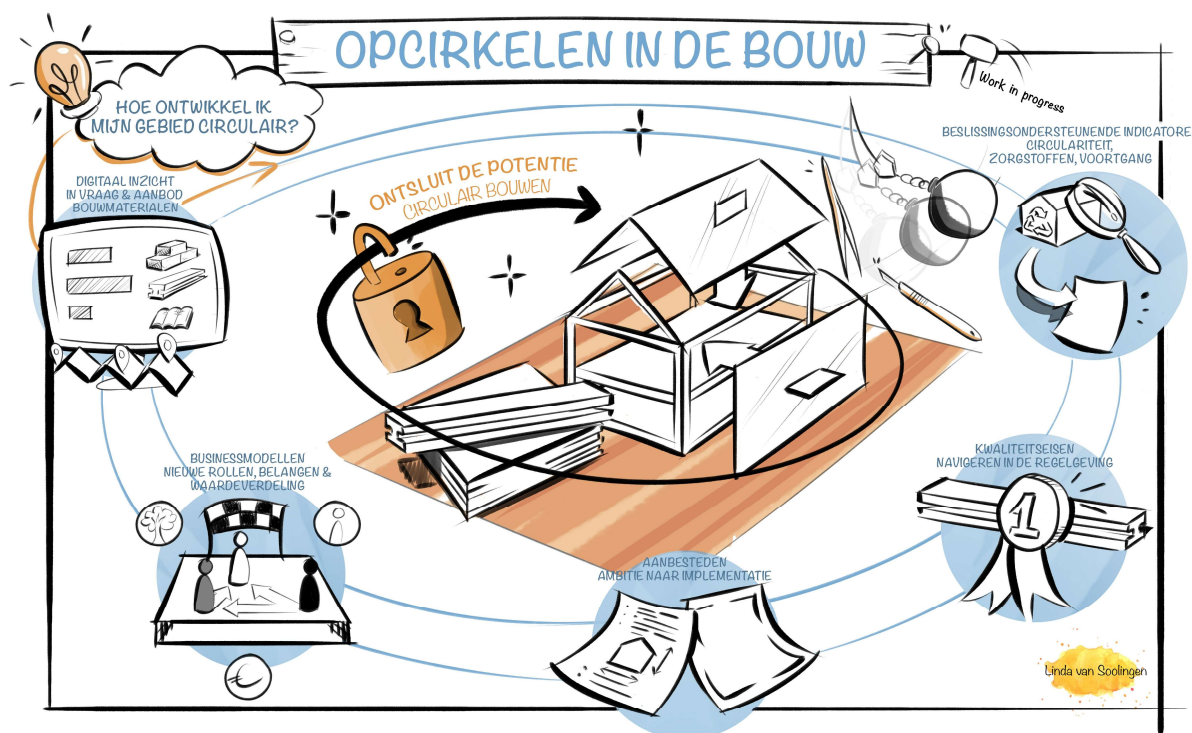


Opcirkelen in de bouw, deelrapport

Opwerking van materialen vrijkomend bij renovaties van de gebouwschil

Sanne van Leeuwen, Anna Schwarz, Lucinda Kootstra, Peter Kuindersma (TNO)

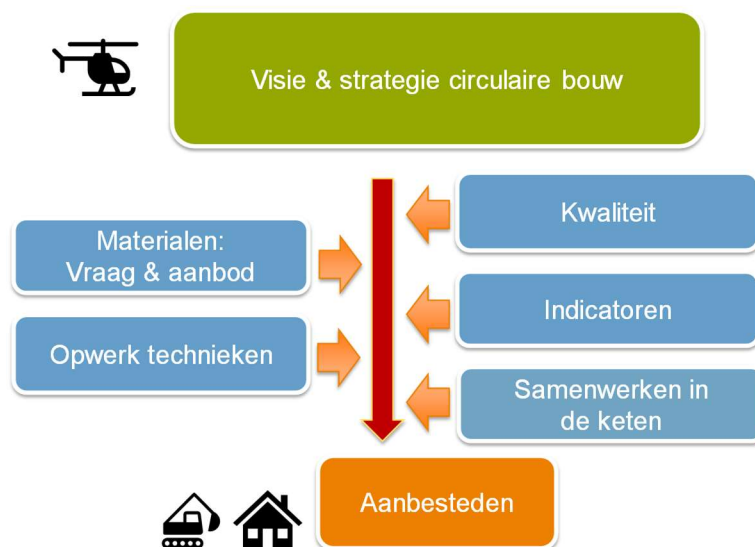


Opcirkelen in de Bouw

In de periode 2018-2020 heeft een gezelschap van in totaal 19 bedrijven en instituten in het kader van de Nationale Wetenschapsagenda gewerkt aan het project “Opcirkelen in de Bouw.” Doelstelling van het project was:

- Een tastbare bijdrage leveren aan opschaling van circulariteit in de bouw;
- Met focus op het optimaal inzetten van secundaire bouwmaterialen uit bestaande bouw
- En een reductie van de uitstoot van broeikasgassen gerelateerd aan het gebruik van bouwmaterialen.

Dit rapport gaat in op een van de vijf deelonderwerpen en wel het inzicht in de **opwerktechnieken** om secundaire materialen te hergebruiken. Deze deelrapportage gaat over opties op gebouwniveau, in een andere deelrapportage komen de opties voor opwerktechnieken voor materialen sec aan de orde. Om de potentie van de opwerktechnieken te illustreren is een casus voor Zeeland uitgewerkt.



Inhoud

Opcirkelen in de Bouw	2
Introductie	4
Renovatie opties	4
Grondgebonden woning – gevel A.....	5
Grondgebonden woning – gevel B.....	7
Kantoor Vliesgevel – gevel C.....	8
Kantoorgevel- Betonnen binnenspouwblad met natuursteenafwerking - gevel D.....	9
Grondgebonden woning – Traditioneel dak (helling 40°) – Dak E.....	10
Grondgebonden woning – Jong Traditioneel schuin Dak – Dak F	11
Kantoorpand – Plat dak – Dak G	12
Opschaling: Casus Provincie Zeeland.....	13

Introductie

De gebouwvoorraad veroudert. Gebouwen worden gesloopt en er wordt nieuwbouw gerealiseerd. Echter, de renovatieopgave in het kader van de energietransitie is enorm. Om de doelstelling van het klimaatakkoord te behalen moeten er voor 2050 7 miljoen bestaande woningen zijn verduurzaamd.¹ Wat betekent dit voor vraag naar materialen en voor de materialen die vrijkomen bij renovaties?

Om de bestaande bouw te verduurzamen is een eerste stap om de gebouwschil aan te pakken om tot een betere isolatiewaarde te komen. Welke renovatiescenario's zijn gangbaar en welke opties zijn er dan met de vrijkomende materialen? In dit project is de focus gelegd op de materialen in de gebouwschil: wat komt er vrij bij renovatie van daken en gevels en welke mogelijkheden zijn er voor hergebruik en recycling? Een aantal gebouwtypes is geanalyseerd in dit project, deze zijn weergegeven in Tabel 1.

Ter illustratie van de potentie van opschaling van hergebruik en recycling is tot slot een casus voor Zeeland uitgewerkt.

Tabel 1: Geselecteerde gebouwtypes met een beschrijving van de gevel en dakopbouw.

Omschrijving gebouwtype	Gevel	Dak
Woningen Traditionele naoorlogse rijtjeswoning (bouwjaar tot ca. 1970)	Gevel A Traditionele gevel kalkzandsteen met een metselwerk buitenspouwblad. Houten kozijnen met dubbel glas.	Dak E Traditioneel schuin dak. Houten gordingen, dakbeschot, tengels en panlatten. Keramische dakpannen
Rijtjeswoning (bouwjaar vanaf jaren '80)	Gevel B Houten gevel met isolatie, met houten rabatdelen gevelbekleding. Kunststof kozijnen met dubbel glas.	Dak F Schuin dak, als geïsoleerde dakdoos. Afgewerkt met tengels en panlatten met betonnen dakpannen.
Kantoren Staalskeletbouw 1985-1995	Gevel C Vliesgevel, dubbel glas met aluminium profielen	Dak G Platte daken. Een houten of betonnen dakconstructie met een bitumen dakbedekking. Dit type dak komt ook bij appartementen voor.
Montagebouw kantoor uit 1965-1975	Gevel D Aluminium profielen, stalen kern. Dubbel glas. Afgewerkt met natuursteen beplating	

Renovatie opties

Voor alle gekozen gevels (A t/m D) en daken (E t/m G) zijn verschillende renovatiescenario's uitgewerkt. Deze verschillen in aanpak en daarmee ook in welke materialen er vrijkomen. In alle gevallen is wel de nieuwe gevel en dak gelijk gehouden. Dit betekent na uitvoering van de renovatiescenario's de nieuwe gevel en dak in alle gevallen eenzelfde isolatiewaarde heeft. De opbouw van de nieuwe gevels en daken zijn verder niet geoptimaliseerd in keuzes van materialen.

¹ <https://www.klimaatakkoord.nl/gebouwde-omgeving>

Grondgebonden woning – gevel A



Beschrijving opbouw gevel

Traditionele gevel		
- binnenspouwblad:	Kalkzandsteen	n.v.t.
- spouw:	lucht of isolatie	50-70 mm
- buitenspouwblad:	metselwerk / baksteen	7614 kg
- kozijnen, ramen en deur	hout (Vuren)	10 kg
- glas:	dubbel glas (HR)	522 kg

Beschrijving renovatie scenario's:

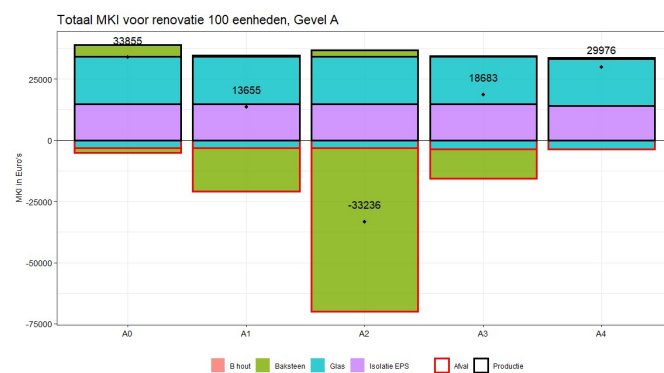
- Voor het renoveren van dit type gevel zijn vijf scenario's uitgewerkt.
- In alle gevallen worden de houten kozijnen en het glas vervangen door triple glas.
- Bij scenario A0 t/m A3 wordt het buitenspouwblad van de gevel verwijderd en wordt er nieuwe isolatie geplaatst met een afwerking van steenstrips.
- Voor scenario A4 is gekozen de gevel volledig te laten staan en aan de buitenkant isolatie te plaatsen met eveneens een steenstrips afwerking.
- Per scenario is bekeken wat er nu of in de nabije toekomst mogelijk is met de vrijkomende materialen. Dit staat beschreven in onderstaande tabel.

Scenario	Bestaande geveldelen			Nieuwe opbouw gevel
	Buitenspouwblad	Kozijnen	Glas	
A0 (ref)	Recycling baksteengranulaat als wegfundering (R8b)	Thermische recycling (verbranding) (R9)	Glasrecycling (R8b)	Isolatie (180mm, EPS) 100% nieuwe steenstrips van gerecycled baksteen (20mm dik, circa 80% geveloppervlak is baksteen, 20% is (voeg)mortel) 100% nieuw hout voor kozijn, triple glas
A1	Recycling baksteengranulaat in nieuwe baksteen: steenrecycling (R8a).	80% van hout kan worden hergebruikt als hout voor nieuwe kozijnen (R6); 20% gaat verloren in het proces; thermische recycling (R9)	Glasrecycling (R8b)	Isolatie (180mm, EPS) 80% hergebruik hout + 20% nieuw hout voor kozijn 100% gerecyclede steenstrips van gerecycled baksteen (20mm dik, circa 80% geveloppervlak is baksteen, 20% is (voeg)mortel), triple glas
A2	Recycling baksteengranulaat in nieuwe baksteen: geopolymeer baksteen (R8a).	80% van hout kan worden hergebruikt als hout voor nieuwe kozijnen (R6); 20% gaat verloren in het proces; thermische recycling (R9)	Glasrecycling (R8b)	Isolatie (180mm, EPS) 80% hergebruik hout + 20% nieuw hout voor kozijn 100% gerecyclede steenstrips van gerecycled baksteen (20mm dik, circa 80% geveloppervlak is baksteen, 20% is (voeg)mortel), triple glas
A3	Baksteen elementen uitzagen: 70% is herbruikbaar als grote elementen (R6). 30% verlies in het proces: recycling baksteengranulaat als wegfundering (R8b)	80% van hout kan worden hergebruikt als hout voor nieuwe kozijnen (R6); 20% gaat verloren in het proces; thermische recycling (R9)	Hergebruik in laagwaardige functie (vervanging enkelglas) (R4)	Isolatie (180mm, EPS) 50% van nieuwe buitenspouwblad is terugplaatsing grote elementen, 100% gerecyclede steenstrips (20mm dik, circa 80% geveloppervlak is baksteen, 20% is (voeg)mortel) 80% hergebruik hout + 20% nieuw hout voor kozijn, triple glas
A4	Laten staan	80% van hout kan worden hergebruikt als hout voor nieuwe kozijnen (R6); 20% gaat verloren in het proces; thermische recycling (R9)	Hergebruik in laagwaardige functie (vervanging enkelglas) (R4)	Isolatie (170mm, EPS), 20% nieuw hout voor kozijn, 100% gerecyclede steenstrips van gerecycled baksteen (20mm dik, circa 80% geveloppervlak is baksteen, 20% is (voeg)mortel), triple glas

Resultaten milieu-impact

- Resultaten hiernaast weergegeven voor renovatie van 100 rijwoningen. MKI is de milieu impact, uitgedrukt in €. Een negatieve MKI betekent dat er milieu impact wordt uitgespaard; dus milieuwinst.
- Scenario A2 heeft het meest milieuwinst door opwerking van baksteen via geopolymeer principe.
- Bijdrage van houtrecycling minimaal in deze scenario's door beperkte hoeveelheden.
- Nieuw glas en isolatie hoge bijdrage MKI, maar besparen warmte tijdens gebruiksfase.
- Glas hergebruik beter dan recycling, echter minimale verbetering te zien door kleine hoeveelheden.
- In scenario A4 blijft het buitenspouwblad ook staan en is er beperkte opwerking van oude materialen, waardoor milieuwinst niet wordt bereikt.

Schaduwkosten (MKI) renovatie van 100 gevels, per scenario



Uitgangspunten

- Afmetingen van de gevel zijn gebaseerd op voorbeeldwoningen RVO² en TNO gebouwprofiel (BOB database), rijwoning, traditionele bouw tot 1970
- Met geopolymeer recycling wordt beton- en baksteenpuin, in combinatie met chemicaliën, opgewerkt tot nieuwe baksteen. Deze hieven niet gebakken te worden en worden primaire materialen uitgespaard.
- Door materiaal te recycleren wordt het maken van nieuwe materiaal uitgespaard. Het maken van nieuwe baksteen heeft een grote milieu-impact. Door dit uit te sparen kan veel milieuwinst worden bereikt.
- MKI's zijn berekend volgens de SBK bepalingsmethode 3.0, met data uit ecoinvent 3.5 en NMD 2.3. Berekeningen zijn uitgevoerd in Simapro 8.
- Recycling scenario's vastgesteld volgens PBL (2016).

² <https://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/4.%20Brochure%20Voorbeeldwoningen%202011%20bestaande%20bouw.pdf>

Grondgebonden woning – gevel B

Beschrijving opbouw gevel

Gevel met houten binnenspouwblad en gevelbekleding		
- binnenspouwblad met isolatie	hout, minerale wol	n.v.t.
- spouw:	Lucht	20-40 mm
- gevelafwerking:	rabat (B hout)	36,9m ² bij 18mm, ,67m ³ 375kg/m ³ , 273 kg
- kozijnen, ramen en deur	Kunststof	29 kg
- glas:	dubbel glas (HR)	617 kg



Beschrijving renovatie scenario's:

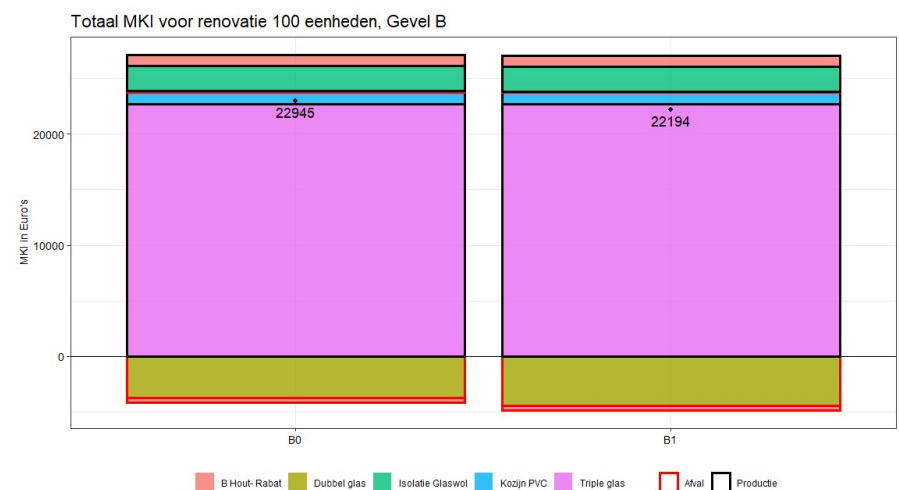
- Voor het renoveren van dit type gevel zijn 2 scenario's uitgewerkt.
- In beide gevallen worden de kunststof kozijnen en het glas vervangen door triple glas.
- Voor beide scenario's is bekeken wat er nu of in de nabije toekomst mogelijk is met de vrijkomende materialen. Dit staat beschreven in onderstaande tabel.

	Bestaande gevelafwerking				Nieuwe gevel
Scenario	Gevelafwerking	Kozijnen	Glas	Isolatie	
B0 (ref)	Houten gevelafwerking wordt thermische gerecycled (R9)	Thermische recycling (R9)	Glasrecycling (R8b)	Isolatie (minerale wol, 80mm) blijft in de gevel	Houten gevelafwerking (36,9m ² bij 18mm; 0,67m ³ ; soortelijke massa: 375kg/m ³)
B1	80% houten gevelafwerking wordt hergebruikt in laagwaardige functie (schuur) (R7), 20% verlies > Thermische recycling (R9)	60% van de kunststof kan wordt gerecycled met mechanische recycling (R8a); 40% thermische recycling (R9)	60% hergebruik in laagwaardige functie (vervanging enkelglas) (R7); 40% glasrecycling	Isolatie (minerale wol, 80mm) blijft in de gevel	Nieuwe kunststofkozijnen Nieuw triple glas Extra isolatie (minerale wol, 80mm)

Resultaten

- Resultaten voor renovatie van 100 rijwoningen. MKI is de milieu impact, uitgedrukt in €. Een negatieve MKI betekend dat er milieu impact wordt uitgespaard; dus milieuwinst.
- Milieuwinst in scenario B1 t.o.v. B0 minimaal door hoge MKI van triple glas.
- Hergebruik van glas beter dan recycling, echter minimaal verschil omdat uitgegaan is van 20% hergebruik (ivm laagwaardige functie, maatvoering).
- Hergebruik rabat hout in scenario 1 geeft lichte milieuwinst.
- Recycling van PVC kozijnen zorgt voor minder milieu impact.

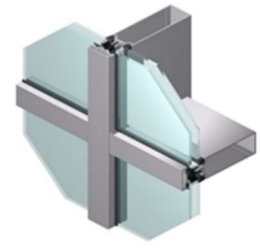
Schaduwkosten (MKI) renovatie van 100 gevels, per scenario



Uitgangspunten

- Afmetingen woning gebaseerd op voorbeeldwoningen RVO en TNO gebouwprofiel (BOB database), rijwoning, houten wanden.
- MKI's zijn berekend volgens de SBK bepalingmethode 3.0, met data uit ecoinvent 3.5 en NMD 2.3. Berekeningen zijn uitgevoerd in Simapro 8.
- Recyclingsscenario's vastgesteld volgens PBL (2016).

Kantoor Vliesgevel – gevel C



Beschrijving opbouw gevel

Vliesgevels

- vliesgevelprofielen (stijlen en regels)	aluminium	2800 kg
- glas:	dubbel glas (HR)	123750 kg

Beschrijving renovatie scenario's:

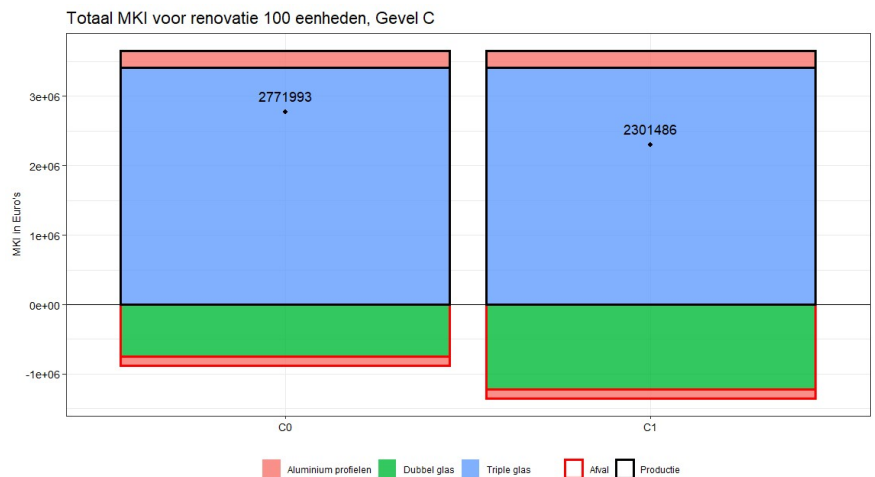
- Voor het renoveren van dit type gevel zijn 2 scenario's uitgewerkt.
- In beide gevallen worden de aluminium profielen en het glas vervangen door triple glas.
- Voor beide scenario's is bekeken wat er nu of in de nabije toekomst mogelijk is met de vrijkomende materialen. Dit staat beschreven in onderstaande tabel.

Scenario	Bestaande gevelafwerking		Nieuwe gevel
	Profielen	Glas	
C0 (ref)	Gerecycled naar aluminium (R8b)	Glasrecycling (R8a)	Dubbel glas wordt vervangen door triple glas Aluminium vliesgevel, triple glas en thermische onderbreking
C1	Gerecycled naar aluminium (R8b)	Hergebruik in laagwaardige functie (ter vervanging enkelglas), % zelfde als profielen (R7)	

Resultaten

- Veel glas wordt vervangen, hoge MKI voor triple glas, vanwege de grote hoeveelheid.
- Hergebruik in laagwaardige functie glas geeft een significante positieve bijdrage (ook al is het maar 30%) vanwege de grote hoeveelheid.
- Aluminium wordt gerecycled in beide scenario's, nieuwe profielen nodig.

Schaduwkosten (MKI) renovatie van 100 gevels, per scenario



Uitgangspunten

- Afmetingen gebouw gebaseerd op voorbeeldwoningen RVO en TNO gebouwprofiel (BOB database), BOB-K2, 3-6 etages, kantoor met 5 etages aangenomen
- MKI's zijn berekend volgens de SBK bepalingsmethode 3.0, met data uit ecoinvent 3.5 en NMD 2.3. Berekeningen zijn uitgevoerd in Simapro 8.
- Recyclingsscenario's vastgesteld volgens PBL (2016).

Kantoorgevel- Betonnen binnenspouwblad met natuursteenafwerking - gevel D



Beschrijving opbouw gevel

Betonnen binnenspouwblad met natuursteenafwerking		
- binnenspouwblad:	Beton	n.v.t.
- spouw:	Lucht	50-70 mm
- gevelafwerking: beplating	Natuursteen	150000 kg
- kozijnen, ramen en deur:	aluminium	1120 kg
- glas:	dubbel glas (HR)	49500 kg

Beschrijving renovatie scenario's:

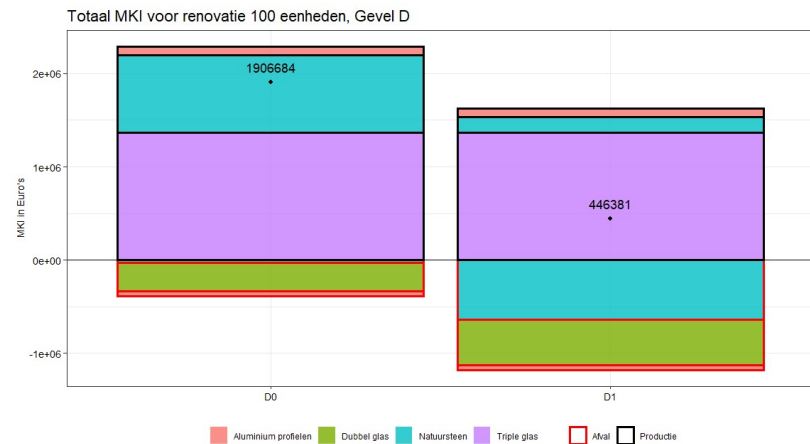
- Voor het renoveren van dit type gevel zijn 2 scenario's uitgewerkt.
- In beide gevallen worden de aluminium kozijnen en het glas vervangen door triple glas.
- In Scenario D1 wordt een deel van het natuursteen als geheel hergebruikt en wordt glas deels hergebruikt.

Scenario	Bestaande gevelafwerking			Nieuwe gevel	
	Gevelafwerking	Kozijnen	Glas	verschil	overeenkomst
D0 (ref)	Recycling als wegfundering (R8a)	Recyclen naar aluminium (R8b)	Glasrecycling (R8a)	Nieuwe natuursteen gevel (100%) en triple glas	Aluminium kozijnen, triple glas en isolatie
D1	Hergebruik (R6) in nieuwe gevel (80%), 20% recycling als wegfundering (R8a)	Gerecycled aluminium (R8b) naar	Hergebruik in laagwaardige functie (vervanging enkelglas) (30%) (R4), 70% glasrecycling (R8a)	80% hergebruikte natuursteen platen, 20% nieuwe natuursteen, triple glas	

Resultaten

- Glas wordt vervangen, hoge MKI voor nieuw triple glas, vanwege de grote hoeveelheid.
- Hergebruik laagwaardige functie glas geeft een significante milieuwinst (ook al is het maar 30%) vanwege de grote hoeveelheid.
- Hergebruik van natuursteen levert een sterke daling van de MKI op omdat geen winning van nieuwe natuursteen nodig is
- Aluminium profielen worden gerecycled en nieuwe zijn nodig.

Schaduwkosten (MKI) renovatie van 100 gevels, per scenario



Uitgangspunten

- Afmetingen woning gebaseerd op voorbeeldwoningen RVO en TNO gebouwprofiel (BOB database), BOB-K2, 3-6 etages, alleen berekening voor dichte gebouwdelen
- MKI's zijn berekend volgens de SBK bepalingmethode 3.0, met data uit ecoinvent 3.5 en NMD 2.3. Berekeningen zijn uitgevoerd in Simapro 8.
- Recyclingsscenario's vastgesteld volgens PBL (2016).

Grondgebonden woning – Traditioneel dak (helling 40°) – Dak E



Beschrijving opbouw dak

Traditioneel dak (40 graden helling)

- onderconstructie:	A hout	2419 kg
- Tengels&panlatten:	A hout	1209 kg
- Dakbedekking:	keramische pannen	2292 kg
- isolatie	Niet aanwezig	0 kg

Beschrijving renovatie scenario's:

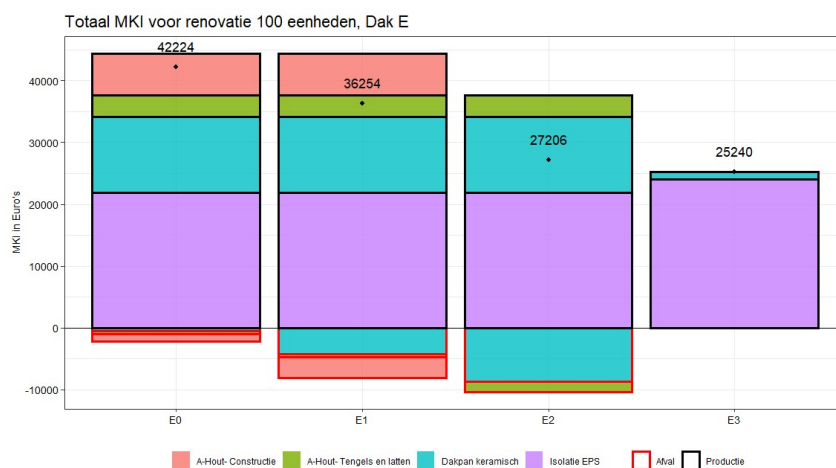
- Voor het renoveren van dit type dak zijn 4 scenario's uitgewerkt.
- Voor de constructie, de tengels en panlatten en de dakpannen zijn verschillende opwerkingstechnieken voorgesteld zoals beschreven in onderstaande tabel.
- In Scenario's E0, E1 en E2 wordt het dak grondig aangepakt en de nieuwe isolatie aan de buitenkant aangebracht
- In scenario E3 wordt er minder aan de buitenzijde van het dak gedaan en wordt de isolatie aangebracht aan de binnenzijde.

Scenario	Bestaand dak			Nieuw Dak
	Onderconstructie	Tengels panlatten &	Dakpannen	
E0 (ref)	Hout wordt gerecycled tot spaanplaat (R8a)	Hout wordt gerecycled tot spaanplaat (R8a)	Keramische pannen als granulaat voor wegfundering (R9)	Nieuwe onderconstructie (hout), tengels, panlatten Isolatie (buitenzijde, 195mm EPS) 100% nieuwe pannen
E1	70% hout wordt hergebruikt (R6), 30% recycling naar spaanplaat (R8a)	Hout wordt gerecycled tot spaanplaat (R8a)	90% keramische pannen worden opgewerkt via steenrecycling proces (R7), en 10% wegfundering (R9)	30% nieuwe onderconstructie (hout), tengels, panlatten Isolatie (buitenzijde, 195mm EPS) 10% nieuwe pannen
E2	(blijft liggen)	Hout wordt gerecycled tot spaanplaat (R8a)	Keramische pannen worden hergebruikt (90%, R4), 10% naar R9	Nieuwe tengels, panlatten, Isolatie (buitenzijde, 195mm EPS), 10% dakpannen
E3	(blijft liggen)	(blijven liggen)	90% van de oude pannen blijven liggen, 10% pannen recycling onder de weg (R9)	Isolatie (binnenzijde, 215mm EPS) 10% nieuwe dakpannen

Resultaten

- Nieuwe EPS isolatie blijft met uitzondering van E3 gelijk in elke situatie; in het E3 scenario wordt meer isolatie toegevoegd.
- Het ofwel deels (E1), ofwel geheel (E2-E3) laten liggen van A hout constructie geeft het hoogste MKI voordeel. Dit geldt ook voor de latten, die blijven liggen in E3.
- Hergebruik van dakpannen geeft veel MKI winst (E2), meer dan het steenrecycling proces (E1). Het laten liggen van de dakpannen bespaart het meeste MKI (E3).
- Extra isolatie in E3 zorgt voor iets hogere MKI impact i.v.m. de productie nieuwe materialen.
- In scenario E3 wordt er geen milieuwinst bereikt door een beperkte opwerking van secundaire materialen.

Schaduwkosten (MKI) renovatie van 100 daken, per scenario



Uitgangspunten

- Afmetingen woning gebaseerd op voorbeeldwoningen RVO en TNO bouwprofiel (BOB database), BOB -Trad gr elementen tot 1970
- MKI's zijn berekend volgens de SBK bepalingsmethode 3.0, met data uit ecoinvent 3.5 en NMD 2.3. Berekeningen zijn uitgevoerd in Simapro 8.
- Vervanging waterwerende laag (folie: liggend asfaltpapier naar verbranding) en plaatsing nieuwe laag (spinvliesmembraan) buiten beschouwing gelaten.
- Recyclingscenario's vastgesteld volgens PBL (2016).

Grondgebonden woning – Jong Traditioneel schuin Dak – Dak F



Beschrijving opbouw

Jong dak		
- onderconstructie:	A hout	2419 kg
- Tengels&panlatten:	A hout	1209 kg
- Dakbedekking:	betonnen pannen	2292 kg
- Isolatie:	steenwol (20cm)	401 kg

Beschrijving renovatie scenario's:

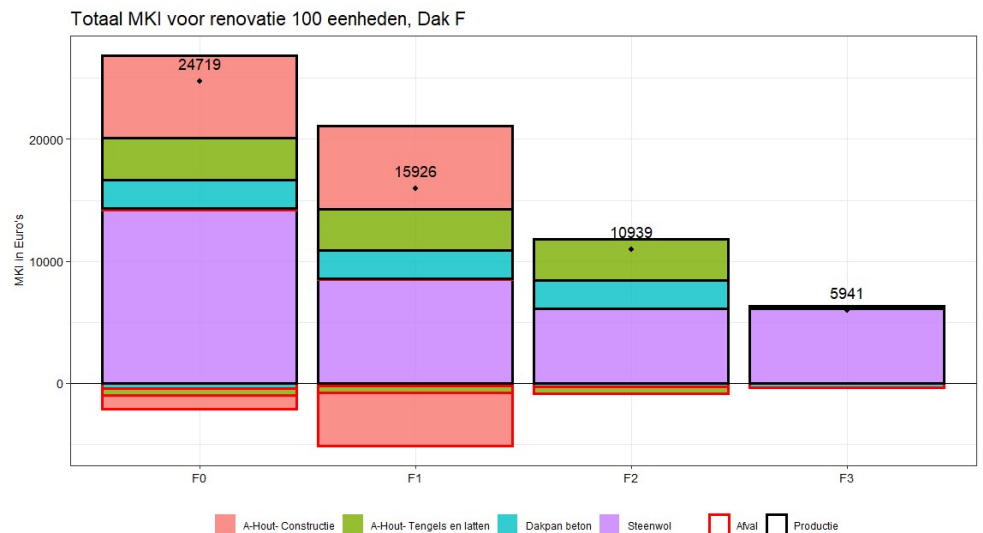
- Voor het renoveren van dit type dak zijn 4 scenario's uitgewerkt.
- Voor de constructie, de tengels en panlatten en de dakpannen zijn verschillende opwerkingstechnieken voorgesteld zoals beschreven in onderstaande tabel.
- In Scenario's F0, F1 en F2 wordt het dak grondig aangepakt en de nieuwe isolatie aan de buitenkant aangebracht
- In scenario F3 wordt er minder aan de buitenzijde van het dak gedaan en wordt de isolatie aangebracht aan de binnenzijde.

Scenario	Bestaand dak				Nieuw dak
	Onderconstructie	Tengels & panlatten	Isolatie (steenwol)	Dakpannen	verschil
F0 (ref)	Houten onderconstructie wordt gerecycled tot spaanplaat (R8a)	Houten tengels&panlatten worden gerecycled tot spaanplaat (R8a)	Isolatie wordt gerecycled (R8b). Nieuwe en extra isolatie (130 mm) toegevoegd.	Betonnen pannen als granulaat voor wegfundering (R8a)	Nieuwe onderconstructie (hout), tengels, panlatten, 100% nieuwe isolatie (steenwol) en 100% nieuwe pannen
F1	Houten onderconstructie wordt hergebruikt (R6)	Houten tengels&panlatten worden gerecycled tot spaanplaat (R8a)	70% van de isolatie wordt hergebruikt (R6), 30% Recycling (R8b). 30% en extra nieuwe isolatie (130 mm) toegevoegd.	50% beton pannen worden 1-op-1 hergebruikt (R6), 50% grintvervanger (R8a)	Nieuwe onderconstructie (hout), tengels, panlatten, 30% nieuwe isolatie (steenwol) en 50% nieuwe pannen
F2	(blijft liggen)	Houten tengels&panlatten worden gerecycled tot spaanplaat (R8a)	(blijft liggen). Alleen extra isolatie toegevoegd (130 mm).	70% beton pannen worden 1-op-1 hergebruikt (R6), 30% grintvervanger (R8a)	Nieuwe tengels, panlatten, isolatie (binnenzijde, steenwol) en 30% nieuwe dakpannen
F3	(blijft liggen)	(blijft liggen)	(blijft liggen). Alleen extra isolatie toegevoegd (130 mm).	90% van de oude pannen hergebruik in huidige functie (R3), 10% pannen naar grintvervanger (R8a)	Isolatie (binnenzijde, steenwol), 10% nieuwe dakpannen

Resultaten

- Het laten liggen van A hout constructie en latten geeft het hoogste MKI voordeel, meer dan hergebruik (F2) en recycling (F0)
- Het laten liggen van steenwol isolatie zorgt voor minder MKI impact door vermijden primaire materialen.
- Voor de betonnen pannen geldt dat laten liggen het minst MKI impact oplevert. Grindvervanger en hergebruik dragen niet sterk bij aan milieuwinst.

Schaduwkosten (MKI) renovatie van 100 daken, per scenario



Uitgangspunten

- Afmetingen woning gebaseerd op voorbeeldwoningen RVO en TNO bouwprofiel (BOB database), BOB -Trad gr elementen tot 1970
- Vervanging waterwerende laag (folie): liggend asfaltpapier naar verbranding) en plaatsing nieuwe laag (spinvliesmembraan) buiten beschouwing gelaten.
- MKI's zijn berekend volgens de SBK bepalingsmethode 3.0, met data uit ecoinvent 3.5 en NMD 2.3. Berekeningen zijn uitgevoerd in Simapro 8.
- Recyclingsscenario's vastgesteld volgens PBL (2016).

Kantoorpand – Plat dak – Dak G

Beschrijving opbouw dak

Plat dak		
- onderconstructie:	niet relevant	n.v.t.
- Dakbedekking:	Bitumen	15745 kg
- ballast:	Grint	160000 kg
- Isolatie:	EPS (40 mm)	7500 kg



Beschrijving renovatie scenario's:

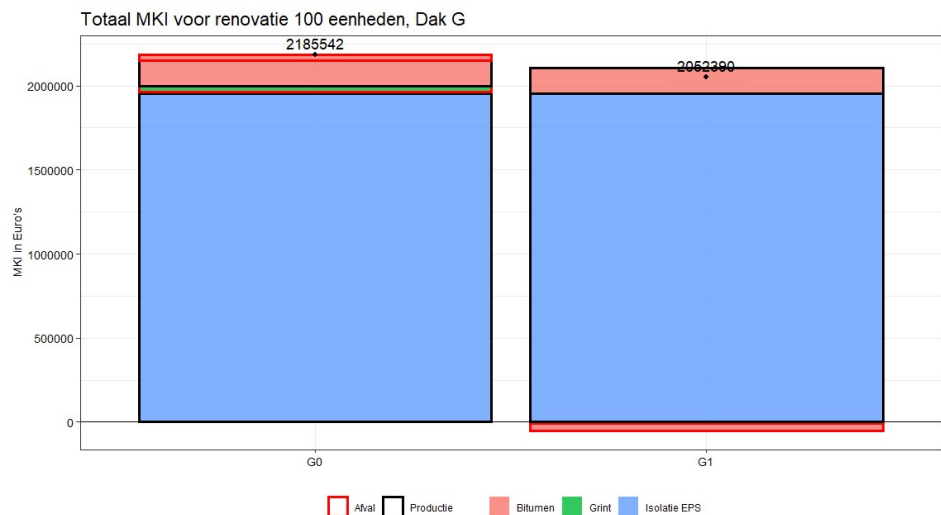
- Voor het renoveren van dit type dak zijn 2 scenario's uitgewerkt.
- In beide gevallen blijft de constructie van het dak behouden, blijft isolatie liggen waaraan nieuwe isolatie wordt toegevoegd.
- In scenario G0 wordt de bitumen dakbedekking verbrand, in scenario G1 wordt 70% gerecycled tot nieuw bitumen.
- Grind wordt in scenario G0 gerecycled in beton, waarbij in scenario G1 het wordt hergebruikt op hetzelfde dak.

Scenario	Bestaand dak			Nieuw dak	
	Dakbedekking	Grind	Isolatie	verschil	overeenkomst
G0 (ref)	Bitumen dakbedekking wordt thermisch gerecycled (R9)	Wordt als granulaat verwerkt in nieuw beton (R8b)	40mm isolatie (EPS) blijft zitten. Extra EPS isolatie (195 mm) toegevoegd.	Nieuwe bitumen en 100% nieuw grind	Onderconstructie blijft behouden, extra isolatie
G1	Bitumen dakbedekking wordt voor 70% gerecycled (R8b) in dakbedekking of weg, en 30% thermisch gerecycled (R9)	90% wordt hergebruikt in hetzelfde dak (R3), 10% als grindvervanger (R8b)	40mm isolatie (EPS) blijft zitten. Extra EPS isolatie (195 mm) toegevoegd.	Nieuw bitumen 30%, gerecycled bitumen 70%, extra grind (10%)	

Resultaten

- Productie van nieuwe isolatie (EPS) geeft flinke milieu impact.
- Mogelijkheden om bitumen te recycleren geeft in plaats van impact (positieve MKI) een MKI milieuwinst.
- Grint hergebruik geeft positieve impact ten opzichte van inzet als grindvervanger. Verschil is niet groot.

Schaduwkosten (MKI) renovatie van 100 daken, per scenario



Uitgangspunten

- Afmetingen woning gebaseerd op voorbeeldwoningen RVO en TNO gebouwprofiel (BOB database), BOB-K2, kantoor 3-6 etages
- Recycling van bitumen wordt gedaan volgens roof2roof/ roof2road recycling.
- MKI's zijn berekend volgens de SBK bepalingsmethode 3.0, met data uit ecoinvent 3.5 en NMD 2.3. Berekeningen zijn uitgevoerd in Simapro 8.
- Recyclingsscenario's vastgesteld volgens PBL (2016).

Opschaling: Casus Provincie Zeeland

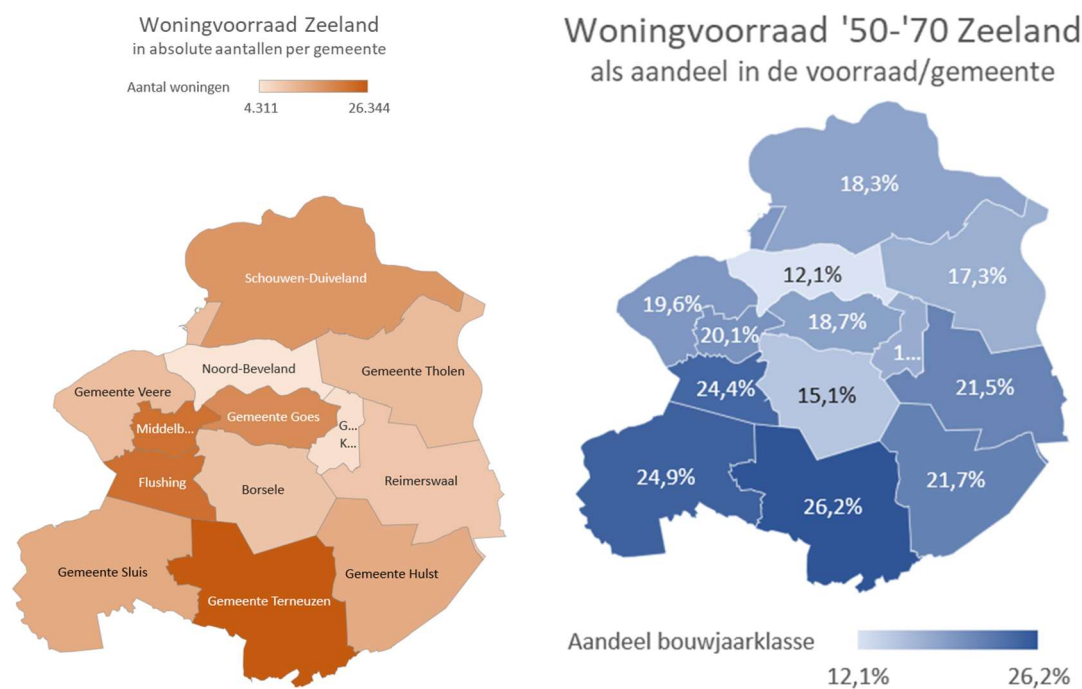
Wanneer je kijkt naar opschaling van circulaire bouweconomie zou opschaling van hoogwaardig hergebruik en recycling mogelijk zijn bij grootschalige renovaties. De komende jaren ligt hier nog een grote opgave vanwege de verduurzaming van de bestaande woningbouw.

Wanneer renovaties van bijvoorbeeld woningcorporaties bezit geclusterd wordt aangepakt komen er relatief grote volumes bouwmaterialen vrij (natuurlijk kleiner dan bij totaalloop van gebouwen). Om inzicht te geven in de potentie van renovaties waarbij ook de focus ligt op efficiënt materiaal hergebruik is een voorbeeld casus uitgewerkt.

In de provincie Zeeland is de bestaande woningvoorraad ca 185.000 woningen. Daarvan is afhankelijk van de gemeente ongeveer 12 tot 26% gebouwd in de jaren 60. Als we focussen op de grondgebonden rijwoningen dan zijn deze woningen typische naoorlogse rijwoningen met een traditionele gevel en een schuin dak (zoals hieronder weergegeven Gevel type A en Dak type E).

Traditionele naoorlogse rijtjeswoning (bouwjaar tot ca. 1970). Kenmerken gebouwschil (uitgaande van huidige staat, dus het oorspronkelijk enkel glas al eens is vervangen):

- Gevel A: Traditionele gevel kalkzandsteen met een metselwerk buitenspouwblad. Houten kozijnen met dubbel glas.
- Dak E: Traditioneel schuin dak. Houten gordingen, dakbeschot, tengels en panlatten. Keramische dakpannen



Figuur 1: Bestaande woningvoorraad Provincie Zeeland met focus op het aandeel naoorlogse bouw. Bron CBS data.

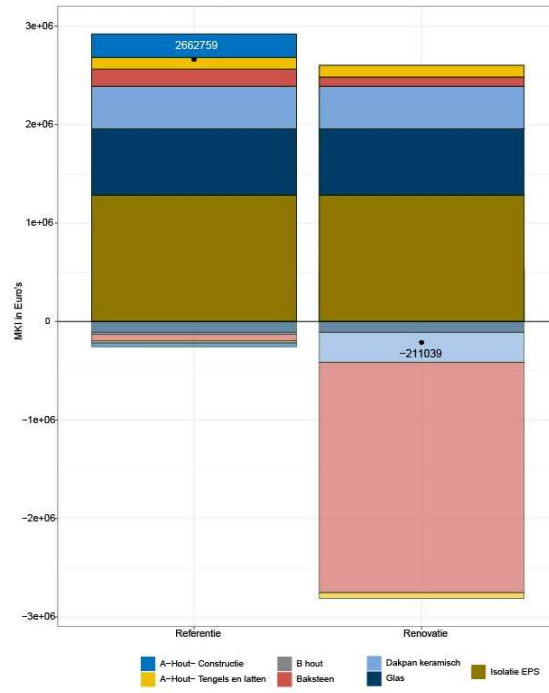
Uitkomst van bundeling renovatie aanpak op twee manieren:

Wanneer de rijwoningen uit de jaren '60 tegelijk worden gerenoveerd in het bezit van een woningcorporatie zou dit voor de provincie Zeeland potentieel om circa 3500 woningen gaan, daarbij laten we buiten beschouwing of een deel al gerenoveerd is. Het gaat hier om een illustratie van het effect van een grootschalige aanpak van één gebouwtype / bouwjaarklasse.

Wanneer gevel en dak worden aangepakt vanuit de verduurzamingsopgave laten we hieronder twee mogelijke scenario's zien: vrijkomende materialen van gevel en dak gerecycled volgens referentie (A0 en E0) en een scenario met meer focus op optimaal hergebruik en recycling (A2 en E2).

Scenario	Bestaande geveldelen			Nieuwe opbouw gevel
	Buitenspouwblad	Kozijnen	Glas	
A0 (ref)	Recycling baksteengranulaat als wegfundering (R8b)	Thermische recycling (verbranding) (R9)	Glasrecycling (R8b)	Isolatie (180mm, EPS) 100% nieuwe steenstrips van gerecycled baksteen (20mm dik, circa 80% geveloppervlak is baksteen, 20% is (voeg)mortel) 100% nieuw hout voor kozijn, triple glas
A2	Recycling baksteengranulaat in nieuwe baksteen: geopolymeer baksteen (R8a).	80% van hout kan worden hergebruikt als hout voor nieuwe kozijnen (R6); 20% gaat verloren in het proces, dus wordt verbrand (R9)	Glasrecycling (R8b)	Isolatie (180mm, EPS) 80% hergebruik hout + 20% nieuw hout voor kozijn 100% nieuwe steenstrips van gerecycled baksteen (20mm dik, circa 80% geveloppervlak is baksteen, 20% is (voeg)mortel), triple glas
Scenario	Bestaand dak			Nieuw Dak
	Onderconstructie	Tengels & panlatten	Dakpannen	
E0 (ref)	Hout wordt gerecycled tot spaanplaat (R8a)	Hout wordt gerecycled tot spaanplaat (R8a)	Keramische pannen als granulaat voor wegfundering (R9)	Nieuwe onderconstructie (hout), tengels, panlatten Isolatie (buitenzijde, 195mm EPS) 100% nieuwe pannen
E2	(blijft liggen)	Hout wordt gerecycled tot spaanplaat (R8a)	Keramische pannen worden hergebruikt (90%, R4), 10% naar R9	Nieuwe tengels, panlatten, Isolatie (buitenzijde, 195mm EPS) 10% dakpannen

In onderstaand figuur is weergegeven wat de milieu-impact is van beide opties. Wanneer de renovatie van gevels en daken volgens de referentie optie wordt aangepakt geeft dit een totale MKI score van ruim €2.600.000 euro. Wanneer de meer circulaire opties worden gekozen bij het renovatie levert het een MKI score op van ruim -€211.000. Hieruit is te concluderen dat in beide gevallen een bepaalde milieu-impact wordt veroorzaakt door nieuwe materialen die nodig zijn voor de renovatie zoals het isolatiemateriaal. In de tweede situatie is er sprake van milieuwinst welke voornamelijk wordt veroorzaakt door hoogwaardige recycling van bakstenen.



Figuur 2: Potentiële milieu-impact van twee renovatie-opties voor jaren '60 woningen in Zeeland.