

CARBON — BASED DESIGN

ONDERZOEK NAAR DE MILIEU-IMPACT VAN DE WONINGBOUW



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

cityförster
architecture + urbanism





Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

cityföörster
architecture + urbanism



Copyright © September 2021 Transitieteam Circulaire Bouweconomie en CITYFÖÖRSTER. Alle rechten voorbehouden. Teksten uit deze uitgave mogen met bronvermelding verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt worden. Het is geoorloofd gegevens uit dit rapport te gebruiken in artikelen en dergelijke, mits daarbij de bron duidelijk en nauwkeurig wordt vermeld.

DISCLAIMER

Bij de samenstelling van deze uitgave is getracht alle rechthebbenden te achterhalen. Diegenen die desondanks menen rechten te kunnen doen gelden, worden verzocht contact met de uitgever op te nemen.

Dit rapport is opgesteld door CITYFÖRSTER architecture + urbanism in opdracht van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), ten behoeve van de Circulaire Bouweconomie.

MET DANK AAN:

HET EXPERTPANEL: Slatjana Mijatovic - BPD
 Menno Rubens - Cepezed
 Ruben Zonnevijlle - DGBC
 Peter Fraanje - TNO

Ballast Nedam, BPD, Gemeente Rotterdam, Group A, Heijmans, Lingotto, Merosch, Shift a+u, Superuse, TBI, The New Makers voor het ter beschikking stellen van hun projecten als casestudies.

En W/E adviseurs voor het ter beschikking stellen van de rekensoftware GPR gebouw en begeleidend advies.

COLOFON

Auteurs: Martin Sobota, Isabel Driessen, Margot Holländer/MOR
 (CITYFÖRSTER)

Initiatief: Transitieteam Circulaire Bouweconomie

Opdrachtgever: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Begeleiding: Thomas Wellink (RVO) en Menno Brouwer (RVO)

Uitvoering en opmaak: CITYFÖRSTER architecture + urbanism

Redactie: Byline

AFBEELDING 1.

BNA Voorzitter Jolijn
Valk
Fotograaf: Alice
Lucchinelli



VOORWOORD

PRAKTISCH EN HAALBAAR

Een metafoor voor mijn visie op de toekomstige richting van architectuur en de (on-) gebouwde omgeving kwam mooi naar voren in het beeld van de meest gedetailleerde afbeelding van een menselijke cel ooit gemaakt, die ik onlangs in *NRC* tegenkwam. De afbeelding oogt als een futuristisch stedelijk netwerk. Een menselijke cel is een structuur op zichzelf, waar weer eigen structuren en netwerken in kunnen zitten: een oneindigheid van relaties en verbindingen. Ik moest hierbij onmiddellijk denken aan de ruimtelijke vraagstukken waar we als ontwerpers voor staan: de woningbouwopgave, de energietransitie, biodiversiteit, klimaat en circulariteit. Complexe opgaven die in directe verbinding staan met de verschillende schaalniveaus, ook met de ogenschijnlijk onzichtbare.

Kijk ik naar zo'n uitvergroete cel, dan zie ik daar graag de ideale bouwketen in terug. Om verschil te kunnen maken op kleine schaal (materiaalniveau) is ketensamenwerking vereist.

Dat brengt me bij de kernvraag van dit onderzoek naar CO₂-metabolisme in de woningbouw: hoe kunnen we ontwerpen en bouwen met zo min mogelijk CO₂-uitstoot? De realiteit is, als we eerlijk zijn, dat we daar nog lang geen pasklaar antwoord op hebben. Zo willen we allemaal 'circulair zijn', maar komen de meeste architecten, opdrachtgevers en bouwers vooralsnog niet veel verder dan hergebruik van materialen. De inspiratie en ervaringen van gebouwen als Circl in Amsterdam of het Stads kantoor in Venlo helpen wel. En de kennisdeling voor de praktijk komt op gang, zoals onlangs bleek bij de presentatie van het boek *Lessen in Circulariteit* door Hans Hammink (Cie). Dat soort praktische vertaalslagen kunnen we goed gebruiken.

Een andere prima vertaalslag, op een groter schaalniveau, naar het hands-on

toepasbaar maken van circulair ontwerpen en bouwen heeft u nu in handen. Dit onderzoek komt als geroepen. De casestudies, van laagbouw tot hoogbouw, zijn herkenbaar voor iedereen in ons speelveld. De beleidsaanbevelingen zijn praktisch en haalbaar - precies wat we nodig hebben om te kunnen versnellen en opschalen. De woningbouwopgave ligt er niet om, de klimaatcrisis evenmin. Maar de wil is er, bij iedereen, zo leert ook onze ervaring met het BNA-beleidsprogramma 'Circulair doen', waarin we met onze leden en kennispartners sinds 2020 actief zijn. Grootschalig woningen bouwen met kwaliteit én Paris-proof: ik geloof er heilig in dat we daartoe in staat zijn, zodra we ook werk maken van ketensamenwerking. De aanbevelingen in dit rapport zie ik hierbij dan ook als aanbeveling tot dat broodnodige samenspel.

Om elkaar goed te kunnen begrijpen en te kunnen innoveren, moeten we bereid zijn om van elkaar te leren en te durven experimenteren. In een tijd van 'strijd om de ruimte' en oplaaiende bouwwoede is het ongelooflijk belangrijk om precies te weten wat je bouwt en voor wie. Bij ingewikkelde situaties en vraagstukken is er de neiging om het te vereenvoudigen en 'plat te slaan'. Door te versimpelen ontstaat de indruk dat we weer grip krijgen op wat we moeten doen. En snel. Maar in plaats van het te vereenvoudigen, zouden we ook meer kennis kunnen verzamelen en de expertise erbij halen in plaats van weg te nemen.

De pragmatische opzet van dit rapport, inclusief de heldere richtlijnen, biedt houvast om concreet aan de slag te gaan. Ik stel voor dat we vanaf nu niet meer steggelen over de feiten, zoals die ook in dit rapport zonneklaar worden benoemd (een buitenstedelijke woning heeft zeven keer de infrastructuur nodig in vergelijking met een hoogstedelijke woning...). Laten we onze energie steken in de transitie van de bouwsector als 'onderdeel van het probleem' naar 'onderdeel van de oplossing', met 'nul-op-de-bouwplaats' als doel. Zolang we geloven in het feit dat alles met elkaar is verbonden, op de schaal van een menselijke cel, en op de schaal van de woningbouwopgave, kan het.

Jolijn Valk

Voorzitter BNA

INHOUD

COLOFON	3
VOORWOORD	4
SAMENVATTING	8
Carbon-based design: ontwerpen op basis van koolstofemissies	8
Hoe groot is onze impact?	8
Materiaalgebonden of operationeel?	8
Materiaalgebonden emissies kwantificeren en in context plaatsen	9
Richtlijnen voor Carbon-Based Design	9
Algemene principes: Reduce > Reuse > Recycle	10
Site	10
Structure	10
Skin	11
Services	11
Space plan	11
INLEIDING	12
Opwarming van de aarde	12
Van nul-op-de-meter naar nul-op-de-bouwplaats	12
Vuistregels voor carbon-based design	13
Van grootste vervuiler naar CO ₂ -afvanger	13
Aanpak en methode	14
I. DE CO₂-KRINGLOOP	16
Een natuurlijke balans	16
De technosfeer	17
CO ₂ -voetafdruk	18
Jaarlijkse broeikasuitstoot (kg CO ₂ -equivalenten) per categorie per huishouden	18
urban	20
city's annual cost, per household	20
De invloed van de levensstijl	20
SUBurban	20
city's annual cost, per household	20
CO ₂ -kringloop van een gebouw	22
Materiaalgebonden en operationele emissies	23
II. MATERIAALGEBONDEN EMISSIE	26
Hoe kunnen we de materiaalgebonden emissie kwantificeren?	26
De milieuprestatie van een gebouw (MPG)	27
Milieueffecten	30

III. ONTWERPPRINCIPES	31
Algemene principes	31
R-ladder	32
Ontwerpstrategieën van werkgroep CB'23	33
Levensduur	34
De lagen van Stewart Brand	34
Site	36
Structure	38
Skin	44
Space plan	51
Stuff	54
IV. CASESTUDIES	55
Onderzoek naar de impact van ontwerpkeuzes	55
Overzicht van de casestudies	55
Methodologie	59
Vergelijkende tabel	60
Ontleden van verschillende gebouwonderdelen	61
Reorganiseren van de MPG-score	62
Vergelijkingen per laag	65
Case study A – hoogbouw	73
Case study B – hoogbouw	77
Case study C – middelhoog gebouw	81
Case study D – middelhoog gebouw	84
Case study E – laagbouw rijtjeswoning	88
Case study F – laagbouw rijtjeswoning	91
V. AANBEVELINGEN	94
Neem infrastructuurkosten mee	94
Breng schaduwkosten in rekening	94
Toetsen MPG-Scores bij oplevering	94
Zorg voor meer EPD's in de NMD	95
Neem CO ₂ -opslag mee in de MPG	95
Voer carbon accounting in	95
Integrale beoordeling van emissies	96
VI. REFERENTIES	96
VII. AFBEELDINGEN	98
VIII. INDEX	98

SAMENVATTING

CARBON-BASED DESIGN: ONTWERPEN OP BASIS VAN KOOLSTOFEMISSIONS

Dit onderzoek draait om de rol die materiaalgebonden emissies in de bouw spelen. Vragen daarbij zijn:

- Welke onderdelen van een gebouw dragen het meeste bij aan emissies?
- Hoe kunnen we deze verminderen?
- Wat zou er gebeuren als we onze ontwerpbeslissingen zouden nemen op basis van de CO₂-uitstoot die ze veroorzaken?

We duiden de belangrijkste termen rond dit onderwerp, bekijken hoe de **materiaalgebonden emissies** berekend worden, plaatsen deze in een groter geheel en analyseren welke wisselwerkingen er bestaan. Vervolgens belichten we een aantal casestudies waarvan zes in detail.

Op basis van de verworven inzichten formuleren we 24 principes die een ontwerper houvast bieden in zijn proces en hem in staat stellen om vroegtijdig beslissingen te nemen om de CO₂-balans van een gebouw te verbeteren.

'Last but not least' formuleren we een aantal beleidsaanbevelingen. Deze zijn ontstaan uit tegenstrijdigheden tussen enerzijds de huidige praktijk, het beleid en de regelgeving en anderzijds wat naar ons inzien de juiste randvoorwaarden zouden zijn om naar een 'Paris-proof' bouwsector toe te werken.

HOE GROOT IS ONZE IMPACT?

De **biosfeer** zorgt voor 120 gigaton CO₂-uitstoot per jaar en ook de oceanen laten 90 gigaton CO₂ vrij.

Ongeveer dezelfde hoeveelheid CO₂ nemen zij ook weer op. De technosfeer (bestaande uit menselijke activiteiten) stoot meer CO₂ uit dan dat het opvangt. Voor een groot deel gebeurt dat door het verbranden van fossiele reservoirs, maar ook activiteiten als het branden van kalk en cement horen hierbij.

De bouwsector is verantwoordelijk voor circa 38 procent van de globale CO₂-emissies.¹ Alleen al het materiaalgebruik bedraagt 11 procent van de globale CO₂-uitstoot.

MATERIAALGEBONDEN OF OPERATIONEEL?

In de laatste decennia zijn wereldwijd grote stappen gezet in het terugbrengen van het energieverbruik tijdens de gebruiksfase van gebouwen. Hoe meer vooruitgang we boeken naar echte 'zero-energy' gebouwen, des te relevanter worden ook de gebouw- of materiaalgebonden emissies. Enerzijds omdat hun aandeel verhoudingsgewijs relevanter wordt, maar ook omdat een reductie van het operationele verbruik vaak gepaard gaat met een verhoging van het materiaalverbruik, bijvoorbeeld door grotere en complexere installaties.

Hier komt bij dat de **materiaalgebonden emissies** nú plaatsvinden, terwijl de **operationele emissies** over de **levensduur** verspreid zijn en jaar voor jaar opbouwen. Emissies nu hebben dus veel meer effect op klimaatverandering dan emissies die geleidelijk over de levensduur van een gebouw accumuleren. Wij noemen dit de tijdwaarde van koolstof.

¹ United Nations (2020). *United Nations Environment Programme. Emissions Gap Report 2020*, Nairobi.

MATERIAALGEBONDEN EMISSIES KWANTIFICEREN EN IN CONTEXT PLAATSEN

Ongeveer 65 procent van de materiaalgebonden emissies ontstaat voor of tijdens het bouwproces (**cradle to site**). De overige 35 procent ontstaat bij onderhoud en vervanging van onderdelen.

Deze getallen zijn gebaseerd op ons onderzoek naar 24 woningbouwprojecten. Sinds 2013 is het in Nederland verplicht om bij een bouw aanvraag een MPG-berekening te maken. Deze berekening brengt de milieuprestatie van gebouwen in kaart en omvat naast de CO₂-uitstoot een aantal andere milieueffecten zoals verzuring en uitstoot van toxische stoffen. De verschillende effecten worden gemultipliseerd met hun theoretische maatschappelijke **schaduwkosten**, wat leidt tot een genormaliseerde waarde van maatschappelijke kosten in euro's. Deze kosten worden dan gedeeld door de vierkante meters **brutovloeroppervlak** en de levensduur van standaard 75 jaar. De eis van die verhouding voor woningniewbouw is in 2021 bijgesteld van 1,0 naar 0,8. Een woning van 120 m² mag dus in plaats van 120 euro maatschappelijke kosten nog maar 96 euro kosten veroorzaken.

Hoewel de methode gestandaardiseerd is en de verschillende gecertificeerde softwarepakketten dezelfde Nationale Milieudatabase moeten gebruiken, zijn niet alle MPG-berekeningen even goed leesbaar en vergelijkbaar. Ook is duidelijk dat een MPG-berekening zonder de erbij behorende **EPC**- of **BENG**-berekening weinig zeggingskracht heeft.

Standaard geeft de MPG alleen op gebouwniveau de verschillende milieueffecten weer en maakt dus niet inzichtelijk hoeveel CO₂ de verschillende materialen bevatten. Hier komt bij dat de MPG standaard onderscheid maakt tussen bijvoorbeeld vloeren en wanden, maar niet tussen dragende en niet-dragende onderdelen.

Dit past bij een praktijk waarin meestal achteraf door een extern adviseur een berekening van een finaal ontwerp gemaakt wordt. Omdat de eisen nog relatief makkelijk haalbaar zijn, levert dit in de praktijk geen probleem op. De meeste architecten weten niet eens wat een MPG-berekening is. Naarmate de eisen strenger worden, zal de MPG ook in het ontwerpproces een rol gaan spelen en wordt een andere opbouw van de data nodig.

Uit de 24 casestudies hebben we er 6 uitgelicht die het beste gedocumenteerd waren en die het spectrum van hoogstedelijk, stedelijk en suburbaan goed afdekken. Voor dit onderzoek hebben we de berekeningen van onze casestudies opnieuw gedaan en de informatie gestructureerd en gesorteerd op levenscyclusfase en op de S-lagen volgens Steward Brand², een benadering die voortbouwt op het onderscheid tussen 'structure and infill' zoals John Habraken (1961), *De Draggers en de Mensen: Het Einde van de Massawoningbouw*) dat heeft geformuleerd.

RICHTLIJNEN VOOR CARBON-BASED DESIGN

Vervolgens analyseerden we de belangrijkste vragen voor een ontwerper:

- Wat zijn de bouwcomponenten met de hoogste materiaalgebonden emissies?
- Wat zijn alternatieven en wat betekent dat voor het ontwerp en detail?
- Wat voor invloed heeft de levensduur van 75 jaar op ontwerpbeslissingen?
- Wat gebeurt er als we proberen een lage MPG-waarde te behalen?
- Kunnen we onder de nul komen? En is dat zinvol?
- Hoe verhoudt een hogere investering in bijvoorbeeld zonnepanelen zich tot het energieverbruik in de gebruiksfase van het gebouw?

² Brand, S. (1994). *How Buildings Learn. What Happens After They're Built*.

- Is het zinvol om grote woningen te bouwen met een lage MPG-score die door slechts een of twee personen bewoond worden?
- Of is het zinvol iets meer te investeren in een zware draagstructuur die flexibel is in functie en meer mensen kan huisvesten, dicht bij een metrostation?

Ons onderzoek leidde uiteindelijk tot een aantal richtlijnen voor 'Carbon Based Design'. Deze zijn zo georganiseerd dat zij voor een ontwerper handvaten geven in verschillende stadia van het ontwerpproces. De belangrijkste principes zijn hieronder samengevat, geclusterd aan de hand van de S-lagen van Steward Brand met een aantal algemene principes vooraf.

ALGEMENE PRINCIPES: REDUCE > REUSE > RECYCLE

Energieverbruik is niet hetzelfde als emissies: we hebben geen energieprobleem maar een emissieprobleem. De energie die elke dag onze planeet bereikt vanaf de zon is 10.000 keer wat we wereldwijd in een heel jaar nodig hebben. Toch heeft energieopwekking altijd negatieve effecten. Zonnepanelen moeten ergens staan waar dan minder plek voor groen is. Windmolens maken geluid en worden gebouwd met behulp van zeldzame grondstoffen, enzovoort.

Het meest milieuvriendelijke gebouw is daarom het gebouw dat niet gebouwd hoeft te worden. Bijvoorbeeld doordat we manieren van bouwen en samenleven bedenken die vrijheid, privacy en comfort bieden, zonder de grote hoeveelheid ruimte, complexe installaties en talloze gadgets die we nu denken nodig te hebben.

Daarnaast is de vraag hoe we de bestaande bouwwerken met zoveel mogelijk behoud van waarde kunnen hergebruiken voor nieuwe behoeftes.

Soms is er geen zinvol hergebruik mogelijk. Laten we er dan voor zorgen dat onze bouwstoffen weer helemaal teruggebracht worden tot grondstof. Bijvoorbeeld door geen lijm te gebruiken of ingewikkelde composieten te maken. Dat is het **cradle-to-cradle** principe.

SITE

De locatie en context zijn belangrijk voor de ecologische voetafdruk. Om de hoeveelheid nieuwe materialen te verminderen, moeten we kijken naar wat we al hebben. Stedelijke locaties zijn al uitgerust met infrastructuur, een openbaar vervoer netwerk en gedeelde voorzieningen. Ook al tellen deze aspecten niet mee in de MPG-berekening, hier is toch de grootste winst te halen. Bedenk dus hoeveel infrastructuur nodig is om een gebouw te ontsluiten. Een buitenstedelijke woning heeft bijvoorbeeld 7 keer zoveel infrastructuur nodig als een hoogstedelijke woning. De energie die het gebruik van die infrastructuur veroorzaakt (bijvoorbeeld mobiliteit) telt dan nog niet eens mee.

STRUCTURE

De draagstructuur van een gebouw bevat een grote hoeveelheid materialen, maar heeft ook de grootste potentiële levensduur. We moeten dus een efficiënte structuur ontwerpen die zo veel mogelijk materiaal bespaart, maar ook rekening houdt met functieverandering. Dat vraagt bijvoorbeeld meer draagkracht van vloeren of grotere overspanningen. Een interessant vraagstuk is ook de demonteerbaarheid en remonteerbaarheid van draagstructuren. Vanwege zijn massa is een draagstructuur uitermate geschikt om koolstof in op te slaan, bijvoorbeeld door te bouwen met hout.

SKIN

De gevel van een gebouw regelt in grote mate het comfort. Raamopeningen die voor veel daglicht zorgen, zijn tegelijkertijd een zwakke schakel als het gaat om het vasthouden van energie. Ook vraagt de productie van glas veel energie. Voor ontwerpers is het daarom belangrijk gevelopeningen goed vorm te geven. De meest voorkomende gevelbekleding van Nederland, baksteen, vergt veel productie-energie, maar kent in principe ook een lange levensduur. Deze wordt nu vaak niet benut, omdat het makkelijker is een nieuwe steen te gebruiken dan een oude steen van zijn mortel te ontdoen. Hout en andere **biobased** materialen kunnen veel CO₂ tijdelijk opslaan en zijn terug te brengen naar organische materie. Biobased materialen als leem, stro of hennep hebben bovendien vaak goede bouwfysische eigenschappen waardoor dubbele winst behaald kan worden.

In hoogbouw is de impact van de gevel in verhouding met het dak en de grondplaat nog sterker/groter.

SERVICES

De energieprestatie van gebouwen wordt vaak door complexe en intensieve installaties geoptimaliseerd. Uitgangspunt is vaak een relatief nauw begrip van comfort (meestal de binnentemperatuur) dat met veel geautomatiseerde meet- en regeltechniek geprobeerd wordt te bereiken. In de realiteit is het voor het comfort echter vaak belangrijker een raam open te kunnen zetten. De op papier goede energieprestatie kan in de praktijk zwaar tegenvallen en zelfs meer energie verslinden dan een conventioneel gebouw.

Ook hier gelden de basisprincipes: de meest efficiënte koeling is de koeling die niet nodig is. Dat is te bereiken als een gebouw een goede oriëntatie op de zon heeft, over de juiste materiaaleigenschappen beschikt, en gebruik maakt van zonwering en natuurlijke ventilatie. Bij een goede combinatie van automatisering en bedieningsmogelijkheden voor de gebruiker kunnen zulke passieve strategieën een hoger comfort opleveren en tegelijkertijd robuuster zijn in niet voorspelde situaties. De zonnepanelen, die trouwens met afstand de grootste emissies veroorzaken, zijn dan nog steeds zinvol omdat ze het gebouw uiteindelijk energiepositief kunnen maken.

SPACE PLAN

Ruimtes in een gebouw veranderen vaak van functie. Slaapkamer wordt woonkamer wordt thuiswerkplek wordt kinderkamer. Als onze plattegronden flexibel bruikbaar zijn, hoeven wanden en deuren niet verplaatst te worden. En als we plattegronden op een gegeven moment toch willen veranderen, is het een voordeel als de elementen demontabel zijn. Dat kunnen flexibele wanden en gestandaardiseerde elementen zijn, maar het kunnen ook materialen zijn zoals wandbehang dat het stucwerk beschermt.

Opvallend is dat cementdekvloeren, die in moderne houtbouw vaak toegepast worden voor akoestische isolatie, juist een groot aandeel in de CO₂-uitstoot van gebouwen hebben. Vaak worden deze bij een herindeling van een plattegrond vervangen, waardoor ze ook nog een relatief korte levensduur hebben.

STUFF

Wat in en om gebouwen gebeurt bepaalt 89 procent van onze emissies. Ontwerpers zouden woningen moeten bedenken waarin mensen gezond kunnen leven, in steden waar ze kunnen werken op fietsafstand, en waar ze zingeving kunnen vinden zonder overbodige materiële consumptie of vakanties. Deze steden moeten klimaatbestendig ingericht zijn en op bereikbare afstand van de meeste benodigdheden.

INLEIDING

OPWARMING VAN DE AARDE

Ondanks de wereldwijde inspanningen om de **CO₂-uitstoot** te reduceren zijn, we nog ver verwijderd van het doel om de wereldwijde temperatuurstijging onder de 2 graden te houden. Het aandeel van de bouwsector is nu nog geschat op 38 procent³. Hier liggen enorme mogelijkheden om emissies te reduceren en zelfs om bij te dragen aan de vermindering van CO₂ in de atmosfeer. Door middel van dit onderzoek willen wij de mogelijkheden van **CO₂-emissiereductie en -opslag** in de woningbouw in kaart brengen en begrijpen welke rol ontwerpers, opdrachtgevers en bouwers daarin kunnen vervullen.

AFBEELDING 2.

Toekomstscenario opwarming van de aarde door broeikasgassen. Bron: Climate Action Tracker (May 2021). Based on national policies and pledges as of May 2021.

Wereldwijde broeikasgasuitstoot en opwarmingsscenario's

- Elk scenario heeft een factor van onvoorspelbaarheid, aangegeven door de onzekerheidsmarge in lage tot hoge uitstoot.
- Opwarming refereert aan de verwachte wereldwijde temperatuurstijging in 2100, t.o.v. pre-industriële temperaturen.

Jaarlijkse wereldwijde broeikasgasuitstoot in gigaton koolstofdioxide-equivalent

150 Gt

100 Gt

50 Gt

Broeikasgasuitstoot tot op heden

1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100

Geen klimaatbeleid
4.1 - 4.8°C

Huidig beleid
2.7 - 3.1°C

Binnen huidig klimaatbeleid zorgt de uitstoot voor een opwarming van 2.7 tot 3.1°C in 2100

Beloften & doelen (2.4°C)

uitstoot als alle landen voldoen aan reductiebeloften, resulteert in een opwarming van 2.4°C in 2100.

2°C route

1.5°C route

VAN NUL-OP-DE-METER NAAR NUL-OP-DE-BOUWPLAATS

De CO₂-uitstoot van een gebouw omvat alle uitstoot die ontstaat tijdens het gebruik van het gebouw en die ontstaat tijdens de bouw bij de productie, het transport en de montage van bouwmaterialen. Het ontwerpen van zogenaamde **nul-op-de-meter-woningen** waarbij het netto energieverbruik tot nul wordt gereduceerd, is inmiddels in veel landen al de norm. Maar dit betreft alleen de **operationele emissies**. Ondertussen hebben het bouwproces en productie van de bouwmaterialen ook een grote impact, wat nog vaak buiten beschouwing wordt gelaten. We noemen dit **materiaalgebonden emissies**.

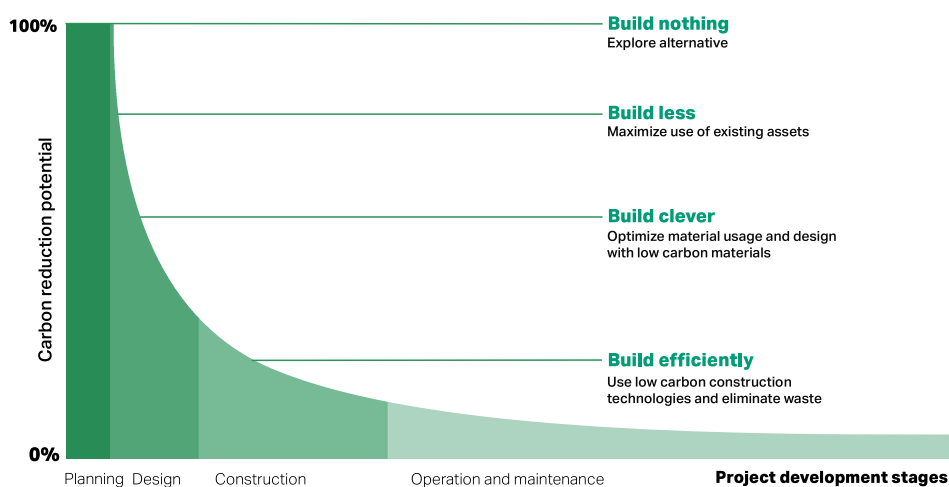
³ United Nations (2020). *United Nations Environment Programme Emissions Gap Report 2020*, Nairobi.

VUISTREGELS VOOR CARBON-BASED DESIGN

Door middel van dit onderzoek willen we inzicht krijgen in de CO₂-kringloop en welke rol de bouwsector daarin speelt. De focus ligt op de **materiaalgebonden emissies** in de woningbouw. Door inzicht te krijgen in het bouwproces en welke onderdelen daarvan de meeste impact hebben op klimaatverandering, kunnen we onze ontwerp- en ontwikkelstrategie daarop aanpassen. Hoe eerder in het proces, hoe beter. De eerste stap is het inzichtelijk maken van de bestaande kennis en daarmee bewustwording van de mogelijkheden die we hebben als ontwerpers en ontwikkelaars. Vervolgens worden aan de hand van een aantal opgestelde ontwerpprincipes de mogelijkheden voor Carbon-Based Design nader toegelicht.

AFBEELDING 3.

Opportunities to reduce embodied carbon across all project phases. Bron: Churkina, G. et al. (2020). *Decarbonizing construction. Buildings as a global carbon sink.*



VAN GROOTSTE VERVUILER NAAR CO₂-AFVANGER

Hoe kunnen we ervoor zorgen dat de 1.000.000 nieuwe woningen die er in Nederland voor 2030 nodig zijn zo min mogelijk druk uitoefenen op de al moeilijk te behalen klimaatdoelen? Zelfs als alle toekomstige woningen volgens de huidige afspraken, **BENG** (Bijna Energieneutraal Gebouw) en vier procent emissiereductie in de industrie, gebouwd worden, zal het **CO₂-budget** voor de bouw (bij een 1,5 graad opwarmings-scenario) in 2026 op zijn.⁴

Kunnen we in plaats van 'minder slecht' te bouwen, in de toekomst zelfs op een 'goede' manier gaan bouwen voor het milieu door bouwmaterialen voor lange tijd CO₂ op te laten slaan en daarmee te onttrekken aan de atmosfeer? Hoe kunnen we als bouwsector in plaats van het probleem te zijn, bijdragen aan de oplossing voor de enorme CO₂-uitstoot met alle klimaatgevolgen van dien? Dit zijn de vragen waarop we in de volgende hoofdstukken antwoorden willen formuleren.

⁴ Mooij, M. (2021, Nov. 23). *Congres Paris Proof Embodied Carbon Dutch Green Building Council*. <https://www.dgbc.nl/agenda/congres-paris-proof-embodied-carbon-334>

AANPAK EN METHODE

De volgende stappen zijn doorlopen om tot de gewenste ontwerpprincipes te komen:

LITERATUURONDERZOEK

Het analyseren van bestaande literatuur en kennis over de CO₂-kringloop van CO₂-uitstoot en -afvangst in de atmosfeer en in de gebouwde omgeving, de bijhorende rekenmethodes en regelgeving.

INZICHTELIJK MAKEN VAN DE CO₂-KRINGLOOP

Een studie naar de CO₂-kringloop en de rol van de bouwindustrie daarin is gedaan om inzicht te krijgen in onze positie en alle aspecten die daarmee in verband staan.

MPG ALS GRAADMETER VOOR CO₂-UITSTOOT IN EEN GEBOUW

Voor het aanvragen van een bouwvergunning moet altijd een milieuprestatie gebouwen (**MPG**) berekening gemaakt worden. De basis hiervan zijn de levenscyclusanalyses (**LCA**) van de gebouwonderdelen en materialen. Deze rekenmethode hebben we gebruikt om de CO₂-uitstoot van een gebouw inzichtelijk te maken.

CASESTUDIES

Verschillende referentieprojecten zijn verzameld en geanalyseerd om inzicht te krijgen in de impact van ontwerpkeuzes op de totale materiaalgebonden emissies en daarmee samenhangend de CO₂-uitstoot van een gebouw. Dit zijn allen woningbouwprojecten waarbij verschillende bebouwingsdichtheden (hoogstedelijk, laagstedelijk en buitenstedelijk) in overweging zijn genomen.

ONTWERPPRINCIPES

Uit zowel het literatuuronderzoek als de analyse van referentieprojecten zijn verschillende ontwerpprincipes gedestilleerd waarin het minimaliseren van de CO₂-uitstoot voorop staat.

OPBOUW VAN HET RAPPORT

INLEIDING

De achtergrond, probleemstelling, doelen, vraagstelling, aanpak en methode en de opbouw van dit rapport worden hier omschreven.

I. INTRODUCTIE IN DE CO₂-KRINGLOOP

De belangrijkste begrippen en concepten worden uitgelegd waarmee de CO₂-kringloop, ingezoomd tot gebouwniveau, inzichtelijk wordt gemaakt.

II. MATERIAALGEBONDEN EMISSIES

Een omschrijving van de impact van materiaalgebonden emissies (embodied carbon) in de bouw, hoe dit gemeten wordt en wat het huidige beleid rondom deze emissies is.

III. ONTWERPPRINCIPES

Verschillende ontwerpprincipes zijn geformuleerd om de materiaalgebonden emissies te reduceren in een woningbouwontwerp. Deze ontwerpprincipes zijn opgedeeld van groot naar klein en volgens de **S-lagen** van **Stewart Brand** en getoetst aan de ontwerpstrategieën van CB'23 als algemene ontwerpprincipes.

IV. CASESTUDIES

Van 24 woningbouwprojecten is de milieu-impact aan de hand van de **MPG-** en **EPC/BENG**-berekening geanalyseerd. Op deze manier kunnen we erachter komen welke onderdelen van een gebouw de grootste impact hebben en welk effect bepaalde ontwerpkeuzes hierop hebben. Zes projecten zijn uitgekozen om in verder detail te analyseren.

V. BELEIDSAANBEVELINGEN

In dit onderzoek zijn we een aantal beperkingen tegengekomen in het huidige beleid en met name van de milieuprestatie gebouwen, waarmee de milieubelasting van de toegepaste materialen in een gebouw wordt berekend. In dit hoofdstuk worden deze beperkingen omschreven en aanbevelingen gegeven voor beleidsontwikkelingen.

VI. INDEX

Een alfabetisch overzicht van afkortingen en termen die in dit rapport gebruikt worden. De termen die nagezocht kunnen worden in de index zijn in het rapport te herkennen aan de **blauwe vetgedrukte** tekst.

DE CO₂-KRINGLOOP

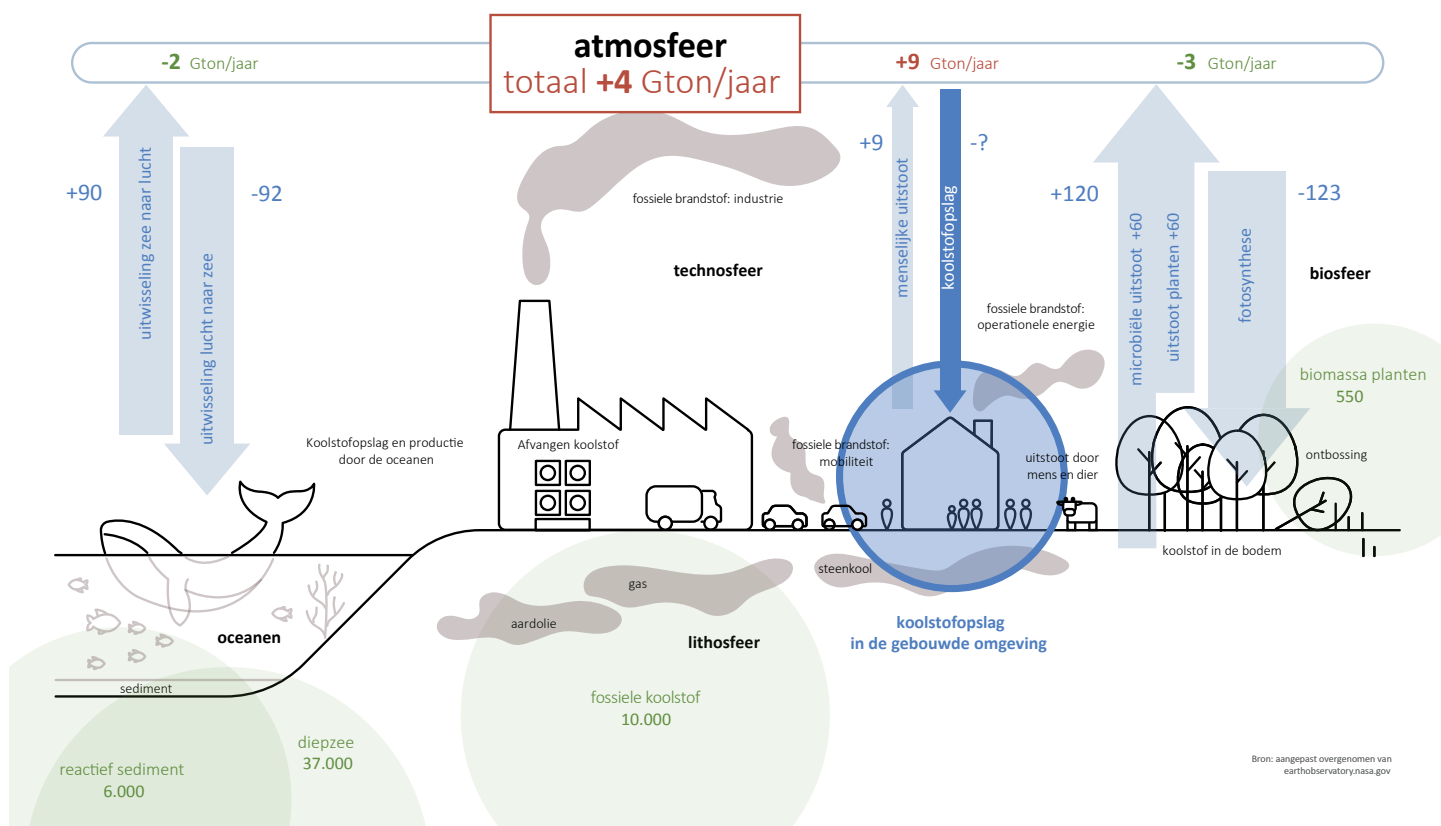
EEN NATUURLIJKE BALANS

Bijna alles wat we om ons heen zien, bestaat uit koolstof: we zijn het, we eten het, verbranden het en onze economie draait erop. Koolstof heeft altijd een belangrijke rol gespeeld in ons bestaan en zal dat ook altijd blijven doen. De korte koolstofkringloop bestaat voornamelijk uit stromen van koolstof tussen verschillende levensvormen op aarde en tussen de verschillende 'sferen'. Per jaar verplaatst zich rond de 400 gigaton koolstof door de korte koolstofkringloop. CO₂ komt echter ook vrij bij verwerking van gesteente, uitbarsting van vulkanen en vooral door het biologische proces in oceanen.

Koolstofconcentraties waren in prehistorische tijden ook hoger dan ze nu zijn. Na miljoenen jaren is deze zogenoemde lange koolstofkringloop echter in een natuurlijke balans terecht gekomen, waarbij de hoeveelheid koolstof in de **atmosfeer** (lucht), de **oceanosfeer** (zee), de **lithosfeer** (aardkorst) en de **biosfeer** (flora en fauna) in balans blijft en daarmee de temperatuur op aarde stabiliseert. Deze stabiele omstandigheden zijn de basis voor de wereld die we kennen en de beschavingen die zich hierin hebben ontwikkeld. Sinds de industrialisatie heeft de mens echter een steeds grotere impact op de CO₂-kringloop, en dit heeft geleid tot ongekend hoge concentraties CO₂ in de atmosfeer. We noemen de menselijke invloed de **technosfeer**.

AFBEELDING 4.

CO₂-kringloop. Alle hoeveelheden zijn weergegeven in gigaton CO₂.



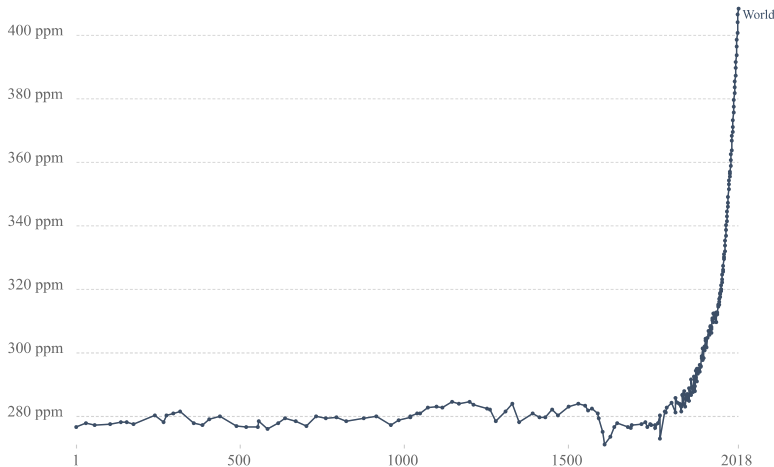
Bron: aangepast overgenomen van earthobservatory.nasa.gov

AFBEELDING 5.

Atmosferische CO₂-concentratie over de afgelopen 2000 jaar (korte termijn).

Global CO₂ atmospheric concentration

Global mean annual concentration of carbon dioxide (CO₂) measured in parts per million (ppm).



Source: NOAA/ESRL (2018)

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/

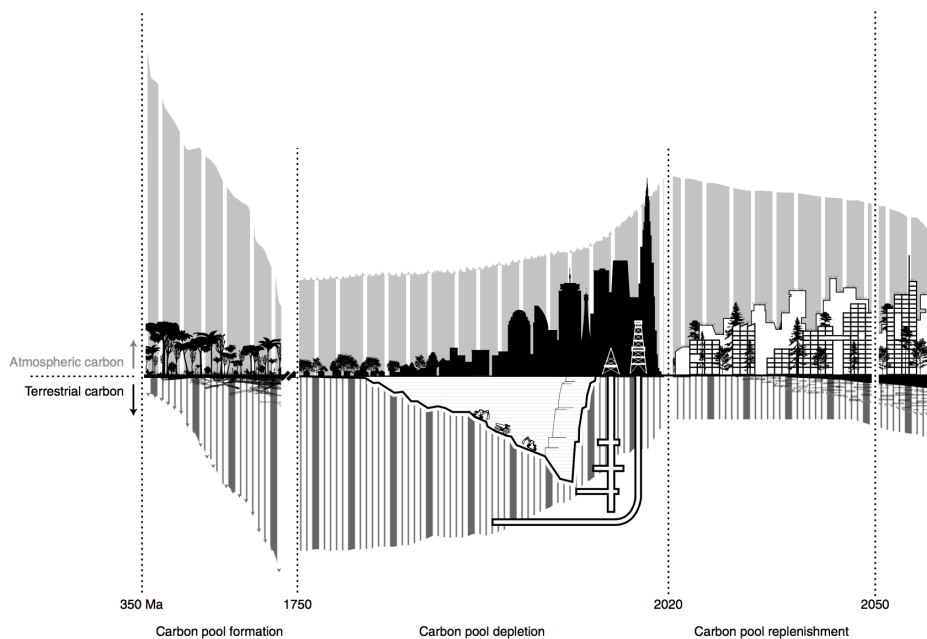
• CC BY

DE TECHNOSFEER

De hoeveelheid koolstof in de atmosfeer en de temperatuur op aarde zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden en beïnvloeden elkaar constant. Op dit moment verstoren menselijke activiteiten de natuurlijke balans van de koolstofkringloop. Door het verbranden van fossiele brandstoffen en het ontginnen van land, stoten we extra koolstofdioxide uit in de atmosfeer en verwijderen we planten en bomen die koolstof opnemen tijdens de groeiperiode. Hierdoor komt koolstof uit de lange kringloop (fossiele brandstoffen die in miljoenen jaren zijn ontstaan) terecht in de korte kringloop (koolstof in de atmosfeer). Van de negen gigaton menselijke CO₂-uitstoot per jaar wordt vijf gigaton weer opgenomen door planten en de oceanen, maar vier gigaton van deze menselijke uitstoot blijft in de atmosfeer. Hierdoor stijgt de temperatuur op aarde, verzuren de oceanen en wordt de natuurlijke plantengroei verstoord. Dit effect wordt ook nog eens versterkt door bosbranden, het ontdooien van de permafrost, uitdroging en ontbossing. De gevolgen hiervan zijn al merkbaar, maar in hoeverre de menselijke invloed de balans op de planeet gaat verstoren, hangt ervan af hoe we handelen met de kennis van nu.

AFBEELDING 6.

Koolstofputten door de geschiedenis. Bron: Churkina, G. et al. (2020). *Decarbonizing construction. Buildings as a global carbon sink.*

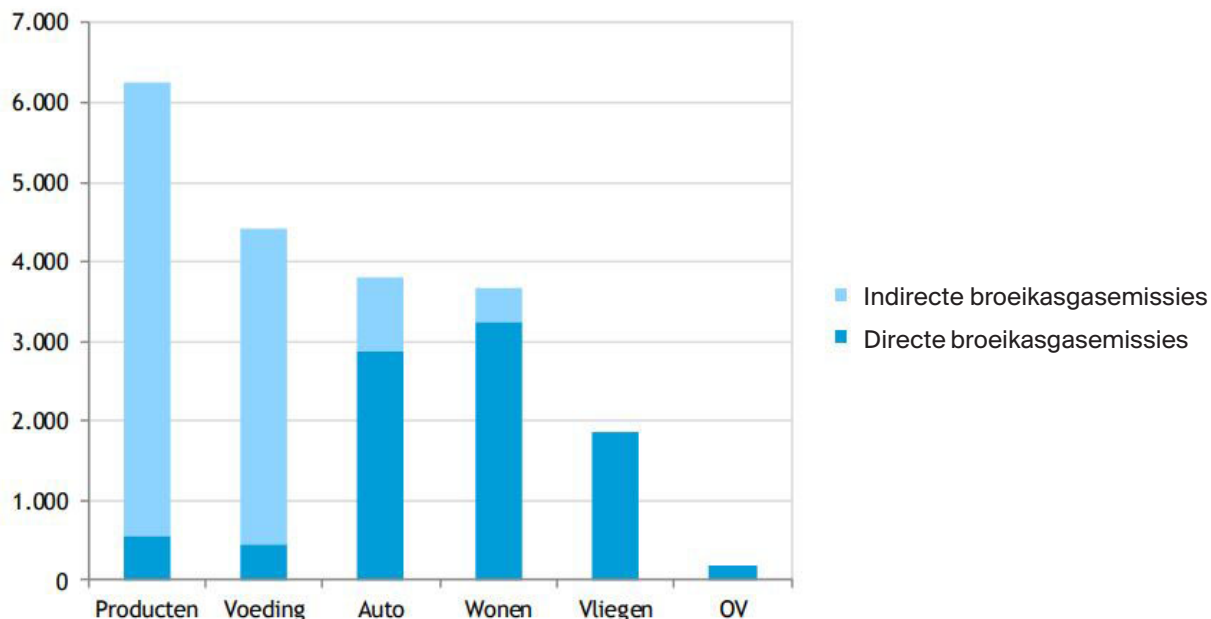


AFBEELDING 7.

Jaarlijkse broeikasuitstoot per categorie per huishouden.

Bron: CE Delft (2019), *Uitstoot broeikasgassen in Nederland. Een analyse van de sectoren en bedrijven met de meeste uitstoot.*

JAARLIJKSE BROEIKASUITSTOOT (KG CO₂-EQUIVALENTEN) PER CATEGORIE PER HUISHOUDEN



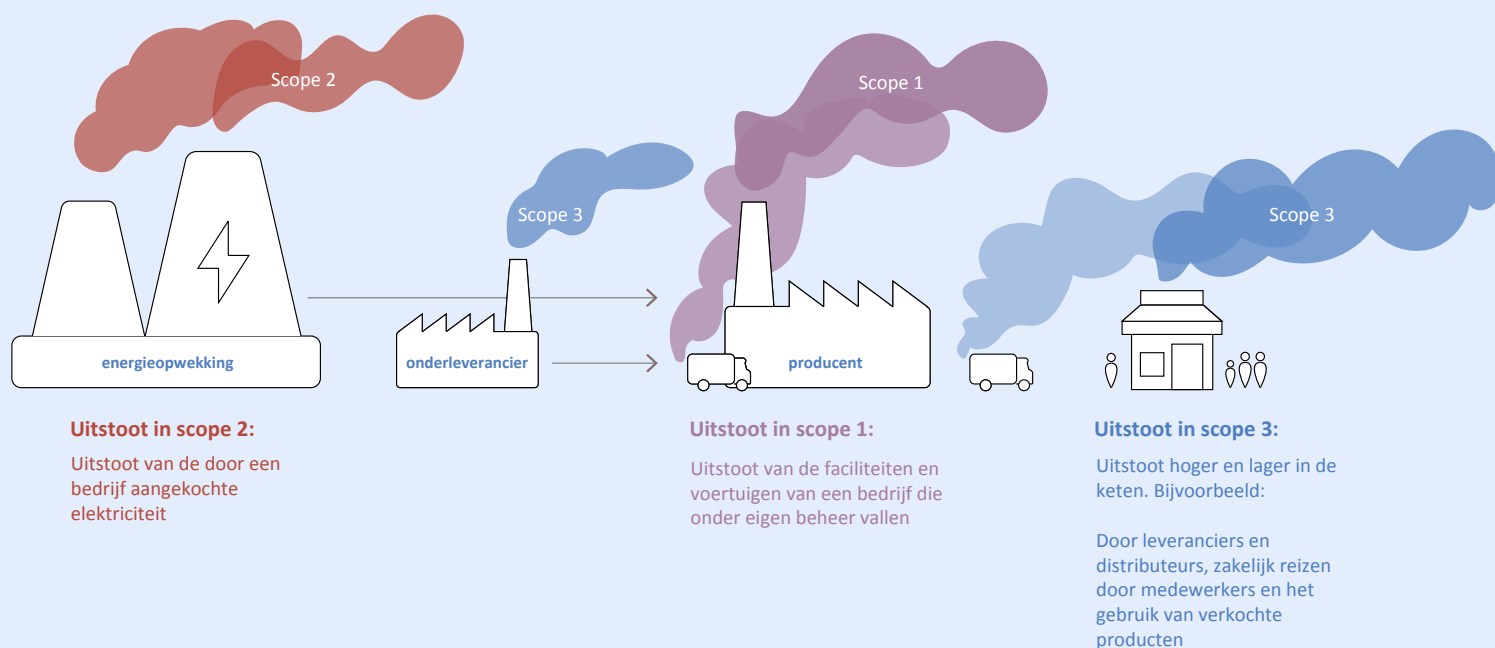
CO₂-VOETAFDRUK

Allereerst is het belangrijk een inzicht te krijgen in de CO₂-voetafdruk van de gemiddelde Nederlandse consument. Gemiddeld stoot een Nederlander tien ton CO₂ per jaar uit, voor een huishouden is het gemiddelde twintig ton CO₂ per jaar. Hierbij is alles meegenomen: van alle spullen die we kopen, de energie die we in huis verbruiken, autogebruik en vliegvakanties, tot het voedsel dat we verbruiken. Wonen is goed voor achttien procent van onze CO₂-voetafdruk.⁵ Dit zijn de totale emissies van zowel het bouwproces en de materialen, als de energie die je in de woning verbruikt. Hierbij worden andere bouwwerkzaamheden als infrastructuur en utiliteitsbouw buiten beschouwing gelaten.

⁵ Bergsma G. et al., (2020). Top 10 milieubelasting gemiddelde Nederlandse consument. CE Delft, Delft.

EMISSIE SCOPES 1, 2 EN 3

Broeikasgasemissies worden gedefinieerd in drie groepen of 'scopes' door het internationaal erkende Greenhouse Gas Protocol (GHG). Onder scope 1 valt de directe uitstoot van een gebruiker. Denk hierbij aan gas dat in huis verbruikt wordt of het benzineverbruik van een auto. Scope 2 omvat de indirecte emissies door de opwekking van aangekochte energie. Denk hierbij aan elektriciteit dat in huis verbruikt wordt, maar waarvan de opwekking ergens anders plaatsvindt. Scope 3 zijn alle andere indirecte emissies gekoppeld aan diensten of producten waar je als gebruiker geen invloed op hebt. Denk hierbij aan uitstoot bij de productie of winning van materialen voor gebruiksvoorwerpen en uitstoot door transport.



Er is een onderscheid gemaakt in directe broeikasgasemissies, bijvoorbeeld gas- of energieverbruik in de woning en brandstofverbruik voor de auto (**scope 1&2**); en upstream- of downstream-emissies (bijvoorbeeld emissies die worden uitgestoten bij het maken van producten of voedsel dat door de consument verbruikt of aangekocht wordt; **scope 3** emissies). Scope 1 en 2 zijn relatief makkelijk te bepalen. Scope 3 vraagt om een analyse van de volledige levenscyclus en wordt daarom vaak buiten beschouwing gelaten. Dit leidt echter tot een vertekend beeld en mogelijk tot een 'outsourcing' van uitstoot. Als bijvoorbeeld bouwstaal geïmporteerd zou worden uit het buitenland, zou de Nederlandse emissie drastisch kunnen dalen. Globaal gezien zou dit echter geen verschil maken.

DE INVLOED VAN DE LEVENSSTIJL

Zonder de noodzaak van CO₂-emissiereductie in de bouw te willen bagatelliseren, is het belangrijk verder te kijken dan de directe en indirecte broeikasgasemissies van het wonen alleen. Bij het plannen en ontwerpen van woningen kunnen we, behalve op de CO₂-uitstoot in het bouwproces en de gebruiksfase, ook invloed uitoefenen op de levensstijl van de bewoners. Het mogelijk maken van een duurzame levensstijl kan een grote vermindering van de algemene CO₂-voetafdruk tot gevolg hebben, zelfs groter dan wat we met het toepassen van duurzame bouwmaterialen kunnen bereiken.

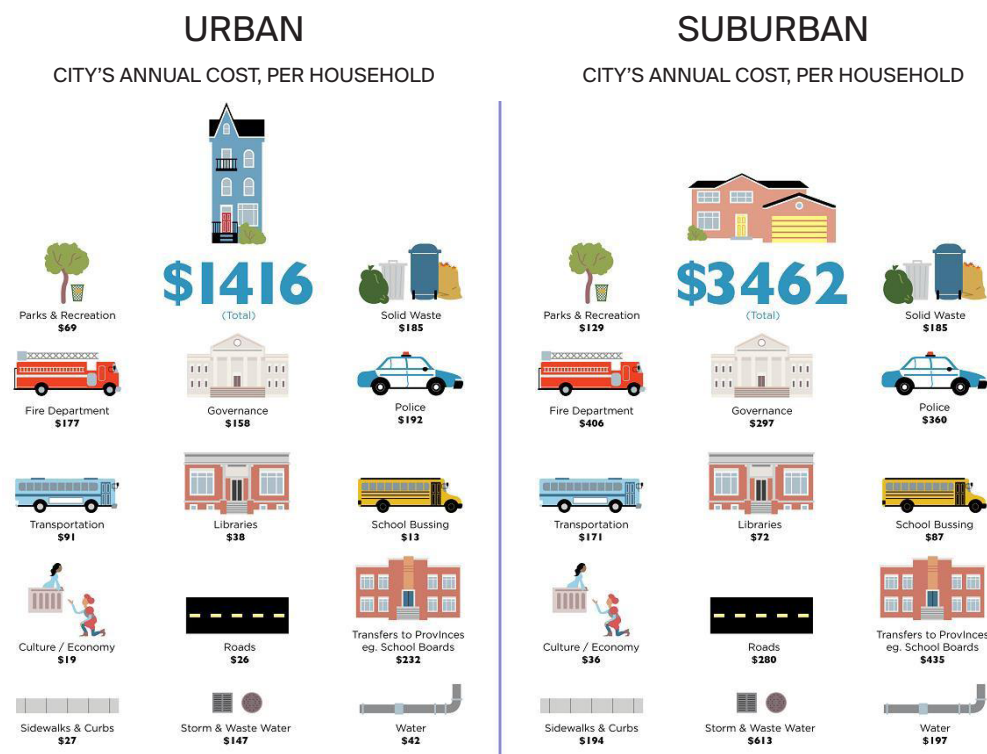
Zo is het niet per definitie beter om de CO₂-uitstoot van het bouwwerk zo ver mogelijk omlaag te brengen, bijvoorbeeld door middel van geïndustrialiseerde bouwmodules (vaak in laagbouw) als dit als neveneffect meer woon-werkverkeer en extra infrastructuur tot gevolg heeft.

De focus van dit rapport ligt op de materiaalgebonden emissies in de woningbouw, maar wanneer je in het ontwerpproces ook de levensstijl meeneemt, kan de afweging gemaakt worden voor een hogere 'CO₂-investering' in de bouwmaterialen als dit uiteindelijk leidt tot een lagere voetafdruk van de bewoners. Hoogbouw bijvoorbeeld, met een zwaardere constructie en dus grotere 'CO₂-investering', kan zich terugbetalen in een lage voetafdruk van de bewoners als zij wonen in een gebied met voldoende openbaar vervoer en waar de fiets het hoofdvervoermiddel is.

AFBEELDING 8.

Kosten van en hoeveelheid infrastructuur per bebouwingdichtheid.

Bron: Infographic by Sustainable Prosperity; Image via streetsblog.org, gebaseerd op studie van Halifax Regional Municipality in Nova Scotia.



In het bovenstaande diagram wordt de benodigde hoeveelheid infrastructuur en diensten per woning weergegeven per bebouwingdichtheid. Vergelijkbaar onderzoek van de Vlaamse Bouwmeester geeft ook aan dat verspreide bewoning tot negen keer zoveel infrastructuur nodig heeft als een woning in een stadskern. Dit wordt niet meegerekend bij de aanvraag van een omgevingsvergunning voor een bouwproject en ook niet bij de MPG-berekening, maar heeft wel degelijk een grote invloed op de CO₂-impact van het bouwwerk.



REKENVOORBEELD CO₂-VOETAFDRUK PER HUISHOUDEN

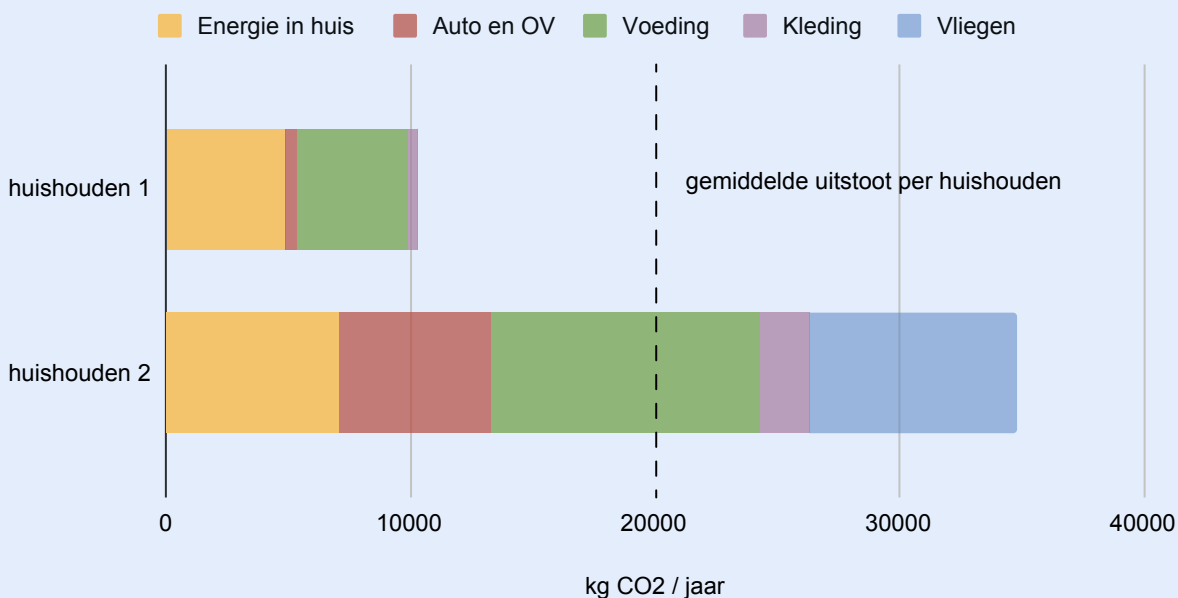
In het onderstaande rekenvoorbeeld wordt een inzicht gegeven in de grote variaties in CO₂-voetafdruk van verschillende huishoudens of personen en hoe dit zich verhoudt tot de materiaalgebonden emissies van een woning.

De gemiddelde CO₂-voetafdruk van een Nederlands huishouden is 20.000 kg CO₂ per jaar⁶. Hierbij is transport, energieverbruik, voedsel, vakantie en dagelijkse consumptie inbegrepen. Dit is echter een gemiddelde en de variatie is erg groot, afhankelijk van de levensstijlkeuzes en mogelijkheden.

Voor een vierpersoons huishouden dat veganistisch eet, reist met openbaar vervoer, tweedehands kleding koopt en dichtbij op vakantie gaat, is de uitstoot 10.400 kg per jaar. Een vierpersoons huishouden dat dagelijks vlees en zuivel eet, wekelijks online bestellingen doet, waarvan één persoon dagelijks met de auto naar werk gaat en het hele huishouden twee keer per jaar met het vliegtuig op vakantie gaat, komt uit op een uitstoot van 34.500 kg per jaar. Dat is meer dan een factor drie verschil. De levensstijl heeft dus een enorme impact op de CO₂-voetafdruk van een persoon of huishouden.

AFBEELDING 9.

Uitstoot vierpersoons huishouden met een duurzame levensstijl vergeleken met huishouden met een niet-duurzame levensstijl. Bron: Milieucentraal (2021). *Tests en Advies op maat* (rekentool).



⁶ Milieucentraal (2021). *Tests en Advies op maat*. <https://www.milieucentraal.nl/over-milieu-centraal/tests-en-advies-op-maat/>

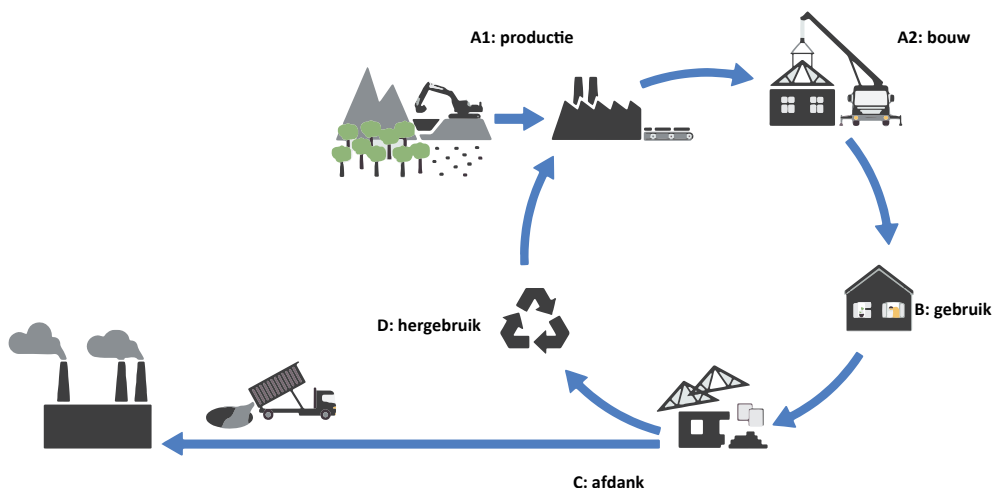
CO₂-KRINGLOOP VAN EEN GEBOUW

De levenscyclus van een gebouw bestaat uit verschillende fasen. In elk van deze fasen wordt er CO₂ uitgestoten. De fasen zijn als volgt verdeeld:

AFBEELDING 10.

Levensloop van een gebouw.

Bron: Danish Transport and Construction Agency, (2016). *Introduction to LifeCycle of Buildings; Trafik-Og Byggestyrelsen*.



A - PRODUCTIE- EN CONSTRUCTIEFASE

De productiefase omvat het winnen van materialen, het transport naar de fabriek en de bewerking van de bouwmaterialen en -producten in de fabriek. Het transport van de materialen naar de bouwplaats en de activiteiten op de bouwplaats horen bij de constructiefase.

B - GEBRUIKSFASE

De gebruiksfase omvat het energieverbruik van het gebouw, het onderhoud en herstel van het gebouw, het vervangen van gebouwelementen wanneer deze aan het eind van hun levensduur zijn en vernieuwingen die nodig zijn om het gebouw bruikbaar te houden.

C - AFDANKFASE

De afdankfase omvat sloopwerkzaamheden, demontage, transport van restmateriaal en het verwerken van het afval.

D - HERGEBRUIK- OF RECYCLINGFASE

Hieronder verstaan we het hergebruiken en herbestemmen van de bouwmaterialen wanneer een gebouw het einde van zijn levensloop heeft bereikt. De recyclingfase is een zeer belangrijke fase om uitstoot te reduceren en wordt in een traditioneel lineair bouwproces niet of nauwelijks toegepast. De transitie naar een circulaire bouweconomie zal deze fase steeds belangrijker maken en de productie- en afdankfase voor een groot deel vervangen.

MATERIAALGEBONDEN EN OPERATIONELE EMISSIES

Er is een belangrijk onderscheid tussen **materiaalgebonden emissies** en **operationele emissies** van een gebouw.

MATERIAALGEBONDEN EMISSIE

De materiaalgebonden emissies van een gebouw zijn alle emissies die uitgestoten worden tijdens de productie- en constructiefase, het onderhoud en de vernieuwingen in de gebruiksfase, de afdankfase en indien toepasbaar ook de hergebruikfase. Simpel samengevat zijn de materiaalgebonden emissies alles dat wordt uitgestoten om tot de fysieke massa van een gebouw te komen.

OPERATIONELE EMISSIE

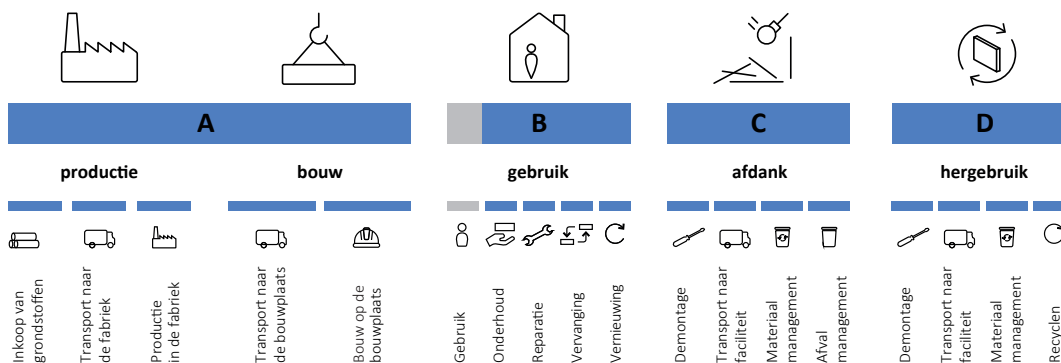
De operationele emissies zijn alle emissies die veroorzaakt worden tijdens het gebruik van een gebouw in de vorm van elektriciteit, gas, water en verwarming. Wanneer de operationele energie opgewekt wordt door fossiele brandstoffen of biomassa, wordt er CO₂ uitgestoten. Om operationele emissies te reduceren, moeten we onze consumptie minimaliseren en overstappen op hernieuwbare energie.

Sinds de jaren 90 wordt er steeds meer aandacht besteed - en ook steeds strengere eisen gesteld - aan het energieverbruik van gebouwen. In eerste instantie door middel van de **EPC (Energieprestatiecoëfficiënt)** en sinds 2020 moeten nieuwe gebouwen voldoen aan de eisen voor BENG (Bijna Energieneutrale Gebouwen), waarmee het operationele energieverbruik naar bijna nul gebracht wordt. Hoewel er veel verzet en twijfel was over de haalbaarheid van deze ambities, blijkt dat de bouwsector zich snel en innovatief heeft aangepast om deze doelen te halen. Beleid heeft een grote impact en speelt dus een belangrijke rol in de transitie naar een duurzame bouwsector. Goede operationele prestaties worden echter vaak bereikt door hoge materiële investeringen in de beginfase. Hierdoor verschuift de uitstoot grotendeels naar de productie- en constructiefase.

AFBEELDING 11.

De levenscyclusfasen van een gebouw waarin materiaalgebonden emissies worden uitgestoten is weergegeven in blauw.

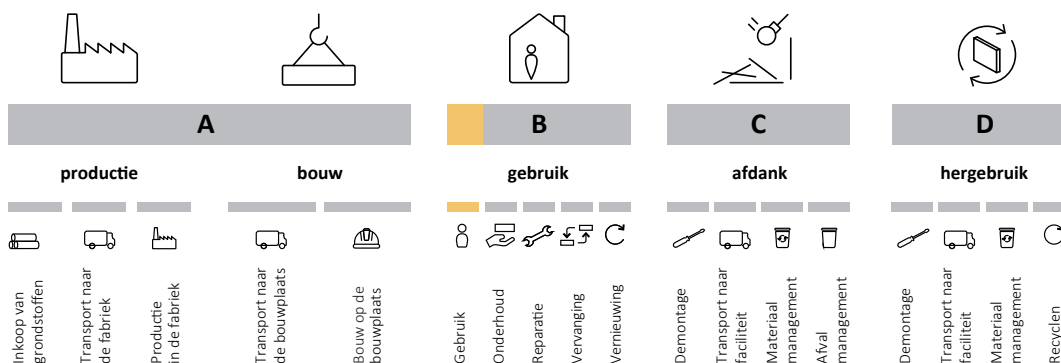
Bron: EN 15804.



AFBEELDING 12.

De levenscyclusfasen van een gebouw waarin operationele emissies worden uitgestoten is weergegeven in oranje.

Bron: EN 15804





EPC: ENERGIEPRESTATIECOËFFICIËNT

De energieprestatiecoëfficiënt drukt de energetische prestatie van een woning uit. Dit betreft de operationele energie, de materiaalgebonden energie is hierbij niet inbegrepen. Deze index werd gebruikt van 1995 tot 2020 en was verplicht om bij een bouw aanvraag in te dienen. Bij aanvang in 1995 moest een woning aan de eis van minimaal 1,4 voldoen, in de laatste jaren tot 2020 was dit 0,4. Een waarde van 1 staat gelijk aan hoe een gemiddelde woning in 1990 presteerde. Een woning met een EPC-waarde van 0,4 verbruikt dus veertig procent van de energie wat eenzelfde woning in 1990 verbruikt zou hebben. Per 1 januari 2021 is EPC vervangen door BENG.



BENG: BIJNA ENERGIENEUTRALE GEBOUWEN

Bijna Energieneutrale Gebouwen (BENG) omvat de energieprestatie-eisen voor nieuwe gebouwen in Nederland. Alle vergunningsaanvragen voor nieuwbouw (woningbouw en utiliteitsbouw) na 1 januari 2021 moeten voldoen aan de BENG-eisen. De gebruikte bepalingmethode is NTA 8800. De BENG-eisen vervangen de EPC. De energieprestatie bij BENG wordt bepaald aan de hand van drie individueel te behalen eisen:

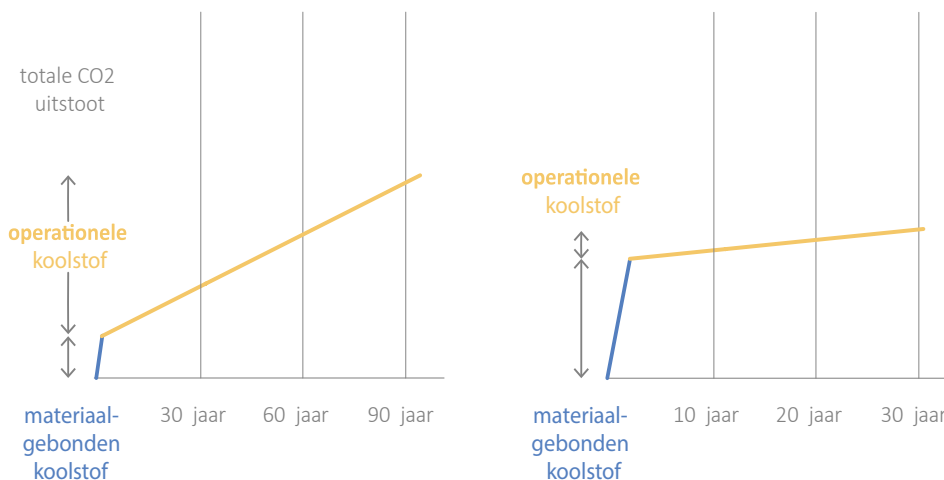
1. De maximale energiebehoefte in kWh per m² gebruiksoppervlak per jaar (kWh/m²/jr).
2. Het maximale primair fossiel energiegebruik, eveneens in kWh per m² gebruiksoppervlak per jaar (kWh/m²/jr).
3. Het minimale aandeel hernieuwbare energie in procenten (%).

MATERIAALGEBONDEN EN OPERATIONELE EMISSIE

Materiaalgebonden en operationele emissies kunnen niet apart van elkaar beoordeeld worden. Een lage materiaalgebonden emissie in een gebouw kan bijvoorbeeld bereikt worden door weinig bouwmaterialen te gebruiken (in linkergrafiek hieronder). Maar dit kan tot gevolg hebben dat het gebouw niet goed geïsoleerd is en daardoor meer energie verbruikt voor verwarming en koeling. In de eerste jaren zullen de emissies laag zijn, omdat tijdens de bouw weinig emissies hebben plaatsgevonden, maar in alle jaren dat de relatief hoge operationele emissies opnieuw worden uitgestoten, wordt dat verschil opgeheven en zullen de totale emissies hoger uitvallen vergeleken met een goed geïsoleerd gebouw met een hogere materiaalgebonden emissie (afbeelding rechts).

AFBEELDING 13.

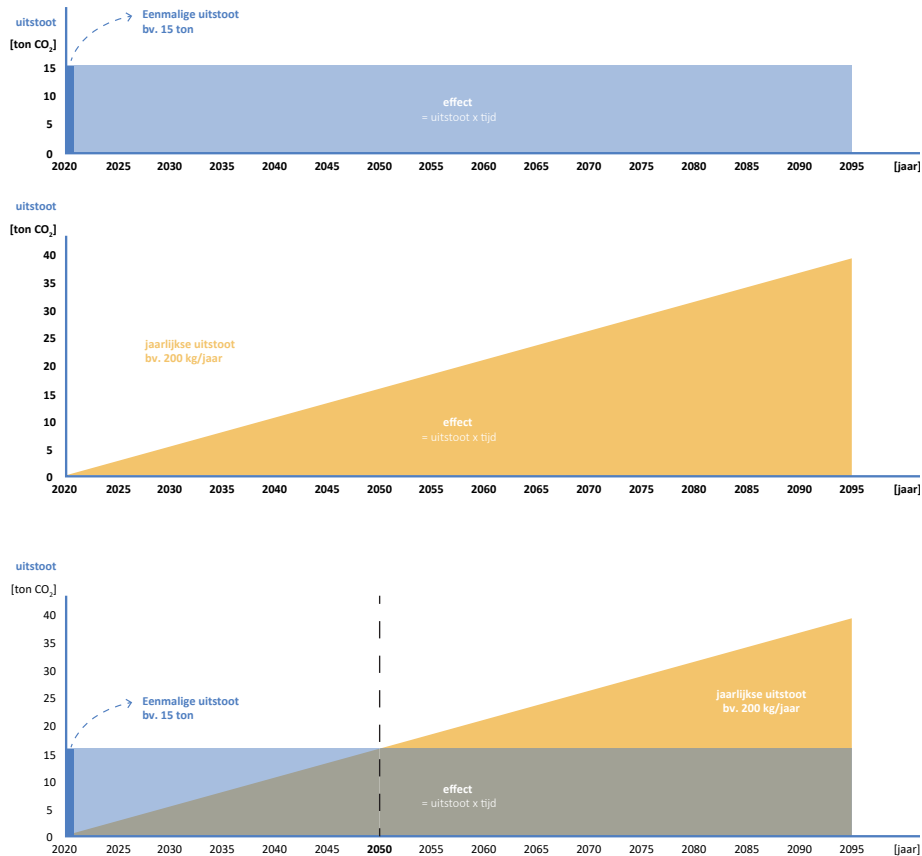
Operationele energie en materiaalgebonden energie op een tijdslijn van 90 jaar. Links: lage embodied carbon met hoge operational carbon. Rechts: hoge embodied carbon met lage operational carbon.



De trend om de operationele emissie zo ver mogelijk omlaag te krijgen, heeft een relatieve maar ook absolute groei in materiaalgebonden emissie veroorzaakt. Grote hoeveelheden op aardolie gebaseerde isolatiematerialen, zware mechanische installaties en grote hoeveelheden zonnepanelen worden gebruikt om het energieverbruik van de gebouwen tot een minimum te krijgen. Tegelijkertijd wordt de levensduur van gebouwen in sommige gevallen korter, omdat het optimaliseren van de gebouwen voor specifieke functies herbestemming moeilijker maakt. Omdat bij deze zogenaamde **nul-op-de-meterwoningen** de materiaalgebonden emissie vaak buiten beschouwing wordt gelaten, lijkt het in eerste instantie een hele goede zaak, terwijl de totale uitstoot per gebruiksjaar over de levensloop van het gebouw niet per definitie lager hoeft te zijn.

AFBEELDING 14.

Het effect van emissies over de tijd: schade-accumulatie. Hoe langer de CO₂ in de lucht is, des te meer schade het aanricht.



TIME VALUE OF CARBON

De materiaalgebonden emissie wordt voor het grootste gedeelte aan het begin van het bouwproces uitgestoten, terwijl de operationele emissie gelijkmatig over de hele levensloop wordt uitgestoten. De factor tijd is belangrijk om mee te nemen. De schade die de uitstoot aanricht op onze planeet is niet gelijk aan de absolute getallen **CO₂-uitstoot**. Hoe langer de CO₂ in de lucht blijft, des te meer schade het aanricht. CO₂ die we vandaag uitstoten, veroorzaakt over een langere periode schade dan CO₂ die we over twintig jaar uitstoten (principe van lineaire accumulatie van schade van Werner Sobek).

In de bovenstaande grafiek wordt een gebouw met een gelijke absolute hoeveelheid materiaalgebonden emissie (eenmalig 15.000 kg tijdens de bouw in jaar 0) en operationele emissie (200 kg per jaar over 30 jaar = 15.000 kg totaal) uitgezet op een tijdslijn van dertig jaar. De 15.000 kg materiaalgebonden emissie is de volledige dertig jaar aanwezig in de atmosfeer, terwijl de operationele emissie langzaam oploopt en pas na dertig jaar in de totale hoeveelheid aanwezig is in de atmosfeer. Over deze dertig jaar heeft de operationele emissie de helft minder schade aangericht dan de materiaalgebonden emissie. Dit wordt ook wel 'de tijdswaarde van CO₂' of het principe van de 'lineaire schadeaccumulatie' genoemd.



KLIMAATEFFECT = UITSTOOT x TIJD

II.

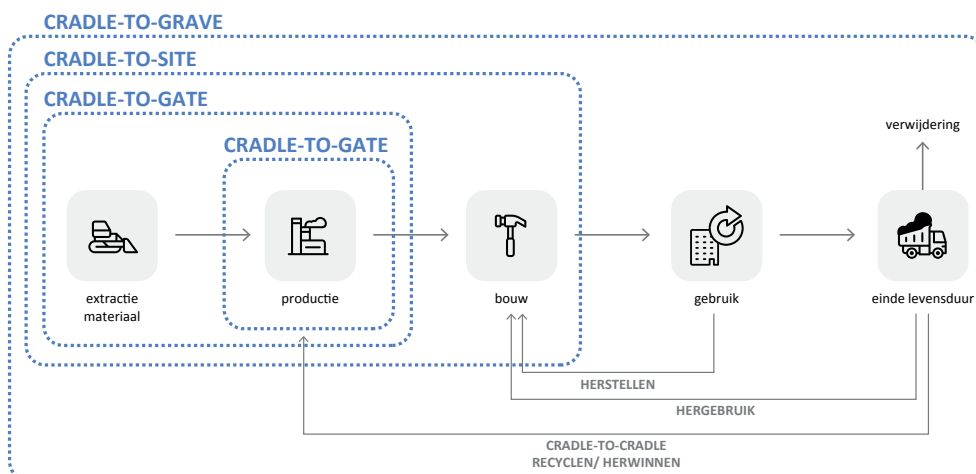
MATERIAALGEBONDEN EMISSIE

HOE KUNNEN WE DE MATERIAALGEBONDEN EMISSIE KWANTIFICEREN?

De materiaalgebonden emissie van een gebouw kan gemeten worden door naar de uitstoot in de levenscyclus van de onderdelen te kijken. Deze uitstoot wordt berekend door middel van een **levenscyclusanalyse (LCA)**. De resultaten van een LCA van een product kunnen worden geregistreerd in een **Environmental Product Declaration (EPD)**. Een levenscyclusanalyse van een product kijkt naar alle uitstoot die een product veroorzaakt heeft van **'cradle-to-grave'**. Dit houdt in van grondstofwinning tot afvalverwerking in een lineaire economie. In de transitie naar een circulaire economie zullen we levenscyclussen gaan bekijken als **'cradle-to-cradle'**, waarbij een afgeschreven product kan worden hergebruikt of als grondstof kan dienen voor een nieuw product. Bij het opstellen van een LCA is alleen het gedeelte **'cradle-to-gate'** met zekerheid vast te stellen. De constructie-, gebruiks- en afdankfase zal voor elk bouwproject anders zijn en is dus geheel gebaseerd op aannames.

AFBEELDING 15.

Levenscyclusanalyse scopes. Bron: Baumann, H., Tillman, A. (2004). *Hitch Hiker's Guide to LCA. An Orientation in Life Cycle Assessment Methodology & Applications.*



De EPD omschrijft de eenheid van het element (bijvoorbeeld m²), de verschillende factoren van milieu-impact en de **milieukostenindicator (MKI)**. Door middel van de MKI kunnen verschillende producten met elkaar vergeleken worden. Uiteraard moeten de materiaalkenmerken, zoals draagvermogen, brandveiligheid en isoleringsvermogen, vergelijkbaar zijn om een eerlijke vergelijking te kunnen maken in milieukosten.

Naast de milieu-impact wordt ook de verwachte levensduur meegenomen. Dit is belangrijk bij een bouwproject waar veel verschillende producten worden toegepast. Een product met een levensduur van 15 jaar moet bij een levensduur van een gebouw van 75 jaar vijf maal vervangen worden. De milieu-impact van dit product moet logischerwijs vijf keer meegerekend worden ten opzichte van een product met een levensduur van 75 jaar in hetzelfde gebouw.

DE MILIEUPRESTATIE VAN EEN GEBOUW (MPG)

De milieuprestatie van een gebouw geeft de milieubelasting van een gebouw weer. Dit betreft de milieubelasting in het bouwproces en van de materialen, niet de belasting van de operationele energie die tijdens de gebruiksfase wordt verbruikt. Een MPG-berekening is verplicht bij elke aanvraag voor een omgevingsvergunning voor nieuwe kantoorgebouwen (groter dan 100 m²) en nieuwbouwwoningen. De MPG wordt berekend door de milieu-impact uit de **EPD's** per bouw materiaal te vermenigvuldigen met de hoeveelheid waarin ze zijn toegepast in het gebouw. Dit wordt gedaan met een rekeninstrument (bijvoorbeeld One Click LCA, GPR Materiaal, MRPI, MPG Calc, DuboCalc). De MPG wordt uitgedrukt in een fictieve prijs in euro, ofwel de **schaduwkosten**. Hierbij worden de verschillende milieueffecten zoals CO₂-uitstoot, belasting met zware metalen en dergelijke, genormaliseerd via de aangenomen maatschappelijke kosten van deze effecten. Deze worden dan bij elkaar opgeteld en door de vierkante meters **brutovloeroppervlakte** en de **levensduur** van het gebouw gedeeld. De eenheid van de MPG schaduwkosten wordt dan euro per vierkante meter per jaar. Op deze manier kunnen verschillende gebouwen, met variërende oppervlakten en levensduur, met elkaar vergeleken worden.

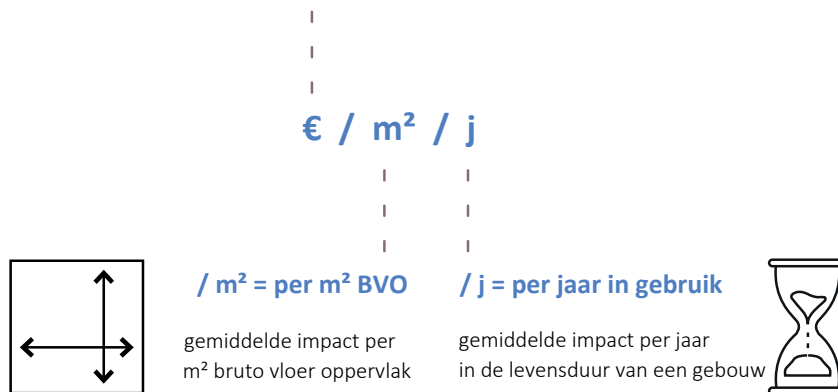
AFBEELDING 16.

Eenheid van de MPG.
Schaduwkosten per vierkante meter per jaar.



Ecologische-, economische- en gezondheidsimpact:
De kosten van de impact door uitstoot

€ = De maatschappelijke kosten van koolstof



Een MPG-berekening wordt vaak door een externe partij gemaakt die niet direct betrokken is bij het ontwerpproces. Wanneer het ontwerp niet aan de MPG-eisen voldoet, kan deze expert aanbevelingen geven aan de ontwerper voor bijvoorbeeld het aanpassen van materialen om uiteindelijk toch aan de eisen te kunnen voldoen. Deze berekening wordt vaak pas laat in het ontwerpproces gemaakt, waardoor grote ontwerpaanpassingen niet meer mogelijk zijn. Dit is tegenwoordig nog geen nijpend probleem, omdat de eisen relatief makkelijk haalbaar zijn. Hoe strenger de MPG-eisen in de toekomst echter worden, hoe belangrijker dit probleem wordt.

LCA: LEVENSCYCLUSANALYSE

In een LCA worden de milieueffecten van alle processen en grondstoffen die nodig zijn om een product toe te passen berekend. Een levenscyclusanalyse kan gedaan worden voor een materiaal, product, en gebouw, maar ook voor een proces of een bedrijf. Het is een methode om de totale milieu-impact van een product of dienst te kwantificeren. Op deze manier kan inzicht verkregen worden in de kritische elementen en kunnen alternatieven worden onderzocht. Het resultaat van een LCA kan gebruikt worden om de duurzaamheidsstrategie te bepalen en om de milieuprestatie te communiceren aan klanten of leveranciers.

Het verschil tussen een LCA en een CO₂-voetafdruk is dat een CO₂-voetafdruk alleen de broeikasgasemissies kwantificeert, terwijl een LCA meerdere milieu-impactcategorieën meeneemt, zoals landgebruik, watergebruik en verzuring.

EPD: ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATIONS

Een EPD bestaat uit de resultaten van een levenscyclusanalyse van een product. De fabrikant is verantwoordelijk voor het opstellen van een EPD van zijn producten. Dit is echter niet verplicht. Een EPD bevat alle informatie en details over de milieu-impact over de gehele levensloop van een product volgens norm EN 15804+A2.

NMD: NATIONALE MILIEUDATABASE

De Nationale Milieudatabase bevat alle EPD's die beschikbaar zijn in Nederland. Deze database wordt beheerd door Stichting NMD, voorheen Stichting Bouwkwaliiteit (SKB). Om een bouwproduct in de NMD opgenomen te laten worden, moet aan de volgende eisen worden voldaan:

- De levenscyclusanalyse voor het opstellen van de EPD moet door een Stichting NMD erkende LCA-deskundige uitgevoerd worden.
- Er moet een jaarlijkse bijdrage worden betaald om de EPD in de NMD op te nemen.

Om deze redenen zijn lang niet alle bestaande productspecifieke EPD's opgenomen in de database. Als oplossing hiervoor zijn er productgenerieke EPD's beschikbaar, deze worden wel met een extra dertig procent milieubelasting belast, omdat er geen productdetails beschikbaar zijn.

MKI: MILIEUKOSTENINDICATOR

Met een levenscyclusanalyse worden de milieueffecten van een materiaal, product of bouwwerk uitgerekend. Deze milieueffecten (meerdere getallen met verschillende eenheden) zijn om te rekenen tot één integraal getal: de milieukosten, uitgedrukt in euros. Deze milieukosten worden ook wel de **schaduwkosten** genoemd.

MPG: MILIEUPRESTATIE GEBOUWEN

Sinds 2013 moet voor elke nieuwbouwwaardering die in Nederland wordt aangevraagd een MPG-berekening worden ingediend. Door middel van een rekenprogramma kunnen de hoeveelheid bouwmaterialen van het project vermenigvuldigd worden met de milieu-impact zoals deze berekend is in de EPD. De totale milieukosten van het gebouw (**MKI**) worden gedeeld door het brutovloeroppervlak (**BVO**) en de geschatte levensduur van het gebouw, waardoor de zogenaamde **schaduwkosten** van het gebouw bepaald worden in euro/m²/jaar. Sinds 1 juli 2021 moet de MPG-waarde van nieuwbouw onder 0,8 zijn om een bouwvergunning aan te kunnen vragen. De MPG kan gebruikt worden om de milieu-impact van verschillende gebouwen te vergelijken. De operationele emissies worden hierin niet meegerekend.



PRODUCTSPECIEKE EPD IS NAUWKEURIGER DAN GENERIEKE DATA.

De Nationale Milieudatabase onderscheidt drie categorieën bouwmaterialen:

- Categorie 1: Gebaseerd op data aangeleverd door fabrikanten. Gecontroleerd door erkende LCA-deskundigen.
- Categorie 2: Gebaseerd op data van brancheorganisaties en groepen van leveranciers, onafhankelijk van specifieke fabrikanten. Gecontroleerd door erkende LCA-deskundigen en representatief voor de Nederlandse markt.
- Categorie 3: Generieke data onafhankelijk van fabrikanten, ongecontroleerd en gebaseerd op gemiddelden. Een 'boete' van dertig procent wordt toegepast op de milieubelasting van dat specifieke element.

De meest betrouwbare data zijn de categorie 1-producten. Helaas zijn er nog weinig categorie 1-producten aanwezig in de database en worden er daarom veel categorie 2- en 3-producten toegepast. Het is daarom moeilijk te zien wat de daadwerkelijke milieu-impact van een gebouw is omdat er met generieke EPD's gerekend wordt in plaats van productspecifieke EPD's.

AFBEELDING 17.

Vergelijking categorie 1- en categorie 3-product in de Nationale Milieudatabase.
Bron: Nationale Milieudatabase.

Buitenwanden; constructief,

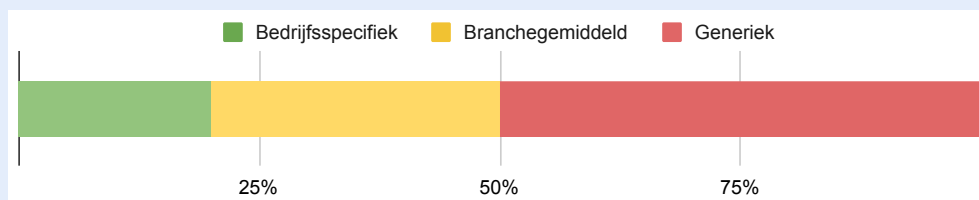
MPG/EHD	PRODUCT	AANTAL/EHD	AANTAL	2/8
3,16	Cat. 1 Spouwmuren buitenblad, Baksteenmetselwerk WEBER BEAMIX mortels	[100]	100 m ²	2 0,001

Buitenwanden; constructief,

MPG/EHD	PRODUCT	AANTAL/EHD	AANTAL	1/8
6,15	Cat. 3 Spouwmuren buitenblad, Baksteenmetselwerk	[100]	100 m ²	3 0,001

Het bovenstaande voorbeeld toont eenzelfde product, opgezocht als categorie 1- en categorie 3-product. De milieu-impact is bijna twee keer zo hoog bij het categorie 3-product. Wanneer de productspecifieke EPD (cat 1-) dus niet aanwezig is in de database, zal de MPG-score hoger uitvallen ongeacht de daadwerkelijke uitstoot. Ook heeft het kiezen van een milieuvriendelijke variant van een materiaal dus minder effect als er geen categorie 1-EPD beschikbaar is.

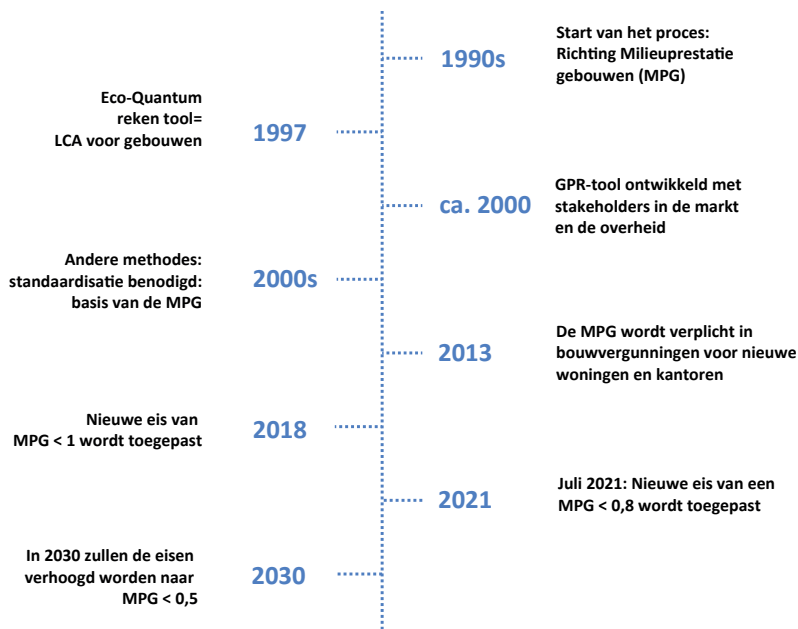
De huidige versie van de Nationale Milieudatabase (Peildatum 23-09-2021) bestaat voor twintig procent uit categorie 1-, dertig procent categorie 2- en vijftig procent categorie 3-producten



Nederland is een van de eerste landen in Europa (naast Frankrijk, Zweden en Denemarken) waar een **LCA** in de vorm van de **MPG** wettelijk verplicht is. De **MPG** werd in 2013 wettelijk verplicht, alhoewel de eisen nog relatief laag zijn. Het plan is deze stapsgewijs aan te passen. Sinds 1 juli 2021 moet een gebouw voldoen aan de eis MPG < 0,8. Voorheen was de eis MPG < 1, wat voor bijna elk ontwerp zonder extra inspanningen haalbaar was.

AFBEELDING 18.

Ontwikkeling van de MPG in het verleden en de toekomst.



MILIEUEFFECTEN

In een **MPG**-berekening worden verschillende milieueffecten meegewogen. Behalve CO₂ zijn er ook vele andere milieueffecten te onderscheiden, zoals verzuring, aantasting van de ozonlaag, uitputting en toxiciteit. Onder het kopje 'klimaatverandering' vallen behalve CO₂-uitstoot ook andere broeikasgassen, zoals methaan en stikstof. Daarom wordt de klimaatverandering aangegeven in CO₂-equivalent. Dit wordt ook wel het **global warming potential** genoemd (**GWP**) en hiermee kunnen verschillende broeikasgassen makkelijk met elkaar vergeleken worden. Een ton methaanuitstoot is bijvoorbeeld tien keer schadelijker voor het milieu dan een ton CO₂-uitstoot. Het GWP van een ton methaan is dus gelijk aan tien ton CO₂-equivalent.

Gemiddeld genomen beslaat het global warming potential, dus het CO₂-equivalent, veertig procent van de milieueffecten opgenomen in de MPG-berekeningen van de projecten die we bestudeerd hebben voor dit onderzoek.

AFBEELDING 19.

Milieueffecten uit een voorbeeld MPG-berekening.

	Schaduwkosten	Milieueffecten
Emissies	€ 144,991,-	
Klimaatverandering	€ 60,137,-	1,202,739 kg CO ₂ eq.
Aantasting ozonlaag	€ 3,-	0.1022 kg CFC-11 eq.
Humane toxiciteit	€ 43,482,-	483,128 kg 1.4-DB eq.
Zoetwater aquatische ecotoxiciteit	€ 394,-	13,148 kg 1.4-DB eq.
Mariene aquatische ecotoxiciteit	€ 5,624,-	56,239,058 kg 1.4-DB eq.
Terrestrische ecotoxiciteit	€ 521,-	8,680 kg 1.4-DB eq.
Fotochemische oxidantvorming	€ 1,504,-	752 kg C ₂ H ₄ eq.
Verzuring	€ 21,558,-	5,389 kg SO ₂ eq.
Vermesting	€ 11,768,-	1,308 kg PO ₄ eq.
Uitputting	€ 1,136,-	
Uitputting abiotische grondstoffen	€ 5,-	32 kg Sb eq
Uitputting fossiele energiedragers	€ 1,131,-	7,066 kg Sb eq
Totaal	€ 146,127,-	



ONTWERPPRINCIPES

ALGEMENE PRINCIPES

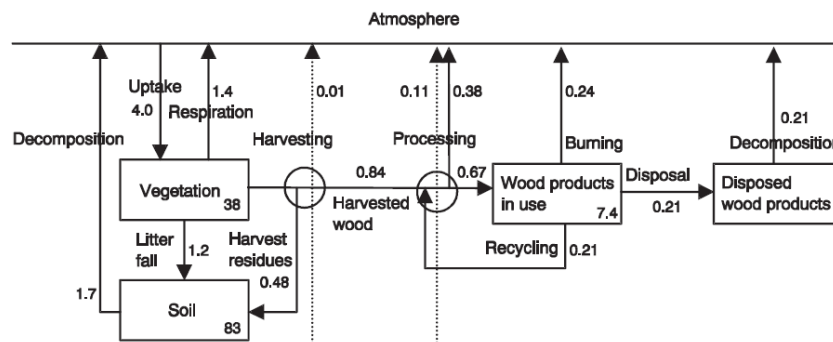
In Nederland wordt toegewerkt naar een circulaire bouwconomie. Dat houdt in dat er zo min mogelijk primaire grondstoffen worden gebruikt. Als algemeen principe kunnen we stellen dat minimaal grondstofgebruik gelijk staat aan een minimale CO₂-uitstoot. Om dit te bereiken, moeten ontwerpers op een andere manier gaan ontwerpen en moeten fabrikanten innoveren.

Behalve het verminderen van het gebruik van primaire grondstoffen, moeten we bestaande materialen zoveel mogelijk gaan hergebruiken. Bijvoorbeeld een gedemonteerde staalconstructie of tapijttegels. Ook zal het overstappen op hernieuwbare bouwgrondstoffen een groot voordeel opleveren in de CO₂-voetafdruk van een gebouw. Denk hierbij aan biobased materialen die in sommige gevallen zelfs meer CO₂ vastleggen dan dat ze uitstoten.

CO₂-AFVANG DOOR FOTOSYNTHESE

CO₂ wordt door het natuurlijke proces van fotosynthese afgevangen en omgezet in koolhydraten waarbij ook zuurstof vrijkomt. Wanneer een boom groeit, neemt deze CO₂ op uit de lucht en wordt dit vastgelegd in de massa van de boom. Als de boom sterft, komt de CO₂ weer vrij tijdens het rottingsproces. Wanneer je hout gebruikt als bouw materiaal kan je dit beschouwen als CO₂-opslag in het bouw materiaal. Wanneer de boom gekapt wordt voor houtproductie en er een nieuwe boom voor in de plaats geplant wordt, zal de nieuwe boom CO₂ afvangen uit de atmosfeer, terwijl de gekapte boom als bouw materiaal gebruikt wordt. Op deze manier wordt de CO₂-voorraad in de gekapte boom langdurig opgeslagen in het gebouw in plaats van uitgestoten in de atmosfeer tijdens het rottingsproces. Dit principe geldt voor alle **biobased** materialen.

Fig. 1. Mean carbon stocks (Mg·ha⁻¹) and fluxes (Mg·ha⁻¹·year⁻¹) in a wood-production and wood-use chain. The figure shows the stocks (boxes) and fluxes (solid arrows for carbon originating from forest, broken arrows for fossil carbon) for Scots pine sites when a 90-year rotation length is applied.



AFBEELDING 20.

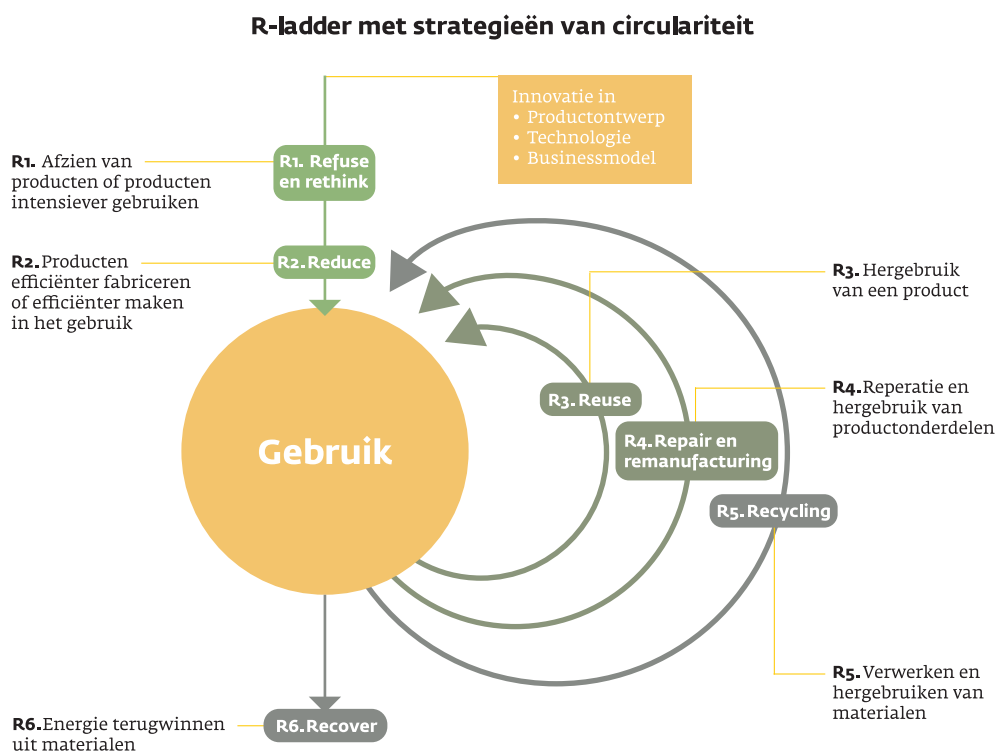
Diagram van de CO₂-balans door fotosynthese in houtbouw. Bron: Kriegh, J., et al. (2021). *Carbon-Storing Materials: Summary Report*.

R-LADDER

In de R-ladder wordt een hiërarchie gemaakt van principes voor duurzaam gebruik van materialen en energie, met als einddoel een circulaire economie. De principes zijn; Refuse en Rethink; Reduce; Reuse; Repair, Refurbish, Remanufacture en Repurpose; Recycle; Recover. Ze zijn geordend naar rang van impact, waarbij het eerste principe de grootste positieve impact heeft en het laatste principe het minst gewenst is. Maar alle zes principes zijn beter dan een lineair proces waarbij de reststoffen aan het einde van hun levensduur gestort worden.

AFBEELDING 21.

R-ladder. Hoe hoger op de R-ladder, hoe lager het grondstofgebruik. Bron: Planbureau voor de Leefomgeving, (2019). *Circulaire economie in kaart*.



De R-ladder wordt vaak gebruikt om de mate van circulariteit te bepalen. Wij gebruiken dezelfde R-ladder om de gevonden ontwerpprincipes te kwalificeren. Hiervoor gebruiken we een vereenvoudigde versie⁸ met daarin de volgende drie treden:



- **REDUCE:** (R1 en R2) - Het verminderen van consumptie en productie en het slimmer maken en gebruiken van producten.
- **REUSE:** (R3 en R4) - De levensduur van producten en onderdelen verlengen.
- **RECYCLE:** (R5 en R6) - Het nuttig toepassen van materialen die anders gestort zouden worden.

⁸ Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland. (2021, April 28). *R-ladder - strategieën van circulariteit*. <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/circulaire-economie/r-ladder>

ONTWERPSTRATEGIEËN VAN WERKGROEP CB'23

Platform CB'23 heeft de ambitie om vóór 2023 nationale, bouwsector-brede afspraken op te stellen ten aanzien van circulair bouwen.⁹ Hiervoor is een leidraad opgesteld met daarin verschillende ontwerpprincipes voor circulair bouwen. Deze vertalen de R-ladder naar concretere handleidingen voor de bouw. Omdat circulair bouwen en CO₂-reductie hand in hand gaan, benoemen we deze als basisstrategieën.



1. ONTWERPEN VOOR PREVENTIE

REDUCE

Deze strategie richt zich op het voorkomen van het gebruik van producten, elementen of materialen door van het bouwwerk af te zien, verschillende functies slim te combineren of een andere oplossing te leveren.



2. ONTWERPEN VOOR REDUCTIE VAN LEVENSCYCLUSIMPACT

REDUCE

In deze strategie wordt de impact door circulair materiaalgebruik afgewogen door de consequenties voor de milieu-impact en milieuprestatie in de gebruiksfase en bij het einde van de levensduur inzichtelijk te maken.



3. ONTWERPEN VOOR TOEKOMSTBESTENDIGHEID

REUSE

Het ontwerp aanpasbaar maken voor toekomstige wensen en eisen staat in deze strategie centraal.



4. ONTWERPEN MET HERGEBRUIKTE OBJECTEN

REUSE

In deze strategie gaat het om het opnieuw gebruiken van bouwproducten of bouwonderdelen/-elementen, al dan niet na bewerking.



5. ONTWERPEN MET SECUNDAIRE GRONDSTOFFEN

RECYCLE

Hierbij draait het om ontwerpen met grondstoffen die eerder zijn gebruikt of met reststromen van een ander productsysteem.



6. ONTWERPEN MET HERNIEUWBARE GRONDSTOFFEN

RECYCLE

Deze strategie gaat over het ontwerpen met zo veel mogelijk of uitsluitend bouwmaterialen uit hernieuwbare bron. Hernieuwbare grondstoffen worden geteeld, natuurlijk aangevuld of natuurlijk gereinigd.

⁹ Platformcb23. (2021). *Circulair ontwerpen: Werkspraken voor een circulaire bouw*. <https://platformcb23.nl> (accessed 30/6/2021)

LEVENSDUUR

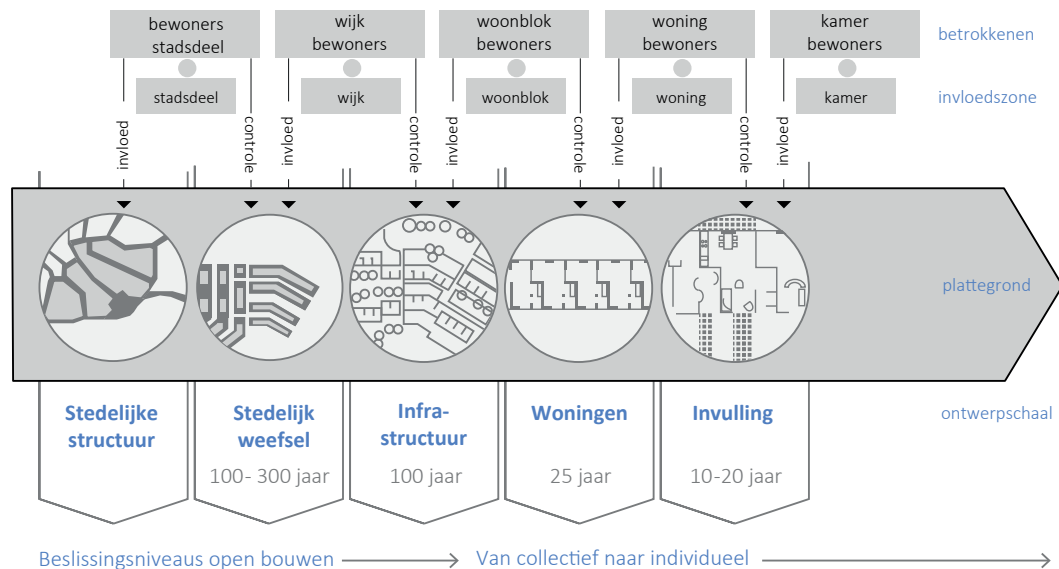
De levensduur van een gebouwelement is de tijd dat een product in gebruik is, van aankoop tot afdank. In milieu-impactberekeningen is de levensduur een belangrijke factor. De uitstoot van een product met een verwachte levensduur van tien jaar moet vermenigvuldigd worden met vijf als je het wilt vergelijken met een product met een verwachte levensduur van vijftig jaar. Het eerste product zal immers vier keer vervangen moeten worden tijdens de levensduur van het tweede product. Om deze reden wordt de milieu-impact in CO₂-equivalent per vierkante meter per jaar aangegeven. Wel moet hierbij in gedachten genomen worden dat de daadwerkelijke levensduur pas aan het einde van de gebruiksfase bepaald kan worden. Het is dus goed mogelijk dat een materiaal een veel hogere of lagere milieu-impact heeft dan vooraf berekend is, omdat het gebouw veel eerder of juist later uit gebruik gaat dan vooraf was ingeschat.

John Habraken schreef in de jaren 60 over het 'open building' principe. Hierbij maakt hij een onderscheid tussen de drager en de invulling van een gebouw, waarbij de drager (draagstructuur) als permanent en openbaar wordt gezien en de invulling als tijdelijk, persoonlijk en vervangbaar. Het los beschouwen van verschillende bouwelementen naar hun levensduur is een waardevol inzicht in de transitie naar een duurzame en circulaire bouweconomie.

AFBEELDING 23.

Onderdelen van een stad met verschillende levensduur naar model van John Habraken.

Bron: J. Habraken (1961). *De Draggers en de Mensen: Het Einde van de Massawoningbouw.*



DE LAGEN VAN STEWART BRAND

Een vergelijkbaar model werd in 1994 opgetekend door Stewart Brand, waarin hij een gebouw onderverdeelt in elementen. Dit worden ook wel de S-lagen genoemd en zijn; site, structure, skin, services, space plan en stuff. Zijn principes zijn ook gebaseerd op de levensduur van verschillende elementen en producten in de bouw, zoals John Habraken dat eerder formuleerde. Levensduur en CO₂-impact zijn nauw met elkaar verbonden. Om deze reden worden de ontwerpprincipes die worden omschreven in dit hoofdstuk ingedeeld naar de 'Shearing layers' van Stewart Brand.

AFBEELDING 22.

De S-lagen van een gebouw.

Aangepast overgenomen van: S. Brand (1994). *How Buildings Learn. What Happens After They're Built.*





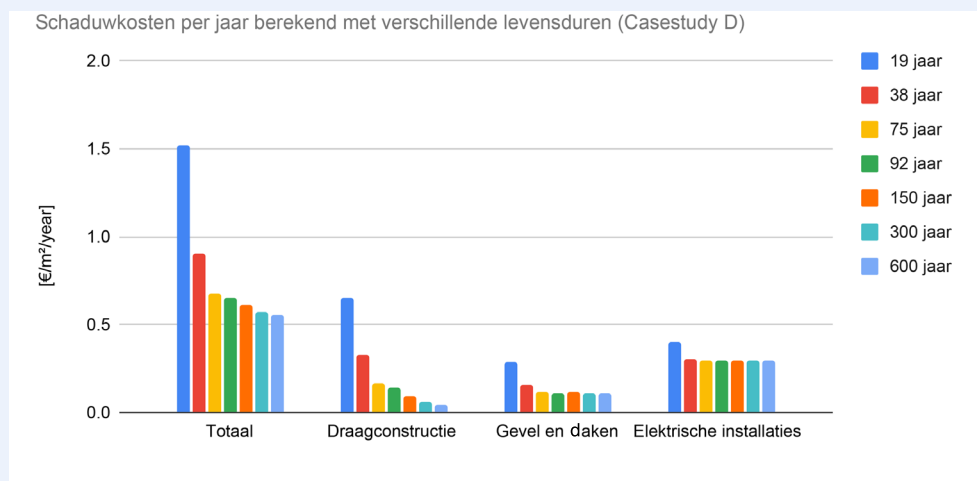
HET VERLENGEN VAN DE LEVENSDUUR VAN EEN GEBOUW

1. SCHADUWKOSTEN (€/M²/JAAR) NEMEN NIET-LINEAIR AF.

Stel, een gebouw heeft een levensduur van 10 jaar en daarbij horende schaduwkosten van 100 euro. Wanneer de levensduur verdubbelt, worden de schaduwkosten gehalveerd. Bij een levensduur van 40 jaar hebben we nog een kwart van de schaduwkosten over. Bij een levensduur van 50 jaar worden de schaduwkosten 20 euro per jaar. Er kan geconstateerd worden dat bij de verlenging van de levensduur van 10 naar 20 jaar een reductie plaatsvindt van 50 euro per jaar, terwijl bij de verlenging van 40 naar 50 jaar maar een reductie plaatsvindt van 5 euro per jaar.

Dat betekent dat de verlenging van de levensduur van een gebouw van 75 tot 92 jaar (zoals in casestudy D) geen grote invloed heeft op de MPG-score. Wat we echter niet terugzien in de score, is dat een langere levensduur van een gebouw ook als gevolg heeft dat in diezelfde periode geen nieuw gebouw ontwikkeld hoeft te worden (dit bespaart meer CO₂-impact). Wanneer men twee scenario's vergelijkt, sloop en nieuwbouw (1) versus een gebouw met een langere levensduur (2), kan over het eerste scenario worden gezegd: "Aangezien het bestaande gebouw is gesloopt, en daarmee ook zijn materiaalgebonden emissies, kunnen die materiaalgebonden emissies worden toegevoegd aan de materiaalgebonden emissies van het nieuwe gebouw."¹⁰

Er is trouwens geen toezicht op dit aspect. Als een gebouw voor het einde van zijn aangenomen levensduur gesloopt wordt, heeft dit geen gevolgen.



2. DE MILIEU-IMPACT IN DE TIJD VERSCHILT PER ONDERDEEL.

De materiaalgebonden emissies van de draagconstructie (gemeten in schaduwkosten per jaar) daalt aanzienlijk met een langere levensduur van het gebouw. Dat geldt niet voor de elektrische installaties bijvoorbeeld - hun correlatie met de levensduur van het gebouw stagneert al bij de stap van 19 naar 38 jaar.

Componenten met een relatief korte levensduur van 25 jaar moeten vaak worden vervangen. Photovoltaïsche cellen hebben eenderde van hun milieu-impact in de productiefase en tweederde in de gebruiksfase, met name in de vorm van vervanging. Beglazing heeft een relatief vergelijkbare verdeling. Een constructieve betonnen vloer daarentegen heeft veel impact in de productiefase en heeft geen milieueffecten tijdens de gebruiksfase door de lange levensduur.

¹⁰ Hildebrand L., (2014). *Strategische investering van materiaalgebonden emissies tijdens het architectonische planningsproces*, blz.364.

SITE

De site (ligging) beschrijft de context waarin een gebouw zich bevindt. Dit kunnen klimatologische of topografische omstandigheden zijn, maar ook verschillende stedelijke dichtheden. Houd rekening met de omgeving van een project bij het ontwerpen voor een lage CO₂-voetafdruk. De milieu-impact van een project gaat verder dan het gebouw zelf. Stedelijke locaties zijn beter met elkaar verbonden en bewoners kunnen gezamenlijk gebruik maken van de bestaande voorzieningen.



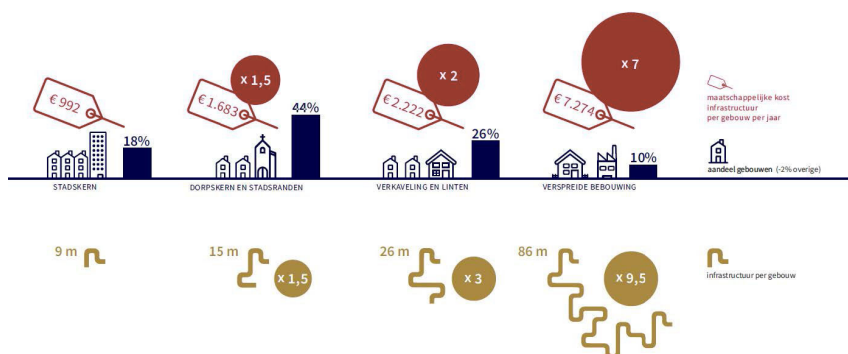
REDUCE

7. VERBIND GEBOUWEN MET DE HUIDIGE TECHNISCHE INFRASTRUCTUUR

Overweeg om de bestaande ruimte in onze steden te verdichten in plaats van nieuwe gebieden toe te voegen aan het net. De vereiste riolering, wegen, fietspaden en verlichting zijn zaken buiten het bouwperceel die niet worden meegerekend in de MPG-score, maar wel aanzienlijke milieu- en financiële kosten met zich meebrengen. Er is tien keer meer infrastructuur nodig om huizen in voorstedelijke gebieden aan te sluiten dan in binnensteden.

AFBEELDING 24.

Maatschappelijke kosten infrastructuur per gebouw per jaar (kosten van verspreide bebouwing).
Bron: Van Broeck, L. (2019, April 2). Vlaams Bouwmeester. www.vlaamsbouwmeester.be



REDUCE

8. CREËER GEMEENSCHAPPELIJKE RUIMTEN EN FACILITEITEN

Een dichtbevolkte omgeving ondersteunt de opkomst van een gedeelde economie. Zowel ruimten als voorzieningen kunnen worden gedeeld. Wanneer meerdere gebruikers dingen delen, worden ze intensiever gebruikt. Het individuele ruimtegebruik, een belangrijke factor in de maatschappelijke kosten, kan daardoor afnemen. Bouwen voor gemeenschap kan ook een oplossingsrichting zijn voor een ander probleem. Veel ouderen en alleenstaanden wonen nog steeds in hun oude gezinswoningen. Een attractief aanbod met kleinere individuele woningen en bijvoorbeeld een gedeelde gastenkamer voor de kleinkinderen zou hen kunnen motiveren de gezinswoning vrij te maken voor jonge starters, die het moeilijk hebben op de woningmarkt.



REDUCE

9. AUTOVRIJE MOBILITEIT AANMOEDIGEN

De perceptie van schoonheid, comfort en veiligheid in de bebouwde omgeving bevordert de mobiliteit van voetgangers en fietsers. Comfortabele en veilige fietspaden en -stallingen stimuleren het gebruik van fietsvervoer. Aangename trottoirs nodigen burgers uit tot langere wandelingen. Grotere goederen en zware boodschappen kunnen per (gedeelde) bakfiets worden vervoerd in plaats van per auto.

Er is echter ook veel verzet tegen het terugdringen van de auto in onze steden en niet alle maatregelen hebben het beoogde effect. Het is bijvoorbeeld lastig te voorspellen welk effect het afsluiten van een rijbaan op een belangrijke weg heeft. Gaan meer mensen fietsen en wordt het openbaar vervoer beter, of staat uiteindelijk de hele stad op slot? Rotterdam heeft bijvoorbeeld voor een pragmatische aanpak gekozen: "Omdat modellen niet altijd het uiteindelijke effect kunnen voorspellen, voeren we in 2020 een aantal experimenten uit met tijdelijke aangepaste verkeerssituaties. Zo ervaren we hoe een herinrichting van de weg in de praktijk werkt."



AFBEELDING 25.

"Ruim baan voor voetgangers, fietsers en OV." Bron: Gemeente Rotterdam, (2020), *Rotterdamse Mobiliteitsaanpak februari 2020*.

STRUCTURE

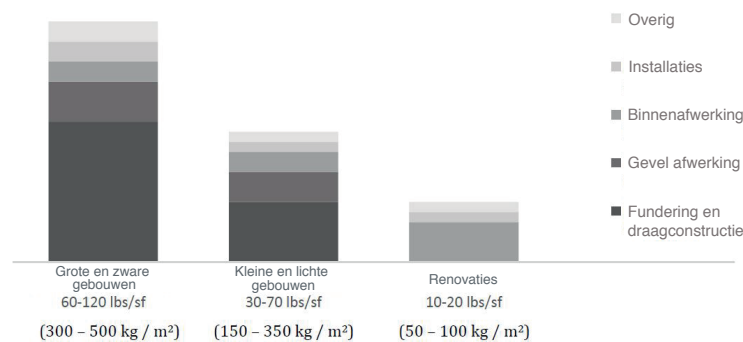
De draagconstructie houdt alles op zijn plaats. De constructie heeft de langste levensduur van alle onderdelen, is bepalend voor de levensduur van het project en heeft de grootste massa van alle onderdelen.

OP GEBOUWNIVEAU

Grote, zware gebouwen worden vaak gekenmerkt door constructies met een hoge CO₂-impact. In hoogbouw zijn grotere componenten nodig om het effect van windbelasting te weerstaan, wat bij lagere gebouwen minder van invloed is. Een gebouw met hoge dichtheid op een centrale locatie kan het nadeel van de extra constructie compenseren met de voordelen van bestaande infrastructuur en goede verbindingen. Uit onze hoogbouwcasestudies bleek de constructie ook daadwerkelijk de grootste impact te hebben. Dikke betonnen vloeren leiden tot een zeer hoge materiaalgebonden CO₂-impact.

AFBEELDING 26.

Koolstof uitstoot op type gebouw en element. Bron: King, B. (2017) *The New Carbon Architecture: Building to cool the climate.*



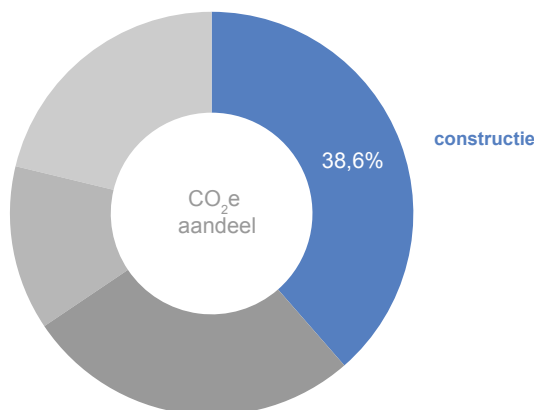
OP BOUWDEELNIVEAU

Gemiddeld heeft de constructie een aandeel van 38 procent op de totale schaduwkosten. Dat maakt de constructie de grootste emissiebron van alle bouwdeelen. Welke strategieën zijn er om de impact van dit deel van het gebouw te verminderen?

AFBEELDING 27.

Gemiddeld aandeel milieu-impact van de draagstructuur van de zes casestudies.

PV-panels zijn buiten beschouwing gelaten in deze berekening.





DE OPSLAG VAN BIOGENE KOOLSTOF IS NIET ZICHTBAAR IN DE MPG-SCORE.

Wees je bewust van het potentieel van de opslag van biogene koolstof. De manier waarop we berekenen heeft invloed op de beoordeling van uitgestoten CO₂e. Over een periode van honderd jaar is het werkelijke GWP van houten constructies slechts half zo groot als berekend in de MPG-score, zoals het TNO-rapport "*Een verkenning van het potentieel van tijdelijke CO₂-opslag bij houtbouw*" uit 2021 beschrijft. De reden is dat het tijdelijk afvangen van koolstof een positief effect heeft op de totale milieu-impact van het product. CO₂ wordt voor de gehele levensduur van het gebouw opgevangen. De MPG negeert deze periode van opslag tegenwoordig en mengt alle positieve en negatieve CO₂-emissies in een algemene score. Op lange termijn zal de MPG-methode geherstructureerd moeten worden om rekening te houden met de CO₂-opname. Het meest passende zal (naar ons inzicht) een carbon accountingtool zijn, zoals dat bijvoorbeeld ook door de Dutch Green Building Council en partners in het kader van een Whole Life Carbon Approach ontwikkeld wordt.



HOE KOMT EEN PROJECT IN AANMERKING VOOR EEN LANGERE LEVENSDUUR BIJ DE MPG-BEREKENING?

In onze lijst van casestudies springt nummer 18 eruit, omdat er werd uitgegaan van een verlengde levensduur van 92 jaar (in tegenstelling tot de algemeen gebruikte standaard van 75 jaar). Hierbij is op te merken dat deze standaard levensduren ook van land tot land verschillen. Om met een langere levensduur te mogen rekenen, moet dit zogenoemd aannemelijk gemaakt worden. De specifieke eisen hiervoor zijn te vinden in het richtsnoer "specifieke gebouwlevensduur" waarin verschillende levensduurverlengende aspecten opgenoemd worden.



MPG-SCORE [€/M²/JAAR]

De aanpasbaarheid van een gebouw heeft invloed op de uiteindelijke levensduur van het gebouw in de MPG-berekening. Door de langere levensduur (grotere noemer waardoor de schaduwkosten worden gedeeld) worden de milieueffecten van een gebouw iets verminderd. Dit wordt echter ook per bouwelement vastgelegd. Installaties worden bijvoorbeeld om de 25 jaar vervangen. Bij een verlenging van de gebouwlevensduur met 25 jaar gaan de installaties dus in een nieuwe cyclus en hebben geen effect op de MPG. Er wordt ook vanuit gegaan dat dezelfde installaties opnieuw toegepast worden.



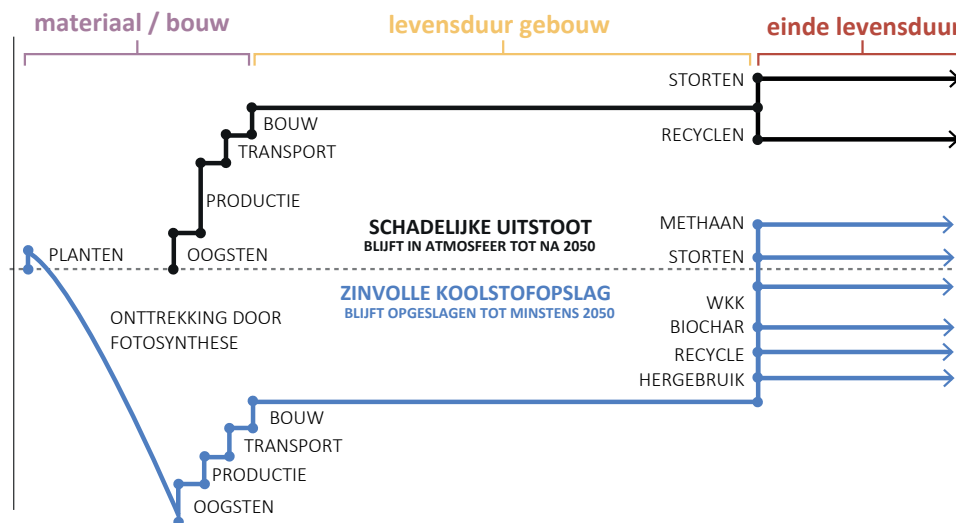
10. KOOLSTOF OPSLAAN IN DE CONSTRUCTIE

REDUCE

Biogene koolstofopslag vermindert de CO₂-concentratie in onze atmosfeer. Planten slaan CO₂ op terwijl ze groeien. Wanneer we deze vervolgens als bouw materiaal gebruiken, blijft de koolstof in onze gebouwen opgesloten. Houtbouw is een veel genoemd voorbeeld en wordt gezien als een belangrijke kans in de Nederlandse woningbouw. In een onderzoek van W/E ingenieurs uit 2016 werd geschat dat "bij een verzesvoudiging van het aantal laagbouwoningen op basis van houtskeletbouw en een toename van het gebruik van hout in de GWW-sector in 2030 ongeveer 0,3 Mton CO₂ per jaar kan worden vastgelegd en evenzeveel vermeden door vervanging van beton en baksteen. Als dit verdubbelt tot 2050 dan kan dit oplopen tot 0,6 Mton CO₂."¹¹

AFBEELDING 28.

Diagram van de CO₂-balans door fotosynthese in houtbouw. Bron: Kriegh, J., et al. (2021). *Carbon-Storing Materials: Summary Report*.



Er zijn echter nog enkele systematische belemmeringen voor het bouwen met hout. Het beschreven effect van koolstofafvangst wordt bijvoorbeeld nog niet geregistreerd in de MPG-berekening. Een wijziging van de meetmethode wordt onderzocht. (Zie meer over dit onderwerp in de volgende hoofdstukken). Ook zijn de houtprijzen de laatste tijd sterk gestegen en zijn geluidsisolatie en bouwen op hoogte nog uitdagingen.

Ondertussen hoeft het bouwen met hout niet te wachten. De laatste tijd zien we zelfs woningen in hoge dichtheden en grote hoeveelheden gebouwd van hout. Twee voorbeelden zijn het gebouw HAUT in Amsterdam, een 73 meter hoge kruislings gelamineerde houtconstructie, en meer dan vijfhonderd aardbevingsbestendige houtskeletwoningen in Groningen.



REUSE

11. RENOVATIE IN PLAATS VAN NIEUWBOUW

Renovaties kunnen de materiaalgebonden CO₂-emissies en de effecten daarvan drastisch verminderen in vergelijking tot nieuwbouw. Bij de eerste wordt gebruik gemaakt van een bestaande constructie. Bij de laatste is de constructie nieuw. Het mes van renovatie snijdt ook aan twee kanten. Enerzijds door de hoeveelheid van materiaalgebonden CO₂-emissies. "Bij renovatie van een gebouw komt tussen de 50 en 75 procent minder koolstof vrij dan bij nieuwbouw."¹² In onderstaande diagram worden drie nieuwe gebouwen met verschillende energiebehoeften vergeleken met een gerenoveerd gebouw.

¹¹ Strengers, B. et al. (2018). *Negatieve emissies: Technisch Potentieel, Realistisch Potentieel en Kosten voor Nederland*, p.13.

¹² King, B. (2017) *The New Carbon Architecture: Building to cool the climate.*, page 35.

Ten tweede worden de materiaalgebonden emissies ook uitgestoten in het begin van de levensduur van het gebouw, wat veel schadelijker is voor het klimaat. Het principe van de tijdswaarde van koolstof (time value of carbon/TVC) wordt uitgelegd in de inleiding op pagina 25.

Vooral slecht presterende en leegstaande gebouwen lenen zich voor renovatie en/of herontwikkeling en moeten waar mogelijk sloop en nieuwbouw vervangen.

AFBEELDING 29.

Goed nieuws, het is mogelijk om zowel lage operationele emissies, als lage materiaalgebonden emissies te hebben.

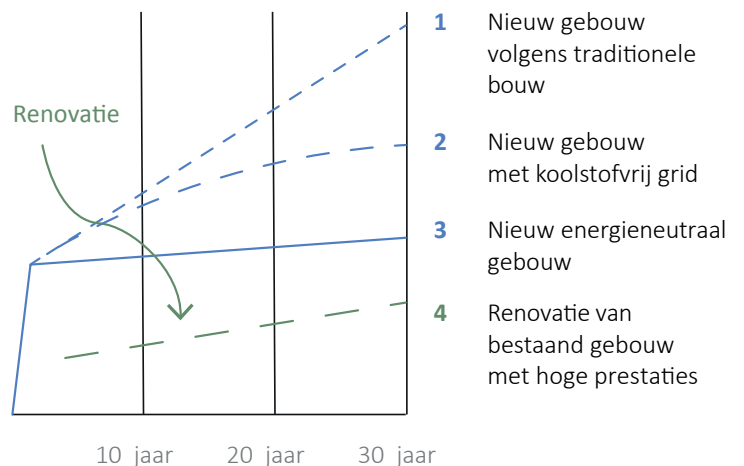
Bron: King, B. (2017) *The New Carbon Architecture: Building to cool the climate.*

AFBEELDING 30.

Levensduur verlengende factoren. Bron: W/E adviseurs (2013). *Richtsnoer 'Specifieke gebouwlevensduur'. Aanvulling op de Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken (MPG).*

Uitgangspunt: gemiddelde levensduur	
Levensduurverlengende aspecten	
Hoge interne belevingswaarde	
Hoge functionaliteit	
Bijzonder daglicht en/of uitzicht	
Hoog comfort	
Hoge externe belevingswaarde	
Landmark	
Krachtige identiteit	
Groot accommoderend vermogen	
Toekomstgerichtheid	
Indelingsflexibiliteit	
Flexibele verkaveling	
Aanpasbaar bouwvolume	

1, 2 en 3 hebben grote impact op klimaat door het CO₂ uitstoot vanaf het begin



Ook financieel is het voordeliger om te kiezen voor renovatie van bestaande constructies. De bouw van een nieuwe constructie kan meer dan eenderde van de economische investeringen vergen, vergeleken met de totale bouwkosten. Benut deze investering ten volle door te renoveren in plaats van te slopen.

Ondanks alle voordelen van renovatie kan het voor ontwerpers een complexere opgave zijn dan te beginnen met een leeg perceel. Vooral een complexe transformatie van een andere functie naar woningbouw kan als onbekend terrein aanvoelen. Dit vereist dat we het ontwerpproces heroverwegen en de waarden waarnaar we op zoek zijn herdefiniëren. Zelfs het beleid is anders als het om renovatie gaat. Het kan een leerproces zijn, maar uiteindelijk kunnen we die factoren in ons voordeel gebruiken. Het bestaande kader dat op het eerste gezicht als een beperking aanvoelt, kan de creativiteit aanwakkeren en de basis vormen voor gedenkwaardige, duurzame en dierbare architectuur met gevoel voor de omgeving.

Een geslaagd voorbeeld zijn de Lee Towers (Marconi Toren) in Rotterdam. "De drie bekende Europoint-torens aan het Marconiplein in Rotterdam zijn in het begin van de jaren zeventig ontworpen door Skidmore, Owings and Merrill (SOM). Twee Europoint-torens kwamen na het vertrek van de gemeentelijke diensten leeg te staan. Deze torens zijn in 2020 getransformeerd tot 883 huurwoningen."¹³

¹³ Diederens, P. (2021, September 30). *The Lee Towers - Transformatieproject*. [diederendirrix](https://www.diederendirrix.nl/nl/projecten/the-lee-towers/). <https://www.diederendirrix.nl/nl/projecten/the-lee-towers/>



REUSE

12. VERLENG DE LEVENSDUUR VAN DE CONSTRUCTIE

Open plattegronden en royale verdiepingshoogten maken een gebouw geschikt voor verschillende functies. Onderzoek aan de TU Eindhoven toont aan dat deze praktijken de levensduur van een constructie verlengen omdat ze ‘een positief effect hebben op de flexibiliteit en het aanpassingsvermogen van gebouwen’.¹⁴

De variabele belasting die in de Nederlandse bouwvoorschriften voor kantoorfuncties is vastgelegd, bedraagt 2 tot 5 kilonewton per vierkante meter (kN/m²). Voor woningen is 1,5 tot 2 kN/m² vereist. Het transformeren van woningen naar kantoren is daarom alleen een optie als een overgedimensioneerd ontwerp dit toelaat. Het transformeren van kantoren naar woningen daarentegen is bouwkundig geen probleem. Wel kan het een uitdaging zijn dat sommige kantoorgebouwen zeer diepe plattegronden hebben, waardoor een woonfunctie moeilijker te realiseren is qua daglichttoetreding.

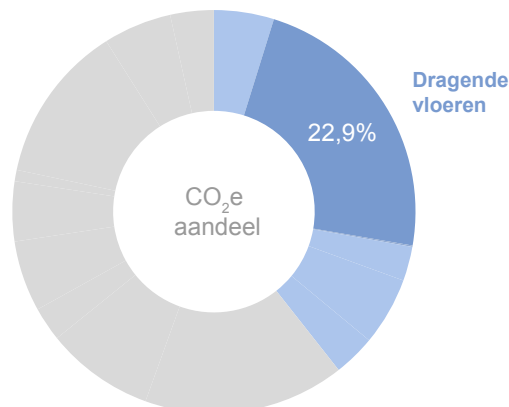
Maar is het de koolstofinvestering waard? Het is zeker een dilemma: of de constructie overdimensioneren om de levensduur te verlengen, of het gebruik van materiaal minimaliseren (het verminderen van CO₂-emissies in het begin van de levensduur). In zijn boek uit 2017 vermeldt Barry King: ‘We vervangen gebouwen niet omdat ze verslijten, we vervangen ze omdat de grond waarop ze gebouwd zijn waardevoller wordt, of omdat we vinden dat ze er niet meer mooi uitzien, of omdat we gewoon iets nieuws willen.’

Naast de functionele keuzes speelt architectonische kwaliteit een minstens even belangrijke rol. ‘Goede architectuur maakt dat mensen zich ergens thuis voelen, zich eraan hechten en er goed voor zorgen.’¹⁵

AFBEELDING 31.

Grootste vervuiler binnen de milieu-impact van de draagstructuur van de zes casestudies.

(PV-panelen zijn buiten beschouwing gelaten in deze berekening.)



OP PRODUCTNIVEAU

Welk constructiemateriaal heeft de grootste emissie? De dragende vloeren voeren de lijst aan bij de meeste casestudieprojecten die we hebben geanalyseerd. Hoe kunnen we hun impact verminderen?

¹⁴ Blok, R., Habraken, A. P. H. W., Pronk, A. D. C., & Teuffel, P. M. (2018). *Resource-efficient structural design*. In C. Mueller, & S. Adriaenssens (Eds.), *Proceedings of the IASS Symposium 2018: Creativity in Structural Design* (pp. 1-10), p. 7.

¹⁵ Pit, M. et al., (2021). *Lessen in Circulariteit*. De Architecten Cie, Amsterdam.



13. ONTWERP MET BESTAANDE CONSTRUCTIES

Patrick Teuffel van de TU Eindhoven stelt dat de impact ‘aanzienlijk kan worden vermindert door de levensduur te verlengen’ en dat we ons moeten richten op ‘hergebruik op component- en elementniveau in plaats van op materiaalniveau’. TNO vermeldt dat ‘nu Nederland en Europa op weg zijn naar een circulaire economie, is het aan te bevelen om scenario's voor hoogwaardig hergebruik te onderzoeken. Hergebruik maakt het mogelijk om CO₂-uitstoot nog langer uit te stellen.¹⁶

Het kan echter lastig zijn om tweedehands producten te vinden voor een project. Het conventionele ontwerpproces berust op de selectie van componenten op vraagbasis en een volledig vrije keuze uit leveranciers. De logistieke inspanning kan groot zijn, maar dat geldt ook voor de koolstofbesparing.

Een succesvol voorbeeld is het gebruik van de metalen brugspanten in de dakconstructie van het nieuwe treinstation van Eindhoven.



14. ONTWERP EEN DEMONTABELE EN HERBRUIKBARE STRUCTUUR

Als er een nieuwe constructie wordt gebouwd, maak deze dan demontabel. Dat kan zo ver gaan als de toepassing in één gebouw, maar kan ook simpele reparaties en vervanging betreffen. Standaardelementen en -maten zullen hierbij een groter scala aan toepassingen ondersteunen. De onderdelen moeten robuust zijn en hun kwaliteit behouden voor hergebruik.

Voor hergebruik in een nieuw object moet de constructie eerst gedemonteerd worden. Verbindingen moeten hiervoor geschikt zijn. Vervolgens wordt het overgebracht naar een andere locatie waar het opnieuw wordt gemonteerd. Het is belangrijk om te letten op de maten en het gewicht van de onderdelen, zodat deze transporteerbaar zijn.

Bij correct ontwerp kunnen demontabele componenten goed herbruikbaar zijn. Maar zeker bij gebouwen die ontworpen zijn voor een lange levensduur is dit ook maar een theoretisch gegeven. Zoals Thomas Rau zegt: ‘Er zijn geen circulaire gebouwen’, omdat we niet zeker kunnen weten of circulair hergebruik in de toekomst zal gebeuren. Elementen en materialen moeten dus ook worden ondersteund door een nieuwe tweedehands markt en geregistreerd worden in een publiek toegankelijk systeem, om praktisch gevonden en gekocht te kunnen worden voor een tweede toepassing. Er zijn inmiddels een aantal initiatieven op dit gebied, zoals Madaster voor de registratie van verbouwd materiaal en een schatting van de waarde hiervan. RotorDC uit Brussel ‘oogst’ vooral bijzondere bouwmaterialen uit oude gebouwen en bewerkt deze weer tot herbruikbare staat. New Horizons en Circuloo focussen op een bredere markt en bieden al een grote hoeveelheid standaard materialen aan, zoals kabelgoten, leidingen, tegels en gipsplaten.

De gipsplaten zijn een voorbeeld van een ander principe: in de opwerking hiervan wordt aan beide kanten 4,5 centimeter afgezaagd, waardoor de plaat weer praktisch nieuw is. De nieuwe maat is echter kleiner dan de oorspronkelijke standaardmaat. Een ander voorbeeld hiervan is het Circl-paviljoen in Amsterdam. Hier zijn de kolommen langer dan noodzakelijk, zodat ze later op maat kunnen worden gezaagd als dat nodig is.

¹⁶ Keijzer, E. et al. (2021). *Een verkenning van het potentieel van tijdelijke CO₂-opslag bij houtbouw*. TNO, Utrecht., p.2.

SKIN

De schil van het gebouw, de gevel en het dak, vormt de verbinding tussen binnen en buiten. De schil regelt de uitwisseling van warmte, lucht, vocht, licht en geluid. Deze uitwisseling wordt beïnvloed door de bouwfysische eigenschappen, het oppervlak en de oriëntatie. Openingen in de schil laten mensen door de gevel bewegen en kijken.

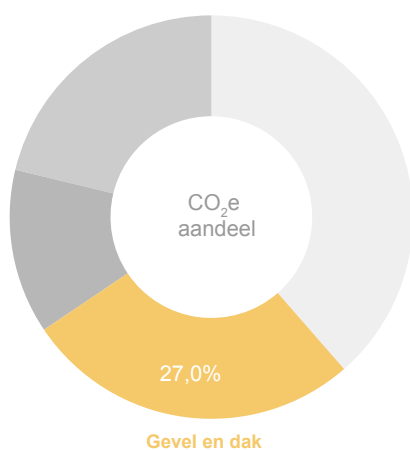
OP GEBOUWNIVEAU

De vorm van een gebouw beïnvloedt de compactheid ervan. Een gebouw met een vierkante plattegrond is compacter en heeft minder oppervlakte te bedekken en te isoleren dan een onregelmatig gevormd gebouw.

AFBEELDING 32.

Gemiddeld aandeel milieu-impact van de gevel van de zes casestudies.

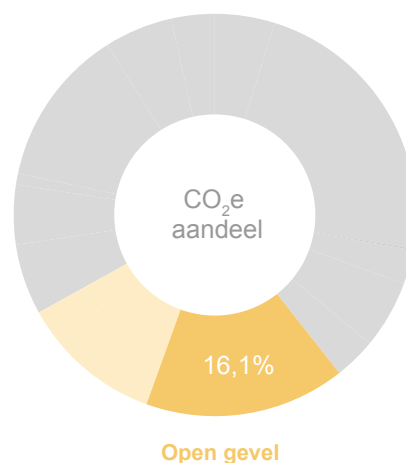
PV-panelen zijn buiten beschouwing gelaten in deze berekening.



AFBEELDING 33.

Grootste vervuiler binnen de milieu-impact van de gevel van de zes casestudies.

PV-panelen zijn buiten beschouwing gelaten in deze berekening.



REDUCE

15. KAN HET GEBOUW COMPACTER?

Met een kleiner geveloppervlak kunnen materialen, kosten en CO₂-uitstoot worden bespaard. Dit kan de energieprestatie optimaliseren. Hoe hoger het gebouw, hoe belangrijker compactheid wordt voor de materiaalgebonden CO₂-impact, omdat het invloed heeft op meerdere verdiepingen.

Anderzijds worden bouwvolumes ook ontworpen op basis van de indeling en daglicht. Een vierkante plattegrond zal hoogstwaarschijnlijk enkele minder wenselijke noord- en zuidgeoriënteerde ruimten bevatten. Het plannen van oost-/westgeoriënteerde appartementen kan een goede daglichttoetreding opleveren, maar resulteert meestal in langgerekte gebouwen. Compactheid is niet altijd de beste optie. Ga na of uw ontwerp compacter kan worden gemaakt zonder afbreuk te doen aan de ruimtelijke kwaliteit.

OP BOUWDEELNIVEAU

Gemiddeld komt 27 procent van de emissies van de gebouwschil. Het dak is ook een onderdeel van de gebouwschil en vooral bij laagbouw relevant. Hoe hoger een gebouw, des te belangrijker wordt de gevel. Die bepaalt de architectonische kwaliteit van het gebouw ten opzichte van zijn omgeving.



REDUCE

16. KIES DE HOEEVELHEID GLASOPPERVLAK ZORGVULDIG

Door het glasoppervlak te beperken, worden de emissies van de gevel tot een minimum beperkt. De operationele warmteverliezen en -winsten hebben de neiging toe te nemen met grote glasopeningen. Zij zijn de grootste bron van oververhitting in de zomer. Natuurlijk kunnen we geen huizen bouwen zonder ramen. Maar kan een vergelijkbare kwaliteit worden bereikt met kleinere openingen? Een groot percentage aan glasoppervlakken is populair in hedendaagse ontwerpen, vooral in binnensteden met hoge grondprijzen. Een visuele verbinding met buiten geeft binnenruimten een royaler gevoel en vult ze met natuurlijk licht. Glas heeft een slanke, moderne uitstraling. Om die redenen zien we vaak grote openingen in moderne appartementsgebouwen. Deze beslissingen hebben echter een groot effect op de materiaalgebonden CO₂. Een kritische beoordeling van ontwerpbeslissingen kan een grote impact hebben.

In onze analyse hebben we de vijf meest CO₂-uitstotende componenten van zes case-studies gedefinieerd en een directe correlatie gezien tussen de open-dicht verhouding en de resultaten. De rijtjeshuizen met kleinere openingen scoorden vaak goed op de lijst. Hun totale materiaalgebonden CO₂-impact is dus effectief lager.

Glas heeft de grootste uitstoot van de gebouwschil, met meer dan zestien procent van de materiaalgebonden CO₂-impact van het gebouw. De grootte van de openingen is één factor, zoals hierboven besproken. Het maakt ook uit welk type beglazing wordt gekozen.

OP PRODUCTNIVEAU

Over het algemeen is de keuze van gevelproducten grotendeels gebaseerd op hun thermische eigenschappen. We hebben materialen nodig die goed isoleren. In gesloten delen van de gevel is dat vrij eenvoudig te doen, zelfs met koolstofarme en biobased materialen. Beglazing vereist echter grote CO₂-emissies om dezelfde thermische waarden te bereiken.

In het bouwbesluit staan de eisen voor de thermische waarden van de gebouwschil. We kunnen ervoor kiezen om alleen die voorschriften te volgen of te streven naar een hoger isolatieniveau. Operationele besparingen moeten worden afgewogen tegen de materiaalgebonden CO₂-emissies. Er is geen "one size fits all" oplossing voor de beste keuze, omdat veel factoren bepalend zijn. Dit zijn onder meer de locatie van het gebouw, de oriëntatie van de openingen en het binnenklimaatconcept. Een energiemodel zou daarom moeten worden gecombineerd met de analyse van de materiaalgebonden CO₂-emissies.



REUSE

17. AANZETTEN TOT HERGEBRUIK VAN BEGLAZING

Waarom hergebruiken we onderdelen niet, in plaats van materialen te recyclen? Dat is een vraag waar onderzoekers aan werken. De oplossing is complex, omdat "het meeste glas in de gebouwschil momenteel wordt gebruikt in de vorm van hermetisch afgesloten isolatieglaselementen waarvan de onderdelen niet gemakkelijk te scheiden of herbruikbaar zijn."¹⁷ We gebruiken niet de volledige potentiële levensduur van het glas, omdat de afdichtingsmiddelen een gangbare levensduur van 25 jaar hebben. Op dit moment is "remanufacturing" van beglazing nog geen praktijk die marktrijp is. Hopelijk kunnen we het binnenkort in de bouw toepassen.

¹⁷ DeBrincat, G. en Babic, E. (n.d.) *Re-thinking the Life-Cycle of Architectural Glass*. Arup, Glasgow. <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/re-thinking-the-life-cycle-of-architectural-glass> p.19.

OP MATERIAALNIVEAU



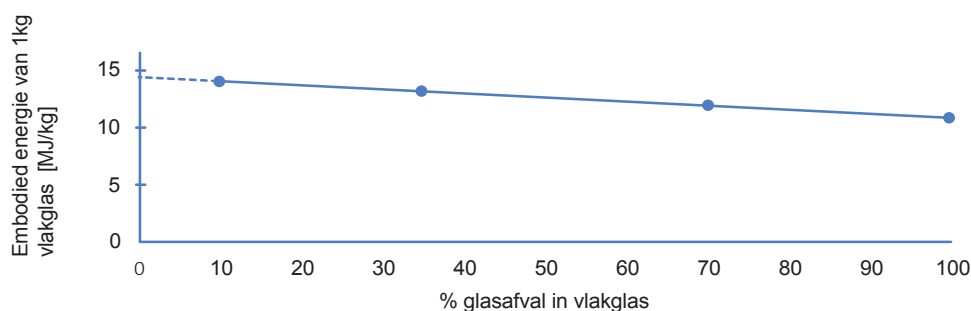
REUSE

18. AANZET TOT CIRCULAIRE BEGLAZING

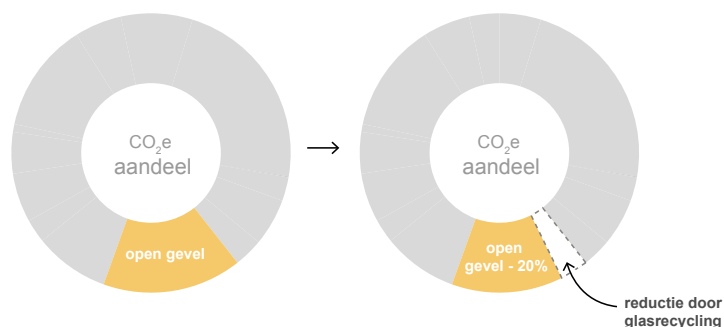
De productie van één vierkante meter low-e dubbelglas leidt tot de uitstoot van 25kg CO₂. Recycling van glas verkleint de voetafdruk op meerdere manieren: ten eerste vermindert het stortafval. Ten tweede verlaagt de toevoeging van gerecycled glas aan het smeltproces de benodigde temperatuur en daarmee de energie in het productieproces (zie onderstaande grafiek).

AFBEELDING 34.

Materiaalgebonden energie van 1 kg vlakglas in verhouding tot procent van gerecycled glas gebruikt in de productie. Bron: DeBrincat, G. en Babic, E. (n.d.) *Re-thinking the Life-Cycle of Architectural Glass*. Arup, Glasgow.



Glas kan theoretisch honderd procent worden gerecycled, maar belandt momenteel meestal op de vuilnisbelt. Waarom wordt het niet gerecycled? Het sloopproces is het duidelijke knelpunt, naast productieprocessen die het materiaal verontreinigen (bijvoorbeeld lamineren). 'Glas terug recyclen naar de floatlijn (*sic: productie van glas*) is haalbaar, maar er moet een nieuw netwerk worden ontwikkeld en nieuwe processen worden ingevoerd om de kwaliteit van het teruggewonnen glas te waarborgen.'¹⁷



Hoe kunnen wij als ontwerpers invloed uitoefenen op glasrecycling? We kunnen aanbevelingen doen die niet marktrijp zijn, maar wel aandacht en een oproep tot actie verdienen.

Ten eerste zouden we gerecycled glas moeten kopen. In hun paper zien Arup mogelijkheden in het inkoopproces: 'In de reacties op aanbestedingen zou kunnen worden geëist dat de aannemers de mate van gerecycled glas uit hun toeleveringsketen vermelden en een maatstaf tussen de rendementen van de aannemers mogelijk maken. Dit zou een positief effect kunnen hebben op de bevordering van het verhogen van de gerecyclede inhoud door de glasfabrikant.'

Ten tweede moet glas na de nuttige levensduur ervan worden gerecycled. Er wordt onderzoek gedaan naar servicecontracten en terugnamecontracten met gevelbouwers. Aan de TU Delft loopt een onderzoek naar gevelleasing.¹⁸ Deze nieuwe businessmodellen zijn erop gericht duidelijk te maken wie de materialen gedurende de levensduur van een project beheert.

¹⁷ DeBrincat, G. en Babic, E. (n.d.) *Re-thinking the Life-Cycle of Architectural Glass*. Arup, Glasgow. <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/re-thinking-the-life-cycle-of-architectural-glass> p.19.

¹⁸ Azcarate-Aguerre, J. (n.d.). *Facade Leasing pilot project at TU Delft*. <https://www.tudelft.nl/bk/onderzoek/projecten/green-building-innovation/facade-leasing/facade-leasing-pilot-project-at-tu-delft>



MEER CATEGORIE 1- PRODUCTEN MET BEGLAZING IN DE NMD?

Door de invoering van een duurzaamheidsvereiste op de glasmarkt zou een concurrentiestrijd tussen glasfabrikanten op het gebied van milieugebonden productverklaringen kunnen ontstaan. Beglazingseenheden met hoge percentages gerecycled materiaal zouden hun weg kunnen vinden naar EPD's van categorie 1 in de NMD.

SERVICES



SERVICES

Gebouwinstallaties (services) worden gebruikt om een comfortabel binnenklimaat te creëren en een gebouw van elektriciteit en water te voorzien. Zij omvatten energiebronnen (bijvoorbeeld fotovoltaïsche cellen, warmtepompen) en distributiesystemen (zoals leidingen en vloerverwarming).

OP GEBOUWNIVEAU

Installaties spelen een grote rol in hedendaagse ontwerpen. Hun belang is in de loop der jaren toegenomen. Nu worden we geconfronteerd met een grote hoeveelheid materiaalgebonden energie van die installaties. We zullen dus eerst moeten kijken naar klimaatinstallaties. Welke principes helpen de totale CO₂-voetafdruk te verkleinen?



19. KIES VOOR EEN ROBUUST EN PASSIEF KLIMAATONTWERP

REDUCE

Om de efficiëntie van ons klimaatontwerp te verhogen en er zeker van te zijn dat het in de praktijk goed werkt, kunnen principes van het zogenaamde robuust ontwerp worden toegepast. Een robuust ontwerp wijkt niet te veel af van de voorspelde prestaties en verhoogt de tevredenheid van de gebruiker.

Wat maakt een ontwerp robuust? Positieve factoren zijn gebruikerscontrole, weinig onderhoud, afzonderlijke systemen voor verwarming en ventilatie en vooral een passief ontwerp.¹⁹

Het gebruik van passieve strategieën betekent het ontwerpen van een klimaatconcept dat onafhankelijk is van installaties. Strategieën kunnen bestaan uit een optimale oriëntatie van de gevels, het gebruik van thermische massa, ventilatieroosters, of overstekken voor zonwering. Deze zaken hebben wel een materiaalgebonden CO₂-impact, maar ze zijn meestal robuuster en hoeven niet vervangen te worden gedurende de levensduur, in tegenstelling tot gebouwinstallaties. We kunnen passieve en actieve maatregelen combineren waar nodig.



20. DEEL ENERGIE LOKAAL

REDUCE

We willen zo snel mogelijk vrij zijn van fossiele brandstoffen. Aan de ene kant wordt het aandeel hernieuwbare energie in het nationale net langzaam groter. Maar als ontwikkelaars en ontwerpers kunnen we het heft in eigen handen nemen om energie op te wekken op het perceel van het gebouw.

Dit is moeilijker voor dichtbevolkte hoogbouw dan voor huizen met een lage stedelijke dichtheid. Hoogbouw verbruikt in totaal meer energie en heeft een kleiner dakoppervlak vergeleken met het bruikbare vloeroppervlak.

De hoogbouw neemt elektriciteit en warmte af van het stadsnet. Het heeft een hoog totaal energieverbruik per vierkante meter, meerdere verdiepingen en een groot aantal

¹⁹ Kurvers et al. (2013). *Robust Climate Design Combines Energy Efficiency with Occupant Health and Comfort*. ASHRAE IAQ 2013 Proceedings: Environmental Health in Low Energy Buildings.

bewoners, terwijl het dakoppervlak relatief klein is. De hoeveelheid PV die nodig is om aan de totale vraag te voldoen, past simpelweg niet op het dak. Als er minder PV is, moeten we het energiegebruik efficiënter maken en verliezen beperken. In omgevingen met verschillende gebouwen die een diversiteit aan functies bevatten, kan een concept voor het delen van energie worden toegepast. Een voorbeeld hiervan is De Ceuvel in Amsterdam. Een lokale munt stimuleert de peer-to-peer energiehandel. 'De Jouliette is een op blockchain gebaseerde energietoken die individuen en gemeenschappen in staat stelt om hun lokaal geproduceerde hernieuwbare energie eenvoudig te beheren en te delen.'²⁰



REUSE

21. DE INSTALLATIES VAN GEBOUWEN AANPASBAAR MAKEN

De E- en W-installaties bestaan uit buizen, leidingen en kabels. Zij veroorzaken zelf geen grote CO₂-emissies, maar wanneer zij correct worden gepland, kunnen zij het aanpassingsvermogen van de ruimtelijke indeling ondersteunen. Het is efficiënter qua materiaalgebruik om verlaagde plafonds en schachten te beperken door installaties te bundelen en leidingen kort te houden. Lange leidingen, kabels en buizen leiden ook tot verliezen tijdens de exploitatiefase.

Centrale schachten, die een variabele indeling van de plattegrond mogelijk maken, zijn een goed voorbeeld. Bij deze, maar bijvoorbeeld ook bij meterkasten en technische ruimtes, is het belangrijk een zekere overmaat in te bouwen om later nieuwe of andere voorzieningen te kunnen plaatsen en extra leidingen en vertakkingen te kunnen plaatsen. Hoe beter toegankelijk deze schachten zijn, hoe beter.

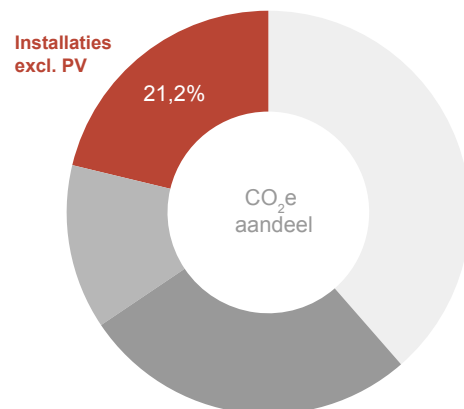
OP BOUWDEELNIVEAU

21 procent van de impact van een gemiddeld gebouw, zoals blijkt uit onze casestudies, wordt veroorzaakt door de installaties. Zij hebben een korte levensduur van ongeveer 25 jaar. Hoe langer een gebouw blijft staan, hoe langer we gebruik maken van bijvoorbeeld de draagstructuur, die een langetermijninvestering is. Installaties daarentegen worden regelmatig vervangen en blijven bijdragen aan de materiaalgebonden energie. Zij moeten daarom worden beschouwd als "vaste kosten". Passieve strategieën daarentegen, die (delen van) de installaties onnodig maken, kunnen de materiaalgebonden emissies verlagen.

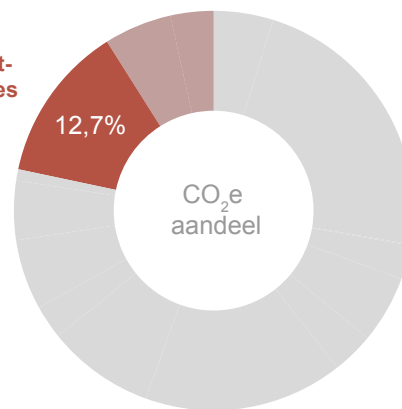
AFBEELDING 35.

Gemiddeld aandeel milieu-impact van de gevel van de zes installaties.

PV-panels zijn buiten beschouwing gelaten in deze berekening.



Klimaat-installaties



AFBEELDING 36.

Grootste vervuiler binnen de milieu-impact van de installaties van de zes casestudies.

PV-panels zijn buiten beschouwing gelaten in deze berekening.

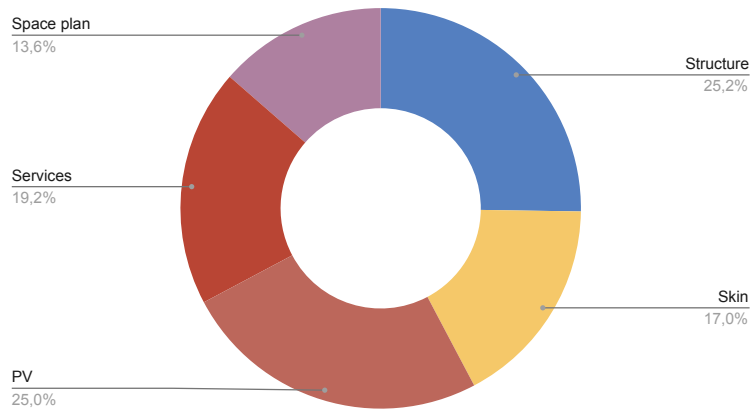
OP PRODUCTNIVEAU

PV-panels hebben de grootste impact van alle bouwproducten. Het is een dusdanig significant onderdeel dat we besloten hebben deze los te koppelen van de andere componenten. Dit is te zien in afbeelding 37. In alle verdere vergelijkingen is dit buiten beschouwing gelaten, omdat de relatieve hoeveelheid ervan heel erg varieert tussen de

²⁰ Alliander and Spectral. (2021). *Jouliette @ De Ceuvel*. Jouliette. <https://www.jouliette.net/>



AFBEELDING 37.
Gemiddeld aandeel
milieu-impact incl. PV.



verschillende projecten. Bij het ene project zijn de PV-panelen goed voor zestig procent van de totale impact, terwijl bij een ander project helemaal geen PV-panelen zijn toegepast.

Hoewel PV-panelen een zeer hoge impact hebben, verdienen ze deze investering vrijwel altijd terug door de reductie in operationele kosten. De vergelijking van de verschillende projecten zal eerlijker zijn wanneer de PV-panelen buiten beschouwing worden gehouden in de materiaalgebonden carbon vergelijkingen. De bovenstaande grafiek (afbeelding 36) laat zien dat twaalf procent van de impact veroorzaakt wordt door klimaatinstallaties. Dit onderdeel is uitvoerig besproken in de voorgaande pagina's.



DE GEGEVENS VAN PV-PANELEN DIE IN DE MPG WORDEN GEBRUIKT ZIJN NOG STEEDS GENERIEK.

Het is goed om te weten dat PV-producten die nu in de NMD beschikbaar zijn, gebaseerd zijn op generieke gegevens. De MPG-berekeningen van onze casestudies gebruiken categorie 3-gegevens om de impact van PV's te bepalen. Dit komt omdat de NMD geen opties in categorie 1 of 2 bevat (of heeft bevat). Zoals vermeld in de inleiding over EPD's, komt de daadwerkelijke milieu-impact dus niet overeen met de impact die in de MPG-score wordt geregistreerd.



REUSE

22. SCHROOM NIET OM PV TE GEBRUIKEN

PV's zijn een energieopwekkende aanvulling. Gewone PV-systemen op daken hebben momenteel een terugverdientijd van drie tot vier jaar (bij een veronderstelde levensduur van vijftientig jaar), die in de nabije toekomst naar verwachting zal dalen tot een terugverdientijd van twee jaar. Dat betekent dat de operationele besparingen vanaf dat moment groter zijn dan de materiaalgebonden emissies. Over hun levensduur gezien zijn PV's dus beslist energiepositief. Het is over het algemeen een verstandige investering die de CO₂-uitstoot vermindert. Controleer echter wel de terugverdientijd van PV's voor uw project en vergeet niet dat het frame, de onderliggende constructie en alle aanverwante systemen bijdragen aan de materiaalgebonden CO₂.

Het nadeel van PV-panelen is dat hun materiaalgebonden emissies sterk naar voren komt in de MPG-score. Momenteel moeten alle materialen worden ingevoerd om de MPG-score te berekenen. Dit omvat dezelfde hoeveelheid PV die wordt vermeld in de BENG-berekening. In het algemeen is dit gewoon een kwestie van documentatie. In dat opzicht moet men zich niet blindstaren op de hogere MPG-score, want wat telt is de werkelijke CO₂-voetafdruk.

Bijvoorbeeld: een casestudy bevat PV en is energieneutraal (nul-op-de-meter). Het zou goed scoren in de MPG (0,32) als de PV's niet in de berekening werden meegenomen. De eindscore, inclusief PV, komt echter uit op 0,92. Dat zou betekenen dat dit project met de bijgewerkte MPG-eisen (0,8) de test niet zou doorstaan, ook al presteert het in feite in alle opzichten goed. Het is binnen de huidige MPG-regels al mogelijk alleen de PV-panelen mee te rekenen die ervoor zorgen dat het gebouw aan de BENG-eisen voldoet. In onze casestudies was de grens echter niet duidelijk te trekken, zodat we gekozen hebben ze volledig buiten beschouwing te laten.

OP MATERIAALNIVEAU

Het grootste deel van de materiaalgebonden CO₂-effecten (tachtig procent) in PV-cellen is afkomstig van de glasplaten die de cellen afdekken. Het materiaal wordt beschreven in het subhoofdstuk 'Skin'. (Zie pagina 45 voor meer informatie hierover.)



SPACE PLAN

Terwijl de constructie en de schil de algemene vorm van een gebouw bepaalt, creëert de plattegrond verschillende zones binnen deze schil. Wij definiëren de "onderdelen van de plattegrond" als de niet-structurele elementen van een gebouw. Dat zijn bijvoorbeeld vloerlagen, plafonds, binnenmuren en afwerkingen. Met andere woorden: alles wat bij een meer of minder ingrijpende renovatie van het gebouw verwijderd of opnieuw geconfigureerd zou kunnen worden. Steward Brand noemt het "plattegrond", terwijl John Habraken een soortgelijke categorie omschrijft als "invulling". We zullen naar beide namen verwijzen.

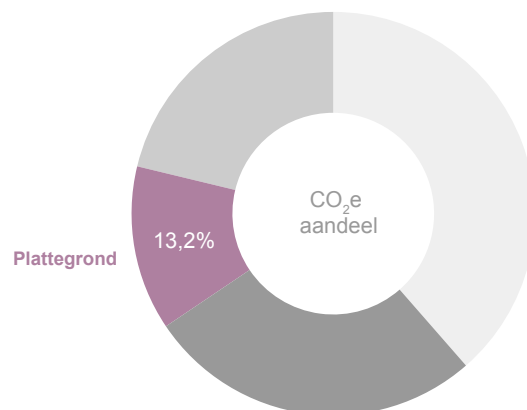
OP GEBOUWNIVEAU

Bouwproducten kunnen worden onderverdeeld in producten die gewoonlijk voor langere tijd zijn bestemd en producten die in de loop der jaren vervangen moeten worden, om aan verschillende gebruiksmogelijkheden van het gebouw tegemoet te komen. In zijn publicatie uit 1961 *"De dragers en de mensen"* definieert John Habraken ze als "structuur" en "invulling". In zijn theorieën over aanpasbare architectuur pleit Habraken voor een vitale architectuur die vormgeeft aan het alledaagse leven en ruimte laat voor verandering. Hij maakt een duidelijk onderscheid tussen de drager en de invulling en benadrukt dat dit onderscheid niet alleen technisch van aard is, maar vooral gericht is op de mogelijkheid voor persoonlijke invloed. Draggers behoren tot het publieke domein en zijn permanent, terwijl de invulling aan het individu toebehoort en veranderbaar is.²¹

AFBEELDING 38.

Gemiddeld aandeel milieu-impact van 'space plan' van de zes casestudies.

PV-panelen zijn buiten beschouwing gelaten in deze berekening.



OP BOUWDEELNIVEAU

Dertien procent van de totale impact, gemiddeld genomen over zes casestudies, komt van plattegrondcomponenten. Dat is de kleinste impact van de lagen van Brand. De plattegrond bepaalt echter het gebruik van een gebouw. Als het makkelijk is om te veranderen, is de kans kleiner dat het gebouw verouderd raakt en gesloopt wordt. De principes geformuleerd door John Habraken en het Open Bouwen, namelijk dat de structuur en de invulling los van elkaar te beschouwen zijn en dus ook met andere doelstellingen ontwerpen moeten worden, zijn actueler dan ooit.

²¹ Habraken, N. J. (n.d.). *Open Building Legacy*. Open Building. <https://www.openbuilding.co/legacy>



23. HOUD DE INVULLING FLEXIBEL

REDUCE

Met welke invulcomponenten moeten we ontwerpen? In het ideale geval moeten ze verplaatsbaar en opnieuw indeelbaar zijn. Het ontwerpen van componenten voor een nieuwe indeling kan een uitdagende taak zijn, omdat ze licht, demontabel en gemakkelijk te hanteren moeten zijn, terwijl ze ook stevig genoeg moeten zijn om lang mee te gaan. Bovendien moeten de wanden en vloeren ook akoestisch geïsoleerd zijn. Dat betekent dat ze massa of een spouw nodig hebben om de vereiste Rc-waarde te bereiken en dat ze ontkoppeld moeten zijn om de overdracht van trillingen tegen te gaan.

Een voorbeeld is het project LOFT van Sustainer Homes en The New Makers. In dit concept wordt een lege houten schil met meerdere verdiepingen gemaakt, die zonder enige invulling aan de bewoners wordt geleverd. Dit project gaat zo ver dat zelfs de vloerplaten pas op verzoek van de gebruiker worden aangebracht. De ontwerpers omschrijven het als volgt: 'De LOFT-collectie biedt keuze uit allerlei interieurmodules die je heel eenvoudig kunt 'inklikken' in je loft en na verloop van tijd dus ook weer 'uitklikken', zodat ze ergens anders kunnen worden hergebruikt. Denk aan trappen, vloeren, wanden, maar ook slimme multifunctionele kasten.²² De onderdelen zijn gemaakt van houtachtige materialen.

De zogenoemde losmaakbaarheidsindex, ontwikkeld door Alba Concepts, maakt een aanzet om de flexibiliteit van de constructie te kwantificeren. Maar ook de MAT8-categorie van BREEAM brengt verschillende aspecten in beeld.

Systeemwanden en plafonds uit kantooromgevingen zijn een ander voorbeeld. Hier is de omlooptijd vaak zeer hoog en verandert de inrichting regelmatig. Vaak genoeg zijn het ogenschijnlijk oppervlakkige ontwerpkeuzes die de levensduur van een element beperken. Denk aan een deurgreep en kleurenkeuze uit de jaren negentig. Was dat misschien een te modieuze keuze of zal het een esthetiek zijn die over vijftig jaar juist heel erg gewaardeerd wordt?

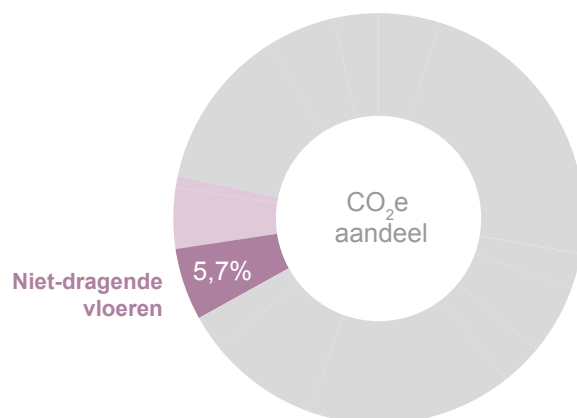
OP PRODUCT- EN MATERIAALNIVEAU

Vier tot vijf procent van de totale materiaalgebonden CO₂ is afkomstig van niet-dragende vloeren. De egalisatielaag heeft daarbij de grootste invloed.

AFBEELDING 39.

Grootste vervuiler binnen de milieu-impact van 'space plan' van de zes casestudies.

PV-panels zijn buiten beschouwing gelaten in deze berekening.



²² Era Contour, TBI. (2020, November 9). *LOFT. Houtbaar*. <https://www.houtbaar.nl/loft/>



24. VERMIJD CEMENTDEKVLOEREN

REDUCE

Alle zes casestudies gebruiken cementdekvloeren. Deze worden in eerste instantie gebruikt om de vloer te egaliseren en het vloeroppervlak akoestisch te ontkoppelen van de draagconstructie. Het is een veelgebruikte methode die problematisch is, omdat het veel energie kost en niet demontabel is. Het is in de Nederlandse woningbouw gebruikelijk om het cement rondom de dragende muren te gieten terwijl gipswanden bovenop de cementdekvloer geplaatst worden. Dit is uit akoestisch oogpunt eigenlijk niet ideaal, maar houdt al rekening met een latere aanpassing van de plattegrond.

De vloerverwarming wordt echter meestal per kamer geïnstalleerd in de cementdekvloer. Dit legt de plattegrond vast die niet meer aangepast kan worden zonder de cementvloer en de verwarming opnieuw aan te leggen.

Er zijn alternatieve producten op de markt die zijn getest en waarvan is bewezen dat zij voldoende akoestische eigenschappen en installatiegemak bieden. De zogenaamde 'egalisatiekorrels' zijn daar een goed voorbeeld van. Deze korrels zijn gemaakt van cellenbetongranulaat, maar in principe kunnen verschillende materialen gebruikt worden, bijvoorbeeld ook zand. Hierop kan dan een droge dekvloer geplaatst worden. Het Recyclinghaus in Hannover Kronsrode gebruikt als tussenlaag stoeptegels om massa toe te voegen ter verbetering van de akoestiek. Het kantoorgebouw Bouwdeel D(emontabel) in Delft, ontworpen door architectenbureau cepezed, is geheel demontabel opgetrokken. De eenvoudig te verwijderen dekvloer is van minerale korrels en gipsvezelplaten.²³

²³ G. Vos et al., Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2020). *Circulaire gebouwen. Strategieën en praktijkvoorbeelden*, p.50.



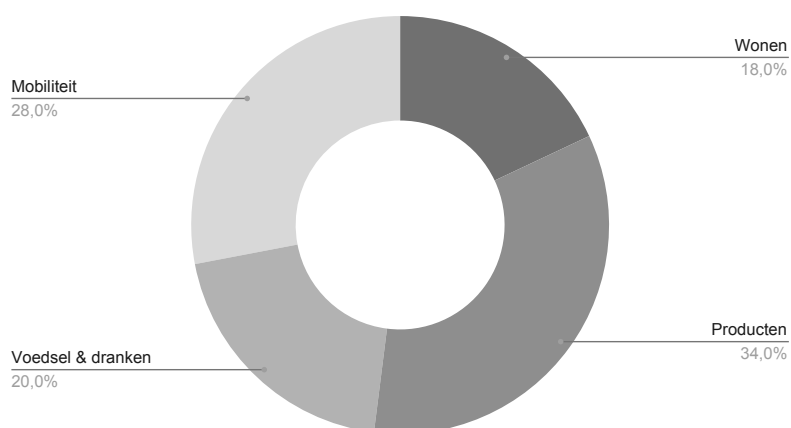
STUFF

Wanneer we een woning of woongebied ontwerpen, moeten we altijd rekening houden met de levensstijl die we accommoderen. Het is moeilijk om de CO₂-voetafdruk hiervan te kwantificeren, omdat het van zoveel verschillende factoren afhangt. Het is een vergelijkbaar probleem met bijvoorbeeld gebruikersgedrag, dat vaak over het hoofd wordt gezien in de energieprestatie van gebouwen.²⁴

Wij verstaan onder 'stuff' alle producten die door de bewoners hun woning in gebracht worden; meubels, huishoudapparatuur, en persoonlijke bezittingen. Spullen hebben de grootste impact op de persoonlijke CO₂-voetafdruk van een gemiddelde Nederlander.

(Zie ook een discussie van dit thema op pagina 21)

Aandeel milieu-impact per sector



AFBEELDING 40.

Opbouw van de CO₂-voetafdruk van een gemiddelde Nederlander. Bron: Top 10 milieubelasting gemiddeld Nederlandse consument - update versie 2020, CE Delft, G. Bergsma et. al, 2020.

De spullen die we jaarlijks kopen zijn goed voor het grootste deel van onze CO₂-voetafdruk. Als ontwerpers van de gebouwde omgeving kunnen we niet direct invloed uitoefenen op het koopgedrag van de bewoners. Wel kunnen we rekening houden met een aantal basisprincipes. Meer ruimte betekent over het algemeen meer spullen. Door het delen van producten mogelijk te maken, is individuele aanschaf niet nodig (bijvoorbeeld fitnessapparatuur of een boormachine). Een goed ontworpen woning kan het extra aankopen van producten voorkomen. Denk hierbij aan een losse airco of ventilator, een droger (wanneer er geen ruimte is om kleren op te hangen), maar ook een nieuwe keuken of badkamer omdat de standaard opgeleverde opstelling niet aan de wensen van de bewoners voldoet.

²⁴ F. Nagler (2012). Voordracht "Einfach Bauen", 29. Sep. 2012.

IV.

CASESTUDIES

ONDERZOEK NAAR DE IMPACT VAN ONTWERPKEUZES

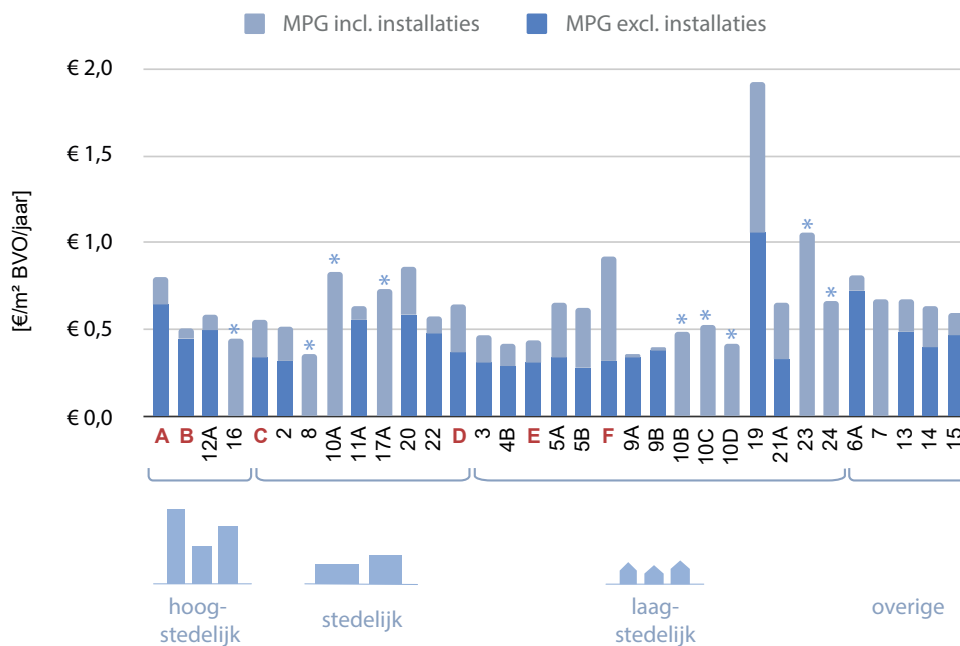
Om meer inzicht te krijgen in de impact van ontwerpkeuzes op de totale materiaalgebonden emissies, is onderzoek gedaan naar gerealiseerde woningbouwprojecten. Hierbij zijn verschillende bouwtypologieën (hoogbouw, middelhoogbouw en laagbouw) onderzocht. De casestudies zijn geanalyseerd op basis van de MPG-, EPC- en BENG-score en geven praktisch inzicht in de samenhang van CO₂-impact verspreid over de functionele bouwonderdelen van gebouwen. De analyse van de casestudies heeft geleid tot enkele conclusies die in het vorige hoofdstuk zijn gepresenteerd.

In de MPG-score wordt de CO₂-impact op gebouwniveau aangegeven, maar deze is niet zodanig inzichtelijk dat er makkelijk feedback voor het ontwerpproces uit kan worden gehaald. In dit onderzoek zijn de MPG-scores van de casestudies dan ook op een alternatieve methode geanalyseerd, zodat de resultaten wél inzicht kunnen geven voor ontwerpers tijdens het proces. Dit relateert aan de ontwerpprincipes, die in hoofdstuk 3 zijn geformuleerd. Een aantal observaties en conclusies komen voort uit de analyse van de casestudies en worden later in dit hoofdstuk toegelicht.

AFBEELDING 41.

Overzicht van de schaduwkosten van alle referentieprojecten.

*geen separate informatie over installaties beschikbaar.



OVERZICHT VAN DE CASESTUDIES

Binnen het kader van dit onderzoek zijn 24 casestudies verzameld en gebundeld in een vergelijkend overzicht. Vervolgens zijn zes projecten met drie verschillende stedelijke dichtheden geselecteerd die het beste gedocumenteerd zijn en het meest interessant zijn binnen het kader van dit onderzoek. We hebben bewust niet voor uitschieters gekozen, maar voor projecten die representatief zijn voor hoe vandaag de dag gebouwd wordt. We hebben wel per stedelijke dichtheid een 'gewoon' en een 'ambitieuw' project gekozen, dat wil zeggen met een vrij hoge en een vrij lage MPG-score.

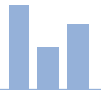


De belangrijkste geanalyseerde onderwerpen zijn de MPG-score, EPC-score en BENG-score, allen in relatie tot het bruikbare vloeroppervlak. Het doel van de analyse is om relaties te duiden van de CO₂-impact van verschillende gebouwonderdelen. Enkele vragen zouden hiermee beantwoord kunnen worden, zoals: Welk onderdeel van een ontwerp zou de grootste positieve CO₂-impact hebben? Hoe kan dit geminimaliseerd worden? Zouden dit eerder de ramen of eerder onderdelen van de draagconstructie zijn? Of is er een grotere reductie in CO₂-impact te behalen wanneer gekozen wordt voor andere installatieconcepten?

De verschillende casestudies zijn met elkaar vergeleken. Hieruit bleek bijvoorbeeld dat de projecten een verschillende CO₂-impact binnen de categorie gevel hadden. Heeft dit te maken met de algehele vorm van het gebouw, de plattegrondindeling of de gevelafwerking?

Naast de kwalitatieve verzameling van data zijn de casestudies ook gecategoriseerd in verschillende gebouwtypologieën: hoogbouw, middelhoogbouw en laagbouw. De onderstaande matrix toont een shortlist van de geselecteerde casestudies die nader bestudeerd zijn. De zes meest representatieve en best gedocumenteerde projecten (per typologie een relatief hoog en een relatief laag scorende) zijn uiteindelijk geselecteerd voor dit onderzoek. Voor de beoordeling van de projecten zijn de bouwplannen en hun locatie bestudeerd, naast de gegevens van MPG-, EPC- en BENG-scores.

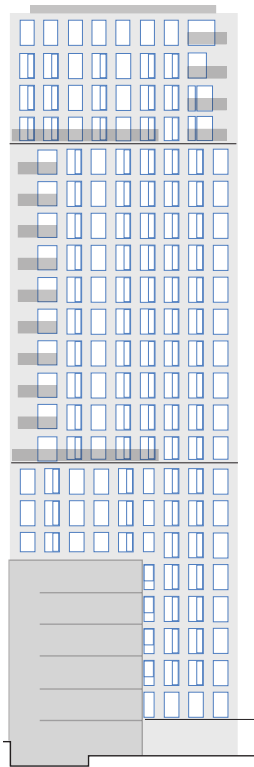
AFBEELDING 42.

Categoriseren van de casestudies naar dichtheid.

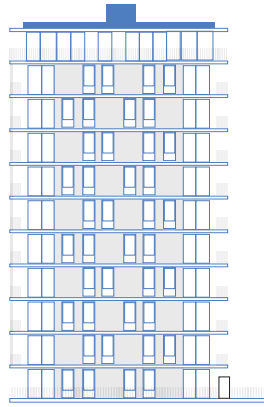
dichtheid	casestudy
 <p>hoogstedelijk meer dan 7 verdiepingen</p>	A, B, 12, 16
 <p>stedelijk tot 7 verdiepingen</p>	C, 2, 8, 10a, 11a, 17a, D, 20, 22,
 <p>laagstedelijk geschakeld of vrijstaand</p>	3, 4b, E, 5a, F, 9a, 9b, 10b, 10c, 10d, 19, 21a, 23, 24
overige	6a, 7, 13, 14, 15

AFBEELDING 43.

Gevelaanzichten van de zes geanalyseerde referentieprojecten.



Casestudy A



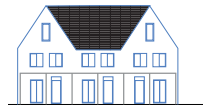
Casestudy B



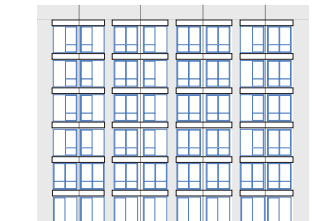
Casestudy C



Casestudy E



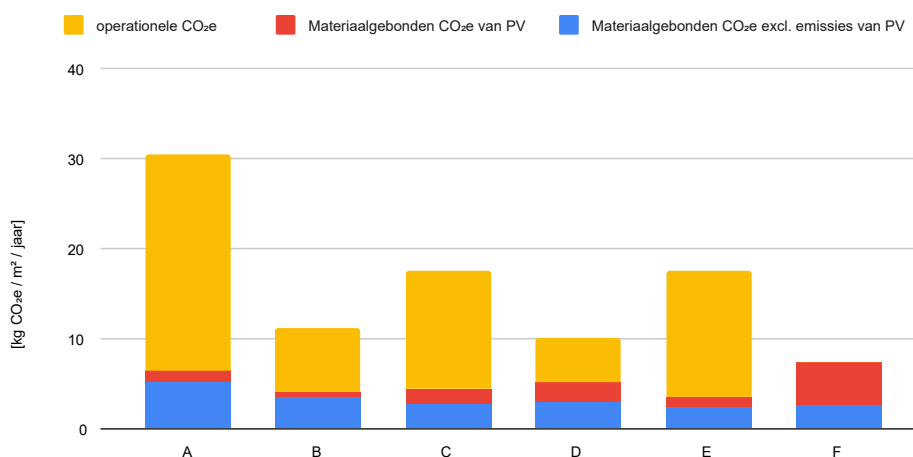
Casestudy F



Casestudy D

AFBEELDING 44.

Overzicht van de totale CO₂-emissies van de zes geselecteerde referentieprojecten.



Toelichting:

De exacte hoeveelheid embodied CO₂-uitstoot van de PV-panelen was niet te achterhalen uit de MPG-berekeningen. De exacte hoeveelheid embodied CO₂-uitstoot van het gehele gebouw is wel gegeven. De emissies van de PV-panelen zijn geschat door met eenzelfde percentage te rekenen als het aandeel in schaduwkosten van de PV-panelen in de totale MPG-score.

OPERATIONELE VS. MATERIAALGEBONDEN EMISSIES

De grafiek hierboven laat een vergelijking van de totale emissies per vierkante meter per jaar zien tussen de zes geselecteerde referentieprojecten. Er is onderscheid gemaakt tussen de materiaalgebonden emissies van het gebouw, de 'materiaalgebonden emissies' van de PV-panelen en de operationele emissies. De beiden materiaalgebonden emissies samen (in blauw en rood) vormen de basis voor de MPG-score.

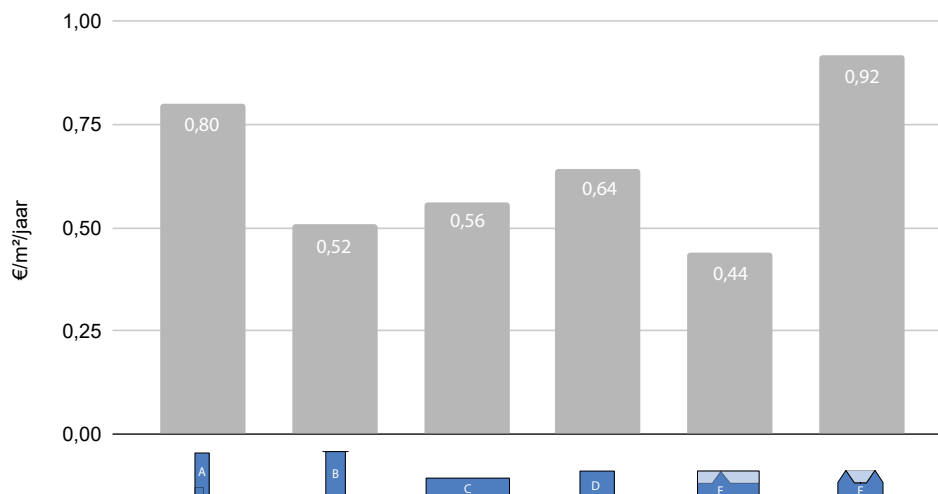
In deze grafiek wordt duidelijk dat de operationele emissies vaak hoger zijn dan materiaalgebonden emissies per jaar. Er zijn echter een aantal factoren die we hierbij niet mogen vergeten.

Hoewel de materiaalgebonden emissie als uitstoot per jaar berekend wordt, vindt bijna alle uitstoot plaats bij de bouw, dus aan het begin van de levensduur. De operationele emissies worden daarentegen gedurende de levensloop van het gebouw uitgestoten. Vaak wordt met een standaard levensduur van 75 jaar gerekend, maar er is geen garantie dat het gebouw ook daadwerkelijk 75 jaar in gebruik zal zijn. Bij een vroegtijdige sloop zullen de materiaalgebonden emissie veel hoger uitkomen wanneer er per jaar gerekend wordt.

Daarnaast is het ook belangrijk om de tijdsfactor van CO₂-uitstoot mee te nemen. Hoe langer de CO₂ in de atmosfeer aanwezig is, des te meer schade het aanricht. De hoeveelheid emissies die tijdens het bouwproces worden uitgestoten richten meer schade aan dan eenzelfde hoeveelheid emissies die over 75 jaar verspreid wordt uitgestoten.

AFBEELDING 45.

Schaduwkosten van zes geselecteerde casestudies.



METHODOLOGIE

De beschikbare informatie voor de geselecteerde referentieprojecten was niet homogeen. Desondanks is in de bovenstaande tabel een overzicht gemaakt met de beschikbare data om zo de verschillende waarden van de projecten te kunnen vergelijken.

Casestudy D heeft als enige een BENG-berekening voor de operationele emissies, terwijl in de andere projecten met EPC gerekend is. Om de BENG-score met de EPC te kunnen vergelijken, is BENG 1 (energiebehoefte) vergeleken met het primaire energieverbruik van de EPC-scores. Een beperking hierin is dat in de laatste 'niet-gebouwbonden apparatuur' meegeteld is, terwijl dit bij BENG niet het geval is. De CO₂-emissies van de BENG 2 score (fossiel energieverbruik) zijn afgetrokken en vermenigvuldigd met de gemiddelde uitstoot van het Nederlandse energienet. Hierin verwachten we dus enkele onnauwkeurigheden.

De informatie beschikbaar in de verschillende EPC-berekeningen kwam ook niet overeen. In sommige berekeningen werd gesproken van 'primaire energiegebruik', terwijl in andere berekeningen werd gesproken van 'energiegebruik voor gebouwgebonden apparatuur' en 'energiegebruik voor niet-gebouwgebonden apparatuur'. Deze zijn aan elkaar gelijkgesteld om een vergelijking mogelijk te maken.

Een andere factor waar kanttekeningen bij geplaatst moeten worden, is de subjectieve analyse van de plattegronden. Het is interessant om de levensstijlemissies mee te nemen in de analyse, omdat deze gerelateerd is aan de woonsituatie van de bewoners.

Het aantal vierkante meter per persoon neemt al jaren toe in Nederland. Niet per se omdat we in grotere huizen wonen, maar omdat de omvang van een gemiddeld huishouden kleiner wordt. Er zijn steeds meer huishoudens van een of twee personen. Is het dan niet nodig om ook nieuwe woonvormen te ontwerpen? De milieuprestatie wordt immers uitgedrukt in €/m² niet in €/persoon.

Als we dus de CO₂-uitstoot willen verminderen, moeten we niet dezelfde fout maken als de auto-industrie. Die heeft innovatie en toenemende efficiëntie van motoren ingezet om grotere auto's te bouwen, en niet om het reële verbruik omlaag te brengen. Hoe kunnen we vraag en aanbod beter bij elkaar brengen? Enerzijds kunnen we betaalbare woningen voor starters en studenten creëren die misschien met een kleine kamer voor zichzelf en gedeelde voorzieningen kunnen wonen. Anderzijds zouden we woonvormen voor empty-nesters kunnen bedenken, waarmee hun grote eengezinswoning vrijkomt voor starters met een kinderswens.

Voor dit onderzoek hebben we een schatting gemaakt van het aantal bewoners per woning, zodat we de vierkante meters per persoon kunnen bepalen. Dit is gedaan door het aantal slaapkamers in de woningen te tellen. Uiteraard zal niet elke kamer (naast de woonkamer) daadwerkelijk als slaapkamer gebruikt worden.

VERGELIJKENDE TABEL

Materiaalgebonden energie

Casestudies	A (hoogstedelijk)	B (hoogstedelijk)	C (stedelijk)	D (stedelijk)	E (laagstedelijk)	F (laagstedelijk)
MPG-score [€/m ² /jaar]	0,8	0,52	0,56	0,64	0,44	0,92
MPG-score exclusief impact van PVs [€/m ² /jaar]	0,69	0,50	0,42	0,34	0,31	0,32
Materiaalgebonden CO ₂ [kg/m ²]	480	308	345	469	263	555
Materiaalgebonden CO ₂ exclusief impact van PVs [kg/m ² /jaar]	5,1	3,5	2,6	3,0	2,5	2,6
CO ₂ e van totale MPG-score [%]	45	39	41	38	39	37
Levensduur van het gebouw toegepast in de MPG-berekening [jaar]	75	75	75	92	75	75

AFBEELDING 46.

Dataoverzicht van de zes gekozen referentieprojecten.

Energieprestatie

Casestudies	A (hoogstedelijk)	B (hoogstedelijk)	C (stedelijk)	D (stedelijk)	E (laagstedelijk)	F (laagstedelijk)
EPC-score	0,53	0,2	0,4	-	0,4	0
BENG-score [kWh/m ²]	-	-	-	9,75	-	-
Primair energieverbruik [kWh / m ² /jaar]	39	14	63	50 *	54	30
Operationele emissies [kg CO ₂ e/m ² /jaar]	24	7	13	4-5	14	0
PV / BVO	1,1%	0,6%	7,6%	12,7%	0%	29,5%
PV oppervlakte [m ²]	403	42	264	350	0	46

* alleen energiebehoefte voor verwarming en koeling

Layout

Casestudies	A (hoogstedelijk)	B (hoogstedelijk)	C (stedelijk)	D (stedelijk)	E (laagstedelijk)	F (laagstedelijk)
Gemiddeld appartement oppervlakte [m ²]	94	99	87	41	151	159
Oppervlakte van het appartement [m ²]	67-166	94-159	83-102	34-48	151	159
Geschatte aantal potentiële slaapkamers per appartement (gemiddeld)	3	3	1	1	3-4	3
Geschatte aantal potentiële inwoners per appartement (gemiddeld)	4	4	3	2	4	5
Oppervlakte per inwoner (gebaseerd op geschatte woonsituatie) [m ²]	28	38	35	21	38	32
Oppervlakte van balkon [m ²]	12-143	18-64	9-11	0-8	0	0
BVO gebruikt in MPG [m ²]	9731	6792	3466	2761	170	156

De volgende pagina's tonen een aantal vergelijkingen tussen de zes casestudies. De verschillende onderdelen van het gebouw, uitgedrukt in de S-lagen van Brand, worden een voor een beschouwd en een aantal observaties beschreven. De casestudies zijn ook gesorteerd op basis van stedelijke dichtheid (twee per dichtheid), er worden dus ook conclusies getrokken ten opzichte van de data van verschillende dichtheden.

ONTLEDEN VAN VERSCHILLENDE GEBOUWONDERDELEN

De MPG-score is een cumulatieve score die de materiaalgebonden emissies van bouwproducten en processen toont. Als ontwerper is het echter interessanter om in detail te zien wat de consequenties zijn bij bepaalde ontwerpbeslissingen. We hebben daarom de data van de zes casestudies op de volgende manier geherstructureerd:

De eerste figuren hieronder tonen de MPG-resultaten zoals deze normaliter worden weergegeven. Dat is handig qua invoer, maar voor een ontwerper zou het nog interessanter zijn om te weten waar exact de grootste milieu-impact vandaan komt. De categorie 'vloeren' is bijvoorbeeld verantwoordelijk voor 38,9 procent van de milieu-impact, maar zit dit bijvoorbeeld in het dragende deel, de dekvloer of de afwerkvloer? De tweede afbeelding toont een meer gedetailleerde versie van dezelfde MPG-data.

Gevel	Casestudies	A (hoogstedelijk)	B (hoogstedelijk)	C (stedelijk)	D (stedelijk)	E (laagstedelijk)	F (laagstedelijk)
	Raam U waarde [W/m ² ·K]	1,32	1,30	1,1	ca, 1,1	1,6	1,6
	Dichte geveldelen Rc waarde [m ² ·K/W]	4,5	4,5	4,5	5,5	4,5	4,5
	Open vs dicht *						
	Glas type	Drievoudigglas	HR+ dubbel + 5m ² glazen deuren	HR dubbel	HR++ dubbel	HR++ dubbel	HR++ dubbel
	Glas oppervlakte [m ²]	3502	1162	870	482	14	17,4
	Type gevelbekleding	Baksteen	Baksteen	Baksteen	Hout	60% baksteen+ 40% hout	70% Baksteen+ 30% Hout
	Oppervlakte gevelbekleding [m ²]	3618	1797	1407	800	115	165
	Totale oppervlakte glas + gevelbekleding [m ²]	7120	2959	2277	1282	129	183
	Verhouding glas / (totaal glas + gevelbekleding) [%]	49,2%	39,3%	38,2%	37,6%	10,9%	9,5%
	Vormfactor (gevel / BVO)	0,73	0,44	0,66	0,46	0,76	1,17

AFBEELDING 47.

Dataoverzicht van de zes gekozen referentieprojecten.

Draagstructuur	Casestudies	A (hoogstedelijk)	B (hoogstedelijk)	C (stedelijk)	D (stedelijk)	E (laagstedelijk)	F (laagstedelijk)
	Constructief materiaal	beton (meestal) + HSB	beton	kalkzandsteen + HSB + beton	CLT (meestal) + beton	kalkzandsteen + HSB + beton	kalkzandsteen + beton

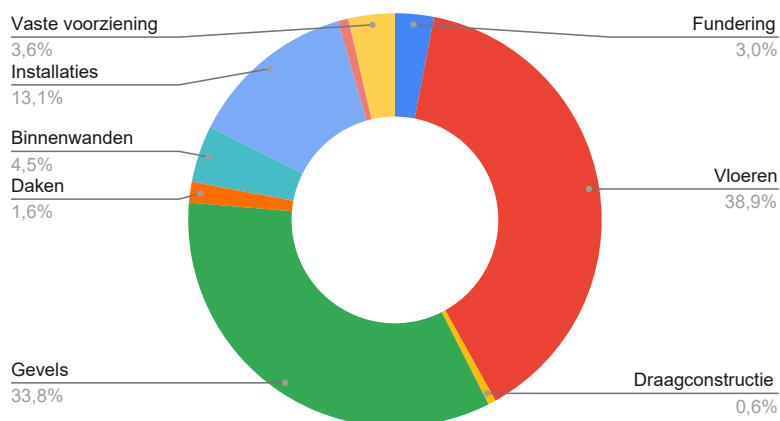
Installaties	Casestudies	A (hoogstedelijk)	B (hoogstedelijk)	C (stedelijk)	D (stedelijk)	E (laagstedelijk)	F (laagstedelijk)
	Warmtepomp			X	X	X	X
	Warmtelevering extern	X	X				
	Warmtapwater levering extern	X	X				
	E-boiler			X		X	X
	Warmtedistributie leidingen		X	X	X	X	X
	Vloerverwarming	X		X	X	X	X
	Wandverwarming						
	Vloerkoeling	X			X		
	WTW unit		X				
	Luchtdistributie toe- en afvoer		X				
	Ventilatie type D	X			X		
	Ventilatie type C			X		X	
	Balansventilatie kanalen	X					
	Koelmachine	X					

REORGANISEREN VAN DE MPG-SCORE

Voor dit onderzoek hebben wij de milieu-impact opnieuw georganiseerd volgens de S-lagen van Steward Brand. Dit laat de impact zien van de verschillende architectonische delen van een gebouw en komt ook beter overeen met de verschillende expertises die in een ontwerpteam aanwezig zijn (architect, constructeur, installateur). Tevens verschilt ook de typische levensduur per gebouwonderdeel.

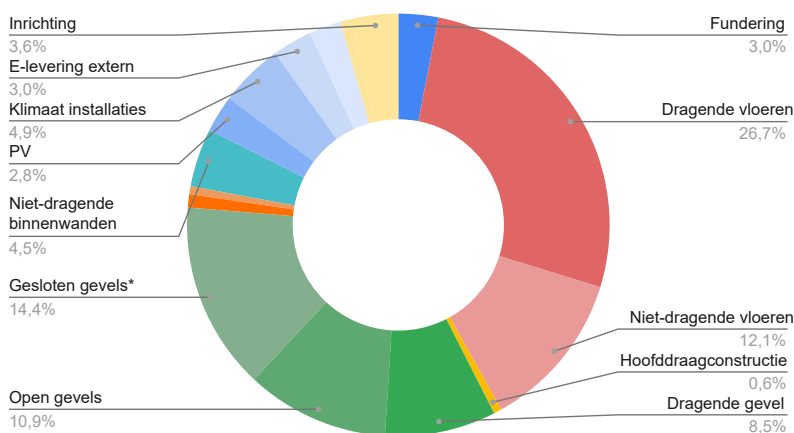
AFBEELDING 48.

MPG-score per onderdeel zoals weergegeven in een standaard MPG-berekening.



AFBEELDING 49.

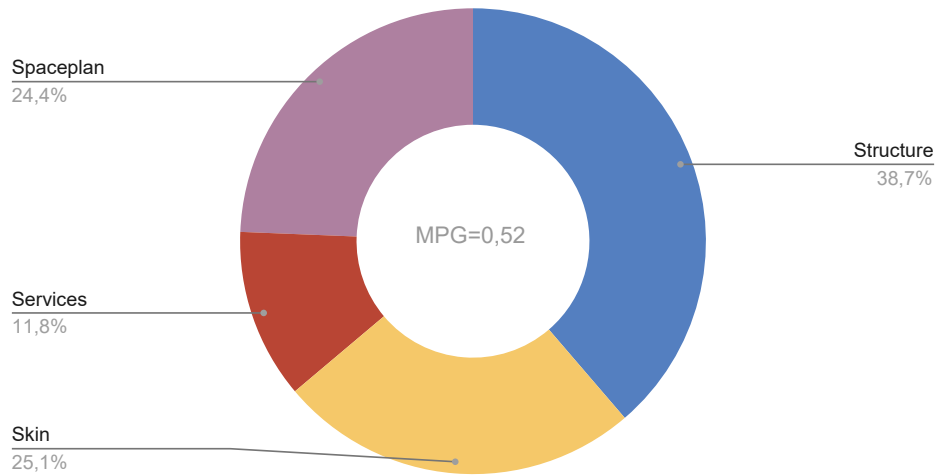
MPG-score per onderdeel weergegeven in een gedetailleerd overzicht.



De levensduur is van belang, omdat zij informatie geeft over terugkerende emissies. Sommige producten worden eenmalig toegepast en hebben weinig onderhoud of reparaties nodig (bijvoorbeeld constructieve onderdelen in een woongebouw), terwijl andere onderdelen een korte levensduur hebben (meerdere reparaties of zelfs vervangingen zijn nodig). Informatie over de levensduur van producten is ook te vinden in de individuele EPD. Het is echter vaak moeizaam om deze data op te zoeken en met elkaar te vergelijken. De verschillende lagen van Steward Brand geven een ruwe indicatie zonder te diep in te gaan op verdere details van gebouwonderdelen.

AFBEELDING 51.

MPG-score ingedeeld naar de S-lagen van Stewart Brand.

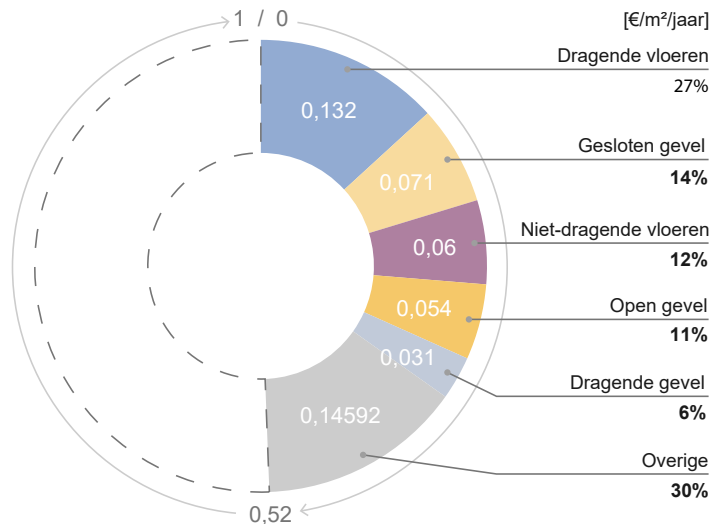


Naast de indeling in verschillende S-lagen zijn twee overige grafieken beoordeeld: de vijf gebouwonderdelen met de grootste milieu-impact en de verschillende levenscyclusfasen.

Onderstaande grafiek met de vijf grootste uitstoters laat zien welke producten de grootste bijdrage leveren aan de milieu-impact. De grafiek toont de effecten in de eenheid van de MPG-score, €/m²/jaar, in relatie tot een MPG-score van 1. Op die manier kunnen we de absolute aantallen van verschillende projecten met elkaar vergelijken.

AFBEELDING 50.

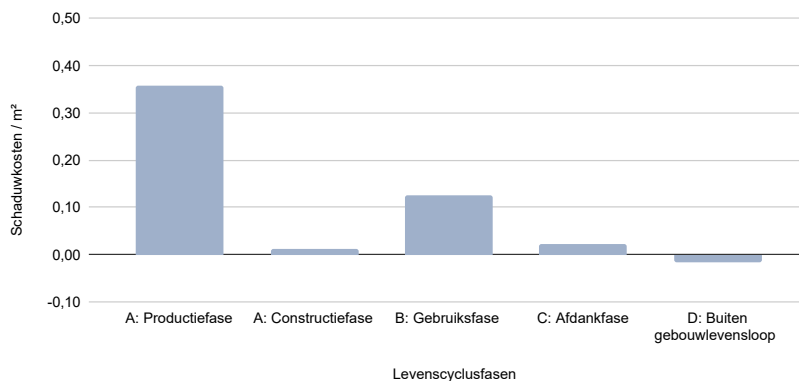
MPG-score van de vijf gebouwdelen die de grootste uitstoot veroorzaken.



De emissies per levenscyclusfase, weergegeven in onderstaande staafdiagram (productie-, constructie-, gebruik- en afdankfase) is informatie die tevens uit een MPG-berekening gehaald kan worden. Zoals in de inleiding is vermeld, is het goed om te weten wanneer tijdens de levensduur van een gebouwonderdeel emissies plaatsvinden. De CO₂-impact komt voort uit de producten en hun levensduur. Gevelonderdelen en installaties hebben bijvoorbeeld grote emissies in de gebruiksfase (veel onderhoud nodig), terwijl de emissies van een draagconstructie bijna allemaal in de productiefase plaatsvinden.

AFBEELDING 52.

MPG-score per levenscyclusfase.



DE ROL EN IMPACT VAN PV-PANELEN.

Uit de analyse blijkt dat PV-panelen een grote impact hebben op de MPG-score. De materiaalgebonden emissies van PV-panelen is naar verhouding zeer groot en de levensduur is vrij kort, namelijk 25 jaar. Een MPG-score kan gemakkelijk met 30 procent of meer stijgen als PV-panelen meegenomen worden in de berekening.

PV-panelen wekken echter hernieuwbare energie op die zogenaamde grijze energie kan vervangen. Grijze energie wordt normaal gesproken geleverd door het net waar alle gebouwen op aangesloten zitten. De terugverdientijd van PV-panelen (gezien vanuit de CO₂-balans) is doorgaans minder dan twee jaar. In andere woorden: de investering van materiaalgebonden emissies wordt terugverdiend door de duurzame energie die het produceert. PV-panelen hebben daardoor een zogeheten positieve CO₂-balans.

De toepassing van PV-panelen moet echter niet leiden tot een gebrek aan inspanning op andere vlakken. De ontwerper moet altijd slimme keuzes maken ten aanzien van de energie die verbruikt wordt. Allereerst de energievraag verminderen, ten tweede efficiënt omgaan met energie en ten derde duurzame energie opwekken.

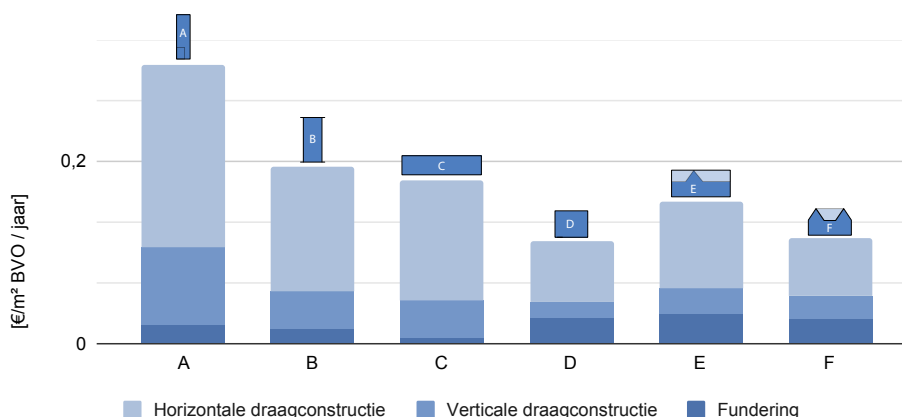
Het is goed om te weten dat PV-panelen zowel in de MPG-, EPC- en BENG-score gekwantificeerd worden: het aantal PV-panelen dat nodig is om de vereiste EPC- of BENG-score te behalen, is ook input voor de MPG-score.

De milieu-impact van PV-panelen moet altijd uitgelegd worden door de materiaalgebonden emissies te vergelijken met de operationele emissies. De MPG-score is wellicht erg hoog en lijkt daardoor niet gunstig ten aanzien van CO₂-impact. Als echter een groot deel afkomstig is van PV-panelen, kan geconcludeerd worden dat het gebouw wel degelijk een gunstige CO₂-balans heeft.

VERGELIJKINGEN PER LAAG

AFBEELDING 53.

Draagstructuur
vergelijking van de zes
casestudies.



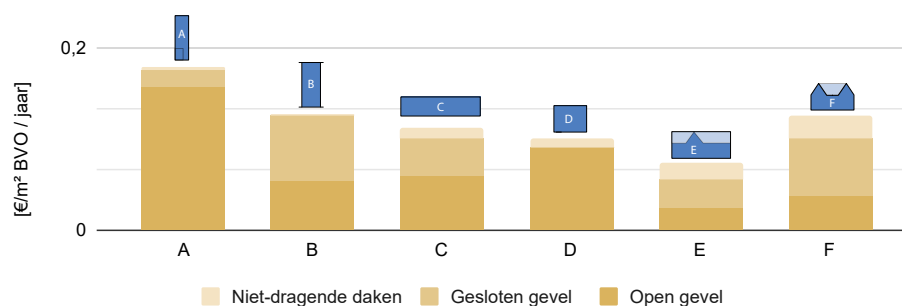
STRUCTURE (DRAAGCONSTRUCTIE)

Het grootste onderdeel qua massa en emissies is de draagstructuur van een gebouw. Alleen PV-panelen hebben een hogere materiaalgebonden emissies. De gemiddelde milieu-impact van dragende vloeren is 23 procent van de totale CO₂-uitstoot.

Er kan geconstateerd worden dat vooral constructieve vloeren een groter aandeel hebben in de totale emissies bij hoogbouwprojecten, zo is te zien in casestudies A en B. Dit heeft te maken met dikkere vloeren, waarschijnlijk vanwege grotere overspanning en toenemende windbelasting. De fundering heeft vooral impact op laagbouwprojecten, omdat hier relatief veel oppervlaktefundering in verhouding tot de bruikbare vloeroppervlakte nodig is. Alleen cases B en C hebben geen paalfundering, maar staan op balken (B) of een plaat en kelder (C). Geen van de casestudies hebben een constructief skelet van kolommen en liggers. In plaats daarvan was sprake van een schijf- en vloerenstructuur.

AFBEELDING 54.

Gevelvergelijking van
de zes casestudies.

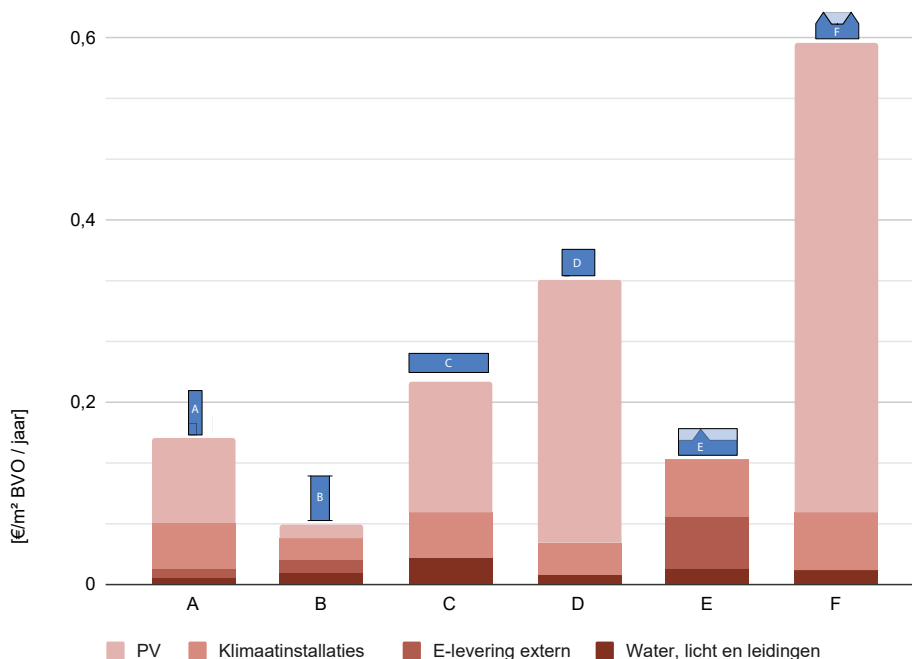


SKIN (GEVEL)

In de gevel zijn de meeste emissies duidelijk afkomstig van de transparante delen. De gevel heeft gemiddeld de op een na hoogste milieu-impact, na de draagconstructie. In casestudy A is deze verdeling bijvoorbeeld duidelijk zichtbaar. Cases E en F hebben een kleinere verhouding van open tot gesloten geveldelen en daardoor een lagere milieu-impact van beglazing. Het gebruik van baksteen heeft een vrij negatieve invloed op de MPG-score. Als in plaats hiervan hout gebruikt wordt, heeft dit een positieve impact, ondanks de kortere levensduur en de behoefte aan onderhoud en reparaties (cases D en E). Aanvullend hierop heeft het type baksteenproduct dat wordt gekozen ook impact op de totale emissies. We bespreken de redenen hiervoor in de volgende pagina's.

AFBEELDING 56.

Installaties vergelijking van de zes casestudies.

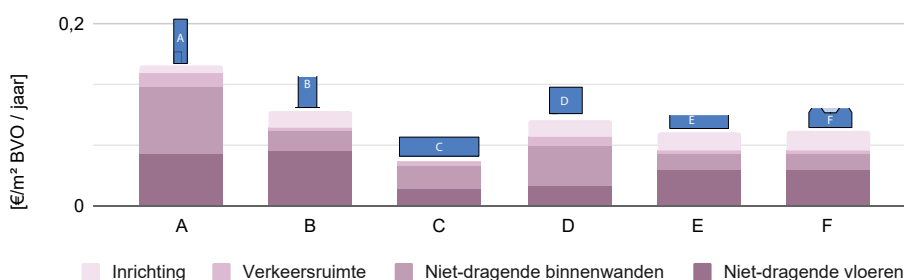


SERVICES (INSTALLATIES)

De grootste milieu-impact van alle gebouwonderdelen is afkomstig van PV-panelen, zoals eerder besproken. Andere belangrijke observaties hebben betrekking op de mogelijke installaties. Er zijn verschillende toepassingen voor het binnenklimaat en warmtelevering van een gebouw. Daarom kan er geen specifiek onderdeel aangewezen worden met de hoogste emissies. 'Externe energie' toont de impact van materialen die worden gebruikt in het energienet en energieopwekkende apparaten, zoals windmolens. Wanneer het verbruik van die bronnen (elektriciteit en stadsverwarming) wordt toegepast in een project, wordt hun impact ingevoerd in de MPG. Voor het project E (rijtjeswoning) is de impact zichtbaar.

AFBEELDING 55.

Plattegrond vergelijking van de zes casestudies.



SPACE PLAN (PLATTEGROND)

De niet-dragende vloeren zijn gemiddeld verantwoordelijk voor vijf tot zes procent van de totale milieu-impact. Wanneer gedetailleerder gekeken wordt naar de toegepaste producten, zien we dat de dekvloer (zandcementdekvloer) de grootste bijdrage levert. Een zandcementvloer wordt in het bouwwerk gestort, wat ook de demonteerbaarheid van de vloer en andere componenten vermindert (bijvoorbeeld constructieve vloerplaten en wanden). Wat betreft de niet-constructieve wanden is bij project A te zien dat meer dan zeven procent van de impact in metalstudwanden met gipsplaten zit. Dit komt door de korte levensduur van het product (25 jaar vergeleken met gipsblokken met een levensduur van 60 jaar). Sanitaire- en keukencomponenten hebben een zeer vergelijkbare impact in alle casestudies. De reden: in de NMD zijn er (in versie 2.3) maar een paar opties om uit te kiezen.

SCHADUWKOSTEN IN DE S-LAGEN VAN BRAND

De verschillende kleuren in de grafieken op de volgende pagina's tonen de verdeling van de milieukosten (exclusief de impact van PV). Een hele cirkel staat gelijk aan een MPG-score van 1. Dit laat zien wat het relatieve verschil is per casestudy tussen de verschillende lagen (wat is het verschil in impact tussen draagstructuur en services), maar ook wat het absolute verschil is per laag (wat is de impact van de draagstructuur bij case A versus case B).

Wat opvalt is dat de twee hoogbouwprojecten (A en B) een relatief hoge totale score hebben van 0,5 en 0,69. In beide projecten heeft de draagstructuur een grote impact. Dit komt omdat de vloeren vrij dik zijn en van beton zijn gemaakt.

De vier andere projecten (C, D, E en F) hebben een vergelijkbare algemene MPG-score tussen de 0,34 en 0,42 (exclusief PV). Per case bestaan echter grote verschillen tussen de verschillende lagen. Case C bijvoorbeeld heeft een draagstructuur met een impact vergelijkbaar met de twee hoogbouwprojecten. Case C en E scoren vrij hoog in de categorie installaties (exclusief PV). Er is geen duidelijke reden hiervoor aan te wijzen, omdat de wisselwerking tussen de installaties, de materialen en de configuratie van een gebouw vrij complex is. Dit vraagt om meer onderzoek en ook een vergelijking tussen de operationale energiestaat en de materiaalgebonden emissies.

Case E scoort vrij laag wat betreft de gebouwschil, wat vooral aan de kleine maat van de gevelopeningen ligt en aan de houten gevelbekleding. Case C heeft een veel lagere score in de categorie plattegrond, omdat keukens en badkamers uit de berekening zijn gehouden.

In de volgende hoofdstukken gaan we dieper in op de specifieke lagen en beschrijven we elk project in meer detail.

TOP 5 GROOTSTE EMISSIES

Welke materialen of elementen zijn de grootste boosdoeners? Zitten de grootste emissies altijd in hetzelfde deel? Afbeelding 58 op pagina 69 toont de grootste emissies per project op basis van de gedetailleerdere categorisering.

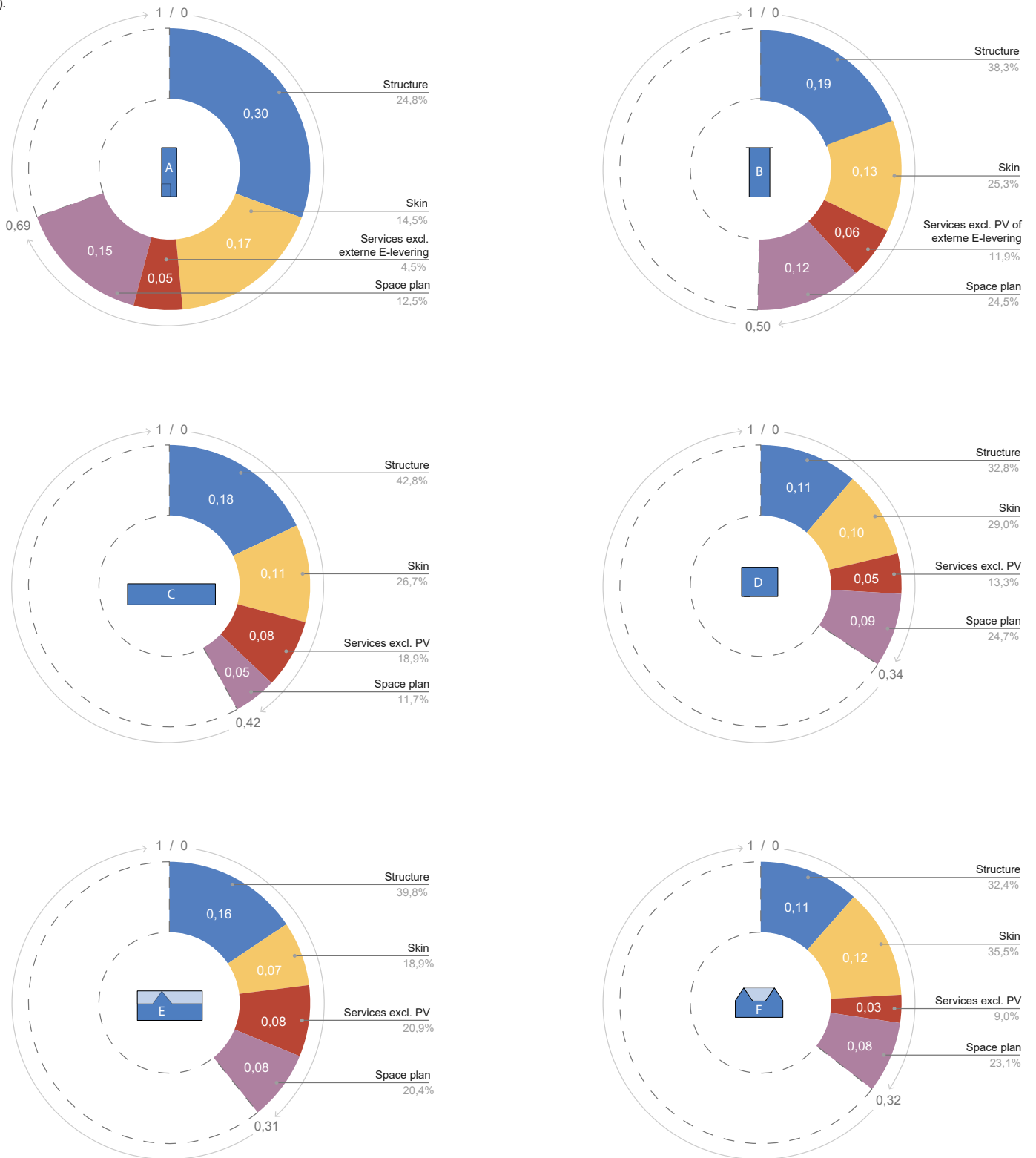
Ten eerste valt de grote impact van PV (in deze vergelijking wel meegenomen) op. In drie van de zes cases staan de zonnepanelen op één, in vier van de zes binnen de top 5. In case A en B (hoogbouw) staan de dragende vloeren duidelijk op één. De reden hiervoor is het materiaal en de grotere dikte van de vloeren ten opzichte van andere cases. Bij de hoogbouw zijn hogere horizontale krachten (windlast) en grotere overspanningen waarschijnlijke redenen hiervoor. Case C heeft een vergelijkbare absolute impact van de dragende vloeren. Deze impact wordt echter door de zonnepanelen omlaag geduwd.

De open geveldelen staan ook hoog in de vergelijking, vooral bij de hoog- en midden-hoogbouwprojecten, vanwege vrij royale gevelopeningen. In case A maken die 49 procent van de gehele gevel uit en zijn deze in triple glas tot en met 24 mm dikte uitgevoerd. Ter vergelijking: case B heeft 39 procent open gevel en dubbel glas (16 mm). Het is aan te nemen dat de gesloten geveldelen het gebouw beter isoleren, waardoor de ramen met een lagere isolatiewaarde voldoen. Case E en F hebben in totaal minder openingen en gebruiken deels hout in plaats van baksteen voor de gesloten delen. Ze hebben echter ook in totaal meer oppervlakte in verhouding tot het volume dat terug komt in een algemeen gelijkmatigere verdeling van de milieu-impact. Case E gebruikt het minste glas en baksteen.

Een ander hoge uitstootbron zijn de niet-dragende vloeren. Gemiddeld genomen over alle zes de cases is het aandeel 0,04€/m²/jaar, wat op circa negen procent van de totale MPG-score (exclusief PV) uitkomt.

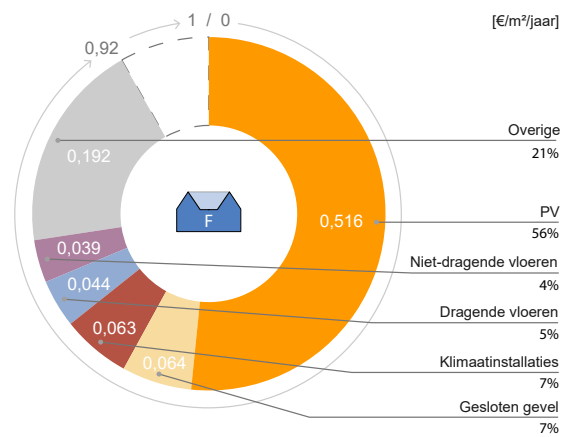
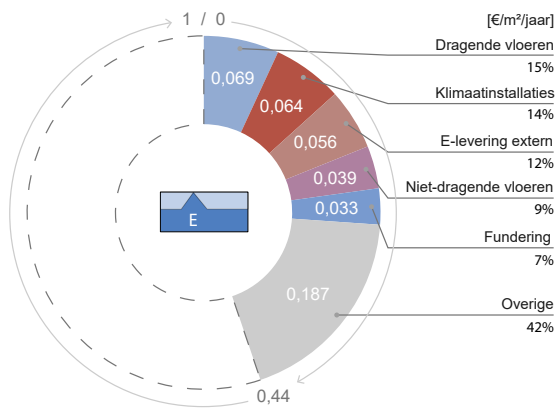
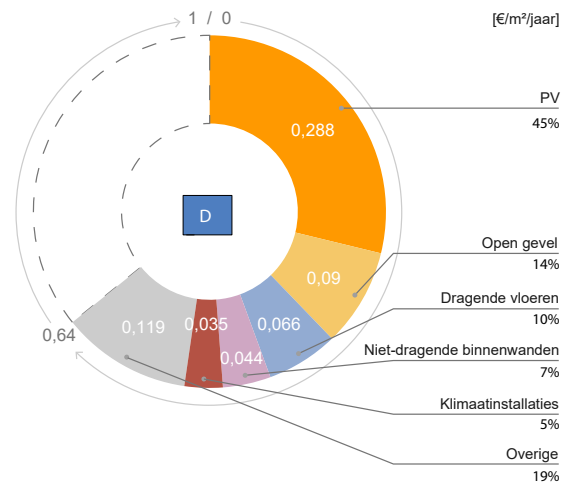
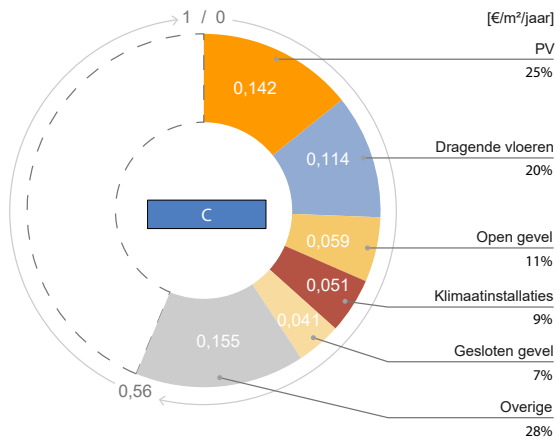
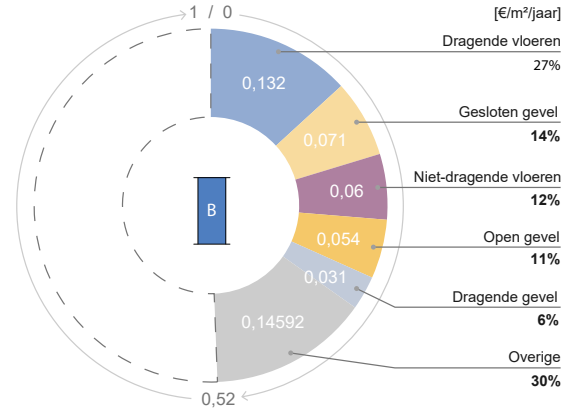
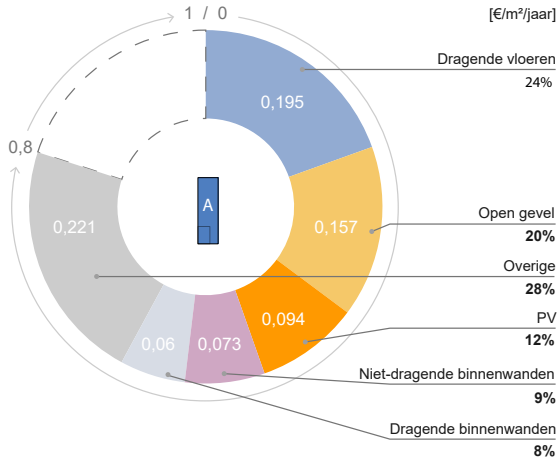
AFBEELDING 57.

Schaduwkosten ingedeeld in de S-lagen van Brand (excl. materiaalgebonden milieueffect van PV).



AFBEELDING 58.

De top 5 grootste emissies van de geanalyseerde referentieprojecten.



LEVENSCYCLUSFASES

De schaduwkosten per levenscyclusfase worden vergeleken in afbeelding 59 op pagina 71. We zien dat de verdeling vrij vergelijkbaar is. De meeste emissies vallen in de productiefase. In de MPG-methodologie omvat deze fase alleen de initiële constructie. Een betonnen draagstructuur valt bijvoorbeeld volledig in deze fase, omdat ze over de gehele levensduur van 75 jaar blijft staan. Als een product echter vervangen wordt tijdens de gebruiksfase, dan worden de emissies aan de gebruiksfase toegerekend. Het gebruik van elementen met hoge emissies en een korte levensduur verhogen dus de emissies in de gebruiksfase. Het verlengen van de levensduur van het gebouw als geheel draagt dan ook niet bij aan de vermindering van de MPG-score. Voorbeelden hiervan zijn PV-panelen of gevelglas.

De constructie- en afdankfase toont vrij weinig emissies. De afdankfase toont soms zelfs negatieve emissies, bijvoorbeeld als materialen verbrand worden en energie gewonnen wordt (thermische recycling) of ze op een andere manier emissies kunnen voorkomen. Dit betreft dan fase D: buiten gebouwlevensloop.

MILIEUEFFECTEN

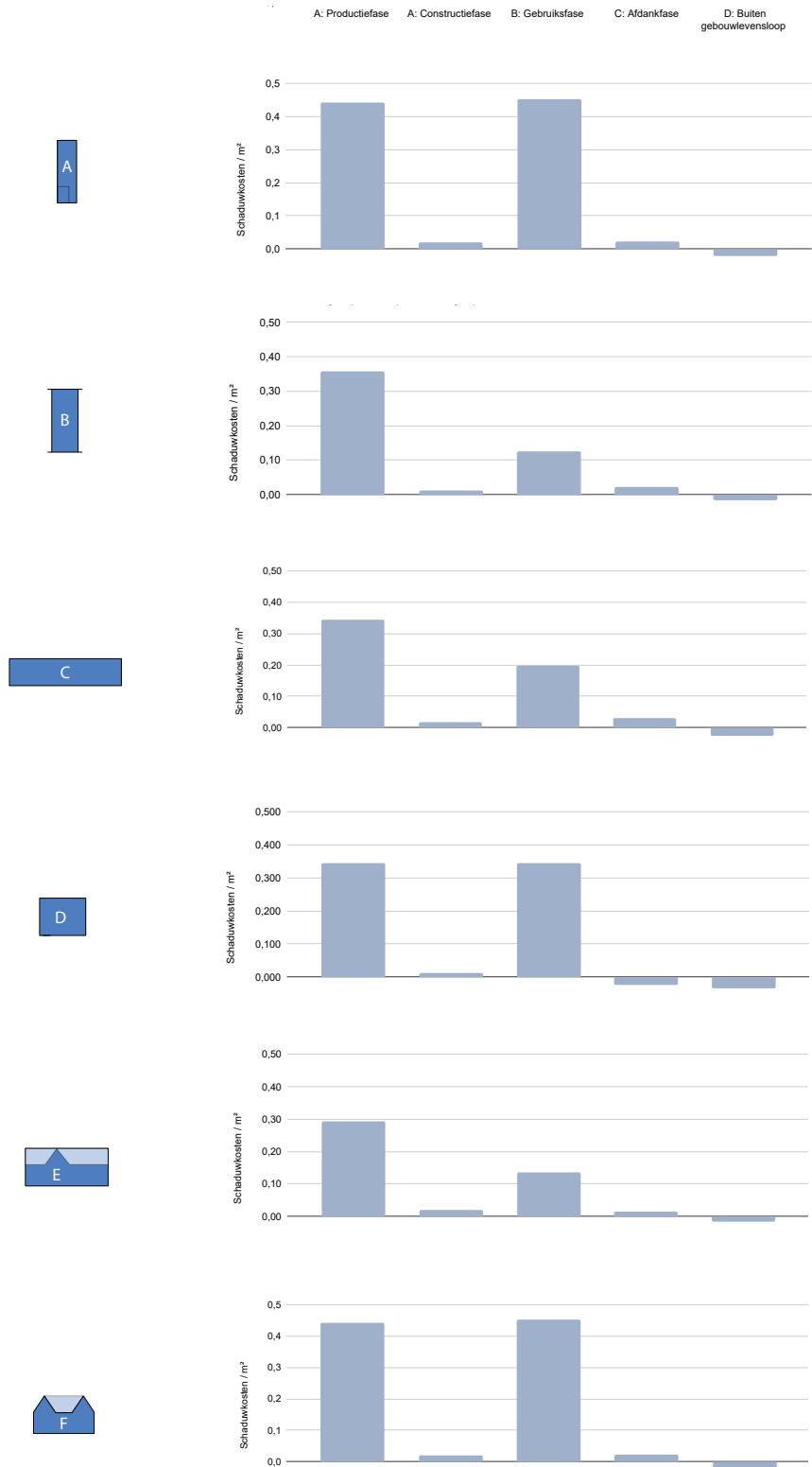
(volgende pagina)

Afbeelding 60 op pagina 72 toont de verschillende milieueffecten per casus zoals aangeven in de MPG. Bij elkaar opgeteld zijn dit de schaduwkosten van het gebouw per vierkante meter per jaar. Onze voornaamste interesse in dit onderzoek is het global warming potential (GWP), dat uitgedrukt wordt in CO₂-equivalenten. Dit is niet alleen de uitstoot van CO₂, maar bijvoorbeeld ook methaan, dat ook een broeikasgas is. CO₂ dat hoog in de atmosfeer uitgestoten wordt, telt zwaarder mee.

Gemiddeld ligt het GWP bij onze cases rond de veertig procent, net als bij de longlist van 24 cases. Dit geeft de mogelijkheid de verschillende cases aan de hand van hun MPG-score te vergelijken, ook al is dat niet precies hetzelfde als de daadwerkelijke CO₂-uitstoot.

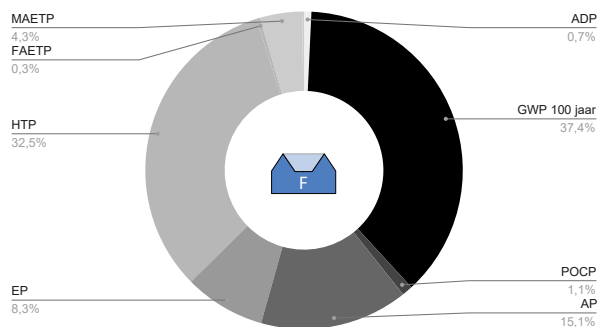
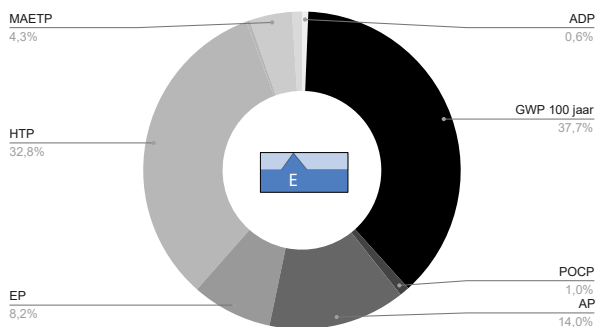
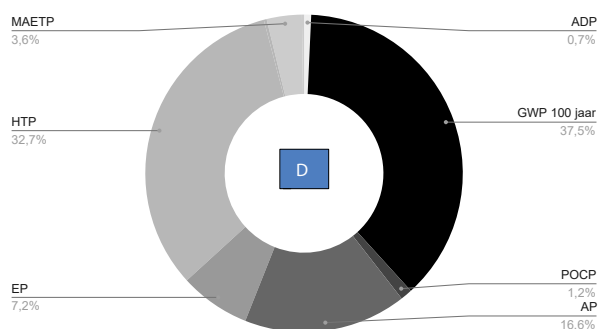
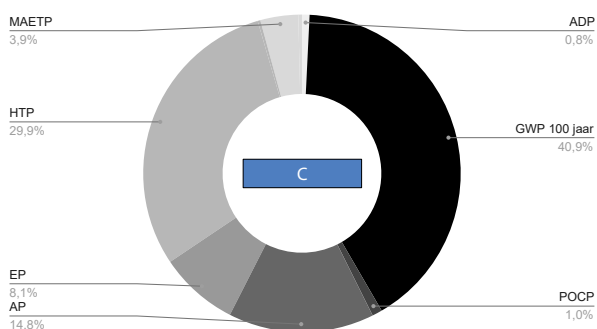
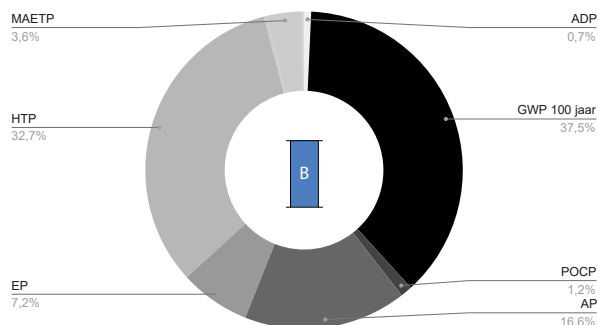
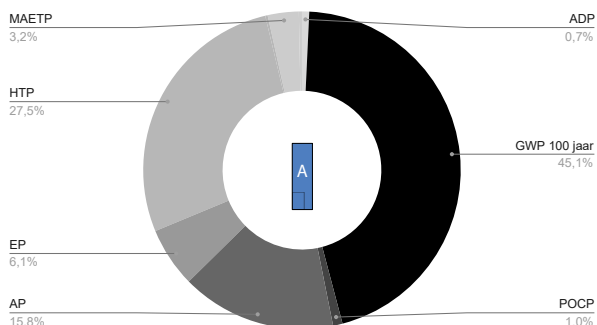
AFBEELDING 59.

Schaduwkosten per levenscyclusfase.



AFBEELDING 60.

Milieueffecten van de geanalyseerde referentieprojecten.



MILIEUEFFECTEN IN DE MPG

- GWP 100 jaar - Klimaatverandering
- POCP - Fotochemische oxidantvorming
- AP - Verzuring
- EP - Vermesting
- HTP - Humane toxiciteit
- FAETP - Zoetwater aquatische ecotoxiciteit
- MAETP - Mariene aquatische ecotoxiciteit
- ADP - Uitputting abiotische grondstoffen (exclusief fossiele energiedragers)
- ADP - Uitputting fossiele energiedragers
- ODP - Aantasting ozonlaag
- TETP - Terrestrische ecotoxiciteit

CASESTUDY A – HOOGBOUW

Dit referentieproject betreft een woontoren van 22 lagen. Op de begane grond en eerste verdieping zijn ook bergingen toegepast. Daarnaast zijn hier ook commerciële ruimten. De woontoren is onderdeel van een groter complex waar ook parkeerplekken en groenvoorzieningen voorkomen op de lagere verdiepinglagen.

De appartementen in dit gebouw hebben een vloeroppervlakte tussen 67 en 166 m², exclusief de buitenruimten, die een vloeroppervlakte hebben tussen 12 en 143 m². Het gemiddelde appartement heeft ongeveer drie slaapkamers. De oppervlakte per vierkante meter woonruimte per persoon komt neer op 28 m², uitgaande van vier bewoners per appartement.

Het materiaal van de hoofddraagconstructie is beton. Alle verdiepingvloeren, dakvloer en dragende binnenwanden zijn opgebouwd uit beton. Ongeveer de helft van de buitenwanden is ook van beton, terwijl de andere helft uit houtskeletbouwelementen is opgebouwd.

AFBEELDING 61.

Dataoverzicht van referentieproject A.

Materiaalgebonden energie	
MPG-score [€/m ² /jaar]	0,8
MPG-score exclusief impact van PVs [€/m ² /jaar]	0,69
Materiaalgebonden CO ₂ [kg/m ²]	480
Materiaalgebonden CO ₂ exclusief impact van PVs [kg/m ² /jaar]	5,1
% CO ₂ e van totale MPG-score	45
Levensduur van het gebouw toegepast in de MPG-berekening [jaar]	75

Energieprestatie	
EPC-score	0,53
Primair energieverbruik [kWh/m ² /jaar]	39
Operationele emissies [kgCO ₂ e/m ² /jaar]	24
PV / BVO	4,14%
PV oppervlakte [m ²]	403

Layout	
Gemiddeld oppervlakte appartement [m ²]	94
Oppervlakte van het appartement [m ²]	67-166
Oppervlakte van balkon [m ²]	12-143
Geschatte aantal potentiële slaapkamers per appartement (gemiddeld)	3
Geschatte aantal potentiële inwoners per appartement (gemiddeld)	4
Oppervlakte per inwoner (gebaseerd op geschatte woonsituatie) [m ²]	28
BVO gebruikt in MPG	9731

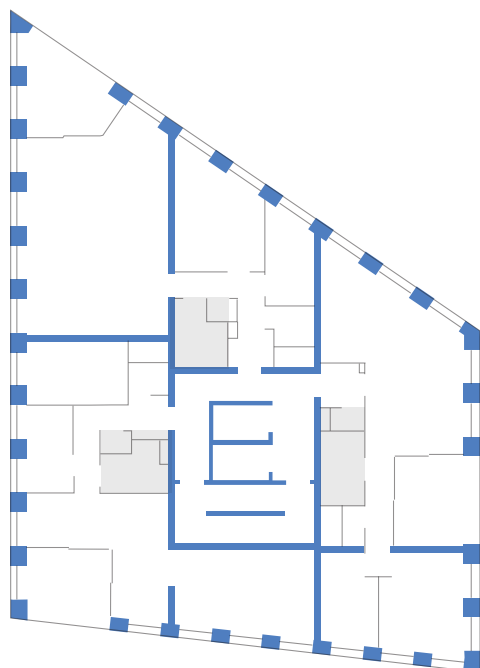
Gevel	
Raam U waarde [W/m ² -K]	1,32
Dichte geveldelen Rc waarde [m ² -K/W]	4,5
Open vs dicht *	
Glas type	Drievoudigglas
Glas oppervlakte [m ²]	3502
Type gevelbekleding	Baksteen
Oppervlakte gevelbekleding [m ²]	3618
Totale oppervlakte glas + gevelbekleding [m ²]	7120
Glas / (Totaal glas + gevelbekleding) [%]	49,2%

Draagstructuur	
Constructief materiaal	beton (meestal) + HSB

Installaties	
Warmtepomp	
Warmtelevering extern	X
Warmtapwater levering extern	X
E-boiler	
Warmtedistributie leidingen	
Vloerverwarming	X
Wandverwarming	
Vloerkoeling	X
WTW unit	
Luchtdistributie toe- en afvoer	
Ventilatie type D	X
Ventilatie type C	
Balansventilatie kanalen	X
Koelmachine	X

AFBEELDING 62.

Plattegrond referentieproject A.

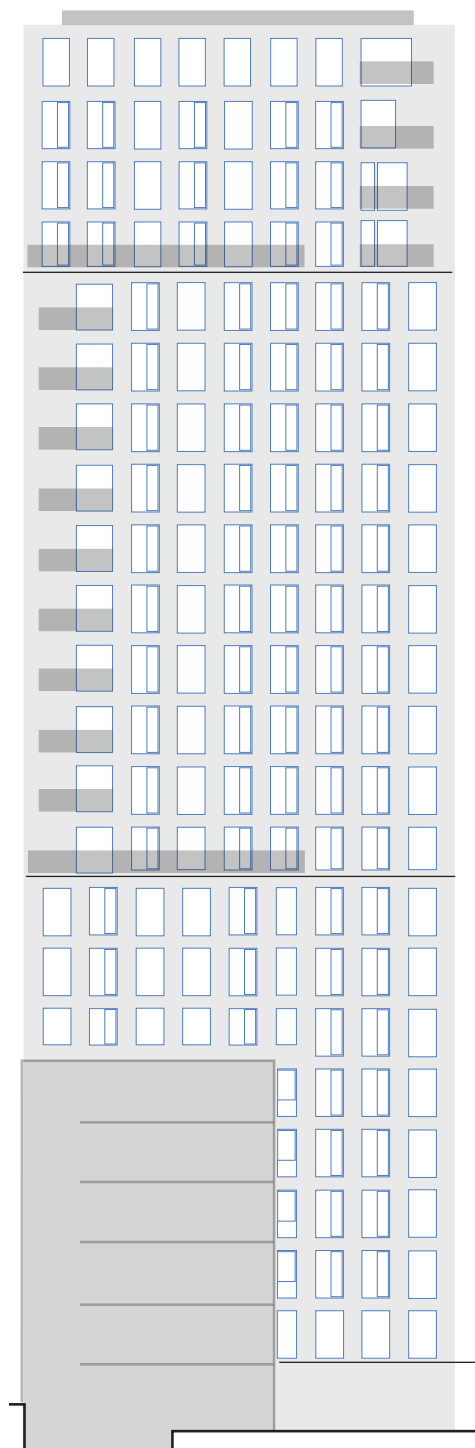


Dit referentieproject heeft een hoge MPG- en EPC-score. Alhoewel PV-panelen duurzame energie produceren, is de energieconsumptie van fossiele brandstoffen 24 kg CO₂e per vierkante meter: dit is het hoogste van alle referentieprojecten. De verhouding tussen het totale bruikbare vloeroppervlak en de toegepaste vierkante meters PV-panelen is laag: dit is logisch bij hoogbouwprojecten, omdat het dakoppervlak vaak klein is.

In de categorieën draagstructuur, gevel en plattegrond zijn de schaduwkosten hoger dan bij de andere referentieprojecten. De grootste impact is afkomstig van de draagconstructie. Het gekozen materiaal (beton) en de dikte van de vloer is de belangrijkste oorzaak hiervan, vergelijkbaar met referentieproject B.

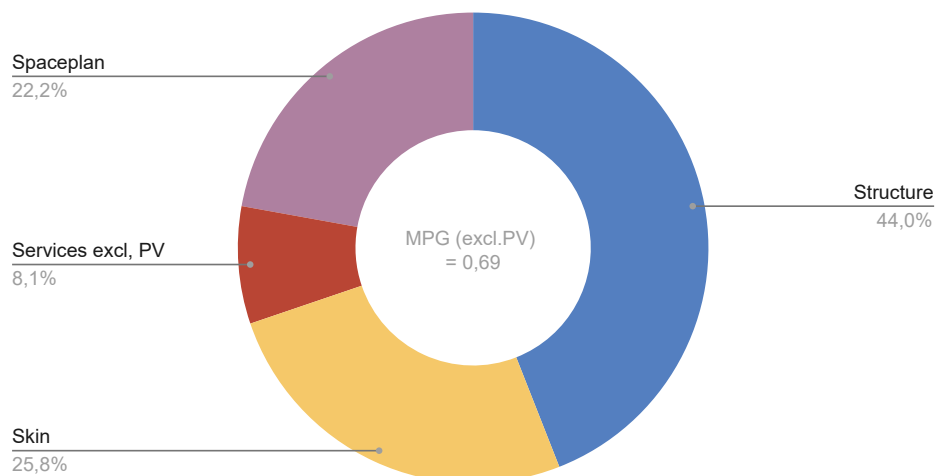
AFBEELDING 63.

Gevel referentieproject A.



AFBEELDING 64.

MPG-score onderverdeeld naar de S-lagen exclusief PV-panelen.



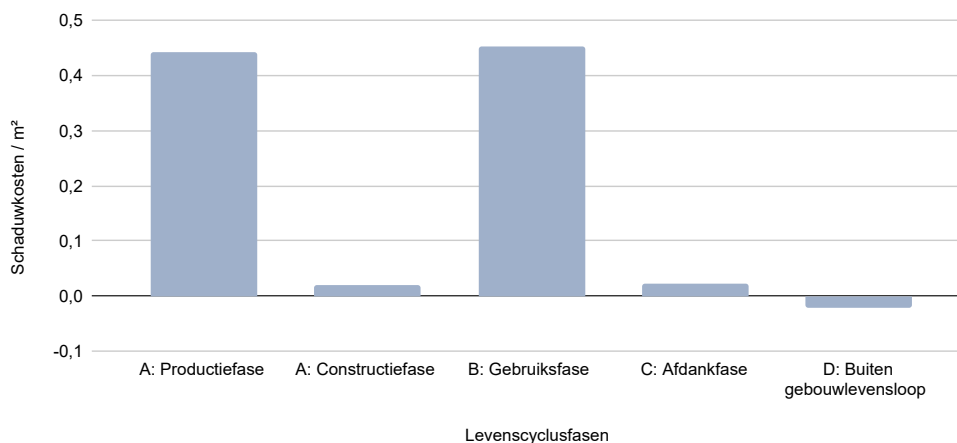
Net zoals case B heeft dit gebouw vrij dikke dragende vloeren, waardoor dit de grootste individuele bijdrage van een element is. De reden is waarschijnlijk een hogere horizontale belasting door wind en mogelijk grotere overspanningen.

We zien ook een grote invloed van de open geveldelen. Dit project heeft vrij royale raampartijen. Ook is het glas driedubbel om aan de algehele gevelisolatie-eisen te voldoen.

Het zou interessant zijn om in een verdere studie de energieberekeningen gedetailleerd te vergelijken met de materiaalberekeningen om te zien hoe de raampartijen geoptimaliseerd kunnen worden ten opzichte van daglichttoetreding, de relatie tussen binnen/buiten, zonwering etc. Misschien is het ook mogelijk de derde laag glas te vervangen door een ander element, zoals een folie of vulling.

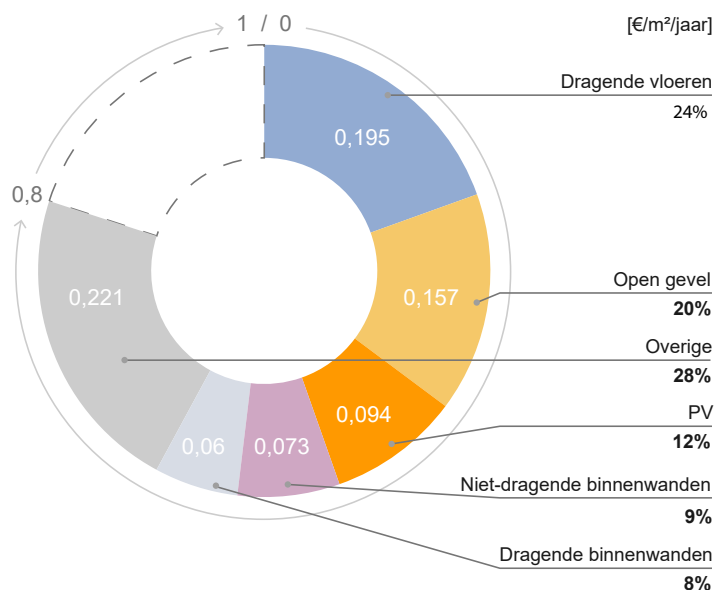
AFBEELDING 65.

MPG-score per levenscyclusfase.



AFBEELDING 66.

MPG-score van de vijf gebouwdelen die de grootste uitstoot veroorzaken.



De niet-dragende wanden hebben een hoge CO₂-impact. De toegepaste metalstudwanden in referentieproject A bevatten ongeveer zes procent CO₂-impact van de totale impact. In referentieproject E zijn gipsblokken toegepast, hier was het aandeel CO₂-impact op de totale impact twee procent. Het verschil zit in het toegepaste materiaal, naast het feit dat de verhouding wanden ten opzichte van het totale vloeroppervlak iets groter is in project A.

Volgens de EPD-database van Nibe is de levensduur van een metalstudwand ongeveer 25 jaar. Dit leidt tot een hogere milieu-impact gezien de relatief korte levensduur. Een positief aspect zou kunnen zijn dat een metalstudwand eenvoudig verwijderd kan worden, vergeleken met gipsblokwanden. De toepassing van metalstudwanden heeft daardoor een positieve impact op de flexibiliteit van de plattegrond. Als echter de materialen na hun levensduur verwijderd moeten worden en niet hergebruikt kunnen worden, moeten alsnog nieuwe materialen toegepast worden. Dit betekent dat er alsnog meer CO₂-uitstoot is.

CASESTUDY B – HOOGBOUW

Dit hoogbouwproject is gelegen aan de rand van een stad, verbonden met het openbaar vervoer en in de buurt van natuurgebieden. Het is onderdeel van een complex dat bestaat uit twee gebouwen. Een ondergrondse parkeergarage is ook onderdeel van het ontwerp.

De grootte van de appartementen varieert van 94 tot 159 m², exclusief de balkons (extra 41 m² buitenruimte). De appartementen beschikken gemiddeld over drie potentiële slaapkamers. In het voorbeeld van een gezin (bestaande uit vier personen) zou een gemiddeld appartement ongeveer 38 m² woonoppervlak per persoon opleveren.

AFBEELDING 67.

Dataoverzicht van referentieproject B.

Materiaalgebonden energie	
MPG-score [€/m ² /jaar]	0,52
MPG-score exclusief impact van PVs [€/m ² /jaar]	0,50
Materiaalgebonden CO ₂ [kg/m ²]	308
Materiaalgebonden CO ₂ exclusief impact van PVs [kg/m ² /jaar]	3,5
% CO ₂ e van totale MPG-score	39
Levensduur van het gebouw toegepast in de MPG-berekening [jaar]	75

Energieprestatie	
EPC-score	0,2
Primair energieverbruik [kWh/m ² /jaar]	14,1
Operationele emissies [kgCO ₂ e/m ² /jaar]	7
PV / BVO	0,6
PV oppervlakte [m ²]	42

Layout	
Gemiddeld oppervlakte appartement [m ²]	99
Oppervlakte van het appartement [m ²]	94-159
Oppervlakte van balkon [m ²]	18-64
Geschatte aantal potentiële slaapkamers per appartement (gemiddeld)	3
Geschatte aantal potentiële inwoners per appartement (gemiddeld)	4
Oppervlakte per inwoner (gebaseerd op geschatte woonsituatie) [m ²]	38
BVO gebruikt in MPG [m ²]	6792

Gevel	
Raam U waarde [W/m ² -K]	1,30
Dichte geveldelen Rc waarde [m ² -K/W]	4,5
Open vs dicht *	
Glas type	HR+ dubbel + 5m ² glazen deuren
Glas oppervlakte [m ²]	1162
Type gevelbekleding	Baksteen
Oppervlakte gevelbekleding [m ²]	1797
Totale oppervlakte glas + gevelbekleding [m ²]	2959
Glas / (Totaal glas + gevelbekleding) [%]	39,3%

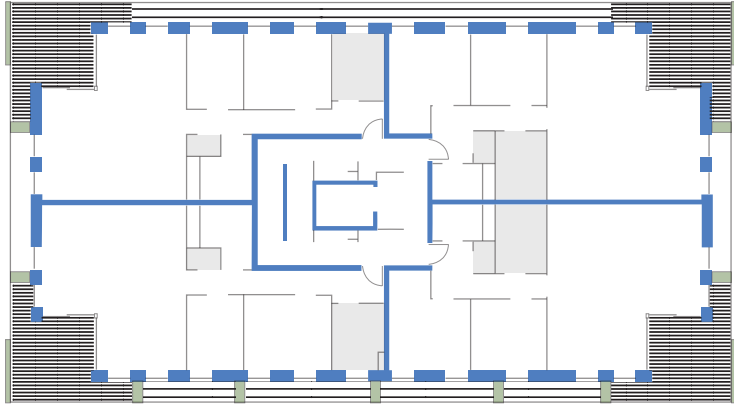
Draagstructuur	
Constructief materiaal	beton

Installaties	
Warmtepomp	
Warmtelevering extern	X
Warmtapwater levering extern	X
E-boiler	
Warmtedistributie leidingen	X
Vloerverwarming	
Wandverwarming	
Vloerkoeling	
WTW unit	X
Luchtdistributie toe- en afvoer	X
Ventilatie type D	
Ventilatie type C	
Balansventilatie kanalen	
Koelmachine	

Het meest toegepaste materiaal voor draagstructuren is beton. De constructiewanden zijn gesitueerd langs de gevel, als woningscheidende wanden en rondom de kern. Het toegepaste materiaal is beton. De gevels hebben relatief kleine openingen, die wel over de gehele verdiepingshoogte te vinden zijn. Buitenruimtes zijn op de hoeken van het gebouw boven elkaar geplaatst. Smalle balkons lopen om het gebouw heen.

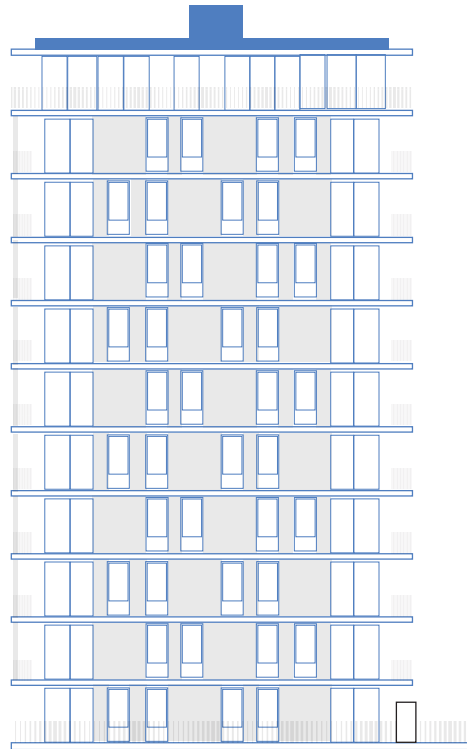
AFBEELDING 68.

Plattegrond van referentieproject B.



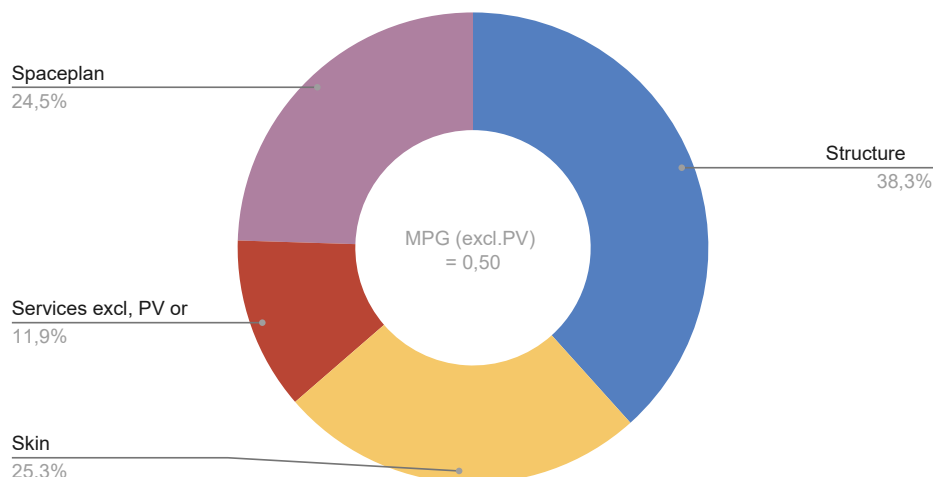
AFBEELDING 69.

Gevelaanzicht van referentieproject B.



AFBEELDING 70.

MPG-score onderverdeeld naar de S-lagen van Stewart Brand.



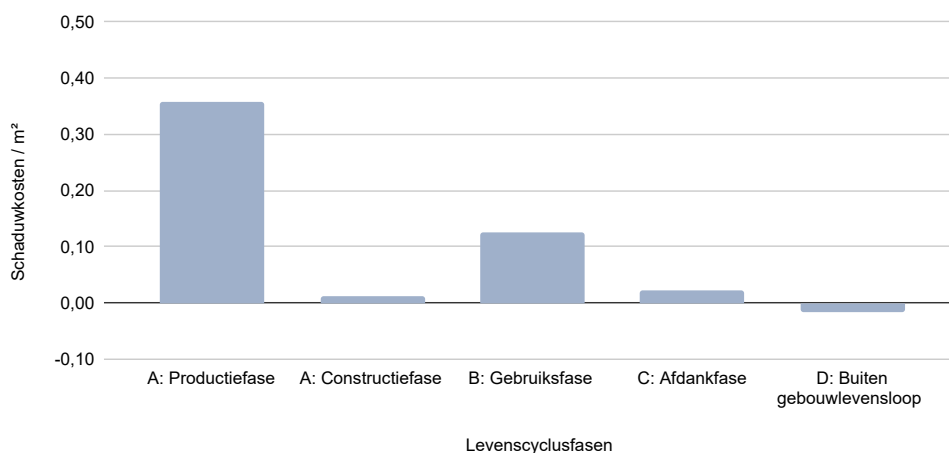
De gevel en het ruimtelijk plan zijn beiden verantwoordelijk voor een kwart van de totale milieu-impact. Vergeleken met de andere referentieprojecten vallen de componenten van de plattegrond nadrukkelijk op. Dit komt met name door de materiaalkeuzes, zoals een cementdekvloer en gipsblokken voor niet-dragende muren.

Als er gekeken wordt naar de milieu-impact van de levenscyclusfases, hebben de productie- en gebruiksfase veel impact bij verschillende projecten. De bouwfase toont echter ook een aanzienlijke milieu-impact. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk dat de constructie opgebouwd is uit in het bouwwerk gestort beton. Ter vergelijking: geprefabriceerd beton zou iets lager uitkomen en een houten draagconstructie significant veel lager (in relatie tot de totale milieu-impact).

De vloeren hebben een dikte van 280 mm, met een overspanning van ongeveer 8 meter. Deze hoeveelheid beton heeft grote invloed op het aandeel materiaalgebonden emissies. Bovenop de constructieve vloer is een cementdekvloer toegepast om de vloer te egaliseren en om te voldoen aan de akoestische eisen tussen twee verdiepingsvloeren. Een cementdekvloer heeft veel praktische eigenschappen en wordt vaak toegepast. De milieu-impact van het materiaal is echter aanzienlijk. Samen met de betonnen vloer is de totale milieu-impact hoog.

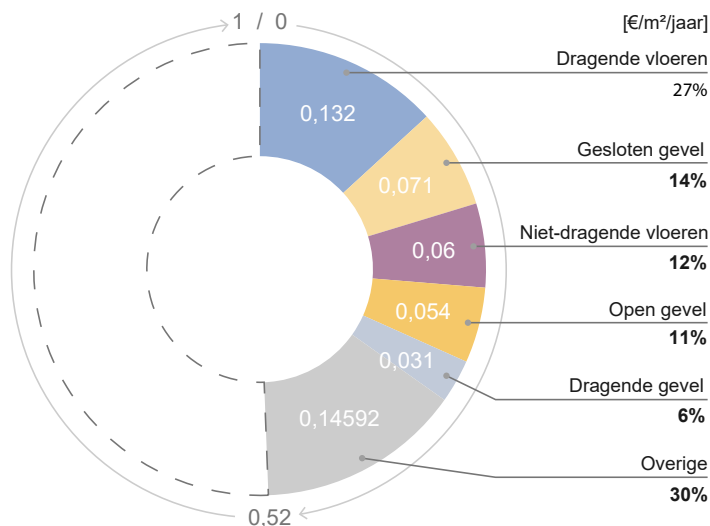
AFBEELDING 71.

MPG-score per levenscyclusfase.



AFBEELDING 72.

MPG-score van de vijf gebouwdelen die de grootste uitstoot veroorzaken.



Het gebouw heeft een ondergrondse parkeergarage. Met acht procent van de totale MPG-score heeft dit een nadrukkelijke impact en is dit waarschijnlijk ook de reden dat een constructief raster van 8 meter overspanning is toegepast.

De gesloten delen van de gemetselde gevel hebben de op een na grootste impact. Meer informatie hierover is te vinden in het hoofdstuk 'ontwerprichtlijnen'.

De impact van de beglazing is substantieel. Hoge ramen en glazen deuren resulteren in een groot oppervlakte van glas, ondanks kleinere raamopeningen. Aan de hand van een daglichttoetredingsanalyse zou het glasoppervlak geoptimaliseerd worden. Een reductie van het aantal openingen heeft echter alleen significant invloed als de gesloten geveldelen in een ander materiaal uitgevoerd worden. De bakstenen hebben een vergelijkbare CO₂-uitstoot met de ramen: de ene boosdoener zou dus vervangen worden door een ander. Bij een verschuiving van glas naar bijvoorbeeld een houten gevel is het effect echter significant. Hierbij wordt al rekening gehouden met de kortere levensduur van de houten gevel en nog niet met mogelijke CO₂-opvangprestaties.

De niet-dragende wanden zijn gemaakt van gipsblokken. Deze hebben hoge materiaalgebonden emissies. Er zou beter voor een type wand gekozen kunnen worden met minder embodied carbon die ook demontabel is. Gebouwen zoals deze, waar grote vloeroverspanningen zijn toegepast, hebben een hoog potentieel om de plattegrond flexibel aan te passen of zelfs voor grote transformaties zoals verandering van functie. Wanneer flexibele en demontabele wanden toegepast worden, kan goed van dit potentieel gebruik gemaakt worden.

Wat verder geconstateerd kan worden, is dat er maar weinig PV-panelen zijn toegepast. De totale impact van de installaties is relatief laag ten opzichte van de andere referentieprojecten.

CASESTUDY C - MIDDELHOOG GEBOUW

Dit appartementengebouw in een middelgrote stad is onderdeel van twee soortgelijke gebouwen. De appartementen variëren van 83 tot 102 m² en hebben een gemiddelde van één à twee slaapkamers. Een klein gezin met één kind zou bijvoorbeeld leven op 35 m² per persoon. Daarnaast zouden ze toegang hebben tot hun balkon van 10 m².

AFBEELDING 73.

Dataoverzicht van referentieproject C.

Materiaalgebonden energie	
MPG-score [€/m ² /jaar]	0,56
MPG-score exclusief impact van PVs [€/m ² /jaar]	0,42
Materiaalgebonden CO ₂ [kg/m ²]	345
Materiaalgebonden CO ₂ exclusief impact van PVs [kg/m ² /jaar]	2,6
% CO ₂ e van totale MPG-score	41
Levensduur van het gebouw toegepast in de MPG-berekening [jaar]	75

Energieprestatie	
EPC-score	0,4
Primair energieverbruik [kWh/m ² /jaar]	63
Operationele emissies [kgCO ₂ e/m ² /jaar]	13
PV / BVO	7,62%
PV oppervlakte [m ²]	264

Layout	
Gemiddeld oppervlakte appartement [m ²]	87
Oppervlakte van het appartement [m ²]	83-102
Oppervlakte van balkon [m ²]	9-11
Geschatte aantal potentiële slaapkamers per appartement (gemiddeld)	1
Geschatte aantal potentiële inwoners per appartement (gemiddeld)	3
Oppervlakte per inwoner (gebaseerd op geschatte woonsituatie) [m ²]	35
BVO gebruikt in MPG [m ²]	3466

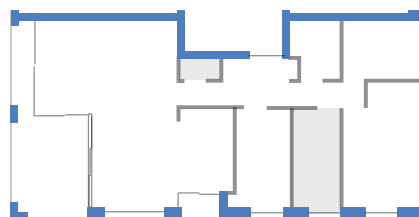
Gevel	
Raam U waarde [W/m ² ·K]	1,1
Dichte geveldelen Rc waarde [m ² ·K/W]	4,5
Open vs dicht *	
Glas type	HR dubbel
Glas oppervlakte [m ²]	870
Type gevelbekleding	Baksteen
Oppervlakte gevelbekleding [m ²]	1.407,00
Totale oppervlakte glas + gevelbekleding [m ²]	2277
Glas / (Totaal glas + gevelbekleding) [%]	38,2%

Draagstructuur	
Constructief materiaal	kalkzandsteen + HSB + beton

Installaties	
Warmtepomp	X
Warmtelevering extern	
Warmtapwater levering extern	
E-boiler	X
Warmtedistributie leidingen	X
Vloerverwarming	X
Wandverwarming	
Vloerkoeling	
WTW unit	
Luchtdistributie toe- en afvoer	
Ventilatie type D	
Ventilatie type C	X
Balansventilatie kanalen	
Koelmachine	

AFBEELDING 74.

Plattegrond referentieproject C.





AFBEELDING 75.

Gevel referentieproject C.

Er worden meerdere materialen gebruikt voor de draagconstructie: wanden van kalkzandsteen en houtskeletbouw en vloeren van beton. De dakvloer is ook van beton.

De draagconstructie is gemaakt van beton. De betonnen vloerplaten hebben een overspanning van 8 meter. Deze dragende vloeren zijn opgebouwd uit 60 mm geprefabriceerde betonnen platen (breedplaatvloer) en een druklaag van 220 mm betonmortel. De resulterende schaduwkosten zijn redelijk hoog.

De onderdelen van de plattegrond hebben een relatief lage milieu-impact. De keukens en sanitaire ruimten zijn niet meegenomen in de MPG-berekening. De appartementen zijn wellicht nog niet voorzien van deze voorzieningen voordat ze worden verkocht. De bewoners zouden hun voorkeurstype keukens en badkameronderdelen zelf kunnen kiezen.

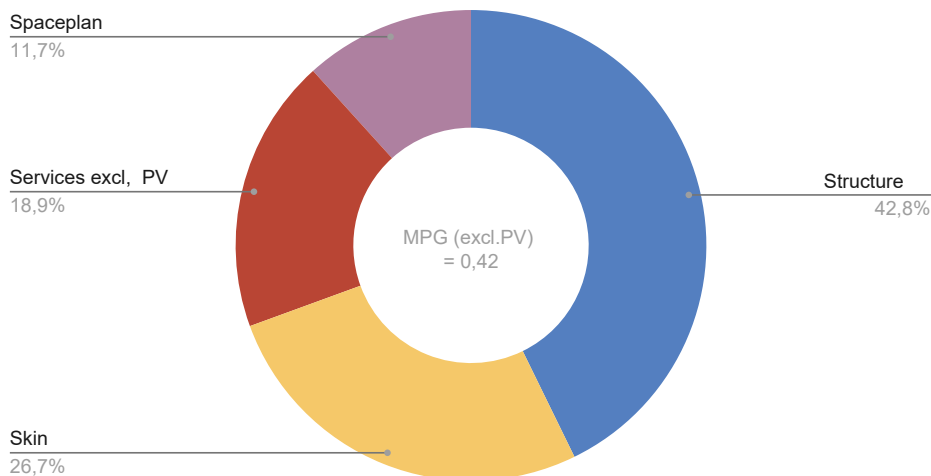
De gevel van het gebouw heeft een gemiddelde milieu-impact ten opzichte van de totale impact. De ramen zijn voorzien van dubbele beglazing maar met dunnere ruiten (4 mm) dan bijvoorbeeld in casestudie D (6 mm). Het binnenklimaatconcept maakt gebruik van natuurlijke ventilatie als toevoer (in casestudy B wordt een volledig mechanisch systeem gebruikt).

Voor deze casestudy is het grootste deel van de emissies afkomstig van PV-panelen. Als de PV-panelen niet meegenomen zouden worden in de MPG-berekening, zou de MPG-score vrij laag zijn - vergelijkbaar met de twee kleinere middelhoge gebouwen.

De dragende vloeren staan wederom in de top 5. Hier is ook voor breedplaatvloer (prefab) gekozen en de impact in absolute zin is relatief laag.

AFBEELDING 76.

MPG-score onderverdeeld naar de S-lagen van Brand, exclusief PV-panelen.



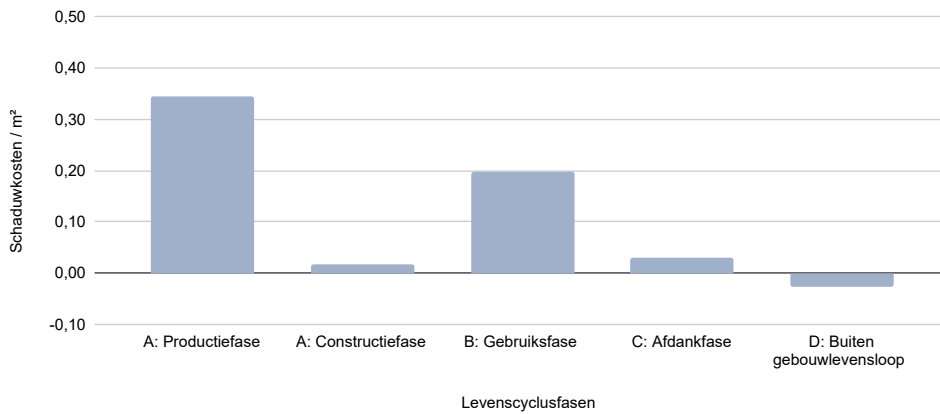
De open gevel heeft ook grote invloed op de milieu-impact, maar minder dan verwacht bij een openingsdeel van 38 procent. De absolute bijdrage is ook lager dan bij cases A en D, die een vergelijkbare hoeveelheid gevelopening hebben. De reden is dat de totale hoeveelheid materiaal lager is, omdat case C dubbel glas (2 x 4 mm) gebruikt in plaats van 12 mm en 16 mm bij cases D en A.

Dit komt ook terug in de lage score voor de gesloten gevel, ook al is deze gemaakt van metselwerk, dat normaal gesproken een hoge impact heeft.

Over het algemeen is opmerkelijk dat dit gebouw, dat op een redelijk traditionele manier gebouwd is, laag scoort in de MPG, zonder dit waarschijnlijk als doel te hebben gehad in de ontwerpfase.

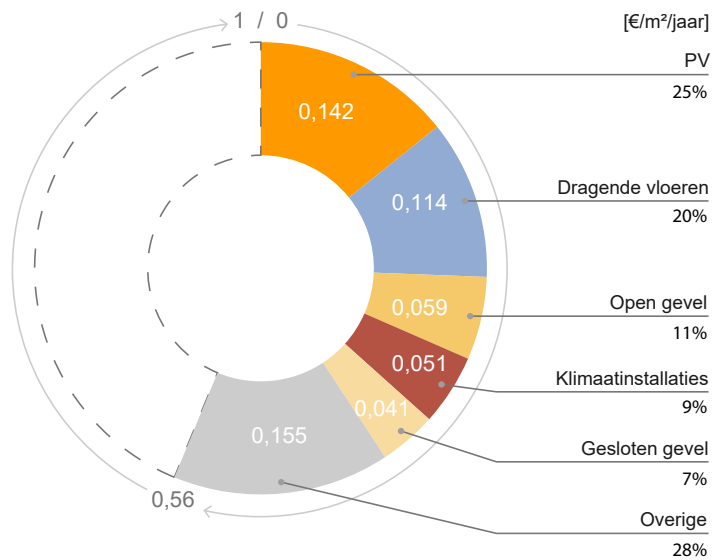
AFBEELDING 77.

MPG-score per levenscyclusfase.



AFBEELDING 78.

MPG-score van de vijf gebouwdelen die de grootste uitstoot veroorzaken.



CASESTUDY D – MIDDELHOOG GEBOUW

Dit referentieproject betreft een middelhoog gebouw waarvan meerdere kopieën zijn gebouwd in de nabije omgeving. Het gebouw voorziet in eenkamerappartementen met een vloeroppervlakte tussen de 34 en 48 m². Aanvullend bevatten de appartementen nog een buitenruimte van ongeveer 4 m². De oppervlakte per vierkante meter woonruimte per persoon komt neer op 21 m², uitgaande van twee bewoners per appartement.

Van de zes uitgelichte bouwprojecten gebruikt dit gebouw het meeste hout. De lagere verdiepingen vormen een betonnen basis, terwijl op de hogere verdiepingen vooral hout gebruikt wordt.

AFBEELDING 79.

Dataoverzicht van referentieproject D.

Materiaalgebonden energie	
MPG-score [€/m ² /jaar]	0,64
MPG-score exclusief impact van PVs [€/m ² /jaar]	0,34
Materiaalgebonden CO ₂ [kg/m ²]	469
Materiaalgebonden CO ₂ exclusief impact van PVs [kg/m ² /jaar]	3,0
% CO ₂ e van totale MPG-score	38
Levensduur van het gebouw toegepast in de MPG-berekening [jaar]	92

Energieprestatie	
EPC-score	9,75
Primair energieverbruik [kWh/m ² /jaar]	50 *
Operationele emissies [kgCO ₂ e/m ² /jaar]	4-5
PV / BVO	12,68%
PV oppervlakte [m ²]	350

Layout	
Gemiddeld oppervlakte appartement [m ²]	41
Oppervlakte van het appartement [m ²]	34-48
Oppervlakte van balkon [m ²]	0-8
Geschatte aantal potentiële slaapkamers per appartement (gemiddeld)	1
Geschatte aantal potentiële inwoners per appartement (gemiddeld)	2
Oppervlakte per inwoner (gebaseerd op geschatte woonsituatie) [m ²]	21
BVO gebruikt in MPG [m ²]	2761

Gevel	
Raam U waarde [W/m ² ·K]	ca, 1,1
Dichte geveldelen Rc waarde [m ² ·K/W]	5,5
Open vs dicht *	
Glas type	HR++ dubbel
Glas oppervlakte [m ²]	482
Type gevelbekleding	Hout
Oppervlakte gevelbekleding [m ²]	800
Totale oppervlakte glas + gevelbekleding [m ²]	1282
Glas / (Totaal glas + gevelbekleding) [%]	27,6%

Draagstructuur	
Constructief materiaal	CLT (meestal) + beton

Installaties	
Warmtepomp	X
Warmtelevering extern	
Warmtapwater levering extern	
E-boiler	
Warmtedistributie leidingen	X
Vloerverwarming	X
Wandverwarming	
Vloerkoeling	X
WTW unit	
Luchtdistributie toe- en afvoer	
Ventilatie type D	X
Ventilatie type C	
Balansventilatie kanalen	
Koelmachine	

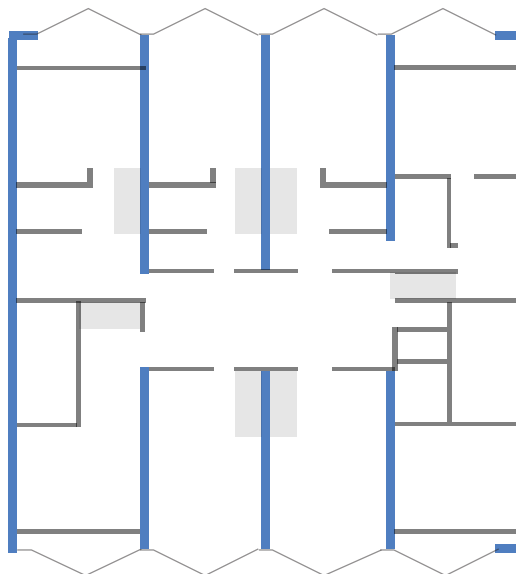
AFBEELDING 80.

Gevel referentieproject D.



AFBEELDING 81.

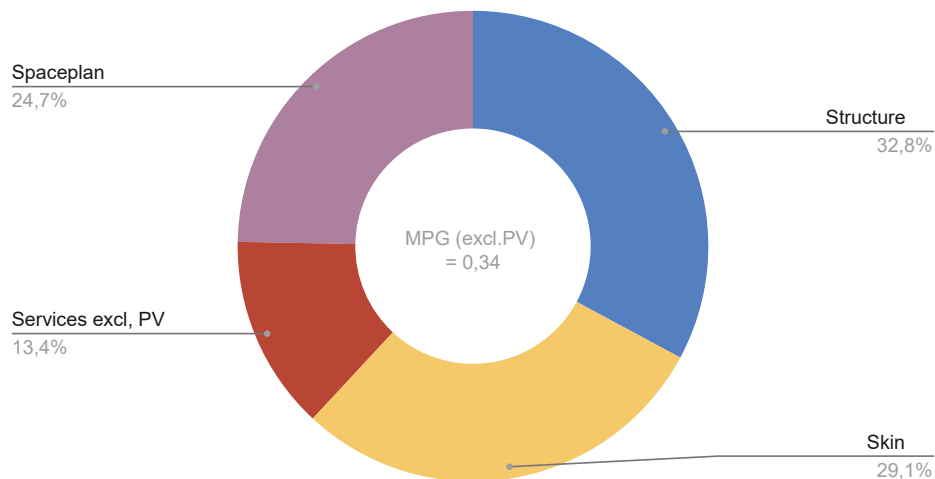
Plattegrond referentieproject D.



De hoofddragconstructie van het gebouw bestaat uit CLT-elementen, met een dikte van 240 mm en een overspanning van 5,4 m. De CLT-vloer is afgewerkt met een cementdekvloer. De vloeren worden ondersteund door betonnen wanden. Sommige delen van de gevel zijn ook dragend, het toegepaste materiaal is ook hier CLT.

AFBEELDING 82.

MPG-score onderverdeeld naar de S-lagen exclusief PV-panelen.



Dit project heeft een negatieve EPC-score en maakt gebruik van alle beschikbare ruimte op het dak voor de toepassing van PV-panelen. In de gebruiksfase van dit gebouw zal de initiële milieu-impact gecompenseerd worden door de lokale productie van duurzame energie.

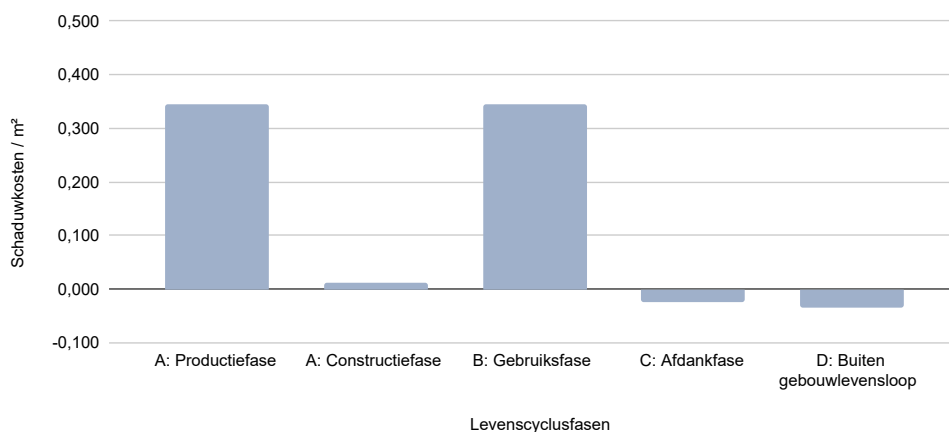
Aandachtspunt: in dit project is de EPC-norm vervangen door de BENG-norm. De BENG 2 score (fossiel energieverbruik per m²) is in deze analyse vergeleken met het 'primaire energiegebruik' van de EPC-norm.

De constructiefase draagt niet significant bij aan de MPG-score vergeleken met de overige cases. Het feit dat case D hier bijzonder lage emissies heeft, maakt daarom geen groot verschil. In de gebruiksfase hebben de elementen met een kortere levensduur invloed, omdat ervan uit wordt gegaan dat deze meerdere keren vervangen moeten worden. Het gaat dan waarschijnlijk om de zonnepanelen en delen van de gevel.

Het gebouwcomponent met de op een na hoogste milieu-impact is de open gevel. De relatief grote glasoppervlakten hebben een grote impact op de totale schaduwkosten. Dit roept de vraag op waarom de ontwerper hiervoor gekozen heeft. Gezien het feit dat de appartementen relatief klein zijn per inwoner, zou het kunnen zijn dat de ontwerper een bepaalde ruimtelijke kwaliteit wilde creëren en een relatief klein oppervlak probeert te compenseren met royaal uitzicht.

AFBEELDING 83.

MPG-score per levenscyclusfase.



Als we de MPG-score niet per vierkante meter maar per bewoner uitrekenen, valt op dat dit project opmerkelijk goed scoort. In die zin is dus een goede afweging gemaakt.

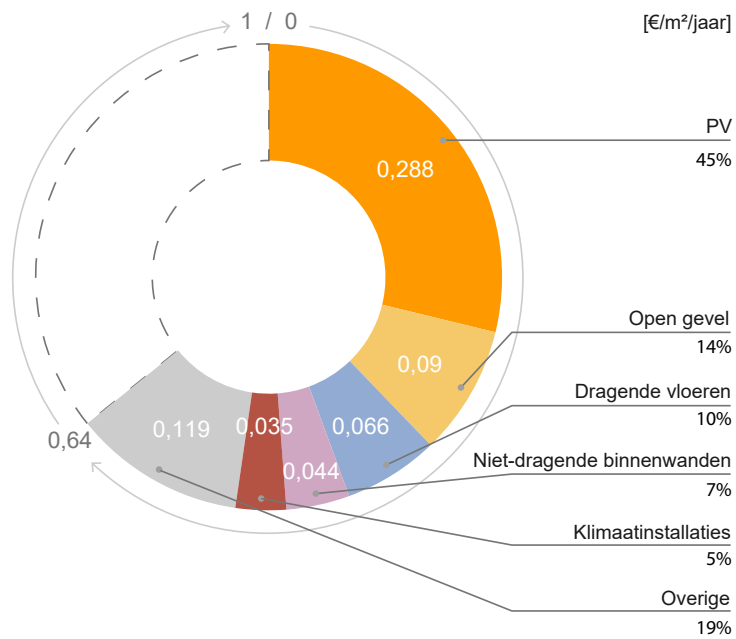
De MPG-score toont alleen de schaduwkosten per vierkante meter, maar heeft geen directe relatie met de dichtheid van woningen. Het realiseren van kleine woningen met veel ruimtelijke kwaliteit zou een efficiënte oplossing kunnen zijn om het woningtekort op te lossen en tevens de milieu-impact van de bouwindustrie te reduceren.

De toepassing van transparante delen in de gevel heeft een aanzienlijke milieu-impact. Niet alle transparante delen zijn functioneel. Het deel waar de borstwering gesitueerd zou zijn, is waarschijnlijk een ontwerpkeuze die niet gebaseerd is op functionaliteit, maar eerder op basis van esthetische uitgangspunten. Als ontwerper is het goed om kritisch te overwegen waar transparante delen toe te passen en waar niet, om CO₂-impact te reduceren.

Delen van de constructieve elementen zijn van hout. Dit zou een positief effect moeten hebben op de totale milieu-impact. Dit is echter niet terug te zien in de MPG-score. De constructieve CLT-vloeren hebben een vergelijkbare impact per vierkante meter vergeleken met de constructieve betonnen vloeren. Meer informatie hierover in het hoofdstuk 'ontwerprichtlijnen'

AFBEELDING 84.

MPG-score van de vijf gebouwdelen die de grootste uitstoot veroorzaken.



CASESTUDY E - LAAGBOUW RIJTJESWONING

Deze rijtjeswoning heeft een vloeroppervlakte van 151 vierkante meter. De indeling biedt ruimte voor twee slaapkamers op de eerste verdieping en nog een potentiële ruimte voor een slaapkamer op de bovenste verdieping. Voor vier bewoners zou dit neerkomen op 38 vierkante meter vloeroppervlak per persoon. De belangrijkste constructieve materialen die zijn toegepast zijn kalkzandsteenwanden, HSB-elementen voor wanden en betonnen vloeren. De dakconstructie is van hout.

In totaal zijn de belichaamde emissies van deze casestudy het laagst van de zes casestudies. Het scoort relatief laag in de categorieën gevel, plattegrond en installaties.

AFBEELDING 85.

Dataoverzicht van referentieproject E.

Materiaalgebonden energie	
MPG-score [€/m ² /jaar]	0,44
MPG-score exclusief impact van PVs [€/m ² /jaar]	0,31
Materiaalgebonden CO ₂ [kg/m ²]	263
Materiaalgebonden CO ₂ exclusief impact van PVs [kg/m ² /jaar]	2,5
% CO ₂ e van totale MPG-score	39
Levensduur van het gebouw toegepast in de MPG-berekening [jaar]	75

Energieprestatie	
EPC-score	0,4
Primair energieverbruik [kWh/m ² /jaar]	54
Operationele emissies [kgCO ₂ e/m ² /jaar]	14
PV / BVO	0,00%
PV oppervlakte [m ²]	0

Layout	
Gemiddeld oppervlakte appartement [m ²]	151
Oppervlakte van het appartement [m ²]	151
Oppervlakte van balkon [m ²]	0
Geschatte aantal potentiële slaapkamers per appartement (gemiddeld)	3-4
Geschatte aantal potentiële inwoners per appartement (gemiddeld)	4
Oppervlakte per inwoner (gebaseerd op geschatte woonsituatie) [m ²]	38
BVO gebruikt in MPG [m ²]	170

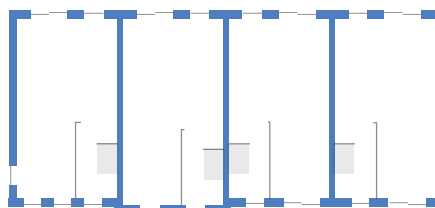
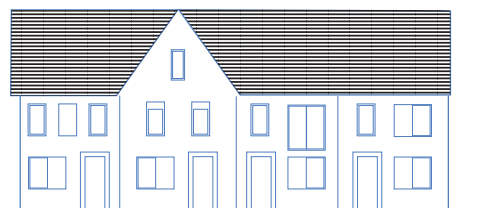
Gevel	
Raam U waarde [W/m ² .K]	1,6
Dichte geveldelen Rc waarde [m ² .K/W]	4,5
Open vs dicht *	
Glas type	HR++ dubbel
Glas oppervlakte [m ²]	14
Type gevelbekleding	60,5% baksteen+ 39,5% hout
Oppervlakte gevelbekleding [m ²]	115
Totale oppervlakte glas + gevelbekleding [m ²]	129
Glas / (Totaal glas + gevelbekleding) [%]	10,9%

Draagstructuur	
Constructief materiaal	kalkzandsteen + HSB + beton

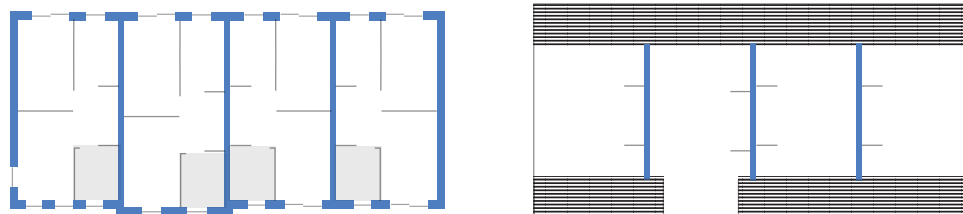
Installaties	
Warmtepomp	X
Warmtelevering extern	
Warmtapwater levering extern	
E-boiler	X
Warmtedistributie leidingen	X
Vloerverwarming	X
Wandverwarming	
Vloerkoeling	
WTW unit	
Luchtdistributie toe- en afvoer	
Ventilatie type D	
Ventilatie type C	X
Balansventilatie kanalen	
Koelmachine	

AFBEELDING 86.

Gevel referentieproject E.



AFBEELDING 87.
Plattegronden van referentieproject E.



De operationele emissies zijn aan de hoge kant vergeleken met de overige casestudies. Het is inzichtelijk om deze casestudies te vergelijken met casestudy F: dezelfde woontypologie, maar een ander installatieconcept. Casestudy E heeft geen PV-panelen en gebruikt energie van het lokale elektriciteitsnetwerk. F wekt alle energie duurzaam op met PV-panelen. De materiaalgebonden emissies van de PV-panelen is terug te zien in de MPG-score van casestudy F, terwijl het niet-hernieuwbare energieverbruik wordt weergegeven in de EPC-score van casestudy E.

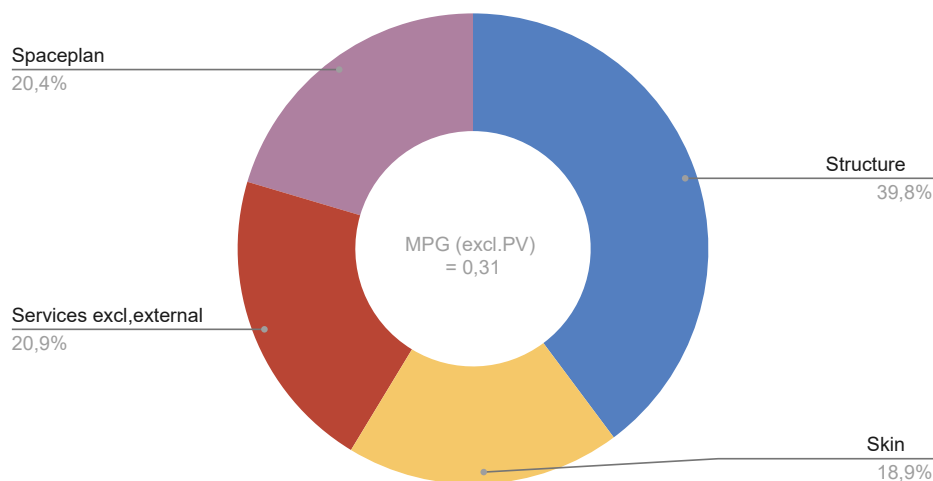
Ten aanzien van het installatieconcept zijn er overeenkomsten tussen casestudy E en casestudy C. In beide projecten worden de volgende installaties toegepast: een warmtepomp, elektrische boiler, vloerverwarming en ventilatie type C (mechanische afvoer en natuurlijke toevoer). (Zie casestudy C voor een verdere toelichting).

Zoals gezegd heeft de gevel een relatief lage milieu-impact. Het gebouw heeft relatief kleine gevelopeningen en zestig procent van het bekledingsmateriaal bestaat uit hout. Dit vermindert de milieu-impact van de gevel.

Wanneer gekeken wordt naar de vijf grootste uitstootbronnen, dan valt op dat de constructieve vloeren bovenaan staan. Een interessante constatering is dat in casestudy F dezelfde hoeveelheid beton gebruikt wordt in de vloerplaten. Het verschil zit hem in de categorie van het EPD: E gebruikt categorie 3 (generieke gegevens) terwijl F input heeft van categorie 2. Het effect op de score is zichtbaar in de vergelijkende grafieken eerder in dit hoofdstuk.

Een andere observatie is dat de klimaatinstallaties behoorlijk veel milieu-impact hebben. Meerdere installaties dragen hieraan bij, dus het is moeilijk te concluderen waar de impact gereduceerd kan worden. In dit onderzoek is geen duidelijke correlatie naar voren gekomen tussen bouwtypologie en installaties.

AFBEELDING 88.
MPG-score onderverdeeld naar de S-lagen exclusief PV-panelen.

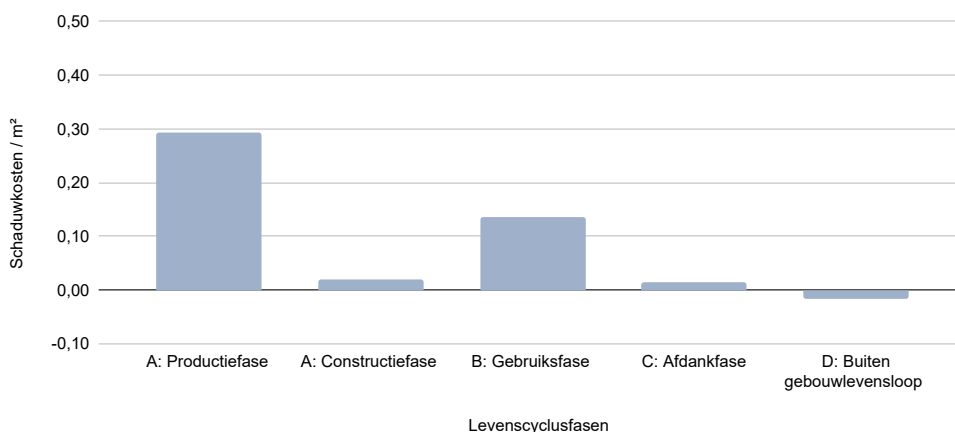


De milieu-impact van niet-dragende vloeren behoort tot de grootste uitstoters in dit project. Deze score is iets lager dan in casestudy B, waar dezelfde hoeveelheid cement wordt gebruikt (de grootste uitstoter in die categorie). B gebruikt echter ook EPS (vermoedelijk als akoestische isolatie) in vloeren tussen appartementen. Een huis als casestudy E heeft minder akoestische isolatie nodig, wat een reden kan zijn waarom deze akoestische laag niet is toegepast.

Deze casestudie is de enige die uitgaat van 'Centrale elektrotechnische voorzieningen; energie, opwekking' (externe elektriciteit uit het net). Het project gaat ervan uit dat het voor de energievoorzieningen elektriciteit uit het net haalt (in plaats van bijvoorbeeld gas of stadsverwarming). Daarom worden de milieukosten van de externe infrastructuur in de MPG meegerekend. In GPR Material wordt dit beschreven. Het product betreft het materiaalgebruik voor electriciteitsproductie op basis van NL-mix. Het materiaalgebruik is teruggerekend naar 1 kWh. In vergelijking met case F is de MPG veel minder beïnvloed door de externe energiebron dan dat bij case F het geval is, vanwege de grote hoeveelheid zonnepanelen.

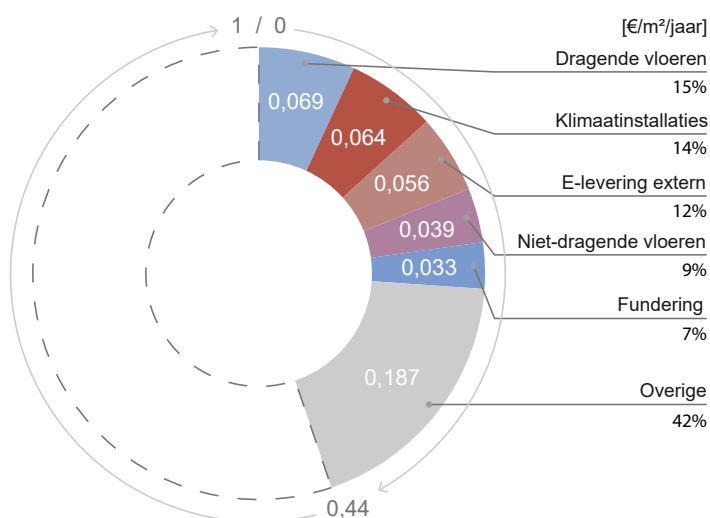
AFBEELDING 89.

MPG-score per levenscyclusfase.



AFBEELDING 90.

MPG-score van de vijf gebouwdelen die de grootste uitstoot veroorzaken.



CASESTUDY F – LAAGBOUW RIJTJESWONING

Dit rijtjeshuis van 160 vierkante meter kan tot vijf personen huisvesten, gezien de drie slaapkamers op de eerste verdieping en nog één op de bovenste verdieping. Elk van de vijf bewoners zou beschikken over 32 vierkante meter vloeroppervlak.

De belangrijkste constructieve materialen zijn kalkzandsteen (wanden) en beton (vloeren).

AFBEELDING 91.

Dataoverzicht van referentieproject F.

Materiaalgebonden energie	
MPG-score [€/m ² /jaar]	0,92
MPG-score exclusief impact van PVs [€/m ² /jaar]	0,32
Materiaalgebonden CO ₂ [kg/m ²]	555
Materiaalgebonden CO ₂ exclusief impact van PVs [kg/m ² /jaar]	2,6
% CO ₂ e van totale MPG-score	37
Levensduur van het gebouw toegepast in de MPG-berekening [jaar]	75

Energieprestatie	
EPC-score	0
Primair energieverbruik [kWh/m ² /jaar]	30
Operationele emissies [kgCO ₂ e/m ² /jaar]	0
PV / BVO	29,49%
PV oppervlakte [m ²]	46

Apartment layout and oppervlakte	
Gemiddeld oppervlakte appartement [m ²]	159
Oppervlakte van het appartement [m ²]	159
Oppervlakte van balkon [m ²]	0
Geschatte aantal potentiële slaapkamers per appartement (gemiddeld)	3
Geschatte aantal potentiële inwoners per appartement (gemiddeld)	5
Oppervlakte per inwoner (gebaseerd op geschatte woonsituatie) [m ²]	32
BVO gebruikt in MPG [m ²]	156

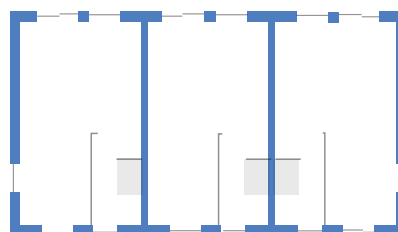
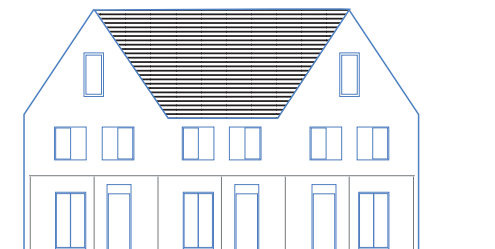
Thermal values van facade, as in EPC	
Raam U waarde [W/m ² ·K]	1,6
Dichte geveldelen Rc waarde [m ² ·K/W]	4,5
Open vs dicht *	
Glas type	HR++ dubbel
Glas oppervlakte [m ²]	17,4
Type gevelbekleding	70,1% Baksteen+ 29,9% Hout
Oppervlakte gevelbekleding [m ²]	165
Totale oppervlakte glas + gevelbekleding [m ²]	183
Glas / (Totaal glas + gevelbekleding) [%]	9,5

Draagstructuur	
Constructief materiaal	kalkzandsteen + beton

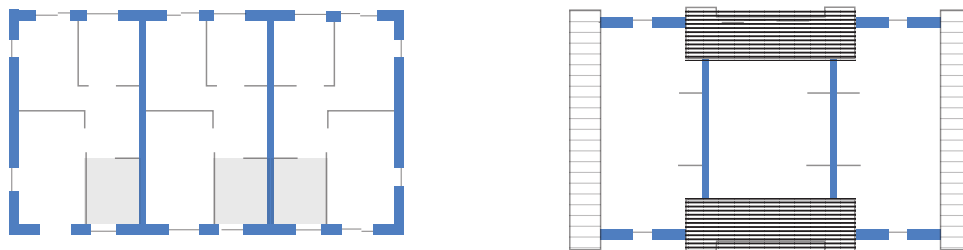
Klimaatinstallaties	
Warmtepomp	X
Warmtelevering extern	
Warmtapwater levering extern	
E-boiler	X
Warmtedistributie leidingen	X
Vloerverwarming	X
Wandverwarming	
Vloerkoeling	
WTW unit	
Luchtdistributie toe- en afvoer	
Ventilatie type D	
Ventilatie type C	
Balansventilatie kanalen	
Koelmachine	

AFBEELDING 92.

Gevel van referentieproject F.



AFBEELDING 93.
Plattegronden van referentieproject F.



De schaduwkosten van bouwmaterialen zijn niet erg hoog voor deze casestudie. De PV-panelen hebben de grootste materiaalgebonden emissies (per vierkante meter BVO) van alle casestudies. Zoals te zien is in de grafiek op de vorige pagina, verhogen ze de MPG-score van 0,32 (zonder PV) tot 0,92 (met PV). Vergeleken met Case E wordt hier geen elektriciteit uit het net gebruikt.

Deze nul-op-de-meter-woning heeft een MPG-score die zeer hoog is, maar wel een uitstekende EPC-score heeft.

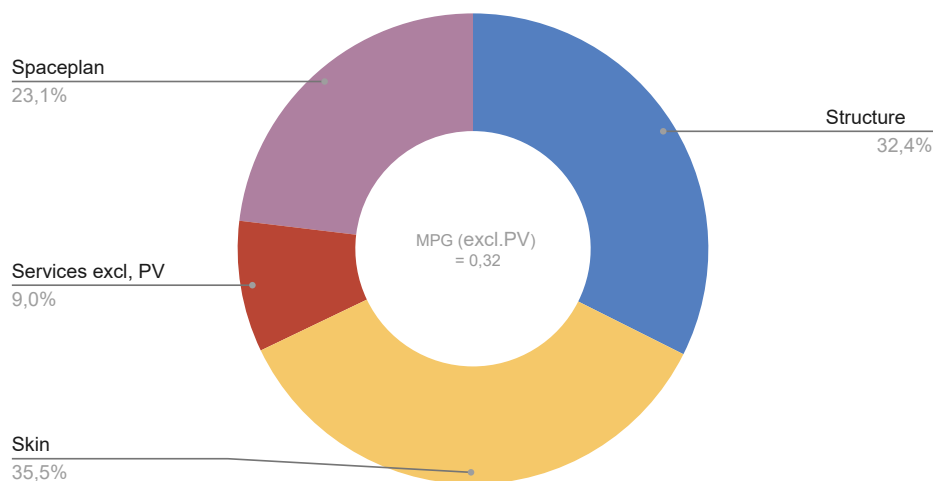
Het gesloten geveloppervlak heeft een relatief grote impact. Zowel bij casestudies E als F zijn bakstenen en houten gevelbekleding toegepast. F gebruikt meer baksteen in verhouding tot hout. Dit is te zien in de schaduwkosten van deze componenten (twee keer zo hoog).

De klimaatinstallaties hebben een zichtbaar effect, zoals eerder genoemd in casestudy E, waar een vergelijkbaar installatieconcept is toegepast.

De milieu-impact van de dragende vloeren is kleiner dan in casestudy E, hoewel ze beide gebruik maken van een betonnen ribbenvloer met een vergelijkbaar volume. Het verschil zit daar in de keuze voor een categorie 2-product dat als milieuvriendelijker bestempeld wordt, vergeleken met een tegenhanger uit categorie 3. In feite is de milieu-impact half zo groot als bij de betonnen vloeren van casestudy E.

Een interessante constatering is dat de dragende vloeren en niet-dragende vloeren een vergelijkbaar milieu-impact hebben. Het vervangen van betonnen vloeren door een houten vloer kan dezelfde verandering in CO₂-emissies realiseren als het kiezen van een andere egalisatielaag ter vervanging van een zandcementdekvloer, zoals egalisatiekorrels van gips.

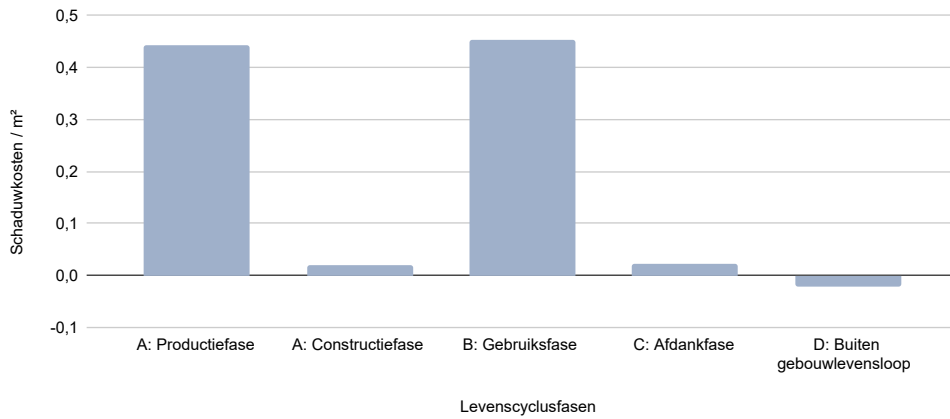
AFBEELDING 94.
MPG-score onderverdeeld naar de S-lagen, exclusief PV-panelen.



Voor gebouwen in laagstedelijke omgevingen zoals casestudy F, zouden we de milieu-impact van de externe infrastructuur mee moeten rekenen. Zoals vermeld in het vorige hoofdstuk heeft een woning op een afgelegen locatie tot 9 keer zoveel infrastructuur nodig en daarbij behorend 7,5 keer de maatschappelijk kosten vergeleken met een woning in een hoogstedelijk gebied. Om de CO₂-emissies te kunnen kwantificeren, zou een vergelijking tussen gebouwen en infrastructuur gemaakt moeten worden, zodat de verhouding van de impact duidelijk wordt.

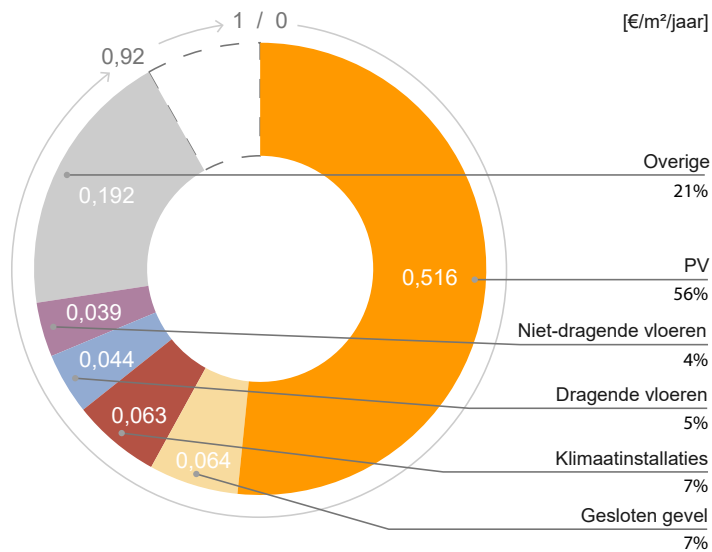
AFBEELDING 95.

MPG-score per levenscyclusfase.



AFBEELDING 96.

MPG-score van de vijf gebouwdelen die de grootste uitstoot veroorzaken.



V.

AANBEVELINGEN

NEEM INFRASTRUCTUURKOSTEN MEE

Zoals de zes casestudies laten zien, is het relatief eenvoudig om een twee- of drielaagse eengezins- of tussenwoning energieneutraal te bouwen, met name vanwege de grote dakoppervlaktes die gebruikt kunnen worden voor zonnepanelen en parkeeroplossingen voor de deur. Bij een MPG-berekening wordt echter alleen naar het gebouw gekeken en blijft de stedelijke infrastructuur (wegen, leidingen, verharding en natuurverbruik) buiten beschouwing.

Onderzoek door de Vlaamse Bouwmeester laat duidelijk zien dat de maatschappelijke kosten van verspreide (lage) bebouwing velen malen hoger zijn dan in goed bereikbaar, verdicht stedelijk gebied. Verschillende vormen van wonen moeten mogelijk blijven en wonen in de stad is niet voor iedereen weggelegd. Als we echter over de milieuprestatie van gebouwen spreken, moeten deze externe kosten meegewogen worden.

Een woonboerderij van driehonderd vierkante meters, met twee Tesla's voor de deur en een zwembad in de tuin is niet duurzaam. Emissies uit scope 2 en 3, dus de uitstoot die nodig is geweest om PV-panelen en de Tesla's te bouwen en ook de bijkomende kosten, zoals wegen en andere infrastructuur, moeten meegewogen worden.

BRENG SCHADUWKOSTEN IN REKENING

Milieu-impact wordt in de MPG uitgedrukt in euro's per vierkante meter per jaar. Het gaat dus altijd om impact of uitstoot per vierkante meter als objectieve meeteenheid om verschillende materialen en bouwmethododes te vergelijken. Als ontwerpers zien wij echter veel mogelijkheden om niet of minder te bouwen en bijvoorbeeld slimmere plattegronden te bedenken. Voor de woningbouw zou nagedacht moeten worden over een milieu-impact per woning of per bewoner. Dat zou een eerlijkere vergelijking mogelijk maken tussen bijvoorbeeld een kleine studio in de stad met grote glasoppervlaktes (slecht voor de MPG) en de villa van driehonderd vierkante meter op het platteland.

Het zou simpel kunnen zijn: Als we die 0,60 euro per vierkante meter per jaar (MPG-score = 0,60) daadwerkelijk zouden moeten betalen (72 euro voor een woning van 120 vierkante meter), heb je tenminste een prikkel om kleiner te wonen en worden de maatschappelijke kosten mogelijk gedekt. Vervolgens ontstaat er een goed sturingsinstrument, vergelijkbaar met de WOZ-belasting.

TOETSEN MPG-SCORES BIJ OPLEVERING

Naarmate de MPG-eisen strenger worden, is te verwachten dat steeds meer leveranciers gedetailleerde EPD's beschikbaar gaan stellen. Hierdoor wordt het in de ontwerp-fase steeds interessanter en belangrijker om precieze keuzes te maken, en heeft een leverancier die bijvoorbeeld zijn bakstenen met minder CO₂-uitstoot weet te fabriceren een voordeel tegenover een concurrent die dat niet doet.

De MPG-berekeningen worden echter op het moment van de aanvraag voor een bouwvergunning gemaakt, wanneer de definitieve productkeuzes nog niet zijn gemaakt. De kans is dan groot dat op basis van prijsverschil uiteindelijk voor een product gekozen wordt dat een grotere CO₂-voetafdruk heeft. Er zou dus een toets op een later moment moeten komen die de daadwerkelijk gebouwde voetafdruk meet. Ontwikkelingen als Madaster, die een database van materialen die in een gebouw zijn opgenomen bijhouden, kunnen zulke berekeningen makkelijk maken.

ZORG VOOR MEER EPD'S IN DE NMD

De Nationale Milieudatabase (NMD) bestaat voor een groot deel uit zogenoemde generieke (categorie 3) productinformatie. Deze zijn gebaseerd op veel aannames. Daarom wordt een 'boete' van dertig procent erop berekend. De berekende MPG-waarde en de daadwerkelijke impact van het gebruikte product kunnen dus nogal verschillen. Omdat de eisen in de MPG nog zeer laag zijn, is dat in de praktijk nog geen probleem. Het maakt de MPG-waardes van gebouwen echter zeer moeilijk met elkaar te vergelijken.

Tegenwoordig is maar een fractie van alle materialen in de NMD gebaseerd op een Klasse 1-EPD, terwijl er veel meer EPD's bestaan en door software als One Click LCA ook gebruikt kunnen worden. Buiten de MPG om is dus een gedetailleerdere berekening van de voetafdruk mogelijk. De reden dat zo weinig Klasse 1-EPD's zijn opgenomen in de NMD, blijkt te komen omdat deze door een NMD-gecertificeerde deskundige opgesteld moeten worden en dat het geld kost om in de database opgenomen te worden.

NEEM CO₂-OPSLAG MEE IN DE MPG

De discussie over het meenemen van CO₂-opslag in de MPG wordt momenteel breed gevoerd. Hoe kan het zijn dat hout en andere biobased materialen, die in feite CO₂ vastleggen voor de duur van hun gebruik, in de MPG niet of nauwelijks beter scoren dan duidelijk vervuilende materialen als beton en glas? Zoals beschreven in het hoofdstuk 'De CO₂-kringloop' wordt tijdens de levenscyclusanalyse ook naar de afdankfase van een materiaal gekeken. Over het algemeen wordt ervan uit gegaan dat hout verbrand wordt. Er wordt dan wel nog energie van gewonnen, maar dat is laagwaardig hergebruik. De reden voor dit end-of-life scenario is dat dit de manier is hoe houtafval tegenwoordig vaak verwerkt wordt. Hierbij komt het eerder vastgelegde CO₂ weer vrij.

Het is echter zinvol om ook naar het moment van uitstoot te kijken. Ten eerste vindt de uitstoot bij hout en andere biobased materialen pas aan het einde van de levensduur plaats. Dat is in principe over 75 jaar, realistisch gezien over misschien 30 of 40 jaar. Dat betekent dat de 'time-value' van deze koolstof velen malen lager is dan de uitstoot die nu plaatsvindt en de komende 75 jaar impact op het klimaat gaat hebben. Ten tweede is het onwaarschijnlijk, gezien de klimaatcrisis waarin wij ons bevinden, dat bij de verbranding over 75 jaar het vrijkomende CO₂ niet afgevangen wordt. Ten derde is nog een hele cascade van hergebruik te bedenken, van het verzagen van CLT-panelen in balken, kleinere constructies, en het maken van houtwol tot het hergebruik van de cellulose in de vorm van papier.

Bedrijven als Dierix en Bloc zijn bezig met contracten die de terugname van het constructiehout regelen en kunnen waarschijnlijk hiermee het end-of-life scenario anders beargumenteren in hun EPD's. TNO heeft hierover in opdracht van DGBC een paper 'Waarderen van CO₂ prestaties van biobased bouwen'²⁵ gepubliceerd met mogelijke opties voor zulke waardering, ook buiten de MPG.

VOER CARBON ACCOUNTING IN

De verwachte levensduur van een gebouw bepaalt in grote mate de milieu-impact van een gebouw (uitgedrukt in €/m²/jaar). Hierbij wordt uitgegaan van een gemiddelde levensduur van een gebouw van 75 jaar. Wat er met een gebouw gebeurt over 50 of 100 jaar is moeilijk te voorspellen. In de praktijk zien we echter vooral in de utiliteitsbouw vaak een kortere levensduur, en met name bij particulier eigendom van woningen een langere levensduur.

Om op termijn eerlijk om te kunnen gaan met een kortere of langere levensduur van een gebouw, is een manier van carbon accounting denkbaar, waarmee de materiaalgebonden emissies als het ware afgeschreven wordt over een bepaalde levensduur. Bij vroegtijdige sloop blijft dan nog een carbon schuld over; bij een langere levensduur draagt het bij aan de waarde van het gebouw. Voorbeelden hiervan zijn RECAP (Real Estate Carbon Accounting Framework), ontwikkeld door belegger Alstria, of gedachtes rond een Whole Life Carbon approach, zoals geformuleerd door DGBC.

²⁵ Fraanje, P. en Nijman, R., DGBC, TNO, (2021). *Waarderen van CO₂ prestaties van biobased bouwen*.

INTEGRALE BEOORDELING VAN EMISSIES

Operationele en materiaalgebonden emissies zijn als het ware communicerende vaten. Een hogere investering in de bouwfase kan over de levensduur van een gebouw grote besparingen in de operationele emissies opleveren. Andersom kan bijvoorbeeld hergebruik van een bestaand gebouw tot gevolg hebben dat de energieprestatie niet optimaal is. Met zicht op de urgentie om de CO₂ uistoot nú te reduceren, onvoorspelbaarheid van de levensduur van gebouwen en vele andere factoren, is het wenselijk om per geval te kunnen bepalen wat de beste oplossing is. In plaats van harde eisen voor operationele én materiaalgebonden emissies te stellen, die in bijzondere situaties tot ongewenste conflicten leiden, is het aan te bevelen de eisen integraal op te stellen en de keuze aan de ontwerper/eigenaar te laten. Het wordt dan wel belangrijk dit ook te monitoren en middels een vorm van carbon accounting bij te houden.

VI. REFERENTIES

- Alba Concepts, (2019). *Rapport Meetmethodiek Losmaakbaarheid voor GPR Gebouw en BREEAM-NL*.
- Alliander and Spectral. (2021). *Jouliette @ De Ceuvel*. Jouliette. <https://www.jouliette.net/>
- Asrani, K., (2019). *Investing in Circular Transformation. A shift in the role of investors in the circular construction industry*.
- Azcarate-Aguerre, J. (n.d.). *Facade Leasing pilot project at TU Delft*. <https://www.tudelft.nl/bk/onderzoek/projecten/green-building-innovation/facade-leasing/facade-leasing-pilot-project-at-tu-delft>
- Bayera, P. en Aklin, M. (2019). *The European Union Emissions Trading System reduced CO₂ emissions despite low prices*.
- Bergsma G. et al., (2020). *Top 10 milieubelasting gemiddelde Nederlandse consument*. CE Delft, Delft.
- Blok, R., Habraken, A. P. H. W., Pronk, A. D. C., & Teuffel, P. M. (2018). *Resource-efficient structural design*. In C. Mueller, & S. Adriaenssens (Eds.), *Proceedings of the IASS Symposium 2018: Creativity in Structural Design* (pp. 1-10).
- Brand, S. (1994). *How Buildings Learn. What Happens After They're Built*.
- Chagas, T., (2017). *What is the future of the CDM?*
- Churkina, G., (2020). *Buildings as a global carbon sink*.
- Cortés Vargas, T.C., (2019). *Circular Façade Systems and Construction. Design for Remanufacturing Window Systems*.
- DeBrincat, G. en Babic, E. (n.d.) *Re-thinking the Life-Cycle of Architectural Glass*. Arup, Glasgow. <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/re-thinking-the-life-cycle-of-architectural-glass>
- Diederer, P. (2021, September 30). *The Lee Towers - Transformatieproject*. [diederendirix.nl/nl/projecten/the-lee-towers/](https://www.diederendirix.nl/nl/projecten/the-lee-towers/)
- Drouilles, J. (2019). *Environmental impact assessment of Swiss residential archetypes: a comparison of construction and mobility scenarios*.
- Era Contour, TBI. (2020, November 9). *LOFT. Houtbaar*. <https://www.houtbaar.nl/loft/>
- Feenstra, J. en Veulemans, W., (2018). *Geld verdienen aan CO₂-opslag in grasbodems*.

- Nagler, F., (2012). Voordracht "Einfach Bauen", 29. Sep. 2012.
- Fraanje, P. en Nijman, R., DGBC, TNO, (2021). *Valuation of Carbon Performance of Biobased Construction*.
- Frianta, M.C., (2020). *A typology of circular economy discourses: Navigating the diverse visions of a contested paradigm*.
- Haagen B. en. Klijn A.R., (2013), *CO₂-emissiehandel als impuls voor de bouw- en vastgoedsector?*
- Habraken, N. J. (n.d.). *Open Building Legacy*. Open Building. <https://www.openbuilding.co/legacy>
- Hildebrand L., (2014). *Strategische investering van belichaamde energie tijdens het architectonische planningsproces*.
- Hoxha, E., et al. (2020). *Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods*. Buildings and Cities, 1(1), pp. 504–524. DOI: <https://doi.org/10.5334/bc.46>
- Habraken, J., (1961). *De Draggers en de Mensen: Het Einde van de Massawoningbouw*.
- Kader, bureau voor kwaliteitszorg, (n.d.). *CO₂ prestatieladder en CO₂ footprint*.
- Keijzer, E. et al. (2021). *Een verkenning van het potentieel van tijdelijke CO₂-opslag bij houtbouw*. TNO, Utrecht.
- King, B. (2017) *The New Carbon Architecture: Building to cool the climate*.
- Kriegh, J., et al. (2021). *Carbon-Storing Materials: Summary Report*.
- Kurvers et al. (2013). *Robust Climate Design Combines Energy Efficiency with Occupant Health and Comfort*. ASHRAE IAQ 2013 Proceedings: Environmental Health in Low Energy Buildings.
- Lee, A. et al., (2018). *Study on the Analysis of CO₂ Emissions of Apartment Housing in the Construction Process*.
- Liski, J., et al. (2001). *Which rotation length is favourable to carbon sequestration?*
- Lokin, V. en Boeschoten, H., (2020). *Laat woningbouw en nieuw bos hand in hand gaan, dat levert geld op*.
- Milieucentraal (2021). *Tests en Advies op maat*. <https://www.milieucentraal.nl/over-milieu-centraal/tests-en-advies-op-maat/>
- Ministerie van VROM, (2020). *Bouwen met Tijd. Een praktische verkenning naar de samenhang tussen levensduur, kenmerken en milieubelasting van woningen*.
- Mooij, M. (2021, Nov. 23). *Congres Paris Proof Embodied Carbon Dutch Green Building Council*. <https://www.dgbc.nl/agenda/congres-paris-proof-embodied-carbon-334>
- Pit, M. et al., (2021). *Lessen in Circulariteit*. De Architecten Cie, Amsterdam.
- Platformcb23. (2021). *Circulair ontwerpen: Werkafspraken voor een circulaire bouw*. <https://platformcb23.nl/benaderd-30/6/2021>
- Renger, B.C. et al., (2014). *Net-positive building carbon sequestration*.
- Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland. (2021, April 28). *R-ladder - strategieën van circulariteit*. <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/circulaire-economie/r-ladder>
- Sadler, P. en Robson, D., (2013). *Carbon Sequestration By Buildings*.
- Salat, S., (2007). *Energy and bioclimatic efficiency of urban morphologies: towards a comparative analysis of Asian and European cities*.
- Stichting Nationale Milieudatabase, (2020). *Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken, Versie 1.0*.
- Stoffberg, G.H., (2016). *Carbon trading for Landscape Architects*.
- Strain, L., (2017). *University of Washington, Time Value of Carbon*.
- Strengers, B. et al. (2018). *Negatieve emissies: Technisch Potentieel, Realistisch Potentieel en Kosten voor Nederland*
- United Nations (2020). *United Nations Environment Programme Emissions Gap Report 2020*, Nairobi.
- Van Dam, J. en Van der Oever M., (2019). *Catalogus biobased bouwmaterialen 2019*.
- Van Leeuwen, M. en Van der Velde, O., NIBE, (2019). *Potentie van Biobased materialen in de bouw*.
- Vos, G., (2020). *Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. Circulaire gebouwen. Strategieën en praktijkvoorbeelden*.

VII. AFBEELDINGEN

Baumann, H., Tillman, A. (2004). *Hitch Hiker's Guide to LCA. An Orientation in Life Cycle Assessment Methodology & Applications.*

Brand, S., (1994). *How Buildings Learn. What Happens After They're Built.*

CE Delft (2019), *Uitstoot broeikasgassen in Nederland. Een analyse van de sectoren en bedrijven met de meeste uitstoot.*

Churkina, G. et al. (2020). *Decarbonizing construction. Buildings as a global carbon sink.*

Climate Action Tracker (May 2021). Based on national policies and pledges as of May 2021.

Danish Transport and Construction Agency, (2016). *Introduction to LifeCycle of Buildings. Trafik-Og Byggestyrelsen.*

DeBrincat, G. en Babic, E. (n.d.) *Re-thinking the Life-Cycle of Architectural Glass.* Arup, Glasgow. <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/re-thinking-the-life-cycle-of-architectural-glass>

EN 15804, Environmental Product Declaration Ecomatters.

Gemeente Rotterdam, (2020), *Rotterdamse Mobiliteitsaanpak februari 2020.*

Habraken, J., (1961). *De Draggers en de Mensen: Het Einde van de Massawoningbouw.*

King, B. (2017) *The New Carbon Architecture: Building to cool the climate.*

Kriehg, J., et al. (2021). *Carbon-Storing Materials: Summary Report.*

Milieucentraal (2021). *Tests en Advies op maat.* <https://www.milieucentraal.nl/over-milieu-centraal/tests-en-advies-op-maat/>

Nationale Milieudatabase, <https://milieudatabase.nl/>

Rood, T. et al., (2019). *Circulaire economie in kaart, Planbureau voor de Leefomgeving.*

Van Broeck, L. (2019, April 2). *Maatschappelijke kosten van verspreide bebouwing voor het eerst becijferd.* Vlaams Bouwmeester. <https://www.vlaamsbouwmeester.be/nl/nieuws-opinie/maatschappelijke-kosten-van-verspreide-bebouwing-voor-het-eerst-becijferd>.

W/E adviseurs (2013). *Richtsnoer 'Specifieke gebouwlevensduur'. Aanvulling op de Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken (MPG).*

VIII. INDEX

- atmosfeer 17, 19, 28
- BENG (Bijna Energieneutraal Gebouw) 14, 16, 26
- biobased 11
- biosfeer 7, 8, 17, 31
- BVO (brutovloeroppervlakte) 8, 31
- CO₂-budget 14
- CO₂-reductie 14
- CO₂-uitstoot 7, 13, 14, 15, 19, 22, 27, 34
- cradle-to-cradle 29
- cradle-to-gate 29
- cradle-to-grave 29
- cradle-to-site 8
- Emissie scope 21
- EPC (Energieprestatiecertificaat) 8, 16, 26
- EPD (Environmental Product Declaration) 6, 29, 30, 31
- GWP (Global Warming Potential) 34
- LCA (Life Cycle Assessment) 15, 29, 30, 31, 32, 33
- levensduur 8, 9, 10, 11, 12, 24, 27, 29, 30, 31
- lithosfeer 17
- materiaalgebonden emissies 7, 8, 9, 13, 14, 15, 16, 22, 23, 25
- MKI (Milieukostenindicator) 29, 31
- MPG (Milieuprestatie gebouwen) 5, 6, 8, 9, 10, 15, 16, 22, 30, 31, 32, 33, 34
- NMD (Nationale Milieudatabase) 6, 31
- Nul-op-de-meter-woningen 13, 27
- oceanosfeer 17
- operationele emissie 5, 25, 27, 28
- R-ladder 5
- schaduwkosten 8, 30, 31
- S-lagen 9, 16
- Stewart Brand 5, 16
- technosfeer 17

Hoe kunnen we ervoor zorgen dat de 1.000.000 nieuwe woningen die er in Nederland voor 2030 nodig zijn zo min mogelijk druk uitoefenen op de al moeilijk te behalen klimaatdoelen? Zelfs als alle toekomstige woningen volgens de huidige afspraken (Bijna Energie Neutraal Gebouw BENG, en 4% emissie-reductie in de industrie) gebouwd worden, zal het CO2-budget voor de bouw (bij een 1,5 graad opwarming scenario) in 2026 op zijn.

De publicatie Carbon-Based Design geeft inzicht in de CO2-kringloop en welke rol de bouwsector en de circulaire bouweconomie daarin speelt. De focus ligt op de embodied carbon (ofwel de materiaalgebonden emissies tijdens het productie en bouwproces) in de woningbouw. Door inzicht te krijgen in het bouwproces en welke onderdelen daarvan de meeste impact hebben op de totale uitstoot, kunnen we onze ontwerp- en ontwikkelstrategie daarop aanpassen. Het doel daarvan is duidelijk: gebouwen met een zo laag mogelijke CO2-uitstoot, of idealiter zelfs CO2-opslag, ontwerpen en realiseren.

CARBON — BASED DESIGN