



## W/E rapport

# TKI KIEM - Kwaliteit door Integrale evaluatie van Energie- en Milieuprestaties van gebouwen

*Openbare samenvatting van projectresultaten*



Projectnummer TKIGB01016

**Topsector Energie, TKI Urban Energy**

**Subsidie voor dit project is verleend door Rijkdienst voor Ondernemend Nederland in het kader van Regelingen Topsector Energie.**

**In opdracht van het Ministerie Economische Zaken.**

Utrecht/Eindhoven, 31-5-2016

# **TKI KIEM - Kwaliteit door Integrale evaluatie van Energie- en Milieuprestaties van gebouwen**

*Openbare samenvatting van projectresultaten*

## **Opdrachtgever**

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland  
Utrecht/Sittard

## **Penvoerder Consortium**

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

Contactpersoon: drs. E.A Alsema  
T: 030 - 677 8777 | E: alsema@w-e.nl

## **Projectnummer**

TKIGB01016

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding en overzicht</b>	<b>3</b>
1.1	Doelstellingen	3
1.2	Uitvoeringsperiode	3
1.3	Consortium	3
1.4	Overzicht van werkpakketten	5
<b>2</b>	<b>Methode voor de bepaling van de Duurzaamheidsprestatie van Gebouwen</b>	<b>6</b>
2.1	Inleiding	6
2.2	Methodiek voor bepaling van Duurzaamheidsprestatie van Gebouwen (DPG)	6
2.2.1	MilieuPrestatie Gebouwen (MPG)	6
2.2.2	EnergiePrestatie Gebouwen (EPG)	6
2.2.3	DuurzaamheidsPrestatie van Gebouwen (DPG)	7
2.2.4	Functionele eenheid	8
<b>3</b>	<b>Instrumenten voor bepaling van de Duurzaamheidsprestatie DPG</b>	<b>10</b>
3.1	Nationale MilieuDatabase	10
3.2	Verbeterde schattingsmethode voor materialen in de draagconstructie	10
3.3	Aanpassing van het rekeninstrument GPR Gebouw	11
3.4	Aanpassing van GPR Onderhoud	11
3.5	Rekenmodel Total Cost of Ownership	12
<b>4</b>	<b>Praktijkvoorbeelden voor de DPG-indicator</b>	<b>13</b>
4.1	Case renovatie galerijwoning	13
4.2	Case van een Bijna Energie Neutrale nieuwbouwwoning	15
<b>5</b>	<b>Conclusie</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Referenties</b>	<b>18</b>

# 1 Inleiding en overzicht

In dit rapport geven we een overzicht van de resultaten van het project “TKI KIEM - Kwaliteit door Integrale evaluatie van Energie- en Milieuprestaties van gebouwen”. We beginnen met een overzicht van de doelstellingen, de projectpartners en de werkpakketten waarin het project was opgesplitst.

## 1.1 Doelstellingen

De doelstellingen van het TKI KIEM project zijn:

1. *De ontwikkeling van een breder afwegingskader, door:*
  - *de ontwikkeling van een eenduidige methodiek voor integrale beoordeling van de milieubelasting van een gebouw over de gehele levenscyclus, door de bestaande Nederlandse bepalingmethoden voor MPG en EPG onder één noemer te brengen;*
  - *de verbreding van de methodiek met het Profit-aspect, door de toevoeging van een kostenbepaling (Total Cost of Ownership);*
2. *Het implementeren van die methodiek in bestaande instrumenten voor het evalueren van bouwprestaties en voor prestatiegerichte beoordeling van onderhoudsplannen;*
3. *Het opdoen van ervaring met de praktische toepassing van de methode en instrumenten bij het ontwerpen, renoveren en onderhouden van gebouwen, waarbij de ervaring wordt vastgelegd in richtlijnen en praktijkvoorbeelden;*
4. *Het stimuleren van duurzame productontwikkeling, door de communicatie tussen vraag en aanbod op eenduidige wijze te faciliteren (verbetering bestaande nationale milieudatabase).*

## 1.2 Uitvoeringsperiode

Het project is uitgevoerd in de periode 1 januari 2014 tot 1 maart 2016.

## 1.3 Consortium

Het consortium omvatte de volgende partijen:

*Tabel 1: overzicht van deelnemers in het TKI KIEM consortium. N.B. Een deel van de partners was geen subsidieontvanger.*

<b>deelnemer</b>	<b>internet adres</b>	<b>rol in project</b>
Stichting W/E Adviseurs Duurzaam Bouwen (WE)	<a href="http://www.w-e.nl">www.w-e.nl</a>	Penvoerder, onderzoekspartner. Expertise op het gebied van methoden en instrumenten voor integrale beoordeling van de duurzaamheid van gebouwen.
Technische Universiteit Delft, Fac. Bouwkunde, Afdeling OTB (TUD)	<a href="http://www.otb.tudelft.nl">www.otb.tudelft.nl</a>	Onderzoekspartner. Inbreng expertise op gebied van duurzaam en gezond wonen, LCA en strategisch onderhoud. Bewaakt wetenschappelijke kwaliteit voor dit project
Stichting Bouw Kwaliteit (SBK)	<a href="http://www.bouwkwaliteit.nl">www.bouwkwaliteit.nl</a> <a href="http://www.milieudatabase.nl">www.milieudatabase.nl</a>	Beheer van Nationale Milieu Database van bouwproducten. Expertise over kwaliteitsborging van data en instrumenten voor de bouwsector
IMd Raadgevende Ingenieurs (IMd)	<a href="http://www.imdbv.nl">www.imdbv.nl</a>	Expertise over gebouwconstructies en materiaalgebruik voor constructies
CRH Europe- Sustainable Concrete Centre (CRH-SCC)	<a href="http://www.crh.com">www.crh.com</a>	Leverancier van beton en andere bouwproducten, kennis over productinnovatie
St Gobain Distribution The	<a href="http://www.saint-gobain.com">www.saint-gobain.com</a>	Leverancier van bouwproducten, kennis over

deelnemer	internet adres	rol in project
Netherlands / Raab Karcher (SG)	<a href="http://www.raabkarcher.nl">www.raabkarcher.nl</a>	productinnovatie
Rockwool Nederland (RW)	<a href="http://www.rockwool.nl">www.rockwool.nl</a>	Leverancier van isolatiemateriaal, kennis over productinnovatie
Bouwen met Staal (Bms)	<a href="http://www.bouwenmetstaal.nl">www.bouwenmetstaal.nl</a>	Kennis over toepassingen en milieu-aspecten van staalproducten en over gebouwconstructies.
Bond van Fabrikanten van Betonproducten in Ned. (BFBN)	<a href="http://www.bfbn.nl">www.bfbn.nl</a>	Kennis over toepassingen en milieu-aspecten van betonproducten.
Ned. Ver. Toelevering Bouw (NVTB)	<a href="http://www.nvtb.nl">www.nvtb.nl</a> <a href="http://www.mrpi.nl">www.mrpi.nl</a>	Kennis over toepassingen en milieu-aspecten van bouwproducten en over productinnovatie.
Bond Nederlandse Architecten (BNA)	<a href="http://www.bna.nl">www.bna.nl</a>	Kennis over gebouwt ontwerp, ontwerptools en duurzaam bouwen
AEDES	<a href="http://www.aedes.nl">www.aedes.nl</a>	Kennis van beheer en ontwikkeling van sociale woningvoorraad
FOSAG	<a href="http://www.fosag.nl">www.fosag.nl</a>	Kennis over duurzaam gebouwonderhoud
Portaal	<a href="http://www.portaal.nl">www.portaal.nl</a>	Beheer en ontwikkeling van sociale woningvoorraad
De Alliantie	<a href="http://www.de-alliantie.nl">www.de-alliantie.nl</a>	Idem
GroenWest	<a href="http://www.groenwest.nl">www.groenwest.nl</a>	Idem
Rochdale	<a href="http://www.rochdale.nl">www.rochdale.nl</a>	Idem
Provides	<a href="http://www.provides.nl">www.provides.nl</a>	Idem
WonenBreborg	<a href="http://www.wonenbregburg.nl">www.wonenbregburg.nl</a>	Idem
Heijmans	<a href="http://www.heijmans.nl">www.heijmans.nl</a>	Kennis bouwmethoden, gebouwonderhoud en renovaties.
Rutges Vernieuwt	<a href="http://www.rutgesvernieuwt.nl">www.rutgesvernieuwt.nl</a>	Kennis duurzaam gebouwonderhoud en renovaties
Talen	<a href="http://www.talen.nl">www.talen.nl</a>	idem
Hagemans	<a href="http://www.hagemans.nl">www.hagemans.nl</a>	idem
Smits	<a href="http://www.smitsvastgoedzorg.nl">www.smitsvastgoedzorg.nl</a>	idem
Burgers vd Wal	<a href="http://www.burgersvanderwal.nl">www.burgersvanderwal.nl</a>	idem
Vastbouw	<a href="http://www.vastbouw.nl">www.vastbouw.nl</a>	idem
Van Wijk	<a href="http://www.vanwijkvgoprojecten.nl">www.vanwijkvgoprojecten.nl</a>	idem
Weijman	<a href="http://www.weijman.nl">www.weijman.nl</a>	idem

Daarnaast is er een Klankbordgroep is samengesteld om de ontwikkelde beoordelingsmethodiek kritisch te bekijken. In deze klankbordgroep hadden zitting:

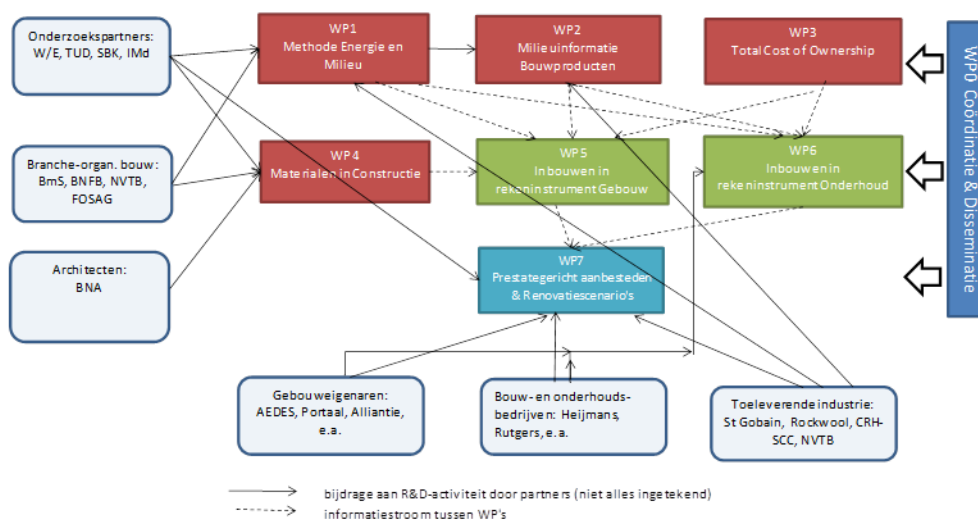
- Piet van Luijk, Ministerie Binnenlandse Zaken;
- Leo Brouwer, Agentschap NL;
- Robert Koolen, Heijmans BV;
- Alexander Pastoors, Bond Nederlandse Architecten;
- Wico Ankersmit, Vereniging Bouw & Woningtoezicht;
- Erik Lysen, Holland Solar;
- Claudia Bouwens, NEPROM;
- René van Genugten, AEDES;
- Helen Visser, Bouwend Nederland;
- Harm van den Oever, Uneto-VNI;
- Pablo van der Laan, Yuri Pelser, Ymere woningcorporatie;
- Diverse deelnemers vanuit TKI-KIEM consortium (o.a. St. Gobain, CRH, Rockwool, BFBN, BNA).

## 1.4 Overzicht van werkpakketten

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de werkpakketten. De samenhang tussen werkpakketten wordt visueel weergegeven in Figuur 1

Tabel 2: Overzicht van werkpakketten

nr	naam werkpakket	lead	overige deelnemers
1	Methodiek	W/E	TUD, SBK (+klankbordgroep)
2	Milieudata bouwproducten	SBK	W/E, NVTB, Industrie (+klankbordgroep)
3	Total Cost of Ownership	TUD	W/E, corporaties
4	Materialen in constructies	BmS	IMd, W/E, CRH-SCC, BFBN
5	Inbouw in rekeninstrument Gebouw	W/E	(klankbordgroep)
6	Inbouw rekeninstrument Onderhoud	TUD	W/E, Onderhouds-bedr., Corp.
7	Aanbesteden en renovatie scenario's	TUD	W/E, corporaties, bouw- en onderhoudsbedrijven
0.1	Coördinatie	W/E	TUD, Stuurgroep TKI-KIEM
0.2	Disseminatie	W/E	TUD, NVTB, AEDES, BNA, Portaal, Alliantie



Figuur 1: Overzicht Werkpakketten, informatiestroom tussen WP's en rol verschillende typen partners. (Kleur WP's: Bruin = Methodiekontwikkeling, Groen = Instrumenten, Lichtblauw = Toepassing, Donkerblauw = Coördinatie & disseminatie)

## 2 Methode voor de bepaling van de Duurzaamheidsprestatie van Gebouwen

### 2.1 Inleiding

Het Bouwbesluit kent op dit moment twee prestatie-indicatoren voor de milieubelasting van een gebouw: De EPG, voor het energieverbruik tijdens gebruik van het gebouw en de MPG die de materialeninzet voor het gebouw evalueert. In de bouw- en vastgoedwereld is er een groeiende behoefte aan een methodiek die de gehele levenscyclus van een gebouw beschouwt en de milieuprestaties van materiaalkeuzes en energieverbruik integraal weegt. Zeker naarmate het energieverbruik van een gebouw steeds verder richting nul gaat wordt een integrale afweging op energie- en milieu belangrijk.

In het TKI-KIEM project is een methode ontwikkeld die de resultaten van de EnergiePrestatie voor Gebouwen (EPG) en de MilieuPrestatie voor Gebouwen (MPG) aggregereert tot één indicator, de DuurzaamheidsPrestatie voor Gebouwen (DPG). Deze methodiek is dus geen nieuwe methode die in de plaats moet komen van EPG en MPG, maar een methode om de resultaten van EPG en MPG op een wetenschappelijk verantwoorde wijze samen te voegen.

Bovendien is de ontwikkelde methodiek en de bijbehorende indicator geïmplementeerd in een speciale KIEM-versie van GPR Gebouw en is de bruikbaarheid van de methodiek in de praktijk getoetst. Enkele voorbeeldberekeningen worden weergegeven in Hoofdstuk 4.

### 2.2 Methodiek voor bepaling van Duurzaamheidsprestatie van Gebouwen (DPG)

Hieronder geven we een korte samenvatting van de methode voor de bepaling van de DuurzaamheidsPrestatie voor Gebouwen (ook wel KIEM-indicator genoemd). Een meer uitgebreide verantwoording is beschikbaar als technische notitie (zien website [www.tki-kiem.nl](http://www.tki-kiem.nl)).

We starten met een kort overzicht van de reeds bestaande rekenmethoden voor MilieuPrestatie van Gebouwen (MPG) en Energieprestatie van Gebouwen (EPG) die de basis moeten vormen van de nieuwe rekenmethode

#### 2.2.1 MilieuPrestatie Gebouwen (MPG)

De MilieuPrestatie voor Gebouwen (MPG) is opgenomen in het Bouwbesluit en vastgelegd in het document 'Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken' [1]. In deze bepalingmethode worden milieu-impacts van materialen in een gebouw bepaald op basis van de methode van Levens Cyclus Analyse (LCA).

In de LCA-methode worden in principe alle economische activiteiten vanaf de grondstofwinning tot aan de afvalverwerking in de evaluatie betrokken (cradle-to-grave). Dit betekent dat de systeemgrens voor de MPG in feite de hele fysieke wereld kan omvatten.

De functionele eenheid, m.a.w. de eenheid waarin de grootte van het gebouw wordt opgegeven, is m<sup>2</sup> Bruto Vloer Oppervlak (m<sup>2</sup> BVO) voor de MPG.

#### 2.2.2 EnergiePrestatie Gebouwen (EPG)

In de EPG-bepalingsmethode –aangewezen in het Bouwbesluit– wordt een gedetailleerde analyse gemaakt van het genormeerde energiegebruik van het gebouw tijdens de gebruiksfase, op basis van een gedetailleerd (thermisch) gebouwmodel vastgelegd in NEN 7120 [2]. Omdat de EPG alleen naar energie kijkt, is de systeemgrens binnen de EPG veel nauwer getrokken dan bij de MPG.

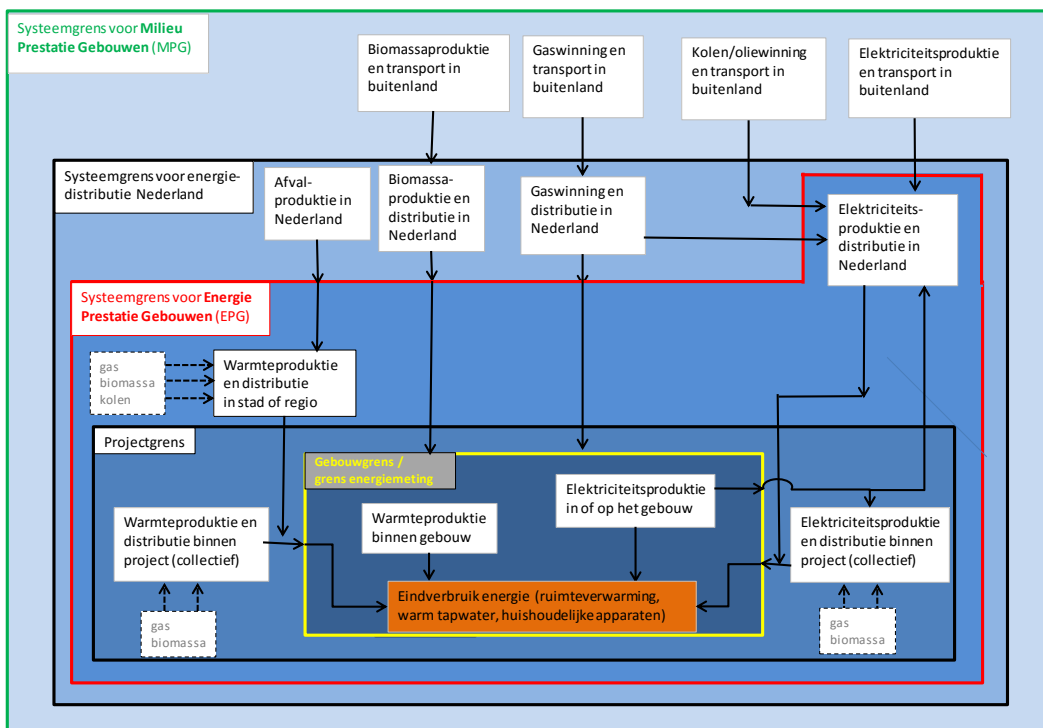
Resultaat van een EPG bepaling is onder meer het jaarlijks energieverbruik van het gebouw in kWh elektriciteit, m<sup>3</sup> gas en GJ externe warmte. Deze resultaten vormen een belangrijke input voor de berekening van de DuurzaamheidsPrestatie van Gebouwen (DPG).

Verder willen we opmerken dat de functionele eenheid voor de EPG de m<sup>2</sup> verwarmd gebruiksoppervlak (m<sup>2</sup> GO<sub>verw</sub>) is, en dus anders is dan de m<sup>2</sup> BVO in de MPG.

### 2.2.3 DuurzaamheidsPrestatie van Gebouwen (DPG)

Omdat we de totale duurzaamheidsprestatie willen waarderen, ligt het voor de hand om voor de systeemgrenzen, bepalingsmethode en functionele eenheid zo veel mogelijk aan te sluiten bij de MPG methode, omdat deze al is gebaseerd op de LCA methodiek voor integrale evaluatie van milieueffecten van producten.

De keuze voor de MPG-methode als basismethode voor de DPG betekent dat EPG-resultaten zo goed mogelijk moeten worden omgerekend naar impactscores die consistent zijn met de MPG methode. Hier zitten wel wat haken en ogen aan onder meer omdat de *systeemgrenzen* van EPG en MPG sterk verschillend zijn (zie Figuur 2) en ook de *functionele eenheden* voor beide methoden verschillen (zie 2.2.4).



Figuur 2: Systeemgrenzen van de bestaande EPG en MPG methodes

Door consequent alle energie- en materiaalstromen te identificeren, is het toch mogelijk om een DPG te berekenen op basis van eenvoudig beschikbare rekenresultaten uit de EPG en MPG berekeningen. Eigenlijk komt het erop neer dat we uit de EPG bepaling de berekende *energiegebruiken per energiedrager* omrekenen naar milieu-impacts als gevolg van het energiegebruik met impactfactoren per energiedrager (Tabel 3). De totale impact als gevolg van energiegebruik die zo berekend wordt, noemen we de EPG\*.

We kunnen vervolgens stellen dat:

$$DPG = MPG + EPG^*$$



Immers de MPG geeft weer wat de milieu-impact is van de materialen in het gebouw, inclusief winning, materiaalproductie, gebouwconstructie, onderhoud, sloop en afvalverwerking. En de EPG\* geeft de milieu-impact weer als gevolg van het energiegebruik tijdens de gebruiksfase van het gebouw.

Voor de omrekening van EPG resultaten naar een EPG\* score maken we gebruik van milieu-impact factoren voor de belangrijkste energiedragers die de EPG onderscheidt. Dit zijn:

- elektriciteit;
- aardgas;
- externe warmte;
- externe koude;
- biomassa.

Binnen het TKI-KIEM project hebben we impactfactoren vastgesteld voor de twee belangrijkste energiedragers: elektriciteit en aardgas. Bij de omrekening van EPG resultaten naar EPG\* scores wordt per energiedrager het energieverbruik in kWh of m<sup>3</sup> vermenigvuldigd met een milieu-impactfactor en vervolgens worden de resultaten opgeteld tot één EPG\* impactscore (zie ook Ref. 3, 4).

*Tabel 3: Impactfactoren voor energiedragers uit de EPG (in €/MJ)*

<b>energiedrager</b>	<b>impact factor</b>
Elektriciteit, levering kleinverbruiker	$6,09 * 10^{-2}$
Aardgas, levering aan kleinverbruiker, verbrand in HR gas ketel	$5,05 * 10^{-3}$
Externe warmtelevering	situatie afhankelijk <sup>a</sup>
Externe koudelevering	situatie afhankelijk
Biomassa	afhankelijk van biomassa bron en verbrandingstechniek

*a) Binnen GPR Gebouw is een forfaitaire waarde gekozen voor de impactfactor van warmtelevering, op basis van impactfactor gas + 50% opslag, d.w.z.  $7,6 * 10^{-3}$  €/MJ. Gebruikers kunnen deze waarde voor de eigen situatie aanpassen.*

Met betrekking tot externe warmtelevering merken we op dat karakterisering van warmte-opwekking en -distributie een complex probleem vormt en dat dit per locatie sterk kan verschillen. Daarom is er nu voor gekozen om binnen TKI-KIEM alleen een forfaitaire waarde vast te stellen. Detailstudies voor specifieke warmtenetwerken zullen nodig zijn om een correcte impactfactor voor die situatie te bepalen. Ook voor biomassa geldt dat er veel verschillende bronnen van biomassa mogelijk zijn, ieder met een eigen impactfactor.

In de achtergrondnotitie beschrijven we meer in detail hoe we de impactfactoren voor de drie genoemde energiedragers hebben vastgesteld.

Hier willen we nog kort ingaan op een andere kwestie: de meest geschikte keuze voor de functionele eenheid voor de DPG.

#### **2.2.4 Functionele eenheid**

Het is gebruikelijk om de prestatie-indicator van een gebouw te karakteriseren voor een bepaalde functionele eenheid. Meestal wordt hiervoor de m<sup>2</sup> vloeroppervlak gebruikt omdat het een bruikbare en praktische maat is voor de functionaliteit van een gebouw. Helaas zijn er nog diverse varianten in de definitie van een m<sup>2</sup> vloeroppervlak, zo hebben we onder andere het bruto vloeroppervlak (BVO) en het gebruiksoppervlak (GO). Voor de EPG-berekening wordt het gebruiksoppervlak nog opgesplitst naar verwarmd gebruiksoppervlak en onverwarmd gebruiksoppervlak.

We hebben al gezien dat de functionele eenheden voor EPG en de MPG verschillend gekozen zijn.

- In de EPG is dat  $m^2$  *verwarmd gebruiksoppervlak*
- In de MPG is het  $m^2$  *bruto vloeroppervlak*

In principe lijkt de beste functionele eenheid voor de milieuprestatie van een gebouw,  $m^2$  *gebruiksoppervlak* (d.w.z. verwarmd + onverwarmd GO).

Meer dan het BVO geeft het GO aan hoeveel  $m^2$  de gebruiker van een gebouw werkelijk functioneel beschikbaar en benutbaar heeft. Dit zou betekenen dat we voor de DPG een andere eenheid voorstellen dan de huidige voor MPG en EPG.

Uit pragmatische overwegingen hanteren we daarom voorlopig de  $m^2$  BVO als functionele eenheid voor het vaststellen van DPG-score in de praktijktoets met de speciale versie van GPR Gebouw.

Dit betekent praktisch gezien dat de DPG-score (en EPG\*) net als de MPG, wordt uitgedrukt in de eenheid:  $\text{€}/m^2/\text{jaar}^1$ .

---

<sup>1</sup> Merk op dat deze euro's een "schaduwprijs" representeren voor preventie of bestrijding van de beschouwde milieueffecten, bijvoorbeeld de kosten van windturbines ter vermindering van CO<sub>2</sub>-emissies. Ze zijn daarmee niet direct vergelijkbaar met euro's investeringskosten voor de gebouweigenaar of de energiekosten. De MPG en EPG\* moeten meer worden gezien als een geaggregeerde indicator voor milieu-impacts, zie verder Ref [1,3,4].

## 3 Instrumenten voor bepaling van de Duurzaamheidsprestatie DPG

Binnen het TKI KIEM project is ook gewerkt aan diverse hulpmiddelen die noodzakelijk zijn voor de toepassing van DPG-methode, te weten:

- Verbetering van de *Nationale MilieuDatabase* (NMD), waarin de milieu-impacts van bouwmaterialen en andere hulpmiddelen voor gebouwen vastgelegd zijn;
  - Verbetering van schattingsmethodes voor *materiaalhoeveelheden in de draagconstructie* van gebouwen;
  - Inbouw van de DPG-bepalingsmethode in het rekeninstrument *GPR Gebouw*, een softwaretool waarmee de duurzaamheid van gebouwen kan worden beoordeeld;
  - Verbetering van een beoordelingsinstrument voor onderhoudsingrepen (*GPR Onderhoud*).
- Daarnaast is gewerkt aan een eenvoudig hanteerbaar rekenmodel voor bepaling van Total Cost of Ownership (TCO) zodat naast het “Planet”-aspect ook de “Profit”-kant van gebouwmaatregelen in beeld kan worden gebracht.

We zullen nu kort bespreken welke verbeteringen in het kader van TKI KIEM geïmplementeerd zijn.

### 3.1 Nationale MilieuDatabase

Voor de volgende aspecten zijn verbetervoorstellen gemaakt die de NMD beter hanteerbaar moeten maken. Deze verbeteringen zijn deels al geïmplementeerd en andere zullen in toekomstige versies van de NMD worden ondergebracht.

- Betere aansluiting bij producten zoals ze op de bouwplaats aangeleverd worden;
- Een hiërarchische ontsluiting van producten in de NMD, die op elk moment in het ontwerpproces, goed vindbare productinformatie biedt;
- Toevoeging van rekenkundige oplossing als terugvaloptie voor producten die (nog) niet in NMD staan of waarvan de productinformatie verlopen is;
- Verbeterde elementomschrijvingen;
- Methode voor vergelijking van producten in de NMD op basis van identieke prestaties.

### 3.2 Verbeterde schattingsmethode voor materialen in de draagconstructie

De draagconstructie vormt een belangrijk onderdeel van een gebouw waarin een forse hoeveelheid materialen zit verwerkt. Omdat het doorrekenen van draagconstructies een specialistisch werk betreft is het vaak lastig om in een vroeg ontwerp stadium een enigszins betrouwbare schatting te maken van deze materiaalhoeveelheden. Een aantal partijen uit het KIEM consortium, waaronder Imd Raadgevend Ingenieurs (als constructietechnisch adviesbureau), branchevertegenwoordigers uit de toeleverende industrie (beton en staal) en W/E adviseurs, is daarom aan de slag gegaan om een bestaand rekenmodel (BHH-model) voor materialen in draagconstructies te verbeteren. Ook is een branchevertegenwoordiger vanuit de houtindustrie aangeschoven om de doorrekening van houtconstructies te ondersteunen. Doel was om tot een rekenmodel te komen waarmee ontwerpers in een vroeg stadium een afschatting zouden kunnen maken van de materialen in de draagconstructie. Beoogd was ook om dit model later in te bouwen in GPR Gebouw, als beoordelingsinstrument voor duurzaamheid van gebouwen.

Gaandeweg bleek dat de gevraagde schattingsmethode een complexe opgave betrof en dat er verbeteringen wenselijk waren in de representatie van diverse constructiematerialen in de NMD. Een belangrijke spin-off van deze activiteit binnen het KIEM project was dat vertegenwoordigers van

productbranches zich intensief hebben beziggehouden met de representatie van “hun” materialen in de NMD, waardoor zeer waardevolle verbetervoorstellen konden worden gedaan.


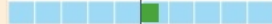
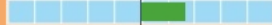
Tevens is een verbeterd schattingsmodel (in Excel) en bijbehorende beschrijving opgeleverd (zie TKI KIEM [website](#)).

### 3.3 Aanpassing van het rekeninstrument GPR Gebouw

GPR Gebouw is een instrument dat veel wordt gebruikt om de duurzaamheid van gebouwen te beoordelen door middel van scores op 5 thema's: Energie, Milieu, Gezondheid, Gebruikskwaliteit en Toekomstwaarde. De scores voor Energie en voor Milieu worden in belangrijke mate bepaald door de uitkomsten van de EPG berekening<sup>2</sup> en de MPG-berekening die binnen GPR Gebouw kan worden uitgevoerd. Daarom is het een logische stap om de DPG-indicator in te bouwen in GPR Gebouw, te meer daar bijna alle inputgegevens voor een bepaling van de DPG al binnen GPR Gebouw beschikbaar zijn (indien de EPG en MPG binnen GPR Gebouw bepaald zijn).

Ten behoeve van de pilotstudies in het KIEM project is een speciale versie van GPR Gebouw beschikbaar gemaakt voor consortiumpartners, waarin de DPG-score werd berekend en getoond. Figuur 3 geeft een voorbeeld van de uitvoer waarin de DPG-score is te zien, uitgesplitst naar de bijdrage vanuit energiegebruik en vanuit materiaalgebruik, en vergeleken met een referentiegebouw. In het volgende hoofdstuk wordt een aantal voorbeelden gegeven met DPG-scores die zijn doorgerekend met deze versie van GPR Gebouw.

In een komende release van GPR Gebouw komt deze functionaliteit (met uitvoer in licht verbeterde vorm) voor *alle gebruikers* beschikbaar.

Resultaten			
Duurzaamheidslabel			
KIEM-indicator ontwikkel versie			
Schaduwprijs (€/m <sup>2</sup> BVO*jaar)	Referentie	Score	Schaduwprijs reductie (t.o.v. referentie)
Energiegebruik	1.87 (81%)	1.16 (75%)	 38%
Materiaalgebruik	0.45 (19%)	0.39 (25%)	 13%
<b>Totaal</b>	<b>2.32 (100%)</b>	<b>1.55 (100%)</b>	 <b>33%</b>

Figuur 3: Voorbeeld van de uitvoer van de DPG-score binnen GPR Gebouw (KIEM pilotversie)

### 3.4 Aanpassing van GPR Onderhoud

Het instrument GPR Onderhoud is een hulpmiddel voor het beperken van de materiaalgebonden milieubelasting van planmatig onderhoud. In GPR Gebouw is het reguliere planmatige onderhoud in de vorm van default scenario's vastgezet. Met GPR Onderhoud kan de gebruiker naar wens optimaliseren. De gebruiker stelt een scenario op door activiteiten uit een uitgebreide bibliotheek te selecteren en per activiteit een nauwkeurige planning op te geven (o.a. product- of materiaalkeuze, nulbeurt, cycli verzorgende werkzaamheden, aantal eenheden, onderhouds- en vervangingsmomenten). De opzet sluit aan bij meerjarenonderhoudsbegrotingen (MJOB's). GPR Onderhoud brengt vervolgens de milieubelasting van de diverse scenario's in beeld.

<sup>2</sup> Alleen een *indicatieve* EPG waarde wordt berekend in GPR Gebouw omdat de invoer vereenvoudigd is. De energie rekenkern is wel conform de formeel aangewezen methoden. De MPG berekening is volledig conform de "Bepalingsmethode".

Het instrument sluit aan bij de MPG-berekening en de Nationale Milieudatabase (NMD). In 2015 is de koppeling naar de NMD, als onderdeel van het KIEM-project, dynamisch gemaakt, waardoor GPR Onderhoud voortaan altijd gebruik maakt van de laatste NMD-versie. De berekening gebeurt analoog aan kostencomputaties, met een bepaling van het aantal eenheden per activiteit over een beschouwingsperiode, een vermenigvuldiging met een (milieu)prijs per eenheid, en een sommatie over alle activiteiten binnen het scenario. In de rapportage over de pilotstudies (WP7) zijn enkele voorbeelden te vinden van het gebruik van GPR Onderhoud.

### 3.5 Rekenmodel Total Cost of Ownership

Door TU Delft is een eenvoudig rekenmodel ontwikkeld om de Total Cost of Ownership (TCO) van een gebouw in beeld te brengen, bij bepaalde gebouwingsrepen (zie TKI KIEM [website](#)). Met dit tool kunnen de TCO voor een gebouw in beeld worden gebracht naast de DPG-scores.

In de rapportage over de pilotstudies (WP7) zijn enkele voorbeelden te vinden van het gebruik van dit rekenmodel.

## 4 Praktijkvoorbeelden voor de DPG-indicator

We zullen nu enkele illustratieve voorbeelden geven van resultaten op basis van de DPG methodiek zoals die binnen het KIEM project zijn gegenereerd. Eén voorbeeld is ontleend aan de pilotsstudies voor renovatie van bestaande gebouwen (zie ook ref. [6]). Het tweede voorbeeld is gebaseerd op berekeningen aan een nieuwbouwwoning die aan de (concept) BENG eis voldoet.

### 4.1 Case renovatie galerijwoning

De case betreft een complex van galerijwoningen, gebouwd in 1969 (Figuur 4). Het zijn woningen met inpandige balkons in zes lagen op een plint van bergingen en garages en ontsloten met een lift. De toekomstwaarde van de woningen is in de huidige situatie al vrij goed door een relatief groot woonoppervlak en de aanwezigheid van een lift. Tabel 4 geeft technische karakteristieken voor de energieprestatie.



Tabel 4: Technische karakteristieken van de woningen

Gebruiksoppervlak	2-kamer 64m <sup>2</sup> ; 5 kamer 82 m <sup>2</sup>
Energie label en -index	F; 2,58
Verwarming en warmtapwater	Collectief; individuele geisers (open en gesloten)
Ventilatie	Natuurlijk, shuntkanalen
Isolatie dak, gevel, vloer	Bijna niet geïsoleerd
Beglazing	Incidenteel dubbelglas

Figuur 4: Complex galerijwoningen 1969

Het basisscenario voor renovatie gaat uit van een levensduurverlenging van 25 jaar. Het energielabel na renovatie is B. De Trias Energetica is bij de keuze van maatregelen leidend, dit betekent eerst en vooral isoleren van dak, spouw, glas en plafonds van de bergingen en garages op de begane grond. In vaste kozijndelen komen zelfregelende ventilatieroosters.

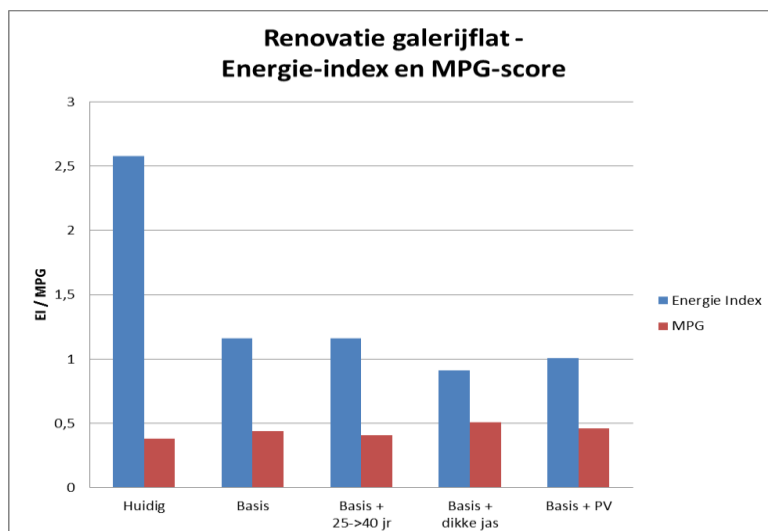
Er zijn naast het basisscenario voor renovatie naar energielabel B drie varianten uitgewerkt:

1. Basisrenovatie met levensduurverlenging 40 jaar in plaats van 25 jaar;
2. Basisrenovatie plus een 'dikke jas', met  $R_c=7$  voor dichte geveldelen en dak, drievoudig glas en CO<sub>2</sub>-gestuurde WTW-ventilatie;
3. Basisrenovatie plus PV-panelen, productie 18.000 kWh/jaar per gebouw.

De varianten zijn doorgerekend in GPR Gebouw voor één gebouw van 42 woningen.

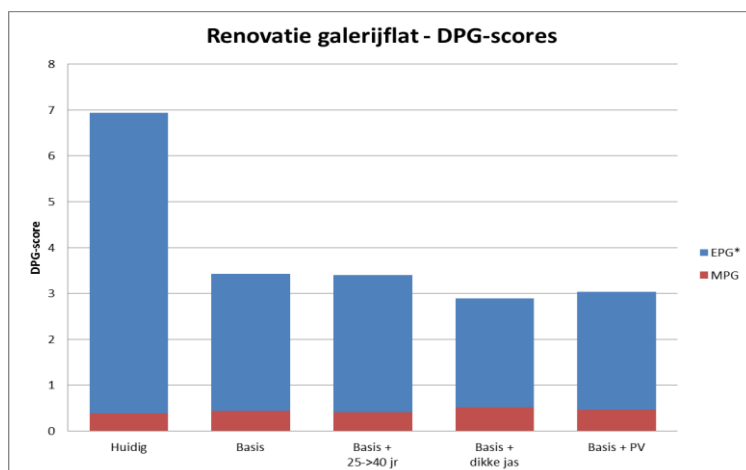
Figuur 5 toont de Energie-Index (EI) en MPG-score van de scenario's. We zien dat de Energie-Index al fors afneemt door de basisrenovatie en het laagste is bij de variant met de "dikke jas". De verschillen in MPG-scores tussen de scenario's zijn niet zo groot. Bij renovatie- en onderhoudsafwegingen speelt mee dat de milieubelasting van een gebouw deels al vastligt in de oorspronkelijke bouw. Vooral het materiaal van de draagconstructie bepaalt in grote mate de milieubelasting en is indirect van grote invloed op nieuwe mogelijkheden en levensduurverlenging. We zien bijvoorbeeld dat de MPG-score met slechts 15% toeneemt bij de basisrenovatie, dit als gevolg van de nieuwe materialen die aangebracht zijn en oude gebouwdelen die voortijdig verwijderd zijn. Bij de dikke jas variant gaat de MPG-score het meest omhoog, namelijk met 34%.

We kunnen echter op basis van de twee afzonderlijke indicatoren EI en MPG nog niet uitmaken welke renovatievariant de beste *totale* milieuscore zal opleveren.



Figuur 5: De Energie-Index (EI) en de Milieuprestatie Gebouwen (MPG) voor een aantal renovatiescenario's van een galerijflat.

Zo'n afweging kunnen we wel maken op basis van de DPG-scores in Figuur 6. Hier worden de milieu-impacts van het operationeel energiegebruik en van materiaaltoepassing weergegeven op basis van de in KIEM ontwikkelde rekenmethode (DPG) die vergelijking én aggregatie mogelijk maakt van de twee soorten impacts. Op deze wijze krijgen we dus voor het eerst de totale milieu-impact over de levensduur van het gebouw in beeld.



Figuur 6: De DuurzaamheidsPrestatie van Gebouwen (DPG) weergegeven voor de vier renovatievarianten. In de DPG-methode zijn de energie-gerelateerde en materiaal-gerelateerde milieu-impacts op gelijke basis gebracht zodat ze optelbaar zijn.

We zien nu dat variant "dikke jas" inderdaad de laagste totale milieu-impact (DPG = 2,89) heeft, met andere woorden, dit is vanuit milieu-oogpunt de beste aanpak. Echter, de variant "basisrenovatie + PV" levert een bijna even goede DPG-score (DPG = 3,03) als de "dikke jas". Als we ook de kosten in overweging nemen zou de variant met PV dus ook aantrekkelijk kunnen zijn. Toevoeging van 200 W<sub>p</sub> aan PV panelen per woning, d.w.z. ca. 55 m<sup>2</sup> paneeloppervlak per gebouw, zou voldoende zijn om de

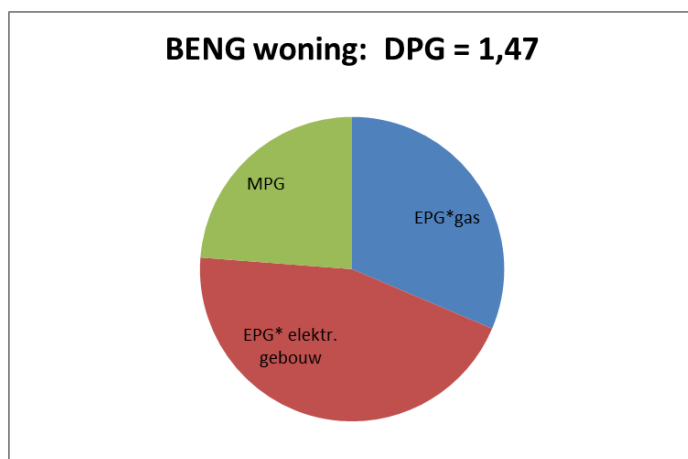
PV variant op het zelfde DPG niveau te brengen als de “dikke jas” variant. Als hier op het dak geen ruimte voor is, zou benutting van de kopgevel wellicht uitkomst kunnen bieden.

In meer algemene zin kunnen we opmerken dat zorgen met betrekking tot het extra materiaalgebruik voor gebouwrenovatie voorlopig niet nodig zijn, aangezien in elk onderzocht renovatiescenario de *reductie* in energie-gerelateerde impacts veel groter is dan de *toename* in materiaal-gerelateerde impacts.

## 4.2 Case van een Bijna Energie Neutrale nieuwbouwwoning

De verwachting is dat de invloed van materialen relatief belangrijker zal zijn bij woningen die ontworpen zijn volgens de concepteisen voor een Bijna Energie Neutraal Gebouw (BENG), zoals dat vanaf 2020 verplicht is. We bekijken daartoe een BENG nieuwwoning op basis van een voorbeeld-tussenwoning ( $GO=124 \text{ m}^2$ ) met isolatiewaardes  $R_c=6-7 \text{ m}^2\text{K/W}$  voor de gebouwschil, drievoudig glas en een HR gasketel voor verwarming en warm tapwater. Naast een standaard zonneboiler ligt er  $24 \text{ m}^2$  PV panelen ( $150 \text{ Wp/m}^2$ ) op het dak. De EPC voor deze woning komt uit op  $-0,04$ .

Eerst bekijken we de woning *zonder PV installatie*. Figuur 7 toont voor dit geval de opbouw van DPG-score van zo'n woning met de bijdragen door materialen, gasverbruik en elektraverbruik (alleen gebouwgebonden, dus excl. huishoudelijk verbruik)<sup>3</sup>. We zien dat de materialen in het gebouw verantwoordelijk zijn voor bijna 25% van de totale milieu-impact van het gebouw, exclusief PV. Aangezien de PV installatie het energieverbruik van het gebouw vrijwel geheel compenseert, verandert het beeld ingrijpend zodra we deze installatie meenemen.



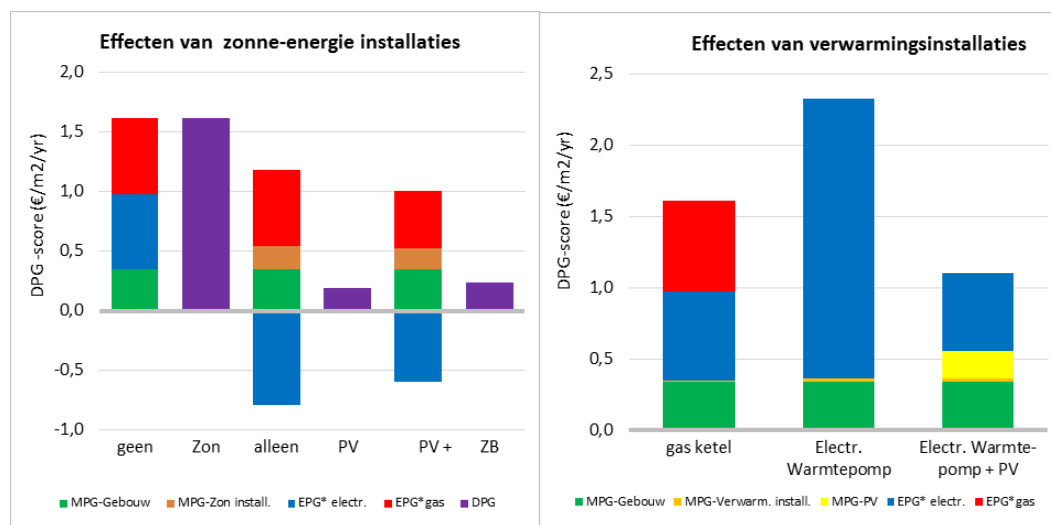
Figuur 7: Bijdragen aan de DPG-score voor een Bijna Energie Neutrale woning (tussenwoning), exclusief PV installatie. De totale DPG-score bedraagt  $1,47 \text{ €/m}^2/\text{jaar}$ , waarvan ongeveer een kwart voor rekening van materialen komt en drie-kwart voor rekening van het energiegebruik.

Effecten van ontwerpkeuzes bij een woning zijn zichtbaar in de volgende figuren waar we de effecten beschouwen van zonne-energie installaties. In figuur 4a tonen we onze BENG-woning in 3 varianten: 1) zonder zonne-energie installaties, 2) met alleen PV panelen ( $25 \text{ m}^2$ ,  $3,75 \text{ kW}_p$ ) en 3) een zonneboiler (ZB) van  $2,5 \text{ m}^2$  en een iets kleiner oppervlak met PV panelen ( $22,5 \text{ m}^2$ ). Merk op dat we het totale oppervlak voor zonne-energie installaties constant hebben gehouden op  $25 \text{ m}^2$ , dus een deel van het PV paneel oppervlak is vervangen door een collector voor de zonneboiler. Figuur 8a is enigszins gecompliceerd omdat de PV panelen meer elektriciteit opwekken dan wordt gebruikt door

<sup>3</sup> Als we ook het huishoudelijk deel van het elektriciteitsverbruik, ter grootte van  $2000 \text{ kWh/jaar}$ , in de beschouwing betrekken dan neemt de milieu-impact nog met  $0,88 \text{ €/m}^2/\text{jaar}$  toe. De laatste post hoort echter niet in de DPG thuis zoals die hier gedefinieerd is.



het gebouw (excl. huishoudelijke apparaten), hetgeen resulteert in een negatieve milieu-impact van de PV opwekking. Om deze reden tonen we in een aparte, paarse staaf in figuur 8a de totale DPG-score, die de sommatie is van alle impacts: DPG = MPG-gebouw + MPG-zon installatie + EPG\*-gas + EPG\*-elektriciteit.



Figuur 8a en 8b: Effecten op de DPG-score van een BENG-woning in relatie tot de keuze van zonne-energie installaties (links) en de keuze van de verwarmingsinstallatie (rechts).

Hoewel de MPG-bijdrage van de PV installatie aanzienlijk is, ongeveer 50% toename in de totale MPG, levert de PV installatie overall een grote positieve bijdrage aan de duurzaamheid van het gebouw aangezien de DPG-score vermindert van 1,61 naar 0,19 €/m<sup>2</sup>/jaar. Het is interessant om te zien dat de vervanging van 2,5 m<sup>2</sup> PV panelen door een zonnecollector voor warm water resulteert in een iets slechtere DPG score (0,24 €/m<sup>2</sup>/jaar). Met andere woorden, voor deze situatie levert de keuze voor een zonneboiler geen verlaging van de milieu-impacts in vergelijking met PV panelen. Een positief effect dat niet uit onze analyse naar voren komt, is wel dat de zonneboiler de belasting van het elektriciteitsnet zal verminderen.

Figuur 8b toont de effecten van de keuze van verwarmingsinstallaties, namelijk een HR gasketel of een elektrische warmtepomp (met grondwater als bron), beiden in de context van een BENG woning. Omdat de warmtepomp een aanzienlijke hoeveelheid elektriciteit (uit het net) verbruikt heeft deze keuze als zodanig een sterk negatief effect op de DPG. Echter als we een PV installatie (25 m<sup>2</sup>) toevoegen wordt de DPG verlaagt tot een niveau dat ca. 30% beter is dan de situatie met alleen een gasketel (en geen PV). Desondanks kunnen we opmerken dat de situatie met gasketel en PV (figuur 8a) de meest milieuvriendelijke oplossing biedt. Om de all-electric variant van dit gebouw het meest milieuvriendelijk te maken zouden we nog een extra oppervlak met PV panelen (of panelen met een hoger rendement) moeten plaatsen.

Een conclusie hieruit is dat de keuze voor de verwarmingsinstallatie of de duurzame opwekkingsinstallatie een aanzienlijk effect heeft op de totale milieu-impact van de woning. Elders hebben we laten zien dat dit effect groter is dan het effect van extra isolatie boven een bepaald basisniveau [3,4].

## 5 Conclusie

In het TKI-KIEM project is een aanzet gedaan om de totale milieuprestatie van een gebouw te bepalen en uit te drukken in één enkele indicator, de DuurzaamheidsPrestatie Gebouwen (DPG).

De ontwikkelde rekenmethode bouwt voort op de bestaande EPG en MPG methoden en aggregeert de resultaten hiervan op een consistente manier tot één enkele prestatie-indicator die de gehele levenscyclus van een gebouw beschouwt en zowel materiaalinzet als energiegebruik meeneemt.

De nieuwe methode is ingebouwd in een speciale versie van de GPR Gebouw software, en is getest door partners in TKI-KIEM in praktijkvoorbeelden. Daarnaast is binnen TKI KIEM een aantal activiteiten uitgevoerd die de toepasbaarheid van de DPG-methode hebben vergroot, met name door de toegankelijkheid van data in de Nationale Milieu Database te verbeteren en door schattingsmethodes voor de materiaalhoeveelheden in draagconstructies te ontwikkelen. Daarnaast is een rekeninstrument opgesteld om de Total Cost of Ownership van gebouwen beter in beeld te brengen.

Binnen TKI KIEM is een werkbare en breed gedragen methode ontwikkeld voor integrale beoordeling voor de milieubelasting van een gebouw, op basis van bestaande en in de bouwregelgeving opgenomen rekenmethodes van EPG en MPG. Vervolgens is deze methode geïmplementeerd in een rekeninstrument (GPR Gebouw) en in de praktijk getest in een aantal pilots. Hiermee is in onze ogen een belangrijke stap vooruit gezet om de milieu-impact van nieuwe en bestaande gebouwen te kunnen verlagen. Partners in de bouwketen en gebouweigenaren zullen hier in de toekomst mee aan de slag moeten gaan om zo'n verbeterslag te realiseren.

## 6 Referenties

- [1] Stichting Bouwkwiteit, Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken, Versie 2.0, Stichting Bouwkwiteit, Rijswijk, November 2014.
- [2] NEN, NEN7120 Energieprestatie van gebouwen – Bepalingsmethode, NEN, Delft, 2012-2014.
- [3] E.A. Alsema, D. Anink, A. Meijer, A. Straub & G. Donze, Integration of Energy and Material Performance of Buildings: I=E+M, submitted for publication in Energy Procedia.
- [4] G.J. Donze, E.A. Alsema, D.A.F. Anink, Integrale beoordeling energie en materiaalgebruik: D=E+M, Bouwfysica, 2-2015.
- [5] A. Straub, A. Meijer, E. Alsema, G. Donze, Hoe duurzaam zijn renovatie en onderhoud? Renda, Kennisnetwerk bestaande bouw, juni 2016.

Meer informatie en achtergrondmateriaal vanuit het KIEM project is te vinden op [www.tki-kiem.nl](http://www.tki-kiem.nl).