

CARBON — BASED DESIGN

STEPSTOZERO

ONDERZOEK NAAR WONINGBOUW
MET EEN LAGE MILIEU-IMPACT



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

cityförmster
architecture + urbanism



De
circulaire
bouweconomie



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

cityförster
architecture + urbanism



Versie 1 | September 2022

Copyright © September 2022 Transitieteam Circulaire Bouweconomie en CITYFÖRSTER. 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, op voorwaarde van bronvermelding: Sobota et al. (2022), Carbon-Based Design: Steps to Zero, Rotterdam: Transitieteam Circulaire Bouweconomie en CITYFÖRSTER.

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

Arie Mooiman - KNB
David Anink - W/E adviseurs
John Mak - W/E adviseurs
Laetitia Nossek - DGBC
Roy Venhuizen - W/E adviseurs
Ruben Zonnevrijle - DGBC
Wouter ter Heijden - Witteveen+Bos

BPD, FAAM architects, Finch building, Shift a+u en Popma ter Steege Architecten 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, Ralf Schramm, Piotr Kalbarczyk
(CITYFÖRSTER)

DESIGN

Alexander Wolf, Martina Farrugia (CITYFÖRSTER)

INITIATIEF

Transitieteam Circulaire Bouweconomie

BEGELEIDING

Thomas Wellink (RVO)

UITVOERING EN OPMAAK

CITYFÖRSTER architecture + urbanism

EINDREDACTIE

Byline

INHOUD

INTRO 6-9

VOORWOORD

FEITEN EN CIJFERS VOOR EEN NIEUWE BOUWCULTUUR 6

DOEL VAN HET PROJECT 8

SAMENVATTING 8

AFBAKENING 9

GRENZEN VAN HET ONDERZOEK 9

HOOFDSTUK 1: ACHTERGROND 10-17

VERSCHILLENDE EMISSIES IN DE BOUWSECTOR 10

AANPAK EN WERKWIJZE 11

UITLEG MPG (MILIEUPRESTATIE GEBOUWEN)

REKENMETHODE 15

UITLEG PARIS PROOF REKENMETHODE 16

HOOFDSTUK 2: CASE STUDIES 18-27

CASE 1 20

CASE 2 22

CASE 3 24

CASE 4 26

VERGELIJKING WAARDEN 28

HOOFDSTUK 3: STEPS TO ZERO 32-59

MAATREGELEN	32
PREVENTIE (NARROW THE LOOP)	33
SLOW THE LOOP	36
CLOSE THE LOOP	38
SUBSTITUTE	40
ANDERE MAATREGELEN	42
STEPS TO ZERO	46
RESULTATEN PER CASE	47

HOOFDSTUK 4: CONCLUSIES 60-61

BRONNEN 62-66

VOORWOORD

FEITEN EN CIJFERS VOOR EEN NIEUWE BOUWCULTUUR

Vele sectoren in de samenleving hebben te maken met ingrijpende veranderingen: de zorg, de agrarische sector, de energiesector, de transportsector, de woningmarkt. Deze transities komen nu samen en bepalen voor een groot deel hoe we Nederland gaan inrichten. Bij de aanpak zullen we anders met ruimte moeten omgaan, anders past het simpelweg niet meer.

De bouw speelt uiteraard een grote rol bij de vormgeving van de ruimte en is zelf ook een sector die een transitie moet ondergaan. De nationale ambitie is immers dat de bouw volledig circulair is in 2050. Dat is een immense opgave, waarvoor een grote omslag in de bouwcultuur nodig is.

Een belangrijk onderdeel van circulair bouwen is de materialentransitie. Die hebben we nodig om te kunnen bouwen met respect voor de natuur en het levend bodem-watersysteem. De sleutel hiervoor ligt volgens het College van Rijksadviseurs bij de inzet van biobased bouwmaterialen. Dat zijn natuurlijke, levende materialen, zoals hout, hennep, vlas, lisdodde, bamboe, stro en zeewier. Deze materialen slaan CO2 op en groeien terug tijdens de levensduur van een gebouw.

Een handjevol bouwers en opdrachtgevers is echt bezig met circulair, natuurinclusief en biobased bouwen, maar de verleiding voor velen is groot om snel terug te grijpen op bekende maar vervuilende materialen en bouwprocessen. Bestaande afspraken met leveranciers en zekerheid over prijzen spelen daarbij een grote rol. Maar ook omdat wet- en regelgeving hier nog niet altijd op ingericht is.

Om de bouwmaterialen van de toekomst vanzelfsprekend onderdeel te maken van de bouwstroom, moeten alle partijen daarvoor bewust gaan kiezen. Niet alleen de ontwerpers, ook de opdrachtgevers, financiers, leveranciers, aannemers, afbouwers en slopers.

Die keuze wordt makkelijker als we een goed beeld hebben over wat we als samenleving willen. Dat begint met goede voorbeelden van onderaf die laten zien wat mogelijk is. Verhalen over geslaagde cases doen verlangen naar verandering.

Bij die verhalen en voorbeelden horen feiten en cijfers. Als we kunnen berekenen en laten zien dat biobased bouwen resultaat oplevert, dan zal dat verlangen naar verandering overgaan in handelen. Daarom ben ik heel enthousiast over dit onderzoek. Het legt een grondig fundament onder onze visie op bouwen zonder emissies en daarmee draagt het bij aan de broodnodige nieuwe bouwcultuur. Want we moeten toe naar een bouwcultuur die niet alleen draait om aantallen woningen of winsten, maar ook om een duurzame, gezonde, natuurinclusieve leefomgeving, voor iedereen. Nu en in de toekomst!

Francesco Veenstra
Rijksbouwmeester

januari 2023

DOEL VAN HET PROJECT

SAMENVATTING

Een emissievrije bouwindustrie – kan dat? In het kort: nee. Volgens het laatste IPCC-rapport (april 2022) heeft de sector wel een enorm verduurzamingspotentieel van 70%, maar zullen er nog steeds onvermijdelijke emissies plaatsvinden¹.

Het is daarom des te belangrijker elke stap naar een milieuvriendelijker gebouw gedetailleerd te bestuderen en goed te prioriteren.

Deze publicatie is een voortzetting van de eerdere publicatie *'Carbon-Based Design, onderzoek naar de milieu-impact van de woningbouw'*. In het kader hiervan werden zes casestudies gedetailleerd onderzocht. Die vormen deels ook de basis voor dit onderzoek. We hebben in dat rapport het systeem van levenscyclusanalyse op een eenvoudige manier geprobeerd uit te leggen, de impact van verschillende bouwdeelen in kaart gebracht en 'vuistregels' opgesteld om CO₂-emissie te verkleinen en CO₂-vangst te vergroten.

In dit rapport gaan we een stap verder en kwantificeren we het ongebruikte potentieel voor de reductie van milieu-impact in gebouwen. We willen de emissies zo laag mogelijk of zelfs richting nul brengen. We doen dit op basis van vier concrete cases.

We maken onze berekening voor zover mogelijk op basis van het huidige wettelijke kader, de MPG, die de totale milieu-impact van een gebouw over zijn hele levenscyclus in kaart brengt. We vertalen de berekening ook naar de uitstoot van CO₂-equivalenten en toetsen de resultaten aanvullend volgens de Paris Proof-methodiek zoals opgesteld door de Dutch Green Building Council (DGBBC) en NIBE.

Het resultaat geeft inzicht in de orde van grootte van bepaalde maatregelen en schetst wat nodig is om naar een nul-impact of positieve-impact op het milieu te komen. Ook wordt inzichtelijk waar sturing op de Paris Proof- en MPG-methodiek elkaar aanvult.

Samenvattend worden drie varianten van verduurzaming nauwkeuriger bestudeerd: hergebruik, vernieuwbouw en biobased bouwen. Deze worden door het toepassen van verdere maatregelen tot een zo laag mogelijke milieu-impact gebracht. De resultaten bevestigen de berekeningen van het IPCC-rapport dat we door het bouwen nog altijd emissies zullen veroorzaken. Het is daarom belangrijk elke mogelijkheid om de milieulast te verlagen en CO₂-besparingen te realiseren binnen en buiten de sector te bekijken. Pas als we CO₂-opslag in overweging nemen, kunnen we misschien op nul of een positieve-impact uitkomen.

¹ IPCC, 2022: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi:10.1017/9781009157926.001

AFBAKENING

Het onderzoek beperkt zich tot de woningbouw. De doorrekening wordt gemaakt op basis van vier referentiegebouwen. Het zijn twee reguliere gebouwen zonder uitgesproken ambitie op duurzaamheid en twee gebouwen met een hoge ambitie op duurzaamheid in materiaalgebruik.

GRENZEN VAN HET ONDERZOEK

Eerder onderzoek heeft getoond dat de kwaliteit van MPG-berekeningen en hun onderliggende data (ook in de NMD) sterk kan variëren. We hebben daarom voor enkele vraagstukken binnen en buiten de NMD aanvullende data gezocht. Waar dat het geval is hebben we dit vermeld.

De bepalingmethode voor de MPG wordt constant doorontwikkeld en we hebben, om het doel van het onderzoek te bereiken, aannames moeten maken die niet in de officiële rekenmethode toegepast worden. Een voorbeeld daarvan is de CO₂-opslag in biobased materiaal. Onderzoek hiernaar is gaande, onder meer door SGS Search².

Het onderzoek is gebaseerd op vier casestudies met een spreiding in stedelijke en laag stedelijke bebouwing. Het aantal is te klein om een bandbreedte van de huidige woningbouwproductie af te beelden. De onderliggende MPG-berekeningen zijn door W/E adviseurs (onderdeel van het betrokken expertpanel) op geloofwaardigheid getoetst. Toch ligt het buiten de scope van dit onderzoek om te bepalen of de projecten volgens de tekeningen en berekeningen ook zijn gebouwd en of er mogelijk bouwkundige of technische bezwaren zijn tegen de gekozen materialen.

² <https://milieudatabase.nl/start-onderzoek-bepaling-waardering-van-de-milieueffecten-van-co2-opslag-en-emissie-in-bouwmaterialen/>

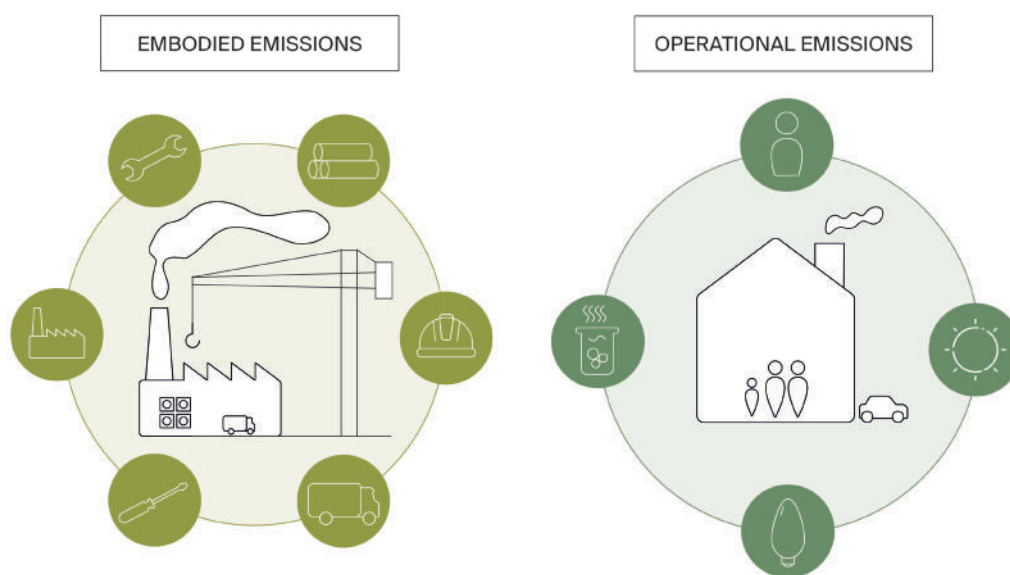
HOOFDSTUK 1

ACHTERGROND

VERSCHILLENDE EMISSIES

IN DE BOUWSECTOR

Om de emissies van de bouwsector te verminderen, moeten we eerst begrijpen waar die emissies eigenlijk ontstaan en hoe deze berekend worden. In 'Carbon-Based Design' wordt dit in detail toegelicht. We willen hier alleen herhalen dat de levensloop van gebouwen in verschillende fasen ingedeeld wordt en dat in elke fase milieuschade in verschillende gedaantes (directe of indirecte emissies) ontstaat. Deze emissies kunnen in twee groepen ingedeeld worden: operationele en materiaalgebonden emissies. In het Engels zijn dat: *operational & embodied emissions*.



AFBEELDING 1
Verskil materiaalgebonden en
operationele emissies

Operationele emissies worden veroorzaakt tijdens de gebruiksfase door: elektriciteit, gas, warm water en verwarming. De wettelijke kaders (EPC, BENG) rondom operationele emissies zijn in de laatste jaren sterk aangescherpt en nieuwe gebouwen horen nauwelijks nog operationele emissies te veroorzaken.

Materiaalgebonden emissies worden uitgestoten door:

- productie van bouwelementen;
- transport en montage van bouwelementen;
- onderhoud en vernieuwingen tijdens gebruiksfase;
- transport en bijwerking tijdens afdankfase;

Door het minimaliseren van de operationele energievraag zijn materiaalgebonden emissies in verhouding belangrijker geworden. Maar vaak gaat een reductie van operationele emissies ook gepaard met een verhoging van materiaalgebonden emissies in absolute zin. Denk aan dikkere

isolatielagen, zwaardere installaties die het energieverbruik minimaliseren of het plaatsen van zonnepanelen om energie op te wekken.

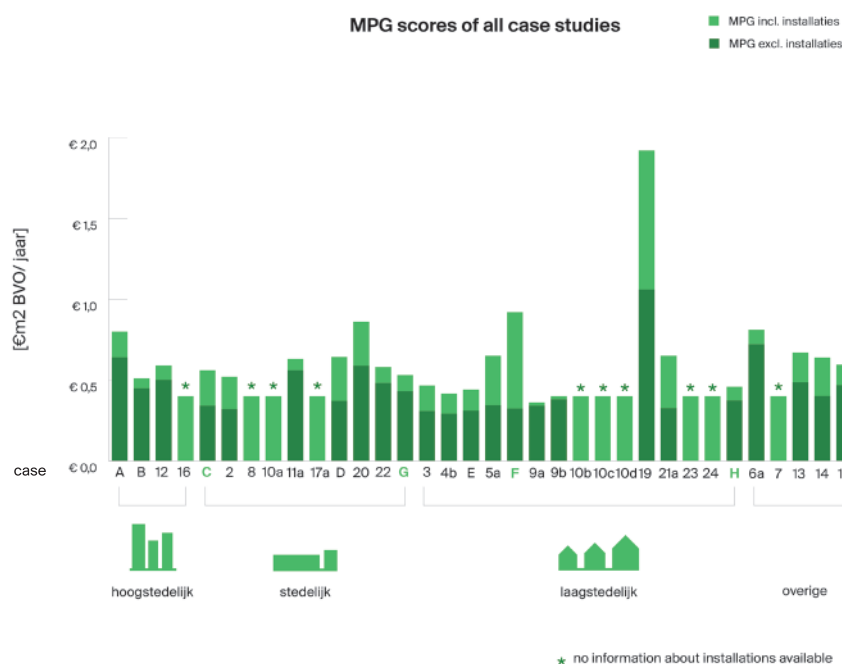
AFBEELDING 1
Bouwemissies op kaart -
afgeleid uit¹

¹ Le Den X, Steinmann J, Röck M, Birgis-dottir H, Horup L H, Tozan B, Sørensen A. *Towards EU embodied carbon benchmarks for buildings - Summary report*, 2022, <https://doi.org/10.5281/zenodo.6397514>



AANPAK EN WERKWIJZE

Dit rapport is gebaseerd op literatuuronderzoek en de analyse van vier referentiegebouwen. Deze zijn vervolgens stap voor stap verbeterd, waardoor als het ware hypothetische ontwerpen zijn ontstaan die een ideaal gebouw met een lage milieu-impact benaderen. De cases zijn gerealiseerde projecten, waarover data is verzameld voor het eerdere onderzoek 'Carbon-Based Design'. Voor dit onderzoek zijn deze nog aangevuld met twee extra vooruitstrevende gebouwen.

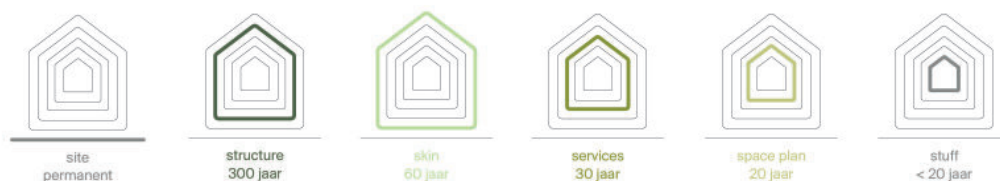


AFBEELDING 2
Overzicht samengestelde
Case Studies

Van alle referentiegebouwen hebben we de verplichte MPG-berekening voor de omgevingsvergunning opgevraagd. Daarnaast hebben we aanvullend materiaal verzameld, zoals de EPC- of BENG-berekening, plattegronden en een beschrijving.

Voor het onderzoek hebben we vier cases in detail bekeken. Het gaat om case C (1), case G (2), case F (3), en case H (4), (zie afbeelding 3). We hebben geselecteerd op gebouwen met en zonder uitgesproken ambitie op duurzaamheid in twee dichtheden, stedelijk en laag stedelijk. Van elk project is op basis van de officiële MPG-berekeningen een nieuwe dataset gecreëerd met behulp van de software *GPR-materiaal*. Dit geeft inzicht in de onderliggende structuur van de projecten en maakt een gedetailleerde analyse mogelijk.

De resultaten zijn overgenomen in een Excel-bestand waarin we ook per materiaal de verdelingen van de levenslooppfasen kunnen zien en we de materialen kunnen groeperen volgens de S-layers van Brand.¹



AFBEELDING 3
Layers of Brand - categorieën om gebouwen te delen

Voor dit onderzoek zijn vier van de lagen relevant. We hebben de elementen op de volgende manier ingedeeld:

- structure (horizontale en verticale draagconstructie, fundering);
- skin (niet-dragende daken, gesloten gevel, open gevel);
- services (pv, klimaatinstallaties, water, licht en leidingen);
- space plan (vaste inrichting, verkeersruimte, niet-dragende binnenwanden incl. deuren etc, niet-dragende vloeren).

Het vertrekpunt is de MPG-berekening met de materialisatie zoals vergund. Vervolgens zijn stapsgewijs bouwelementen vervangen door alternatieven met een lagere MKI-/CO₂ -waarde of zijn andere berekeningen gemaakt. Deze berekeningen zijn beschreven in het hoofdstuk Maatregelen.

De maatregelen worden gekwantificeerd naar de MPG-score (€/m²/jaar), onze primaire doelwaarde die de totale milieu-impact aan de hand van 11 indicatoren uitdrukt. Daarnaast vindt er een vergelijking plaats op basis van de Paris Proof Score (CO₂e/m²). Dat maakt een uitspraak mogelijk of een gebouw binnen de maximale CO₂-budgetten voor de bouwsector valt die in acht genomen moeten worden om aan de afspraken in het Akkoord van Parijs te voldoen. Dit is onze secundaire doelwaarde.

Sommige maatregelen kunnen gestapeld kunnen worden, andere zijn alternatieve keuzes. Waar het mogelijk is, hebben we van een set maatregelen die wel stapelbaar zijn combinaties gecreëerd. Deze combinaties zijn onze hypothetische alternatieve gebouwen voor de casestudies met de kleinst mogelijke milieu-impact. Op basis van deze combinaties kunnen verdere uitspraken worden gedaan over besparingsmogelijkheden. Alle combinaties zijn vervolgens op elke case toegepast.

De gemiddelde resultaten hiervan dienen om individuele bijzonderheden te kunnen identificeren. Ook kunnen er conclusies uit getrokken worden over het algemene potentieel om de MPG te verlagen en besparing van CO₂e/m² te besparen.-

In het hoofdstuk Maatregelen worden, voor verdere overweging, ook maatregelen besproken die geen onderdeel zijn van de bepalingsmethodiek van de MPG. Zo wordt bijvoorbeeld het mogelijke effect van koolstofopslag door biobased maatregelen geanalyseerd. In een andere stap rekenen we met innovatieve materialen die nog niet op deze manier in de NMD zijn ingevoerd.

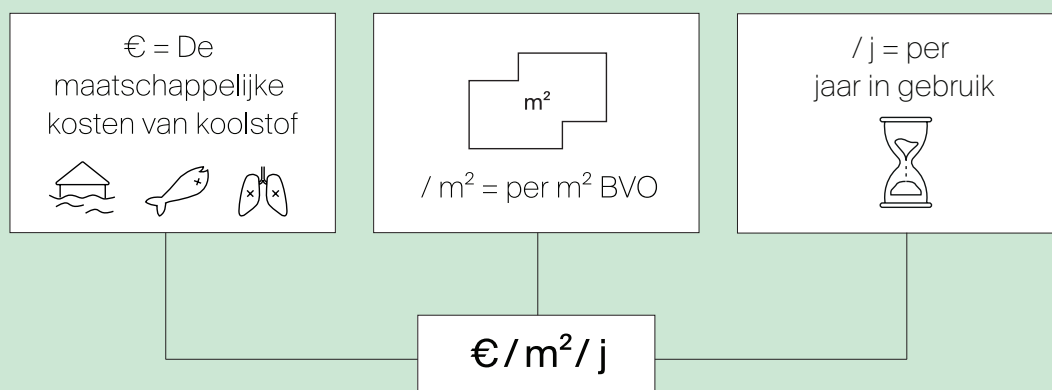
Materiaalgebonden emissies zijn nog maar kort onderdeel van de maatschappelijke discussie en de wettelijke kaders zullen de komende jaren doorontwikkeld, aangescherpt en verbreed worden. Mede daarom missen we vaak betrouwbare data, om goed onderbouwde conclusies te trekken. De methodes en achterliggende aannames, evenals verdere stappen voor verduurzaming, zijn in dit rapport breed uitgelegd. Alle berekeningen zijn voor maximale transparantie ook in een online appendix te raadplegen.

¹ Steward Brand stelt voor om een gebouw in zes lagen onder te verdelen (site, structure, skin, services, spaceplan, stuff) die elk een verschillende levensduur hebben.

		Original MPG 75 jaren levensduur					Original Paris Proof 30 jaren levensduur				
Case	Layer	MPG/Eenh.	Materiaal	Cat.	aantal/m2	Dikte	/m2/jaar MPG	totaal MKI	MKI	(kgCO2e/m2BVO) A1-3	A4-5
	Structure	1,56	Kelderwanden, kalkzandsteen lijmblokken VNK	2	162	300mm	0,00	760	760	3,06	0,27
		12,82	Vloeren constructief, Beton,in het werk gestort, C20/25; incl.wapening	3	69	280mm	0,00	886	886	2,10	0,04
		2,61	Vrijdragende Vloeren, Breedplaat, excl. druklaag, 60mm; prefab beton; AB-	2	733		0,01	1.909	1.909	5,89	0,40
		3,62	Vrijdragende Vloeren, Betonhuis; druklaag breedplaatvloer; betonmortel C	2	733	220mm	0,01	3.075	3.075	8,02	0,29
		2,61	Vrijdragende Vloeren, Breedplaat, excl. druklaag, 60mm; prefab beton; AB-	2	2.962		0,03	7.717	7.717	23,83	1,61
		3,62	Vrijdragende Vloeren, Betonhuis; druklaag breedplaatvloer; betonmortel C	2	2.962	220mm	0,05	12.428	12.428	32,31	1,18
		2,61	Vrijdragende Vloeren, Breedplaat, excl. druklaag, 60mm; prefab beton; AB-	2	740		0,01	1.928	1.929	5,97	0,40
		3,62	Vrijdragende Vloeren, Betonhuis; druklaag breedplaatvloer; betonmortel C	2	740	190mm	0,01	2.683	2.683	6,98	0,26
		10,56	Balkon- en galerijvloeren, Beton, prefab; AB-FAB	2	411	250mm	0,02	4.337	4.337	12,67	0,97
		1,16	Systeemwanden dragend, Houten woningscheidende wand HSB prefab; incl.	2	31		-	36	36	0,11	0,04
	Skin	0,09	Consoles, Staal; L-ongelijkzijdig 50x30, hoekstaal50x30	2	247		-	21	21	0,16	0,23
		0,09	Consoles, Staal; L-ongelijkzijdig 50x30, hoekstaal50x30	2	318		-	27	27	0,21	0,03
		1,66	Massieve wanden dragend, Kalkzandsteen elementen	2	1.619	300mm	0,03	8.056	8.056	15,06	3,40
			Subtotal				0,17	43.863	43.864	116,37	9,13
		6,15	Spouwmuren buitenblad, Baksteenmetselwerk	3	1.407	100mm	0,03	8.661	8.661	25,27	2,03
		1,56	Spouwmuren binnenblad, kalkzandsteen lijmblokken VNK	2	193	214mm	0,00	644	644	2,59	0,23
		1,48	Systeemwanden, HSB element; Europees naaldhouten multiplex en gipspla	3	1.158	160mm	0,01	1.712	1.712	4,82	0,26
		0,66	Isolatielagen, Glaswol MWA 2012; platen;	3	1.379	4,5m2k/w	0,01	1.179	1.179	2,09	0,03
		3,03	Buitenkozijnen, Aluminium vast en/of draaiend, geanodiseerd	3	218		0,00	658	658	2,48	0,11
		16,98	Buitenbeglazing, HR (dubbel) glas; coating, 4/12/4 mm	3	870		0,06	14.775	5.910	11,43	0,14
	Spaceplan	0,26	Stelkozijnen, Onverduurzaam hout; geverfd	3	84st		-	22	22	0,07	0,04
		6,34	Vensterbanken, Kunststeen; element	3	153	20mm	0,00	970	388	0,68	0,02
		0,61	Waterslagen, Aluminium; gemoffeld	3	153	100/2mm	-	94	50	0,24	0,00
		1,31	Isolatielagen, EPS	3	740	6m2k/w	0,01	1.657	1.657	4,62	0,20
		1,86	Plat dakbedekkingen, EPDM, sbs cachering; verkleefd	3	740		0,01	1.375	916	1,70	0,02
			Subtotal				0,12	31.746	21.797	55,98	3,07
		1,78	Dekvloeren, Zandcement	3	733	70mm	0,01	2.282	2.282	5,74	0,24
		1,41	Afwerklagen, MOSA Keramische vloertegels; ongeglaazuurd/geplaatst/gevo	1	354		0,00	499	499	1,02	0,13
		1,03	Isolatielagen, IsoBouw EPS 100 SE	1	733	4,5m2k/w	0,00	966	966	2,48	0,13
		2,01	Verlaagde plafonds, Akoestisch gipskartonplafond, enkel geperforeerde pla	2	95		0,00	192	77	0,34	0,00
	Services	0,31	Afwerklagen, Spuitpleister	3	2.962	3mm	0,00	907	363	0,55	0,12
		1,45	Massieve wanden niet dragend, Gipsblokken, normale dichtheid (NBVG)	2	1.566	70mm	0,01	2.270	2.270	6,61	0,09
		0,56	Afwerklagen, MOSA Keramische wandtegels; geglaazuurd/geplaatst/gevoe	1	826		0,00	466	466	1,71	0,27
		3,86	Binnenkozijnen, Staal; verzinkt+gemoffeld	3	423		0,01	1.631	1.631	5,65	0,02
		0,58	Binnendorpels, Gegoten Composietsteen binnendorpel	3	24		-	14	14	0,25	0,03
		10,75	Binnendeuren, Honingraat; geschilderd;alkyld	3	169st		0,01	1.816	726	2,02	0,04
		3,24	Binnendeuren, Houten vlakke binnendeur; honingraat, duur. bosbehee	2	24st		-	78	52	0,15	0,00
		62,65	Centrale trappen, Prefab beton; h:2.7.b:1.1m; incl. bordes	3	9st		0,00	564	564	1,74	0,24
		2,17	Balustrades, Staal; gepoedercoat; spijlen	3	43		-	94	75	0,69	0,01
		1,13	Leuningen, Aluminium	3	14		-	15	15	0,03	0,14
		131,56	Liftcabines, Staal; personenlift; gemoffeld	3	3		0,00	395	395	1,81	0,14
		117,53	Liftinstallaties, Staal; hefconstructie+contragewicht; 1 bouwlaag	3	3		0,00	353	353	1,54	0,11
		2,17	Balustrades, Staal; gepoedercoat; spijlen	3	169		0,00	368	294	2,69	0,02
			Subtotal				0,05	12.909	11.042	35,02	1,74
		197,89	Warmteopwekkinginstallaties W-bouw, Warmtepomp lucht - water hybrid	3	24		0,02	4.749	1.900	4,70	0,03
		0,9	Warmte distributiesystemen, Polyetheen/polybuteen; cv-leidingen; incl. kog	3	3.017		0,01	2.712	1.266	0,53	0,00
		1,22	Warmte afgiftesystemen, Vloerverwarming; leidingen;polybuteen+toebeho	3	3.017		0,01	3.691	1.477	1,47	0,01
		285,07	Warmtapwaterinstallaties, Elektrische boiler; CW:4-6, 120 liter	3	24		0,03	6.842	2.737	6,09	0,01
		0,54	Luchtdistributiesystemen, VLA Ventilatiesysteem, type C; W-bouw, indivi	2	3.017		0,01	1.630	761	2,74	0,02
		0,27	Elektricitetsleidingen, Geïsoleerde installatiedraad + mantelbuis;pvc	3	3.017		0,00	812	541	0,72	0,01
		140,18	Elektricitetsopwekkingsystemen, PV,multi-Si; plat dak; incl. inverter+steun	3	264		0,14	37.008	14.803	29,72	0,02
		0,03	Waterleidingen, Polybuteen; leiding+mantelbuis	3	3.017		-	83	55	0,18	0,00
		0,06	Buitenrioleringen kalk, Pvc; gerecycled; leiding	3	3.017		0,00	187	87	0,29	0,00
		0,27	Hemelwaterafvoeren, Polyetheen; diameter:80mm; d:1.8mm	3	180		-	48	19	0,05	0,00
		0,12	Binnenrioleringen, Pvc; gerecycled; leiding	3	3.017		0,00	374	174	0,58	0,00
			Subtotal				0,22	58.136	23.820	47,06	0,10
			Total					146.654	100.523	881.852	48.687
			BVO		3.466	m2			per m2BVO	254	14
						MPG	0,56			268	embodied carbon in i
						0 MPG -verbetering					

AFBEELDING 3
Voorbeeld materialenstaat
met bijhorende MPG- en
CO₂ - waarden

UITLEG MPG (MILIEUPRESTATIE GEBOUWEN) REKENMETHODE

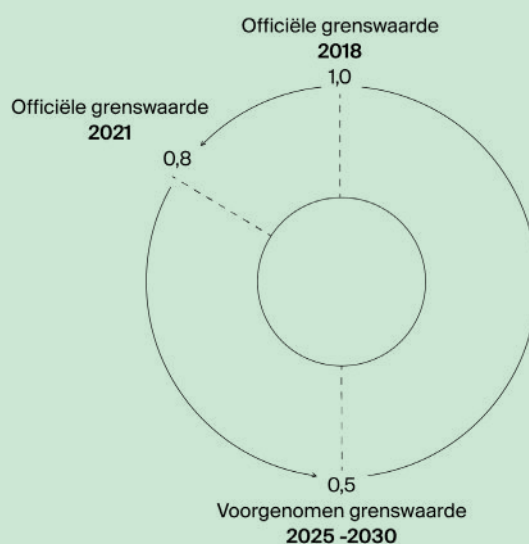


AFBEELDING 4
Schema samenstelling MPG

Sinds 2013 moet voor elke nieuwbouwvergunning een MPG-berekening worden ingediend. Door middel van rekenprogramma's kan de milieu-impact van alle bouwmaterialen van een gebouw op basis van EPD's berekend worden. De totale milieukosten van het gebouw (MKI) worden gedeeld door het brutovloeroppervlak (BVO) en de geschatte levensduur (standaard 75 jaar), waardoor de zogeheten schaduwkosten van een gebouw bepaald worden in €/m²/jaar.

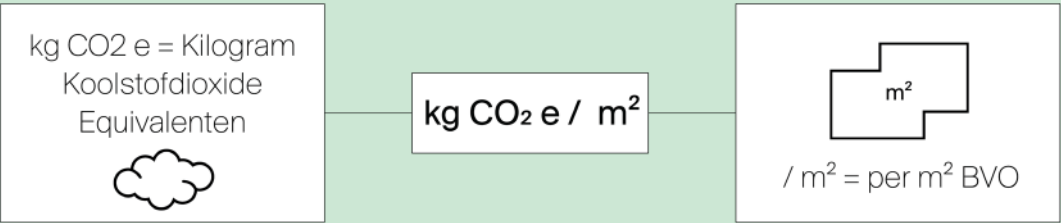
Het idee is dat de MPG stapsgewijs verlaagd wordt. Sinds 1 juli 2021 moet de MPG-waarde van nieuwbouw onder 0,8 liggen om een bouwvergunning aan te kunnen vragen. Op dit moment staat vast dat uiterlijk 2030 deze grenswaarde bij 0,5 moet liggen en er is discussie om deze norm al in 2025 in te voeren.

De MPG probeert een afgewogen uitspraak over de milieu-impact van gebouwen te doen. Daarom wordt mogelijke schade in elf categorieën meegenomen: van klimaatverandering vanwege CO₂ - uitstoot, aantasting van de ozonlaag en humaan-toxicologische effecten tot verzuring. Met behulp van verschillende wegingsfactoren worden deze effecten in één getal samengebracht. Hierdoor moeten waterbedeften voorkomen worden: optimalisatie op het ene milieu-aspect mag geen negatief effect in een ander veld hebben. Om deze redenen is de MPG-waarde ook onze hoofdindicator.



AFBEELDING 5
MPG gemiddelde en grens-
waarden

UITLEG PARIS PROOF REKENMETHODE

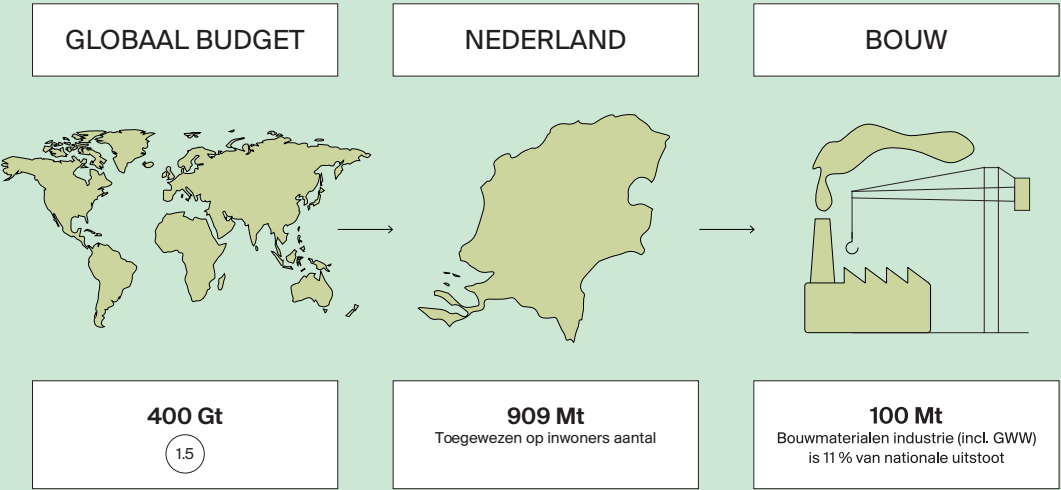


AFBEELDING 6
Schema Paris proof rekenmethode

Om de opwarming van de aarde tussen de 1,5 en 2 graden te houden mag er tot 2050 door Nederland nog 909 miljoen ton CO₂-equivalenten uitgestoten worden. Anders dreigen kantelpunten overschreden te worden en zal dit ernstige gevolgen hebben. Adaptatie aan klimaatverandering zal dan in delen van de wereld niet meer mogelijk zijn. Dat betekent, los van alle lange termijneffecten, dat de komende 30 jaar cruciaal zijn om het tij te keren. Daarom hebben we als secundaire waarde ervoor gekozen te kijken hoeveel kgCO₂e/m² een gebouw in de komende 30 jaar zal uitstoten en of dat binnen het CO₂-budget voor de Nederlandse bouwsector past. Dat zou bij het actuele aandeel van 11% circa 100 miljoen ton restbudget tot 2050 betekenen. We volgen daarmee Het Paris Proof Embodied Carbon-rekenprotocol, geschreven door het Dutch Green Building Council (DGBC) en onderzoeksbureau NIBE.

Om de Paris Proof-score te bepalen worden alleen de fases A1-5 meegenomen en wordt de levensduur van het gebouw in de berekeningen op 30 jaar gezet. Dat betekent dat bijvoorbeeld pv-panelen met een levensduur van 25 jaar niet drie keer tellen maar 1,2 keer.

Als in deze rekenmethode nieuwere EPD gebruikt worden, telt ook biogene CO₂-opslag mee, omdat volgens de EN 15804 2A deze waardes expliciet uitgedrukt worden, terwijl in oude EPD biogene CO₂-opslag volgens het principe +1-1=0 volledig buiten beschouwing wordt gelaten.



AFBEELDING 6
Afleiding CO₂-Budget¹

¹ DGBC (2021): *Position Paper Whole Life Carbon*, versie 1.1: <https://www.dgbc.nl/nieuws/rekenen-aan-paris-proof-materiaalgebonden-emissies-met-protocol-6244>

Als er ieder jaar 70.000 nieuwe woningen worden gebouwd en tussen de 2 en 16 miljoen vierkante meter per jaar gerenoveerd wordt (op een S-curve gemodelleerd), resulteert dit in een grenswaarde in CO₂e/m² voor ieder gebouw. De hieruit voortvloeiende streefwaarden gebruiken wij als ons vertrekpunt om 'Paris Proof' te bereiken. Deze worden trouwens periodiek aangescherpt om een realistische ontwikkeling te simuleren.²

² DGBC (2021): Paris Proof Embodied Carbon - Rekenprotocol

GRENSWAARDEN VOOR NIEUWBOUW

Tabel 1: Grenswaarden voor Paris Proof bouwwerken. Grenswaarde is gegevens in “embodied Carbon” per m2 bouw-
werk.

PARIS PROOF GRENSWAARDEN	EMBODIED CARBON KG CO ₂ -EQ. PER M ²			
	2021	2030	2040	2050
Woning (eengezinswoning)	200	126	75	45
Woning (meergezinswoning)	220	139	83	50
Kantoor	250	158	94	56
Retail vastgoed	260	164	98	59
Industrie	240	151	91	54

GRENSWAARDEN VOOR RENOVATIE

Tabel 2: Grenswaarden voor Paris Proof bouwwerken. Grenswaarde is gegevens in “embodied Carbon” per m2 bouw-
werk.

PARIS PROOF GRENSWAARDEN	EMBODIED CARBON KG CO ₂ -EQ. PER M ²			
	2021	2030	2040	2050
Woning (eengezinswoning)	100	63	38	23
Woning (meergezinswoning)	100	63	38	23
Kantoor	125	79	47	28
Retail vastgoed	125	79	47	28
Industrie	100	63	38	23

AFBEELDING 7
Grenswaarden na Paris Proof¹

1 DGBC (2021): Paris Proof Embodied Carbon - Rekenprotocol

AFBEELDING 8
Tabel 1: vergelijking reken-
methode MPG en Paris Proof

	PRODUCTIE	BOUW	GEBRUIK	AFDANK	HERGEBRUIK	TIJDSFACTOR	MILIEU-IMPACT CATEGORIEN	DATABASE LCA PRODUCTKAARTEN
MPG	A1-3	A4-5	B1-5	C1-4	D	75 jaar	11 (incl. GWP)	NMD
PARIS-PROOF	A1-3	A4-5	-	-	-	30 jaar	GWP	NMD

HOOFDSTUK 2

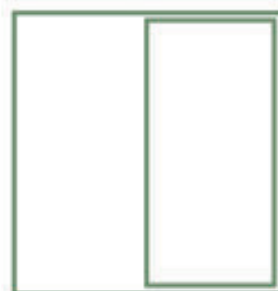
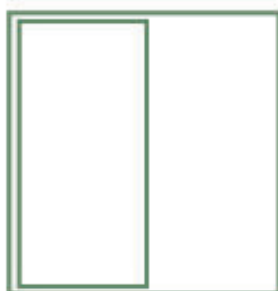
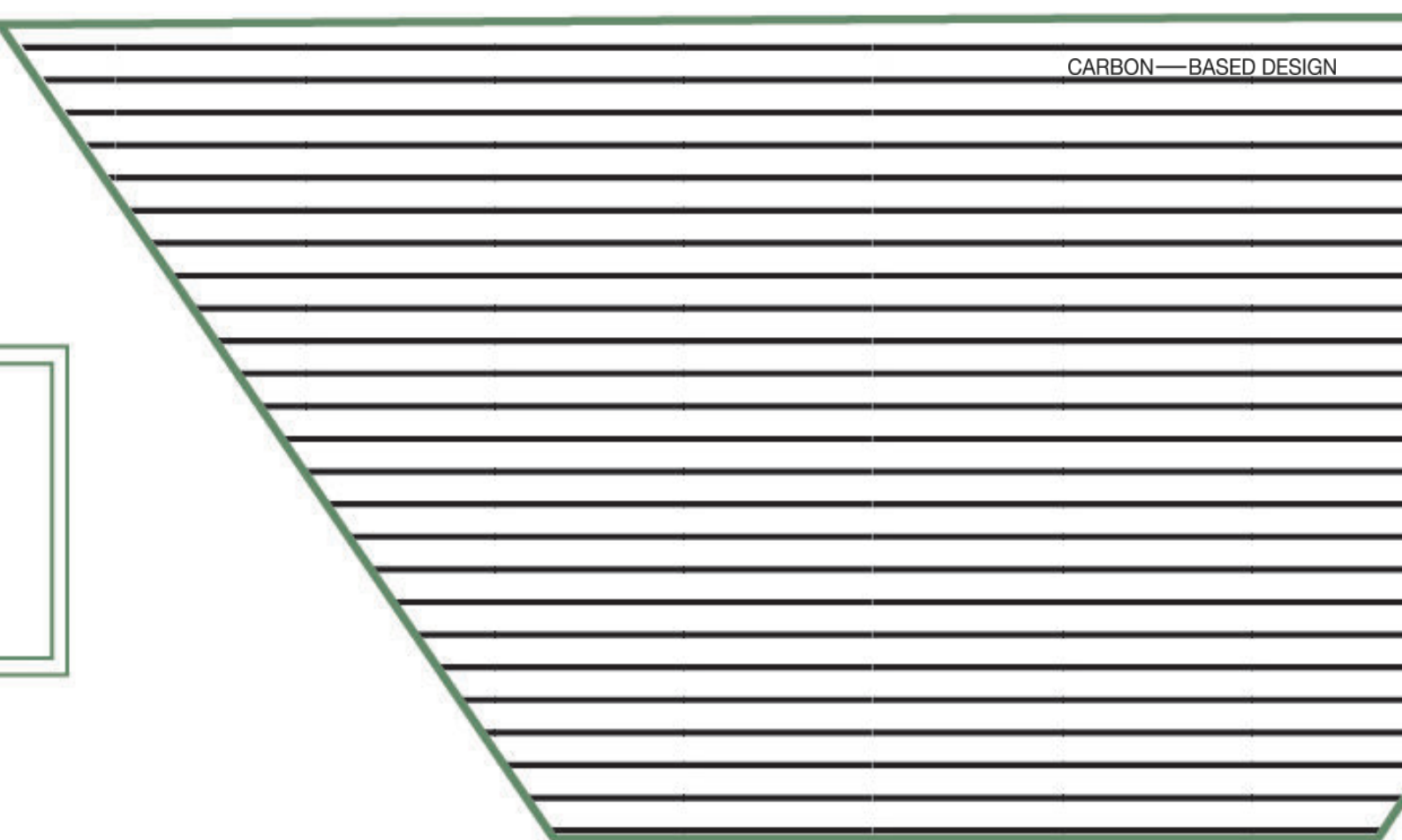
CASE STUDIES

Voor het onderzoek zijn vier cases gekozen. Case 1 en 3 staan voor conventionele gebouwen met al een tamelijk goede MPG-score. Daarnaast zijn Case 2 en 4 onze ambitieuze referenties met erg goede MPG-scores. De redenen hiervoor worden later in de analyse verklaard. Terwijl Case 1 en 2 gestapelde gebouwen zijn, worden met case 3 en 4 twee grondgebonden woningen vergeleken.



AFBEELDING 12
Gevelaanzichten van vier geanalyseerde referentieprojecten

Bij de vergelijkingen hebben we zoveel mogelijk een level playing field gecreëerd. De energievoorziening van een gebouw speelt ook bij de bepaling van de materiaalgebonden energie een grote rol. Afhankelijk van de externe energielevering moet een gebouw ook qua materiaal (installaties e.d.) zijn best doen om aan de EPC/BENG-eisen te voldoen. Daarom hebben we bijvoorbeeld de MPG een keer zonder pv en een keer met pv vergeleken. Toch was het moeilijk om dit aspect volledig uit de gegeven data weg te sorteren en echt vergelijkbaar te maken. In het hoofdstuk Investment van CO₂ en over tijd gaan we hier dieper op in.



CASE 1

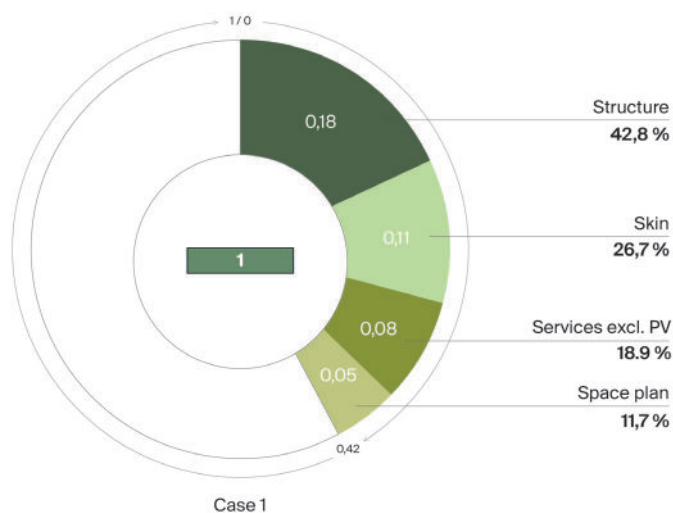


AFBEELDING 10
gevelaanzicht en plattegrond
Case 1

MPG-WAARDE 0,56 €/M²/JAAR; 0,42 €/M²/JAAR (ZONDER PV)

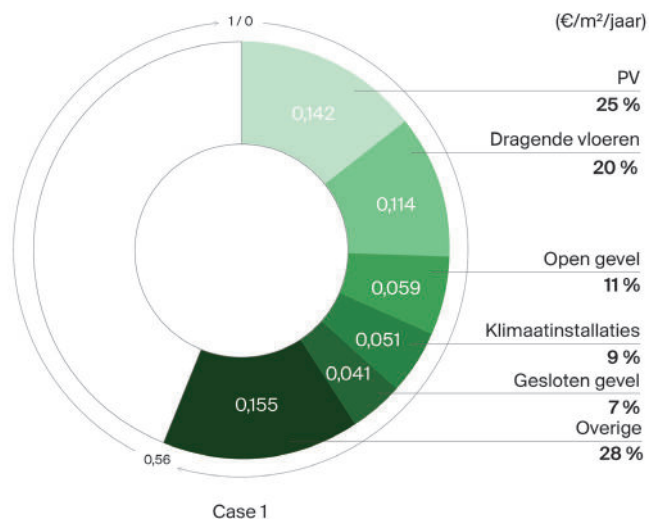
PARIS PROOF-WAARDE: 269 KGCO₂E/M²

Dit appartementengebouw in een middelgrote stad is een groter complex van twee soortgelijke gebouwen. De oppervlakte van de appartementen varieert van 83 tot 102 m². 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.



AFBEELDING 9
MPG-Score van Case 1
per S-laag (zonder pv)

De onderdelen van de plattegrond hebben een relatief lage milieu-impact. 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 Case D (6 mm). Het binnenklimaatconcept maakt gebruik van natuurlijke ventilatie als toevoer.



AFBEELDING 11
Top 5 emissies van Case 1

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 meer ambitieuze gebouwen.

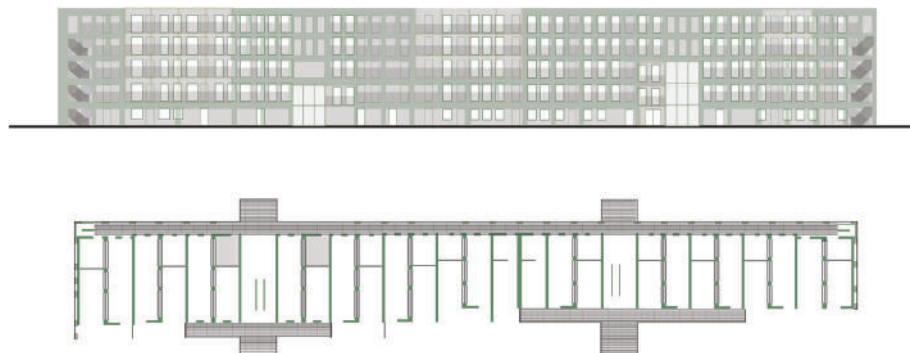
Over het algemeen heeft de open gevel grote invloed op de milieu-impact, maar in deze case is het minder dan verwacht vanwege een open gevel-percentag van 38%. Hierdoor is het gesloten gevel-percentag laag en dit komt terug in de lage score voor de gesloten gevel, ook al is hier gekozen voor categorie 3 metselwerk met een relatief hoge MKI, die niet representatief is voor de Nederlandse baksteenindustrie.



AFBEELDING 12
MPG-waarde per levenscyclus-fase Case 1

Het is opmerkelijk dat dit gebouw, dat met redelijk traditionele materialen gebouwd is, laag scoort in de MPG. De reden zou kunnen liggen in het zeer compacte bouwvolume en de gemiddelde hoogte van vier verdiepingen. Ook is voor de buitenwanden reeds gekozen voor HSB met een buitenblad van baksteen.

CASE 2

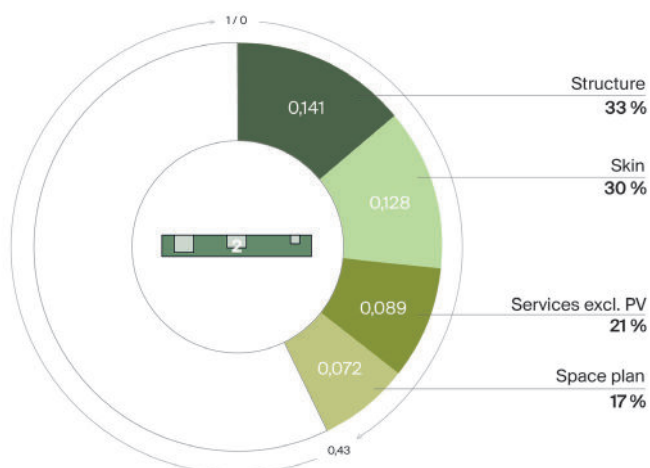


AFBEELDING 13
Gevelaanzicht en plattegrond
Case 2

MPG-WAARDE: 0,49 €/M²/JAAR - 0,43 €/M²/JAAR (ZONDER PV)
PARIS PROOF-WAARDE: 271 KGCO₂E/M²

Dit appartementengebouw in een middelgrote stad is onderdeel van twee soortgelijke gebouwen, die samen een groene binnenplaats delen. De appartementen hebben twee verschillende maten: 75 en 93,75 m² vloeroppervlak.

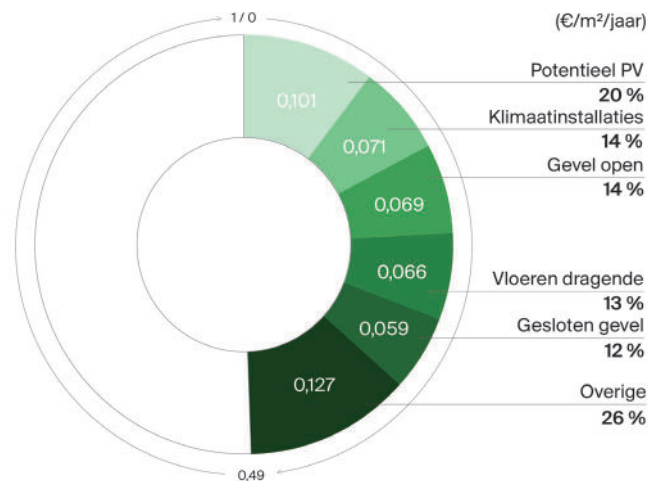
De draagstructuur bestaat uit een betonnen fundering met daarboven grotendeels hout. De hoofddraagstructuur bestaat uit CLT (kruislings gelamineerd hout) de binnen- en buitenwanden zijn met HSB (houtskeletbouw) gerealiseerd. Er is een modulaire bouwwijze toegepast. Dat uit zich niet duidelijk in een lagere MPG, terwijl deze bouwmethode over het algemeen als duurzamer wordt gezien.



AFBEELDING 18
MPG-Score van Case 2 per S-
laag (zonder PV)

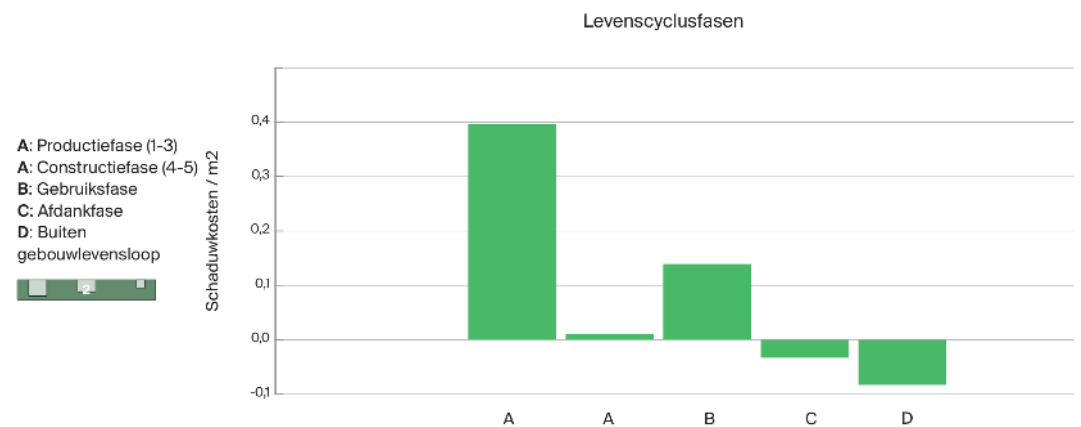
In de MPG-berekeningen is de draagconstructie nog steeds het grootste onderdeel, maar in

vergelijking met Case 1 wordt duidelijk dat hout voor een lagere milieu-impact zorgt. Hierbij is de CO₂-opslag niet meegenomen. De meest vervuilende bouwdelen zijn (naast de pv-panelen) de klimaatinstallaties, de open gevel en de dragende vloeren (begane grond van beton, maar voornamelijk uit CLT).



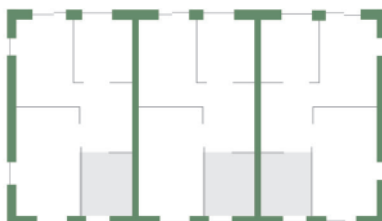
AFBEELDING 14
Top 5 emissies van Case 2

Het gebouw betreft zijn energie vanuit het regionale netwerk. Volgens de beschrijving is dit bijna volledig duurzame energie, waardoor om aan de BENG-eisen te voldoen minder pv-panelen noodzakelijk zijn.



AFBEELDING 15
MPG-waarde per levenscyclufase Case 2

CASE 3

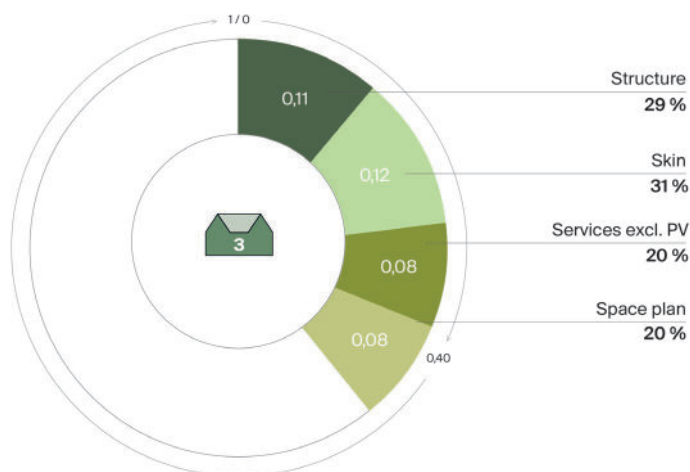


AFBEELDING 16
Gevel en plattegrond
Referentieproject Case 3

MPG-WAARDE: 0,92 €/M²/JAAR; 0,40 €/M²/JAAR (ZONDER PV)
PARIS PROOF-WAARDE: 379 KGCO₂E/M²

Deze geschakelde woning van 160 m² kan vijf personen huisvesten. De belangrijkste constructieve materialen zijn kalkzandsteen (wanden) en beton (vloeren).

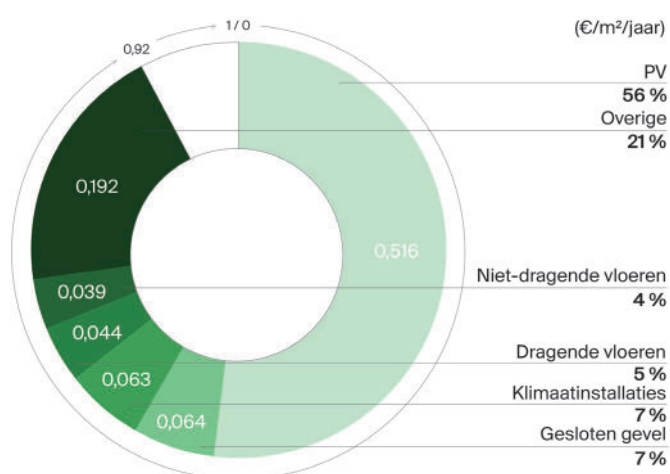
De schaduwkosten van bouwmaterialen zijn niet erg hoog voor deze casestudie. De pv-panelen hebben de grootste materiaalgebonden emissies (per vierkante meter BVO) van alle casestudies. Zij verhogen de MPG-score van 0,32 (zonder pv) tot 0,92 (met pv). Vergelijken met Case 4 wordt hier geen elektriciteit uit het net gebruikt. Deze nul-op-de-meter-woning heeft dus een MPG-score die zeer hoog is, maar bereikt daarmee ook een uitstekende EPC-score.



AFBEELDING 17
MPG-Score van Case 3
per S-laag (zonder pv)

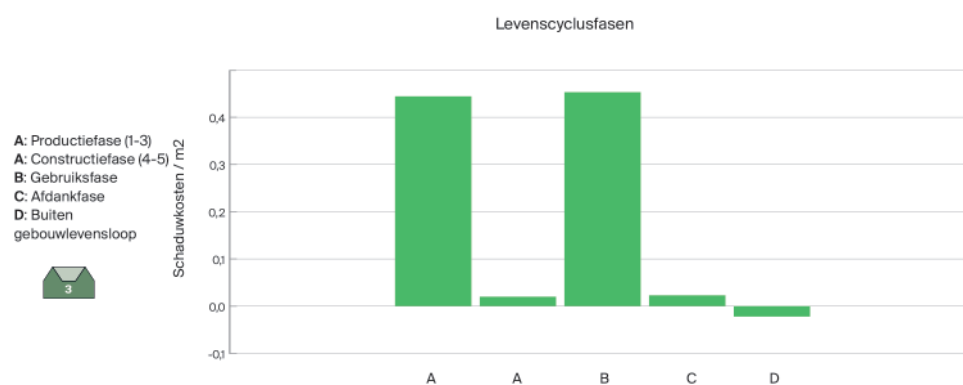
De gesloten geveloppervlakte heeft een relatief grote impact. Er zijn bakstenen en houten gevelbekleding toegepast op een onderconstructie van kalkzandsteen. In de schaduwkosten heeft de houten gevel maar een klein voordeel ten opzichte van de bakstenen gevel. (3,09 €/m² vs. 3,42 €/m²).

AFBEELDING 18
MPG-score van de vijf
gebouwdelen die de groots-
te uitstoot veroorzaken van
Referentieproject Case 3



De klimaatinstallaties hebben een zichtbaar effect op de MPG. De milieu-impact van de dragende vloeren is redelijk klein. Interessant is dat de dragende vloeren een redelijke lage milieu-impact hebben en daarmee qua milieu-impact vergelijkbaar zijn met niet-dragende vloeren (cementdekvloeren).

AFBEELDING 19
MPG-waarde per levenscyclus-
fase Case 3



CASE 4

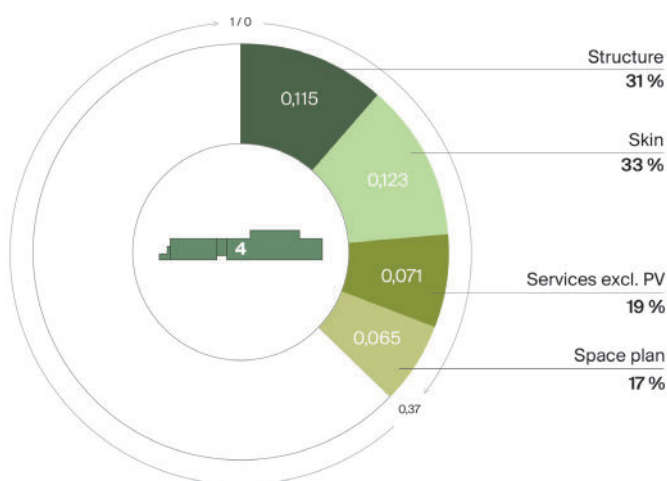


AFBEELDING 20
Gevelaanzicht en plattegrond
Case 4

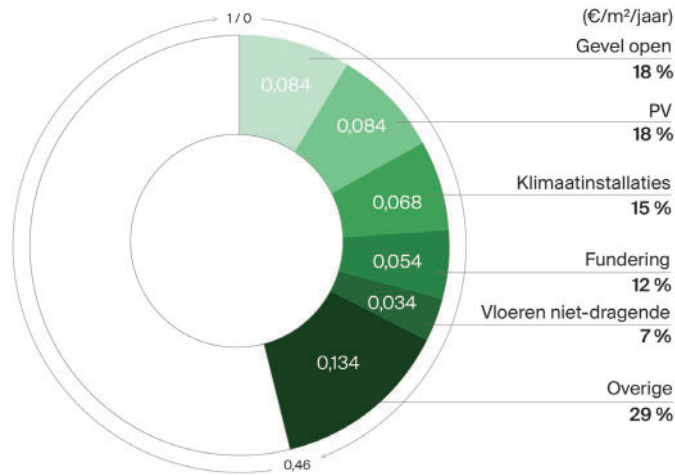
MPG-WAARDE 0,46 €/M²/JAAR, 0,37 €/M²/JAAR (ZONDER PV)
PARIS PROOF-WAARDE: 222 KGCO₂E/M²

Het hele complex is een combinatie van verschillende appartementen en huizen. De woning-maten variëren tussen 83 en 243 m². Samen vormen ze een klein dorpje aan de rand van de stad. Voor onze berekeningen gebruiken we een middelgroot appartement van 173,6 m². Let op: de MPG-score wordt per vierkante meter uitgedrukt. Ook al heeft de woning een lage MPG-score, dan kan het huishouden wel een hoge milieu-impact hebben. Deels zou de lage MPG-score ook door de grootte van de woning verklaarbaar zijn.

De MPG-score zonder zonnepanelen is heel klein met 0,37 €/m²/jr. Ook hier is de fundering van beton, maar de bovenstaande draagstructuur is van hout (HSB). Het gevolg daarvan is dat de constructie minder milieu-impact veroorzaakt dan de gevel. Bij nader inzien is dit te verklaren door de hoge milieu-impact van de open gevel.



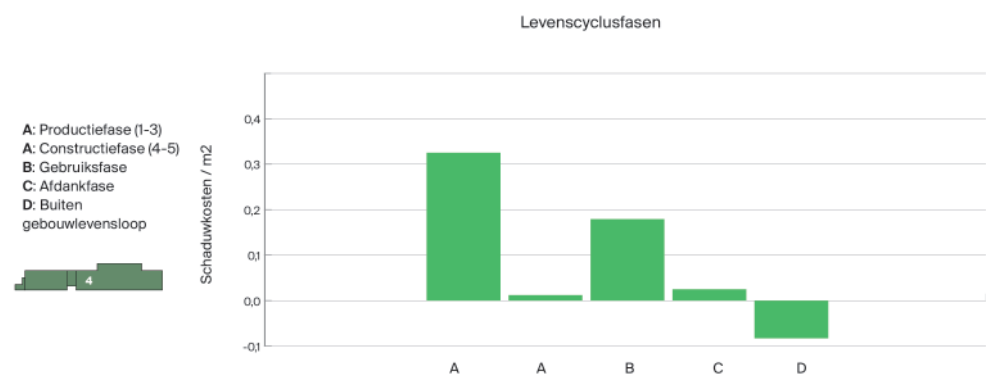
AFBEELDING 25
MPG-Score van Case 4 per S-
laag (zonder pv)



AFBEELDING 21
Top 5 emissies van Case 4

Het omliggende energienet is even duurzaam als bij Case 2 en zorgt voor een lage behoefte aan operationele energie voor het gebouw. In de vergelijking van operationele en materiaalgebonden emissies kwam dit gebouw zelfs op een negatieve operationele emissie, wat betekent dat het gebouw energieleverend is. De materiaalgebonden emissies zouden daartegen weggestreept kunnen worden wanneer je operationeel en materiaalgebonden integraal bekijkt.

Opvallend is dat in fase D (hergebruik) een relatief hoge negatieve waarde ontstaat. Dit komt waarschijnlijk omdat ervan uit wordt gegaan dat alle houten elementen aan het einde van de levensduur verbrand worden en daarmee fossiele brandstoffen vervangen. De vraag is echter of dat over 75 jaar nog het geval zou zijn.



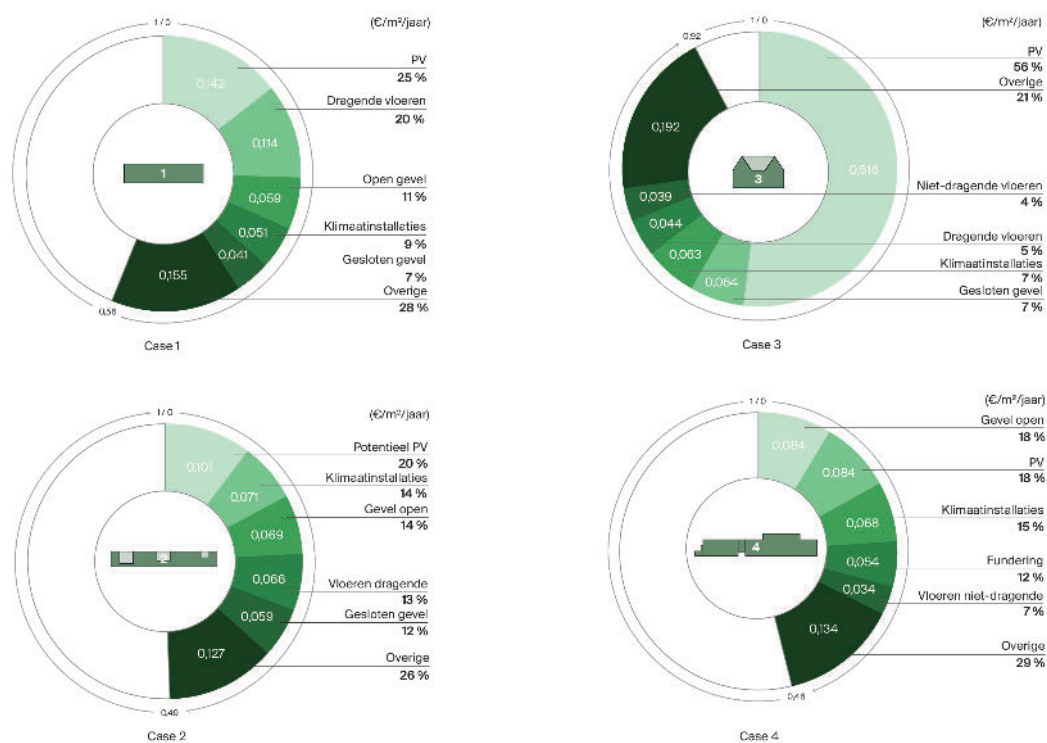
AFBEELDING 22
MPG-waarde per levenscyclus-
fase Case 4

VERGELIJKING WAARDEN



AFBEELDING 27
MPG-Scores per S-laag per case
(zonder pv)

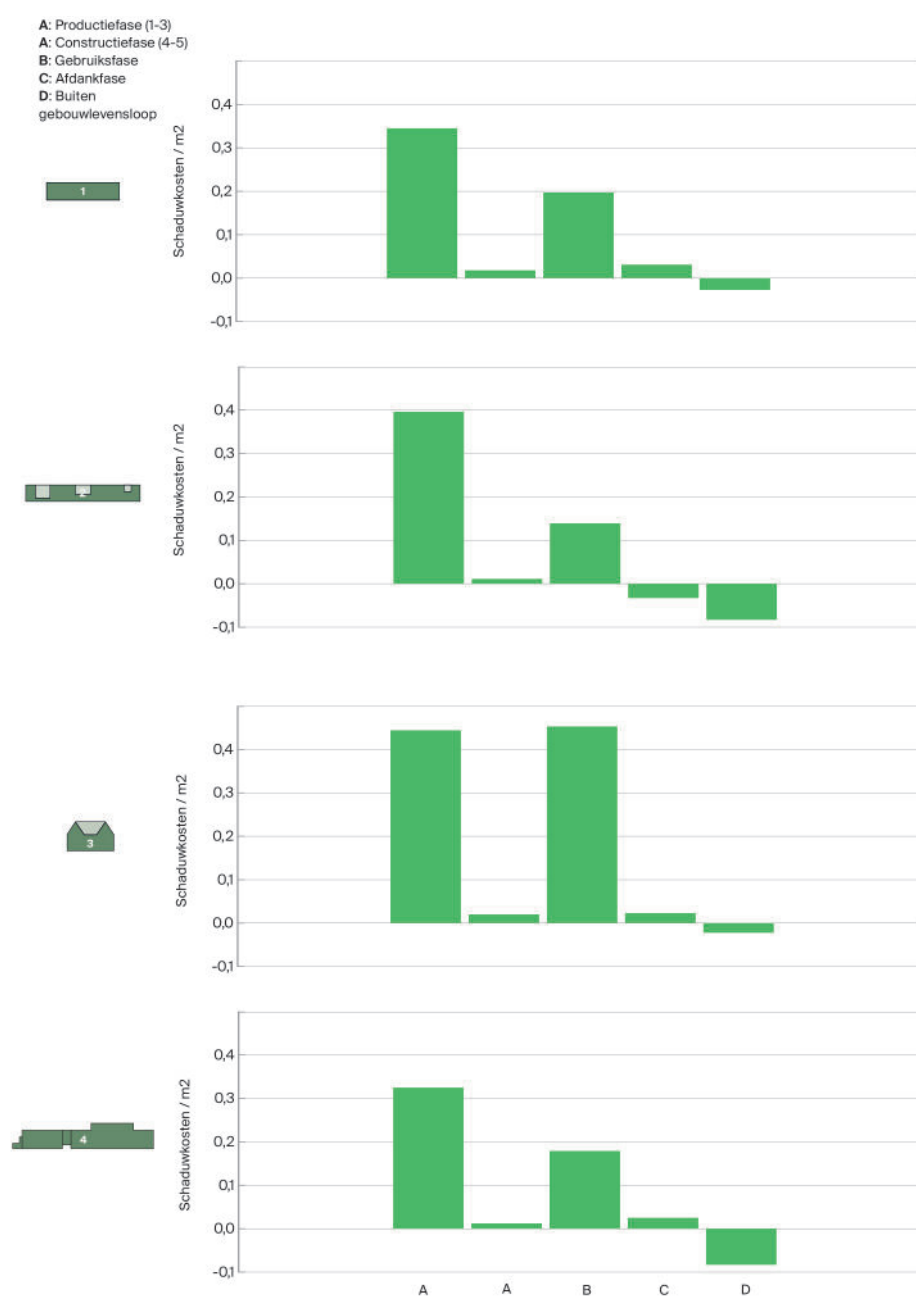
Bij het vergelijken van alle MPG's lijken de aandelen van elke laag ongeveer even groot. Case 1 heeft een groter aandeel in de draagstructuur, dit ligt vooral aan de gebruikte hoeveelheid beton. We laten deze vergelijking zonder pv-panelen zien, omdat deze een zeer zware impact hebben, de behoefte hieraan sterk afhankelijk is van de externe energielevering en dit aspect locatiegebonden en voor een ontwerper minder te beïnvloeden is. Zonder pv zijn ook de aandelen voor services vergelijkbaar.



AFBEELDING 23
Bouwdelen met grootste uitstoot
per case (met PV)

Als we wel met pv-panelen rekenen, is goed te zien dat dit voor Case 3 een enorm verschil maakt. Dit gebouw is dan ook energie-autonoom en ontvangt dus geen externe leveringen van energie.

In een vergelijking van de uitstoot per levenscyclusfase valt fase C (afdark) van Case 2 op. Terwijl de meeste producten winst door recycling of vermijding van fossiele brandstoffen in fase D plaatsen, worden aan de CLT-vloer in Case 2 alle potentiële winsten al in fase C toegekend. Case 3 heeft door de grote hoeveelheid pv-panelen ook in fase B (gebruik) een groter verbruik, omdat de vervanging van de pv-elementen daarin valt. Over een levensduur van 75 jaar zijn dat twee vervangingen. De cases met houten constructies tonen een grotere winst in fase D, omdat het vermijden van fossiele brandstoffen hier wordt gecrediteerd.

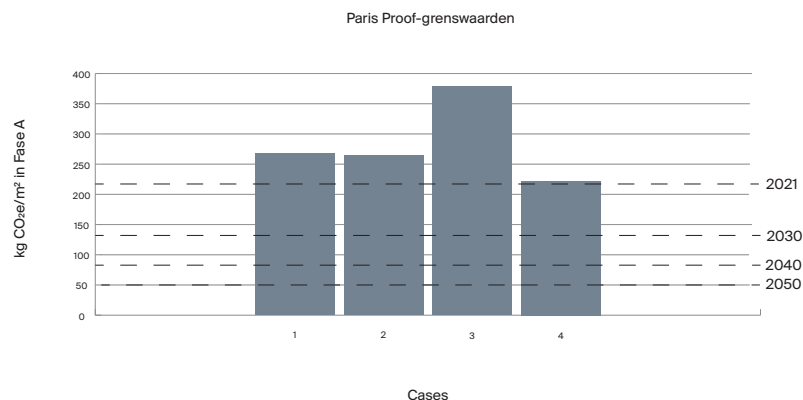


AFBEELDING 27
Verdeling impact over levens-
cyclus

AFBEELDING 27

Paris Proof-grenswaarden en
waarden van alle Cases;

* de getoonde grenswaarden
betreffen meergezinswoningen.
Voor eengezinswoningen
(case 3 & 4) liggen de grens-
waarden iets lager (zie ook
afbeelding 43) .



Bij een vergelijking volgens het Paris Proof-protocol valt op hoe slecht hier Case 3 hier scoort, wat weer aan de gebruikte hoeveelheid pv-panelen ligt. Dit moet wel in context geplaatst worden want pv-panelen zijn natuurlijk een goede investering qua duurzaamheid. Meer hierover in het hoofdstuk Vergelijk van CO₂ en over tijd. Verder is het mooi om te zien dat Case 4 bijna de Paris Proof-grenswaarde bereikt.

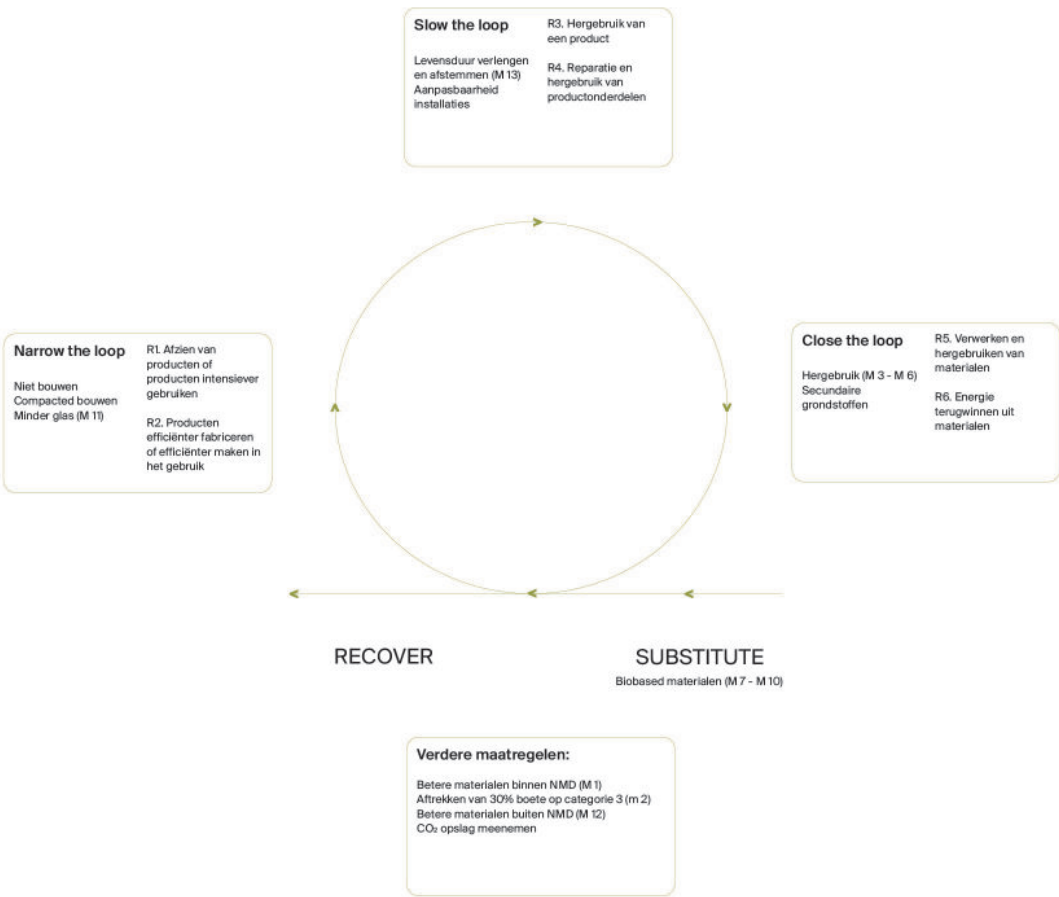
HOOFDSTUK 3

STEPS TO ZERO

MAATREGELEN

Onze stappen naar nul zijn gekoppeld aan de CB23 ontwerpstrategieën.¹ Deze volgen de principes van de zogenoemde R-ladder:

De R-ladder is een hiërarchie 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. Verder zijn deze principes gegroepeerd naar Narrow the Loop (preventie), Slow the Loop (verlenging van de levensduur) en Close the Loop (hergebruik).



AFBEELDING 33
REDRAW Afbeelding 32 R-ladder
gekoppeld aan onze maatregelen

We gebruiken deze structuur om maatregelen te zoeken die binnen de bestaande rekenmethodes toepasbaar zijn. Bovendien zijn wij op zoek gegaan naar verdere maatregelen buiten het wettelijke stelsel. In totaal werden 20 maatregelen toegepast:

¹ https://platformcb23.nl/images/leidraden/PlatformCB23_Leidraad_Circulair-Ontwerpen_versie1.pdf

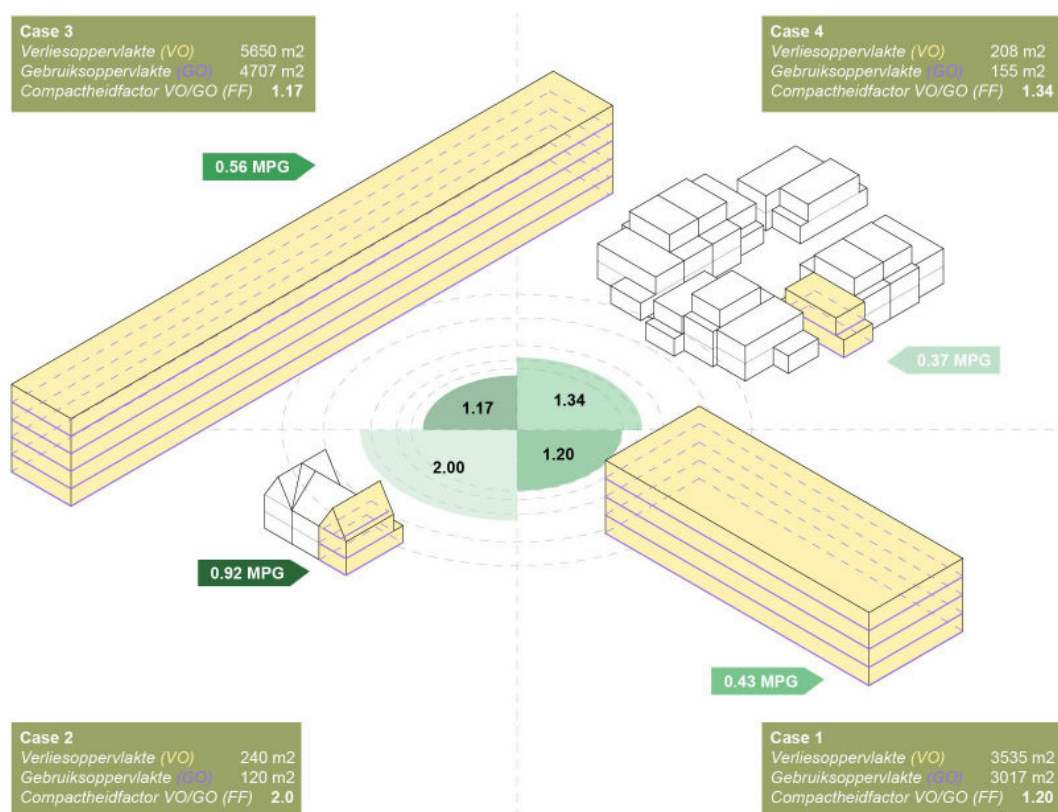
PREVENTIE (NARROW THE LOOP)

M 0: NIET-BOUWEN - (TOT 100% BESPARING)

Het grootste potentieel voor CO₂-besparing, binnen West-Europa, bestaat simpelweg uit minder bouwen.² Dat lijkt banaal en tegenstrijdig met berichten over woningnood en 'bouwen, bouwen, bouwen' maar hier is wel veel voor te zeggen. De gemiddelde woonoppervlakte is tussen 1950 en 2020 met ongeveer 200% gegroeid.³

Een van de grootste vermoede drivers van deze stijging is de toename van een- of twee-persoons huishoudens. Bijvoorbeeld stellen waarvan de kinderen het huis uit zijn en die geen attractief aanbod vinden dat hen aanmoedigt hun (te grote) huizen te verlaten. Alleen door demografische verschuivingen zal dit op termijn weer minder worden.

Onderzoek van onder andere KAW laat zien dat het vraagstuk van de zogenaamd benodigde 1 miljoen woningen grotendeels binnen de bestaande stad en deels ook binnen de bestaande gebouwenvoorraad opgelost kan worden.⁴ Verder lijken bijvoorbeeld ook kantoorgebouwen veel minder gebruikt te worden dan gedacht en ligt hier veel potentieel voor meer woonruimte.⁵ In dit verband is er ook een kanttekening bij de MPG-methode te plaatsen. Deze drukt namelijk de milieu-impact per vierkante meter BVO uit en doet geen uitspraak over de milieu-impact per gebruiker. Daardoor kan de MPG-score van bijvoorbeeld een grote woning met een tweepersoons huishouden beter zijn dan van een tiny house met een driepersoons huishouden.



AFBEELDING 34
vergelijking cases op compact-
heid en MPG

M 1: BOUW COMPACTER

De compactheid van een gebouw beschrijft de verhouding tussen de schil van een gebouw (gevel, dak en onderste vloer) en het gebruiksoppervlak. Hoe compacter een gebouw, hoe minder schil nodig is per vierkante meter gebruiksoppervlak. Dat betekent dat ook de materiaal gebonden emissies van een compacter gebouw lager zijn.

² Zhong, X., Hu, M., Deetman, S. et al (2021). *Global greenhouse gas emissions from residential and commercial building materials and mitigation strategies to 2060*. Nat Commun 12, 6126.

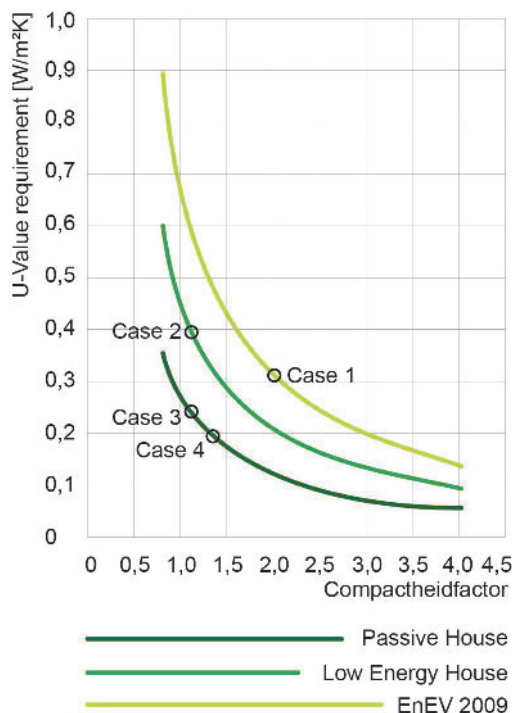
³ <https://vastgoedactueel.nl/tuinoppervlak-bij-rijtjeshuis-wordt-steeds-kleiner/>

⁴ <https://www.kaw.nl/projecten/onderzoek-ruimte-zat-corporatievastgoed/>

⁵ Barbour, E., Davila, C.C., Gupta, S. et al (2019). *Planning for sustainable cities by estimating building occupancy with mobile phones*. Nat Commun 10, 3736.

Compacter bouwen bespaart bovendien niet alleen materiaal, maar is ook beter voor de energiebehoefte van de gebouwen. De compactheid wordt ook wel als basis beschouwd voor een energiezuinig (passief) huis omdat door de gebouwschil warmte verloren gaat. Deze wordt daarom vaak ook 'verliesoppervlak' genoemd. Een compacter volume betekent minder verliesoppervlakte, dus minder energiebehoefte.

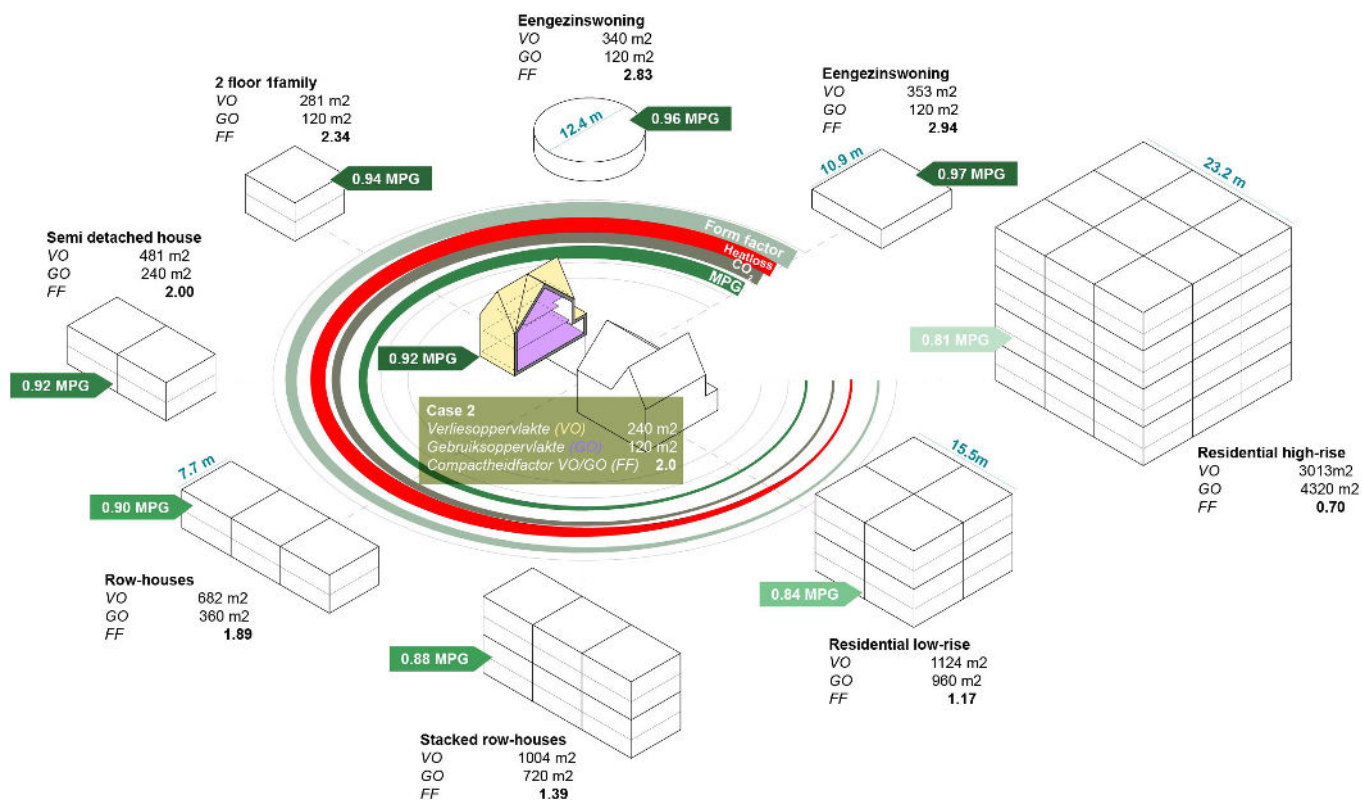
De grafiek hieronder toont de vereiste U-waarde versus vormfactor. Waarbij geldt: hoe kleiner de vormfactor, des te compacter het gebouw. Opmerkelijk hierbij is dat kleine veranderingen in de vormfactor weinig verschil maken als deze al hoog is (3+). Zodra de vormfactor lager is dan 2,0 hebben verdere verbeteringen een exponentieel effect op de benodigde isolatie.



AFBEELDING 35
Verhouding benodigde U-factor
in relatie met vormfactor¹

¹ bron: <https://elrondburrell.com/blog/passivhaus-heatloss-formfactor/>

Het is vrij moeilijk om een vormfactor van minder dan 2,0 te bereiken voor een vrijstaand woongebouw. Zoals in de onderstaande illustratie te zien is, heeft een half vrijstaand gebouw van drie verdiepingen met een gebruiksoppervlakte (GO) van 120m² (Case 3) nog steeds een vormfactor van 2,0. Hetzelfde gebouw als vrijstaande woning met plat dak zou een vormfactor van 2,94 hebben en dus bijna 1,5 keer zoveel verliesoppervlak en gevelmateriaal nodig hebben. Bij grotere en gestapelde gebouwen is een betere vormfactor en dus een lagere MPG-score wel mogelijk. Als het woonoppervlak van de half vrijstaande woning uit Case 2 in een compact woonblok van acht appartementen met een vormfactor van 1,17 zou worden gebouwd, zou een hogere warmtedoorgangscoefficiënt (minder isolatie) toegestaan zijn en zou de MPG dalen tot 0,84 (9% reductie). Als het woonoppervlak in een midden-hoogbouw van 36 appartementen gesitueerd is, zou de MPG dalen naar 0,81 (een extra daling van 3% en 12% ten opzichte van de oorspronkelijke MPG-score van 0,92).



AFBEELDING 36
Verhouding vormfactor en MPG-
waarde

Hier is te zien, dat verandering van een vrijstaande loft naar een hoog-stedelijk gebouw de MPG tot 17% en de Paris Proof-Score tot 20% doet dalen. Een meer realistisch scenario is om in plaats van een semi-vrijstaand huis een woning te bouwen in een midden-stedelijke gebouw. Dat leidt nog steeds tot een verlaging van de MPG met 7%.

M 2: GLASOPPERVLAKTE NAAR 20% VAN DE GEVEL

Glas (in zonnepanelen, ramen of elders) heeft grote impact op de milieuprestatie van een gebouw, vooral omdat het bij hoge temperaturen gesmolten moet worden^{6,7}. Ook ligt het recyclingpercentage verrassend laag, vermoedelijk om de zuiverheid van het glas te kunnen garanderen. Glas heeft ook een groot effect op een aantal andere milieuprestaties van een gebouw. Zelfs triple glas is nog steeds een zwakke schakel in een goed geïsoleerde gevel.^{8,9}

Goede daglichttoetreding daarentegen kan het verbruik van elektriciteit verlagen en in de winter kan door goede positionering van openingen zonnwinst geboekt worden. Wij laten deze wisselwerkingen voor deze berekening buiten beschouwing en hebben de glasoppervlakte van elk gebouw naar maximaal 20% van het totaal teruggebracht. Volgens sommige studies zou dat zelfs minder kunnen zijn, maar dat hangt sterk af van de formaten en positionering van de openingen.¹⁰ Bovendien geldt voor glas hetzelfde als voor elektrische installaties: er zijn alleen categorie 3-producten beschikbaar. Meer data uit categorie 1 en 2 zullen tot verbetering van de milieu-impact leiden.

De vervangende gesloten gevel wordt vervolgens met de oorspronkelijke gevelelementen opgevuld. De stappen zijn:

1. Bepalen aandeel open en gesloten gevel.
2. Factor voor reductie glas en factor voor verhoging gesloten gevel bepalen om tot een 20/80 verhouding te komen.
3. Factoren op alle elementen respectievelijk toepassen.

6 CBD - page 45 ff.

7 https://www.scheuten.com/_asset/_public/PDF/Certificaten/EPD/2020-01-14_Scheuten-Glas-Nederland-Iso-Glass-Unit-Venlo_M-EPD_MIG.pdf

8 CBD p24 f.

9 Passivehouselecture, <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/re-thinking-the-life-cycle-of-architectural-glass>

10 <https://www.einfach-bauen.net/wp-content/uploads/2019/04/einfach-bauen-schlussbericht.pdf> (p.88 following)

Deze maatregel is alleen bij de midden-stedelijke cases gebruikt, omdat voor de laag-stedelijke cases de verhouding al op 20% of minder ligt. We hebben de dikte van het glas (2 of 3x 4mm, 6mm of 8mm) niet aangepast, ook al zal dat bij kleine gevelopeningen waarschijnlijk wel kunnen omdat het glas minder spanning moet opnemen.

Alleen het aanpassen van het openingspercentage levert gemiddeld 5% verbetering van de MPG-waarde op. Voor de Paris Proof-score was het effect te verwaarlozen. Deze maatregel wordt dus pas belangrijk als de transparante delen van de gevel ook door milieuvriendelijker materiaal vervangen worden. Dit zetten we later in Steps to zero, bij de strategieën 'biobased' en 'sanering' uiteen.

SLOW THE LOOP

M 3: VERLENGEN VAN VERVANGINGSINTERVALLEN

Voor bouwelementen die een kortere levensduur dan het gebouw zelf hebben, wordt in de MPG-berekeningen het bouwelement met een bijbehorende factor vermenigvuldigd. Bijvoorbeeld:

- levensduur pv-panelen: 25 jaar.
- levensduur meeste gebouwen: 75 jaar.
- MPG voor pv-panelen in gebouwen: MPG van een pv-paneel x factor 3.

Wij hebben Case 1 genomen om het effect te meten van een verlenging van de levensduur van installaties met 5 jaar. Bijvoorbeeld:

- aangenomen levensduur pv-panelen: 30 jaar.
- levensduur gebouw: 75 jaar.
- MPG voor aangenomen pv-panelen: MPG van een pv-paneel x factor 2,5.

De volgende elementen zijn in het onderzoek, naar enkel de verlenging van de levensduur, het meest relevant gebleken:

- pv-panelen van 25 naar 35 jaar.
- boiler: naar 15 na 25 jaar.
- warmtepomp: van 15 naar 25 jaar.
- beglazing: van 30 naar 75 jaar.

Op materiaal niveau betekenen deze veranderingen een MPG-verlaging van:

- pv-panelen x factor 0,7.
- boiler x factor 0,6.
- warmtepomp x factor 0,6.
- beglazing x factor 0,4.

Deze factoren werden vervolgens op elke case toegepast. De resultaten hieronder tonen aan dat het verlengen van de levensduur van pv-panelen de meeste impact heeft. Een verlenging van de levensduur van pv, boiler en warmtepomp van 10 jaar zou resulteren in een MPG verbetering van 0,06 (10%) voor Case 1. Bij installaties is een lange levensduur in een holistische benadering echter vaak ongunstig, omdat deze snel verbeteren op efficiency (zie koelkasten of zonnepanelen).

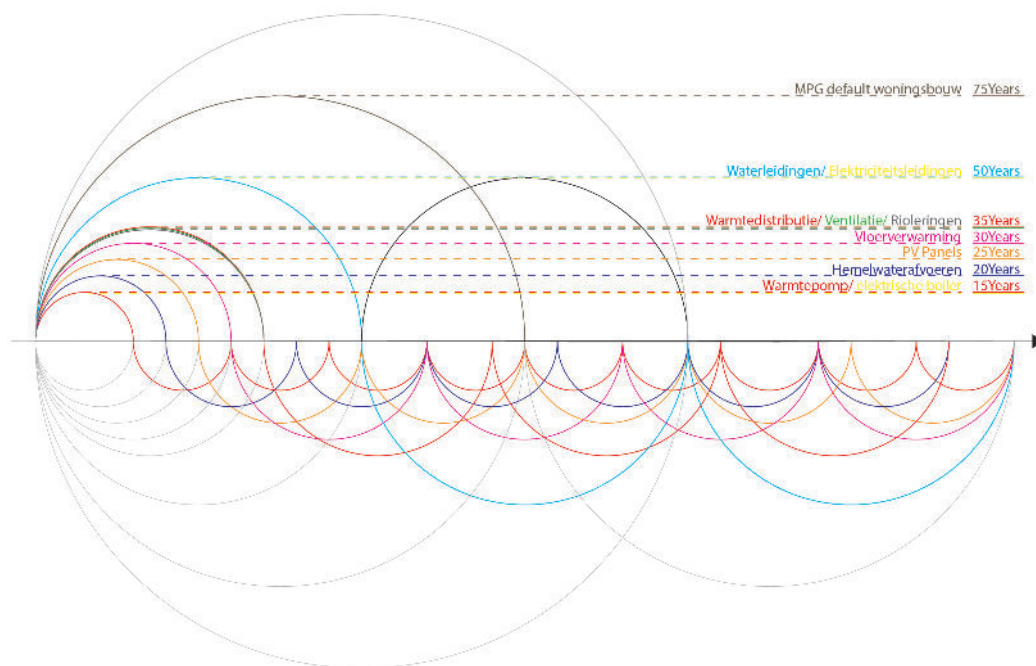
Als we alleen kijken naar de verlenging van de levensduur van zonnepanelen, dan daalt de MPG met 4,3% bij een verlenging met 5 jaar, bij nog eens 5 jaar daalt de MPG nog eens 3%. Verlengen van de levensduur tot 40 jaar (15 jaar extra) zou de MPG met nog eens 2,2% verlagen, waardoor deze in totaal 9% zou bedragen. Het effect van de verlenging neemt dus met de tijd af.

Het zijn niet alleen de installaties waar een langere levensduur de MPG zou kunnen vermindern. Een ander voorbeeld kunnen de buitenbeglazingen zijn die een levensduur van 25 jaar hebben terwijl de buitenkozijnen waarin ze geplaatst zijn 75 jaar meegaan. In het geval van Case 1 zou een verlenging van de levensduur van de beglazing tot 75 jaar de MPG met nog eens 0.034 (6%) doen dalen.

In het totaal daalt de MPG met 13% door deze maatregel. Waarvan alleen pv-panelen tot wel 7% uitmaken en beglazing tot 6%. Voor CO₂ wordt een besparing van 8% bereikt, 5% door alle installaties en 3 % door beglazing.

Let op: Het verlengen van de levensduur van elementen kan de milieu-impact verlagen over de gehele levenscyclus van het bouwwerk, maar dit gaat niet zonder het aanpassen van het element en een mogelijk hogere initiële milieulast. Deze berekening maakt duidelijk dat het vooral voor elementen met een korte levenscyclus interessant is te kijken naar levensduurverlenging om de milieulast over de totale levensduur te verlagen. Het Uitvoerings Programma Circulaire Maakindustrie (UPCM) voor klimaatinstallaties formuleert het als volgt:

In 2030 is de milieu-impact van klimaatinstallaties in de gebouwde omgeving met 25% gereduceerd t.o.v. van 2016 ten gevolge van levensduurverlenging (60%) en verduurzaming van concepten en productie.



AFBEELDING 37

Verhouding van vervangingsintervallen van Case 1

M 4: STEM DE TECHNISCHE LEVENSDUUR AF OP DE VERWACHTE GE-BRUIKSDUUR

Een ander interessant aspect is de scheve verhouding tussen de levensduren. Binnen de afdeling installaties voor Case 1 zitten elementen met variërende levensduren van 15, 20, 25, 30, 35 en 50 jaar. Aangezien de warmtepomp om de 15 jaar wordt vervangen, het distributiesysteem om de 35 jaar en de vloerverwarming om de 30 jaar, en ervanuit gegaan wordt dat bij elke vervanging ook andere onderdelen aangepast worden, die niet passen bij het nieuwe systeem, dan worden er in de loop van het proces heel wat middelen verspild.

Misschien is een meer geoptimaliseerde aanpak beter, waarbij bijvoorbeeld de hemelwaterafvoeren (levensduur 20 jaar) afgestemd worden op het vervangen van de rioleringen (levensduur 35 jaar) en de waterleidingen (levensduur 50 jaar) en een verschuiving in het waterbeheer plaats kan vinden, waarbij het regenwater lokaal wordt opgeslagen en wordt gebruikt voor het doorspoelen van de toiletten, de was etc. Waarschijnlijk zal de impact van deze stap minder groot zijn dan het verlengen van onderhoudsintervallen. Dit vraagt echter verder onderzoek, omdat hier buiten de NMD-methodes gerekend moet worden.

Een andere insteek is te zorgen voor losmaakbaarheid van elementen met ongelijke levensduren.

M 5: LOSMAAKBAARHEID: PLAN AANPASBARE INSTALLATIES

Zoals in *Carbon-Based Design* besproken, zal het bundelen en comprimeren van installaties in centrale schachten, zowel de productie-emissies als de emissies tijdens het vervangen en repareren verlagen. Afwerken van installaties kost veel materiaal dat vaak alleen decoratief is. Installaties hebben bovendien vergeleken met het hele gebouw een korte levensduur en moeten vaak aangepast, gerepareerd of vervangen worden. Vervolgens is het een grote winst als dat zonder grotere interventies kan.

Als al vanaf het begin op losmaakbaarheid en aanpasbaarheid ontworpen wordt, zou het mooi zijn dat ook in de MPG terug te zien. Het zou bijvoorbeeld met een positief effect op fase D gewaardeerd worden. Omdat deze rekenregels niet in de bepalingmethode beschikbaar zijn, hebben we deze maatregel niet kunnen kwantificeren. In de leidraad van CB'23 worden de volgende hoofdindicatoren voor het meten van circulariteit genoemd¹¹:

- functionele kwaliteit, technische kwaliteit, degradatie en adaptief vermogen.
- toekomst-bestendig bouwen.
- anticipeer op meerdere levenscycli.
- ruimtelijk-functioneel adaptief.
- technisch adaptief.

CLOSE THE LOOP

M 6: HERGEBRUIK DRAAGCONSTRUCTIE (STRUCTURE)

Hergebruik van bouwdelen of hele gebouwen is vanzelfsprekend een belangrijke maatregel. Volgens de bepalingmethode NMD van juli 2020¹² wordt hiervoor een forfaitaire factor van 0,2 gehanteerd voor de modules A1-3, C3, C4 en D voor elk hergebruikt materiaal. Er wordt gerekend met een factor 0,2, omdat in de praktijk aanpassingen gemaakt worden aan het element en omdat de werkzaamheden zelf ook voor uitstoot zorgen.

Als een bouwdeel nog niet aan zijn theoretische levensduur heeft voldaan, kun je ook spreken van een 'restschuld' aan milieu-impact die op dit bouwdeel ligt. Dit zou echter moeilijk uitvoerbaar zijn en voorlopig vindt men het belangrijker hergebruik van materialen te stimuleren.

Binnen de MPG-berekeningen was het technisch ingewikkeld om deze berekening op element-niveau te maken. We hebben er daarom voor gekozen een uitspraak op het niveau van de lagen van Brand te doen.

Het besparingspotentieel voor hergebruik van de draagconstructie verschilt afhankelijk van de impact van de constructie op het hele project. Zo bespaart Case 1 in totaal 21% op de MPG en 35% op de Paris Proof-score, terwijl dezelfde maatregel voor Case 3 maar 7% op de MPG en 15% op CO₂ bespaart. Gemiddeld liggen deze waarden op 13% MPG- en 26% CO₂-besparing.

M 7: HERGEBRUIK GEVELEMENTEN (SKIN)

Dezelfde rekenmethode is voor de andere Lagen van Brand gehanteerd. Ook hier verschillen de resultaten in correlatie met het aandeel dat elke laag in elk project uitmaakt. De bandbreedte in verschil is iets minder, omdat de gevel bij alle cases ongeveer evenveel uitmaakt.

Het hergebruik van gevelementen zorgt gemiddeld voor een verbetering van 12% op MPG en 15% op Paris Proof-score.

¹¹ https://platformcb23.nl/images/downloads/2020/meten-van-circulariteit/20200702_Platform_CB23_Leidraad_Meten_van_circulariteit_versie_2.pdf

¹² <https://milieudatabase.nl/wp-content/uploads/2020/10/Wijzigingsblad-Bepalingsmethode-10-juli-2020-Milieuprestatie-her-te-gebruiken-producten.pdf>

M 8: HERGEBRUIK BINNENBOUW (SPACEPLAN)

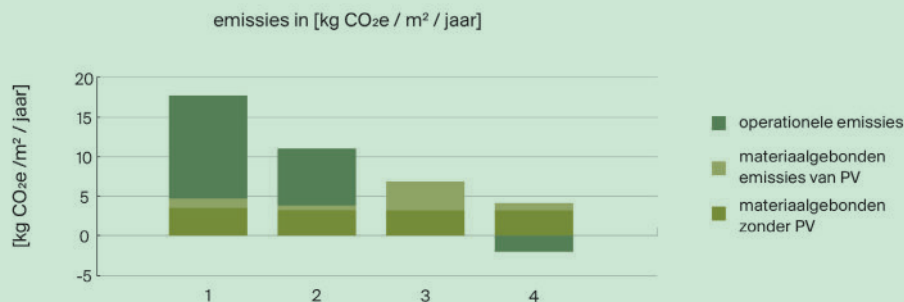
Bij Case 2 viel op dat de binnenbouw een groter aandeel in het totaal heeft dan bij andere cases het geval is. De besparing voor Case 2 was 25% op MPG en 35% op Paris Proof. Gemiddeld bereikte deze maatregel een MPG-besparing van 12% en 19% op Paris Proof en zou deze dus effectiever zijn dan hergebruik van de gevelelementen en bijna even effectief op MPG-niveau als hergebruik van de draagconstructie.

M 9: HERGEBRUIK INSTALLATIES (SERVICES)

Het hergebruik van installaties is een ingewikkelde discussie. Vooral in grote projecten is het om verschillende redenen niet gebruikelijk de volledige set aan kabels, leidingen en apparaten in een nieuwe situatie te hergebruiken. Vooral bij apparatuur is de technologische vooruitgang groot en betaalt een nieuwe installatie zich financieel, maar ook qua milieu-impact snel terug. Niettemin zijn bijvoorbeeld kabelgoten, ventilatiekanalen en andere producten sterk gestandaardiseerd en zijn dit elementen die in de tweedehands bouwstofhandel al ruim aanwezig zijn. Vooral in kleinere projecten zou het niet moeilijk moeten zijn met tweedehands materiaal te werken, omdat de leveringszekerheid groot is. Voor apparatuur zou sterker op aanpasbaarheid gestuurd kunnen worden. Vaak zijn het maar kleine onderdelen (bijvoorbeeld een waterpomp in een cv-ketel) die voor de efficiency-winst zorgen. Als deze onderdelen apart vervangen zouden kunnen worden is het niet nodig de hele ketel te vervangen.

Tijdens de levensduur van een gebouw worden de installatiesystemen geregeld vervangen. Zo is de levensduur van een pv-paneel bijvoorbeeld 25 jaar en van elektriciteitsleidingen 50 jaar. In de LCA-berekening van een gebouw met een levensduur van 75 jaar worden de pv-panelen dan dus 3 keer gerekend en de elektriciteitsleidingen 1,5 keer. In onze berekening gaan we er voor het gemak van uit dat elke keer met hergebruikt materiaal gewerkt wordt.

Het hergebruik van installaties wordt in de combinaties buiten beschouwing gelaten, omdat dit in de praktijk op dit moment niet realistisch lijkt. Toch noemen we het mogelijke effect hier omdat we potentie in het circulair maken van installatieproducten zien. Uitgaand van hergebruik van het hele installatiestelsel bereiken we dan gemiddeld zo'n 12% besparing op de MPG- en 15% op de Paris Proof-score.



AFBEELDING 38
Verhouding operationele en materiaalgebonden emissies per Case

VERGELIJKING EMISSIES TOTAAL EN OVER TIJD



Onze berekening van materiaalgebonden en operationele energie per jaar is een simplificatie van de realiteit. Eigenlijk zal de uitstoot van deze emissies er meer zo uitzien:

AFBEELDING 39
Schema: Emissies over tijd

In de vergelijking van operationele emissies met materiaalgebonden emissies is het belangrijk vooraf te weten hoeveel CO₂-uitstoot bijvoorbeeld de productie van een pv-paneel veroorzaakt en wanneer deze genoeg groene energie geproduceerd heeft om dit terug te betalen.

Hetzelfde geldt voor installaties en isolatie. Terwijl die producten in het begin de emissies vergroten, zullen ze wel binnen de volgende jaren de operationele energie laag houden en per saldo energie besparen. Hetzelfde geldt voor triple glas, dat eerst grotere uitstoot veroorzaakt om later door het besparen van operationele energie weer minder milieu-impact te hebben¹³. Daarnaast is het ook belangrijk in gedachten te houden, dat een energie-autonoom gebouw veel emissie- "investering" aan het begin van zijn levensduur nodig heeft.¹⁴ Het is dus belangrijk de terugverdientijden te kennen en een bewuste keuze te maken, welke investering zich bijvoorbeeld binnen de komende acht jaar, tot 2030, of zelfs later pas terugverdient.

SUBSTITUTE

M 10: DRAAGCONSTRUCTIE IN CLT

In plaats van niet bouwen of hergebruik van bestaande elementen hebben we ook alternatieve bouwmethodes, en dan vooral met biobased materialen onderzocht. De eerste onderzochte maatregel is de vervanging van de draagconstructie met CLT (cross-laminated timber). Voor de vergelijkbaarheid baseren we ons op een TNO-rapport uit 2021¹⁵: hier wordt een betonnen muur of vloer van 200 mm gelijkgesteld aan een CLT-muur of vloer van ook 200 mm. Aanvullend wordt er een isolatielaag ter geluidsdemping en gipskarton bekleding voor de brandbeveiliging aan toegevoegd. Op deze manier hebben we de gehele draagstructuur vervangen.

¹³ <https://kennisinstituutkern.nl/blogs/maatregelen-ontlasten-stroomnet/>

¹⁴ Röck M., et al.(2020). *Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation*, Applied Energy.

¹⁵ *Waarden van CO₂ prestaties van biobased bouwen*, TNO & DGBC (2020) <https://publications.tno.nl/publication/34637649/Yb8YTT/TNO-2020-R11596.pdf>

Meestal is dat beton. In sommige gevallen worden draagstructuren uit kalkzandsteen of HSB vervangen. Constructiehout met hetzelfde volume wordt met CLT gelijkgesteld, bijvoorbeeld in Case 2. Funderingen worden door gebrek aan alternatieven buiten beschouwing gelaten voor alternatieve bouwmethodes.

De resultaten verschillen per case. Zo verbetert een CLT-draagconstructie voor Case 1 de MPG- met 21% en de Paris Proof-score met 27%. Het viel ook op dat het vervangen van de draagconstructie met CLT vooral voor de conventionele cases relevant is. Bij de andere cases was de verbetering op de MPG minimaal, want die gebruiken al een houten draagconstructie. De gemiddelde verbetering is 8% voor de MPG- en 12 % voor de Paris-Proof score.

Het blijkt dat de gekozen CLT-constructie in fase A zelfs CO₂-negatief is, omdat hier al met tijdelijke CO₂-opslag gerekend wordt. Voor dit specifieke product is de tijdelijke CO₂-opslag namelijk volgens de nieuwe EN 1508 - A2 al binnen de productkaart meegerekend. Voor de berekening van onze secundaire doelwaarde hebben we echter een gelijkwaardig product gekozen, zonder CO₂-opslag in fase A, omdat anders CO₂ in productie etcetera gemengd zou worden met CO₂ die biogeen is vastgelegd.

Voor de MPG-berekeningen zijn alle levensfasen bekeken en komt ook bij het materiaal conform EN 1508-A2 de opslagen CO₂ in fase C (af dank) weer vrij.

M 11: DRAAGCONSTRUCTIE IN HSB

Een alternatief voor het bouwen met CLT is houtskeletbouw (HSB). Vooral bij relatief conventionele laagbouw zal CLT constructief overgedimensioneerd zijn en kan ook een lichtere constructie voldoen. Gebaseerd op bovengenoemd TNO-rapport hebben we bijvoorbeeld een woning scheidende wand van 200mm beton vervangen met 238 mm HSB en additionele isolatie en bekledingen. Stalen onderdelen met vergelijkbare overspanningen als de 200 mm betonnen vloer vervangen we met een soortgelijke opbouw.

Voor de oudere Cases 1 en 3 maakt het een groot verschil om de betonstructuur door HSB te vervangen. In de nieuwere cases bestaat al een groot deel van de structuur uit hernieuwbare grondstoffen. Op basis hiervan is bij Case 1 een verbetering van de MPG met 17% bereikbaar. Afhankelijk van het gekozen HSB-product kan deze echter ook slechter uitvallen dan de originele MPG van Case 2 bijvoorbeeld.

We onderzochten twee varianten, een waarin een los HSB-product met een lage MKI en aanvullende isolatiematerialen gekozen werd en een variant waarin een volledig product met alle onderdelen gebruikt wordt. De eerste variant scoorde hierbij aanzienlijk slechter, terwijl juist hier het gevaar bestaat dat bijvoorbeeld verbindingselementen als schroeven niet meegerekend worden. Dat is echter moeilijk inzichtelijk omdat de beschrijving van de producten en materialen in de NMD vrij summier is.¹⁶

Wat de Paris Proof-score betreft, zorgt HSB in ieder geval voor minder CO₂ uitstoot dan beton, in onze gevallen tot 24% minder.

M 12: GEVEL BIOBASED

Het grootste verschil bij alternatieve gevelelementen maakt het vervangen van baksteen door een houten gevelbekleding. Deze heeft weliswaar een kortere levensduur; afhankelijk van het product tussen 15 en 75 jaar. Voor onze vervangingen hebben we het hout met de laagste MKI gekozen, die 75 jaar kan blijven bestaan. Dit is een categorie 2 product, beperkt beschikbaar en heet 'Gevelbekleding Hollands hout'.¹⁷

¹⁶ In België is mede daarom bepaald dat in vergelijkbare berekeningen (TOTEM) geen losse elementen maar alleen componenten gekozen kunnen worden.

¹⁷ In de praktijk zal een dergelijke vervanging gepaard moeten gaan met andere detaillering etc., dit is dus een hypothetische berekening.

Het vervangen van aluminium kozijnen door houten kozijnen draagt bij aan een score van ongeveer tweederde minder. De vervangingen hebben aanzienlijk meer effect op de Paris Proof-score, die kijkt naar GWP, dan op de MPG, omdat hout over het algemeen behandeld moet worden en lakken en impregnatie vaak toxische stoffen bevatten die ook andere milieuschade veroorzaken dan alleen GWP.

Lichte houtvezelisolatie (met 55kg/m^3), scoort beter dan EPS-isolatie. Moet gekozen worden voor dichte houtvezelisolatie (met 115kg/m^3), dan scoort deze slechter dan EPS. Vergelijkbaar lijkt bijvoorbeeld een plantaardig dakmembraan geen betere MKI te hebben dan een EPDM-membraan.

Door het consequent toepassen van biobased materialen wordt gemiddeld maar een verbetering van 3% op MPG bereikt. Voor de Paris Proof-score is het beeld wel duidelijk anders. Hier wordt gemiddeld bijna 10% CO_2 -vermindering bereikt.

Geen van de onderzochte cases is hoger dan vijf verdiepingen. Daarom is brandveiligheid en de hiervoor mogelijk nodige behandeling van het hout met vaak milieubelastende middelen buiten beschouwing gelaten.

M 13: BINNENBOUW BIOBASED

Het vervangen van binnenbouwelementen in een MPG-berekening is vrij ingewikkeld, omdat hier weinig alternatieven voor bekend zijn. We hebben daarom vergelijkbare stappen als bij M9 (gevel biobased) toegepast en daarnaast ook alternatieve producten van hout gekozen bijvoorbeeld voor trappen, deuren en bekledingen. Spuitpleister is met leemstucwerk vervangen, wat in strenge zin niet biobased is, maar wel beter met een circulaire aanpak overeenkomt. In de studie *Carbon-Based Design* komen zandcementdekvloeren met disproportioneel veel milieu impact naar voren. Deze hebben wij door een droogsysteem op basis van gipsvezelplaten vervangen, die alleen al tot tweederde reductie ten opzichte van zandcement leidt.

Over het algemeen was de impact van deze maatregel vrij klein, ook omdat de binnenbouw in onze cases geen groot aandeel in de totale MPG heeft. Voor sommige elementen zoals liftinstallaties of cabines bestaan er bovendien geen biobased alternatieven. Gemiddeld scoort M 13 in MPG 4% beter en op de Paris Proof-score 8% beter.

ANDERE MAATREGELEN

Niet alle maatregelen zijn relevant voor ontwerpers of makkelijk op bestaande gebouwonwerpen of in combinatie met andere maatregelen toe te passen. Voor de volledigheid willen we deze alsnog noemen, ook omdat zij vaak een grotere invloed hebben dan de maatregelen die zich vrij precies laten doorrekenen met de bestaande tools. Hieronder volgen een aantal maatregelen met bijhorende berekeningen die buiten de bepalingsmethode van de MPG omgaan.

M X1: ZOEKEN NAAR BETERE MATERIALEN BINNEN DE NMD

In deze stap hebben we enkele bouwelementen met vergelijkbaar, milieuvriendelijker materiaal vervangen. De uitdaging hierbij is te bepalen of twee materialen echt uitwisselbaar zijn en dus dezelfde performance leveren. De vervanging beperkt zich dan ook tot enkele beter scorende deuren, ander zand of cement. Het grootste verschil is te boeken met simpelweg betere data. Zo reduceert het vervangen van pv-panelen uit categorie 3 (generieke data incl. 30% 'boete') door specifieke zonnepanelen uit categorie 1 (product specifiek) de impact op dit onderdeel al met de helft. Ook de keuze voor bakstenen maakt een groot verschil. Case 1 past categorie 3-data toe op het metselwerk dat mogelijk duidt op buitenlandse baksteen. Alleen al de keuze voor Nederlandse baksteen met categorie 2 data halveert de MPG voor dit bouwdeel. Hetzelfde geldt voor Case 3, waar de keuze voor een ander type zonnepaneel evenzo voor een halvering en in totaal een daling van 25% van de MPG zorgt.

Gemiddeld is de besparing op de MPG 13%. Bij de Paris Proof-score besparingen waren de observaties dezelfde, met een gemiddelde CO₂-besparing van ook 13%.

M X2: AFTREKKEN VAN DE 30% OPSLAGFACTOR OP MATERIALEN UIT CATEGORIE 3

Binnen de NMD zijn verschillende producten uitsluitend met categorie 3 data beschikbaar. Dat betekent dat hiervan geen product- of branche specifieke LCA-berekening is gemaakt. Op deze elementen wordt vervolgens een 'opslag' van 30% toegepast, omdat hierbij een grote onzekerheid over de data geldt en ook om te voorkomen dat deze categorie wordt misbruikt voor in feite slechter presterende specifieke producten (categorie 1 of 2). Voor de meeste gevallen geldt echter dat door specifiekere data ook een lagere MKI bereikt wordt. Er mag dus ervan uitgegaan worden dat met meer product-specifieke data ook producten in de NMD komen die tenminste 30% beter scoren dan de aanwezig categorie 3-producten in de NMD nu.

Wij wilden weten hoe groot het verschil zal zijn als er voor alle producten specifieke data beschikbaar zou zijn en dus tenminste die opslagfactor wegvalt. We hebben dus van alle categorie 3-producten die 30% opslagfactor afgetrokken.

In het bijzonder valt op dat elektrische installaties bijna nooit in categorie 1 of 2 aanwezig zijn en hierbij dus vaak met categorie 3 producten gerekend moet worden. Een betere datapool zal ook de industrie stimuleren hun milieuprestaties te verbeteren¹⁸. Hetzelfde geldt voor glas en specifieke bouwonderdelen zoals liftcabines of trappen.

Afhankelijk van hoeveel materialen in iedere case algemeen toegepast waren, was ook het verschil anders. Gemiddeld was de MPG-verbetering 14% en de Paris Proof-score verbeterd met 11%.

Let wel op: dit is alleen een bureaucratische verbetering. In feite wordt natuurlijk nog steeds hetzelfde materiaal met dezelfde milieu-impact toegepast, alleen zou die specifiek voor een product berekend zijn. Alleen door betere beschikbaarheid van data zou de MPG dus 14% aangescherpt kunnen worden.

M X3: ZOEKEN NAAR POTENTIEEL BETERE MATERIALEN BUITEN DE NMD

Critici vinden dat nationale LCA-databases de eigen markt afschermen, dat ze maar weinig data beschikbaar hebben en dat vooral innovatieve materialen slecht gerepresenteerd zijn. We zijn dus op zoek gegaan naar betrouwbare data buiten de NMD, maar helaas is dat moeilijker dan gedacht. Enerzijds omdat data uit andere databases niet direct vergelijkbaar is met NMD-data, en anderzijds omdat vele nieuwe producten nog helemaal geen productkaart (EPD) hebben, deza data inzichtelijk maakt.

Daarom hebben we als rekenvoorbeeld voor enkele grootvervuilers uit onze projecten met forfaitairen op basis van onderzoek of persberichten gewerkt. Zo hebben we beton door een geopolymeerbeton vervangen, dat volgens fabrikantgegevens in fase A een kwart uitstoot. Voor de gevel hebben we met baksteenstrips gerekend, die volgens de producenten een MKI van 1,26 €/m² hebben. Met deze twee hoofdelementen bereiken we gemiddeld een MPG-verbetering van 5% en ongeveer 9% op de Paris Proof-score. Opmerkelijk is dat innovatie van slechts twee materialen een belangrijke invloed heeft op de gehele MPG van een gebouw.

M X4: CO₂ OPSLAG

Het meenemen van vastgelegde koolstof binnen onze bouwelementen en daarmee binnen onze rekenmethodes, is een discussie die op dit moment veel aandacht heeft. We leggen het idee hierachter in *Carbon-Based Design* al uit. Aan de ene kant klopt het dat biogene bouwelementen en vooral CLT veel koolstof tijdelijk vast kunnen leggen, die aan het einde van de levensduur, of hopelijk na een succesvolle cascadering, ooit weer vrijkomt. Aan de andere kant

¹⁸ Ramboll: what gets measure gets done: <https://c.ramboll.com/lets-reduce-embodied-carbon>

betekent het gebruik van hout geen onmiddellijke winst voor het milieu, omdat het hout uit bossen gehaald, gezaagd, gedroogd en verlijmd wordt om in gebouwen te kunnen toepassen. Hierdoor komt ook extra CO₂ vrij en het bos zal tijdelijk minder CO₂ kunnen opnemen.

Pas als genoeg bomen (bij voorkeur in hetzelfde bos) hergroeien is deze potentieel vastgelegde koolstof een winst voor de atmosfeer. Dit gaat ervan uit dat het bosbeheer duurzaam gevoerd wordt en de bossen geen irreversibele schade nemen.¹⁹ Deze echte winst, die in de meeste CO₂-berekeningen direct gecrediteerd wordt, zal pas na een paar jaar echt gebeuren.²⁰

Tegelijkertijd biedt het ook een grote kans om koolstof binnen de gebouwde omgeving voor de lange termijn, in ieder geval voor de komende, kritische, decennia vast te leggen^{21,22}. Europees hardhout uit gemengde bossen of bijvoorbeeld populierenhout van Nederlandse bodem zou een interessant alternatief kunnen zijn voor vurenhout dat op industriële schaal verbouwd en geoogst wordt voordat het over lange afstanden getransporteerd wordt.

Omdat veel factoren hierop invloed hebben, is er nog geen Europese consensus over hoe dit berekend moet worden. Dat is dus ook de reden dat het binnen de NMD (nog) niet voorzien is. We hebben daarom de opgeslagen CO₂ in biogene producten op basis van een studie ingeschat en deze ook gebruikt voor het berekenen van de Paris Proof-waardes.^{23,24}

Om een gevoel te krijgen hoe dit zich verhoudt tot de algemene milieu-impact van een gebouw, hebben we dit ook weer vertaald naar een MPG-waarde, door de opgeslagen CO₂ te kwantificeren in fase A, wetende dat deze weer vrijkomt aan het einde van de levensduur.

Eerst wordt de verbouwde hoeveelheid biogeen materiaal onderzocht. Dit wordt met een CO₂-factor/m³ vermenigvuldigd afhankelijk van het soort hout, isolatiemateriaal of ander product.²⁵ Voor de MKI-waarde van dit vastgelegde CO₂ wordt de wegingsfactor 0,05 volgens de NMD genomen. Later kan die MKI worden afgetrokken van de originele MKI. Met deze waarde kan opnieuw een MPG berekend worden – de MPG-waarde met CO₂-opslag. De stappen zijn dus als volgt:

1.	MKI en MPG	kgCO ₂ in het gebouw	MKI 142.193€	MPG 0,55 €/m ² /jaar
2. + 3.	m ³ CLT 1306,66 m ³ Gevel 25 m ² Isolatie 221 m ³ Buitenkozijnen 3,36 m ³ Isolatie 163 m ³	x kgCO ₂ Total x 759 (CLT) = 992.013 kgCO ₂ x 824 (Douglas) = 20.869 kgCO ₂ x 85 (Steico) = 18.757 kgCO ₂ x 1.167 (Robinia) = 3.921 kgCO ₂ x 170 (Steico) = 27.691 kgCO ₂ Σ kgCO ₂ 1.063.251 kgCO ₂		
4.	Nieuwe MKI	MKI CO ₂ opslag Wegingsfactor 0,05 €/kgCO ₂ x 1.063.251 = nieuwe MKI	-53.163 € Δ € 89.030 €	
5.	Nieuwe MPG	MPG met CO ₂ opslag MPG verbetering	89.030 / 3466 m ² / 75 jaar = Δ €/m ² /jaar	0,34 €/m ² /jaar 0,21 €/m ² /jaar

AFBEELDING 40
Voorbeeld CO₂ opslag berekening

1. Oorspronkelijk MPG-waarde (€/m²/jaar) naar MKI brengen (€).
2. Hoeveelheid hout binnen het gebouw berekenen (m³).
3. CO₂ binnen hout berekenen.
4. Vastgelegde CO₂ met wegingsfactor (0,05) naar MKI brengen.
5. Oorspronkelijk MKI min MKI (van CO₂) gedeeld door m² en 75 jaar = MPG-waarde met CO₂-opslag.

19 Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C.P.O. et al. *Buildings as a global carbon sink*. Nat Sustain 3, 269–276 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>

20 Pomponi, F. et al. (2020). *Buildings as a Global Carbon Sink? A Reality Check on Feasibility Limits*, Sciencedirect. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.07.018>

21 <https://opslagco2inhout.nl/>

22 <https://duurzaammbouwenmethout.nl>

23 <https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/certificates/wood-products-approvals-and-certificates/epd/stora-enso-epd-clt-2021.pdf>

24 https://www.mrpi.nl/epd-files/epd/1.1.00281.2022_MRPI-EPD_X-LAM%20-Cross%20laminated%20timber-Norwegian%20market_FINAL.pdf

25 Hoeveelheid CO₂ op basis van: <https://opslagco2inhout.nl/>

De MPG wordt hiermee tussen 16% en 62% (tijdelijk) gecompenseerd, afhankelijk van de case. Kijkend naar de Paris Proof-score dan valt op dat de resultaten qua CO₂-besparing meestal het hele gebouw compenseren. Het levert tussen de 96% en 192% besparing op. De gemiddelde CO₂-besparing ligt op 143%, het gebouw inclusief CO₂ opslag wordt dus netto CO₂ positief in de Paris Proof-score. Meer dan 80% van de CO₂ zit hierbij in de constructie.

M X5: CO₂ NEUTRAAL ENERGIE NET

In principe zal de bouwsector CO₂-neutraal worden als het energienet dat ook is. De cases 2 en 4 laten zien dat het energienet ook een grote invloed heeft op de materiaalgebonden emissies van een gebouw. Er moeten dan bijvoorbeeld minder zonnepanelen komen. Of een analyse die gebouwgebonden en operationele energie integraal benadert zou tot de conclusie kunnen komen dat het operationeel verbruik beter te accepteren is dan het energieverbruik en de milieuschade van een betere isolatie.

Dit is echter enerzijds een zeer beperkt perspectief op de verduurzaming van de toekomst – een CO₂-tunnelvisie. Het product zal dan wel CO₂-neutraal kunnen zijn, maar er is al lokaal schaarste op het energienet en bijvoorbeeld het ruimtegebruik van zonnepanelen, windmolens etcetera is zeer groot en heeft ook weer veel effecten op het milieu. Het blijft dus relevant een gebouw energiezuinig te bouwen en het energieverbruik bij de productie van bouwstoffen te minimaliseren.

UITKOMSTEN PER MAATREGEL VERGELEKEN:

Terwijl altijd een combinatie van maatregelen toegepast zal worden, is het de moeite waard een kijkje naar elke maatregel op zich te nemen. Dit zijn de gemiddelde resultaten, gesorteerd naar hoogste uitkomst:

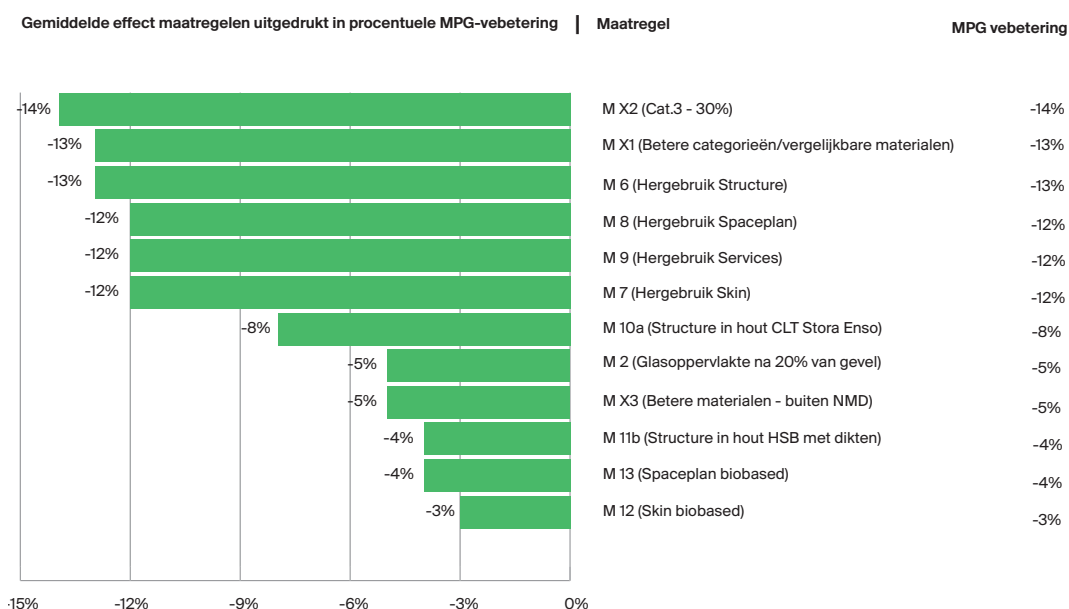
- Niet-bouwen (100% besparing in MPG & Paris Proof).
- Compacter bouwen (tot 17% MPG-besparing & tot 20% Paris Proof).
- Verlengen van vervangingsintervallen (tot 16% MPG-besparing & tot 8% Paris Proof).
- Meer productdata en innovaties (14% MPG-besparing & 11% Paris Proof).
- Hergebruik (12% MPG-besparing & tot 25% Paris Proof per hergebruikte laag).
- Biobased bouwen (4-8% MPG-besparing & 8-22% Paris Proof afhankelijk van de laag).
- Minder glasoppervlakte (5% MPG-besparing & nauwelijks Paris Proof).

Specifiek voor de Paris Proof-score:

- CO₂-opslag meerekenen (145% Paris Proof).

AFBEELDING 41

Gemiddelde effect van maatregelen uitgedrukt in procentuele MPG-verbetering



Het kan niet vaak genoeg gezegd worden en het is logisch, maar niet-bouwen is de duurzaamste maatregel. Vervolgens is renovatie beter dan nieuwbouw enzovoort. Daarnaast is het aandeel van CO₂-opslag enorm, zoals eerder verklaard, maar rekenen wij ons mogelijk rijk wanneer het aan het einde van de levensduur weer vrijkomt. Compacter bouwen is vooral voor vrijstaande eengezinshuizen in buitengebieden een goede optimalisatie en een sterk pleidooi voor bouwen in hoge dichtheden, want het heeft ook veel andere positieve effecten op het energieverbruik voor mobiliteit, infrastructuur etcetera.

Het verlengen van vervangingsintervallen maakt voornamelijk bij installaties een groot verschil: vooral door langer gebruik van pv-panelen, gevolgd door warmtepomp en boilers. Verder is het langer gebruiken van glas een ongebruikt potentieel. Verrassend is hoeveel verbetering theoretisch meer beschikbare data uitmaakt. Zoals aangegeven is dat een papieren winst maar het is wel belangrijk om de MPG sneller aan te kunnen scherpen en dus ook de reële alternatieven een eerlijk en ambitieus speelveld te geven.

Qua invloed van de ontwerper, is het effect van gebouwlevensduur, hergebruik, compactheid en detaillering (en daarmee de verlenging van de levensduur van onderdelen) onbetwistbaar. Waar mogelijk moet de nadruk worden gelegd op het hergebruik van bestaande middelen. Het toepassen van biobased materialen heeft verrassend weinig effect op de MPG en scoort vooral goed op de Paris Proof-score. Biobased materialen in de gevel hebben nauwelijks impact, terwijl dit zeer zichtbaar is en dus ook voor marketing-doeleinden graag wordt toegepast. De impact is groter wanneer een gebouw met een CLT-constructie van een bakstenen gevel wordt voorzien dan wanneer een betonnen draagstructuur een houten gevel krijgt.

Belangrijke kanttekening: in het onderzoek zijn de maatregelen versimpeld doorgevoerd. In de praktijk wordt een gebouw integraal ontworpen met de juiste materialen op de juiste plek. Het simpelweg vervangen van materialen zal vaak gepaard gaan met aanvullende maatregelen, met extra milieu-impact, om tot een kwalitatief goed gebouw te komen.

STEPS TO ZERO

Vanuit de maatregelen hebben we de volgende basisstrategieën ontwikkeld die verschillende scenario's construeren.

STRATEGIE 1: HERGEBRUIK (M 6+ M 7+ M 8)

Deze combinatie benadert een materiaal-minimale renovatie van een gebouw. Hierbij worden M 6 (hergebruik draagconstructie), M 7 (hergebruik gevel) en M 8 (hergebruik binnenbouw) gecombineerd. In principe wordt alleen het elektrische en sanitaire stelsel vernieuwd (services). Bij het calculeren van deze combinatie worden de effecten van de genoemde maatregelen opgesomd.

Dit levert bij bijna alle cases een grote winst van ongeveer 45% MPG-besparing op, behalve bij Case 3 waar het grote aandeel van installaties het effect van hergebruik vermindert. Gemiddeld ligt de verbetering op 37%.

Let op: we gaan voor het gemak ervan uit dat ook bij elementen die tijdens de levensduur van het gebouw vervangen moeten worden, opnieuw hergebruikte materialen gebruikt worden. Normaalgesproken zou in Module B altijd met nieuwe elementen gerekend moeten worden. En een nauwkeurigere benadering zou dus de term 'hergebruik' ook preciezer moeten definiëren. Vaak zijn dit namelijk producten die om andere redenen dan het bereiken van het einde van hun levensduur afgeschreven worden. De elementen zijn dus eigenlijk niet 'gebruikt', ze zijn alleen elders afgekeurd.

Voorts hebben wij alle toepasselijke maatregelen toegevoegd: M X2 (aftrekken van 30% boete van categorie 3-producten), M 3 (verlengen van vervangingsintervallen) en hebben ook naar de tijdelijke CO₂-opslag gekeken.

STRATEGIE 2: VERNIEUWBOUW (M 6+M 12+ M 13)

Deze combinatie simuleert een bouw waarbij de draagconstructie hergebruikt wordt (M 6). Ten opzichte van strategie 1 worden alle andere gebouwdelen nieuw gebouwd, echter van biobased materiaal waar mogelijk. Dat betekent dat de gevel en binnenbouw biobased zijn (M 12 + M 13) en dat de installaties nieuw zijn. We bereiken een verbetering in MPG van 23% voor Case 1 en 2. Voor Case 3 en 4 is deze verbetering lager, omdat de gebouwen voor grote delen al uit hout bestaan. Qua Paris Proof-score is de gemiddelde verbetering 39%. Nadere bijzonderheden zijn te vinden op de laatste bladzijden van dit rapport. Let op: CO₂-opslag is hierbij niet meegerekend. Daarnaast hebben de volgende maatregelen toegepast: M X2 (aftrekken van 30% boete van categorie 3 producten), M X1 (betere materialen binnen NMD), M 2 (open gevelaandeel naar 20%), M 3 (verlengen van vervangingsintervallen) en CO₂-opslag. Gemiddeld wordt de milieulast in totaal 71% minder! Zelfs zonder CO₂-opslag daalt de MPG met 49%.

STRATEGIE 3: BIOBASED (M 10+ M 13+ M 2)

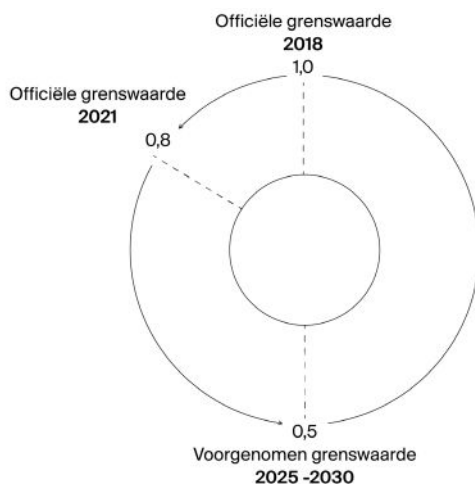
Het volledige vervangen van alle conventionele bouwelementen met hernieuwbaar geproduceerde producten zal op dit moment in de praktijk nog niet mogelijk zijn door gebrek aan alternatieven voor alle producten. Denk aan glas en dergelijke. Door de toepassing van M 10 (draagconstructie in CLT), M 13 (gevelelementen in zoveel biobased als mogelijk) en M 2 (binnenbouw in biobased waar mogelijk) hebben we echter een hypothetisch biobased gebouw gecreëerd, waar alleen nog de fundering en andere niet-vervangbare delen zoals liftinstallaties of services niet biobased zijn. Dus een combinatie van draagconstructie, gevel en binnenbouw met hernieuwbare grondstoffen. De resultaten zijn afhankelijk van het oorspronkelijke gebouw. Case 4 scoort bijvoorbeeld zelfs 4% slechter. Het grootste effect is bij Case 1 met een 22% betere MPG-waarde.

Aanvullend hebben we de volgende maatregelen toegepast, om zo laag mogelijk met MPG en CO₂-waardes te komen: M X2 (aftrekken van 30% boete van categorie 3 producten), M X1 (betere materialen binnen NMD), M 2 (open gevel aandeel naar 20%), M 3 (verlengen van vervangingsintervallen) en CO₂-opslag inzichtelijk gemaakt. Gemiddeld resulteert dat in 45% MPG-besparing.

RESULTATEN PER CASE

Hoewel het waardevol is de gemiddelde uitkomsten per maatregel te weten en een gevoel te krijgen bij zinvolle maatregelen, verschillen de uitkomsten sterk per case. Om deze reden laten we onze 'steps to zero' opgesplitst per case zien. Ook om duidelijk te maken dat per geval gekeken moet worden welke maatregelen toepasbaar en handig zijn!

De resultaten voor de MPG (€/m²/jaar) zijn in groen aangegeven, terwijl donkergroen voor de overblijvende MPG-waarde staat. De tijdelijke CO₂-opslag is door een arcering aangegeven. Voor de Paris Proof-score (kgCO₂/m²) geldt hetzelfde in grijs. De volledig met grijs gevulde gebieden staan voor het uiteindelijke resultaat. De gearceerde gebieden geven de CO₂-opslagwaarde aan, die soms diep in het negatieve gaat.



AFBEELDING 40
MPG gemiddelde en grenswaarden

Ter herinneringnog eens de grenswaarden voor de enkele waarden:

GRENSWAARDEN VOOR NIEUWBOUW

Tabel 1: Grenswaarden voor Paris Proof bouwwerken. Grenswaarde is gegevens in “embodied Carbon” per m2 bouwwerk.

PARIS PROOF GRENSWAARDEN	EMBODIED CARBON KG CO ₂ -EQ. PER M ²			
	2021	2030	2040	2050
Woning (eengezinswoning)	200	126	75	45
Woning (meergezinswoning)	220	139	83	50
Kantoor	250	158	94	56
Retail vastgoed	260	164	98	59
Industrie	240	151	91	54

GRENSWAARDEN VOOR RENOVATIE

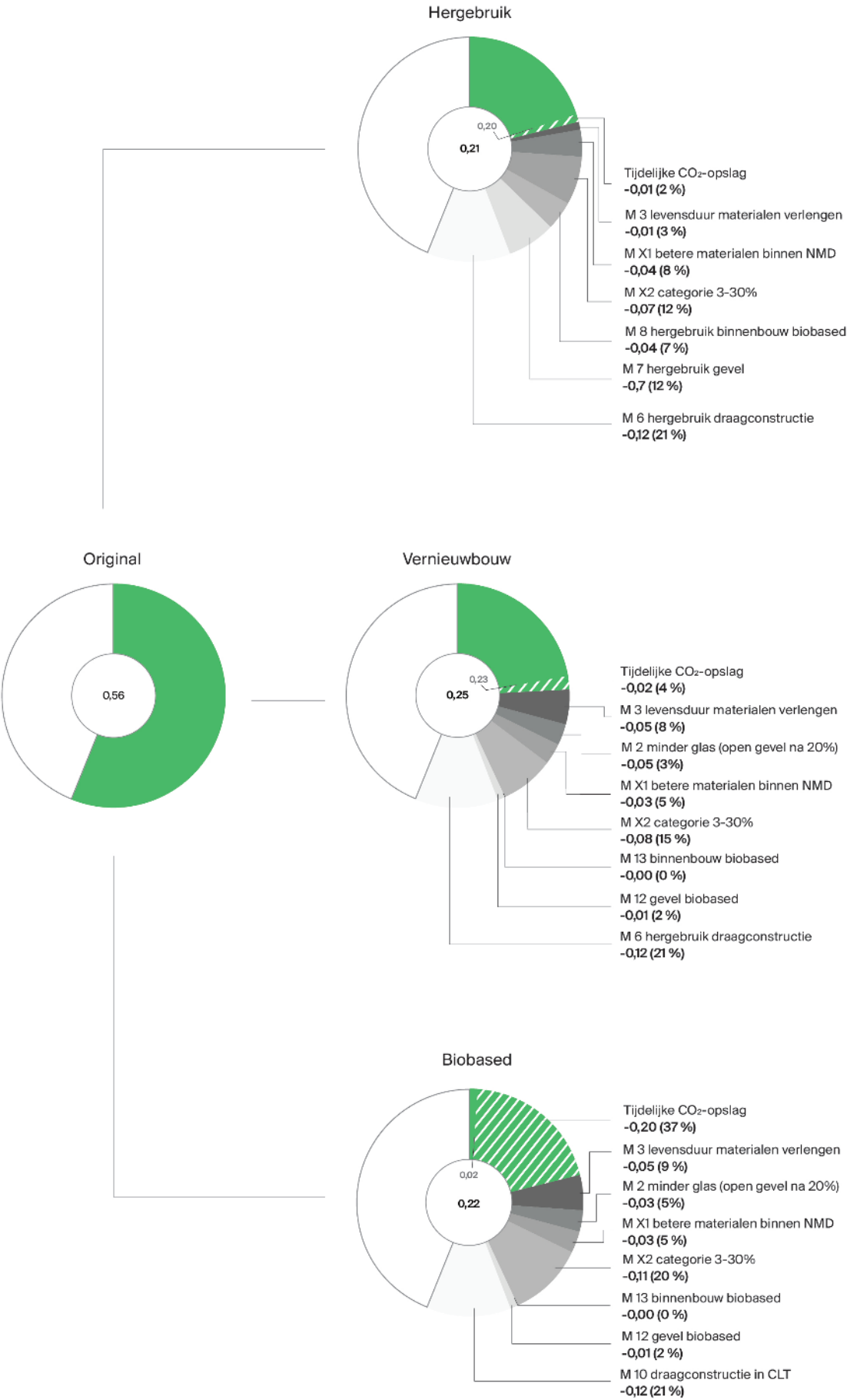
Tabel 2: Grenswaarden voor Paris Proof bouwwerken. Grenswaarde is gegevens in “embodied Carbon” per m2 bouwwerk.

PARIS PROOF GRENSWAARDEN	EMBODIED CARBON KG CO ₂ -EQ. PER M ²			
	2021	2030	2040	2050
Woning (eengezinswoning)	100	63	38	23
Woning (meergezinswoning)	100	63	38	23
Kantoor	125	79	47	28
Retail vastgoed	125	79	47	28
Industrie	100	63	38	23

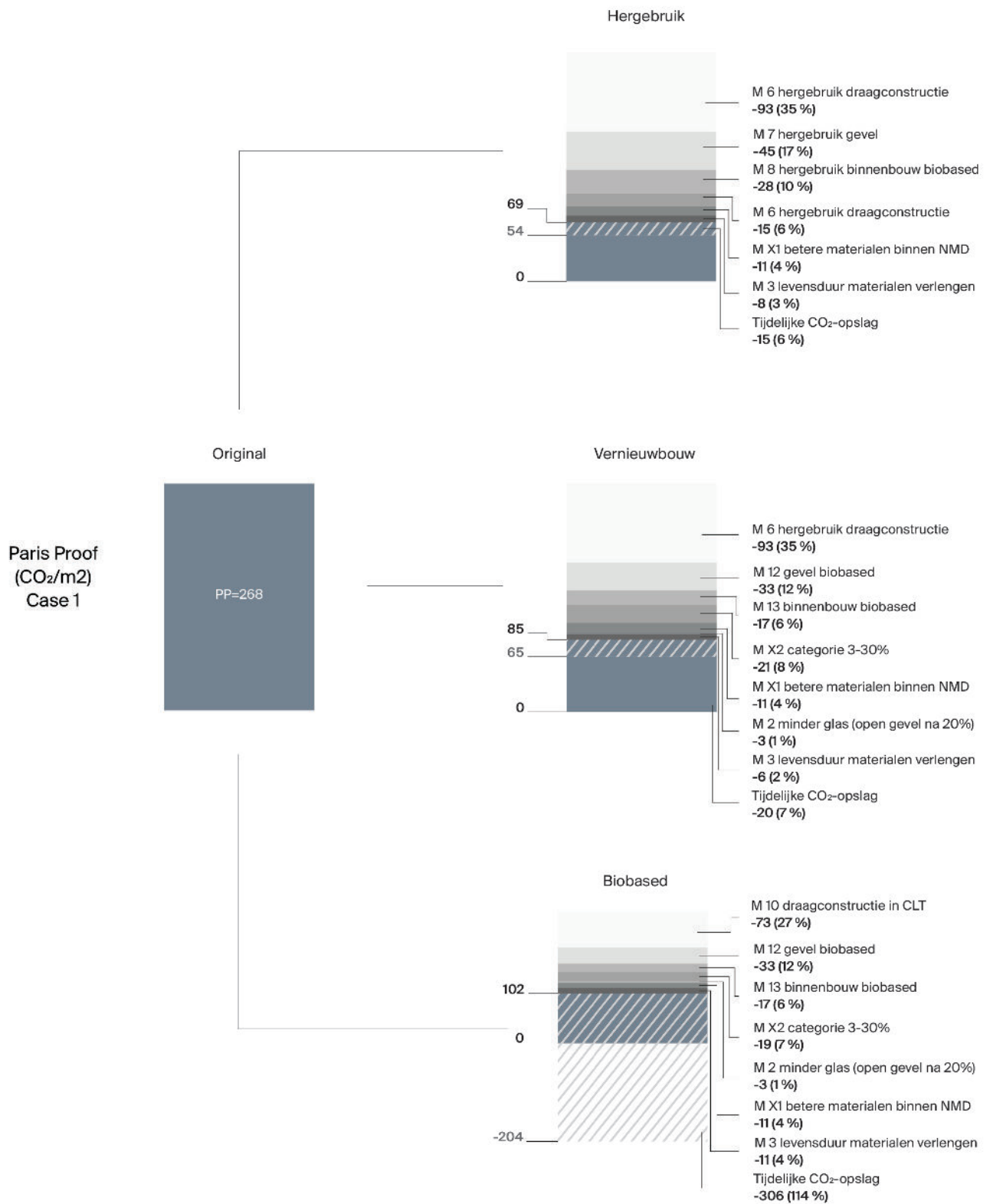
AFBEELDING 42
Grenswaarden naar Paris Proof

CASE 1

Case 1:
MPG



AFBEELDING 41
MPG Steps to Zero Case 1

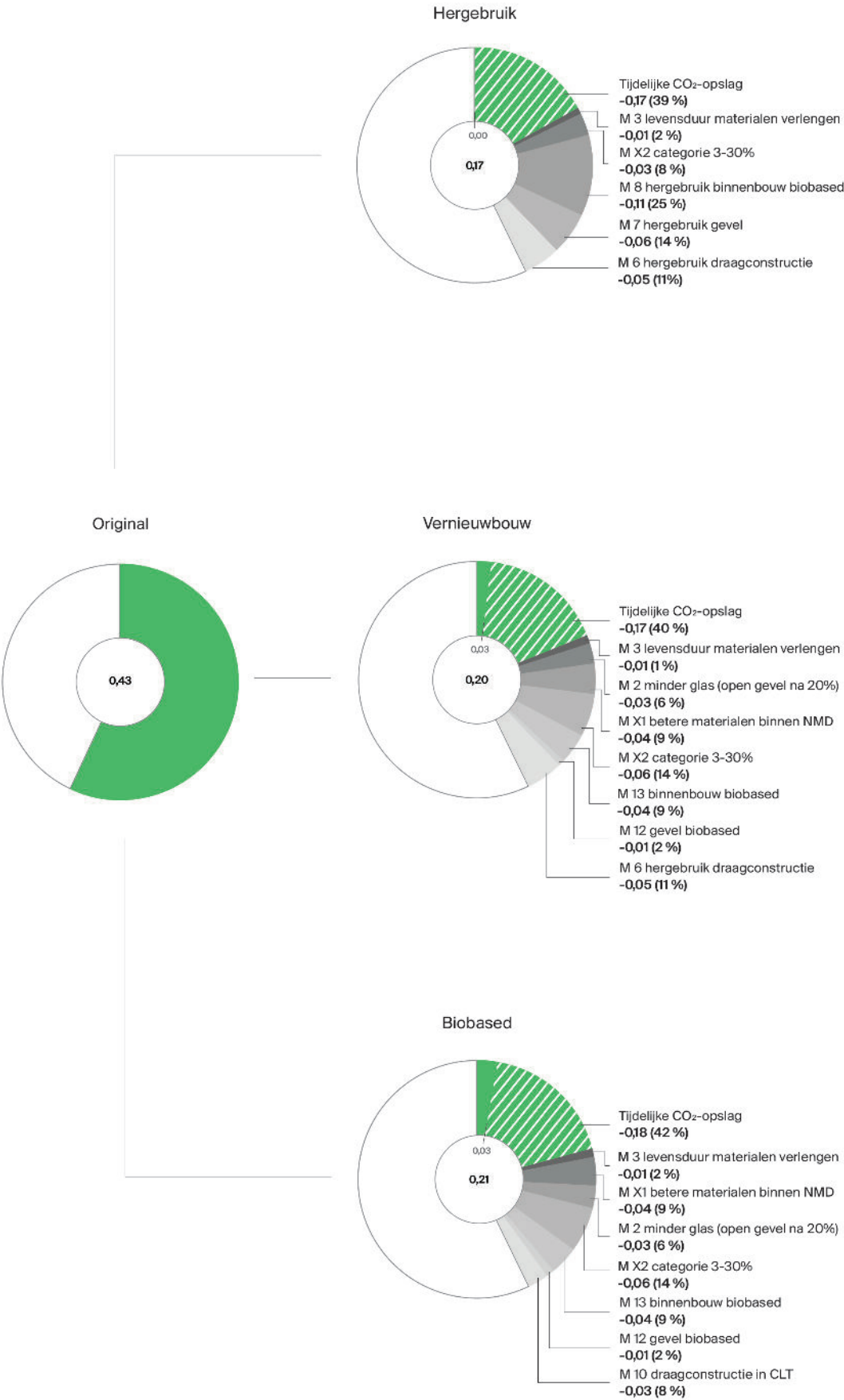


AFBEELDING 42

Paris Proof Steps to Zero Case 1

CASE 2

Case 2:
MPG



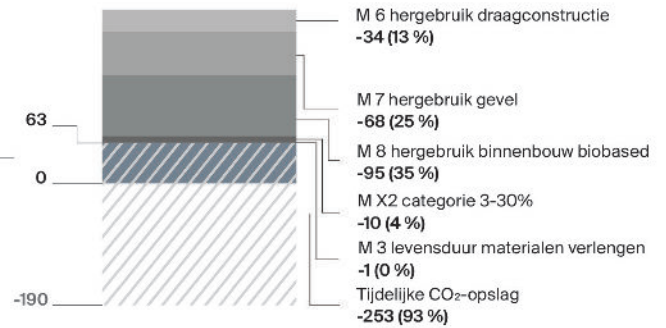
AFBEELDING 43
MPG Steps to Zero Case 2

Paris Proof
Case 2

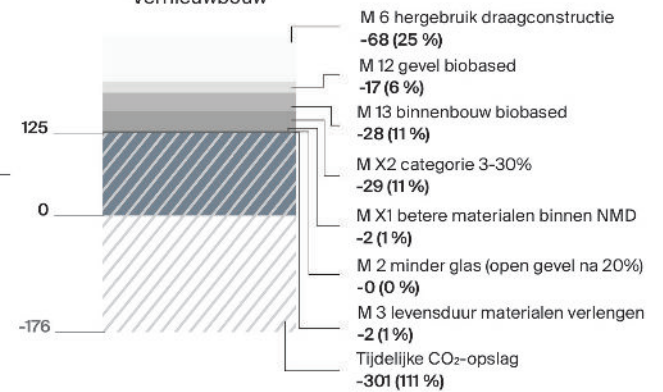
Original

PP=271

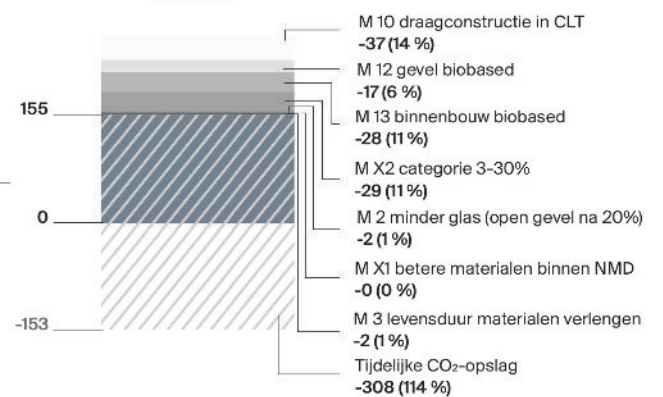
Hergebruik



Vernieuwbouw

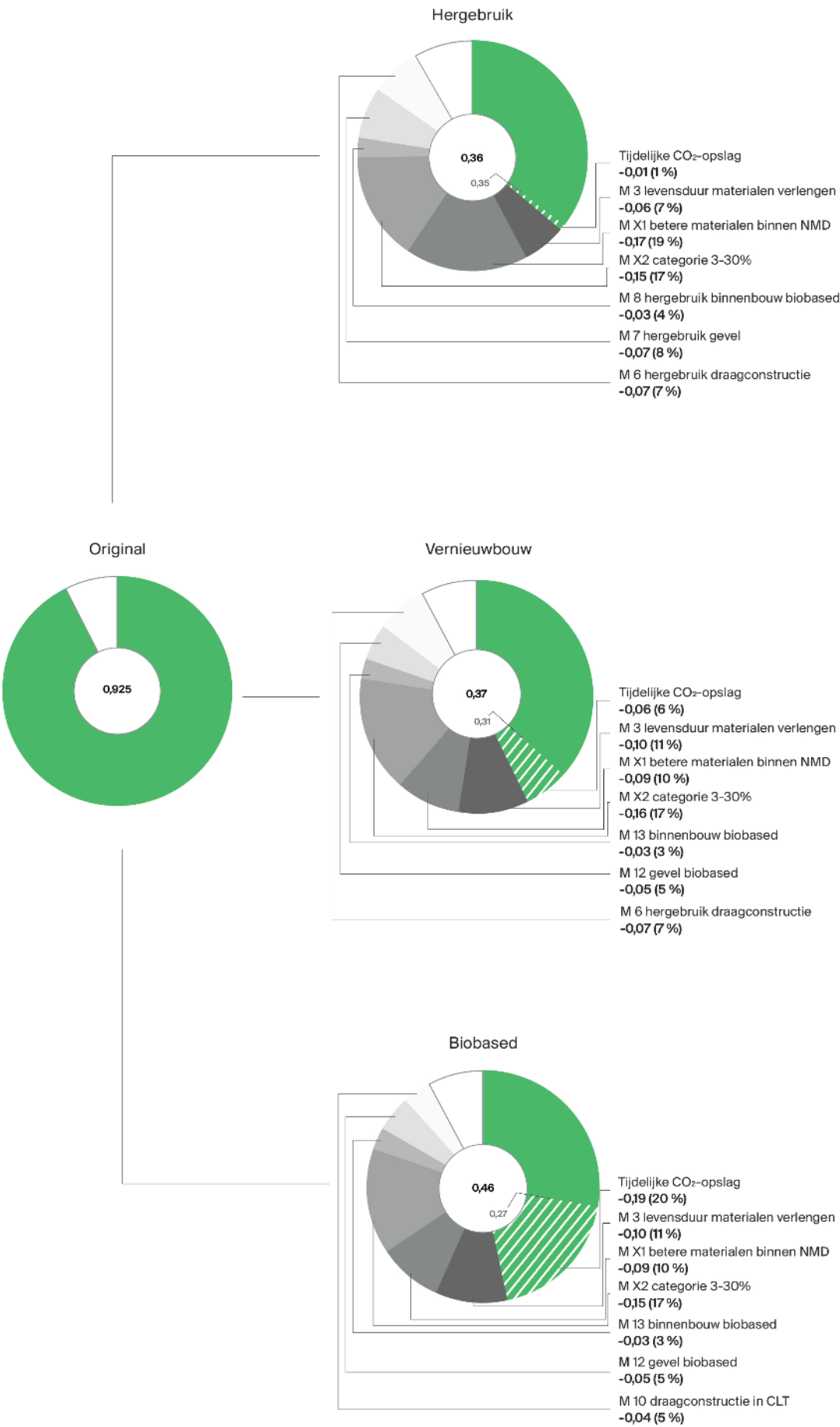


Biobased



CASE 3

Case 3:
MPG



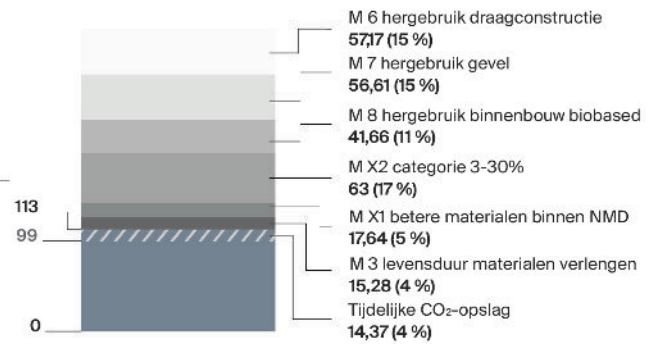
AFBEELDING 45
MPG Steps to Zero Case 3

Paris Proof
Case 3

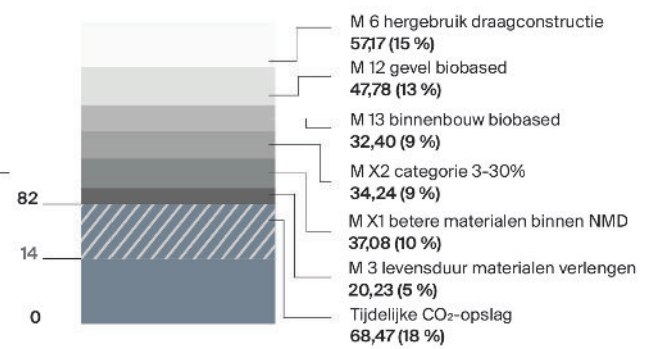
Original

PP=378

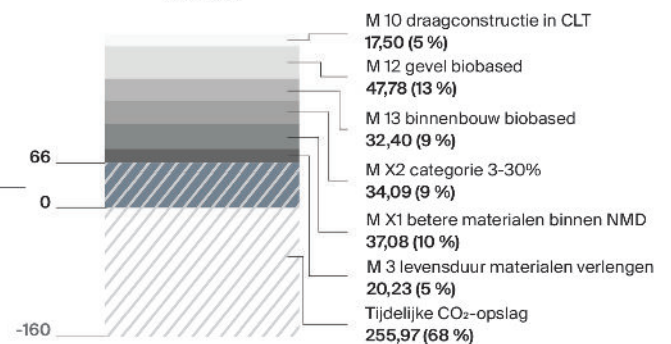
Hergebruik



Vernieuwbouw

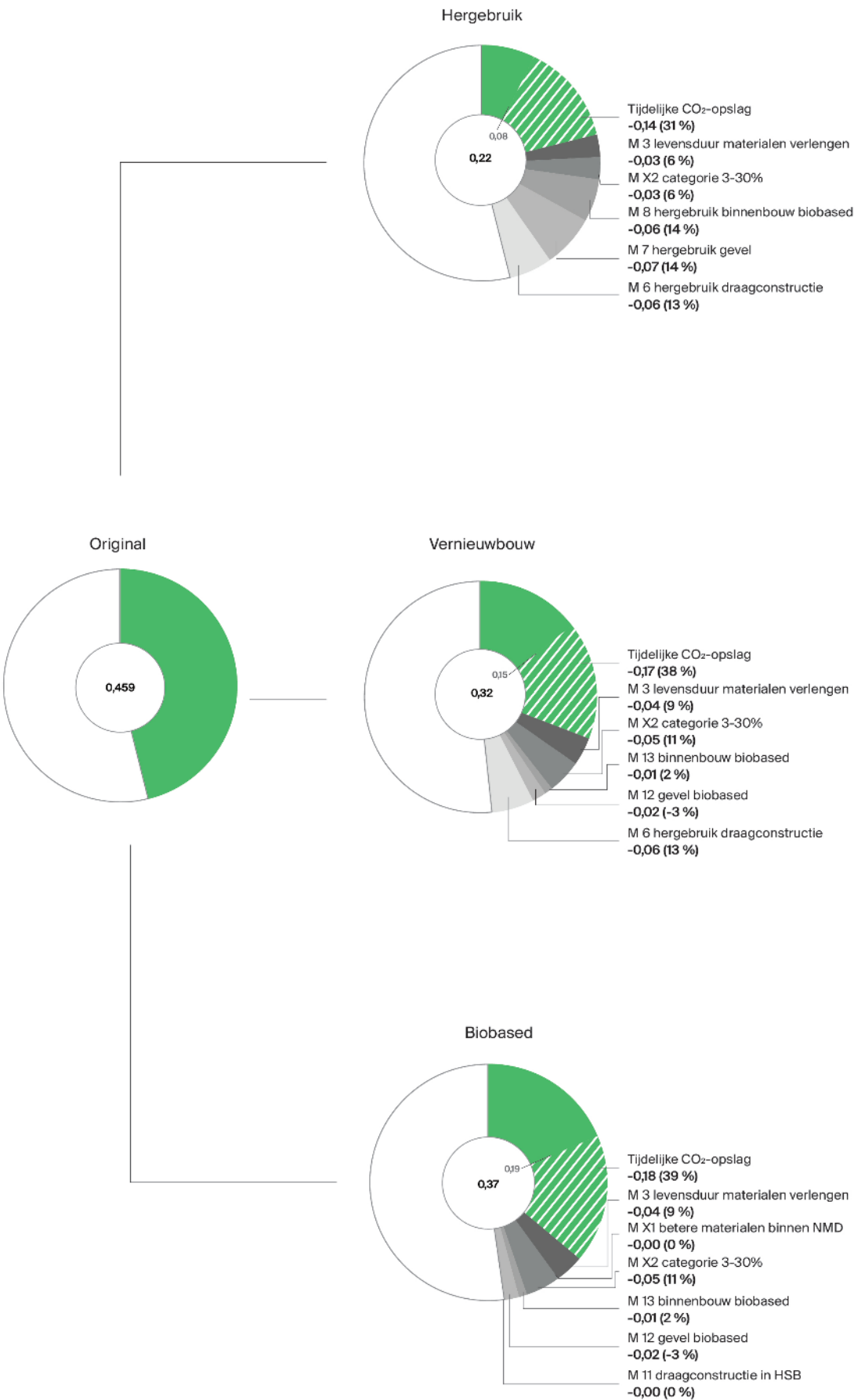


Biobased



CASE 4

Case 4:
MPG



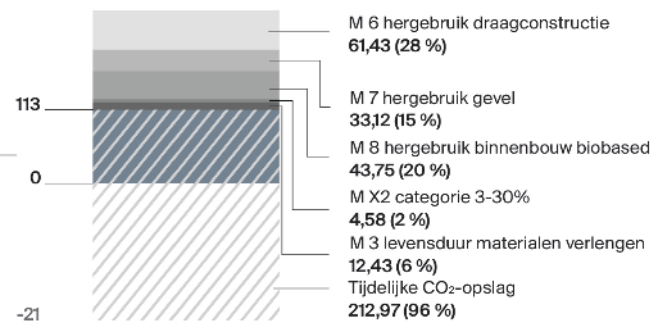
AFBEELDING 47
MPG Steps to Zero Case 3

Paris Proof
Case 4

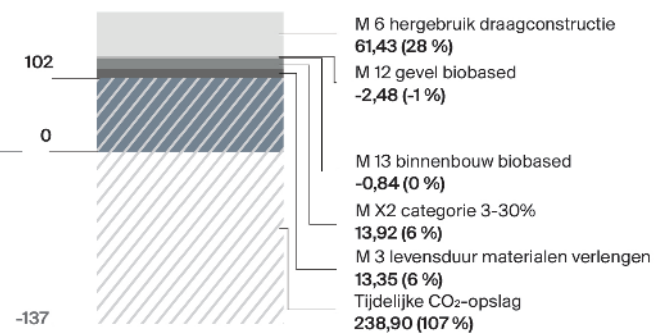
Original

PP=222

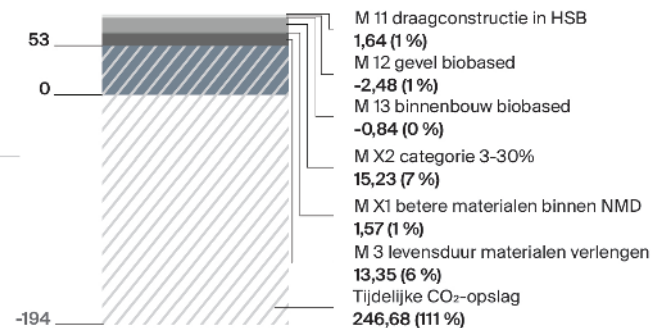
Hergebruik



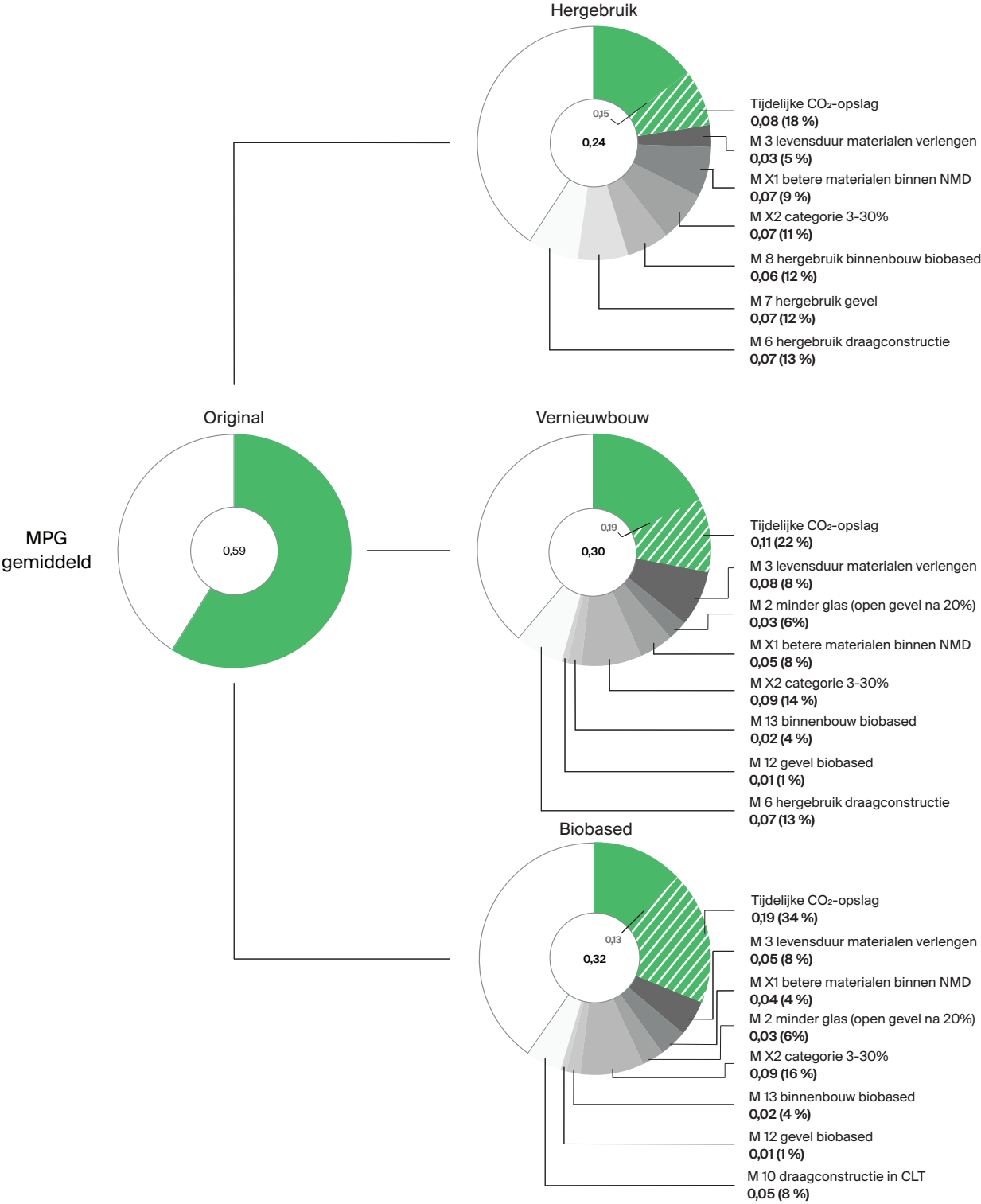
Vernieuwbouw



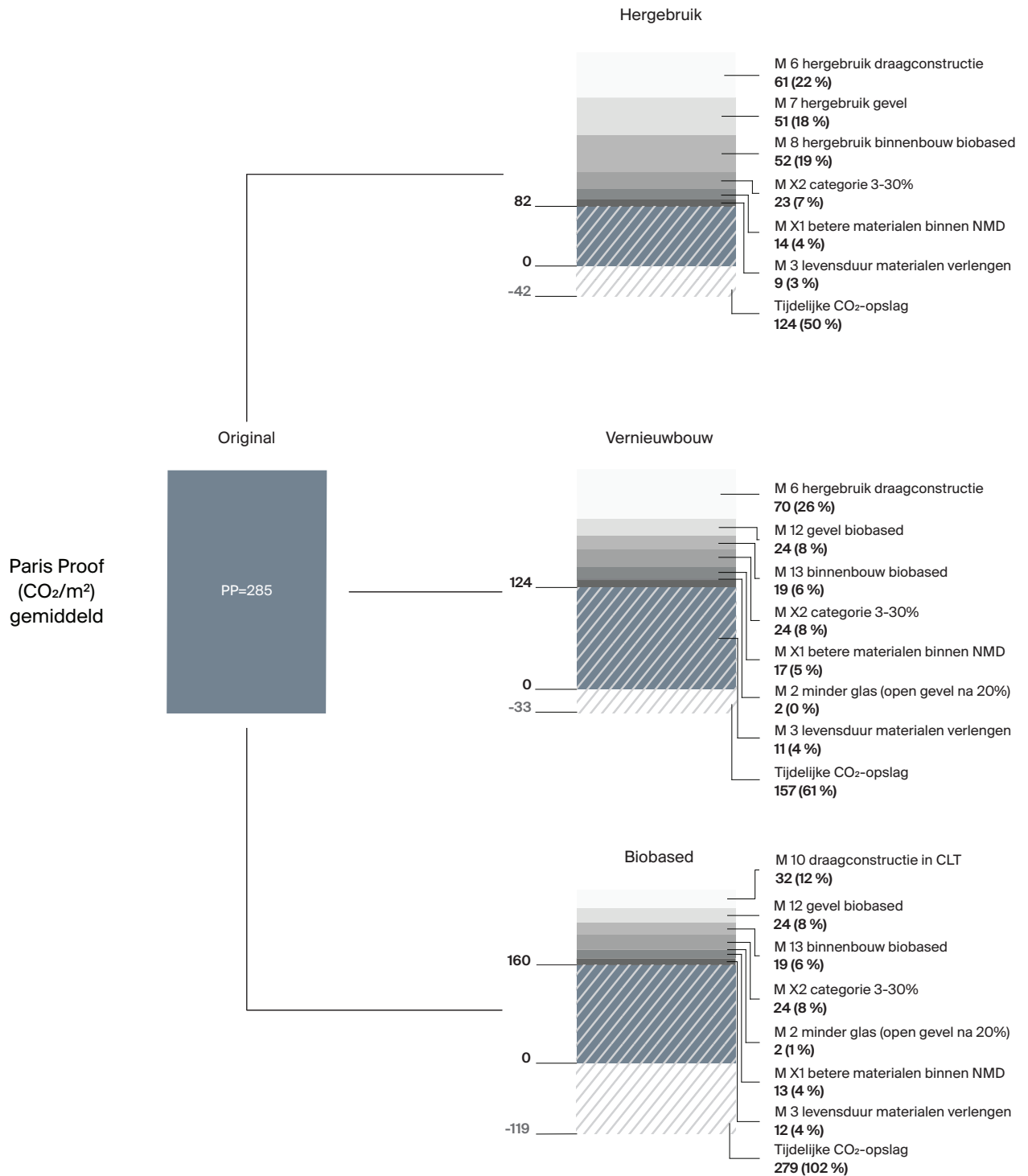
Biobased



GEMIDDELD



AFBEELDING 49
Gemiddelde uitkomst MPG
Steps to Zero



AFBEELDING 50
Gemiddelde uitkomst PP Steps
to Zero

HOOFDSTUK 4

CONCLUSIES

Belangrijke kanttekening: In het onderzoek zijn de maatregelen versimpeld doorgevoerd. Het simpelweg vervangen van materialen zal vaak gepaard gaan met aanvullende maatregelen, met extra milieu-impact. In de praktijk wordt een gebouw integraal ontworpen met de juiste materialen op de juiste plek.

Het onderzoek maakt duidelijk dat **meerdere maatregelen gelijktijdig nodig** zijn om CO₂- en de milieu-impact van een woongebouw drastisch te verlagen. Hierbij dienen alle lagen van het gebouw in ogenschouw genomen te worden en goed op elkaar afgestemd te worden. Een goed ontworpen woongebouw langer laten staan leidt tot reductie van de milieu-impact, waarbij impact van de vermeden nieuwbouw nog niet is meegerekend.

Compacter bouwen is de maatregel die het beste scoort om de milieu-impact te verlagen nadat er besloten is te gaan bouwen. Een betere verhouding van schil tot oppervlakte heeft tot gevolg dat een gebouw minder infrastructuur nodig heeft, dat de verliesoppervlakte kleiner is en daarmee bijvoorbeeld ook met minder hoge isolatie-eisen kan volstaan. De daaropvolgende maatregelen zijn het verlengen van vervangingsintervallen, meer productdata en -innovaties, hergebruik en biobased bouwen.

Er zijn verschillen in het besparingspotentieel op de MPG en Paris Proof-score. Zo heeft het **verlengen van de vervangingsintervallen** veel minder effect op de Paris Proof-score, omdat de tijdsspanne waarnaar gekeken wordt 30 jaar is, tegenover 75 bij een MPG-score. De maatregelen voor hergebruik en toepassen van **biobased bouwen** hebben juist een groter besparingspotentieel op de Paris Proof-score. Dit is te verklaren doordat hergebruik tijdens de productie en bouw (module A) beter naar voren komt. En voor biobased materialen geldt dat de CO₂-intensiteit relatief laag is en beter scoort op klimaatverandering. **Van afwenteling op andere milieu-effecten is geen sprake**, omdat op beide indicatoren een besparing te zien is.

Op basis van NMD-data begin 2022, **scoren biobased materialen niet per definitie beter** in MPG-berekeningen. Dit is afhankelijk van het individuele product. Ook bij de verwerking van biobased materialen vinden nog steeds veel activiteiten plaats die de milieu-impact van het materiaal vergroten. Denk aan het drogen van CLT-hout of transporten over lange afstanden.

Opvallend is de potentiële winst op de Paris Proof-score op het moment dat CO₂-opslag in module A zou worden meegerekend. De bijdrage daarvan is zo groot dat het de negatieve effecten op klimaatverandering in de productie en bouw (module A) kan wegstrepen en in enkele gevallen kan leiden tot een positieve impact op klimaatverandering. Met de inwerkingtreding van EN15804:A2, die biogeen vastgelegde koolstof in de EPD per fase aantoon¹, dient wel zorgvuldig gekeken te worden naar de productkaarten die het -1+1=0 principe hanteren. Als je naar alle levensfasen van een bouwwerk kijkt, zoals de MPG dat doet, maakt het niet uit. Maar wanneer enkel naar module A wordt gekeken, zoals de Paris Proof-methode voorschrijft, ontstaan er grote verschillen.

Hergebruik daarentegen heeft een grote impact, terwijl dat in de praktijk nog niet grootschalig wordt toegepast. Vaak kunnen enkele elementen hergebruikt worden, maar een hele constructie of gevel is nog niet realistisch. **De potentie is groot, maar vraagt een transitie naar gestandaardiseerde bouw, digitalisering en zorgvuldige demontage.** De goede score nu hangt ook met de manier van rekenen samen, namelijk het toepassen van een forfaitaire factor van 0,2 zoals de NMD die voorschrijft. Het helpt de complexiteit van hergebruik te kwantificeren. Maar hoe ga je om met eigenlijk nieuwe materialen die als hergebruikt gedefinieerd worden als ze anders vernietigd zouden worden (bijvoorbeeld verkeerd geproduceerde kozijnen). **Hier zouden materialenpaspoorten en carbon accounting, dus het bijhouden van uitstoot en de afschrijving hiervan, een oplossingsrichting kunnen zijn.**

¹ <https://pre-sustainability.com/articles/what-the-revised-en15804-epd-standard-means-for-you/>

Technische installaties zijn een belangrijk knop om aan te draaien. Hiervan zou door middel van repareerbaarheid, aanpasbaarheid en losmaakbaarheid de levensduur aanzienlijk verlengd kunnen worden, zonder dat dat noodzakelijk ten koste gaat van de efficiency.

Tot slot zullen meer gegevens ook leiden tot beter gefundeerde beslissingen bij de keuze van materialen en ontwerp. **Een stap in die richting is het openbaar en inzichtelijk maken van de EPD's die in het kader van het NMD worden gebruikt.** Dit zal het mogelijk maken ook vergelijkbare producten beter te kunnen beoordelen, bijvoorbeeld als de transportafstand of de energiebron van een fabriek anders is.

Bovendien zal de **beschikbare informatie over hergebruikte materialen** ook een stimulans vormen voor een grotere markt voor hergebruikte bouwmaterialen omdat vraag en aanbod beter gematcht kunnen worden en er meer inzicht is in de technische prestaties. Dit vraagt vooral om standaardisering, want de basis is gelegd, bijvoorbeeld door inmiddels algemeen gebruik van BIM.

De effecten van **maatregelen zijn vaak vergelijkbaar in de twee rekenmethodes MPG en Paris Proof**. Er zijn echter **ook belangrijke verschillen**. Met name als biogene CO₂-opslag meegenomen wordt. Dat is tegenwoordig alleen bij materialen het geval wiens EPD volgens de nieuwe EN 15804 +A2 opgesteld is. Als de berekening op basis van een MPG-berekening gemaakt wordt, dan moeten dus of alle materialen volgens de nieuwe norm berekend zijn, of de biogene CO₂-opslag zou handmatig toegevoegd moeten worden (zoals ook in dit rapport). Het is dan echter belangrijk dat mogelijke nieuwere EPD's eerst uitgesorteerd worden.

Omdat Paris Proof bewust op CO₂ en ook op een veel kortere termijn focust, hebben materialen met een korte levenscyclus (zoals installaties, glas) veel minder negatieve invloed. Ook worden andere milieu-aspecten als toxiciteit en biodiversiteitsverlies niet meegenomen, wat een minstens even grote bedreiging is als klimaatverandering. **De rekenmethode Paris Proof is dan ook aanvullend aan de MPG bedoelt en kan deze niet vervangen.**

De algemene verduurzaming van het energienet blijft een belangrijke rol spelen. Enerzijds in de productie van bouwmaterialen en het transport. Bij algemeen beschikbare duurzame energie zal de CO₂-uitstoot van producten (zelfs staal) omlaag gaan. We hebben ook gezien dat **de bron van externe energielevering een belangrijk aspect in de milieuprestatie** van gebouwen is. Met name omdat dan minder pv-panelen nodig zijn om de operationele energie van een gebouw op te wekken en aan BENG eisen te voldoen.

Tegelijkertijd neemt het opwekken van duurzame energie veel ruimte (op land of op zee) in beslag, wat weer ten koste gaat van natuur en biodiversiteit. **Het blijft dus relevant energiezuinig te bouwen en energiearme materialen te gebruiken.**

Voor biobased bouwen spreekt naast de mogelijkheid tot tijdelijke CO₂-opslag, dat de materialen uit hernieuwbare bronnen komen en aan **het einde van hun levensduur idealiter ook biologisch afbreekbaar** zijn, dus echt *cradle to cradle*. Bovendien zorgen zij vaak voor een gezondere leefomgeving. Het bouwen en ontwerpen met biobased materialen vraagt echter om een zorgvuldige en op het materiaal gerichte vorm van detailleren. Anders moeten veel thermische of chemische processen de materialen kunstmatig verduurzamen, wat het positieve effect weer teniet doet.

En dan de hamvraag: Is het mogelijk een gebouw te maken met 0 (nul) impact?

Natuurlijk niet. Want **alles wat we doen heeft ergens een impact**. Die kunnen en moeten we proberen zo laag mogelijk te houden. **En tegelijkertijd moeten we op zoek gaan naar positieve effecten die we kunnen behalen.** Dat kan dus de tijdelijke CO₂-opslag zijn, waarmee we helpen duurzaam bosbeheer en andere biobased landbouw aantrekkelijk te maken, maar het kan ook het reduceren van de mobiliteitsbehoefte of het verhogen van biodiversiteit en natuurverbetering zijn. **Als we dat dan bij elkaar optellen is het absoluut mogelijk om niet alleen bij nul uit te komen maar zelfs een netto-positieve bijdrage te leveren.**

BRONNEN

Alba Concepts, (2019). Rapport Meetmethodiek Losmaakbaarheid voor GPR Gebouw en BREE-AM-NL.

Barbour, E., Davila, C.C., Gupta, S. et al (2019). Planning for sustainable cities by estimating building occupancy with mobile phones. *Nat Commun* 10, 3736. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11685-w>

Röck M., et al. (2020). Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation, *Applied Energy*.

Bijleveld M. (2021) Kennisnotitie Circulair Zuid Holland Biobased bouwen. CE Delft, Delft.

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

Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C.P.O. et al. Buildings as a global carbon sink. *Nat Sustain* 3, 269–276 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>

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>

DGBC (2021): Position Paper Whole Life Carbon, versie 1.1

Fraanje, P. en Nijman, R., DGBC, TNO, (2021). Valuation of Carbon Performance of Biobased Construction.

Fraanje, P. et al. TNO, SGS, LBP Sight, NIBE (2021). Onderzoek nadere duiding van de baten en lasten in module D van de Bepalingsmethode milieuprestatie bouwwerken. TNO R11800, Utrecht.

Friant M. C., Vermeulen W.J.V., Salomone R. (2020) A typology of circular economy discourses: Navigating the diverse visions of a contested paradigm. *Resources, Conservation and Recycling* 161: 104917. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104917>

Hu, Ming. (2021). Beyond Operational Energy Efficiency: A Balanced Sustainability Index from a Life Cycle Consideration, *Sustainability* 13, no. 20: 11263. <https://doi.org/10.3390/su132011263>

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>

IPCC, 2022: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.001

International Resource Panel (IRP) (2020). Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. Hertwich, E., Lifset, R., Pauliuk, S., Heeren, N. A report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya. <https://www.resourcepanel.org/reports/resource-efficiency-and-climate-change>

KAW (2020). Ruimte zat in de stad. <https://www.kaw.nl/projecten/onderzoek-ruimte-zat-corporatievastgoed/>

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

Le Den X, Steinmann J, Röck M, Birgisdottir H, Horup L H, Tozan B, Sørensen A. Towards EU embodied carbon benchmarks for buildings - Summary report, 2022, <https://doi.org/10.5281/zenodo.6397514>

Ministerie van VROM, (2020). Bouwen met Tijd. Een praktische verkenning naar de samenhang tussen levensduur, kenmerken en milieubelasting van woningen.

Nagler, F., (2012). Voordracht “Einfach Bauen”, 29. Sep. 2012. INSERT STUDIE Link

Platformcb23. (2021). Circulair ontwerpen: Werkafspraken voor een circulaire bouw. <https://platformcb23.nl> (benaderd 18/05/2022)

Pomponi, F. et al. (2020). Buildings as a Global Carbon Sink? A Reality Check on Feasibility Limits, Sciencedirect. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.07.018>

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

Renger B. C., Janis L. Birkeland & David J. Midmore (2015) Net-positive building carbon sequestration, Building Research & Information, 43:1, 11-24, DOI: 10.1080/09613218.2015.961001

Sadler, P. en Robson, D., (2013). Carbon Sequestration By Buildings.

Stephan A., et al. (2022). Towards a multiscale framework for modeling and improving the life cycle environmental performance of built stocks.

Stichting Nationale Milieudatabase, (2020). Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken, Versie 1.0.

Spitsbaard M en Leeuwen M.v. (2021). Paris Proof Embodied Carbon – Rekenprotocol. <https://www.dgbc.nl/publicaties/de-berekening-achter-paris-proof-materiaalgebonden-emissies-49>

Sve Rokseth L. En Manum B. (2021). Patterns of Dwelling Types, Location, and Spaciousness of Living in Norway. Critical Remarks on the Practice of Measuring Energy Performance per Floor Area Only. Buildings 11 (9): 394. DOI:10.3390/buildings11090394

United Nations Environment Programme (2021). 2021 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi. <https://globalabc.org/resources/publications/2021-global-status-report-buildings-and-construction>

Van Leeuwen, M. en Van der Velde, O., NIBE, (2019). Potentie van Biobased materialen in de bouw.

Werner, F., Taverna, R., Hofer, P. et al (2006). Greenhouse Gas Dynamics of an Increased Use of Wood in Buildings in Switzerland. Climatic Change 74, 319–347. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-0427-2>

W/E adviseurs (2016). TKI KIEM – Kwaliteit door Integrale evaluatie van Energie- en Milieuprestaties van gebouwen. TKIGB01016.

Zhong, X., Hu, M., Deetman, S. et al (2021). Global greenhouse gas emissions from residential and commercial building materials and mitigation strategies to 2060. Nat Commun 12, 6126. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26212-z>

WEBPAGES

<https://ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2019/07/how-trees-could-save-the-climate.html> (18/05/2022)

<https://www.vpro.nl/programmas/tegenlicht/lees/artikelen/2020/follow-up-hennep.html> (18/05/2022)

EPDS

2020-01-14_Scheuten-Glas-Nederland-Iso-Glass-Unit-Venlo_M-EPD_MIG

MR-102.1_Trina-Solar_EPDTSM-DE15M-II_TSM-DE17M-II-OPV-Backsheet-Panels

MRPI-EPD_X-LAM -Cross laminated timber-German market_FINAL

Stora Enso EPD CLT 2021

HR++Islatieglas in aluminium frame (NIBE Database)
