

# INTEGRALE BEOORDELING ENERGIE- EN MATERIAALGEBRUIK: $D = E + M$

TKI-KIEM CONSORTIUM LEGT MET DE DPG-METHODE BREED GEDRAGEN BASIS VOOR INTEGRALE DUURZAAMHEIDSBEOORDELING GEBOUWEN

**In het TKI project KIEM heeft een breed consortium een afwegingskader en rekenmethodiek ontwikkeld voor integrale beoordeling van de milieubelasting van gebouwen over de gehele levenscyclus, door de bestaande EPG en MPG onder één noemer te brengen:  $D = E + M$ . Het artikel belicht de methodiek, resultaten van verkennende berekeningen en vooruitzichten.**



ir. G.J. (Geurt) Donze,  
W/E adviseurs, TKI-KIEM



drs. E.A. (Erik) Alsema,  
W/E adviseurs, TKI-KIEM



ir. D.A.F. (David) Anink,  
W/E adviseurs, TKI-KIEM

## INLEIDING

Voor het beperken van de milieubelasting ligt de focus tot nu toe vooral bij het operationele energieverbruik. Door de voortvarende aanpak van het operationele energieverbruik (tot en met NZEB/BENG) wordt de milieubelasting van het materiaalverbruik een relevante factor voor het verder verbeteren van de milieuprestaties van gebouwen. Dit vraagt om een genuanceerde afweging van de integrale milieubelasting in alle levensfasen van een gebouw.

Er zijn twee milieu-gerelateerde prestatieberekeningen: de 'vertrouwde' EPG voor de energieprestatie tijdens de gebruiksfase, en de 'nieuwe' MPG die kijkt naar milieueffecten van de materialen in het gebouw.

Hoewel historisch begrijpelijk, is deze splitsing in twee methodes en indicatoren wetenschappelijk gezien onnodig en vanuit duurzaamheids-perspectief onwenselijk. Voor ontwerp-, bouw- en onderhoudspartijen ontbreekt duidelijkheid om een keuze te maken op basis van integrale beoordeling vanuit oogpunt van zowel energie- als materialen. Die kan snel leiden tot suboptimale keuzes, in termen van CO<sub>2</sub>-emissie en kosten, bij renovaties en nieuwbouw. De gescheiden beoordeling werkt bovendien remmend voor duurzame productinnovatie.

In het TKI project KIEM heeft een breed consortium het belang van deze problematiek gezien en het initiatief genomen een afwegingskader en rekenmethodiek te ontwikkelen voor integrale beoordeling van de milieubelasting van gebouwen over de gehele levenscyclus. TKI-KIEM ("Kwaliteit door Integrale evaluatie van Energie en Milieu") wordt mede gefinancierd vanuit TKI-EnerGO, de Topsector Energie en Gebouwde Omgeving. Het consortium kent ruim 30 deelnemers uit de wereld van onderzoek, industrie, brancheorganisaties, corporaties en bouw- en onderhoudsbedrijven. Een klankbordgroep met leden van onder andere het ministerie BZK, RVO en Bouwend Nederland helpt het draagvlak te borgen. Meer inhoudelijke informatie is publiek beschikbaar [1].

In het artikel lichten we de KIEM-methodiek en het ontwikkeld rekeninstrumentarium toe en presenteren we de eerste verkennende berekeningen.

## MILIEU PRESTATIE GEBOUWEN (MPG)

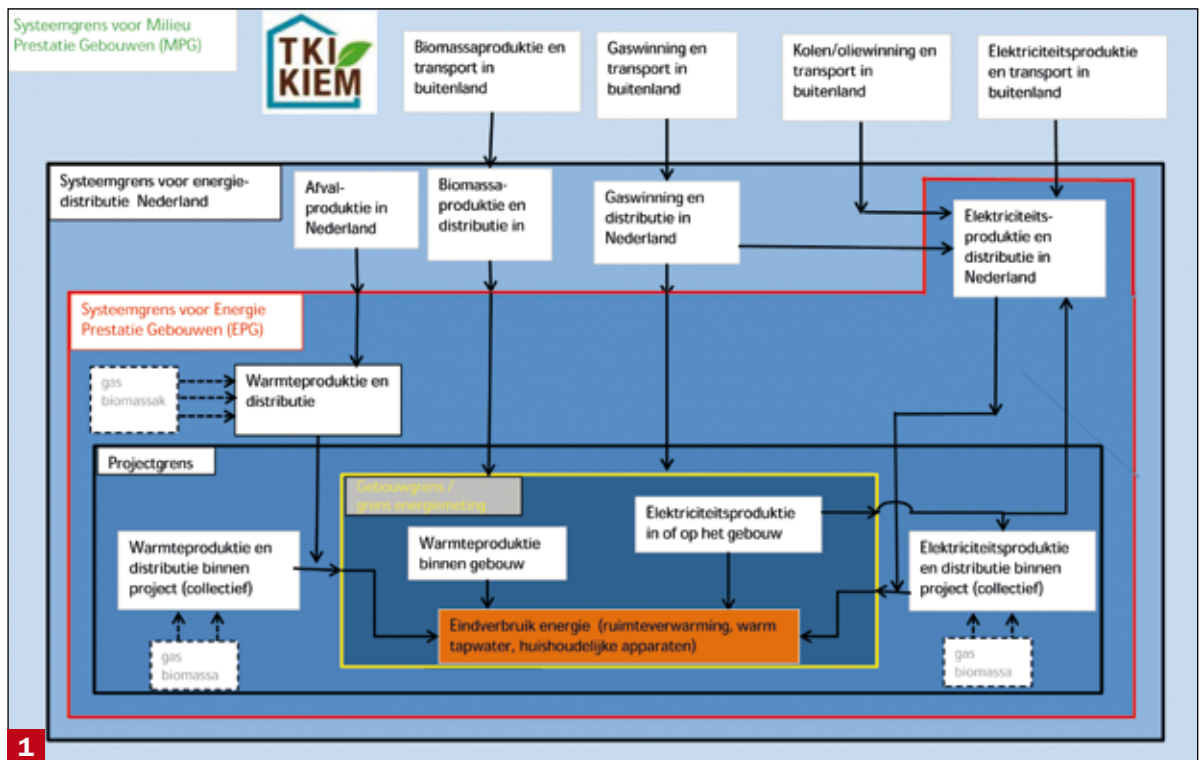
De Milieu Prestatie voor Gebouwen [2] levert een bepalingsmethode waarin milieu-impacts van materialen in een gebouw bepaald worden op basis van de methode van Levens Cyclus Analyse (LCA). Om deze methode te kunnen toepassen is ook de Nationale Milieu Database (NMD) van bouwproducten ontwikkeld. De impacts op verschillende milieuthema's zoals klimaatverandering (CO<sub>2</sub>) en daarnaast verzuring, humane toxiciteit etc. worden volgens de Schaduwprijsmethode geaggregeerd naar een éénpuntscore, de milieuprestatieindicator, die wordt in uitgedrukt in S€. De totale milieu-impact wordt vervolgens omgeslagen over de levensduur van het gebouw in jaren. Als functionele eenheid voor het gebouw is gekozen voor de m<sup>2</sup> Bruto Vloer Oppervlak (m<sup>2</sup> BVO). De eenheid voor de MPG, is daarmee S€ per m<sup>2</sup> BVO per jaar.

Omdat de MPG is gebaseerd op de LCA-methode worden in principe alle economische activiteiten vanaf de grondstofwinning tot aan de afvalverwerking in de evaluatie betrokken (cradle-to-grave). Hergebruik van materialen wordt ook gewaardeerd in deze methode. Dit betekent dat de systeemgrens voor de MPG in feite de hele fysieke wereld kan omvatten.

Daar de MPG alleen kijkt naar de materialen van een gebouw en gebouwgebonden installaties, betekent dit dat het operationele energieverbruik, dat wil zeggen het energieverbruik in de gebruiksfase van het gebouw, niet in de beschouwing wordt betrokken. Dit energieverbruik is het domein van de EPG.

## ENERGIE PRESTATIE GEBOUWEN (EPG)

In de EPG bepalingsmethode (NEN 7120) wordt een analyse gemaakt van het genormeerde energieverbruik van het gebouw tijdens de gebruiksfase, op basis van een gedetailleerd thermisch gebouwmodel. Resultaat van een EPG bepaling is onder meer het jaarlijks verbruik van finale en primaire energie bij een standaard gebruik van het gebouw. Als bijkomend resultaat kunnen CO<sub>2</sub>-emissies gerelateerd aan het energieverbruik bepaald worden. De verbruikscijfers voor finale energie hebben in principe betrekking op het verbruik binnen het gebouw, zoals gemeten door de energiemeters (voor gas en elektriciteit). ►



1 Schema systeemgrenzen EPG en MPG (weergave energiestromen)

Daarmee ligt de systeemgrens in eerste instantie op de kavelgrens van het gebouw. Echter, door toepassing van (standaard) conversiefactoren van finaal naar primair energiegebruik wordt de systeemgrens uitgebreid zodat effectief ook de Nederlandse elektriciteitsproductie binnen de systeemgrens valt (figuur 1). Ook opwekking van warmte voor externe warmtelevering valt in principe binnen de systeemgrens van de EPG.

Merk op dat materialen die nodig zijn voor het aanleveren of omzetten van de energiedragers geen rol spelen in de EPG bepaling (maar wel in de MPG worden meegenomen). De functionele eenheid voor de EPG is de  $m^2$  verwarmd gebruiksoppervlak ( $m^2GO_{verw}$ ), en dus anders dan in de MPG.

### DUURZAME PRESTATIE VAN GEBOUWEN (DPG)

Omdat we de totale milieuprestatie willen waarden, ligt het voor de hand om voor de systeemgrenzen, bepalingsmethode en functionele eenheid zo veel mogelijk aan te sluiten bij de MPG methode. Deze is immers al gebaseerd op de LCA methodiek voor integrale evaluatie van milieueffecten van producten. Met deze keuze garanderen we dat een breed scala aan milieuthema's binnen zeer ruime systeemgrenzen in de evaluatie wordt betrokken. Afschuiving van milieueffecten van de gebruiksfase naar de productie-, bouw- of sloopfase, of afschuiving van effecten op klimaatverandering naar toxiciteit kan hiermee vermeden worden.

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.

Als we de impactscore van energiegebruik, op basis van EPG-resultaten, weergeven als  $EPG^*$ , dan kunnen we 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-impacts 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 (IF) voor de belangrijkste (finale) energiedragers die de EPG onderscheidt:

$$EPG^* = (\text{Energieverbruik drager}_1 * IF_1) + \dots + (\text{Energieverbruik drager}_n * IF_n)$$

waarbij drager 1 tot en met n de verschillende energiedragers zijn die voor het finale energiegebruik van een gebouw worden ingezet, bijvoorbeeld elektriciteit, aardgas of externe warmte.

### IMPACTFACTOREN ( $IF_x$ )

De Impactfactoren ( $IF_x$ ) geven de impactfactor per eenheid energie voor een bepaalde energiedrager weer, waarin de milieu-impact van de winning, omzetting en distributie van die energiedrager wordt verrekend. De impactfactoren kunnen twee bijdragen omvatten: extern en intern.

Extern ( $IF_{extern}$ ) betreft het de milieu-impacts die optreden door activiteiten buiten de gebouwgrenzen. Dit wil zeggen, alle impacts veroorzaakt door de winning, conversie en distributie van de energiedrager tot aan de voordeur (energiemeter) van het gebouw. Hierin moeten in principe ook de impacts van materialen voor de distributienetwerken en andere kapitaalgoederen buiten het gebouw worden meegenomen. Omdat deze activiteiten niet beïnvloeden

vloedbaar zijn voor de ontwerper of gebruiker van het gebouw hanteren we voor  $IF_{\text{extern}}$  per energiedrager generieke waarden.

De interne milieu-impacts ( $IF_{\text{intern}}$ ) worden veroorzaakt door energie-omzettingsprocessen binnen het gebouw, bijvoorbeeld bij de verbranding van aardgas in een verwarmingsketel. Omdat dit samenhangt met de keuze van het verbrandingstoestel heeft de ontwerper of gebruiker van het gebouw hier invloed op. Het hanteren van een generieke waarde voor  $IF_{\text{intern}}$  is dus minder wenselijk. Toegespijst op gastoestellen kan de  $IF_{\text{intern}}$  per type ketel verschillen door:

- verschil in omzettingsrendement van gas naar warmte;
- ander verschil verbrandingsemissie, bijvoorbeeld  $NO_x$ -emissie, onafhankelijk van omzettingsrendement.

De rendementsfactor is eenvoudig mee te nemen omdat die tot uitdrukking komt in het aantal  $m^3$  gas dat geconsumeerd wordt voor het gebouw. Verschillen in verbrandingsemissies echter, zijn niet of nauwelijks bekend, deze kunnen per keteltype bekend worden gemaakt door producenten van verwarmingstoestellen. Op dit moment is het dus nog lastig om een  $IF_{\text{intern}}$  vast te stellen die rekening houdt met de verschillen in emissies per ketel, anders dan veroorzaakt door rendementsverschillen.

De impactfactoren worden afzonderlijk vastgesteld per energiedrager, voor zover relevant voor gebruik in de gebouwde omgeving. Tabel 1 geeft daarvan voorbeelden. De energiedragers die in de EPG-methode worden onderscheiden, zijn elektriciteit, aardgas, externe warmte (kolen/olie of AVI), externe koude en biomassa.

**FUNCTIONELE EENHEID**

Het is gebruikelijk om de prestatie-indicator van een gebouw te karakteriseren voor een bepaalde functionele

eenheid. Meestal wordt hiervoor de  $m^2$  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  $m^2$  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 en onverwarmd gebruiksoppervlak.

We hebben al gezien dat de functionele eenheden verschillend gekozen zijn:

- EPG:  $m^2$  verwarmd gebruiksoppervlak
- MPG:  $m^2$  bruto vloeroppervlak

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

**KIEM INDICATOR EN PILOTS**

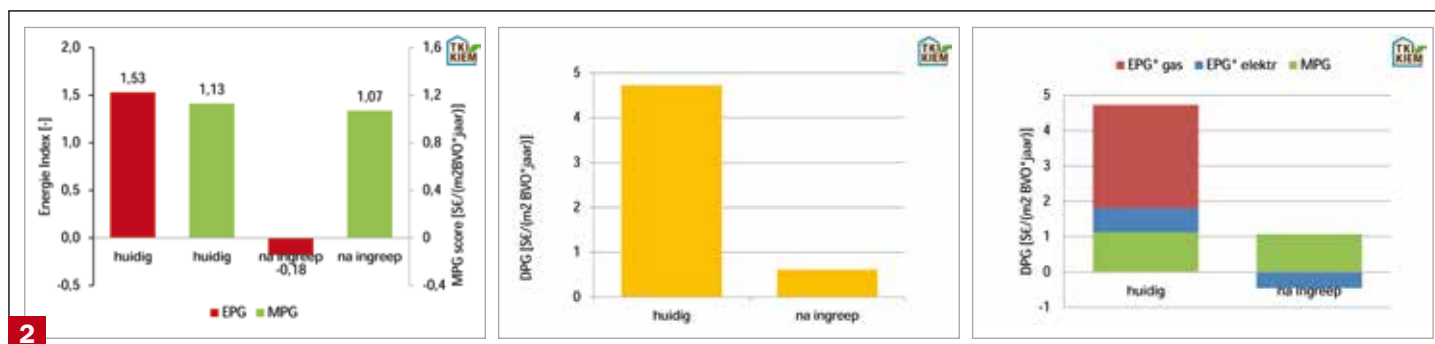
De DPG-score, ook wel KIEM-indicator, is ingebouwd in GPRgebouw 4.2 en voor de partners beschikbaar als een KIEM pilot versie. Er is 1 op 1 aangesloten op de gevalideerde rekenkernen voor de EPG- en MPG, inclusief een actuele koppeling met de NMD 1.6.

In de pilots kiezen we voor praktijk relevante optimalisatievraagstukken. Die betreffen analyses op het niveau van hele vastgoedportefeuilles, concrete variantstudies voor corporatie-complexen tot het gedetailleerd afwegen van onderhoudsscenario's. In de pilots wordt ook ervaring opgedaan met de binnen TKI-KIEM door de TU Delft ontwikkelde TCO-methodiek en met de specialistische tool GPRonderhoud [3]. Ook zal een aantal nieuwbouw- en Nul Op de Meter (NOM) concepten met DPG de duurzaamheidsmaat genomen worden.

Tabel 1: Voorbeelden impactfactoren (IF) elektriciteit en aardgas

impact categorie	elektriciteit [S€/kWh]	totaal gas* ) [S€/m³]	aanvoer [S€/m³]	verbranding [S€/m³]
abiotic depletion, non fuel (AD)	1,49E-07	1,43E-08	1,43E-08	0,00E+00
abiotic depletion, fuel (AD)	8,09E-04	3,76E-03	3,76E-03	0,00E+00
global warming (GWP)	3,42E-02	1,31E-01	1,38E-02	1,17E-01
ozone layer depletion (ODP)	6,78E-07	4,29E-06	4,29E-06	0,00E+00
photochemical oxidation (POCP)	1,52E-04	4,96E-04	3,89E-04	1,07E-04
acidification (AP)	4,26E-03	2,46E-03	1,14E-03	1,32E-03
eutrophication (EP)	2,53E-03	1,33E-03	5,72E-04	7,58E-04
human toxicity (HT)	1,45E-02	4,42E-02	1,98E-02	2,44E-02
ecotoxicity, fresh water (FAETP)	6,25E-05	2,31E-05	1,99E-05	3,20E-06
ecotoxicity, marine water (MAETP)	3,84E-03	2,71E-02	2,71E-02	3,28E-07
ecotoxicity, terrestrial (TETP)	5,60E-04	2,02E-05	1,78E-05	2,38E-06
<b>totaal</b>	<b>6,09E-02</b>	<b>2,10E-01</b>	<b>6,66E-02</b>	<b>1,44E-01</b>

\* Milieu-impact van aanvoer en verbranding van aardgas in HR-ketel volgens MPG methode, uitgedrukt in schaduwprijs per  $m^3$  geleverd (en verbrand) aardgas. Levering en verbranding van gas zijn uitgesplitst omdat het eerste buiten de invloed van de gebouwonwerper valt, terwijl het tweede wel afhangt van ontwerpkeuzes.



2 Basisrenovatie: Energetische en materiaaleffecten huidige situatie en na ingreep (links), geaggregeerde DPG (midden) en E- en M-deelscores (rechts)

### VERKENNENDE BEREKENINGEN BESTAANDE BOUW

Vooruitlopend op de pilots zijn verkennende berekeningen met de KIEM-rekensoftware verricht. De eerste casus betreft een bestaande rijwoning uit 1979, waarvoor een aantal scenario's de revue passeert. Vanuit de huidige situatie is eerst een stevig pakket als uitgangspunt gekozen, zie tabel 2.

Daarmee neemt de energetische kwaliteit toe in termen van EI (en EPC) en daalt het jaarlijkse woninggebonden energiegebruik fors. Aan de andere kant daalt de milieubelasting door materiaalgebruik (MPG) tijdens de veronderstelde levensduur enigszins, zie figuur 2a. Het netto effect van toevoegen van materialen, het vervroegd afschrijven door verwijderen van materialen wordt meer dan gecompenseerd door het aangenomen verlengen van de levensduur.

Het gecombineerde effect is dat de overall milieuprestatie DPG met een dominante rol voor het energiegebruik met 87% afneemt (figuur 2b). Figuur 2c toont voor deze variant het relatieve effect van de EPG'en MPG scores.

We variëren vervolgens enkele parameters ten opzichte van het vergaande pakket en presenteren de effecten met

een onderscheid in EPG\* naar energiedragers elektra en gas en MPG.

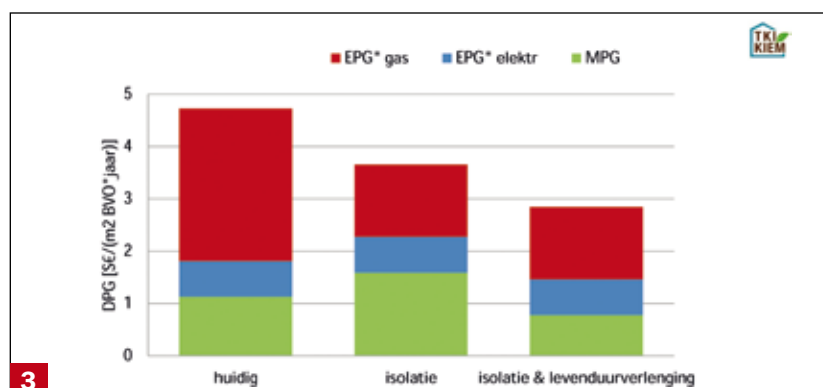
Door een hoog niveau aanpak kan de oorspronkelijke levensduur zoals die standaard is voorgeschreven in de MPG-methodiek verlengen. Figuur 3 toont een pakket met enkel toevoeging van isolatie. In variant 1 is geen levensduurverlenging aangenomen, terwijl in variant 2 de levensduur vanwege de ingreep verlengd is met 50 jaar. Dit beïnvloedt de MPG, en daarmee de DPG-score substantieel. Let wel, een levensduurinschatting dient niet sec een eenvoudige reKentruc te zijn, maar dient in de praktijk onderbouwd te worden.

Tweede exercitie betreft het achterwege laten van de beide zonne-energietechnieken (PV, zonneboiler) en handhaven van de warmtepomp (WP) in het oorspronkelijke pakket. Door een toename van het elektragebruik in deze all electric variant (geen compensatie door PV) is de reductie van de DPG geen 87%, maar slechts de helft (42%). Van belang voor all electric varianten is natuurlijk de milieu-impact van de standaard 'grijze' stroommix. Wanneer we zouden rekenen met levering van alleen groene stroom zou de EPG\* impact voor stroom aanzienlijk lager kunnen zijn. Omdat de ontwerper van de woning(renovatie) geen invloed heeft op deze keuze van de energiegebruiker moeten we toch uitgaan van een "standaard" stroommix. In andere situaties zou het denkbaar kunnen zijn dat we ook keuze voor groene stroom mogelijk maken, bijvoorbeeld als aan het gebouw een lange termijn contract voor groene stroom gekoppeld is.

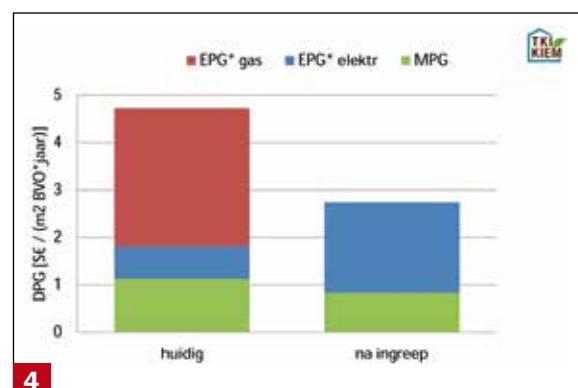
Figuur 5 vat de DPG-scores van de voorbeeld berekeningen samen, waarbij ook een variant met standaard na-isolatie in plaats van het  $R_c = 7,5 \text{ m}^2\text{K/W}$  regime is toege-

Tabel 2: Basis renovatiepakket Rijwoning 1979

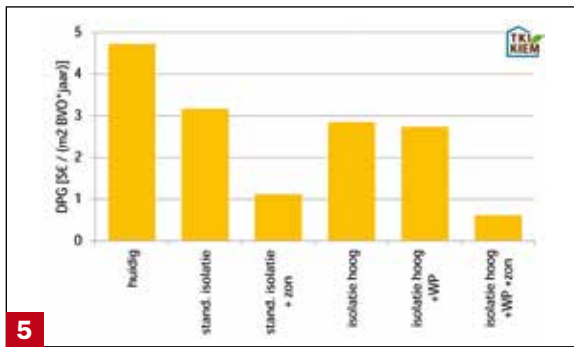
	huidig	na ingreep
dichte gevel/dak	$R_c = 1,25-1,55 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 7,5 \text{ m}^2\text{K/W}$
glas	50% enkel, 50% dubbel	3-voudig HR**
verwarming	HR-gas	WP-lucht (all electric)
zonne-energie	-	34 m <sup>2</sup> zon-PV+ zonneboiler combi



3 Bestaande bouw, alleen isolatie: effecten levensduurverlenging



4 Basisrenovatie zonder zonne-energie



5 Bestaande bouw: DPG scores varianten voorbeeldberekening samengevat

voegd. Algemene conclusie kan zijn dat de DPG met zijn aggregatie van EPG en MPG effecten een goed hulpmiddel is voor optimalisaties van renovatieconcepten. Inhoudelijk vallen in het voorbeeld de relatief gunstige impact van (standaard)isolatie, zonne-energie technieken en levensduurverlenging op.

**VERKENNENDE BEREKENINGEN NIEUWBOUW: OP WEG NAAR NEUTRAAL**

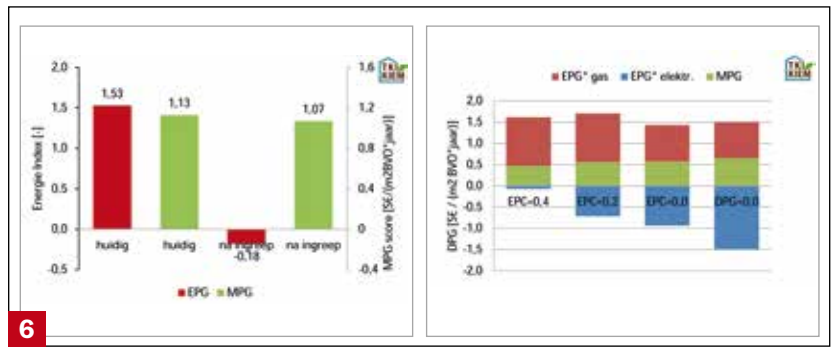
Voor de bestaande bouw ontstaat er het eerste gevoel, met inzichten in de relatieve bijdragen van de ‘E’ en de ‘M’ voor de gewogen overall score ‘D’. Door het vertrekpunt van een hoog energiegebruik en de mogelijkheden van keuzen voor vraagbeperking en inzet van duurzame opwekking in combinatie met levensduurverlenging is het optimalisatie spel te spelen.

Maar hoe zit dat met de huidige nieuwbouw en de aankomende BENG/NZEB gebouwen die rond 2020 wettelijk de norm zijn? We verkennen dit met een referentie nieuwbouwwoning, type ‘2 onder 1 kap’.

De basis is een EPC = 0,4 variant met gedifferentieerde schilisolatie [3], en 14 m² PV. De milieubelasting door materiaalgebruik maakt in dit soort gevallen al een kwart tot een derde uit van de totale milieubelasting (figuur 6).

Vervolgens is doorgestapt naar een ‘BENG’-niveau met het getrappt omlaag brengen van de EPC naar 0,2 en 0,0. In de variant van EPC = 0,2 hielden we het simpel en verhoogt de hoeveelheid PV van 14 naar 28 m². Bij de EPC = 0,0 variant pakten we de schil verder aan met een uitstekende (en in de praktijk te garanderen!) hoogwaardige luchtdichtheid, het elimineren van alle koudebruggen, het vervangen van het HR++ glas door een triple variant (U = 1,0 W/m²K) en het vervolgens dichten van het rekenkundige EPC-gat met 2 m² extra PV.

We zien in deze variant dat de daling van de DPG die van de EPC redelijk lineair volgt; het effect van het duurzaam opwekken van zonnestroom compenseert het effect van gasconsumptie. In het verlengde hiervan is de exercitie gedaan om na de EPC de DPG naar (bijna) neutraal te krijgen. Het recept lijkt voor de hand te liggen: Compenseer de milieubelasting van de materialen door het opwekken van meer zonnestroom. De hoeveelheid PV neemt dan toe met een extra 10 m² tot 40 m².



6 DPG scores voorbeeldberekeningen ‘neutrale’ nieuwbouw

**TOT SLOT**

In dit artikel hebben we de methodiek beschreven om de integrale duurzaamheidsprestatie van een gebouw te bepalen op basis van MPG- en EPG-resultaten. Tevens zijn eerste verkenningen gepresenteerd van deze duurzaamheidsprestatie (DPG, KIEM-indicator), voor zowel renovatie-als nieuwbouwsituaties. We willen hieruit geen generieke conclusies trekken in de zin van techniek A is te prefereren boven techniek B. Daarvoor is de context van het onderzochte gebouw te bepalend. In de voorbeelden met renovatie zien we wel dat het effect van operationeel energiegebruik (dat wil zeggen energie tijdens gebruiksfase) dominant is in de eindresultaten, ook na renovatie. Verkenning van bestaande en nieuwe “Nul-op-de-Meter” renovatieconcepten kan interessante inzichten opleveren.

Als we nieuwbouwsituaties beschouwen en daarbij opties richting BENG verkennen, of verdergaand, richting “zero-impact” gebouwen, dan zien we wel duidelijk dat de materiaalgebonden impacts belangrijk gaan worden. De gepresenteerde methodiek biedt daarmee een stimulans én een hulpmiddel voor milieugerichte proces- en productinnovaties voor alle actoren binnen de bouwkolom, inclusief de toeleverende industrie.

Zonneklaar is wel dat toepassing van PV panelen een sterk positief effect heeft op de duurzaamheidsprestatie van gebouwen en dat deze technologie zeer behulpzaam en misschien zelfs onmisbaar is om energieneutrale of “zero-impact” gebouwen te realiseren.

Pilots zijn binnen TKI-KIEM gestart en worden in het najaar afgerond. Daarnaast ligt er een aantal inhoudelijke vraagstukken onder andere het vaststellen van een impactfactor bij externe warmte-opwekking en -distributie met de allocatievraagstukken die daarbij aan de orde komen. Eind 2015 word het KIEM-project afgerond en komt de geëvalueerde methode beschikbaar voor de markt. ■

**BRONNEN**

- ▶ [1] <http://tki-kiem.nl/>
- ▶ [2] Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken, versie 2, SBK, Rijswijk, 2014EN15978
- ▶ [3] <http://www.gpronderhoud.nl/>
- ▶ [4] Aanscherpingsstudie EPC woningbouw en utiliteitsbouw 2015, W/E adviseurs & Arcadis, i.o.v. RVO/BZK, december 2013