

W/E rapport 30645

# Circulaire energierenovaties

Werkpakket 1

EINDRAPPORT

Stichting W/E adviseurs

Eindhoven, 31 oktober 2023



# Circulaire energierenovaties

Werkpakket 1

**Opdrachtgever**

TKI

**Opdrachtnemer**

W/E adviseurs

Jan van Hooffstraat 8 E, 5611 ED EINDHOVEN

Contactpersoon: David Anink

anink@w-e.nl

**Projectnummer**

W/E 30645

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
1.1	Materiaalgebonden impact van renovatie op de agenda	4
1.2	Doel van het project en projectdeel 1	5
1.3	Deelproject WP1	5
1.4	Afbakening milieubelasting materialen energierenovatie	6
<b>2</b>	<b>De energietransitie in de Nederlandse voorraad</b>	<b>7</b>
2.1	Aanpak	7
2.2	Data WoON2018 en energielabeldatabase	7
2.3	Omvang gebouwvoorraad	8
2.4	Huidige energetische kwaliteit	10
2.4.1	Bouwdelen	10
2.4.2	Installaties	12
2.5	Energetische renovaties	15
2.5.1	Isolatie bouwdelen	15
2.5.2	Nieuwe installaties	16
<b>3</b>	<b>Milieu-impact (circulaire) energierenovaties</b>	<b>18</b>
3.1	Methodisch aanpak toegesneden op de vraagstelling	18
3.1.1	Sturen op duurzame renovatie-ingreep – algemene theorie	18
3.1.2	Grip op de milieu-impact van de energietransitie-opgave	18
3.2	Materialiseren: traditionele versus circulaire aanpak	19
3.2.1	Traditionele invulling energierenovaties	19
3.2.2	Meer circulaire aanpak energierenovaties	20
<b>4</b>	<b>Milieubelasting energierenovatie NL gebouwen</b>	<b>22</b>
4.1	Aanpak berekeningen	22
4.2	Milieubelasting energierenovaties traditioneel/circulair	24
4.3	Milieubelasting energierenovaties per bouwdeel	25
4.4	Milieubelasting energierenovaties per gebruiksfunctie	27
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>30</b>
5.1	Inzicht in de materiaalgebonden impact	30
5.2	Input voor kanskaart circulaire energierenovaties	30
5.3	Verfijning van het inzicht	31
5.4	Aan de slag met circulaire energierenovaties	32
5.5	Verbreding circulaire aanpak	33
<b>6</b>	<b>Bronnen</b>	<b>35</b>

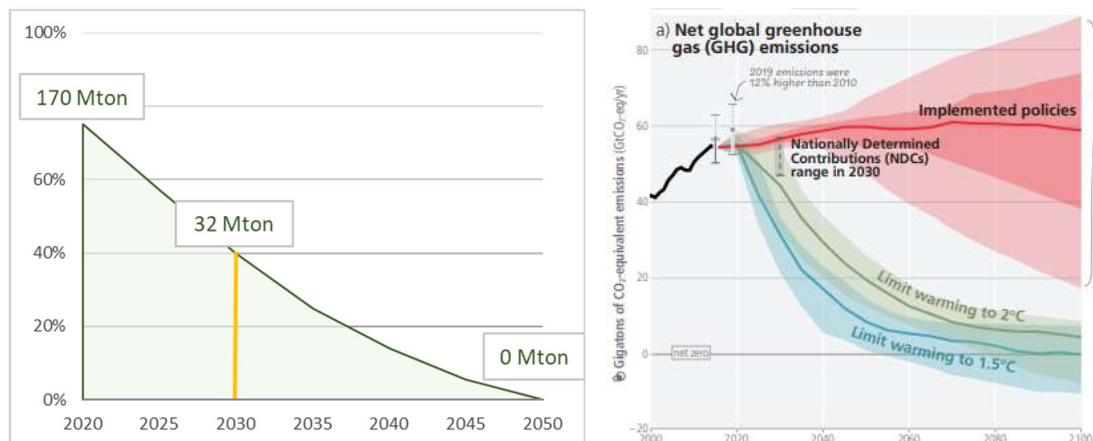
# 1 Inleiding

## 1.1 Materiaalgebonden impact van renovatie op de agenda

In de afgelopen decennia is er veel aandacht geweest voor het verduurzamen van de gebouwde omgeving. Hierbij lag de nadruk op de energetische verduurzaming: isoleren, duurzame opwekking, opslag van energie en het slim uitwisselen en benutten van duurzame energiebronnen. Mede aangestuurd vanuit Europa, zal de energetische verduurzaming van de bestaande bouwvoorraad voortvarend doorgezet worden. Een belangrijk motief hierbij is de gewenste forse reductie van broeikasgassen<sup>1</sup>.

Steeds meer dringt het besef door dat de verbetering van de energieprestatie van bestaande gebouwen ook een keerzijde heeft in de vorm van de milieu-impact die het gevolg is van de materiaalinvestering bij de renovatie-ingrepen. Bij deze ingrepen worden materialen verwijderd en worden nieuwe producten, zoals isolatie en installaties toegevoegd. De 'nationale' opgave in de vorm van de energietransitie van de bestaande voorraad maakt dat het een enorme materiaalinput in het komende decennium betreft.

Deze forse investering in een kort tijdbestek wringt onder andere met de korte termijn klimaatdoelen van de coalitie. Dit betreft niet alleen het 'einddoel' van 100% reductie in 2050 (ten opzichte van 1990), maar ook het 'tussendoel' van 60% reductie in 2030 (zie Figuur 1 links). Met deze doelstellingen wordt aangesloten bij de door het IPCC geschetste noodzakelijke scenario om de doelstelling van Parijs te behalen (zie Figuur 1 rechts).



*Figuur 1 Verbeelding gewenst scenario richting nul-emissie in 2050 (links) en de benodigde wereldwijde reductiepaden om opwarming van de aarde te beperken (bron [7]).*

### Concluderend

De noodzakelijke energetische transitie van de Nederlandse bouwvoorraad heeft een keerzijde in de vorm van een enorme in- en uitstroom van materialen, en de daarmee samenhangende milieu-impact. De periode, waarin de transitie moet plaatsvinden, valt heel ongelukkig samen met de periode, waarin een forse reductie van de uitstoot van broeikasgassen vereist is. Het zoveel mogelijk beperken van de materiaalgebonden impact van renovatie-ingrepen dient dus hoog op de agenda te worden gezet.

<sup>1</sup> Bij broeikasgassen gaat het behalve om CO<sub>2</sub> ook om andere gassen, zoals methaan. In de in Nederland gehanteerde rekenmethoden wordt klimaatverandering uitgedrukt in kg CO<sub>2</sub>-equivalenten. Hiertoe worden alle broeikasgassen vertaald naar de impact die 1 kg CO<sub>2</sub> heeft.

## 1.2 Doel van het project en projectdeel 1

In de kwartiermakers-fase is gemerkt dat energetisch gedreven renovaties in de gebouwde omgeving zelden óók op circulaire wijze worden aangepakt. Ook een analyse van de MOOI projecten bevestigt dit beeld. Dit heeft te maken met een veelvoud aan redenen, waaronder gebrek aan kennis, gebrek aan aanbod, en het ontbreken van een verplichte meetmethodiek voor dergelijke renovaties.

Om de markt van circulaire energierenovaties verder vorm te geven, is door TKI-Urban Energy een pre-concurrentieel project opgetuigd. In dit project wordt zowel aan de vraag- als aan de aanbodzijde aandacht besteed. Voor de uitvoering is een consortium samengesteld van deskundige partijen, die het fundament voor circulaire energierenovaties kan helpen opbouwen. Gestart is met het zoeken naar kansrijke sub-sectoren in de bouw, zowel naar de omvang van de verduurzamingsopgave als naar toegepaste typen van energierenovaties. Daarbij is ook bekeken in hoeverre de renovaties ook circulair aangepakt kunnen worden. De resulterende kanskaart vormt de basis voor een innovatieagenda, die met partijen aan de vraagzijde (vastgoedeigenaren en -beheerders) en aanbodzijde (de bouw- en installatiesector) is vertaald in een convenant, waarbij concrete acties op basis van hun beoogde impact zijn voorgesteld. Door afspraken te maken met de vraagzijde en aanbodzijde over de mate van circulariteit bij de energetische verduurzaming van gebouwen worden de randvoorwaarden geschapen waardoor ook innovatieprojecten (bijvoorbeeld in de MOOI-GO) circulariteit integraal meenemen in het ontwerp van nieuwe producten en diensten.

Bij start van het project waren de volgende resultaten voorzien:

1. een kanskaart voor circulaire energierenovaties waaruit blijkt:
  - welke subsector van de bouw kansrijk is om verder aan te jagen om concepten circulaire energierenovaties te ontwikkelen en te implementeren;
  - welke typen energierenovatie kansen biedt om de integrale milieu-impact te reduceren door deze circulair aan te pakken;
  - welke regionale kansen er zijn voor circulair materiaalgebruik;
2. een circulaire analyse van renovatieconcepten voor de woningbouw;
3. een haalbaarheidsonderzoek van en voorstel voor een UPV (uitgebreide producenten verantwoordelijkheid) systeem voor bouwkundige installaties;
4. een convenant waarin circulaire energierenovaties in geïdentificeerde subsectoren van de bouw worden geagendeerd.

## 1.3 Deelproject WP1

Dit rapport betreft de inhoudelijke verantwoording van de werkzaamheden die W/E adviseurs heeft uitgevoerd binnen 'Werkpakket 1 Kanskaart', het eerste werkpakket binnen het project.

Het besef dat het belangrijk is om bij de energietransitie ook aandacht te besteden aan de materiaalgebonden impact begint pas net door te dringen. Passend bij het nieuwe onderwerp bestaat er behoefte aan het verkrijgen van inzicht. Dit is dan ook het doel van werkpakket 1.

Gestart is met het kwantitatief in beeld brengen van de impact van de energietransitie en opdeling daarvan naar gebouwfuncties en gebouwelementen. Ook is een inschatting gemaakt van de winst door een meer circulaire aanpak. Vervolgens is gezocht naar kansrijke sub-sectoren in de bouw. Hierbij is gelet op de grootte van de opgave en de impact en de verwachting ten aanzien van de mogelijkheden om richting een meer circulaire aanpak te sturen. Het resultaat is een 'kanskaart', die in werkpakket 4 een concrete vertaalslag naar de praktijk heeft gekregen.

WP1 is gericht op het verkrijgen van de eerste inzichten. De nadruk is daarom op de 'grote' getallen gelegd. Binnen het project was er beperkte ruimte voor diepgravende inventarisatie en analyses. Waar mogelijk is gebruik gemaakt van bestaande data. Om een bruikbaar beeld te krijgen, zijn de volgende stappen doorlopen:

1. typeren Nederlandse energetische renovatieopgave (hoofdstuk 2);
2. vaststellen milieu-impact van die renovatieopgave(hoofdstuk 3);
3. verzamelen mogelijke circulaire scenario's (presentatie TU/e buiten dit rapport);
4. vaststellen milieu-impact van de renovatieopgave bij gebruik van de scenario's (hoofdstuk 4);
5. bepalen reductie milieu-impact door regionale aanpak (presentatie Metabolic buiten dit rapport);
6. formuleren van conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 5).

## 1.4 Afbakening milieubelasting materialen energierenovatie

In deze rapportage is de milieubelasting door materiaalgebruik (embodied carbon) bij energierenovatie van Nederlandse gebouwen gegeven, bij verschillende scenario's waarbij het type materiaal en de energiekwaliteit van de energierenovaties zijn gevarieerd.

Het doel van de berekeningen was om een indicatie te geven van het zwaartepunt van de milieubelasting door materiaalgebruik bij energierenovatie; voor welke typen gebouwen en voor welke bouwdelen en installaties is de milieubelasting door materiaalgebruik bij verschillende energierenovaties het hoogst. Daarbij ging het doelbewust niet om het bepalen van de energierenovatie met de laagste integrale milieubelasting.

De resultaten zijn indicatief en geldig bij de volgende aannames:

Berekeningen zijn gedaan met de beschikbare milieudata van het NMD van afgelopen zomer, aangevuld met nieuwe, door LBP samengestelde, maar nog niet door het NMD gepubliceerde milieudata voor installaties.

De aanname is gedaan dat alle energierenovaties 'nu' plaatsvinden. Er is niet gerekend met te verwachten verdere verduurzaming van de materiaalproductie.

De materiaalkeuzes voor 'traditionele' en circulaire energiemaatregelen zijn gemaakt op basis van beschikbaarheid van milieudata bij het NMD en ervaringen uit de praktijk

Gegevens van woningen (hoeveelheden, grootte, energiekwaliteit) zijn ontleend aan WoON2018 en met weegfactoren opgeschaald naar de Nederlandse woningvoorraad. Daarbij is onderscheid gemaakt naar woningtypen, koop/huur en bouwjaarklassen.

Gegevens van utiliteitsgebouwen (hoeveelheden, grootte, energiekwaliteit) zijn ontleend aan de energielabeldatabase en met weegfactoren opgeschaald naar de Nederlandse gebouwvoorraad. Daarbij is onderscheid gemaakt naar de verschillende gebruiksfuncties (kantoren, scholen, winkels, et cetera) en bouwjaarklassen.

Voor de berekeningen van de milieubelasting door materiaalgebruik is alleen gerekend met fase A van de MPG-berekening (productie materialen en constructie).

Vanwege het doel van de berekeningen is het effect van energiebesparing door energierenovaties niet meegenomen.

Kosten zijn in de berekeningen niet meegenomen.

## 2 De energietransitie in de Nederlandse voorraad

### 2.1 Aanpak

De energietransitie in de Nederlandse voorraad betekent een enorme opgave. Deze renovatieopgave is praktisch uitgewerkt door de combinatie van de huidige Nederlandse gebouwvoorraad en de gewenste energetische kwaliteit daarvan in de toekomst. De gewenste energetische kwaliteit kan op meerdere niveaus liggen. De renovatieopgave is het totaal aan energetische ingrepen van de huidige situatie naar één van de aangenomen energetische niveaus van die gebouwvoorraad.

Voor het bepalen van de mogelijke energierenovaties zijn de volgende stappen doorlopen:

1. Verzamelen van data (zie paragraaf 2.2)
 

De data zijn uit WoON2018 (woningen) en de energielabeldatabase (utiliteitsgebouwen) gehaald. Beide bronnen zijn voldoende representatief voor de energetisch te renoveren Nederlandse gebouwvoorraad én bevatten voldoende informatie om als bron te dienen voor het bepalen van de milieukwaliteit van de Nederlandse renovatieopgave.
2. Kwantificeren van de gebouwvoorraad (zie paragraaf 2.3)
 

De omvang van Nederlandse gebouwvoorraad is bepaald per gebruiksfunctie, met data uit WoON2018 en de energielabeldatabase.
3. Bepalen van de energetische kwaliteit (zie paragraaf 2.4)
 

De energetische kwaliteit van de Nederlandse gebouwvoorraad is bepaald op basis van de isolatiekwaliteit van bouwdelen (slecht, matig, goed, zeer goed geïsoleerd) en typering van installaties per gebruiksfunctie op basis van WoON2018 en de energielabeldatabase.
4. Bepalen van de mogelijke renovatieopgaves (zie paragraaf 2.5)
 

Op basis van een aantal scenario's met mogelijke toekomstige energetische kwaliteitsniveaus, zijn per woning en utiliteitsgebouw bepaald welke ingrepen nodig zijn. Het totaal aan ingrepen is dan de Nederlandse energierenovatie,.

### 2.2 Data WoON2018 en energielabeldatabase

Voor het bepalen van de Nederlandse energierenovatie is relatief gedetailleerde informatie nodig over bouwtypologieën, afmetingen en energetische kwaliteit.

Voor de analyse van hoeveelheden en energetische kwaliteit van utiliteitsgebouwen is gebruik gemaakt van de gegevens uit de energielabeldatabase met utiliteitsgebouwen, zoals die gebruikt is in de BZK-studie 'Inijking energielabel utiliteitsbouw' [1]. De 81.442 gebouwen in deze database zijn met weegfactoren voor aantallen en gebruiksoppervlakte opgeschaald naar de hoeveelheden voor de Nederlandse gebouwvoorraad utiliteitsgebouwen. De weegfactoren zijn bepaald op basis van gegevens uit de BAG [3].

Voor inventarisatie van de woninggegevens is gebruik gemaakt van WoON2018 [2]. WoON2018 levert gedetailleerde informatie en is bijvoorbeeld ook gebruikt voor het bepalen van de RVO Voorbeeldwoningen. De data zijn van 2018, en zijn daarom representatief voor het woningbestand van 2018, met 7,5 miljoen woningen. Meer recente informatie is niet beschikbaar. Wat geen probleem is want de gegevens zijn nodig voor het bepalen van de energetische energierenovatie en die zijn voor woningen die na 2018 zijn gerealiseerd niet relevant. Ook in WoON2018 zijn weegfactoren opgenomen voor het opschalen van de data naar de Nederlandse woningvoorraad. Daarin is ook onderscheid gemaakt naar huur/koop.

Voor de data geldt dat ze, met en zonder weegfactor, beschikbaar/te presenteren/in te zien zijn:

- per gebruiksfunctie bij utiliteitsgebouwen;  
(kantoor, bijeenkomstgebouw zonder kinderdagverblijf (kdv), kinderdagverblijf, onderwijs, zorg zonder bed, zorg met bed, winkel sport, logies, cel);
- per woningtype bij woningen;  
(vrijstaand, 2/1 kap, rijhoek, rijtussen, galerij, portiek, maisonnette, overig);
- voor huurwoningen en koopwoningen;
- per bouwjaarklasse (bouwjaarklassen uit de RVO-publicatie 'Voorbeeldwoningen 2022' (vóór 1946, 1946-1964, 1965-1974, 1975-1991, 1992-2005, 2006-2014, 2015-2018));
- per grootteklasse (m<sup>2</sup>);  
(<500, 500-1.000, 1.000-2.000, 2.000-5.000, 5.000-10.000, 10.000-20.000, >20.000);
- per type bouwdeel;  
(begane grondvloeren, dichte gevels, platte daken, hellende daken, ramen (glas + kozijn), deuren).
- per kenmerk bouwdeel;  
(oppervlakte, isolatiewaarde (Rc voor dichtedelen en U-waarde voor ramen en deuren));
- per type installatie;  
(ruimteverwarming, type afgifte verwarming, warmtapwater, koeling, ventilatie).

De data zijn gedetailleerd beschikbaar in een spreadsheet [12].

## 2.3 Omvang gebouwvoorraad

De belangrijkste data over de omvang van de Nederlandse gebouwvoorraad is gegeven op basis van woning-/gebouwaantallen, de totale gebruiksoppervlakte en de totale oppervlakte van de verschillende bouwdelen. De aantallen en gebruiksoppervlakken zijn getoetst aan BAG.

De gegevens zijn hier gepresenteerd per gebruiksfunctie, maar zijn inde spreadsheet ook beschikbaar per bouwjaarklasse en grootteklasse.

### Omvang gebouwvoorraad

Uit Tabel 1 (omvang utiliteit) en Tabel 2 (omvang woningen) volgt dat bijna 80% van de gebruiksoppervlakte bij woningen hoort. Ongeveer 70% daarvan hoort bij koopwoningen en 30% bij huurwoningen.

Bij de utiliteitsfuncties zijn het vooral kantoren, winkels, onderwijsgebouwen en bijeenkomstgebouwen.

In gebouwaantallen is het nog extremer, omdat 93% van de gebouwen een woonfunctie heeft. Ongeveer 60% is koopwoning en 40% huurwoning. De verdeling koop-/huurwoning is net wat anders dan bij de gebruiksoppervlakte, omdat de koopwoningen per woning net wat groter zijn dan de huurwoning. Het grote aantal bij koopwoningen kan complicerend werken voor circulaire energierenovatie, omdat (vrijwel) elke koopwoning een andere eigenaar heeft. Sturing van circulaire energierenovatie is hier een belangrijk aandachtspunt.

Bij de utiliteitsgebouwen is hier de volgorde ook net anders. Het aantal winkels is het grootst, gevolgd door logiesgebouwen, kantoren en bijeenkomstgebouwen.



Tabel 1 Aantallen en gebruiksoppervlakte ( $k = x1000 m^2$ ) Nederlandse utiliteitsgebouwen (BAG), in volgorde van grootste naar kleinste omvang op basis van gebruiksoppervlakte.

gebruiksfunctie	aantal	(k = x1000) m2 GBO
kantoor	108.729	65.565 k
winkel	149.381	51.459 k
onderwijs	20.136	33.243 k
bijeenkomst zonder kdvd	67.088	32.643 k
zorg zonder bed	60.826	22.022 k
logies	136.247	16.191 k
sport	9.944	10.400 k
bijeenkomst met kdvd	3.130	1.723 k
zorg met bed	4.570	1.715 k
cel	235	1.067 k
<b>TOTAAL</b>	<b>560.286</b>	<b>236.028 k</b>

Tabel 2 Aantallen en gebruiksoppervlakte ( $k = x1000 m^2$ ) Nederlandse woningen (WoON2018)

eigendom	aantal	(k = x1000) m2 GBO
koopwoning	4.470.022	597.889 k
huurwoning	3.000.997	253.426 k
<b>TOTAAL</b>	<b>7.471.018</b>	<b>851.314 k</b>

### Oppervlakte bouwdelen

De oppervlakte van de bouwdelen is relevant, omdat dit 1-op-1 samenhangt met de te isoleren oppervlakken. In Tabel 3 is het aantal m2 bouwdeel gegeven per onderscheiden type bouwdeel en per gebruiksfunctie. In Tabel 4 zijn per bouwdeel de gebruiksfunctie gerangschikt met de grootste oppervlakte bouwdeel.

Tabel 3 Oppervlakken bouwdelen ( $k = x1000 m^2$ )

gebruiksfunctie	m2 vloer	m2 dichte gevel	m2 raam	m2 plat dak	m2 hellend dak
kantoor	21.471 k	28.051 k	12.735 k	22.251 k	0 k
bijeenkomst	21.414 k	15.800 k	5.317 k	16.976 k	0 k
bijeenkomst kdvd	1.170 k	852 k	321 k	1.024 k	0 k
onderwijs	16.916 k	13.345 k	6.048 k	16.977 k	0 k
zorg zonder bed	11.175 k	10.135 k	3.614 k	9.571 k	0 k
zorg met bed	736 k	702 k	248 k	783 k	0 k
winkel	38.915 k	16.808 k	5.741 k	27.135 k	0 k
sport	8.126 k	5.405 k	1.049 k	8.206 k	0 k
logies	5.562 k	8.526 k	2.694 k	6.296 k	0 k
cel	328 k	386 k	101 k	375 k	0 k
huurwoningen	89.333 k	128.883 k	47.621 k	44.739 k	64.542 k
koopwoningen	287.291 k	364.471 k	118.577 k	98.556 k	256.656 k
<b>TOTAAL</b>	<b>502.437 k</b>	<b>593.366 k</b>	<b>204.065 k</b>	<b>252.891 k</b>	<b>321.198 k</b>

Tabel 4 *Volgorde van meest naar minst voorkomende oppervlak per bouwdeel per gebruiksfunctie.*

rang	vloer	dichte gevel	raam	plat dak	hellend dak
1	woning - koop	woning - koop	woning - koop	woning - koop	koopwoning
2	woning - huur	woning - huur	woning - huur	woning - huur	huurwoning
3	winkel	kantoor	kantoor	winkel	-
4	kantoor	winkel	onderwijs	kantoor	-
5	bijeenkomst	bijeenkomst	winkel	onderwijs	-
6	onderwijs	onderwijs	bijeenkomst	bijeenkomst	-
7	zorg	zorg	zorg	zorg	-
8	sport	logies	logies	sport	-
9	logies	sport	sport	logies	-
10	KDV	KDV	KDV	KDV	-
11	zorg met bed	zorg met bed	zorg met bed	zorg met bed	-
12	cel	cel	cel	cel	-

## 2.4 Huidige energetische kwaliteit

### 2.4.1 Bouwdelen

Voor alle woningen in WoON2018 en alle utiliteitsgebouwen in de energielabeldatabase zijn naast de vierkante meters ook de isolatiewaarden per bouwdeel bekend.

Om een goed beeld van de isolatiekwaliteit van bouwdelen te kunnen geven en om op een relatief eenvoudige manier renovaties te kunnen beschrijven, is de isolatiekwaliteit van bouwdelen ingedeeld in de kwaliteitsklassen 'slecht', 'matig' en 'goed'. Daarbij is aansluiting gezocht bij de studies 'Eindnorm 2050 bestaande utiliteitsbouw' [5] en 'Streefwaarden isolatie bestaande utiliteitsbouw' [6]. De grenswaarden voor deze categorieën staan in Tabel 5. Let wel dat de gebruikte termen relatief zijn en alleen zijn gebruikt voor het eenvoudig kunnen opdelen van de gevonden isolatiekwaliteiten.

 Tabel 5 *Kwaliteitsklassen isolatie.*

isolatie bouwdeel	'slecht'	'matig'	'goed'	'zeer goed'
Rc vloer [m <sup>2</sup> K/W]	<0,5	0,5-1,5	1,5-2,6	>2,6
Rc gevel [m <sup>2</sup> K/W]	<0,5	0,5-1,5	1,5-2,6	>2,6
Rc dak [m <sup>2</sup> K/W]	<0,5	0,5-1,5	1,5-2,6	>2,6
U raam [W/m <sup>2</sup> K]	[enkel] >3,3	[dubbel] 2,3-3,3	[HR**] 1,5-2,3	[HR***] <1,5
U deur [W/m <sup>2</sup> K]	['gewoon'] >3,3	2,3-3,3	1,5-2,3	<1,5

#### m2 slecht/matig geïsoleerd per bouwdeel per gebruiksfunctie

Door de 'slecht' en 'matig' 'geïsoleerde oppervlaktes per woning/gebouw en per bouwdeel bij elkaar op te tellen, ontstaat een beeld van de gebruiksfuncties en bouwdelen waar het meeste te isoleren valt.

Het resultaat hiervan staat in Tabel 6. In Tabel 7 is per bouwdeel de rangorde aangegeven van gebruiksfuncties met de meeste vierkante meters 'slecht' en 'matig' geïsoleerde bouwdelen naar de minste.

Hieruit volgt dat koopwoningen overal ver bovenaan staan, gevolgd door huurwoningen. Daarna zijn het vooral de gebruiksfuncties kantoor, winkel, onderwijs en bijeenkomst.

In Tabel 8 is per gebruiksfunctie en per bouwdeel aangegeven welk aandeel van de totale oppervlakte het betreffende bouwdeel 'slecht' of 'matig' geïsoleerd is. Van de totale oppervlakte dichte delen van kantoren (6.492.000 m<sup>2</sup>) is 23% 'slecht' of 'matig' geïsoleerd. Wat aangeeft dat al 77% tenminste 'goed' is geïsoleerd (volgens de aannames in Tabel 5). Ook in deze tabel is per bouwdeel een rangschikking gemaakt van gebruiksfuncties met het hoogste percentage naar het laagste percentage 'slecht'/'matig' geïsoleerde bouwdeelen. Hier staat de huurwoning overal bovenaan het lijstje, gevolgd door winkels, koopwoningen en bijeenkomst.

Tabel 6 *Oppervlakken bouwdeelen met slechte of matige kwaliteit isolatie (k = x1000 m<sup>2</sup>)*

gebruiksfunctie	vloer	dichte gevel	raam	plat dak	hellend dak
kantoor	5.444 k	6.492 k	2.616 k	5.341 k	0 k
bijeenkomst	9.253 k	7.000 k	2.086 k	6.761 k	0 k
bijeenkomst kdv	303 k	249 k	97 k	267 k	0 k
onderwijs	4.998 k	4.510 k	2.029 k	5.005 k	0 k
zorg zonder bed	2.912 k	2.866 k	1.023 k	2.536 k	0 k
zorg met bed	162 k	164 k	51 k	162 k	0 k
winkel	15.703 k	7.450 k	2.384 k	9.346 k	0 k
sport	2.468 k	1.688 k	356 k	2.412 k	0 k
logies	1.546 k	2.208 k	612 k	1.782 k	0 k
cel	17 k	22 k	13 k	16 k	0 k
huurwoningen	53.335 k	78.749 k	28.390 k	25.380 k	39.560 k
koopwoningen	114.162 k	139.583 k	45.646 k	38.531 k	99.011 k
TOTAAL	210.301 k	250.981 k	85.302 k	97.539 k	138.571 k

Tabel 7 *Volgorde van meest naar minst voorkomende slecht of matig geïsoleerde oppervlak per bouwdeel, per gebruiksfunctie.*

rang	vloer	dichte gevel	raam	plat dak	hellend dak
1	woning - koop	woning - koop	woning - koop	woning - koop	koopwoning
2	woning - huur	woning - huur	woning - huur	woning - huur	huurwoning
3	winkel	kantoor	kantoor	winkel	-
4	kantoor	winkel	onderwijs	kantoor	-
5	bijeenkomst	bijeenkomst	winkel	onderwijs	-
6	onderwijs	onderwijs	bijeenkomst	bijeenkomst	-
7	zorg	zorg	zorg	zorg	-
8	sport	logies	logies	sport	-
9	logies	sport	sport	logies	-
10	KDV	KDV	KDV	KDV	-
11	zorg met bed	zorg met bed	zorg met bed	zorg met bed	-
12	cel	cel	cel	cel	-

Tabel 8 Aandeel matig of slecht geïsoleerde bouwdelen

aandeel met slechte of matige isolatie					
	m2 vloer	m2 dichte gevel	m2 raam	m2 plat dak	m2 hellend dak
kantoor	25%	23%	21%	24%	
bijeenkomst	43%	44%	39%	40%	
KDV	26%	29%	30%	26%	
onderwijs	30%	34%	34%	29%	
zorg	26%	28%	28%	26%	
zorg met bed	22%	23%	20%	21%	
winkel	40%	44%	42%	34%	
sport	30%	31%	34%	29%	
logies	28%	26%	23%	28%	
cel	5%	6%	13%	4%	
woning - huur	60%	61%	60%	57%	61%
woning - koop	40%	38%	38%	39%	39%

woning - huur	woning - huur	woning - huur	woning - huur	woning - huur
bijeenkomst	winkel	winkel	bijeenkomst	woning - koop
winkel	bijeenkomst	bijeenkomst	woning - koop	
woning - koop	woning - koop	woning - koop	winkel	
sport	onderwijs	sport	onderwijs	
onderwijs	sport	onderwijs	sport	
logies	KDV	KDV	logies	
zorg	zorg	zorg	zorg	
KDV	logies	logies	KDV	
kantoor	zorg met bed	kantoor	kantoor	
zorg met bed	kantoor	zorg met bed	zorg met bed	
cel	cel	cel	cel	

## 2.4.2 Installaties

### Ventilatiesystemen

De ventilatiesystemen zijn opgesplitst in vier basistypen op basis van het gebruik van een ventilator voor toevoer en/of afvoer van ventilatielucht.

In woningen zijn vooral natuurlijke ventilatiesystemen en mechanische luchtafvoersystemen toegepast. Gebalanceerde ventilatiesystemen komen veel minder voor (5%) en mechanische luchttoevoersystemen vrijwel niet.

Bij utiliteitsgebouwen is er een spreiding in voorkomende ventilatiesystemen afhankelijk van de gebruiksfunctie. Bij utiliteit komen gemiddelde meer gebalanceerde ventilatiesystemen voor (17% van de gebouwen) en meer natuurlijke ventilatie (ongeveer 60%). Ook hier komen systemen met alleen mechanische luchttoevoer nauwelijks voor.

Tabel 9 Ventilatiesystemen utiliteit – aantal gebouwen per ventilatiesysteem.

gebruiksfunctie	natuurlijk	mech. afvoer	balans	overig
kantoor	56.746	21.255	29.959	769
bijeenkomst	32.892	21.609	11.530	1.057
bijeenkomst kdv	1.148	1.200	765	17
onderwijs	9.154	3.645	7.271	66
zorg zonder bed	20.226	20.346	19.912	341
zorg met bed	1.885	804	1.842	39
winkel	113.247	22.928	11.638	1.568
sport	3.900	3.008	2.786	250
logies	89.924	36.135	9.523	665
cel	5	20	205	5
huurwoningen	1.317.942	1.487.467	145.825	49.762
koopwoningen	2.460.535	1.763.779	196.617	49.091
<b>TOTAAL</b>	<b>4.107.603</b>	<b>3.382.196</b>	<b>437.873</b>	<b>103.632</b>

### Verwarmingssystemen

Vrijwel alle gebouwen worden verwarmd door individuele gasverwarming. Daarna volgt collectieve verwarming, met een aanzienlijk deel externe warmte. De elektrische warmtepomp heeft een klein aandeel. Omdat de inventarisatie van de installaties van 2018 (woningen) en 2020 (utiliteit) is, is de verwachting dat het aantal elektrische warmtepompen nu hoger is. Het aandeel lokale gasverwarming is in deze inventarisatie ongeveer even hoog, maar zal waarschijnlijk lager zijn geworden.

Tabel 10 Ruimteverwarming utiliteit – aantal gebouwen per type (4 meest voorkomende systemen)

gebruiksfunctie	ind. ketel aardgas	collectief warmte	elek WP	lokaal gas	overig
kantoor	88.908	8.031	9.093	689	2.008
bijeenkomst zonder kdv	55.750	3.675	4.993	1.056	1.614
bijeenkomst met kdv	2.623	315	171		20
onderwijs	15.961	2.178	1.755	73	169
zorg zonder bed	46.707	4.541	8.326	182	1.070
zorg met bed	3.299	238	873	64	95
winkel	114.488	8.161	19.580	1.760	5.391
sport	7.817	657	791	67	612
logies	120.969	2.209	6.247	1.122	5.701
cel	190	15	5		25
huurwoningen	2.264.330	428.106	141.628	84.953	71.390
koopwoningen	3.919.311	122.831	187.033	25.275	124.257
<b>TOTAAL</b>	<b>6.640.353</b>	<b>550.937</b>	<b>358.681</b>	<b>115.241</b>	<b>212.352</b>

### Koelsystemen

In woningen komen vrijwel geen actieve koelsystemen voor. Woningen blijven bij de koelsystemen dan ook buiten beschouwing.

De meeste utiliteitsgebouwen hebben geen actieve koeling. In welke mate actieve koeling wel of niet voorkomt zijn grofweg drie categorieën te onderscheiden (alles grofweg);

- ongeveer de helft actief gekoeld  
Bij kantoren en winkels is ongeveer de helft van de gebouwen actief gekoeld;
- behoorlijk aandeel gekoeld  
Bij zorggebouwen is grofweg 1/3 en bijeenkomstgebouwen ongeveer ¼ actief gekoeld;
- relatief weinig gebouwen actief gekoeld  
Bij de overige gebruiksfuncties zijn gebouwen relatief weinig gekoeld

Als gebouwen gekoeld worden zijn het vrijwel altijd compressiekoelmachines (>90%). Daarnaast komt vrije koeling voor (ordegrootte 7-8%) en nog een minimaal aandeel gas absorptie warmtepompen.

Tabel 11 Koeling – aantal gebouwen per type

gebruiksfunctie	geen	compressie elektrisch	vrije koeling elektrisch	overig
1. kantoor	51.837	53.234	3.568	90
2. bijeenkomst zonder kdv	46.996	18.813	1.211	68
3. bijeenkomst met kdv	2.636	405	89	
4. onderwijs	15.584	3.374	1.167	11
5. zorg zonder bed	33.477	23.162	4.149	39
6. zorg met bed	2.698	1.345	496	31
7. winkel	68.437	77.848	3.061	35
8. sport	7.863	1.898	173	9
9. logies	122.383	11.647	2.018	200
10. cel	195	30	5	5
huurwoningen	3.000.997	0	0	0
koopwoningen	4.470.022	0	0	0
<b>TOTAAL</b>	<b>7.823.125</b>	<b>191.756</b>	<b>15.936</b>	<b>487</b>

### Warmtapwatersystemen

In het totaal van alle gebouwen komt het gastoestel het meeste voor. Bij woningen is het vooral de gascombi. Bij utiliteit is het niet duidelijk of het om een gascombi of een collectief systeem gaat of over een ander gastoestel. Ook is er bij woningen een aanzienlijk deel collectief en daarvan ongeveer halfom externe warmte. Bij utiliteitsgebouwen staan er vooral elektroboilers.

Tabel 12 Warmtapwater utiliteit – aantal gebouwen per type (4 meest voorkomende systemen)

gebruiksfunctie	gascombi	elektro-boiler	gas	warmte	collectief	overig
kantoor		70.953	37.773			3
bijeenkomst zonder kdv		26.870	40.218			
bijzondere individuele gasvoorziening bijeenkomst met kdv		1.917	1.213			
onderwijs		14.590	5.546			
zorg zonder bed		26.862	33.805			159
zorg met bed		1.031	3.526			13
winkel		102.210	47.171			
sport		1.978	7.960			5
logies		9.014	126.984			249
cel		15	220			
huurwoning	2.256.835	177.269	100.601	141.628	235.955	88.708
koopwoning	3.933.011	96.078	30.560	187.033	61.885	161.455
TOTAAL	6.189.846	528.787	435.578	328.661	297.840	250.592

## 2.5 Energetische renovaties

Een energetische renovatie van een woning/gebouw is binnen dit onderzoek gedefinieerd als het geheel van isolatiemaatregelen per bouwdeel en vervangingen van gebouwgebonden installaties. Bouwdelen zijn alleen (na)geïsoleerd als de na te streven isolatiekwaliteit beter is dan de huidige isolatiekwaliteit. Installaties worden alleen vervangen als de huidige installaties energetisch minder zijn dan de aanname voor installaties van de gewenste energetische kwaliteit. De energetische renovaties die voor de Nederlandse gebouwvoorraad in beeld gebracht worden, zijn niet alleen afhankelijk van de huidige energiekwaliteit van de gebouwen, maar ook van het energetische niveau ná renovatie.

### 2.5.1 Isolatie bouwdelen

#### Energetisch niveau bouwdelen ná renovatie

Binnen dit project zijn twee energetische niveaus voor de bouwdelen ná renovatie bekeken: het standaardniveau en het nieuwbouwniveau. Het standaard niveau is gedefinieerd als het niveau waarbij in de gebouwen een ruimteverwarmingssysteem op midden-temperatuur met een warmtepomp geïnstalleerd kan worden **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** De hierbij horende isolatiewaarden zijn een ondergrens aan de isolatiewaarden. Het nieuwbouwniveau is een stap beter.

Tabel 13 De aangenomen isolatiewaarden bij de energieniveaus 'standaard', 'nieuwbouw' en 'plus'.

isolatieniveau	standaard	nieuwbouw	plus
Rc vloer $m^2K/W$	3,5	3.5-3,7	5,2
Rc dichte gevel $m^2K/W$	1,7	4.5-4,7	8,0
Rc plat/hellend dak $m^2K/W$	3,5	6.0-6,3	8,0
type raam	HR++	HR++	drievoudig
deur	geïsoleerd	geïsoleerd	geïsoleerd

### Energetische renovatie bouwdelen

De energetische renovatie voor de bouwdelen van een gebouw in de geïnventariseerde gebouwvoorraad is het totaal van de aanpak per bouwdeel. Per bouwdeel is gekeken wat de huidige energetische kwaliteit is en wat nodig is om dat bouwdeel naar het 'standaard'-niveau of naar het nieuwbouwniveau te krijgen. Zie het voorbeeld in de onderstaande tabel.

Tabel 14 Voorbeeld van renovaties van de bouwdelen naar niveau 'standaard' of 'nieuwbouw'.

bouwdeel	huidig	> 'standaard'	> 'nieuwbouw'
vloer	slecht	slecht > Rc 3,5	slecht > Rc 3,7
dichte gevel	goed	n.v.t. (al geïsoleerd)	goed -> Rc 4,7
plat dak	matig	matig > Rc 3,5	matig > Rc 6,3
hellend dak	matig	matig > Rc 3,5	matig > Rc 6,3
raam	enkel	enkel > HR++	enkel > HR++
deur	niet geïsoleerd	niet geïsoleerd > wel geïsoleerd	niet geïsoleerd > wel geïsoleerd

Bovenstaand principe is voor elk gebouw in de geïnventariseerde set utiliteitsgebouwen uit de energielabeldatabase en woningen uit WoON2018 toegepast.

## 2.5.2 Nieuwe installaties

### Energetische renovatie installaties

Binnen dit project is de keuze voor installaties ná renovatie bepaald op basis van de huidige installatie en op basis van beschikbaarheid van milieudata in de NMD. Omdat in de NMD maar heel beperkt milieudata over installaties beschikbaar zijn, hebben we voor de nieuwe installaties gebruik gemaakt van nieuwe milieudata die afgelopen zomer door LBP zijn aangeleverd. LBP is in WP3 actief.

De energetische renovaties worden bepaald door het verwijderen van de huidige installaties en het aanbrengen van de nieuwe installaties.

In Tabel 15 is aangegeven om welke installaties het gaat.



Tabel 15 De volgende installatietypen zijn meegenomen bij de energierenovaties.

type installaties	woning	utiliteit	maatregel
verwarmingstoestel	x	x	warmtepomp handhaven warmtenet handhaven overig > elektrische warmtepomp (traditioneel: R134a, circulair: propaan)
verwarming afgifte	x	x	radiatoren > vloerverwarming
ventilatie	x	x	balansventilatie (evt. LBK) handhaven overige ventilatiesystemen: > mechanische afzuiging (standaard) > balansventilatie + LBK voor utiliteit (overig)
koeling	-	x	niets doen (als bij verwarming een warmtepomp wordt toegepast kan deze ook koelen)
warmtapwater	x	-	niets doen, tenzij: bij nieuwe warmtepomp voor ruimteverwarming: > verwijderen oude installatie; > niets toevoegen (combi elektr. warmtepomp bij verwarming)

## 3 Milieu-impact (circulaire) energierenovaties

### 3.1 Methodisch aanpak toegesneden op de vraagstelling

#### 3.1.1 Sturen op duurzame renovatie-ingreep – algemene theorie

De centrale methodiek voor het bepalen van de milieu-impact van bouwwerken (B&U en GWW) is de Bepalingsmethode Milieuprestatie bouwwerken [7]. Deze methode kent een brede scope (meerdere milieu-impactcategorieën, en de gehele gebouwcyclus) om zo ongewenste afwentelingen te voorkomen.

De methode was in eerste instantie gericht op nieuwbouw (MPG-eis is verankerd in het Bouwbesluit). Voor de bestaande bouw is de methode uitgebreid naar de methode MPG Verbouw en Transformatie [7]. Deze methode kan beslissingsondersteunend worden ingezet bij het strategisch voorraadbeleid, door voor de specifieke context van het gebouw de milieu-impact van opties zoals consolideren, lichte/zware ingreep en sloop + nieuwbouw in beeld te brengen. Bij deze toepassing gaat het om een 'eerlijke' vergelijking van opties, waardoor het van belang is dat de gehele gebouwcyclus wordt beschouwd. Dit is dus inclusief de consequenties van de ingreep later tijdens de restlevensduur. Relevant zijn bijvoorbeeld de vervangingen tijdens de restlevensduur en het toekomstige hergebruik van de bij de ingreep ingebrachte producten.

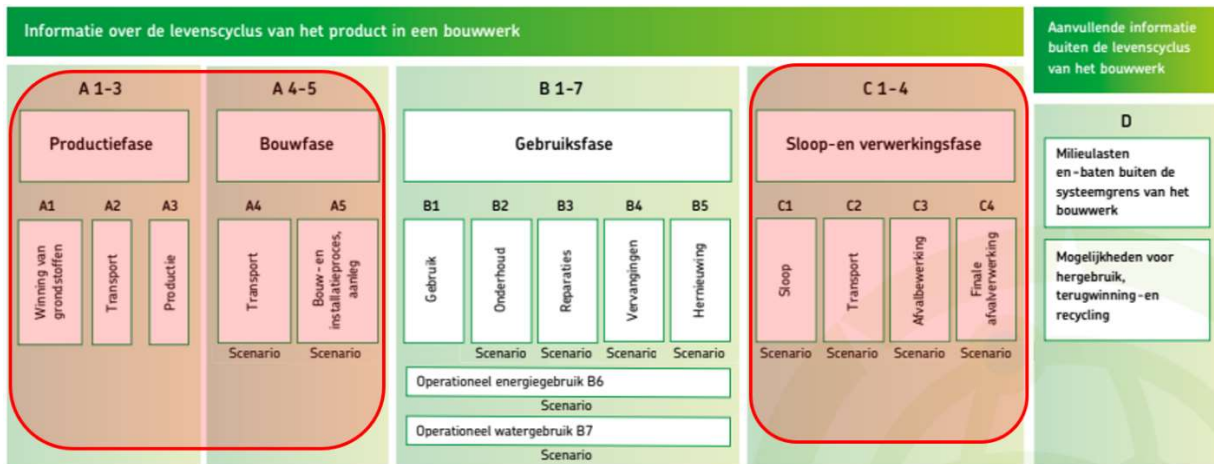
#### 3.1.2 Grip op de milieu-impact van de energietransitie-opgave

Bij dit project is er behoefte aan inzicht in de materiaalgerelateerde milieu-impact, die door de energietransitie te verwachten is. Het gaat hierbij om de impact op het niveau van de Nederlandse gebouwvoorraad en de impact in het komend decennium (zie onder andere de klimaatdoelen voor 2030). Dit is dus een andere vraagstelling dan de afweging tussen de beheeropties in de specifieke context van een gebouw. Belangrijk is dat het over de impact op korte termijn gaat. Omdat onderhoud en vervangingen in de eerste jaren na de ingreep nauwelijks te verwachten zijn, gaat het vooral om de impact tijdens het ingreepmoment zelf.

De impact tijdens de ingreep ontstaat bij het verwijderen van producten die uit de bestaande gebouwen en het toevoegen van nieuwe producten. Bij de gebouwelementen, die bij de ingreep behouden blijven (bij de MPG Verbouw en Transformatie aangeduid met te handhaven producten), gebeurt er bij de ingreep zelf niets. De reguliere vervangingen tijdens de en de uiteindelijk sloop, die daarna volgen zijn vallen buiten de scope bij deze vraagstelling.

Bij de verwijderde producten gaat het om de sloop (module C1 uit EN15804, zie figuur 3), de afvoer (module C2) en verwerking van de gesloopte producten (modules C3 en C4 ). Bij de toegevoegde producten gaat het om de productie (module A1-3) het transport naar de bouwplaats (module A4) en het aanbrengen in het gebouw (module A5).

**De scope binnen dit project is beperkt tot de materiaalgebonden milieu-impact van de modules C1, C2, C3 en C4 bij de te verwijderen producten en modules A1-3, A4 en A5 van de toe te voegen producten.**



Figuur 2 Overzicht productcyclus (fasen en modules EN15804)

## 3.2 Materialiseren: traditionele versus circulaire aanpak

In dit project is een overzicht gemaakt van de mogelijk renovatie-ingrepen (zie hoofdstuk 2). Voorbeelden zijn het bouwdeel vloer van slecht geïsoleerd naar Rc 3,5 en het bouwdeel plat dak van matig geïsoleerd naar Rc 6,3. Om de materiaalgebonden milieu-impact van deze renovatie-ingrepen te kunnen bepalen zijn deze ingreep vertaald naar de te verwijderen en de toe te voegen producten. Bij deze materialisatie zijn zowel een traditionele als een circulaire ingreepvariant uitgewerkt.

In de volgende paragrafen is beschreven op welke manier de berekeningen zijn uitgevoerd. Het gaat dan met name om de motivatie om maar een deel van de MPG-berekening te gebruiken en om een manier om circulaire principes die (nog) geen plaats hebben in de MPG-berekening en de NMD-data, toch mee te kunnen nemen in de berekening van de milieubelasting van de energierenovaties.

### 3.2.1 Traditionele invulling energierenovaties

Gekozen is voor een modulaire aanpak om de milieu-impact en CO<sub>2</sub>eq-emissies van de energetische ingrepen te bepalen. Het voordeel van deze aanpak is dat niet voor elke combinatie van gebouw en ingreep opnieuw een volledige berekening nodig is. Deze aanpak is mogelijk omdat, zoals in paragraaf 2.2 valt te lezen, de huidige energetische kwaliteit van de bouwdeelen opgedeeld is in kwaliteitsklassen; 'slecht', 'matig' en 'goed'. Daarnaast is de beoogde kwaliteit na renovatie per bouwdeel ook gedefinieerd in twee niveaus; het 'standaardniveau' en het 'nieuwbouwniveau'. Per bouwdeel zijn modules gedefinieerd aan de hand van de kwaliteitsklasse voor renovatie en de beoogde kwaliteit na renovatie. Voor al de modules zijn de milieu-impact en CO<sub>2</sub>eq-emissies bepaald. Bijvoorbeeld de milieu-impact van een vierkante meter spouwisolatie of kleine warmtepomp. Door deze modules te bundelen en te vermenigvuldigen met het aantal vierkante meter of stuks in het gebouw aanwezig kan de milieu-impact van gebouw & ingreep bepaald worden. Waarbij het goed is om in het achterhoofd te houden dat we binnen deze doorrekening enkel kijken naar de milieu-impact en CO<sub>2</sub>eq-emissies van de energetische ingreep zelf. Gebouw behoudende maatregelen, welke vaak ook onderdeel uitmaken van een renovatie, worden niet meegenomen in deze doorrekening.

Zoals uit de bovenstaande paragraaf is op te maken is voor de doorrekening een 'bibliotheek' aan modules aangemaakt, die onderverdeeld kunnen worden naar de sub-modules; begane grond vloer, dak plat, dak hellend, gevel dicht, gevel open en installaties. Om de modules uitstroom van de materialisering te moduleren is rekening gehouden met

de bouwjaarklasse van het gebouw, een dak uit 1930 heeft in de regel een andere opbouw als een dak van 1970. Om de instroom van de 'standaard' aanpak te moduleren is ter inspiratie de materialisering beschreven in de kostenkengetallen van Arcadis gebruikt [13]. Deze aanpak kan als representatief worden beschouwd voor het energetisch renoveren van de Nederlandse gebouw voorraad. Voor het bepalen van de milieu-impact en CO<sub>2</sub>eq-emissies van de modules is gebruik gemaakt van de informatie ontsloten via de NMD-database. Het had de voorkeur om gebruik te maken van niet producent specifieke informatie, categorie 2 en/of 3 productkaarten, indien deze niet beschikbaar waren is gebruik gemaakt van een categorie 1 productkaart.

### 3.2.2 Meer circulaire aanpak energierenovaties

Vanuit de gedachten dat een meer circulaire aanpak (hopelijk) resulteert in o.a. een lagere milieubelasting zijn voor de verschillende modules een circulaire aanpak vormgegeven. Waarbij gesteld kan worden dat door de gekozen aanpak niet zo zeer naar circulariteit wordt gekeken, maar vooral naar een lagere milieu-impact. Niet alle strategieën van circulair bouwen komen tot uiting in de MPG-methodiek, zoals voorwaarde voor een lange cyclus en voorwaarde voor toekomstige cycli. Dit wordt binnen deze opgave niet als hinderlijk gezien omdat de focus licht op de impact op korte termijn, ingreep moment. Dit maakt dat de genoemde strategieën niet tot uiting komen in de gekozen aanpak. De andere strategieën [14], gebruik het hernieuwbaar en gebruik het beschikbare, hebben wel een plek in de MPG-methodiek en komen zodoende wel voldoende onderbouwd tot uiting in de gekozen methodiek. Per gebouw component is onderzocht welke circulaire aanpak het meest kansrijk is en welke goed aansluit bij de trends zichtbaar in de markt. Voor de bouwkundige gebouw componenten waren de meer circulaire aanpakken vooral gericht op hergebruikte-, recyclede- en biobased materialen en materialen met een lage milieu-impact. Bij de installatiecomponenten waren de circulaire varianten vooral gericht op het verlagen van de milieu-impact

Voor het bepalen van de circulaire varianten is uitgegaan van varianten welke binnen een overzichtelijke tijd realistisch zijn om uit te voeren, marktrijp of op korte termijn op de markt. De gekozen circulaire varianten hebben een theoretische insteek. Theoretisch is elke circulaire variant op gebouwniveau mogelijk, echter is het zeer twijfelachtig of de variant ook uitgevoerd kan worden over de gehele gebouwvoorraad van Nederland. Een voorbeeld hiervan is hergebruikte buitendeuren, deze zijn maar beperkt beschikbaar.

Bij het moduleren van de milieu-impact en CO<sub>2</sub>eq-emissies voor de circulaire varianten is een methode gebruikt welke in lijn ligt met het bepalen van de milieu-impact en CO<sub>2</sub>eq-emissies van de 'standaard' varianten. Waar mogelijk is gebruikt gemaakt van beschikbare productkaarten uit de NMD-database. Omdat er nog maar een beperkt aantal circulaire materialen beschikbaar zijn in de NMD-database is ook voor een aantal producten de milieu-impact berekend met een alternatieve methode, waarbij de informatie uit de NMD-database als basis is gebruikt. Indien data van een meer circulair product niet in de NMD-database beschikbaar was, is data van een vergelijkbaar product omgebouwd met % effecten circulariteit. Op basis van de gehanteerde circulaire strategie is een percentage genomen van een module uit de MPG-methodiek:

- Benut het beschikbare: percentage van module A1-3 of onvoorzien hergebruik factor;
- Gebruikt het hernieuwbare: percentage van module A1-3.

Daarnaast is er in de berekeningen vanuit gegaan dat bij de circulaire varianten ook aandacht was voor een circulair bouwproces; bouw-hubs, transport optimalisatie, elektrisch materieel, elektrisch transport. Doormiddel van een percentage van fase A4-5 is getracht om een circulair proces te belonen. Dit had een beperkt effect op het totaal. Door de huidige wijze van berekenen is veel te winnen door de keuze voor een materiaal met een lagere milieu impact.

Tabel 16 *Traditionele en circulaire opties bij renovatie. De 'traditionele' opties zijn overgenomen uit de kostenkengetallen van RVO/Arcadis [13]. De circulaire opties zijn (in)direct beschikbare circulaire opties in de NMD [15].*

bouwdeel	materialisering traditioneel	materialisering circulair
<b>isolatie</b>		
vloer	EPS, PUR, minerale wol	gerecyclede EPS, geëxpandeerde klei, schapenwol
dichte gevel	EPS, minerale wol	gerecyclede glaswol, cellulose
plat dak	EPS, PIR	gerecyclede EPS, houtvezelplaat, vlas
hellend dak	PUR, PIR renovatieplaat	vlas, houtvezelplaat, hergebruikte steenwol
beglazing	HR++ (glasvervanging), tripleglas (glas- én kozijnvervanging)	hergebruikt HR++ (glasvervanging), tripleglas (glas- en kozijnvervanging)
deur	geïsoleerde deur	hergebruikte geïsoleerde deur
<b>installatie</b>		
verwarming	split-unit warmtepomp R 134a (installaties op warmte gehandhaafd)	monoblock propaan warmtepomp (installaties op warmte gehandhaafd)
ventilatie	mechanische luchtafvoer, balansventilatie, LBK	idem
koeling	geen milieudata utiliteit (schaling)	idem
warmtapwater	alleen woning en alleen 'verwijderen' (toevoegen zit als combi in verwarming)	idem

### Scenario's materialiseren energierenovaties

Tabel 17 *Uitsnede van het werkblad binnen de berekening waar per scenario en per bouwdeel een energetisch niveau met bijbehorende materialisering kan worden gekozen.*

keuze scenario	MAATREGEL	MMI	CO2 Dikte isolatie	invoer verschillende scenario's		
				standaard niveau	standaard niveau circulair	
plus niveau circulair	per bouwdeel	per eenheid	per eenheid	mm	1	2
vloer   slecht -> 5,20   isolatie van schapenwol (*)	5,200	0,637	8,165	vloer   slecht -> 3,50   EPS	vloer   slecht -> 3,50   gerecyclede EPS isolatieplaat (*)	
vloer   matig -> 5,20   isolatie van schapenwol (*)	5,200	0,247	3,178	vloer   matig -> 3,50   EPS	vloer   matig -> 3,50   gerecyclede EPS isolatieplaat (*)	
vloer   goed -> 5,20   isolatie van schapenwol (*)	5,200	0,176	2,269	vloer   goed -> 3,50   EPS	vloer   goed -> 3,50   gerecyclede EPS isolatieplaat (*)	
gevel   slecht -> 8,00   cellulose (*)	8,000	3,836	27,610	gevel   slecht -> 1,40   minerale wol	gevel   slecht -> 1,70   gerecyclede glaswol (*)	
gevel   matig -> 8,00   cellulose (*)	8,000	3,636	26,465	gevel   matig -> 1,70   EPS parels	gevel   matig -> 1,70   gerecyclede glaswol (*)	
gevel   goed -> 8,00   cellulose (*)	8,000	3,609	26,948	gevel   goed -> nvt   naar standaard: geen maatregel	gevel   goed -> nvt   naar standaard: geen maatregel	
plat dak   slecht -> 8,00   vlas isolatie (*) - iso toevoegen	8,000	1,917	19,458	plat dak   slecht -> 3,50   EPS - iso toevoegen	plat dak   slecht -> 3,50   gerecyclede EPS (*) - iso toevoegen	
plat dak   matig -> 8,00   vlas isolatie (*) - iso vervangen	8,000	2,015	21,498	plat dak   matig -> 3,50   EPS - iso toevoegen	plat dak   matig -> 3,50   gerecyclede EPS (*) - iso toevoegen	
plat dak   goed -> 8,00   vlas isolatie (*) - iso vervangen	8,000	2,071	22,378	plat dak   goed -> 3,50   EPS - iso toevoegen	plat dak   goed -> 3,50   gerecyclede EPS (*) - iso toevoegen	
hellend dak   slecht -> 8,00   hergebruikte steenwol (*)	8,000	3,531	28,060	hellend dak   slecht -> 3,50   PUR	hellend dak   slecht -> 3,50   vlas isolatie (*)	
hellend dak   matig -> 8,00   hergebruikte steenwol (*)	8,000	3,594	29,374	hellend dak   matig -> 3,50   PUR schuim	hellend dak   matig -> 3,50   vlas isolatie (*)	
hellend dak   goed -> 8,00   hergebruikte steenwol (*)	8,000	3,657	30,688	hellend dak   goed -> 3,50   PUR	hellend dak   goed -> 3,50   vlas isolatie (*)	
beglazing   slecht -> tripleglas   hergebruikt tripleglas en kozijn (enkel)	tripleglas	10,122	71,400	beglazing   slecht -> HR++ glas   HR++ glas	beglazing   slecht -> HR++ glas   hergebruikt HR++ glas (enkel binnenblad) (*)	
beglazing   matig -> tripleglas   gerecyclede tripleglas en kozijn (enkel)	tripleglas	10,198	71,553	beglazing   matig -> HR++ glas   HR++ glas	beglazing   matig -> HR++ glas   hergebruikt HR++ glas (enkel binnenblad) (*)	
beglazing   goed -> tripleglas   gerecyclede tripleglas en kozijn (enkel b	tripleglas	10,025	70,986	beglazing   goed -> HR++ glas   HR++ glas	beglazing   goed -> HR++ glas   hergebruikt HR++ glas (enkel binnenblad) (*)	
deur   slecht -> isodeur   hergebruikte deur (*)	isodeur	1,167	6,672	deur   slecht -> isodeur   isodeur	deur   slecht -> isodeur   hergebruikte deur (*)	
deur   matig -> isodeur   hergebruikte deur (*)	isodeur	1,167	6,672	deur   matig -> isodeur   isodeur	deur   matig -> isodeur   hergebruikte deur (*)	
zeer goed 33%				matig 68%	matig 68%	

## 4 Milieubelasting energierenovatie NL gebouwen

### 4.1 Aanpak berekeningen

In dit hoofdstuk is een indicatie gegeven van de milieubelasting van zes verschillende scenario's energierenovaties van de Nederlandse bouwvoorraad.

De milieubelasting is uitgedrukt in de Milieukosten Indicator - MKI (€) en het Global Warming Potential - GWP (kg CO<sub>2</sub>eq) van de ingreep zelf op het moment van de renovatie. Dat wil zeggen dat milieueffecten door onderhoud en vervanging later niet worden meegenomen. Beide parameters zijn sterk aan elkaar gerelateerd, omdat de CO<sub>2</sub>eq-emissie een belangrijk aandeel heeft in de MKI. De resultaten van de berekeningen van MKI en GWP zijn daarom steeds bij elkaar gezet.

In de vorige hoofdstukken is aangegeven op welke manier de invoerdata voor de berekeningen zijn samengesteld. Dit houdt in dat er per gebouw in de dataset en per scenario (6) een rekenresultaat beschikbaar is. Het aantal gebouwen in de dataset betreft 81.442 utiliteitsgebouwen en 4.506 woningen, alles met een weegfactor voor het omzetten naar een Nederlands bouwbestand. Omdat zicht te krijgen op de totale impact over de voorraad en op de 'grote vissen', zijn de resultaten op de volgende manieren gepresenteerd:

- de totale MKI en GWP voor de verschillende scenario's voor energierenovatie van de hele Nederlandse bouwvoorraad (zie par. 4.2);
- de totale MKI en GWP, gepresenteerd per bouwdeel (isolatie, installatie) (zie par. 0);
- de totale MKI en GWP, gepresenteerd per gebruiksfunctie (zie par. 4.4).

#### Aannames berekening

De resultaten zijn alleen geldig binnen de gedane aannames. De belangrijkste aandachtspunten zijn daarom onderstaan bij elkaar gezet:

- alle ingrepen van de energierenovaties worden in één keer uitgevoerd en niet uitgespreid over de komende 30 jaar bijvoorbeeld;
- het betreft alléén energierenovaties en geen onderhoudsingrepen of niet energiegerelateerde vervangingen bijvoorbeeld;
- de energiebesparing door en de investeringskosten van de energierenovaties worden niet in de beschouwing meegenomen, het gaat puur over het materiaalgebonden milieueffect van de ingrepen;
- in de bron databestanden is geen informatie beschikbaar over de materialisering van de huidige bouwvoorraad. Omdat binnen dit project geen ruimte was voor verdere inventarisatie van die materialisering, zijn daarvoor aannames gedaan:
- milieudata van bouwdeelen en huidige installaties is de NMD gebruikt;
- voor milieudata van installaties in de renovatiepakketten zijn data gebruikt die nieuwe via LBP (WP3) afgelopen zomer heeft samengesteld;
- er zijn steeds drie energetische pakketten doorgerekend waarmee naar standaard-niveau, nieuwbouw-niveau en een 'plus'-niveau wordt gerenoveerd;
- de energetische pakketten zijn op gematerialiseerd met gangbare, traditionele maatregelen en met meer circulaire maatregelen. Let wel dat beschikbaarheid van data in NMD essentieel was, waardoor de keuze relatief beperkt was;
- de energetische pakketten zijn toegepast op alle gebouwen van de bouwvoorraad;
- voor installaties ontbraken de CO<sub>2</sub>eq ontbreken; deze zijn afgeleid van de MKI;
- de resultaten zijn per gebruiksfunctie, per grootteklasse, per bouwjaarklasse en bij woningen per categorie huur/koop te bekijken;
- PV- cellen zijn niet meegenomen, omdat deze niet strikt gebouwgebonden zijn.

**Voorbeelden resultaten berekeningen.**

Ter illustratie van de resultaten en op welke manier die in Excel beschikbaar zijn een tabel en een figuur toegevoegd, waarin brondata (gebouwgroottes, bouwjaarklassen, gebruiksfuncties, weegfactoren) en de totale MKI bij elkaar staan (Tabel 18) of waarin de totale GWP per gebruiksfunctie en per bouwdeel grafisch is weergegeven (Figuur 3).

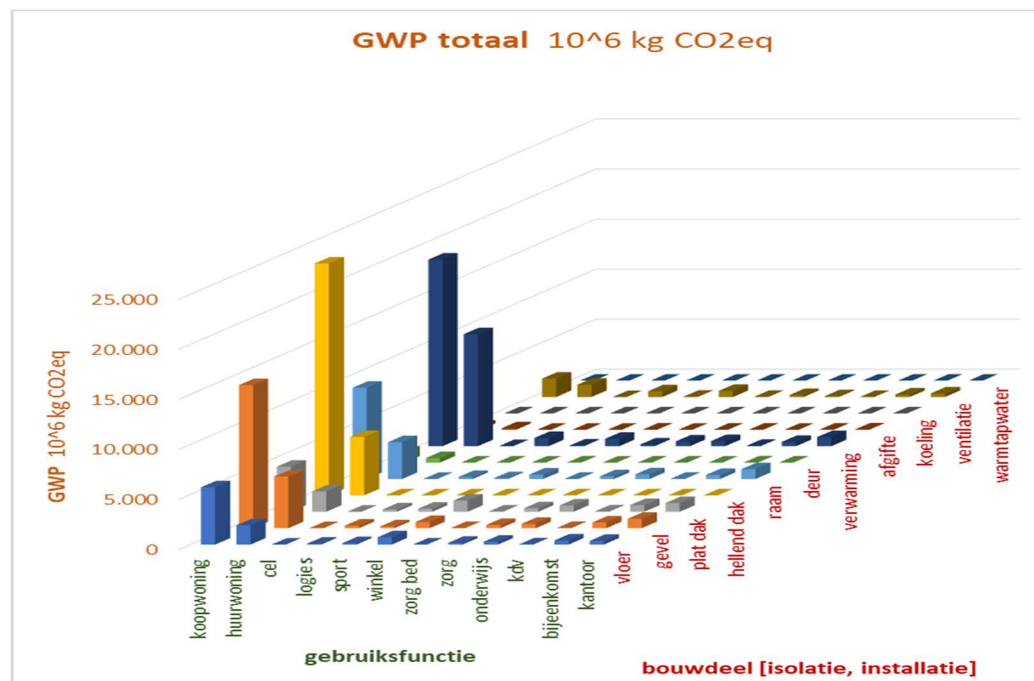
Door de beschikbaarheid van rekenresultaten per gebouw met een weegfactor kunnen indicaties gegeven worden van milieubelasting per voorraadkenmerk als gebruiksfunctie, en type bouwdeel. Zie verderop in dit hoofdstuk.

*Tabel 18 Voorbeeld van een overzichtstabel met aantallen, gebruiksoppervlakte en MKI per gebruiksfunctie, per woningtype en per bouwdeel.*

MKI gewogen per gebruiksfunctie

scenario standaard niveau

Compacte naar: Woningtype n	Weegfactor	Som van Gebruiksoppervlakte gewogen	vloer		gevel		plat dak		hellend dak		raam		deur		verwarming		afgifte		ventilatie		warmtapwater		Som van TOTAAL MKI
			Som van vloer MKI	Som van gevel MKI	Som van plat dak MKI	Som van hellend dak MKI	Som van raam MKI	Som van deur MKI	Som van verwarming toestel MKI	Som van verwarming afgifte MKI	Som van koeling MKI	Som van ventilatie MKI	Som van warm MKI										
<b>koopwoning</b>																							
vrijstaand	980.377	177.846 k	27.173 k	488.230 k	58.827 k	366.432 k	370.726 k	9.370 k	360.595 k	52.918 k	0 k	57.676 k	-1.010 k	1.790.936 k									
2 onder 1 kap	778.741	106.722 k	13.877 k	262.457 k	28.940 k	166.475 k	207.796 k	6.059 k	279.050 k	36.365 k	0 k	45.813 k	-796 k	1.046.036 k									
rij tussen	1.389.244	162.507 k	19.427 k	218.072 k	45.475 k	212.282 k	309.779 k	9.050 k	349.579 k	56.390 k	0 k	78.435 k	-1.338 k	1.398.945 k									
rij hoek	689.504	86.253 k	11.185 k	227.847 k	28.620 k	119.378 k	174.552 k	5.036 k	224.011 k	30.006 k	0 k	40.564 k	-645 k	860.451 k									
portiek	234.413	18.436 k	2.244 k	30.692 k	6.814 k	456 k	40.287 k	1.468 k	72.906 k	7.145 k	0 k	13.791 k	-202 k	175.581 k									
galerij	148.957	12.476 k	250 k	16.339 k	7.396 k	685 k	26.072 k	794 k	45.406 k	5.102 k	0 k	8.763 k	-180 k	110.628 k									
maisonnette	159.855	18.660 k	1.192 k	31.522 k	7.721 k	10.799 k	33.937 k	1.271 k	53.562 k	6.510 k	0 k	9.404 k	-172 k	155.745 k									
overig	144.930	14.989 k	427 k	20.959 k	6.654 k	1.258 k	29.700 k	814 k	47.270 k	5.011 k	0 k	8.526 k	-136 k	120.485 k									
<b>huurwoning</b>																							
vrijstaand	59.833	9.140 k	1.552 k	33.441 k	3.124 k	16.235 k	17.691 k	580 k	24.029 k	3.882 k	0 k	3.520 k	-61 k	103.993 k									
2 onder 1 kap	104.493	10.575 k	1.769 k	30.052 k	4.270 k	16.841 k	20.132 k	637 k	35.288 k	3.739 k	0 k	6.147 k	-99 k	118.756 k									
rij tussen	650.674	66.275 k	8.640 k	88.924 k	16.203 k	94.660 k	116.277 k	3.511 k	208.708 k	25.936 k	0 k	38.279 k	-631 k	600.507 k									
rij hoek	302.278	39.764 k	5.546 k	115.000 k	9.485 k	66.812 k	74.418 k	2.102 k	135.615 k	15.599 k	0 k	22.372 k	-395 k	447.951 k									
portiek	743.198	47.796 k	6.184 k	89.753 k	18.754 k	1.622 k	96.869 k	4.345 k	244.776 k	18.672 k	0 k	43.722 k	-759 k	523.937 k									
galerij	533.044	39.249 k	1.162 k	43.815 k	16.436 k	582 k	84.862 k	2.527 k	167.944 k	14.983 k	0 k	31.559 k	-522 k	363.149 k									
maisonnette	242.764	21.919 k	868 k	41.191 k	8.531 k	22.225 k	38.353 k	1.464 k	83.367 k	8.767 k	0 k	14.282 k	-258 k	218.790 k									
overig	286.713	18.706 k	427 k	22.827 k	9.041 k	1.840 k	33.602 k	841 k	79.070 k	7.190 k	0 k	16.867 k	-217 k	171.488 k									
<b>kantoor</b>																							
-	108.729	65.565 k	4.759 k	85.785 k	37.116 k	0 k	128.072 k	354 k	54.573 k	24.780 k	0 k	39.208 k	0 k	374.648 k									
<b>winkel</b>																							
-	149.381	51.459 k	9.722 k	56.193 k	47.548 k	0 k	58.059 k	691 k	52.805 k	19.265 k	0 k	63.940 k	0 k	308.223 k									
<b>bijeenkomst</b>																							
-	67.088	32.643 k	5.551 k	51.909 k	28.464 k	0 k	53.617 k	615 k	28.655 k	12.564 k	0 k	26.089 k	0 k	207.464 k									
<b>logies</b>																							
-	136.247	16.191 k	1.193 k	24.202 k	10.149 k	0 k	27.141 k	265 k	57.636 k	6.031 k	0 k	62.418 k	0 k	189.035 k									
<b>onderwijs</b>																							
-	20.136	33.243 k	3.733 k	39.686 k	26.798 k	0 k	60.928 k	171 k	23.727 k	12.702 k	0 k	17.670 k	0 k	185.416 k									
<b>zorg</b>																							
-	60.826	22.022 k	2.347 k	29.824 k	15.251 k	0 k	36.341 k	268 k	28.603 k	8.217 k	0 k	23.600 k	0 k	144.450 k									
<b>sport</b>																							
-	9.944	10.400 k	1.889 k	16.833 k	13.249 k	0 k	10.527 k	119 k	4.233 k	3.920 k	0 k	3.378 k	0 k	54.147 k									
<b>zorg bed</b>																							
-	4.570	1.715 k	133 k	1.847 k	1.201 k	0 k	2.510 k	13 k	7.490 k	588 k	0 k	4.601 k	0 k	18.382 k									
<b>kdv</b>																							
-	3.130	1.723 k	256 k	2.642 k	1.757 k	0 k	3.240 k	20 k	1.963 k	640 k	0 k	1.802 k	0 k	12.320 k									
<b>cel</b>																							
-	235	1.067 k	49 k	1.113 k	602 k	0 k	1.021 k	1 k	546 k	452 k	0 k	89 k	0 k	3.873 k									
<b>Eindtotaal</b>	<b>8.031.304</b>	<b>1.087.342 k</b>	<b>131.555 k</b>	<b>2.071.556 k</b>	<b>458.424 k</b>	<b>1.098.361 k</b>	<b>2.056.547 k</b>	<b>52.390 k</b>	<b>2.771.180 k</b>	<b>390.431 k</b>	<b>0 k</b>	<b>682.315 k</b>	<b>-7.423 k</b>	<b>9.705.336 k</b>									



*Figuur 3 GWP per bouwdeel/installatie/gebruiksfunctie voor traditionele energierenovatie naar een plusniveau.*

## 4.2 Milieubelasting energierenovaties traditioneel/circulair

In de onderstaande tabellen zijn de berekende MKI (Tabel 19) en het berekende GWP (Tabel 20) gegeven voor de zes scenario's die we voor de totale Nederlandse gebouwvoorraad hebben gemaakt.

Tabel 19 MKI traditioneel en meer circulair per niveau energierenovatie.

niveau renovatie	materialisering	MKI x10 <sup>6</sup>	MKI per m <sup>2</sup> GBO	MKI per m <sup>2</sup> BVO	reductie circulair
standaard	traditioneel	7.800	7	6	
	meer circulair	5.700	5	4	-27%
nieuwbouw	traditioneel	11.600	11	9	
	meer circulair	7.300	7	5	-37%
plus	traditioneel	14.000	13	10	
	meer circulair	9.800	9	7	-30%

Tabel 20 GWP energierenovatie Nederlandse gebouwvoorraad traditioneel/circulair per niveau energierenovatie.

niveau renovatie	materialisering	GWP x10 <sup>6</sup>	GWP per m <sup>2</sup> GBO	GWP per m <sup>2</sup> BVO	reductie circulair
standaard	traditioneel	73.800	70	55	
	meer circulair	53.500	50	40	-28%
nieuwbouw	traditioneel	109.300	100	80	
	meer circulair	64.500	60	45	-41%
plus	traditioneel	129.700	120	95	
	meer circulair	80.000	75	60	-38%

### Samenvatting resultaten

De MKI van de totale energierenovatie op de 'traditionele' manier is ordegrrootte € 7.800-14.000 afhankelijk van de energetische kwaliteit. Dat is ordegrrootte € 6-10 per m<sup>2</sup> BVO.

Bij de doorgerekende circulaire aanpak daalt de MKI naar € 4-7 per m<sup>2</sup> BVO.

De GWP van de totale energierenovatie op de 'traditionele' manier is ordegrrootte 73.800-129.700 mln. kg CO<sub>2</sub>eq, afhankelijk van de energetische kwaliteit. Per m<sup>2</sup> BVO is dat ordegrrootte 55-95 kg CO<sub>2</sub>eq.

Bij de doorgerekende circulaire aanpak daalt het GWP naar 40-60 kg CO<sub>2</sub>eq per m<sup>2</sup> BVO.

De reductie door de aangenomen circulaire aanpak is ordegrrootte 27-37% voor de MKI en ordegrrootte 28-41% voor het GWP.

De milieubelasting neemt flink toe met de energetische kwaliteit van de energierenovatie, maar het effect daarvan kan flink worden beperkt door een meer circulaire aanpak. Bovendien wordt de CO<sub>2</sub>eq-emissie door materialen in de loop van de tijd gecompenseerd door de energiebesparing. Hoe lang die tijd, hangt af van de ingreep.

In WP2 van dit project is hieraan aandacht besteed.

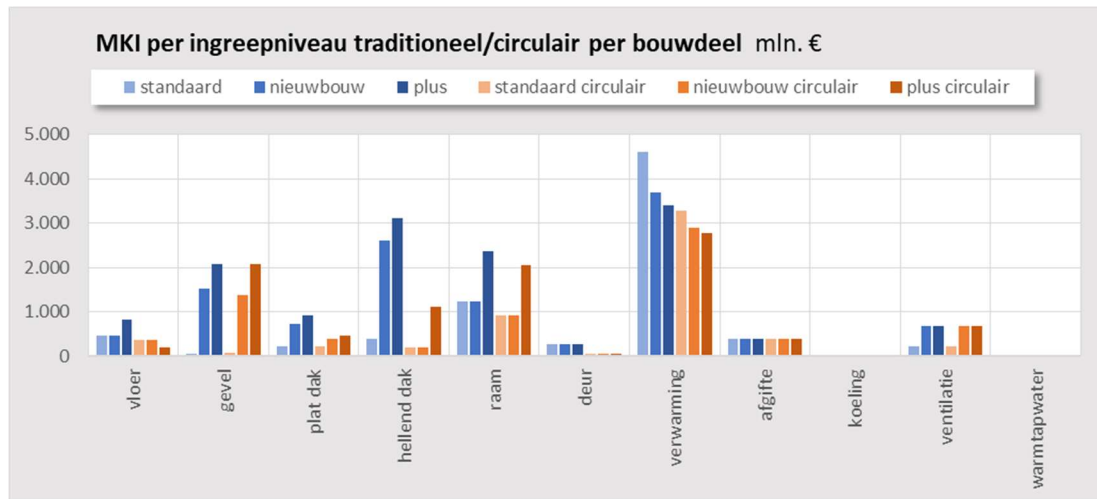


### 4.3 Milieubelasting energierenovaties per bouwdeel

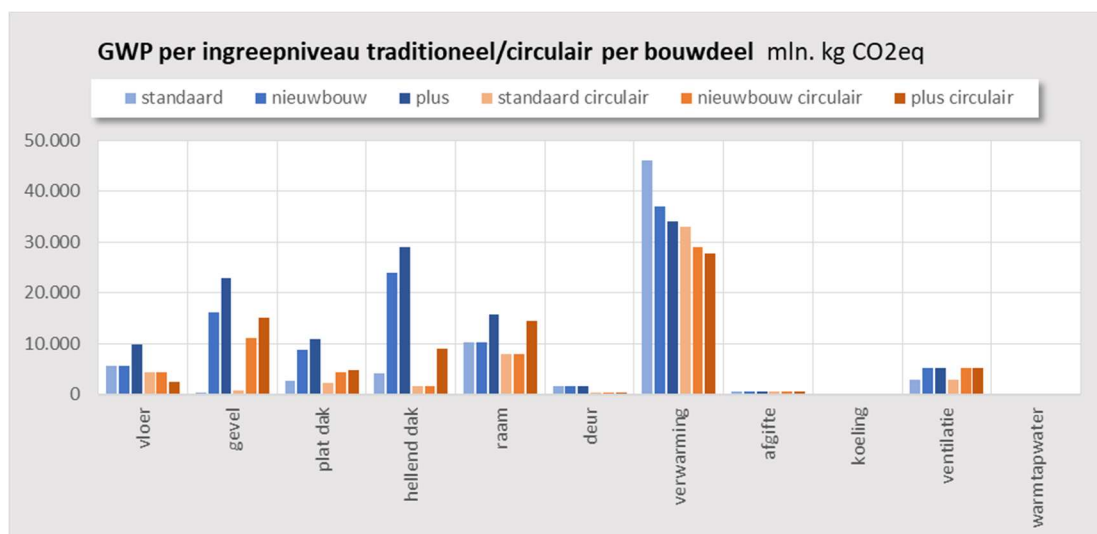
Om te kunnen bepalen welke bouwdeelen de grootste bijdrage hebben aan de milieubelasting van de energierenovaties, zijn de berekende MKI en het berekende GWP voor de zes scenario's samengevoegd per bouwdeel.

In Figuur 4 is de totale berekende MKI per scenario en per bouwdeel weergegeven en in Figuur 5 is dat gedaan voor het GWP. In de figuren is te zien wat het effect van de energiescenario's is op de milieubelasting per bouwdeel.

Wat hierin ook te zien is, is dat de milieubelasting bij een energierenovatie met een hogere energiekwiteit voor bouwdeelen hoger wordt (meer isolatie) en voor het verwarmingssysteem lager. Het laatste is het effect dat bij een betere energetische kwaliteit van de gebouwschil, minder vermogen nodig is voor verwarming. En dat verminderde vermogen uit zich in een lagere milieubelasting. Bij de energierenovatie van het verwarmingssysteem is, met uitzondering van de gebouwen zónder warmtelevering, uitgegaan van renovatie naar een elektrische warmtepomp, en de milieudata van de elektrische warmtepomp zijn geschaald met het benodigde vermogen.



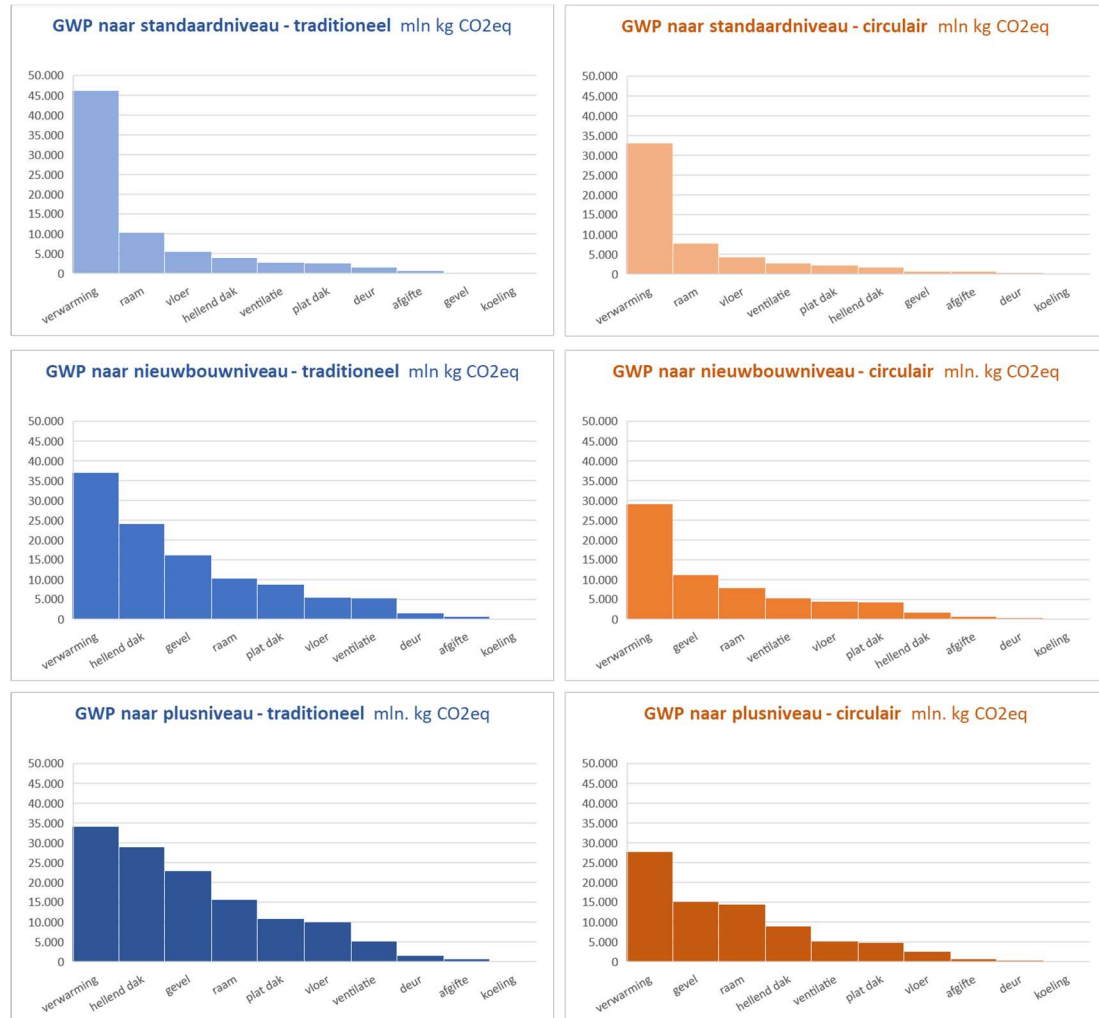
Figuur 4 MKI per bouwdeel/installatie voor traditionele (blauw) en circulaire (oranje) energierenovatie naar de niveaus standaard, nieuwbouw en plus.



Figuur 5 GWP per bouwdeel/installatie voor traditionele (blauw) en circulaire (oranje) energierenovatie naar de niveaus standaard, nieuwbouw en plus.

Figuur 6 presenteert de resultaten van het berekende GWP net wat anders dan Figuur 5. In deze figuur zijn de bouwdelen per scenario geordend van grootste naar kleinste effect op het GWP. Daardoor is in één oogopslag te zien welk bouwdeel per scenario de grootste milieubelasting heeft en wat het effect van de verschillende energierenovaties en het onderscheid traditioneel/circulair op de milieubelasting is.

De schaal is in de zes figuren gelijk.



Figuur 6 *Ordering van hoogste naar laagste totale GWP per bouwdeel voor traditionele (blauw) en circulaire (oranje) energierenovatie naar niveaus standaard, nieuwbouw en plus.*

### Samenvatting resultaten

De verwarmingsinstallatie heeft in alle scenario's de hoogste milieubelasting. De milieubelasting van de verwarmingsinstallatie neemt in absolute én relatieve zin af bij een energierenovatie met een hogere energetische kwaliteit van de gebouwschil.

Naarmate de energiekwaliteit van de renovatie hoger wordt, neemt de milieubelasting van de gebouwschil in absolute en relatieve zin toe. Beglazing neemt altijd een relatief groot aandeel en bij hogere energiekwaliteit neemt het aandeel van de dichte gevel en daken toe. Dit aandeel wordt met de gekozen circulaire variant minder.

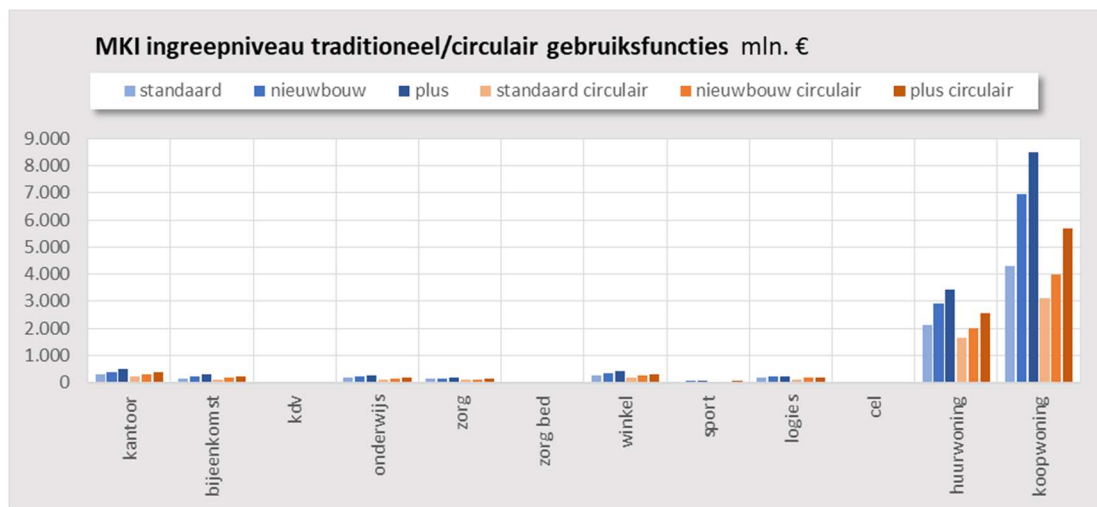
De berekende milieubelasting geldt alleen met de gebruikte maatregelen en milieudata. Andere keuzes voor de circulaire maatregelen kunnen een ander effect hebben op de milieubelasting van energierenovaties.

## 4.4 Milieubelasting energierenovaties per gebruiksfunctie

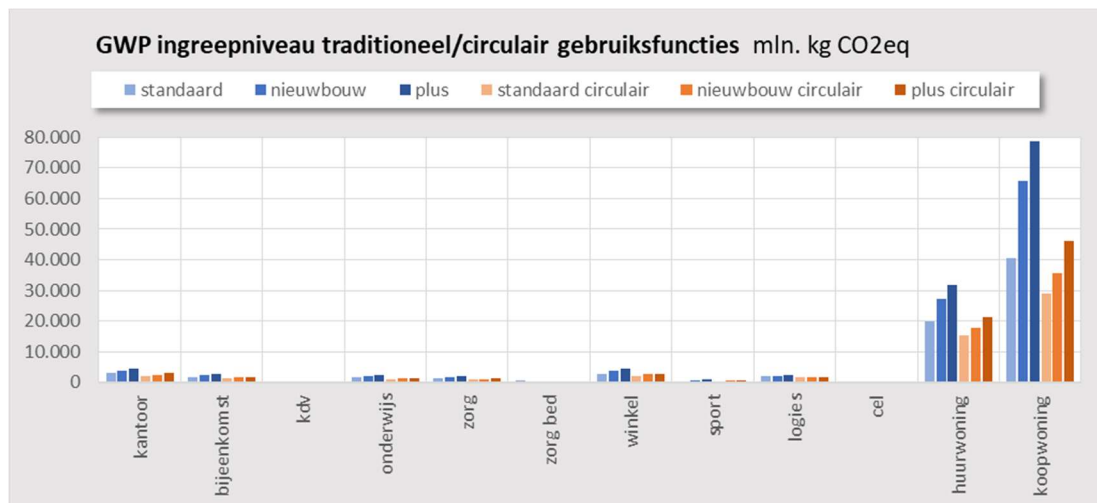
Om te kunnen bepalen welke gebruiksfuncties de grootste milieubelasting hebben, zijn de berekende MKI en het berekende GWP voor de zes scenario's samengevoegd per gebruiksfunctie.

In Figuur 7 Figuur 4 is de totale berekende MKI per scenario en per gebruiksfunctie weergegeven en in Figuur 8 is dat gedaan voor het GWP. In de figuren is te zien wat het effect van de energiescenario's is op de milieubelasting per gebruiksfunctie.

Uit de figuren volgt dat verreweg de grootste milieubelasting bij woningen zit, met vooral een bijdrage van de koopwoningen.



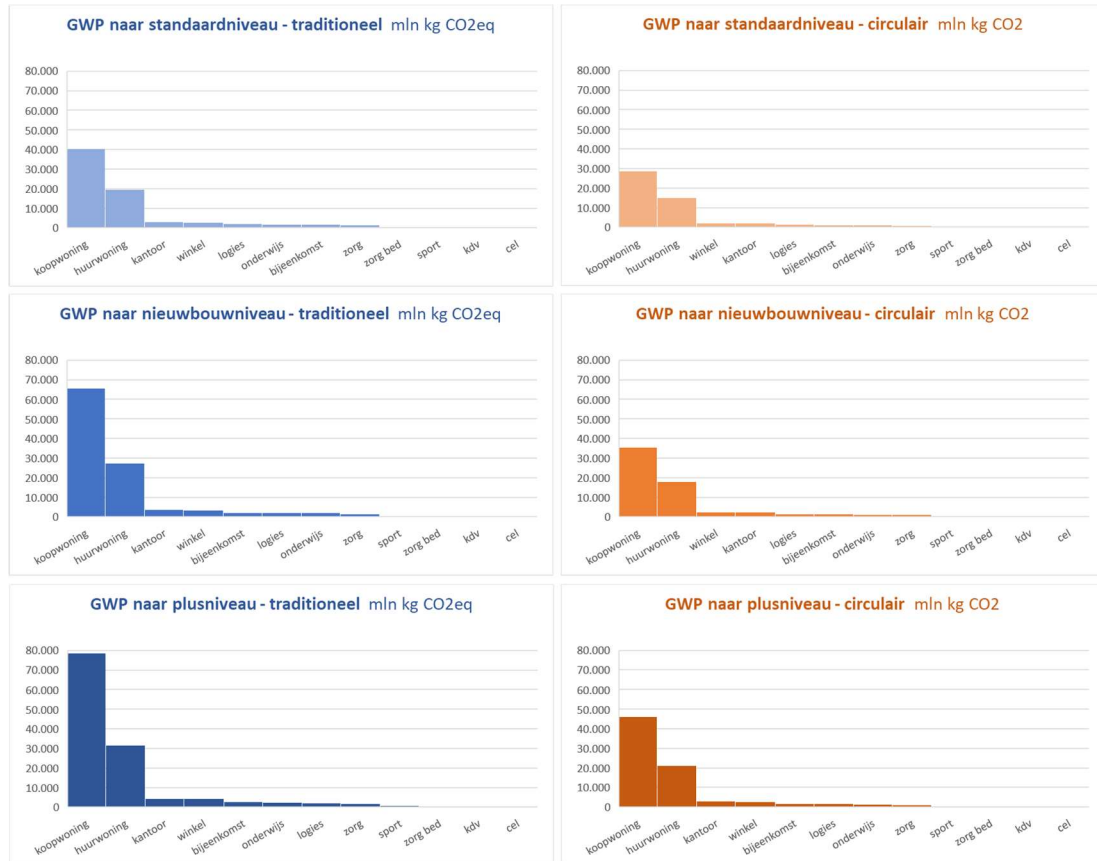
*Figuur 7 MKI per gebruiksfunctie voor traditionele (blauw) en circulaire (oranje) energierenovatie naar de niveaus standaard, nieuwbouw en plus.*



*Figuur 8 GWP per gebruiksfunctie voor traditionele (blauw) en circulaire (oranje) energierenovatie naar de niveaus standaard, nieuwbouw en plus.*

Tabel 10 presenteert de resultaten van het berekende GWP net wat anders dan Tabel 9. In deze figuur zijn de gebruiksfuncties per scenario geordend van grootste naar kleinste effect op het GWP. Daardoor is in één oogopslag te zien welke gebruiksfunctie per scenario de grootste milieubelasting heeft en wat het effect van de verschillende energierenovaties en het onderscheid traditioneel/circulair op de milieubelasting is.

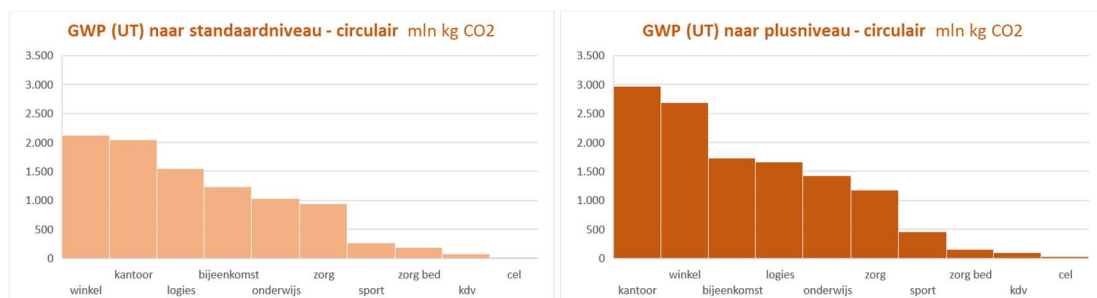
De schaal is in de zes figuren gelijk.



**Figuur 9** *Ordering van hoogste naar laagste totale GWP per gebruiksfunctie voor traditionele (blauw) en circulaire (oranje) energierenovatie naar niveaus standaard, nieuwbouw en plus.*

Omdat de bijdrage van utiliteitsgebouwen in de totale milieubelasting van de energierenovaties relatief klein is, en daarom in de voorgaande figuren nauwelijks onderscheid is tussen de verschillende gebruiksfuncties, is in Figuur 10 een aantal van de voorgaande figuren weergegeven voor alleen utiliteitsgebouwen.

De onderlinge verschillen zijn nauwelijks anders in de verschillende scenario's. Daarom zijn alleen de 'circulaire' energierenovaties naar de niveaus standaard en plus gemaakt.



**Figuur 10** *Ordering van hoogste naar laagste totale GWP per utilitaire gebruiksfunctie voor circulaire energierenovatie naar niveaus standaard (licht) en plus (donker).*

### Samenvatting resultaten milieubelasting per gebruiksfunctie

De koopwoningen hebben in alle scenario's verreweg de grootste milieubelasting. Dit is vooral veroorzaakt door de omvang van de voorraad koopwoningen. Groot nadeel hiervan is dat eigenaren van koopwoningen niet verenigd zijn en daarom moeilijk bereikbaar zijn over energierenovaties en over een circulaire aanpak daarvan.

Daarna volgen de huurwoningen, met een significante totale milieubelasting in de orde van 40% van de totale milieubelasting van koopwoningen.

De totale bijdrage van de utiliteitsgebouwen is relatief klein. Binnen de utiliteitsfuncties hebben de kantoren en de winkels de grootste bijdrage. Daarna volgen bijeenkomst, logies, onderwijs en zorg.

Het blijft belangrijk om in het achterhoofd te houden dat deze berekeningen alleen zijn gemaakt om de milieubelasting door materialen binnen energierenovaties in beeld te brengen. Het effect op het energiegebruik is hierin niet meegenomen.

Bij winkels bijvoorbeeld, heeft het energiegebruik voor ruimteverwarming een relatief klein aandeel in het totale gebouwgebonden energiegebruik.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Inzicht in de materiaalgebonden impact

Een belangrijk doel van dit project is de agendering van de materiaalgebonden milieu-impact van renovatie-ingrepen. Daartoe is de materiaalgebonden impact van de totale energietransitie-opgave in beeld gebracht. Om enig gevoel te krijgen voor de verbeterpotentie is de winst bij een meer circulaire aanpak ingeschat.

#### Samenvatting resultaten

De MKI van de totale energierenovatie op de 'traditionele' manier is ordegrrootte € 7.800-14.000 afhankelijk van de energetische kwaliteit. Dat is ordegrrootte € 6-10 per m<sup>2</sup> BVO.

Bij de doorgerekende circulaire aanpak daalt de MKI naar € 4-7 per m<sup>2</sup> BVO.

De GWP van de totale energierenovatie op de 'traditionele' manier is ordegrrootte 73.800-129.700 mln. kg CO<sub>2</sub>eq, afhankelijk van de energetische kwaliteit. Per m<sup>2</sup> BVO is dat ordegrrootte 55-95 kg CO<sub>2</sub>eq.

Bij de doorgerekende circulaire aanpak daalt het GWP naar 40-60 kg CO<sub>2</sub>eq per m<sup>2</sup> BVO.

De reductie door de aangenomen circulaire aanpak is ordegrrootte 27-37% voor de MKI en ordegrrootte 28-41% voor het GWP.

De milieubelasting neemt flink toe met de energetische kwaliteit van de energierenovatie. Met een meer circulaire aanpak kan die toename weer in relevante beperkt worden. Ook wordt de CO<sub>2</sub>eq-emissie door materialen in de loop van de tijd gecompenseerd door de energiebesparing. Hoe lang die tijd, hangt af van de ingreep. In WP2 van dit project is hieraan aandacht besteed.

### 5.2 Input voor kansenkaart circulaire energierenovaties

Een tweede doel was het verkrijgen van inzicht in de 'grote vissen', om zo een prioritering aan te kunnen brengen bij het aan de slag gaan met de doelgroepen uit de praktijk. Hiertoe zijn de segmenten in de bestaande voorraad geïdentificeerd, waarbij verwacht wordt dat er op korte termijn een relevante reductie van de impact gerealiseerd kan worden (kansenkaart). Hieronder de belangrijkste conclusies ten aanzien van respectievelijk de gebruiksfuncties en de gebouwdelen.

#### 'Grote vissen' bij de gebruiksfuncties

De koopwoningen hebben in alle scenario's verreweg de grootste milieubelasting. Daarna volgen de huurwoningen.

De totale bijdrage van de utiliteitsgebouwen is relatief klein. Binnen de utiliteitsfuncties hebben de kantoren en de winkels de grootste bijdrage. Daarna volgen bijeenkomst, logies, onderwijs en zorg.

Het blijft belangrijk om in het achterhoofd te houden dat deze berekeningen alleen zijn gemaakt om de milieubelasting door materialen binnen energierenovaties in beeld te brengen. Het effect op het energiegebruik is hierin niet meegenomen.

Bij winkels bijvoorbeeld, heeft het energiegebruik voor ruimteverwarming een relatief klein aandeel in het totale gebouwgebonden energiegebruik.

### 'Grote vissen' bij de bouwdelen

De verwarmingsinstallatie heeft in alle scenario's de hoogste milieubelasting. De milieubelasting van de verwarmingsinstallatie neemt in absolute én relatieve zin af bij een energierenovatie met een hogere energetische kwaliteit van de gebouwschil.

Naarmate de energiekwaliteit van de renovatie hoger wordt, neemt de milieubelasting van de gebouwschil in absolute en relatieve zin toe. Beglazing neemt altijd een relatief groot aandeel en bij hogere energiekwaliteit neemt het aandeel van de dichte gevel en daken toe. Dit aandeel wordt met de gekozen circulaire variant minder.

De berekende milieubelasting geldt alleen met de gebruikte maatregelen en milieudata. Andere keuzes voor de circulaire maatregelen kunnen een ander effect hebben op de milieubelasting van energierenovaties.

## 5.3 Verfijning van het inzicht

Het doel van Werkpakket 1 was het verkrijgen van een kwantitatief inzicht in de relevantie van de materiaalgebonden impact van de energietransitie-opgave. Op basis van beschikbare data is de energietransitie-opgave gemodelleerd en is daarbij naast de standaard aanpak een circulaire aanpak opgenomen. Voor een nauwkeuriger inzicht is een verdere verbetering van het model denkbaar.

Daarnaast zou het model ook ingezet en doorontwikkeld kunnen worden gericht op specifieke toepassingen. Zo zou het ingezet kunnen worden om op nationale schaal de 'vinger aan de pols' te houden. Dit door naast de (eventueel verfijndere) nulmeting regelmatig te monitoren. Een optie daarbij is de koppeling aan andere modellen, zoals het Hestia-model. Andere toepassingen zijn de inzet voor specifieke segmenten van de voorraad, zoals corporatiewoningen of de bouwvoorraad van het RVB.

### Overzicht acties

In de studie zijn aannames gedaan voor de huidige en toekomstige materialisering van installaties en bouwdelen op basis van energiedata van WoON2018 en de energielabel-database met data van 2019. Daarbij is geen onderscheid gemaakt naar maatregelen specifiek voor bepaalde gebouwtypen of bouwjaarklassen. Acties:

- zoek uit of een beter passende materialisering effect heeft op de uitkomsten;
- zoek uit hoeveel maatregelen er in de afgelopen jaren, sinds 2018, 2019 al zijn uitgevoerd (de 'huidige' situatie' bepaalt de maatregelen van de energierenovatie);
- benut de data die beschikbaar komen als RVO de energielabeldatabase in de nabije toekomst gaat inzetten voor energiestudies van utiliteitsgebouwen én woningen.

De materiaalstroomanalyse geeft een beeld van de hoeveelheid materiaal, die vrij komt, en nodig is, bij energierenovaties. Deze maakt gebruik van de bovengenoemde data. Actie:

- gebruik aangescherpte materialisering uit bovenstaande aandachtspunt voor het aanscherpen van de materiaalstroomanalyse.

De relatie tussen de hogere materiaalgebonden impact door de ingreep en de lagere impact door energiebesparing, is in deze studie niet meegenomen. Actie:

- voeg de milieuwinst door energiebesparing toe; een integrale aanpak zet de milieubelasting van energierenovaties in een breder perspectief.

In de studie is aangenomen dat de energierenovaties 'nu' plaatsvinden. Dit om te kunnen bekijken waar de grootste milieubelasting zit bij benodigde energierenovatie. Acties:

- voeg een tijd-as toe om een beter beeld te krijgen van energierenovaties in de tijd;
- bekijk deze tijd-as is ook in combinatie met verlaging van de milieubelasting door energiebesparing.

## 5.4 Aan de slag met circulaire energierenovaties

In werkpakket 4 is de kansenkaart verder uitgewerkt en vertaald naar handelingsperspectieven van de benoemde doelgroepen. Een belangrijk perspectief hierbij is dat bij de planvorming voor de ingreep bij een specifiek gebouw/complex ook op een lage materiaalgebonden impact gestuurd gaat worden. Omdat het hier een vergelijking van planvarianten betreft, heeft de integrale benadering de voorkeur. Hiermee wordt het risico op ongewenste sub-optimalisaties voorkomen. De integrale benadering betekent:

- de levensloopbenadering, waarbij niet alleen naar de impact van de ingreep, maar ook naar de consequenties daarna wordt gekeken, zoals de impact door onderhoud en vervangingen tijdens de restlevensduur en de impact door sloop en verwerking (inclusief hergebruik en recycling);
- de sturing op alle milieuaspecten, aanvullend op de focus op de klimaatimpact, om zo een ongewenste afschuiving naar bijvoorbeeld ozonaantasting of vermessing te voorkomen;
- de optimalisatie op de combinatie van materiaal- en energiegebonden impact (het gewijzigde energiegebruik tijdens de restlevensduur is ook te beschouwen als een consequentie van de ingreep).

Zoals in hoofdstuk 3 is aangegeven, is de MPG het centrale instrument waarmee op duurzaamheid/circulariteit van bouwwerken wordt gestuurd. Hiervoor is het MPG/MKI-stelsel opgetuigd met onder andere een bepalingsmethode, database (NMD) en procedures voor de kwaliteitsborging. Met de inzet van de MPG wordt een deel van de integraliteit geborgd,:

- de levensloopbenadering vormt de methodische basis
- er worden 19 milieuaspecten (4 betreffende de klimaatproblematiek) in beeld gebracht (en gezamenlijk gewaardeerd in de vorm van de MKI)
- recent is MEPG-methode gepubliceerd, die een gecombineerd inzicht geeft in de materiaal- en energiegebonden impact van gebouwen; deze methode (vervolg op de methoden DPG en MPG+) wordt mogelijk als informatief hoofdstuk in de volgende versie van de bepalingsmethode opgenomen; door implementatie in ieder geval het door Stichting NMD gevalideerde rekeninstrument GPR Materiaal wordt de MEPG-methode ook bruikbaar voor toepassing in de praktijk.

Het huidige stelsel is nog gericht op nieuwbouw (o.a. vanwege de eis in het Bouwbesluit), maar wordt inmiddels geschikt gemaakt voor de bestaande bouw.

- MPG Verbouw & Transformatie  
Met de MPG V&T is het mogelijk om de diverse planvarianten bij de (energetische) renovatie van een gebouw/complex op de materiaalgebonden impact te vergelijken en te optimaliseren. Deze methode is ontwikkeld als addendum op de MPG nieuwbouw. Vanuit de bepalingsmethode is een informatieve verwijzing naar het addendum opgenomen. Verwacht wordt dat de methode in 2024 een update krijgt. De methode MPG V&T is inmiddels praktisch te gebruiken via het gevalideerde rekeninstrument GPR Materiaal (versie 4.4, bestaand), waarin de methode is geïmplementeerd.
- MKI Onderhoud  
Bij toepassing van de methode MPG V&T in de praktijk is gebleken dat de methode goed bruikbaar was bij renovaties, waarbij het hele gebouw grondig wordt aangepakt. Maar ook dat de methode bij minder ingrijpende renovaties en onderhoudsingenrepen te 'zwaar' was (het gehele gebouw moet worden ingevoerd) en te weinig onderscheidend. In opdracht van de branche van onderhoudsbedrijven, OnderhoudNL, heeft W/E adviseurs daarom de methode MKI-Onderhoud ontwikkeld, waarbij op één bouwelement wordt ingezoomd, en er beter aangesloten wordt bij het handelingsperspectief van de uitvoerders van onderhoud (keuzen op hoger detailniveau, zoals de transportafstand of het aantal lagen verf). Stichting NMD en



OnderhoudNL zijn een traject gestart dat er toe moet leiden dat onderhoud als toepassingsgebied aan het MPG/MKI-stelsel toegevoegd wordt. Bij OnderhoudNL aangesloten leden experimenteren met de inzet van MKI-Onderhoud (in de vorm van een spreadsheet rekentool voor Gevelonderhoud) bij de verduurzaming van onderhoudsplannen.

De methoden en instrumenten zijn dus inmiddels beschikbaar. Het is nu belangrijk dat de doelgroepen deze bij hun planvorming gaan inzetten. De agendering is een van de acties, die in werkpakket 4 samen met de doelgroepen is opgepakt. Omdat het inzet van dit instrumentarium bij de (duurzame) planvorming nieuw is, is het wenselijk dat de betrokken partijen bij dit proces gefaciliteerd / gestimuleerd worden.

### Acties

Het is wenselijk dat de Stichting NMD de methoden MPG V&T, MKI-Onderhoud en MEPG op korte termijn doorontwikkeld tot methoden met een formele status (landelijke afspraken).

Stichting NMD zou de bovenstaande methoden een volwaardige plek in het MPG/MKI-stelsel moeten geven, met onder andere geschikte documentatie en voldoende circulaire en renovatieproducten in de NMD.

Huidige en/of nieuwe private softwareleveranciers moeten het gebruik van de methoden faciliteren.

Het is wenselijk dat partijen als RVO de duurzame planvorming stimuleren/faciliteren door het ontwikkelen van inzicht-gevende instrumenten, zoals voorbeeld/variantboeken en overzichten van circulaire producten en processen.

Via subsidies of fiscale regelingen, zoals MIA/VAMIL, kunnen circulaire renovatieplannen gestimuleerd worden.

## 5.5 Verbreding circulaire aanpak

Bij het vaststellen van de milieu-impact zijn de energetische verbeteringen als een gegeven beschouwd (wel 3 scenario's). Ook is steeds een standaard aanpak verondersteld. In de studie is een set 'traditionele' en circulaire maatregelen meegenomen die zijn gekozen op basis van expert judgement en beschikbaarheid van milieudata in NMD. Het aantal traditionele (vooral installaties) en circulaire maatregelen is in de praktijk veel groter en zal ook groter worden. Belangrijk is dat deze ook in de NMD, en daarmee de rekentools, beschikbaar komen

Bij het zoeken naar een meer circulaire aanpak is alleen gekeken wat mogelijk is door de standaard aanpak te wijzigen. Ook is de focus op de impact van de ingreep zelf, als uitgangspunt gehanteerd. De maakt dat de mogelijkheden beperkt zijn tot een duurzamere productkeuze (bijvoorbeeld een biobased variant of tweedehandsproducten) of een duurzame uitvoer van de ingreep (bijvoorbeeld een kortere transportafstand of elektrisch materieel). Deze inperking betekent dat de eventuele winst door het toepassen van de hogere R-strategieën buiten beeld is gebleven. Als de beperkingen los wordt gelaten komen er aanvullende opties in beeld:

#### 1. Duurzaam voorraadbeleid

Hierbij gaat het niet om een duurzaam plan voor bijvoorbeeld de isolatie van de gevel, maar om beslissingen op het meer strategische niveau. Beslissingen op dat niveau raken aan de hogere R-strategieën, en hebben daardoor een grotere impact. Het gaat om bijvoorbeeld het kiezen tussen consolideren, renoveren of sloop/nieuwbouw. En bij de keuze voor renoveren bij een specifiek gebouw/complex om de inzet op een bepaald

energieconcept of op een lichte of zwaardere ingreep (meer materiaal, maar wel een betere energieprestatie en/of langere restlevensduur).

## 2. Milieu-impact beheer en sloop

Hierbij gaat het om de circulaire strategieën, die gericht zijn op de toekomst (periode na de ingreep), zoals:

- Het verlengen van de cycli  
De inzet op een langere restlevensduur van het gebouw levert milieuwinst op. Dat geldt ook voor het verlengen van de productlevensduur, zeker bij de producten met een korte levensduur, zoals installaties. Tijdens de restlevensduur hoeven de producten dan minder vaak vervangen te worden.
- Inzet op toekomstig hergebruik en (hoogwaardige) recycling  
Bij de ingreep kunnen producten gekozen worden, waarbij het aannemelijk is dat ze later weer hergebruikt kunnen worden of geschikt zijn voor hoogwaardige recycling. Belangrijk is dat deze producten bij de ingreep ook op een losmaakbare wijze in het gebouw aangebracht worden.

## 3. Stap-voor-stap aanpak

In praktijk worden energetische verbeteringen ook geleidelijk doorgevoerd, bijvoorbeeld door deze te combineren met planmatig onderhoud. Gelet op de materiaalgebonden impact kan dit voordelen bieden, de ingreep was deels toch al nodig. Kijkend naar het vraagstuk van de korte termijn CO<sub>2</sub>-reductie (hoofdstuk 1), dan kan deze aanpak helpen om de impact over meer tijd uit te smeren.

- Afstemming op de productlevensduur  
Bij een stap-voor-stap- benadering, wordt het beter mogelijk om de ingreep optimaal af te stemmen op de levensduur van de in het bestaande gebouw aanwezige producten. Aandachtspunt bij deze benadering is dat de geleidelijke aanpak niet maakt dat de volgende stap niet wordt gezet omdat het niet meer rendabel is. Ook kan de energetische situatie dusdanig slecht zijn, dat een geleidelijke verbetering ongewenst is.
- Geleidelijk vervanging van CV-ketels  
Bij de warmteopwekking is er nu weinig winst te boeken. Winst in de periode na de ingreep blijft buiten beeld (zie punt 2) en bij de ingreep zelf is verondersteld dat de gasgestookte ketel altijd door een nieuwe installatie vervangen wordt. Vervanging door bijvoorbeeld een 'gere refurbished' warmtepomp is nog niet aan de orde. In specifieke situatie kan het zinvol zijn de oude CV-ketel te behouden of eventueel een ('gere refurbished') tweedehandsketel van elders te plaatsen.

Bij de analyse van het mogelijke effect van circulaire maatregelen is niet gekeken naar beschikbaarheid van circulaire maatregelen. Maatregelen, zoals hergebruik, upcyclen en het toepassen van vlas of schapenwol, kunnen alleen worden toegepast als de materialen in de bedoelde vorm geleverd kunnen worden. Aandacht voor de beschikbaarheid van circulaire producten en diensten is belangrijk om de mogelijkheden ook praktische te kunnen benutten.

## Concluderend

Als de bovenstaande circulaire principes meegenomen zouden zijn, dan is de verwachting dat de potentiële milieuwinst door een meer circulaire aanpak aanzienlijk groter zal zijn.

Het is van belang dat circulariteit op alle niveaus van de planvorming een plek krijgen, dus vanaf het strategisch voorraadbeheer tot aan de concrete uitvoering van de ingreep.

In de rekentools moet er meer keuze komen in zowel traditionele als circulaire renovatie- en onderhoudsproducten, wat betekent dat deze in de NMD opgenomen moeten worden.

De circulaire producten en diensten moeten ook daadwerkelijk op de markt beschikbaar en te vinden zijn.

## 6 Bronnen

- [1] Inijking energielabel utiliteitsbouw, W/E adviseurs, 3 oktober 2019  
*In dit project is de in 2020 geactualiseerde spreadsheet uit de inijking gebruikt.*
- [2] WoON2018, ABF, 4 april 2019  
*In dit project is de set woningdata uit WoON2018 gebruikt die voor het project Voorbeeldwoningen 2022 is samengesteld.*
- [3] BAG
- [4] Circulaire energierenovaties projectplan, Copper8, begin 2023
- [5] Eindnorm 2050 bestaande utiliteitsbouw, DGMR, 30 november 2020
- [6] Streefwaarden isolatie bestaande utiliteitsbouw, W/E adviseurs, 25 april 2023
- [7] 'Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken – versie 1.1' ; Stichting NMD; Rijswijk, maart 2022
- [8] 'Bepalingsmethode milieuprestatie Verbouw en Transformatie - Addendum bij de Bepalingsmethode milieuprestatie gebouwen en GWW-werken, januari 2019'; W/E adviseurs; Utrecht, november 2020
- [9] 'Verkenning GWP-eis Gebouw', W/E rapport 32168 - RVO-referentie: EGO2200165; Stichting W/E adviseurs, 3 juli 2023 (bijlage bij kamerbrief 4 oktober 2023 - <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2023/10/04/kamerbrief-over-normering-circulair-bouwen-en-standaardisatie-uitvraag-duurzame-woningbouw>)
- [10] Climate Change 2023 Synthesis Report; IPCC; 2023 ([AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023 \(ipcc.ch\)](https://www.ipcc.ch))
- [11] Rapport standaard en streefwaarden bestaande woningbouw, Nieman, februari 2021
- [12] EXCEL SPREADSHEETS MET DATA
  - Milieu-impact energierenovaties NL - 2023 10 25 - DEFINITIEF.xlsb
- [13] Kostenkengetallen renovatie Arcadis: [www.digipesis.com](http://www.digipesis.com)
- [14] Vijf circulaire strategieën W/E: [www.w-e.nl/project/de-circulaire-bouwcatalogus/](http://www.w-e.nl/project/de-circulaire-bouwcatalogus/)
- [15] Nationale MilieuDatabase NMD, [www.milieudatabase.nl](http://www.milieudatabase.nl)