



# Project milieudruk consumptie domein woning

Rapport  
Utrecht, april 2022

## COLOFON

Het deelonderzoek 'Project milieudruk consumptie domeinen wonen en vrije tijd' is uitgevoerd door Milieu Centraal in opdracht van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Het PBL startte het volledige onderzoek in 2021, met als doel inzicht te krijgen in het potentiële effect van circulair gedrag van Nederlandse consumenten op de totale milieu- en klimaatimpact van een gemiddeld Nederlands huishouden per jaar. Tijdens Earth Day op 22 april 2022 is het onderzoek officieel gepubliceerd.

Auteurs: onderzoekersteam van Milieu Centraal, Hans Peter Honkoop, Aniek Ivens en Rob Versfeld  
Vormgeving: Ruben Stelli  
Fotografie: Unsplash

Het gebruikte fotomateriaal in dit rapport is ter illustratie bedoeld.

### Over Milieu Centraal

Milieu Centraal is het kenniscentrum voor duurzaam leven en geeft consumenten praktische tips en adviezen voor iedere duurzame stap: van afval scheiden tot zonnepanelen kopen. Een externe wetenschappelijke adviesraad is onderdeel van de kwaliteitsborging. Milieu Centraal bereikt via haar websites en sociale media dagelijks 20.000 tot 30.000 consumenten. Milieu Centraal werkt samen met maatschappelijke organisaties, bedrijven, overheid en media.

### Contact:

Milieu Centraal  
Nicolaas Beetsstraat 2A  
3511 HE Utrecht  
info@milieucentraal.nl  
milieucentraal.nl

© Milieu Centraal 2022. Het is toegestaan de inhoud van dit rapport te gebruiken met bronvermelding Milieu Centraal.

# INHOUDSOPGAVE



<b>1. Inleiding</b>	<b>5</b>
<b>2. Algemene conclusies</b>	<b>9</b>
<b>3. Methode</b>	<b>14</b>
<b>4. Aanbouw</b>	<b>23</b>
Uitwerking scenario's	24
Resultaten	26
Deelconclusies	27
<b>5. Dakkapel</b>	<b>28</b>
Uitwerking scenario's	29
Resultaten	30
Deelconclusies	31
<b>6. Isolatie</b>	<b>32</b>
Uitwerking scenario's	33
Resultaten	34
Deelconclusies	35
<b>7. Keuken: kastjes en aanrechtblad</b>	<b>36</b>
Uitwerking scenario's	36
Resultaten	38
Deelconclusies	39
<b>8. Keuken: warm en kokend water</b>	<b>40</b>
Uitwerking scenario's	41
Resultaten	41
Deelconclusies	43
<b>9. Keuken: kookplaat</b>	<b>44</b>
Uitwerking scenario's	44
Resultaten	45
Deelconclusies	46
<b>10. Badkamer</b>	<b>47</b>
Uitwerking scenario's	48
Resultaten	49
Deelconclusies	50



# INHOUDSOPGAVE

<b>11. Ventilatie</b>	<b>51</b>
Uitwerking scenario's	51
Resultaten	52
Deelconclusies	55
<b>12. Energieopwekking</b>	<b>56</b>
Uitwerking scenario's	56
Resultaten	57
Deelconclusies	61
<b>13. Verwarming: warmwatervoorziening</b>	<b>62</b>
Uitwerking scenario's	62
Resultaten	64
Deelconclusies	67
<b>14. Verwarming: afgifte warmte</b>	<b>68</b>
Uitwerking scenario's	69
Resultaten	70
Deelconclusies	72
<b>15. Transport binnen het domein woning</b>	<b>73</b>
Resultaten transport	74
Deelconclusies	75
<b>16. Bibliografie</b>	<b>76</b>

## 1 INLEIDING

### Achtergrond

Dit rapport is tot stand gekomen in het kader van het Werkprogramma Monitoring en Sturing Circulaire Economie 2019-2023. Dit werkprogramma is een samenwerkingsverband van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden (CML), het Centraal Planbureau (CPB), het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), RVO.nl, Rijkswaterstaat, TNO en de Universiteit Utrecht (UU) onder leiding van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Het kabinet streeft naar een volledig circulaire economie in 2050. Het doel van het werkprogramma is om de door het kabinet uitgezette koers naar 2050 te kunnen monitoren en te evalueren en de overheid te voorzien van de kennis die nodig is voor de vormgeving of bijsturing van beleid. Meer informatie over het Werkprogramma Monitoring en Sturing Circulaire Economie is te vinden op <https://www.pbl.nl/monitoring-circulaire-economie>.



**Monitoring en Sturing  
Circulaire Economie**

De 'monitor duurzaam leven' is een initiatief van het Planbureau voor de Leefomgeving en Milieu Centraal dat gestart is in 2021, met als doel inzicht te krijgen in het potentiële effect van circulair gedrag van Nederlandse consumenten op de totale milieu- en klimaatimpact van een gemiddeld Nederlands huishouden, per jaar. Het initiatief bestaat uit twee onderdelen, te weten het uitvragen van de bereidheid van consumenten tot het vertonen van circulair gedrag, middels een jaarlijkse enquête en het rekenen aan reducties per huishouden per jaar, die haalbaar zijn wanneer verschillende circulaire gedragingen door consumenten worden vertoond.

#### Definitie van 'circulair gedrag' op basis van de R-ladder:

In deze studie wordt 'circulair gedrag' gedefinieerd als 'het toepassen van de treden op de R-ladder' (PBL, 2018).

Het gaat hier om de volgende treden:

- ▶ Refuse: het product overbodig maken door van het gebruik af te zien, of door de functie op een radicaal andere wijze in te vullen.
- ▶ Rethink: productgebruik intensiveren door het product te delen, te lenen of door gebruik te maken van een multifunctioneel product.
- ▶ Reduce: Het verminderen van grondstoffengebruik of het gebruik van minder belastende grondstoffen.
- ▶ Re-use: het hergebruiken van een reeds afgedankt product in dezelfde functie door een andere gebruiker.
- ▶ Repair, refurbish: het verlengen van de gebruiksduur van een product door reparatie respectievelijk opknappen.
- ▶ Recycle: het hergebruiken van de grondstoffen in een product. In deze studie wordt met recycle het kiezen voor producten van (deels) gerecyclede materialen bedoeld.

In deze studie ligt de focus op circulaire gedragingen waar de consument zelf in staat is een keuze te maken. Om die reden zijn de gedragingen recover en remanufacture niet in de scope van deze studie meegenomen.

#### Scope van dit rapport

Dit rapport gaat over één van de twee hierboven genoemde stappen, te weten de berekeningen aan de haalbare reductie van klimaat- en milieuimpact, bij het vertonen van circulair gedrag door consumenten, zoals omschreven in de R-ladder.

De uitvoering van deze berekeningen is als volgt opgezet:

- ▶ Op basis van Benders et al. (Benders, Younis, Zuidema, & Kok, 2021) is bepaald hoe groot de milieu- en klimaatimpact per jaar van een Nederlands huishouden is en hoe deze impact verdeeld is over de domeinen voeding, mobiliteit, kleding, vrije tijd, wonen, woning, werk & studie en persoonlijke verzorging. Het uitvoeren van de berekeningen aan de reductie van milieu- en klimaatimpact van een gemiddeld huishouden door toepassen van circulair gedrag zijn uitbesteed aan verschillende partijen. Het domein 'woning' is de scope van dit rapport.

Het domein woning bestaat uit twee delen, te weten 'nieuwbouw' en 'verbouw'. Dit rapport is alleen gericht op het deel 'verbouw'. De scope van de berekeningen in dit rapport is dus 'circulaire opties die consumenten hebben met betrekking tot verbouw van de woning'.

#### Productkeuze binnen het domein woning

Binnen het domein 'verbouw' is ervoor gekozen het aantal producten waaraan gerekend wordt, te beperken tot 12. Het doel is om hierbij 12 producten te kiezen waarbij de uitkomsten kunnen worden gebruikt om inzichten te verkrijgen over het gehele domein. Hiertoe heeft Milieu Centraal eerst een longlist van 'producten' gemaakt. Deze bestond uit aanbouw, dakkapel, keuken (kastjes/aanrecht), keuken (kookplaat), keuken (warm water), verwarming (bron warm water en warmte voor verwarming), verwarming (afgifte warmte door huis), isolatie, sanitair, ventilatie, opwekken energie (zonnepaneel), opwekken

energie (zonneboiler), vloerbedekking en vloer vervangen begane grond. Het product 'vloerbedekking' wordt in deze rapportage niet besproken omdat deze in het rapport 'wonen en vrije tijd' is doorgerekend. Het product 'vloer vervangen begane grond' is vervallen omdat het een weinig voorkomende verbouwing is vergeleken met de andere opties in de lijst. Hierdoor bleven twaalf producten over.

#### Keuze voor te onderzoeken circulaire opties voor consumenten

Voor ieder gekozen product zijn, op basis van de R-ladder, circulaire opties vastgesteld. De opties zijn vastgesteld op basis van ervaring, opgedaan in eerder onderzoek binnen Milieu Centraal, door voor ieder product met de betrokken onderzoeker de R-ladder door te lopen en de belangrijkste opties per R-trede vast te stellen. Door deze aanpak wordt de focus van dit rapport gelegd op praktisch haalbare oplossingen. Daarnaast wordt met deze aanpak voorkomen dat belangrijke opties over het hoofd worden gezien. Een overzicht van de opties, per product, is gegeven in tabel 1.

Tabel 1: Opties per product

Product	Narrow the loop			Slow the loop			Close the loop
	Refuse	Rethink	Reduce	Reuse	Repair	Refurbish	Recycle
<b>Aanbouw</b>	x	Aanbouw met gedeelde muren.	Kleinere aanbouw of aanbouw houtskeletbouw.	Materialen hergebruiken, Renovatie, leidend tot langere levensduur	x	x	Gebruik gerecyclede materiaal
<b>Dakkapel</b>	Twee gekoppelde klappramen	x	Een dakkapel met kunststof delen	Renovatie van een dakkapel	x	x	Gebruik gerecyclede materiaal
<b>Isolatie</b>	x	x	Gebruik duurzamere materialen	x	x	x	Gebruik gerecyclede materiaal
<b>Keuken: kastjes en aanrechtblad</b>	x	x	Gebruik minder materiaal of duurzamer materiaal	Materialen hergebruiken, geheel langer gebruiken	x	Elementen vervangen om geheel langer te gebruiken	Gebruik gerecyclede materiaal
<b>Keuken: warm en kokend water</b>	x	x	Gebruik van een kokend waterkraan	x	x	x	Gebruik gerecyclede materiaal
<b>Keuken : Kookplaat</b>	x	x	Gebruik van een inductiekookplaat	x	x	x	Gebruik gerecyclede materiaal
<b>Badkamer</b>	x	x	Water- en energiebesparende opties. Minder materiaalgebruik.	Verlengen gebruiksduur.	x	x	Gebruik gerecyclede materiaal
<b>Ventilatie</b>	x	x	Gebruik zelfregulerende roosters, balansventilatie, terugwinning van warmte.	x	x	x	Gebruik gerecyclede materiaal
<b>Energieopwekking</b>	x	x	Gebruik PV-panelen of een zonneboiler	x	x	x	Gebruik gerecyclede materiaal
<b>Verwarming: warm waterbron</b>	x	x	Gebruik warmtepomp of biomassaketel	Langer gebruik HR-combiketel	x	x	Gebruik gerecyclede materiaal
<b>Verwarming: afgifte warmte</b>	x	x	Gebruik van een radiatorventilator of radiatorfolie	Verlengen gebruiksduur	Schilderwerk en vervangen van de radiatorkraan	x	Gebruik gerecyclede materiaal



**Gekozen aanpak berekeningen**

De uitgewerkte scenario's dienen als input voor de EAP-tool (EAP staat voor Environmental Analysis Program) (Rijksuniversiteit Groningen, 2020). De precieze aanpak hiervoor is omschreven in hoofdstuk 3. De EAP-tool is een tool die de gebruiker in staat stelt om, op basis van een hybride methode van procesanalyse en input-output analyse, de milieudruk te bepalen van verschillende gedragalternatieven, producten en scenario's. Op de EAP tool wordt verder ingegaan in hoofdstuk 3 van dit rapport.

Uit deze analyses volgt per scenario een output in verschillende milieu-indicatoren, waaruit Global Warming Potential (GWP) en landgebruik zijn gekozen om te dienen als proxy voor de andere indicatoren. De andere indicatoren worden voor nu buiten beschouwing gelaten.

**Opbouw rapportage**

In hoofdstuk 2 van dit rapport worden algemene conclusies gegeven, alsmede een overkoepelend overzicht van te behalen reducties in landgebruik en uitstoot van broeikasgassen voor de onderzochte producten. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de gebruikte methodologie en de gekozen softwaretool EAP. De hoofdstukken 4 tot en met 14 gaan over de onderzochte producten, waarin een hoofdstuk steeds is opgedeeld in drie onderdelen: een omschrijving van de gekozen scenario's, de resultaten van de analyses in 3 grafieken (één grafiek over de uitkomsten over uitstoot van broeikasgassen, uitgedrukt in kg CO<sub>2</sub>-eq per jaar, één grafiek over landgebruik, uitgedrukt in m<sup>2</sup>\* year per jaar en één grafiek waarin voor zowel landgebruik als uitstoot van broeikasgassen wordt aangegeven welke reductie haalbaar is bij toepassing van verschillende circulaire scenario's. In hoofdstuk 15 wordt ingegaan op het aspect van transport door de consumenten.



## 2 ALGEMENE CONCLUSIES

In dit onderzoek werd de potentiële besparing in kaart gebracht die kan worden bereikt met circulaire gedragingen ten aanzien van twaalf productgroepen binnen het domein woning. De onderstaande tabellen geven een overzicht van de bevindingen. Op basis van deze samenvattende tabellen wordt in één oogopslag zichtbaar wáár in de ladder (kolommen) de grootste besparingen kunnen worden behaald (in groen) en voor welke productgroepen dit het geval is (rijen). Deze tabellen bieden handvatten aan beleidsmakers en producenten, omdat ze aangeven welk circulaire gedrag door consumenten in potentie de grootste milieubesparing met zich meebrengt. Kortom, dit zijn de gedragingen die de meeste zoden aan de dijk zetten en waartoe de consument een extra zetje in de rug kan gebruiken.

Onderstaand overzicht geeft de potentie van de verschillende opties binnen iedere R-trede voor de verschillende circulaire activiteiten binnen het domein 'woning' weer. R-treden waarbij ten minste één scenario meer dan 25% beter is worden weergegeven met '+' (groen), R-treden waarbij ten minste één scenario meer dan 25% slechter is worden weergegeven met '-' (rood), R-treden waarvan alle scenario's minder dan 25% beter of slechter zijn worden weergegeven met '+/-', evenals R-treden waarbij ten minste één scenario 25% beter én één scenario 25% slechter is (geel). R-treden waar dit laatste geldt (dus R-treden waarbij ten minste één scenario 25% beter én één scenario 25% slechter is) zijn in de tabel steeds gemarkeerd met een sterretje. Een overzicht van de onderzochte opties per trede is te vinden in tabel 1 en de individuele hoofdstukken per product.

Tabel 2: Potentieel voor GWP-impact van circulaire opties voor het domein 'woning'

GWP	Narrow the loop			Slow the loop			Close the loop
	Refuse	Rethink	Reduce	Reuse	Repair	Refurbish	Recycle
Aanbouw		+-	+	+			+-
Dakkapel	+		+-	+			+-
Isolatie			+				+
Keuken: kastjes en aanrechtblad			+	+		+	+-
Keuken: warm en kokend water			+-				+-
Keuken: kookplaat			+-				+-
Badkamer			+	+-			+-
Ventilatie			+-				+-
Energieopwekking: PV			+				+>**
Energieopwekking: Zonneboiler			+-				+>**
Verwarming: warm waterbron			+	+-			+-
Verwarming: Afgiftesysteem			+-	+-	+-		+-

\*\*In dit geval is een goed vergelijk met het basisscenario niet goed mogelijk. Wanneer echter in de reduce-scenario's óók recycling wordt toegepast, leidt dit niet tot meer dan 25% extra verbetering of verslechtering, dus is gekozen voor '+-'.  
Bij GWP staat bij bijna 60% van de producten een '+'. Dit betekent dat daar een R-trede is die meer dan 25% reductie GWP kan realiseren.

Tabel 3: Potentieel voor landgebruik impact van circulaire opties voor het domein 'woning'

Landgebruik	Narrow the loop			Slow the loop			Close the loop
	Refuse	Rethink	Reduce	Reuse	Repair	Refurbish	Recycle
Aanbouw		+-	+*	+			+-
Dakkapel	+		+	+-			+-
Isolatie			+*				+
Keuken: kastjes en aanrechtblad			+	+		+	+-
Keuken: warm en kokend water			-				+-
Keuken: kookplaat			-				+-
Badkamer			+-	+-			+-
Ventilatie			-				+**
Energieopwekking: PV			+				+**
Energieopwekking: zonneboiler			-				+**
Verwarming: warm waterbron			-	+-			+-
Verwarming: Afgiftesysteem			+-	+-	+-		+-

\*\*In dit geval is een goed vergelijk met het basisscenario niet goed mogelijk. Wanneer echter in de reduce-scenario's óók recycling wordt toegepast, leidt dit niet tot meer dan 25% extra verbetering of verslechtering, dus is gekozen voor '+-'.  
Bij landgebruik staat bij bijna 60% van de producten een '+', wat betekent dat bij die producten een R-trede is die meer dan 25% reductie GWP kan realiseren.

In de berekeningen is uitgegaan van de huidige energiemix voor bepaling van het aantal kg CO<sub>2</sub>-equivalent per kWh elektriciteit en m<sup>3</sup> gas en aantal m<sup>2</sup>\*year landgebruik per kWh elektriciteit en m<sup>3</sup> gas. De verwachting is echter dat het aantal kg CO<sub>2</sub>-equivalent per kWh elektriciteit in de komende jaren zal afnemen door vergroening van de energiemix, dit is in deze berekeningen niet meegenomen. Dit betekent voor sommige vergelijkingen (bijvoorbeeld de vergelijking van de



gaskookplaat met de inductiekookplaat) dat de uitkomsten nu dicht bij elkaar liggen, maar mogelijk in de komende jaren verder uit elkaar zullen lopen. Opvallend is dat wanneer gas wordt vervangen door elektra, dit vaak een negatief effect heeft op de hoeveelheid 'land occupation'. Dit kan worden verklaard door ruimtegebruik dat gepaard gaat met duurzame energieopwekking en het gebruik van kolen of biomassa voor opwekking van elektra. Sommige van de hier onderzochte opties zijn onmisbaar voor de opgave om in 2050 van het gas af te zijn. Die producten zijn dus hoe dan ook nodig, maar de resultaten geven aan dat deze transitie ook consequenties heeft voor bijvoorbeeld landgebruik.

Bij elkaar genomen kan over de R-treden worden opgemerkt:

- ▶ **Narrow the loop.** Hoewel refuse niet expliciet is onderzocht, is daar natuurlijk veelal de grootste milieuwinst te realiseren. Immers, een functie wordt helemaal niet vervuld. Als bij reduce simpelweg sprake is van kleinere dimensies, is er sprake van minder materiaal, hetgeen automatisch minder impact van GWP en landgebruik. Echter als het materiaal minder lang mee gaat, kan het ook een grotere impact betekenen omdat het materiaal eerder vervangen moet worden. Dit zie je bijvoorbeeld bij houtskeletbouw die als reduce optie bij aanbouw is onderzocht. Daar heeft het lichte hout tot gevolg dat de fundering van minder materiaal gemaakt kan worden, maar moet het hout eerder worden vernieuwd dan in het basisscenario. Hierdoor is de impact op landgebruik slechter dan in het basisscenario.
- ▶ **Slow the loop.** Bij reuse is gerekend met een tweede gebruiker van een product (of langer gebruik door een eerste gebruiker) en daarmee met een langere levensduur. Per jaar daalt daardoor de impact van GWP en landgebruik (ondanks dat er soms onderhoud nodig is). Bij repair en refurbish zijn extra activiteiten of materialen nodig om de levensduur te verlengen, waardoor het positieve effect ervan deels teniet wordt gedaan. Er is geen rekening gehouden bij de uitwerking van de scenario's met het op de markt zijn van energie-efficiëntere producten. Het *kán* (in het geval van elektrische producten) dus zo zijn dat bij een keuzemoment voor reuse, repair of refurbish het vanuit GWP beter is om voor een nieuw, energie-efficiënter product te kiezen in plaats van het verlengen van de levensduur. Vanuit landgebruik is het verlengen van de levensduur echter wel in alle gevallen van slow the loop beter.
- ▶ **Close the loop.** Bij recycling is de impact op GWP en landgebruik sterk afhankelijk van het materiaal. Bij metalen valt de meeste winst te behalen.

Bij de hoofdstukken keuken (zowel warmwatervoorziening als kookplaat), badkamer, ventilatie, energieopwekking en verwarming (zowel warmwatervoorziening als afgifte warmte), is ook het GWP en landgebruik van de gebruiksfase (dus energie- en watergebruik) weergegeven. Dit om een gevoel te krijgen of het materiaal of de gebruiksfase er meer toe doet.

- ▶ **GWP.** De gebruiksfase is hier vaak veel relevanter dan de aanschaf van de producten (de impact van energie kan tussen de 20 en 200 keer groter zijn dan de impact van materiaal). Het loont hier dus om te focussen op de effecten van de R-trede op de gebruiksfase, zoals energiebesparende maatregelen.
- ▶ **Landgebruik.** De gebruiksfase is hier voornamelijk relevant en overheersend als er sprake is van elektriciteitsgebruik (landgebruik voor windturbines en zonnepanelen) of biomassa. Als alleen gas wordt gebruikt, dan wordt het landgebruik bepaald door de aanschaf van de producten (bijvoorbeeld bij de badkamer en verwarming (afgifte)).

In deze studie ligt de focus op de procentuele reductie die per functie te realiseren is bij het klimmen op de R-ladder, zoals in bovenstaande tabellen is weergegeven. Daarnaast is er een absolute reductie die per functie is te realiseren bij het klimmen op de R-ladder. Deze absolute reductie is in de hoofdstukken terug te vinden. Deze is het grootste als een reductie in energiegebruik in de gebruiksfase wordt meegerekend. Als alleen naar materiaal wordt gekeken lijkt er qua absolute

reductie van zowel GWP als landgebruik veel potentie te zitten bij de aanbouw en de dakkapel. Dit komt omdat daar veel materiaal wordt gebruikt.

#### Samengevat:

- ▶ Kleiner wonen betekent minder materiaal, en daardoor minder milieubelasting. Dit kan de consument doen door bijvoorbeeld het nemen van een kleinere aanbouw, het kiezen van dakramen in plaats van een dakkapel en het weglaten van een kookeiland in de keuken. Kleiner wonen zal vaak ook minder energiegebruik in de gebruiksfase betekenen.
- ▶ Als in de gebruiksfase sprake is van energie- en/of watergebruik, dan is de focus op zuinig gebruik meestal relevanter dan materiaalkeuze. Zo leveren in de badkamer de (warm)water besparende maatregelen meer op dan de opties met andere/minder materialen. En levert bij de verwarming (afgifte) de vloerverwarming of radiatorfolie meer op dan het gebruik van gerecycled materiaal in de radiator.
- ▶ Isoleren zelf levert meer reductie aan CO<sub>2</sub> emissie op dan dat isolatiematerialen aan CO<sub>2</sub> emissie met zich meebrengen. De reductie van broeikasgassen door de energiebesparing als gevolg van isolatie zelf is circa 80 keer hoger dan de klimaatimpact van het gebruikte isolatiemateriaal.
- ▶ Ook al levert besparing op energie- en water in de gebruiksfase al snel het meeste op als het om CO<sub>2</sub> emissiereductie gaat, het gebruik van minder milieubelastende materialen hoeft daar niet strijdig mee te zijn. Zo kunnen bij isolatie de alternatieven van PUR (zoals glaswol, steenwol of (gerecycled) EPS) een milieuvriendelijkere keuze zijn.







## 3 METHODE

### Gebruikte software

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van de EAP-tool. De EAP-tool is in de jaren 90 ontwikkeld en door de jaren heen verschillende malen geüpdatet. De tool combineert LCA en input-output analyse, waarbij het grootste deel van de totale milieudruk van een product wordt bepaald op basis van de Ecoinvent database (Ecoinvent, 2020) en resterende de milieudruk voor lastig te bepalen processen die nodig zijn voor het product wordt geschat op basis van een input-output analyse. Dit resulteert in een hybride analysetool waarmee snel analyses kunnen worden gedaan, welke een indruk geven van de milieu- en klimaatimpact van een product of dienst. In dit project is gekozen voor gebruik van de EAP-tool omdat hiermee een veel groter aantal consumptie-opties voor verschillende producten kan worden doorgerekend binnen de beschikbare tijd.

Met de EAP-tool is het mogelijk de milieu-impact van een product of dienst te berekenen door middel van de volgende stappen:

### 3. METHODE

#### PROJECT MILIEUDRUK CONSUMPTIE DOMEIN WONING

#### Informatie verzamelen:

- ▶ Bepalen van de consumentenprijs op basis van gehanteerde prijzen in EAP en in web-shops. De consumentenprijs heeft invloed op de berekeningen doordat deze wordt meegerekend in het input-outputdeel van de analyse.
- ▶ Bepalen van de materiaalsamenstelling en de gemiddelde gebruiksduur van het product.

#### Verwerking middels EAP-software:

- ▶ De consumentenprijs van het product wordt verminderd met de BTW en de prijzen van de gebruikte basismaterialen en verpakkingsmaterialen (zoals gebruikt in EAP). Op basis van het overgebleven bedrag worden middels een verdeelsleutel de milieu- en klimaatimpact van productie, van de kapitaalgoederen, van handel en diensten, en van de restgoederen bepaald.
- ▶ De milieu- en klimaatimpact van de basisgoederen wordt bepaald op basis van procesanalyse.

#### Verwerking uitkomsten:

- ▶ Tot slot wordt hierbij de milieu-impact van transport, huishoudelijk energiegebruik en afvalverwerking opgeteld en wordt de uitkomst omgerekend naar een impact per persoon per jaar. Dit levert de milieu-impact van het product op, van wieg tot graf, per persoon per jaar.

#### Motivatie van keuze voor de huidige methode

De keuze voor EAP is een afweging geweest tussen twee belangrijke voor- en nadelen van de methode.

- ▶ De methode biedt de mogelijkheid berekeningen van milieu- en klimaatimpact van producten uit te voeren in een veel kortere tijd dan het geval zou zijn in een procesanalyse, omdat een deel van de berekening wordt gedaan op basis van input-output analyse. Een nadeel is dat de uitkomsten hierdoor minder precies zijn. De uitkomsten zijn bruikbaar om een orde van grootte te bepalen, eerder dan de exacte milieu- en klimaatimpact van een product.
- ▶ Een nadeel van deze analyse is dat de input- outputtabellen in het model zijn gebaseerd op de uitstoot van Nederlandse productiesectoren. Voor producten die in het buitenland zijn geproduceerd wordt dus gerekend met waarden alsof de productie in Nederland zou hebben plaatsgevonden (Vringer, et al., 2010). Daarnaast zijn de input-outputtabellen gebaseerd op gegevens uit het jaar 2017, terwijl huidige consumentenprijzen sindsdien zullen zijn veranderd.

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te krijgen in het effect van verschillende R-treden op de milieu- en klimaatimpact per persoon per jaar van een bepaald product. Om tot deze inzichten te komen, is de richting en de orde van grootte van het effect van een R-trede voor een bepaald product belangrijker dan de precieze uitkomst van de analyses. Daarnaast is het voor dit doel wenselijk een zo groot mogelijk aantal producten te onderzoeken, zodat een beeld ontstaat van het effect van R-treden op producten binnen een bepaalde productcategorie. Om dit doel te bereiken, weegt het voordeel om snel analyses te kunnen maken op tegen het nadeel dat uitkomsten minder precies zijn dan wanneer een volledige LCA zou worden uitgevoerd. De EAP-tool is goed bruikbaar voor het bepalen van ordegroottes en het vergelijken van verschillende consumptieopties die consumenten hebben. Deze bevinding wordt ondersteund door bevindingen van Vringer et al. (Vringer, et al., 2010) en Benders, Younis, Zuidema en Kok (Benders, Younis, Zuidema, & Kok, 2021).

Voor een monitor is EAP nuttig, omdat de achterliggende model en database frequent wordt geüpdatet. Daarmee vormt een ontwikkelde basisberekening een functionele, efficiënte bouwsteen voor de komende jaren.



### Systeemgrenzen en allocatie

In dit rapport is steeds gerekend aan het effect van een R-trede op een product. Dat wil zeggen: hoe verandert de impact per jaar van een product, wanneer een bepaalde R-trede wordt toegepast. Het kan wenselijk zijn om van dit perspectief af te wijken, bijvoorbeeld om een stap niet vanuit een product maar vanuit een gebruiker te bekijken. Om dat te kunnen doen, is voor de treden reuse en recycle een allocatie tussen een eerste en een tweede gebruiker vereist. In de keuze van allocatie wordt bepaald welk deel van de milieupact van het product wordt toegeschreven aan de eerste (originele) gebruiker en welk deel aan de tweede. Allocatie kan op verschillende manieren worden toegepast (bijvoorbeeld door een 'cut-off' principe of door weging naar gebruiksduur of economische waarde). Zou op basis van de uitkomsten in dit rapport een vertaling naar een gebruiker worden gemaakt, dan zou een toedeling op basis van economische waarde het beste passen bij de gekozen werkwijze voor dit rapport. Hieronder wordt uitgelegd waarom.

Het doel van dit rapport is te bepalen of stappen op de R-ladder zorgen voor het verlagen van de milieu-impact van het gebruik van een product. De resultaten in dit rapport redeneren dus vanuit het product zelf, niet vanuit de gebruiker.. Deze benadering betekent het volgende voor het berekenen van de opties reuse en recycling.

### Reuse

Wanneer een product tijdens de technische levensduur meerdere gebruikers heeft die elkaar opvolgen, heeft dit in dit rapport dus geen consequenties voor de uitkomsten. De uitkomsten zeggen daarmee iets over het 'systeemperspectief'.

Om in dit rapport tot een uitspraak over milieu-impact per jaar te komen, wordt in de trede reuse naar het product over twee gebruikers gekeken, waarbij de milieu-impact per jaar hetzelfde wordt geacht. Hierdoor wordt de 'cut-off' methode als het ware gebruikt voor de twee gebruikers samen. Om de impact per jaar te berekenen, wordt de totale milieu-impact over eerste en tweede gebruiker samen, gedeeld door het aantal gebruiksjaren van gebruiker 1 en 2 samen.

Mocht men de uitkomsten van dit rapport, met betrekking tot de trede reuse, willen interpreteren vanuit de eerste of tweede gebruiker in plaats vanuit het 'systeemperspectief', is allocatie vereist. Methodisch is de consequente keuze ook hier het gebruik van de net genoemde 'cut-off' methode. Zou de keuze voor de 'cut-off' methode worden gehanteerd met betrekking tot de trede reuse, dan leidt dat tot de conclusie dat tweedehands verkopen van een product vaak een geringe meerwaarde heeft ten opzichte van 'weggooiën' van het product en dat tweedehands kopen van een product de beste optie is, afgezien van het geheel weigeren van het product. Deze conclusie zou gebaseerd zijn op een methodische keuze en geen basis hebben in de praktijk, omdat in de praktijk altijd een eerste en tweede gebruiker nodig zijn voor tweedehands (ver)koop. Met andere woorden: er is vanuit het systeemperspectief geen reden om aan te nemen dat tweedehands aankoop van een product beter gedrag is dan tweedehands verkoop, wanneer gelet wordt op milieu- en klimaatimpact.

Mocht men deze uitkomsten willen vertalen naar het perspectief van één gebruiker, namelijk de verkopende of aankopende partij, dan heeft een keuze voor economische allocatie het volgende effect:

- ▶ De verkopende partij wordt een kleinere impact per jaar toebedeeld, wanneer:
  - Het product een hogere waarde heeft bij verkoop (bijvoorbeeld doordat spullen goed zijn onderhouden).
  - Het product langer is gebruikt voordat het is verkocht.
- ▶ De aankopende partij wordt een kleinere impact per jaar toebedeeld, wanneer:
  - Het product een lagere waarde heeft bij aankoop (bijvoorbeeld doordat een product wordt gekocht dat anders zou zijn weggegooid).
  - De waarde van het product wordt verhoogd na aankoop.
  - Het product na aankoop langer wordt gebruikt.

### Recycling

In het geval van recycling is er wel een allocatie toegepast, omdat dit het eind van de levensduur van het product is. Hiervoor is gekozen voor de 'cut-off' methode, die ook in het achtergrondmodel van EAP is gebruikt. Dat wil zeggen: de impacts van de basisgoederen, transport, productie en gebruik door eerste gebruiker, worden geheel toegeschreven aan de eerste gebruiker. De impacts van recycling, gebruik door de tweede gebruiker en afdanken worden toegeschreven aan de tweede gebruiker. In de praktijk betekent dit dat 'het gebruiken van gerecycled materiaal' inhoudt dat alleen de milieupact van het recyclingproces wordt meegerekend in de analyse en dat de rest van de impact wordt toegerekend aan de eerste gebruiker van het materiaal.

### Gekozen werkwijze per product

Het doel van dit onderzoek is het verkrijgen van inzicht in het effect van circulaire gedragingen (zoals gedefinieerd volgens de R-ladder) op de milieu- en klimaatimpact van Nederlandse personen, per jaar. Er wordt dus onderzocht hoe de klimaat- en milieupact van een Nederlandse inwoner toeneemt of afneemt, als gevolg van het toepassen van een bepaalde circulaire gedraging.

Om dergelijke verschillen in kaart te kunnen brengen, is ervoor gekozen voor ieder product een referentiesituatie te definiëren en deze steeds te vergelijken met een situatie waarin de onderzochte circulaire gedraging wordt toegepast. De uitkomst van deze vergelijking is dan de mate waarin de klimaat- en milieupact van het onderzochte product, per persoon en per jaar, toeneemt of afneemt als gevolg van de toegepaste circulaire gedraging.

Om tot deze uitkomst te komen, zijn steeds de volgende stappen genomen:

- ▶ De details van de referentiesituatie worden bepaald op basis van literatuuronderzoek, de precieze werkwijze wordt later in dit hoofdstuk beschreven.
- ▶ Per R-trede wordt bepaald hoe deze afwijkt van de referentiesituatie. Het gaat dan bijvoorbeeld om andere materialen, een andere gebruiksduur, een ander energiegebruik, of een geheel andere invulling van de functie van het product dat in de referentiesituatie wordt gebruikt.
- ▶ De variant wordt vergeleken met de referentiesituatie en er wordt een verschilpercentage berekend.

Omdat het vergelijk steeds wordt gemaakt tussen een referentiesituatie en een variant op deze referentiesituatie, waarin de inputs in het EAP-model worden gevarieerd om het effect van een toe te passen gedraging te voorspellen, is ervoor gekozen de varianten aan te duiden als scenario's. Dammers (2013) geeft aan dat er uiteenlopende omschrijvingen in omloop zijn van het begrip 'scenario' en stelt daarom de volgende, brede definitie voor: *'Scenario's verkennen mogelijk geachte toekomst en de ontwikkelingen die daar naartoe kunnen leiden en/of wenselijk geachte toekomst en de ontwikkelingen die nodig zijn om die te bereiken.'*

In dit rapport wordt de term 'scenario' ook gebruikt, waarbij het volgende wordt bedoeld: *'Een scenario is een specifieke set van waarden die worden ingevoerd in het EAP-model, of worden toegepast op de uitkomsten van een analyse in het EAP-model, om het toepassen van een bepaalde R-trede op een product te simuleren.'*

Een 'scenario' bevat informatie over de volgende parameters:

- ▶ De consumentenprijs voor het product, gebaseerd op onderzoek in webwinkels, en het gehanteerde BTW percentage.
- ▶ De hoeveelheden van de materialen in het product en de verpakking van het product, gebaseerd op literatuuronderzoek, aangevuld met aannames.
- ▶ De sectoren waarin het product is geproduceerd en verhandeld (de sectoren 'groothandel' en 'detailhandel').

- ▶ Op welke manier en over welke afstand de basisgoederen zijn getransporteerd naar de producent, het product is getransporteerd naar groothandel, detailhandel en consument.
- ▶ Het energie- en watergebruik in de gebruiksfase van het product.
- ▶ De toegepaste wijze van afvalverwerking, inclusief opties voor recycling van bepaalde materialen.
- ▶ De technische en economische levensduur van het product.

Deze waarden voor deze parameters zijn als volgt bepaald:

- ▶ Indien mogelijk is uitgegaan van de gegevens die reeds in de EAP-software aanwezig zijn, doordat reeds analyses zijn gemaakt voor het project 'milieudruk van huishoudens' (Benders, Younis, Zuidema, & Kok, 2021).
- ▶ Wanneer gegevens niet in het EAP-model beschikbaar zijn, is gebruik gemaakt van de volgende bronnen om deze gegevens te verkrijgen:
  - De consumentenprijs: Gehanteerde prijzen in webwinkels.
  - De hoeveelheden van de materialen in het product en verpakking van het product: Ecoinvent, indien niet beschikbaar in Ecoinvent is literatuuronderzoek gedaan om de samenstellingen te bepalen. Indien de hoeveelheden niet zijn af te leiden uit literatuuronderzoek zijn aannames gedaan of eigen metingen uitgevoerd.
  - Het landgebruik en GWP van basismaterialen: De Ecoinvent database. Wanneer gegevens niet in deze database beschikbaar zijn, is een optie buiten beschouwing gelaten omdat geen goede methode voorhanden is om gegevens van dit type uit bronnen, anders dan Ecoinvent, te gebruiken in de EAP-software.
  - Sectoren voor productie, groothandel en detailhandel: de EAP-software bevat een lijst met sectoren voor groothandel en detailhandel. Per analyse is afgewogen welke sector het best passend is. Er is niet van de lijst met sectoren afgeweken.
  - Transport van basisgoederen naar Nederland is, indien relevant, reeds opgenomen in de impact van de basisgoederen. Voor transport naar groothandel en detailhandel is steeds 150 kilometer in een 'vrachtwagen groot' aangehouden. Dit in lijn met het onderzoek 'klimaatimpact van huishoudens'. (Benders, Younis, Zuidema, & Kok, 2021).
  - Het energiegebruik van de verschillende producten is bepaald op basis van onderzoek dat eerder gedaan is door Milieu Centraal. Het Landgebruik van gas en elektra (resp. per m<sup>3</sup> en per kWh) is gebaseerd op waarden uit het EAP model. De uitstoot in kg CO<sub>2</sub>-equivalent van gas en elektra (resp. per m<sup>3</sup> en per kWh) zijn gebaseerd op de website [www.co2emissiefactoren.nl](http://www.co2emissiefactoren.nl).
  - Voor de toegepaste wijze van afvalverwerking is steeds gekozen uit de opties die reeds in de EAP-software waren opgenomen, namelijk afvalverbranding. Voor de R-trede recycle is echter gekozen voor de afvalverwerkingsoptie recycle voor alle materialen waarvoor deze optie beschikbaar is.
  - De levensduur van de producten is bepaald op basis van literatuuronderzoek.

#### De werkwijze per product is dan als volgt:

- ▶ Er is steeds eerst een basisvariant van het product bepaald. Hierbij wordt uitgegaan van een variant waarin geen treden uit de R-ladder worden toegepast. Voor een aantal materialen geldt dat deze altijd voor een deel uit gerecyclede materialen bestaan (dit geldt bijvoorbeeld voor staal en voor spaanplaat). Dit is meegenomen in de basisvariant en in de individuele hoofdstukken vermeld. Deze variant wordt gelabeld als het 'basisscenario'.
- ▶ Vervolgens is voor iedere trede op de R-ladder onderzocht welke opties de consument heeft om deze trede toe te passen, op basis van literatuuronderzoek en overleg met experts. Sommige opties zijn buiten de scope van dit onderzoek, om één van de volgende redenen:
  - De optie is niet te vinden of aan te schaffen via (web)winkels. Aangenomen is dat dit betekent dat het product voor een consument (nog) niet bereikbaar is. Voorbeelden zijn producten die in de toekomst pas op de markt zullen worden gebracht, of producten die alleen in het buitenland verkrijgbaar zijn. Criterium is dus dat mag worden

aangenomen dat de consument in staat is deze optie uit te voeren.

- De optie geeft een groot ongemak in gebruik, waardoor aangenomen wordt dat het onwaarschijnlijk is dat deze door de consument zal worden uitgevoerd. Voorbeelden zijn het weglaten van bepaald meubilair dat benodigd is om te koken of te slapen. Criterium is dus dat redelijkerwijs kan worden aangenomen dat in ieder geval een deel van de Nederlandse consumenten bereid is om deze optie in de praktijk uit te voeren.
  - De optie is niet goed te modelleren in de EAP-tool en de besparing kan ook niet worden benaderd middels literatuuronderzoek, bijvoorbeeld wanneer niet voldoende gegevens beschikbaar zijn of wanneer complexe gedragseffecten (zoals reboundeffecten) te verwachten zijn die niet in de EAP-tool kunnen worden gemodelleerd.
  - Er kan vooraf redelijkerwijs worden aangenomen dat rekenen aan de optie geen nieuwe inzichten oplevert. Voorbeelden zijn het volledig 'weglaten' van een luxeproduct (waardoor de impact per persoon per jaar vervalt tot nul, tenzij een 'reboundeffect' optreedt).
- ▶ Vervolgens zijn voor alle vastgestelde opties de benodigde gegevens verzameld. De gehanteerde aanpak is eerder in dit hoofdstuk omschreven.
  - ▶ Vervolgens is voor alle opties een analyse gedaan middels de EAP-tool. De gehanteerde aanpak is eerder in dit hoofdstuk omschreven.

#### Overzicht algemene aannames

Om de resultaten om te rekenen naar resultaten per huishouden per jaar zijn, op basis van literatuur, aannames gedaan over de gebruiksduur van de verschillende producten.

Verder is er bij de berekeningen vanuit gegaan dat van de doorgerekende producten de volgende aantallen voorkomen in een huishouden:

- ▶ Aanbouw. Eén aanbouw per huishouden. De technische levensduur verschilt per element, maar voor de gebruiksduur van het totaal 70 jaar aangehouden.
- ▶ Dakkapel. Eén dakkapel per huishouden. De technische levensduur verschilt per element, maar voor de gebruiksduur van het totaal is 25 jaar aangehouden.
- ▶ Isolatie. Isolatie van dak, vloer en spouw voor referentiewoning. Levensduur verschilt per type isolatie.
- ▶ Keuken: kastjes/aanrecht. Eén keuken per huishouden. De technische levensduur verschilt per element, voor de gebruiksduur van het totaal is met 15 jaar gerekend.
- ▶ Keuken: warm water. Eén installatie in de keuken voor warm en kokend leidingwater per huishouden. De levensduur verschilt per optie.
- ▶ Keuken: kookplaat. Eén kookplaat per huishouden, levensduur 15 jaar.
- ▶ Badkamer: één badkamer per huishouden. Levensduur verschilt per element, maar voor het geheel is 20 jaar aangehouden.
- ▶ Ventilatie: één installatie met infrastructuur per huishouden, levensduur verschilt per optie.
- ▶ Energieopwekking: PV panelen of een zonneboiler. 27,4 m<sup>2</sup> aan panelen per huishouden voor PV en één installatie voor tapwater of één installatie voor zowel verwarming als tapwater voor een zonnecollector. De levensduur verschilt per optie.
- ▶ Verwarming: warmwatervoorziening. Eén installatie voor warmwater per huishouden, voor de levensduur is 15 jaar aangehouden.
- ▶ Verwarming: afgifte van warmte, een systeem met voldoende capaciteit om de referentiewoning te kunnen verwarmen naar 20 °C. De levensduur verschilt per optie.

Voor het GWP van energiegebruik per kWh en transport is gebruik gemaakt van de online bron 'CO<sub>2</sub>-emissiefactoren' (CO<sub>2</sub>emissiefactoren, sd). Aannames die specifiek per scenario zijn gedaan, zijn omschreven in de desbetreffende hoofdstukken.



**Interpretatie van de uitkomsten**

- ▶ Op basis van een inschatting van de makers van de EAP-tool, is een onzekerheidsmarge van 15% aangehouden in de uitkomsten van de analyses (RUG, persoonlijke mededeling, 2021). Deze marge is een gemiddelde waarbij vermoed wordt dat de onzekerheid bij diensten groter is dan 15% en bij materialen kleiner is dan 15% (PBL, Persoonlijke mededeling, 2021). Er is dus geen onzekerheidsanalyse gedaan op de uitkomsten in dit rapport. De foutbalken in de grafieken in dit rapport dienen alleen als indicatie van welke opties van elkaar verschillen, zelfs wanneer deze ingeschatte onzekerheid wordt meegerekend. In de interpretatie van de resultaten wordt steeds toegelicht hoe met deze onzekerheid is omgegaan. De foutbalken zijn niet toegepast op de impact van energiegebruik in de gebruiksfase, omdat hiervoor een andere bron is gebruikt dan de EAP-tool.
- ▶ De software EAP berekent uitkomsten in een zestal categorieën, te weten uitstoot van broeikasgassen in kg CO<sub>1</sub>-eq (in de output van de software wordt dit aangeduid als 'GWP' en deze term wordt daarom gehanteerd in dit rapport), het landgebruik in m<sup>2</sup> \* year (deze output betekent 'het voor deze functie bezette gebied in m<sup>2</sup> maal de tijdsduur van deze bezetting in jaar, het gaat hier dus om 'land occupation' en niet om 'land transformation'). Dit betekent dat in deze methode geen rekening gehouden wordt met de locatie van het landgebruik en de mate waarin het landgebruik effect heeft de functies van het land dat wordt gebruikt (zoals het ondersteunen van biodiversiteit). Om die reden moeten uitkomsten met betrekking tot landgebruik zeer zorgvuldig worden geïnterpreteerd en kan niet worden gesteld dat 'meer landgebruik' per definitie een grotere impact op het milieu betekent. Toelichting wordt steeds gegeven in de hoofdstukken waarin de resultaten worden geïnterpreteerd. Omdat de resultaten worden gepresenteerd als impact per huishouden per jaar, maar de eenheid van deze milieu-impact ook de factor 'jaar' bevat (namelijk m<sup>2</sup> \* year), kunnen deze twee factoren tegen elkaar worden weggestreept en kan worden volstaan met de aanduiding 'm<sup>2</sup>'. Hier is echter niet voor gekozen om te voorkomen dat verwarring ontstaat wanneer de term 'per jaar' wel voorkomt wanneer gesproken wordt van GWP en niet wanneer gesproken wordt van landgebruik. De gehanteerde term in het vervolg van dit rapport is dus 'm<sup>2</sup> \* year, per huishouden per jaar'.

**Gebruikte referentiegegevens**

Binnen het domein woning is ervoor gekozen te rekenen met een referentiewoning, zodat bij alle producten kan worden uitgegaan van vergelijkbare maatvoering en isolatiewaardes. De referentiewoning is gebaseerd op een inventarisatie van bestaande woningen zoals uitgevoerd door WE-adviseurs (WE Adviseurs, 2021). Er is hierbij gekozen voor een rijtjeswoning (dit is het meest voorkomende woningtype in Nederland (CBS, 2016), waarbinnen is gekozen voor een woning uit de jaren 1945-1964. Het gaat daarbij namelijk om naoorlogse woningen waar dat initieel niet uitgebreid of geïsoleerd is. Aangenomen is dat dit een woningtype is waarbij veel gerenoveerd wordt.

Er wordt hier uitgegaan van de huidige staat waarin deze woningen verkeren. Dit betekent dat aangenomen wordt dat deze woningen al deels zijn nageïsoleerd, dat ramen en kozijnen sinds de bouw al vervangen zijn, dat sinds de bouw reeds gewerkt is aan isolatie middels naad- en kierdichting en dat reeds dubbel glas is aangebracht.

Hierbij is uitgegaan van de volgende gegevens van WE-adviseurs:

Tabel 4: Details van gebruikte referentiewoning.

Onderdeel	Gegevens
Woningtype	Rijwoning tussen
Gebouwtype	Eengezinswoning met kap
Bouwperiode	1946-1964
Gebruiksoppervlakte in m <sup>2</sup>	97,87 (dit is voor de analyses afgerond naar 100 m <sup>2</sup> )
Aantal bouwlagen	3
Gebouwhoogte in m	9
Begane grondvloer	Oppervlakte 42,27 m <sup>2</sup> , R-waarde <sup>1</sup> 0,33 m <sup>2</sup> K/W in originele staat, 0,42 m <sup>2</sup> K/W in huidige staat. Kruipruimte aanwezig.
Gevels	Voor- en achtergevel samen: oppervlak van 38,21 m <sup>2</sup> , R-waarde 0,35 m <sup>2</sup> K/W in originele staat en 0,57 m <sup>2</sup> K/W in huidige staat.
Daken	Schuin dak, totaal dakoppervlak 43,26 m <sup>2</sup> . R-waarde 0,35 m <sup>2</sup> K/W in originele staat en 0,66 m <sup>2</sup> K/W in huidige staat. Aangenomen dakhoek: 30°.
Ramen	Totaaloppervlak 19,86 m <sup>2</sup> U-waarde 5,20 m <sup>2</sup> K/W in originele staat en 4,97 m <sup>2</sup> K/W in huidige staat.
Deuren	Totaaloppervlak 4,75 m <sup>2</sup> U-waarde 3,40 m <sup>2</sup> K/W in originele staat en 3,35 m <sup>2</sup> K/W in huidige staat.
Ventilatie huidige staat	Volledig natuurlijk, geen warmteterugwinning, er is aangenomen dat in de huidige staat reeds aandacht is besteed aan naad- en kierdichting.
Verwarming huidige staat	Ketel HR107, huis individueel verwarmd, warmteafgifte middels radiatoren.
Warmtapwater huidige staat	Ketel HR107, huis individueel van warm water voorzien, CW-klasse 4/5/6, geen WTW in douche, geen zonneboiler.
PV-cellen huidige staat	Niet aanwezig
Energieprestatie huidige staat	Niet primair gasgebruik 2270,83 m <sup>3</sup> . Niet primair energiegebruik 329,42 kWh.

<sup>1</sup> De R-waarde is een maat voor de isolatiewaarde van een product of een constructie. Een hogere R-waarde betekent betere isolatie en dus minder verlies van warmte.

Om deze tabel samen te stellen, is voor een aantal dimensies het gemiddelde of de mediaan genomen. De gehanteerde waarden zullen dus niet gelden voor iedere tussenwoning uit deze periode. Daarnaast worden niet alle dimensies van een woning uit deze bron beschikbaar (bijvoorbeeld: de diepte en breedte van de woning komen in de tabel niet voor). Om die reden zijn, op basis van deze tabel, aanvullende aannames gedaan voor een aantal hoofdstukken. Deze aanvullende aannames worden in de hoofdstukken zelf benoemd.

**Gebruik kerncijfers Milieu Centraal in aanvulling op details referentiewoning**

Tevens is voor een aantal zaken gebruik gemaakt van de kerncijfers van Milieu Centraal. De kerncijfers van Milieu Centraal worden één of twee maal per jaar bijgewerkt en zijn bedoeld om zeker te weten dat voor verschillende onderzoeken dezelfde uitgangspunten worden gehanteerd.

Dit betreft in ieder geval:

- ▶ Totaal primair energieverbruik, ofwel het energiegebruik inclusief verliezen bij opwekking, transport en opslag, voor elektra. Volgens de kerncijfers van Milieu Centraal (2020) betreft dit: 2741 kWh per jaar.

- ▶ Totaal gasverbruik: Volgens de kerncijfers van Milieu Centraal betreft dit 1239 m<sup>3</sup> gas per jaar. Dit is echter gebaseerd op een gemiddeld Nederlands huishouden (dus alle huishoudgroottes en alle typen huizen) en past daardoor niet één op één bij de gekozen referentiewoning (waarvoor op basis van WE-adviseurs (2021) 2270 m<sup>3</sup> gas per jaar gehanteerd wordt). Omdat voor de gekozen referentiewoning is uitgegaan van matige isolatie, natuurlijke ventilatie, geen PV-panelen en een HR-ketel als warmtebron, is te verwachten dat het gemiddelde jaarlijkse gasverbruik hoger is dan het getal in de kerncijfers van Milieu Centraal. Om die reden is voor het totale gasverbruik het getal aangehouden dat past bij de referentiewoning (namelijk 2270 m<sup>3</sup> gas).
- ▶ Energieverbruik voor verschillende individuele apparaten (zoals apparatuur voor ventilatie en koken) en watergebruik. De aannames en bronnen zijn in de individuele hoofdstukken vermeld.

#### Volgorde van informatiebronnen in het bepalen van dimensionering

- ▶ In de dimensionering van de verschillende onderdelen (met name badkamer, keuken, aanbouw, dakkapel) is zoveel mogelijk rekening gehouden met maten die passen bij de gekozen referentiewoning. Waar de gegevens uit de referentiewoning geen uitsluitel geven is gekeken of er andere limiterende zaken zijn (zoals de maximale vergunningsvrije grootte voor dakkapellen en de maximale hoogte voor een aanbouw). Wanneer ook hier geen uitsluitel volgt, is onderzocht of er een waarde te bepalen is op basis van literatuur of praktijkvoorbeelden (bijvoorbeeld aannames over de grootte van een keuken of badkamer op basis van de standaard maten voor meubilair, aangehouden in planningstools). Wanneer ook hier geen uitsluitel volgt, is gebruik gemaakt van een 'Expert judgement' op basis van overleg met experts binnen Milieu Centraal. In de individuele hoofdstukken is aangegeven op welke bron de aannames zijn gebaseerd.



## 4 AANBOUW

Het plaatsen van een aanbouw is een effectieve manier om het gebruiksoppervlak van een woning te vergroten. Uitgaande van een gemiddelde perceelgrootte van 131,7 m<sup>2</sup> voor tussenwoningen in Nederland (Regiocontainer.nl, 2019) en een maximaal toegestane bebouwing van 50 m<sup>2</sup> + 20% van het oppervlak boven 100 m<sup>2</sup> (Constructieshop, 2019), mag een aanbouw (naast de bestaande grootte van de referentiewoning op basis van de referentiegegevens) maximaal 14,4 m<sup>2</sup> groot zijn. Omdat het hier om gemiddelden gaat voor perceelgroottes, is dit getal afgerond naar 15m<sup>2</sup>, zodat berekeningen kunnen worden vereenvoudigd.

Voor de breedte van de aanbouw is uitgegaan van de breedte van de woning. Hoewel deze breedte niet in de lijst met referentiegegevens (tabel 1) is benoemd, kan uit de referentiegegevens worden herleid dat een woningbreedte van 5 meter in lijn is met de overige dimensies. Voor de hoogte is gerekend met de maximale vergunningsvrije hoogte van 3 meter, bij een aanbouw die dieper is dan 2,5 meter. Omdat voor de gemiddelde diepte van een aanbouw in Nederland geen gegevens beschikbaar zijn aan de diepte geen beperking is, is 3 meter aangenomen, zodat de totale oppervlakte van de aanbouw op 15 m<sup>2</sup> uitkomt.

In dit hoofdstuk is een onderscheid gemaakt tussen de gebruiksduur van het product (de aanbouw) en de technische levensduur van de verschillende materialen. Hierbij is de technische levensduur van



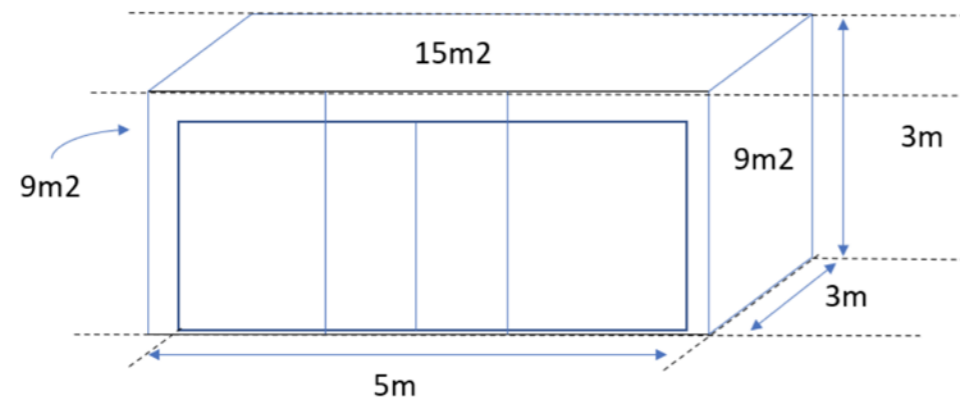
de materialen gebaseerd op literatuuronderzoek en is de gebruiksduur van het product gebaseerd op de technische levensduur van de muren bij een gemetselde aanbouw, en de levensduur van het houten frame bij houtskeletbouw. Hier is voor gekozen omdat het niet aannemelijk is dat deze elementen zullen worden vervangen, zonder de volledige aanbouw te vervangen. Voor de aanbouw is daarom in het basisscenario gerekend met een totale gebruiksduur van 70 jaar, gebaseerd op de 'typische' levensduur van baksteen volgens de SBR-methode (SBR, 2012). Materialen die die levensduur niet halen, worden gedurende de gebruiksduur van de aanbouw vervangen. Schilderwerk is iedere 7 tot 10 jaar nodig (Berger, 2020), hiervoor is 8,5 jaar als gemiddelde aangehouden. De dimensies zijn verder uitgewerkt in afbeelding 1.

## UITWERKING SCENARIO'S

**Basisscenario:** Een aanbouw aan de achterzijde van 5 bij 3 meter en 3 meter hoog, zonder met de burens gedeelde muren. De fundering bestaat uit twee betonnen heipalen. De isolatiewaarden zijn  $R=3,5$  voor de muren en  $R=6$  voor het dak, volgens het Bouwbesluit. De impact van installatie is meegerekend.

De volgende materiaalkeuzes zijn gedaan in samenwerking met experts binnen Milieu Centraal: De voorzijde is een pui van glas met openslaande deuren en houten kozijnen (Dimensies volgens afbeelding 1). De vloer is een broodjesvloer van polystyreen met betonnen balken. De halfsteens gekoppelde spouwmuren zijn gemaakt van baksteen, de kozijnen van hardhout, het dak van houten balken (vuren) met PUR-isolatie (13,8 cm) en OSB-platen, afgewerkt met gipsplaten. Alle bouwdelen zijn voorzien van de reguliere folies, ankers en slabben. De boeidelen zijn van Multiplex, De dakbedekking is van EPDM. De hemelwaterafvoer (naar de bodem) is gemaakt van PVC.

Behalve hemelwaterafvoer krijgt de uitbouw geen installaties en aansluitingen. Ook de achterliggende kamer en keuken krijgen geen aanvullende verlichting. Het dak krijgt geen lichtkoepels. De toename van elektriciteit voor aanvullende verlichting wordt niet meegenomen in de berekening. De originele gevel blijft volledig in stand en behoeft geen aanvullende balken en lateien om bijvoorbeeld een opening naar de woonkamer te vervangen. Er is geen sloopafval. Brandveiligheid zoals in het Bouwbesluit is buiten beschouwing gelaten: het gaat in dit onderzoek om de materialen.



Afbeelding 1: Schematische weergave van de aanbouw.

Het doel van dit onderzoek is het identificeren van toe- en afnames in landgebruik en uitstoot van broeikasgassen per huishouden, per jaar bij toepassing van circulaire gedragingen op de R-ladder voor verschillende producten, in dit geval de uitbouw. Het gaat hierbij om de orde van grootte, eerder dan om de exacte uitkomst en daarom is ervoor gekozen met een versimpelde versie van een aanbouw te rekenen.

De onderstaande scenario's zijn opgesteld in overleg met experts binnen Milieu Centraal.

**Rethink:** Voor de trede rethink is een aanbouw onderzocht zoals beschreven in het basisscenario, maar dan samen met de burens. De dimensionering is verder hetzelfde, maar aan twee zijden is de aanbouw vastgemaakt aan de aanbouw van de burens. Daardoor wordt met de helft van de dikte van de zijmuren gerekend (de dikte van de scheidingsmuur wordt verdeeld tussen de twee objecten) en wordt de isolatie van de zijwanden weggelaten, evenals de boeidelen aan de zijkant. Aangenomen is dat de aangrenzende ruimten verwarmd zijn.

**Reduce:** Voor de trede reduce zijn meerdere scenario's opgesteld, te weten:

- ▶ Aanbouw met kleinere dimensies, te weten de helft van de oppervlakte ten opzichte van het basisscenario. Hierbij is de helft van de diepte aangenomen, namelijk 1,5 meter diep in plaats van 3 meter, om te onderzoeken wat het effect is van een reductie van in materiaalgebruik. Hierdoor veranderen de dimensies van de vloer en het dak van de aanbouw en wordt minder materiaal gebruikt. De hoogte is gelijk gehouden (zodat deze aansluit bij de verdiepingshoogte). Een scenario waarbij de breedte wordt verminderd in plaats van de diepte is niet onderzocht.
- ▶ Aanbouw op basis van houtskeletbouw, waarbij door de lichtere constructie kan worden volstaan met een strokenfundering. Gerekend is met een houten skelet en een houten binnen en buitenblad. Voor de aanbouw is gerekend met een totale levensduur van 60 jaar, vanwege de typische levensduur van het houten frame (SBR, 2012), waarbij materialen die die levensduur niet halen, tussentijds worden vervangen.

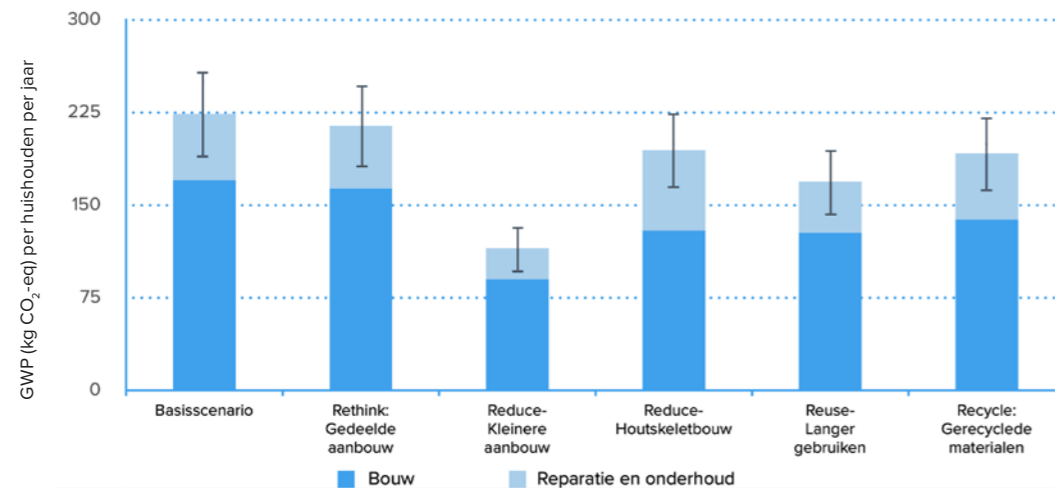
**Reuse:** Een aanbouw zoals in het basisscenario, waarbij de gebruiksduur met 30 jaar wordt verlengd tot 100 jaar. Individuele materialen worden aan het einde van de technische levensduur vervangen.

**Recycle:** Een aanbouw zoals in het basisscenario, waarbij gerecyclede bakstenen, stalen wapening en loodslabben zijn gebruikt.

## RESULTATEN

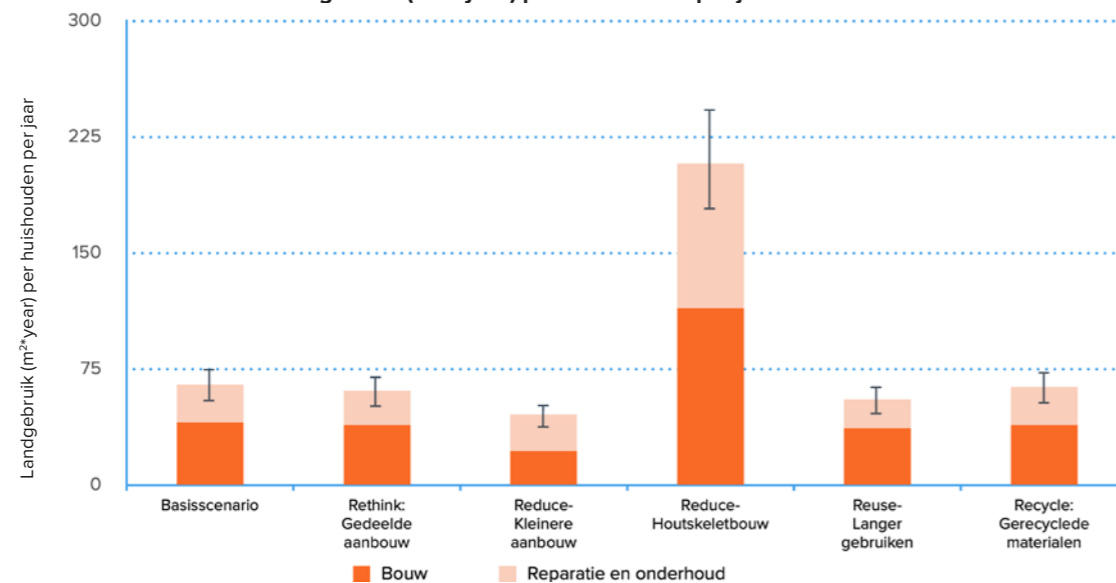
Figuur 1 en Figuur 2 geven de uitkomsten weer voor GWP respectievelijk landgebruik bij de verschillende R-strategieën ten opzichte van het basisscenario. Figuur 3 geeft de uitkomsten weer als reductie ten opzichte van het basisscenario.

### 1. Aanbouw: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar



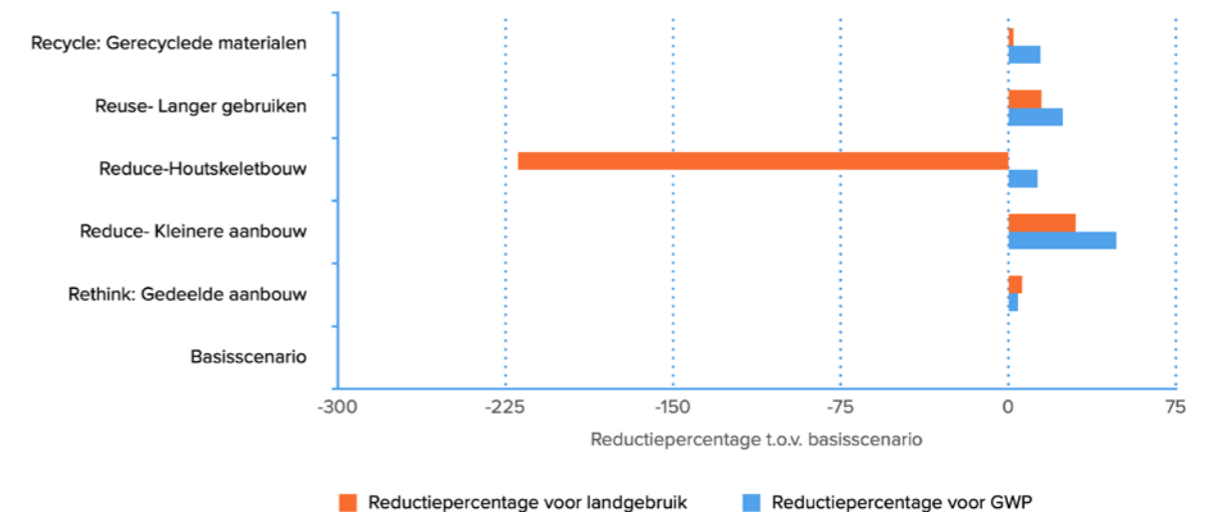
Figuur 1: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar bij verschillende R-opties voor een aanbouw. Het donkerblauwe deel geeft de impact weer van de materialen die nodig zijn voor de bouw van de aanbouw, het lichtblauwe deel geeft de impact weer van de materialen die later moeten worden toegevoegd ter vervanging van materialen die het einde van de levensduur hebben bereikt, zodat de levensduur van de complete aanbouw (60 jaar voor de aanbouw met houtskelet en 70 jaar voor de overige opties) kan worden behaald. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

### 2. Aanbouw: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar



Figuur 2: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar bij verschillende R-opties voor een aanbouw. Het donkeroranje deel geeft de impact weer van de materialen die nodig zijn voor de bouw van de aanbouw, het lichtoranje deel geeft de impact weer van de materialen die later moeten worden toegevoegd ter vervanging van materialen die het einde van de levensduur hebben bereikt, zodat de levensduur van de complete aanbouw (60 jaar voor de aanbouw met houtskelet en 70 jaar voor de overige opties) kan worden behaald. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

### 3. Aanbouw: reductiepercentages voor landgebruik



Figuur 3: Reductiepercentages voor een aanbouw voor GWP en landgebruik, ten opzichte van het basisscenario: een gemetselde uitbouw van 3 bij 5, één verdieping hoog met een levensduur van 60 jaar.

## DEELCONCLUSIES

- ▶ De optie waarbij materiaalgebruik wordt verminderd door een kleinere aanbouw, resulteert in een verbetering op zowel GWP als landgebruik (met name door het gebruik van minder baksteen voor de muren en minder staal en beton voor de vloer). Langer gebruiken van de aanbouw leidt voor zowel GWP als landgebruik tot een verbetering.
- ▶ Het gebruik van houtskeletbouw met een houten spouwblad leidt voor landgebruik, onder andere door het gebruik van een biotische grondstof en een kortere technische levensduur, tot een slechtere uitkomst dan het basisscenario van steen.



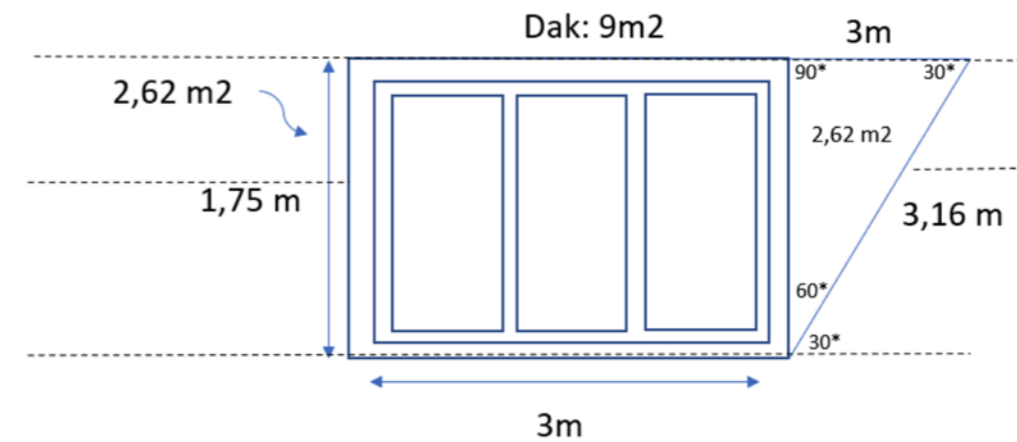


## 5 DAKKAPEL

Een dakkapel biedt de mogelijkheid om het gebruiksoppervlak van een woning te vergroten, door op een verdieping met een schuin dak de dakhoogte aan te passen. Daarnaast biedt een dakkapel de mogelijkheid meer daglicht binnen te laten. De maximale vergunningsvrije afmetingen van een dakkapel zijn 1,75 in de hoogte en 3 meter in de breedte. Er is een dakhoek (van het hoofddak) van 30 graden aangenomen omdat deze hoek in de referentiewoning is aangehouden als hoek voor zonnepanelen, mochten deze geplaatst worden. Voor een dakkapel is uitgegaan van een levensduur van 25 jaar, dit is aangenomen op basis van de typische levensduur van de multiplex zijwangen en boeiboorden en de EPDM-dakbedekking. De impact van installatie is meegerekend.

Uit deze gegevens zijn de overige maten van de dakkapel afgeleid, zoals in afbeelding 2 is uitgewerkt. Voor isolatiewaarden is een R waarde van 6 aangehouden, volgens het Bouwbesluit.

Afbeelding 2: Dimensies dakkapel.



### UITWERKING SCENARIO'S

De volgende scenario's zijn opgesteld op basis van ervaring binnen Milieu Centraal.

**Basisscenario:** Het dak bestaat uit een OSB-plaat met een EPDM-dakbedekking op vurenhouten balken. Boeidelen en zijwangen worden gemaakt van multiplex (van Trespa en Keralit bleken onvoldoende gegevens beschikbaar om deze kunnen vergelijken). Isolatie op basis van PUR-platen. Schilderwerk is iedere 7 tot 10 jaar nodig (Berger, 2020), hiervoor is een gemiddelde van 8,5 jaar aangehouden.

**Refuse:** Het gebruik van twee gekoppelde tuimeldakramen van ieder 1 m<sup>2</sup> groot, in plaats van een dakkapel. Deze ramen kennen een lager materiaalgebruik, geen onderhoud en een kortere levensduur dan een dakkapel (20 jaar, gebaseerd op de typische levensduur van de ruit). Daarnaast wordt één van de twee functies (creëren van extra ruimte) opgegeven: er is enkel een beter lichtinval.

**Reduce:** Voor het reduce-scenario zijn meerdere opties opgesteld:

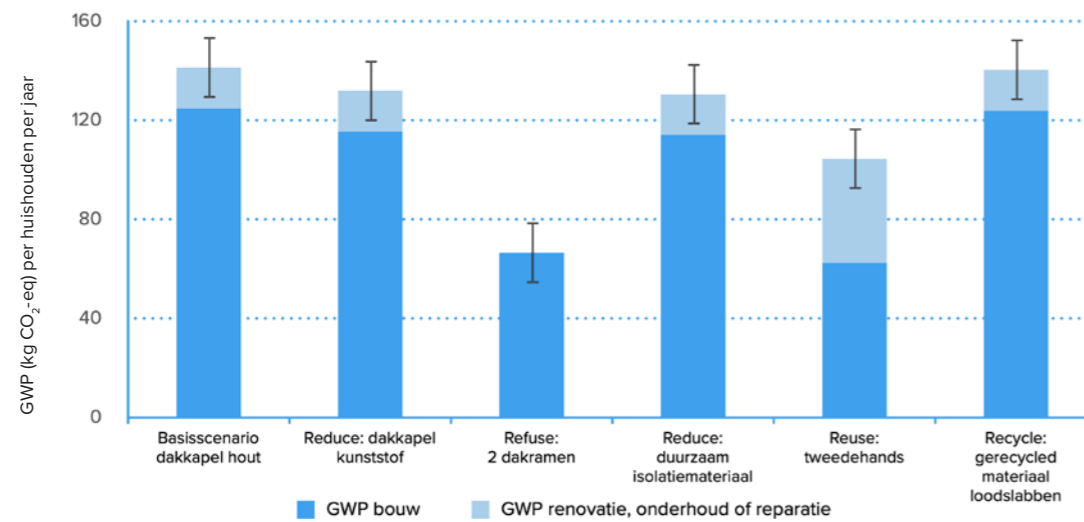
- ▶ Een dakkapel met een houten skelet en kunststof buitenzijde. Hierbij zijn alle gegevens en materialen verder vergelijkbaar met het basisscenario, maar zijn de kozijnen, boeidelen en zijwangen gemaakt van PVC.
- ▶ De isolatie van PUR vervangen door isolatie vlasplaten, een biobased materiaal, waarbij de R-waarde hetzelfde wordt gehouden.

**Reuse:** Voor het reuse-scenario zijn meerdere opties vastgesteld:

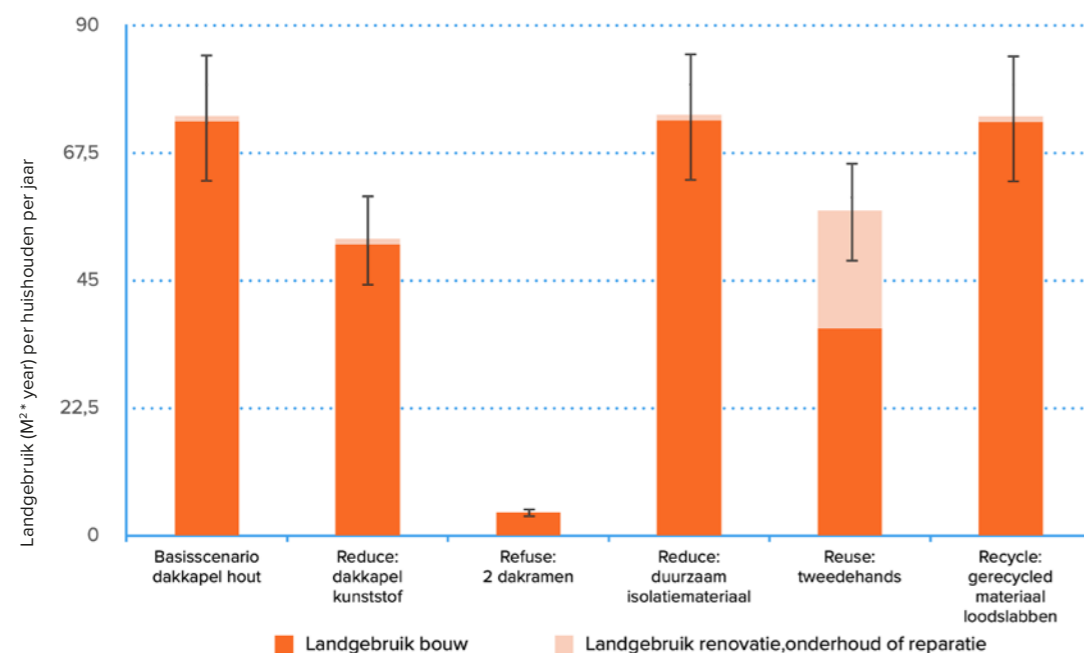
- ▶ Een dakkapel tweedehands kopen, renoveren en opnieuw gebruiken. Hierbij worden alle materialen, afgezien van de constructie en kozijnen, vernieuwd en wordt de dakkapel nog eens 25 jaar gebruikt.

**Recycle:** Voor het recycle scenario is gekeken naar het effect van het gebruik van gerecycled materiaal voor de loodslabben. Voor de andere materialen die in het basisscenario zijn gebruikt, is geen informatie beschikbaar over de milieu- en klimaatimpact van een gerecyclede variant (dit geldt bijvoorbeeld voor hout, H+++-glas en EPDM).

## RESULTATEN

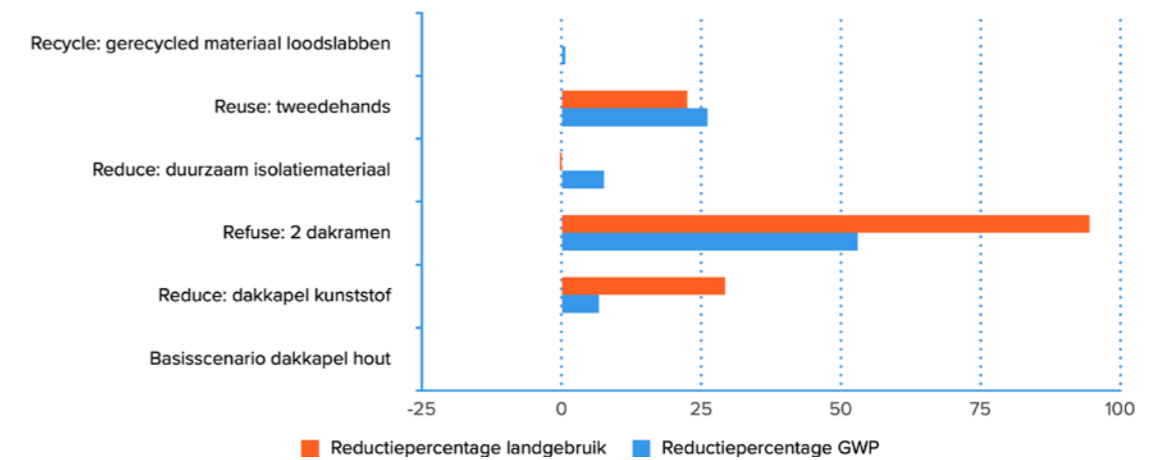
4. Dakkapel: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar

Figuur 4: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar bij verschillende R-opties voor een dakkapel. *Het donkerblauwe deel geeft de impact weer van de materialen die nodig zijn voor de bouw van de dakkapel, het lichtblauwe deel geeft de impact weer van de materialen die later moeten worden toegevoegd ter vervanging van materialen die het einde van de levensduur hebben bereikt, zodat de levensduur van de complete dakkapel (25 jaar) kan worden behaald. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.*

5. Dakkapel: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar

Figuur 5: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar bij verschillende R-opties voor een dakkapel. *Het donkeroranje deel geeft de impact weer van de materialen die nodig zijn voor de bouw van de dakkapel, het lichtoranje deel geeft de impact weer van de materialen die later moeten worden toegevoegd ter vervanging van materialen die het einde van de levensduur hebben bereikt, zodat de levensduur van de complete dakkapel (25 jaar) kan worden behaald. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.*

## 6. Dakkapel: Reductiepercentages voor GWP en landgebruik



Figuur 6: Reductiepercentages voor GWP en landgebruik bij verschillende R-opties, ten opzichte van het basisscenario: een houten dakkapel.

## DEELCONCLUSIES

- ▶ Voor zowel GWP als landgebruik is winst te behalen door te kiezen voor 2 dakramen in plaats van een dakkapel en door een tweedehands dakkapel te renoveren en opnieuw te gebruiken. Kiezen voor een dakraam in plaats van een dakkapel is niet in alle gevallen mogelijk, dit is namelijk geen oplossing wanneer naast meer lichtinval ook behoefte is aan meer ruimte.
- ▶ Voor alleen landgebruik is winst te behalen door voor een kunststof dakkapel te kiezen.
- ▶ Kiezen voor een biobased materiaal voor isolatie (glas) leidt niet tot een verbetering of verslechtering van meer dan 15% ten opzichte van het totaal. Vermoedelijk is het verschil hier slechts gering omdat isolatiemateriaal slechts een klein deel van het totale gebruikte materiaal is (isolatie is ongeveer 10% van het totale gewicht van een dakkapel in het basisscenario). Op het precieze effect van een keuze voor duurzame isolatie wordt verder ingegaan in het hoofdstuk 'isolatie'.





## 6 ISOLATIE

Isolatie van de vloer, wanden en het dak van een huis zorgt ervoor dat warmteverliezen uit de woning worden beperkt. Bij isoleren wordt dus een investering gedaan in materiaal, welke leidt tot een reductie in energieverlies. Voor isolatie zijn verschillende materialen voorhanden, welke allemaal een eigen isolatiewaarde (de hoeveelheid energieverlies per vierkante meter materiaal, bij een bepaalde materiaaldikte) hebben. Uit de gewenste isolatiewaarde (de R-waarde) van een constructie en de isolatiewaarde van het materiaal (de lambda-waarde) kan worden afgeleid welke materiaaldikte vereist is.

Omdat op basis van de gegevens over de referentiewoning niet nauwkeurig te achterhalen is welke energiereductie kan worden behaald wanneer vloer, wanden en dak worden geïsoleerd, zonder daarbij extra aannames te doen, is gekozen voor een alternatieve aanpak:

- ▶ Onderzocht is welke R-waarde de dakconstructie, de vloer en de muren minimaal moeten hebben volgens het Bouwbesluit (a) en welke waarde in de huidige referentiegegevens wordt aangehouden (b).
- ▶ Uit het verschil tussen a en b is, op basis van de verschillende lambda-waarden per materiaal, bepaald welke dikten de isolatie zou moeten hebben voor de vloer, het dak en de wanden, wanneer de verschillende materialen worden gebruikt.

- ▶ Door deze aanpak is de reductie in energieverlies voor alle scenario's gelijk, wordt in alle scenario's voldaan aan de gevraagde R-waarden en kunnen de verschillende isolatiematerialen onderling worden vergeleken.
- ▶ In dit hoofdstuk is niet meegenomen dat toevoegen van extra isolatie mogelijk vraagt om een toevoeging van extra ventilatie.

### UITWERKING SCENARIO'S

Op basis van de referentiegegevens (tabel 4) zijn de te isoleren oppervlakken bepaald: 43,26 m<sup>2</sup> dakoppervlak (exclusief de ruiten), 44,09 m<sup>2</sup> voor het vloeroppervlak op de begane grond en 54 m<sup>2</sup> voor de voor- en achtergevel samen (exclusief de ramen en deuren). De levensduur van de isolatiematerialen is gebaseerd op SBR-referentiegegevens (SBR, 2012). Op basis van het Bouwbesluit zijn isolatiewaarden opgenomen van R=6 voor het dak, R=3,5 voor de vloer en R=4,5 voor de voor- en achtergevel.

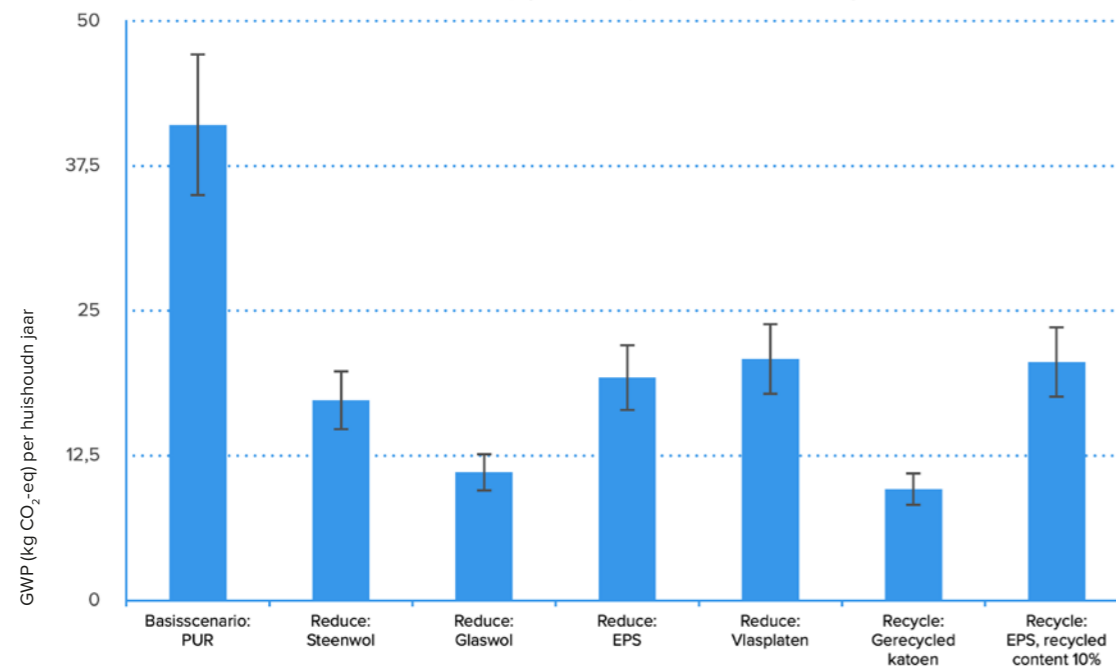
Op basis van ervaring binnen Milieu Centraal zijn de volgende scenario's opgesteld.

**Basisscenario:** Het isoleren van het dak, de (spouw)muren aan voor en achterzijde van de woning en de vloer. Aangenomen is dat de zijkanten van de woning grenzen aan een verwarmde ruimte en daardoor geen isolatie vereisen. Voor dak, vloer- en spouwisolatie is uitgegaan van isolatie met PUR (levensduur 75 jaar) met een dikte die voldoende is om de genoemde R-waarden te behalen. Diensten voor aanbrengen van de isolatie zijn meegerekend.

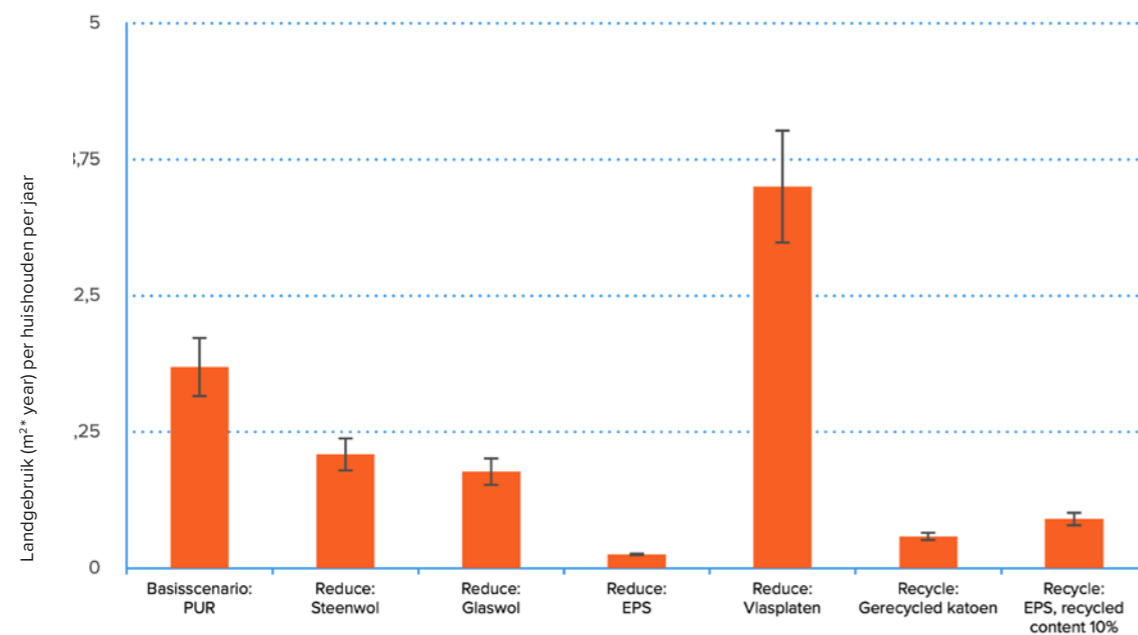
**Reduce:** Het isoleren van het dak, de (spouw) muren aan voor- en achterzijde en de vloer, middels de alternatieve materialen steenwol (levensduur 100 jaar), glaswol (levensduur 100 jaar), geëxpandeerd polystyreen (EPS) (levensduur 75 jaar) en vlasplaten (levensduur 75 jaar). De materialen houtvezel, wol, PUR en cellulose zijn niet meegenomen wegens gebrek aan geschikte gegevens voor gebruik in EAP. Diensten voor aanbrengen van de isolatie zijn meegerekend.

**Recycle:** Het isoleren van het dak, de (spouw)muren aan voor- en achterzijde en de vloer, middels een mengsel van gerecyclede katoenen kleding (85%) en een vulmiddel van PE en PET (15%) (levensduur 75 jaar). En middels EPS met 10% gerecycled materiaal (levensduur 75 jaar). Diensten voor aanbrengen van de isolatie zijn hierin meegerekend.

## RESULTATEN

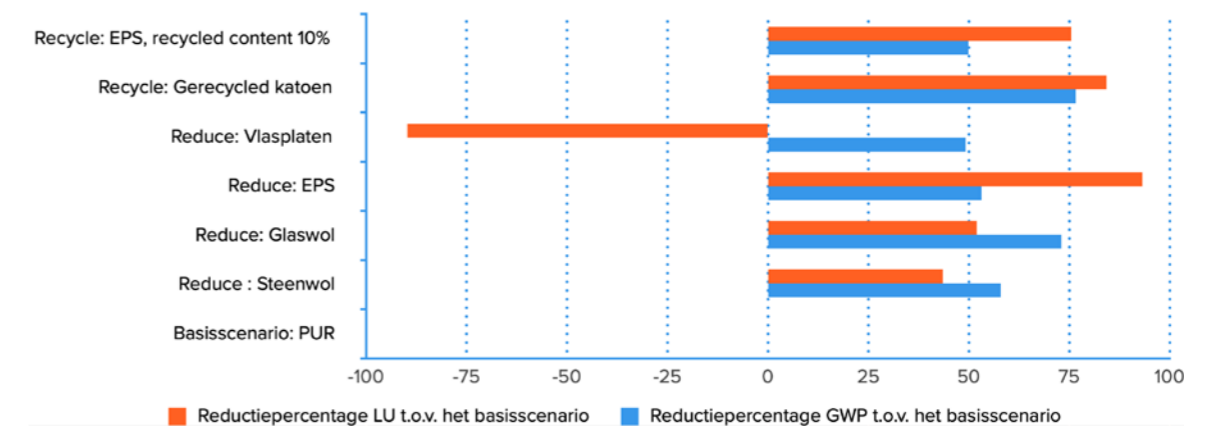
7. Isolatie: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar

Figuur 7: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar voor isolatie van dak, vloer en spouw van de referentiewoning naar de in het Bouwbesluit gevraagde waarden. Energiegebruik wordt niet meegerekend, maar is voor alle opties vergelijkbaar doordat dezelfde R-waarden worden aangehouden. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

8. Isolatie: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar

Figuur 8: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar voor isolatie van dak, vloer en spouw van de referentiewoning naar de in het Bouwbesluit gevraagde waarden. Energiegebruik wordt niet meegerekend, maar is voor alle opties vergelijkbaar doordat dezelfde R-waarden worden aangehouden. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

## 9. Isolatie: reductiepercentages GWP en landgebruik



Figuur 9: Uitkomsten, uitgedrukt in reductiepercentages voor GWP en landgebruik ten opzichte van het basisscenario (isolatie middels PUR), voor de verschillende R-treden.

## DEELCONCLUSIES

- In dit hoofdstuk zijn de R-waarden constant gehouden en is niet gekeken naar de energiebesparing die de isolatie zelf met zich meebrengt. Isolatie zelf zorgt voor circa 3250 kg vermeden CO<sub>2</sub>-eq per jaar<sup>1</sup>. Dit is minimaal 80x hoger dan de impact van het isolatiemateriaal zelf (in het basisscenario). De besparing in uitstoot van broeikasgassen door gebruik van isolatie is dus voor ieder onderzocht type materiaal een stuk groter dan de klimaatimpact van die materialen. De maatvoering waar in de berekening mee is gewerkt, zijn gebaseerd op de referentiegegevens uit tabel 1. Wanneer op basis van deze gegevens de besparing door gevel, vloer en dakisolatie wordt berekend via [www.verbeterjehuis.nl](http://www.verbeterjehuis.nl), komt dit neer op 1560 m<sup>3</sup> gas per jaar. Afgaande op de gehanteerde referentiewaarden in dit rapport is dat 3250 kg CO<sub>2</sub>-eq.
- Het gebruik van gerecycled materiaal leidt voor zowel GWP als landgebruik tot een reductie, evenals het gebruik van glaswol, steenwol en EPS.
- Het gebruik van vlasplaten leidt, ondanks de relatief korte levensduur van het materiaal, tot een verbetering in GWP. Het leidt tot een verslechtering voor landgebruik, wat vaker gezien wordt wanneer een biobased materiaal wordt vergeleken met een petrobased materiaal.





## 7 KEUKEN: KASTJES EN AANRECHTBLAD

Keukens zijn er in veel soorten en maten, waardoor een basisscenario lastig te bepalen is. Er bestaan echter aanbieders van gestandaardiseerde keukensystemen, die het plannen van de keuken mogelijk maken middels een webtool. Op die manier kan een gedetailleerde onderdelenlijst van verschillende configuraties worden samengesteld, waaruit tevens (met een redelijke nauwkeurigheid) dimensionering en materiaalsamenstelling kunnen worden vastgesteld.

### UITWERKING SCENARIO'S

**Basisscenario:** Voor het basisscenario is ervoor gekozen een keuken (met afmeting 10 m<sup>2</sup>) automatisch te laten invullen door de 'keukenplanner-tool' van IKEA. Voor 10 m<sup>2</sup> is gekozen omdat (uitgaande van deze keukenplanner) deze grootte ruimte biedt aan een keuken met een aanrecht, koelkast, oven, wasbak en kookeiland. Het resultaat is weergegeven in afbeelding 3 en 4. Voordelen van deze aanpak zijn dat automatisch een optimale dimensionering wordt bepaald, alsmede een complete materiaallijst met prijzen en materiaaltypen. Hierdoor zijn de materiaalhoeveelheden vrij nauwkeurig te bepalen. In dit hoofdstuk zijn de koelkast, afzuigkap, oven en kookplaat buiten beschouwing gelaten, alsmede het op de afbeelding zichtbare raam en de vloer. Deze elementen staan wel in de sfeerimpressie om

aan te tonen dat de gebruikte materiaalhoeveelheden in de overige objecten realistisch zijn voor een keuken van 10 m<sup>2</sup>. Voor de keuken als geheel is uitgegaan van een maximale technische levensduur van 25 jaar (dit is de maximale garantie die IKEA voor dit type keuken aanbiedt) en een gebruiksduur van 15 jaar.

**Reduce:** Voor de trede reduce zijn meerdere opties vastgesteld:

- ▶ Het gebruik van minder materiaal, door het weglaten van het kookeiland. Overige dimensies worden gelijk gehouden.
- ▶ Het gebruik van ander materiaal met vergelijkbare dimensionering, door spaanplaat en hardboard te vervangen door bamboe, een biobased materiaal waarvan wordt beweerd dat het een lagere milieudruk kent door een hoge groeisnelheid.

**Reuse:**

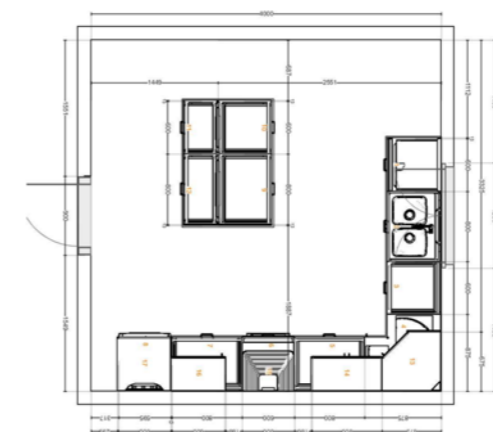
- ▶ Het gebruik van tweedehands onderdelen, door in een nieuwe keuken de basiskasten uit de oude keuken opnieuw te gebruiken en alleen de lades, ladefronten, deurtjes en aanrechtbladen te vervangen.
- ▶ Het verlengen van de gebruiksduur tot de technische levensduur: 25 jaar in plaats van 15 jaar.

**Refurbish:** Het vervangen individuele onderdelen bij einde levensduur, om daarmee voor de gehele keuken een levensduur van 50 jaar te behalen, twee keer de technische levensduur. Het gaat hierbij om het vervangen alle materialen, uitgezonderd basiselementen en stalen montagerails. Door de relatief korte levensduur van een kraan (20 jaar) wordt deze in de periode van 50 jaar twee keer vervangen.

**Recycle:** Het gebruiken van gerecycled staal, koper en PET. De overige parameters zijn gelijk aan het basisscenario.



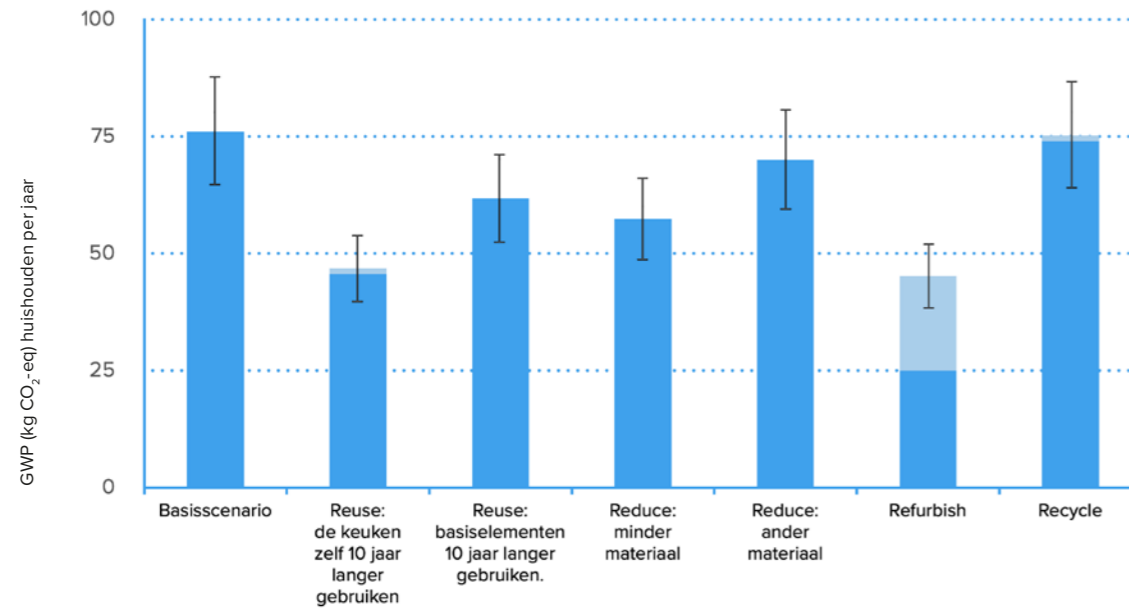
Afbeelding 3: Impressie keuken in IKEA-keukenplanner.



Afbeelding 4: Dimensionering keuken in IKEA-keukenplanner.

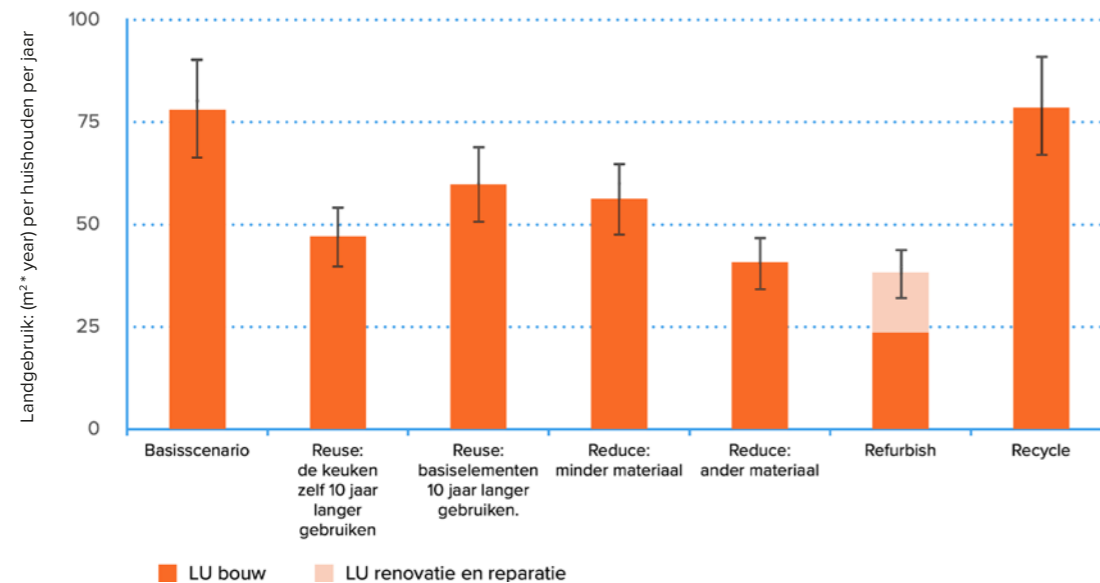
## RESULTATEN

10. Keuken: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar



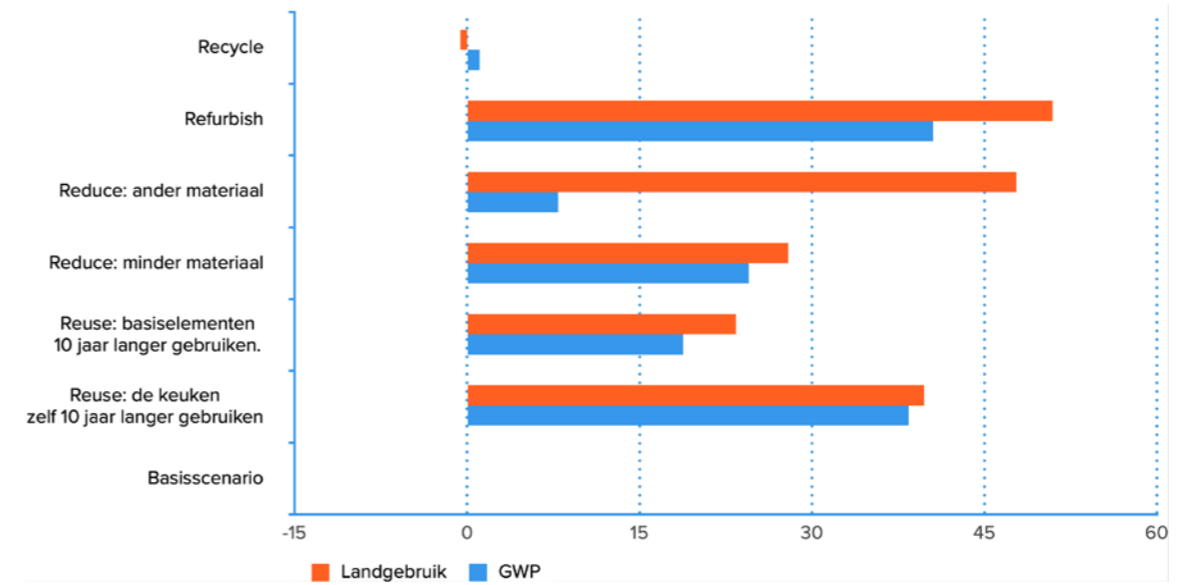
Figuur 10: Het GWP van een keuken voor verschillende R-treden in kg CO<sub>2</sub>-eq per jaar. Het donkerblauwe deel geeft de impact weer van de materialen die nodig zijn voor de bouw van de keuken, het lichtblauwe deel geeft de impact weer van de materialen die later moeten worden toegevoegd *ter vervanging van materialen die het einde van de levensduur hebben bereikt, zodat de levensduur van de complete keuken kan worden behaald. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.*

11. Keuken: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* jaar) per huishouden per jaar



Figuur 11: Het landgebruik van een keuken voor verschillende R-treden in m<sup>2</sup> \* jaar per jaar. Het donkeroranje deel geeft de impact weer van de materialen die nodig zijn voor de bouw van de keuken, lichtoranje deel geeft de impact weer van de materialen die later moeten worden toegevoegd *ter vervanging van materialen die het einde van de levensduur hebben bereikt, zodat de levensduur van de complete keuken kan worden behaald. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.*

12. Keukenkastjes: Reductiepercentages voor GWP en landgebruik



Figuur 12: Reductiepercentages voor het GWP en het landgebruik van een keuken, ten opzichte van het basisscenario.

## DEELCONCLUSIES

- ▶ Verlengen van de gebruiksduur van (onderdelen van) de keuken in de treden reuse en refurbish leidt in alle gevallen tot een verlaging van het GWP en het landgebruik per jaar.
- ▶ Het gebruik van minder materiaal, door weglaten van het kookeiland, leidt tot een vermindering in zowel GWP als landgebruik.
- ▶ Wanneer spaanplaat wordt vervangen door bamboe, resulteert dit in een vermindering in landgebruik.
- ▶ Er is maar een gering effect bij de trede recycle. Dit komt omdat maar voor een deel van de onderdelen gerecycled materiaal kan worden gebruikt. Er is bijvoorbeeld geen informatie beschikbaar over de milieu- en klimaatimpact van een gerecycled vorm van melaminefolie of hardboard. Spaanplaat is ook in het basisscenario al deels gerecycled, maar er is geen informatie beschikbaar over spaanplaat dat volledig uit gerecycled materiaal bestaat.





## 8 KEUKEN: WARM EN KOKEND WATER

Warmwatervoorziening in de keuken is mogelijk middels een aantal systemen. Zo kan water voor de afwas worden verwarmd middels een afwasmachine of een combiketel en kan water voor schoonmaken en het bereiden van voedsel en warme dranken worden verwarmd middels een waterkoker, een kokend waterkraan en/of een gasfornuis.

In de praktijk is een combinatie van deze opties te verwachten:

- ▶ Het gebruik van een kokend waterkraan: een kraan met een geïsoleerd vat waarin water op hoge temperatuur wordt bewaard. Voor koud water wordt water direct uit de waterleiding gebruikt. Voor kokend water wordt water uit het vat gebruikt en voor warm water worden kokend en koud water gemengd. Omdat ook water moet worden gekookt voor de bereiding van voedsel, is naast deze kokend waterkraan minimaal een gasfornuis of inductiekookplaat nodig.
- ▶ Wanneer geen kokend waterkraan aanwezig is, wordt warm water in de regel gebruikt uit een combiketel en kokend water uit een waterkoker. Omdat ook water moet worden gekookt voor de bereiding van voedsel, is naast deze kokend waterkraan minimaal een gasfornuis of inductiekookplaat nodig.

In de vergelijking is het materiaalgebruik meegenomen, evenals het energiegebruik (inclusief het stilstandsverlies). Het watergebruik is niet in de vergelijking meegenomen.

### UITWERKING SCENARIO'S

**Basisscenario:** Kokend water uit een waterkoker (gebaseerd op een analyse van een waterkoker in EAP, welke reeds is uitgevoerd in het kader van het project 'milieu-impact van het consumptiepatroon' door de rijksuniversiteit van Groningen) in combinatie met een gasfornuis (aannames vergelijkbaar met het basisscenario dat gehanteerd wordt in hoofdstuk 9).

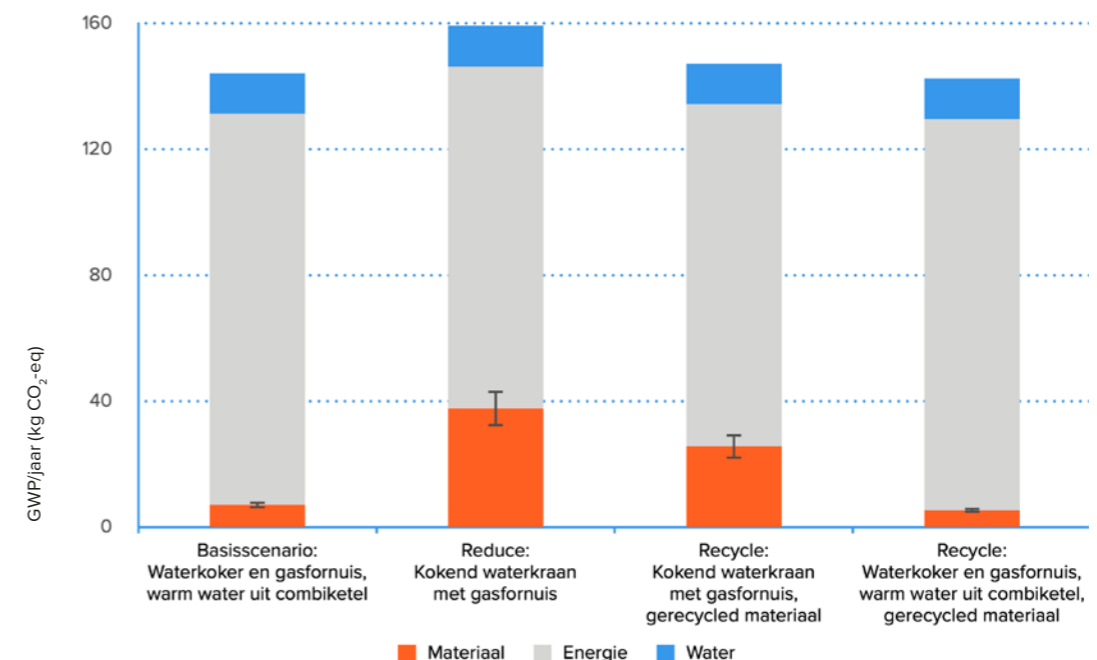
Warm water uit een combiketel (vergelijkbaar met het basisscenario dat gehanteerd wordt in hoofdstuk 13). In alle analyses is het energiegebruik meegerekend. Voor het energiegebruik is een verdeling gemaakt tussen kokend en warm water, gebaseerd op eerdere analyses door Milieu Centraal (Milieu Centraal, 2022).

**Reduce:** Het gebruik van een kokend waterkraan voor koud, warm en kokend water, inclusief energiegebruik. In deze optie ook nog het gasfornuis nodig om het water tijdens het koken te verwarmen. Aannames over materiaalsamenstelling zijn gebaseerd op gegevens uit een eerdere studie naar een kokend waterkraan (VHK, 2010). Aannames over het energiegebruik zijn gebaseerd op eerder onderzoek door Milieu Centraal (Milieu Centraal, 2021).

**Recycle:** Het gebruik van gerecyclede materialen in zowel de kokend waterkraan als de waterkoker en het gasfornuis.

### RESULTATEN

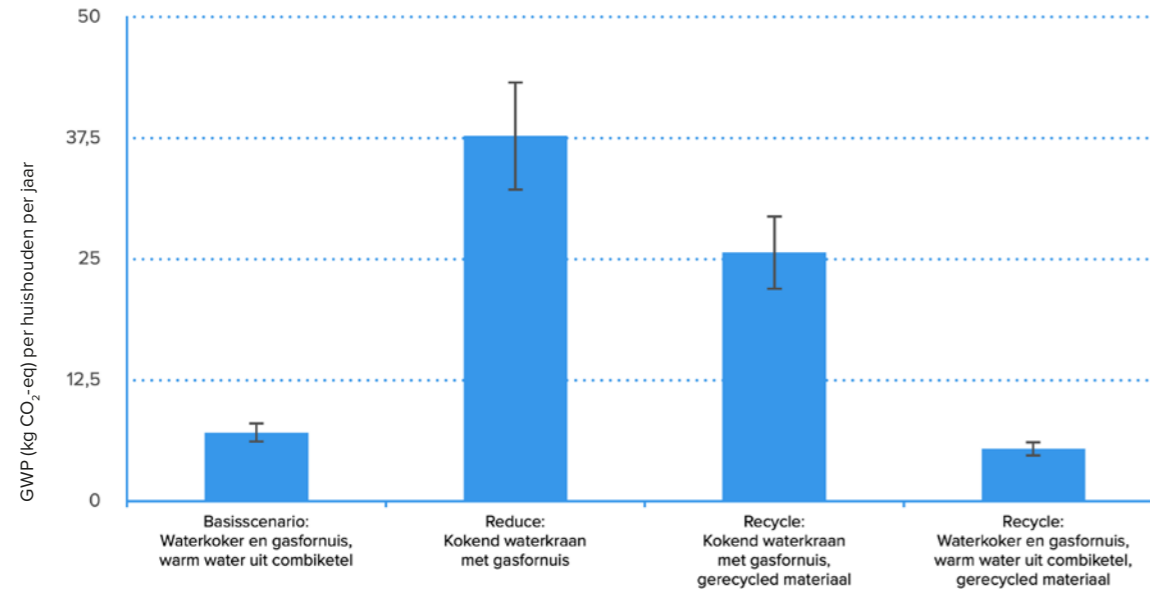
13a. GWP voorziening warm en kokend water per jaar (kg CO<sub>2</sub>-eq)



Figuur 13a: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar voor verwarmen en koken van water. Energie tijdens gebruiksfase en materiaalgebruik samen. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

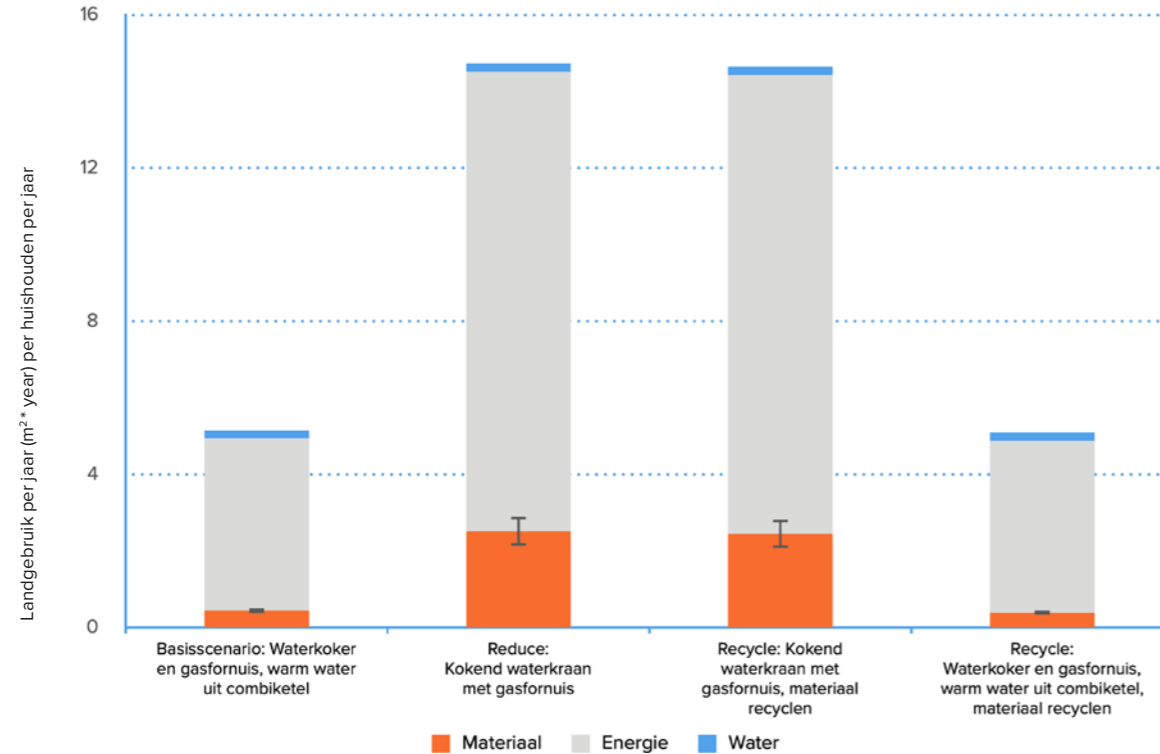
In de figuur hiervoor is te zien dat materiaalgebruik slechts een klein deel van de totale GWP impact van energie tijdens de gebruiksfase en materiaalgebruik beslaat. In de volgende figuur is daarom het materiaalgebruik nogmaals apart weergegeven, zodat de onderlinge verschillen kunnen worden gezien.

13b. Voorziening warm en kokend water: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar



Figuur 13b: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar voor warm en kokend watergebruik. Alleen materiaalgebruik. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

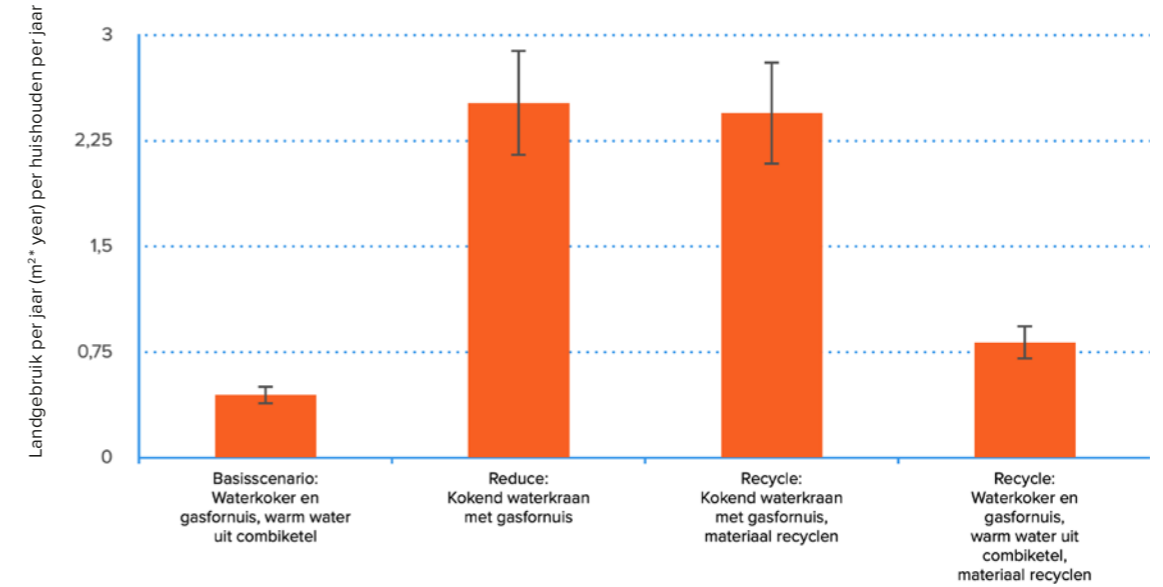
14a. Voorziening warm en kokend water: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) huishouden per jaar



Figuur 14a: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar voor warm en kokend watergebruik. Energie tijdens gebruiksfase en materiaalgebruik samen. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

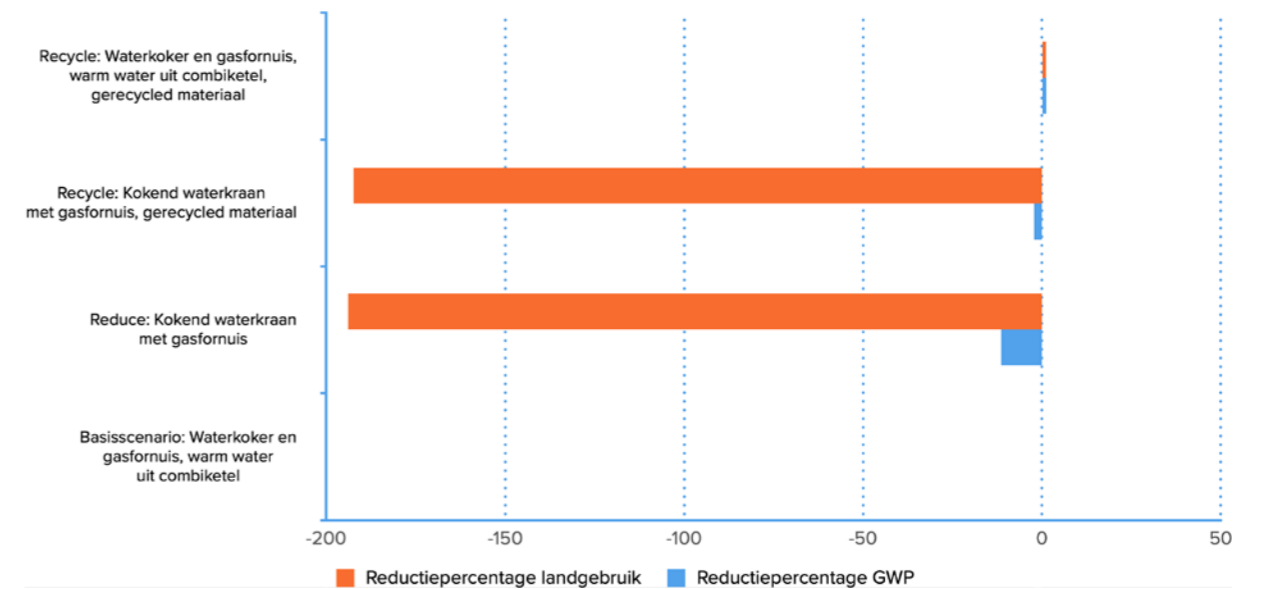
In de figuur hiervoor is te zien dat materiaalgebruik slechts een klein deel van de totale GWP impact van energie tijdens de gebruiksfase en materiaalgebruik beslaat. In de volgende figuur is daarom het materiaalgebruik nogmaals apart weergegeven, zodat de onderlinge verschillen kunnen worden gezien.

14b. Voorziening warm en kokend water: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar



Figuur 14b: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar voor warm en kokend watergebruik. Alleen materiaalgebruik. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

15. Voorziening warm en kokend water: Reductiepercentages voor GWP en landgebruik voor materiaal en energie



Figuur 15: De resultaten, weergegeven als reductiepercentages voor GWP en landgebruik voor een warm watervoorziening ten opzichte van het basisscenario. Het energiegebruik is meegerekend.

## DEELCONCLUSIES

- ▶ Wordt energie tijdens de gebruiksfase meegerekend, dan is een verslechtering te zien in het landgebruik, wanneer gebruik wordt gemaakt van een kokend waterkraan. De reden hiervan is dat het landgebruik van energie uit gas, lager is dan het landgebruik van energie uit elektra wanneer wordt uitgegaan van de gemiddelde energiemix.





## 9 KEUKEN: KOOKPLAAT

### UITWERKING SCENARIO'S

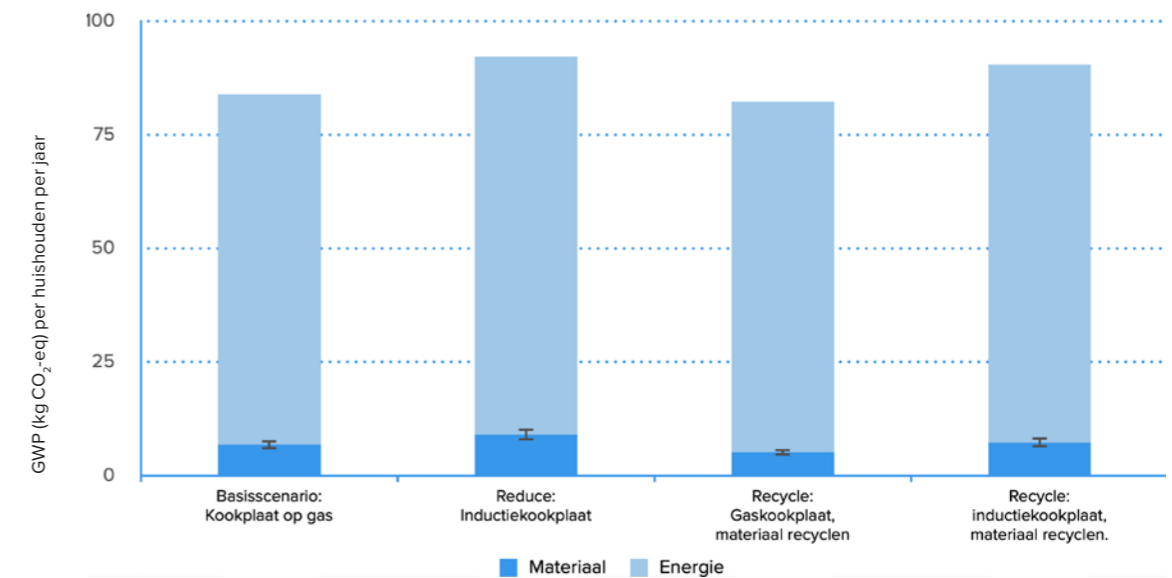
**Basisscenario:** Het gebruik van gasfornuis, inclusief energiegebruik, voor koken. De materiaalsamenstelling van de kookplaat is gebaseerd op eerder onderzoek, waar met een vergelijkbaar doel de materiaalsamenstelling van een aantal huishoudelijke apparaten is bepaald (Kooij, 2018). Aannames over het energiegebruik per jaar zijn gebaseerd op eerder onderzoek binnen Milieu Centraal (Milieu Centraal, 2021) waarbij is uitgegaan van een gasgebruik van 37 m<sup>3</sup> per jaar. Voor het gasfornuis is gerekend met een typische levensduur van 10 jaar op basis van typische economische levensduur (Generali, sd).

**Reduce:** Het gebruik van een inductiekookplaat, inclusief energiegebruik, voor koken. De materiaalsamenstelling van de kookplaat is gebaseerd op eerder onderzoek, waar met een vergelijkbaar doel de materiaalsamenstelling van een aantal huishoudelijke apparaten is bepaald (Kooij, 2018). Aannames over het energiegebruik per jaar zijn gebaseerd op eerder onderzoek binnen Milieu Centraal (Milieu Centraal, 2021) waarbij is uitgegaan van een energiegebruik van 175 kWh per jaar. Voor de inductiekookplaat is gerekend met een typische levensduur van 8 jaar op basis van de typische economische levensduur (Generali, sd).

**Recycle:** Het gebruik van gerecyclede materialen in de kookplaat bij zowel het gasfornuis als de inductiekookplaat. In de resultaten is in het recycle optie van de inductiekookplaat ten opzichte van het basisscenario enerzijds het effect van de gerecyclede materialen en anderzijds het gebruik van elektriciteit in plaats van gas in de gebruiksfase te zien.

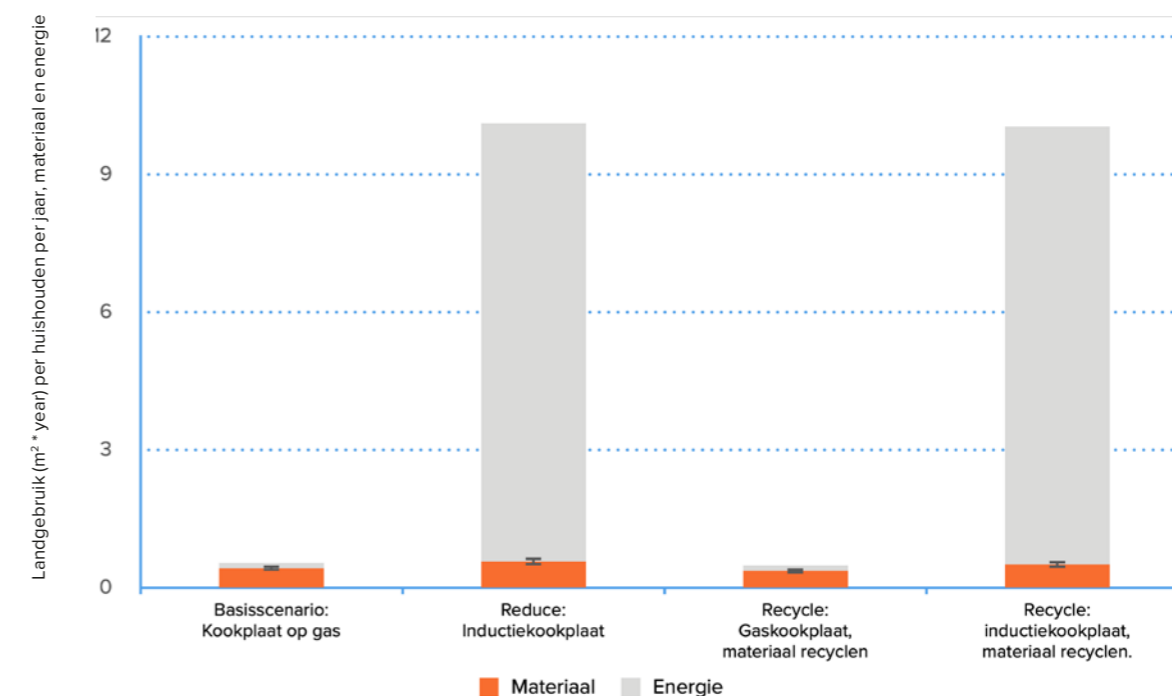
### RESULTATEN

#### 16. Kookplaat: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar



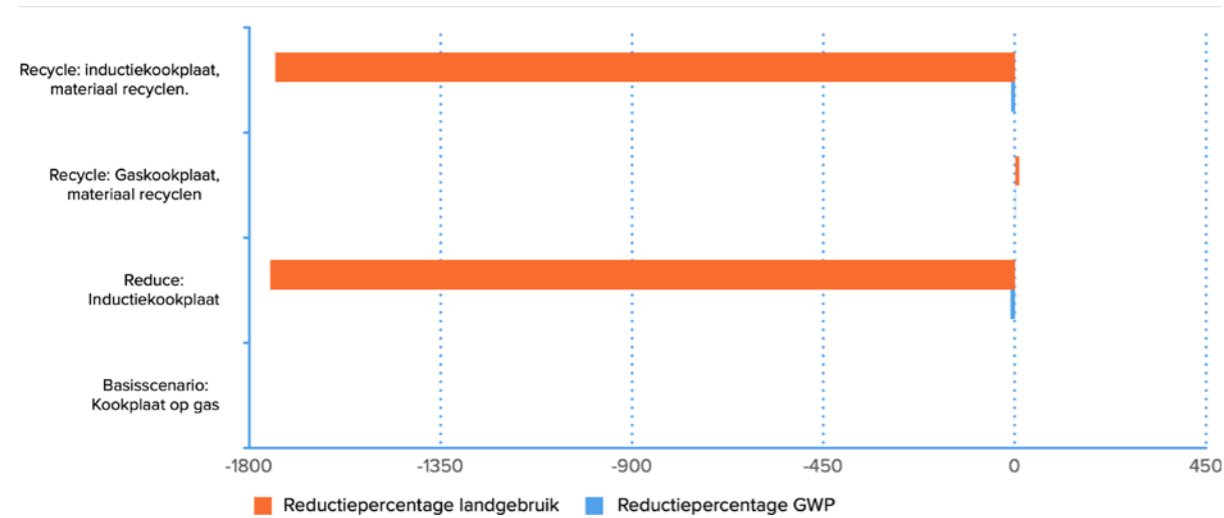
Figuur 16: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar bij verschillende R-treden voor een kookplaat. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

#### 17. Kookplaat: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar



Figuur 17: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar bij verschillende R-treden voor een kookplaat. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

## 18. Reductiepercentages voor GWP en landgebruik



Figuur 18: Reductiepercentages voor landgebruik en GWP bij verschillende R-treden voor een kookplaat, ten opzichte van het basisscenario.

## DEELCONCLUSIES

- ▶ Wordt energie in de gebruiksfase meegerekend, dan:
  - vallen voor GWP de verschillen tussen materiaal weg bij het energiegebruik.
  - is het gebruik van inductie een slechtere optie dan het gebruik van gas voor het landgebruik. Voor GWP is het verschil slechts zeer gering. Hier moet worden opgemerkt dat, wanneer de uitstoot per kWh van de gebruikte elektriciteit afneemt door steeds groenere stroom, dit beeld zal veranderen.
- ▶ Wordt energie in de gebruiksfase niet meegerekend, dan resulteert recycling voor zowel landgebruik als GWP in een verbetering. Daarnaast is het gasfornuis voor zowel GWP als landgebruik een beter alternatief dan de inductiekookplaat.



## 10 BADKAMER

Badkamers zijn er in alle soorten en maten, waardoor het een uitdaging is een 'basisscenario' op te stellen. Om die reden is ervoor gekozen een 'planningstool' van IKEA ([link](#)) te gebruiken om een badkamer in te richten waarin een ligbad, een douche, een wastafel, een toilet, een badmeubel, een wasmachine (met bovenkast), een raam en een deur passen. Het resultaat is opgenomen in Afbeelding 5. Hiervoor bleek een grootte van minimaal 5 m<sup>2</sup> vereist. Voordelen van deze aanpak zijn dat automatisch een optimale dimensionering wordt bepaald, alsmede een complete materiaallijst met prijzen en materiaaltypen. Hierdoor zijn de materiaalhoeveelheden vrij nauwkeurig te bepalen.

In dit hoofdstuk zijn de radiator, wasmachine en de vloer buiten beschouwing gelaten. Deze elementen zijn in de sfeerimpressie blijven staan om aan te tonen dat de gebruikte materiaalhoeveelheden in de overige objecten realistisch zijn voor een badkamer van 5 m<sup>2</sup>. Er is gerekend met een gemiddelde gebruiksduur van 20 jaar voor de volledige badkamer, gebaseerd op de typische levensduur van de verschillende onderdelen van de badkamer.





Afbeelding 5: Impressie badkamer 5 m<sup>2</sup>.

## UITWERKING SCENARIO'S

**Basisscenario:** Gerekend is met een acryl bad met een totaalgewicht van 59 kg en afmetingen van 80 cm breed en 180 cm lang. De samenstelling is gebaseerd op een 'environmental product declaration' van een fabrikant voor (onder andere) baden (Oekobaudat, 2015). Er is gerekend met een doucheplaat van acryl (samenstelling gebaseerd op dezelfde bron als voor het bad) met een douchegordijn aan een aluminium stang. Er is gerekend met een toilet van keramiek met een PVC binnenwerk, een tank van 6 liter met waterbesparende spoelfunctie. Het badmeubel bestaat uit hout en spaanplaat, met daarop een werkblad van gelamineerd spaanplaat, een wasbak van acryl en een mengkraan. De kast boven de wasmachine bestaat uit gelamineerd spaanplaat en hardboard. De wasmachine en radiator zijn in deze analyse niet meegenomen. Voor de diverse levensduren van de elementen is gebruik gemaakt van literatuurwaarden (Nachi, 2022). Zo is op basis van deze bron aangenomen dat een bad en doucheplaat 20 jaar meegaan, een toiletpot en tank 50 jaar. De componenten in de toilettank 5 jaar evenals het douchegordijn. Voor de wasbak, de kranen en de doucheslang en douchekop is een levensduur van 15 jaar genomen, voor de beide kastjes 10 jaar. Aannames over het watergebruik (met bijbehorend energiegebruik) zijn gebaseerd op eerder onderzoek door Milieu Centraal (Milieu Centraal, 2021).

**Reduce:** Voor de trede reduce zijn meerdere opties vastgesteld:

- ▶ Het gebruik van minder materiaal, door het weglaten van het bad. De overige aannames zijn gelijk aan het basisscenario. Een reductie in watergebruik door weglaten van het bad is niet meegerekend.
- ▶ Het besparen van water door een waterbesparende kraan, een waterbesparende douchekop en een waterbesparend toilet, evenals het besparen van energie door installatie van een warmte-terugwininstallatie in de douche. Aannames over de relatieve besparingen van water en energie zijn gebaseerd op eerder onderzoek door Milieu Centraal (Milieu Centraal, 2021). De volgende aannames zijn gedaan:
  - Een waterbesparend douchekop bespaart voor een gemiddeld gezin op jaarbasis tot 8 m<sup>3</sup> warm water.
  - Een waterbesparende kraan bespaart voor een gemiddeld gezin op jaarbasis 3 m<sup>3</sup> warm water.

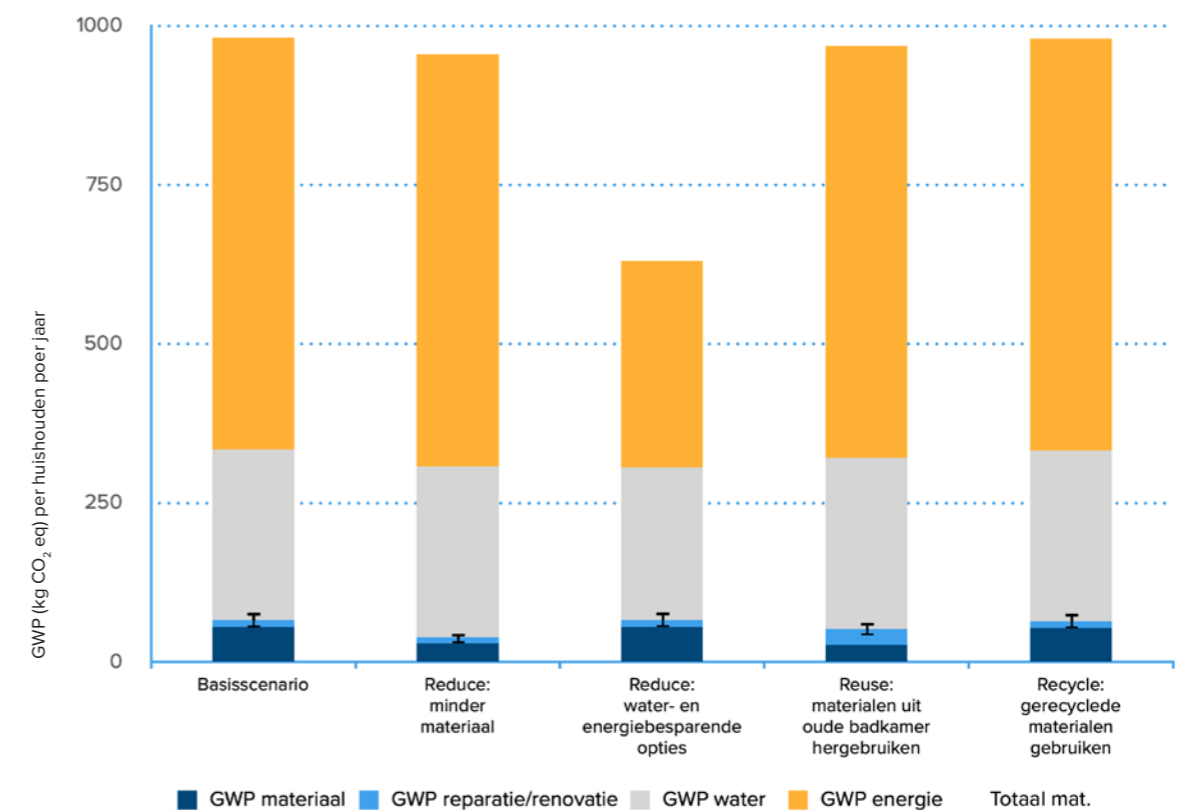
- Een installatie voor terugwinning van warmte (gebaseerd op een dubbele leiding met een tegenstroomprincipe) bespaart voor een gemiddeld gezin jaarlijks 140 m<sup>3</sup> gas voor het opwarmen van douchewater.

**Reuse:** Bij installatie van de badkamer onderdelen gebruiken uit de oude badkamer, wanneer de levensduur van de individuele onderdelen dit toelaat. Dit is gemodelleerd als een badkamer met twee keer de levensduur als in het basisscenario, waarbij onderdelen bij einde levensduur worden vervangen. Overige aannames zijn vergelijkbaar met het basisscenario.

**Recycle:** Het gebruik van gerecycled staal.

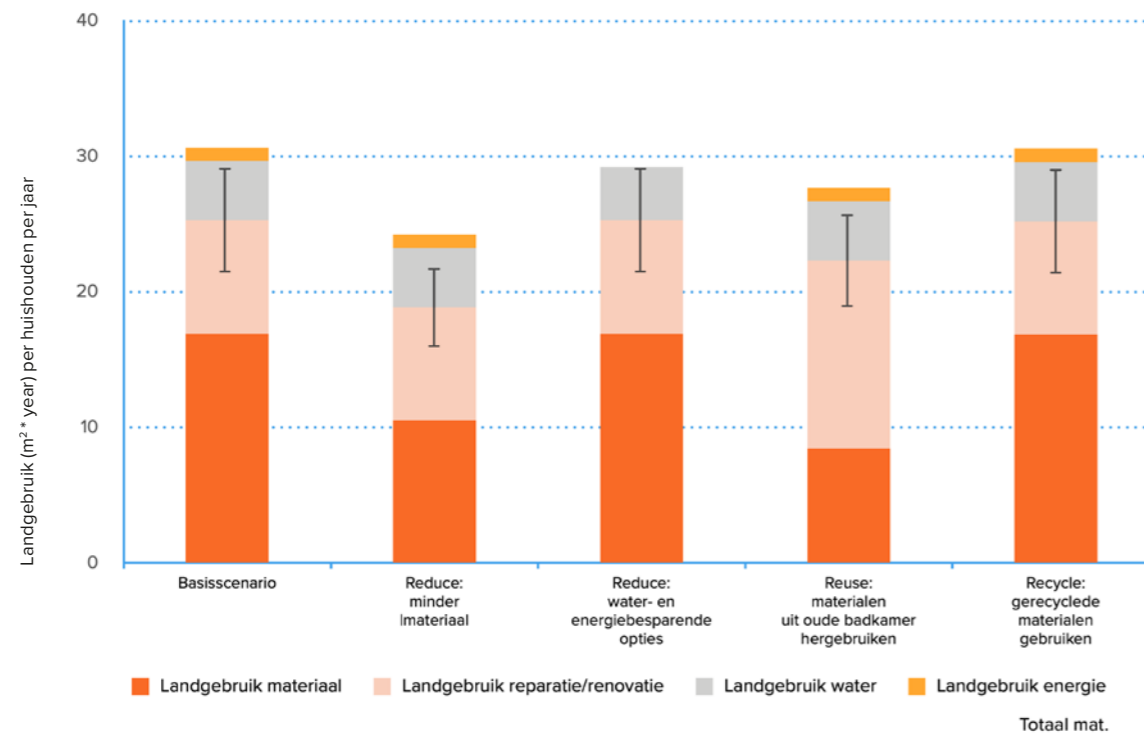
## RESULTATEN

19. Badkamer: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar, inclusief energiegebruik



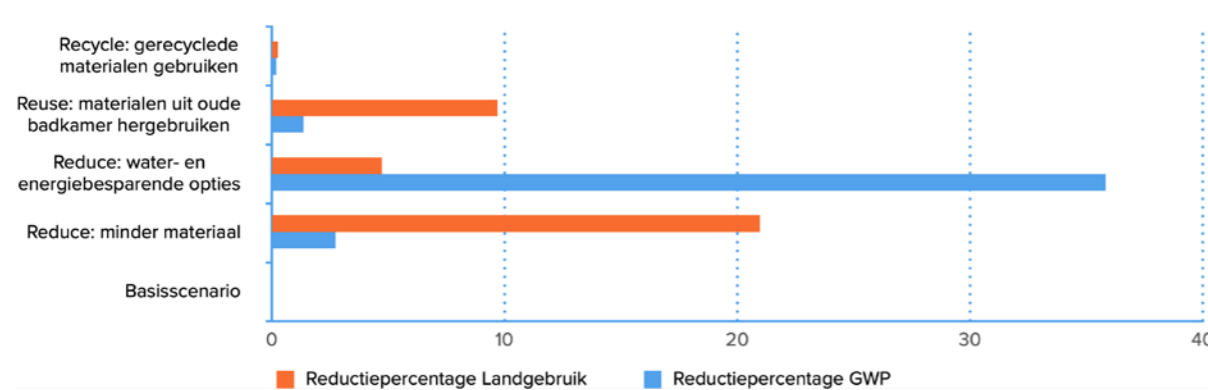
Figuur 19: GWP (in kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar bij verschillende R-treden voor een badkamer. Het donkerblauwe deel is de impact van de materialen van de badkamer bij bouw, het lichtblauwe deel is de impact van de materialen die later worden toegevoegd in het kader van reparatie of renovatie. Het grijze deel is het GWP van het produceren van het water en het gele deel is het energie van de gebruiksfase. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

20. Badkamer: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar



Figuur 20: Landgebruik (in m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar bij verschillende r-treden voor een badkamer. Het donkeroranje deel is de impact van de materialen van de badkamer bij bouw, het lichtoranje deel is de impact van de materialen die later worden toegevoegd in het kader van reparatie of renovatie. Het grijze deel is het landgebruik van het produceren van het water en het gele deel is de energie van de gebruiksfase. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

21. Reductiepercentages Landgebruik en GWP



Figuur 21: Reductiepercentages voor GWP en landgebruik bij verschillende R-treden voor een badkamer, afgezet tegen het basisscenario, inclusief energie in de gebruiksfase.

## DEELCONCLUSIES

- ▶ Het GWP door het materiaalgebruik is minder dan 10% van het GWP dat samenhangt met het watergebruik (zowel warm als koud) in de gebruiksfase. Daarom scoort de R-trede reduce met de water- en energiebesparende opties het beste om de uitstoot van broeikasgassen te verlagen.
- ▶ Een reductie in materiaalgebruik, door een kleinere badkamer of door hergebruik van materialen uit een oude badkamer, resulteert met name in een reductie van landgebruik.



# 11 VENTILATIE

Een ventilatiesysteem zorgt voor frisse lucht in een woning. In het Bouwbesluit worden eisen gesteld aan een minimaal ventilatieniveau in een woning, waardoor in nieuwe woningen voldoende ventilatie aanwezig is. In de referentiewoning is uitgegaan van enkel de aanwezigheid van natuurlijke ventilatie. De ventilatie kan op een aantal manieren worden verbeterd. Zo is het mogelijk om gebruik te maken van zelf-regulerende roosters (deze gaan verder open als er meer wind is, zodat ventilatie mogelijk is zonder dat er in huis tocht ontstaat). Verder is het mogelijk om mechanische ventilatie te installeren, al dan niet met terugwinning van warmte. Mechanische ventilatie kan centraal of decentraal geïnstalleerd zijn. De optie voor decentrale ventilatie is in dit hoofdstuk niet opgenomen, omdat niet voldoende informatie beschikbaar bleek over de materiaalsamenstelling van de benodigde apparatuur. Centrale ventilatie is geregeld middels een buizensysteem in huis, welke lucht van binnen aanzuigen en naar buiten wegblazen.

## UITWERKING SCENARIO'S

**Basisscenario:** Geen ventilatiesysteem zoals in de gebruikte referentiewoning. Er wordt alleen gebruik gemaakt van natuurlijke ventilatie. Aannames over het gasgebruik dat nodig is om het warmteverlies door dit type ventilatie te compenseren, zijn gebaseerd op eerder onderzoek door Milieu Centraal (Milieu Centraal, 2021).



**Reduce:** zelfregulerende roosters. Ventileren middels zelfregulerende ventilatieroosters. Aannames over de hoeveelheid roosters die hiervoor nodig zijn, alsmede informatie over de materiaalsamenstelling van de roosters zijn gebaseerd op een eerder onderzoek waarin deze gegevens voor een vergelijkbaar doel zijn verzameld (Kooij, 2018). Aannames over het gasgebruik dat nodig is om het warmteverlies door dit type ventilatie te compenseren, zijn gebaseerd op eerder onderzoek door Milieu Centraal (Milieu Centraal, 2021). Aangenomen is dat de roosters doorgaans 25 jaar meegaan (Nachi, 2022).

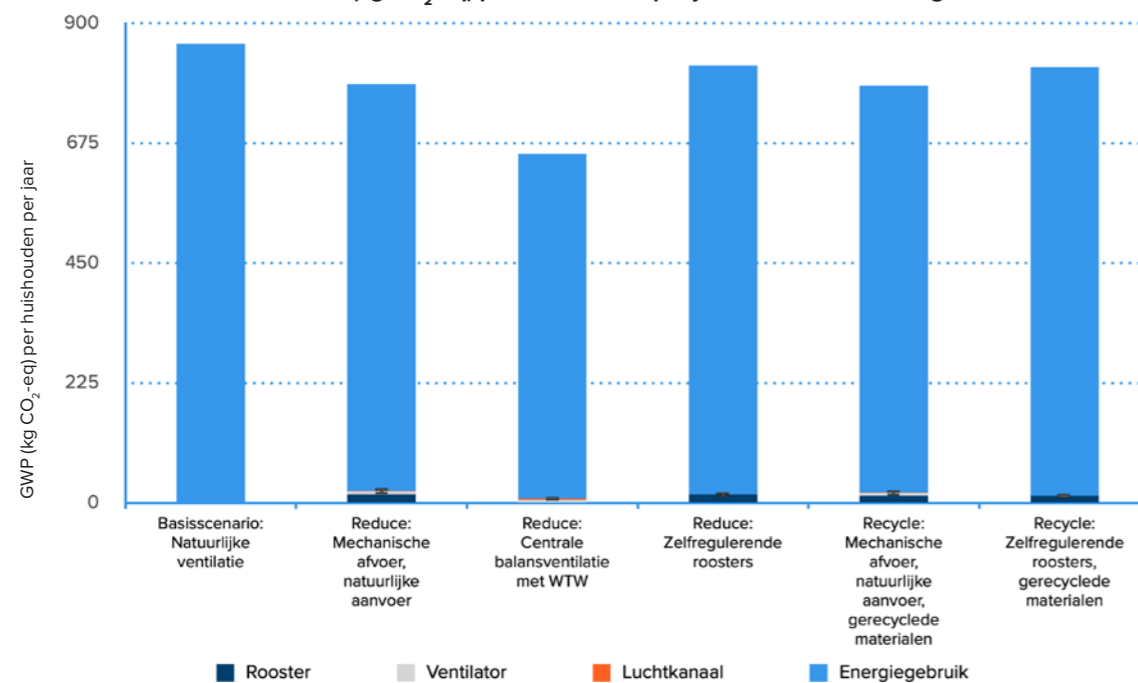
**Reduce:** Ventileren middels mechanische ventilatie zonder terugwinning van warmte, waarbij lucht middels roosters wordt aangevoerd en middels buizen wordt afgevoerd. Aannames over de materiaalsamenstelling van de ventilatie-unit en de roosters zijn gebaseerd op een eerder onderzoek waarin deze gegevens voor een vergelijkbaar doel zijn verzameld (Kooij, 2018). Aannames over het gasgebruik dat nodig is om het warmteverlies door dit type ventilatie te compenseren, zijn gebaseerd op eerder onderzoek door Milieu Centraal (Milieu Centraal, 2021). Aangenomen is dat de roosters doorgaans 25 jaar meegaan, de buizen doorgaans 60 jaar meegaan en de ventilator doorgaans 15 jaar meegaat (Nachi, 2022). Aannames over de benodigde buislengte zijn gebaseerd op de gegevens over de referentiewoning.

**Reduce:** Ventileren middels mechanische ventilatie met terugwinning van warmte. Aannames over de materiaalsamenstelling van de ventilatie-unit zijn gebaseerd op een eerder onderzoek waarin deze gegevens voor een vergelijkbaar doel zijn verzameld (Kooij, 2018). Aannames over het gasgebruik dat nodig is om het warmteverlies door dit type ventilatie te compenseren, zijn gebaseerd op eerder onderzoek door Milieu Centraal (Milieu Centraal, 2021). Aangenomen is dat de buizen doorgaans 60 jaar meegaan en de ventilator doorgaans 15 jaar meegaat (Nachi, 2022). Aannames over de benodigde buislengte zijn gebaseerd op de gegevens over de referentiewoning. Voor een systeem met warmteterugwinning is gerekend met buizen voor zowel aan- als afvoer van lucht, voor een systeem zonder warmteterugwinning is gerekend met zelfregulerende roosters voor aanvoer van lucht en buizen voor afvoer van lucht.

**Recycle:** Het gebruik van gerecyclede materialen.

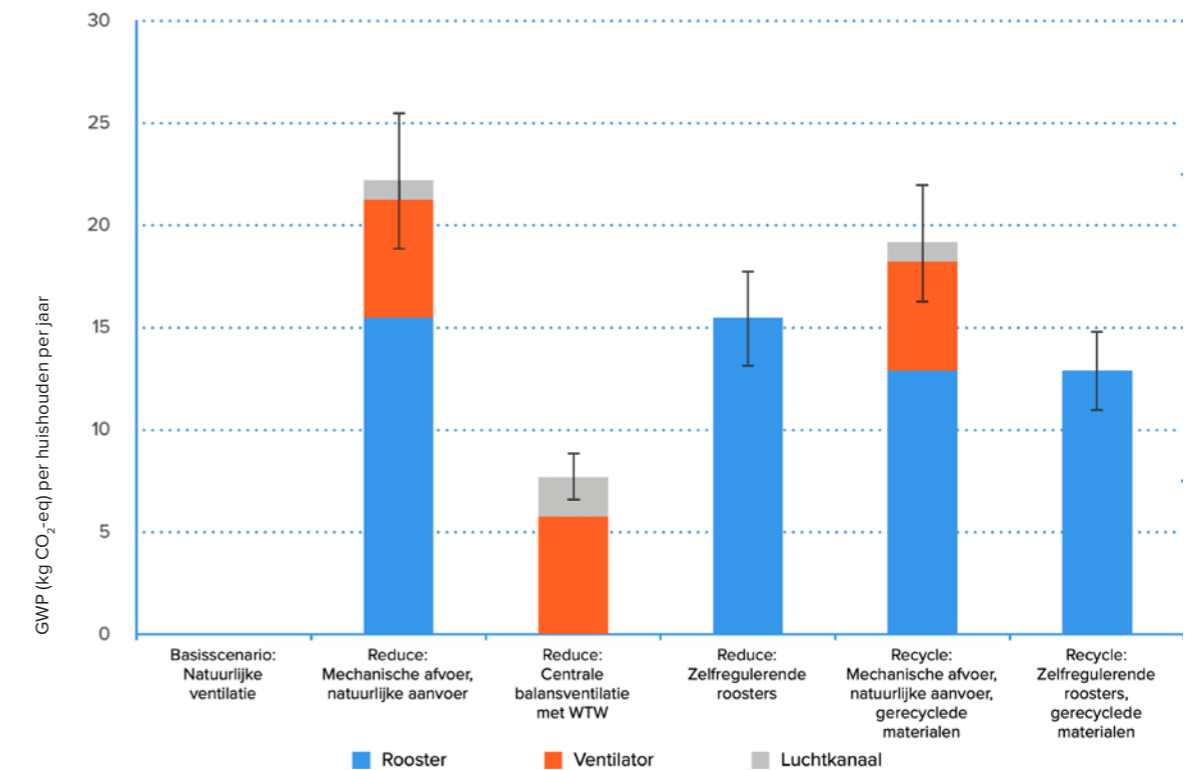
## RESULTATEN

22a. Ventilatie: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar, materiaal en energie



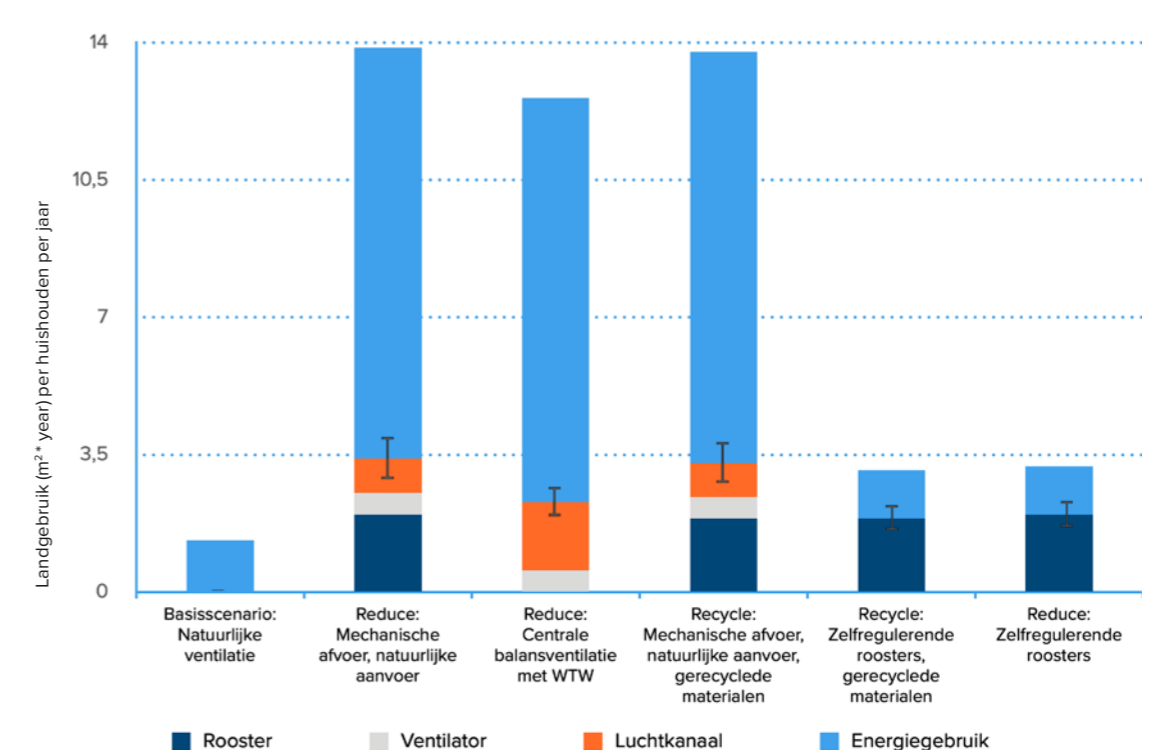
Figuur 22a: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar bij verschillende R-treden voor ventilatie. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

22b. Ventilatie: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar voor ventilatie, alleen materiaal



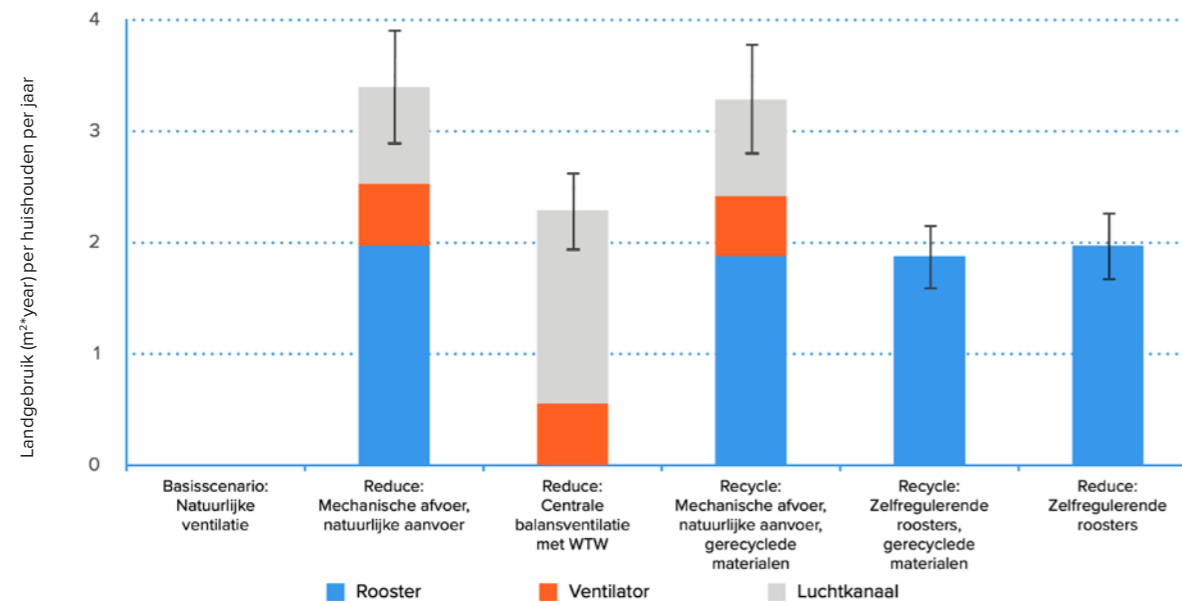
Figuur 22b: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar bij verschillende R-treden voor ventilatie. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

23a. Ventilatie: landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar, materiaal en energie



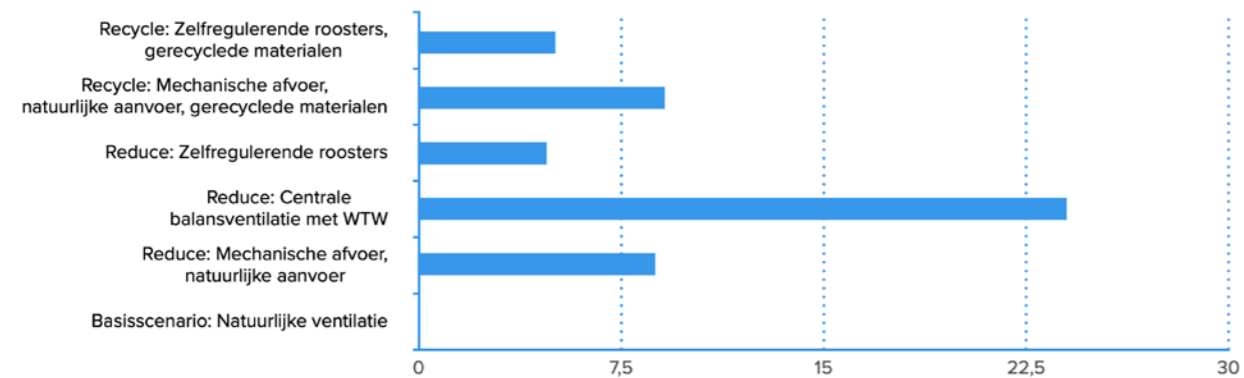
Figuur 23a: Landgebruik voor een ventilatiesysteem (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar bij verschillende R-treden voor ventilatie, de foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

23b. Ventilatie: landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar, materiaal



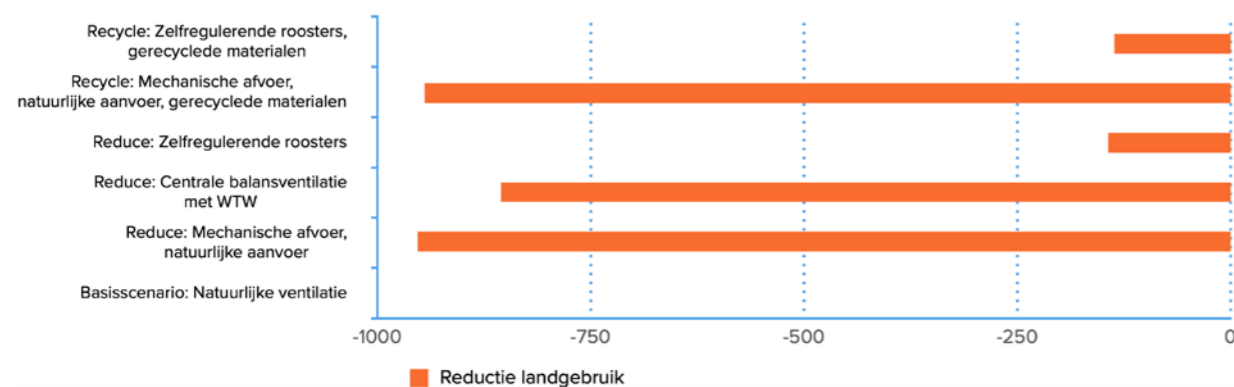
Figuur 23b: Landgebruik voor een ventilatiesysteem (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar bij verschillende R-treden voor ventilatie, de foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

24. Ventilatie: reductiepercentages voor GWP



Figuur 24: Reductiepercentages voor GWP bij verschillende R-treden voor een ventilatiesysteem, ten opzichte van het basisscenario.

25. Ventilatie: reductiepercentages voor landgebruik



Figuur 25: Reductiepercentages voor landgebruik bij verschillende R-treden voor een ventilatiesysteem, ten opzichte van het basisscenario.

DEELCONCLUSIES

- ▶ GWP door materialen is maar enkele procenten van het GWP door materialen en energie in de gebruiksfase samen. Milieuwinst ten opzichte van natuurlijke ventilatie is daarom te behalen door het verminderen van energie in de gebruiksfase. De energiereductie is het grootste bij balansventilatie met terugwinning van warmte.
- ▶ Voor landgebruik leiden alle opties tot hogere impact dan in het basisscenario. De oorzaak hiervan is dat de vergelijking wordt getrokken met natuurlijke ventilatie, waar geen materiaalgebruik voor is gerekend. De verhoging in impact is het kleinste bij zelfregulerende roosters (hier wordt het minste materiaal gebruikt). Bij centrale balansventilatie wordt naast meer materiaal, ook elektriciteit gebruikt, waardoor het landgebruik nog hoger wordt.





# 12 ENERGIEOPWEKKING

Als alternatief voor het gebruik van netstroom kan worden gekozen voor eigen opwekking van energie. Hiervoor zijn twee opties onderzocht: het opwekken van elektriciteit middels PV-panelen en het verwarmen van water middels een zonneboiler, aanvullend op een HR-ketel. Voor de PV-panelen is uitgegaan van de 2 typen PV-panelen welke voorkomen in de Eco-invent database. Deze zijn als basisgoed ingevoerd in de EAP-tool evenals de onderdelen van de bijbehorende installatie, te weten het montagemateriaal, en de bijbehorende bedrading en apparatuur. Op basis van bijbehorende gegevens uit de Eco-invent database over vermogen van de panelen en aanvullende informatie over de gemiddelde levensduur per type paneel en de gemiddelde opbrengst bij installatie in Nederland, is bepaald wat het landgebruik en het GWP per kWh zelf opgewekte energie is, vergeleken met netstroom.

## UITWERKING SCENARIO'S

**Basisscenario:** Uitgaande van de gegevens bij de referentiewoning is voor het basisscenario uitgegaan van het volledige gebruik van stroom en gas uit het net. Er wordt dus geen gebruik gemaakt van PV-panelen of een zonneboiler. Hier is dus gerekend met het GWP en landgebruik van het totale elektragebruik van een gemiddeld huishouden per jaar, waarbij is uitgegaan van 2741 kWh, voor vergelijk met zonnepanelen en met het GWP en landgebruik van het gasgebruik van een gemiddeld huishouden per jaar, waarbij is uitgegaan van 2271 m<sup>3</sup>, (gebaseerd op de gehanteerde kerncijfers van Milieu Centraal), voor vergelijk met een zonneboiler.

**Reduce:** Het gebruik van PV-panelen of zonneboiler, inclusief de impact van productie van de panelen en bijbehorende installaties.

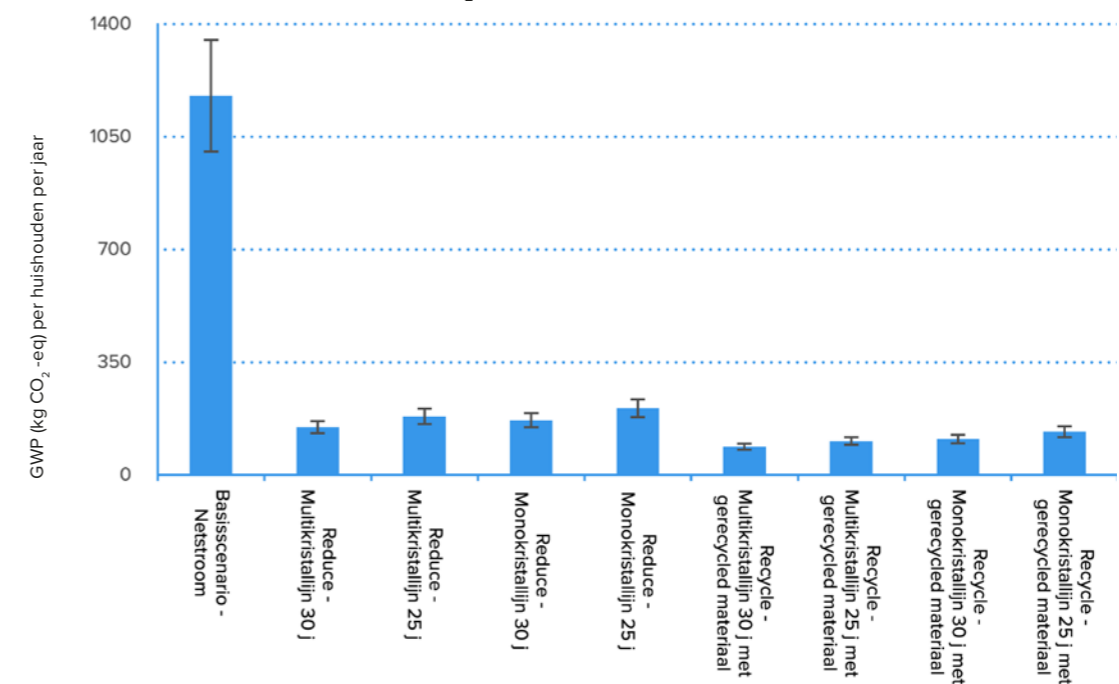
- ▶ Voor het gebruik van PV-panelen is uitgegaan van een installatie van 27,4 m<sup>3</sup> (uitgaande van één van de gesuggereerde besparingspakketten voor de gekozen referentiewoning). Hierbij is de impact per kWh vergeleken met de impact per kWh van netstroom.
- ▶ Voor het gebruik van een zonneboiler is uitgegaan van een installatie zoals die voorkomt in de Ecoinvent database, deze is als basisgoed ingevoerd in de EAP-tool. En in een aparte analyse zijn verschillende configuraties vergeleken met het basisscenario: geen gebruik maken van een zonneboiler. Gerekend is aan drie zonneboilersystemen die gericht zijn op één huishouden:
  - Een systeem op basis van een vlakke plaat, geschikt voor zowel warm water als verwarming;
  - Een systeem op basis van een vlakke plaat, geschikt voor enkel warm water;
  - Een systeem op basis van glazen buiscollectoren, geschikt voor zowel warm water als verwarming. Voor de relatieve besparingen van de verschillende systemen is uitgegaan van een gemiddelde besparing van 180 m<sup>3</sup> gas per jaar bij een systeem voor enkel warm water en 330 m<sup>3</sup> gas per jaar bij een systeem voor zowel warm water als verwarming (Milieu Centraal, 2022).

**Recycle:** Het gebruik van gerecyclede materialen in de panelen en de zonneboiler.

## RESULTATEN

In deze paragraaf worden eerst het GWP en landgebruik per huishouden per jaar getoond voor verschillende typen zonnepanelen met en zonder recycling, wanneer wordt aangenomen dat 100% van het verbruik wordt opgewekt middels PV-panelen. Daarna wordt worden GWP en landgebruik per huishouden per jaar getoond voor het gebruik van een zonneboiler.

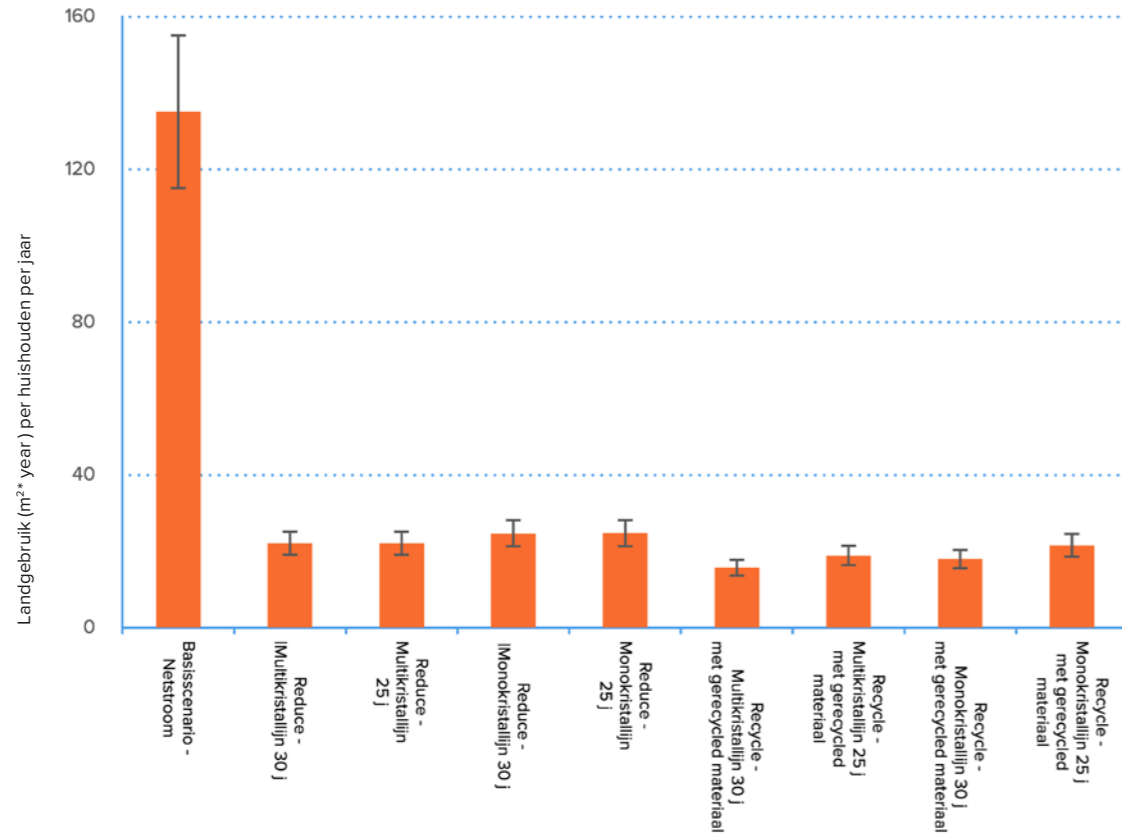
26. PV-panelen: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar



Figuur 26: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar voor verschillende typen panelen (materiaalgebruik), aangenomen dat 100% van de gebruikte energie wordt opgewekt middels PV-panelen, vergeleken met hetzelfde verbruik op netstroom. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal.

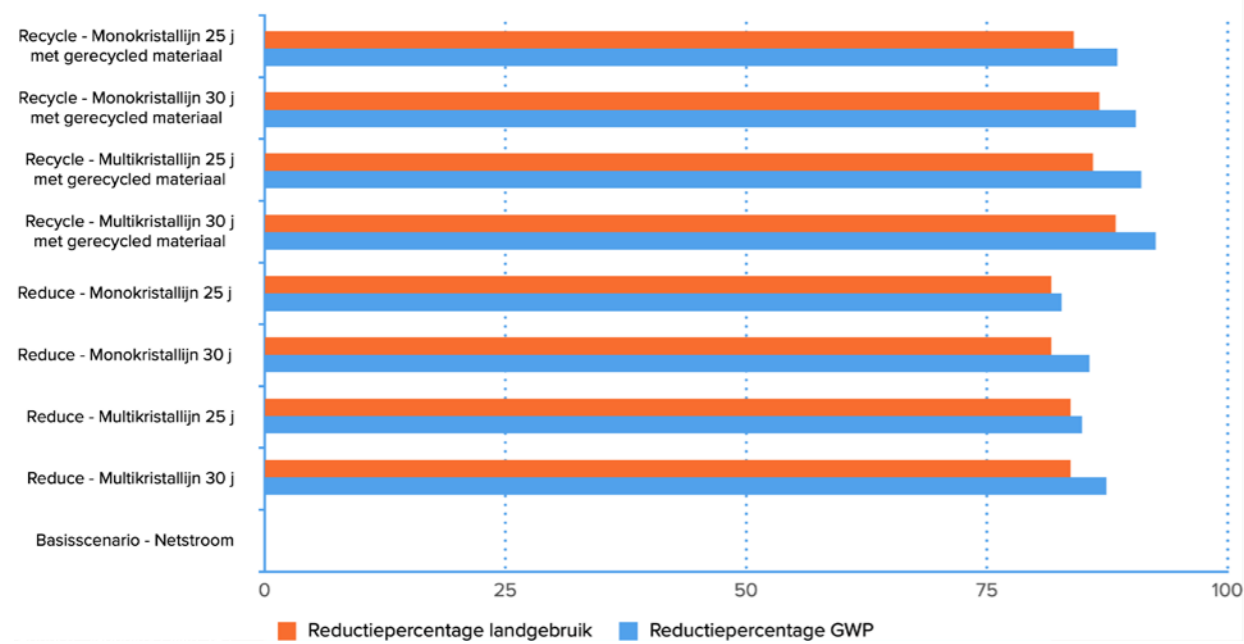


27. PV-panelen: landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar



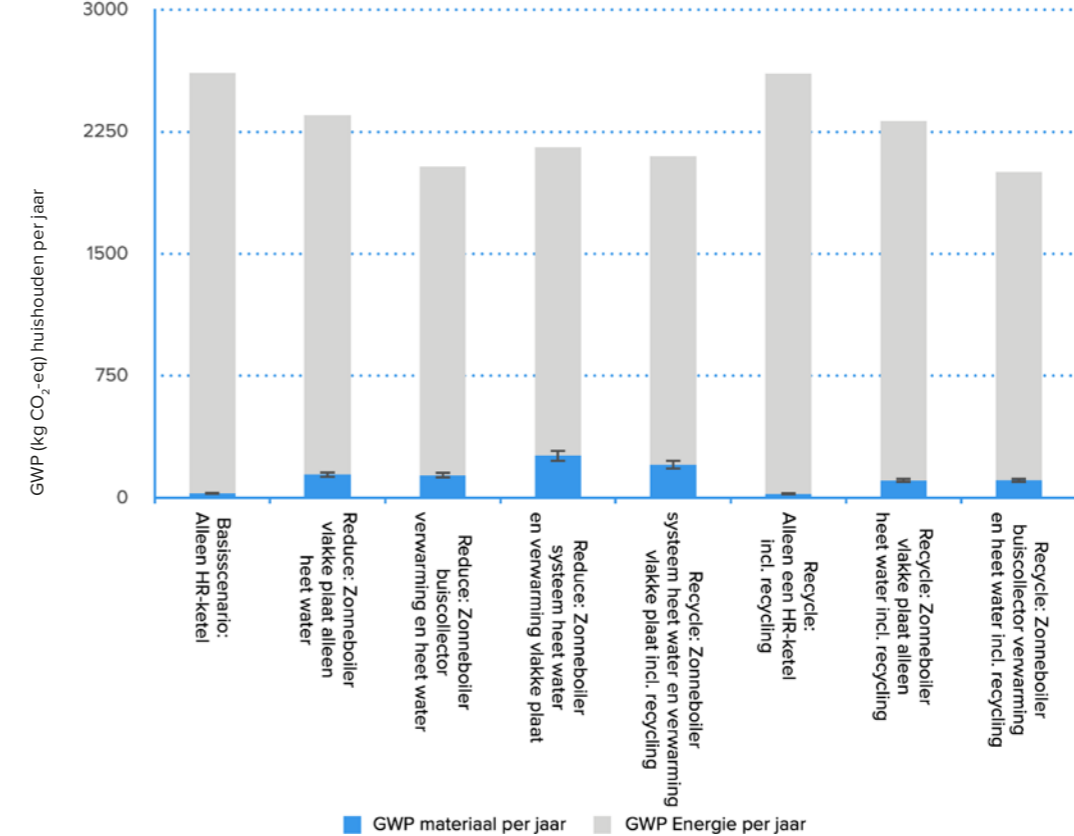
Figuur 27: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar voor verschillende typen panelen, aangenomen dat 100% van de energie wordt opgewekt middels PV-panelen, vergeleken met hetzelfde verbruik op netstroom. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal.

28. PV-Panelen: Reductiepercentages GWP en landgebruik



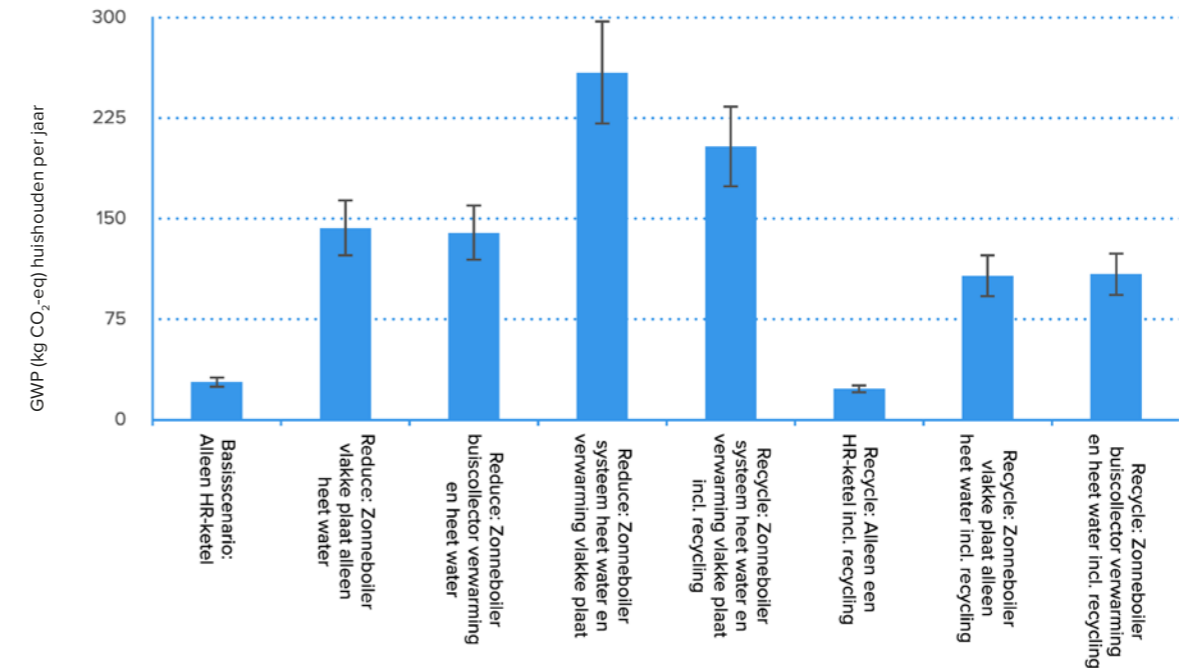
Figuur 28: Reductiepercentages voor GWP en landgebruik voor verschillende typen panelen ten opzichte van het basisscenario: het gebruik van netstroom.

29a. Zonneboiler: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar, materiaal en energie



Figuur 29a: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar (inclusief het energiegebruik voor verwarmen en warm water) bij gebruik van een zonneboiler. Zowel materiaalgebruik als energie in de gebruiksfase. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

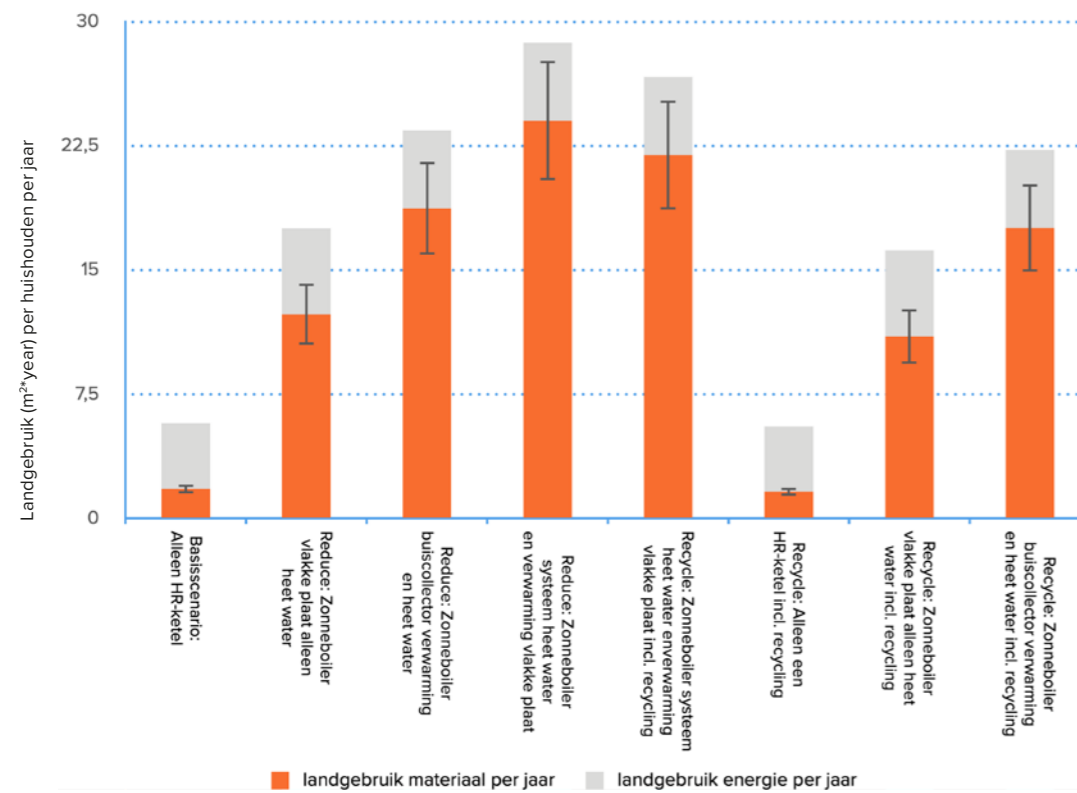
29b. Zonneboiler: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar, materiaal en energie



Figuur 29b: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar bij gebruik van een zonneboiler. Alleen materiaalgebruik. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

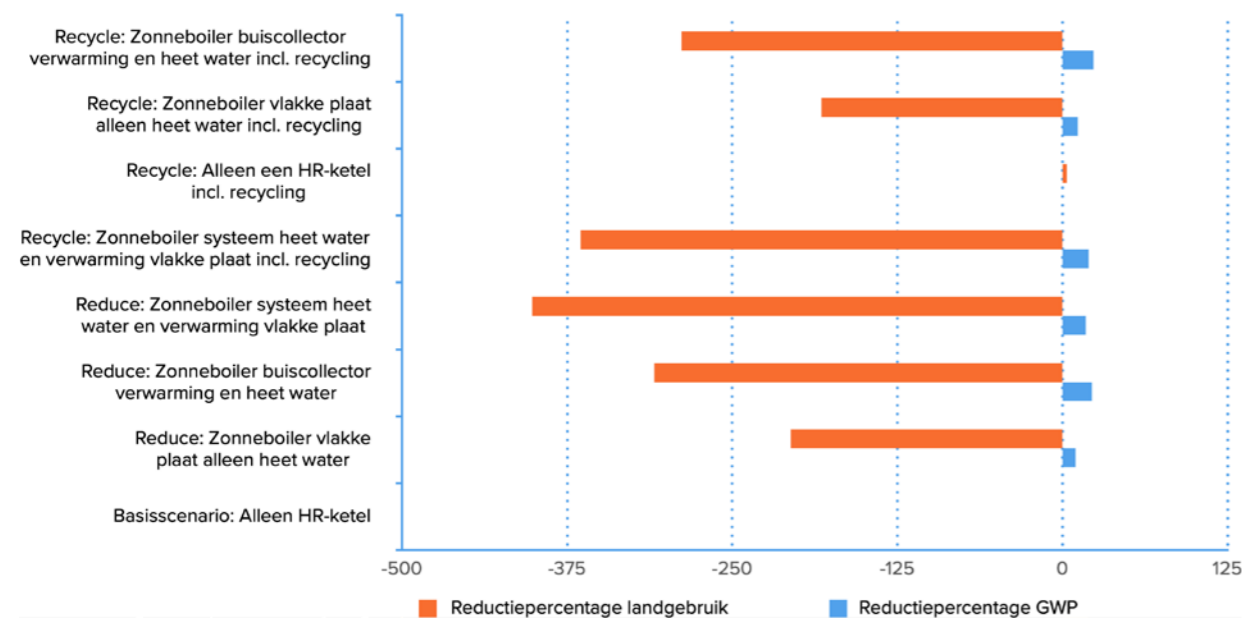


30. Zonneboiler: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar, materiaal



Figuur 30: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar bij gebruik van een zonneboiler. Zowel materiaalgebruik als energie in de gebruiksfase. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

31. Zonneboiler: Reductiepercentages GWP en landgebruik



Figuur 31: Reductiepercentages voor GWP en landgebruik bij gebruik van een zonneboiler.

DEELCONCLUSIES

Conclusies met betrekking tot PV-panelen:

- ▶ Het gebruik van PV-panelen resulteert voor zowel GWP als landgebruik in een verbetering ten opzichte van het gebruik van netstroom. Het nemen van PV-panelen zorgt al voor circa 80% reductie van GWP en landgebruik. De keuze van het materiaal kan het nog vergroten tot circa 90%: de verbetering is voor multikristallijne panelen iets groter dan voor monokristallijne panelen en neemt toe bij langer gebruik en gebruik van gerecyclede materialen.

Conclusies met betrekking tot de zonneboiler:

- ▶ Bij een zonneboiler wordt het resultaat bepaald door de afweging tussen de extra investering in materiaal en de winst door verminderd gebruik van gas. Een zonneboilersysteem resulteert voor zowel GWP in een verbetering ten opzichte van een combi-ketel. De verbetering wordt groter bij een uitgebreider systeem (meer materiaal, maar ook een grotere besparing) en bij gebruik van gerecyclede materialen.



## 13 VERWARMING: WARM WATERBRON

Het centrale verwarmingssysteem heeft twee functies: het voorzien in warm tapwater en het voorzien in warmte, welke middels het afgiftesysteem in het huis wordt verspreid. In dit hoofdstuk ligt de focus op de installatie voor opwekking van die warmte uit gas of elektra. Er zijn hiervoor een aantal alternatieve opties beschikbaar voor de HR-combiketel, namelijk een HR-combiketel met aanvullend een zonneboiler, een biomassaketel en een hybride warmtepomp. Een zonneboiler kan als aanvullend systeem worden geïnstalleerd en wordt behandeld in hoofdstuk 12.

### UITWERKING SCENARIO'S

**Basisscenario:** Uitgaande van de gegevens over de referentiewoning, is voor het basisscenario uitgegaan van een HR-combiketel waarmee zowel warm water als warmte voor verwarming wordt opgewekt. De materiaalsamenstelling van de ketel is gebaseerd op eerder onderzoek (Hadong, Julie, Camille, Jenny, & Isabela, 2021). Voor de levensduur is 15 jaar aangehouden (ZLM, sd). Voor energiegebruik is uitgegaan van de gegevens, behorend bij de gekozen referentiewoning (tabel 1). Uitgegaan is van een gewenste temperatuur van 20 °C (zie hiervoor ook hoofdstuk 14) en matige isolatie (in lijn met de gegevens over de referentiewoning).

### 13. KEUKEN: WARM WATERBRON

### PROJECT MILIEUDRUK CONSUMPTIE DOMEIN WONING

63

**Rethink:** Het installeren van energiebesparende installaties zoals een zonneboiler of een installatie voor terugwinning van warmte uit douchewater. Omdat deze opties in andere hoofdstukken reeds zijn behandeld, worden ze hier niet nogmaals getoond.

**Reduce:** Het toepassen van een hybride warmtepomp of een biomassaketel.

- ▶ De hybride warmtepomp heeft een vermogen van 4 kilowatt, welke aanvullend op de bestaande HR-combiketel wordt geïnstalleerd. Voor deze configuratie is matige isolatie voldoende, dus kan deze optie worden toegepast in de referentiewoning. De installatie bestaat uit een buitenunit met een ventilator, een compressor en een warmtewisselaar, een binnenunit voor afgifte van warmte aan het water en geïsoleerde leidingen tussen de binnen- en buitenunit waarin een koelvloeistof wordt gebruikt voor overbrengen van de warmte. Voor de materiaalsamenstelling is gebruik gemaakt van eerder onderzoek (Hadong, Julie, Camille, Jenny, & Isabela, 2021). Aannames over de materiaalsamenstelling van de hybride warmtepomp zijn hiervan afgeleid: de genoemde bron gaat over een volledige split lucht-waterwarmtepomp met een vermogen van 10 kilowatt. Op basis van in eerder onderzoek opgedane kennis binnen Milieu Centraal is besloten dat het te verantwoorden is om aan te nemen dat de materiaalsamenstelling van een 4 kilowatt hybride warmtepomp kan worden benaderd door de samenstelling van de volledige 10 kilowatt warmtepomp te nemen, hier de materialen van een boiler van 200 liter vanaf te halen en de overige materialen lineair naar beneden te schalen tot het totaal overeen komt met waarden die worden opgegeven door leveranciers van hybride warmtepompen. Verder is uitgegaan van het koelmiddel R134a en is apart weergegeven wat het klimaateffect is wanneer dit koelmiddel uit de installatie vrijkomt (het koelmiddel heeft een GWP van 1300 kg CO<sub>2</sub>-eq, de installatie bevat 0,46 kg van dit middel en het theoretische verlies over de gehele levensduur is 100%). Aangenomen is dat de installatie 15 jaar meegaat (ZLM, sd).
- ▶ Voor een biomassaketel is uitgegaan van voorziening in zowel warm tapwater als warmte voor verwarming. De materiaalsamenstelling is gebaseerd op eerder onderzoek (Garcia, 2021) en voor de levensduur is uitgegaan van een levensduur, vergelijkbaar met een HR-combiketel (15 jaar). Aangenomen is dat per jaar ongeveer 3300 kg houtchips (drooggewicht) nodig is (Milieu Centraal, 2022). Het GWP per kg drooggewicht houtchips is gebaseerd op [www.co2emissiefactoren.nl](http://www.co2emissiefactoren.nl) (emissies van productie tot en met gebruik, ofwel well-to-wheel, waarbij biogene emissies niet zijn meegerekend), het landgebruik per kg houtchips is gebaseerd op gegevens uit de Ecoinvent database.

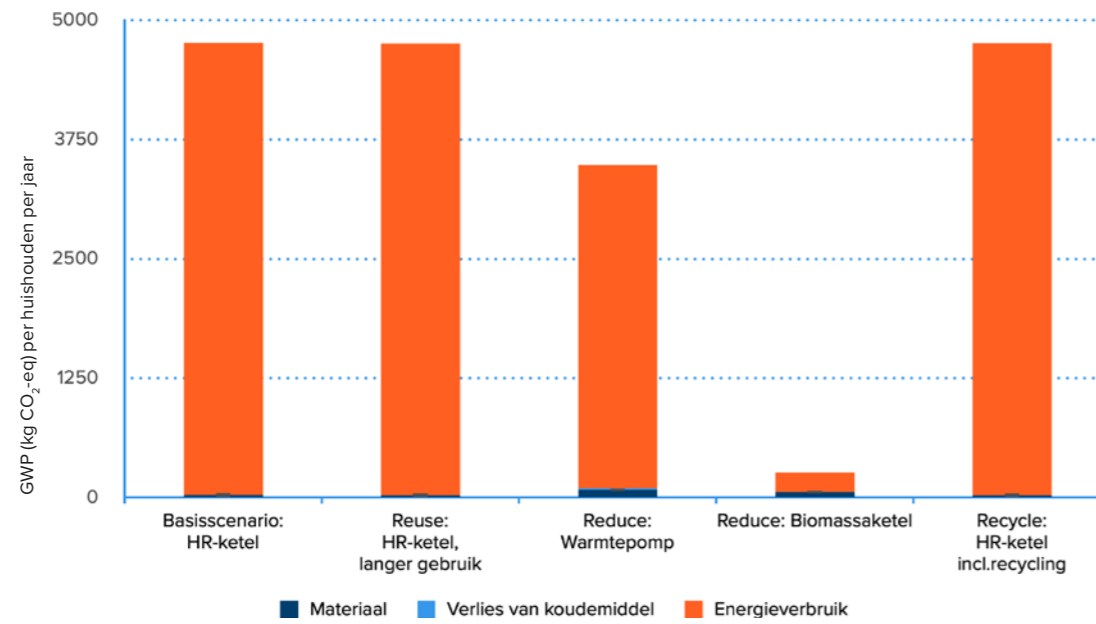
**Reuse:** De installatie 20 jaar gebruiken. De overige gegevens zijn vergelijkbaar met het basisscenario. Hierin is niet meegerekend dat de efficiëntie van een nieuwe HR-ketel mogelijk hoger is

**Recycle:** Gebruik maken van gerecyclede materialen, de overige aannames zijn vergelijkbaar met het basisscenario.



RESULTATEN

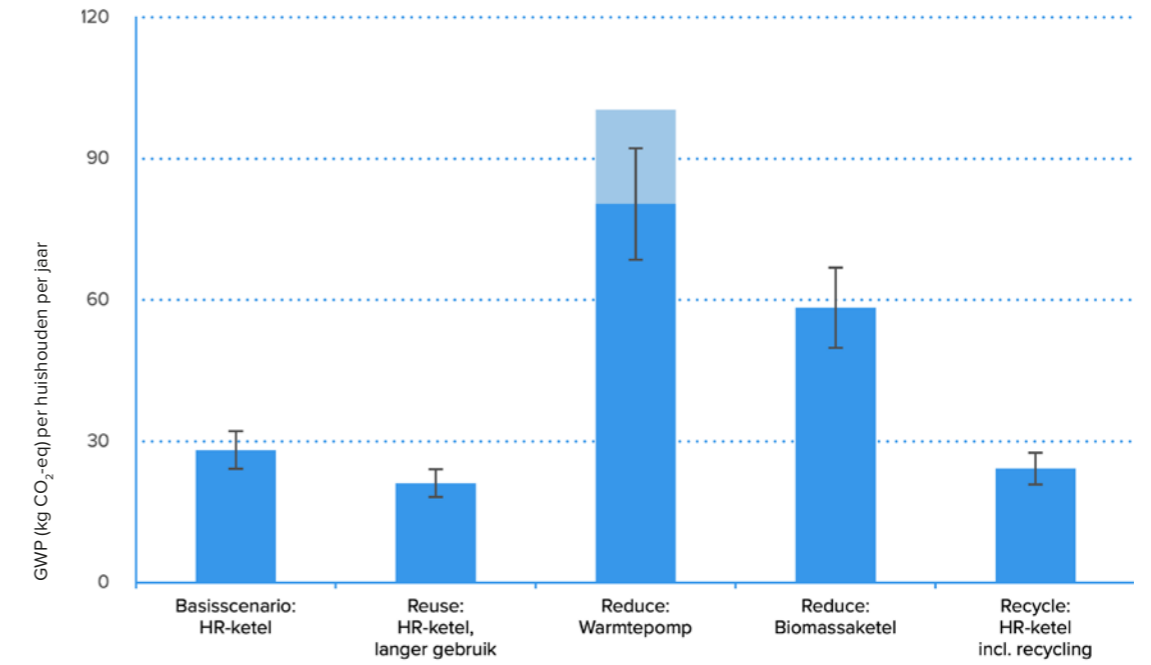
32a. Warm waterbron: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar, materiaal en energie



Figuur 32a: GWP (in kg CO<sub>2</sub>-eq) voor verschillende vormen van verwarmen van water voor de woning, per huishouden per jaar. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

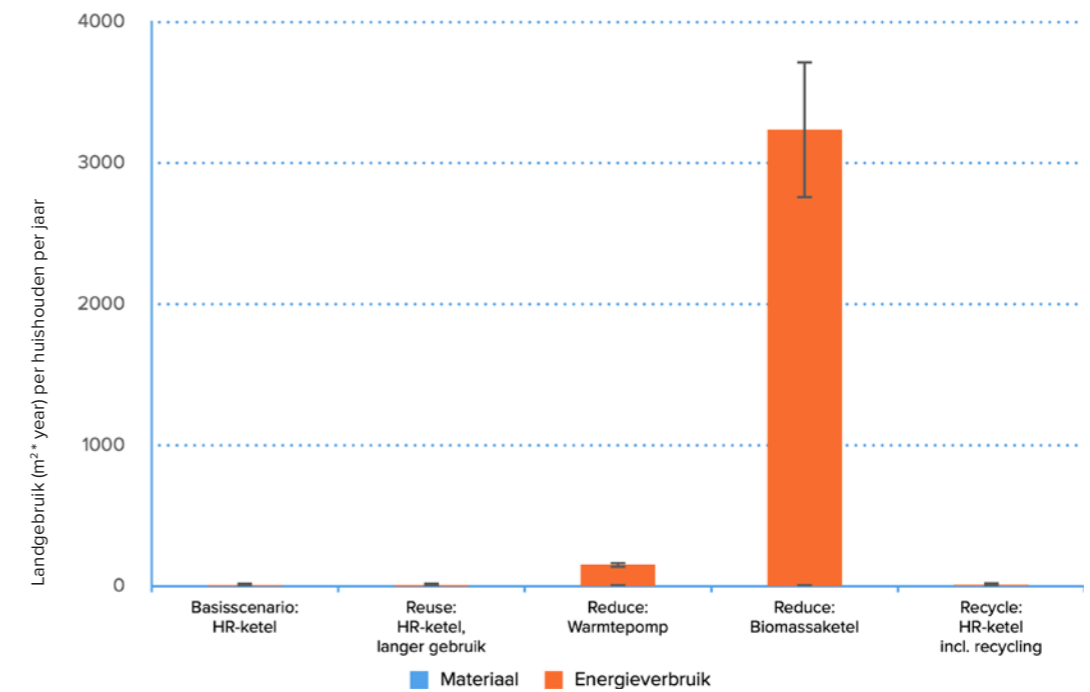
In de figuur hiervoor is te zien dat materiaalgebruik slechts een klein deel van de totale GWP impact van energie tijdens de gebruiksfase en materiaalgebruik beslaat. In de volgende figuur is daarom het materiaalgebruik nogmaals apart weergegeven, zodat de onderlinge verschillen kunnen worden gezien.

32b. Warm waterbron: GWP (KG kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar, materiaal



Figuur 32b: GWP (in kg CO<sub>2</sub>-eq) voor verschillende vormen van verwarmen van water voor de woning, per huishouden per jaar. De blauwe balk is steeds het materiaal bij een levensduur van 15 jaar, de grijze balk het materiaal bij een levensduur van 20 jaar. De grijze balk is het energieverbruik en de gele balk is het verlies van koudemiddel. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

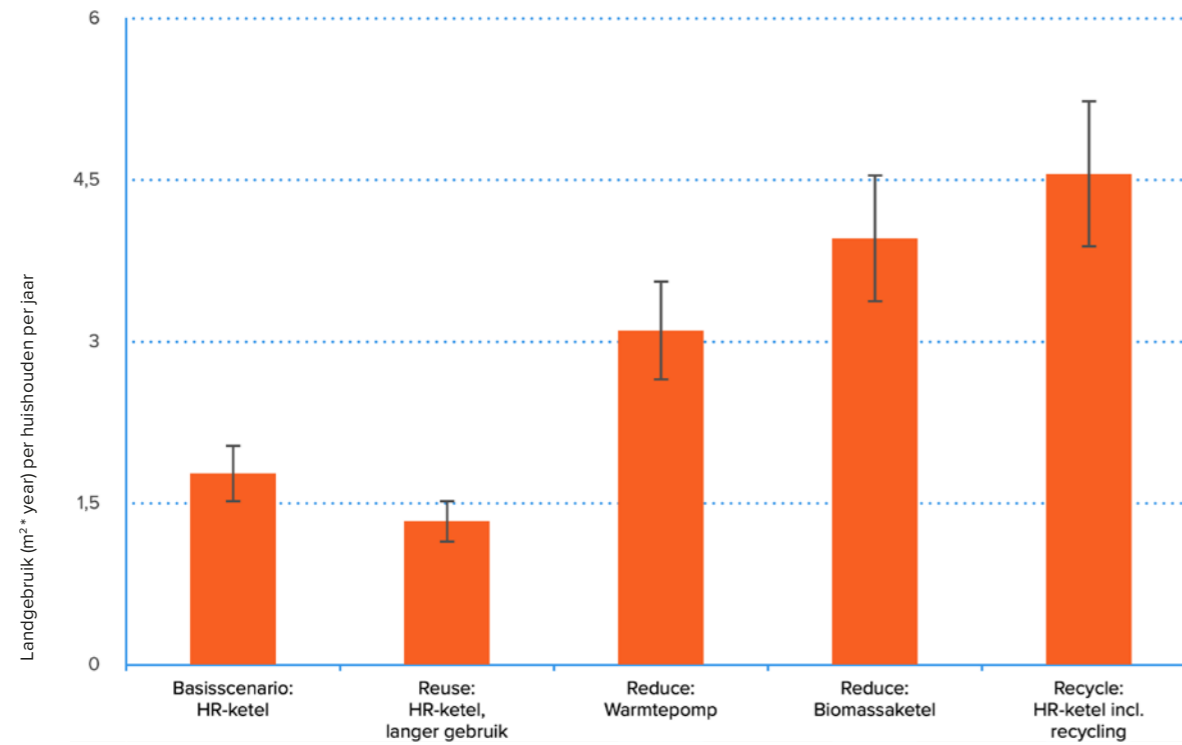
33a. Warm waterbron: landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar voor materiaal en energie



Figuur 33a: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year per huishouden per jaar) voor verschillende vormen van verwarmen van water voor de woning. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

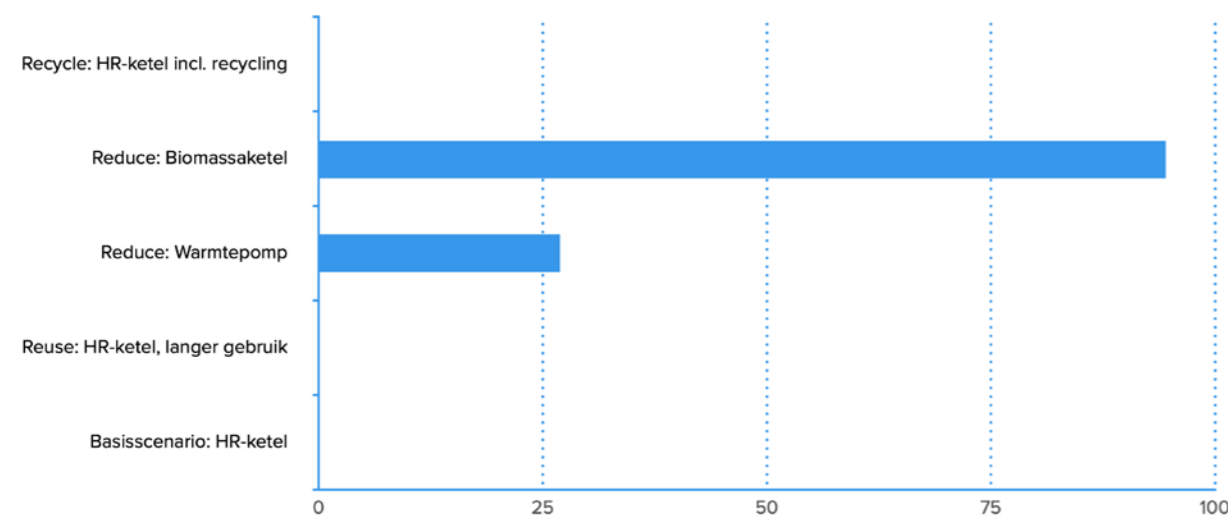
In de figuur hiervoor is te zien dat materiaalgebruik slechts een klein deel van de totale GWP impact van energie tijdens de gebruiksfase en materiaalgebruik beslaat. In de volgende figuur is daarom het materiaalgebruik nogmaals apart weergegeven, zodat de onderlinge verschillen kunnen worden gezien.

33b. Warm waterbron: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar voor materiaal



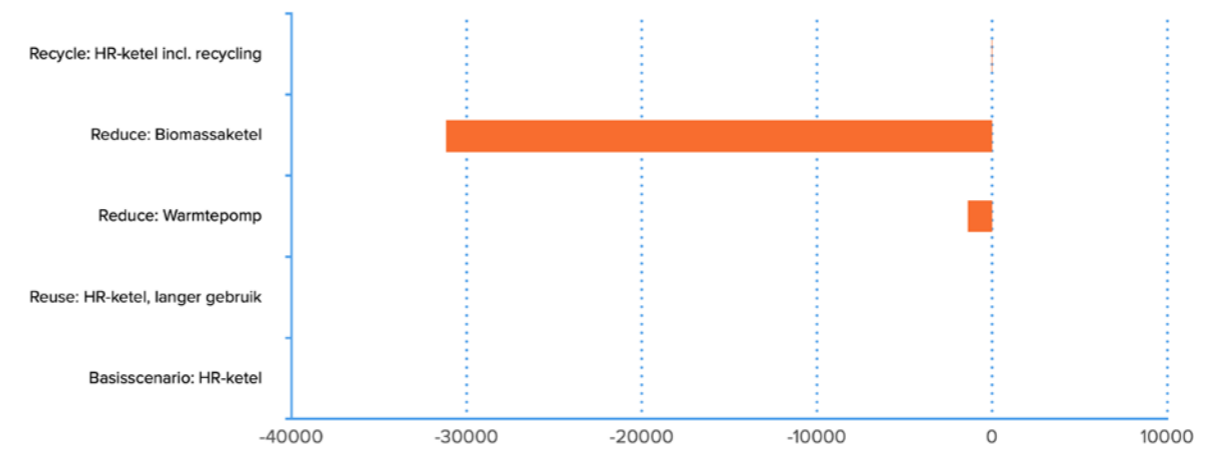
Figuur 33b: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year per huishouden per jaar) voor verschillende vormen van verwarmen van water voor de woning, per huishouden per jaar. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

34. Warm waterbron: Reductiepercentage GWP



Figuur 34: Reductiepercentages voor GWP bij verschillende opties voor verwarming, ten opzichte van het basisscenario.

35. Warm waterbron: Reductiepercentage landgebruik



Figuur 35: Reductiepercentages voor Landgebruik bij verschillende opties voor verwarming, ten opzichte van het basisscenario.

## DEELCONCLUSIES

- ▶ Als alleen naar GWP wordt gekeken bij het totaal van materiaal, energie en verlies van koudemiddel, dan is een biomassaketel de beste optie, gevolgd door een warmtepomp. De hoge reductie bij de biomassaketel is het gevolg van het niet meerekenen van biogene emissies, het GWP is hier dus alleen gerelateerd aan productie van de houtchips en niet aan de verbranding ervan. Hierbij wordt echter alleen gekeken naar GWP, waarbij lokale luchtverontreiniging en het niet oneindige aanbod van stookhout niet buiten beschouwing kan worden gelaten.
- ▶ Wordt gekeken naar het totaal van materiaal, energie en verlies van koudemiddel, dan resulteren voor landgebruik bijna alle opties in een verslechtering. De reden is het relatief hoge landgebruik van elektra (warmtepomp) en biomassa (biomassaketel) ten opzichte van gas (HR-combiketel).
- ▶ Gebruik van gerecyclede grondstoffen in de HR-combiketel, evenals het langer gebruiken van de het apparaat, levert voor zowel GWP als landgebruik slechts een kleine reductie op in vergelijking met het effect van energiebesparende alternatieven.





## 14 VERWARMING: AFGIFTE WARMTE

De verwarming van een huis is voor dit rapport opgesplitst in twee componenten, namelijk het systeem voor omzetting van een energiebron in warmte (bijvoorbeeld middels een HR-ketel of een warmtepomp) en de afgifte van die warmte in de woning (bijvoorbeeld middels radiatoren of vloerverwarming). De omzetting van energie in warmte wordt in hoofdstuk 13 behandeld, de afgifte van de warmte, wordt behandeld in dit hoofdstuk.

In de gegevens over de gebruikte referentiesituatie (tabel 1) wordt voor de referentiewoning uitgegaan van een HR-ketel met radiatoren voor verwarming, met normale isolatie. Het niveau van isolatie bepaalt hoeveel watt aan capaciteit nodig is voor het behalen van een bepaalde temperatuur. Voor een temperatuur van 20 °C is uitgegaan van een benodigde capaciteit van 85W/m<sup>3</sup> voor een matig geïsoleerde woning (Joost de Vree, a). Het materiaal van de leidingen is niet in de vergelijking meegenomen.

Steeds is uitgegaan van het benodigde vermogen om de referentiewoning tot een gemiddelde temperatuur van 20 °C te kunnen verwarmen.

### UITWERKING SCENARIO'S

Op basis van ervaring binnen Milieu Centraal zijn de volgende scenario's opgesteld.

**Basisscenario:** Afgifte van warmte middels stalen radiatoren. Stalen radiatoren zijn een veel voorkomende optie (badkamerwinkel, 2022) en zijn daarom als basisscenario genomen. Uitgegaan is van radiatoren van het type '22' van 90 cm hoog. Op basis van een typische technische levensduur voor stalen radiatoren van 20 tot 30 jaar (Zehnder, 2022) is uitgegaan van een gebruiksduur van 25 jaar. Voor het energiegebruik is uitgegaan van het gasgebruik zoals aangenomen voor de referentiewoning (2270 m<sup>3</sup> per jaar), waarbij is aangenomen dat 75% van dit gas wordt gebruikt voor verwarming (vastelastenbond, 2022). Dit komt neer op 1702 m<sup>3</sup> gas per jaar.

**Reduce:** Verwarmen van het gebruiksoppervlak van de woning (100 m<sup>2</sup>) middels:

- ▶ Verwarmingsbuizen in de vloer of de muur met polyethyleen leidingen, bevestigd op een stalen rooster, waarbij is uitgegaan van een levensduur van 50 jaar (vloerverwarming-zelfleggen.nl, 2022). Aangenomen is dat met vloer- of muurverwarming 15% minder gas nodig is dan met radiatoren, om dezelfde woning te verwarmen tot dezelfde temperatuur, gebaseerd op informatie van de consumentenbond (Consumentenbond, 2022). Het energiegebruik van een extra pomp voor de vloerverwarming is hier meegerekend, waarbij is uitgegaan van 131 kWh per jaar (Regionaal Energieloket, sd).
- ▶ Stalen radiatoren zoals in het basisscenario, overal voorzien van een radiatorventilator met een levensduur van 15 jaar (Speedcomfort, 2022). Op basis van onderzoeken naar de effectiviteit van de radiatorventilator (JOA Projects, 2019) is aangenomen dat een besparing van 20% op gasverbruik per jaar realistisch is, evenals een stroomverbruik door de ventilatoren van 10 kWh per jaar.
- ▶ Stalen radiatoren zoals in het basisscenario, overal verbeterd met radiatorfolie. Aangenomen is dat dit voor een gemiddelde woning leidt tot een energiebesparing van 10 m<sup>3</sup> gas per jaar, per m<sup>2</sup> folie (Essent, sd).

**Reuse:** Verlengen van de gebruiksduur van de stalen radiator met 5 jaar, waardoor de radiator in totaal 30 jaar meegaat (de bovengrens van de technische levensduur volgens het basisscenario).

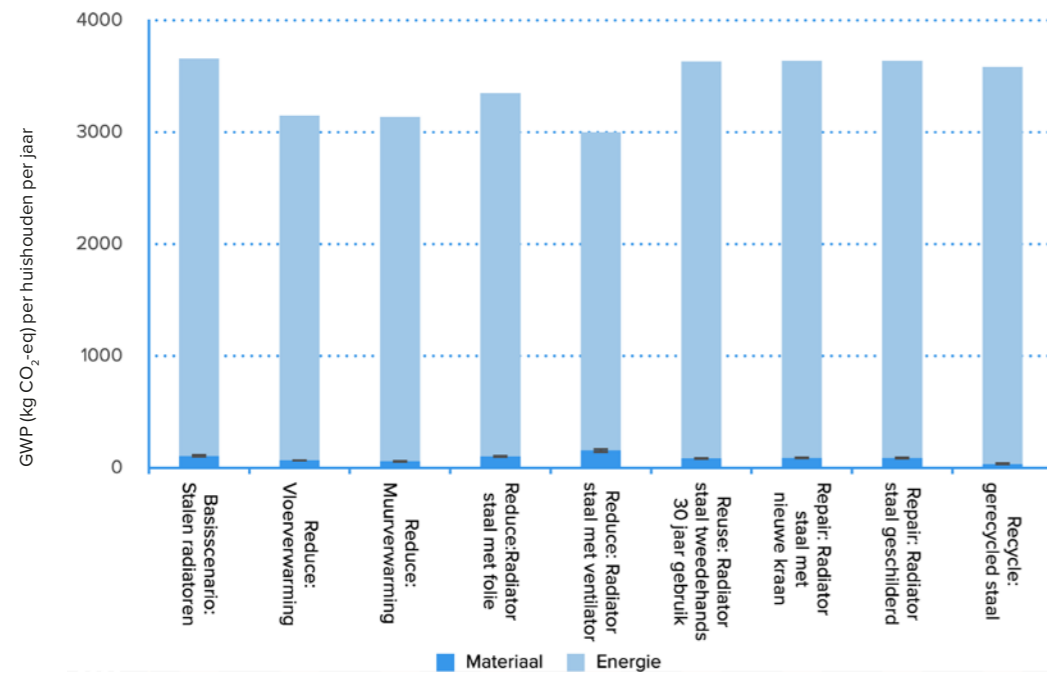
**Repair:** Verlengen van de levensduur van de stalen radiator middels vervangen van de radiatorkraan (inclusief servicekosten) met 5 jaar, waardoor deze op 30 jaar uitkomt (de bovengrens van de technische levensduur volgens het basisscenario).

- Verlengen van de levensduur van de radiator middels schilderen, waardoor de levensduur op 30 jaar uitkomt (de bovengrens van de technische levensduur volgens het basisscenario).

**Recycle:** Het basisscenario, maar met het gebruik van gerecycled staal.

RESULTATEN

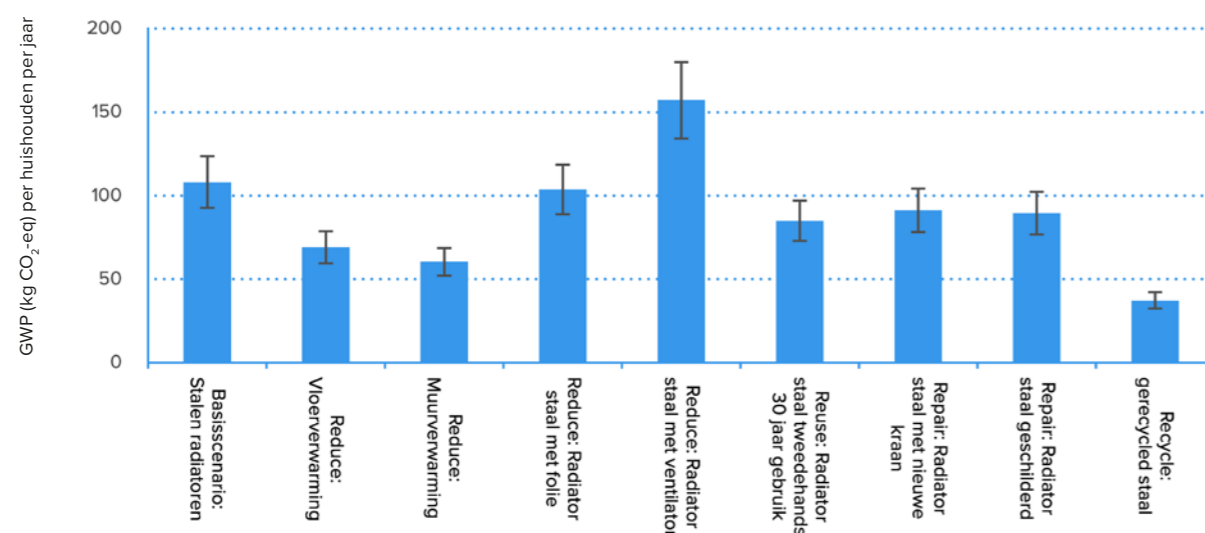
36a. Afgifte warmte: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar, materiaal en energie



Figuur 36a: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar voor verschillende wijzen van warmteafgifte binnen de referentiewoning. Zowel milieu-impact van energie tijdens gebruiksfase als milieu-impact door het materiaal weergegeven. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

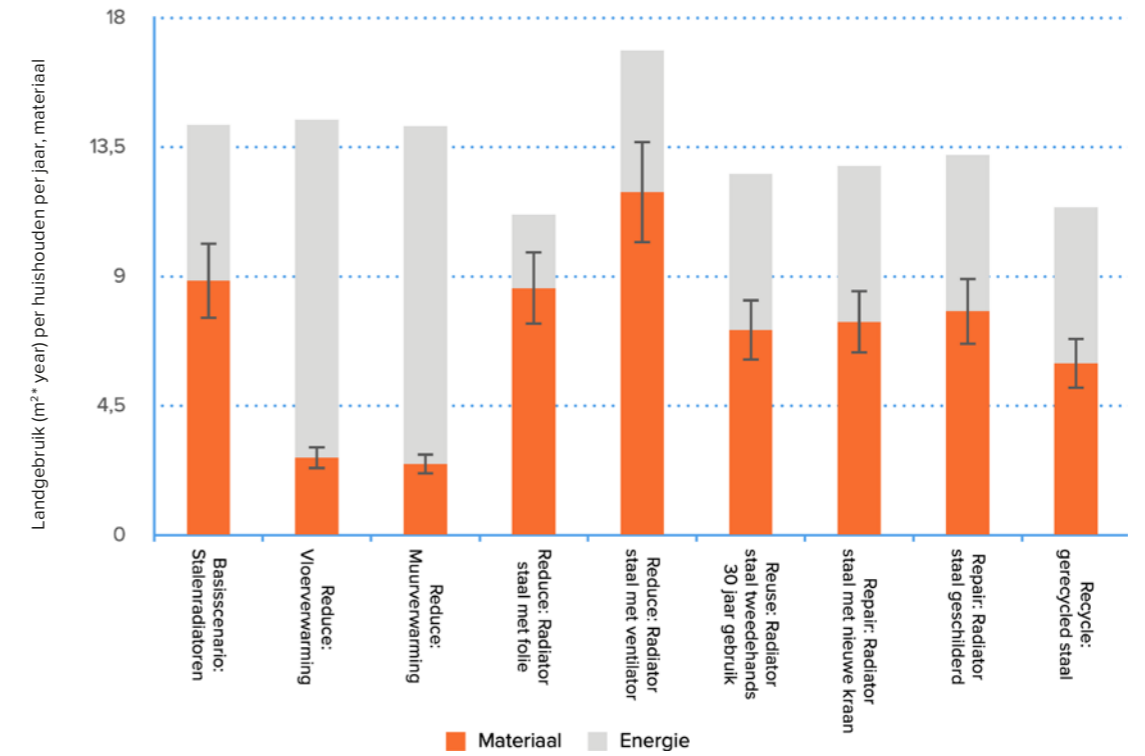
In de figuur hiervoor is te zien dat materiaalgebruik slechts een klein deel van de totale GWP impact van energie tijdens de gebruiksfase en materiaalgebruik beslaat. In de volgende figuur is daarom het materiaalgebruik nogmaals apart weergegeven, zodat de onderlinge verschillen kunnen worden gezien.

36b. Afgifte warmte: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar, materiaal



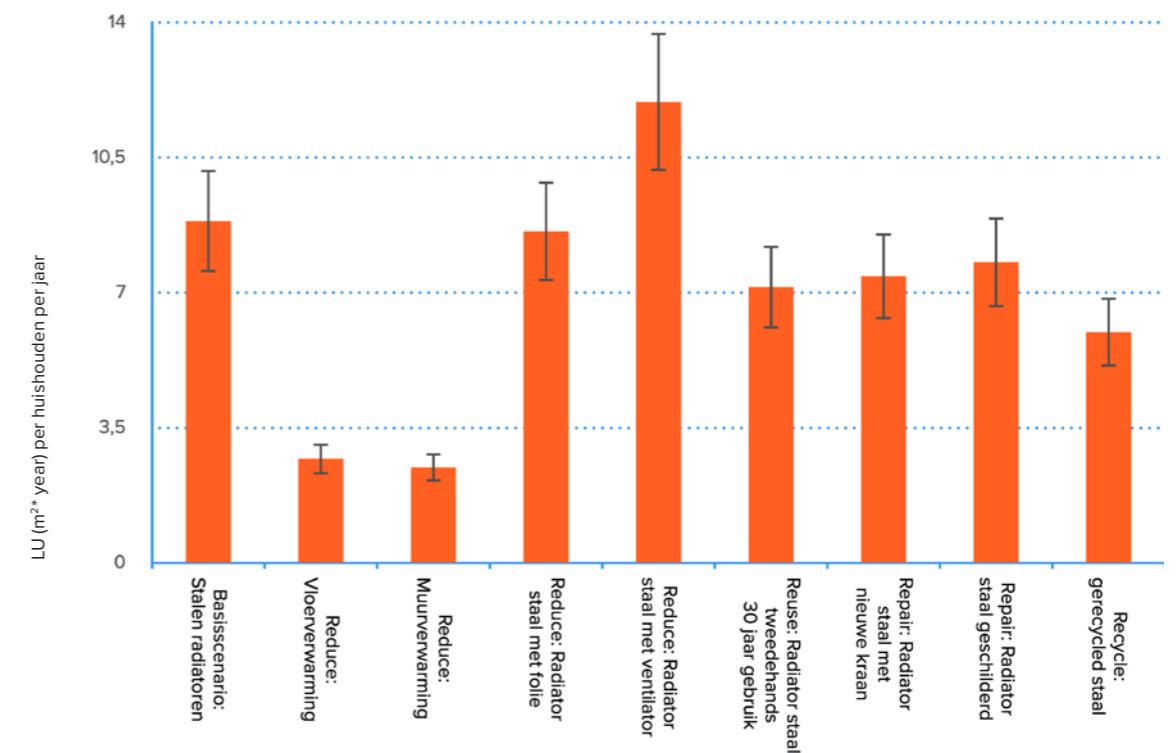
Figuur 36b: GWP (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar voor verschillende wijzen van warmteafgifte binnen de referentiewoning. Alleen milieu-impact door het materiaal weergegeven. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

37a. Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar, materiaal en energie



Figuur 37a: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar bij verschillende wijzen van warmteafgifte binnen de referentiewoning. Zowel milieu-impact van energie tijdens gebruiksfase als milieu-impact door het materiaal weergegeven. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.

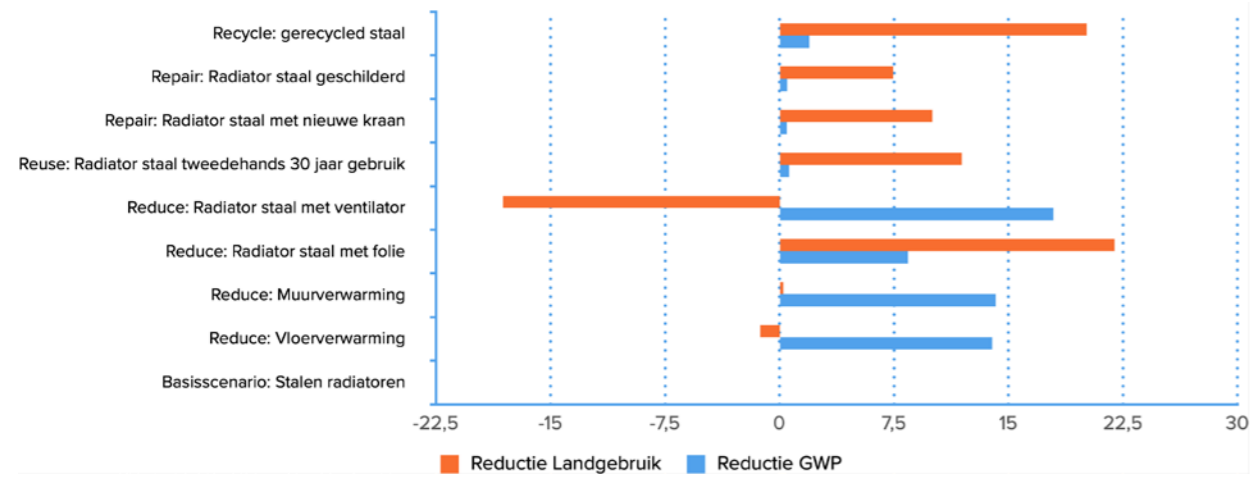
37b. Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar, materiaal



Figuur 37b: Landgebruik (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar bij verschillende wijzen van warmteafgifte binnen de referentiewoning. De foutbalk geeft 15% aan ten opzichte van het totaal aan materialen.



### 38. Reductiepercentages, materiaal en energie



Figuur 38: Reductiepercentages voor GWP en landgebruik ten opzichte van het basisscenario, voor de verschillende R-treden. Zowel milieu-impact van energie tijdens gebruiksfase als milieu-impact door het materiaal weergegeven.

## DEELCONCLUSIES

Wanneer de energie uit de gebruiksfase bij de verschillende onderzochte alternatieven wordt meegerekend, kunnen de volgende deelconclusies voor worden getrokken:

- ▶ Met name maatregelen die het energieverbruik in de gebruiksfase terugdringen, hebben een groot effect op het totale GWP per huishouden per jaar. Hieruit kan worden afgeleid dat voor GWP reductie een focus op de reductie van energiegebruik tijdens de levensduur belangrijker is dan een focus op het materiaal.
- ▶ Voor landgebruik ligt de impact van materiaalgebruik en de impact van het energiegebruik tijdens de gebruiksfase dicht bij elkaar, waardoor de focus op zowel het materiaal als het energiegebruik tijdens de gebruiksfase van belang is.

Als op de verschillende opties wordt ingezoomd, waarbij ook naar zowel energie uit de gebruiksfase en het materiaal samen wordt gekeken:

- ▶ Voor GWP zijn vloer- en muurverwarming goede opties vanwege laag materiaalgebruik. Daarnaast is het energiegebruik bij een vloer- of muurverwarming in de gebruiksfase ook lager dan bij het basisscenario, hetgeen een extra reden is om voor deze reduce optie te kiezen. Voor landgebruik is de reductie kleiner omdat het energiegebruik voor de circulatiepomp het landgebruik omhoog brengt.
- ▶ De repair opties (schilderen van een radiator en vervangen van radiatorknoppen) resulteren slechts in geringe procentuele verschillen in GWP en landgebruik, omdat deze verschillen wegvallen tegen het effect van de gebruikte energie.
- ▶ De reduce optie om folie achter de radiatoren te hangen, levert wellicht minder energiebesparing op dan andere opties, maar is wel een optie die snel kan worden uitgevoerd tegen een zeer geringe investering.
- ▶ Een radiatorventilator heeft een relatief hoge belasting in landgebruik. Dit resultaat wordt met name verklaard door het gebruik van de neodymium magneet, welke wordt gebruikt in het apparaat en een hoog landgebruik per kg kent, en door het gebruik van elektra. Voor GWP resulteert het gebruik van een radiatorventilator in een verbetering, doordat deze het energieverbruik terugdringt.



# 15 TRANSPORT

## BINNEN HET DOMEIN WONING

In de ketens van de onderzochte producten komt op verschillende momenten transport voor.

De volgende vormen worden onderscheiden:

- ▶ Transport van basisgoederen naar de producent. De impact hiervan is meegerekend in de impact van de basisgoederen.
- ▶ Transport van de producent naar de groothandel en van de groothandel naar de detailhandel of de installateur. De impact hiervan is in de verschillende analyses meegerekend als goederentransport. Hiervoor is steeds gerekend met 150 kilometer in een grote vrachtwagen.
- ▶ Transport van de detailhandel of installateur naar de consument. De impact hiervan is niet meegenomen in de individuele analyses. Het effect van deze keuze op de analyses wordt in dit hoofdstuk onderzocht. Hiertoe is voor alle basisscenario's het GWP en het landgebruik vergeleken bij géén transport en bij 50, 100 en 150 kilometer transport per (bestel) auto, kleine vrachtwagen en grote vrachtwagen. Hiertoe is steeds de volgende formule gebruikt:

Voor GWP (in kg CO<sub>2</sub>-eq per huishouden per jaar):

$$Y = (\text{GWP Basisscenario in KG CO}_2\text{eq per huishouden per jaar}) + (\text{GWP van type vervoer in KG CO}_2\text{eq per tonkm} * \text{vervoersafstand in kilometer}) | \text{typische gebruiksduur basisscenario in jaren}.$$

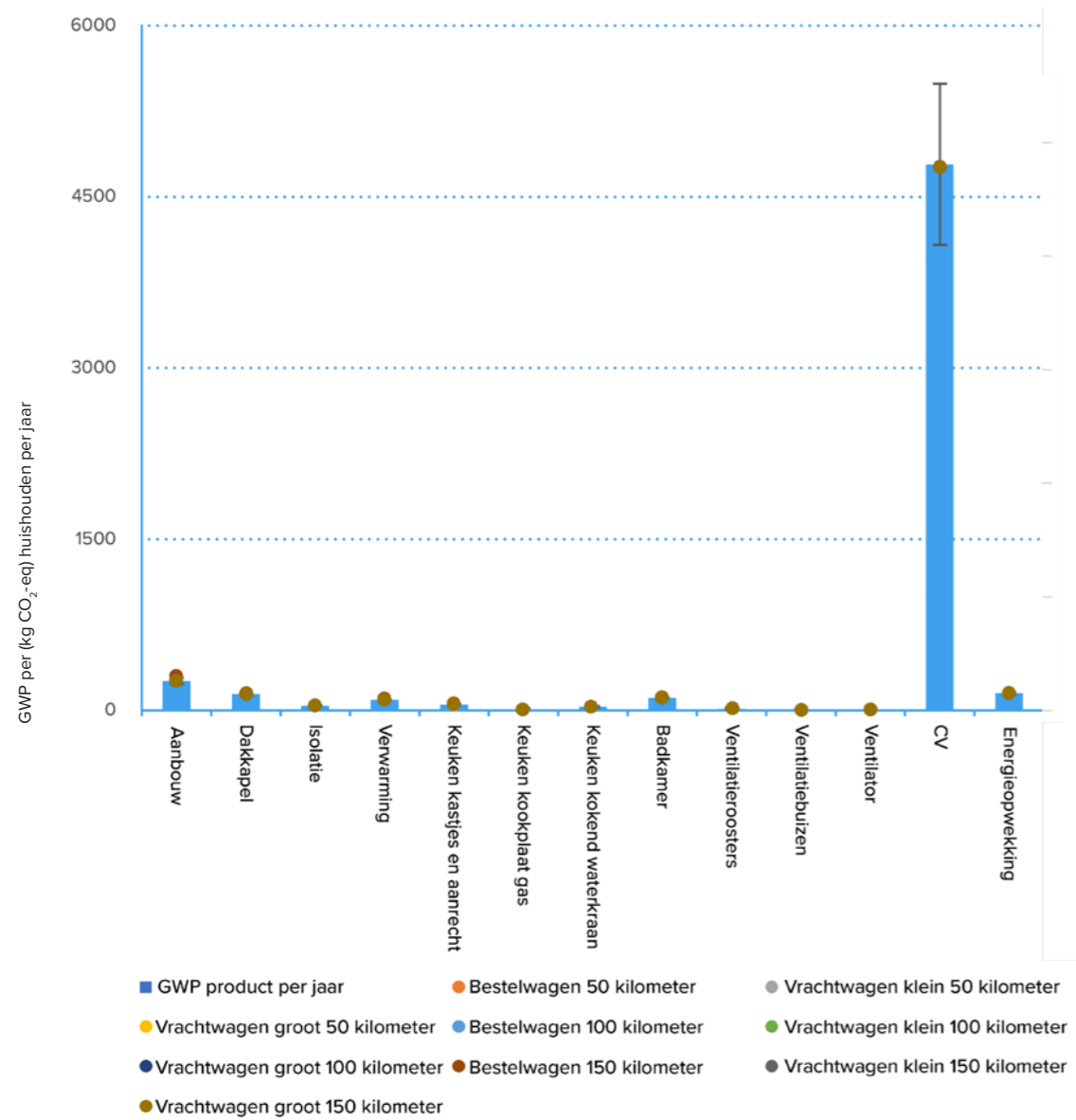
Voor Landgebruik (in m<sup>2</sup> \* year per huishouden per jaar):

$$Y = \text{LU basisscenario in m}^2 * \text{year per huishouden per jaar} + (\text{LU per tonkilometer van type vervoer} * \text{vervoersafstand in kilometer}) | \text{typische gebruiksduur basisscenario in jaren}.$$

Dit heeft geleid tot de resultaten in figuur 46 en figuur 47.

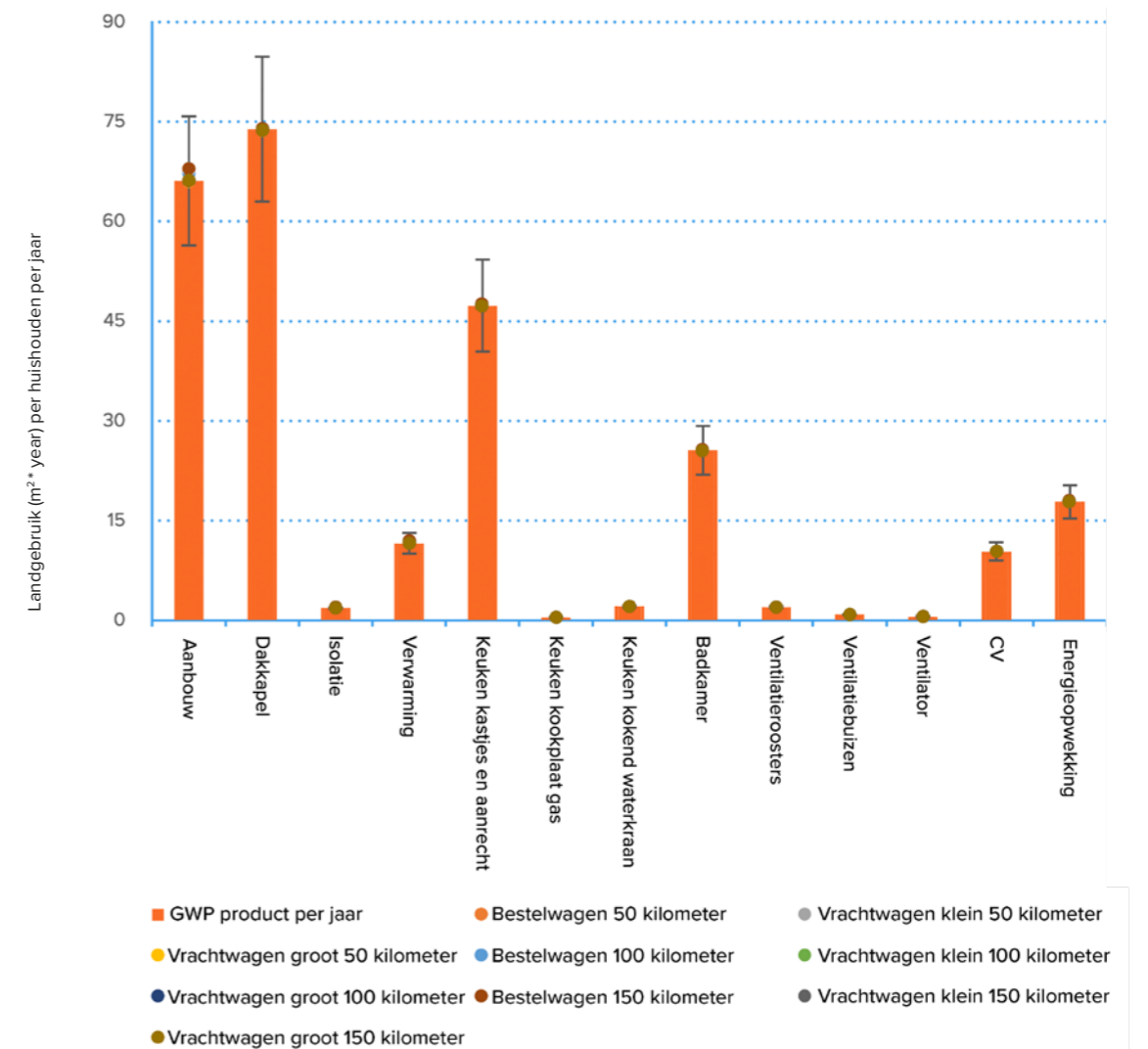
## RESULTATEN TRANSPORT

39. GWP transport (kg CO<sub>2</sub>-eq) per huishouden per jaar



Figuur 39: Het effect van verschillende transportwijzen en -afstanden op het GWP in kg CO<sub>2</sub>-eq per huishouden per jaar voor alle basisscenario's. De y-as heeft een logaritmische schaal.

40. Landgebruik transport (m<sup>2</sup> \* year) per huishouden per jaar



Figuur 40: Het effect van verschillende transportwijzen en -afstanden op het landgebruik in m<sup>2</sup> \* year per huishouden per jaar voor alle basisscenario's. De y-as heeft een logaritmische schaal.

## DEELCONCLUSIES

- ▶ Voor zowel GWP als landgebruik is het effect van transport door de consument klein in vergelijking met de overige impacts. Om die reden wordt aangenomen dat het al dan niet meerekenen van transport naar de consument in deze hoofdstukken niet leidt tot afwijkende conclusies.



## 16. BIBLIOGRAFIE

- badkamerwinkel. (2022, 2 2). *verwarming*. Opgehaald van [www.badkamerwinkel.nl/advies/advies-over/verwarming](https://www.badkamerwinkel.nl/advies/advies-over/verwarming)
- Benders, R., Younis, A., Zuidema, A., & Kok, R. (2021). *Milieudruk van het consumptiepatroon*. Groningen: Rijksuniversiteit Groningen.
- Berger. (2020, 10 11). *How long should exterior and interior paint last?*. Opgehaald van [www.bergerpaints.com](https://www.bergerpaints.com/blog/brand-speak/how-long-should-exterior-and-interior-paint-last#:~:text=You%20can%20expect%20your%20exterior,between%205%20to%2010%20years): <https://www.bergerpaints.com/blog/brand-speak/how-long-should-exterior-and-interior-paint-last#:~:text=You%20can%20expect%20your%20exterior,between%205%20to%2010%20years>.
- CBS. (2016, 04 09). *Vier op de tien huishoudens wonen in een rijtjeshuis*. Opgehaald van [www.cbs.nl](https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2016/14/vier-op-de-tien-huishoudens-wonen-in-een-rijtjeshuis#:~:text=Nederland%20voert%20de%20EU%2Dranglijst,ook%20gebaseerd%20op%20aantallen%20personen): <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2016/14/vier-op-de-tien-huishoudens-wonen-in-een-rijtjeshuis#:~:text=Nederland%20voert%20de%20EU%2Dranglijst,ook%20gebaseerd%20op%20aantallen%20personen>.
- CO2emissiefactoren. (sd). *CO2emissiefactoren*. Opgeroepen op 2021, van [www.co2emissiefactoren.nl](https://www.co2emissiefactoren.nl): <https://www.co2emissiefactoren.nl/lijst-emissiefactoren/>
- Constructieshop. (2019, a). *Hoeveel vierkante meter mag je bouwen zonder vergunning*. Opgehaald van [www.constructieshop.nl](https://constructieshop.nl/tips-van-een-constructeur/omgevingsvergunning-en-verbouwen/hoeveel-vierkante-meter-mag-je-bouwen-zonder-vergunning/): <https://constructieshop.nl/tips-van-een-constructeur/omgevingsvergunning-en-verbouwen/hoeveel-vierkante-meter-mag-je-bouwen-zonder-vergunning/>
- Consumentenbond. (2022, 03 04). *Energie besparen verwarming*. Opgehaald van [www.consumentenbond.nl](https://www.consumentenbond.nl/energie-vergelijken/energie-besparen-verwarming#:~:text=Met%20vloerverwarming%20kun%20je%2010,geldt%20trouwens%20ook%20voor%20wandverwarming): <https://www.consumentenbond.nl/energie-vergelijken/energie-besparen-verwarming#:~:text=Met%20vloerverwarming%20kun%20je%2010,geldt%20trouwens%20ook%20voor%20wandverwarming>.
- Ecoinvent. (2020, 09). *Ecoinvent v3.7.1*. Zurich, Zwitserland.
- Essent. (sd). *radiatorfolie*. Opgehaald van [www.essent.nl](https://www.essent.nl/kennisbank/energie-besparen/bespaartips/radiatorfolie): <https://www.essent.nl/kennisbank/energie-besparen/bespaartips/radiatorfolie>
- Garcia, I. M. (2021). *Master thesis: Life Cycle analysis of renewable heat supply technologies for buildings*. Madrid.
- Generali. (sd). *Afschrijvingslijst compleet Generali*. Opgehaald van [www.consumentenbond.nl](https://www.consumentenbond.nl/binaries/content/assets/cbhippowsite/tests/reisverzekering/afschrijvingslijst-compleet-general.pdf): <https://www.consumentenbond.nl/binaries/content/assets/cbhippowsite/tests/reisverzekering/afschrijvingslijst-compleet-general.pdf>
- Hadong, L., Julie, C., Camille, J., Jenny, C., & Isabela, B. (2021). Environmental life cycle assessment of heating systems in the UK: Comparative assessment of hybrid heat pumps vs. condensing gas boilers. *Energy & Buildings*, 240.
- JOA Projects. (2019, 07 24). *Test report Speedcomfort*. Delft: JOA projects B.V. Opgehaald van [https://www.speedcomfort.nl/media/Validation\\_Report\\_SpeedComfort\\_Final\\_30.08.2019.pdf](https://www.speedcomfort.nl/media/Validation_Report_SpeedComfort_Final_30.08.2019.pdf)
- Joost de Vree. (a). *www.joostdevree.nl*. Opgeroepen op 12 09, 2021, van capaciteit CV en radiator: [https://www.joostdevree.nl/shtmls/capaciteit\\_cv\\_en\\_radiator.shtml](https://www.joostdevree.nl/shtmls/capaciteit_cv_en_radiator.shtml)
- Kooij, J. v. (2018). *Master thesis: Environmental impact of the materials used in the Dutch heat transition*. Delft: TU Delft.
- Milieu Centraal. (2021). *Brondocument 'kookapparatuur'*. Utrecht.
- Milieu Centraal. (2021). *Brondocument ventilatie*. Utrecht.
- Milieu Centraal. (2021). *Brondocument 'warm en koud water'*.
- Milieu Centraal. (2022). *Brondocument 'dishman'*.
- Milieu Centraal. (2022, 2 3). *Pelletkachel of biomassaketel*. Opgehaald van [www.milieucentraal.nl](https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-verwarmen-en-koelen/pelletkachel-of-biomassaketel/): <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-verwarmen-en-koelen/pelletkachel-of-biomassaketel/>
- Milieu Centraal. (2022, 02 2). *Zonneboiler*. Opgehaald van [www.milieucentraal.nl](https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-warm-water/zonneboiler/): <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-warm-water/zonneboiler/>
- Nachi. (2022, 2 2). *life expectancy*. Opgehaald van [www.nachi.org](https://www.nachi.org/life-expectancy.htm): <https://www.nachi.org/life-expectancy.htm>

- Oekobaudat. (2015, 07 13). *UMWELT-PRODUKTDEKLARATION Badewannen, Duschwannen und Wannerverkleidungen aus akryl*. Opgehaald van [www.oekobaudat.de](https://www.oekobaudat.de/https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/resource/sources/4d19ce9f-b243-4e27-b19d-1e51b9bc52bd/Sanitaeracryl.pdf?version=00.01.000): <https://www.oekobaudat.de/https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/resource/sources/4d19ce9f-b243-4e27-b19d-1e51b9bc52bd/Sanitaeracryl.pdf?version=00.01.000>
- PBL. (2018). *Circulaire economie: wat we willen weten en kunnen meten*. Den Haag: PBL. Opgehaald van <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2018-circulaire-economie-wat-we-willen-weten-en-kunnen-meten-2970.pdf>
- PBL, Persoonlijke mededeling. (2021). Persoonlijke mededeling Harry Wilting in commentaar op rapportage.
- Regiocontainer.nl. (2019, a). *Woon- en perceeloppervlakte*. Opgehaald van [www.regiocontainer.nl](https://www.regiocontainer.nl/woon-en-perceeloppervlakte): <https://www.regiocontainer.nl/woon-en-perceeloppervlakte>
- Regionaal Energieloket. (sd). *vloerverwarmingspomp*. Opgeroepen op 03 25, 2022, van [www.regionaalenergieloket.nl](https://www.regionaalenergieloket.nl): [Verborgen sluipverbruiker: de vloerverwarmingspomp | RegionaalEnergieloket](https://www.regionaalenergieloket.nl)
- Rijksuniversiteit Groningen. (2020). *Energie analyse programma, 2000*. Groningen, Groingen, Nederland: Universiteit van Groningen.
- RUG, persoonlijke mededeling. (2021). Persoonlijke mededeling René Benders.
- SBR. (2012). *Levensduur van bouwproducten - methode voor referentiewaarden*. Rotterdam.
- Speedcomfort. (2022, 2 2). *www.speedcomfort.nl*. Opgehaald van <https://www.speedcomfort.nl/>
- vastelastenbond. (2022, 2 2). *gasverbruik in uw huishouden*. Opgehaald van [www.vastelastenbond.nl](https://www.vastelastenbond.nl/energie/gasverbruik-in-uw-huishouden/#:~:text=Ruim%2075%25%20van%20het%20totale,het%20hoogseizoen%20voor%20het%20stoken): <https://www.vastelastenbond.nl/energie/gasverbruik-in-uw-huishouden/#:~:text=Ruim%2075%25%20van%20het%20totale,het%20hoogseizoen%20voor%20het%20stoken>
- VHK. (2010). *Quooker energy analysis*. Delft: Van Holsteijn en Kenma B.V. (VHK).
- vloerverwarmingzelfleggen.nl. (2022, 2 2). *levensduur vloerverwarming*. Opgehaald van <https://www.vloerverwarmingzelfleggen.nl/levensduur-vloerverwarming/>
- Vringer, K., Benders, R., Wilting, H., Brink, C., Drissen, E., Nijdam, D., & Hoogervorst, N. (2010). A hybrid multi-region method (HMR) for assessing the environmental impact of private consumption. *Ecological Economics*, 2510-2516.
- WE Adviseurs. (2021). *WE Voorbeeldwoningen*. WE Adviseurs.
- Zehnder. (2022, 2 2). *design-radiatoren*. Opgehaald van [zehnder.nl](https://www.zehnder.nl/design-radiatoren): <https://www.zehnder.nl/design-radiatoren>
- ZLM. (sd). *Afschrijvingslijst woonhuis*. Opgeroepen op 03 02, 2022, van [www.zlm.nl](https://static.zlm.nl/bestanden/afschrijvingslijst_woonhuis.pdf): [https://static.zlm.nl/bestanden/afschrijvingslijst\\_woonhuis.pdf](https://static.zlm.nl/bestanden/afschrijvingslijst_woonhuis.pdf)



MILIEUCENTRAAL.NL