



Duurzaam Materiaalgebruik

CO₂ -reducerende materiaalkeuzes



Met onder andere:

- Analyse van en visie op meetmethoden
- CO₂ - reducerende materialen in beeld
- Vergelijking van 4 bouwmethodes



In opdracht van Circulair West

Deze uitgave is samengesteld met input van en speciale dank aan

Lars Bouwman (AW Groep), Jesse Emmelot (bouAd Adviesgroep), Ilse Visser en Leon van Ast (Circulair West), Merel Stolker (C-Creators), Stefan van Loon (Climetric), Ramon Vos (Bouwgroep Horsman & Co), IDDS, Jochem Hols en Remi Abelen-Bogaert (KVDK Architecten), Tim Kuiper (Meerlanden), Judith Truijens (My Happy Writings), Michiel Daalmans (New Story), Rob van der Graaf (Ouwehand Bouwen & Ontwikkelen)

Copyright gebruikte afbeeldingen

Adax, Altena Steenhandel, AW Groep, Climetric, KVDK Architecten, LJ Solutions, Platowood, Vandersanden Pirrouet, Wavin

Vragen? Of wil je meedoen met Circulair West?

Elke stap van iedere deelnemende organisatie brengt ons samen verder.

Doe je ook mee? info@circulairwest.nl

// Inhoudsopgave

Voorwoord	// 4
Leeswijzer	// 5
Relevantie van materiaalgebonden uitstoot	// 6
Meetmethoden: van onduidelijkheid naar inzicht	// 8
Verschillen en onderlinge verbanden	// 8
Meetmethoden voor CO ₂ -equivalente emissie	// 12
Onderzoek naar CO ₂ -besparende keuzes	// 14
Vergelijking van vier bouwmethododes	// 16
Materiaalkeuzes per bouwmethode	// 20
CO ₂ -reducerende materialen in beeld: welke keuzes zijn er?	// 22
CO ₂ -prestaties per gebouwschaal	// 25
Bevindingen	// 29
Meetmethododes	// 29
Materiaalkeuzes	// 29
Gebouwschaal	// 30
Overkoepelende inzichten	// 30
Bouwmethododes	// 33
Case - Parametrisch design	// 34
Boodschap voor morgen	// 37
Bronnen	// 38
Afkortingen	// 39



Voorwoord

Bouwen heeft een grote impact op de wereld om ons heen. Om de klimaatdoelen voor 2030 te halen, moeten we de CO₂-uitstoot in de bouw sneller verminderen. Maar dat is niet makkelijk. De regels lopen achter op de ontwikkelingen, zijn ingewikkeld en sluiten niet altijd goed aan bij de klimaatdoelen. Ook zijn de meetmethodes voor CO₂-uitstoot vaak moeilijk te gebruiken. Daarnaast kunnen keuzes over materialen het bouwproces vertragen en zorgen voor onduidelijkheid.

Veel bouwbedrijven kiezen daarom voor vertrouwde materialen, vooral vanwege de prijs en zekerheid. Hierdoor worden duurzame kansen gemist, zoals het verlagen van CO₂-uitstoot door andere materialen te gebruiken. Maar hoe kunnen we beter begrijpen waar in de bouw de meeste CO₂ vrijkomt? En wat kunnen we doen om dit te verminderen?

In deze uitgave geven we duidelijke uitleg en praktische tips. We beantwoorden vragen zoals:

- // Hoeveel CO₂ mogen we nog uitstoten?
- // Welke invloed heeft materiaalkeuze hierop?
- // Hoeveel CO₂ stoten verschillende materialen uit en hoe meet je dat?
- // Welke duurzame alternatieven zijn er?

We kijken naar de CO₂-uitstoot van veelgebruikte bouwmaterialen en laten zien welke duurzamere opties er zijn. Zo maken we het makkelijker voor bouwbedrijven om bewuste keuzes te maken. Ook bespreken we hoe een bouwteam invloed kan hebben, bijvoorbeeld door te sturen op de levensduur

van materialen en de samenstelling van een gebouw. Daarnaast leggen we uit hoe CO₂-uitstoot van materialen gemeten kan worden en vergelijken we bekende meetmethodes. Waarbij we ook oog hebben voor de mate van circulariteit van materialen.

Duurzame materialen bieden niet alleen kansen om de CO₂-uitstoot te verlagen, maar stimuleren ook innovatie. In dit onderzoek brengen we een verdieping op CO₂-reducerend bouwen en laten we zien hoe je dit in de praktijk kunt toepassen. Doe er je voordeel mee!

Dit onderzoek is een praktische verdiepingsslag vanuit de publicatie Blauwdruk Duurzame Woonwijk op het thema 'Circulair Bouwen & Materialisering'. Gericht op circulair materiaalgebruik, innovatie en een zero footprint om de woonwijk zo duurzaam mogelijk te realiseren. Scan de QR-code om de Blauwdruk Duurzame Woonwijk te bekijken.



Blauwdruk
Duurzame Woonwijk



Leeswijzer

In deze uitgave hebben we, gezien de complexiteit van het onderwerp, gefocust op de volgende punten:

- CO₂-uitstoot van materialen.
- Een vergelijking tussen verschillende meetmethodes.
- Gaan uit van een veelvoorkomend grondgebonden woningbouwblok.
- Materialen worden doorgemeten op verschillende schalen.
- Een vergelijking tussen de volgende woningen:
 - Traditioneel
 - Industrieel
 - CO₂-alternatief
 - Biobased

Voor vervolgonderzoek is het interessant om:

- Een kostenanalyse te doen. Tot nu toe is alleen gekeken naar de uitstoot van materialen. De kosten zijn nog niet meegenomen, terwijl die vaak bepalend zijn bij materiaalkeuze, en;
- Naast CO₂-uitstoot is het zinvol om ook andere milieu-indicatoren te onderzoeken.





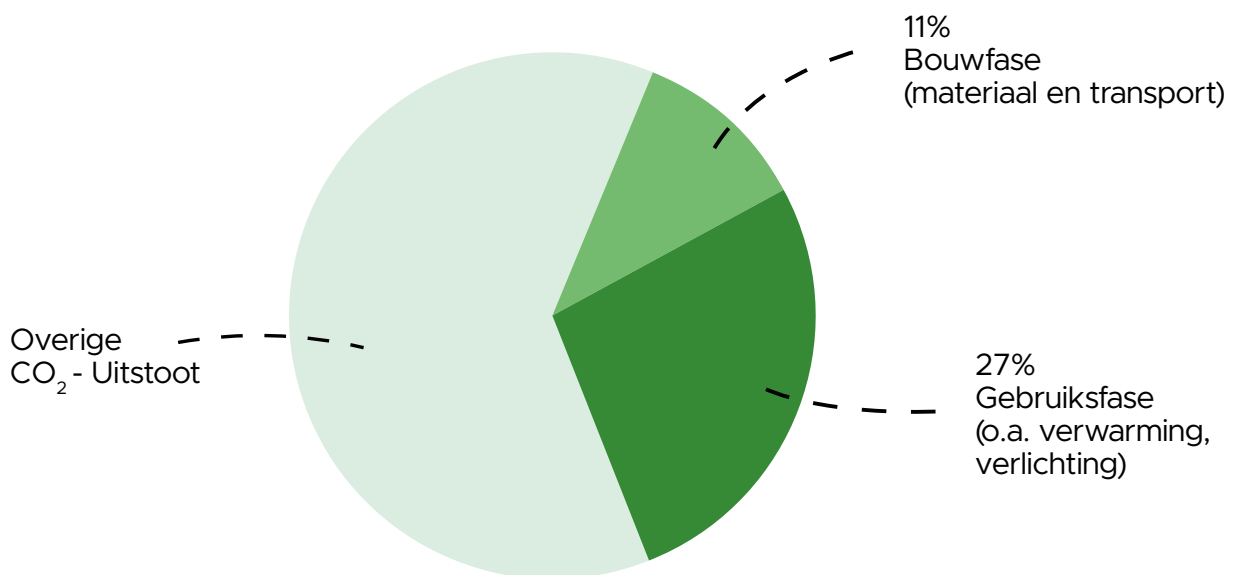
Relevantie van materiaalgebonden uitstoot

Het halen van de klimaatdoelen uit het Parijs-akkoord is een grote uitdaging. De bouwsector speelt hierin een belangrijke rol. Wereldwijd zorgt de bouw voor bijna 38% van de totale CO₂-uitstoot. Ongeveer 11% daarvan komt uit de bouwfase (materiaal en transport) en 27% uit het gebruik van gebouwen (zoals verwarming en verlichting). In Nederland is deze verdeling vergelijkbaar, blijkt uit cijfers van onder andere het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

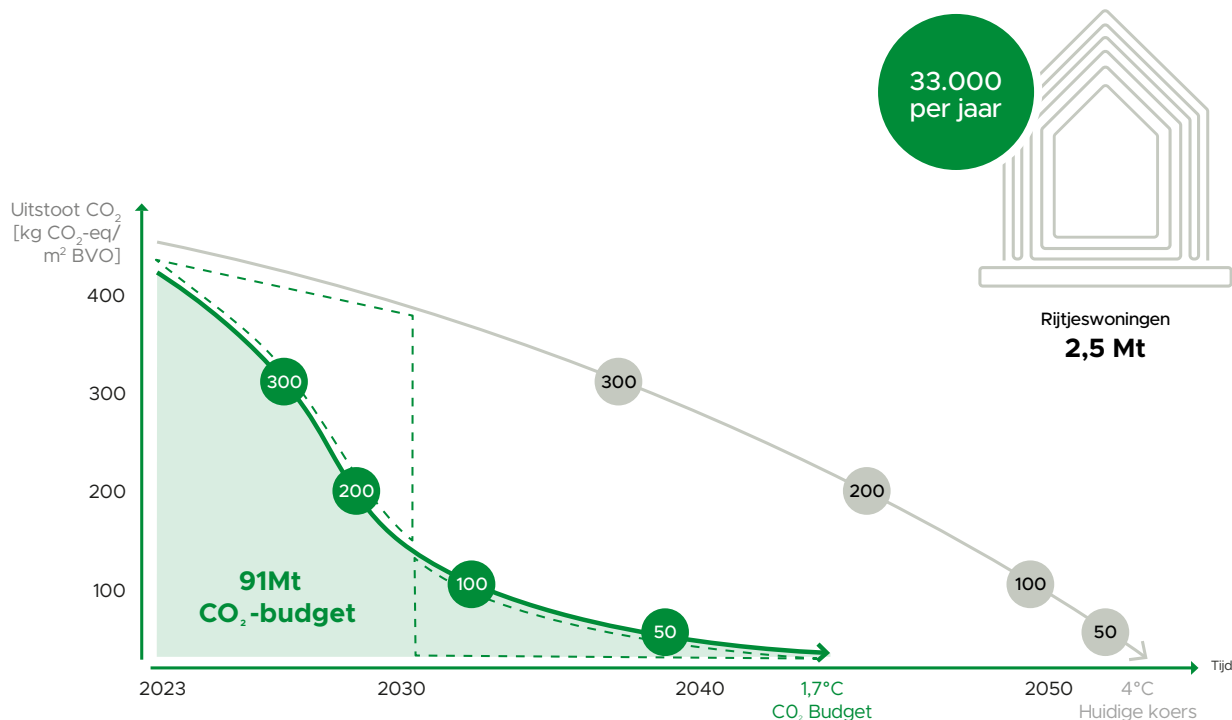
De laatste jaren is er veel verbeterd in de gebruiksfase van gebouwen. Denk aan nulopde-meterwoningen (NOM), (Bijna) Energie Neutrale Gebouwen (BENG) en subsidies voor isolatie en warmtepompen. Maar de uitstoot door bouwmaterialen en bouwmethododes, de zogenaamde materiaalgebonden uitstoot, krijgt minder aandacht. Terwijl juist hier nog veel winst te behalen is. De keuzes in materialen en bouwmethoden bepalen namelijk een groot deel van de totale CO₂-uitstoot van een gebouw, over de hele levensduur.

De uitdaging van materiaalgebonden uitstoot

Het Parijs-akkoord stelt strenge eisen aan CO₂-uitstoot, zodat de opwarming van de aarde onder de 2°C blijft, en liefst onder 1,5°C. In Nederland is daarom een CO₂-budget vastgesteld voor materiaalgebonden uitstoot: 78 miljoen ton tot 2050.



Verdeling wereldwijde totale CO₂-uitstoot



CO₂-budget woningbouw tot 2050

Voor de bouw betekent dit dat er een limiet is per vierkante meter. Bij eengezinswoningen mag dat maximaal 200 kg CO₂ per m² zijn en bij appartementen 230 kg CO₂ per m². Maar de huidige milieumaatregel, de MPG (MilieuPrestatie Gebouwen), houdt hier nog onvoldoende rekening mee. Een MPG-score van 0,8, het minimum dat vanaf 2024 geldt, kan nog steeds leiden tot een uitstoot van 300 kg CO₂ per m². Zonder extra maatregelen haalt Nederland de klimaatdoelen niet. De regels worden bovendien in 2030, 2040 en 2050 steeds strenger.

Er zijn plannen om de uitstoot in de bouw te verminderen, zoals de Routekaart Circulair Bouwen, de Transitieagenda Circulaire Bouweconomie en de aanscherping van de MPG. Maar in de praktijk moet er nog veel gebeuren.

Wat is er nodig voor de toekomst?

Om de CO₂-uitstoot in de bouw verder te verlagen, zijn deze maatregelen belangrijk:

- Meer gebruik van biobased materialen zoals hout en andere hernieuwbare grondstoffen;
- Innovaties in beton en prefab bouwtechnieken;
- Striktere regels om de MPG beter te laten aansluiten op het CO₂-budget;
- Samenwerking tussen ontwerpers, bouwers en gebruikers.

De bouwsector heeft een grote impact op de klimaatdoelen. In de volgende hoofdstukken gaan we dieper in op hoe het gebruik van verschillende materialen de CO₂-uitstoot van gebouwen verder kan verlagen en welke stappen nodig zijn om duurzamer en circulair bouwen mogelijk te maken.



Meetmethoden: van onduidelijkheid naar inzicht

Er zijn veel manieren om duurzaamheid in de bouw te meten. Denk aan termen zoals MPG, BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), TCO (Total Cost of Ownership) en C2C (Cradle-to-Cradle). Verschillende methoden, tools en databases spelen een rol en zijn soms gekoppeld aan elkaar. Dit maakt het meten complex, zelfs voor experts.

In dit hoofdstuk leggen we uit welke meetmethoden er zijn en hoe ze samenhangen. Dit helpt bij het kiezen van de juiste methode om te onderzoeken welke bouwmaterialen bijdragen aan CO₂-reductie. Ook lichten we veelvoorkomende begrippen toe, ter verduidelijking.

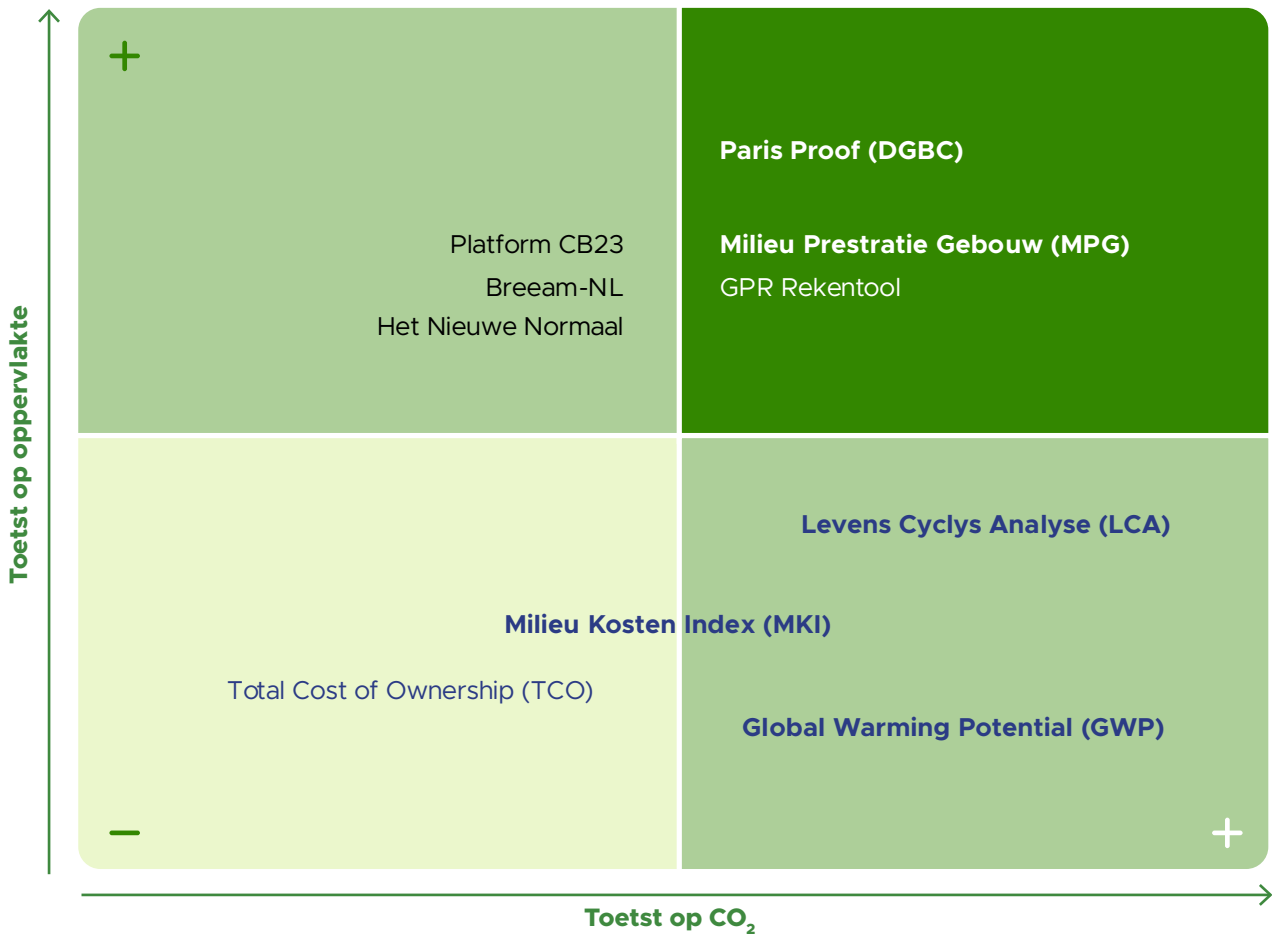
Verschillen en onderlinge verbanden

Om de meetmethoden overzichtelijk te maken, hebben we een kruistabel en een diagram gemaakt.

De kruistabel, zie rechts, hielp bij het kiezen van de juiste methoden voor ons onderzoek. Want juist nu is het belangrijk dat we ons gaan focussen op de materiaalgebonden CO₂-uitstoot. De kruistabel geeft aan welke

methodes specifiek toetsen op CO₂ en in hoeverre dat gemeten wordt met een duidelijke eenheid zoals de oppervlakte. De meetmethodes in het vak rechtsboven, sluiten het beste aan bij ons onderzoek. Het diagram, op pagina 10, laat zien hoe de verschillende meetmethodes en tools met elkaar verbonden zijn.

We hebben uitgebreid literatuuronderzoek gedaan naar het meten van circulariteit en CO₂-uitstoot in de bouw. In de bronnenlijst, in de bijlage, staan de belangrijkste geraadpleegde documenten.



Categorisering van begrippen

In het volgende gedeelte lichten we de verschillende begrippen toe in relatie tot meetmethoden.

Het onderzoeksrapport *Leidraad meten van CO₂-emissie, grondstofverbruik en circulariteit bij bouwmaterialen* (RVO/Pianoo, Cirkelstad & Bureau ZOOOW!) maakt onderscheid tussen:

- **Indicatoren:** meeteenheden die de milieu-impact aangeven.
- **Tools en methoden:** manieren om indicatoren

te meten. Omdat tools & methoden vaak overlappen, hebben wij ervoor gekozen om ze samen te voegen.

- **Databases:** verzamelingen van bouwmaterialen met berekende indicatoren.
- **BIM-software:** digitale hulpmiddelen voor bouw-informatie.

Het diagram, op de volgende pagina, laat zien hoe al deze bovengenoemde elementen met elkaar verbonden zijn.

INZICHT MEETMETHODEN

ICOONPROJECT CIRCULAIR WEST duurzaam materiaalgebruik

GWP

GWP-Global Warming Potential (opwarmend vermogen)

Het Global Warming Potential (GWP) is een relatieve maat die het aardopwarmingsvermogen van een broeikasgas aangeeft vergeleken met dat van koolstofdioxide (CO₂). Gebruikelijk is om uit te gaan van het 100-year GWP: het opwarmingsvermogen in een periode van 100 jaar van 1 kg van het gas ten opzichte van 1 kg CO₂ (infomill.nl)

GWP indicators afhankelijk van hun oorsprong

- GWP - fossiel
- GWP - biogene
- GWP - verandering in landgebruik en verandering (luluc)
- GWP - Totaal (som van bovenstaande)

METHODEN & TOOLS meten van circulariteit

Database

- 1 Nationale Milieudatabase (NMD)
- 2 EPD's
- 3 GSES System
- 4 Nationaal Product Catalogus (NPC)
- 5 OKOBAUDAT

Methode/ Tools

- 1 Platform CB'23
- 2 Het nieuwe normaal
- 3 MPG- rekentoolinstrumenten
- 4 LCA- methode
- 5 GPR Materiaal
- 6 BREEAM-NL
- 7 Total Cost of Ownership (TCO)
- 8 Cradle tot Cradle (C2C)
- 9 WEii.nl (Werkelijke Energie intensiteit indicator)
- 10 Paris Proof (dgb)
- 11 DuboCalc

LCA



GWP-Global Warming Potential 1	MILIEUEFFECTCATEGORIËN/INDICATOREN	Unit	Indicator van de
Opwarming van de aarde	kg CO ₂ -eq	Indicator van de broeikasgassen	
Uitputting van ozon	kg CFC-11-eq	Indicator van de ozonlaag veroor	
Verzuring van bodem en water	kg SO ₂ -eq	Indicator van de zoals stikstofoxi	
Eutrofiëring (vermesting)	kg PO ₄ 3--eq	Indicator van de fosfor die verbind	
Fotochemische ozon creatie	kg ethene(C ₂ H ₄)-eq	Indicator van de (smog) katalyser	
Uitputting van abiotische midden-elementen	kg Sb-eq	Indicator van de	
Uitputting van abiotische middelen – fossiele brandstoffen	MJ	Indicator van de	
Menselijke toxiciteit	1,4-DCB-eq	Impact op de me	
Zoet water aquatische ecotoxiciteit	1,4-DCB-eq	Involop op zoetw EN15804)	
Mariene aquatische ecotoxiciteit	1,4-DCB-eq/sup>	Impact op zeev EN15804)	
Terrestrische ecotoxiciteit	1,4-DCB-eq	Impact op landd EN15804)	

Fases van een LCA

LCA Levenscyclusfases

NMD bron: <https://milieudatabase.nl/milieudata/>

A 1-3	Productiefase	A1 Winning grondstoffen A2 Transport A3 Productie	
A 4-5	Bouwfase	A4 Transport A5 Bouw- en installatieproces aanleg	Scenario Scenario
B 1-7	Gebruiksfase	B1 Gebruik B2 Onderhoud B3 Reparaties B4 Vervangingen B6 Operationeel energiegebruik B6 B7 Operationeel watergebruik B6	Scenario Scenario Scenario Scenario Scenario Scenario
C 1-4	Sloop en verwerkingsfase	C1 Sloop C2 Transport C3 Afvalbewerking C4 Finale afvalverwerking	Scenario Scenario Scenario Scenario
		D Milieulasten en -baten buiten de systeem	
		D Mogelijkheden voor hergebruik-, terugwinning en recycling	

Indicator(en)

1. CO₂-eq emissie
2. Primaire grondstoffen
3. Recyclede grondstoffen
4. Hergebruikte grondstoffen
5. Hernieuwbare grondstoffen
6. Potentie voor hergebruik bouw materiaal
7. Potentie voor recycling bouw materiaal
8. Composteerbaarheid bouw materiaal
9. Losmaakbaarheid
10. Toxische substanties
11. Levensduur
12. MKI Waarde

BIM Software

Arch Design LCA (ArchiCAD) → Inzicht van de GWP op elementniveau in het gebouw

Revit
SketchUp



GEBOUWSCHALEN

Gebouwschalen

1. Fundering
2. Vloeren
3. Draagconstructie
4. Gevel
5. Daken
6. Binnenwanden
7. Installaties
8. Toe- en afvoeren
10. Vaste voorzieningen

Weegfactor t.b.v. MKI Euro per unit		
€ 0,05	≡	€
€ 30	≡	€
€ 4	≡	€
€ 9	≡	€
€ 30	≡	€
€ 0,15	≡	€
€ 0,15	≡	€
€ 0,09	≡	€
€ 0,03	≡	€
€ 0,0001	≡	€
€ 0,06	≡	€

Totaal fictieve euro's

bron: <https://ecochan.com/nl/knowledge/nl/milieukosten-indicator/mki/> + <https://www.ribo.nl/rijn/methode>

3

MPG ← totale mki / m² BVO / aantal jaar MKI (ECI) ≡ alle milieu-impact samen in 1 milieu score

PARIS PROOF

kg CO₂-eq / m² BVO

= kleiner of gelijk aan grenswaarde

10 PARIS PROOF
DGBC (Dutch Green Building Council)

Paris Proof is de term die DGBC heeft geïntroduceerd als gemeenschappelijk verduurzamingsdoel voor gebouwen om zo binnen de gebouwde omgeving de klimaatdoelstellingen van Parijs te behalen.

Operationele emissies - CO₂

Het operationele gedeelte gaat over de emissies die een gebouw tijdens de levensduur uitstoot. Van gebouwgebonden energieverbruik, zoals verwarming, koeling, ventilatie en verlichting, tot het gebruikgebonden energiegebruik, zoals laptops en koffiezetapparaten.

Materiaalgebonden emissie - CO₂

Dit is de CO₂ die samenhangt met alle materialen die we toepassen. Doelstelling: hoe kan de Nederlandse bouwopgave worden uitgevoerd binnen het koolstofbudget dat hoort bij het 1,5 graden scenario van het IPCC (1).

dgbc.nl

Deze methode kijkt enkel naar de broeikasgas emissies van bron tot realisatie bouwwerk en geeft die per m² bouwwerk weer.

1

kg CO₂-eq. per m² som over modules A1-A5 gedeeld door het bruto vloeroppervlak (BVO)

kg CO₂-eq PPM (Paris Proof) (Fase A1 t/m A5)

kg CO₂-eq MPG+ (Fase A1 t/m A5, B1 t/m B6, C1 t/m C4)

kg CO₂-eq MPG (Fase A1 t/m A5, B1 t/m B5, C1 t/m C4 & D)

ONDERZOEKSRISULTATEN ICOONPROJECT

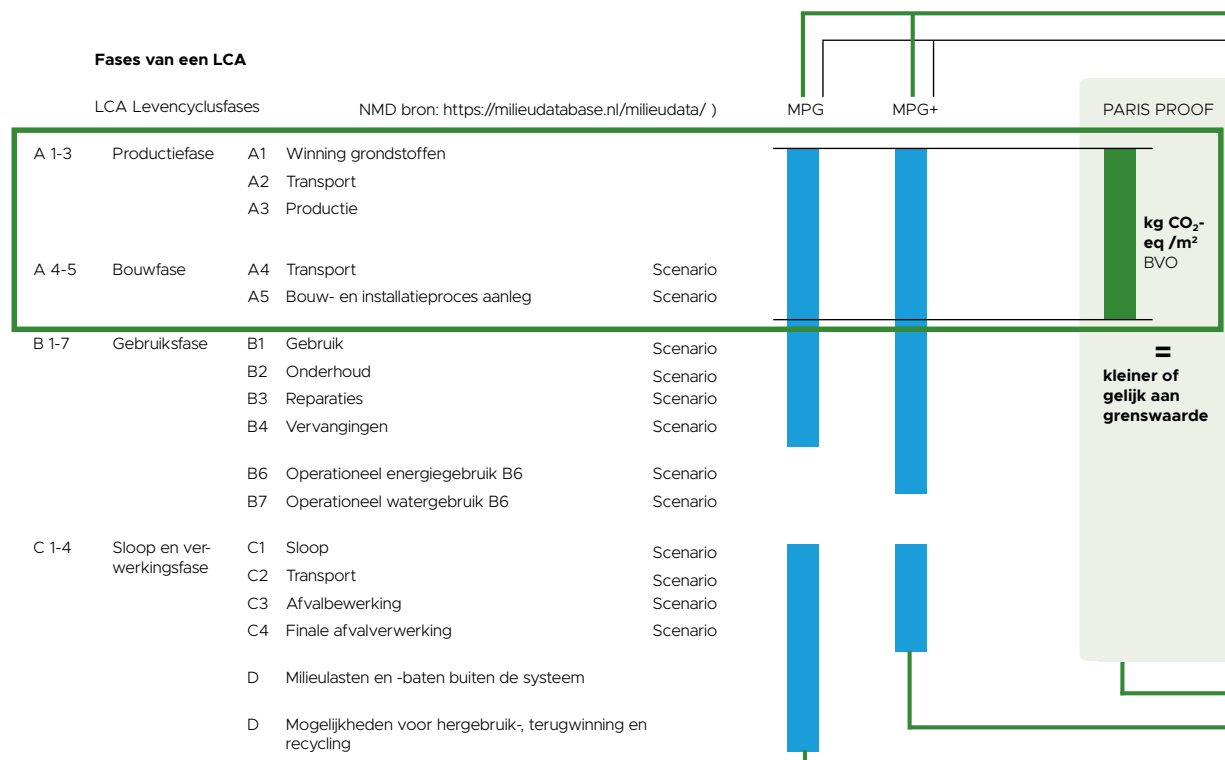
Indicatoren

Er zijn verschillende indicatoren om circulariteit te meten. Sommige methoden richten zich alleen op CO₂, terwijl andere meerdere aspecten meenemen, zoals gezondheid en gebruikskwaliteit. In ons onderzoek ligt de focus op **CO₂-equivalente emissie (GWP)**. Dit meet de opwarming van de aarde door broeikasgassen. Daarom focussen we op de methoden en tools die zich hierop richten. Deze lichten we nu verder toe.

Meetmethoden voor CO₂-equivalente emissie

In onderstaande meetmethoden en indicatoren is CO₂ opgenomen als onderdeel van de beoordeling:

- LCA-methode (**LevensCyclusAnalyse**)
- MKI (MilieuKostenIndicator)
- MPG (MilieuPrestatie Gebouwen)
- PPM (Paris Proof materiaalgebonden)



Fases van LCA in relatie tot MPG, MPG+ en Paris Proof materiaalgebonden-methode

LCA (LevensCyclusAnalyse)

LCA berekent de milieu-impact van een materiaal over zijn hele levensduur, in verschillende levensfasen:

- **Productiefase (A1-3)**
- **Bouwfase (A4-5)**
- **Gebruiksfase (B1-7)**
- **Sloop- en verwerkingsfase (C1-4 en D)**

Een belangrijke uitkomst van de LCA is de **Global Warming Potential (GWP)**, die de CO₂-uitstoot weergeeft.

MKI (MilieuKostenIndicator)

De MKI is een verlengde van de LCA en kent aan alle milieucategorieën een weegfactor toe om te komen tot één milieuscore van een product of materiaal in de vorm van een milieukosten indicatie. CO₂-uitstoot maakt deel uit van deze score.

MPG (MilieuPrestatie Gebouwen)

De MPG vertaalt de waarde van de MKI naar een gebouw door dit getal te delen door het aantal vierkante meters bruto vloer oppervlak (BVO) en de levensduur (het aantal jaar). Er zijn verschillende MPG-scores. Dit is gerelateerd aan de fases van de LCA die worden meegenomen in de score. Zo is MPG+ een variant op de wettelijke MPG, waarbij andere LCA-fases wel/niet worden meegenomen. CO₂-uitstoot maakt deel uit van deze score.

PPm (Paris Proof materiaalgebonden-methode)

Methode van de Dutch Green Building Council (DGBC) die richtlijnen geeft voor CO₂-reductie in gebouwen. De Paris Proof materiaalgebondenmethode (PPm-methode) richt zich op materiaalgebonden emissies per vierkante meter gebouw. Dit omvat de productie- en bouwfase (A1-A5).

Grenswaarden

Het NIBE heeft berekend hoeveel CO₂- uitstoot per m² acceptabel is om Paris Proof te zijn. Zie tabel hieronder.

Paris Proof grenswaarden	Materiaalgebonden kg CO ₂ -eq. per m ²			
	2021	2030	2040	2050
Woning (eengezinswoning)	200	126	75	45
Woning (meergezinswoning)	220	139	83	50
Kantoor	250	158	94	56
Retail vastgoed	260	164	98	59
Industrie ⁵	240	151	91	54

Grenswaarden voor Paris Proof bouwwerken. Grenswaarde is gegevens in 'materiaalgebonden emissies' per m² bouwwerk. Bron: DGBC Rekenprotocol Paris Proof Materiaalgebonden

// Onderzoek naar CO₂-besparende keuzes

Dit onderzoek van Circulair West richt zich op het in kaart brengen van de CO₂-uitstoot en de Paris Proof materiaalgebonden op schaalniveaus van een woning.

Momenteel wordt er voornamelijk op materiaalniveau gekeken. Omdat de LCA en milieuprestatieberekening (MPG) nog niet direct gekoppeld zijn aan de Paris Proof-indicatie, die die zich richt het gebouw als geheel. Dit onderzoek helpt juist bij het maken van CO₂-besparende keuzes per schaal, zodat woningen voldoen aan de Paris Proof-normen.

Onderzoeksopzet

We richten ons op de CO₂-uitstoot en meten deze met bestaande meetmethodes. Dit gebeurt met behulp van een eigen 3D-model waarin verschillende ontwerpen en varianten worden doorgerekend.

Voor elk gebruikt materiaal verzamelen we de milieuverklaringen (EPD's). Een EPD is een gestandaardiseerd document met de belangrijkste resultaten van een LCA. Uit het 3D-model halen we de hoeveelheid per materiaal en koppelen deze aan de CO₂-waarden uit de EPD's. Dit doen we volgens drie berekeningsmethoden:

- CO₂-uitstoot volgens de levensfasen van de MPG
- CO₂-uitstoot volgens de levensfasen van de MPG+
- CO₂-uitstoot volgens de Paris Proof materiaalgebonden (PPm)

Ook berekenen we op de algemeen bekende manier de MPG en PPm. Met als doel om een vergelijking te maken met gangbare meetmethodes en ons eigen rekenmodel. Dit helpt om onze eigen resultaten vanuit de MPG, MPG+ en PPm methodes te toetsen.

Omdat CO₂ binnen de MKI maar een deel is van de score, hebben we de MKI niet meegenomen in ons onderzoek.

Database EPD

Wereldwijd bestaan er verschillende methodes voor LCA-berekeningen. In Nederland is de data niet vrij toegankelijk. In dit onderzoek gebruiken we diverse bronnen om een breed inzicht te krijgen in verschillende bouwmethodes. We pleiten voor één open, internationaal bruikbare databron.

Voor de GWP-gegevens gebruiken we de OKOBAUDAT-database, die is opgezet in Duitsland en ook wordt gebruikt in onder andere Denemarken. Gegevens die niet beschikbaar zijn vanuit deze database, vullen we aan met informatie van leveranciers. De data zijn gebaseerd op de Europese norm EN 15804+A2. De waarden uit OKOBAUDAT kunnen afwijken van de Nederlandse Nationale Milieudatabase (NMD).

Gebruik van 3D Software

Voor dit onderzoek maken we gebruik van LCA Design (Archicad), een BIM-software dat door veel architectenbureaus wordt toegepast. Met deze software kunnen we de uitstoot van elk bouwonderdeel in detail berekenen en per schaalniveau inzichtelijk maken. Dit betekent dat we de CO₂-uitstoot kunnen berekenen van onder andere:

- Materialen
- Gebruiksfase (zoals verwarming en koeling)
- Ramen, deuren, interieur en installaties

Door in 3D te modelleren (zie voorbeeld in de afbeelding hieronder) en de exacte hoeveelheden te berekenen, krijgen we een helder beeld van de impact van verschillende materiaalkeuzes. Dit helpt bouwteams om beter geïnformeerde beslissingen te nemen en gericht duurzame keuzes te maken.

Daarnaast kan 3D software de impact van de gebruiksfase (B6) berekenen. Een minder goed

geïsoleerd gebouw heeft bijvoorbeeld een lagere CO₂-uitstoot bij de bouw, maar verbruikt meer energie om warm of koel te blijven. De software helpt in dit geval om de balans tussen materiaalkeuze en energieverbruik te vinden.

In ons onderzoek hebben we de gebruiksfase buiten beschouwing gelaten en gefocust op de materiaalgebonden uitstoot.



Voorbeeld van output per materiaal

Verwachtingen en inzichten

Door het verkrijgen van inzicht in de impact van materialen op verschillende bouwschalen, kunnen we beter onderbouwde keuzes maken voor duurzame materialen in woningen. De huidige meetmethodes hebben zowel voordelen als beperkingen. Dit onderzoek gaat daar dieper op in en helpt daarmee om een beter beeld te krijgen van:

- De verschillen tussen MPG, MPG+ en PPM in de beoordeling van materialen.
- De invloed van biogene koolstofopslag (zoals hout) op de CO₂-uitstoot.
- De impact van onderhoudsgevoelige materialen op de lange termijn.

Uit de eerste analyses blijkt bijvoorbeeld dat de PPM-methode vooral gericht is op korte termijn CO₂-reductie. De MPG-methode daarentegen geeft een vollediger beeld van de totale levenscyclus, maar kan nadelig zijn voor het behalen van korte termijn doelen. De MPG+ methode is interessant voor bredere onderzoeken waarin ook energieprestaties en comfort worden meegenomen.

In het volgende hoofdstuk gaan we in op verschillende bouwmethodes om vervolgens een vergelijk te kunnen maken in CO₂-reducerende keuzes.

// Vergelijking van vier bouwmethodes

Om inzicht te krijgen in de beste materiaalkeuzes voor minimale CO₂-uitstoot, hebben we verschillende bouwmethodes onderzocht. Hierbij hebben we gekeken naar een veelvoorkomende rijwoning. Omdat er een grote vraag is naar dit type woning, kunnen de resultaten een significante impact hebben op de bouwsector.

We maken een onderscheid tussen de vier bouwmethodes:

1. Traditionele bouw
2. Industriële bouw (RAP-woning)
3. CO₂-alternatief
4. Biobased bouw





Traditionele bouw

- Gebruik van beton, staal, baksteen en kalkzandsteen
- Sterke materialen met lange levensduur, maar hoge CO₂-uitstoot
- Beperkte mogelijkheden voor hergebruik



Industriële bouw (RAP-woning)

- Remontabel prefab bouwsysteem
- Prefab beton met minimaal materiaalgebruik
- Efficiënt bouwproces met minder CO₂-uitstoot





CO₂-alternatief

- Gelijk aan traditionele bouw, maar met duurzamere materiaallopties
- Gebruik van circulaire en gerecyclede materialen
- Lagere milieubelasting door innovatieve productietechnieken



Biobased bouw

- Gebruik van hout, hennep, vlas en bamboe
- CO₂-opslag tijdens de groeifase van materialen
- Goede isolerende eigenschappen, maar dikker materiaal nodig



Materiaalkeuzes per bouwmethode

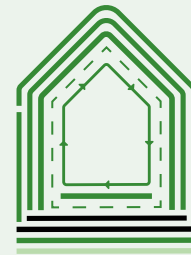
Omschrijving	Traditionele woning	Industriële Woning
Fundering		
Heipalen	Prefab Betonpalen (mortel schroefpalen)	Prefab Betonpalen - 20% hergebruikt
Fundering	IHW gestorte fundering met traditioneel beton m.b.v. EPS bekisting	Prefab gewapend beton
Begane grondvloer	Ribcassette vloer	Integraalvloer
Wandopbouw		
Gevelafwerking	Baksteen waalformaat	Steenstrips (uit hele stenen)
Gevelisolatie	Steenwol	EPS
Draagmuur	Kalkzandsteen	Prefab beton
Goot	Titanium Zink	Aluminium
Waterslagen	Keramisch	Aluminium
Tussenvloer		
Vloer	Breedplaatvloer	Integraalvloer
Daken		
Dakconstructie	Sporenkap	Sporenkap
Isolatie	PIR Plaat	Glaswol
Dampconstructie	Dampdichte folie	Dampdichte folie
Dakbeplating - binnenzijde	Multiplex beplating	Spaanplaat
Waterdichtheid	Dampopen membraam	Dampopen membraam
Bekleding	Keramische dakpan	Betonnen dakpan
Afwerking		
Dekvloer	Zandcement dekvloer	Zonder dekvloer (niet nodig)
Binnenwanden	Gipsblokken	Gipsvezel sandwichpanelen

Onderstaande tabel geeft een overzicht van welke materialen zijn gebruikt bij verschillende bouwmethodes. Om een eerlijke vergelijking te maken, hebben we realistische woningontwerpen gebruikt. Alle varianten hebben vrijwel dezelfde funderingsopbouw. Er is alleen gekeken naar het type beton en de hoeveelheid wapening die nodig is. Andere opties, zoals een houten begane grondvloer of een circulaire vloer, zijn niet meegenomen. Deze worden in de praktijk nog weinig toegepast.

CO ₂ -alternatief	Biobased
Prefab Betonpalen – {70% hergebruikt betonpuin}	Prefab Betonpalen - 50% circulair beton
Prefab gewapend beton [50% circulair] (EPS)	IHW gestorte fundering met beton {met 70% hergebruikt betonpuin} m.b.v. betonplex bekisting
Kanaalplaatvloer	Kanaalplaatvloer
Baksteen 50% circulair	Houten gevelbekleding
Kalkhennep-vulling	Vlaswol
Prefab beton - {met 70% hergebruikt betonpuin}	Houtskeletbouw i.c.m. CLT
Kunststof PVC	Kunststof PVC
Kunststeen	Kunststeen
Kanaalplaatvloer	CLT
Sporenkap	Sporenkap
Cellulose Vezelplaat	Vlaswol
Dampopen	Dampopen
Multiplex beplating	Houtvezelplaat
Dampopen membraam	Dampopen membraam
Golfplaten	Groen dak
Anhydriet	Anhydriet
Vlaskern met gipskartonplaten - demontabele	HSB-wanden met gips

CO₂ -reducerende materialen in beeld: welke keuzes zijn er?

Hier vind je een visueel overzicht van de materialen waarin de CO₂-uitstoot per materiaal in beeld is gebracht.



De eenheid waarin klimaat-
impact wordt uitgedrukt



Fundering



Betonnen heipaal traditioneel
30,4 kg CO₂-eq / m¹

Betonnen heipaal 50% circulair
beton 27,8 kg CO₂-eq / m¹

Betonnen heipaal hergebruikt
2,5 kg CO₂-eq / m¹



Betonfundering standaard beton
513 kg CO₂-eq / m³

Betonfundering 70% hergebruik
puingranulaat 404 kg CO₂-eq /
m³

Betonfundering 50% circulair
beton 390 kg CO₂-eq / m³



Vloeren



Kanaalplaatvloer 44 kg CO₂-eq / m²



Breedplaatvloer 41 kg CO₂-eq / m²



Draagconstructie



Betonnen wand, standaard beton 513 kg CO₂-eq / m³



Kalkzandsteen elementen 101 kg CO₂-eq / m³



CLT wanden/ kolommen 53 kg CO₂-eq / m³



Gevel



PIR isolatie 17 kg CO₂-eq / m²



Vlaswol isolatie 8,2 kg CO₂-eq / m²



Steenwol isolatie 6 kg CO₂-eq / m²



Glaswol isolatie 5 kg CO₂-eq / m²



Copyright afbeelding :
Altena Steenhandel

Metselwerk standaard 31 kg CO₂-eq / m²

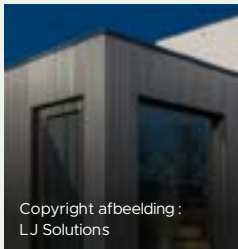


Steenstrips (40mm dik) 12 kg CO₂-eq / m²



Copyright afbeelding :
Vandersanden - Pirrouet

CO₂ gebakken metselwerk 8 kg CO₂-eq / m²



Copyright afbeelding :
LJ Solutions

Neolife gevelbekleding BK: B 41 kg CO₂-eq / m²

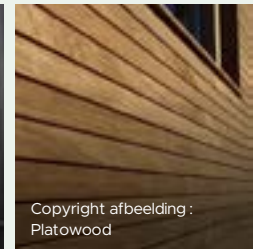


Betonnen heipaal traditioneel 30,4 kg CO₂-eq / m²



Copyright afbeelding :
LJ Solutions

Neolife gevelbekleding BK: C 2 kg CO₂-eq / m²



Copyright afbeelding :
Platwood

Fraké hout 1 kg CO₂-eq / m²



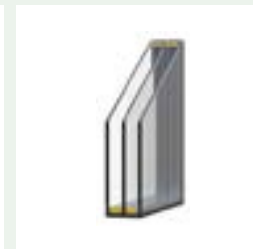
Vast kozijn kunststof incl H&S- werk exclusief glas 76 kg CO₂-eq / m²



Hardhouten kozijn incl H&S- werk exclusief glas 26 kg CO₂-eq / m²



Triple glas 49 kg CO₂-eq / m²



Dubbel glas 38 kg CO₂-eq / m²



Daken



Daklei Cedral 8 kg CO₂-eq / m²



Keramische dakpan 7 kg CO₂-eq / m²



Betonnen dakpan 4 kg CO₂-eq / m²



Binnenwanden



Scheidingswand: 100mm
Kalkzandsteen 21 kg CO₂-eq / m²



Scheidingswand: 100mm
Metalstud- glaswol – gips
11,18 kg CO₂-eq / m² (resp 4,48 •
1,7 • 5 kg CO₂-eq / m²)



Scheidingswand: 100mm
Vuren- glaswol – gips 3,09 kg
CO₂-eq / m²



Installaties



Lage temperatuur radiator
420 kg CO₂-eq / stuk



Copyright
afbeelding : Adax

Elektrische radiator 295 kg
CO₂-eq / stuk



Verwarmen / koelen d.m.v.
airco-unit 275 kg / CO₂-eq / stuk



Toe- en afvoeren



Invoerbocht nuts PVC
3,98 kg CO₂-eq / m³



Rioolbuizen pvc hergebruikt
3,1 kg CO₂-eq / m³



Copyright
afbeelding : Wavin

Invoerbocht nuts biobased
3 kg CO₂-eq / m³



Terrein



Betontegel standaard
180 kg CO₂-eq / m³



Grind 26 kg CO₂-eq / m³

CO₂-prestaties per gebouwschaal

In de bouw wordt vaak gewerkt met verschillende schalen van materialen. Wij hanteren grofweg de volgende categorieën, afgeleid van het Brand 6S's model:

Structure:

- Fundering
- Draagconstructie
- Vloeren

Skin:

- Buitenwanden/gevels
- Daken

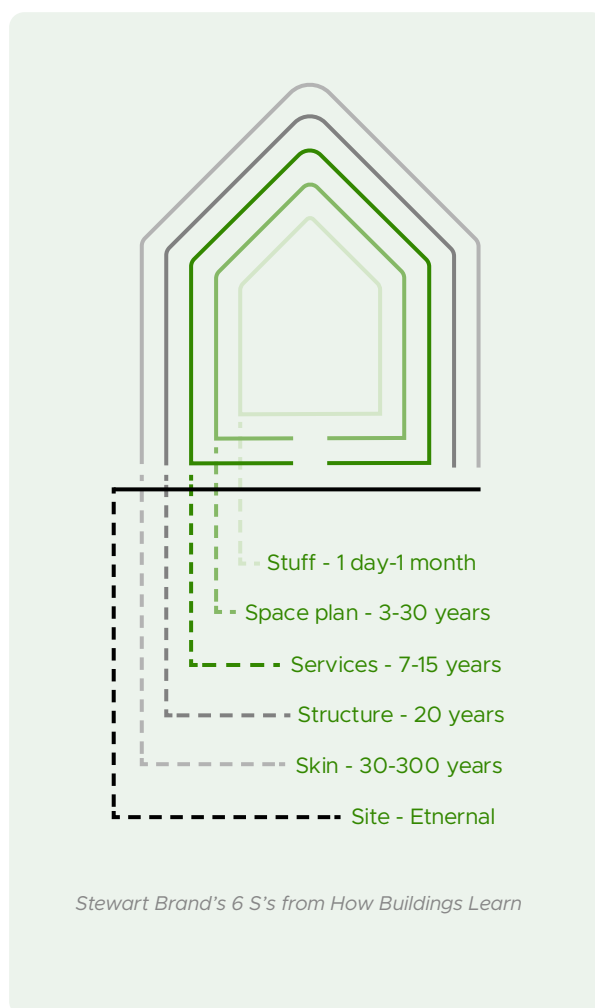
Space plan:

- Niet dragende binnenwanden

Hiernaast een weergave van het model van Stewart Brand 6S's, hoe gebouwen leren. Het model van de schrijver wordt veel gebruikt om de levensduur van de onderdelen van een gebouw in beeld te brengen. Het 'schalenmodel' toont de verschillen in omloopsnelheid van onderdelen van een gebouw. In het ontwerp is rekening gehouden met het verschil in levensduur van deze gebouwonderdelen.

Materialen hebben een verschillende levensduur. Zo gaat een fundering veel langer mee dan gevelmateriaal. Dit wordt meegenomen in de berekening van de MPG, die rekt over 75 jaar. Bij Paris Proof wordt de levensduur buiten beschouwing gelaten.

Uit ons onderzoek naar CO₂-uitstoot per materiaal, berekend met de MPG- en Paris Proof-meetmethoden, hebben we bevindingen per gebouwschaal verzameld, zie volgende pagina. We bekijken welke materiaal-eigenschappen gunstig of juist ongunstig scoren in de berekeningen.





Fundering

Bij alle bouwmethodes in het onderzoek zijn we uitgegaan van betonpalen. De lengte en dikte van deze palen verschillen per project, afhankelijk van de draagkracht van de bodem. In situaties waar geen funderingspalen nodig zijn, is de CO₂-uitstoot het laagst.

Om de uitstoot te beperken geldt: hoe slanker de betonpaal, hoe lager de CO₂-uitstoot. Daarom hebben voorgefabriceerde (prefab) funderingspalen de minste uitstoot. Ook het gebruik van beton met een hoog percentage gerecycled materiaal verlaagt de CO₂-impact.

Voor funderingsbalken, die eveneens van beton zijn, gelden dezelfde conclusies als voor de funderingspalen.



Vloeren

Vloeren hebben een grote massa en dragen aanzienlijk bij aan de totale CO₂-uitstoot van een woning.

Begane grondvloeren:

- Uitgangspunt is altijd een betonnen uitvoering.
- Minder beton leidt tot een gunstigere score in de berekening, dit is mogelijk door een lichte constructie toe te passen zoals hout.
- Een kanaalplaatvloer scoort beter dan een breedplaatvloer.
- Het vermijden van een dekvloer verlaagt de CO₂-uitstoot aanzienlijk.
- Een integraalvloer (constructieve vloer en dekvloer in één) presteert het best, omdat hier geen aparte dekvloer nodig is.

Verdiepingsvloeren:

- Houten vloeren hebben een aanzienlijk lagere CO₂-uitstoot dan betonnen vloeren.
- Dit geldt zowel voor de MPG- als de PPM-methode.
- Een anhydrietvloer op een houten vloer heeft een negatieve impact op de CO₂-uitstoot.
- Hier ligt een optimalisatiemogelijkheid: een alternatieve afwerking op de vloer zou de CO₂-score kunnen verbeteren.



Draagconstructie

De draagconstructie is doorgerekend in zowel hout als beton.

Houten draagconstructie:

- In de Paris Proof materiaalgebonden, resulteert houtgebruik in een negatieve CO₂-uitstoot. Dit komt omdat de boom de zijn gehele leven CO₂ opslaat in het hout.

- Hoe meer hout wordt toegepast, hoe lager de CO₂-score uitvalt.
- Bij de MPG-methode is het belangrijk om niet meer hout toe te passen dan strikt noodzakelijk, omdat overmatig houtgebruik de MPG-score verslechtert.

Betonnen draagconstructie:

- Minder beton leidt in beide rekenmethoden tot een lagere CO₂-uitstoot.
- Voorgefabriceerde (prefab) constructies presteren beter dan in het werk gestorte constructies, omdat prefab-elementen slanker uitgevoerd kunnen worden en dus minder materiaal vereisen.
- Door slimme materiaalkeuzes en efficiënte constructiemethoden toe te passen, kunnen bouwteams de CO₂-uitstoot aanzienlijk reduceren en duurzamere woningen realiseren.



Daken

Daken bestaan uit een constructielaag, isolatie en afwerking. In de onderzochte woningen is de dakconstructie steeds van hout, waardoor hier geen verschillen zijn.

De isolatie bestaat uit cellulose, vlas, glaswol en PIR. In de MPG-score verschillen deze materialen weinig. In de Paris Proof-berekening scoort cellulose het beste. De volgorde van materialen van hoog naar laag in CO₂-uitstoot is:

- CO₂ ↓
- PIR
 - Vlas / Glaswol
 - Cellulose

Folies hebben een grote invloed op de totale CO₂-uitstoot; hier valt nog winst te behalen. Zo zijn er onderzoeken gaande waarin wordt onderzocht of er bij biobased bouwen überhaupt folies nodig zijn.

De dakafwerking kan op verschillende manieren worden uitgevoerd, zoals beton- of keramische pannen, golfplaten of een groen dak. Keramische dakbedekking komt slechter uit de berekening dan de overige dakafwerkingen. De overige afwerkingen scoren ongeveer gelijk. In zowel de MPG- als Paris Proof-berekening scoren deze afwerkingen ongeveer gelijk. Opvallend is dat een groen dak niet per se beter scoort op CO₂-uitstoot. Dit komt door de kunststof kratten waarin het sedum wordt geplaatst. Een andere opbouw zou mogelijk wel voor een lagere uitstoot kunnen zorgen.



Gevel

Buitenwand / gevel

Buitenwanden bestaan uit isolatie en gevelmateriaal. Ze zorgen voor ongeveer 20% van de totale CO₂-uitstoot van een woning.

Uit de PPM-berekening blijkt dat een dampopen houtskeletbouwelement (HSB), met nieuwe cellulose-isolatie en een houten gevelafwerking, het beste scoort. Dit komt doordat hout CO₂ opslaat en er geen bakstenen nodig zijn. Bakstenen hebben een hoge CO₂-uitstoot, omdat er veel energie nodig is voor het maken van een baksteen.

Volgens de MPG-methode scoren steenstrips met EPS goed op CO₂-uitstoot. Cellulose scoort hier minder goed, vooral vanwege de productie (A-fase). In de recycling fase (D-fase) wordt dit echter gecompenseerd. Opvallend is dat hergebruikt cellulose minder goed scoort dan nieuw cellulose, omdat de CO₂-opslag niet opnieuw wordt meegerekend. Toch is hergebruik vaak een duurzamere keuze.

Tussen verschillende isolatiematerialen zoals EPS, vlas en steenwol is in de MPG-score weinig verschil. Er is in de berekening van het model geen rekening gehouden met verschillende RC-waardes en de bijbehorende dikte van materialen. Dit zou echter wel invloed kunnen hebben, zoals terug te zien is in 'CO₂-reducerende materialen in beeld'.

Minder massa in de gevel is over het algemeen gunstiger voor de CO₂-uitstoot. Daarom is de keuze voor het type gevelafwerking belangrijk. Traditioneel metselen is minder gunstig dan het gebruik van steenstrips, omdat steenstrips minder materiaal nodig hebben. Als er toch wordt gemetseld, zijn duurzame stenen met hergebruikte toevoegingen een betere keuze.



Binnenwanden

Niet-dragende binnenwanden

Voor niet-dragende binnenwanden scoort een HSB-wand met gipsplaten en glaswol het beste; in zowel de MPG- als PPM-methode.

Een wand van vlas en gips scoort goed in de PPM-methode, maar minder in de MPG-score. Gipsblokken doen het redelijk in de MPG-score. In de PPM-methode scoren gipsblokken minder goed omdat daar geen CO₂ in wordt opgeslagen. Een gipsplaat met EPS scoort ook redelijk in de MPG-methode.

De afwerking van de wanden kan veel invloed hebben op de CO₂-uitstoot. Tegels hebben bijvoorbeeld een grote impact, omdat ze gebakken worden en dat veel CO₂-uitstoot veroorzaakt. Een alternatief voor tegels kan de uitstoot flink verlagen, zoals Leemstuc.

// Bevindingen

CO₂-reductie in de bouw vraagt om meer dan het maken van één duurzame keuze. Of het nu gaat om een materiaal, rekenmethode of bouwsysteem: geen van deze elementen staat op zichzelf. Wat binnen de ene aanpak een gunstige score oplevert, kan binnen een andere juist tegenvallen. De context bepaalt de uitkomst.

In dit hoofdstuk worden de bevindingen uit het onderzoek besproken. We doen dat langs drie lijnen: meetmethodes, materiaalkeuzes en bouwmethodes. Elk onderdeel biedt waardevolle inzichten, maar het is van belang deze in samenhang te bekijken. Want uiteindelijk telt het geheel: pas wanneer ontwerp, materiaal en werkwijze elkaar versterken, ontstaat daadwerkelijk impact.

Bevindingen meetmethodes

De manier waarop we CO₂-uitstoot meten, bepaalt in grote mate hoe duurzaam een materiaal of bouwmethode wordt beoordeeld. Eenzelfde keuze kan onder verschillende methodes tot uiteenlopende uitkomsten leiden. De onderstaande bevindingen laten zien hoe de gebruikte meetmethodes CO₂-scores beïnvloeden en welke verschillen en aandachtspunten daarbij naar voren komen.

- Er bestaan diverse meetmethoden voor duurzaamheid, **waaronder LCA, MPG, MPG+ en de PPM**, wat het meten van CO₂ complex maakt, zelfs voor experts.
- **PPM-methode:** Dit is de enige meetmethode waarin een negatieve CO₂-score mogelijk is, dit komt doordat alleen de productiefase en bouwfase wordt meegenomen en in het geval

van biobased materialen slaan deze CO₂ op tijdens deze fase.

- **MPG+-methode:** Deze methode geeft altijd een hogere CO₂-uitstoot dan de standaard MPG. Dit komt doordat energiegebruik tijdens de levensduur wel wordt meegenomen en hergebruik niet.
- Materialen die veel onderhoud nodig hebben, zorgen voor een negatieve score in de **MPG+-methode**.
- Hergebruik wordt beloond in de **MPG-methode**.
- **PPM-methode:** Deze methode richt zich op de korte termijn, omdat er klimaatdoelen zijn voor 2030-2035. Het doel is om nu zo weinig mogelijk CO₂ uit te stoten.
- **MPG-methode:** Deze methode kijkt juist naar de lange termijn en berekent de impact van een woning over de hele levensduur. Dit maakt het moeilijker om de korte termijn doelen te halen, maar geeft wel een compleet beeld.
- **MPG+-methode:** Deze methode is vooral nuttig voor breder onderzoek waarin ook energieprestaties en comfort worden meegenomen. Installaties zoals zonnepanelen zijn bevorderlijk voor de MPG+, maar zorgen ervoor dat de MPG-score ongunstiger wordt.

Bevindingen materiaalkeuzes

De materiaalkeuze bepaalt voor een groot deel de milieu-impact van een gebouw. Uit dit onderzoek blijkt dat minder materiaalgebruik over het algemeen leidt tot een gunstigere milieuscore, ongeacht de gekozen meetmethode. Ook komt naar voren dat hout, met name in de PPM-methodiek, als een effectief CO₂-reducerend alternatief kan

functioneren. Tegelijkertijd geldt dat het effect van materialen sterk afhankelijk is van de gehanteerde rekenregels.

In de onderstaande bevindingen lichten we deze nuances verder toe:

- In zowel de MPG als PPM-methode is de conclusie dat **hout** als alternatief materiaal beter kan zijn voor de totale score. Dit geldt voornamelijk voor de PPM-methode.
 - Onnodig veel hout toevoegen wordt in de PPM-methode beloond met een lagere score. Dit geldt niet voor de MPGBerekening.
- Als er **hergebruikt hout** wordt verwerkt in het gebouw, mag de milieuwinst in de PPM-methode (het mingetal) niet worden meegenomen.
- Hout wordt in de meeste LCA's niet gezien als recyclebaar maar als 'einde levensduur', de opgeslagen CO₂ komt dan in berekeningen weer vrij. Daarentegen worden materialen zoals staal en aluminium wel vaak gerecycled en ook als zodanig berekend. Dit zorgt ervoor dat hout in de MPG een stuk slechter scoort dan in de PPM-methode.
- Het zorgvuldig opstellen van een **EPD** door een leverancier/producent kan ervoor zorgen dat het **product** een stuk gunstiger in de rekenmethode naar voren komt.

Bevindingen per gebouwschaal

- **Fundering en vloeren:** Wanneer beton wordt toegepast, is het altijd gunstiger om een zo hoog mogelijk percentage gerecycled materiaal te gebruiken, bij voorkeur afkomstig uit de fabriek.
 - **Vloeren (begane grond):** Integraalvloeren en kanaalplaatvloeren presteren beter dan breedplaatvloeren; vermijden van een dekvloer is het gunstigst. Dit is bij

de integraalvloer het geval waardoor deze het beste presteert.

- **Vloeren (verdieping):** Houten vloeren scoren veel beter dan betonnen vloeren; anhydriet als afwerkvloer heeft een relatief hoge CO₂-uitstoot.
- **Draagconstructie:** Hout scoort goed in de PPM-methode door CO₂-opslag; bij MPG juist spaarzaam toepassen; prefab beton presteert beter dan in het werk gestort beton.
- **Daken:** Cellulose-isolatie scoort het best in de PPM-methode; folies zijn CO₂-intensief; biobased alternatieven zonder folies bieden kansen; groen dak scoort niet per se beter door kunststof kratten.
- **Buitenwanden / gevels:** Steenstrips hebben een lagere uitstoot dan traditionele bakstenen.
- **Niet-dragende binnenwanden:** HSB met gips en wol is volgens ons model de beste keuze in beide meetmethodes; tegelafwerking zorgt voor hoge uitstoot; alternatieven zoals leemstuc zijn duurzamer.

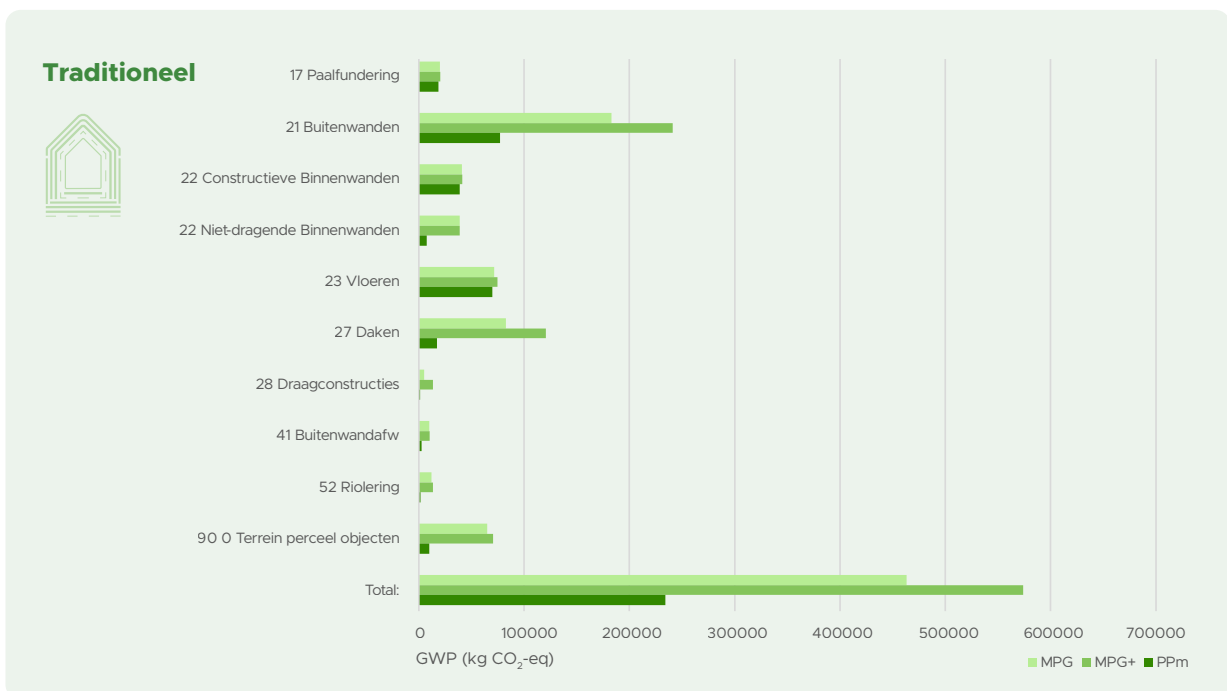
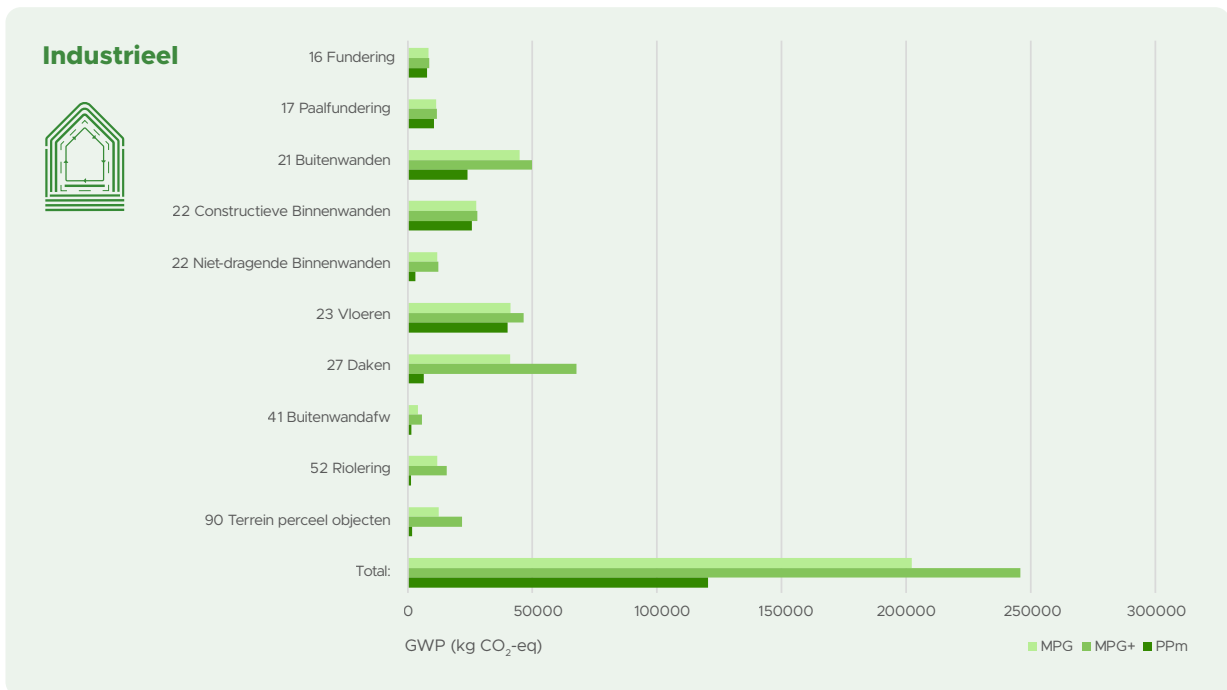
Overkoepelende inzichten

- De effecten van materialen zoals hout en andere biobased producten zijn goed zichtbaar in de verschillende meetmethodes.
- Bij de biobased variant komt een hoge MPG+- score vooral door houten onderdelen in daken, buitenwanden en vloeren. Dit kan te maken hebben met het onderhoud dat nodig is voor hout.
- Een houten constructie zorgt voor de meeste CO₂-opslag, wat leidt tot een negatieve score in sommige berekeningen. Dit geldt ook voor andere houten onderdelen zoals buitenwanden, daken en vloeren.
- Om CO₂-opslag optimaal te benutten, is het slim om hout vooral te gebruiken in delen van het gebouw die goed beschermd zijn tegen vocht en weersinvloeden. Hierdoor gaat

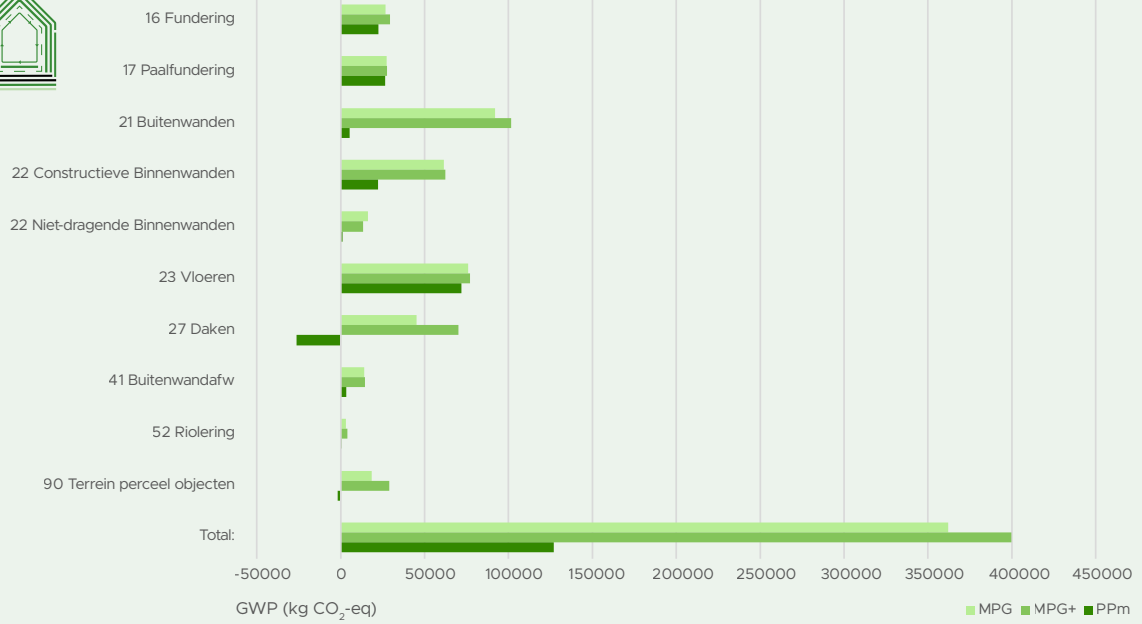
het langer mee en blijft de opgeslagen CO₂ behouden.

- De biobased gevel scoort volgens de PPM-methode beter dan de industriële woning; terwijl de industriële woning volgens de MPG juist beter scoort.

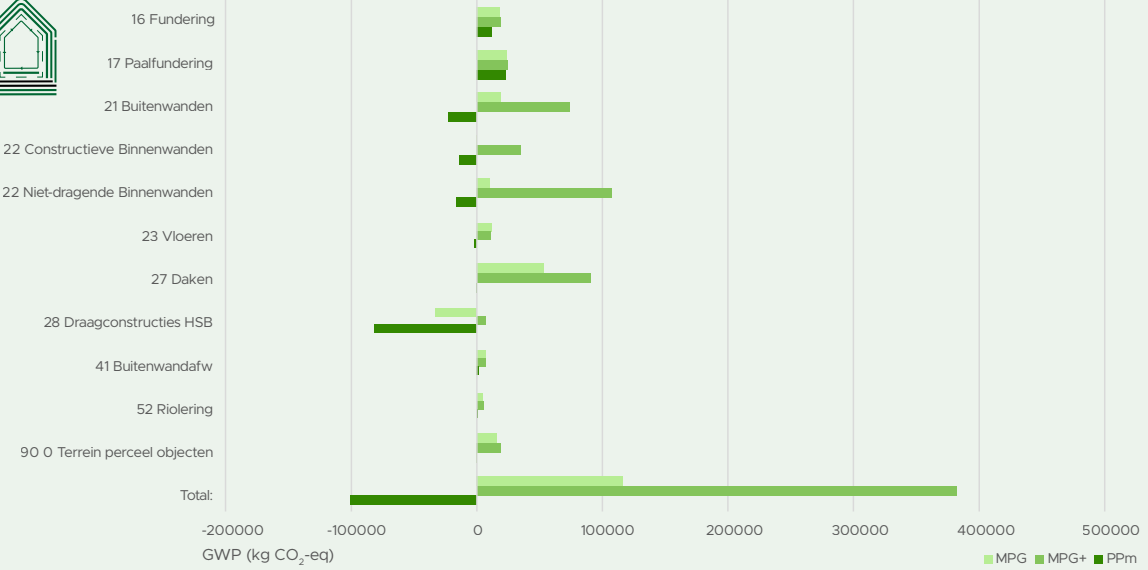
In onderstaande grafieken wordt voor elke bouwmethode de hoeveelheid CO₂-uitstoot of opslag weergegeven per gebouwschaal. Een negatieve score geeft aan dat de CO₂-opslag voor dat onderdeel groter is dan de uitstoot. Deze grafieken zijn een visualisatie van de resultaten van het onderzoek met de 4 bouwmethoden; industrieel, traditioneel, CO₂-alternatief, biobased en de 3 meetmethoden; MPG, MPG+ en PPM.



CO₂-alternatief



Biobased



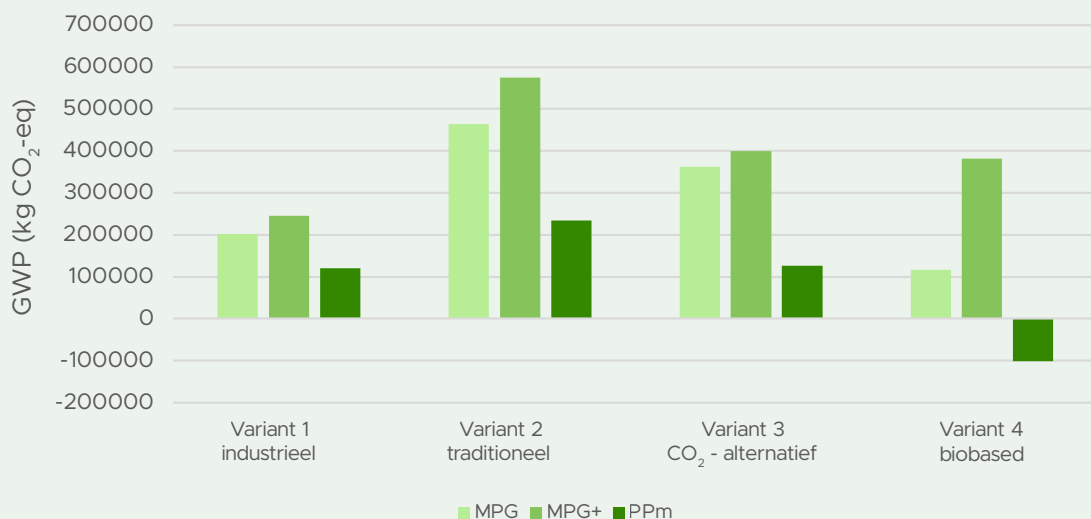
Bevindingen bouwmethodes

Vanuit bouwmethodes kunnen we de volgende conclusies trekken:

- **Industrieel bouwen vs. traditioneel bouwen en CO₂-alternatief bouwen:** Industrieel bouwen heeft een relatief lagere CO₂-uitstoot dan traditionele of alternatieve bouwmethoden. Dit is te verklaren door de optimalisatie van het industrieel bouwsysteem en het voor een groot deel in de fabriek produceren van prefab elementen.
- **Biobased bouwen:** toont veelbelovende CO₂-opslag, maar vereist specifieke ontwerpkeuzes om duurzaamheid te waarborgen.

Over het algemeen scoort biobased bouwen beter dan andere bouwmethodes. Alleen in de MPG+ score toont deze in ons onderzoek een hogere CO₂-uitstoot dan industrieel bouwen. Dit is te verklaren doordat onder andere houten ECO-houtvezel plaatmaterialen zijn gebruikt in de berekening. Deze specifieke materialen scoren goed in de D fase van de LCA omdat deze volledig recyclebaar zijn. Maar omdat bij de MPG2+ fase D niet wordt meegenomen, zie je dit terug in een hogere CO₂-uitstoot in met name vloeren, wanden en dak. In onderstaande grafiek wordt de totale CO₂-uitstoot per bouwmethode weergegeven aan de hand van de 3 meetmethodes.

Vergelijk totalen





Case - Parametrisch design

Parametrische optimalisatie van 'Whole Life Carbon'

Naast de materiaalgebonden CO₂ vindt er bij een woning ook uitstoot plaats via het verbruik van energie (operationele CO₂). De materiaalgebonden en operationele CO₂ die gedurende de levensduur van een woning vrij komen noemen we 'Whole Life Carbon' (Dutch Green Building Council). Climetric heeft voor dit icoonproject onderzocht hoe Whole Life Carbon geminimaliseerd kan worden door slimme combinaties van bouwoplossingen te kiezen tussen de vier bouwmethododes. De meest optimale combinatie van bouwoplossingen kan eenvoudig gevonden worden door de



Voor het parametrisch simuleren van de prestaties van de verschillende woningen is een 3D model opgesteld. Bron: Climetric.

toepassing van parametrische ontwerpen: een ontwerpmethodode waarbij alle mogelijke combinaties van bouwelementen objectief, tegelijkertijd geëvalueerd worden.

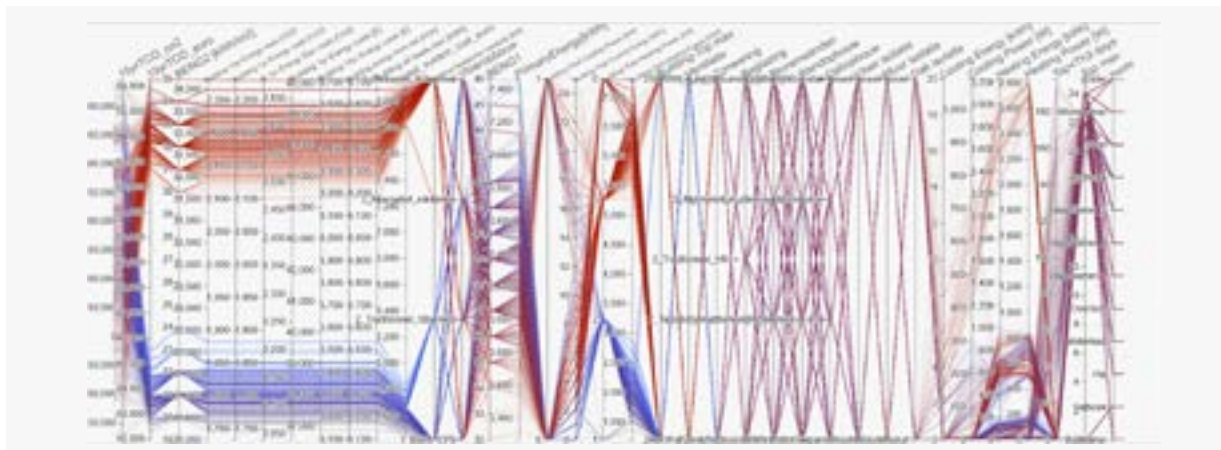
Hoe werkt parametrisch ontwerpen?

Voor dit project hebben we de belangrijkste bouwelementen van de vier onderzochte bouwmethododes flexibel gemaakt:

- Beglazing
- Binnen- en buitenwanden
- Dak- en vloeropbouw
- Isolatie-dikten
- Ventilatiestrategieën
- Zonwering

Voor elk van deze onderdelen zijn meerdere varianten getest. Bij beglazing simuleerden we bijvoorbeeld Triple HR++, Dubbel HR++ en Vacuüm HR++.

Het resultaat: 16.384 unieke ontwerpcombinaties in plaats van slechts vier basisontwerpen. Met een *parallel coordinates graph (PCG)* hebben we al deze varianten overzichtelijk geanalyseerd. Zo konden we in één oogopslag zien welke combinatie de beste balans biedt tussen energie-efficiëntie, comfort en milieu-impact.



Resultaten geanalyseerd in een PCG-grafiek. Bron: Climetric.

Wat levert dit op?

Climetric heeft de thermische prestaties van alle varianten doorgerekend en daarmee inzicht verkregen in:

- Energieverbruik en energie-efficiëntie (BENG 1)
- Comfort (dagen te koud, te warm of te heet)
- Benodigde warmtepomp-capaciteit
- Totale milieu-impact over 15 jaar (15Y TCO MPG: materialen + energieverbruik)



Resultaten van de simulatie tonen hoe de woning opwarmt in de zomer. Bron: Climetric.



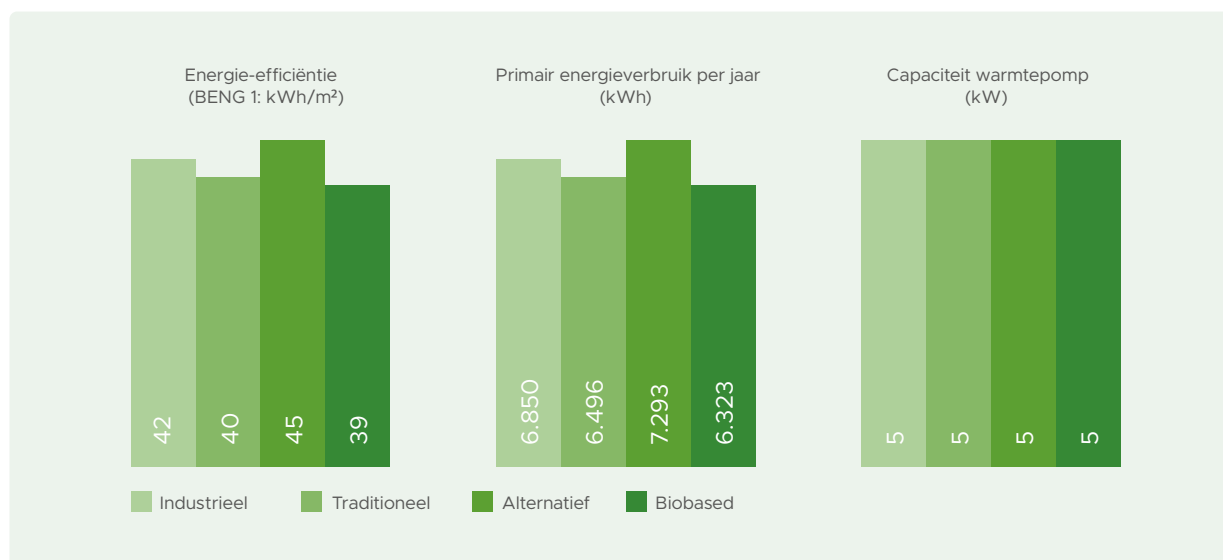
Resultaten van de simulatie tonen hoe de woning opwarmt in de winter. Bron: Climetric.

Verbeteringen door parametrische optimalisatie
De echte kracht van parametrisch ontwerpen zit in het verbeteren van bestaande ontwerpen. Door alle ontwerpkeuzes door te rekenen, ontstaat automatisch een optimale configuratie. Het best presterende ontwerp in dit onderzoek is gebaseerd op methode 4 (Biobased) met onder andere:

- Dakopbouw met houten balken en Swisspearl gevelbekleding
- HR++ dubbelglas
- Buitenzonwering
- WTW-unit (warmteterugwinning)

Hiermee daalt de 15Y TCO MPG naar -179K, een verbetering van ruim 60% ten opzichte van de oorspronkelijke biobased variant. Dankzij de WTW-unit daalt de warmtevraag en door zonwering daalt de koelvraag. Daardoor volstaat een veel kleinere warmtepomp (1kW in plaats van 5kW).

Belangrijke uitkomst: alle vier de bouwmethododes bieden voldoende comfort. De verschillen zitten vooral in energieverbruik en milieu-impact. De Biobased bouwmethode (4) presteert hierbij het beste, terwijl bouwmethododes Alternatief (3) en Industrieel (1) duidelijk minder energie-efficiënt zijn.



Vergelijk tussen de 4 bouwmethododes. Bron: Climetric.

Waarom deze methode zoveel waarde toevoegt

Dit onderzoek laat zien dat slimme materiaal- en installatiekeuzes enorme impact hebben op de duurzaamheid van woningen, zonder dat dit ten koste gaat van comfort.

Het toont ook aan dat parametrische optimalisatie een krachtig instrument is om in een vroeg stadium betere beslissingen te nemen. In plaats van te vertrouwen op aannames, laten we duizenden scenario's spreken. Daardoor wordt meteen duidelijk:

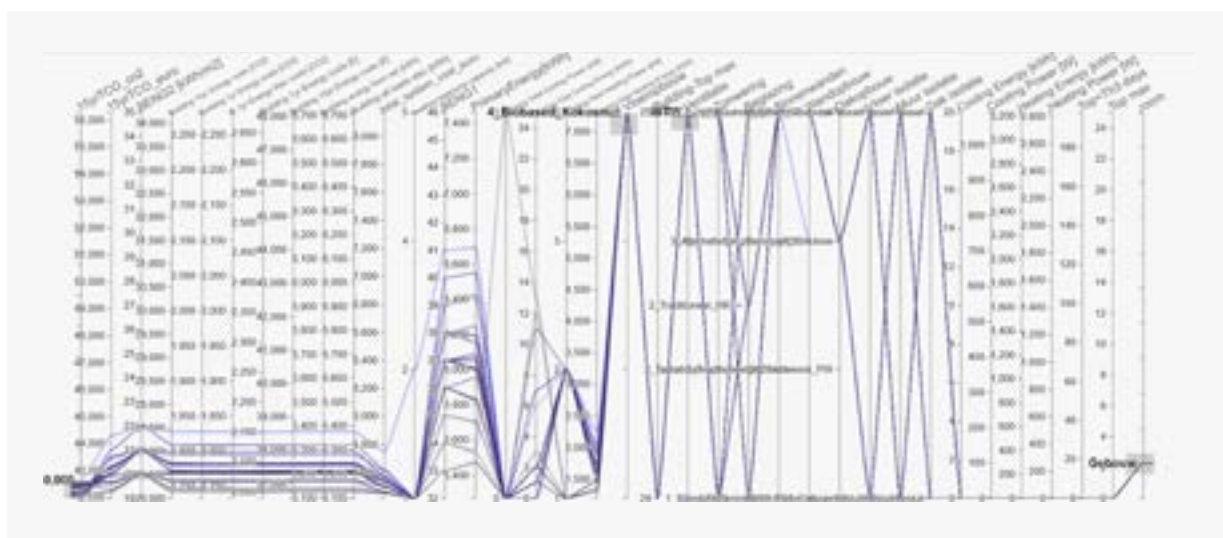
- Wat de milieugevolgen van ontwerpbeslissingen zijn
- Hoe energie-efficiënt een woning zal zijn

- Waar comfortproblemen kunnen ontstaan
- Welke keuzes kosten verlagen en welke juist verhogen

Deze manier van werken is sneller, transparanter en leidt tot aanzienlijk duurzamere gebouwen. Als deze aanpak de standaard wordt in de bouwsector, kan de milieu-impact van de gebouwde omgeving structureel omlaag.



Hier vind je meer over parametrisch design



Parallogram met best presterende ontwerp. Bron: Climetric.



Boodschap voor morgen

De manier waarop we vandaag bouwen, bepaalt hoe leefbaar onze wereld morgen is. Het Parijs-akkoord laat er geen twijfel over bestaan: onze CO₂-uitstoot moet drastisch omlaag. Voor de Nederlandse bouw betekent dit dat we tot 2050 nog maar 78 Mton materiaalgebonden CO₂ mogen uitstoten. Dat is gemiddeld slechts 200 kg CO₂ per m² voor eengezinswoningen, terwijl de huidige praktijk daar nog ruim boven zit. De tijd van losse, vrijblijvende maatregelen is voorbij. Elke ontwerp- en materiaalkeuze telt.

Uit ons onderzoek blijkt dat de grootste winst te behalen is bij materialen met een hoge impact: beton, metalen en steenachtige producten. Hier liggen directe kansen door:

- // Slanker en efficiënter te ontwerpen,
- // Beton te vervangen of te verrijken met een hoog aandeel gerecycled materiaal,
- // Biobased alternatieven toe te passen in constructie en afwerking.

Biobased bouwen -met bijvoorbeeld hout, vlas, hennep of bamboe- kan materiaalgebonden emissies zelfs negatief maken in de productiefase. Maar om die winst vast te houden, moeten we ontwerpen voor een lange levensduur en slim omgaan met onderhoud. Industrieel en prefab bouwen maakt het mogelijk om materiaalgebruik te minimaliseren en hergebruik te maximaliseren.

Daarnaast is het essentieel dat we meten met de juiste maatlat. De huidige MPG en MPG+ sluiten onvoldoende aan op onze 'korte'-termijndoelen voor 2030-2050. Door deze te combineren met de Paris Proof-methode krijgen we een reëel beeld van wat er nú nodig is om binnen het CO₂-

budget te blijven. Transparante, toegankelijke data, zoals internationale EPD-databases, helpen om beslissingen sneller en beter te onderbouwen.

Oproep aan iedereen die bepaalt en bouwt:

- // Koppel je ontwerpkeuzes direct aan het CO₂-budget, niet alleen aan kosten, zodat materiaalmilieuprestaties echt vertaald worden naar CO₂-emissies.
- // Maak materiaalgebonden emissies een harde eis in aanbestedingen en tenders.
- // Kies voor bouwsystemen die hergebruik, demontage en biobased toepassing mogelijk maken.
- // Kijk niet alleen naar de uitstoot van losse materialen, maar naar de beste materiaalcombinaties per bouwonderdeel.
- // Zet parametrisch ontwerpen in om al in de ontwerpfase de optimale balans te vinden tussen comfort, energie en milieu-impact.
- // Stuur op een integrale aanpak binnen ontwerp, bouw en gebruiksfase.

We hebben nog maar één bouwgeneratie tot 2050. Wachten kost ons het resterende CO₂-budget en de kans om de bouwsector toekomstbestendig te maken. Door nú samen te sturen op de juiste combinaties van ontwerp, materiaal en methode, bouwen we niet alleen binnen de planetaire grenzen, maar ook aan een circulaire, innovatieve en gezonde leefomgeving.

// Bronnen

De lijst van geraadpleegde bronnen in ons (voor)onderzoek is enorm. Hieronder vind je een overzicht van de belangrijkste bronnen die in verschillende hoofdstukken terug te vinden zijn.



Relevantie van materiaalgebonden uitstoot

Position Paper Whole Life Carbon - DGBC



Gebruik van 3D Software

DesignLCA- DGBC



De uitdaging van materiaalgebonden emissies

De route naar Circulair Succes - KVDK Architecten



Bouwmaterialen: welke opties zijn er?

Search | Database | ÖKOBAUDAT



Nationale Milieudatabase



Meetmethoden: verschillen en onderlinge verbanden

Tools en Methodes Circulaire Bouwmaterialen - Pianoo



Meetmethoden voor CO₂-equivalente emissie

Paris Proof - DGBC



Zo bouwen we binnen ons CO₂-budget - W/E Adviseurs

// Afkortingen

BENG

Bijna Energie Neutraal Gebouw

BPKV

Beste Prijs-Kwaliteitverhouding

C2C

Cradle to Cradle

CB'23

Circulair Bouwen '23

DBFM

Design Build Finance Maintain Operate

DGBC

Dutch Green Building Council

EPC

Energie Prestatie Gebouwen

EPD

Environmental Product Declaration

EPS

Geëxpandeerd polystyreen

GPR

Gemeentelijke Praktijk Richtlijn

GWP

Global Warming Potential

GSES

Global Sustainability Enterprise System

HSB

Houtskeletbouw

LCA

Levenscyclusanalyse

MKI

Milieukostenindicator

MPG

MilieuPrestatie Gebouwen

NMD

Nationale Milieudatabase

NPC

Nationale Product Catalogus

PIR

Polyisocyanuraat

RC-waarde

Warmteweerstand van een constructie

TCO

Total Cost of Ownership

PPI

Paris Proof Indicator

PPm

Paris Proof materiaalgebonden

WTW-unit

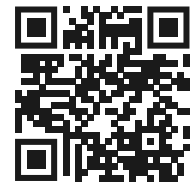
Warmte terugwin unit

Deze uitgave over duurzaam materiaalgebruik voor CO₂-reducerende materiaalkeuzes is mede mogelijk gemaakt door:



Over Circulair West

Circulair West maakt zich sterk voor een economie die efficiënt omgaat met haar materiaalstromen, concurrerend is en duurzaam produceert binnen de natuurlijke grenzen van de aarde. Zo beschermen we onze leefomgeving, de biodiversiteit en dragen we bij aan nieuwe toekomstbestendige werkgelegenheid. Voor meer informatie ga je naar de website of scan je de QR-code.



We doen dit alles door met elkaar samen te werken aan iconprojecten zoals circulair beton. Daarmee ontwikkelen we toepasbare kennis en bieden we begeleiding aan voor circulaire productieprocessen, -bedrijfsvoering, -producten en -diensten. De nadruk ligt daarbij op ketensamenwerking met bedrijven, overheid en kennisinstaties in Noord- en Zuid-Holland die graag willen innoveren ten dienste van de ondernemer.

www.circulairwest.nl



Duurzame Ontwikkelingsdoelen

De 17 Duurzame Ontwikkelingsdoelen, ook wel SDG-doelen genoemd, vormen voor onze deelnemers een kompas voor uitdagingen als armoede, onderwijs en de klimaatcrisis en zijn bedoeld om de wereld een betere plek te maken in 2030. Onze bedrijven proberen daar zoveel mogelijk aan bij te dragen vanuit hun bedrijfsactiviteiten.