen,
- een nieuw constructie concept voor gestapelde bouw en een
- concrete blauwdruk voor een geïndustrialiseerd proces waarin deze nieuwe constructie concepten op grote schaal kunnen worden geproduceerd.

10.2 Partners

In dit project werkt Plegt-Vos samen met een aantal partners, dit zijn TNO, WoonAEffect, DeltaWonen. Daarnaast worden naar behoefte specialisten betrokken in houtbouw.

10.3 Samenvatting van het deelproject

Dit deelproject beoogt het industrieel realiseren van wooneenheden, zowel grondgebonden rijwoningen, als gestapelde woningen van 5 tot 15 hoog op een industriële manier. De uitdaging ligt in het ontwerpen van producten/componenten, een productieproces, productiemiddelen en logistiek om op grote schaal houten constructie elementen te kunnen produceren, die betaalbaarheid van woningen zeker stellen.

Willen we componenten op locatie kunnen assembleren dan zijn we assemblage producten benodigd. De te produceren componenten kunnen op de bouwplaats eenvoudig geassembleerd worden en zijn voorzien van:

- Afwerking;
- Benodigde installatie infrastructuur;
- Volledig geïntegreerd installatiewerk;
- Brand/geluidwerende voorzieningen;

De componenten zorgen voor minimalisering van handelingen op de bouwplaats (minder vaklieden en materieel) en de reductie van het aantal transporten naar de bouwplaatsen. Beide hebben significant effect op de reductie van stikstof en CO₂-emissies.

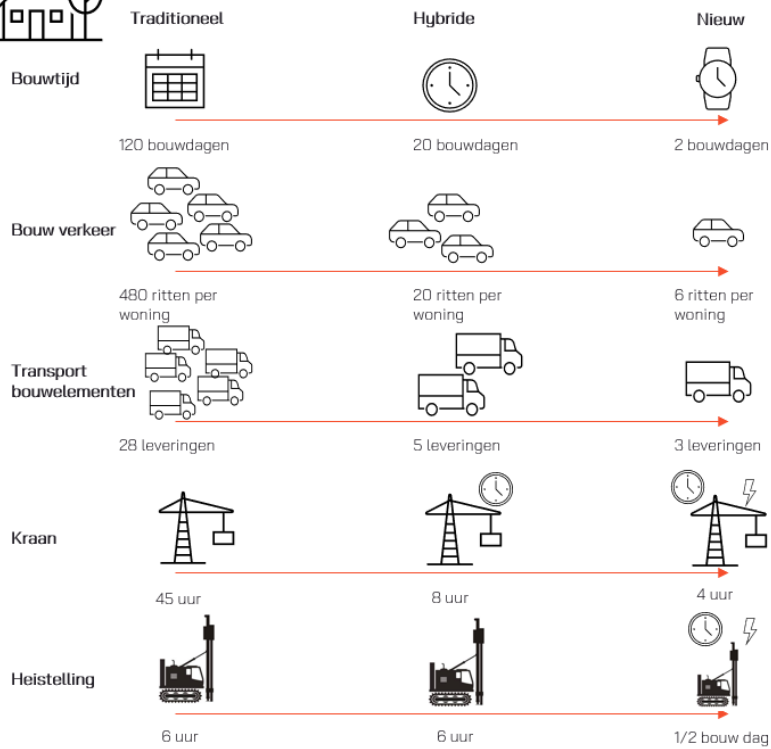
De assemblage componenten moeten op een industriële manier worden vervaardigd. In onze visie kunnen dit 2D of 3D elementen zijn. Een aantal van de elementen maken we op dit moment al. Het belangrijkste en moeilijkste component maken we nog niet in hout: de constructieve componenten.

Doel van het project om voor grondgebonden woningbouw en gestapelde bouw een nieuwe constructie te ontwikkelen uit hout die industrieel vervaardigd kan worden om de stikstof emissie te verlagen met 60%, 0,4 Mton CO₂ reductie en 75% minder fijnstof. De nieuwe constructie in hout moet lichter zijn dan de bestaande hybride variant, waarin nog een constructieve betonnen kern zit opgenomen. De lichte constructie moet het mogelijk maken om de bestaande zware dieselmotoren van het materieel te vervangen voor elektrische oplossingen. De lichtere constructie leidt ook tot een kortere bouwtijd en door zelf de elementen te fabriceren is er ook minder afbouw nodig op de bouwplaats. Dit resulteert ook in minder externe partijen wat het aantal verplaatsingen met busjes moet reduceren. De houten constructie zal ook efficiënter zijn in het transport door het makkelijker is te stappelen. Hout is een bio-based materiaal wat resulteert in dat het CO₂ opneemt tijdens het groeiproces en vasthoudt in gebruik, hierdoor zal onze nieuwe constructie voor grondgebonden woningen en gestapelde bouw een positief effect hebben op CO₂ reductie.

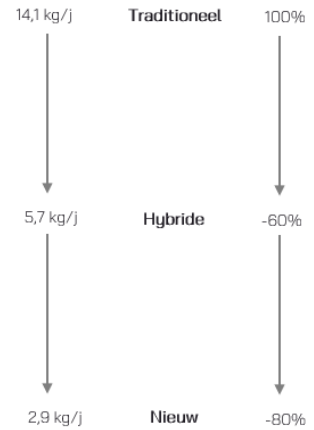
We ontwikkelen 2 bouwmethodieken om een snelle haalbare schaal voor de industriële productielijn te krijgen. We richten ons op hoogbouw en laagbouw, die door dezelfde industriële productielijn geproduceerd worden.

10.4 Emissiereductie

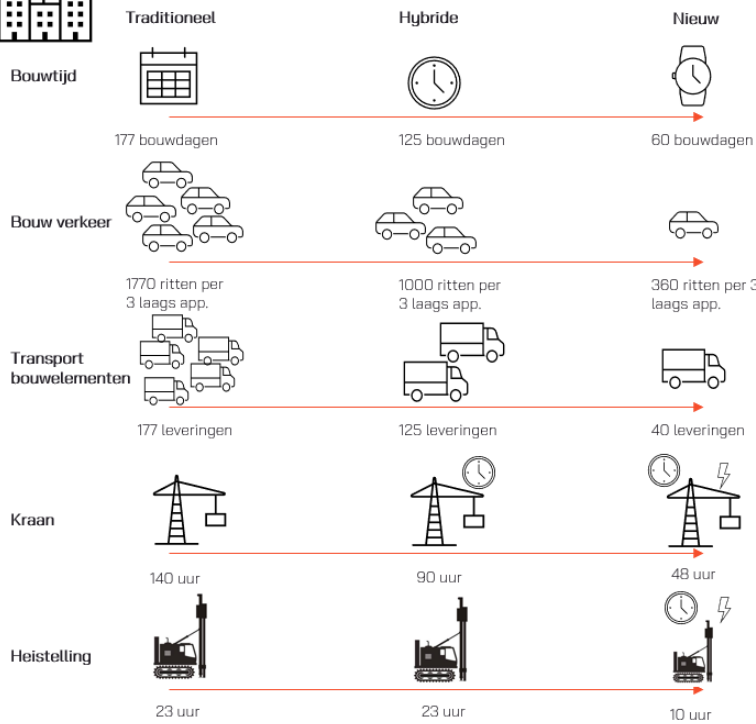
De impact van op grote schaal houten woningen en appartementen bouwen is enorm. Bij de geprognoseerde productieaantallen die als basis dienen voor een efficiënt productieproces gaat dit een reductie opleveren van 29 tot 78 ton stikstof per jaar. Over een opstartperiode van 5 jaar kan dit 252 ton stikstof uitstoot gaan elimineren door eliminatie van transportbewegingen en het gebruik van elektrisch materieel.



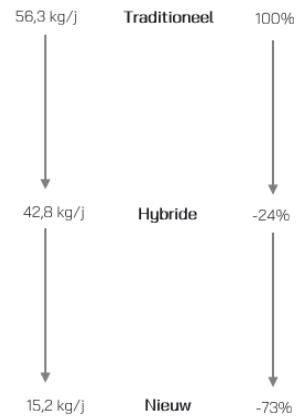
Stikstof reductie



*3 laags (excl. verdieping en dak) 9 app per laag



Stikstof reductie



11. D1 – KPI dashboard prefab bouw

11.1 Beoogde uitkomst

Om grip te krijgen op het optimaliseren van de 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 zullen 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 alternatieve 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 realisatiefase kan met het dashboard nagegaan worden wat voorgestelde wijzigingen 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.

11.2 Partners

- TNO ([tno.nl](https://www.tno.nl))
Kennisinstelling
- Noordereng Groep ([noorderenggroep.eu/](https://www.noorderenggroep.eu/))
Ontwikkeling en levering HoutKern® modules en ontwikkelaar, met diverse dochterbedrijven voor engineering en digitalisering
- Heko spanten ([hekospanten.nl/](https://www.hekospanten.nl/))
Off-site productie van de HoutKern® modules en andere houten onderdelen van de te assembleren gebouwen
- Hedgehog ([hedgehogcompany.nl/](https://www.hedgehogcompany.nl/))
Duurzaamheidsberekening en optimalisering van producten en processen voor emissiereductie en – rapportage

11.3 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 nieuwbouwwoningen dat per jaar gebouwd wordt, 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.

HoutKern®

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 realisatie en in de gebruiksfase. Dit betreft in het bijzonder de prestaties voor duurzaamheid (NO_x-uitstoot tijdens de realisatiefase, 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.

11.4 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 die worden vastgesteld op basis van de onderliggende bepalingsmethodes.

Met het parametrisch ontwerp, 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 planningssysteem 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 CO₂ (productie van grondstoffen/bouw materiaal) en NO_x (transport van en naar fabriek en materieel op de bouwplaats en vervoer van personeel). Biobased materiaal reduceert CO₂-uitstoot (of CO₂ 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 on-site assemblage van de HoutKern® modules zal mogelijk worden door de off-site 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_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' is berekend dat het bouw materiaal voor een modulaire houten woning 42% reductie van CO₂ emissie geeft ten opzichte van een woning met een traditioneel bouwsysteem.

Opgemerkt wordt dat bovenstaande emissiereductie per woning en per m³ 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^e 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 m² 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 m² 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 m² 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_x in de bouwfase en 630 kton CO₂ bij de productie van bouw materiaal.

In Q1 2022 is via een uitgebreide vragenlijst bij de partners geïnventariseerd 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_x-uitstoot, BENG, MPG, comfort en kosten (zowel CAPEX als OPEX). Deze KPI's omvatten dus de CO₂- en NO_x-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 voorbeeld gebouwen om zodoende het KPI-Dashboard praktisch bruikbaar te maken.

12. D2 – Industrieel bouwen met productplatforms

12.1 Beoogde uitkomst

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).

12.2 Partners

De volgende partners nemen deel aan dit deelproject:

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

12.3 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. 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.*

Het deelproject levert dus een aantal belangrijke resultaten op:

- **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).

Er wordt nog beoordeeld of er nog een uitbreiding op dit deelproject wordt aangevraagd. Die uitbreiding zal naar verwachting ingaan op de ontwikkeling van concrete methoden en technieken voor de ontwikkeling en implementatie van specifieke digital twin toepassingen bij modulair en industrieel bouwen. Deze uitbreiding zal vanzelfsprekend doorbouwen op de inzichten die in het huidige deelproject worden opgedaan.

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

12.4 Emissiereductie

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

Enerzijds 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.

13.03 – Samen versnellen naar HNN

13.1 Beoogde uitkomst

Nederland heeft hoge ambities op het gebied van circulaire economie: een 'volledig circulaire' economie in 2050, waarbij we in 2030 halverwege willen zijn. Onder meer in de bouwsector vraagt dat een enorme verandering in de manier van werken. Om die transitie te versnellen, is een eenduidige taal van groot belang. Dat vraagt om het uitwisselen van kennis en ervaringen.

Het doel van het project is het realiseren van een gedragen convenant tussen opdrachtgevers en opdrachtnemers in de bouwsector over 'Circulair bouwen als Het Nieuwe Normaal'. Dat we circulair bouwen als de nieuwe standaard gaan zien en gaan toepassen binnen de projecten en binnen de organisaties.

Om daar te komen werken we met dit project toe naar de volgende uitkomsten:

- Een gedragen inhoudelijk raamwerk voor circulair bouwen voor Gebied, Gebouw en Infra.
- Gedragen prestatieniveaus binnen het raamwerk die meegenomen kunnen worden in het proces van aanbesteding.
- Een markt brede feedback op het raamwerk wat moet leiden tot een overzicht aan (inhoudelijke) vragen en antwoorden.
- Inzicht in de manier waarop circulair bouwen geïmplementeerd kan worden binnen projecten en binnen de organisaties (procesmatig).

13.2 Partners

De roep om eenduidige taal is ontstaan bij de zes grote opdrachtgevers Rijkswaterstaat, Amsterdam, Utrecht, Den Haag, Rotterdam met de zes grote opdrachtnemers Dura Vermeer, Volker Wessels, Van Wijnen, BAM, Synchroon en Heijmans.

Het vaste HNN-kernteam voor de inhoudelijke en wetenschappelijke uitwerking bestaat uit de TU Delft, Copper8, Alba concepts, Metabolic, en Witteveen+Bos.

Initiatiefnemers van het programma zijn het Ministerie van BZK en Cirkelstad.

13.3 Samenvatting van het deelproject

Het project is een actiegericht onderzoek. Het zijn de projecten van de deelnemende partijen die domein van onderzoek zijn. De eigen projecten worden elk half jaar geëvalueerd. Op basis van deze praktijkkennis wordt inhoudelijk het raamwerk 'Het Nieuwe Normaal' opgezet en vervolgens geladen met prestatieniveaus. Het Nieuwe Normaal staat voor de minimale eis die je kunt stellen per indicator. Ook wordt een excellent niveau aangegeven voor projecten/partners die het maximale eruit willen en kunnen halen.

Voor het evalueren van projecten is een gestructureerde vragenlijst opgesteld en omgezet in een online module. De betreffende projectleiders vullen op basis van hun projectinformatie de online module in. Daarna volgt een evaluatiegesprek om de ingevulde data te valideren. Naast het uitvoeren van projectevaluaties halen we ook gericht data op in relatie tot de bepaalde indicatoren. Data-mining projecten vraagt om samenwerking met partijen die beschikken over een veelheid aan projectdata.

Met dit project werken we toe naar een referentie database van 500 geëvalueerde projecten om met vertrouwen zowel het inhoudelijke raamwerk als de prestatieniveaus vast te stellen. Naast de reeds betrokken opdrachtgevers en opdrachtnemers biedt dit project de gelegenheid om Nederland breed de markt te betrekken.

Het raamwerk voor circulair bouwen bestaat uit drie thema's. Het eerste thema gaat over 'materialen', hiermee is het aanvullend op reeds bestaande instrumenten in de bouwsector. Het tweede thema betreft de duurzame context welke impact heeft op het gebruik van materialen. Denk aan energie en water als zijnde stofstromen. Het derde thema gaat over de versnellers en barrières bij het implementeren van circulair bouwen. Denk hierbij aan de inzet van professionals en management afspraken. Het raamwerk wordt specifiek gemaakt voor Gebied, Gebouw en Infra.

Eind 2022 leveren wij de 0.4 versie op van HNN-raamwerk. Voor de zomer 2023 volgt de 0.5 versie en eind 2023 de eerste definitieve versie 1.0

Om ervoor te zorgen dat het convenant benaderbaar en toepasbaar is voor 'de markt', werken we in dit project ook het deelbaar maken van bouw-kennis (een opzetten van een vragenstructuur met antwoorden zodat circulair bouwen individueel toepasbaar is), van implementatie-kennis (wat zijn de barrières en versnellers om circulair bouwen in je project en je organisatie te implementeren) en referenties (projecten die goed scoren op binnen het raamwerk).

13.4 Emissiereductie

Aan de evaluatiemodule worden twee indicatoren toegevoegd, gericht op CO2 en NOx reductie. De CO2 indicator past binnen het cluster 'materialen'. De NOx indicator zal meegenomen worden binnen het cluster 'duurzame context'.

Het onderzoek zal geen directe reductie opleveren, maar:

- Het onderzoek brengt in beeld waar in het bouwproces de uitstoot plaatsvindt.
- Het onderzoek brengt in beeld welke bouw strategieën de meeste impact hebben bij het reduceren van de uitstoot. Specifiek wordt in dit project de drie bouwstrategieën 'biobased bouwen', 'industriële bouwen' en 'urban mined bouwen' uitgewerkt.
- Het onderzoek geeft aan hoe het proces van aanbesteding het meest effectief ingezet kan worden in relatie tot verminderen van uitstoot.
- Het onderzoek betreft een veelheid aan partijen om gezamenlijk het convenant te gaan tekenen (en dus impact realiseren in de praktijk bij o.a. uitstoot reductie).