

Circulaire Energierenovaties WP2

**Onderzoek naar de
"CO₂ terugverdientijd"**



Project Circulaire Energierenovaties (WP2)

Opdrachtgever Ministerie van Economische Zaken en
Klimaat



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

Opdrachtnemer NIBE B.V.
Nijverheidsweg 16G
3534 AM Utrecht
T +31(0)88 998 37 75
info@nibe.org
www.nibe-sustainability-experts.com

experts in
sustainability
nibe

Versie 1.0

Datum 28 november 2023

Auteur(s) Laureen van Munster (NIBE)
Olga van der Velde (NIBE)
Projectteam Theo Haytink (Nieman)
Marjet Rutten (Constructief)


NIEMAN[®]
DE RAADGEVENDE INGENIEURS

Marjet Rutten

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van NIBE.

Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NIBE is het niet toegestaan om:

- een door NIBE uitgebracht rapport geheel of gedeeltelijk te publiceren of op andere wijze openbaar te doen maken;
- een door NIBE uitgebracht rapport geheel of gedeeltelijk te doen gebruiken ten behoeve van het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures en ten behoeve van reclame of vergelijkende reclame;
- de naam en/of het logo van NIBE, in welke verbinding dan ook, te gebruiken bij het openbaar maken van een deel of gedeelten van een door NIBE uitgebracht rapport en/of voor een of meer van de sub. b. genoemde doeleinden.

Het ter inzage geven van het rapport van NIBE aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2023 NIBE

Inhoudsopgave

1	Samenvatting	6
2	Inleiding	7
3	Uitgangspunten.....	9
3.1	Archetype.....	9
3.1.1	Tussenwoning	9
3.1.2	Tussenappartement boven met dak	10
3.2	Uitgangspunten energieberekening (NTA 8800)	11
3.2.1	Energiescenario's.....	11
3.2.2	CO ₂ emissiefactoren	12
3.2.3	Energie toekomstscenario.....	13
3.2.4	Paris Proof grenswaarde operationele energie	14
3.3	Uitgangspunten materialisering	15
3.3.1	Paris Proof grenswaarde materiaalgebonden CO ₂	15
3.3.2	Koppeling milieuprofielen /NMD data	16
3.4	Aandachtspunten.....	16
4	Renovatiescenario's.....	18
5	Materiaalkeuzes in het onderzoek.....	20
5.1	Renovatie ingreep tussenwoning	20
5.2	Renovatie ingreep tussenappartement boven	22
6	Analyse materiaalgebonden CO ₂ -uitstoot.....	24
6.1	Tussenwoning.....	24
6.1.1	Standaard	24
6.1.2	Vorbij de Standaard	25
6.1.3	Paris Proof.....	26
6.2	Tussenappartement boven	27
6.2.1	Standaard	27
6.2.2	Vorbij de Standaard	28
6.2.3	Paris Proof.....	29
6.3	MEPG resultaten.....	29
6.4	Samenvattend.....	31
7	CO ₂ -terugverdientijd	32
7.1	Tussenwoning.....	33
7.1.1	Standaard	33
7.1.2	Vorbij de standaard	34
7.1.3	Paris Proof.....	35
7.2	Tussenappartement boven	37
7.2.1	Standaard	37

7.2.2 Voorbij de standaard	38
7.2.3 Paris Proof.....	39
7.3 CO ₂ besparing tot 2050 in relatie tot renovatieopgave	40
8 Conclusie.....	42
8.1 Aanbevelingen	43
BIJLAGE 1. Standaard voor woningisolatie.....	44
BIJLAGE 2. Elektriciteitsopwekking KEV2022 voorspelling	46
BIJLAGE 3. Energiescenario's	47
BIJLAGE 4. NMD-data	48
BIJLAGE 5. Berekening MEPG circulaire renovaties	52
BIJLAGE 6. Berekening CO ₂ -besparing circulaire renovaties	54

Verklarende woordenlijst en afkortingen

Bepalingsmethode	In de bepalingmethode staat hoe we in Nederland de levenscyclusanalyse uitvoeren voor bouwmaterialen en -producten en welke milieueffecten we uitrekenen.
EPD	Environmental Product Declaration. Een beknopte weergave van een LCA met resultaten zoals de milieueffecten en MKI.
GWP	Global Warming Potential. Zie 'Klimaatimpact'.
kg CO ₂ -eq.	De eenheid waarin klimaatimpact wordt uitgedrukt: kilogram CO ₂ -equivalenten. Dankzij deze eenheid kan het effect van verschillende broeikasgassen in één getal worden uitgedrukt. Zo is het effect van 1 kg methaan gelijk aan 25 kg CO ₂ -eq.
Milieu-impact CO ₂	Het milieueffect van broeikasgassen, uitgedrukt in kg CO ₂ -eq.
LCA	Levenscyclusanalyse. In een LCA worden de milieueffecten van alle processen en grondstoffen die nodig zijn om een product toe te passen uitgerekend, gedurende de levensduur van het product. De levensduur wordt omschreven door levensfasen, aangeduid met de nummering A1 t/m D. A1-A3 betreft de productiefase, C1-4 de sloop- en afvalfase en D de terugwinningsfase.
Milieueffect	Een verandering in het milieu als gevolg van een activiteit. Er zijn meerdere milieueffecten, zoals: klimaatimpact, verzuring en toxiciteit. Elk beschrijft een ander effect met een eigen eenheid.
MKI	Milieukostenindicator. Met een levenscyclusanalyse worden de milieueffecten van een materiaal, product of bouwwerk uitgerekend. Deze milieueffecten (meerdere getallen met verschillende eenheden) zijn om te rekenen tot één integraal getal: de milieukosten, in euro's.
MPG	MilieuPrestatie Gebouw. Een optelsom van de schaduwkosten van alle producten en materialen die zijn toegepast in het gebouw gedeeld door de beschouwde periode en het bruto vloeroppervlak.
NMD	Nationale MilieuDatabase. Database die wordt gebruikt voor het berekenen van de milieuprestatie van gebouwen en/of bouwproducten. De database bevat een groot aantal profielen van materialen en producten die vaak in de bouw voorkomen met de bijbehorende milieueffecten en schaduwkosten.
SBK	Stichting Bouwkwaliiteit.
Schaduwkosten	Zie 'MKI'.
Paris Proof methode (DGBC)	Paris Proof materiaalgebonden. Een methode ontwikkeld door o.a. DGBC waarin een CO ₂ grenswaarde is bepaald voor de woningbouw. Bij deze methode wordt er alleen gekeken naar de CO ₂ impact van het materiaalgebruik (LCA fase A1-A3) en het bouwproces (LCA fase A4-A5)
CO ₂ -terugverdientijd	Een indicator die aangeeft binnen hoeveel jaar de aangebrachte milieu-impact van de toegevoegde materialen met de veroorzaakte energiebesparing in balans hebt gebracht uitgedrukt in kg CO ₂ -equivalenten.

1 Samenvatting

In 2021 werd er ongeveer 65% van de totale hoeveelheid broeikasgassen uitgestoten door de energiesector en de gebouwde omgeving¹. Het verduurzamen van de gebouwde omgeving en het minimaliseren van de CO₂-uitstoot is daarom van groot belang. Naast het verbeteren van het energieverbruik van gebouwen moet er aandacht zijn voor de materiaalgebonden emissies die gepaard gaan met het realiseren van energiebesparende maatregelen.

Dit onderzoek geeft inzicht in de CO₂-besparing door energiebesparende maatregelen en de CO₂-impact van het materiaalgebruik van de renovatie.

Op basis van de CO₂-terugverdientijd zijn deze twee in dit onderzoek voor verschillende energie ambities en materiaalkeuzes – ‘traditionele’, hernieuwbare en circulaire materialen – met elkaar vergeleken en geanalyseerd.

Met behulp van deze integrale benadering en indicatoren zoals de MKI, Paris Proof grenswaarden, MEPG en circulariteitsindicatoren kunnen weloverwogen keuzes gemaakt worden om de milieu-impact op korte en lange termijn te beperken.

Uit de analyses blijkt dat de CO₂-terugverdientijd tussen de 2 tot 7 jaar ligt.

Met een hernieuwbare of circulaire renovatie ingreep kan er meer CO₂ bespaard worden dan wanneer er meer traditionele bouwmaterialen worden toegepast.

Vanwege de omvang van de huidige woningvoorraad is er flink winst te behalen wanneer de renovatie opgave wordt uitgevoerd met hernieuwbare of circulaire materialen.

Daarnaast is de meeste CO₂ reductie te behalen door woningen van het gas af te halen. Zelfs wanneer dit – wegens het beperkt beschikbaar zijn van hernieuwbare energie – met ‘grijze’ energie (NL netstroom) moet worden opgevangen. Een Paris Proof renovatie die op energetisch niveau voldoet aan de WEii² grenswaarden is noodzakelijk om binnen de 1,5°C temperatuurstijging te blijven. Door de hoge CO₂-impact van installaties (met name zonnepanelen) is het op dit moment lastig de materiaalgebonden CO₂-grenswaarden met de Paris Proof renovatie ingreep te behalen.

De MEPG berekeningen komen rond de 1,0 uit bij de Paris Proof renovaties en voor een standaard renovatie ingreep komt hier een veel hogere score uit van zelfs boven de 2. De MEPG resultaten geven een betere integrale beoordeling weer dan de CO₂ terugverdientijd indicator en lijkt daardoor beter geschikt om op te sturen binnen de renovatiesector.

Het is van belang dat er op korte termijn stappen gemaakt worden om de milieu-impact en de circulariteit van installaties te verbeteren om de kans op het behalen van de Paris Proof grenswaarden te vergroten en binnen de 1,5°C temperatuurstijging te blijven.

Het toepassen van biobased of circulaire materialen in plaats van de traditionele bouwmaterialen, leidt tot een noodzakelijke CO₂-emissie reductie. Indien alle woningen die voor het jaar 1975 zijn gebouwd met behulp van circulaire materialen tot een Paris Proof niveau wordt gerenoveerd kan ons dat 8 Mton CO₂ besparen ten opzichte van een renovatie ingreep met traditionele materialen.

Als Nederland zich serieus wil committeren aan het Klimaatakkoord van Parijs en haar duurzaamheidsambities wil realiseren, is het van cruciaal belang dat biobased en circulaire materialen een prominentere rol krijgen in de noodzakelijke energierenovaties.

¹ Hoe groot is onze broeikasgasuitstoot? (cbs.nl)

² <https://www.weii.nl/protocol-15> (WEii.nl)

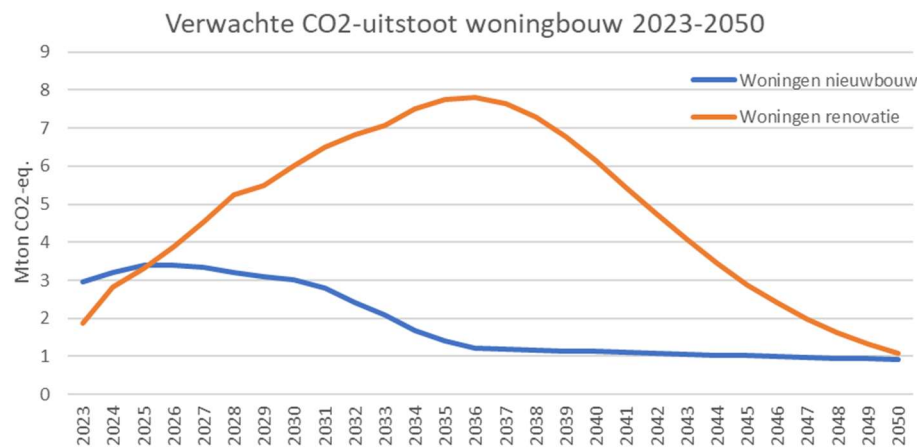
2 Inleiding

Natuurlijke en menselijke invloeden zorgen voor veranderingen in het klimaat. De temperatuur op aarde wordt onder andere gereguleerd door de broeikasgassen in de lucht. Wanneer de concentratie broeikasgassen groter wordt zal er meer warmte worden vastgehouden, wat resulteert in een stijging van de temperatuur op aarde³. Als de temperatuur in het huidige tempo blijft stijgen zal dit grote gevolgen hebben voor de leefbaarheid van de aarde.

Het klimaatakkoord van Parijs⁴ stelt dat we ons zullen inspannen de maximale temperatuurstijging te beperken tot 1,5°C. Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) heeft een duidelijke correlatie vastgesteld tussen de hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer, met name CO₂, en de opwarming van de aarde. Op basis van die correlatie heeft het IPCC een zogeheten 'resterend CO₂-budget' vastgesteld, de maximale hoeveelheid CO₂ die de wereld nog mag uitstoten om binnen deze 1,5°C temperatuurstijging te blijven.

De Dutch Green Building Council (DGBC) heeft onderzocht wat dit betekent voor de Nederlandse bouw. Op basis van de te verwachte CO₂-uitstoot van de totale bouwopgave tot 2050 heeft DGBC berekend dat de CO₂-uitstoot per vierkante meter voor de renovatie van eengezinswoningen en meergezinswoningen maximaal 100 kg CO₂/m² BVO (2021) mag bedragen⁵.

Om de klimaatdoelstellingen te halen is het verduurzamen van de bestaande Nederlandse woningvoorraad van essentieel belang. Het beschikbare CO₂-budget voor het renoveren deze bijna zeven miljoen woningen⁶ is bepaald op 19 Mton, 53% van het CO₂-budget voor de totale woningbouw- en utiliteitsector⁷



Figuur 1 Verwachte CO₂-uitstoot bouwopgave 2023-2050 (woningbouw)

De laatste jaren heeft de focus bij het terugdringen van de CO₂-uitstoot van gebouwen in Nederland vooral gelegen op energiebesparende maatregelen (energie tijdens gebruiksfase). Om deze energiebesparingen te realiseren worden veel materialen en installaties aan gebouwen toegevoegd. De vraag naar deze materialen en de bouwactiviteiten (materiaalgebonden emissies) hebben een significante impact op ons

³ Klimaatverandering en gevolgen | Klimaatverandering | (Rijksoverheid.nl)

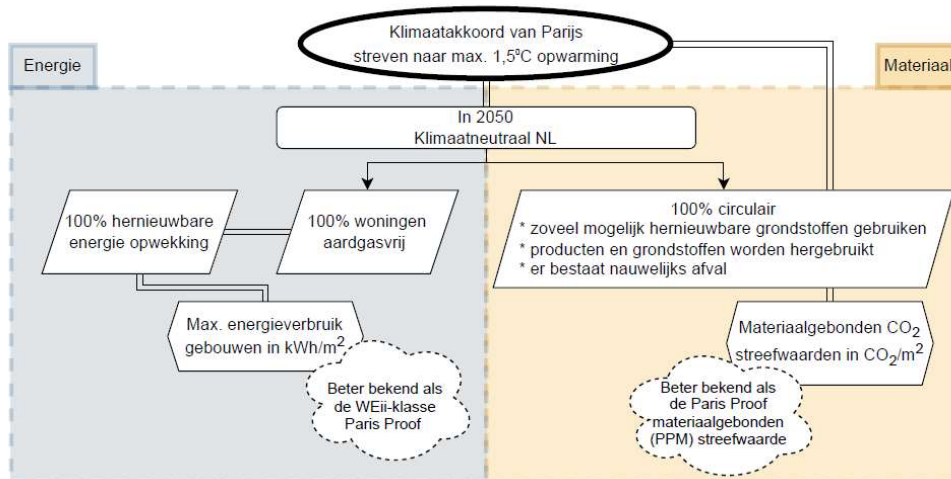
⁴ GCAP UNFCCC - Home Page (Climateaction.unfccc.int)

⁵ De berekening achter Paris Proof Materiaalgebonden Emissies - (dgbc.nl)

⁶ Bestaande woningen aardgasvrij maken | Aardgasvrije wijken | (Rijksoverheid.nl)

⁷ Woningbouw-binnen-planetaire-grenzen-juni-2023.pdf (copper8.com)

milieu. Hoeveel broeikasgassen worden uitgestoten tijdens de levensduur van producten/diensten wordt berekend in een Levens Cyclus Analyse (LCA). De verschillende emissies die bijdragen aan de klimaatverandering worden gekarakteriseerd in kg CO₂-equivalenten onder de impactcategorie GWP (Global Warming Potential). Ook de productie van energie kan op deze manier uitgedrukt worden in kg CO₂-equivalenten. Met het oog op de Klimaatakkoord ambities (zie *Figuur 2*) is het van belang te kiezen voor een integrale benadering van operationeel energieverbruik omgerekend in CO₂-emissies en materiaalgebonden emissies.



Figuur 2 Schematisch overzicht van de Nederlandse klimaatdoelstellingen voor de gebouwde omgeving

In dit onderzoek worden voor twee archetypes - tussenwoning en tussen-appartement - verschillende energieambities en materiaalkeuzes geanalyseerd.

Met behulp van de CO₂-terugverdientijd, worden de CO₂-emissies van het materiaalgebruik van een renovatie vergeleken met die van de energiebesparende ingrepen. Met deze inzichten kunnen weloverwogen beslissingen worden genomen om de totale milieu-impact van renovaties te minimaliseren.



Figuur 3 Schematische weergaven van CO₂-terugverdientijd bij circulaire renovatie

De renovatie ingrepen en energetische prestaties worden getoetst aan grenswaarden WEii 'Paris Proof' en Paris Proof materiaalgebonden (PPM). De PPM methode beschouwt de levenscyclusanalyse fases A1 tot en met A5 (productie en constructiefase), tot het jaar 2050. Ook volgt deze methode de huidige LCA methodiek waarin de opslag van biogene CO₂ niet wordt meegenomen in de indicatoren waarop de schaduwprijs van een product wordt berekend. Deze uitgangspunten van deze methode zijn gehanteerd in dit onderzoek.

3 Uitgangspunten

3.1 Archetype

Om de CO₂-terugverdientijd te bepalen wordt de materiaalgebonden CO₂-uitstoot van twee archetypen afgezet tegen de energetische besparing die door het toevoegen van materiaal wordt gerealiseerd. In dit onderzoek is gekeken naar twee archetypes een tussenwoning en een tussenappartement boven (met dak).

3.1.1 Tussenwoning

Een matig geïsoleerde tussenwoning uit 1968 met lichte betonvloeren, houten kozijnen met enkel/conventioneel dubbel glas. Voor ruimteverwarming en tapwater wordt gebruik gemaakt van een HR-107 combiketel. Ventilatie vindt plaats door middel van natuurlijke toe- en afvoer (systeem A1). De tussenwoning heeft een gebruiksoppervlak van circa 109 m².



Figuur 4 Foto van de tussenwoning voor de renovatie

De hoofdkenmerken van de tussenwoning qua materialisatie en energetische prestatie staan voor de referentiesituatie in tabel 1 aangegeven.

Tabel 1: Hoofdkenmerken materialisatie grondgebonden woning

Onderdeel	Materialisatie	Energetisch
Begane grondvloer	ongeïsoleerde betonvloer	$R_c: 0,15 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$
Gevel	ongeïsoleerde spouwmuur binnenspouwblad: kalkzandsteen luchtsouw: circa 50 mm buitenspouwblad: metselwerk	$R_c: 0,35 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$
Panelen	Houten panelen + 20 mm isolatie	$R_c: 1,15 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$
Ramen	Houten kozijnen (vuren) dubbel glas: begane grond enkel glas: verdieping	$U_w: 2,9 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ $U_w: 5,1 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
Deuren	38 mm ongeïsoleerde houten deur	$U_d: 3,4 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
Dak	ongeïsoleerde dak: houten dakbeschoot beton dakpannen	$R_c: 0,22 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$
Infiltratie	geen tot matige luchtdichtheid	$q_{v,i0}: 3,00 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$
Ventilatie	natuurlijke toevoer en natuurlijke afvoer	Systeem A1

3.1.2 Tussenappartement boven met dak

Het tweede archetype is een tussenappartement met dak dat onderdeel uitmaakt van een galerijflat uit 1966. Een appartement met in basis gevel vullende puien bestaande uit ramen en deuren die voorzien zijn van dubbel glas. Voor ruimteverwarming en tapwater wordt gebruik gemaakt van een HR-107 combiketel. Ventilatie vindt plaats door middel van natuurlijke toe- en afvoer (systeem A1). Het appartement heeft een gebruiksoppervlak van 84 m².



Figuur 5 Foto van het appartementengebouw voor de renovatie

De hoofdkenmerken van het tussenappartement boven staan in tabel 2 aangegeven.

Tabel 2: Hoofdkenmerken materialisatie tussenappartement boven

Onderdeel	Materialisatie	Energetisch
Langsgevel	Paneel in kozijn	$U_p: 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
Ramen	Houten kozijnen (vuren) dubbel glas	$U_w: 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$
Deuren	38 mm houten ongeïsoleerde deur	$U_d: 3,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
Dak	Matig geïsoleerd beton dak bitumen met grind	$R_c: 0,86 \text{ m}^2\text{K/W}$
Infiltratie	geen tot matige luchtdichtheid	$q_{v,10}: 1,80 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$
Ventilatie	Natuurlijke toevoer en natuurlijke afvoer	Systeem A1

3.2 Uitgangspunten energieberekening (NTA 8800)

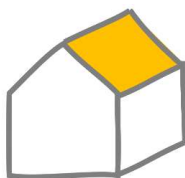
3.2.1 Energiescenario's

In het onderzoek zijn voor de tussenwoning en het tussenappartement drie energiescenario's uitgewerkt:

- **Voldoen aan 'Standaard voor woningisolatie'**⁸
Ten opzichte van de referentiesituatie vraagt dit maatregelen om de netto-warmtebehoefte te verlagen. Dit kan door het toepassen van isolatie, glasvervanging, verbetering van de luchtdichtheid en aanbrengen van een ventilatiesysteem bijvoorbeeld ventilatieroosters met mechanische afzuiging of systemen met warmteterugwinning. Een nadere toelichting op de 'Standaard voor woningisolatie' is in 44BIJLAGE 1 opgenomen.
- **Voldoen aan 'Vorbij de Standaard voor woningisolatie'**
In veel gevallen kan de netto-warmtebehoefte verder worden verlaagd. In deze variant ligt de thermische schil op het niveau nieuwbouw (R_c : 3,7 / 4,7 / 6,3 m²K/W) in combinatie met triple-glas en gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning.
- **Voldoen aan Paris Proof 'Vorbij de Standaard voor woningisolatie' + installaties'**
Om tot een renovatieconcept te komen dat voldoet aan Paris Proof grenswaarden (WEii & PPM, zie paragraaf 0 & 3.3.1), is naast de verbetering van de thermische kwaliteit ook op installatietechnisch vlak verduurzaming nodig. Vandaar dat het concept 'vorbij de Standaard' is gecombineerd met een warmtepomp en PV-panelen. Het aantal PV-panelen is afgestemd op de ambitie WEii-klasse Paris Proof. Voor het appartementengebouw is in de praktijk het beschikbare dakoppervlak bepalend voor het aantal PV-panelen. Zeker bij hogere woongebouwen maakt dit beperkte oppervlak de ambitie Paris Proof niet per definitie haalbaar.



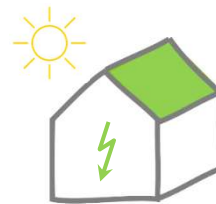
Huidige situatie



Standaard voor woningisolatie



Vorbij de Standaard voor woningisolatie



Paris Proof: voorbij de Standaard + installaties

Tabel 3: Hoofdkenmerken energiescenario's

Onderdeel	Huidige situatie	Standaard voor woningisolatie	Vorbij 'Standaard voor woningisolatie'	Paris Proof
Vloer	R_c : 0,15 m ² K/W	R_c : 3,48 m ² K/W	R_c : 5,00 m ² K/W	R_c : 5,00 m ² K/W
Gevel	R_c : 0,35 m ² K/W	R_c : 1,69 m ² K/W (spouwmuurisolatie)	R_c : 4,70 m ² K/W	R_c : 4,70 m ² K/W
Dak	R_c : 0,22 m ² K/W	R_c : 3,55 m ² K/W	R_c : 6,30 m ² K/W	R_c : 6,30 m ² K/W

⁸ <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2021/03/18/standaard-voor-woningisolatie> (Rijksoverheid.nl)

Ramen	U _w : 2,9 W/m ² K (dubbel) U _w : 5,1 W/m ² K (enkel)	U _w : 1,8 W/m ² K (raam met HR ⁺⁺)	U _w : 1,0 W/m ² K (raam met triple)	U _w : 1,0 W/m ² K (raam met triple)
Infiltratie - tussenwoning	q _{v,10} : 3,00 dm ³ /s.m ²	q _{v,10} : 0,70 dm ³ /s.m ²	q _{v,10} : 0,40 dm ³ /s.m ²	q _{v,10} : 0,40 dm ³ /s.m ²
Infiltratie - appartement	q _{v,10} : 1,80 dm ³ /s.m ²	q _{v,10} : 0,42 dm ³ /s.m ²	q _{v,10} : 0,42 dm ³ /s.m ²	q _{v,10} : 0,42 dm ³ /s.m ²
Verwarming / tapwater	CV-ketel (HR-107)	CV-ketel (HR-107)	CV-ketel (HR-107)	Warmtepomp
Ventilatie	Systeem A1	Systeem C	Systeem D	Systeem D
Zonne- energie	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	8 PV-panels

3.2.2 CO₂ emissiefactoren

Voor de CO₂-emissiefactoren in dit onderzoek is gebruik gemaakt van het NMD-rapport 'EINDCONCEPT - LCA Rapportage productkaarten Energiedragers NMD'⁹. Hierin zijn de volgende waarden gehanteerd:

- Aardgas: 2,800 kg CO₂-eq. per m³ gas;
- Elektriciteit: 0,3864 kg CO₂-eq. per kWh (op basis van de energiemix in 2020, waarbij de verdeling in Nederland 73% grijze stroom en 27% hernieuwbare energie betreft).

De materiaalgebonden kg CO₂-equivalenten zijn bepaald aan de hand van beschikbare data in de Nationale Milieudatabase (peildatum 6 april 2023). Met behulp van een levenscyclusanalyse (LCA) is berekend wat de impact van deze materialen is op klimaatverandering, uitgedrukt in kg CO₂-equivalenten. Voor meer informatie over de keuze van de milieuprofielen zie ook paragraaf 3.3.2.

Met behulp van deze gegevens wordt de CO₂-terugverdientijd bepaald. Hierbij wordt de energetische besparing in kilowattuur (kWh) of kubieke meter (m³) gas omgezet in kg CO₂-equivalenten, met behulp van de eerder hierboven genoemde emissiefactoren. Het is echter belangrijk op te merken dat de CO₂-besparing per kWh zal afnemen als gevolg van de voortdurende verduurzaming van het energienet in Nederland de komende jaren. Om deze reden is er een voorspelling gemaakt van de kg CO₂-equivalenten per kWh tot het jaar 2050. Deze voorspelling zal in de volgende paragraaf 3.2.3 nader worden toegelicht. Met deze energievoorspelling kan rekening worden gehouden met de CO₂-besparing die worden behaald door energetische maatregelen. Zo kan een realistisch beeld worden verkregen van de toekomstige ontwikkeling van CO₂-emissies per kWh opgewekte energie van het Nederlandse elektriciteitsnet.

⁹ LCA-rapport-energiedragers_concept v2 (milieudatabase.nl)

3.2.3 Energie toekomstscenario

Nederland zet zich in om tegen 2050 een bijna volledig CO₂-neutraal energiesysteem te realiseren. Deze ambitie is voortgekomen uit de Europese overeenkomst (Fit for 55¹⁰) om de CO₂-equivalente uitstoot tegen 2030 met 55% te verminderen. Het kabinet stuurt aan op de verduurzaming van energie om dit doel te bereiken. Zo is er in 2019 een wet aangenomen die energieproducenten verplicht om uiterlijk in 2030 te stoppen met het gebruik van vervuilende steenkolen. Bovendien is aangekondigd dat het aantal windparken op zee zal worden uitgebreid. Daarnaast wordt bij nieuwbouwwoningen geen gasaansluiting meer aangelegd¹¹ en stimuleert de overheid actief de overgang van bestaande woningen naar gasvrije alternatieven, waarbij het doel is om in 2050 alle woningen van het gas af te hebben.

Op basis van de Klimaat- en Energieverkenning 2022 uitgevoerd door PBL (tabel 19)¹², is de verduurzaming van het energiesysteem in Nederland hieronder per jaar weergegeven. Met behulp van de kg CO₂-equivalent gegevens van grijze en hernieuwbare stroom uit de NMD-studie en de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) studie, waarin voorspellingen zijn gedaan over het aandeel grijze en hernieuwbare energie, is de verwachte kg CO₂-eq. in kilogram voor het Nederlandse elektriciteitsnet berekend voor de komende jaren. De KEV-studie geeft streefdoelen voor het jaar 2025, 2030 en 2040, en door middel van interpolatie zijn de overige jaartallen bepaald. Deze berekeningen bieden inzicht in de verwachte ontwikkeling van de CO₂-emissies van het Nederlandse elektriciteitsnet in de toekomst.

Tabel 4: Verduurzaming elektriciteitsnet in Nederland 2020 - 2050

Jaar	kg CO ₂ eq. / kWh	Jaar	kg CO ₂ eq. / kWh
2020	0,386	2036	0,170
2021	0,362	2037	0,169
2022	0,340	2038	0,168
2023	0,317	2039	0,167
2024	0,295	2040	0,165
2025	0,273	2041	0,164
2026	0,254	2042	0,163
2027	0,235	2043	0,162
2028	0,216	2044	0,160
2029	0,197	2045	0,159
2030	0,178	2046	0,158
2031	0,177	2047	0,157
2032	0,176	2048	0,155
2033	0,174	2049	0,154
2034	0,173	2050	0,153
2035	0,172		

¹⁰ Nederland Fit for 55? Mogelijke gevolgen van het voorgestelde EU-klimaatbeleid (overheid.nl)

¹¹ 'Gasaansluiting nieuwbouw per 1 juli verboden' (Bouwwereld.nl)

¹² Klimaat- en Energieverkenning 2022 (pbl.nl)

3.2.4 Paris Proof grenswaarde operationele energie

Het klimaatakkoord stelt dat Nederland in 2050 klimaatneutraal is. Dit betekent dat ook het energiegebruik CO₂ neutraal moet zijn. Het uitgangspunt bij de grenswaarde van de Paris Proof WEii-klasse is dat met de in 2050 verwachte beschikbare hoeveelheid duurzame energie alle gebouwen van energie kunnen worden voorzien als de gebouwen een energiegebruik hebben dat maximaal gelijk is aan de Paris Proof getalswaarden.¹³

De bovengrens van het energiegebruik van een woning of appartement voor Paris Proof is:

Grondgebonden woning	35 kWh/m ²
Appartementen	45 kWh/m ²

Om hieraan te kunnen voldoen zijn installaties toegepast zoals PV-panelen, een warmtepomp en een ventilatiesysteem met warmteterugwinningssysteem. Voor de renovatiescenario's zijn berekeningen opgesteld op basis van de bepalingmethode NTA 8800:2022. De energieberekeningen zijn terug te vinden in BIJLAGE 3.

Voor het bepalen van de werkelijke energie Intensiteit indicator (WEii) is in de referentiesituatie gekeken naar het werkelijke gas- en elektraverbruik op basis van postcode-niveau van de netbeheerder (open data). Een indicatie van het gas- en elektraverbruik na renovatie is ontleend aan de NTA 8800 berekening. De CO₂-uitstoot die op basis van de NTA 8800 wordt berekend is incompleet en daarom niet gebruikt in dit onderzoek.

¹³ De methodiek - WEii (WEii.nl)

3.3 Uitgangspunten materialisering

3.3.1 Paris Proof grenswaarde materiaalgebonden CO₂

In het DGBC rapport "achtergrond rapport Paris Proof materiaalgebonden v1.1"¹⁴ worden materiaalgebonden CO₂-grenswaardes per m² BVO genoemd. Het DGBC rapport geeft aan dat wanneer de bouw zich houdt aan deze grenswaarde, we dichtbij of net binnen het CO₂-budget blijven dat in de studie is toegekend aan Nederland. Het CO₂-budget is een afgeleide van het door IPCC gegeven CO₂-budget dat nog geëmitteerd mag worden om een maximale temperatuurstijging van de aarde van 1,5°C te bewerkstelligen.

Het rapport geeft een grenswaarde van 100 kg CO₂-eq. per m² voor de renovatie van zowel eengezinswoningen als meergezinswoningen.

De materiaalgebonden kg CO₂-uitstoot wordt berekend met behulp van een LCA en het milieueffect Klimaatverandering ook wel Global Warming Potential (GWP) dat daaruit volgt. In het milieueffect GWP wordt de bijdrage van alle broeikasgassen in rekening gebracht in de eenheid koolstofdioxide equivalent (kg CO₂e of kg CO₂-eq.). In dit onderzoek wordt er gesproken over de CO₂-uitstoot waarmee altijd de kg CO₂-equivalenten wordt bedoeld.

De renovatieopgave in het DGBC model waarmee de grenswaarden zijn bepaald is gemodelleerd als een grote renovatie ingreep (gehele schil inclusief installaties). In dit onderzoek worden verschillende renovatie ingrepen geanalyseerd waarbij deze ook tegen de materiaalgebonden Paris Proof grenswaarde worden gehouden. De achtergronddata van de DGBC studie zijn voor dit onderzoek geanalyseerd en gesplitst naar type ingreep. De renovatiescenario's in dit rapport kunnen op deze manier op een eerlijkere wijze met een meer representatieve grenswaarde gemeten worden. Het vertalen van de grenswaarde is naar eigen oordeel gedaan. In dit onderzoek zijn de vergelijkingen met de grenswaarden alleen bedoeld om meer inzicht te krijgen. Het zou in de toekomst gewenst zijn om Paris Proof grenswaarden te hebben die voor verschillende renovatie ingrepen van toepassing zijn, zodat een beter vergelijk gemaakt kan worden naar gelang de grootte van de renovatieopgave van het betreffende project.

Gehanteerde verhoudingen van de toegepaste renovatie ingrepen om de gestelde Paris Proof grenswaarde van 100 kg CO₂-eq./m² om te rekenen naar een representatieve waarde:

Standaard ingreep verhouding t.o.v. originele DGBC grenswaarde

- Aanname van 26% voor de tussenwoning
- Aanname van 55% voor het appartement (voor deze renovatie is er aangehouden dat het dak niet van binnenuit geïsoleerd kan worden (zoals vaak bij een hellend dak dit wel vaak kan). Doordat de gehele dakbedekking ook vervangen moet worden bij een ingreep van buiten af ligt het percentage van het appartement hoger dan bij de tussenwoning

Voorbij de standaard ingreep verhouding t.o.v. originele DGBC grenswaarde

- Voor beide woningen is de aanname gedaan dat de ingrepen voor 72% overeenkomen met de originele DGBC grenswaarde.

Paris Proof ingreep verhouding t.o.v. originele DGBC grenswaarde

- Aanname van 99% (onderdelen zoals vensterbanken, waterslagen, deuren, lateien zijn niet meegenomen dit betreft de overige 1%)

¹⁴ De berekening achter Paris Proof Materiaalgebonden Emissies - Dutch Green Building Council (dgbci.nl)

3.3.2 Koppeling milieuprofielen /NMD data

In de tabel in BIJLAGE 4 is vastgelegd welke NMD materiaalkaarten in de analyse zijn gehanteerd. (Voor de materialisering zie hoofdstuk 3.3)

In algemene zin geldt dat:

- De voorkeur is gegeven aan cat3 en cat2 data, maar waar deze niet voorhanden of toereikend was, is cat1 data gehanteerd.
- Schaalbare kaarten, zoals isolatie, zijn geschaald naar de benodigde Rd-waarde of afmeting(en).
- Dikte van het glas en samenstelling glasbladen sluit aan op gehanteerde U-waarden, naar eigen inzicht.
- Hergebruik is berekend door het GWP van module A1 t/m A3 te vermenigvuldigen met een factor van 0,2 conform de NMD bepalingsmethode.

Ten tijde van schrijven was de NMD viewer niet beschikbaar. Daarom is GPR Materiaal gebruikt om de benodigde 'Global warming potential'-waarden van de NMD kaarten uit te lezen. De peildatum was 6 april 2023.

Naast milieu-informatie is voor elke kaart bepaald wat het gewicht, de secundaire content en de hernieuwbare content is. Deze gegevens zijn bepaald aan de hand van de volgende bronnen, welke op voorkeursvolgorde staan benoemd. De eerste bron is als eerste geraadpleegd en indien de informatie niet stond omschreven is de volgende bron genomen enzovoort:

- Omschrijving NMD kaart
- Documentatie van de kaarteigenaar (bv EPD van de branche of technisch fiche van de producent)
- Representatief EcolInvent profiel
- Vergelijkbaar profiel uit NIBE Milieuclassificaties

3.4 Aandachtspunten

In dit onderzoek zijn de volgende punten van belang:

- Alleen 'global warming potential' is beschouwd. Sommige van de gehanteerde milieuprofielen hebben echter een relatief hogere MKI ten gevolge van het milieueffect humane toxiciteit (o.a. van toepassing voor PIR en warmtepomp).
- Opslag van biogeen CO₂ is niet meegenomen.
- De isolatie (spouw e/o panelen) wordt bepaald door de dikte. Dit betekent dat materialisatie-alternatieven moeilijk vergelijkbaar zijn. Daarnaast is in de energieberekening gerekend met één isolatiewaarde; er is geen rekening gehouden met Lambda-waarde.
- Niet voor alle onderdelen is een circulair of biobased alternatief voorhanden. %bb (biobased) en %sec (circulair/secundair) geven het beschikbare (gewicht) percentage aan.
- De materiaalkeuzes zijn gevalideerd in een brainstormsessie met partijen uit de markt.
- De tijdelijke verrekenfactor is niet toegepast op de milieudata van de warmtepomp.¹⁵
- Er is geen CO₂-uitstoot toegekend aan het verschil tussen energielevering in de zomer en energiegebruik in de winter. Dit leidt tot een onderschatting van de CO₂-uitstoot van de gerenoveerde woningen. Er is een analyse gemaakt op de effectiviteit van zonnepanelen zie paragraaf 7.

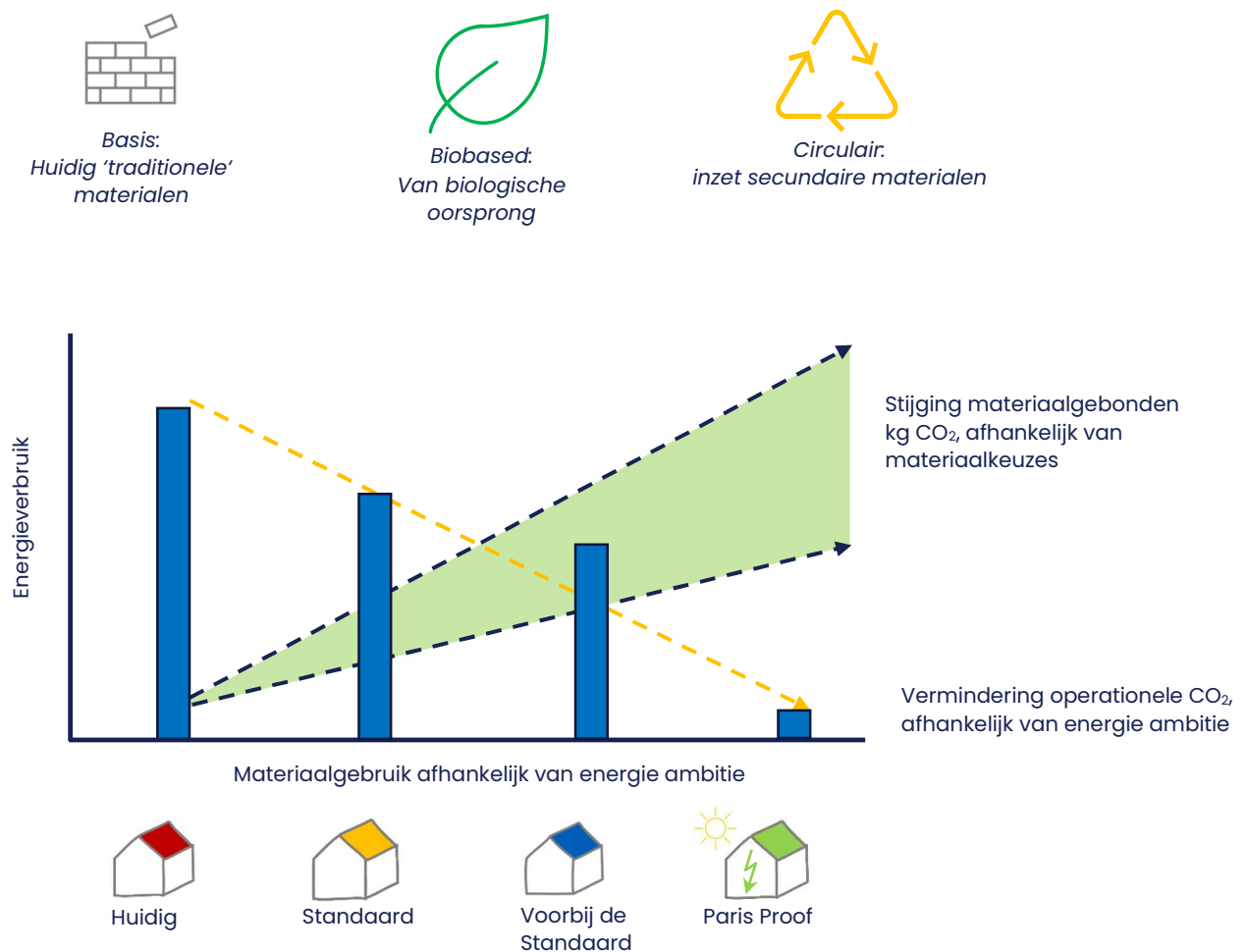
¹⁵ Tijdelijke verrekenfactor voor installaties in de NMD – (milieudatabase.nl)

- Alleen de renovatie ingrepen die nodig zijn voor de energiescenario's zijn meegenomen. Andere bouwkundige maatregelen, zoals vervanging van kozijnen of riolering, zijn buiten beschouwing gelaten, tenzij dit nodig is voor het energiescenario (bv. kozijn vervangen t.b.v. triple-glas of dakpannen vervangen t.b.v. isolatie vanaf buitenzijde). In werkelijkheid zal de materiaalgebonden CO₂-uitstoot van de woning dus hoger liggen. Dit is buiten beschouwing gelaten omdat het niet gerelateerd is aan de verbetering van het energieverbruik. Bij het vergelijken met de Paris Proof grenswaarde, dient hier rekening mee te worden gehouden.
- Er is alleen gerekend met de milieu-impact van materialen die nieuw worden toegevoegd. Er is niet gerekend met een resterende levensduur en milieu-impact van materialen die gehandhaafd blijven in de woning en nog een resterende milieulast kennen.
- De CO₂-emissie tijdens de gebruiksfase is voor het huidige verbruik bepaald op basis van open data van de netbeheerder. Het energieverbruik bij renovatie vormt een theoretische benadering op basis van de bepalingmethode NTA 8800.
 - Het werkelijke verbruik en daarmee de werkelijke CO₂-uitstoot wordt bepaald door het bewonersgedrag (binnentemperatuur, ventilatie en tijdsduur douchen) en de klimaatomstandigheden.
 - Er is gerekend met een vast gebruikersgebonden energieverbruik (2.600 kWh per jaar), er is geen rekening gehouden met bijvoorbeeld energiezuiniger gedrag door de bewoner.
 - Er is geen rekening gehouden met de toenemende behoefte om te koelen in de zomerperiodes.
- Om het energieverbruik te verlagen zijn niet alleen bouwkundige of installatietechnische maatregelen nodig, maar ook optimalisaties in het ontwerp om de warmte en/of koudebehoefte te verlagen. Voor het woongebouw is bij de ambitie voorbij de Standaard en Paris Proof sprake van een nieuwe gevulvullende elementen. Daarbij is gekozen voor minder glasoppervlak en daarmee meer geveloppervlak met een hogere warmteweerstand.
- De CO₂-uitstoot van bijvoorbeeld hijskranen of andere machines die nodig zijn tijdens de renovatie zijn buiten beschouwing gelaten, tenzij dit is toegevoegd in de gehanteerde productkaarten uit de NMD-database.

4 Renovatiescenario's

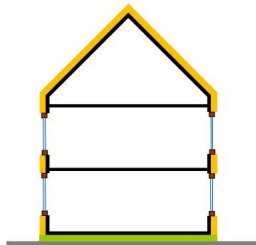
In dit onderzoek richten wij ons voor de materialisering op de onderdelen: vloer, gevel, ramen, hellend- en plat dak. Per onderdeel is gekeken naar de huidige gangbaar toegepaste "traditionele" materialen en alternatieven in de vorm van biobased of circulair. Dit leidt tot de volgende drie materiaalscenario's:

- Basis: huidig 'traditioneel' toegepaste materialen;
- Biobased: gebruik van materialen van biologische oorsprong;
- Circulair: deels hergebruik of inzet van secundaire grondstoffen.



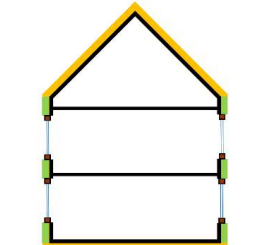
Figuur 6 Schematische weergave energieverbruik en materiaalgebruik per energie ambitie

Per gebouwonderdeel zijn, afhankelijk van de energie ambitie en praktijkomstandigheden, meerdere keuzes mogelijk. In algemene zin gaat de Standaard er vanuit dat de maatregelen aan vloer, gevel en dak binnen de thermische schil worden uitgevoerd. Bij het niveau Voorbij de Standaard zijn grotere ingrepen aan de thermische schil nodig. De energetische aanpak van de thermische schil ligt daarbij op het niveau van nieuwbouw.



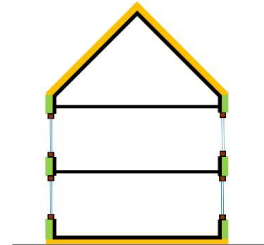
1. Vloerisolatie

- vloerisolatie
- bodemisolatie



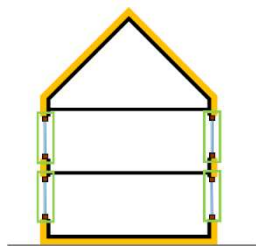
2. Gevelisolatie

- binnengevelisolatie
- spouwmuurisolatie
- buitengevelisolatie



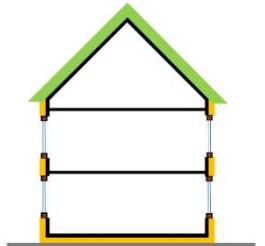
3. Gevelbekleding

- Type gevelafwerking



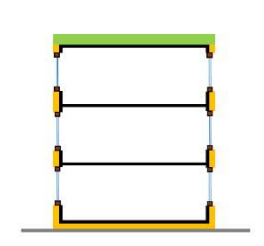
4. Kozijnen/glas

- voorzetglas
- circulair glas, waarbij één bestaand glasplaat gecombineerd wordt met één nieuwe glasplaat
- HR⁺⁺/triple/vacuümglas



5. Hellend dakisolatie

- Van binnenuit
- Renovatieplaat buitenaf
- Nieuw dakelement



6. Plat dakisolatie

- Drukbestendige isolatie
- Dakbedekking

5 Materiaalkeuzes in het onderzoek

In de volgende twee paragrafen is aangegeven welke materiaalkeuzes gemaakt zijn voor de tussenwoning en het tussenappartement boven per energetische ambitie met onderverdeling in "traditionele" materialen (basis) en biobased en circulaire alternatieven. Meer informatie over de gekozen NMD-milieuprofielen is te vinden in BIJLAGE 4.

5.1 Renovatie ingreep tussenwoning

In onderstaande tabellen staan per energiescenario de gekozen materialen weergegeven. Hierbij is een onderverdeling gemaakt in "traditionele", biobased en circulaire materialen.

Tabel 5: Maatregelen tussenwoning met energiescenario 'Standaard voor woningisolatie'



Onderdeel	Basis	Biobased	Circulair
Vloerisolatie	EPS bodemparels R _c : 3,48 m ² K/W	Bio-EPS bodemparels R _c : 3,48 m ² K/W	Reflecterende folie R _c : 5,0 m ² K/W
Gevelisolatie	EPS spouwparels 60 mm	Bio-EPS spouwparels 60 mm	Cellulose ¹⁾ 60 mm
Glas	HR ⁺⁺ -glas coating/gasvulling	Voorzetglas enkel glas + aluminium kader (geen biobased alternatief)	Hergebruikt glas 50% nieuw / 50% hergebruikt (nb: beschikbaarheid)
Dakisolatie	Glaswol (binnenuit) R _c : 3,55 m ² K/W	Houtvezelplaten R _c : 3,55 m ² K/W	Gerecyclede kleding R _c : 3,55 m ² K/W

1. Nader onderzoek nodig naar de consequentie van vocht in de spouw op de thermische en hygrische werking van cellulose.

2. In deze variant is voor de installaties uitgegaan van een HR-107 combiketel voor verwarming en warmtapwater. Voor het ventilatiesysteem is in alle varianten C4c natuurlijke toevoer en mechanische afvoer toegepast met CO₂-sturing.

Tabel 6: Maatregelen tussenwoning met energiescenario 'Voorbij de Standaard voor woningisolatie'



Onderdeel	Basis	Biobased	Circulair
Vloerisolatie	EPS bodemparels R _c : 5,0 m ² K/W	Bio-EPS bodemparels R _c : 5,0 m ² K/W	Reflecterende folie R _c : 5,0 m ² K/W
Gevelisolatie	Prefab HSB-gevel met EPS R _c : 4,7 m ² K/W	Prefab HSB-gevel met vlas R _c : 4,7 m ² K/W	Prefab HSB-gevel met cellulose R _c : 4,7 m ² K/W
Gevelafwerking	Baksteenstrips gezaagd (nieuw)	Europees naaldhout	Baksteenstrips gezaagd (hergebruikte bakstenen)
Kozijnen	Kunststof kozijnen	Houten kozijnen duurzaam hout	Houten kozijnen 50% nieuw / 50% hergebruikt
Glas	Triple-glas droge beglazing	Vacuümglas (geen biobased alternatief)	Vacuümglas

Dakisolatie	Prefab geïsoleerd dakelement: EPS R _c : 6,3 m ² K/W	Prefab geïsoleerd dakelement: vlas R _c : 6,3 m ² K/W	Prefab geïsoleerd dakelement: cellulose R _c : 6,3 m ² K/W
Dakafwerking	Nieuwe keramische dakpan	Rieten dakbedekking ¹⁾	Hergebruikte keramische dakpan

1. Afhankelijk van de gewenste R_c-waarde is een isolatieplaat nodig.

2. In deze variant is voor de installaties uitgegaan van een HR-107 combiketel voor verwarming en warmtapwater. Voor het ventilatiesysteem is in alle varianten D2 mechanische toevoer en mechanische afvoer toegepast.



Tabel 7: Maatregelen tussenwoning met energienscenario 'Paris Proof'

Onderdeel	Basis	Biobased	Circulair
Vloerisolatie	EPS bodemparels R _c : 5,0 m ² K/W	Bio-EPS bodemparels R _c : 5,0 m ² K/W	Reflecterende folie R _c : 5,0 m ² K/W
Gevelisolatie	Prefab HSB-gevel met EPS R _c : 4,7 m ² K/W	Prefab HSB-gevel met vlas R _c : 4,7 m ² K/W	Prefab HSB-gevel met cellulose R _c : 4,7 m ² K/W
Gevelafwerking	Baksteenstrips gezaagd (nieuw)	Europees naaldhout	Baksteenstrips gezaagd (hergebruikte bakstenen)
Kozijnen	Kunststof kozijnen	Houten kozijnen duurzaam hout	Houten kozijnen 50% nieuw / 50% hergebruikt
Glas	Triple-glas droge beglazing	Vacuümglas (geen biobased alternatief)	Vacuümglas
Dakisolatie	Prefab geïsoleerd dakelement: EPS R _c : 6,3 m ² K/W	Prefab geïsoleerd dakelement: vlas R _c : 6,3 m ² K/W	Prefab geïsoleerd dakelement: cellulose R _c : 6,3 m ² K/W
Dakafwerking	Nieuwe keramische dakpan	Rieten dakbedekking	Hergebruikte keramische dakpan
Verwarming / tapwater	Lucht/water warmtepomp 5 kW + 150 liter voorraadvat	Lucht/water warmtepomp 5 kW + 150 liter voorraadvat	Lucht/water warmtepomp 5 kW + 150 liter voorraadvat
Zonne-energie	8 PV-panelen	8 PV-panelen (geen biobased alternatief)	8 PV-panelen (geen circulair alternatief)

1. In deze variant is gerekend met een lucht/water warmtepomp 5 kW met koelmiddel R-134a in combinatie met een voorraadvat van 150 liter en 12 PV-panelen om de ambitie Paris Proof te bereiken. Als alternatief kan ook uitgegaan worden van propaan als koelmiddel, daarmee ligt de GWP lager.

5.2 Renovatie ingreep tussenappartement boven

In onderstaande tabellen staan per energiescenario de gekozen materialen weergegeven. Hierbij is een onderverdeling gemaakt in materialen die in basis veelvuldig worden toegepast, biobased en circulaire materialen.

Tabel 8: Maatregelen tussenappartement boven met energiescenario 'Standaard voor woningisolatie'



Onderdeel	Basis	Biobased	Circulair
Gevelisolatie	PIR plaat in panelen 50 mm	Vlas in panelen 50 mm	Cellulose in panelen 50 mm
Glas (22 m ²)	HR ⁺⁺ -glas coating/gasvulling	Voorzetglas enkel glas + aluminium kader (geen biobased alternatief)	Hergebruikt glas 50% nieuw / 50% hergebruikt
Dakisolatie	PIR dakisolatie R _c : 3,55 m ² K/W	Houtvezelplaten R _c : 3,55 m ² K/W	EPS dakisolatie R _c : 3,55 m ² K/W (ca 13% gerecyclede content)
Dakbedekking	Bitumen 0% secundair	Bitumen 25% secundair (geen biobased alternatief)	Bitumen 25% secundair

1. In deze variant is voor de installaties uitgegaan van een HR-107 combiketel voor verwarming en warmtapwater. Voor het ventilatiesysteem is in alle varianten C4c natuurlijke toevoer en mechanische afvoer toegepast met CO₂-sturing.

Tabel 9: Maatregelen tussenappartement boven met energiescenario 'Voorbij de Standaard voor woningisolatie'






Onderdeel	Basis	Biobased	Circulair
Gevelisolatie	Prefab HSB-gevel met minerale wol R _c : 4,7 m ² K/W	Prefab HSB-gevel met vlas R _c : 4,7 m ² K/W	Prefab HSB-gevel met cellulose R _c : 4,7 m ² K/W
Gevelafwerking	Kunststof beplating	Europees naaldhout	Baksteenstrips gezaagd (hergebruikte bakstenen)
Kozijnen	Kunststof kozijnen	Houten kozijnen duurzaam hout	Houten kozijnen 50% nieuw / 50% hergebruikt
Glas ¹⁾	Triple-glas droge beglazing	Vacuümglas (geen biobased alternatief)	Vacuümglas
Dakisolatie	PIR dakisolatie R _c : 6,3 m ² K/W	Houtvezelplaten R _c : 6,3 m ² K/W	EPS dakisolatie R _c : 6,3 m ² K/W (ca 13% gerecyclede content)
Dakafwerking	Bitumen (nieuw)	Bitumen 25% secundair (geen biobased alternatief)	Bitumen 25% secundair

1. Bij deze energetische variant zijn kleinere ramen toegepast ten opzichte van de huidige situatie, het gaat om een vermindering van 11 m².

2. In deze variant is voor de installaties uitgegaan van een HR-107 combiketel voor verwarming en warmtapwater. Voor het ventilatiesysteem is in alle varianten D2 mechanische toevoer en mechanische afvoer toegepast.



Tabel 10: Maatregelen tussenappartement boven met energiescenario 'Paris Proof'

Onderdeel	Basis	Biobased	Circulair
			
Gevelisolatie	Prefab HSB-gevel met minerale wol R _c : 4,7 m ² K/W	Prefab HSB-gevel met vlas R _c : 4,7 m ² K/W	Prefab HSB-gevel met cellulose R _c : 4,7 m ² K/W
Gevelafwerking	Kunststof beplating	Europees naaldhout	Baksteenstrips gezaagd (hergebruikte bakstenen)
Kozijnen	Kunststof kozijnen	Houten kozijnen duurzaam hout	Houten kozijnen 50% nieuw / 50% hergebruikt
Glas ¹⁾	Triple-glas droge beglazing	Vacuümglas (geen biobased alternatief)	Vacuümglas
Dakisolatie	PIR dakisolatie R _c : 6,3 m ² K/W	Houtvezelplaten R _c : 6,3 m ² K/W	EPS dakisolatie R _c : 6,3 m ² K/W (ca 13% gerecyclede content)
Dakafwerking	Bitumen (nieuw)	Bitumen 25% secundair (geen biobased alternatief)	Bitumen 25% secundair
Verwarming / tapwater	Lucht/water warmtepomp	Lucht/water warmtepomp (geen biobased alternatief)	Lucht/water warmtepomp (geen circulair alternatief)
Zonne-energie	8 PV-panelen	8 PV-panelen (geen biobased alternatief)	8 PV-panelen (geen circulair alternatief)

1. Bij deze energetische variant zijn kleinere ramen toegepast ten opzichte van de huidige situatie, het gaat om een vermindering van 11 m².

2. In deze variant is gerekend met een lucht/water warmtepomp 3 kW met koelmiddel R-134a in combinatie met een voorraadvat van 150 liter en 8 PV-panelen om de ambitie Paris Proof te bereiken..

6 Analyse materiaalgebonden CO₂-uitstoot

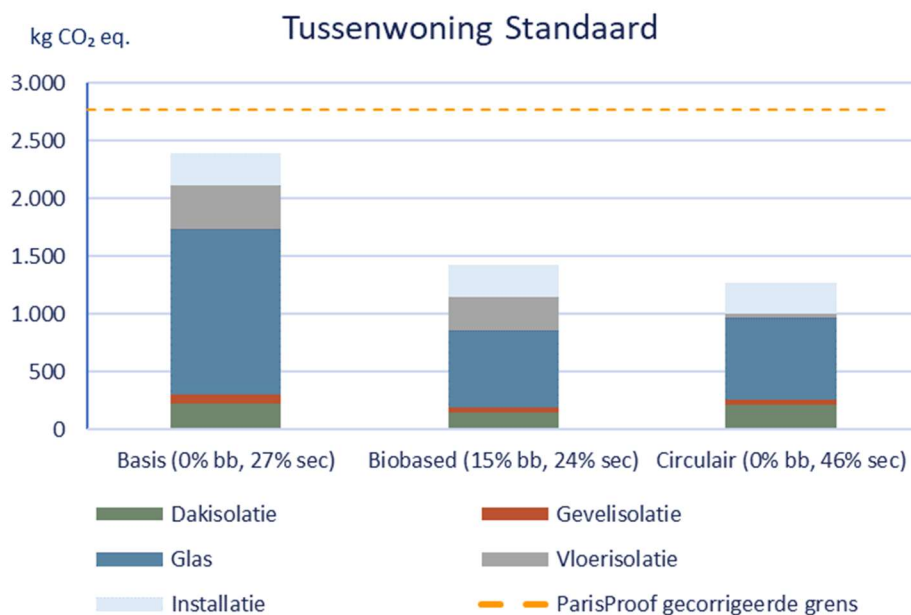
In dit hoofdstuk is voor zowel de tussenwoning als het tussenappartement een analyse opgesteld van de materiaalgebonden CO₂-uitstoot bij een wisselende energie-ambitie en gebruik van meer of minder biobased of circulaire materialen. In de volgende paragrafen is voor de materialisering uit tabel 4 t/m 9 aangehouden. In de grafiek is tevens het percentage biobased en secundaire grondstoffen toegevoegd.

In de grafieken is een horizontale gestippelde gele lijn weergegeven. Dit vormt de gecorrigeerde Paris Proof waarde naar gedane ingrepen. Voor meer uitleg over de totstandkoming van de gecorrigeerde grenswaardes zie paragraaf 3.3.1.

6.1 Tussenwoning

6.1.1 Standaard

In de eerste situatie is de voor de renovatie van de tussenwoning uitgegaan van een beperkte optimalisatie van de vloer, gevel, glas en dakconstructie om te voldoen aan de Standaard voor woningisolatie. In het staafdiagram is de materiaalkeuze in vloerisolatie, gevelisolatie, glas en dakisolatie per variant weergegeven.



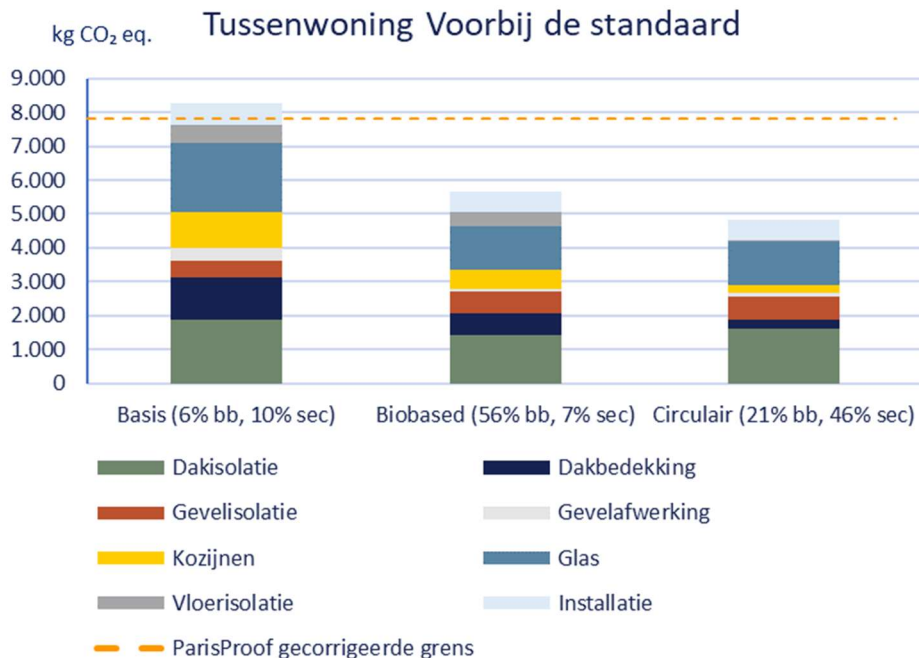
Figuur 7 Materiaalgebonden CO₂-uitstoot: Tussenwoning – Standaard voor woningisolatie

Analyse:

- Biobased en circulair leveren een aanzienlijke winst in materiaalgebonden CO₂-uitstoot op. Circulair ligt een fractie lager dan biobased, mede als gevolg van een andere keuze voor vloerisolatie.
- Het toepassen van circulair glas – één glasplaat hergebruikt of voorzetglas waarbij één glasplaat wordt aangebracht – draagt substantieel bij aan het verlagen van materiaalgebonden CO₂. Er is geen biobased oplossing.
- De circulaire vloerisolatie geeft een significante vermindering, in plaats van EPS is er gekozen voor een drielaagig aluminiumfolie isolatie, dit sluit aan op het “reduce” principe omdat er bij dit systeem heel weinig materiaal benodigd is.
- Alle materialisatievarianten komen uit onder de gecorrigeerde Paris Proof grenswaarde.

6.1.2 Voorbij de Standaard

In de tweede situatie is voor de renovatie van de tussenwoning uitgegaan van een uitgebreider pakket aan maatregelen waarbij de thermische schil wordt geoptimaliseerd naar nieuwbouwniveau en er gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning wordt toegepast. Voor de materialisering komt de gehele thermische schil aan bod: vloer, gevel, gevelafwerking, kozijnen, glas, dakisolatie en dakafwerking.



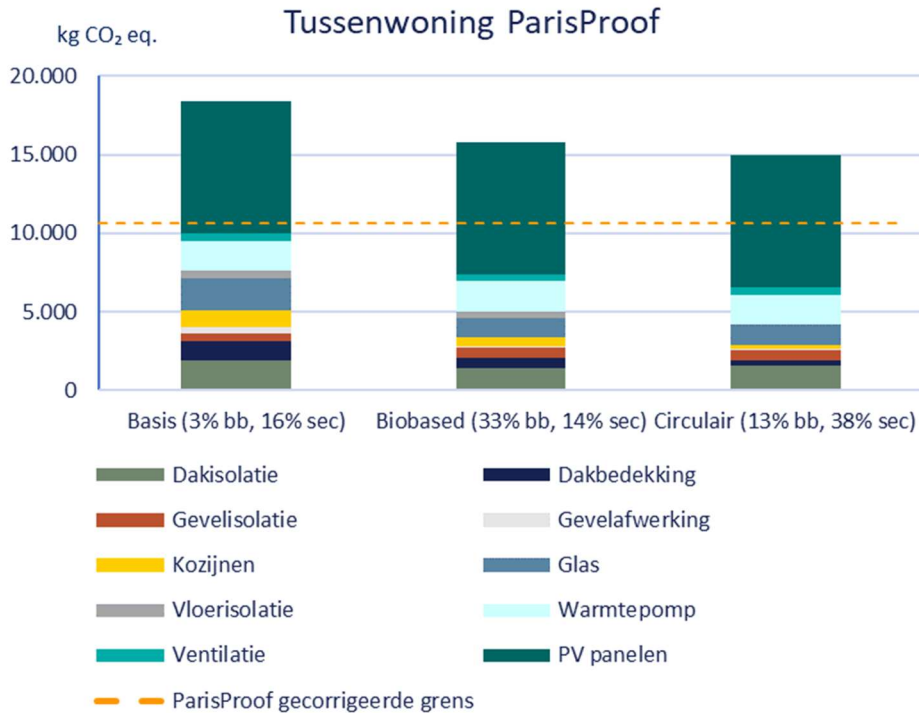
Figuur 8 Materiaalgebonden CO₂-uitstoot: Tussenwoning – Voorbij de Standaard voor woningisolatie

Analyse:

- Biobased en circulair leveren een aanzienlijke winst in materiaalgebonden CO₂-uitstoot op. Circulair ligt fractie lager dan bij biobased.
- Alleen de biobased en circulaire varianten halen de gecorrigeerde Paris Proof waarde.
- Bij bijna alle onderdelen is winst behaald door voor een biobased of circulair alternatief te kiezen.
 - Voor installaties is geen alternatief voorhanden
 - Bij gevelisolatie haalt juist de basis keuze een beter resultaat. Bij het biobased en circulaire alternatief wordt een spaanplaat toegepast om de flexibele isolatie af te dekken, deze is bij EPS niet nodig.

6.1.3 Paris Proof

In de derde situatie ligt de energetische ambitie op het niveau Paris Proof ofwel voor de grondgebonden woning een verbruik < 35 kWh/m². Hiervoor is bouwkundig hetzelfde pakket aangehouden als voorbij de Standaard voor woningisolatie. Installatietechnisch is een warmtepomp en acht PV-panelen toegevoegd. Naast de bouwkundige materialen is de CO₂-uitstoot de installatietechnische maatregelen aan de staafdiagram toegevoegd.



Figuur 9 Materiaalgebonden CO₂-uitstoot: Tussenwoning – Paris Proof

Analyse:

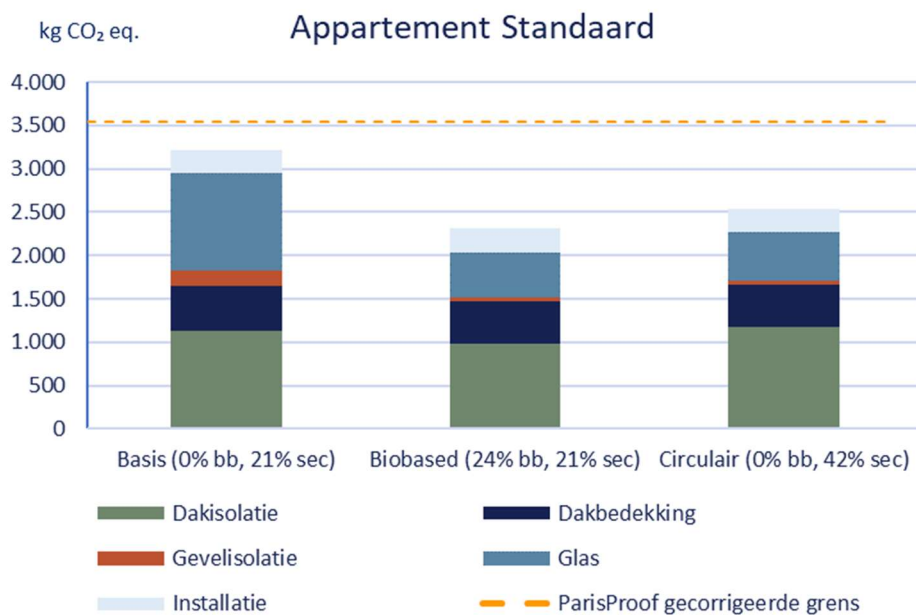
- Geen van de varianten haalt de gecorrigeerde Paris Proof grenswaarde.
- Bij de energetische ambitie Paris Proof maken de installaties, met name de PV-panelen, een belangrijk deel uit van de materiaalgebonden CO₂-uitstoot.
- Bij biobased en circulair is de winst op de overige onderdelen relatief klein door het grote aandeel PV-panelen.
- Er wordt een winst behaald met het toepassen van een Biobased (riet) en Circulaire (hergebruikte dakpannen) dakbedekking.

Over alle renovatie scenario's voor de tussenwoning valt er de meeste winst te behalen met circulaire alternatieven voor de kozijnen, het glas en de dakbedekking.

6.2 Tussenappartement boven

6.2.1 Standaard

In de eerste situatie is voor de renovatie van het tussenappartement uitgegaan van de Standaard voor woningisolatie. Dit is behaald door glasvervanging, isoleren van bestaande panelen, geïsoleerde deur, het isoleren van de plat dakconstructie, het verbeteren van de luchtdichtheid en het aanbrengen van een ventilatiesysteem met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer. Qua materialisering is er per variant gevarieerd in gevelisolatie, glas, dakisolatie en dakbedekking. De verschillen in materialisering is in paragraaf 5.2 aangegeven.



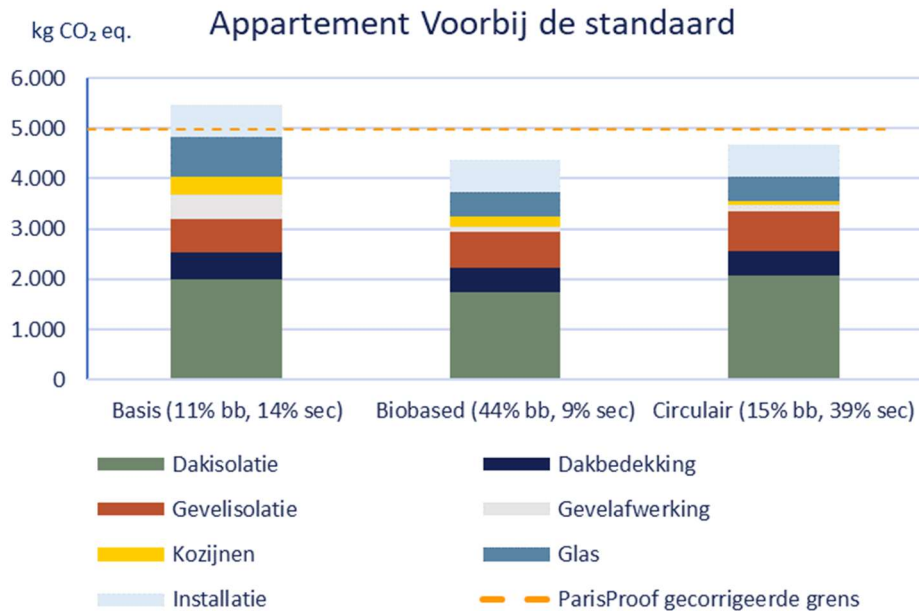
Figuur 10 Materiaalgebonden CO₂-uitstoot: Tussenappartement boven – Standaard voor woningisolatie

Analyse:

- Biobased en circulair leveren een aanzienlijke winst in materiaalgebonden CO₂-uitstoot op. Biobased ligt fractie lager dan bij circulair, mede afhankelijk van een andere keuze in dakisolatie.
- Grote invloed van glas en dakisolatie. Het toepassen van circulair glas waarbij één glasplaat wordt hergebruikt of voorzetglas, waarbij slechts één glasplaat wordt aangebracht draagt substantieel bij aan het verlagen van embodied carbon. NB: dit betreft een circulaire oplossing, er is geen biobased oplossing. Bij de dakisolatie liggen de resultaten van alle varianten dicht bij elkaar.
- Alle materialisatievarianten komen uit onder de gecorrigeerde Paris Proof grenswaarde.
- Het Biobased (vlas) en circulair (cellulose) alternatief voor de gevelisolatie leidt ongeveer tot een halvering t.o.v. basis (PIR).

6.2.2 Voorbij de Standaard

In de tweede situatie is de voor de renovatie van het tussenappartement uitgegaan van een uitgebreider pakket aan maatregelen waarbij de thermische schil wordt geoptimaliseerd naar nieuwbouwniveau en er gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning wordt toegepast. Per variant is er gevarieerd in keuze voor gevelisolatie, gevelafwerking, kozijnen, glas dakisolatie en dakbedekking.



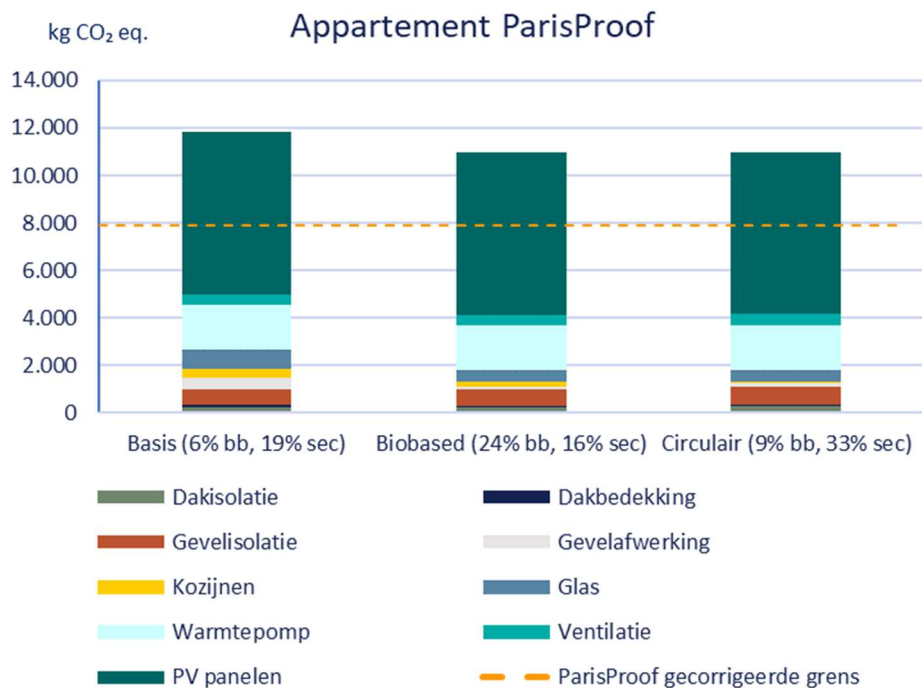
Figuur 11 Materiaalgebonden CO₂-uitstoot: Tussenappartement boven – Voorbij de Standaard voor woningisolatie

Analyse:

- Biobased en circulair leveren een redelijke winst in materiaalgebonden CO₂-uitstoot op. Biobased ligt fractie lager dan bij circulair.
- Alleen de biobased en circulaire varianten halen de gecorrigeerde Paris Proof waarde.
- De winst wordt vooral behaald bij het glas, kozijnen, de gevelafwerking en voor het biobased scenario de dakisolatie.
 - Voor installaties en dakbedekking is geen alternatief voorhanden
 - Bij dakisolatie haalt de basis keuze een beter resultaat dan de circulaire variant (EPS met 13% gerecyclede content). Wel moet benoemd worden dat voor EPS (circulaire keuze) een categorie 3 kaart is gehanteerd en voor het PIR (basis keuze) een categorie 2 kaart.
 - Gevelisolatie scoort nagenoeg gelijk doordat bij alle varianten een HSB element is toegepast. De variatie zit in het isolatiemateriaal, maar dit heeft een relatief kleine aandeel op het totaal.

6.2.3 Paris Proof

In de derde situatie ligt de energetische ambitie op het niveau Paris Proof ofwel voor het tussenappartement een verbruik < 45 kWh/m². Het behalen van deze waarde is mede afhankelijk van het beschikbare dakoppervlak en daarmee het aantal bouwlagen. In deze variant is bouwkundig hetzelfde pakket aangehouden als voorbij de Standaard voor woningisolatie. Installatietechnisch is een warmtepomp en PV-panelen toegevoegd.



Figuur 12 Materiaalgebonden CO₂-uitstoot: Tussenappartement boven – Paris Proof

Analyse:

- Geen van de varianten haalt de gecorrigeerde Paris Proof grenswaarde.
- Bij de energetische ambitie Paris Proof maken de installaties, met name de PV-panelen, een belangrijk deel uit van de materiaalgebonden CO₂-uitstoot.
- Bij biobased en circulair is de winst op de overige onderdelen relatief klein door het grote aandeel PV-panelen.

Over alle renovatie scenario's voor het tussenappartement valt er de meeste winst te behalen met biobased en circulaire alternatieven voor de kozijnen, het glas en de gevelafwerking.

6.3 MEPG resultaten

Een MPG eis voor de renovatiesector is lastig te bepalen. Dit komt doordat een renovatie in verschillende vormen voor kan komen, zoals een kleine energetische ingreep of een grote energetische ingreep. Tussen deze renovatie ingrepen ligt een groot verschil in het materiaal dat gebruikt wordt, maar het gebruiksoppervlak van de woning blijft hetzelfde. De MPG-scores van deze ingrepen zullen dus enorm verschillen, maar ook de energetische verbetering van de woning verschilt enorm. Met behulp van de MEPG worden deze onderwerpen op basis van de schaduwprijs met elkaar samengevoegd tot één indicator, in deze paragraaf wordt kort uitgelegd wat de werkwijze hiervoor is.¹⁶

¹⁶ Milieu-energieprestatie Gebouwen, opname operationeel energieverbruik in MPG V1.0 (februari 2023)

Met behulp van de productkaarten voor energiedragers kan het berekende energiegebruik van een gebouw uitgedrukt worden in 19 impactcategorieën zoals beschreven in de bepalingmethode milieuprestatie bouwwerken. Vervolgens kan de milieu-impact van **energiebesparing** worden afgezet tegen de milieu-impact van de **energiebesparende maatregelen** van extra bouw materiaal en/of bouwwerkinstallaties.

De voorbeeldberekeningen in hoofdstuk 4 van het rapport "Milieu-energieprestatie Gebouwen, opname operationeel energieverbruik in MPG" laten zien dat voor alle MEPG berekeningen 5 soorten posten worden meegenomen:

- Teruglevering, o.b.v. 'Elektriciteit – hernieuwbaar, uit PV': alleen wanneer het netto aantal kWh negatief is. De MKI van Elektriciteit – hernieuwbaar, uit PV is € 0,01658/kWh.
- Materialisatie en Externe levering toegeleverde energie, o.b.v. 'Elektriciteit – MIX NL' is €0,0258 (2023)/kWh).
- Externe levering eigen opwek, o.b.v. 'Externe levering elektriciteitsnet': Hier wordt de materialisatie van het elektriciteitsnet vastgesteld aan de hand van de eigen productie is € 0,00167/kWh
- Levering aardgas, verbrand, bij consument € 0,18/m³
- De materialisatie zoals in de MPG: Schaduwprijs/BVO/Levensduur gebouw

Aan de hand van de eerder vastgestelde gegevens (materialisatie en energie) is de MEPG van de verschillende renovatiescenario's te berekenen:

MEPG resultaten:

Tussenwoning		Tussenappartement (met dak)	
Standaard ingreep		Standaard ingreep	
Basis	2,38	Basis	2,00
Biobased	2,34	Biobased	1,96
Circulair	2,34	Circulair	1,96
Voorbij de standaard ingreep		Voorbij de standaard ingreep	
Basis	1,90	Basis	1,65
Biobased	1,85	Biobased	1,64
Circulair	1,85	Circulair	1,63
Paris Proof ingreep		Paris Proof ingreep	
Basis	1,05	Basis	1,13
Biobased	1,01	Biobased	1,11
Circulair	1,01	Circulair	1,10

Zie BIJLAGE 5 voor de uitgeschreven MEPG berekeningen.

6.4 Samenvattend

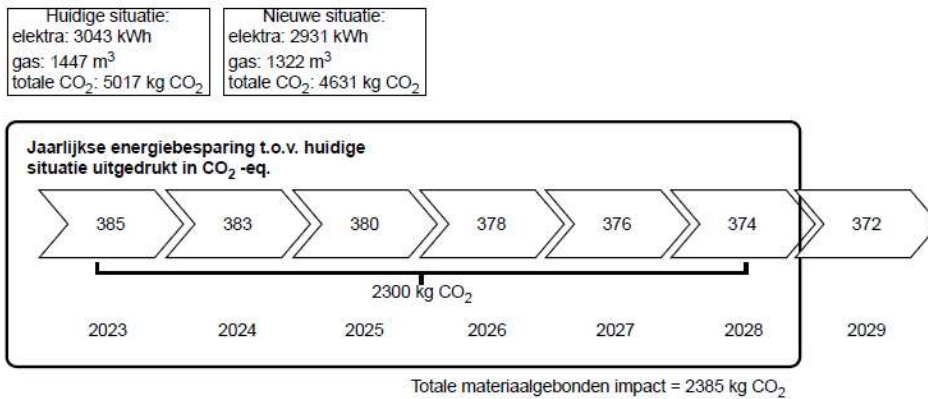
- Met biobased en circulaire keuzes kan de materiaalgebonden CO₂-uitstoot bij elke energetische ambitie aanzienlijk worden verlaagd.
- Om de energetische Paris Proof ambitie te halen, is het erg lastig om aan de materiaalgebonden Paris Proof grenswaarde te voldoen. Dit komt voornamelijk door de hoge impact van zonnepanelen.
- De enorme energiebesparing die gerealiseerd wordt met de "Paris Proof" renovatie (met name volledig van het gas af) ingreep zorgt ervoor dat de milieu impact van het energiegebruik zo laag is dat de MEPG indicator rond de 1 uitkomt, dit is de laagste MEPG score die behaald wordt voor de renovatie ingrepen die beschouwd zijn in dit onderzoek.

Het is op te merken dat de "voorbij de standaard" ingreep al een MEPG score heeft van 1,5 alleen al door de milieu impact van het gasverbruik.

Een renovatie ingreep waarbij de woning van het gas af gaat blijkt dus op veel vlakken erg gunstig (WEll 'Paris Proof', lage MEPG-score, korte CO₂-terugverdiensijd)

7 CO₂-terugverdientijd

De CO₂-terugverdientijd wordt bepaald door de periode waarin de CO₂-uitstoot van de gebruikte materialen gelijk is aan de CO₂-besparing als gevolg van het verminderde energieverbruik door energiebesparende maatregelen.



Figuur 13 Schematisch voorbeeld van een standaard renovatie ingreep

In de grafieken op de volgende pagina's is (per variant) met horizontale lijnen aangegeven wat de eenmalige materiaalgebonden CO₂-uitstoot is om de energiebesparende maatregelen te realiseren. Met een schuine lijn wordt weergegeven hoeveel CO₂-uitstoot hierdoor wordt bespaard (cumulatief, per jaar neemt de totale besparing toe). Hierbij is rekening gehouden dat bij het opwekken van elektriciteit naar de toekomst steeds minder CO₂ uitgestoten zal worden ten gevolge van de energietransitie. Doordat het grootste deel van de CO₂-uitstoot door gasverbruik wordt veroorzaakt, lijken de lijnen in de grafiek recht te lopen. Naast deze lijnen is met horizontale streepjes aangegeven wanneer een jaartal wordt gepasseerd, zodat gemakkelijk is af te lezen na welk jaartal de materiaalgebonden CO₂-uitstoot is terugverdiend.

De 'investering' van materiaalgebonden CO₂-uitstoot is berekend op basis van module A1 t/m A5. Uit de analyses op de volgende pagina's blijkt dat de terugverdientijd zodanig dichtbij in de toekomst ligt, dat het niet nodig is vervangingen en onderhoud mee te nemen. Om deze reden is voor de materiaalgebonden CO₂-uitstoot geen rekening gehouden met de energietransitie.

In de CO₂-terugverdientijd van de Paris Proof scenario's wordt de CO₂ besparing ten gevolge van de PV-panelen meegerekend. Hierbij is het de vraag hoeveel van de opgewekte energie daadwerkelijk gebruikt wordt. Daarvan is immers afhankelijk hoeveel grijze energie er bespaard wordt. Om dit mee te nemen hebben we in deze grafieken twee schuine lijnen opgenomen.

- Best case scenario: 100% efficiëntie, alle opgewekte zonne-energie wordt gebruikt.
- Worst case scenario: 30% efficiëntie, slechts 30% van de opgewekte zonne-energie wordt in het gebouw gebruikt.

De 30% is gekozen omdat dat de gemiddelde hoeveelheid is die een huishouden van de eigen opgewekte zonne-energie verbruikt¹⁷. De rest zal moeten worden verbruikt door andere verbruikers die aangesloten zijn op het net of door middel van een accu. Dit scenario is uitgewerkt om een idee te krijgen hoeveel de PV-panelen bijdragen aan een kortere CO₂TVT.

Met deze twee lijnen is de te verwachten spreiding in CO₂-terugverdientijd weergegeven.

¹⁷ <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/zonnepanelen/meer-zonnestroom-zelf-verbruiken/>

7.1 Tussenwoning

7.1.1 Standaard

In de eerste variant is de CO₂-terugverdientijd weergegeven voor de tussenwoning die voldoet aan de Standaard voor woningisolatie.

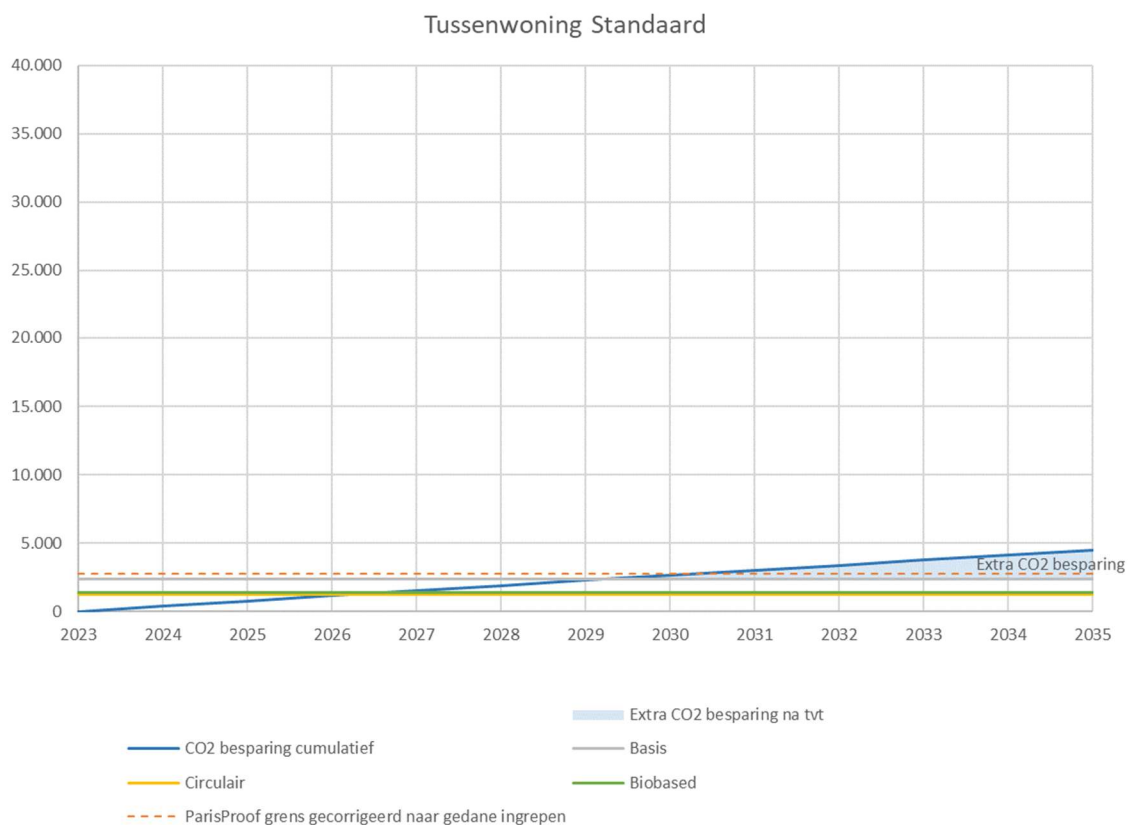


In deze en de komende grafieken zijn drie horizontale lijnen zichtbaar:

- Grijs: de materiaalgebonden CO₂-uitstoot bij een 'traditionele' materiaalkeuze
- Geel: de materiaalgebonden CO₂-uitstoot bij een circulaire materiaalkeuze
- Groen: de materiaalgebonden CO₂-uitstoot van een biobased materiaalkeuze

De oplopende 'blauwe' lijn geeft de CO₂-besparing in de loop van de tijd weer als gevolg van de operationele energiebesparing. Het snijpunt van de grijze, groene of gele lijn met de blauwe lijn bepaalt de terugverdientijd. De CO₂-besparing die na de terugverdientijd door loopt vormt de extra CO₂-besparing; deze is blauw gearceerd.

De besparing voor deze variant is beperkt, maar in de hierna volgende grafieken groter. Voor de onderlinge vergelijking is de schaal op de x- en y-as gelijk gehouden.



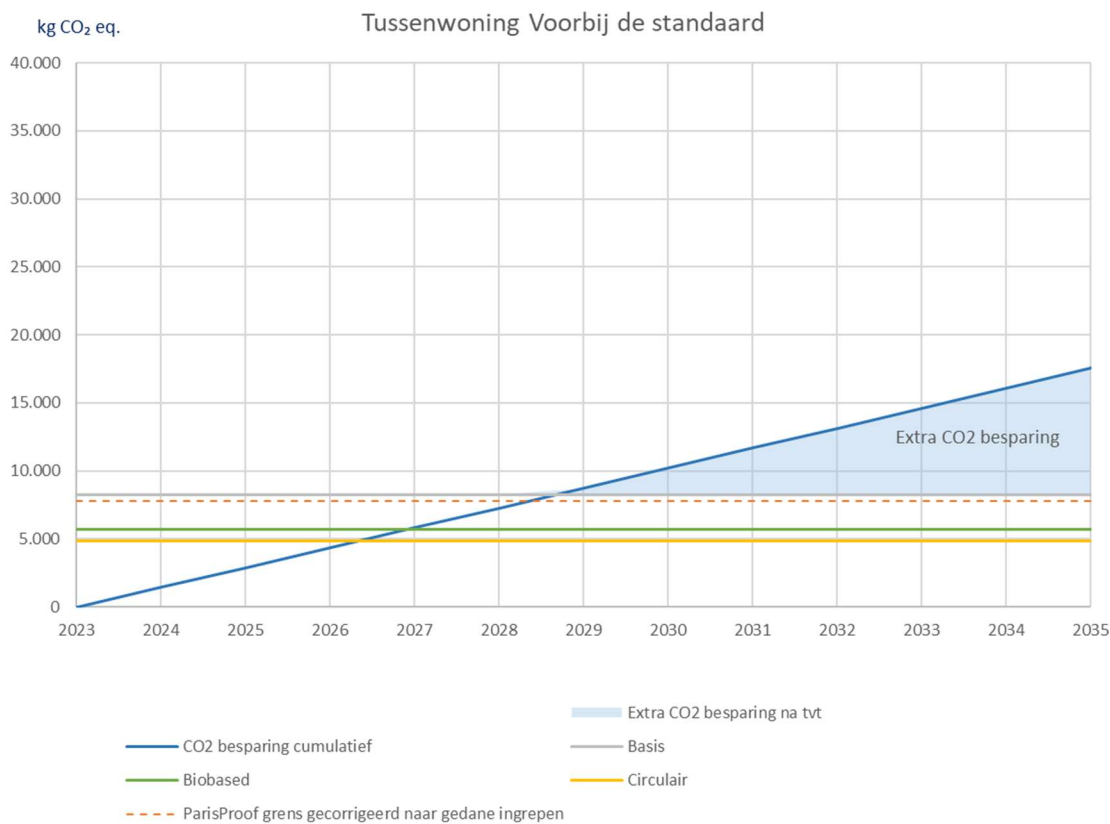
Figuur 14 CO₂ terugverdientijd Tussenwoning – Standaard

Analyse

- De basis variant wordt voor 2030 terugverdiend
- Door circulaire of biobased keuzes te maken wordt de terugverdientijd vervoegd naar 2027

7.1.2 Voorbij de standaard

In de tweede situatie is voor de renovatie van de tussenwoning uitgegaan van een uitgebreider pakket aan maatregelen waarbij de thermische schil is geoptimaliseerd naar nieuwbouwniveau en er gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning is toegepast.



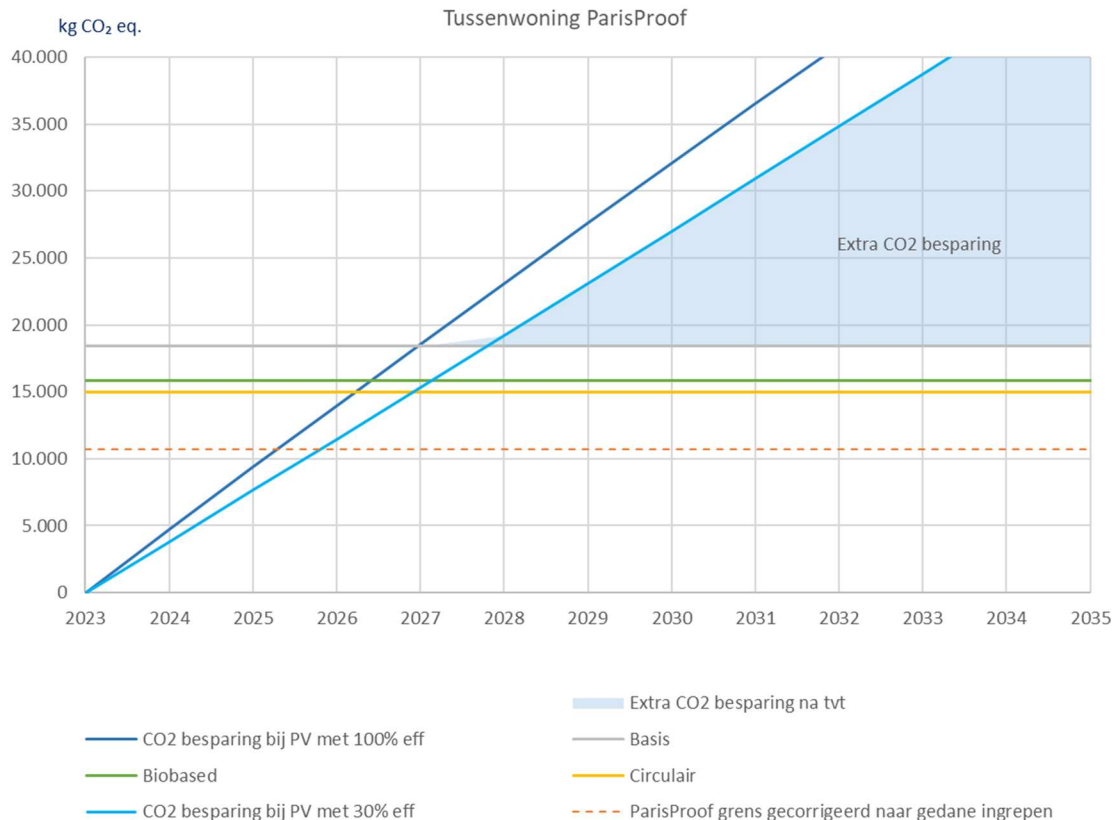
Figuur 15 CO₂ terugverdientijd Tussenwoning – Voorbij de standaard

Analyse

- De basis variant wordt voor 2029 terugverdiend
- Door circulaire of biobased keuzes te maken wordt de terugverdientijd vervoerd naar 2027
- De materiaalgebonden CO₂-uitstoot is dan wel hoger, maar doordat hier ook meer energie mee wordt bespaard, is de terugverdientijd nog steeds vergelijkbaar met het Standaard scenario.
- De extra CO₂-besparing (blauwe vlak) na het behalen van de CO₂ terugverdientijd is bij deze variant groter dan bij de Standaard voor woningisolatie.

7.1.3 Paris Proof

In de derde situatie ligt de energetische ambitie op het niveau Paris Proof ofwel voor het tussenappartement een verbruik < 45 kWh/m². Het behalen van deze waarde is mede afhankelijk van het beschikbare dakoppervlak en daarmee het aantal bouwlagen. In deze variant is bouwkundig hetzelfde pakket aangehouden als voorbij de Standaard voor woningisolatie. Installatietechnisch is een warmtepomp en PV-panelen toegevoegd.



Figuur 16 CO₂ terugverdientijd Tussenwoning – Paris Proof

Analyse

- De basis variant wordt voor 2027 terugverdiend bij een efficiëntie van de PV-panelen van 100% en voor 2028 bij een efficiëntie van 30%
- Door circulaire of biobased keuzes te maken wordt de terugverdientijd iets vervroegd. Dit is beperkt doordat de PV-panelen een groot aandeel hebben in de materiaalgebonden CO₂-uitstoot en hier geen circulair of biobased alternatief voor is
- De materiaalgebonden CO₂-uitstoot is dan wel hoger, doordat hier ook meer energie mee wordt bespaard, is de terugverdientijd nog steeds vergelijkbaar met het Standaard en Voorbij de standaard scenario.

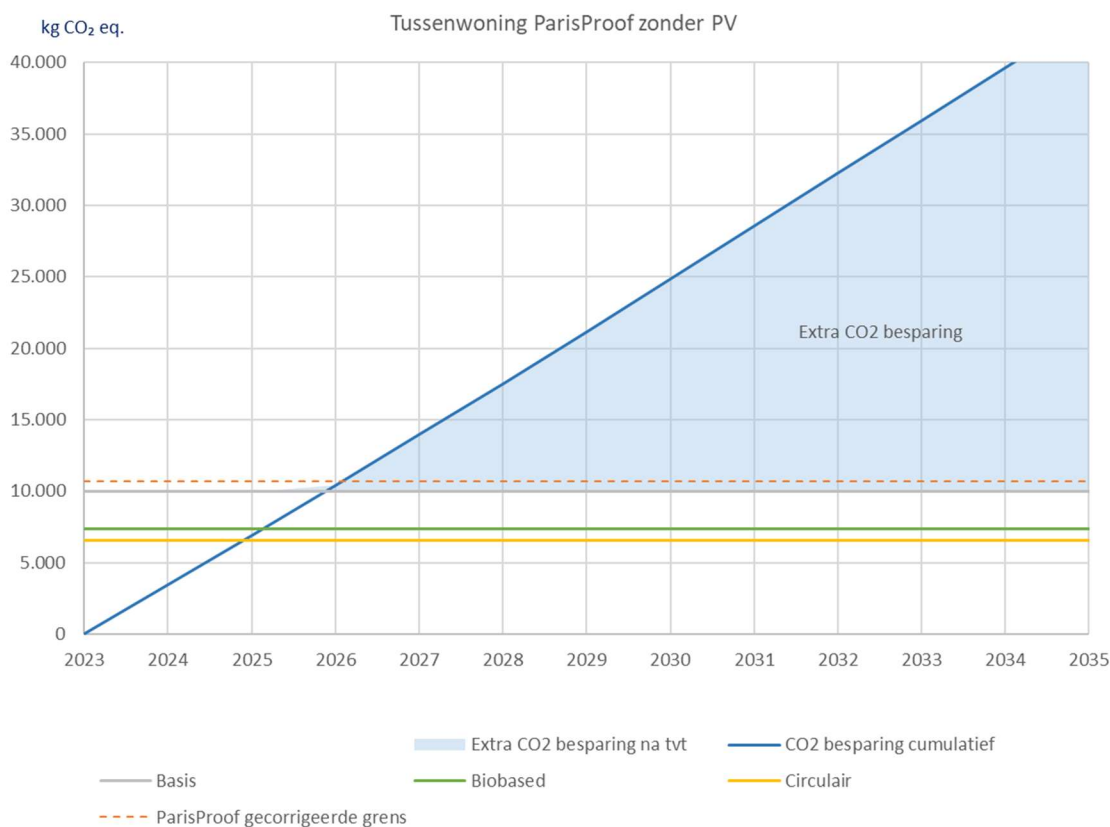
Paris Proof variant zonder PV-panelen

De PV-panelen veroorzaken een hoge materiaalgebonden CO₂-uitstoot, maar deze wordt ook snel terugverdiend. Om dat effect te laten zien is de terugverdientijd beschouwd voor het Paris Proof scenario zónder PV panelen.

- De materiaalgebonden CO₂-uitstoot blijft nu onder de Paris Proof grens.
- Daarnaast is het interessant om te zien dat de ingrepen zich sneller terugverdienen dan in het Paris Proof scenario mét panelen.

Dit is te verklaren doordat dankzij de warmtepomp geen gas meer wordt verbruikt. Gasverbruik heeft operationeel gezien een aanzienlijk hogere CO₂-uitstoot dan elektriciteitsverbruik. Dit geldt ook als voor het elektriciteitsverbruik de gemiddelde mix van herkomst wordt aangehouden die nu in Nederland geldt.

Doordat de materiaalgebonden CO₂-uitstoot van de acht PV-panelen veel hoger is dan die van één 5 kW lucht-water-warmtepomp, verdient de variant zonder PV-panelen zich een stuk sneller terug, omdat dankzij de warmtepomp van het gas afgegaan kan worden. Oftewel, de warmtepomp verdient zichzelf in dit scenario sneller terug dan de PV panelen. NB: om de Paris Proof energie-ambitie te halen zijn de PV-panelen wel degelijk nodig.

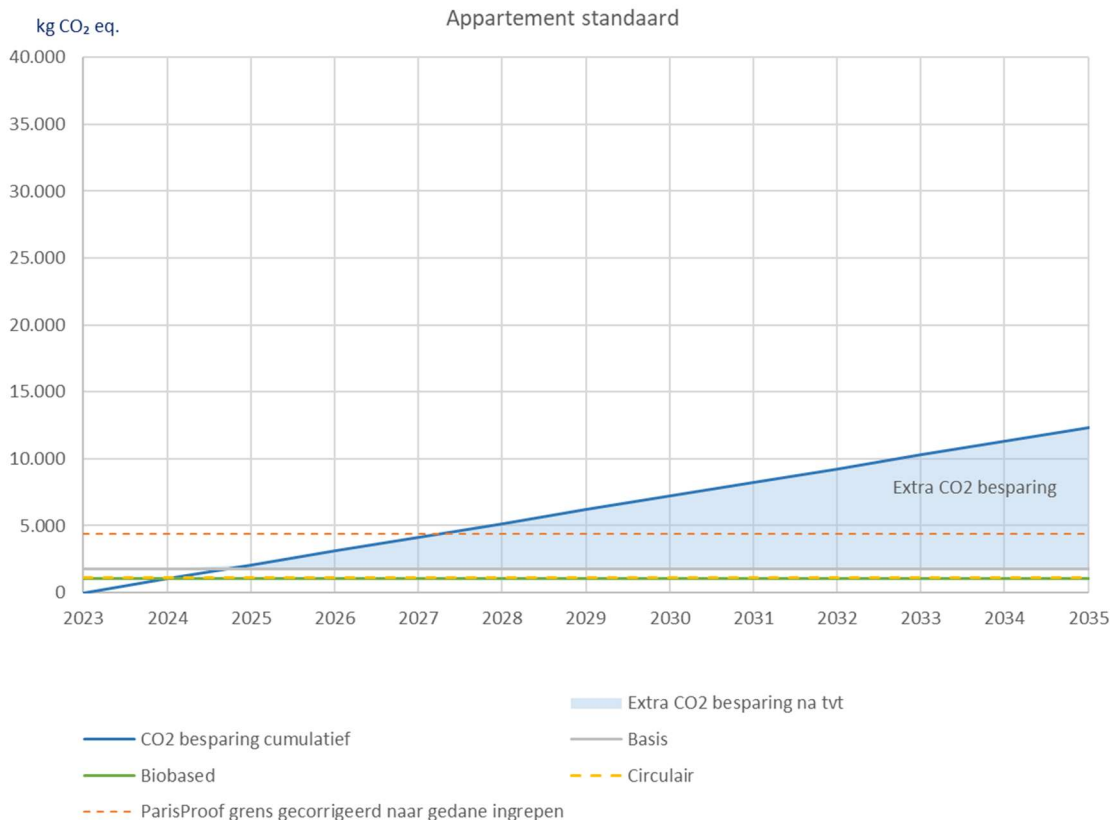


Figuur 17 CO₂ terugverdientijd Tussenwoning – Paris Proof (zonder PV)

7.2 Tussenappartement boven

7.2.1 Standaard

In de eerste situatie is voor de renovatie van het tussenappartement uitgegaan van Standaard voor woningisolatie. Dit is behaald door glasvervanging, isoleren van bestaande panelen, geïsoleerde deur, het isoleren van de plat dakconstructie, het verbeteren van de luchtdichtheid en het aanbrengen van een ventilatiesysteem met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer. De energiebesparing is uitgezet tegen de materiaalgebonden CO₂-uitstoot per variant: 'traditioneel', circulair en biobased materialen.



Figuur 18 CO₂ terugverdientijd Tussenappartement boven – Standaard

Analyse

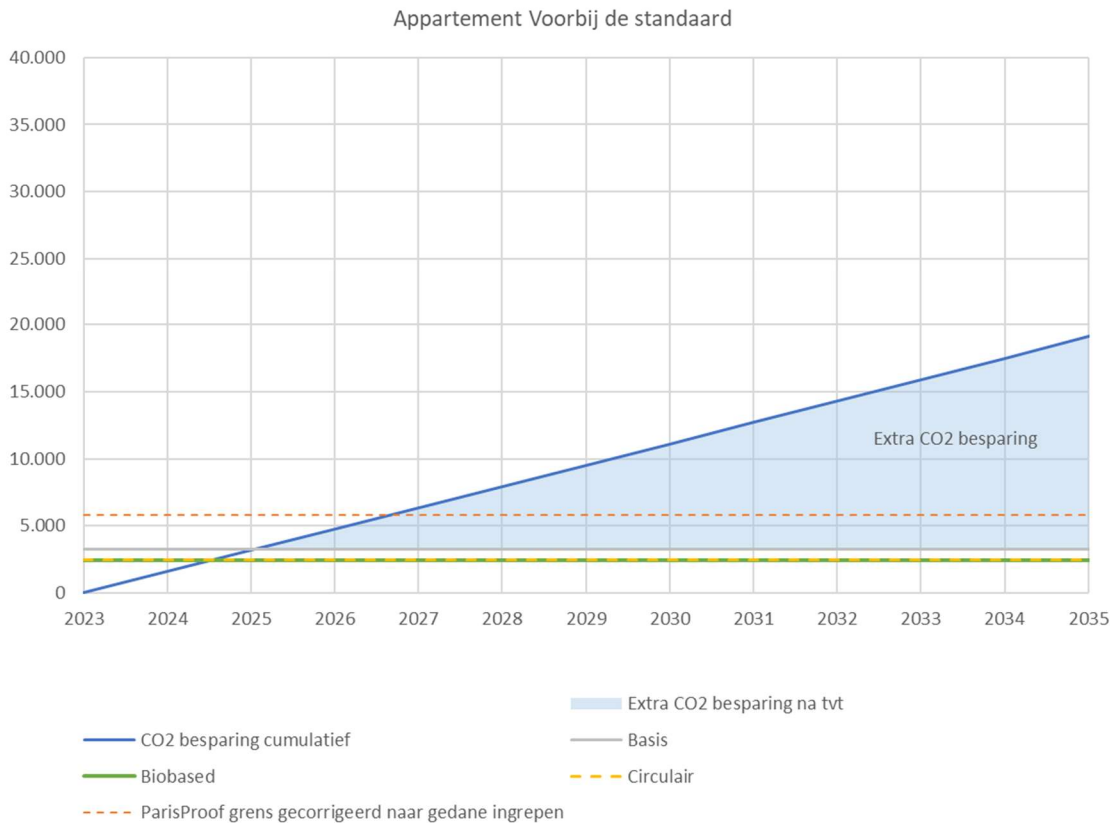
- De basis variant wordt voor 2026 terugverdiend
- Door circulaire of biobased keuzes te maken wordt de terugverdientijd vervroegd naar 2025

We zien dat de terugverdientijd eerder plaatsvindt dan bij de tussenwoning. Dit is te verklaren doordat de ingrepen voor het dak (dakbedekking en -isolatie) worden verdeeld over alle woningen in de galerijflat, waar dit voor de tussenwoning automatisch één woning betreft.

Dit is wel afhankelijk van het aantal lagen van het flatgebouw. In dit voorbeeld zijn acht woonlagen aanwezig, voor een flat met minder verdiepingen zijn er minder woningen om dezelfde hoeveelheid isolatie over te verdelen.

7.2.2 Voorbij de standaard

In de tweede situatie is voor de renovatie van het tussenappartement uitgaan van een energetisch uitgebreider pakket aan maatregelen waarbij de thermische schil wordt geoptimaliseerd naar nieuwbouw. Dit vraagt hogere isolatiewaarden en daarmee voor de meeste onderdelen meer materiaal.



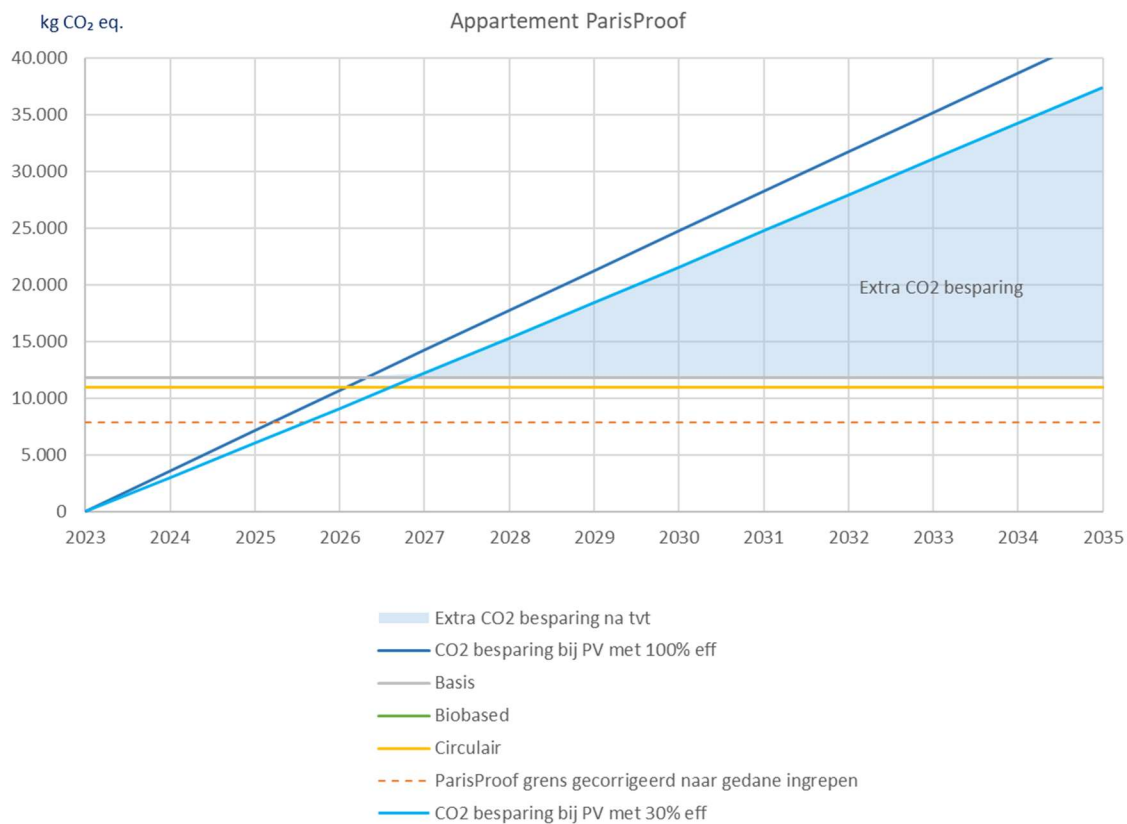
Figuur 19 CO₂ terugverdientijd Tussenappartement boven – Voorbij de standaard

Analyse

- De basis variant wordt voor 2026 terugverdiend
- Door circulaire of biobased keuzes te maken wordt de terugverdientijd vervroegd naar 2025
- De materiaalgebonden CO₂-uitstoot is dan wel hoger, maar doordat hier ook meer energie mee wordt bespaard, is de terugverdientijd nog steeds vergelijkbaar met het Standaard scenario

7.2.3 Paris Proof

In de derde situatie ligt de energetische ambitie op het niveau Paris Proof. In deze variant is bouwkundig hetzelfde pakket aangehouden als voorbij de Standaard voor woningisolatie. Installatietechnisch is een warmtepomp en PV-panelen toegevoegd.



Figuur 20 CO₂ terugverdientijd Tussenappartement boven – Paris Proof

Analyse

- De basis variant wordt voor 2027 terugverdiend bij een efficiëntie van de PV-panelen van 100% en voor 2027 bij een efficiëntie van 30%.
- Door circulaire of biobased keuzes te maken wordt de terugverdientijd vervroegd naar voor 2026.
- Dit is beperkt doordat de PV-panelen een groot aandeel hebben in de materiaalgebonden CO₂-uitstoot en hier geen circulair of biobased alternatief voor is
- De materiaalgebonden CO₂-uitstoot is dan wel hoger, doordat hier ook meer energie mee wordt bespaard, is de terugverdientijd nog steeds vergelijkbaar met het Standaard en Voorbij de standaard scenario.

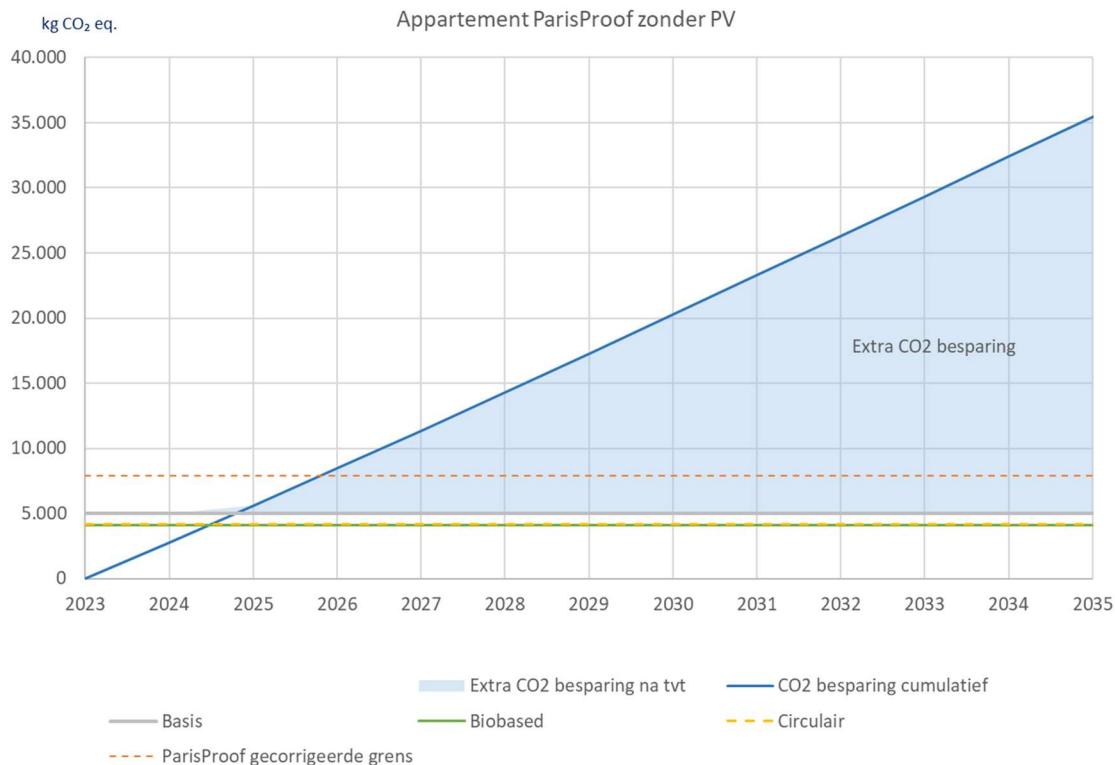
Verdieping

De PV-panelen veroorzaken een hoge materiaalgebonden CO₂-uitstoot, maar deze wordt ook snel terugverdiend.

Op de volgende pagina is de terugverdientijd beschouwd voor het Paris Proof scenario zónder PV panelen. De materiaalgebonden CO₂-uitstoot blijft nu onder de Paris Proof grens. Daarnaast is te zien dat de ingrepen zich sneller terugverdienen dan in het Paris Proof scenario mét panelen. Dankzij de warmtepomp wordt geen gas meer verbruikt en elektriciteit kent een aanzienlijk lagere CO₂-uitstoot, ook als voor het elektriciteitsverbruik de gemiddelde mix van herkomst wordt aangehouden die nu in Nederland geldt.

Doordat de materiaalgebonden CO₂-uitstoot van de acht PV-panelen veel hoger is dan die van één 5 kW lucht-water-warmtepomp, verdient de variant zonder PV-panelen zich een stuk sneller terug.

NB: om de Paris Proof energie-ambitie en de klimaatdoelstelling van 100% hernieuwbare energie in 2050 te halen zijn de PV-panelen nodig.



Figuur 21 CO₂ terugverdientijd Tussenappartement boven – Paris Proof (zonder PV)

7.3 CO₂ besparing tot 2050 in relatie tot renovatieopgave

Uit eerdere vergelijkingen blijkt dat de terugverdientijd van deze renovatie ingrepen doorgaans tussen de 2 en 7 jaar ligt. Na deze periode resulteert de renovatie in CO₂-besparingen, met name in het operationele gebruik van de woning. Opmerkelijk is dat circulaire of biobased renovatie ingrepen vaak een kortere terugverdientijd hebben. Dit is te danken aan een vergelijkbare operationele energiebesparing, maar met een lagere milieu-impact vanwege het gebruik van duurzamere materialen. Hoewel er in eerdere vergelijkingen geen groot verschil lijkt te zijn in de CO₂-terugverdientijd van verschillende renovatievarianten, kan bij het projecteren van deze bevindingen op het totale aantal te renoveren woningen in Nederland een ander beeld ontstaan. In BIJLAGE 5 zijn de berekeningen te vinden waar onderstaande gegevens vandaan komen.

Woningvoorraad gebouwd in 1965–1975 *(data volgens CBS voor 2023)

Eengezinswoningen – 866502 (12,4% van verwachte renovatieopgave 7 mln. woningen¹⁸)

Meergezinswoningen – 423799 (6,1% van verwachte renovatieopgave 7 mln. woningen)

¹⁸ Woningen gebouwd vanaf 2005 niet meegenomen met de verwachting dat deze niet energetisch gerenoveerd te hoeven worden.

Uitgaande van een 'gemiddelde huurder' met de volgende uitgangspunten¹⁹:
Een twee persoonshuishouden, middelgrote benzineauto, beperkt OV, geen vluchten, gemiddeld gas-en elektraverbruik, regelmatig gebruik van vlees + soms zuivel, beperkte aankoop nieuwe kleding en met enige regelmaat wordt voedsel dat overblijft weggegooid.

Dit huishouden heeft volgens de gebruikte tool een CO₂-voetafdruk van 12.000 kilo CO₂ per jaar.

Het toepassen van een circulaire renovatie aanpak op de woningen gebouwd tussen 1965-1975 bespaard 3 Mton CO₂ extra t.o.v. een traditionele aanpak (zie berekening BIJLAGE 6). Dit kan gelijk gesteld worden aan de voetafdruk van het genoemde huishouden voor 250.000 jaar ofwel 9260 soortgelijke huishoudens tot het jaar 2050. Dit is ook te vergelijken met zo'n 610.000 retourvluchten van Amsterdam – Sydney.

Indien we een grove schatting doen naar de CO₂ besparing als alle woningen die voor 1975 zijn gebouwd gerenoveerd worden met een biobased of circulaire aanpak in plaats van een basis (traditionele) aanpak zou dit op ongeveer 8 Mton CO₂ besparing uitkomen voor een Paris Proof renovatie.

Een gemiddelde benzine personenauto die per jaar 15.000 kilometer rijdt heeft een CO₂-uitstoot van ca. 3.360 kg CO₂ per jaar²⁰

Een besparing van 8 Mton CO₂ kan gelijk gesteld worden aan 2,4 miljoen benzine personenauto's voor 1 jaar, dit is ongeveer 27% van de totale auto's in Nederland²¹.

Een Circulaire Paris Proof renovatie van een tussenwoning heeft een materiaalgebonden CO₂ uitstoot van 14976,5 kg. De besparing van 8 Mton CO₂ staat gelijk aan de uitstoot van een Paris Proof renovatie van 18% van alle woningen die voor 1975 zijn gebouwd. Dit komt neer op ongeveer 555.326,3 woningen.

¹⁹ <https://tools.milieucentraal.nl/CO2-voetafdruk>

²⁰ Hoeveel CO₂ stoot een gemiddelde benzine personenauto per jaar uit? | Coöperatief Dutch Renewergy -

²¹ Hoeveel personenauto's zijn er in Nederland? (cbs.nl)

8 Conclusie

In dit werkpakket is de CO₂-impact van materiaalverbruik bij renovaties vergeleken met de CO₂-besparing van energiebesparende maatregelen. Verschillende energieambities en materiaalkeuzes zijn daarbij gevarieerd. Met dit onderzoek is met behulp van een CO₂-terugverdiëntijd een verkenning gemaakt van de balans tussen de operationele en materiaalgebonden CO₂-uitstoot.

Biobased en circulaire grondstoffen of materialen leveren een belangrijke bijdrage om de materiaalgebonden CO₂-uitstoot bij renovatie te verlagen. Op woningniveau lijkt het verschil in de CO₂-besparing van een biobased of circulaire renovatie niet groot maar wanneer dit wordt geprojecteerd op de totaal te renoveren woningvoorraad is er wel tot 8 Mton CO₂ extra te besparen. Met nog een ruimte van maar 19 Mton CO₂ voor een maximale temperatuurstijging van 1,5°C is deze CO₂ besparing noodzakelijk en kan hiermee een sterke bijdragen leveren aan het behalen van de duurzaamheids-doelstellingen. Daarnaast vormen de beschikbaarheid van grondstoffen en materialen in de toekomst, en het verminderen van afval belangrijke argumenten om de focus te verleggen op circulaire energierenovaties.

Uit het onderzoek komt naar voren dat de CO₂-terugverdiëntijd bij de verschillende varianten varieert tussen de 2 en 7 jaar. Het kiezen voor een kleine renovatie ingreep is met deze beoordeling even goed als een grotere renovatie ingreep. Maar als de kleine renovatie ingreep langs de klimaatdoelstellingen worden gelegd is het op te merken dat deze ingreep er niet voor gaat zorgen dat Nederland de doelstelling van Paris Proof haalt. Er kan dus niet gestuurd worden op alleen een bepaalde terugverdiëntijd omdat de indicator niet alle belangrijke randvoorwaarden meeneemt.

CO₂ TVT
7 jaar basis
2 jaar biobased of circulair



Standaard renovatie ingreep heeft WEii – 146 kWh/m²

Paris Proof grens
WEii < 35 kWh/m²

De CO₂-terugverdiëntijd bij de standaard ingreep laat een gunstig resultaat zien maar het energieverbruik zit nog ver boven de toegestane WEii grenswaarden en is uit het oogpunt van Paris Proof dus **géén** gewenste renovatie ingreep. Voor het behalen van de klimaatdoelstelling zal deze woning na deze standaard ingreep nogmaals gerenoveerd moeten worden, dit is niet meegenomen in deze studie.

Een integrale benadering is van belang om de beste oplossingen te vinden die het minst vervuילend is voor de aarde op zowel de korte als de lange termijn.

Daarom zal er naast een gunstige CO₂-terugverdiëntijd altijd een andere indicator of grenswaarde uitgevraagd moeten worden, zoals:

- Paris Proof grenswaarde (WEii en materiaalgebonden, ten behoeve van de maximale opwarming van 1,5°C)
- Circulair/losmaakbaar (ten behoeve van 100% circulaire economie in 2050)
- MEPG/MKI (andere milieueffecten, ten behoeve van onder andere de gezondheid van de mens)

De hoogste CO₂ besparing wordt veroorzaakt door de woning van het gas af te halen. Hoe minder gas nodig is, hoe groter de besparing en hoe korter de terugverdiëntijd. Oók als de elektriciteit niet volledig hernieuwbaar wordt opgewekt (dus de huidige energiemix in Nederland). Dit heeft tot gevolg dat een warmtepomp zichzelf heel snel terugverdient. Het scenario met warmtepomp en **zonder** PV-panelen heeft een terugverdiëntijd van 1,5 jaar.

De zonnepanelen hebben een hoge materiaalgebonden CO₂-uitstoot en veroorzaken daardoor een langere terugverdiëntijd. Echter zijn ze nodig om de energetische Paris Proof ambitie te halen en de overheidsdoelstelling om in 2050 bijna 100% van alle gebruikte energie in Nederland uit duurzame bronnen op te wekken.

Prioritering en focus op circulaire installaties is noodzaak om aan de gecommitteerde afspraken uit het klimaatakkoord van Parijs te kunnen voldoen.

8.1 Aanbevelingen

Om de opwarming van de aarde binnen de grens van 1,5°C te houden, is het cruciaal om niet alleen te focussen op het operationele energieverbruik, maar ook op de CO₂-uitstoot die verbonden is aan materialen. Een essentiële aanbeveling is om op korte termijn aanzienlijke vooruitgang te boeken in het verbeteren van de milieueffecten en circulariteit van installaties. Dit vergroot de kans om de gestelde materiaalgebonden en operationele energie grenswaarden van Paris Proof te behalen.

Daarnaast draagt het gebruik van biobased of circulaire materialen significant bij aan het verminderen van de CO₂-uitstoot in vergelijking met traditionele bouwmaterialen. Het integreren van dergelijke materialen op grootschalig niveau kan aanzienlijke voordelen bieden voor de totale CO₂-uitstoot.

Het lijkt niet raadzaam om renovatiebeslissingen enkel te baseren op gunstige CO₂-terugverdiëntijden. Daarentegen bieden de resultaten van de MEPG-indicator een beter onderscheid tussen renovatie-ingrepen en geeft op integraal niveau de betere keuzes weer.

Om bovenstaande te realiseren doen wij de volgende aanbevelingen:

- **Integrale Benadering:** De aanpak van renovaties dient integraal te zijn, waarbij zowel operationeel energieverbruik als materiaalgebonden CO₂-uitstoot in ogenschouw worden genomen. Het gebruik van de MEPG-indicator kan helpen bij het maken van weloverwogen renovatiebeslissingen die rekening houden met meerdere duurzaamheidsaspecten.
- **Versnelling in Circulaire Praktijken:** Er is dringend behoefte aan versnelde inspanningen om de milieu-impact en circulariteit van installaties te verbeteren.
- **Toepassing van Biobased en Circulaire materialen:** Het gebruik van biobased en circulaire materialen verdient aandacht. Deze alternatieve materialen hebben aantoonbaar lagere CO₂-uitstoot en dragen bij aan het verminderen van de ecologische voetafdruk van renovaties. Het opstellen van wetgeving in de vorm van een ondergrens om circulariteit en/of biobased rooveren te stimuleren. Te denken valt hierbij aan een minimaal percentage circulair of biobased bij renovatie. Uit dit onderzoek lijkt een minimaal percentage van 40% haalbaar (figuren in hoofdstuk 6). *Nader onderzoek naar de haalbaarheid van dit percentage voor meerdere gebouwtypes is nodig.*
- **Een gecorrigeerde materiaalgebonden Paris Proof grenswaarde** voor renovatie is eveneens een mogelijkheid. Al vraagt deze optie nader onderzoek gezien de diversiteit in renovatiemogelijkheden (vervanging van één bouwdeel, uitbouw, etc.) en energetische ambities.
- **Financiële stimulans:** Omdat particulieren ook zelf renovaties uitvoeren kunnen circulaire keuzes gestimuleerd worden door binnen het nationale isolatieprogramma een hogere subsidie toe te kennen aan het gebruik van circulaire en/of biobased materialen. Nader onderzoek naar welke producten dan vallen onder circulaire en/of biobased materialen en aan welke eisen deze dienen te voldoen, is nodig.

BIJLAGE 1. Standaard voor woningisolatie

De Standaard voor woningisolatie is een kenmerk op woningniveau, namelijk de netto-warmtevraag, berekend volgens NTA 8800. Daarmee is de Standaard één waarde in kWh/m².jaar die voornamelijk afhankelijk is van de geometrische kenmerken, de bouwkundige kwaliteit, het isolatieniveau en de luchtvolumestromen (ventilatie, infiltratie). De Standaard geeft aan wanneer een woning goed geïsoleerd is en hoeveel warmte dan nodig is om de woning te verwarmen. Daarbij is een niveau gekozen dat als toekomstvast kan worden beschouwd. De betreffende woning hoeft dan voor 2050 niet nogmaals geïsoleerd te worden, bij aansluiting op duurzame bronnen met een lagere temperatuurwarmte, mits de beschikbare temperatuur daarvan ten minste 50°C is (voor vooroorlogse woningen 70°C).

Het niveau komt in de praktijk overeen met een gangbare 'woningbouwcorporatierenovatie' met extra aandacht voor kierdichting en ventilatie. Dit is een isolatieniveau dat gangbaar is bij professionele partijen, zonder dat ingrijpende verbouwing noodzakelijk is. De hoogte van de Standaard is daarnaast afhankelijk van de compactheid van de woningen. De hoogte is zodanig vastgesteld dat er een grote mate van zekerheid ontstaat dat in de praktijk slecht in beperkte mate aanvullende maatregelen aan het afgiftesysteem (zoals vervangen van radiatoren) nodig zijn.

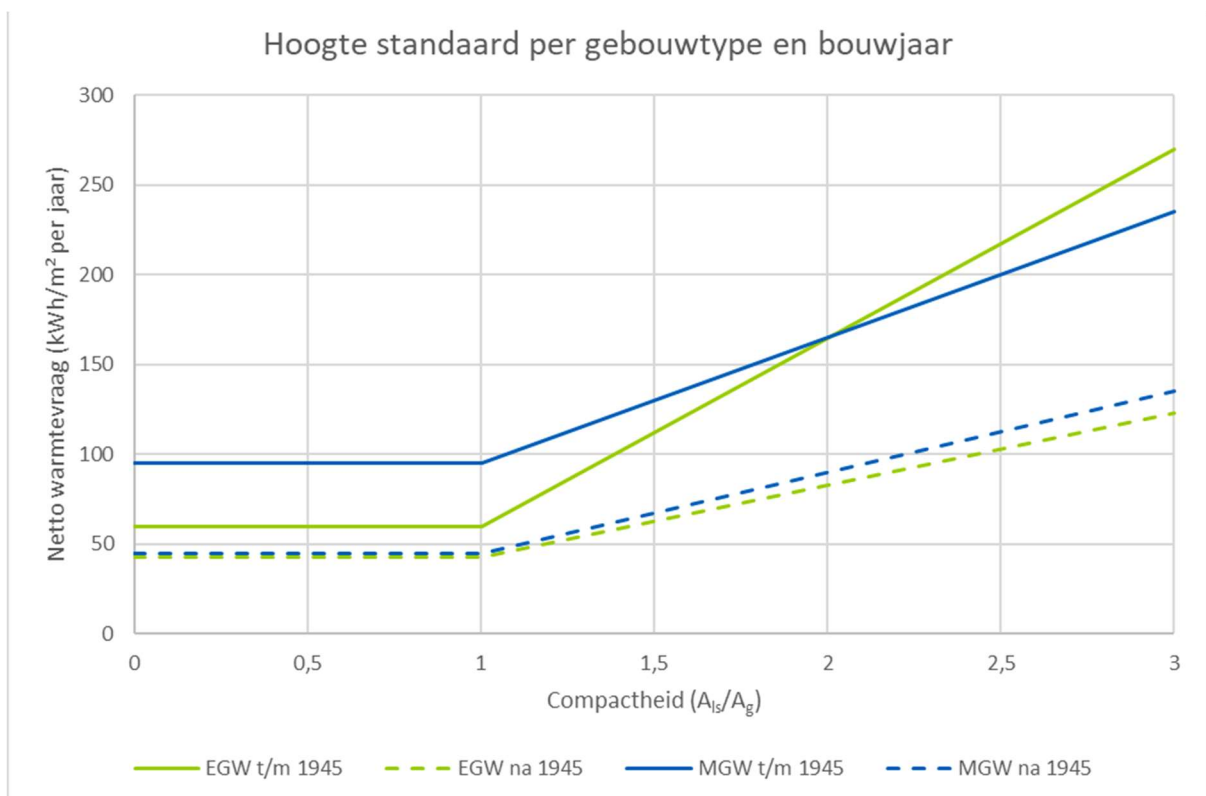
Er wordt bij de Standaard voor woningisolatie onderscheid gemaakt in twee categorieën woningen, eengezinswoningen en meergezinswoningen, en in twee tijdvakken, een bouwperiode voor en na 1945. Naoorlogse woningen hebben een spouwmuur, bij de meeste woningen gebouwd voor 1945 ontbreekt een spouw of is deze te smal om na te isoleren. Dat leidt er toe dat er bij de Standaard voor vooroorlogse woningen vanuit wordt gegaan dat de dichte geveldelen (metselwerk) niet geïsoleerd hoeven worden. Dit resulteert wel in een hogere warmtevraag voor deze woningen. Daarbij is voor de woningen van voor 1945 uitgegaan van een alternatief voor aardgas met een aansluittemperatuur van 70°C en voor woningen vanaf 1945 van uitsluiting op een alternatief met een aansluittemperatuur van 50°C.

Grenswaarden Standaard		
Woningtype	Compactheid (Als/Ag)	Netto warmtevraag per jaar (kWh/m ²)
Eengezinswoningen, tot en met 1945	< 1,00	≤ 60
	≥ 1,00	≤ 60 + 105 * (Als/Ag -1,0)
Eengezinswoningen, na 1945	< 1,00	≤ 43
	≥ 1,00	≤ 43 + 40 * (Als/Ag -1,0)
Meergezinswoningen, tot en met 1945	< 1,00	≤ 95
	≥ 1,00	≤ 95 + 70 * (Als/Ag -1,0)
Meergezinswoningen, na 1945	< 1,00	≤ 45
	≥ 1,00	≤ 45 + 45 * (Als/Ag -1,0)

De hoogte van de Standaard is zo gekozen dat er aan voldaan wordt als de woning volledig geïsoleerd is zonder wijzigingen aan het bestaande casco, zoals voorzetwanden of buitengevelisolatie. Hierbij wordt er bijvoorbeeld rekening gehouden met de dikte van de spouw en ruimte tussen de gordingen van het dak. Onder de begane grondvloer is er over het algemeen meer ruimte en kan dus verdergaand geïsoleerd worden. Door de Standaard te formuleren als eis aan de warmtebehoefte kan er makkelijk worden

afgestemd op een specifieke situatie waarbij al gedeeltelijke isolatie heeft plaatsgevonden of oorspronkelijk aanwezig was.

Uit tabel 1 blijkt dat de grenswaarden van de standaard mede afhankelijk is van de bouwperiode en daarmee van de mogelijkheden qua isolatie. Om dit te illustreren is in figuur 1 met de groene lijn de grenswaarde van de standaard weergegeven voor eengezinswoning en met de blauwe lijn de meergezinswoningen. De doorgaande lijn geeft de vooroorlogse standaard aan en de gestippelde lijn de naoorlogse standaard. Op de horizontale as staat de verhouding A_{is}/A_g (compactheid van de woning) en op de verticale as staat de verhouding voor de netto-warmtebehoefte. Dat illustreert het karakter van de Standaard voor woningisolatie als het minimaal noodzakelijke niveau voor de thermische kwaliteit van de omhulling van de woning.



Figuur 22 Grenswaarde standaard afhankelijk van vormfactor (Bron: Nieman)

BIJLAGE 2. Elektriciteitsopwekking KEV2022 voorspelling

Bron: <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2022> (april 2023; Tabel 19b: Elektriciteitsbalans in petajoule (vastgesteld en voorgenomen beleid) KEV 2022)

Eenheid	Gegevens	Historie en beleidsvarianten	2020	2021	2025	2030	2040	2050
PJ	Bruto elektriciteitsproductie totaal	Historie	100%	100%				
PJ	Bruto elektriciteitsproductie totaal	Voorgenomen beleid			100%	100%	100%	100%
PJ	Bruto elektriciteitsproductie fossiele brandstoffen	Historie	71%	65%				
PJ	Bruto elektriciteitsproductie fossiele brandstoffen	Voorgenomen beleid			45%	24%	22%	19%
PJ	Bruto elektriciteitsproductie aardgas	Historie	59%	46%				
PJ	Bruto elektriciteitsproductie aardgas	Voorgenomen beleid			26%	20%	21%	19%
PJ	Bruto elektriciteitsproductie steenkool	Historie	6%	12%				
PJ	Bruto elektriciteitsproductie steenkool	Voorgenomen beleid			13%	0%	0%	0%
PJ	Bruto elektriciteitsproductie overig fossiel	Historie	3%	3%				
PJ	Bruto elektriciteitsproductie overig fossiel	Voorgenomen beleid			3%	2%	1%	0%
PJ	Bruto elektriciteitsproductie kernenergie	Historie	3%	3%				
PJ	Bruto elektriciteitsproductie kernenergie	Voorgenomen beleid			3%	2%	0%	0%
PJ	Bruto elektriciteitsproductie hernieuwbaar	Historie	27%	33%				
PJ	Bruto elektriciteitsproductie hernieuwbaar	Voorgenomen beleid			53%	75%	78%	81%
PJ	Bruto elektriciteitsproductie waterkracht	Historie	0%	0%				
PJ	Bruto elektriciteitsproductie waterkracht	Voorgenomen beleid			0%	0%	0%	0%
PJ	Bruto elektriciteitsproductie windenergie	Historie	12%	15%				
PJ	Bruto elektriciteitsproductie windenergie	Voorgenomen beleid			30%	58%	56%	57%
PJ	Bruto elektriciteitsproductie zonne-energie	Historie	7%	9%				
PJ	Bruto elektriciteitsproductie zonne-energie	Voorgenomen beleid			15%	15%	20%	22%
PJ	Bruto elektriciteitsproductie biomassa	Historie	7%	9%				
PJ	Bruto elektriciteitsproductie biomassa	Voorgenomen beleid			9%	2%	2%	2%
PJ	Bruto elektriciteitsproductie overig	Historie	2%	2%				
PJ	Bruto elektriciteitsproductie overig	Voorgenomen beleid			1%	1%	1%	1%
			2020	2021	2025	2030	2040	2050
		fossiel	73%	67%	47%	25%	22%	20%
		CO2-eq. Per jaar	3,72E-01	3,40E-01	2,37E-01	1,28E-01	1,13E-01	9,91E-02
		hernieuwbaar	27%	33%	53%	75%	78%	81%
		CO2-eq. Per jaar	1,80E-02	2,22E-02	3,58E-02	5,01E-02	5,21E-02	5,39E-02
		obv NMD energiedragers rapport	0,3898	0,3621	0,2725	0,1781	0,1653	0,1530
					-25%	-35%	-7%	-7%

Figuur 23 Energieverkenning KEV 2022 omgezet naar kg CO₂-eq.

BIJLAGE 3. Energiescenario's

- Overzichtsblad grondgebonden tussenwoning
- Overzichtsblad meergezinswoning tussenappartement

ENERGIECONCEPT - GRONDgebONDEN WONING

Berekening conform NTA 8800:2022



PROJECTGEGEENS

Project	Circulaire energierenovatie
Projectnummer	20211194
Opdrachtgever	Copper8 / TKI Urban Energy
Datum	9 juni 2023

UITGANGSPUNTEN

Oriëntatie	voorgevel noord
Bouwjaar	1968
Complex	tussenwoning
Conceptiehoofd (A.J.A.)	1.46
Berekeningsprogramma	Uniec 3.1.6.5 Bassopropane

BOUWKUNDIG	HUIDIGE SITUATIE	1. 'STANDAARD VOOR WONINGISOLATIE'	2. 'VOORBIJ DE STANDAARD VOOR WONINGISOLATIE'	3. 'PARIS PROOF'
Begane grondvloer	R _s = 0,15 m ² /Kw ongel isoleerd	R _s = 3,48 m ² /Kw ongel isoleerd	R _s = 5,00 m ² /Kw vloer/bodemisolatie	R _s = 5,00 m ² /Kw vloer/bodemisolatie
Vloer boven buitenlucht (entree)	R _s = 0,35 m ² /Kw ongel isoleerd	R _s = 0,35 m ² /Kw ongel isoleerd	R _s = 2,00 m ² /Kw 80 mm isolatie	R _s = 2,00 m ² /Kw 80 mm isolatie
Luchtspleet	R _s = 0,35 m ² /Kw ongel isoleerd	R _s = 1,63 m ² /Kw 60 mm isolatie in spouw (na-isolatie)	R _s = 4,70 m ² /Kw buitengevelisolatie / binnengevelisolatie / prefab gevel	R _s = 4,70 m ² /Kw buitengevelisolatie / binnengevelisolatie / prefab gevel
Hellend dakconstructie	R _s = 0,22 m ² /Kw ongel isoleerd	R _s = 3,55 m ² /Kw 150 mm isolatie	R _s = 6,30 m ² /Kw nieuwe dakconstructie	R _s = 6,30 m ² /Kw nieuwe dakconstructie
Gevelpanelen	R _s = 2,14 m ² /Kw 80 mm isolatie	R _s = 2,14 m ² /Kw 80 mm isolatie	R _s = 4,70 m ² /Kw buitengevelisolatie / binnengevelisolatie / prefab gevel	R _s = 4,70 m ² /Kw buitengevelisolatie / binnengevelisolatie / prefab gevel
Glasoppeningen (incl. kozijn)	U _g = 2,90 W/m ² /K U _g = 5,10 W/m ² /K verdieping enkel glas in houten kozijn	U _g = 1,80 W/m ² /K U _g = 1,80 W/m ² /K HR++ glas in houten kunststof kozijn (open kwaliteitsverklaring)	U _g = 1,00 W/m ² /K U _g = 1,00 W/m ² /K triple-glas in kunststof kozijn (kwaliteitsverklaring)	U _g = 1,00 W/m ² /K U _g = 1,00 W/m ² /K triple-glas in kunststof kozijn (kwaliteitsverklaring)
Paneel in kozijn	U _g = 3,70 W/m ² /K ongel isoleerd paneel in houten kozijn (bovenlicht)	U _g = 1,65 W/m ² /K ongel isoleerd paneel, isolatiekleef orberand, bouwjaar > 2014	U _g = 1,65 W/m ² /K ongel isoleerd paneel, isolatiekleef orberand, bouwjaar > 2014	U _g = 1,65 W/m ² /K geïsoleerd paneel, isolatiekleef orberand, bouwjaar > 2014
Dakraam	U _g = 6,20 W/m ² /K ongel glas in metaal kozijn	U _g = 1,80 W/m ² /K HR++ glas in houten kunststof kozijn (open kwaliteitsverklaring)	U _g = 1,00 W/m ² /K HR++ glas in houten kunststof kozijn (open kwaliteitsverklaring)	U _g = 1,00 W/m ² /K HR++ glas in houten kunststof kozijn (open kwaliteitsverklaring)
Voordeur	U _g = 3,40 W/m ² /K ongel isoleerde deur (met enkel glas)	U _g = 3,40 W/m ² /K ongel isoleerde deur (met HR++-glas)	U _g = 2,00 W/m ² /K geïsoleerde deur (met HR++-glas)	U _g = 2,00 W/m ² /K geïsoleerde deur (met HR++-glas)
Achterdeur	U _g = 3,40 W/m ² /K ongel isoleerde deur	U _g = 3,40 W/m ² /K ongel isoleerde deur (met HR++-glas)	U _g = 2,00 W/m ² /K geïsoleerde deur (met HR++-glas)	U _g = 2,00 W/m ² /K geïsoleerde deur (met HR++-glas)
Kelder, kruipruimte/bodem mv	R _s = 1,80 m ² /Kw R _s = 0,00 m ² /Kw	R _s = 1,80 m ² /Kw R _s = 0,00 m ² /Kw	R _s = 1,80 m ² /Kw R _s = 0,00 m ² /Kw	R _s = 1,80 m ² /Kw R _s = 0,00 m ² /Kw
Kelder-, kruipruimtevloer	onbekend	onbekend	onbekend	onbekend
Verticale ledingen door thermische schil	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Isolatie	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Specifieke interne warmtecapaciteit	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Buizenzoning	niet aanwezig	niet aanwezig	niet aanwezig	niet aanwezig
Zomernachtventilatie	niet aanwezig	niet aanwezig	niet aanwezig	niet aanwezig

INSTALLATIETECHNISCH

Verwarming - opwekking	gsgestookte ketel HR 107-ketel	gsgestookte ketel HR 107-ketel	gsgestookte ketel HR 107-ketel	elektrische lucht/water warmtepomp
Verwarming - specificatie	onbekend	onbekend	onbekend	COP verwarming: 5,2
Verwarming - type distributiesysteem	twee pijpsysteem	twee pijpsysteem	twee pijpsysteem	twee pijpsysteem
Verwarming - aanvoertemperatuur	HT (90/70°C)	HT (90/70°C)	HT (90/70°C)	L1 (40°C)
Verwarming - waterzijdig inregelend	niet waterzijdig inregelend	niet waterzijdig inregelend	niet waterzijdig inregelend	niet waterzijdig inregelend
Verwarming - leidinggegevens	isolate orberand, ledingen door onverwarmde ruimte	isolate orberand, ledingen door onverwarmde ruimte	isolate orberand, ledingen door onverwarmde ruimte	isolate orberand, ledingen door onverwarmde ruimte
Verwarming - distributiepomp	geen aanvullende distributiepomp	geen aanvullende distributiepomp	geen aanvullende distributiepomp	geen aanvullende distributiepomp
Verwarming - afgiftesysteem	radatoren, buitenwand	radatoren, buitenwand	radatoren, buitenwand	radatoren, buitenwand
Verwarming - ruimtemtemperatuur regeling	regeling orberand	regeling orberand	regeling orberand	regeling orberand
Warmtapwater - opwekking	gsgestookt combi toestel	gsgestookt combi toestel	gsgestookt combi toestel	elektrische lucht/water warmtepomp
Warmtapwater - specificatie	met gaskleur HR en CW (CW-3)	met gaskleur HR en CW (CW-3)	met gaskleur HR en CW (CW-3)	COP warmtapwater: 2,95
Warmtapwater - leidinggegevens	leidinggegevens: badruimte 2-6m, keukens 6-8m	leidinggegevens: badruimte 6-8m, keukens 6-8m	leidinggegevens: badruimte 6-8m, keukens 6-8m	leidinggegevens: badruimte 6-8m, keukens 6-8m
Warmtapwater - inwendige diameter leiding naar aanrecht	onbekend	onbekend	onbekend	onbekend
Warmtapwater - dooswarmeertestbaar	niet aanwezig	niet aanwezig	niet aanwezig	niet aanwezig
Warmtapwater - zonnecollector	niet aanwezig	niet aanwezig	niet aanwezig	niet aanwezig
Ventilatie - principe	A1. Natuurlijke ventilatie	C4c. Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer	D. Mechanische toevoer en mechanische afvoer	D. Mechanische toevoer en mechanische afvoer
Ventilatie - specificatie ventilatiesysteem	n.v.t.	luchtdrukgestuurde toevoer, sturing op afvoer door CO2-meting in woonkamer en hoofdslaapkamer	0,2 centrale WTW-installatie zonder zonering, zonder sturing	0,2 centrale WTW-installatie zonder zonering, zonder sturing
Ventilatie - warmteterugwinning	n.v.t.	n.v.t.	90%	90%
Ventilatie - ventilatoren	n.v.t.	n.v.t.	forfaitair ventilator vermogen	forfaitair ventilator vermogen
Ventilatie - toevoerkanaal van buiten naar WTW toestel	n.v.t.	onbekend, fabricagejaar > 2010	toevoerkanaal geïsoleerd, type en lengte orberand	toevoerkanaal geïsoleerd, type en lengte orberand
Ventilatie - luchtdichtheidsklasse ventilatiekanalen	n.v.t.	onbekend	onbekend	onbekend
Ventilatie - geluidsterkte ventilatiecapaciteit	n.v.t.	onbekend	onbekend	onbekend
Ventilatie - passieve koeling	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Koeling	geen koeling	geen koeling	geen koeling	geen koeling
Zonne-energie - PV-panelen	geen PV-panelen	geen PV-panelen	geen PV-panelen	drie varianten: geen, 4 en 8 PV-panelen à 380 Wp/paneel (zuid)

Warmtebehoefte + CO₂-emissie (woningniveau)

Woningtype	Netto warmtebehoefte	Energie label (EP2)	Netto warmtebehoefte	Energie label (EP2)	Netto warmtebehoefte	Energie label (EP2)	Netto warmtebehoefte	Energie label (EP2)
Tussenwoning (voorgevel noord)	184 kWh/m ²	label D (274,3 kWh/m ²)	61 kWh/m ²	label A (123,1 kWh/m ²)	31 kWh/m ²	label A+ (89,99 kWh/m ²)	61 kWh/m ²	label A (123,1 kWh/m ²)

Werkelijke Energie intensiteit indicator (Woi)	Elektriciteit	Aardgasgebruik	WEL	Elektriciteit	Aardgasgebruik	WEL	Elektriciteit	Aardgasgebruik	WEL
Tussenwoning (voorgevel noord)	2.600 kWh	1.447 m ³	159 kWh (WEL klasse: onzuinig)	2.600 kWh	1.322 m ³	146 kWh (WEL klasse: onzuinig)	2.600 kWh	909 m ³	111 kWh (WEL klasse: gemiddeld)
Werkijk (b.v. postcode) ¹⁾	2.600 kWh	1.447 m ³	159 kWh (WEL klasse: onzuinig)	2.600 kWh	1.322 m ³	146 kWh (WEL klasse: onzuinig)	2.600 kWh	909 m ³	111 kWh (WEL klasse: gemiddeld)

CO ₂ emissie (aardgas- en elektriciteitsgebruik)	Elektriciteit	Aardgas	Totaal	Elektriciteit	Aardgas	Totaal	Elektriciteit	Aardgas	Totaal
1.176 kg	6.027 kg	6.227 kg	1.176 kg	4.824 kg	3.702 kg	4.824 kg	1.240 kg	2.545 kg	3.794 kg

¹⁾ Het Woi-verbruik wordt in het kader van open data door de Nederlandse netbeheerders gepubliceerd als gemiddeld gebruik per postcodegebied. Voor de betreffende woning bedroeg het verbruik over 2022: 1.447 m³ (bron: Cofis)

²⁾ Voor de CO₂-emissiefactoren wordt uitgegaan van 0,38664 kWh en 2,8 kWh/m³ conform het NMD-rapport: eindconcent - LCA rapportage productiekansen energoedificaties NMD

Tabel 4: WEL klassen van grondgebonden woningen

	Ondergrens (>) [kWh/m ²]	Bovengrens (<=) [kWh/m ²]
Werkelijk energieneutraal (wENG)	-	0
Paris Proof (DGBG)	0	35
Zeer Zuinig	35	55
Zuinig	55	90
Gemiddeld	90	140
Onzuinig	140	170
Zeer Onzuinig	170	-

ENERGIECONCEPT - GALERIJFLAT

Berekening conform NTA 8800:2022



PROJECTGEGEVENS	
Project	Circulaire energierenovaties
Projectnummer	20211196
opdrachtgever	Copper8 / TKI Urban Energy
datum	9 juni 2023

UITGANGSPUNTEN	
Oriëntatie	galeriesgevel oost
Bouwjaar	1966
Complex	tussenappartement - boven
Complexnaam (A.J.A.)	1.67
Berekeningprogramma	Uniec 3.1.6.5 Bassoprofne

BOUWKUNDIG	HUIDIGE SITUATIE	1. 'STANDAARD VOOR WONINGISOLATIE'	2. 'VOORBIJ DE STANDAARD VOOR WONINGISOLATIE'	3. 'PARIS PROOF'
Vloer boven bergringen	$R_{s,i} = 0,15 \text{ m}^2/\text{K}$	ongeliseerd	-	-
Langsgang	$R_{s,i} = 0,43 \text{ m}^2/\text{K}$	isoliatie onbekend, bouwjaarklasse 1965-1974	$U_{s,i} = 0,90 \text{ W/m}^2/\text{K}$	$R_{s,i} = 4,50 \text{ m}^2/\text{K}$
Kogelwiel	$R_{s,i} = 0,35 \text{ m}^2/\text{K}$	ongeliseerde spouw	-	-
Plat dakconstructie	$R_{s,i} = 0,86 \text{ m}^2/\text{K}$	isoliatie onbekend, bouwjaarklasse 1965-1974	$R_{s,i} = 3,55 \text{ m}^2/\text{K}$	$R_{s,i} = 6,30 \text{ m}^2/\text{K}$
Gevelpanelen	-	-	-	-
Glasoppeningen (incl. kozijn)	$U_{g,i} = 2,90 \text{ W/m}^2/\text{K}$ $U_{g,e} = 5,10 \text{ W/m}^2/\text{K}$ $U_{g,i} = 3,70 \text{ W/m}^2/\text{K}$ $U_{g,e} = 3,40 \text{ W/m}^2/\text{K}$ $U_{g,i} = 3,40 \text{ W/m}^2/\text{K}$ $U_{g,e} = 3,40 \text{ W/m}^2/\text{K}$	ramen: dubbel glas in houten kozijn Meppanen: enkel glas in houten kozijn ongeliseerd paneel in houten kozijn ongeliseerde deur (met enkel glas) ongeliseerde deur (met enkel glas)	HR++-glas in houten/kunststof kozijn (kwaliteitsverklaring) HR++-glas in houten/kunststof kozijn (kwaliteitsverklaring) $U_{g,i} = 1,00 \text{ W/m}^2/\text{K}$ $U_{g,e} = 0,90 \text{ W/m}^2/\text{K}$ $U_{g,i} = 2,00 \text{ W/m}^2/\text{K}$ $U_{g,e} = 2,00 \text{ W/m}^2/\text{K}$	$U_{g,i} = 1,00 \text{ W/m}^2/\text{K}$ $U_{g,e} = 1,00 \text{ W/m}^2/\text{K}$ - $U_{g,i} = 2,00 \text{ W/m}^2/\text{K}$ $U_{g,e} = 2,00 \text{ W/m}^2/\text{K}$
Paneel in kozijn	-	-	-	-
Voordeur	$R_{s,e} = 0,43 \text{ m}^2/\text{K}$	ongeliseerd	$R_{s,e} = 1,69 \text{ m}^2/\text{K}$	$R_{s,e} = 1,69 \text{ m}^2/\text{K}$
Achterdeur	$R_{s,e} = 0,00 \text{ m}^2/\text{K}$	onbekend	$R_{s,e} = 0,00 \text{ m}^2/\text{K}$	$R_{s,e} = 0,00 \text{ m}^2/\text{K}$
Kelder-, Inruimte wanden boven mv	-	-	-	-
Kelder-, Inruimte wanden	-	-	-	-
Verlicke ledingen door thermische schil	-	-	-	-
Infiltratie	-	-	-	-
Specifieke interne warmtecapaciteit	met niet aanwezig	met niet aanwezig	met niet aanwezig	met niet aanwezig
Buizenomringing	niet aanwezig	niet aanwezig	niet aanwezig	niet aanwezig
Zomernachtventilatie	niet aanwezig	niet aanwezig	niet aanwezig	niet aanwezig

INSTALLATIETECHNISCH				
Verwarming - opwekking	gasgestookte ketel: HR 107-ketel	gasgestookte ketel: HR 107-ketel	gasgestookte ketel: HR 107-ketel	elektrische lucht/water warmtepomp
Verwarming - specificatie	onbekend	onbekend	onbekend	COP verwarming: 5,5
Verwarming - type distributiesysteem	two-pipe systeem	two-pipe systeem	two-pipe systeem	two-pipe systeem
Verwarming - aanvoertemperatuur	HT (90/70°C)	HT (90/70°C)	HT (90/70°C)	LT (40°C)
Verwarming - waterzijdig inregelend	niet waterzijdig inregelend	niet waterzijdig inregelend	niet waterzijdig inregelend	niet waterzijdig inregelend
Verwarming - ledingsgegevens	isoliatie onbekend, ledingen door onverwarme ruimte	isoliatie onbekend, ledingen door onverwarme ruimte	isoliatie onbekend, ledingen door onverwarme ruimte	isoliatie onbekend, ledingen door onverwarme ruimte
Verwarming - distributiepomp	geen aanvullende distributiepomp	geen aanvullende distributiepomp	geen aanvullende distributiepomp	geen aanvullende distributiepomp
Verwarming - afgiftesysteem	radatoren, buitenwand	radatoren, buitenwand	radatoren, buitenwand	radatoren, buitenwand
Verwarming - radiatoromvang	regelend onbekend	regelend onbekend	regelend onbekend	regelend onbekend
Warmtapwater - opwekking	gasgestookt combi-toestel	gasgestookt combi-toestel	gasgestookt combi-toestel	elektrische lucht/water warmtepomp
Warmtapwater - specificatie	met gaskeur HR en CW (CW-3)	met gaskeur HR en CW (CW-3)	met gaskeur HR en CW (CW-3)	COP warmtapwater: 2,70
Warmtapwater - ledingsgegevens	leidingdiameter: badruimte 2-4m; keuklen 4-6m	leidingdiameter: badruimte 2-4m; keuklen 4-6m	leidingdiameter: badruimte 2-4m; keuklen 4-6m	leidingdiameter: badruimte 6-8m; keuklen 6-8m
Warmtapwater - inweergediameter leiding naar aanrecht	onbekend	onbekend	onbekend	onbekend
Warmtapwater - douchemarmeeselbaar	niet aanwezig	niet aanwezig	niet aanwezig	niet aanwezig
Warmtapwater - zonnecollector	niet aanwezig	niet aanwezig	niet aanwezig	niet aanwezig
Ventilatie - principe	A1: Natuurlijke ventilatie	C1c: Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer	D: Mechanische toevoer en mechanische afvoer	D: Mechanische toevoer en mechanische afvoer
Ventilatie - specificatie ventilatiesysteem	n.v.t.	luchtdrukgestuurde toevoer, sturing op afvoer door CO2-meting in woonkamer en hoofdslaapkamer	D:2 centrale WTW-installatie zonder zonering, zonder sturing	D:2 centrale WTW-installatie zonder zonering, zonder sturing
Ventilatie - warmte terugwinning	n.v.t.	90%	90%	90%
Ventilatie - ventilatoren	n.v.t.	onbekend, fabricagejaar > 2010	forfaitair ventilator vermogen	forfaitair ventilator vermogen
Ventilatie - toevoerkanaal van buiten naar WTW toestel	n.v.t.	onbekend	toevoerkanaal geïsoleerd, type en lengte onbekend	toevoerkanaal geïsoleerd, type en lengte onbekend
Ventilatie - luchtschikbeidsklasse ventilatiekanalen	n.v.t.	onbekend	onbekend	onbekend
Ventilatie - geluidsdempende ventilatiecapaciteit	n.v.t.	onbekend	onbekend	n.v.t.
Ventilatie - passieve koeling	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	geen koeling
Koeling	geen koeling	geen koeling	geen koeling	geen koeling
Zonne-energie - PV-panelen	geen PV-panelen	geen PV-panelen	geen PV-panelen	drie varianten: open, 4 en 8 PV-panelen à 380 Woltotiaal (zuid) - elat dak NB: in de praktijk is het beschikbare dakvlak maatgevend

Warmtebehoefte + CO₂-emissie (woningniveau)

Woningtype	Netto warmtebehoefte	Energie label (EP2)	Netto warmtebehoefte	Energie label (EP2)	Netto warmtebehoefte	Energie label (EP2)	Netto warmtebehoefte	Energie label (EP2)
Tussenwoning (voorgevel noord)	Grenswaarde: 75 kWh/m² 200 kWh/m² label E (295,8 kWh/m²)		Grenswaarde: 75 kWh/m² 74 kWh/m² label A (1141,01 kWh/m²)		Grenswaarde: 75 kWh/m² 46 kWh/m² label A (1112,3 kWh/m²)		Grenswaarde: 75 kWh/m² 46 kWh/m²	

Werkelijke Energie Intensiteit Indicator (WEI)			Geen PV-panelen									
Tussenwoning (voorgevel noord)	gebouweigebonden	Elektriciteit: 372 kWh Wehki (b.v. postcode): 2.192 kWh	gebouweigebonden	Elektriciteit: 295 kWh Aardgasgebruik: 2.192 kWh	WEI: 169 kWh (WEI klasse: onzuring)	gebouweigebonden	Elektriciteit: 531 kWh Aardgasgebruik: 617 m³	WEI: 127 kWh (WEI klasse: gemiddeld)	gebouweigebonden	Elektriciteit: 512 kWh Aardgasgebruik: 617 m³	WEI: 104 kWh (WEI klasse: gemiddeld)	
Wenkei (b.v. postcode)	gebouweigebonden	Elektriciteit: 372 kWh Aardgasgebruik: 2.192 kWh	gebouweigebonden	Elektriciteit: 295 kWh Aardgasgebruik: 2.192 kWh	WEI: 169 kWh (WEI klasse: onzuring)	opwekking	Elektriciteit: 2.182 kWh Aardgasgebruik: 5.000 kWh	WEI: 52 kWh (WEI klasse: Zeer Zuring)	opwekking	Elektriciteit: 2.182 kWh Aardgasgebruik: 5.000 kWh	WEI: 27 kWh (WEI klasse: Zeer Zuring)	
CO ₂ emissie (gebouweigebonden)	991 kg	Aardgas: 3.354 kg	Totaal: 4.345 kg	991 kg	3.354 kg	Totaal: 4.345 kg	1.690 kg	3.354 kg	Totaal: 5.044 kg	1.690 kg	3.354 kg	Totaal: 5.044 kg

¹ Het Meetverbruik wordt in het kader van een data door de Nederlandse netbeheerders opgeleed als oemiddelid gebruik over aansluiting op postcodegebied. Voor de betreffende woning bedroeg het verbruik (voor renovatie) 1198 m³ (bron: Enecis)
² Het meetverbruik is gecorrigeerd op basis van de berekening met NTA 8800
³ Voor de CO₂-emissiegegevens wordt uitgaans van 0,3864 kWh en 2,8 kWh/m³ conform het NMD-rapport eindconcent - LCA rapportage productiekanten energiedoelzaken NMD

Tabel 5: WEI klassen van appartamenten (grondgebonden woningen +10)

	Ondergrens	Bovengrens
Werkelijk energieneutraal (vENG)	-	0
Paris Proof (DGBIC)	0	45
Zeer Zuring	45	65
Zuring	65	100
Gemiddeld	100	150
Onzuring	150	180
Zeer Onzuring	180	-

BIJLAGE 4. NMD-data

In de tabel op de volgende pagina is vastgelegd welke NMD kaart is gehanteerd voor de toegepaste materialen in de analyse.

In algemene zin geldt dat:

- De voorkeur is gegeven aan cat 2 en cat 3 data, maar waar deze niet voorhanden was cat1 data is gehanteerd.
- Schaalbare kaarten, zoals isolatie, zijn geschaald naar de benodigde R-waarde of afmeting(en).
- Dikte van het glas is afgestemd met Niemann om aan te sluiten bij de door hen gehanteerde U-waarden.
- Hergebruik is berekend door het GWP van module A1 t/m A3 te vermenigvuldigen met een factor van 0,2 conform de bepalingsmethode.

Ten tijde van schrijven was de NMD viewer niet beschikbaar. Daarom is GPR Materiaal gebruikt om de benodigde 'Global warming potential'-waarden van de NMD kaarten uit te lezen. De peildatum was 6 april 2023.

Tevens zijn een aantal profielen gebaseerd op een recent studie voor cat 3 NMD productkaarten voor installaties.

Naast milieu-informatie is voor elke kaart bepaald wat het gewicht, de secundaire content en de hernieuwbare content is. Deze gegevens zijn bepaald aan de hand van de volgende bronnen, welke op voorkeursvolgorde staan benoemd. De eerste bron is als eerste geraadpleegd en indien de informatie niet stond omschreven is de volgende bron genomen enzovoort:

- Omschrijving NMD kaart
- Documentatie van de kaarteigenaar (bv EPD van de branche of technisch fiche van de producent)
- Representatief EcolInvent profiel
- Vergelijkbaar profiel uit NIBE Milieuclassificaties

Onderdeel	Gekozen NMD kaart	Cat	Opmerking
Glaswol	isolatielagen, glaswol mwa 2012; platen [x]	3	
EPS spouwparels	EPS spouwparel [x]	1	
HR++ glas	Buitenbeglazing, HR++ (dubbel) glas; coating/gasvulling (argon), 4/15/5 mm	3	
EPS bodemparels	EPS bodemparels [x]	1	
CV ketel - verwarming	Warmteopwekkingsinstallaties W-bouw, Individuele cv-ketel 24 kW (solo)	3	
CV ketel - tapwater	Warmtapwaterinstallaties, Individuele combiketel; toeslag op hr-ketel (solo); Cw:4-6	3	
Ventilatie type C	Ventilatie woning, type C, stuks	3	O.b.v. Rapport Categorie 3 Ventilatie type C & D - LBP Sight, 2023. 30% toeslag t.b.v. cat3 toegevoegd.
Houtvezelisolatie	Houtvezel flexibele isolatie (55 kg/m3) [x]	3	
Biobased EPS parels	Isolatielagen, schuimisolatie van biopolymeren (BIO-EPS) [x]	1	
Voorzet glas - glas	Buitenbeglazing, Enkel glas; droog beglaasd [5]	3	
Voorzet glas - aluminium kader	Verlaagde plafonds bevestigingsprofielen, aluminium profiel [18, 11]	3	Aanname voor aluminium profiel rondom het voorzetglas. Aantal m ¹ per m ² raam is $2*(3,3+1,5)/(3,3*1,5) = 2,55$. Bron afmeting profiel: https://www.glashandelonline.com/voorzetramen-aluminium/6mm/?
Gerecyclede kleding	Isolatielagen, Metisse RRT100 [x]	1	
Gevelisolatie cellulose	Isolatielagen, Cellulose [x]	3	
50/50 Hergebruikt HR++ glas	50/50 hergebruikt Buitenbeglazing, HR++ (dubbel) glas; coating/gasvulling (argon), 6/16/6 mm	3	HR++ glas waarvan 1 glasplaat is hergebruikt en de andere een nieuwe glasplaat betreft obv 33.1/*33.1 HR++ (2x 6mm glas) U=1,1 van Isomax: https://iso-max.nl/assortiment/
Aluminium folie vloerisolatie	Isolatielagen, Tonzon Thermoskussens, 3 luchtkamers (60-142 cm)	1	Dit profiel is niet schaalbaar. R=5.
Dakelement - tengellatten	Constructies in kg of m3, Europees naaldhout, duurzame bosbouw	3	Uitgangspunten: 3 tengellatten per m2 van 16x43 mm met een dichtheid van 460 kg/m ³
Dakelement - spaanplaat	Bekledingen systeemwanden niet dragend, spaanplaat [12]	3	
Dakelement - PE folie	Bodemafsluitingen, PE folie [0.23]	3	Aanname voor dampremmende laag.
Keramische pannen	Hellend dakbedekkingen, Keramische pan - ongeglazuurd	3	
EPS isolatieplaten	Isolatielagen, EPS [x]	3	
Baksteen strips	Baksteenstrips gezaagd, cementgebonden mortel, KNB	2	

Kunststof vast kozijn	Kunststof raamkozijn, vast kozijn, met VKG keurmerk	2	
Kunststof vleugelkozijn	Kunststof raamkozijn, vleugeldeel, met VKG keurmerk	2	
HR+++ glas	Buitenbeglazing, Drievoudig glas; droog beglaas [16]	3	
Dakelement - ribben & tengellatten	Constructies in kg of m ³ , Europees naaldhout, duurzame bosbouw	3	Uitgangspunten: 3 tengellatten van 16x43 mm en 2 ribben van 70x245 mm per m ² met een dichtheid van 460 kg/m ³
Dakisolatie vlas	Isovlas PL bouwisolatie 47.1 [x]	1	
Rieten dak	Hellend dakbedekkingen, riet, schroefdak	3	De impact van riet is afhankelijk van herkomst (transportafstand); hier is vermoedelijk gekozen voor Nederland.
HSB element - stijlen & regels	Constructies in kg of m ³ , Europees naaldhout, duurzame bosbouw	3	Uitgangspunten: Stijlen h.o.h 0,6m met boven en onder regels, beiden 38x170mm met een dichtheid van 460 kg/m ³ . Hoogte element 2,75m.
HSB element - spaanplaat	Bekledingen systeemwanden niet dragend, spaanplaat [12]	3	
Gevelisolatie vlas	Isovlas PL bouwisolatie 21.1 [x]	1	
HSB element - PE folie	Bodemafsluitingen, PE folie [0.23]	3	Aanname voor dampremmende laag.
HSB element - gipskartonplaat	Bekledingen systeemwanden niet dragend, gipskartonplaat [12,5]	3	
Houten gevelbekleding	Bekledingen, Gevelbekleding van Europees naaldhout, verduurzaamd, niet geschilderd [18]	2	
Houten vast kozijn	Buitenkozijnen, europees naaldhout, kozijn vast; geschilderd, duurz. Bosbeheerd	2	
Houten vleugelkozijn	Buitenkozijnen, eur. Naaldhout, kozijn + draaiend raam; geschilderd, h&s; duurz. Bosb	2	
Vacuüm glas	Buitenbeglazing, HR (dubbel) glas; coating, 4/12/4 mm	3	Aanname voor vacuüm glas, spouw is in werkelijkheid veel dunner. Bron: https://www.fineoglass.eu/nl/product/
Dakisolatie cellulose	Isolatielagen, Cellulose [x]	3	
Hergebruikte pannen	Hergebruikt Hellend dakbedekkingen, Keramische pan - ongeglazuurd	3	
Hergebruikte baksteenstrips	Hergebruikte Baksteenstrips gezaagd, cementgebonden mortel, KNB	2	
50/50 hergebruikt houten vast kozijn	50/50 hergebruikt Buitenkozijnen, europees naaldhout, kozijn vast; geschilderd, duurz. Bosbeheerd	2	Aan de binnenzijde wordt hergebruikt hout toegepast, aan de buitenzijde nieuw hout
50/50 hergebruikt houten vleugelkozijn	50/50 hergebruikt Buitenkozijnen, eur. Naaldhout, kozijn + draaiend raam; geschilderd, h&s; duurz. Bosb	2	Aan de binnenzijde wordt hergebruikt hout toegepast, aan de buitenzijde nieuw hout

Warmtepomp	Individueel - Lucht-water warmtepomp, split unit, R-134a, stuks (5 kWt)	3	O.b.v. NMD Categorie 3 rapportage warmtepompen – LBP Sight, 2023. Variant 5 kW o.b.v. MPG Dynamisch model_woningen_DATABASE.xlsx – LBP Sight, 2023 (30% toeslag reeds toegepast) Resultaten NIET verrekend met de tijdelijke rekenfactor
Vorraadvat	Vorraadvat 150 liter	3	O.b.v. MPG Dynamisch model_woningen_DATABASE.xlsx – LBP Sight, 2023 (30% toeslag reeds toegepast)
Ventilatie type D	Ventilatie woning, type D, stuks	3	O.b.v. Rapport Categorie 3 Ventilatie type C & D – LBP Sight, 2023. 30% toeslag t.b.v. cat3 toegevoegd.
PV-panels hellend dak	PV paneel – monokristallijn / hellend dak	3	O.b.v. Rapport PV Cat 3 NMD – LBP Sight, 2023. 30% toeslag t.b.v. cat3 toegevoegd.
Omvormer	Omvormer 2500 W	3	O.b.v. Rapport PV Cat 3 NMD – LBP Sight, 2023. 30% toeslag t.b.v. cat3 toegevoegd.
PIR dakisolatie	NVPU; PIR plaat; gecacheerd met alulaminaat platdakisolatie [x]	2	
Bitumen dakbedekking	Plat dakbedekkingen, Stg. Dak en Milieu, Bitumen gemod. eenlaags 4,3 mm, 5,3 kg per m2, volledig gekleefd brandmethode systeem 01, incl. 1x overlagen	2	
PIR gevelisolatie	NVPU; PIR plaat; gecacheerd met alulaminaat gevelisolatie [x]	2	
Houtvezelisolatie drukvast	Isolatielagen, drukvaste houtvezelplaat (130 kg/m3); db [x]	3	
Bitumen (%sec)	Derbigum NT 4 mm (25% sec)	1	
Gevelbeplating	Rockpanel	1	
PV-panels plat dak	PV paneel – polykristallijn / plat dak	3	O.b.v. Rapport PV Cat 3 NMD – LBP Sight, 2023. 30% toeslag t.b.v. cat3 toegevoegd.

BIJLAGE 5. Berekening MEPG circulaire renovaties

Tussenwoning

			2021	2022	2023
Totaal mki (materiaal en levering) NL electra mix €/1kWh			€ 0,028	€ 0,027	€ 0,026
Hernieuwbare energie van PV €/1kWh			€ 0,01658		
Elektriciteitsnet eigen opwekking €/1kWh			€ 0,00167		
Gas €/1m3			€ 0,18000		
Tussenwoning	108,83	m2 BVO			
Levensduur	75	jaar			
Standaard					
	Basis	Biobased	Circulair		
MKI (A-D) in €	916,70	609,92	646,57		
MPG	0,11	0,07	0,08		
Energie berekening conform NTA8800:2022					
gebouwegebonden in kWh	331,00	=331*0,026/108,8	€ 0,08		
gas in m3	1322,00	=1322*0,18/108,8	€ 2,19		
PV in kWh	-	-	-		
teruglevering in kWh	-	-	-		
totaal MEPG	2,38	2,34	2,34		
Voorbij de standaard					
	Basis	Biobased	Circulair		
MKI (A-D) in €	1986,82	1598,62	1602,09		
MPG	0,24	0,20	0,20		
Energie berekening conform NTA8800:2022					
gebouwegebonden in kWh	632,00	=632*0,026/108,8	€ 0,15		
gas in m3	909,00	=909*0,18/108,8	€ 1,50		
PV in kWh	-	-	-		
teruglevering in kWh	-	-	-		
totaal MEPG	1,90	1,85	1,85		
Paris Proof					
	Basis	Biobased	Circulair		
MKI (A-D) in €	8614,70	8226,50	8229,97		
MPG	1,06	1,01	1,01		
Energie berekening conform NTA8800:2022					
gebouwegebonden in kWh	2419,00	-	-		
gas in m3	-	-	-		
PV in kWh	2701	=2701*0,00167/108,8	€ 0,04		
teruglevering in kWh	-282,00	=-282*0,01658/108,8	€ -0,04		
totaal MEPG	1,05	1,01	1,01		

Tussenappartement (boven)

			2021	2022	2023
Totaal mki (materiaal en levering) NL electra mix €/1kWh			€ 0,028	€ 0,027	€ 0,026
Hernieuwbare energie van PV €/1kWh			€ 0,01658		
Elektriciteitsnet eigen opwekking €/1kWh			€ 0,00167		
Gas €/1m3			€ 0,18000		
Tussenappartement	84,30	m2 BVO			
Levensduur	75	jaar			
Standaard					
	Basis	Biobased	Circulair		
MKI (A-D) in €	793,92	505,92	545,63		
MPG	0,13	0,08	0,09		
Energie berekening conform NTA8800:2022					
gebouwegebonden in kWh	295,00	=295*0,026/84,3	€ 0,09		
gas in m3	837,00	=837*0,18/84,3	€ 1,79		
PV in kWh	-	-	-		
teruglevering in kWh	-	-	-		
totaal MEPG	2,00	1,96	1,96		
Voorbij de standaard					
	Basis	Biobased	Circulair		
MKI (A-D) in €	1098,75	981,40	945,05		
MPG	0,17	0,16	0,15		
Energie berekening conform NTA8800:2022					
gebouwegebonden in kWh	531,00	=531*0,026/84,3	€ 0,16		
gas in m3	617,00	=617*0,18/84,3	€ 1,32		
PV in kWh	-	-	-		
teruglevering in kWh	-	-	-		
totaal MEPG	1,65	1,64	1,63		
Paris Proof					
	Basis	Biobased	Circulair		
MKI (A-D) in €	7267,99	7150,64	7114,29		
MPG	1,15	1,13	1,13		
Energie berekening conform NTA8800:2022					
gebouwegebonden in kWh	2182,00	-	-		
gas in m3	-	-	-		
PV in kWh	2523,00	=2523*0,00167/84,3	€ 0,05		
teruglevering in kWh	-341,00	=-341*0,01658/84,3	€ -0,07		
totaal MEPG	1,13	1,11	1,11		

BIJLAGE 6. Berekening CO₂-besparing circulaire renovaties

Projectie CO₂-besparing voor circulaire renovaties op de bestaande eengezinswoningen die gebouwd zijn tussen 1965-1975.

Volgens het CBS zijn er 866502 eengezinswoningen en 423799 meergezinswoningen gebouwd in de periode 1965-1975. Dit omvat ongeveer 18% van de bestaande woningvoorraad in Nederland.

Eengezinswoning	Huidig	Standaard	Voorbij de standaard	Paris Proof
Materiaalgebonden CO₂		in kg CO₂	in kg CO₂	in kg CO₂
Basisscenario per woning		2386	8256	22610
Eengezinswoningen 1965-1975 tot 2050		2,07E+09	7,15E+09	1,96E+10
Biobased scenario per woning		1423	5667	20022
Eengezinswoningen 1965-1975 tot 2050		1,23E+09	4,91E+09	1,73E+10
Circulair scenario per woning		1273	4833	19188
Eengezinswoningen 1965-1975 tot 2050		1,10E+09	4,19E+09	1,66E+10
Operationele energie in CO ₂ uitstoot tot 2050	129453	119064	88268	5092
Eengezinswoningen 1965-1975 tot 2050	1,1E+11	1,0E+11	7,6E+10	4,4E+09
Operationele CO ₂ besparing tot 2050		10389	41185	124361
Eengezinswoningen 1965-1975 tot 2050		9,0E+09	3,6E+10	1,1E+11
Totaal besparing (operationeel CO₂ winst min materiaalgebonden CO₂ impact)				
Basis		9E+9-2E+9 = 7E+09	2,9E+10	8,8E+10
Biobased		7,8E+09	3,1E+10	9,0E+10
Circulair		7,9E+09	3,1E+10	9,1E+10
Vershil in CO ₂ besparing tussen basis en Circulair eengezins		1 Mton CO ₂	3 Mton CO ₂	3 Mton CO ₂
CO ₂ besparing met een biobased aanpak i.p.v. traditioneel voor meergezinswoning		0,4 Mton CO ₂	0,5 Mton CO ₂	0,5 Mton CO ₂

Projectie CO₂-besparing voor circulaire renovaties op de bestaande eengezinswoningen die gebouwd zijn voor het jaar 1975. Dit omvat ongeveer 43% van de bestaande woningvoorraad in Nederland.

Volgens het CBS zijn er 2030271 eengezinswoningen en 992061 meergezinswoningen gebouwd <1975.

Eengezinswoning	Huidig	Standaard	Voorbij de standaard	Paris Proof
Materiaalgebonden CO₂		in kg CO₂	in kg CO₂	in kg CO₂
Basisscenario per woning		2386	8256	22610
Eengezinswoningen <1975 tot 2050		4,84E+09	1,68E+10	4,59E+10
Biobased scenario per woning		1423	5667	20022
Eengezinswoningen <1975 tot 2050		2,89E+09	1,15E+10	4,06E+10
Circulair scenario per woning		1273	4833	19188
Eengezinswoningen <1975 tot 2050		2,58E+09	9,81E+09	3,90E+10

Operationele energie in CO ₂ uitstoot tot 2050	129453	119064	88268	5092
Eengezinswoningen <1975 tot 2050	2,6E+11	2,4E+11	1,8E+10	1,0E+09
Operationele CO ₂ besparing tot 2050		10389	41185	124361
Eengezinswoningen <1975 tot 2050		2,1E+10	8,4E+10	2,5E+11
Totaal besparing (operationeel CO₂ winst min materiaalgebonden CO₂ impact)				
Basis		2E+10-4,8E+9 = 1,6E+10	6,69E+10	2,07E+11
Biobased		1,8E+10	7,2E+10	2,12E+11
Circulair		1,9E+10	7,4E+10	2,14E+11
Vershil in CO ₂ besparing tussen basis en Circulair eengezins		2,3 Mton CO ₂	6,9 Mton CO ₂	6,9 Mton CO ₂
CO ₂ besparing met een biobased aanpak i.p.v. traditioneel voor meersgezinswoning		0,9 Mton CO ₂	1,1 Mton CO ₂	1,1 Mton CO ₂