

# Milieuwinst industrieel bouwen

Analyse CO<sub>2</sub>-uitstoot transport & materieel, bouwafval en fabrieksbouw voor traditionele en industriële bouw





# Samenvatting

De Nederlandse bouwsector staat voor de opgave om de woningbouw tegelijkertijd te versnellen, te verduurzamen en betaalbaarder te maken. Industrieel bouwen wordt gezien als belangrijke oplossingsrichting. Dit komt vooral door de kortere bouwtijd en de lagere bouwkosten. Bij veel partijen is de aannahme dat industrieel bouwen ook leidt tot een lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot. Tot op heden is dit echter nog niet cijfermatig onderbouwd.

De milieuwinst van industrieel bouwen ten opzichte van traditioneel bouwen komt niet goed naar voren in de Milieuprestatie Gebouw (MPG). Dit komt allereerst omdat de milieu-impact van de Bouwfase (A4+A5) vaak niet volledig wordt berekend. Onderwerpen als bouwafval en de bouw van woningfabrieken komen niet of nauwelijks voorin de huidige MPG-berekening. Hierdoor hebben woningen met vergelijkbare materialisatie – maar een andere bouwmethode – vaak een vergelijkbare MPG-score.

**Let op!** Voor het berekenen van de impactverschillen tussen de bouwmethodes is in het onderzoek uitsluitend gekeken naar de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Dit is één van de (belangrijke) factoren in de MPG-berekening, maar niet de enige.

**Efficiëntere logistiek, minder materieelinzet en een kortere bouwtijd leiden tot een vermindering in CO<sub>2</sub>-uitstoot bij industriële bouw.** De meer efficiënte inzet van logistiek en materieel is hierin de belangrijkste factor. Een eerste indicatie op basis van drie cases is een winst van 1 tot 33 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> BVO voor industrieel bouwen. De winst is groter bij een vergelijking tussen 3D-industriële bouw en traditionele bouw, en wordt kleiner bij een vergelijking tussen 2D-industriële bouw en hybride bouw.

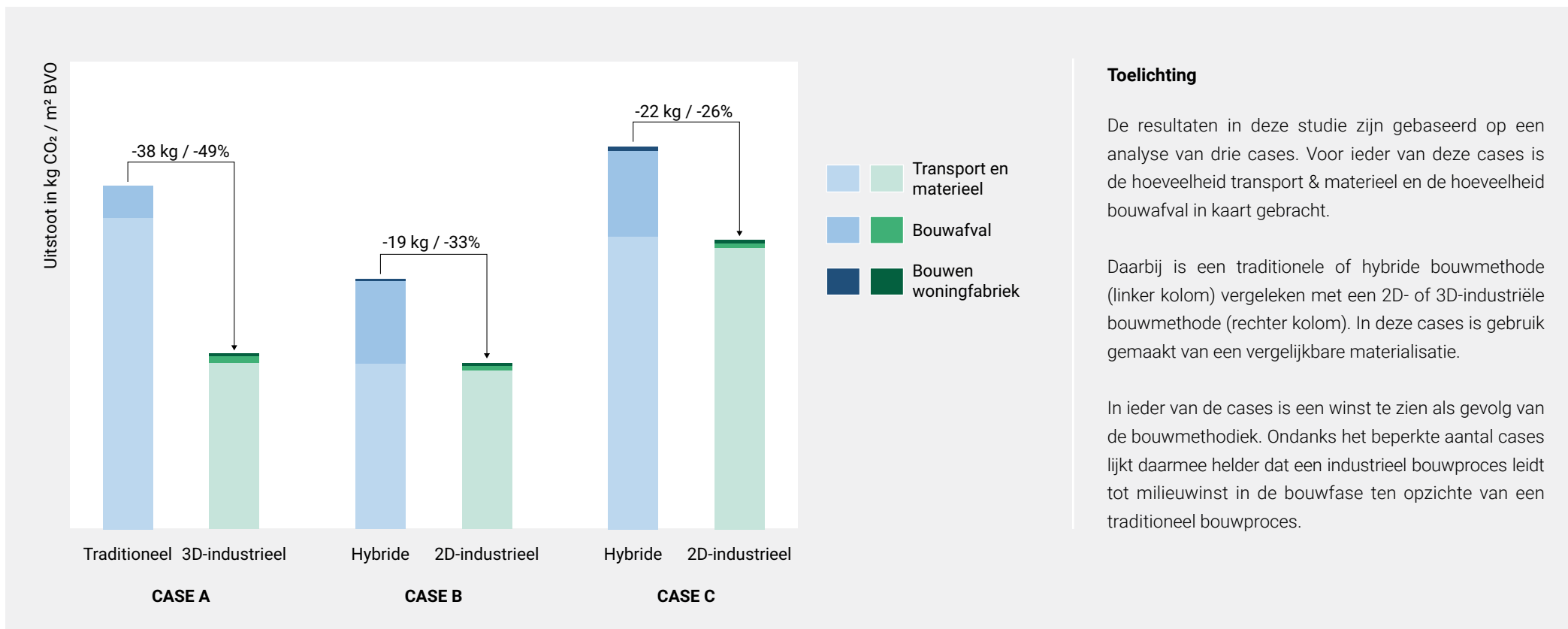
**Ook de lagere hoeveelheid bouwafval leidt tot flinke CO<sub>2</sub>-reductie voor industriële bouw.** Op basis van de drie cases leidt dit indicatief tot een CO<sub>2</sub>-reductie van 6 tot 21 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> BVO. Dit komt onder andere omdat productieprocessen in de fabriek efficiënter zijn dan op de bouwplaatsen omdat er beter afvalmanagement plaatsvindt in de fabrieken dan op de bouwplaats.

**De bouw van de woningfabriek leidt nauwelijks tot extra CO<sub>2</sub>-uitstoot voor industriële bouw per fabrieksmatig geproduceerde woning.** Op basis van de drie cases leidt dit tot een extra uitstoot van <1 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> BVO voor industriële bouw ten opzichte van traditioneel of hybride bouwen. Deze extra uitstoot is dus beperkt ten opzichte van de verminderde uitstoot op de gebieden van transport, materieel en bouwafval.

**In totaal leidt een industriële manier van bouwen tot een indicatieve CO<sub>2</sub>-reductie van 19-38 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> BVO, in vergelijking met een traditionele manier van bouwen.** Percentueel is dit een reductie van 25-50% ten opzichte van een meer traditionele manier van bouwen. Dit komt voornamelijk door de winst als gevolg van een verkorte bouwtijd en minder benodigde productie van bouwmaterialen. De extra CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van het bouwen van een woningfabriek blijkt beperkt.

▷ Deze CO<sub>2</sub>-reductie is visueel samengevat in figuur 1, op de volgende pagina.

**Om de MPG geschikt te maken voor het berekenen van de impact van bouwmethodes, is aanpassing van de berekeningswijze nodig.** Daarbij adviseren wij om onderscheid te maken tussen Productiefase (A1-A3: bouwmaterialen) en de Bouwfase (A4-A5: bouwmethode). Deze wijziging vraagt inspanning van verschillende partijen, waaronder de Rijksoverheid, de Nationale Milieudatabase (NMD), projectontwikkelaars en conceptontwikkelaars. Wanneer de impact nauwkeuriger kan worden ingeschat, kunnen ook gerichter stappen genomen worden om deze te verminderen.



### Toelichting

De resultaten in deze studie zijn gebaseerd op een analyse van drie cases. Voor ieder van deze cases is de hoeveelheid transport & materieel en de hoeveelheid bouwafval in kaart gebracht.

Daarbij is een traditionele of hybride bouwmethode (linker kolom) vergeleken met een 2D- of 3D-industriële bouwmethode (rechter kolom). In deze cases is gebruik gemaakt van een vergelijkbare materialisatie.

In ieder van de cases is een winst te zien als gevolg van de bouwmethodiek. Ondanks het beperkte aantal cases lijkt daarmee helder dat een industrieel bouwproces leidt tot milieuwinst in de bouwfase ten opzichte van een traditioneel bouwproces.

**Figuur 1** Vergelijking CO<sub>2</sub>-uitstoot traditioneel en industrieel bouwen voor transport en materieel, bouwafval en bouw woningfabriek



---

# Inhoud

1. Aanleiding **5**
  2. Uitgangspunt: rekenen met de MPG **6**
  3. Vergelijking: transport en materieel **10**
  4. Vergelijking: bouwafval **12**
  5. Vergelijking: woningfabriek **14**
  6. Conclusie: milieuwinst industrieel bouwen **15**
  7. Aanbevelingen: onderscheid in bouwmethode **17**
- Tot slot **19**

Deze publicatie komt voort uit de Master thesis *The potential benefit of industrial construction in CO<sub>2</sub> savings: A comparison with traditional construction and possibilities to reduce the environmental impact of industrial construction* door Hanna Boes. Deze publicatie maakt gebruik van de resultaten en conclusies van deze thesis. Aanvullend daarop zijn aanbevelingen gedaan om op basis van deze conclusies effectiever te sturen op de milieuwinst van industrieel bouwen.



# 1

## Aanleiding

**De Nederlandse bouwsector staat voor de opgave om de woningbouw tegelijkertijd te versnellen, te verduurzamen en betaalbaarder te maken. Industrieel bouwen wordt gezien als belangrijke oplossingsrichting. Daarbij is de aanname dat industrieel bouwen ook leidt tot een verminderde CO<sub>2</sub>-uitstoot. Tot op heden is dit echter niet cijfermatig onderbouwd.**

De Rijksoverheid heeft met het programma *Conceptuele bouw en industriële productie* (2021) ingezet op het versnellen van conceptuele, industriële woningbouw<sup>1</sup>. Deze nieuwe manier van werken heeft diverse voordelen, waaronder een kortere bouwtijd, meer voorspelbare kwaliteit en lagere bouwkosten. Ook is een belangrijk voordeel dat emissies op de bouwplaats sterk worden beperkt.

In 2023 wordt het Nederlandse woningtekort geschat op 390.000 woningen<sup>2</sup>. Om dit woningtekort terug te dringen, heeft de Rijksoverheid als doel om per jaar 100.000 woningen te bouwen<sup>3</sup>. Vanwege de voordelen van industrieel bouwen is het doel om in 2030 de helft van de woningen industrieel te bouwen<sup>4</sup>. Naast de inzet op industriële bouw is óók veel inzet nodig op circulaire strategieën als beter benutten, optoppen, biobased bouwen, hergebruik en versnelde verduurzaming van de bouwmaterialenindustrie.<sup>5</sup>

Tegelijkertijd heeft het Rijk duurzaamheidsdoelen. Op het gebied van klimaat moet de CO<sub>2</sub>-uitstoot met 55% zijn verlaagd in 2030<sup>6</sup>. Ook is de richtinggevende doelstelling om het primair abiotisch grondstofverbruik te halveren in 2030<sup>7</sup>. Het simpelweg bouwen van woningen

zonder rekening te houden met de milieu-impact is dus niet meer mogelijk.

De milieu-impact wordt berekend met de Milieuprestatie Gebouw (MPG). De MPG lijkt geschikt om de milieu-impact van bouwmaterialen (over de hele levenscyclus) inzichtelijk te maken. De verschillen in bouwmethode – industrieel versus traditioneel – komen echter niet goed naar voren<sup>8</sup>. Twee woningen met dezelfde materialisatie, maar een andere bouwmethode leiden tot vrijwel dezelfde MPG-score.

Leidt industrieel bouwen inderdaad tot een verminderde CO<sub>2</sub>-uitstoot van de bouw wanneer je dit vergelijkt met de traditionele manier van bouwen? Om deze vraag te kunnen beantwoorden maken wij de vergelijking tussen traditionele en industriële bouw.

### Verschillende bouwmethodieken

- Met *traditionele bouw* bedoelen wij het volledig bouwen op de bouwplaats.
- Met *industriële bouw* bedoelen wij het verplaatsen van een groot deel van het bouwproces naar een fabriek, waar 2D- of 3D-elementen worden geproduceerd. Deze elementen worden op de bouwplaats gemonteerd.
- Met een *hybride bouwmethode* wordt een deel van de elementen in de fabriek gemaakt (prefab) en een deel van de bouwdelen op de bouwplaats gebouwd. Deze hybride bouwmethode is in dit onderzoek 'traditioneel'.

# 2

## Uitgangspunt: rekenen met de MPG

**De milieuwinst van industrieel bouwen ten opzichte van traditioneel bouwen wordt niet zichtbaar in Milieuprestatie Gebouw (MPG). Voor dit onderzoek gebruiken we de MPG wel als uitgangspunt om deze potentiële milieuwinst zichtbaar te maken, maar met een aantal aanpassingen. Zo focussen we op één impactfactor (CO<sub>2</sub>-uitstoot) en vullen we de MPG-methodiek aan met extra modules om het verschil in bouwmethodes zichtbaar te kunnen maken.**

De MPG is vooral gericht op de *productie van bouwmaterialen*, en minder op de *uitvoering van bouwwerkzaamheden*. Dit komt omdat een milieuprofiel in de Nationale Milieudatabase (NMD) de milieu-impact van een bouwproduct voor alle projecten aan moet kunnen tonen, terwijl de bouwwerkzaamheden in de praktijk per project verschillen.

Mede hierdoor wordt de milieu-impact van de Bouwfase (A4+A5) vaak niet volledig berekend. Naast dat dit per project verschillend is, is het ook lastig om te monitoren wat er precies gebeurt in deze fase van het bouwproces. Denk aan de vele transportbewegingen, onderaannemers en het bouwafval wat er ontstaat.

Door het ontbreken van projectspecifieke berekeningen in de Bouwfase van de MPG leiden woningen met een vergelijkbare materialisatie maar een andere bouwmethode veelal tot dezelfde MPG-score. De verschillen in bouwmethodes zouden immers zichtbaar moeten worden in de Bouwfase (A4 + A5), maar worden dit in de praktijk nauwelijks.

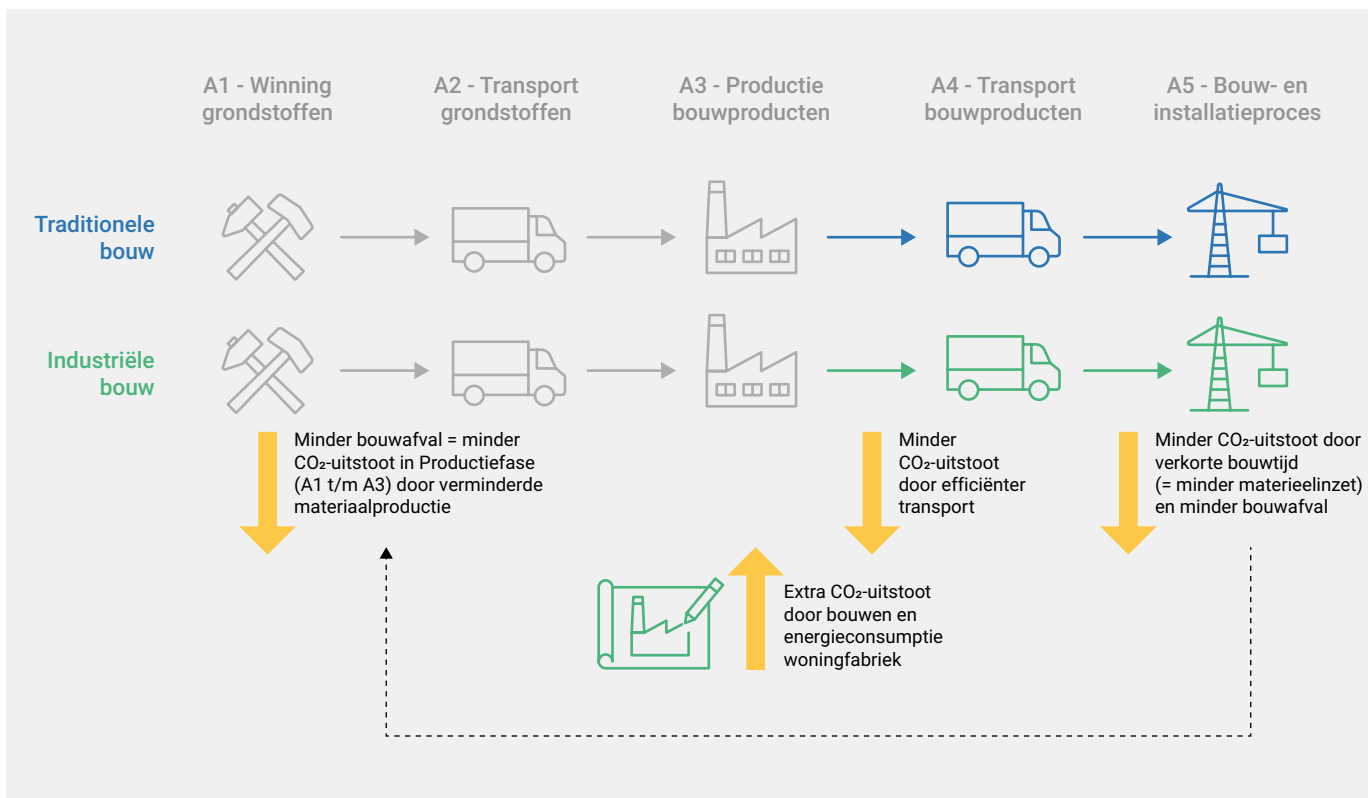
Desondanks nemen we voor dit onderzoek Module A (A1 t/m A5) van de MPG als uitgangspunt voor de berekeningen. Daarmee sluiten we aan bij de reguliere berekeningsmethodiek van de milieuprestatie, die in de sector bekend is. De verwachting is dat het industriële bouwproces verschillende voordelen heeft, bijvoorbeeld minder bouwafval. Daartegenover ontstaat wel extra milieu-impact door het bouwen van de woningfabriek. De relevante verschillen tussen traditioneel en industrieel bouwen zijn visueel samengevat in Figuur 2 op de volgende pagina.

### Verschillen industrieel bouwen en traditioneel bouwen

Een eerste voordeel van industriële bouw is dat dit minder *transportbewegingen* (A4) vraagt en er minder *materieel* op de bouwplaats (A5) nodig is. Daarmee daalt de energievraag – en dus de CO<sub>2</sub>-uitstoot – van logistiek en materieel<sup>8</sup>. Door het ontbreken van de berekeningen in de Bouwfase, laat de huidige MPG dit verschil echter niet of nauwelijks zien.

Daarnaast ontstaat bij industrieel bouwen minder *bouwafval*<sup>9</sup> onder andere door geautomatiseerde fabrieksprocessen en goed afvalmanagement in een fabriek. Omdat de MPG wordt berekend op basis van bouwtekeningen en niet op basis van het bruto materiaalverbruik, wordt ook dit verschil niet voldoende zichtbaar in de huidige MPG.

Ook is een *woningfabriek* nodig, waar de 2D- of 3D-elementen geproduceerd worden. Ook de bouw van deze fabriek



**Figuur 2** Relevante verschillen traditioneel en industrieel bouwen die ontstaan in de Bouwfase van de MPG-methode

wordt momenteel niet meegenomen in de MPG. Enerzijds ligt dit voor de hand, omdat de bouw van fabrieken voor de bouwmaterialenindustrie ook geen onderdeel van de MPG is. Anderzijds is deze toevoeging wel belangrijk, in ieder geval voor dit onderzoek, om een eerlijke vergelijking te maken tussen traditionele en industriële bouw. Dit levert immers een hogere milieu-impact op voor industriële bouw.

Tot slot is er een aantal andere voordelen, die los staan van de verschillen in het bouwproces. Denk daarbij aan grootschaliger toepassing van biobased materialen – wat mogelijk wordt door de geconditioneerde omgeving – en betere prestaties op losmaakbaarheid<sup>10</sup>. Deze voordelen zijn in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten, omdat de focus ligt op de verschillen tussen de bouwmethodes (A4 + A5 in de MPG-methodiek).

### Uitgangspunt: gelijke materialisatie

Om een goede vergelijking te kunnen maken tussen traditioneel en industrieel bouwen, is in dit onderzoek uitgegaan van een vergelijkbare materialisatie. In de praktijk zien we vaak andere materiaalkeuzes, mede als gevolg van de industriële manier van werken. Wanneer die andere materiaalkeuzes zouden worden meegenomen, wordt het echter niet mogelijk om het verschil in impact van de bouwmethode goed inzichtelijk te maken.

### Onderzoeksvraag: milieuwinst industriële bouw

Met dit onderzoek willen we een inschatting geven van het verschil in CO<sub>2</sub>-uitstoot tussen het bouwproces van een traditioneel en industrieel project, om te kunnen bepalen of industrieel bouwen inderdaad leidt tot een lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot. Een toelichting van de cases hiervoor is opgenomen in het kader op pagina 8.

Om het verschil tussen de scenario's te berekenen en de eerdergenoemde verschillen in kaart te brengen, is de MPG-methodiek aangevuld met een aantal extra modules. Dit is nader uitgewerkt in het kader op pagina 9.

### Hypothese

Door het ontbreken van de berekeningen in de Bouwfase van de MPG, hebben twee woningen met dezelfde materialisatie maar een andere bouwmethode, in de praktijk vrijwel dezelfde MPG<sup>8</sup>.

## Methode: cases

De cases bestaan ieder uit twee vergelijkbare scenario's. (Let op! De cases zijn onderling niet vergelijkbaar, de scenario's wel.) Deze cases zijn aangeleverd door verschillende industriële bouwers en zijn daarom geanonimiseerd. De gehanteerde bouwmethoden per casus zijn als volgt:

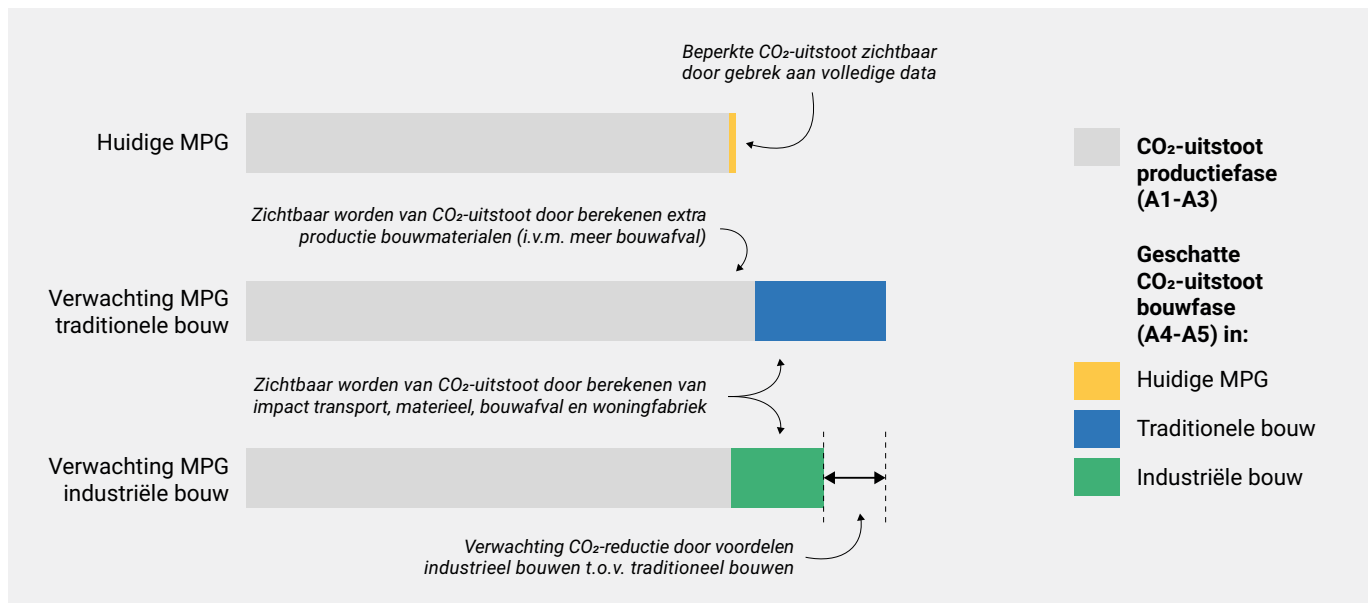
- Case A: traditioneel vs. 3D-industrieel scenario (appartementencomplex van ca. 200 woningen)
- Case B: hybride vs. 2D-industrieel scenario (rijtjeswoningen)
- Case C: hybride vs. 2D-industrieel scenario (losstaande woningen/twee-onder-één kap)

De hypothese is dat als de verschillen die op dit moment niet worden meegenomen in de MPG-methodiek (transport en materieel, bouwafval en de constructie van de woningfabriek), wél meegenomen worden, de milieuwinst voor industrieel bouwen zichtbaar wordt. Daarbij onderzoeken wij de volgende deelhypothesen:

- De CO<sub>2</sub>-uitstoot van transport (A4) en materieelinzet in de fabriek en op de bouwplaats (A5) is bij industriële bouw lager dan bij traditionele bouw.
- De CO<sub>2</sub>-uitstoot die ontstaat tijdens de productie van bouwmaterialen (A1 t/m A3) is hoger bij traditionele bouw omdat er meer bouwafval ontstaat en er dus meer bouwmaterialen geproduceerd moeten worden.
- De CO<sub>2</sub>-uitstoot van transport en verwerking van bouwafval is bij industriële bouw lager omdat er minder bouwafval ontstaat.
- De CO<sub>2</sub>-uitstoot die ontstaat bij de bouw en exploitatie van de woningfabriek leidt tot een hogere CO<sub>2</sub>-uitstoot voor industriële bouw.

De deelhypothesen zijn visueel weergegeven in figuur 3.

**Let op!** Voor het berekenen van de impactverschillen tussen de bouwmethodes is uitsluitend gekeken naar de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Dit is één van de (belangrijke) factoren in de MPG-berekening, maar niet de enige.



**Figuur 3** Indicatie van verwachte verschillen traditionele en industriële bouw, bij volledige berekening Bouwfase.



## Methode: aanvullende Modules in MPG-berekening

Omdat het grote deel van de verwachte verminderde CO<sub>2</sub>-uitstoot van industrieel bouwen plaatsvindt in onderdelen die op dit moment geen onderdeel zijn van de MPG-berekening, is het nodig om Modules toe te voegen aan de MPG-berekening. Daarmee kan een eerlijke vergelijking plaatsvinden tussen beide bouwmethodes, waarbij de volgende drie onderdelen terugkomen:

- *Transport & materieel*, waarin de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de extra transportstappen naar en van de fabriek (A4.2 en A4.3) en de CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van de energieconsumptie van de fabriek (A3.2) wordt meegenomen.
- *Bouwfval*, waarin de CO<sub>2</sub>-uitstoot van het produceren van het verloren materiaal (A1 t/m A3) en het transporteren en verwerken van bouwfval wordt meegenomen (A5).
- *Constructie woningfabriek*, met extra ketenstap voor het vaststellen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot die vrijkomt tijdens de bouwen exploitatie van deze fabriek.

Wanneer de aanvullende Modules worden meegenomen, ontstaat de volgende MPG-methode (zie figuur 4):

- A1 Winning grondstoffen
- A2 Transport grondstoffen naar de fabrieken van de bouwproducten
- A3.1 Productie bouwproducten
- A3.2\* Productie 2D- of 3D-elementen in de woningfabriek + bouw van de woningfabriek
- A4.1 Transport bouwproducten naar de bouwplaats
- A4.2\* Transport bouwproducten naar de woningfabriek
- A4.3\* Transport 2D- of 3D-elementen naar de bouwplaats
- A5 Bouw- en installatieproces op de bouwplaats

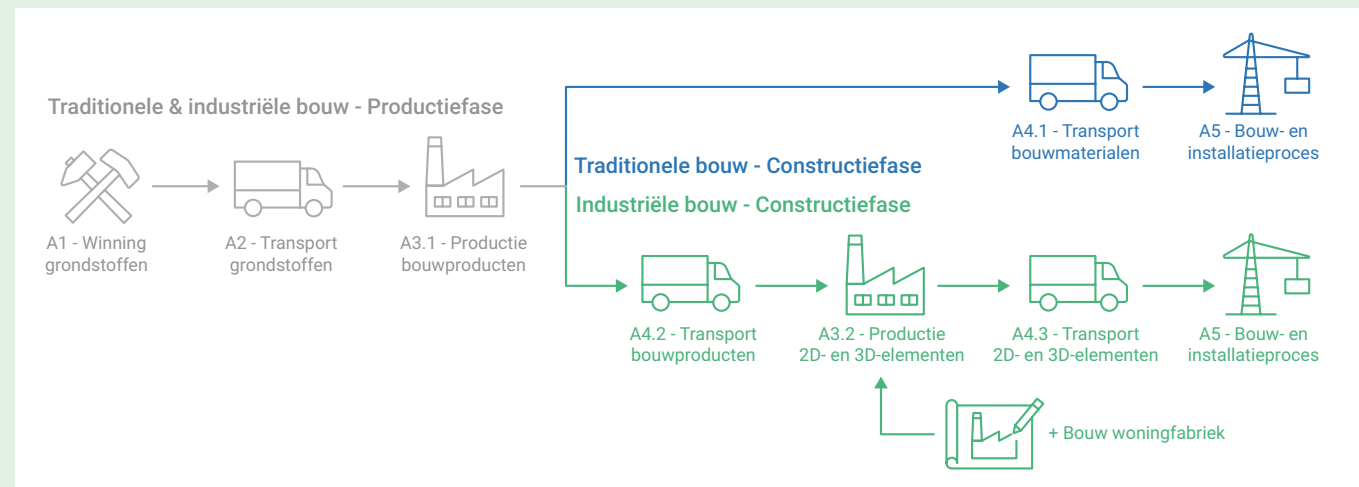
- A4.1 Transport bouwproducten naar de bouwplaats
- A4.2\* Transport bouwproducten naar de woningfabriek
- A4.3\* Transport 2D- of 3D-elementen naar de bouwplaats
- A5 Bouw- en installatieproces op de bouwplaats

\* Deze stappen zijn alleen van toepassing bij industriële bouw, de overige stappen gelden voor beide bouwmethodes.

Met de aanvullende modules blijft de benadering bij traditionele bouw gelijk, behalve de benaming (A3 → A3.1 en A4 → A4.1). Voor industriële bouw ontstaan drie extra stappen (A4.2, A3.2 en A4.3).

**Let op!** Ook bij industrieel bouwen wordt een klein deel van de bouwmaterialen direct naar de bouwplaats vervoerd, zoals materiaal voor stukadoors of soms installateurs. Voor de eenvoud is deze stroom niet meegenomen in Figuur 4, in de berekeningen is dit wel meegenomen.

**Aanname** Zoals ook eerder benoemd, is in dit onderzoek de aanname dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot in de Productiefase gelijk is. Dit is echter alleen zo, wanneer de materialisatie gelijk is. In de praktijk is deze materialisatie echter vrijwel nooit gelijk. Het enige verschil in de Productiefase dat in dit onderzoek wordt meegenomen, is de CO<sub>2</sub>-uitstoot door (vermeden) bouwfval.



**Figuur 4** Berekeningsmethodiek met aanvullende MPG-modules voor traditioneel en industrieel bouwen

# 3

## Vergelijking: transport en materieel

**Industrieel bouwen heeft een lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot dan traditioneel bouwen, wanneer we kijken naar transport en materieel. Dit is vooral het gevolg van de verschuiving van het bouwproces naar de fabriek en daardoor een kortere bouwtijd. Een eerste indicatie van deze winst is 1 tot 33 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> BVO. De hoogte van de winst is afhankelijk van de bouwmethode.**

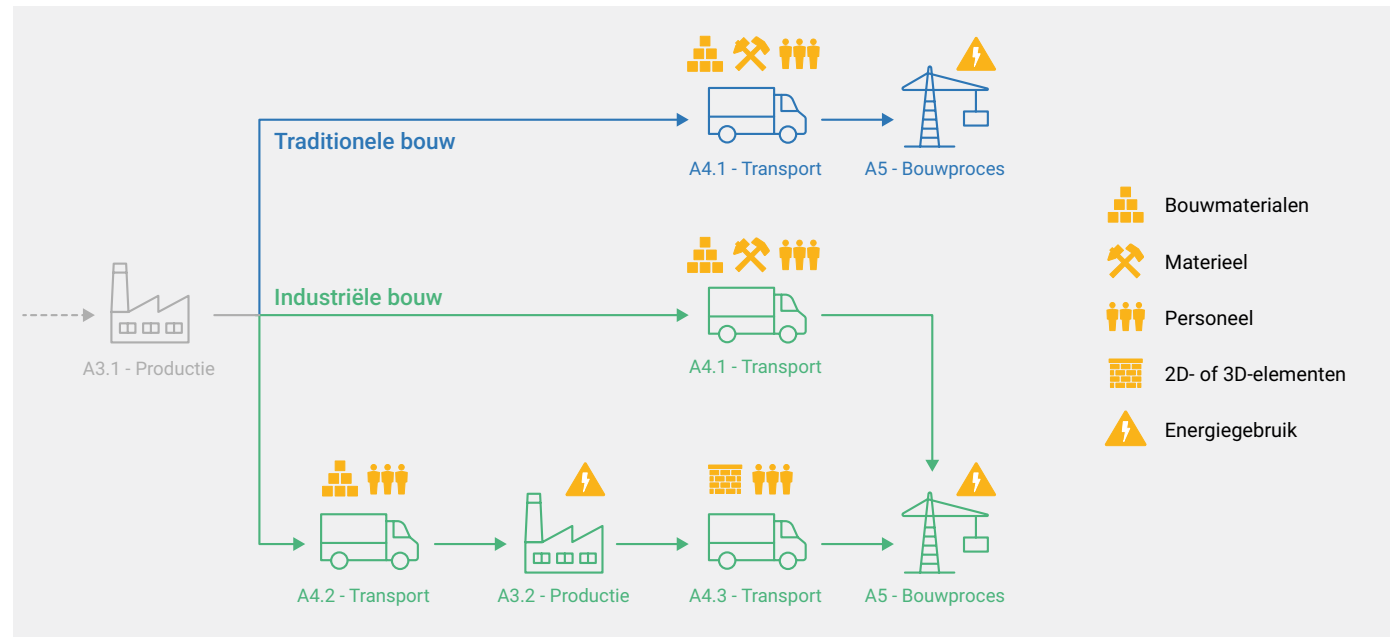
Transport en materieel zijn in de praktijk belangrijke onderdelen van het bouwproces. Tegelijkertijd is de uitstoot hiervan vooraf vaak lastig te bepalen, omdat dit het gevolg is van de keuzes in de uitvoering. Naast dat de keuzes

niet alleen door de aannemer maar ook door bijvoorbeeld leveranciers worden gemaakt, zijn deze keuzes op het moment van de MPG-berekening vaak nog niet bekend.

### Verschillen traditioneel en industrieel bouwen

Het verschil tussen de bouwmethodes vindt plaats in de Bouwfase van Module A van de MPG-berekening. Bij traditionele bouw bestaat deze fase uit twee onderdelen:

1. Transport van bouwmaterialen, personeel en materieel naar de bouwplaats (A4, in deze studie A4.1)
2. Materieelinzet voor bouwwerkzaamheden op de bouwplaats (A5)



**Figuur 5.** Verschil transport en materieel in de Bouwfase (A4 + A5) van Module A van de MPG



Bij industrieel bouwen wordt dit opgesplitst in vijf stappen, waarbij de assemblage in de fabriek is toegevoegd, met twee extra transportbewegingen:

1. Transport van bouwmaterialen, personeel en materieel direct naar de bouwplaats (A4.1)
2. Transport van bouwmaterialen en personeel naar de fabriek (A4.2)
3. Productie van 2D- of 3D-elementen in de fabriek (A3.2)
4. Transport van 2D- of 3D-elementen naar de bouwplaats (A4.3)
5. Materieelinzet voor assemblage 2D- of 3D-elementen op de bouwplaats (A5)

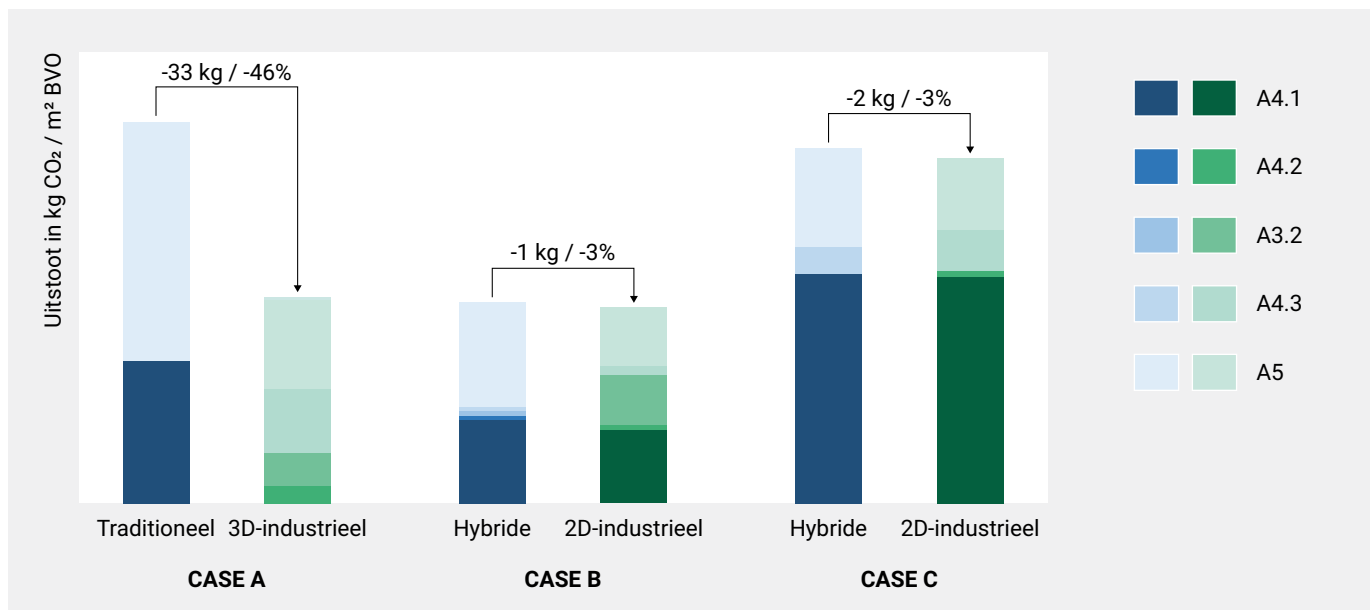
In beide situaties moet er ook personeel naar de bouwplaats – en bij industrieel bouwen ook naar de fabriek. Dit wordt vrijwel altijd buiten beschouwing gelaten bij een MPG-berekening. Door de kortere bouwtijd zijn er minder transportbewegingen naar de bouwplaats nodig. Tegelijkertijd zijn er extra transportbewegingen naar de fabriek.

### Resultaten

Een eerste indicatie laat zien dat efficiëntere inzet van transport en materieel bij industrieel bouwen kan leiden tot een CO<sub>2</sub>-besparing van 1 tot 33 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> BVO. De verschillen zijn vooral groot bij de vergelijking tussen traditionele bouw en 3D-industriële bouw (casus A). De

verschillen zijn minder groot bij de vergelijking tussen hybride bouw en 2D-industriële bouw (cases B en C). Dit is gevisualiseerd in Figuur 6.

De grootste vermindering van CO<sub>2</sub>-uitstoot vindt plaats in Module A5. Dit is het gevolg van de aanzienlijk kortere bouwtijd van industrieel bouwen, waardoor materieel minder lang hoeft te worden ingezet. Daarbij vindt een verschuiving plaats van de bouwplaats (A5) naar de fabriek (A3.2). De extra CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van de fabrieksmatige productie van de 2D- of 3D-elementen (A3.2) is beperkt, mede als gevolg van de hoge efficiëntie van het industriële proces ten opzichte van het handwerk op de bouwplaats.



**Figuur 6** Vergelijking: CO<sub>2</sub>-uitstoot transport en materieel in de Bouwfase van Module A van de MPG

### Hogere CO<sub>2</sub>-uitstoot casus C

De CO<sub>2</sub>-uitstoot van beide scenario's in casus C is aanzienlijk hoger dan de CO<sub>2</sub>-uitstoot van het industriële scenario in cases A en B. Dit komt waarschijnlijk doordat in cases A en B de CO<sub>2</sub>-uitstoot van personeeltransport en transport van bouw materieel naar de bouwplaats (een deel van A4) niet is meegenomen, omdat de aanname was dat dit gelijk is voor beide bouwmethodes.

Bij casus C zijn deze wel meegerekend. Het materiaaltransport (ander deel A4) en de inzet van materieel op de bouwplaats (A5) zijn wel meegenomen.

# 4

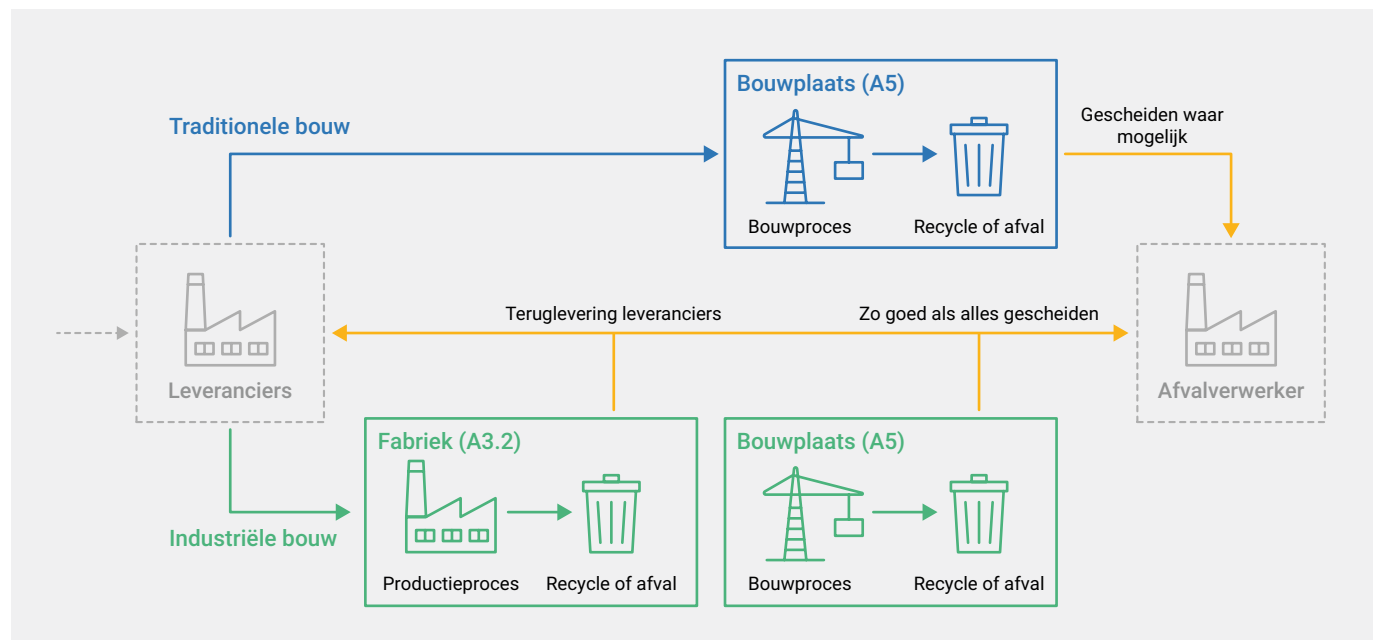
## Vergelijking: bouwafval

**Industrieel bouwen leidt tot een lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot dan traditioneel bouwen, wanneer we kijken naar de hoeveelheid bouwafval. Dit is vooral het gevolg van de efficiënte, fabrieksmatige productie in vergelijking met het handwerk op de bouwplaats. Een eerste indicatie is dat de besparing in bouwafval 6 tot 21 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> BVO oplevert.**

Bouwafval wordt op dit moment niet goed meegenomen in de berekening van de milieuprestatie gebouwen. Dit komt doordat de MPG wordt berekend op basis van het ontwerp, waarbij er op papier geen sprake is van bouwafval.

Als gevolg van industrieel bouwen ontstaat er minder bouwafval. Bij het afval dat ontstaat, is beter afvalmanagement in de fabriek mogelijk. Het is daarom belangrijk om het verschil in bouwafval mee te nemen in een vergelijking tussen beide bouwmethoden.

In de milieuprofielen van bouwproducten – en daarmee in de MPG – wordt standaard gerekend met 5% materiaalverlies. Bij goede argumentatie (zoals industrieel bouwen) mag dit op basis van de *Bepalingsmethode* worden verlaagd naar 3%. Dit verschil is echter marginaal in verhouding tot verwachte verschillen in de praktijk.



**Figuur 7** Verschil bouwafval in de Bouwfase van Module A van de MPG-methode



## Verschillen traditioneel en industrieel bouwen

Bij traditionele bouw ontstaat relatief veel bouwafval. Het goed scheiden van afval is in de praktijk vaak lastig. Dit komt onder andere door de vele onderaannemers en ruimtegebrek voor verschillende containers<sup>8</sup>.

Bij industrieel bouwen verschuift het bouwproces van de bouwplaats naar de fabriek. Door het geautomatiseerde proces ontstaat allereerst minder afval. Daarnaast is er meer ruimte om dit goed te scheiden – en eventueel opnieuw in te zetten in het productieproces. Daarnaast wordt restmateriaal steeds vaker door leveranciers teruggenomen<sup>8</sup>.

In beide situaties wordt het (gescheiden) afval naar de afvalverwerker vervoerd, die het afval verwerkt. Figuur 7 (vorige pagina) laat de verschillen tussen beide bouwmethodes zien en toont de route van het bouwafval voor zowel traditionele als industriële bouw.

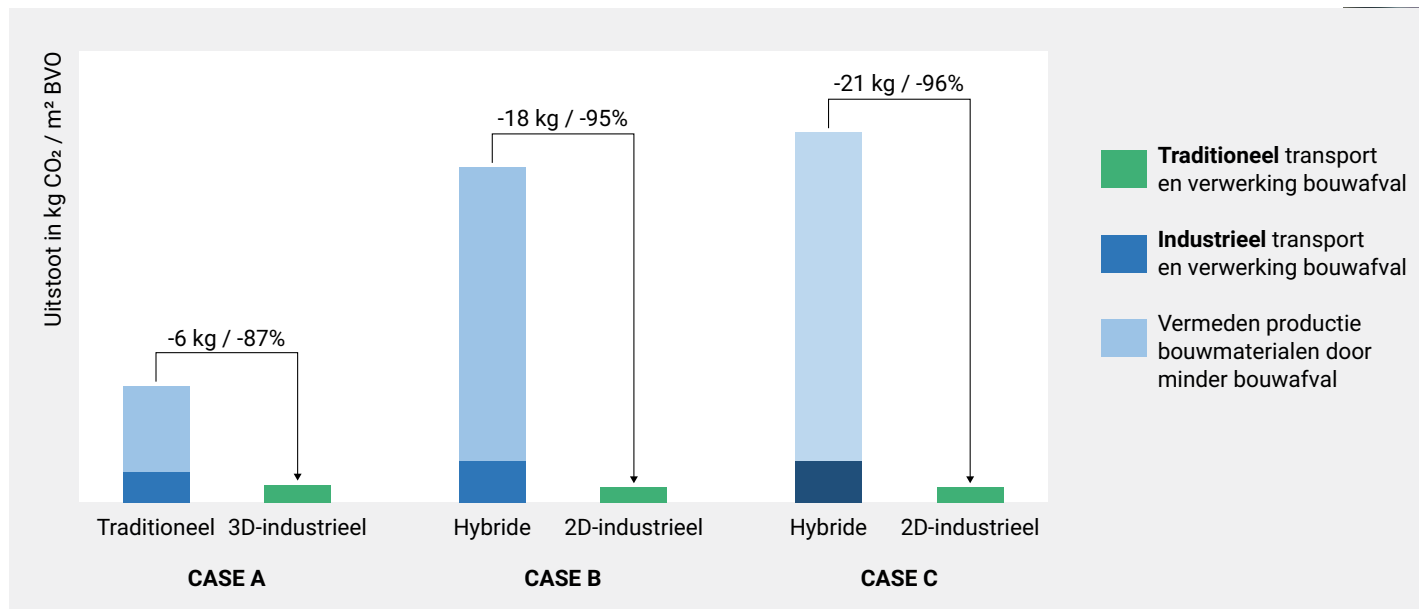
## Resultaten

Een eerste indicatie is dat industrieel bouwen op het gebied van bouwafval kan leiden tot een CO<sub>2</sub>-besparing van 6 tot 21 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> BVO (zie ook Figuur 8). Dit volgt uit een analyse van cases A, B en C, waarbij het verschil toeneemt naarmate bouwprojecten groter worden.

Deze CO<sub>2</sub>-uitstoot bestaat uit twee onderdelen:

- De CO<sub>2</sub>-uitstoot van vervoer & verwerking van het bouwafval
- De CO<sub>2</sub>-uitstoot door vermeden productie van (afval) materiaal

**Let op!** Deze cijfers zijn berekend op basis van gemiddelde cijfers van andere projecten, fabrieken en databases als EcoInvent (v3.8). Dit komt door gebrek aan de exacte data van de projecten van de cases. Wij nodigen partijen uit om zelf te komen met meer accurate data.



Figuur 8 Vergelijking: CO<sub>2</sub>-uitstoot afkomstig van bouwafval



# 5

## Vergelijking: woningfabriek

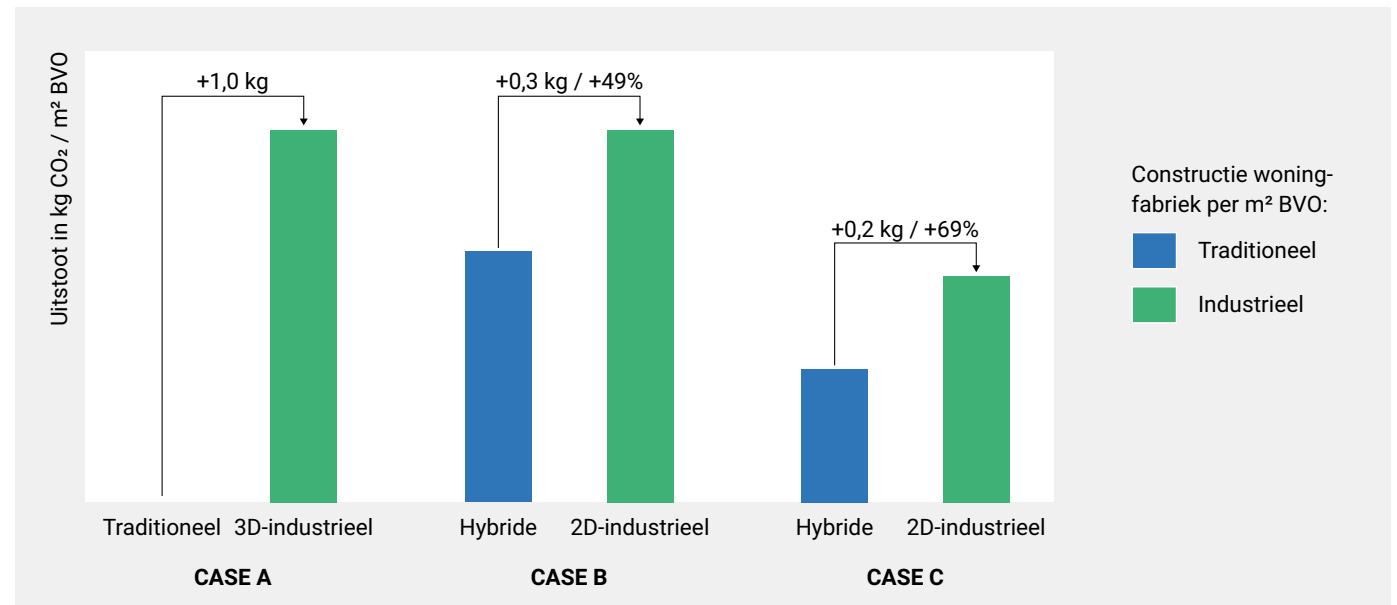
Om industrieel te kunnen bouwen, moet er een woningfabriek worden gerealiseerd: een fysieke productielocatie voor 2D- of 3D-elementen. Ook het realiseren van deze fabriek leidt tot CO<sub>2</sub>-uitstoot. Een eerste indicatie is dat dit leidt tot een beperkte extra CO<sub>2</sub>-uitstoot per woning die fabrieksmatig wordt geproduceerd.

De bouw van een 'woningfabriek' is geen onderdeel van de MPG-berekening. Om een eerlijke vergelijking te maken, willen wij deze CO<sub>2</sub>-uitstoot wel in kaart brengen. De benodigde data van de fabrieken (materialisatie, machines) zijn vaak vertrouwelijk of simpelweg niet beschikbaar. Daarbij is een gemiddelde genomen van drie fabrieken uit Ecolnvent, inclusief installaties.

### Resultaten

De bouw van een woningfabriek leidt tot een hogere CO<sub>2</sub>-uitstoot voor industrieel bouwen. Een eerste inschatting is dat dit leidt tot maximaal 1 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> BVO van de (deels) fabrieksmatig geproduceerde woning.

Bij de hybride bouwmethodes (cases A en B) is uitgegaan van het percentage gewicht van de onderdelen die industrieel gebouwd zijn om de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de fabriek mee te nemen in de vergelijking. Het verschil in CO<sub>2</sub>-uitstoot per m<sup>2</sup> BVO neemt dus af wanneer een groter deel van de hybride woning in een fabriek is geproduceerd. De resultaten zijn visueel samengevat in Figuur 9.



Figuur 9 Vergelijking: CO<sub>2</sub>-uitstoot door constructie woningfabriek



# 6

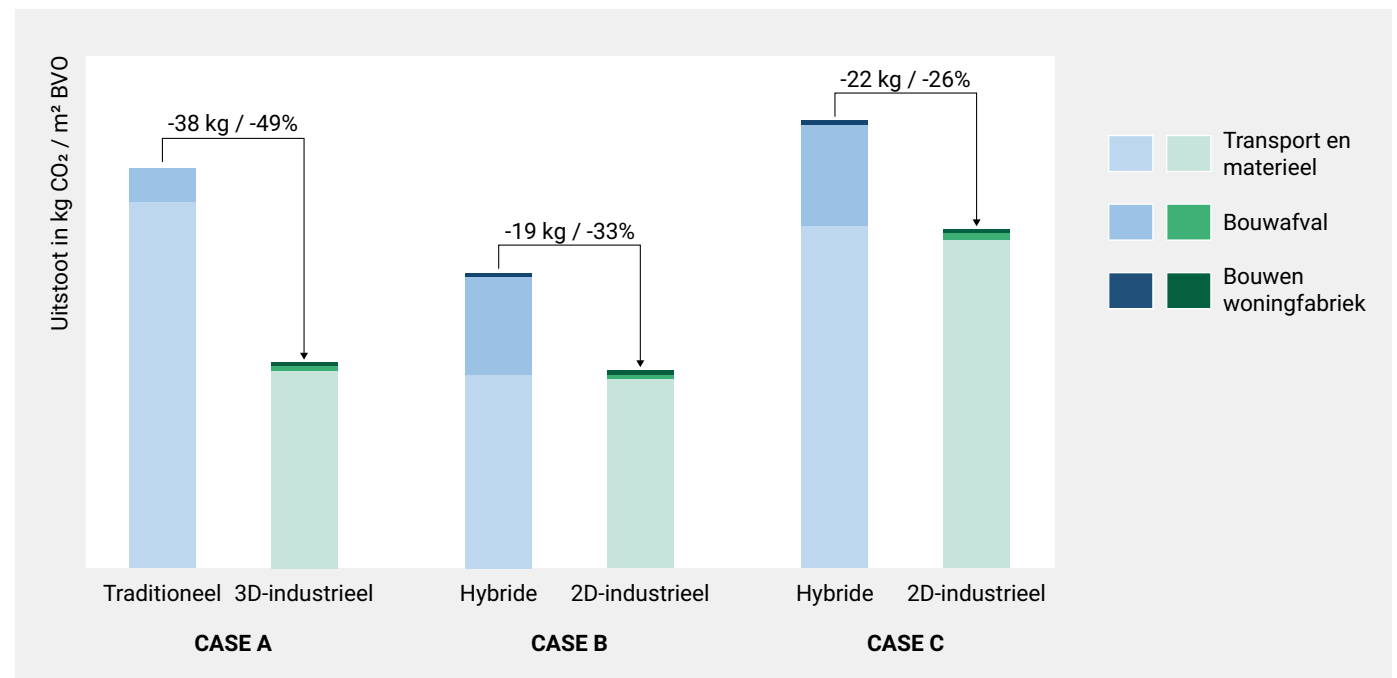
## Conclusie: milieuwinst industrieel bouwen

Wanneer we kijken naar de CO<sub>2</sub>-uitstoot van traditioneel en industrieel bouwen, kan industrieel bouwen leiden tot een besparing van in totaal 19 tot 38 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> BVO. Dit is voornamelijk het gevolg van meer efficiënte logistiek en materieelinzet. Daarnaast ontstaat er bij industrieel bouwen minder bouwafval. De extra CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van het bouwen van een woningfabriek lijkt beperkt.

Meer industrieel bouwen draagt bij aan de verschillende ambities op het gebied van woningbouw: niet alleen snel-

heid, veiligheid en betaalbaarheid, maar ook verdere verduurzaming. Een eerste indicatie is dat industrieel bouwen leidt tot een besparing van 19-38 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> BVO bij een fabrieksmatig geproduceerde woning, in vergelijking met traditioneel bouwen. Percentueel is dit een CO<sub>2</sub>-besparing van 25-50%, afhankelijk van de bouwmethode. Dit is samengevat in Figuur 10.

Bovenop deze milieuwinst is verdere winst mogelijk in de productiefase (A1 t/m A3), bijvoorbeeld door toepassing van CO<sub>2</sub>-arm beton of meer biobased materialen.



Figuur 10 Vergelijking CO<sub>2</sub>-uitstoot traditioneel en industrieel bouwen voor transport en materieel, bouwafval en bouw woningfabriek

## Grootste CO<sub>2</sub>-reductie mogelijk op het gebied van transport en materieel

Op dit moment leidt industrieel bouwen op het gebied van transport en materieel tot een vermindering van 1 tot 33 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> BVO. Het grootste verschil is tussen traditionele en 3D-industriële bouw, de verschillen tussen hybride bouw en 2D-industriële bouw zijn kleiner (-1/-2 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> BVO). Deze vermindering wordt grotendeels veroorzaakt door de verkorte bouwtijd bij industrieel bouwen (A5). Door efficiënter transport naar de bouwplaats (materiaal, materieel en personeel) en de korter benodigde materieelinzet kan deze CO<sub>2</sub>-uitstoot verder afnemen.

## Flinke CO<sub>2</sub>-reductie met vermeden bouwafval

Aanvullend ontstaat CO<sub>2</sub>-reductie als gevolg van vermeden bouwafval. De verschillen tussen traditioneel en industrieel bouwen lopen op tot 19 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> BVO. De vermindering van bouwafval leidt in dit geval tot de grootste relatieve winst (-96% ten opzichte van -46% voor transport en materieel, beide in vergelijking met traditioneel bouwproces).

Deze winst komt vooral doordat bouwmaterialen die in het traditionele bouwproces afval worden, bij een indus-

trieel proces niet geproduceerd hoeven te worden. Daarnaast zorgt beter afvalmanagement in fabrieken voor scheiden – en waar mogelijk herinzetten – van vrijgekomen materiaal, waarmee de hoeveelheid af te voeren afval sterk vermindert.

## CO<sub>2</sub>-uitstoot constructiewoningfabriek beperkt

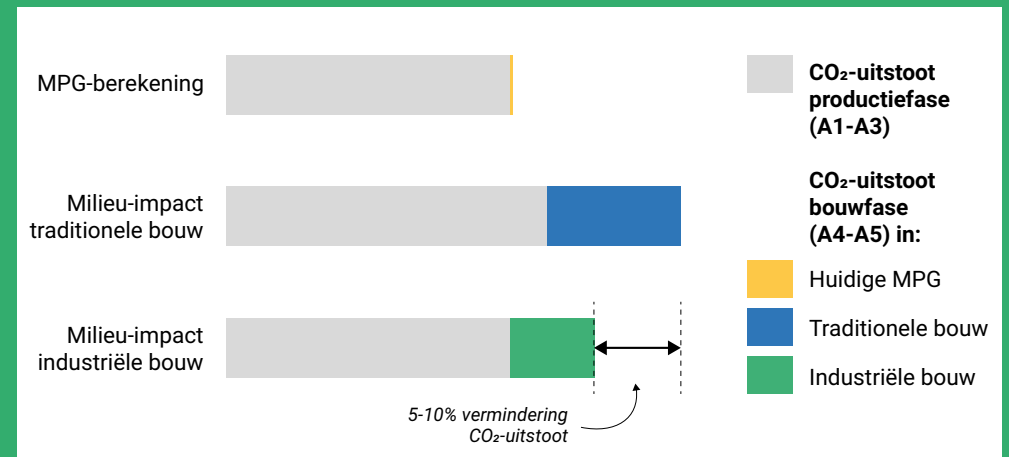
De bouw van een woningfabriek leidt tot een extra CO<sub>2</sub>-uitstoot van maximaal 1 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> BVO van een fabrieksmatig geproduceerde woning. Dit is het gevolg van de bouw van zowel de bouw van de fabriekshal als plaatsing en gebruik van installaties.

## Milieuwinst bouwfase in perspectief productiefase

Wanneer we de berekende impactreductie van industrieel bouwen in de bouwfase (A4 + A5) in perspectief plaatsen van de gehele Productie- en Bouwfase (A1 t/m A5), leidt industrieel bouwen tot 5 à 10% CO<sub>2</sub>-besparing ten opzichte van traditioneel bouwen. In de bouwfase (A4 + A5) vindt namelijk zo'n 20% van de impact plaats<sup>11</sup>. Van die 20% wordt vervolgens 25-50% bespaard.

Deze winst komt op dit moment echter niet terug in de MPG-berekening. Dit is gevisualiseerd in figuur 11:

- In de huidige MPG-berekening wordt in de Bouwfase vrijwel geen impact (in dit geval: CO<sub>2</sub>-uitstoot) meegerekend. Ook wordt niet uitgegaan van afvalmateriaal, als gevolg van onnodige productie in de Productiefase (A1-A3).
- Bij een traditionele bouwmethode ontstaat dus – ten opzichte van de huidige MPG – zowel extra CO<sub>2</sub>-uitstoot in de Productiefase (door extra produceren van materialen) als in de Bouwfase (door berekenen transport en materieel).
- Bij een industriële bouwmethode vindt er CO<sub>2</sub>-reductie plaats als gevolg van vermeden bouwafval en efficiëntere logistiek en materieelinzet. De extra CO<sub>2</sub>-uitstoot door de constructie van de fabriek is, omgerekend per m<sup>2</sup> BVO van de geproduceerde woningen, marginaal.



**Figuur 11** CO<sub>2</sub>-reductie van industriële bouw, ten opzichte van gehele Module A van de MPG (in CO<sub>2</sub> per m<sup>2</sup> BVO). Let op! De lengtes van de balkjes zijn indicatief en geven geen achterliggende data weer.

# 7

## Aanbevelingen: onderscheid in bouwmethode

**Om te zorgen dat er op een correcte manier gestuurd kan worden op industrieel bouwen, is het nodig dat de milieuwinst van industrieel bouwen zichtbaar wordt in de MPG-berekeningen. Dat begint met een compleet beeld van de milieu-impact van een traditioneel bouwproces. Op basis daarvan kan de winst van een industrieel bouwproces inzichtelijk worden gemaakt.**

Zowel de Rijksoverheid, opdrachtgevers als marktpartijen zetten in op meer industrieel bouwen. Het Rijk met een ambitie van 50% industriële bouw in 2030, opdrachtgevers door het mogelijk maken van industriële bouwsystemen in projecten en marktpartijen door hun eigen proces verder te industrialiseren. Daarbij ligt vooralsnog de nadruk op nieuwbouw.

In Nederland wordt veel waarde gehecht aan de juiste cijfers over de milieu-impact, om daar goed op te kunnen sturen en rapporteren. Ook vanuit Europese richtlijnen, waaronder de *Corporate Sustainability Reporting Directive* (CSRD), wordt rapportage over duurzaamheidsimpact steeds belangrijker<sup>12</sup>. Een complete berekening, waarin alle milieu-impact is meegenomen en gestuurd kan worden op verbetering, is daarom van belang.

Industrieel bouwen kan een bijdrage leveren aan een meer circulaire bouw, vooral door het verminderen van bouwafval, de logistieke bewegingen en de inzet van materieel. Om de doelen op klimaat en circulaire economie te halen, blijven in aanvulling op industrialisatie ook circulaire ontwerp- en materiaalkeuzes nodig.

### **Oplossingsrichting: scheiden bouwmaterialen en bouwmethode**

Om te zorgen voor meer complete rekenresultaten, die beter aansluiten bij de uit te voeren praktijk, is het nodig om goed te kijken naar zowel de impact van de bouwmaterialen als de impact van de bouwmethode.

Voor de impact van de bouwmaterialen biedt de Nationale Milieudatabase een goede basis. Ondanks dat ook daar verbetering mogelijk is en de datakwaliteit en -actualiteit doorlopend om aandacht vraagt, is de opzet en huidige invulling van de database goed geschikt voor het inzichtelijk maken van de milieu-impact van bouwmaterialen.

Voor de impact van bouwmethoden is op dit moment nog geen goede systematiek. Omdat deze impact significant is (+/- 20% van de totale impact), is beter inzicht hier gewenst. Wanneer hier goed inzicht in is en er gestuurd kan worden, kan bijvoorbeeld ook een aparte stikstofberekening voor bouwwerkzaamheden overbodig worden. Om dit te kunnen integreren in de milieuprestatieberekening van een bouwwerk, is echter een aanvullende rekenmodule in de Nationale Milieudatabase nodig.

Om deze oplossingsrichting in de praktijk te kunnen brengen, moeten verschillende partijen op korte termijn stappen zetten. Wij doen daarvoor vier aanbevelingen: zie de volgende pagina.



## 1. Rijksoverheid

### Eis inzicht in bruto-hoeveelheden bouwmaterialen en in bouwmethode

De Rijksoverheid stelt de eisen aan de milieu-prestatieberekening (MPG). Deze eisen worden per 2025 aangescherpt. In deze aanscherping is uitgegaan van huidige productdata, met veel onzekerheid en ontbrekende data voor de bouwfase. Daarmee richt deze eis zich in de praktijk vooral op de toegepaste bouwmaterialen. Hierbij is het advies om de impact te bepalen van de bruto hoeveelheid bouwmaterialen inclusief het verlies tijdens het bouwproces. Door ook expliciet de impact van de bouwmethoden mee te nemen in de berekening, moeten partijen aan de slag om ook dit inzicht te creëren. Daarmee ontstaan ook sturingsmogelijkheden om de impact te verminderen.

## 3. Conceptontwikkelaars

### Maak complete impact inzichtelijk

Conceptontwikkelaars – in sommige gevallen ook zelf producenten – weten welke stappen er nodig zijn om hun concept te realiseren, zowel in materiaalgebruik als in de bouwmethodiek op locatie. Wanneer zij de complete impact inzichtelijk kunnen maken, helpt dit om alle partijen in de keten op de juiste manier te informeren. Daarmee kan op projectniveau ook worden bepaald wat de milieuwinst is ten opzichte van een traditionele aanpak.

Hierbij is het belangrijk om te onthouden dat door dieper in te gaan op industrieel bouwen, deze manier van bouwen vaak slechter uit de test komt dan traditioneel bouwen. Dit komt omdat bij de huidige data van traditioneel bouwen, vaak een groot deel ontbreekt of onduidelijk is (bijvoorbeeld het aantal busjes/ auto's van personeel naar de bouwplaats).

## 2. Nationale Milieudatabase

### Introduceer onderscheid bouwmaterialen en bouwmethoden

Stichting Nationale Milieudatabase beheert de database met milieuprofielen van bouwproducten. Op dit moment wordt de impact van de bouwfase bepaald door aannames over deze fase, die per bouwproduct worden gemaakt. Daarmee is er geen onderscheid in bouwmethoden mogelijk. Wanneer er in de NMD onderscheid wordt gemaakt tussen bouwmaterialen en bouwmethoden wordt het voor ontwikkelaars en aannemers mogelijk om de complete milieu-impact op een goede manier inzichtelijk te maken.

## 4. Producenten

### Plaats modules in Nationale Milieudatabase


Producenten – in sommige gevallen ook de conceptontwikkelaar – produceren 2D- of 3D-modules. Soms zijn dit gestandaardiseerde producten, soms samenstellingen van gestandaardiseerde producten. Wanneer deze 2D- of 3D-modules – of de gestandaardiseerde producten waaruit deze zijn opgebouwd – in de Nationale Milieudatabase zijn opgenomen, wordt het voor een MPG-berekening mogelijk om deze te hanteren en ontstaat beter inzicht in de daadwerkelijke milieu-impact.

Ook hierbij is het belangrijk dat de berekeningen van de impact van het maken van de 2D- en 3D-modules met dezelfde randvoorwaarden als de traditionele bouwmaterialen gemaakt worden. Op dit moment zijn verschillende bouwbedrijven al bezig met het uitwerken van deze berekeningen. Hierbij komt naar voren dat binnen de huidige milieuprofielen voor traditionele bouwmaterialen aan de gunstige kant aannames zijn gedaan. Hierdoor komt de milieuwinst van de modules op papier niet altijd goed tot uiting.

# Tot slot

Deze whitepaper is het resultaat van een afstudeeronderzoek voor de Master in Sustainable Energy Systems Management. Het doel van dat onderzoek is om te bepalen of industriële bouw, zoals vaak gesteld, daadwerkelijk bijdraagt aan een lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot ten opzichte van traditionele bouw. De resultaten van het onderzoek zijn in deze whitepaper gebruikt om een beeld te schetsen van de benodigde verandering in de bouwsector.

## Onderzoek

Het afstudeeronderzoek 'The potential benefit of industrial construction in CO<sub>2</sub> savings: A comparison with traditional construction and possibilities to reduce the environmental impact of industrial construction' door Hanna Boes is online beschikbaar 

## Aanvullende stappen

Na afronding van het afstudeeronderzoek zijn in het opstellen van de whitepaper twee stappen gezet:

- I. Opstellen van concept-whitepaper, met overkoepelende conclusies en adviezen aan de sector.
- II. Valideren van concept-whitepaper met experts in de sector, om te komen tot een definitieve publicatie.

# Bronvermelding

1. Ministerie BZK (2021) *De woningbouw duurzaam versnellen: Programma conceptuele bouw en industriële productie*
2. NOS (16 juni 2023) *Bouw van nieuwe woningen loopt nog sneller terug dan verwacht*
3. Ministerie van BZK (2022) *Nationale Woon- en Bouwagenda*
4. Ministerie van BZK (2022) *Nationale Woon- en Bouwagenda*
5. Copper8, Metabolic, NIBE & Alba Concepts (2023) *Woningbouw binnen planetaire grenzen*
6. Rijksoverheid (2021) *Ontwerp Beleidsprogramma Klimaat*
7. Rijksoverheid (2023) *Rijksbrede Programma Circulaire Economie 2023-2030*
8. Interviews met verschillende werknemers van bouwbedrijven als Heijmans, Van Wijnen, Dura Vermeer, Winder Limmen en Daiwa House Modular Europe (2023).
9. BUVA (2023) *Industrieel bouwen: Noodzaak, voorwaarden en toepassingsgebieden*
10. Netwerk Conceptueel Bouwen et al. (2023) *Woningconcepten en hun prestaties*
11. Intern onderzoek industriële bouwbedrijven
12. Cirkelstad (2024) *Het Nieuwe Normaal: Samenhang Europese raamwerken*

# Colofon

## Team

Hanna Boes (student, auteur)  
Sybren Bosch (Copper8, contactpersoon)  
Stefan Favrin (Copper8)

## Experts

Berri de Jonge (Plegt Vos)  
Marjet Rutten  
Pim Ketelaars (Heijmans)  
Thijs van den Born (Ministerie van Binnenlandse Zaken)  
Teun Verhagen (Van Wijnen)

## Ontwerp en opmaak

Richard van Zijll de Jong (Studio de Marcas)

## Afbeeldingen

Finch Buildings (voorpagina)  
Unsplash (overige afbeeldingen)

## Uitgave

Juni 2024