

## **W/E rapport**

# **Potentiele CO<sub>2</sub>-reductie bij toepassing circulair bouwen principes in de energietransitie**

*Enkele berekeningen voor aanpassing bestaande  
woningen richting aardgasloos en aan nieuwbouw  
woningen volgens BENG-eisen*



# Potentiele CO<sub>2</sub>-reductie bij toepassing circulair bouwen principes in de energietransitie

*Enkele berekeningen voor aanpassing bestaande  
woningen richting aardgasloos en aan nieuwbouw  
woningen volgens BENG-eisen*

## Opdrachtgever

Ministerie Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, afdeling Directie Bouwen & Energie  
Den Haag  
Referentienr. 2018-0000087730

## Opdrachtnemer

W/E adviseurs  
Arthur van Schendelstraat 650, 3511 MJ Utrecht

Contactpersoon: Erik Alsema  
T 030 - 677 8777 | E [alsema@w-e.nl](mailto:alsema@w-e.nl)

## Projectnummer

W/E 9737

Utrecht, november 2018



# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>3</b>
1.1	Achtergrond, beleidsmatig kader	3
1.2	Vraagstelling	3
1.3	Leeswijzer	3
<b>2</b>	<b>Renovatie bestaande woning naar aardgasvrij</b>	<b>4</b>
2.1	Aanpak	4
2.2	Renovatiepakketten per woningtype	4
2.3	Resultaat standaardrenovatie	5
2.4	Circulaire aanpak bij woningrenovatie	6
2.5	Conclusie bestaande woningen	8
<b>3</b>	<b>Nieuwbouw woningen</b>	<b>9</b>
3.1	Vraagstelling	9
3.2	Beschrijving BENG-woningen	9
3.3	Circulaire aanpak	10
3.4	Resultaten - Tussenwoning	11
3.5	Resultaten - Appartementen	14
3.6	Conclusies nieuwbouw	16



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond, beleidsmatig kader

CO<sub>2</sub>-reductie is een belangrijk maatschappelijk beleidsthema op verschillende niveaus van de overheid. In gebouwen wordt CO<sub>2</sub>-reductie primair gerealiseerd door het beperken van de inzet van fossiele brandstoffen bij verwarming en koeling. Daarnaast wordt ook een bijdrage verwacht van circulair bouwen.

Het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties heeft in dit verband W/E adviseurs gevraagd een kort onderzoek te doen naar de relatie tussen CO<sub>2</sub>-reductie voor verwarming/koeling enerzijds en circulair bouwen anderzijds. Dit is gedaan voor twee specifieke situaties: het aardgasvrij maken van bestaande woningen en nieuwbouw van woningen conform de komende BENG-eisen. De reden voor de keuze voor deze twee specifieke situaties is dat beiden de komende jaren speerpunten zijn in BZK-beleid. Het ministerie heeft W/E adviseurs gevraagd hiervoor een beperkte verkennende studie uit te voeren, geen uitgebreide variantenstudie. De berekeningen zijn uitgevoerd voor twee woningtypen: een tussen-rijwoning en een tussenappartement. Voor beide woningtypes zijn een paar varianten beschouwd: de huidige bouwwijze (referentie) en drie varianten voor circulair bouwen: hernieuwbare grondstoffen, gebruik secundaire materialen en levensduurverlenging.

De conclusies van deze studie zijn daarmee ook beperkt zijn tot de vaststelling van de orde grootte van de CO<sub>2</sub>-reductie bij circulair bouwen. Mede op basis van de resultaten van het onderzoek zal BZK het beleid voor inclusief CO<sub>2</sub>-reductie verder uitwerken.

## 1.2 Vraagstelling

We hebben voor deze studie de volgende vraagstelling gehanteerd:

1. Wat zijn effecten van de transitie naar aardgasvrije wijken in termen van materiaalgerelateerde CO<sub>2</sub> emissies? Naast de CO<sub>2</sub> emissies zal ook de geaggregeerde milieuprestatie (MPG) worden bepaald, zodat er ook een beeld is van andere milieu-impacts
2. Wat is het effect op CO<sub>2</sub> als er zoveel mogelijk circulair materiaalgebruik plaatsvindt?

## 1.3 Leeswijzer

Deze rapportage valt in twee delen uiteen: in Hoofdstuk 2 behandelen we de situatie waar een bestaande woning wordt gerenoveerd naar een woning die op een verantwoorde manier aardgasvrij verwarmd kan worden. In Hoofdstuk 3 bekijken we een nieuwbouw woning, gebouwd conform BENG-eisen.

## 2 Renovatie bestaande woning naar aardgasvrij

### 2.1 Aanpak

In dit hoofdstuk onderzoeken we de materiaal-gerelateerde effecten van de renovatie van bestaande woningen naar aardgasvrij. Een typische “wijk” is geformeerd op basis van twee standaard woningtypes:

1. Een rijwoning uit de jaren '60 op
2. Een woning in een galerijflat jaren '60

In beide gevallen wordt een gemiddelde woning gedefinieerd als een mix van tussen- en eindwoningen.

Voor genoemde woningen worden de volgende principemaatregelen geanalyseerd:

- isolatie schil naar niveau dat nodig is voor LT warmte systeem
- vervanging ketel door warmtepomp dan wel aansluitset (voor stadsverwarming)
- Optioneel: installatie PV op gebouw t.b.v. CO<sub>2</sub>-neutrale ambitie

Alle varianten zijn doorgerekend met de MPG rekenmodule van GPR Gebouw, gebruik makend van de Nationale Milieu Database (versie 2.1).

### 2.2 Renovatiepakketten per woningtype

We hebben de volgende renovatieaanpak als verondersteld voor de woningen.

#### **Flatwoning: Galerijflat '65-'74**

- 1) Schil
  - dak EPS Rc=6
  - Zijgevel EPS Rc=6
  - Glas Triple glas + 50% kozijnen vervangen
  - Vloer RC=3,5
- 2) Installatie:
  - CV eruit
  - radiatoren vervangen HT -> MT
  - Gebalanceerde ventilatie met WTW
  - Variant 1: collectieve warmtepomp bodem + zonneboiler
  - Variant 2: Warmtelevering (stadsverwarming)

#### **Rijwoning '65-'74**

- 1) Schil
  - dak EPS Rc=6
  - Zijgevel EPS Rc=6
  - Vloer RC=3,5
  - Glas Triple glas + 50% kozijnen vervangen
- 2) Installatie:
  - CV eruit
  - radiatoren vervangen HT -> MT
  - Gebalanceerde ventilatie met WTW
  - Variant 1: warmtepomp lucht
  - Variant 2: Warmtelevering (stadsverwarming)
- 3) Optioneel: PV panelen op 50% van schuin dak (180 Wp/m<sup>2</sup>)

## 2.3 Resultaat standaardrenovatie

Voor de bovenbeschreven renovatie onder standaardcondities (d.w.z. geen circulaire materiaalinzet) vinden we in Tabel 1 en 2 voor de onderscheiden installatievarianten de materiaal-relateerde effecten op respectievelijk CO<sub>2</sub>-emissie<sup>1</sup> (embodied CO<sub>2</sub>) en de MilieuPrestatie Gebouw (MPG). De laatste indicator representeert, zoals bekend, naast de CO<sub>2</sub>-emissie van de bouwmaterialen ook andere milieu-impacts (verzuring, grondstofuitputting, e.a.). We zien dat door de standaard renovatie de materiaal-gerelateerde milieu-impacts met 10-15% toenemen ten opzichte van de uitgangssituatie.

In tabel 3 geven we ter vergelijking de CO<sub>2</sub>-emissies die veroorzaakt worden door het operationeel energiegebruik van het gebouw (d.w.z tijdens het gebouwgebruik). Duidelijk is dat de renovatie de energie-gerelateerde CO<sub>2</sub>-emissies sterk verlaagd. Deze emissiereductie is aanzienlijk groter dan de emissietoename vanuit de materialenkant.

Tabel 4, tenslotte, geeft de effecten wanneer ook een PV-systeem wordt geplaatst op de rijwoning. We zien dat de materiaal-gerelateerde effecten van de PV-installatie relatief fors zijn vergeleken met de andere renovatie-ingrepen, maar dat ze in het niet vallen bij de positieve effecten vanuit de energieopwekking.

*Tabel 1: Materiaalgerelateerde CO<sub>2</sub>-emissie (kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>/jaar)*

	Basis	Schil verbeteren	Balans ventilatie	W-installatie WP	W-installatie Stadsverw.	Nieuwe situatie
Galerijflat	3,58	+0,29	+0,05	+0,09	+0,02	3,94 - 4,01
Rijwoning	3,23	+0,42	+0,04	+0,01	+0	3,69 - 3,70

*Tabel 2: MPG scores*

	Basis	Schil verbeteren	Balans ventilatie	W-installatie WP	W-installatie Stadsverw.	Nieuwe situatie
Galerijflat	0,46	+0,03	+0,0	+0,03	+0	0,50 - 0,52
Rijwoning	0,41	+0,04	+0,0	+0,01	+0	0,45 - 0,46

*Tabel 3: Energie-gerelateerde CO<sub>2</sub> emissies (kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>/jaar)*

	Basis	Nieuwe situatie
Galerijflat	67	31
Rijwoning	55	34

*Tabel 4: Effect op CO<sub>2</sub> emissies (kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>/jaar) van PV panelen*

	Energie-gerelateerd	Materiaal-gerelateerd	Totaal
Rijwoning	-36	+0,5	-35,5

Vervolgens bespreken we welke opties er zijn voor circulair materiaalgebruik bij de renovatie.

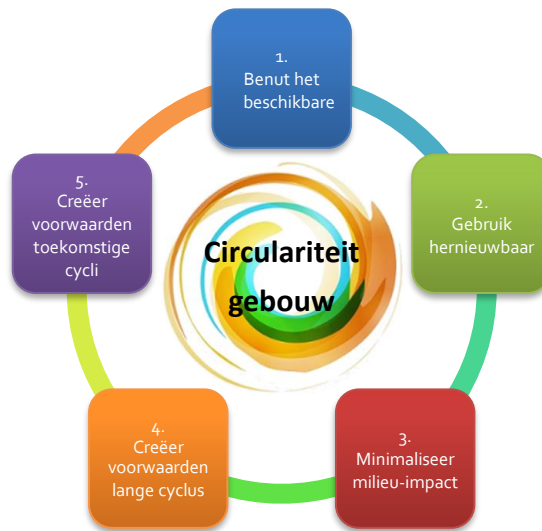
<sup>1</sup> Als we hier spreken over CO<sub>2</sub> -emissie bedoelen we de totale broeikasgasemissie, uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten.

## 2.4 Circulaire aanpak bij woningrenovatie

We spreken van circulair als we grondstoffen langer en hoogwaardiger in de keten houden. Bij een circulaire economie gaat het om:

- a) economische kansen en minder afhankelijk worden van schaarse grondstoffen;
- b) nieuwe businessmodellen;
- c) lage milieudruk en minder afval.

Vijf strategieën zijn in principe mogelijk:



Voor de relevante strategieën kunne we denken aan de volgende aspecten:

Benut het beschikbare:	Bij deze eerste strategie is de insteek dat bij het realiseren van functies in een gebied eerst wordt gekeken of dit kan worden ondergebracht in een bestaand gebouw. Het kan hierbij gaan om reststromen die door sloop of andere oorzaken beschikbaar komt. Soms biedt dit kansen om deze materialen toe te passen in een nieuwe ontwikkeling.
Gebruik het hernieuwbare:	Het betreft onder andere materialen van organische oorsprong, zoals hout, bamboe, stro, natuurlijke verven en lakken, enz. Bij het kiezen uit dit soort materialen is het wel van belang het milieueffect in de gaten te houden. Een voorbeeld: schapenwol is een natuurlijk materiaal dat continu beschikbaar komt, maar de milieu-impact ervan is sterk negatief vanwege de wijze waarop schapenwol beschikbaar komt.
Minimaliseer het milieu-impact:	Vanuit de strategie is af te raden om materialen toe te passen waarvan bekend dat ze een relatief hoge milieu-impact hebben, zoals: lood, ongecoat zink, teerhoudende of koperen dakbedekking. Deze materialen veroorzaken door uitloging grote milieuschade. Voor de overige producten verdient het de voorkeur te kiezen voor materialen die een zo laag mogelijke milieubelasting opleveren.
Creëer voorwaarden lange cyclus:	Door slim ontwerp is het eenvoudig om gebouwen intern aan te passen en eventueel uit te breiden.



Woonwensen kunnen in de tijd veranderen. Door hier rekening mee te houden kan worden voorkomen dat grote ingrepen nodig zijn om de nieuwe woonwensen mogelijk te maken.

Creëer mogelijkheden lange cycli: Wanneer een gebouw niet meer nodig is dan is het doel zoveel mogelijk materialen van dat gebouw op een andere plek of op een andere manier opnieuw te benutten. Dat kan door recycling of hergebruik. Voorwaarde is dat materialen relatief eenvoudig geogst kunnen worden. Dit vraagt aandacht in de ontwerp- en bouwfase.

In de context van de transitie naar aardgasvrij **voor bestaande woningen** zijn er een beperkt aantal mogelijkheden voor toepassing deze circulaire strategieën. Bij elke strategie geven we een schatting van het effect op de materiaal-gerelateerde CO<sub>2</sub>-emissies, op basis van GPR berekeningen.

*Tabel 5: Geschatte CO<sub>2</sub>-effecten van circulaire strategieën bij woningrenovatie*

<b>Circulaire strategie</b>	<b>Mogelijkheden binnen opgave</b>	<b>Schatting van effect op materiaal-gerelateerde CO<sub>2</sub> emissie</b>
Benut het beschikbare	Weinig, want er zijn voornamelijk geen reststromen van sloop in de wijk. Benodigde materialen komen ook zelden vrij bij sloop.	-
Gebruik het hernieuwbare	Gebruik van biobased isolatiematerialen	-10%
Minimaliseer de milieu-impact	Bij keuze van isolatiematerialen en nieuwe dakbedekkingen kan hiermee winst worden gehaald, het effect op CO <sub>2</sub> zal beperkt zijn	-
Creëer voorwaarden lange cyclus	Aanpassingen binnen de woning kunnen gebruiksperiode aanzienlijk verlengen. De reguliere gebruiksperiode na energetisch renovatie zou 30-40 jaar zijn, verlenging naar 60 jaar is denkbaar.	-10%
Creëer mogelijkheden lange cycli:	Materialen die vrijkomen zijn vooral cv-ketels en HT radiatoren. Omdat de aanpak deel is van een nationale transitie is de markt voor deze restproducten binnen Nederland uiterst beperkt. Recycling van metalen is mogelijk maar gebeurt nu ook al.  Recycling van vlakglas krijgt misschien betere kansen vanwege de grote stroom materiaal	0 tot -5%





## 2.5 Conclusie bestaande woningen

Binnen de context van transitie naar aardgasvrij zien we in eerste instantie beperkte mogelijkheden voor circulair materiaal gebruik. Het effect van circulaire aanpak kan een CO<sub>2</sub>-reductie opleveren van 10-20% *op de materiaal-gerelateerde CO<sub>2</sub>-emissie*. De absolute reductie zou 0,4-0,8 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/jr kunnen bedragen.

Omdat de CO<sub>2</sub>-emissie uit energieconversies ook na renovatie aanzienlijk hoger is dan de materiaal-gerelateerde emissie (30 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/jr) is het effect op de totale CO<sub>2</sub>-emissie uit energie en materialen beperkt.

## 3 Nieuwbouw woningen

### 3.1 Vraagstelling

Evenals als bij de bestaande woningen zijn hier de volgende deelvragen geformuleerd:

- Wat zijn effecten van de nieuwbouw van aardgasvrije cq. energieneutrale woningen in termen van materiaal-gerelateerde CO<sub>2</sub> emissies? Naast de CO<sub>2</sub> emissies zal ook de geaggregeerde milieuprestatie (MPG) worden bepaald, zodat er ook een beeld is van andere milieu-impacts
- Wat zijn mogelijke effecten op CO<sub>2</sub> emissies als er verschillende strategieën voor circulair materiaalgebruik worden gevolgd bij de bouw van de nieuwe woningen?
- Op welke wijze kan circulair bouwen een bijdrage leveren aan de CO<sub>2</sub> reducties in de context van de transitie naar aardgasvrije wijken?

### 3.2 Beschrijving BENG-woningen

Er worden twee standaard woningtypes beschouwd:

- Een nieuwbouw rijwoning (conform BENG-eis)
- Een nieuwbouw appartementsgebouw (conform BENG-eis)

De vormgeving, materialisatie en installatietechniek van de woningen is gebaseerd op de beschrijving van [BENG referentiegebouwen](#) die is opgesteld door RVO.

Voor de rijwoning is de "[Tussenwoning \(S\)](#)" en daarbinnen de variant 2 "All-electric", voor bouwkundige kenmerken zie tabel 6. Voor de appartementen hebben we de beschrijving van het BENG Referentiegebouw "[Woongebouw \(M\) -appartementen](#)" als uitgangspunt genomen<sup>2</sup>.

Tabel 6: Beschrijving van de nieuwbouwwoningen en de resulterende BENG-indicatoren

Bouwkundige en Installatietechnische gegevens	Appartement (M) – all electric	Tussenwoning (S) – all electric
Aantal woningen in gebouw	60	1
Gebruiksoppervlak per woning (m <sup>2</sup> )	65	110
Dichte delen Rc vloer/gevel/dak (m <sup>2</sup> .K/W)	3,5 / 4,5 / 6,0	5,0 / 5,0 / 8,0
Open delen Utotaal ramen/voor deur (W/m <sup>2</sup> .K)	1,0 / 1,4	0,9 / 0,8 / 1,65
infiltratie q <sub>v10,spec</sub> (dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup> )	forfaitair 0,42	0,40
Type verwarmingsinstallatie	elektrische warmtepomp met als bron bodem	elektrische warmtepomp met als bron bodem
Type ventilatiesysteem	balansventilatie met HR-twtw (D2b2) forfaitair	mechanische afzuiging met CO <sub>2</sub> regeling per ruimte (C4c)
Koeling	vrije koeling	vrije koeling

<sup>2</sup> De maatvoering van het appartementsgebouw dat wij hebben geanalyseerd wijkt iets af van de BENG referentie volgens RVO. Dat heeft echter geen wezenlijke invloed op de resultaten en conclusies.

Bouwkundige en Installatietechnische gegevens	Appartement (M) – all electric	Tussenwoning (S) – all electric
Type warmtapwatersysteem	elektrisch doorstroomtoestel	combiwarmtepomp
Zonnecollector -thermisch (m <sup>2</sup> )	0	0
PV-systeem	88000 Wp, circa 440m <sup>2</sup>	900 Wp, circa 4,5m <sup>2</sup>
<b>BENG- Indicatoren</b>		
Energiebehoefte (eis: ≤ 25 kWh/m <sup>2</sup> )	18,1	25
Primair fossiel energiegebruik (eis: ≤ 25 kWh/m <sup>2</sup> )	25	24,8
Hernieuwbare energie (eis: ≥ 50%)	59,9%	61,6%

Voor de materialisatie van de standaardvariant van de gebouwen (d.w.z. niet-circulair) is uitgegaan van:

- 1) de “Voorbeeldwoning nieuwbouw tussenwoning” zoals opgenomen in GPR Gebouw, met aanpassing van isolatiediktes, type glas (3-voudig) en verwarmingsinstallatie.
- 2) Een bestaand ontwerp van een BENG appartementengebouw in 6 bouwlagen.

De keuzes voor de circulaire aanpak zullen we hieronder bespreken.

### 3.3 Circulaire aanpak

Met betrekking tot circulair bouwen kunnen er een vijftal basisstrategieën onderscheiden worden (zie sectie 2.4)

In dit geval hebben we de volgende pakketten gehanteerd voor de BENG woningen:

Concept	Rijwoning	Appartement
0. Referentie	BENG – standaard materialisatie, levensduur 75 jaar	BENG – standaard materialisatie, levensduur 75 jaar
1. Biobased materialen	-Houtskeletbouw -Biobased isolatiemateriaal	- Houtskeletbouw -Biobased isolatiemateriaal
2. Gebruik van secundaire materialen	- hergebruik baksteen - hergebruik betonnen vloeren en zijgevels - hergebruik van isolatiemateriaal (glas-of steenwol)	- hergebruik baksteen - hergebruik betonnen vloeren en zijgevels - hergebruik van isolatiemateriaal (glas-of steenwol)
3. Verlenging levensduur gebouw	Levensduur =100 jr	Levensduur =100 jr

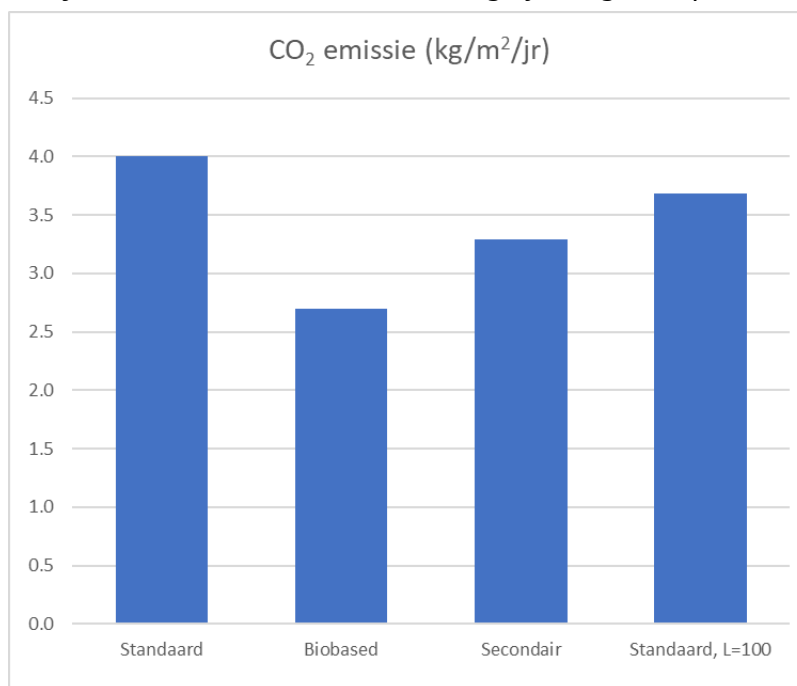
De bovengenoemde varianten zijn doorgerekend met behulp van de MPG rekenmodule van GPR Gebouw. Materialen zijn gekozen zoals beschikbaar in de Nationale Milieu Database (versie 2.3).

Voor de biobased variant (hernieuwbare materialen) is het gebouw opgebouwd op basis van houtskelet prefab bouwelementen, zowel voor de grondgebonden woning als voor de appartementen. Tevens is gekozen voor biobased isolatiematerialen in plaats van EPS of PIR.

Voor de variant met secundaire materialen was een beperking dat in de Nationale Milieudatabase de keuze aan hergebruikte materialen nog zeer beperkt is. Alleen bij beton kan men kiezen voor een variant met 20% granulaat, d.w.z 20% hergebruikt beton. Dit levert maar een zeer beperkte inzet van secundair materiaal op. Daarom is voor de case met secundaire materialen ook de aanname gedaan dat 50% van de betonnen vloeren en gevelementen<sup>3</sup>, 50% van de bakstenen en ook 50% van het isolatiemateriaal kan worden hergebruikt. Omdat er geen gegevens zijn over de noodzakelijke processtappen voor verwijdering, reiniging en herbruikbaar maken van dit soort materialen is er voornamelijk vanuit gegaan dat er **geen** additionele impact optreedt door hergebruikt materiaal<sup>4</sup>. Dit is uiteraard een onderschatting.

### 3.4 Resultaten - Tussenwoning

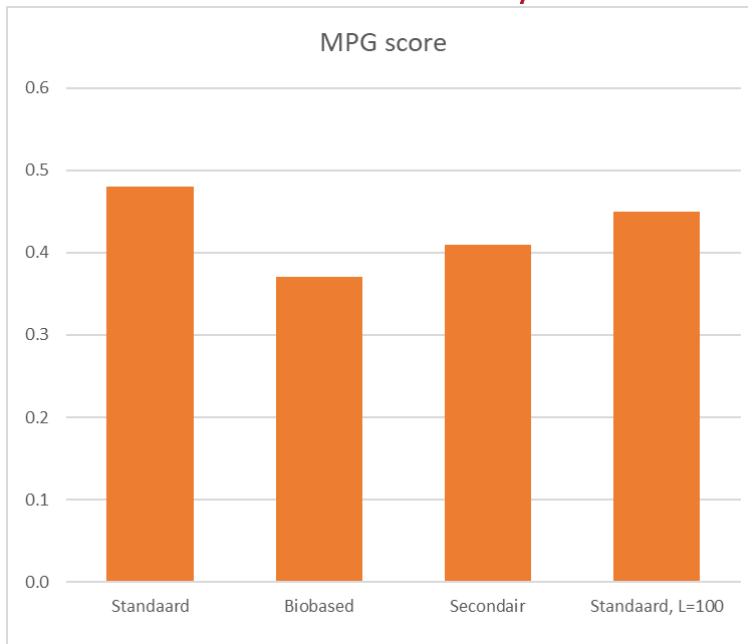
Analysesresultaten voor de tussenwoning zijn in figuur 1 t/m 4 te vinden.



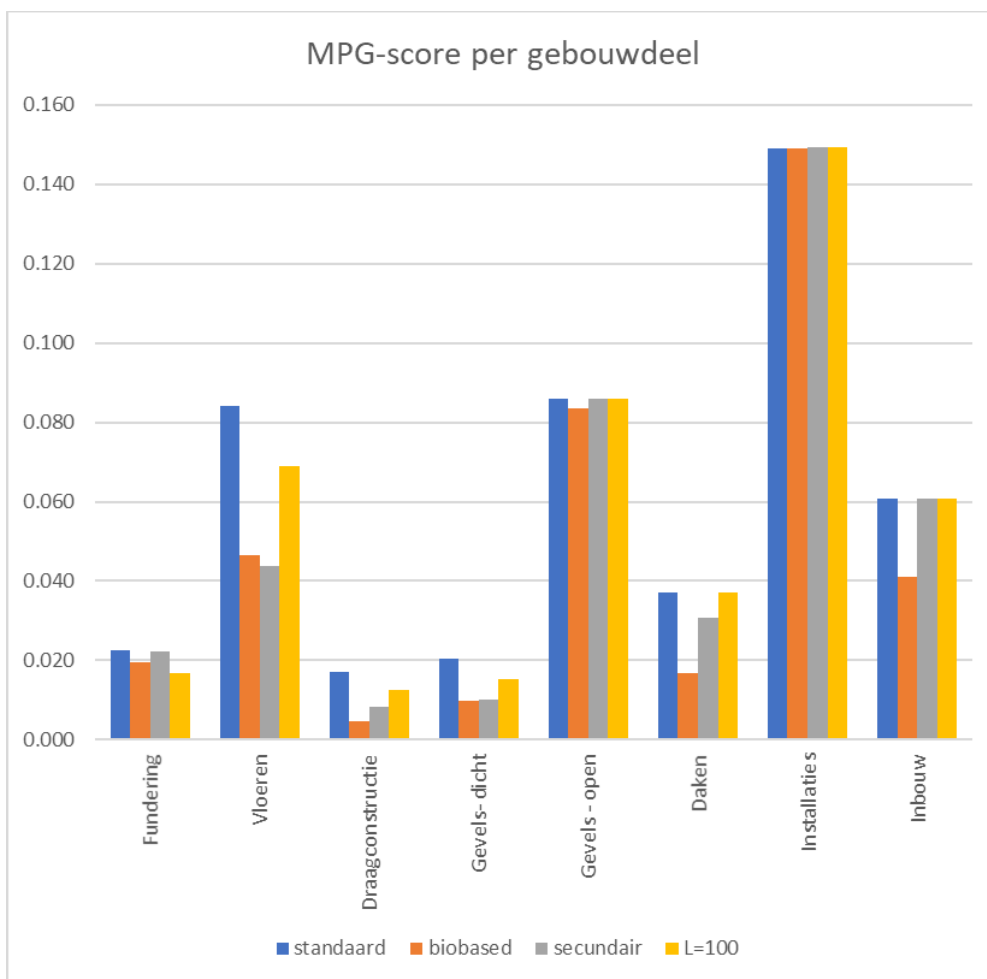
*Figuur 1: Materiaalgerelateerde CO<sub>2</sub>-emissies voor circulaire varianten van de tussenwoning.*

<sup>3</sup> Voor de goede orde: het gaat hier om gebruik van gerecycled materiaal aan de *inputzijde*. Het recent afgesloten betonakkoord heeft als ambitie 100% hergebruik, maar dat is gerelateerd aan het *betonafval*.

<sup>4</sup> Met andere woorden: 50% hergebruik is gemodelleerd door de benodigde hoeveelheid materiaal met 50% te verminderen.



Figuur 2: MPG scores voor de circulaire varianten van de tussenwoning



Figuur 3: Bijdrage per gebouwdeel aan de MPG-score van de tussenwoning voor de circulaire varianten.

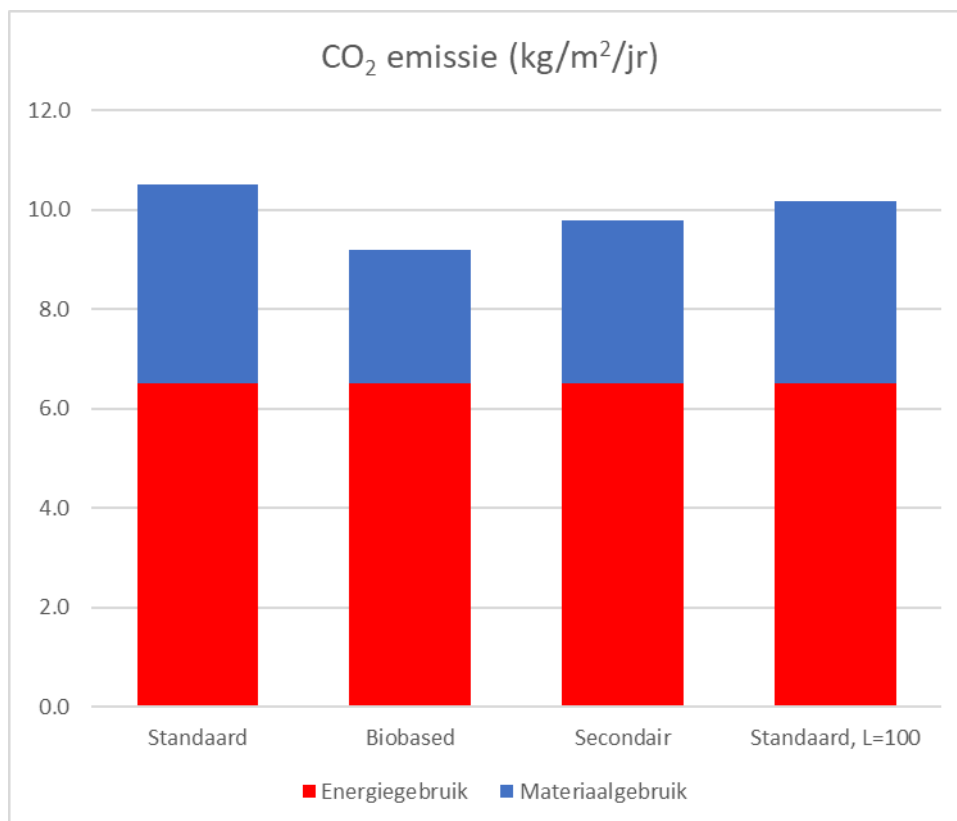
In figuur 1 kunnen we zien dat vooral de biobased variant een forse reductie in de CO<sub>2</sub>-emissie oplevert (ruim 30% t.v. standaardvariant). De reducties bij de secundaire variant (18% reductie) en bij verlenging van de levensduur (8% reductie) zijn veel beperkter.

De MPG scores (figuur 2) volgen dit beeld maar in minder sterke mate. De bijdrage vanuit andere impactcategoriën (verzuring, toxiciteit, etc.) aan de MPG-score dempen het effect van CO<sub>2</sub>-reductie enigszins.

In figuur 3 is te zien hoe de MPG scores zijn opgebouwd vanuit de gebouwdelen<sup>5</sup>. Duidelijk te zien is dat de varianten biobased en secundair forse reducties opleveren bij vloeren, draagconstructie en dichte geveldelen. De biobased variant geeft ook nog een reductie bij het dak. Voor andere gebouwdelen waren biobased of secundaire materiaalkeuzes minder eenvoudig te maken. Ook is te zien dat de levensduurverlenging een beperkte impactreductie oplevert bij de constructieve elementen maar niet bij daken, installaties en inbouw. Reden hiervoor is natuurlijk dat deze onderdelen een kortere levensduur hebben dan het gebouw als geheel, zodat tussentijdse vervanging toch altijd nodig is.

Let op: de CO<sub>2</sub>-reducties van de biobased en secundaire varianten zijn *niet optelbaar* omdat het om geheel verschillende gebouwontwerpen en materiaalkeuzes gaat die niet in één gebouw te combineren vallen.

Figuur 4 tenslotte toont de respectievelijke CO<sub>2</sub>-emissies door (operationeel) energiegebruik en door materiaalgebruik. We zien dat de emissies vanuit energiegebruik (d.w.z. emissies vanuit elektriciteitscentrales) ook bij de BENG-woningen ca. 1,5 keer zo groot zijn dan de materiaal-gerelateerde emissies. Als op de woning meer PV geplaatst zou zijn dan de 900 Wp die er nu geplaatst is, bijvoorbeeld om ze volledig energieneutraal te maken, dan zou de CO<sub>2</sub>-emissie vanuit energie natuurlijk naar nul gaan.

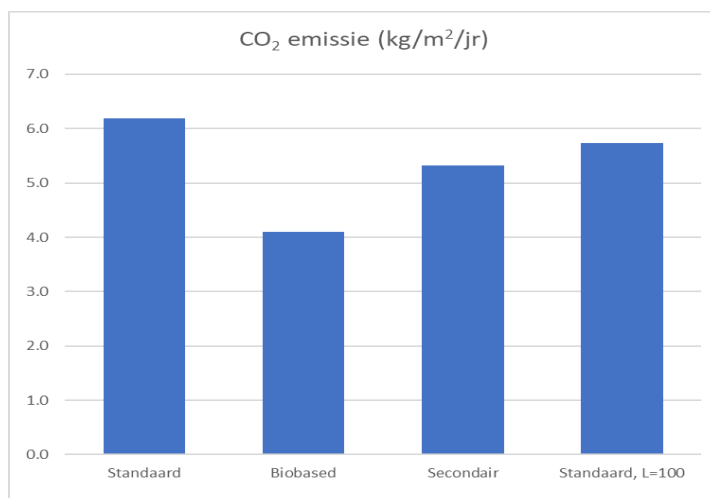


*Figuur 4: CO<sub>2</sub> emissie door operationeel energiegebruik en door materiaalgebruik, voor de BENG tussenwoning.*

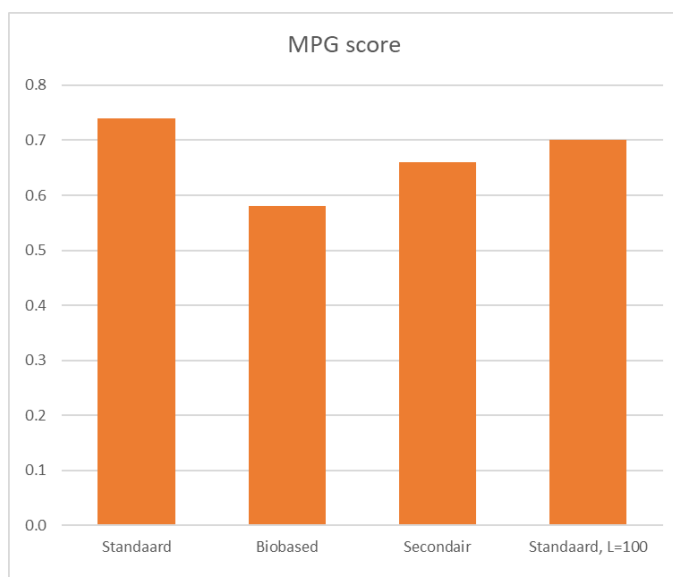
<sup>5</sup> Met het instrument GPR gebouw kunnen we helaas geen CO<sub>2</sub>-emissies per gebouwdeel onderscheiden.

### 3.5 Resultaten - Appartementen

Voor appartementen hebben we dezelfde analyses uitgevoerd als bij de tussenwoningen. De analysesresultaten zijn in figuur 5 t/m 8 te vinden.

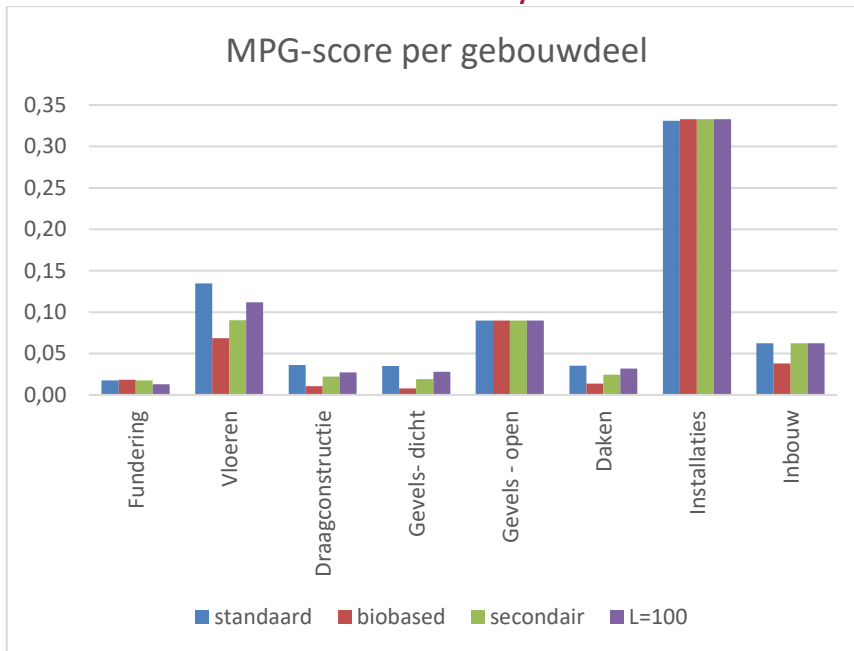


*Figuur 5: Materiaalgerelateerde CO<sub>2</sub>-emissies voor circulaire varianten van het appartementsgebouw.*



*Figuur 6: MPG scores voor de circulaire varianten van het appartementsgebouw.*

Net als bij de tussenwoningen zien we in figuur 5 dat vooral de biobased variant een forse reductie in de CO<sub>2</sub>-emissie oplevert (ruim 30% t.v. standaardvariant). Figuur 5 laat verder zien dat de reducties bij de secundaire variant (14% reductie) en bij verlenging van de levensduur (7% reductie) veel beperkter.



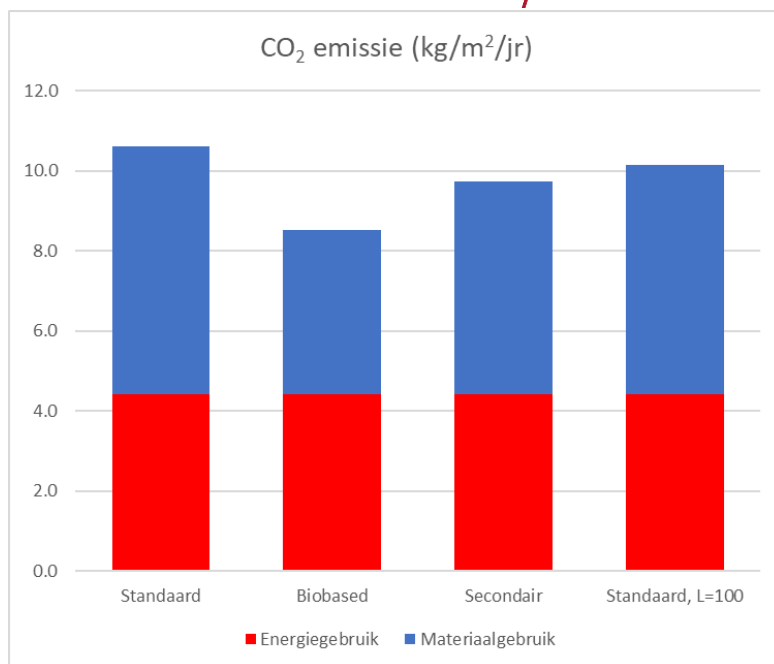
*Figuur 7: Bijdrage per bouwdeel aan de MPG-score van het appartementsgebouw voor de circulaire varianten.*

In figuur 7 is te zien hoe de MPG scores zijn opgebouwd vanuit de bouwdeelen. Duidelijk te zien is dat de varianten biobased en secundair forse reducties opleveren bij vloeren, draagconstructie en dichte geveldeelen. De biobased variant geeft ook nog een reductie bij het dak. Voor andere bouwdeelen waren biobased of secundaire materiaalkeuzes minder eenvoudig te maken. Ook is te zien dat de levensduurverlenging een beperkte impactreductie oplevert bij de constructieve elementen maar niet bij daken, installaties en inbouw. Reden hiervoor is natuurlijk dat deze onderdelen een kortere levensduur hebben dan het gebouw als geheel, zodat tussentijdse vervanging toch altijd nodig is.

Ook opvallend is hier de grote impact van de gebouwinstallaties. De forse hoeveelheid zonnepanelen (ruim 7 m<sup>2</sup> per woning) is hier debet aan, maar deze zijn wel noodzakelijk om de BENG-eisen te halen en daarmee tevens de CO<sub>2</sub> emissies vanuit energiegebruik te verlagen.

Figuur 8 tenslotte toont de respectievelijke CO<sub>2</sub>-emissies door (operationeel) energiegebruik en door materiaalgebruik. We zien dat de emissies vanuit energiegebruik (d.w.z. emissies vanuit elektriciteitscentrales) ook bij de BENG-woningen ongeveer even groot zijn als de materiaal-gerelateerde emissies.





*Figuur 8: CO<sub>2</sub> emissie door operationeel energiegebruik en door materiaalgebruik, voor het BENG appartementsgebouw.*

### 3.6 Conclusies nieuwbouw

Een aantal analyses is uitgevoerd om te onderzoeken welk effect circulair materiaalgebruik zou kunnen hebben voor nieuwbouwwoningen die voldoen aan de BENG eisen. Van de 3 circulaire strategieën die we hier onderzocht hebben (hernieuwbaar materiaal, secundaire materiaal en levensduurverlenging) is het grootste effect op de CO<sub>2</sub>-emissie te zien bij de biobased variant (=hernieuwbaar). Inzet van biobased materiaal en bijbehorende gebouwconstructies (HSB) resulteert in een CO<sub>2</sub> reductie van 30-35%. Dit effect komt, iets minder sterk terug in de MPG-scores.

De secundaire materiaal-inzet is, door het goeddeels ontbreken van secundaire materialen in de NMD database, grof gemodelleerd door 50% hergebruik te veronderstellen van betonnen gebouwdelen en van isolatiematerialen. Impacts van reinigings- of recyclingprocessen zijn hierbij (noodgedwongen) op nul gesteld. Ondanks deze optimistische veronderstellingen blijven de CO<sub>2</sub>- en MPG-reducties door secundaire materiaalinzet beperkt tot 15-20%. In werkelijkheid zal dit waarschijnlijk lager liggen.

Wanneer binnen de NMD database meer producten met hergebruikt materiaal beschreven worden, bijv. hergebruikte metaalproducten, kan het zinvol zijn om te kijken of dit hergebruik grotere CO<sub>2</sub> emissiereducties oplevert dan we nu gevonden hebben.

Levensduurverlenging levert nog minder reducties op, dit is vooral verklaarbaar doordat veel gebouwdelen zoals installaties en inbouwdelen maar een levensduur van 15-25 jaar hebben en dus toch tussentijds vervangen moeten worden.

Eindconclusie kan dus zijn dat - binnen de onderzochte varianten - vooral inzet van biobased materialen interessante perspectieven heeft met het oog op klimaatbeleid. De andere circulaire strategieën zoals de inzet van secundaire materialen en levensduur verlenging van het gebouw moeten vooral worden gezien vanuit het oogpunt van vermindering van afvalstromen en zorgvuldig beheer van grondstoffen<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Uitputting van grondstoffen wordt in principe wel meegenomen in de LCA methodiek die achter de MPG bepaling zit, maar zeker voor steenachtige grondstoffen worden niet alle effecten (bijv. landgebruik en aantasting landschap) volwaardig meegenomen.