

WAT IS DE OPTIMALE GEBOUW-MILIEUPRESTATIE?

EEN AFWEGING TUSSEN DE IMPACT VAN ENERGIEVRAAG EN MATERIAALINZET



TNO innovation
for life

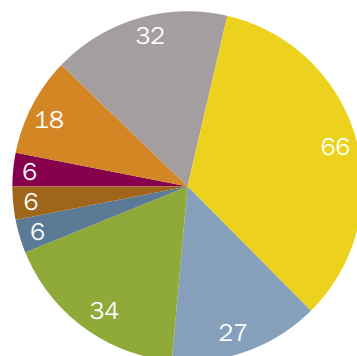
BOUW EN DUURZAAMHEID

De gebouwde omgeving levert in Nederland een belangrijke bijdrage aan de emissie van broeikasgassen. De emissie in 2015 bedroeg circa 30 Mton CO₂-equivalenten ten opzichte van een totale emissie van circa 200 Mton CO₂ (eq.), oftewel bijna 15%. In het nastreven van nationale afspraken zoals het Akkoord van Parijs, probeert Nederland broeikasgasemissies te reduceren door onder andere het energiegebruik in de gebouwde omgeving terug te dringen. Een belangrijk middel hierbij is de EnergiePrestatie van Gebouwen (EPG) en de daarop gebaseerde energieprestatie-coëfficiënt (EPC). Op basis van deze EPC stelt het Bouwbesluit eisen aan de energiezuinigheid van nieuwe woningen en utiliteitsgebouwen.

Broeikasgasemissies ontstaan echter niet alleen door direct energieverbruik, maar ook bij de productie en verwerking

van materialen in de industrie. Gegevens van CBS Statline laten zien dat materiaalgebruik in de Bouwnijverheid verantwoordelijk is voor ongeveer 4 Mton CO₂(eq.)-emissies. Beheersing van materiaalgebruik in de bouw draagt dus ook bij aan de nationale doelstellingen. Daarnaast heeft het kabinet in het Rijksbrede

Programma Circulaire Economie de doelstelling neergezet om over twaalf jaar 50% minder primaire grondstoffen te gebruiken. Daarom is sinds 2018 in het Bouwbesluit een eis opgenomen met betrekking tot de materialeninzet in gebouwen via de MilieuPrestatie Gebouwen (MPG).



Figuur 1. Broeikasgasemissies van sectoren in de Nederlandse economie in 2015, in Megaton CO₂-equivalenten. Met 'overige emissies' worden emissies van andere broeikasgassen zoals methaan bedoeld. Bron: CBS Statline.

In het streven naar een zo groot mogelijke bijdrage van de gebouwde omgeving aan onze milieu- en met name klimaatdoelstellingen, is het noch de energieprestatie, noch de milieuprestatie alleen die die optimale prestatie bepaalt. Die optimale prestatie ligt in een integrale benadering van de milieuprestatie van een gebouw over zijn totale levensduur en dus in een rationele samenhang tussen de energie-eisen en materiaalgerelateerde eisen. Deze verkenning illustreert hoe die integrale benadering eruit zou kunnen zien.

ENERGIE EN MATERIALEN: SAMENHANG VOOR EEN OPTIMALE MILIEUPRESTATIE

De ervaring met het bepalen en vervolgens verbeteren van de energieprestatie van gebouwen is groot. Energiemaatregelen worden al jarenlang onderzocht door kennisinstututen (bijvoorbeeld ECN, part of TNO, EIB, CBS) en ingenieurs- en adviesbureaus. Vanuit de overheid worden er sinds de jaren '90 steeds strengere eisen gesteld aan nieuwe gebouwen in de vorm van energieprestatie-eisen (EPC op basis van EPG). Er bestaat reeds een scala aan publicaties over alternatieve energieopwekking en energiebesparende maatregelen in gebouwen en de invloed daarvan op de EPC. Die ervaring is samen te vatten en te ordenen met de *trias energetica*:

- 1) **minder** energie gebruiken door bijvoorbeeld betere isolatie van gevels en toepassing van LED-verlichting,
- 2) **hernieuwbare** energie gebruiken door middel van zonnepanelen en windmolens, en
- 3) **efficiënter** energie gebruiken door middel van technieken zoals warmte-koude opslag.

Die ervaring is er nog niet op het gebied van de MPG. Pas sinds 2012 is het verplicht om bij de bouw van nieuwe woningen en kantoren met een oppervlakte van meer dan 100 m² een MPG-berekening te doen en sinds 2018 heeft de overheid een grenswaarde ingesteld bij elke aanvraag voor een omgevingsvergunning: een te berekenen milieu-impact mag niet hoger zijn dan 1,0 MKI¹ per m² bruto vloeroppervlakte (BVO) per jaar.

Er is nog niet veel onderzoek gedaan naar de (energiegerelateerde) factoren die de MPG beïnvloeden. DGMR² heeft een uitgebreide vergelijking gemaakt van de MPG's van voorbeeldwoningen met verschillende energieprestaties, maar niet naar de variatie in de onderliggende factoren. Het enige onderzoek naar de parameters die de MPG op gebouwniveau beïnvloeden is gedaan door W/E adviseurs³. Hieruit bleek dat met name energiegerelateerde installaties een belangrijke bijdrage leveren aan de totale materiaalimpact.

Om de energieprestatie van een gebouw te verbeteren is er in de regel een hogere inzet van materialen nodig. Dit wordt ook aangekaart op de website van RVO:

“Een belangrijk aandachtspunt is dat maatregelen die gunstig zijn voor de EPG, ongunstig kunnen zijn voor de MPG en omgekeerd. Dikkere isolatie of zonnecellen verbeteren bijvoorbeeld de EPG, maar verslechteren de MPG. De milieubelasting van het produceren van een zonnecel is hoog en verhoogt daardoor de MPG. Omdat met een zonnecel elektriciteit wordt geproduceerd, wordt de EPG lager”⁴.

INTERNATIONAAL IS COMBINATIE VAN MATERIALEN EN ENERGIE AL STANDAARD

Vanuit een internationaal perspectief is een integrale duurzaamheidsbepaling overigens geen ingewikkelde casuïstiek, maar eerder een non-discussie. De internationale standaard EN15978, die de rekenregels voor het bepalen van duurzaamheid van gebouwen voorschrijft, behelst zowel de materiaalcomponent als de energieconsumptie tijdens de gebruiksfase van bouwwerken. Dat Nederland voor materiaal- en energiegerelateerde impacts aparte maatstaven hanteert, staat los van deze integrale benadering.

“GRENSWAARDE MPG KAN VERBETERING ENERGIEPRESTATIE IN DE WEG ZITTEN”

1 MKI is de officiële rekeneenheid voor het bepalen van milieuprestaties van gebouwen, conform de SBK Bepalingsmethode (zie voetnoot 10).

2 Nijland-Huinen, M. (2017). De MPG van NOM-, BENG- en ZEN-woningen.

3 Anink, D.A.F. (2017). Onderzoek 'Principes en parameters Milieuprestatie Gebouwen (MPG)'. Op basis van ervaringen in 2012 – 2016. Zie ook: www.duurzaamgebouwd.nl/artikel/20180206-voldoet-mijn-beng-woning-straks-aan-de-mpg-eis.

4 <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels-gebouwen/nieuwbouw/milieuprestatie-gebouwen>

Vervolgens geeft RVO echter geen suggestie hoe met dit dilemma om te gaan. Een grenswaarde voor de MPG kan daardoor een (mogelijk sterke) verbetering van de energieprestatie, en mogelijk ook van de integrale duurzaamheidsprestatie, in de weg zitten. Een integrale duurzaamheidsprestatie betekent een weging tussen de milieu-impact van de materiaal-inzet en die van de energiebehoefte gedurende de levensduur van het

gebouw, ten behoeve van een optimale milieuprestatie. Er is behoefte aan een integrale duurzaamheidsprestatie-eis.

Het consortium van TKI KIEM heeft hiervoor een integrale duurzaamheidscore (DPG) ontwikkeld, maar afgezien van twee rapporten van W/E adviseurs^{5,6}, is deze nog niet breed geïmplementeerd in de bouwwereld. Naast de DPG bevatten de duurzaamheidstoets

BREEAM en GPR (verschillende) weegfactoren om MPG en EPG mee te nemen in duurzaamheidsbeoordelingen, maar dit is op kwalitatieve en niet kwantitatieve basis. Onder andere door LBP Sight^{7,8}, is al eens voorgesteld om materiaal- en energie-impacts kwantitatief te vergelijken aan de hand van een schaduwprijs⁹, maar deze aanpak is nog niet verder geïmplementeerd in de praktijk.

OPTIMALISATIE VAN INTEGRALE DUURZAAMHEIDSPRESTATIE: EEN CASE STUDY

INTRODUCTIE: ENERGIEMAATREGELEN OP EEN BEDRIJVENTERREIN

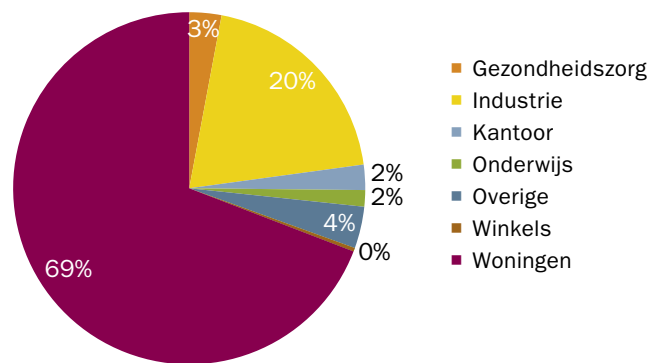
Om de rol van energie en materialen te laten zien in relatie tot de integrale milieuprestatie van gebouwen, werken we een op de praktijk geënte situatie uit, en laten we zien hoe de optimale milieu-kostenindicatie (MKI) hiervan kan zijn in relatie tot de onderliggende factoren. Daar kunnen suggesties aan worden ontleend hoe met deze beide prestatie-indicatoren, MPG en EPG, om te gaan.

Bij de bepaling van milieuprestaties gaan we uit van de door het Bouwbesluit voorgeschreven methodes¹⁰: hierbij worden zowel materiaal- als energiegerelateerde milieu-impacts uitgedrukt in MKI's. Voor de inventarisatie van bouwmaterialen is gebruik gemaakt van het BoB-model, een bouwmaterialen-model dat ontwikkeld is door TNO¹¹. Het BoB-model is gebaseerd op inschattingen van de materiaalsamenstelling van referentie-objecten in samenhang met nationale overzichten van infrastructuur en de gebouwde omgeving (zoals het BAG).

De case is verder gebaseerd op de verduurzamingsmogelijkheden van bedrijventerreinen. Deze keuze is om twee redenen relevant. Op de eerste plaats vormen gebouwen op bedrijventerreinen een significant deel van het bouwvolume en van de milieu-impact van

de nieuwbouw in Nederland (Figuur 2). Op de tweede plaats is via het werk van de stichting BE+¹² veel bekend over de manier hoe energiebesparende maatregelen zoals installaties (zonnepanelen, warmtepompen, ventilatiesystemen) en additionele bouwmaterialen (extra

Milieu-impact (MKI) van nieuwbouw in 2023



Figuur 2: Milieu-impact van nieuwbouw in 2023, berekend door TNO aan de hand van het BOB-model, op basis van investeringsscenario's van het EIB¹³. Deze impact omvat de bouw, het onderhoud en de sloop van alle gebouwen die in 2023 (nieuw) gebouwd worden.

5 Mak, J.P. (2017a). Duurzaamheidsprestaties onderwijsgebouwen MJA. Van EPG & MPG naar DPG & Circular.

6 Mak, J.P. (2017b). Duurzaamheid en Circulariteit van kantoorgebouwen. Van separate Energie- & Milieuprestatie naar integrale Duurzaamheid- & Circulariteitsprestatie van gebouwen.

7 Weerd, J. van der & Grefelman, W. (2014). Betere energieprestatie is slechtere milieuprestatie? Bouwfysica.

8 Grefelman, W. & Weerd, J. van der (2014). Het gebruik van de Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen: resultaten en mogelijke verbeteringen.

9 LBP Sight heeft voor het berekenen van de schaduwprijs van EPG alleen klimaatverandering meegenomen en niet de andere milieu-impacts uit de MKI

10 De "Bepalingsmethode Milieuprestatie van Gebouwen en GWW-werken" is gebruikt om de milieu-impacts te berekenen van diverse bouwproducten uit de Europese databaseecoinvent. De Nationale Milieudatabase is dus niet gebruikt, waardoor de hier gepresenteerde resultaten licht zullen afwijken t.o.v. berekeningen met puur Nederlandse bouwproducten. Voor de hoofdlijnen van dit paper maakt dit verschil echter niet uit.

11 Meer informatie, zie: www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/circulaire-economie-omgeving/roadmaps/environment-sustainability/circulaire-economie-basis-voor-een-duurzame-samenleving/unique-database-bevordert-circulaire-economie-met-bouw-en-sloopafval/.

12 BE+ helpt bedrijventerreinen met een duurzaamheidsvraag om inzicht te krijgen in hun energieverbruik, mogelijke energiebesparingsmaatregelen en hoe deze te implementeren. Hierdoor kan een forse milieu-impactreductie gerealiseerd worden. Zie ook: www.bepositief.nl/wie-zijn-we/#wat-doen-we.

isolatie, nieuwe beglazing, LED-lampen) bijdragen aan een verbetering van de energieprestatie. We weten van eerdere studies³ dat installaties fors kunnen bijdragen aan de MPG. Daarom hebben we voor één bedrijventerrein de energie-maatregelen en de materiaalimpacts naast elkaar gezet.

Om de impact van maatregelen op MPG, EPG en de integrale duurzaamheid te laten zien hebben we vier scenario's opgesteld:

- Scenario A 'Business-as-usual': een bedrijventerrein zonder aanvullende maatregelen.
- Scenario B 'Energiemaatregelen tot MPG-grenswaarde': Scenario A + maatregelen tot de MPG-grenswaarde 1 bereikt is: dakisolatie, gevelisolatie, beglazing, LED-lampen en WTW-ventilatie
- Scenario C 'Energie neutraal': Scenario B + maatregelen totdat energieneutraliteit¹⁴ ("EPG = 0") bereikt is met behulp van warmtepompen en PV.
- Scenario D 'Energiepositief': Scenario C + additionele maatregelen die een energiepositief bedrijventerrein opleveren ("EPG < 0"): meer PV t.o.v. scenario C.

RESULTAAT: DE MILIEU-IMPACT VAN MAATREGELLEN VAN BEDRIJVENTERREINEN

Alle vier de scenario's leiden tot een energie- en een daarmee samenhangende materiaalimpact (Tabel 1) voor het bedrijventerrein dat onderwerp van deze case study is. In Figuur 3 zijn deze materiaal- en energiegerelateerde impacts tegen elkaar uitgezet.

Tabel 1 Materiaal- en energiegerelateerde impacts voor de vier scenario's, beide uitgedrukt in MKI/m²jaar.

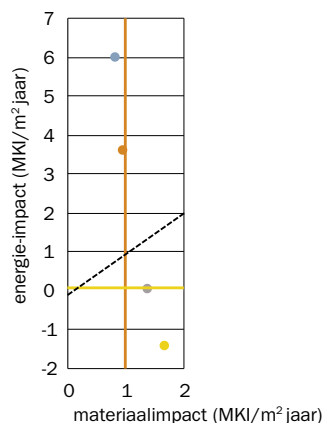
Scenario	Materialen	Energie
Zonder maatregelen (A)	0,83	5,94
Met maatregelen: tot MPG-grenswaarde (B)	0,98	3,57
Met maatregelen: energieneutraal (C)	1,41	0,00
Met maatregelen: energiepositief (D)	1,69	-1,43

Dat de verbetering van de energieprestatie gepaard gaat met een stijging van de impact van materialen blijkt duidelijk uit deze grafiek: de hoogste impact door energieverbruik heeft de laagste materiaal-impact en de beste energieprestatie heeft de hoogste materiaal gerelateerde impact. Het hard hanteren van een MPG-grenswaarde, zoals MPG=1 voor industrie in dit voorbeeld, vormt een forse rem op de energiereductiedoelen.

De bijdrage aan de gestegen MPG en sterke verlaging van energiegebruik komt vooral door de introductie van PV (Figuur 4). Verder liggen alle maatregelen in het gebied dat aangeeft dat ze per MKI geïnvesteerd (materiaal-MKI) altijd milieuwinst opleveren (energiebesparing / materiaalimpact > 0). De getoonde waarden zijn overigens slechts enkele voorbeelden van de milieumaatregelen die getroffen kunnen worden om energiebesparing te realiseren. Uiteraard is er nog veel meer mogelijk en tegen zeer verschillende materiaalkosten.

De integrale milieu-impact kan worden ingeschat door deze materiaal- en energie-impacts te vertalen naar MKI-waarden over de looptijd van het bedrijventerrein: in dit specifieke geval 320.000 m² industriegebouwen en 50 jaar (zie Figuur 5). Door dit te doen kunnen de materiaal- en energie-impacts worden opgeteld waardoor een netto integrale milieu-impact ontstaat. Dit is de

Impact van sturing op materialen en energie



- Zonder maatregelen (A)
- Met maatregelen: tot MPG-grenswaarde (B)
- Met maatregelen: energieneutraal (C)
- Met maatregelen: energiepositief (D)
- Grenswaarde materiaalimpacts (bouwbesluit): MPG = 1
- Grenswaarde voor energieneutraal en energiepositief
- Verhouding energie-impact/materiaal-impact = 1

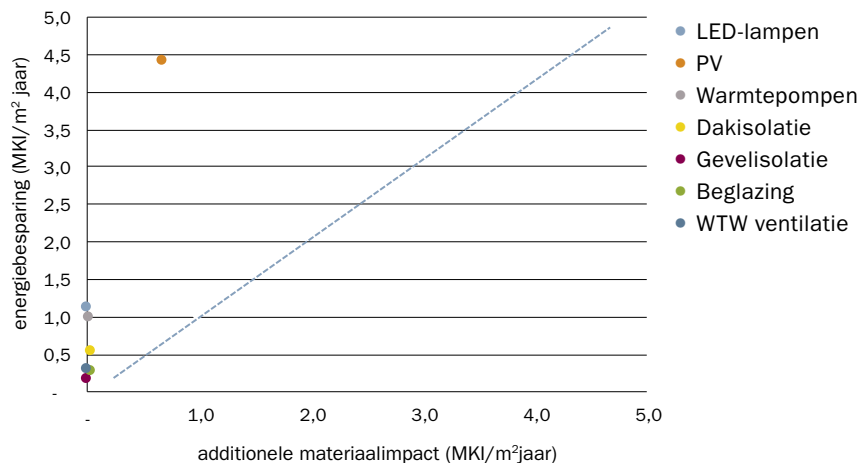
Figuur 3: Energie- en materiaalgerelateerde impacts van de vier scenario's.

“VERBETERING VAN DE ENERGIEPRESTATIE GAAT GEPAARD MET EEN STIJGING VAN DE IMPACT VAN MATERIALEN”

¹³ EIB (2018). Verwachtingen bouwproductie en werkgelegenheid 2018.

¹⁴ Onder "energieneutraal" wordt in deze betekenis verstaan: er wordt geen fossiele elektriciteit of gas verbruikt; alle energiebehoefte dient voorzien te worden door middel van lokale opwekking.

Milieu-effectiviteit van maatregelen



Figuur 4: Materiaal- en energie-impact voor individuele maatregelen zoals geanalyseerd voor de scenario's. Er is per maatregel steeds slechts 1 optie geanalyseerd; uiteraard kunnen de impacts per optie zeer verschillen (bijv. het ene PV-paneel heeft een veel hogere impact dan het ander).

methode die ook wordt gehanteerd bij de eerder aangehaalde DPG. Bij de bepaling van de materiaalimpacts is rekening gehouden met de levensduur van de energiebesparende maatregelen. Voor LED-verlichting is bijvoorbeeld een levensduur van 11 jaar meegenomen en is dus in die 50 jaar al viermaal een vervanging uitgevoerd.

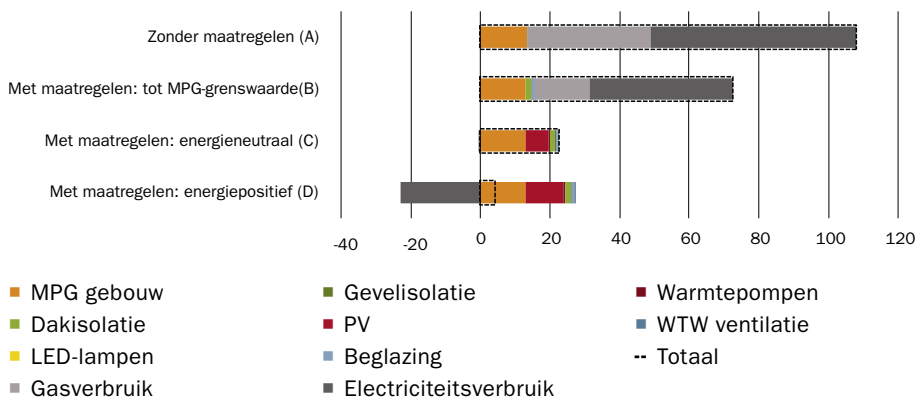
Uit Figuur 5 blijkt dat in het basisscenario (A) slechts 12% van de milieu-impacts afkomstig is van de ingezette materialen. De verdubbeling van de materiaal-impact in scenario's C en D, zorgen voor een aanzienlijk verbetering van de energieprestatie. In het energiepositieve scenario kan het bedrijventerrein zelfs een deel van de procesenergie compenseren (weergegeven als een negatieve

milieu-impact). Netto wordt de milieu-impact verlaagd met ruim 95% (van 108 naar 4 miljoen MKI).

Deze netto reductie van milieu-impact zou niet bereikt kunnen worden indien op gebouwniveau de MPG-grenswaarde (=1) gehanteerd zou zijn. Maximale impact op duurzaamheid wordt alleen bereikt door MPG en EPG integraal en op wijkniveau te benaderen. Bij de toekomstige ontwikkeling van een MPG-grenswaarde voor industriegebouwen is het daarom van belang om de MPG en de gebouwgebonden energie-impacts kritisch integraal te beschouwen.

Uiteraard kan de MPG-informatie wel gebruikt worden om naar nog duurzamere maatregelen te zoeken, bijvoorbeeld door

Milieu-impact van bedrijventerrein over 50 jaar, in miljoen MKI



Figuur 5: Milieu-impact van een bedrijventerrein als gevolg van materiaal- en energieverbruik van gebouwen, over de gehele levensduur (50 jaar). Materiaalgerelateerde impacts zijn in kleur, energiegerelateerde impacts zijn in grijs weergegeven.

LED-verlichting met een langere levensduur of zonnepanelen met een lagere materiaalimpact te gebruiken. De impacts van materialen zijn weliswaar kleiner dan de energiegerelateerde impacts, maar de materiaalimpact is nog steeds dermate substantieel dat het zoeken naar alternatieven significant kan bijdragen aan de nationale duurzaamheidsdoelstellingen.

DE VOLGENDE STAPPEN: CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

HEROVERWEGING MPG-EIS

De analyses die hier gepresenteerd werden laten het volgende zien:

- 1 Ten behoeve van het minimaliseren van de milieu-impact van de gebouwde omgeving moet naar zowel de energieprestatie als de materiaalprestatie worden gekeken. Door de vertaling naar MKI is een simpele optelling (of door middel van een verdeelsleutel zoals DPG) voldoende om een beeld van de integrale impact te verkrijgen. Daarnaast is het van belang dat duurzaamheid consequent integraal beoordeeld wordt. Hierbij moet de beoordeling van duurzaamheid niet beperkt blijven tot die van een individueel gebouw, maar moet naar oplossingen gekeken worden die op een grotere ruimtelijke schaal optimaal zijn.
- 2 Een optimale milieuprestatie wordt niet behaald door voor nieuwbouw van alle gebouwen, dus ook industrie, een maximum MPG-eis van 1,0 te introduceren: deze eis verhindert de applicatie van grootschalige energiebesparende maatregelen waardoor een optimale nettoprestatie niet kan worden bereikt. Daarmee wordt het paard achter de wagen gespannen.

Om tot optimale milieuprestaties te komen zouden de eisen aan de MPG in sommige gevallen bijgesteld moeten kunnen worden: MPG-bijdragen van investeringen die een positieve bijdrage aan energieprestatie leveren zouden buiten beschouwing kunnen blijven bij de MPG-vaststelling van een gebouw, indien de energie-impactverbetering groter is dan de materiaalimpact. In dat geval geldt de MPG<1-eis alleen voor die maatregelen die geen rechtstreekse invloed hebben op een verbetering van de energieprestatie.

MEER KENNIS OVER EN ERVARING MET MPG EN EPG NODIG

Het hanteren van MPG- en EPG-eisen vormt een belangrijk instrumentarium om de milieu-impact van de bouw aan te pakken. Daar waar veel kennis is opgedaan met het hanteren van de EPG, ligt de ervaring met het omgaan met de MPG op een lager niveau en ontbreekt het nog aan ervaring hoe de gecombineerde 'materiaal + energie'-prestatie te optimaliseren. Noch voor nieuwbouw (afwegingen in de ontwerpfase), noch voor renovatie (keuze in timing en type renovatie) bestaan nu vuistregels of rekenregels om optimale, integrale duurzaamheid te bereiken.

Met het oog op de ambitie om Nederland van het gas af te krijgen en CO₂-doelstellingen te halen middels een energietransitie in de gebouwde omgeving, is het heel waardevol om zowel voor nieuwbouw als voor renovatie meer kennis op te doen hoe energiemaatregelen in geoptimaliseerd kunnen worden voor de gecombineerde materiaal- en energieprestatie. Waar energie-efficiency een belangrijke factor is voor de energie-

prestatie, zou je vanuit de MPG willen verkennen hoe de milieudruk van de materialen voor de energiemaatregelen verlaagd kan worden. Welke materialen die ingezet worden voor de energietransitie van gebouwen dragen het meeste bij aan de MPG? Zijn er meer duurzame materialen voorhanden? Zijn er meer hoogwaardige recyclingmogelijkheden en/of hoogwaardig hergebruik? Kunnen delen van het product zinvol hergebruikt worden waardoor we de materialen langer functioneel behouden? TNO onderzoekt innovaties voor de energietransitie in de gebouwde omgeving en heeft daarbij oog voor zowel materiaal- als energiegerelateerde impacts.

Kortom, er liggen nog veel vragen rondom integrale duurzaamheid in de bouw.

De uitdaging voor de komende jaren is om de circulaire transitie en de energietransitie niet als gescheiden ontwikkelingen te beschouwen, maar op zoek te gaan naar een optimale duurzaamheid vanuit beide transities.

“KIJK NAAR INTEGRALE OPLOSSINGEN OP WIJKNIVEAU”

TNO.NL

Dit paper is een uitgave van de TNO-unit Circulaire Economie & Milieu in samenwerking met de units Bouw Infra & Maritiem en Strategische Analyses & Beleid. De unit Circulaire Economie & Milieu richt zich op het versnellen van de transitie naar een duurzame circulaire samenleving.

Ons doel is een 'circulaire economie', waarbij het hergebruik van producten en grondstoffen wordt gemaximaliseerd en de vernietiging van waarde wordt geminimaliseerd. We werken daarvoor samen met overheden, kennisinstellingen en bedrijven die werken in de bouw, infrastructuur en kunststoffen.

Contactpersoon: Elisabeth Keijzer,
elisabeth.keijzer@tno.nl

Elisabeth Keijzer
Peter Kuindersma
Sanne van Leeuwen
Guus Mulder
Suzanne de Vos-Effting
Ton Bastein