

Kwartaalrapportage

Openbare rapportage Q1 2023 consortium industriële prefab bouw

Emissieloos bouwen

EMISSIELOOS BOUWEN

Openbare rapportage
Q1 - 2023

0110
1010
0011

Mario de Rooij
versie 1.0
13 juni 2023

Inhoud

1.	Algemeen	5
1.1	Inleiding	5
1.2	Ambities	5
1.3	Een integraal BTIC programma	6
1.4	Deeltraject 4 – Industriële modulaire prefab bouw	7
2.	M1 – (Circulaire) Biobased Materialen	9
2.1	Beoogde uitkomst	9
2.2	Partners	9
2.3	Samenvatting van het deelproject	10
2.4	Emissiereductie	12
3.	M2 – 2D gevelementen	14
3.1	Beoogde uitkomst	14
3.2	Partners	14
3.3	Samenvatting van het deelproject	14
3.4	Emissiereductie	15
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.	M4 – Next step in bouwen met stro	23
5.1	Beoogde uitkomst	23
5.2	Partners	23
5.3	Samenvatting van het deelproject	24
5.4	Emissiereductie	25
6.	M5 – Automatiseren houten knoop	27
6.1	Beoogde uitkomst	27
6.2	Partners	27
6.3	Samenvatting van het deelproject	28
6.4	Emissiereductie	28
7.	P1 - HoutKern®-bouw	29
7.1	Beoogde uitkomst	29
7.2	Partners	29
7.3	Samenvatting van het deelproject	29
7.4	Emissiereductie	31
8.	P2 - Van gietbouw naar prefab	32
8.1	Beoogde uitkomst	32
8.2	Partners	32
8.3	Samenvatting van het deelproject	32
8.4	Emissiereductie	34
9.	P3 – Next level prefab	36
9.1	Beoogde uitkomst	36
9.2	Partners	36
9.3	Samenvatting van het deelproject	37
9.4	Emissiereductie	40
10.	P4 – Fijn wonen	42
10.1	Beoogde uitkomst	42
10.2	Partners	42
10.3	Samenvatting van het deelproject	42
10.4	Emissiereductie	43

11.	P5 – Modulaire hoogbouw	45
11.1	Beoogde uitkomst	45
11.2	Partners	45
11.3	Samenvatting van het deelproject	47
11.4	Emissiereductie	49
12.	P6 – Industriële houtbouw	50
12.1	Beoogde uitkomst	50
12.2	Partners	50
12.3	Samenvatting van het deelproject	52
12.4	Emissiereductie	53
13.	P7 - 2D CLT Houtbouw	55
13.1	Beoogde uitkomst	55
13.2	Partners	55
13.3	Samenvatting van het deelproject	55
13.4	Emissiereductie	56
14.	P8 – Sustainer bouwsysteem	57
14.1	Beoogde uitkomst	57
14.2	Partners	57
14.3	Samenvatting van het deelproject	59
14.4	Emissiereductie	59
15.	P9 – Next step Startblock	61
15.1	Beoogde uitkomst	61
15.2	Partners	63
15.3	Samenvatting van het deelproject	64
15.4	Emissiereductie	65
16.	P10 – Opschaling HoutKern modules	66
16.1	Beoogde uitkomst	66
16.2	Partners	66
16.3	Samenvatting van het deelproject	66
16.4	Emissiereductie	67
17.	D1 – KPI dashboard prefab bouw	69
17.1	Beoogde uitkomst	69
17.2	Partners	69
17.3	Samenvatting van het deelproject	69
17.4	Emissiereductie	70
18.	D2 – Industrieel bouwen met productplatforms	73
18.1	Beoogde uitkomst	73
18.2	Partners	73
18.3	Samenvatting van het deelproject	73
18.4	Emissiereductie	74
19.	D4 – Emission-0	76
19.1	Beoogde uitkomst	76
19.2	Partners	77
19.3	Samenvatting van het deelproject	77
19.4	Emissiereductie	78
20.	O1 - Materiaalvraag woningbouw	79
20.1	Beoogde uitkomst	79
20.2	Partners	79
20.3	Samenvatting van het deelproject	79
20.4	Emissiereductie	81
21.	O2 - Toolbox emissiereductie bouw	82
21.1	Beoogde uitkomst	82

21.2	Partners	83
21.3	Samenvatting van het deelproject	83
21.4	Emissiereductie	85
22.	O3 – Samen versnellen naar HNN	86
22.1	Beoogde uitkomst	86
22.2	Partners	86
22.3	Samenvatting van het deelproject	86
22.4	Emissiereductie	87

1. Algemeen

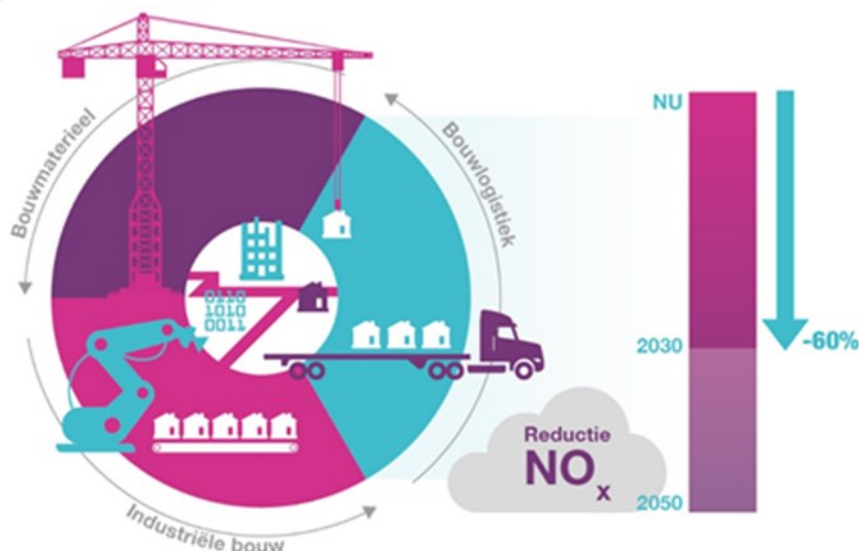
1.1 Inleiding

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. Als opstart heeft BTIC de regie over dit grootschalige onderzoeksprogramma, dat is getiteld 'Emissieloos Bouwen' gehad. Daar BTIC per 1 juli 2022 is overgegaan naar TKI Bouw en Techniek loopt Emissieloos Bouwen sinds die datum door onder het TKI Bouw en Techniek. Emissieloos Bouwen is onderverdeeld in 7 deeltrajecten. TNO geeft leiding aan het deeltraject Industriële Modulaire Prefab (IMP) in een zogenaamd 'adaptief consortium'.

In deze 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:

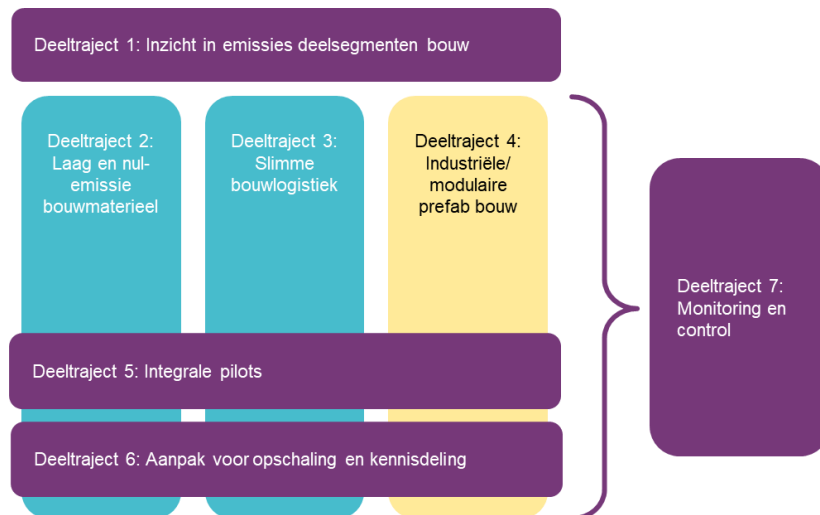
- 60% NO_x reductie ten opzichte van 2018 in het jaar 2030
 - 0,4 Mton CO₂ reductie ten opzichte van 1990 in het jaar 2030
 - 75% fijnstof (PM_{2,5} en PM₁₀) reductie ten opzichte van 2016 in het jaar 2030
- Het betreft hier emissies van het gehele bouwproces tot oplevering voor gebruik. Deze ambities 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.

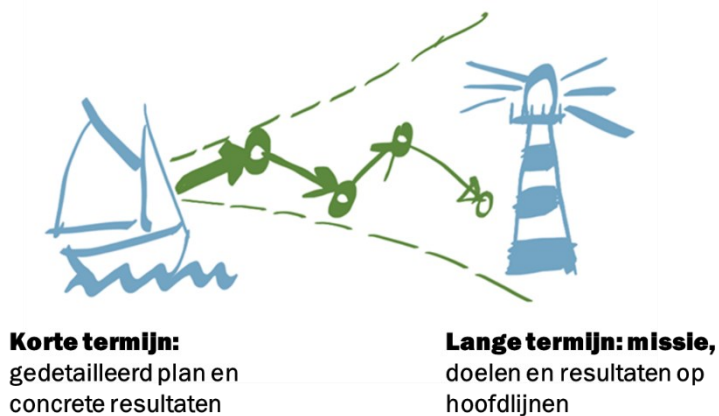
Op verzoek van het ministerie van BZK en het ministerie van IenW en in afstemming met het BTIC, de Groene Koers, het programmabureau van de Topsector Logistiek en de digiGO is besloten in te zetten op kennis- en innovatieprojecten rond **slimme bouwlogistiek** (deeltraject 3, via de Topsector Logistiek)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

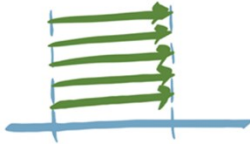
De stikstofproblematiek waarmee onder andere de bouwwereld wordt geconfronteerd, en waarvoor het BTIC programma 'Emissieloos Bouwen' antwoorden en oplossingen zoekt, creëert ongewone uitgangspunten. Het probleem moet worden opgelost, maar eigenlijk is voor de modulaire bouw momenteel slechts beperkte 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 1.2, te bereiken, is samenwerking tussen kennisinstellingen, bedrijven en overheden noodzakelijk. Gezien de urgentie van het stikstofprobleem is het bovendien nodig om een snelle start te maken met de uitvoering van het programma, zonder dat het totale programma al helemaal uitgedetailleerd is. Dit lukt alleen met verzekerde continuïteit, ook van financiële middelen, voor een adaptief consortium op basis van een programma met doelen en resultaten op hoofdlijnen, dat waar nodig kan worden bijgesteld naar de laatste inzichten. Het programma is daarmee zeer missie gedreven en adaptief.



Figuur 1.3 Programmaplan op hoofdlijnen en bijsturen op basis van voortschrijdend inzicht en aangescherpt zicht.

Juist om een snelle start te kunnen maken met het programma wordt ook de consortiumvorming anders georganiseerd dan te doen gebruikelijk is. In tegenstelling tot een klassiek consortium, zie Figuur 1.4A, wordt ingestoken op een flexibel en adaptief consortium, zie Figuur 1.4B. Partijen werken daarin samen in verschillende deelprojecten. De Programmamanager draagt er zorg voor dat de deelprojecten gezamenlijk leiden tot beantwoording van de kennisvragen, en dus tot realisatie van de doelstellingen. Deze manier van consortiumvorming zorgt er enerzijds voor dat er snel gestart kan worden, waarna opgeschaald kan worden naar een steeds groter groeiend netwerk van partijen. Anderzijds biedt een adaptief consortium ook de mogelijkheid om mee te kunnen bewegen met de bijstellingen van het programmaplan, zoals schematisch is weergegeven in Figuur 1.3.



A) Kissiek 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).
- De drie genoemde prototypes van machines worden in dit project gezien als geïntegreerd in een verwerkingsstraat.

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.
- 13 New Horizon Urban Mining B.V. (<http://www.newhorizon.nl>) voert demontage/sloop uit en past het geogste hout zo waardevol mogelijk toe, waar mogelijk geschikt voor CLT-productie.
New Horizon is als partner aan het project toegevoegd n.a.v. de uitbreiding in najaar 2022. Formele toetreding heeft begin januari 2023 plaatsgevonden.
- 14 Boerboom Hout B.V. (<http://www.boerboom.nl>) gaat investeren in een CLT-fabriek in Nederland en onderzoekt met New Horizon hoe sloophout verwerkt kan worden in CLT-panelen. Boerboom werkt daarbij aan het technische opwerkingsproces, beproeving en marktonderzoek.
Boerboom is als partner aan het project toegevoegd n.a.v. de uitbreiding in najaar 2022. Formele toetreding heeft begin januari 2023 plaatsgevonden.
- 15 Renewi Nederland B.V. (<http://www.renewi.nl>) profileert zich als een toonaangevend waste-to-productbedrijf door bij te dragen aan een duurzame samenleving. Renewi richt zich exclusief op het verkrijgen van waarde uit afval in plaats van het te verbranden of storten. Renewi is in Q1 2023 als partner tot het consortium toegetreden als vervanging van Derako en Buitenleven, die eerder besloten hebben alsnog niet toe te treden.

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, tot CLT aan toe. 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 tot toepassing.

De volgende activiteiten zijn en worden uitgevoerd:

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 geogost worden. Meer aandacht is nodig voor B-hout. Een inname- en scheidingsprotocol voor A- en B-hout is opgesteld en wordt bijgewerkt a.h.v. nieuwe informatie.

Informatie is verzameld over het potentieel van de jaarlijkse hoeveelheid A- en opgewaardeerd B-hout.

Status:

A) Inname- en scheidingsprotocollen voor de milieustraat en voor sloopbedrijven zijn weergegeven in flowcharts en gereed. Ze worden aangescherpt als er nieuwe informatie is. Met het aansluiten van New Horizon en Renewi zal hier nog een update op gedaan worden.

B) Een inschatting van de potentiële hoeveelheid A- en B-hout is eerder al gerapporteerd.

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, indien nodig i.s.m. een machinebouwer, in dezelfde verwerkingsstraat als de prototypes in WP3 en WP4.

Status:

A) Flowcharts maken inzichtelijk hoe scheiding (WP1) en imaging 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' met Röntgentoepassingen ('security-scanner' of een kleine CT-scanner) is beoordeeld voor geschiktheid voor deze toepassing. Deze apparaten kunnen opgenomen worden in een 'verwerkingsstraat'. Aan de koppeling van imaging naar daadwerkelijke uitvoering van de vervolgstap wordt gewerkt; dat is complex.

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, in dezelfde verwerkingsstraat als de prototypes in WP3 en WP4.

Status:

A) De specificaties van de verschillende bruikbare fracties hout, afhankelijk van de toepassing en de benodigde bewerking bij timmerbedrijven, zijn opgesteld.

B) Voor het sorteren en identificeren wordt een combinatie gebruikt van scannen met zichtbaar licht / laser (t.b.v. afmetingen en andere kenmerken) en wegen (t.b.v. de

dichtheid van het hele sample). De onder WP2 genoemde Röntgentoepassingen geven dan verdere detailinformatie over het binnenste.

Het scheiden van de houtfracties op kwaliteit zal in de praktijk vóór het verwijderen van metaal plaatsvinden, omdat de 'eindbestemming' in de meeste gevallen al bekend is. Eisen aan zo'n sorteermachine worden opgesteld. Bestaand contact met een machinefabrikant om bestaande robottechnologie hierop toe te passen moet nog opgevolgd worden.

C) Het ligt voor de hand om inlands of gebruikt hout toe te passen in gevels, maar dat wordt belemmerd door regelgeving m.b.t. de brandklasse en de noodzaak van brandproeven. Een studie is uitgevoerd naar mogelijkheden om toepassing van inlands of gebruikt hout in gevels te vereenvoudigen, dit i.v.m. regelgeving m.b.t. de brandklasse.

4 Opwerken tot producten voor timmerindustrie

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

Status:

Specificaties van halffabrikaten worden opgesteld als onderdeel van het gehele proces van ingenomen hout tot eindproduct (kozijnen, randhout/ spouwlaten, HSB-stijlen, regels, CLT-producten). De verdere opwerking van halffabrikaten is onderdeel van huidige normale processen, dus daaraan hoeven geen aparte eisen te worden gesteld. Onderzoek zal nog plaatsvinden naar kosten en de mogelijke businesscase. De intentie is om tot een beschrijving van de verwerkingsstraat te komen, die bestaat uit een combinatie van bestaande machines.

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.

Gedurende het project is er 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 opgevaardeerd 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;
- Hoe hoogwaardiger gebruikt hout hergebruikt kan worden (met CLT als één van de hoogwaardigste toepassingen), des te meer mogelijkheden er zijn voor her-hergebruik (cascade), waardoor het moment van degradatie / verbranding uitgesteld wordt;
- 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 Q1 is de levenscyclusanalyse (LCA) van de gelamineerde ligger van HEKO geheel afgerond. Deze zal worden opgenomen in de Nationale Milieu Database (NMD); daarna zal er een EPD worden opgemaakt die gedeeld kan worden. In Q1 zijn de EPD's van 3 celluloseproducten en 2 stroproducten opgemaakt, nadat in Q4 2022 de bijbehorende biobased LCA's waren opgesteld. De producten komen in de NMD. Hiermee zullen de biobased bouwproducten zichtbaarder zijn en aantoonbaar duurzamer.

In Q1 zijn nog twee LCA's afgerond, van een meubelpaneel van gemaaid gras en van kolommen gemaakt van industrieel afvalhout (CLT). Ook is gestart met het maken van een LCA voor productie van CLT uit sloophout.

In Q1 2023 is gestart met de analyse van de diverse LCA's.

In Q1 is het nog niet gelukt om te starten met het verwerken van de milieu data in de business case. Verwacht wordt dat dit volgt in Q2 2023.

3. M2 – 2D gevelementen

3.1 Beoogde uitkomst

Systeemontwerp en eerste serieuze productie 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.
- VORM
 - Specialist in vastgoed voor gebiedsontwikkeling, vastgoedontwikkeling, bouw transformeren, verduurzamen, renoveren en vastgoedonderhoud.
- 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 NO_x uitstoot.

3. Materieel:

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

Openbare resultaten

Detailering, opbouw en materialisatie van een demo/ proefopstelling zijn grotendeels vastgelegd. Als uitgangspunt zijn drie geveldelen uitgewerkt waarbinnen Webo, Helwig en Weekamp hun systeem en product innovaties geïntegreerd plaatsen.

Aan de hand van laatste afwegingen omtrent brandwerendheid, herkomst van materialen en certificeringen zullen laatste keuzes worden gemaakt.

Op basis van deze opbouw en materialisatie (variant 3) kan de LCA berekening met betrekking tot milieu impact worden opgesteld en met de overige varianten en berekeningen worden vergeleken.

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 NOx 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 bouw delen 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 geogst 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 4 'Deep dive':

Mechanische en bouwfysische testen zijn afgerond. In het TNO Bouwinnovatie Lab zijn UV- en vochttests in relatie tot veroudering en sterkte gedaan. Daarnaast zijn van twee wandopbouwen (stro en hennep) testen op elementniveau uitgevoerd waarbij de prestaties van woning scheidende wanden in relatie tot geluidsisolatie is onderzocht.

WP6 - Impact assessment: NO_x en CO₂ emissies

Het opstellen van de indicatieve LCA's per producent is afgerond. Alle data is verzameld en is gekoppeld aan relevante milieu profielen uit de ecoinvent database en de NMD. Een indicatieve LCA is bedoeld om de producent meer inzicht te geven in waar in het productie proces het zwaartepunt van de emissies liggen. Dit geeft inzicht om te kunnen sturen op de verdere productontwikkeling (samenstelling van producten) en op de opschaling (efficiency van proces).

WP7 – Communicatie: Plan C, expo beyond building

In februari en maart 2023 is The Exploded View voor de derde keer opgebouwd. Dit keer was de bouw in handen van een nieuwe partner, Sidati.

The Exploded View is tot en met oktober 2023 te zien en te beleven op Kamp C. Dit is het Centrum voor Duurzaamheid en Innovatie in de Bouw van Vlaanderen (België). Eerder lieten zij in Westerlo als eerste in Europa een huis van twee verdiepingen uit een 3D-betonprinter rollen en het meest circulaire kantoorgebouw van de Benelux op te trekken.

The Exploded View Beyond Building is vanaf het begin gedragen door zo'n 150 pioniers op het vlak van duurzaam bouwen. Bij deze derde presentatie zetten nieuwe lokale partners hun schouders onder het project. Lokaal bouwbedrijf Sidati heeft het grootste deel van de opbouw op zich genomen. Nog wel geholpen door de bouwers van het eerste uur van Caspar de Haan, Hurks en WAM & Van Duren bouwgroep. Al tijdens de afbraak op de Floriade (november 2022) was Sidati meegenomen in constructie en bouw van The Exploded View. Zo werd op een praktische manier kennis gedeeld.

Voor de presentatie op KampC zijn ook nieuwe materialen te zien. Van Acoustix, Isohemp, Arte Constructo, Wienerberger, Buurman, Bio-Home, Woodinc, Muurtoen en Eurabo.

Andere partners zijn Design Museum Gent en Colruyt Group. Design Museum Gent presenteert in de demowoning in Westerlo circulaire en bio gebaseerde design trajecten die later een toepassing krijgen in de nieuwe vleugel van het museum, DING genaamd. Deelnemende ontwerpers zijn Onbetaalbaar x Orineo x The New Makers x Biobased Creations, Studio Plastique, Circular Matters x Biobased Creations, Pauline Esparon en BC Materials.

Colruyt Group wil als organisatie een positieve impact teweegbrengen op ecologisch en sociaal vlak. In het Vakcentrum Duurzame Bouwmaterialen onderzoeken ze per materiaalsoort en per toepassing verschillende paden om de milieu-impact ervan te verbeteren. Tegelijkertijd onderzoekt het R&D&I Food Team hoe men biogebaseerde reststromen hoogwaardig kan inzetten.

The Exploded View werd 31 maart in het bijzijn van Vlaamse en Nederlandse partners geopend en sindsdien open voor publiek.



Figuur 4.1 Impressie The Exploded View, bij Kamp C - exterieur



Figuur 4.2 Impressie The Exploded View, bij Kamp C - exterieur



Figuur 4.3 Impressie The Exploded View, bij Kamp C - interieur

5. M4 – Next step in bouwen met stro

5.1 Beoogde uitkomst

We beogen met de ontwikkeling van geïntegreerde, geprefabriceerde wanden van constructieve stro- elementen samen met de opschalingsaanpak en (technische)validatie een structurele vergroting emissieloos bouwen met stro-based bouw materiaal. De opschalingsstrategie zal gebaseerd zijn op validatie van marktpotentie bij projectontwikkelaars en woningcorporaties en op de haalbaarheid van opschaling van lokale productiefaciliteit. Het betreft prefab gevelsegmenten en woning scheidende wanden op basis van constructieve EcoCocon elementen. Een digitaal systeem wordt ontwikkeld voor het bestelproces en het productieproces. In een fabriekshal ontwikkelt en assembleert Van Herpen bouw onder geconditioneerde omstandigheden prototype gevelsegmenten (voor, achter- en langsegevels en achtergevels) en nul-serie gevelsegmenten. Van Herpen bouw produceert off-site. Twee mogelijke routes voor opschaling wordt verkend in marktonderzoek:

- de prefab gevels aanbieden aan aannemers en bouwende partijen
- het ontwikkelen van gestandaardiseerde woningen.

De resultaten van het marktonderzoek en validatie middels klantenevents, beeldmateriaal en presentatie op een of meerdere beurzen vormen input voor de te volgen strategie.

Met een demogebouw met 3 bouwlagen en een rijwoning worden ontwikkelde gevelsegmenten geassembleerd. TNO monitort de relevante KPI's in de productiefase en in de realisatie van het gebouw en gebruiksfase en voert diverse tests uit op deze KPI's.

Resultaat:

- Ontwerp en productie van geïntegreerde 2D-prefab gevels van EcoCocon stro-elementen en houten kozijnen.
- Demogebouw voor de gevels met drie bouwlagen
- Validatie en opschalingstrategie
- Rapportage m.b.t. (1) vermeden CO₂-uitstoot door bouwen in stro, (2) CO₂- opslag in het materiaal (3) reductie van NO_x- reductie door bouwwijze met prefab en geïntegreerde gevels van stro elementen.

5.2 Partners

Gebroeders van Herpen BV

Gebroeders van Herpen heeft al vele jaren ervaring met nieuwbouw van woningen en utiliteitsgebouwen en renovatie/onderhoud. Het bedrijf heeft een eigen timmerfabriek met een modern machinepark, waar kozijnen, ramen, deuren en prefab-wanden worden geproduceerd. Kennis van prefab bouw; en partners ontwikkeling Natuurhuis. Doorontwikkeling van geïntegreerde wanden van o.b.v. stro-elementen.

Strotec

Met Consortium winnaar van Natuurhuis, uitvraag Ballast Nedam naar toekomstige eengezinswoning. Doel: *opschalen* strobouw door ontwikkeling van biobased bouwconcepten, geïntegreerde prefab 2D-gevelsegmenten en demonstratie van geschiktheid van stro voor reguliere W&U-bouw.

TNO

TNO heeft kennis van verduurzaming gebouwde omgeving en 'krachtveld' vanuit overheid. TNO brengt constructieve-, bouwkundige en bouwfysische kennis, kennis van impact assessment, regelgeving en normering, WKB en brandveiligheid en prefab-fabrieksinrichting in.

Uitbestedingsrelaties

Holland Houtland

Adviesbureau dat zich richt op Het opschalen biobased bouwen door prefab aanbod te vergroten van concepten en componenten. Kennis van de markt van biobased bouwen, opdrachtgevers en 'krachtveld' van ontwikkelaars en bouwers om versnelling te realiseren, kennis financiële markt. Projectsturing, marktonderzoek, ontwikkelen opschalingsaanpak en (communicatie)strategie.

EN|EN architecten

Architecten met kennis van ontwerpen met EcoCocon panelen. Ontwerp van DO en TO van de gevelsegmenten, inclusief de aansluitdetails, mede- design bestelproces en ontwikkeling werkprocessen fabriek.

K+Adviesgroep

Advies op installatietechniek bij ontwerp, levering en installatie van E&W installatie voor prefab-elementen en demo-gebouw

5.3 Samenvatting van het deelproject

Next step bouwen in stro is een TRL-7/8 project we richten ons op de versnelling om een prototype van 2D-gevelelementen en woning scheidende wanden in pilot te brengen (TRL7) naar een compleet gecertificeerd systeem(TRL8).

Basis van het concept is de jas van het gebouw met gevels van constructieve, prefab snelbouw elementen gevuld met geperst stro. Die gevels zorgen voor optimale isolatie, een gezond binnenklimaat, zijn cradle to cradle, CO₂ en stikstofvrij in de productie en slaan CO₂ op (ca 100kg p/m²).

Resultaten zijn zowel een beschrijving en test van het productieproces van 2d-gevelsystemen voor ontwikkeling van prefabricage van dit gevelsysteem op grote schaal. Met een demo-gebouw als prototype en de gevelsystemen (volledige kozijnpuien) voor 8 rijwoningen in drie lagen. Ondersteunend zijn de totale architectonische processen, de werkprocessen in de fabriek, het digitale bestel en productieproces en voor levering en de assemblage. Ook testen op de relevante KPI's (Constructief, bouwfysisch en brandveiligheid) voor certificeren.

Markt

Marktacceptatie om de nieuwe potentiële ketenpartners, opdrachtgevers en gebruikers tijdens deze prototype fase uit te nodigen en te informeren over de behaalde resultaten. Hiermee wordt de afzet van de opschaling gerealiseerd en draagvlak bereikt voor het wonen in een huis van stro.

Opschalingsaanpak

Met het winnen van de competitie van Natuurhuis van Ballast Nedam is het consortium gelukt om een ontwerp voor de reguliere woonmarkt te ontwikkelen. De realisatie van gepre-assembleerde, complete gevelsegmenten voor het prototype en een regulier woningbouwproject met 2 woonblokken van 4 woningen bieden het brede spectrum voor

de ontwikkeling van de opschalingsaanpak en een bouwplanning (zie bijlage B) naar de productie van 2.000 woningen per jaar na 2023.

Communicatie

In onze communicatiestrategie richten we ons op de zichtbare promotie van prefabgevels voor klanten en ketenpartners om de marktacceptatie van biobased, circulaire en emissie-reducerende systemen te bevorderen.

5.4 Emissiereductie

De bijdrage van de bouwsector aan de stikstofuitstoot bestaat uit drie onderdelen:

- **Materiaal: Bouwindustrie-gerelateerd:** emissies vanuit grondstoffenwinning en de productie van bouwmaterialen; Voor de bewerking van stro en hout tot 2Dgevelpanelen is geen stikstofuitstoot zoals bijvoorbeeld bij staal of steenwol omdat de grondstof in dezelfde vorm tot materiaal wordt gevormd, zonder extra bewerkingslagen.
- **Mobiele werktuigen tijdens het bouwproces;** door prefabricage in de fabriek zijn geen stikstof emissies op de bouwplaats. De fabriek is volledig stikstofvrij te realiseren. De productie van de gevels is in een gecontroleerde industriële omgeving.
- **Bouwlogistiek:** door prefabricage zullen de gevels eenvoudig geassembleerd worden op de bouwplaats. De gevels zijn 6,25 keer lichter dan bijvoorbeeld betongevels (+/- 80 kg. t.o.v. 500kg per m²). Daardoor is ook op het transport naar de bouwplaats stikstof reductie te realiseren.

Bijdrage aan 60% NO_x reductie ten opzichte van 2018 in het jaar 2030:

- Het stro is nu een bijproduct van de graanproductie. De stikstofuitstoot bij de productie betreft alleen het transport van de akker naar de fabriek van de EcoCocon panelen. De teelt is zo dicht mogelijk bij de fabriek.
- De productie van de EcoCocon panelen is met alleen elektrisch gereedschap, op duurzaam opgewekte elektriciteit.
- Dit geldt ook voor de productie van de prefab gevels
- Net als bij de productie van de EcoCocon panelen, blijft de stikstofuitstoot beperkt tot de uitstoot bij het transport van de prefab geveldelen. Middels een LCA berekening bepalen we wat de resterende stikstofuitstoot is.
- Door het gebruik van prefab gevels, wordt veel bouwverkeer van en naar de bouwplaats voorkomen. Zoals van de diverse leveranciers voor grondstoffen en materialen voor traditionele gevels en de afvoer van afvalmaterialen. Tijdens het project meten we de reductie van de transport bewegingen t.o.v. traditionele bouwsystemen.

CO₂ footprint

De prefab gevel is grotendeels van stro, een snel hernieuwbaar biobased bouw materiaal, met een grote CO₂ opslag. Voor de prefab 2d-gevel berekenen we voor diverse afwerkingsmogelijkheden de CO₂ uitstoot en opslag met behulp van een rekentool. Om diverse groottes, afwerkingen en indelingen door te rekenen. We berekenen wat de meerjarige opslag van CO₂ is. Door de levensduur van 100 jaar aantoonbaar te maken van de bouwelementen, verdient het zelfs in de huidige LCA-berekeningssystematiek veel credits. Naast de CO₂ opslag berekenen we ook de vermeden CO₂-uitstoot.

De beperking van bouwverkeer van en naar de bouwplaats zal een additionele verlaging geven van de CO2 uitstoot. Uiteraard wordt de totale CO2 uitstoot niet alleen door de gevels bepaald. Het woningtype "Ons Natuurhuis" heeft als compleet gebouw een forse CO2 opslag in plaats van uitstoot. Duizend "Ons Natuurhuis" woningen schelen ongeveer 0,13 Mt CO2 uitstoot. Door het energieleverende karakter van deze woningen stijgt dit getal in de loop der jaren.

6. M5 – Automatiseren houten knoop

6.1 Beoogde uitkomst

Traditioneel en ambachtelijk geproduceerde houtverbindingen en houten knooppunten zijn meestal homogene constructies, welke zonder toepassing van energie-intensieve grondstoffen zoals staal en kunststoffen, homogeen (allen hout) worden uitgevoerd. In de moderne gedeeltelijk geautomatiseerde prefab-houtbouw worden houten halffabricaten met behulp van stalen pennen en kunststof tot slisverbindingen of pen-gat verbindingen met elkaar in verband gebracht. Voor zware constructies met hoge constructieve eisen kan de hoeveelheid toegepast staal per verbinding meerdere tientallen kilo's bedragen. De toepassing van staal en kunststof verhoogd, door de tijdens de productiefase vrijkomende CO2 en NOx emissies, de milieu-impact van de constructie. De toenemende mate van digitalisering in de bouw en de toepassing van geautomatiseerde houtbewerkingstechnologieën, zoals CNC frezen, veroorloven een adoptie van homogene houtverbindingen.

Het project levert drie specifieke uitkomsten op:

1. Voor de meest voorkomende verbindingen en knooppunten in de (woning)bouw worden minstens twee homogene alternatieven ontwikkelt, fysisch getest en prototypisch automatiseert geproduceerd.
2. Er wordt een ontwerp voor een doorlopende dataverwerkingsketen opgeleverd. Het ontwerp houdt rekening met in het veld toegepaste tools en dataformaten. Verder wordt een rapportage opgeleverd, waarin de testresultaten t.b.v. het faciliteren van een geautomatiseerde productie worden weergegeven.
3. Er worden lesmodules en onderwijsmateriaal voor relevante opleidingen voor het beroepsonderwijs (MBO, HBO en WO) opgeleverd. Gezamenlijk representeren de modules een doorlopende leerlijn.

6.2 Partners

Dit deelproject wordt door een consortium van 15 partners bewerkt. Zie onderstaand een lijst met alle consortiumleden.

Pos.	Naam
1	Adema Architecten
2	De Groot Vroomshoop
3	Dura Vermeer, Hengelo
4	Gooskens Hout BV
5	MK Houtbouw
6	ReintenInfra
7	Sanger IBTC
8	Stichting Hout Research (SHR)
9	Stichting Pioneering
10	Oude Hengel (D)
11	Aannemersbedrijf Koningsstijl
12	Stichting RIBO
13	ROC van Twente
14	Hogeschool Saxion
15	Universiteit Twente

6.3 Samenvatting van het deelproject

In het eerste kwartaal is er een eerste opzet/ inventarisatie gemaakt van mogelijke traditionele verbindingen en knooppunten. Daarover zijn gesprekken gevoerd met diverse consortiumpartners die bijdragen aan WP1 zitten en externen.

Er zijn een aantal bijeenkomsten geweest:

- Woensdag 11 januari 2023 is er bij De Groot Vroomshoop een bijeenkomst geweest met de werkpakket leiders. Er is een planning en een inhoudelijke start gemaakt. Naar aanleiding van deze vergadering zijn gesprekken met experts gevoerd om te achterhalen welke verbindingen veel toegepast worden en of gewenst zijn. Uit deze gesprekken is een groslijst ontstaan met mogelijke kansrijke traditionele verbindingen en knooppunten. Zie bijlage 1.
- Donderdag 30 maart 2023 heeft de formele project Kick-off bij Gooskens Hout in Helmond plaatsgevonden. 13 van 15 projectpartners waren aanwezig. Tijdens de break-out sessies is de groslijst besproken. Er is flink gediscussieerd over de verbindingen en in hoeverre deze verbindingen met de CNC gemaakt kunnen worden. In de keuze die gemaakt moet worden zitten we midden in. Tijdens de bijeenkomst is duidelijk geworden dat sommige van de voorgestelde verbindingen nu nog moeilijk op de CNC te maken zijn, maar het verdient de aanbeveling dat er gereedschappen gemaakt worden zodat deze bewerkingen wel uitgevoerd kunnen worden.
- Ook is besproken de toepassing van gebruikt hout bij het maken van verbindingen. Gebruikt hout zal een vlucht nemen en wordt toegepast bij het project Stichting RIBO bij uitbreiding werkplaats. De toepassing van gebruikt hout heeft een extra bijdrage aan de emissie reductie. In de gesprekken met partners in WP1 is in de bouw van RIBO al gekozen voor het toepassen van traditionele verbindingen en knooppunten die met cnc gefabriceerd zijn.
- In gesprekken met houtbouwers en constructeurs zijn we al voor de nodige vraagstukken komen te staan en uiteindelijk een oplossing gekozen die mogelijk in de resultaten van WP1 toegepast kunnen worden. Duidelijk is geworden dat bij de keuze van de partners er duidelijk andere vraagstukken en andere inzichten zijn waardoor er een levendige discussie komt.
- Daarnaast leren de instellingen van wat er speelt in het bedrijfsleven. Instellingen kunnen vraagstukken wetenschappelijk benaderen en anderen vanuit de praktijk. Zo komt er een mooie koppeling tussen ontwerp en uitvoering. Samenwerken in de keten. MBO HBO WO. Het eerste kwartaal is afgesloten met een interessante kick off en goede inbreng van de consortiumleden. Dit biedt handvatten om de groslijst met de mogelijke verbindingen en knooppunten verder te concretiseren.

6.4 Emissiereductie

De verwachting is dat er met nieuwe verbindingmogelijkheden die minder tijd kosten qua voorbereidende werkzaamheden maar wel steviger dan bestaande verbindingmogelijkheden zijn moet het nog makkelijker en nog snellere de introductie van hoogbouw met hout gerealiseerd kunnen worden. Met het gebruik van homogene hout verbindingen en knooppunten verwachten de consortiumleden de NOx emissies van in hout aanlegde woningen van ca.1.5 kg NOx per woning om verdere 20% te reduceren.

7. P1 - HoutKern®-bouw

7.1 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.

7.2 Partners

- **TNO** (tno.nl)
Kennisinstituut
- **Noordereng Groep** (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/)
Off-site productie van de HoutKern® modules en andere houten onderdelen van de te assembleren gebouwen
- **Lomans** (lomans.nl/)
Installatiebedrijf en toeleverancier van geïntegreerde, geprefabriceerde inbouwelementen
- **DWA** (dwa.nl/)
O.a. duurzaamheidsadvies
- **Hedgehog** (hedgehogcompany.nl/)
Duurzaamheidsberekening en optimalisering van producten en processen voor emissiereductie en – rapportage

7.3 Samenvatting van het deelproject

Nederland wil in 2050 een circulaire economie zijn. De bouw wordt geacht hieraan bij te dragen.

Hoe kunnen we ervoor zorgen dat er zo snel mogelijk emissiearm of zelfs emissieloos gebouwd gaat worden en daarnaast het aantal nieuwbouw woningen dat per jaar gebouwd significant verhogen?

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.

7.4 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 NOx in de bouwfase. Benchmark van het RIVM is 3 kg NOx per woning voor de aanlegfase. HoutKern woningen zullen gerealiseerd kunnen worden met 1,4 kg NOx 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 NOx 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 NOx zal plaatsvinden bij transport en onsite assemblage tot gebouwen.
- De inbouw elementen zoals de natte cellen en kant-en-klaar keukens zullen in de fabriek worden geplaatst. Digitalisering gekoppeld aan BIM en aansturing van de productielijn zal afval en faalkosten minimaliseren.
- Verwacht mag worden dat dit – bovenop de eerder genoemde emissiereductie – resulteert in 20% - 30% efficiencyverbetering en evenzo grote reductie van NOx-emissie.

8. P2 - Van gietbouw naar prefab

8.1 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.

8.2 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.
- **ENCI** is een Nederlandse leverancier van cement en is onderdeel van de internationale grondstoffenleverancier Heidelberg Cement.
- **Cugla** is een Nederlandse leverancier van hulpstoffen voor de productie van beton.

8.3 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

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

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

beton productie. De huidige emissies van industriële prefab betonproducten worden nu vooral (55%) door beton veroorzaakt en de betrokken consortiumpartijen maken dan al gebruik van een nieuw snel uithardend mengsel met hoogovenslak in plaats van de standaard hoge-emissie Portlandcement (CEM I).

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

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

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

- Afgevangen fijnstof bij de verwerking van steenachtig bouw- en sloopafval, de zogenaamde fijne 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. De geselecteerde mengsels resulteren in een lagere milieu-impact dan de huidige reguliere prefab mengsels voor vloeren en wanden. Daarnaast presteren deze mengsels vergelijkbaar als de huidige groene referenties van beide producenten, maar dan zonder gebruik van de schaarser wordende hoogovenslakken.
- Deze mengsels worden nu uitgebreid gevalideerd voor de wanden en vloeren toepassing. Daarvoor worden inmiddels praktijktesten uitgevoerd waarbij de mengsels op fabrieksschaal worden toegepast.

8.4 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.

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

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.

9. P3 – Next level prefab

9.1 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.

9.2 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.

9.3 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	Demonteren 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. In alle werkpakketten worden activiteiten uitgevoerd gedurende de hele projectperiode.

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.

Status: De verkenning is gezamenlijk uitgevoerd. Dit heeft geleid tot indicatoren (KPI's) die in WP8 meegenomen zullen worden in de prestatiemeting en tot een PVE.

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.

[Status:](#) Het ontwerp van de EGW als doorontwikkeling van de eerdere Premodu-woning is in concept gereed, zodanig dat de elementen van de woning als proef kunnen worden geproduceerd in de fabriek (WP3) en vervolgens gebouwd op het terrein van Emergo (WP6). Gestart is met het evalueren van het ontwerpproces. Ook is gestart met het onderzoek naar verdere toepassing van biobased materialen.

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.

[Status:](#) Als proefproject zijn Premodu-elementen in de fabriek geproduceerd en geplaatst op Emergo-terrein (prototype). Tekeningen, efficiëntie, logistiek, werkinstructies etc. zijn getoetst en het werkproces gemonitord. Gestart is met het definiëren van optimalisaties.

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.

[Status:](#) Het sloopprotocol, gericht op de sloop- en nieuwbouwlocatie in Tricht, is opgesteld, gericht op het oogsten van zoveel mogelijk materiaal voor hergebruik. Dit protocol wordt als uitgangspunt genomen voor andere toekomstige sloopprojecten. De sloop in Tricht is ingezet; gestart is met het definiëren van optimalisaties.

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.

[Status:](#) Het ontwerp van de perceelinrichting is nagenoeg gereed. Voor het hergebruik van materialen in/op het perceel is een plan gemaakt, waarvan een deel in uitvoering is.

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.

[Status:](#) Het proefbouwproject op het terrein van Emergo is uitgevoerd. Tekeningen, efficiëntie, logistiek, werkinstructies etc. zijn getoetst en het on-siteproces is gemonitord. Gestart is met het definiëren van verbetermogelijkheden met het oog op de bouw van de Premodu-woningen in Tricht (en latere projecten).

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.

[Status:](#) Voor een proefproject in Oss is een analysemodel gemaakt voor het energiegebruik en de energiebronnen: PV-panelen en windwakkels, gekoppeld aan een batterijsysteem van Green Hybrids. Metingen van temperatuur en energiegebruik zijn nog niet gestart door leveringsproblemen van de sensoren (start is nu begin april).

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.

[Status:](#) De KPI's zijn in WP1 gedefinieerd; monitoren a.h.v. de KPI's is gestart. De casus is het sloop-/nieuwbouwproject in Tricht. De planning is nu dat de woningen in Q4 2023 gebouwd worden, dus gebruiks- en gebruikersprestaties zullen naar alle waarschijnlijkheid niet gemonitord kunnen worden binnen dit project.

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.

[Status: Een inventarisatie van de emissies is gemaakt, de scope is bepaald en monitoring van het proces \(a.h.v. de KPI's\) is gestart.](#)

[De Slim Slopen Tool wordt niet verder ontwikkeld \(zie vorige rapportage\).](#)

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.

[Status: De samenwerking is goed; afstemming is goed ingeregeld, inhoudelijke sessies / werkbezoeken vinden plaats.](#)

9.4 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.

10. P4 – Fijn wonen

10.1 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.

10.2 Partners

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

10.3 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.

10.4 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 3 woningen met traditionele bouw;
- 2 realiseren van de 8 Fijn Wonen demonstratie woningen met de standaard assemblage-methode;
- 3 realiseren van de 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 bouw materieel. Dit betreft zowel het uitvoeren van het transport van bouwdelen van de fabriek naar de bouwplaats als het assemblageproces.

11. P5 – Modulaire hoogbouw

11.1 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



11.2 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	Problemeigenaar, 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	VGG	Advies	Onderzoek levencycluskostenanalyse WP1 en WP2	Hans van Voorden, h.vanvoorden@vgg.nl
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@woodencity.nl
Johan Cruijff ArenaA	JCA	Locatie	Kavel 16 als proefproject inbrengen vanuit Amsterdam	Sander van Stiphout, S.van.Stipout@johancruijffarena.nl
Gemeente Rotterdam	GR	Overheid	Zetelen in kerngroep, tech-transfer en kennisuitwisseling WP5	Sabina van der Spek, s.vanderspek@rotterdam.nl
Gemeente Utrecht	GU	Overheid	Zetelen in kerngroep, tech-transfer en kennisuitwisseling WP5	Johan Boterenbrood, j.boterenbrood@utrecht.nl
Gemeente Den Haag	GDH	Overheid	Zetelen in kerngroep, tech-transfer en kennisuitwisseling WP5	Robin van Schaik, robin.vanschaik@denhaag.nl
BPD Gebiedsontwikkeling	BPD	Industrie	Zetelen in kerngroep	Sladjana Mijatovic, s.mijatovic@bpd.nl

Naam deelnemer	Kort	Type organisatie	Rol en expertise in project	Contactpersoon
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
ALBA	Alba	Advies	Zetelen in kerngroep	Marije Kamphuis, marije@albaconcepts.nl

11.3 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 bouw 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 bouwhubs 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.

11.4 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 bouw hubs (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.

12. P6 – Industriële houtbouw

12.1 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.

12.2 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.

PLEGT-VOS

Plegt-Vos is niet zomaar een bouwbedrijf. Wij willen van waarde zijn voor de wereld om ons heen. Echt iets voor mensen betekenen. We ontwikkelen, bouwen en verbeteren & verduurzamen woningen en appartementen. Dit doen we voor bewoners, ontwikkelaars, beleggers, woningcorporaties, gemeenten en zorginstellingen door heel Nederland.

Plegt-Vos is altijd op zoek naar slimme bouwsystemen die toegevoegde waarde leveren aan mens en maatschappij. We zijn constant aan het leren wat onze impact is: op mensen en op ons milieu en omgeving. We concluderen dat we verder moeten kijken dan wat we al kennen. Voor Plegt-Vos is bouwen met houten elementen niet nieuw. Plegt-Vos is al langere tijd actief bezig om door middel van industrialisering het arbeiders tekort,

woning tekort en oplopende bouwprijzen te bestrijden. In Langeveen produceren we al meerdere jaren houten gevels, daken en binnenwanden aan het produceren. In Almelo staat de nieuwe productielocatie waar houten gevelelementen volledig geautomatiseerd geproduceerd gaan worden.

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

Om een snelle haalbare schaal voor de industriële productielijn te krijgen richten we op hoogbouw en laagbouw, die door dezelfde industriële productielijn geproduceerd worden. Daarmee halen we hogere productievolumes.

De impact van op grote schaal houten woningen en appartementen bouwen is enorm. Bij de geprognosticeerde productieaantallen die als basis dienen voor een efficiënt productieproces gaat dit een reductie opleveren van 29 tot 78 ton per jaar. Over de opstartperiode van 5 jaar gaat dit 252 ton stikstof elimineren.

TNO

TNO verbindt mensen en kennis om innovaties te creëren die de concurrentiekracht van bedrijven en het welzijn van de samenleving duurzaam versterken. Vanuit negen units wordt gewerkt aan grote maatschappelijk thema's zoals gezondheid, veiligheid, mobiliteit, circulaire economie en energietransitie. Met ongeveer 3600 medewerkers realiseren wij een omzet van circa € 540 miljoen per jaar.

In het kader van optredende emissies werkt TNO o.a. op de terreinen mobiliteit, scheepvaart en bouw. Op al deze terreinen zijn we actief in het vaststellen van de optredende emissies en het samen met partners identificeren, ontwikkelen en implementeren van innovaties om deze emissies te reduceren.

TNO heeft in dit project een ondersteunende rol door te adviseren op het gebied van emissies, conceptuele houtbouw systemen en robotisering. Als toonaangevende kennispartij gaan zij dit project helpen in goede doordachte oplossingen en de overige partijen triggeren in de nieuwe oplossingen en deze oplossingen valideren.

WoonAEffect

WoonAEffect investeert in woningen voor de verhuur aan particulieren voornamelijk in het geliberaliseerde segment met een huur vanaf ca. € 765,= per maand. Wij willen zorgen voor meer balans in de woningmarkt door het ontwikkelen en exploiteren van comfortabele en passende woningen voor de doelgroep. Centraal staat het woongeluk van onze huurders en wij verbinden hun woonwensen met onze slimme oplossingen. Met onze woningen willen we bijdragen aan een duurzame, circulaire en gezonde samenleving. WoonAEffect investeert landelijk en met een lange termijn perspectief.

Emissieloos bouwen moet bijdragen aan een prettige samenleving, waarin sociale cohesie onmiskenbaar is. Een passend aanbod is hierin cruciaal.

WoonAEffect is opdrachtgever van één van de pilot projecten. Vanuit haar rol als opdrachtgever geeft WoonAEffect ons feedback tijdens het realiseren van het pilot project en de ontwikkeling van de twee nieuwe bouwsystemen.

DeltaWonen

Woningcorporatie DeltaWonen is eigenaar van ongeveer 14.000 verhuurbare eenheden in Zwolle, Kampen en Oldebroek. Als grootverbruiker van energie én als ontwerper/bouwer van de leefomgeving van de toekomst spelen wij een sleutelrol in het creëren van duurzame buurten, het aanjagen van duurzaam gedrag en het maken van duurzame keuzes. Wij bouwen, verhuren en beheren passende huizen voor onze klanten in elke levensfase en leefsituatie. Wij streven naar een inclusieve samenleving waarin iedereen meetelt. Samen met bewoners en ketenpartners gaan wij voortdurend voorop in het creëren van sterke, inclusieve en circulaire wijken en buurten. DeltaWonen levert een bijdrage aan dit project omdat het samen met haar partners wil werken aan de circulaire bouwconomie, met als eerste stip op de horizon: 80% circulair bouwen in 2030. De doelstellingen van dit project zullen hieraan bijdragen.

DeltaWonen is een woningcorporatie waarvoor een pilot project wordt uitgevoerd. Vanuit het pilot project 29 grondgebonden woningen zal DeltaWonen feedback geven op het pilotproject en het ontwikkelde bouwsysteem, zodat in de ontwikkeling van emissieloze bouwsystemen ook de gebruiker een belangrijke plek krijgt.

12.3 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.

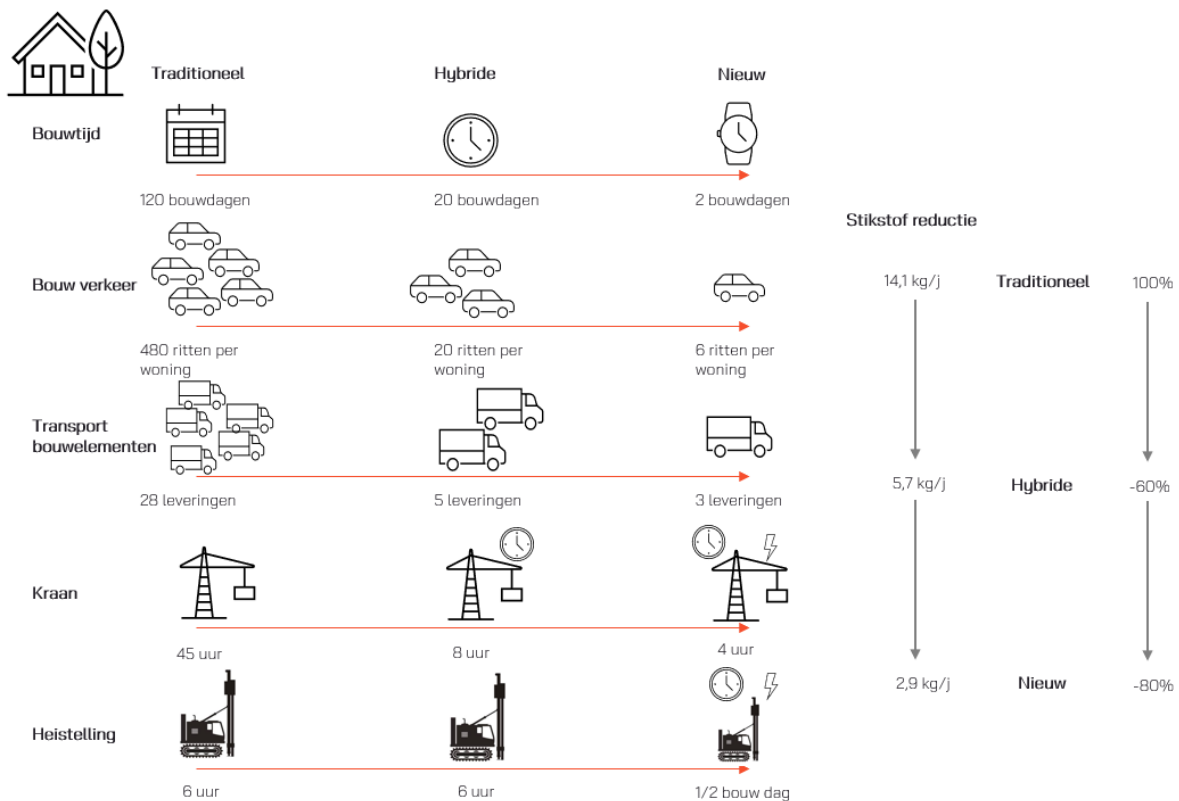
Doel van het project om voor grondgebonden woningbouw en gestapelde bouw een nieuwe constructie te ontwikkelen uit hout die industrieel vervaardigd kan worden om de stikstof emissie te verlagen met 60%, 0,4 Mton CO₂ reductie en 75% minder fijnstof. De nieuwe constructie in hout moet lichter zijn dan 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.

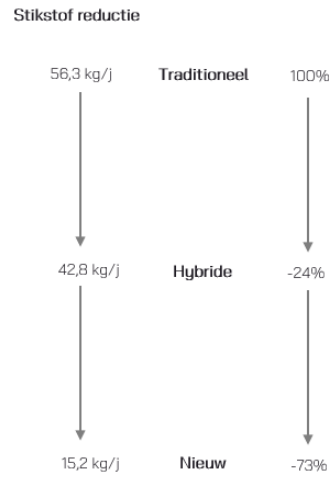
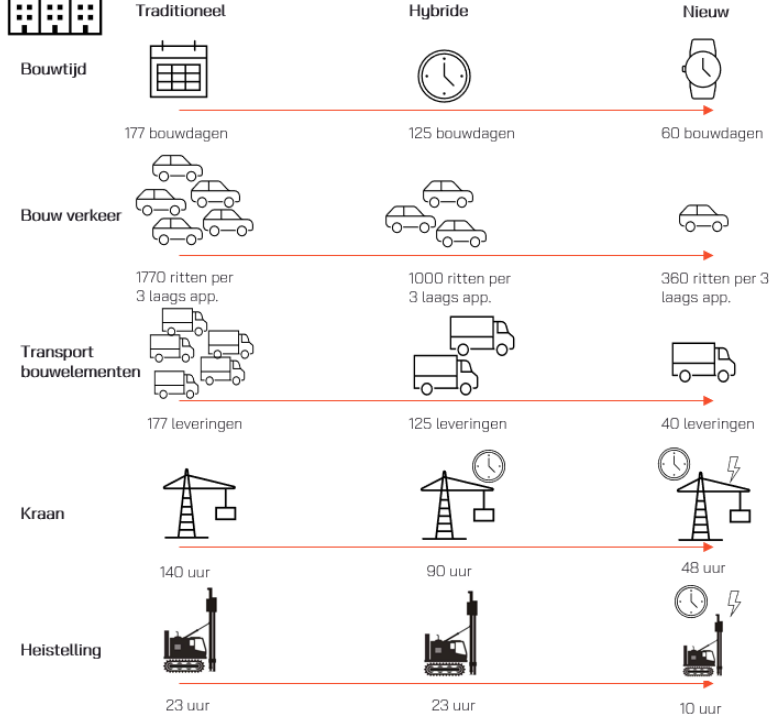
We ontwikkelen 2 bouwmethodieken om een snelle haalbare schaal voor de industriële productielijn te krijgen. We richten ons op hoogbouw en laagbouw, die door dezelfde industriële productielijn geproduceerd worden.

12.4 Emissiereductie

De impact van op grote schaal houten woningen en appartementen bouwen is enorm. Bij de geprognostiseerde 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.



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



13. P7 - 2D CLT Houtbouw

13.1 Beoogde uitkomst

Dit onderzoek richt zich op 2,5D houtbouw waarbij constructief CLT wordt toegepast. Integrale digitalisering, standaardisatie en industrialisatie zal verder ontwikkeld worden, waarbij consequent system engineering zal worden toegepast. Het beoogde resultaat van dit project is dat in een geïndustrialiseerde productielijn producten en elementen kunnen worden geproduceerd waarmee een gebouw kan worden gerealiseerd dat aan de gestelde KPI's voldoet.

Het doel van het onderzoek is voor 2,5D houtbouw (i.e. combinatie van prefab 3D-units met 2D-CLT-elementen) te ontwikkelen:

- integrale digitalisering;
- gestandaardiseerde en industrieel te vervaardigen van vloer- en wandstelsel op basis van system engineering;
- inzicht in de te verwachten prestaties van diverse relevante KPI's van de te realiseren gebouwen.

13.2 Partners

De Nijs Projectontwikkeling

Ontwikkelaar van CLT-hoogbouw op basis van 2D dragende elementen en 3D inbouwmodules:

<https://www.denijs.nl/>

Treetek

Ontwikkelaar en bouwer van grondgebonden woningen uit 2D CLT elementen:

<https://www.treetek.nl/>

B_Solution

Leverancier CLT en gevelelementen:

<https://www.b-solution.com/ueber-uns/>

TNO (penvoerder)

Ketenanalyse, test/toets + protocollen, interpretatie resultaten en advies en kennisontwikkeling.

13.3 Samenvatting van het deelproject

Voor het realiseren van de woningbouwopgave – gegeven alle maatschappelijke randvoorwaarden – is industrialisering / prefabricage noodzakelijk. Verdere implementatie van digitalisering is belangrijk bij het industrialiseren van het productieproces in de bouw. F2F (File-to-Factory; aansturing van bijvoorbeeld CNC-machine vanuit ontwerpsoftware) biedt mogelijkheden voor het versnellen van de productie en reduceren van de faalkosten.

Er is een spanningsveld tussen enerzijds industrialisering en anderzijds het ruimte geven aan ontwerprijheid. Er kan gekozen worden voor unitbouw met ver doorgevoerde standaardisatie van geprefabriceerde gebouw(delen), waarbij de opdrachtgever geen keuze heeft bijvoorbeeld met betrekking tot beukmaat, verdiepingshoogte of vrije overspanningen. Aan de andere kant is er het proces van uitgekende productie van gestandaardiseerde prefab bouw delen, die door toeleveranciers worden geproduceerd,

maar die vervolgens bij de opdrachtgever 'over de schutting' worden gezet. Deze prefab bouwdelen moeten op de bouwplaats door een aannemer met andere bouwdelen worden samengevoegd om de vereiste functionaliteit te krijgen. Een voorbeeld is een gevel waarvoor een prefab betonnen binnenspouwblad op de bouwplaats moet worden voorzien van isolatiemateriaal en een gemetseld buitenspouwblad. In een dergelijk proces zijn data van de bouwdelen vaak niet of onvoldoende beschikbaar of te ontsluiten en kan in de VO- en DO-fase niet met de specificaties van de bouwdelen gerekend worden. Ook voor toepassing van CLT als constructief materiaal in de B&U-bouw ontbreekt nog een digitale methodiek om in de VO- of DO-fase gestandaardiseerde producten of elementen met vastgelegde prestaties samen te voegen en vervolgens inzichtelijk te maken of het samengestelde gebouw voldoet aan de publieke en (scherper gestelde) private eisen, te onderscheiden in verschillende Kritische Prestatie Indicatoren (KPI's).

13.4 Emissiereductie

Eén van de KPI's is de emissie van NO_x tijdens de on-site assemblage. Ook zullen de consequenties van materiaalkeuze met betrekking tot CO₂-uitstoot en MPG inzichtelijk gemaakt en geoptimaliseerd kunnen worden. De ontwikkelde oplossingen worden vervolgens in de praktijk gemeten en getoetst.

14. P8 – Sustainer bouwsysteem

14.1 Beoogde uitkomst

Sustainer heeft een (bijna) emissieloos bouwsysteem ontwikkeld dat door haar slimme software in greenfields rijwoningen bijna competitief is met beton. Doordat de biobased bouwmaterialen CO₂ opslaan en er nauwelijks impact is van cement, gips en staal, wordt er per woning ongeveer 70 ton CO₂ bespaard. Daarnaast zorgt de verregaande prefabricage (inclusief gevelbekleding, afwerkingen, installaties en dakbedekking) voor een drastische reductie van het aantal transportbewegingen die het mogelijk maken om emissieloos te bouwen.



Sustainer heeft een emissieloos bouwsysteem ontwikkeld onder de naam *.home* dat in greenfields rijwoningen competitief is met beton. Om de doelstellingen ten aanzien van klimaat te behalen moeten emissieloze alternatieven echter veel breder ingezet kunnen worden, o.a. in de binnenstedelijke (hoog)bouw. Dit project dient om de barrières hiervoor te identificeren en op te lossen.

14.2 Partners

Sustainer (25 FTE)

- Rol & bijdrage in project: Penvoerder, hoofdonderzoeker alle werkpakketten, is de spil tussen ketenpartners (frezerij, moduleassembler, leverancier, constructeur, architect) en integreert deze partijen digitaal.
- Hoofdbelang: Vergroten afzet biobased bouwen t.o.v. beton (impactdoelstellingen)

TNO (3650 FTE)

- Rol & Bijdrage in project: Onderzoeken huidige stikstof/CO₂ impact en verbeteringen, uitvoeren LCA.
- FTE: 3.650, Omzet '21: 550mil, Hoofdbelang: Uitbreiden kennis & expertise milieupact & circulariteit, leren van best-practices uit de praktijk, input voor 'Transitieagenda Circulaire Economie in de Bouw'

IBVreeswijk (7 FTE)

- Rol & bijdrage in project: Constructeur, koploper in houtbouwadvies en veel ervaring met biobased bouwen; adviesrol in engineering met 7 jaar ervaring in ontwikkelen detaillering voor .home. Als afnemer betrokken in onderzoekstraject over integratie met constructiesoftware.
- Hoofdbelang: Uitbreiden kennis & expertise op het gebied van houtbouw, hier specifiek in hoogbouw, met nieuwe constructieve elementen zoals biobased liftschachten, en testdata uit praktijk om (theoretische) modellen te verscherpen en te verbeteren. In relatie tot onderzoekstraject digitale integratie met constructiesoftware: Tijdsbesparing en voorkomen fouten.

Nieman (96 FTE)

- Rol & Bijdrage in project: Bouwfysicus, vaste partner als adviseur in bouwfysische beoordelingen
- Hoofdbelang: Uitbreiden kennis & expertise op het gebied van houtbouw en testdata uit praktijk om (theoretische) modellen te verscherpen en te verbeteren.

Luning (9 FTE)

- Rol & Bijdrage in project: Constructeur, vaste partner met specialisatie in hoogbouw
- Hoofdbelang: Uitbreiden kennis & expertise op het gebied van houtbouw, hier specifiek in hoogbouw, met nieuwe constructieve elementen zoals biobased liftschachten, en testdata uit praktijk om (theoretische) modellen te verscherpen en te verbeteren.

Gewoonhout (+/- 40 FTE)

- Rol & Bijdrage in project: Als assembleur een key stakeholder in de toepassing van de bedachte oplossingen; voert regie over veel stappen die impact bepalen, zoals regie over onderaannemers. Toetst kwaliteit en haalbaarheid systeemverbeteringen, en draagt zorg voor implementatie.
- Hoofdbelang: Kostenreducties, faalkostenvermindering en daarmee vermindering reputatierisico, grotere afzetmarkt voor modules en betere concurrentiepositie t.o.v. beton

Van Hulst (38 FTE)

- Rol & bijdrage in project: Key stakeholder in adoptie als directe leverancier van gefreesde (constructie) onderdelen, kennis over freesbaarheid nieuwe oplossingen
- Hoofdbelang: Afzetvergroting CNC gefreesde onderdelen, participeren in innovatie om adoptierisico's te verminderen

Stichting Hout Research

- Rol & bijdrage in project: Houtbouwadviseur met expertise in innovatieve detaillering en het opzetten en meten van fysieke tests/mockups
- Hoofdbelang: Uitbreiden kennis houtbouw, specifiek met praktijkpartners

Vorm Bouw

- Rol in project: Als ontwikkelaar key stakeholder en veel kennis van marktwensen.
- Hoofdbelang: Uitbreiding mogelijke toepasbare bouwsystemen voor binnenstedelijke vraagstukken, als afnemer concurrentievoordeel in tenders t.o.v. beton of andere biobased alternatieven, als ontwikkelaar belang bij de ontwikkeling van ontwerptools waardoor doorlooptijden ontwerpproces sterk worden verminderd

14.3 Samenvatting van het deelproject

Werkpakket 1: Onderzoeken Optimalisaties bouwsysteem

- a Ism. TNO toetsen emissies (co2+stikstof+fijnstof+circulariteit) in .home en identificeren mogelijke verbeteringen incl. in logistieke keten.
- b Ism. moduleproducent & leveranciers onderzoeken optimalisaties in materialisering en detaillering t.b.v. impactreductie
- c Uitwerken detailleringen voor volledig steigerloos bouwen

Werkpakket 2: Onderzoek uitbreiding toepasbaarheid bouwsysteem in binnenstedelijke setting: gefabriceerd, zo min mogelijk materiaal en zo hoog mogelijke losmaakbaarheid.

- a Onderzoeken meest impactvolle/urgente uitbreidingen in assortiment i.s.m. ontwikkelaar (hoogteopties, gevelopties, etc.)
- b O.b.v. uitkomsten 1.a. onderzoeken technische haalbaarheid en engineering i.s.m. met constructeurs, bouwfysico, SHR en ketenpartners

Werkpakket 3: verminderen van de financiële barrière voor opdrachtgevers om een conventioneel gebouw alternatief te vervangen met ons alternatief. Software keten integratie: we hebben ervaring met koppeling koppeling tussen Rhino en de freesmachines. Ontwikkelen van integraties:

- a Integratie assembleur: IFC modellen op hoog niveau, met labels passend bij binnenstedelijke appartementenbouw
- b Integratie met freezer (CNC valideren)
- c Integratie software constructeur, kozijnleverancier & installateur
- d Koppeling met architect; Softwaretooling ontwikkelen om in ontwerpfase reeds op uitstoot te kunnen optimaliseren, waaronder MPG, constructie, BENG, daglichtberekeningen
- e Geïntegreerde koppeling met ERP/MRP applicaties

14.4 Emissiereductie

.home wordt op dit moment al enkele jaren geproduceerd voor rijwoningen. Door dit project denkt Sustainer op zeer korte termijn het marktaandeel van stikstof/CO2 arme bouw in de Nederlandse nieuwbouw op korte termijn te kunnen vergroten van 2% tot meer dan 10% van de nieuwbouwwoningen. Het project creëert daarnaast innovatieve en deelbare kennis en rapportages over nieuwe biobased materialen, bouw detailleringen en digitale ketenintegratie die emissieloze prefab bevorderen. Sustainer draagt bij aan de doelen van Emissieloosbouwen:

1) 60% stikstofreductie ten opzichte van 2018 in het jaar 2030; bijdrage Sustainer:

- a) het vervangen van materialen met een intensieve stikstofuitstoot door materialen met een beperkte uitstoot;
- b) het verminderen van de logistieke bewegingen naar de bouwplaats;
- c) het verminderen van uitstoot door op de bouwplaats aanwezig materieel; en d) het beperken van verspilling van materiaal, arbeid en tijd in het bouwproces door betere digitale integratie.

2) 0,4 Mton CO2 reductie ten opzichte van 1990 in het jaar 2030; bijdrage Sustainer:

- Nu al een besparing van 70 ton CO2 per woning op
- Bij een marktaandeel van 10% van de 70.000 nieuwbouwwoningen per jaar levert deze besparing $(70.000 \text{ woningen} * 10\% * 70\text{ton}) = 0,49$ megaton CO2 per jaar op

3) 75% gezondheidswinst door de uitstoot van fijnstof terug te dringen.

- Nauwelijks gebruik van zware materialen, verkorten van bouwtijd en minimaliseren van transportbewegingen

Circulariteit:

- .home één van de meest circulaire bouwsystemen op de markt, met een Building Circularity Index (BCI) van 0,83

15. P9 – Next step Startblock

15.1 Beoogde uitkomst

Startblock wil, met de kennis die opgedaan zal worden in het voorliggende project vanuit het programma Emissieloos bouwen, de productie substantieel vergroten. De capaciteit van de huidige productiestraat is 2-3 Startblock eenheden/week. De wens is om eind van dit jaar door te groeien naar 6-8 Startblock woningen per week. Een gigantische opgave voor het bedrijf wat gestart is in 2019.

Het bedrijf wil ook bijdrage leveren aan zijn duurzaamheidsmissie en wil op zoek met hulp van TNO naar het gebruik van duurzame materialen. De wens is om een biobased prefab gevel te ontwikkelen. Door de prefab gevel kan het logistieke proces verbeteren in de fabriek. Door de digitalisering van de aansturing van maakproces wordt optimalisatie en opschaling beoogd.

Op basis van de bevindingen in dit project zal een ontwerp van een nieuwe productiefaciliteit met substantieel grotere capaciteit worden ontwikkeld. Om dit in 2023 te realiseren zijn de volgende Werkpakketten geformuleerd.

WP1. Ontwikkeling biobased prefab gevel

In het huidige productieproces kost het assembleren van de huidige gevel twee dagen productietijd en dit is 40 % van de productietijd van Startblock Root. Doel is dit substantieel te verkorten.

Hiervoor zullen verschillende (deel) onderzoeken/activiteiten worden uitgevoerd:

- Het opstellen van een programma voor eisen van een prefab gevel
- Selectie van biobased isolatiemateriaal
- Selectie van biobased/circulair kozijn
- Onderzoek naar de gevelafwerkingen
- Productie van de gevel (in eigen beheer of door toeleverancier)

Deliverables:

- a 2 prototypes van de gevel
- b Inpassing van assemblage van de gevel in het maakproces zal uitgevoerd worden in WP 3.

WP2. Doorontwikkeling van Startblock Roots tot EGW

Het opstellen van het Programma van Eisen van de Eengezinswoning (EGW) om te komen tot het eenvoudig inpassen van een EGW in de huidige productiefaciliteit.

Activiteiten:

- Onderzoek naar optimalisatie 3D-units; eventuele toepassing van 2D elementen
- Aansluitdetails van constructieve delen, gevels en dakvlakken
- Koppeling van installatiecomponenten
- Uitwerken van losmaakbaarheid (mhoo circulariteit)
- In combinatie met WP3 onderzoek naar noodzakelijke aanpassing in productiestraat om afzonderlijke EGW units/ onderdelen te produceren

Deliverable:

- Prototype van EGW
- Rapportage van prestaties van de geselecteerde KPI's

WP3. Herontwerp productiefaciliteit, inclusief digitalisering & aansturing maakproces

Doel: versnellen van (huidige) productiecapaciteit met als doel het produceren van 6 – 8 woningen per week in de huidige productielocatie.

Activiteiten:

- Uitwerken van lean F2F proces incl. digitalisering en aansturing van inkoop, planning, materiaalstromen productie en levering, datamaterialenpaspoort en wet kwaliteitsborging.
- Onderzoek naar vergroting van productie:
 - Drukpuntberekening woning en ontwerp van kantelmechanisme
 - Testen inzet bovenloopkraan (inclusief bestuurders) om te komen tot een hogere productie
 - Werkvoorbereiding uitbreiden ter ondersteuning hogere productie in de tweede helft van het jaar.
- Onderzoek naar reduceren van afvalstromen door inzet van herbruikbare verpakkingen en hulpmiddelen in transport.
- Definiëren van functionele eisen voor nieuwe productiefaciliteit, inclusief integrale digitalisering & aansturing maakproces.

Deliverable:

- Herontwerp productiestraat, inclusief digitalisering & aansturing maakproces.

WP4. Elektrificering transport & handling woningen

Doel: emissiereductie tijdens transport en on-site assemblage.

Van Wieren Special BV wil in het project onderzoeken de mogelijkheden van elektrisch transport met beschikbare trucks (huren). Zo is het uitvoeren van een proeftransport van Startblock woningen onderdeel van het onderzoek. Met name actieradius, beschikbare laadpunten worden onderzocht. Uiteindelijk wil Van Wieren Special BV de overweging maken om zelf een elektrische vrachtwagen aan te schaffen om over te gaan op elektrisch vervoer van Startblock woningen.

Activiteiten:

- Elektrificeren van transport en on-site assemblage
- Optimalisatie van plaatsing en aansluiting van de woning
- Ontwerp van emissieloze bouwplaats (zowel emissie van NOx als verpakkingsmateriaal).

Deliverable:

- Rapportage m.b.t. mogelijkheden van emissiereductie door inzet van ander (materieel) wagenpark; input voor WP6

WP5. Prestatiemeeting Startblock woningen in bewoonde staat.

Het opleveren van een prestatiemeeting is een belangrijke onderzoeksvraag, die kan bijdrage aan de verwachte reductie aan stikstofdepositie. De uitkomsten zijn zeer belangrijk voor de afnemers van de woningen, zoals woningbouwverenigingen, overheden en projectontwikkelaars. De uitkomsten kunnen ook bepalend zijn of Startblock wel of niet kan inschrijven op tenders waar een lage NOx uitstoot wordt gevraagd.

Doel: inzicht krijgen in prestaties van te definiëren KPI's van Startblock Roots woningen
Deliverable:

- Rapportage van prestatie meting van gedefinieerde KPI's.
- Rapportage van prestaties die relevant zijn voor BENG, inclusief advies om woningen BENG proof te maken

WP6. Impact assessment; CO₂ footprint en NO_x-uitstoot

Doel: inzicht krijgen in CO₂ footprint van Startblock woningen en NO_x-uitstoot in realisatiefase, losmaakbaarheid/circulariteit.

Activiteiten:

- Aeries calculatie
- Metingen vervoersbewegingen en vaststellen NO_x-uitstoot tijdens Transport van Startblock woningen naar bouwplaats en tijdens de afbouw
- Vaststelling BCI en circulariteit

Deliverable:

- Rapportage van NO_x-uitstoot tijdens de realisatie van de woningen en CO₂ footprint van de woningen
- Document over emissies tijdens de realisatiefase en CO₂ footprint van Startblock woningen, en ook BCI en circulariteit; advies voor verbeteringen.
- Dit kan Startblock gebruiken bij tenders. Bij tenders wordt een correcte weergave van CO₂-footprint en biobased bouwen steeds vaker opgenomen in de puntennormering en gaat meewegen bij de toekenning van deals.

WP7. Projectmanagement, organisatie & projectrapportages

Doel: Uitvoering van project in tijd en binnen budget met opleveren van de vereiste deliverables.

Activiteiten:

- Startblock als penvoerder voert totale projectadministratie uit en is verantwoordelijk voor de (kwartaal & eind-) rapportages van het totale project.
- Deelnemers in het project dienen de programmavooraanvragen te accepteren en zijn verantwoordelijk voor het op tijd aanleveren van hun subsidiabele kosten (kostenstaat).

Deliverable:

- Opleveren van de kwartaalrapportages en een eindrapportage.
- Rapportages zijn onderbouwd met correcte kostenlijsten en urenstaten medewerkers.

15.2 Partners

Naast Startblock zijn als projectpartners opgenomen in het projectplan, woningbouwvereniging Mercatus, Van Wieren Special BV en Finstral BV. Allen onderschrijven de missie en visie van Startblock mede omdat in hun eigen visie duurzaamheid ook hoog in het vaandel staat. De genoemde partijen voelen zich betrokken bij Startblock. De deelnemers en toeleveranciers willen graag samenwerken met Startblock om een bijdrage te leveren aan deze wijzen van duurzame woningbouw. Zo heeft Mercatus 28 februari 18 startblockwoningen geplaatst in Emmeloord. Hoewel er sprake is van een positieve werkrelatie met Mercatus heeft het niet geleid tot een toetredingsdocument. Startblock is in gesprek met twee andere woningbouwverenigingen, die in het tweede kwartaal van 2023 ook Startblockwoningen

plaatsen. Met deze partners zullen afspraken worden gemaakt voor de prestatie­meet­ing zoals deze is opgenomen in Werkpakket 5.

Van Wieren Special BV heeft het toetredingsdocument getekend. Met behulp van het project zetten zij voor het eerst elektrisch vervoer in om met 'emissieloos' vervoer de Startblock-woningen te vervoeren naar de plaatsing locatie. Binnen de transportwereld is dit een unieke stap.

Ook Finstral heeft geen toetredingsdocument getekend. Het projectteam heeft besloten om eerst binnen Werkpakket 1 een nieuwe prefab gevel te ontwikkelen en vanuit de gekozen bijbehorende duurzame bouwmaterialen te kiezen voor een nieuwe leverancier als projectpartner.

15.3 Samenvatting van het deelproject

WP 1 heeft in Q1 volop de aandacht gekregen en is ook noodzakelijk gezien de doorlooptijd van het project amper een jaar is. Het ontwikkelen van een prefab gevel heeft de hoogste prioriteit. Het team van TNO heeft goed de vragen geïnventariseerd waar zij Startblock het beste mee kunnen ondersteunen. De verwachting is dat binnen WP1 medio mei gekozen kan worden uit twee typen prefab gevels. Elke gevel kent het gebruik van duurzame materialen zoals isolatie, kozijnen en het ontwerp van de gevel zelf speelt daarbij ook een rol. Uiteindelijk doel is te kiezen voor een nieuwe prefab gevel zodat er efficiënter gebouwd kan worden met dezelfde duurzame kwaliteit en dit alles in een kortere bouw­tijd.

Binnen WP 2 is vanuit Startblock de keuze gemaakt dat zij eerst het industriële proces willen verbeteren om te komen tot opschaling. Om vervolgens in Q3 de focus te hebben op de ontwikkeling van de gezinswoning.

Binnen WP3.1. zijn de activiteiten gericht op het herontwerp van de productiefaciliteit om te komen tot opschaling van de productie, niet twee, maar eind dit jaar zes tot acht woningen per week realiseren. Het kantelmechanisme van het casco verdient aandacht, maar ook het terug kantelen van de woning aan het einde van de productiestraat. Berekeningen zijn nodig voor de ontwikkeling van het kantelmechanisme, om risico's te vermijden, maar ook voor het veilig hijsen van de woning. In het ontwikkelproces is ook leverancier Rock ingeschakeld om te komen tot de juiste kantelfaciliteiten. De eerste experimentele ontwerpen zullen eind mei worden uitgeprobeerd.

Het digitaliseren & aansturing digitaal proces vraagt als eerste om een productieschema. Het productieschema is in februari jl. sterk verouderd binnen Startblock. Afgelopen weken is door Mt-leden tijd geïnvesteerd om te komen tot een actualisatie. Echter om het proces binnen WP3.2. niet langer te vertragen zal in week 19 het productieschema worden gedeeld met de TNO-medewerkers zodat zij het leanproces kunnen uitwerken ter voorbereiding van de digitalisering.

Binnen WP4 willen Startblock en Van Wieren Special BV ervaring op doen in hoeverre het mogelijk is om met een elektrische vrachtwagen de Startblock woningen te vervoeren. De wens is van beide bedrijven om de NO_x uitstoot tijdens het vervoer van de Startblock woningen te verlagen.

Eind februari is van Volvo een elektrische 4x2 trekker gehuurd en heeft Van Wieren Special in week 9 de Startblock woningen voor Mercatus vervoerd naar de plaatsingslocatie in Emmeloord. Dit leverde interessante data op met betrekking tot het verbruik en wellicht nog belangrijker de "laadsnelheid" bij het bedrijf zelf en bij derden.

Voor WP 5 vindt in april het eerste overleg plaats in het kader van de prestatie meeting.

In WP 6 zal de NO_x uitstoot met het Aerius model worden berekend door TNO. Er zal o.a. doorgerekend worden wat het voor de uitstoot gaat betekenen als het transport van woningen niet meer door dieselvrachtwagens wordt uitgevoerd maar door elektrisch aangedreven vrachtwagens. TNO heeft de lead voor dit werkpakket. De planning is om te starten met dit WP begin Q4, maar al eerder de nodige data hiervoor te verzamelen.

Binnen WP7 is Startblock als penvoerder verantwoordelijk voor de projectadministratie en de (kwartaal & eind-) rapportages van het totale project. Processen zijn ontwikkeld voor het correct verzamelen van data en zijn intern doorgesproken.

15.4 Emissiereductie

Er is al een minimale uitstoot bij de off-site prefabricage van de woningen omdat dit geheel in de fabriek plaatsvindt. De logistieke activiteiten met voertuigen met verbrandingsmotoren beperken zich tot aanvoer van bouw materiaal (vnl CLT) en prefab onderdelen (bijvoorbeeld de elders geprefabriceerde afvoerleidingen). Daardoor wordt er minimale hoeveelheid NO_x uitgestoten door (vracht)auto's. In de fabriek wordt uitsluitend elektrisch materieel gebruikt en in WP3 worden deelonderzoeken uitgevoerd om het interne proces verder te stroomlijnen en handling van de Startblocks te minimaliseren waardoor ook minder stroom zal worden verbruikt.

De hypothese is dat in de realisatiefase van dit project (behoudens het bouwrijp maken van de bouwplaats) zal leiden tot een NO_x uitstoot 2 kg/woning als uitsluitend diesel aangedreven materieel kan worden gebruikt. Als elektrisch aangedreven vrachtwagens en 200 tons kraan kan worden gebruikt, zou dit tot 0,5 kg /woning worden gereduceerd. De planning is dat in werkpakket 5 er een prestatie meeting van de woning zal plaatsvinden. In werkpakket 6 zal de NO_x uitstoot met het Aerius model worden berekend door TNO en zal ook doorgerekend worden wat het voor de uitstoot gaat betekenen als het transport van woningen niet meer door dieselvrachtwagens wordt uitgevoerd maar door elektrisch aangedreven vrachtwagens.

16. P10 – Opschaling HoutKern modules

16.1 Beoogde uitkomst

Het doel van dit project is het verder reduceren van CO₂ en NO_x emissies. Dit doen we door het optimaliseren van modules met weinig vaste inrichting en door het breder toepasbaar maken van de modules. Door de bredere toepassingsmogelijkheden kan de NO_x emissie in de bouw verder teruggebracht worden.

Integraal ontwerp van 2D elementen die aangesloten kunnen worden op de 3D module elementen met vaste inrichting. De 2D elementen worden integraal ontwikkeld zodat de werkzaamheden op de bouw tot een minimum beperkt worden. Hierbij wordt samengewerkt met de gehele bouwketen om te komen tot producten die uitgewerkt zijn tot en met uitvoeringsniveau en die getest kunnen worden op toepasbaarheid en functioneren.

Een systeem van integrale 2D- en 3D- modules waarmee woningen en kantoren met minimale NO_x en CO₂ emissie, gebouwd kunnen worden

16.2 Partners

Dit onderzoeksplan wordt uitgevoerd door het Circlewood Consortium. Het Circlewood consortium is voortgekomen uit het belang en besef dat de bouwwereld moet veranderen. De enorme milieu-impact van de bouw, grondstoffencrisis en aanhoudende personeel tekorten maken dat de partners hun verantwoordelijkheid willen nemen en de bouwwereld willen veranderen. Partners hebben onderling veel samengewerkt en zagen, ieder vanuit hun eigen expertise dat het wiel bij ieder project opnieuw werd uitgevonden, en dat kennis verloren ging. Een integrale keten aanpak is nodig om dit te veranderen.

Door een integrale benaderingswijze laten we zien dat een meer geïndustrialiseerd bouwproces leidt tot betaalbare, gezondere en duurzame gebouwen. Ons consortium is verdeeld in 'denkers' en 'doeners', waarbij ons werkproces centraal staat om de innovatie te vergoten, kennis te ontwikkelen en delen zo dat de hoogste kwaliteit wordt behaald. Afgelopen jaar hebben we als consortium enorm geïnnoveerd in onze digitale werkomgeving, onder coördinatie van TNO, Noordereng groep en Oosterhoff is er een digitale werkstructuur ontwikkeld die ervoor zorgt dat het denkproces aansluit op het productieproces van de doeners.

Partners:

- Noordereng Groep
- Quake
- Heko
- Lomans
- DWA
- Hedgehog Company
- Ferros
- TNO

16.3 Samenvatting van het deelproject

Bouwen met houten modules reduceert de emissie van CO₂ van een bouwproject en de emissie van NO_x op de bouwplaats. Het consortium Noordereng ontwikkelde, met dit doel, de HoutKern bouwmethode; een bouwmethode met 3D houten modules.

Voortbordurend op het project The Natural Pavilion op de Floriade ziet het consortium mogelijkheden om met de toevoeging van 2D elementen aan het 3D modulesysteem de NO_x emissie van het bouwen met modules met weinig vaste inrichting verder te

reduceren.

De optimale keuze naar uitstoot voor een 2d- of voor een 3d-element hangt in grote mate af van de hoeveelheid "lucht" die wordt vervoerd in verhouding tot de hoeveelheid bouwproduct. Hoe meer binnenwanden en installaties in een 3d module kunnen worden geprefabriceerd, hoe beter. Maar als dat niet het geval is dan ligt een verplaatsing van (integraal ontworpen) 2d-modules meer voor de hand.

Deze verhouding varieert niet alleen per gebouwtype, het kan ook in een gebouw variëren. Het zou dus goed zijn om beide type modules door elkaar toe te kunnen passen, geoptimaliseerd op de minimale uitstoot. Vanuit deze bevindingen zien we de noodzaak om enkele integraal ontworpen 2d- bouwelementen te ontwikkelen die, in combinatie met 3d-bouwmodules, toegepast kunnen worden.

De 2D elementen voor het HoutKern bouwsysteem worden integraal ontworpen en uitgewerkt. Gedurende het ontwerpproces wordt gestuurd op de laagste emissie van CO₂ en NO_x. Er wordt zoveel mogelijk gedacht vanuit besparing van materialen en toepassing van biobased en circulair materiaal.

De innovatieve onderdelen van te ontwerpen elementen worden tijdens het ontwerp getest als dat nodig is om nog niet beschikbare informatie over materiaal, werking van een product of de prestatie van een combinatie van producten en materialen te verzamelen. In het ontwerp worden de bouwpartners nauw betrokken zodat geen informatie verloren gaat en ook de productie en montage meegenomen worden in afwegingen in het ontwerp. Er worden één op één schaalmodellen gebouwd van de 2D elementen die beproefd zullen worden in de gebruikersfase.

De 2D elementen dragen bij aan een verdere minimalisering van de uitstoot van het systeem en ze dragen bij aan een systeem dat beter opgeschaald kan worden.

16.4 Emissiereductie

De doelstellingen van het Emissieloos Bouwen programma zijn stikstofreductie, gezondheidswinst en CO₂ reductie. De Houtkern Bouwmethode draagt bij aan alle drie deze doelen door de lichte en modulaire bouwmethode en door de gekozen materialen.

De werkpakketten van dit project dragen op meerdere manieren bij:

- Het toevoegen van 2D elementen, zoals gevels, losse vloerelementen en balkons, aan de modulebouw leidt tot meer variatie in de te realiseren gebouwen. Hierdoor zal de HoutKern bouwmethode aantrekkelijker worden voor architecten en opdrachtgevers. Dit komt de opschaling ten goede. De opschaling is nodig om de industrialisering financieel haalbaar te maken. Hierdoor ontstaat een beter marktpositie ten opzichte van huidige traditionele bouwsystemen.
- Het vervoeren van 3D modules zonder vaste inrichting leidt tot vervoersbewegingen waarbij relatief veel 'lucht' vervoerd wordt. Het vervoeren van deze modules als losse 2D elementen vraagt minder vervoersbewegingen naar de bouwplaats toe en daarmee kan de NO_x emissie van de HoutKern bouwmethode verder gereduceerd worden;
- Door de installatiepakketten als losse pakketten uit te werken zal een betere koppeling van de installaties mogelijk zijn. Dit heeft effect op de NO_x emissie van de elementen. Er is onderzoek nodig naar een goede montagewijze voor installaties in modulaire bouw waarbij gestuurd wordt op reduceren van NO_x emissie.
- In woningbouw projecten zijn vaak balkons gewenst. Er zal een prefab balkonelement ontwikkeld dat gekoppeld kan worden aan Houtkern elementen. Hierbij wordt onderzocht welke biobased of circulaire materialen toegepast kunnen worden bij de bouw van prefab balkons.

Met het realiseren van een 2D elementen voor gevel verwachten wij een NO_x-reductie van 60% ten opzichte van huidige afbouw methode. Dit komt met name door de reductie

van materieel uren op de bouw. Hoogwerkers, verreikers en steigers zijn niet meer nodig, daarmee worden de kraan en materieel bewegingen significant verminderd, ook vinden er minder zware transportbewegingen plaats. Zowel balkons, open en dichte gevels komen in hun geheel aan, waarmee veel minder bewegingen plaats vinden. Bij elkaar zijn de gevel en installaties verantwoordelijk voor 65% van de transport en materieel bewegingen.

Voor het pre installeren van installaties in vloeren, gevelelementen en wanden verwachten wij een reductie van 80% in klein verkeer en 25% in zwaar vrachtverkeer. De reductie in zwaar vrachtverkeer komt met name doordat er minder lucht wordt getransporteerd. De reductie in klein verkeer doordat individuele busjes van installatie personeel niet los van elkaar naar de bouw hoeven te komen.

Bovenstaande reductie potenties kunnen we in twee stappen testen. In stap één leggen we de ontwerpen zoals we die eerder zijn doorberekend weer onder de loep. Waarin we kijken naar het effect van de prefab installatie en 2d elementen op de bouwplanning en inzet van materieel. In de tweede instantie gaan we de daadwerkelijke NO_x en CO₂ emissies monitoren op locatie. Bij de realisatie van het Energiehotel en het woningbouwproject in Zaltbommel kunnen we daadwerkelijke emissies monitoren. Emissies van stikstof, fijnstof en CO₂ op de bouwplaats zijn maar een kleine schakel in het geheel. Het is alom bekend dat NO_x-emissie van de bouwplaats voor minder dan 1% bijdragen aan de schadelijke stikstofdepositie die de Nederlandse natuur teistert.

17. D1 – KPI dashboard prefab bouw

17.1 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.

17.2 Partners

- TNO ([tno.nl](https://www.tno.nl))
Kennisinstelling
- Noordereng Groep (noorderenggroep.eu/)
Ontwikkeling en levering HoutKern® modules en ontwikkelaar, met diverse dochterbedrijven voor engineering en digitalisering
- DWA (dwa.nl/)
O.a. duurzaamheidsadvies
- Hedgehog (hedgehogcompany.nl/)
Duurzaamheidsberekening en optimalisering van producten en processen voor emissiereductie en – rapportage

17.3 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.

17.4 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/bouwmateriaal) 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 bouwmateriaal.

- Onderzoek heeft aangetoond dat - afhankelijk van de gebruikte houtsoort - er tot 0,9 ton CO₂/m³ hout wordt vastgelegd.
- In een publicatie van 'Bouwen met hout' 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.

In Q4, Q1 en Q2 2023 wordt het Dashboard gekoppeld aan de rekenmodellen om deze met real-time input waarden en relaties te tonen tussen de KPI's.

18. D2 – Industrieel bouwen met productplatforms

18.1 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).

18.2 Partners

De volgende partners nemen deel aan dit deelproject:

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

18.3 Samenvatting van het deelproject

In dit deelproject wordt gekeken naar de rol van digital twins bij modulair en industrieel bouwen. 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).

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

18.4 Emissiereductie

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

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

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

bijgedragen kan worden aan emissiereductie:

- Verplaatsing van activiteiten van de bouwplaats naar de fabriek resulterend in minder uitstoot op de bouwplaats (en in kwetsbare gebieden);
- Efficiëntere productie en realisatieprocessen;
- Minimaliseren van transportbewegingen (logistiek, personenvervoer);
- Hergebruik van bouwelementen;
- Optimalisatie van processen en producten, mede op basis van inzichten in de emissie impact en de mogelijkheden voor emissiereductie.

In dit project wordt geanalyseerd op welke wijze digital twins kunnen bijdragen aan emissiereductie.

19. D4 – Emission-0

19.1 Beoogde uitkomst

De bouw is verantwoordelijk voor ongeveer 40% van de totale CO₂ uitstoot van Nederland. Fossiel aangedreven bouwmaterieel en -transport zijn hierin één van de grote CO₂ veroorzakers. Daarnaast is het bouwmaterieel een belangrijke bron voor de uitstoot van stikstof en fijnstof met hierbij een negatieve impact op onze natuur en gezondheid. Wanneer wij als sector het "Parijs akkoord" willen behalen, voldoen aan het stikstofakkoord en als bouwsector toch door kunnen blijven bouwen dan is het noodzakelijk om de bouw radicaal te vernieuwen.

De techniek is vandaag de dag er al klaar voor om emissieloos te bouwen. Echter vraagt de inzet van emissieloos materiaal om gigantische investeringen, lange levertijden, een totaal andere manier van werken, en wordt in circa 80% van alle bouwopdrachten/tenders emissieloos werken nog niet financieel gewaardeerd. Dit is waar wij komen kijken!

Emission-0 is een deelplatform waarmee emissieloos bouw-, transportmaterieel en laadvoorzieningen uit heel Nederland gemakkelijk gehuurd en geboekt kunnen worden.

Als Emission-0 is het onze missie vraag en aanbod van emissieloos materieel bij elkaar te brengen door middel van een onafhankelijk deelplatform dat het doel heeft om in 2030 emissievrij bouwen mogelijk te maken. Waarbij wij streven naar een win-win voor alle stakeholders.

WAT IS EMISSION-0?

- Een efficiënt digitaal deelplatform dat vraag en aanbod samenbrengt via één centraal punt voor verhuurbedrijven en de aannemerij, waarbij materieelstukken voor projecten gereserveerd kunnen worden.
 - Verduurzaming en digitalisering in de bouw versnellen door een digitaal deelplatform waar emissieloos materieel gemakkelijk en snel kan worden gereserveerd. Ook maakt ons platform het mogelijk alle soorten emissieloos materieel te huren en te reserveren met slechts één druk op de knop.
 - Wij garanderen & adviseren dat uw werk 100% emissieloos wordt uitgevoerd en maken wij het mogelijk dat onze verhuurders hun emissieloze materieelstukken sneller terug verdienen, waardoor het lucratiever wordt om in emissieloos materieel te investeren. Een win, win situatie voor iedereen.
 - Fabrieken van prefab bouwelementen instaat stellen om producten emissieloos naar de bouwplaats te brengen.

Een deelplatform waarbij vraag en aanbod rondom de emissie loze bouwplaats samenkomt en de volgende aspecten versneld:

- Emissieloos materieel toegankelijk en betaalbaar maken voor iedereen
- Een toename in emissie loze bouwplaatsen in Nederland en onderlinge uitwisseling van materieelstukken actief versnellen.
- Centrale database met al het emissieloos materieel in Nederland inclusief de werkelijke prijzen.
- Door samenwerking met verschillende partners brengt Emission-0 vraag en aanbod bij elkaar om de verduurzaming van de bouw- en transportsector te versnellen.
- De MKB-sector de kans geven om eerlijk te kunnen concurreren met grotere en kapitaalintensieve bouwbedrijven (level playing field voor iedereen)
- Kennisopbouw over het complete aanbod van emissieloos materieel en GAB analyse welke materieelstukken schaars zijn.



19.2 Partners

Opdrachtgevers die meedoen

Provincie Overijssel

Provincie Noord-Holland

GSES

Deelnemers Emission-0

Dura Vermeer

Van Gelder

Doornbos

Van Doorn geldermalsen

Van Aalsburg

Martens en van Oord

Vermeulen groep

Wattnew

P van der Velden lease

Sun Rider

Markus-Vreekens

19.3 Samenvatting van het deelproject

De bouw is verantwoordelijk voor ongeveer 40% van de totale CO2 uitstoot van Nederland. Fossiel aangedreven bouwmaterieel en -transport zijn hierin één van de grote CO2 veroorzakers. Daarnaast is het bouwmaterieel een belangrijke bron voor de uitstoot van stikstof en fijnstof met hierbij een negatieve impact op onze natuur en gezondheid. Wanneer wij als sector het "Parijs akkoord" willen behalen, voldoen aan het stikstofakkoord en als bouwsector toch door kunnen blijven bouwen dan is het noodzakelijk om de bouw radicaal te vernieuwen.

De techniek is vandaag de dag er al klaar voor om emissieloos te bouwen. Echter vraagt de inzet van emissieloos materiaal om gigantische investeringen, lange levertijden, een totaal andere manier van werken, en wordt in circa 80% van de bouwopdrachten/tenders emissielooswerken nog niet financieel gewaardeerd. Dit is waar wij komen kijken! Emission-0 is een deelplatform waarmee emissieloos bouw-, transportmaterieel en laadvoorzieningen uit heel Nederland gemakkelijk gehuurd en geboekt kunnen worden. Hiermee gaan we stilstand en overproductie van emissieloosmaterieel tegen, zorgen we met één simpele tool voor realtime inzicht in al het beschikbare materieel, tegen welke prijs, en zorgen we dat emissieloosmaterieel voor iedereen toegankelijk en toepasbaar wordt.

“Met Emission-0 als deelplatform kunnen we onze rol als aannemersbedrijf versterken in de transitie naar emissieloos bouwen. Het maakt het makkelijker voor ons om emissieloos materieel te vinden en te implementeren in onze projecten. Dit is een stap in de goede richting naar een duurzamere toekomst en een vermindering van onze milieu-impact.”

Levinus van der Veekens - Directeur Gebr van der Veekens

19.4 Emissiereductie

Als doel hebben wij bij Emission-0 het versnellen van de transitie naar een emissievrije wereld en het beschikbaar maken van emissieloos materieel en transport voor iedereen.

Het is hierbij ons hoofddoel het opgang brengen van een deeleconomie rondom emissieloos materieel en is het streven om minimaal 30% van het grootschalig emissieloos materieel in de database te hebben staan, en 30% van alle COBOUW top 50 aannemers in Nederland voor 2024 gebruik maken van emission-0. Hierbij is ons 2de doel, om minimaal 100 boekingen voor 2024 te hebben gerealiseerd waarbij op elke tender / project waar emission-0 wordt toegepast een reductie van minimaal 100% op fijnstof te realiseren voor alle door emission-0 geboekte materieelstukken.

20. 01 - Materiaalvraag woningbouw

20.1 Beoogde uitkomst

Met deze verkenning willen we de totale materiaalvraag, milieu-impact, CO₂-uitstoot en stikstofuitstoot van de Nederlandse woningbouw tot en met 2030 inzichtelijk maken. Daarbij kijken we enerzijds naar de impact wanneer we bouwen zoals *business-as-usual*. Anderzijds maken we een aantal alternatieve scenario's, waar met 'realistische extremen' is geschetst hoe de bouw zich ook zou kunnen ontwikkelen. Daarmee creëren we inzicht in welke verduurzamingsroutes reëel zijn wanneer we onze woningbouwvraag willen realiseren binnen de randvoorwaarden die gesteld worden vanuit duurzaamheidsopgaven.

20.2 Partners

Dit project voeren we uit in samenwerking tussen vier koplopende adviesbureaus op het gebied van circulair bouwen: Copper8, Metabolic, NIBE en Alba Concepts.

- **Copper8** richt zich op het creëren van de juiste randvoorwaarden voor het realiseren van de circulaire economie: enerzijds door projecten te begeleiden, anderzijds door de systemische randvoorwaarden voor circulair bouwen op orde te krijgen. Binnen dit project richt Copper8 zich op de kwalitatieve analyse van de bouwsector, het uitwerken van de verhaallijn en het meenemen van relevante partijen in de inzichten die worden opgedaan.
- **Metabolic** ontwikkelt strategieën en tools, bouwt pilots en creëert nieuwe ondernemingen die schaalbare oplossingen ontwikkelen om toe te werken naar een regeneratieve en circulaire economie. Binnen dit project richt Metabolic zich op het uitvoeren van de materiaalstroom- en milieu-impactanalyses.
 - **NIBE** adviseert opdrachtgevers bij het optimaliseren van hun impact op het milieu en heeft aan de basis gestaan van de Nederlandse Bepalingsmethode en de Nationale Milieudatabase. Binnen dit project richt NIBE zich op het uitwerken van de CO₂-budgetten.
 - **Alba Concepts** adviseert onder meer op het snijvlak van circulair bouwen en financiën, en heeft tevens bouwkundige en milieutechnische expertise op circulair bouwen. Binnen dit project richt Alba Concepts zich op de financiële doorrekening van de strategieën en scenario's.



20.3 Samenvatting van het deelproject

In dit deeltraject maken we de totale materiaalvraag, milieu-impact, CO₂-uitstoot en stikstofuitstoot van de woningbouw tot en met 2030 inzichtelijk. Deze verkenning is daarmee een volgende stap in het concretiseren van hoe de verduurzaming van de woningbouw in Nederland vorm zou moeten krijgen. Daarbij nemen we het realiseren van de duurzaamheidsdoelstellingen uit het Klimaatakkoord van Parijs en het Grondstoffenakkoord als randvoorwaarde, aangevuld met recente opgaven vanuit stikstof. Daarbinnen zoeken we vervolgens naar mogelijkheden om de woningbehoefte in te vullen – vanuit nieuwbouw of met andere oplossingen. Dat die aanvullende woningbehoefte bestaat en nodig is voor maatschappelijk welzijn, staat immers niet ter discussie.

Met deze verkenning willen we toewerken naar vier resultaten:

- 1 De **verwachte materiaalvraag** van de woningbouw, inclusief de milieu-impact als gevolg daarvan (*business-as-usual*);

- 2 **Alternatieve scenario's** voor het invullen van de woonbehoefte, inclusief hun milieu-impact en materiaalvraag;
- 3 **Inzicht** in hoeverre scenario's passen binnen de nationale doelstellingen op klimaat en circulaire economie;
- 4 **Handelingsperspectief** voor de verschillende overheden (Rijk, provincies, gemeenten), bouwbedrijven en andere partijen in de keten om de woningbouwopgave te realiseren binnen de duurzaamheidsdoelstellingen.

In het uitwerken van deze resultaten volgen we zes stappen:

- 1 **Specificeren woningbouwvraag.** Om uitspraken te kunnen doen over de milieu-impact en het materiaalgebruik van woningbouw, creëren we inzicht in de verwachte woninbouwvraag. Door de aantallen, typologieën en oppervlaktes te specificeren, kunnen we de materiaalvraag en milieu-impact beter inschatten. Dit doen we samen met nationale en regionale woningbouwexperts.
- 2 **Bepalen materiaalvraag, CO₂-uitstoot & milieu-impact *business-as-usual*.** De bouw van de benodigde woningen heeft een bepaalde materiaalvraag, CO₂-uitstoot en milieu-impact. Deze uitstoot en impact vindt zowel plaats in de keten (materiaal- en onderdeelproductie, logistiek) als op de bouwplaats. Dit leidt tot een *business-as-usual*-scenario, dat we gebruiken als referentie voor de alternatieve scenario's (stap 3-4).
- 3 **Ontwikkelen & doorrekenen alternatieve scenario's.** Om te verkennen op welke manieren de woningvraag op een duurzamere manier zou kunnen worden ingevuld, stellen we verschillende scenario's op voor het ontwerp en de materialisatie van woningen. Daarbij nemen we verschillende trends die we nu waarnemen in de transitie naar een circulaire bouweconomie als uitgangspunt. Denk aan scenario's zoals maximaal biobased, maximaal toepassen van hergebruikt materiaal, versnelde industrialisatie en kleinere bouw. In deze stap ontwikkelen we deze vijf scenario's en rekenen we deze door.
- 4 **Toetsen resultaten aan duurzaamheidsdoelstellingen.** Om te bepalen in hoeverre scenario's op lange termijn wel en niet haalbaar zijn, toetsen we deze aan de duurzaamheidsdoelstellingen. Daarbij kijken we naar zowel de doelen op klimaat als circulaire economie. Vanuit klimaat toetsen we de verwachte CO₂-uitstoot aan de emissieruimte die Nederland heeft onder het Klimaatakkoord van Parijs en de 60%-doelstelling voor 2030 uit het Coalitieakkoord. Vanuit materialen toetsen we het materiaalverbruik aan de beschikbare voorraad en de Rijksbrede 50%-doelstelling op circulaire economie.
- 5 **Uitwerken conclusies & handelingsperspectief.** De doorrekening van de zes scenario's leidt tot inzicht in hoeverre deze scenario's haalbaar zijn binnen de duurzaamheidsdoelstellingen. Ook wordt duidelijk wat de materiaalvraag per scenario is. Deze conclusies leiden tot handelingsperspectief om te sturen op verduurzaming van de woningbouwproductie. Daarbij kijken we zowel naar de verschillende overheden (Rijk, Provincies en Gemeenten) als naar andere partijen in de bouwketen (architecten, conceptontwikkelaars, aannemers). De conclusies gaan in op de vraag welke scenario's voor de toekomstige woningbouw realistisch zijn binnen de randvoorwaarden vanuit klimaat en circulaire economie. Het handelingsperspectief gaat in op de vraag wat partijen
- 6 **Toelichten conclusies & adviezen.** Met het opstellen van de conclusies en het handelingsperspectief zijn deze nog niet sectorbreed bekend. Om te zorgen dat de conclusies op de juiste manier overkomen bij de relevante partijen, nemen wij de tijd om deze toe te lichten en te bespreken. Daarmee kunnen we tevens een start maken richting doorwerking in beleid, waarmee duidelijk wordt hoe schoon en emissieloos bouwen plaats kan vinden binnen de Rijksbrede doelstellingen op zowel klimaat als circulaire economie.

20.4 Emissiereductie

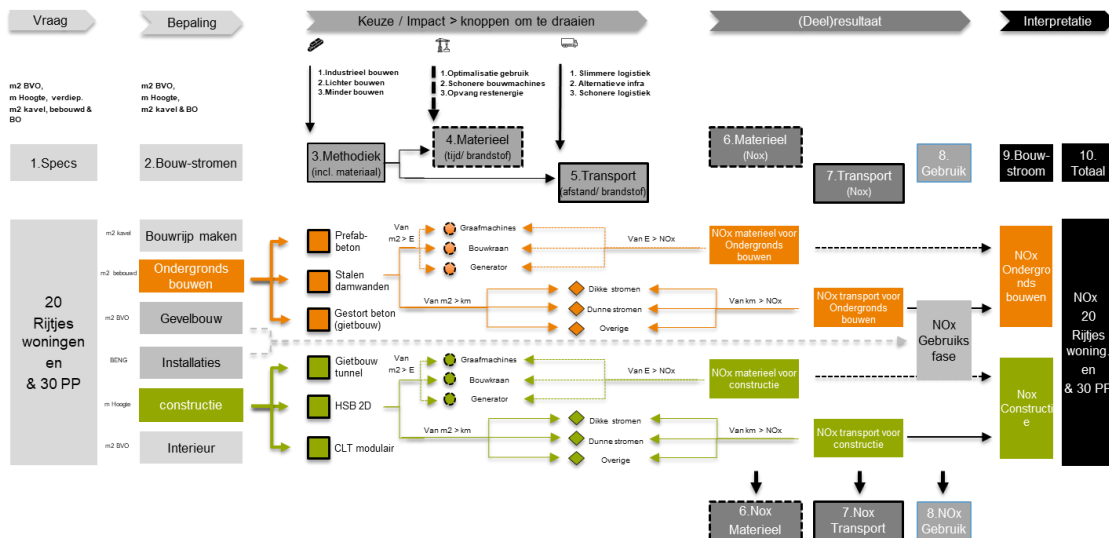
De conclusies uit deze verkenning leiden tot inzicht welke verbetering indicatief mogelijk is (CO₂ + overige milieu-impact) bij het toepassen van de circulaire strategieën en kiezen voor het verandescenario. Het kwantificeren van de stikstofuitstoot blijkt uitdagend; hier bieden wij een denkkader en indicatieve doorrekening om richting te bieden voor het sturen op uitstootreductie. Daarmee hopen wij een basis te leggen voor te maken beleidskeuzes richting een woningbouwopgave binnen de randvoorwaarden van onze duurzaamheidsopgaven.

21. 02 - Toolbox emissiereductie bouw

21.1 Beoogde uitkomst

In dit project wordt gestreefd naar een eerste opzet van een online tool waarmee het totaaleffect op emissie kan worden bepaald van verschillende emissiereductiemaatregelen die zich richten op de bouwlogistiek. De beoogde gebruiker betreft met name aannemers die ook om input zal worden gevraagd.

Onderstaande Figuur 21.1 geeft een eerste opzet van de beoogde structuur van de tool.



Figuur 21.1 Opzet voor het framework van de tool.

In de verwachte tool wordt een aantal verschillende modules onderscheiden:

- Inputmodule: Hierin wordt vastgesteld wat voor type bouwproject het betreft (bijvoorbeeld woningbouw) en wat de kenmerken van het project zijn (bijvoorbeeld m² BVO, aantal verdiepingen) (1). Deze input wordt vervolgens omgezet naar verschillende bouwstromen (2) die nodig zijn om de bouwwerkzaamheden uit te voeren.
- Rekenmodule: In het model wordt de input omgezet in rekenparameters om de emissies van het project te bepalen. Dit wordt voorzien in twee stappen:

- Voorspelling van het materiaalgebruik per bouwstroom aan de hand van de gekozen bouwmethode (3); en
- Voorspelling van de inzet van het bouwmaterieel (4) en het transport (5) in twee aparte deelmodules aan de hand van de benodigde materiaalinzet.

De tool zal aan de hand van een aantal "standaard" rekenregels een eerste voorzet doen voor de uitkomsten op het gebied van materiaalgebruik en inzet van materieel en voertuigen. Gebruikers kunnen de verwachte inzet aanpassen aan de hand van eigen berekeningen op basis van specificaties van het gebouw (verwachte materiaalinput) of specificaties voor de verwachte inzet van het bouwmaterieel (type, vermogen, leeftijd, verwacht gebruik) en transportmiddelen (afstand, aantallen). In de modules worden ook invoervelden toegevoegd waar de gebruikers verschillende innovaties en maatregelen kunnen toevoegen aan de verschillende toepassingsgebieden. Deze worden direct in de outputmodule ingevoegd.

- Output module: Voorspelling van de emissies op basis van de uitkomsten van de rekenmodule. Deze uitkomsten zijn er op het niveau van de deeltberekeningen voor de emissies (6, 7, en 8) en voor het totaal per bouwstroom (9) en voor het totale project (10).

Potentiële gebruikers van de tool geven aan dat de tool als geheel veel inzicht oplevert, maar dat zij ook meerwaarde zien in het toepassen van de individuele modules. Het voorstel is daarom om de tool *modulair* op te bouwen. De individuele modules zouden daarom ook los van elkaar moeten kunnen draaien. Partijen kunnen hiermee bijvoorbeeld voor een project alleen kijken naar de inzet van het materieel tijdens de bouw en naar specifieke reductiemaatregelen die hiervoor van toepassing zijn.

21.2 Partners

In de maand april en mei vinden er een meerdere interviews plaats met vooral aannemers (zie lijst hieronder). Bij 11 van de 15 bedrijven heeft al een kennismakingsgesprek plaatsgevonden of staat er een op de planning in mei/juni.

Naam	Organisatie
Bart Sletenaar	DGVH
Berri de Jonge	Plegt Vos
Philip Kuipers	Hedgehog
Dorien Staal	Voorbij Prefab
Frank van Gemert	Jongen Projectontwikkeling
Leander Jonker	MorgenWonen
Rob v Laarhoven	Visser & Smit Bouw
Daan Meijs	Boele & Van Eesteren
Wim Sturris	De Groot Vroomshoop
Nick Kempers	WAM&VanDuren
Bouwe van der Tuuk	DuraVermeer
Ron Frazer	VolkerWessels Materieel & Logistiek
Marcel Scheltinga	De Nijs
Peter Gijsen (B&U)	BAM
Frans Beentjes	Beentjes

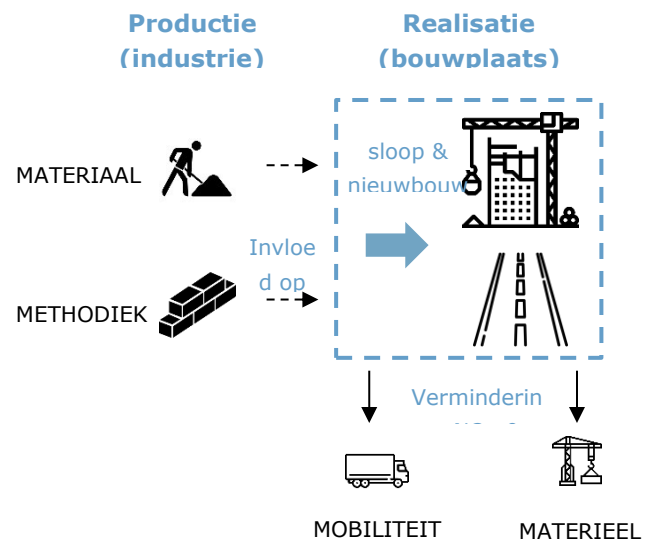
Doestelling van deze gesprekken zijn met name om data op te halen van bestaande of nog uit te voeren projecten. Deze data vooral in het kader van (1) materialen en (2) methodiek zijn cruciaal voor de uitbreiding van de huidige tool.

21.3 Samenvatting van het deelproject

De bouwsector staat voor een grote maatschappelijke uitdaging. De komende jaren moeten er ongeveer 90.000 nieuwbouwwoningen per jaar worden gebouwd. Zo'n duizend gebouwen moeten ieder jaar worden gerenoveerd. En bovendien moet veel infrastructuur worden uitgebreid, gerenoveerd of vervangen. Tegelijkertijd staan de effecten van de bouw op het milieu hoog op de agenda. Zo moet de uitstoot van stikstofoxiden (NO_x), koolstofdioxide (CO₂) en fijnstof (PM) zo ver mogelijk worden teruggebracht. Hiervoor is het programma Schoon en Emissieloos Bouwen geïnitieerd.

Om de ambities voor het terugbrengen van NO_x-, CO₂-, en PM-uitstoot voor 2030 te halen zijn vergaande maatregelen nodig. In het kader van kennisprogramma binnen Schoon en Emissieloos Bouwen worden verschillende emissiereductiemaatregelen voorgesteld en ontwikkeld. Hiervoor worden verschillende hoofdcategorieën maatregelen onderscheiden:

- **Materiaal:** Inzet biobased materiaal (zoals hout), lichtgewicht elementen en inzet circulair (herbruikbaar) materiaal.
- **Methodiek:** Toepassen van industrieel bouwen (prefab), lokale productie of concepten voor minder bouwen (renovatie i.p.v. slopen/nieuwbouw).
- **Mobiliteit (bouwlogistiek):** onder meer inzet van schone en zero-emissie voertuigen (bestelwagens en vrachtwagens), bundeling van ladingstromen, gebruik van hubs en verschuiving naar vervoer over water.
- **Materieel:** optimaliseren gebruik van bouwmachines in de dagelijkse praktijk en de inzet van emissiearme en -uitstootvrije bouwmachines.



Er zijn veel uiteenlopende (combinaties van) maatregelen mogelijk binnen de hierboven beschreven hoofdcategorieën. Het kwantificeren van de effecten op uitstoot van de uiteenlopende maatregelen is vaak nog een uitdaging. Er is sprake van een gebrek aan praktijkdata, meetmethodiek en instrumentarium en er sprake is van interactie tussen maatregelen.

De uitwerking van individuele maatregelen is daarnaast sterk afhankelijk van de eisen van een specifiek bouwproject. Gegeven de sterke noodzaak om snel te verduurzamen wordt er gekozen voor een strategie waarbij het nemen van kansrijke maatregelen parallel loopt aan kennisopbouw op dit vlak. Het ontwikkelen van een beoordelingsmethodiek is een belangrijk onderdeel van deze aanpak. Een beoordelingsmethodiek is enerzijds nodig om ex ante potentiële maatregelen te beoordelen. Anderzijds is een dergelijke methodiek nodig om ex durante en ex post de daadwerkelijke impact van genomen maatregelen te beoordelen en kan het gedurende de implementatie van maatregelen ruimte tot bijsturing bieden als blijkt dat het gewenste reductiepotentieel niet gerealiseerd gaat worden. Nieuwe bevindingen zouden hierbij kunnen adaptief opgenomen worden in de beoordelingsmethodiek. De laatste inzichten uit projecten over bijvoorbeeld de praktische inzetbaarheid of praktijkeffecten van nieuwe maatregelen kunnen worden geüpdatet in de methodiek.

Een manier om in verschillende stadia van een bouwproject inzicht te krijgen is aan de hand van een tool waarmee het totaaleffect op emissies kan worden bepaald van (pakketten van) verschillende emissie-reductiemaatregelen die zich richten op bouwlogistiek, bouwmaterieel en bouwindustrie. In dit onderzoekstraject ontwikkelt TNO de bouwstenen van een dergelijke tool, op basis van een eerder ontwikkeld concept.

21.4 Emissiereductie

Het is zeer moeilijk inschatten hoeveel emissiereductie de online tool kan bewerkstelligen.

Het helpt enerzijds aannemers inzicht te krijgen in hun emissies en vervolgens de juiste acties te nemen om te voldoen aan de emissie maatregelen.

De benadering van de emissie reductie kan worden gemaakt wanneer met verschillende partijen (lees aannemers) contact is opgenomen.

22.03 – Samen versnellen naar HNN

22.1 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).

22.2 Partners

De roep om eenduidige taal is ontstaan bij de zes grote opdrachtgevers Rijkswaterstaat, 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.

22.3 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).

22.4 Emissiereductie

Aan de evaluatiemodule worden twee indicatoren toegevoegd, gericht op CO₂ en NO_x reductie. De CO₂ indicator past binnen het cluster 'materialen'. De NO_x 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).