

## W/E rapport

### Onderzoek t.b.v. aanscherping MPG-eis

*Inzicht in het kwaliteitsniveau bij nieuwbouw anno 2020 van woningen en woon- en kantoorgebouwen*



## Onderzoek t.b.v. aanscherping MPG-eis

*Inzicht in het kwaliteitsniveau bij nieuwbouw anno 2020 van woningen en woon- en kantoorgebouwen*

### Opdrachtgever

Stichting Bouwkwiteit  
Postbus 1201  
2280 CE Rijswijk

Contactpersoon: ir. P. J. van Luijk  
E pl@bouwkwiteit.nl

### Opdrachtnemer

W/E adviseurs  
Arthur van Schendelstraat 650  
3511 MJ Utrecht

Contactpersoon: ir. D. A. F. (David) Anink  
T 030 - 677 8777 | M 06 - 22397018 | E anink@w-e.nl

### Projectnummer

W/E 9791

# Inhoudsopgave

|          |                                                                    |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inleiding</b>                                                   | <b>3</b>  |
| 1.1      | Aanleiding                                                         | 3         |
| 1.2      | Doelstelling                                                       | 3         |
| 1.3      | Onderzoeksaanpak                                                   | 3         |
| 1.4      | Klankbordgroep                                                     | 5         |
| <b>2</b> | <b>Beschouwing methodische verschillen bij BENG en MPG</b>         | <b>6</b>  |
| 2.1      | Bouwbesluit pijlers Energie en Milieu                              | 6         |
| 2.2      | Afbakening naar functies                                           | 7         |
| 2.3      | Vergelijkingseenheid                                               | 9         |
| 2.4      | Fysieke afbakening                                                 | 11        |
| 2.5      | Systeemafbakening CO <sub>2</sub> -emissie                         | 12        |
| <b>3</b> | <b>Te beschouwen gebouwvarianten</b>                               | <b>15</b> |
| 3.1      | Aanpak bij vaststellen set varianten                               | 15        |
| 3.2      | Representatieve set gebouwvarianten                                | 16        |
| <b>4</b> | <b>Berekeningen, resultaten en analyse</b>                         | <b>19</b> |
| 4.1      | Aanpak berekeningen                                                | 19        |
| 4.2      | Resultaten berekeningen                                            | 20        |
| 4.3      | Gevoeligheidsanalyses                                              | 25        |
| 4.4      | Mogelijke klassenindeling                                          | 36        |
| <b>5</b> | <b>Conclusies en aanbevelingen</b>                                 | <b>41</b> |
| 5.1      | Niveau van milieuprestaties bij woningen en woongebouwen anno 2020 | 41        |
| 5.2      | Niveau van milieuprestaties bij kantoorgebouwen anno 2020          | 42        |
| 5.3      | Suggestie voor een klassenindeling                                 | 43        |
|          | <b>Bijlage 1: Referentiegebouwen verbeeld</b>                      | <b>45</b> |
|          | <b>Bijlage 2: Selectie gebouwvarianten</b>                         | <b>47</b> |
|          | <b>Bijlage 3: Analyse extreme varianten</b>                        | <b>57</b> |

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Sinds januari 2012 is de tot dan 'lege' vijfde pijler van het Bouwbesluit ingevuld met de milieuprestatieberekening. Met de milieuprestatie wordt gedoeld op de materiaalgebonden milieubelasting gedurende de levensloop van gebouwen. In deze rapportage wordt de uitkomst van de voor het Bouwbesluit relevante milieuprestatieberekening aangeduid met de **Milieuprestatie gebouw (MPG)**.

Sinds 1 januari 2013 is het verplicht om bij de aanvraag van een omgevingsvergunning voor de nieuwbouw van woningen, of kantoren groter dan 100 m<sup>2</sup>, een berekening conform de bepalingsmethode 'Milieuprestatie van Gebouwen en GWW-werken' in te dienen. Sinds 1 januari 2018 is in het voorschrift ook een grenswaarde van 1.0 opgenomen.

In de kabinetsreactie op de transitieagenda's circulaire economie is het voornemen opgenomen om in de toekomst die grenswaarde scherper te stellen. De huidige grenswaarde van 1.0 blijkt bij de meeste nieuwbouwprojecten eenvoudig haalbaar. Bij een scherpere eis wordt voorzien dat dit leidt tot een meer op duurzaamheid gericht proces. Omdat de toepassing van circulaire principes bijdraagt aan een lagere MPG, wordt ook verwacht dat de aanscherping een stimulans biedt voor meer circulaire gebouwen.

Gericht op de eventuele aanscherping heeft Stichting Bouwkwiteit (SBK), als verantwoordelijke voor het beheer van de bepalingsmethoden en op verzoek van het ministerie van BZK, het initiatief genomen tot een onderzoek naar een acceptabel minimum kwaliteitsniveau bij nieuwbouw van woningen, en woon- en kantoorgebouwen anno 2020. Hierbij zijn aardgasloos en het voldoen aan de BENG-eisen het uitgangspunt. SBK heeft W/E adviseurs gevraagd dat onderzoek een verdere invulling te geven.

## 1.2 Doelstelling

Het hoofddoel van het onderzoek was het bieden van inzicht in het niveau van de milieuprestaties van reguliere woningen, en woon- en kantoorgebouwen anno 2020. Nadrukkelijk zijn geen uitspraken over de (eventueel gewijzigde) grenswaarde(n) gedaan. Het vaststellen van de grenswaarde is een politiek proces, dat met het inzicht uit dit onderzoek als basis, nog moet gaan plaatsvinden.

Een neven doel was het opstellen van een klassenindeling, die desgewenst aanvullend gebruikt kan worden bij het stellen van bovenwettelijke eisen of streefniveaus. Een ander neven doel was een verkenning van de methodische verschillen tussen de milieuprestatieberekening (MPG) en de energieprestatieberekening (BENG). Dit omdat de interactie tussen beiden steeds groter wordt en daarmee ook de behoefte om de MPG en BENG in samenhang te bezien.

## 1.3 Onderzoeksaanpak

Eerder in 2014 heeft W/E adviseurs een onderzoek uitgevoerd naar het niveau van de milieuprestaties van nieuwbouwwoningen<sup>1</sup>. Deze verkenning is de grondslag voor de huidige grenswaarde van 1.0. Voor de toen vastgestelde kwaliteitsniveaus is een frequentieverdeling opgesteld, gebaseerd op een groot aantal doorrekeningen van

---

<sup>1</sup> 'Onderzoek bepaling kwaliteitsniveaus milieuprestatie van woonfuncties'; in opdracht van het Ministerie van Binnenlandse Zaken, directie Bouwen; W/E adviseurs; Utrecht, november 2014



woningvarianten, die representatief werden geacht voor de toenmalige woningniewbouw.

W/E adviseurs heeft bij dit onderzoek een vergelijkbare aanpak gevolgd als bij het onderzoek in 2014. Deze bestond uit het vaststellen van een representatieve set gebouwvarianten (hoofdstuk 3), de uitwerking en doorrekening van die varianten, en de vertaling van de resultaten naar een klassenindeling (hoofdstuk 4). Er zijn echter ook een aantal verschillen:

1. Gebruiksfuncties

Het onderzoek in 2014 is uitgevoerd gericht op woningen. De grenswaarde voor kantoren is op hetzelfde niveau vastgesteld, op basis van een beperkte inventarisatie van MPG-scores van werkelijke gebouwen. In dit onderzoek zijn zowel woningen en woongebouwen als kantoorgebouwen meegenomen.

2. MPG-systeem

Sinds 2014 zijn er meerdere wijzigingen in de bepalingmethode en daarbij behorende rekenregels doorgevoerd. Ook is de Nationale Milieudatabase doorontwikkeld, met vooral een toename van getoetste producten. Hetzelfde gebouw zal in 2019 anders scoren dan in 2014.

De berekeningen in dit onderzoek zijn uitgevoerd net de NMD2.3 als basis. Dit in het besef dat er een forse herstructurering van het hele MPG-systeem (versie 3.0) op stapel staat. Ten tijde van dit onderzoek waren er echter nog geen gevalideerde rekentools beschikbaar, waarmee conform de MPG3.0 gerekend kon worden. Wachten tot deze beschikbaar zouden zijn, zou betekenen dat de onderzoeksresultaten pas in de loop van 2020 beschikbaar zouden komen. Er is wel een globale effectstudie<sup>2</sup> uitgevoerd, die heeft uitgewezen dat de aanpassing van het systeem een beperkte invloed op het MPG-niveau heeft.

3. Nieuwbouw 2020

Sinds 2014 zijn er wijzigingen in de hoedanigheid van de nieuw te bouwen woningen en woon- en kantoorgebouwen.

- Er zijn andere gebouwtypen bijgekomen, zoals hoge woontorens. De in 2014 gebruikte set referentietypen is al niet meer representatief beschouwd. Er is gebruik gemaakt van een nieuwe set referentiegebouwen, die in 2016 in opdracht van RVO zijn opgesteld.

Voorafgaand aan dit onderzoek is een fase 0 uitgevoerd, waarbij de op de op energieberekeningen toegesneden referenties dusdanig gematerialiseerd zijn dat ze ook bruikbaar zijn voor milieuprestatieberekeningen<sup>3</sup> (zie hoofdstuk 3). In fase 2 is aan deze set nog een extra referentietype toegevoegd, namelijk de woontoren.

- Verondersteld is dat de nieuwbouw in 2020 aardgasloos is, en voldoet aan de BENG-eisen. Tijdens het onderzoek was er nog discussie over deze eisen. Als uitgangspunt zijn de eisen aangehouden, die begin juni 2019 bekend waren. Deze komen overeen met de waarden die thans in de voorhangprocedure bij de Tweede Kamer liggen<sup>4</sup>.

4. Interactie energie- en milieuprestatie

De aangescherpte energieprestatie maakt dat de daarvoor benodigde bouwkundige en installatietechnische voorzieningen een steeds grotere bijdrage aan de MPG leveren. Relevant is de hoeveelheid PV-panelen, die onder andere nodig is om aan

---

<sup>2</sup> 'Herstructurering Nationale Milieudatabase; impactanalyse release 3.0'; in opdracht van SBK; LBP Sight en SGS Search; Nieuwegein, februari 2019

<sup>3</sup> 'Materialisatie referentiebouwwerken; uitbreiding toepassing BENG-referentiegebouwen & toevoeging GWW-referentie ten behoeve van set referentiegebouwen voor monitoring- en effectstudies Milieuprestatie'; in opdracht van Stichting Bouwkwaliiteit; W/E adviseurs; Utrecht, mei 2019

<sup>4</sup> <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2019/06/11/kamerbrief-bij-voorhang-van-het-ontwerpbesluit-houdende-wijziging-van-het-bouwbesluit-2012-inzake-bijna-energieneutrale-nieuwbouw>



BENG3 te kunnen voldoen (% hernieuwbare energie). Daarnaast is ook de scope van de MPG uitgebreid met externe energielevering om te voorkomen dat er geen level playing field is voor gebouwgebonden en niet-gebouwgebonden systemen. Ook externe energielevering blijkt een relevante invloed te hebben.

- Een praktisch gevolg van het bovenstaande is dat een MPG-berekening altijd in samenhang moet worden gezien met een energieprestatieberekening. Dit om de hoeveelheid aan bouwkundige en installatietechnische voorzieningen, ten behoeve van het behalen van de BENG-eisen, vast te kunnen stellen. Bij alle gebouwvarianten in dit onderzoek, waarbij de variatie invloed heeft op de energieprestatie zijn deze hoeveelheden apart bepaald (zie paragraaf 4.1).
- De interactie maakt dat een focus op of alleen de milieuprestatie- of alleen de energieprestatie al snel tot een suboptimaal resultaat kan leiden. Een plan- en realisatieproces met oog voor beide prestaties is gewenst. Als aanzet tot een meer integrale behandeling zijn in fase 1 van dit project de methodische verschillen verkend (zie hoofdstuk 2).

#### 5. Praktische uitvoering

Gezien de vele gebouwvarianten en de extra benodigde energieberekening (zie 4) is een efficiënte wijze van uitwerken, invoeren en doorrekenen van de varianten noodzakelijk. Gelukkig hebben de studie uit 2014, een aantal vervolgstudies, en de ervaring uit werkelijke berekeningen met de rekentools ertoe geleid dat de expertise is toegenomen. De inzichten zijn gebruikt bij de gerichte selectie van parameters (zie hoofdstuk 3) en een efficiënte wijze van vaststellen van de MPG-resultaten van de gebouwvarianten (zie paragraaf 4.1). Bij de opzet is ook aandacht besteed aan de reproduceerbaarheid, zodat een eventuele herijking in geval van updates van de bepalingsmethode en/of NMD op een efficiënte wijze kan plaatsvinden.

Net als in 2014 zijn het uiteindelijk vastgestelde niveau van de milieuprestaties gebruikt om een voorstel te doen voor een klassenindeling, bedoeld voor het kunnen stellen van bovenwettelijke eisen of streefniveaus.

## 1.4 Klankbordgroep

Gezien de relevantie van dit onderzoek is de inbreng en feedback van de bouwpraktijk van belang geacht. SBK heeft stakeholders gevraagd te participeren in een klankbordgroep. De klankbordgroep, die ook in fase 0 – materialisatie referentiebouwwerken geparticipeerd heeft, bestaat uit:

- H. Visser, Bouwend Nederland
- C. Bouwens, NEPROM
- C. Hogeweg, Aedes
- R. van der Helm, DGBC
- R. van Beek, FME
- A. Pastoors, BNA
- P. Peters, IMDV
- N. Ruijter, NVTB
- R. van Bergen, ISSO
- W. Ankersmit, Vereniging Bouw- en Woningtoezicht
- J. Verlinden, ministerie van BZK
- P. van Luijk, Stichting Bouwkwiteit
- J. Levels-Vermeer, LBP Sight
- D. Anink, Stichting W/E adviseurs

## 2 Beschouwing methodische verschillen bij BENG en MPG

### 2.1 Bouwbesluit pijlers Energie en Milieu

Het Bouwbesluit kent 5 pijlers, waaronder Energie en Milieu. Deze pijlers zijn ieder in een eigen context uitgewerkt.

#### Energieprestatie

In opdracht van het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties werkt NEN aan de vernieuwing van het stelsel 'Energieprestatie Gebouwen' en de daarbij behorende bepalingsmethode. Vanaf 1 juli 2020 gelden er namelijk nieuwe energieprestatie-eisen voor nieuwbouw. Na twintig jaar nemen we afscheid van de energieprestatiecoëfficiënt (EPC). Daarvoor in de plaats komt een nieuwe bepalingsmethode die is vastgelegd in een Nederlands Technische Afspraak: NTA 8800. Deze methode moet voldoen aan de Europese richtlijn Energieprestatie Gebouwen (EPBD). De nieuwe bepalingsmethode energieprestatie NTA 8800 is op 20 november 2018 door NEN gepresenteerd.

#### Milieuprestatie

De Bepalingsmethode Milieuprestatie gebouwen en GWW-werken (verder Bepalingsmethode<sup>5</sup>) is ontwikkeld om de materiaalgebonden milieuprestatie van gebouwen en GWW-werken over hun hele levenscyclus eenduidig en controleerbaar te berekenen. De Bepalingsmethode vormt een samenhangend geheel met de Nationale Milieudatabase (NMD) en de rekenregels. Het geheel wordt beheerd door Stichting Bouwkwiteit (SBK).

De basis voor deze Bepalingsmethode is de NEN-EN 15804:2012 + Amendement A1 (2013) (verder EN 15804). De EN 15804 is ontwikkeld voor milieuproductverklaringen (Environmental Product Declarations - EPD's) op productniveau. De specifieke afspraken voor het opstellen en het gebruik van EPD's ten behoeve van de materiaalgebonden beoordeling op gebouw- en GWW-werkniveau in de Nederlandse context zijn opgenomen in deze Bepalingsmethode.

#### Aandacht voor de interactie

In het verleden lag de focus op de energiebesparing, en de daarmee samenhangende uitstoot van broeikasgassen (CO<sub>2</sub>). Beiden zijn door voortvarend beleid fors teruggedrongen wat maakt dat de impact van de materiaalstromen relatief groter is geworden. Bij de verdergaande doelstellingen ten aanzien van het klimaat en grondstoffen/circulariteit blijkt steeds weer dat de afzonderlijke behandeling van Energie en Milieu tot suboptimale oplossingen kunnen leiden. Bij een inspanning gericht op het voldoen aan de BENG-eisen kan er ongemerkt een negatieve invloed op de milieuprestatie optreden (bijvoorbeeld door extra isolatie of meer PV-panelen). Bij de zoektocht naar zowel een goede energie- als een milieuprestatie, zullen beide in samenhang bekeken moeten worden.

---

<sup>5</sup> 'Bepalingsmethode 'Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken' versie 3.0; Stichting Bouwkwiteit; 1 januari 2019

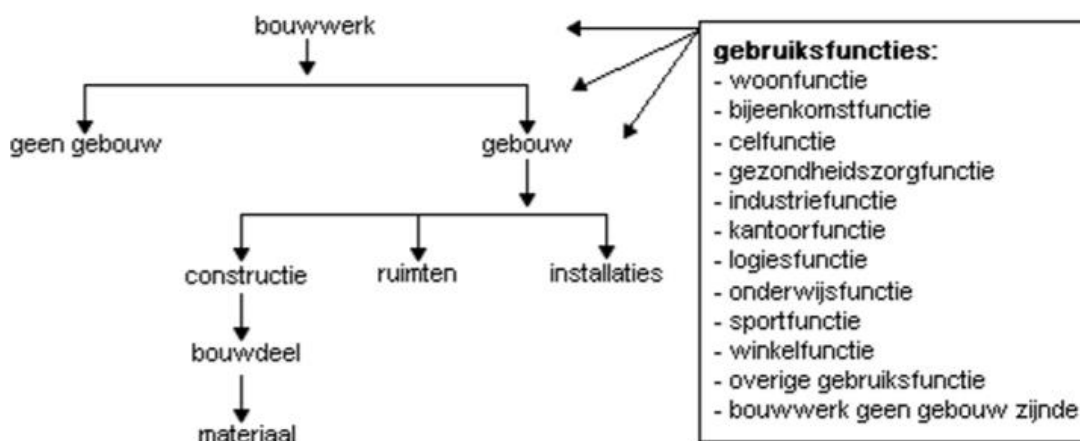
Vooralsnog is de harmonisatie van beide pijlers nog niet voorzien, er is noch door de markt, noch door de overheid, een methodiek aangewezen, waarin de energie- en milieuprestatie integraal worden beschouwd. In praktijk zijn er wel initiatieven gaande, waarbij de integrale benadering wordt onderzocht of toegepast. De bij deze initiatieven opgebouwde inzichten zouden gebruikt kunnen worden om de energieprestatie en milieuprestatie, *naast* hun al bekende prestatie-uitdrukkingen, ook van een gemeenschappelijk uitdrukking te voorzien. Dit zou kunnen in de vorm van LCA-milieueffecten, waaronder grondstoffenuitputting en broeikaseffect (CO<sub>2</sub>-emissie-equivalenten). Hiermee zou een belangrijke eerste stap gezet worden bij het komen tot een breedgedragen integrale benadering.

De integrale benadering is alleen mogelijk als de tot nu toe losstaande methoden ook eenzelfde scope krijgen. De behandeling in losstaande pijlers heeft er toe geleid dat er tussen de methoden gericht op de energie- en milieuprestatie relevante verschillen in de scope en benadering bestaan. In dit hoofdstuk worden deze verschillen toegelicht en een indicatie gegeven van de invloed daarvan op de prestaties. Potentiele verschillen tussen de BENG (NTA8800) en de milieuprestatie betreffen onder andere:

1. de opdeling van het gebouw naar gebruiks- en nevenfuncties
2. de weging en toedeling van gemeenschappelijke functies
3. de voor de vergelijkingseenheid gebruikte gebouwafmetingen (GO en BVO)
4. de systeemgrenzen (kavel, externe levering)
5. de wijze van meten van elementafmetingen
6. de wijze van bepalen van CO<sub>2</sub>-emissie

## 2.2 Afbakening naar functies

Het Bouwbesluit stelt eisen aan bouwwerken en gebruiksfuncties. Bouwwerken zijn onder te verdelen in gebouwen en andere bouwwerken (geen gebouw zijnde). De indeling van een bouwwerk in gebruiksfuncties is bepalend voor de eisen die krachtens het Bouwbesluit voor de betreffende onderdelen van dat bouwwerk gelden (zie figuur 2.1: toepassingsgebied bepalingmethode Milieuprestatie (bron bijlage VII)).



figuur 2.1: toepassingsgebied bepalingmethode Milieuprestatie (bron bijlage VII<sup>6</sup>)

<sup>6</sup> 'Bepalingmethode 'Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken' versie 3.0; Stichting Bouwkwiteit; 1 januari 2019





## Eis aan functie versus gebouw

Het Bouwbesluit onderscheid bij de energieprestatie de toepassingsgebieden woningbouw en utiliteitsbouw. Zowel bij zowel woningen (woongebouw) als kantoren (utiliteitsgebouw) zijn de eisen gekoppeld aan de functie en niet aan het gebouw. Voor de gebruiksfunctie overig geldt geen energieprestatie-eis. In tegenstelling tot voorlopers van NTA 8800 is het niet meer mogelijk om een zogenoemde combinatiegebouw (woningbouw in combinatie met utiliteitsbouw) in één berekening door te rekenen. Deze functies behoren altijd gesplitst te worden in meerdere berekeningen.

Bij de milieuprestatie zijn de eisen bij de woningen ook gekoppeld aan de functie, maar bij kantoren aan het gebouw. Dit heeft consequenties voor de gebouwelementen, die in de berekening meegenomen dienen te worden:

### *Woonfunctie (kantoorfunctie vergelijkbaar)*

#### 1. Combinatiegebouw

Bij een gebouw met meerdere functies, dient alleen de woonfunctie meegenomen te worden. Dat geldt dus ook voor het aan deze functie gerelateerde materiaal (bouwkundig en installatietechnisch) én het aan deze functie gerelateerde BVO. Praktisch betekent de afbakening tot de woonfunctie, dat een berekening van de milieuprestatie van het gehele gebouw gemaakt wordt, waarna de milieulast, naar rato verdeeld wordt over het percentage bruto-vloeroppervlakte van een gebruiksfunctie en het totaal van dat van de aanwezige gebruiks- en nevenfuncties<sup>7</sup>. Is er sprake van een gemeenschappelijke ruimte (gebruikt door woonfunctie- en andere functies), dan worden de aan deze ruimte gerelateerde materialen en BVO naar rato van de bruto-vloeroppervlakte verdeeld.

#### 2. Nevenfuncties

Als nevenfunctie benoemde gebouwdelen behoren ook niet tot de woonfunctie en dienen buiten beschouwing te blijven. Voorbeelden van de woonfunctie relevante nevenfuncties zijn:

- a) Buitenberging
- b) Binnenberging en de ruimte in de kap<sup>8</sup>
- c) Aan het huis vast gebouwde garage
- d) Bergingen onder een appartementencomplex
- e) Kantoor aan huis
- f) Fietsenkelder onder een appartementencomplex
- g) Parkeergarage onder een appartementencomplex

#### 3. Bouwwerk

Op het perceel kunnen bouwwerken aanwezig zijn, die benoemd dienen te worden als geen gebouw zijnde. Omdat de milieuprestatieberekening bedoeld is voor een gebouw (Milieuprestatie Gebouw – MPG) vallen deze bouwwerken buiten beschouwing. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om een carport, erfafscheiding, of tuinmuur.

### *Kantoorgebouw*

De definitie van een kantoorgebouw is een gebouw of gedeelte daarvan met uitsluitend een of meer kantoorfuncties en nevenfuncties daarvan.

---

<sup>7</sup> Bij deze benadering wordt verwaarloosd dat de milieulast per m<sup>2</sup>bvo bij de verschillende functies kan verschillen. Vergelijk bijvoorbeeld de milieulast van 1 m<sup>2</sup> onverwarmde berging met 1 m<sup>2</sup> woonfunctie. Een woongebouw met een groot oppervlakte aan bergingen (nevenfunctie), krijgt daardoor een relatief gunstige score. Bij energieberekeningen is de aanpak anders. Hierbij wordt de energieprestatie van de functie bepaald wordt door over de zones te sommeren.

<sup>8</sup> Deze gebouwdelen kunnen onbenoemd blijven of als nevenfunctie worden benoemd. Is dit laatste het geval, dan dienen ze niet meegenomen te worden. De gemeenschappelijke elementen dienen wel toebedeeld te worden.

1. Combinatiegebouw  
Bij een gebouw met meerdere functies, anders dan nevenfuncties, is geen sprake van een kantoorgebouw, en is de Bouwbesluit eis dus niet van toepassing.
2. Nevenfuncties  
Bij een kantoorgebouw dienen de nevenfuncties juist wel meegenomen te worden. Het betreft hier ook overige functies, die als nevenfuncties benoemd zijn. Voorbeelden van een kantoorgebouw relevante nevenfuncties zijn:
  - a) Parkeergarage onder een kantoorgebouw
  - b) Fietsenkelder onder een kantoorgebouw
3. Bouwwerk  
Zie woonfunctie.

### Consequenties voor de prestaties

Om het verschil in benadering bij de energie- en milieuprestatiebepaling op te heffen zou de milieuparagraaf in het Bouwbesluit in 2 richtingen aangepast kunnen worden:

1. Bij de milieuprestatiebepaling worden de eisen ook bij kantoren gekoppeld aan de functie in plaats van aan het gebouw. Dit betekent dat ook combinatiegebouwen mogelijk worden. Wel vallen nevenfuncties zoals de parkeergarage dan buiten de scope.
2. Bij de milieuprestatiebepaling worden de eisen ook bij woningen gekoppeld aan het gebouw. Dit betekent dat bij combinatiegebouwen geen milieuprestatieberekening gevraagd wordt. Is sprake van een woongebouw, dan zullen nevenfuncties juist wel meegenomen moeten worden.

Voor 1 zou dat betekenen dat voor combinatiegebouwen met een kantoorfunctie, waaraan bij de huidige benadering geen eis is gekoppeld, wel een berekening gemaakt moet worden. Voor 2 zou het betekenen dat bij woningen en woongebouwen de nevenfuncties wel binnen de scope zouden vallen. Om een indruk te krijgen van de gevolgen voor de milieuprestatie zijn de milieuprestaties bij de referentie 'Woning, hoek, medium' en de referentie 'Woongebouw, medium' opnieuw doorgerekend. Anders dan bij de referentie is hierbij wel verondersteld dat de woning een aangebouwde berging heeft. In figuur 2.2 zijn de resultaten bij de benaderingen 'woonfunctie' en 'woongebouw' met elkaar vergeleken.

| Functie versus Gebouw |              | functie | gebouw | gebouw tov functie |     |
|-----------------------|--------------|---------|--------|--------------------|-----|
| Referentie            | Variant      | MPG     | MPG    | verschil           | %   |
| Woning, hoek, medium  | all-electric | 0,55    | 0,55   | 0,00               | 0%  |
| Woongebouw, medium    | all-electric | 0,75    | 0,72   | -0,03              | -4% |

figuur 2.2: MPG bij benaderingen 'woonfunctie' en 'woongebouw'

## 2.3 Vergelijkingseenheid

Gebouwen kennen een grote variatie in hun geometrie. Om de voor het gebouw bepaalde energie- en milieuprestaties te kunnen vergelijken, wordt de totale impact teruggerekend naar één vergelijkingseenheid. Bij beide betreft dat de impact per m<sup>2</sup>:

1. Impact per jaar  
Bij de energieprestatie is een constante jaarlijkse impact verondersteld, en wordt bij alle berekeningen gewerkt met de impact per jaar. Bij de milieuprestatie zal de impact over de gebouwlevensloop jaarlijks verschillen. Hier wordt eerst de totale impact bepaald, waarna deze wordt teruggerekend naar de impact per jaar. Het netto resultaat komt bij beide benaderingen overeen.

## 2. Impact per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte

Bij zowel de energie- als de milieuprestatie wordt eerst de impact over het totale gebouw bepaald, waarna deze wordt teruggerekend naar één m<sup>2</sup> vloeroppervlakte. Hierbij zijn er 2 belangrijke verschillen:

- a) Bij de energieprestatie wordt alleen gekeken naar de vloeroppervlakte binnen de thermische zone<sup>9</sup> (NB deze afbakening geldt ook bij het bepalen van de energielast). Bij de milieuprestatie is er geen onderscheid naar wel of niet binnen de thermische zone.
- b) Bij de energieprestatie betreft de gebruiksoppervlakte (aangegeven met A<sub>g</sub>), terwijl bij de milieuprestatie teruggerekend wordt naar de vaak aanzienlijk grotere m<sup>2</sup> bruto vloeroppervlakte (BVO).

### *Bruto vloeroppervlakte (BVO)<sup>10</sup>*

De BVO van een ruimte of van een groep van ruimten is de oppervlakte, gemeten op vloerniveau langs de buitenomtrek van de opgaande scheidingsconstructies, die de desbetreffende ruimte of groep van ruimten omhullen. Ter aanvulling op het bovengenoemde geldt het volgende:

- indien een binnenruimte aan een andere binnenruimte grenst, moet worden gemeten tot het hart van de desbetreffende scheidingsconstructie;
- indien een gebouwgebonden buitenruimte aan een binnenruimte grenst, moet het grondvlak van de scheidingsconstructie volledig worden toegerekend aan de BVO van de binnenruimte;
- de BVO van een overdekte gebouwgebonden buitenruimte, die niet of slechts gedeeltelijk omsloten is en daardoor geen vaste buitenbegrenzing heeft, is gelijk aan de verticale projectie van het overdekkende bouwdeel, ongeacht de vloerconstructie of de wijze van verharding;
- niet meegerekend worden een schalmgat of een vide, indien de oppervlakte daarvan groter is dan of gelijk is aan 4 m<sup>2</sup>.

### *Gebruiksoppervlakte (GO of A<sub>g</sub>)<sup>11</sup>*

De gebruiksoppervlakte van een gebruiksfunctie is de oppervlakte, gemeten op vloerniveau, tussen de opgaande scheidingsconstructies, die de desbetreffende ruimte of groep van ruimten omhullen. Bij de bepaling van de GO worden niet meegerekend:

- de oppervlakte van delen van vloeren, waarboven de netto-hoogte kleiner is dan 1,5 m, met uitzondering van vloeren onder trappen, hellingbanen e.d.;
- een liftschacht;
- een trapgat, schalmgat of vide, indien de oppervlakte daarvan groter is dan of gelijk is aan 4 m<sup>2</sup>;
- een vrijstaande bouwconstructie (niet zijnde een trap) indien de horizontale doorsnede daarvan groter is dan of gelijk is aan 0,5 m<sup>2</sup>;
- een leidingschacht, indien de horizontale doorsnede daarvan groter is dan of gelijk is aan 0,5 m<sup>2</sup>;
- een dragende binnenwand.

<sup>9</sup> Op basis van de indeling in gebruiksfuncties wordt een grens getrokken tussen de delen van het gebouw die worden meegenomen binnen de begrenzing van het gebouw voor de energieprestatieberekening (de thermische zone) en (verwarmde en/of onverwarmde) aangrenzende ruimten.

<sup>10</sup> 'Nederlandse norm NEN 2580 (nl) - Oppervlakten en inhouden van gebouwen - Termen, definities en bepalingsmethoden, ICS 01.040.91; 91.040.01'; NEN; Delft, mei 2007

<sup>11</sup> 'Nederlandse norm NEN 2580 (nl) - Oppervlakten en inhouden van gebouwen - Termen, definities en bepalingsmethoden, ICS 01.040.91; 91.040.01'; NEN; Delft, mei 2007

## Consequenties voor de prestaties

De vergelijkingseenheid is niet opgenomen in de milieuparagraaf in het Bouwbesluit, maar in de bepalingmethode, waarnaar vanuit het Bouwbesluit verwezen wordt. Om het verschil in benadering bij de energie- en milieuprestatiebepaling op te heffen zou in de bepalingmethode de vergelijkingseenheid per m<sup>2</sup>bvo per jaar veranderd kunnen worden in m<sup>2</sup> GO per jaar<sup>12</sup>.

Om een indruk te krijgen van de gevolgen voor de milieuprestatie zijn de milieuprestaties bij de referentie 'Woning, tussen, small' en de referentie 'Woongebouw, medium' opnieuw doorerekend. In figuur 2.3 zijn de resultaten bij de benaderingen 'woonfunctie' en 'woongebouw' met elkaar vergeleken.

| BVO versus GO              |              | per m2 BGO per jaar |      | per m2 GO per jaar |      | GO tov BVO |     |
|----------------------------|--------------|---------------------|------|--------------------|------|------------|-----|
| Referentie                 | Variant      | BVO                 | MPG  | GO                 | MPG  | verschil   | %   |
| Woning, tussen, small      | all-electric | 146,0               | 0,49 | 110,1              | 0,65 | 0,16       | 33% |
| Woongebouw, medium         | all-electric | 3.828,0             | 0,76 | 3.036,3            | 0,96 | 0,20       | 26% |
| Kantoorgebouw, medium      | all-electric | 4.950,0             | 0,92 | 4.383,0            | 1,04 | 0,12       | 13% |
| Kantoorgebouw, extra large | all-electric | 26.255,0            | 0,89 | 23.892,0           | 0,98 | 0,09       | 10% |

figuur 2.3: MPG bij vergelijkseenheid BVO en GO

## 2.4 Fysieke afbakening

### Gebouwbegrenzing

De fysieke begrenzing is verschillend:

1. Milieuprestatie
  - de buitenkant van de uitwendige scheidingsconstructie van het gebouw, met alle daar binnen gelegen relevante elementen (zie 2);
  - aangevuld met de buiten het gebouw gelegen aansluitsluitingen op nutsvoorzieningen (tot aan het aansluitpunt), zoals buitenriolering en aansluitingen op externe energieleveringen;
  - aangevuld met buiten de kavel gelegen systeemonderdelen voor externe energielevering voor zover deze ten dienste staat van het voldoen aan de energieprestatie.
2. Energieprestatie:
  - de hartlijnen van de begrenzende constructies van de thermische zone van de functie;
  - aangevuld met buiten die zone gelegen opwekkings- en distributie ten behoeve van de bepaling van lek- en conversieverliezen.

Bij de milieuprestatie gaat het dus om de fysieke aanwezigheid (buiten de kavel wel vereenvoudigd tot eenvoudig model met forfaitaire waarde per eenheid), terwijl het bij de energieprestatie meer om een theoretisch model gaat. Dit levert geen problemen op omdat beide afdoende zijn om een score voor het gebouw of functie op te leveren.

<sup>12</sup> Het GO zegt over de werkelijke functie, het wonen. Het BVO bevat ook het oppervlakte wat nodig is om die functie goed te kunnen vervullen. Een BVO dat nauwelijks groter is dan het GO is een aanduiding van de efficiëntie van het gebouw. Het gebruik van het GO in de vergelijkingseenheid doet meer recht aan deze vorm van (materiaal) efficiëntie.



Aandachtspunten zijn (zie ook paragraaf 2.5):

1. Externe energielevering:  
Wordt het hele systeem binnen de energieprestatie meegenomen; en heeft de materialisatie van de externe levering een plek in één van beide berekeningen (voorkeur in milieuprestatie)?
2. Afmetingen:  
De maatbepaling is bij de energieprestatie afwijkend van die van de milieuprestatie. Bij uittrekkwerk voor beide berekeningen zullen de afmetingen dus 2x bepaald moeten worden (niet via eenvoudige formule om te rekenen).

### **Mee te nemen gebouwelementen**

De mee te nemen elementen zijn verschillend:

1. Milieuprestatie
  - de constructieonderdelen en installaties waaraan overige technische voorschriften van het Bouwbesluit zijn verbonden; dit betreft ook de niet-gebouwgebonden installatiesystemen, die nodig zijn voor het functioneren van een aangewezen gebruiksfunctie (zie 1);
  - dit is dus inclusief elektriciteitsleidingen, aarding en alleen bij kantoren de laagspanningsinstallatie;
  - bij de woonfunctie is verlichting uitgesloten uitgezonderd de gemeenschappelijke ruimten, bij de kantoorfunctie wordt verlichting wel meegenomen;
  - installaties, zoals voor communicatie, rook- en brandmelding, voorkomen van criminaliteit en veilig onderhoud blijven buiten beschouwing (complex is, met geringe bijdrage aan milieuprestatie).
2. Energieprestatie:
  - de constructieonderdelen en installaties, die relevant zijn voor het transmissieverlies van de schil en de verbruiken per energiepost;
  - bij de woonfunctie is verlichting uitgesloten, bij de kantoorfunctie wordt verlichting wel meegenomen.

Bij de energieprestatie gaat het om een deelverzameling van de elementen die relevant zijn voor de milieuprestatie. Dit levert geen problemen op omdat beide afdoende zijn om een score voor het gebouw of functie op te leveren. Aandachtspunten:

1. Zijn de onderdelen bij de installatiesystemen op elkaar afgestemd?
2. Wordt verlichting bij beide prestaties op een vergelijkbare manier meegenomen?

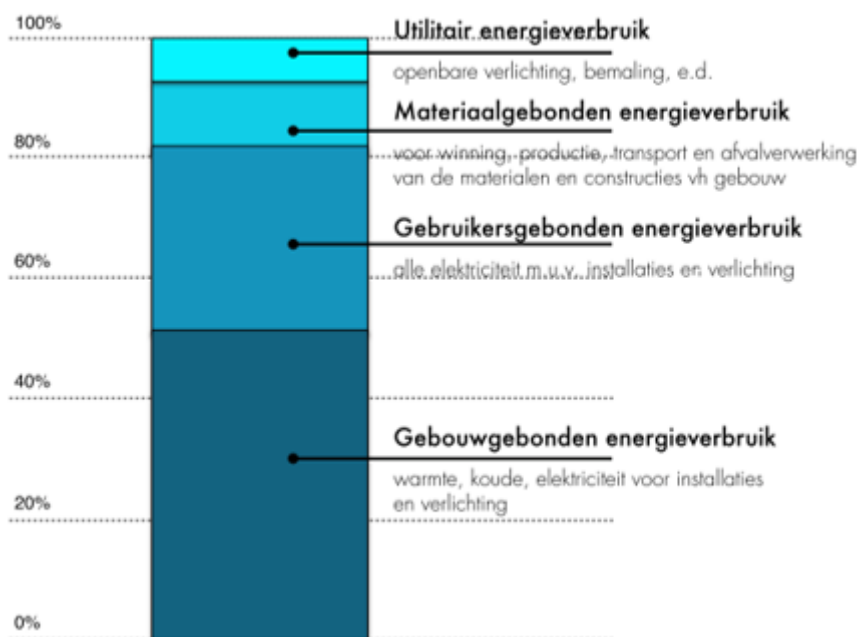
## **2.5 Systeemafbakening CO<sub>2</sub>-emissie<sup>13</sup>**

### **Energiegebruiksposten**

De bepalingsmethode voor de energieprestatie betreft uitsluitend gebouwgebonden maatregelen. In de NTA 8800 sluit dat niet-gebouwgebonden energiegebruik (ook wel gebruikersgebonden energiegebruik), zoals huishoudelijke apparatuur, computers, machines expliciet uit. Dat geldt ook voor de post verlichting bij woningen en woongebouwen. In figuur 2.4 is te zien dat er nog twee andere posten zijn, namelijk het utilitaire en het materiaalgebonden energiegebruik. Ook deze posten worden niet in de energieprestatieberekening meegenomen.

---

<sup>13</sup> De CO<sub>2</sub>-emissiecoëfficiënt kan ook de equivalente emissie van andere broeikasgassen omvatten (bijv. methaan).

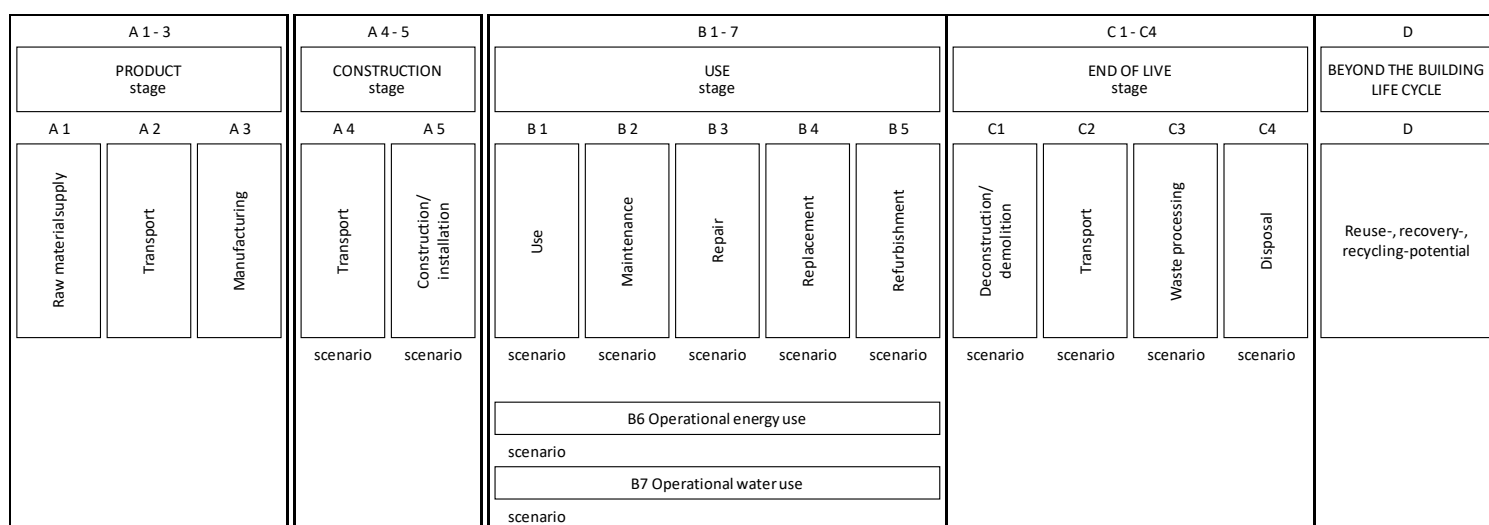


figuur 2.4: energieposten bij een kantoor met label F (bron: Kantoor vol Energie)

### Materiaal- en energiestromen: complementair

De bepalingsmethode voor de milieuprestatie is gebaseerd op de EN15804. Hierin wordt de levenscyclus van een bouwwerk opgedeeld in fasen en sub-fasen (zie figuur 2.5). In de gebruiksfase zijn ook de sub-fasen B6 'Operationale energy use' en B7 'Operationeel water use' opgenomen. Het operationeel energiegebruik komt overeen met het gebouwgebonden energiegebruik dat bij de energieprestatieberekening wordt meegenomen. Conform de EPBD, wordt bij de energieprestatie het primaire energiegebruik bepaald, dus inclusief de opwekkings- en distributieverliezen van de energiedrager buiten het gebouw.

In de milieuprestatieberekening wordt het materiaalgebonden energiegebruik meegenomen. In de bepalingsmethode voor de milieuprestatie worden de sub-fasen B6 en B7 expliciet uitgesloten. De milieu- en energieprestatieberekening zijn wat betreft het dekken van de fasen in de levenscyclus complementair.



figuur 2.5: fasering van de levenscyclus van een gebouw (bron: EN15804)



### **Impactbepaling: verschil in systeemgrenzen**

Bij de vertaalslag van de materiaal- en energiestromen naar de daarmee samenhangende milieu-impact zijn er verschillen. Waar de milieuprestatie de impact gedurende de gehele levenscyclus meeneemt is de scope bij de energieprestatie beperkter.

Bij de berekening van de effecten (CO<sub>2</sub>-emissie) wordt alleen naar de impact bij conversie van de energiedragers gekeken. De impact die eerder in de levenscyclus veroorzaakt wordt door gebruik van energiedragers blijft buiten beschouwing. Hierbij gaat het onder andere om de impact door de brandstoffenwinning en -opwekking.

Sinds kort is de systeemgrens van de milieuprestatieberekening uitgebreid met de materiaalgebonden milieu-impact van de voorzieningen, die nodig zijn voor de externe levering van energie. Deze impact hoeft dus niet in de energieprestatie meegenomen te worden.

## 3 Te beschouwen gebouwvarianten

### 3.1 Aanpak bij vaststellen set varianten

*Onderzoeksdoelstelling:*

*'Het onderzoek moet het inzicht geven in het niveau van de milieuprestaties van reguliere woningen, en woon- en kantoorgebouwen anno 2020. Op basis van dit inzicht zal een scherpere grenswaarde geadviseerd worden, waarbij de verwachting is dat het grootste deel van de nieuwbouw in de komende jaren aan die waarde kan voldoen.'*

Ten behoeve van het vaststellen van de grenswaarde heeft W/E adviseurs eerder een onderzoek uitgevoerd naar het niveau van de milieuprestaties van nieuwbouwwoningen<sup>14</sup>. In dit onderzoek is een vergelijkbare aanpak gevolgd. Deze bestond uit het vaststellen van een representatieve set gebouwvarianten, de uitwerking en doorrekening van die varianten, en de vertaling van de resultaten naar een klassenindeling.

#### 3.1.1 Gebruik 'virtuele' gebouwvarianten

Bij het vaststellen van de milieuprestaties zou gebruik gemaakt kunnen worden van werkelijke berekeningen. In de afgelopen jaren zijn er vele berekeningen gemaakt. Wel zouden de resultaten gecorrigeerd moeten worden voor de verschillende versies van de bepalingsmethode en/of NMD. Een belangrijker nadeel is dat het altijd een momentopname betreft, de gebouwen die in een beschouwingsperiode zijn gebouwd. De kans is groot dat vele varianten juist buiten die verzameling vallen. Bovendien is in de afgelopen jaren de woningbouwproductie atypisch is geweest door de crisis.

Door niet van werkelijk gerealiseerde gebouwen uit te gaan, maar door te variëren op voorbeeldgebouwen, is systematisch een breed spectrum van gebouwvarianten in beeld gebracht. Deze set gebouwvarianten moet recht doen aan de diversiteit van de komende nieuwbouw van woningen, woon- en kantoorgebouwen. Dus ook de wat meer afwijkende varianten (in negatieve en positieve zin) moeten in beeld komen. Deze varianten als 'uitbijters' mogen echter niet leiden tot een grote verschuiving van het algemene niveau in milieuprestaties in negatieve of positieve richting. Bij de selectie van de gebouwvarianten op basis van combinaties van parameters is hiermee rekening gehouden.

#### Selectie parameters

Aandachtspunt was een evenwichtige selectie en combinaties van gebouwkenmerken waarop gevarieerd is (parameters). Dit om te voorkomen dat de frequentieverdeling in gunstige of ongunstige richting op zou schuiven. Het onderzoek uit 2014, daarop volgende onderzoeken<sup>15,16</sup>, en berekeningen met GPR Gebouw hebben W/E adviseurs veel inzicht opgeleverd in de voor de MPG bepalende parameters. In paragraaf 3.2 is te vinden hoe de set gebouwvarianten is vastgesteld.

De milieuprestatie van een gebouw wordt bepaald door de materialisatie (productkeuze), de gebouwafmetingen (producthoeveelheden), en de gebouwlevensduur. Bij de selectie van parameters, waarop gevarieerd wordt, is dit onderscheid aangehouden. Niet vergeten

<sup>14</sup> 'Onderzoek bepaling kwaliteitsniveaus milieuprestatie van woonfuncties'; in opdracht van het Ministerie van Binnenlandse Zaken, directie Bouwen; W/E adviseurs; Utrecht, november 2014

<sup>15</sup> 'Onderzoek Principes en parameters Milieuprestatie Gebouwen (MPG)'; in opdracht Stichting Bouwkwiteit; W/E adviseurs; Utrecht, februari 2017

<sup>16</sup> 'Onderzoek scoreniveaus milieuprestatie reguliere woningbouw met toepassing van NMD 2.0 - Inzicht in de verschuiving in scoreniveaus bij het voldoen aan de milieuprestatie van 1.0 met toepassing van NMD 1.8 en NMD 2.0'; in opdracht Stichting Bouwkwiteit; W/E adviseurs; Utrecht, 15 september 2017





moet worden dat de referentiegebouwen al staan voor een variatie op vooral vormfactoren en in mindere mate de materialisatie (waar niet afhankelijk van het type is deze gelijk verondersteld).

Aangezien er nog geen breed geaccepteerde methode is om de gebouwlevensduur vast te stellen, is verondersteld dat bij de komende MPG-berekeningen ten behoeve van de omgevingsvergunning gebruik gemaakt wordt van de defaultwaarden (75 jaar bij de woonfunctie en 50 jaar voor utilitaire functies). De variatie op de gebouwlevensduur is wel in de gevoeligheidsanalyse meegenomen.

## 3.2 Representatieve set gebouwvarianten

### 3.2.1 RVO-referentiegebouwen als uitgangspunt

Net als bij het onderzoek in 2014 is er gebruik gemaakt van de door RVO beheerde set referentiegebouwen. Deze set is opgesteld om monitorings- en effectstudies in relatie tot de energieprestatie uit te kunnen voeren. Verondersteld mag worden dat deze set afdoende representatief is voor de nieuwbouw.

#### **Nieuwe set referentiegebouwen**

*De oude set voorbeeldgebouwen van RVO sloot onvoldoende aan bij nieuwbouw in de komende jaren. Ten behoeve van de effectstudies in relatie tot BENG is door DGMR inmiddels een nieuwe set voorbeeldgebouwen opgesteld. Zoals ook bij de oude set het geval was, zijn bij deze voorbeeldgebouwen alleen de voor de energieberekeningen relevante kenmerken beschikbaar.*

*Om deze voorbeeldgebouwen ook geschikt te maken voor monitorings- en effectstudies in relatie tot de milieuprestatie (en circulariteit) was een verdergaande materialisatie nodig (alle gebouwelementen binnen de scope van de MPG-berekening). Deze materialisatie is in de vorm van excel-bestanden beschikbaar gemaakt om meerdere effectstudies op een gelijke grondslag te kunnen (laten) uitvoeren. Deze extra informatie kan bij de voorbeeldgebouwen op de RVO-site worden opgenomen.*

In 2016 zijn de RVO-voorbeeldgebouwen door DGMR bijgesteld. De oude set (gebruikt bij de eerdere studie in 2014) sloot niet meer aan bij de recente nieuwbouw. Net als bij de oude set zijn bij deze voorbeeldgebouwen alleen de voor de energieberekeningen relevante kenmerken beschikbaar. Om deze voorbeeldgebouwen ook geschikt te maken voor monitorings- en effectstudies in relatie tot de milieuprestatie (en circulariteit) was een verdergaande materialisatie nodig. Voorafgaand aan deze studie (fase 0) zijn 9 referentiegebouwen gematerialiseerd<sup>17</sup> (alle gebouwelementen binnen de scope van de MPG-berekening).

#### **Selectie en bijstelling referentiegebouwen**

Recente ontwikkelingen en de eerste bijeenkomst van de klankbordgroep gaven aanleiding tot een bijstelling van de set referentiegebouwen:

##### 1. BENG-eisen

Ten tijde van de materialisatiestudie was er nog onvoldoende zicht op de nieuwe BENG-criteria. Gebruik is gemaakt van de eisen, die het ministerie van BZK tijdens het NEN-congres Energieprestatie 2.0' d.d. 20 november 2018 als voorgenomen eisen heeft gepubliceerd (nog aansluitend bij de NEN 7120 voor de energieprestatie-

<sup>17</sup> Materialisatie referentiebouwwerken; uitbreiding toepassing BENG-referentiegebouwen & toevoeging GWW-referentie ten behoeve van set referentiegebouwen voor monitoring- en effectstudies Milieuprestatie'; in opdracht van Stichting Bouwkwiteit; W/E adviseurs; Utrecht, mei 2019

berekeningen). Inmiddels<sup>18</sup> is een nieuwe set eisen beschikbaar, die in dit onderzoek als basis zijn genomen. Deze eisen sluiten aan bij de laatste versie van de NTA8800.

## 2. Bijstelling energieconcept

De RVO-referenties zijn uitgewerkt gericht op de combinatie energieprestatie en kosten. Hierbij zijn per referentie keuzen gemaakt die vanuit dat oogpunt logisch zijn, maar inconsistent blijken vanuit milieuprestatieoogpunt. Zo scoren de woningen met een fors schiloppervlakte onverwacht goed omdat hier een zeer goede schil noodzakelijk is, wat maakt dat er relatief weinig PV-panelen nodig zijn, wat weer erg gunstig is voor de MPG. Bij woningen met een kleiner schiloppervlakte is een mindere schilisolatie aangehouden, en is compensatie met externe levering en PV-panelen nodig, met dus een ongunstige invloed op de MPG. In dit onderzoek is de zeer goede schilisolatie als standaard uitgangspunt aangehouden: triple beglazing en RC-waarde vloer/gevel/dak is respectievelijk 5/7/8 m<sup>2</sup>K/W

## 3. Referentiegebouwen

Een type dat veel gebouwd wordt is de twee-onder-één-kap woning. Deze is niet in de RVO-referentieset opgenomen. Het referentietype 'Woning, hoek, medium' kan als twee-onder-één-kap worden beschouwd. Op verzoek van de klankbordgroep is in dit rapport de aanduiding 'twee-onder-één-kap' gebruikt.

Een gebouwtype dat de komende tijd regelmatig gebouwd zal worden is de woontoren. Dit type komt niet in de RVO-referentieset voor. Voor dit onderzoek is de woontoren als extra referentie opgesteld. In figuur 3.1 is de set referentiegebouwen gegeven en in bijlage 1 een geschematiseerde afbeelding van de gebouwen.

| NR | Referentie                                    | code       |
|----|-----------------------------------------------|------------|
| 1. | Woning, tussen, small (hellend dak)           | Tussen S   |
| 2. | Woning, tussen, medium (plat dak)             | Tussen M   |
| 3. | Woning, twee-onder-één-kap, medium            | 2-1-kap M  |
| 4. | Woning, vrij                                  | Vrij L     |
| 5. | Woongebouw, medium                            | Woon M     |
| 6. | Woongebouw, extra large (studio's, studenten) | Woon XL    |
| 7. | Kantoorgebouw, medium                         | Kantoor M  |
| 8. | Kantoorgebouw, extra large (met atrium)       | Kantoor XL |
| 9. | Woontoren, extra hoog                         | Woon H     |

figuur 3.1: de set referentiegebouwen, inclusief de woontoren

### 3.2.2 Varianten op de referentiegebouwen

Van de referentietypen mag verondersteld worden dat ze op hoofdlijnen representatief zijn voor de gebouwen, die de komende jaren als 'standaard' worden gerealiseerd. Hiermee is nog niet de brede diversiteit gevangen. Veel te realiseren gebouwen zullen in meer of mindere mate afwijken van die standaard uitvoeringen. Getracht is deze variatie te vangen met gebouwvarianten waarbij op vormfactoren en/of materialisatie is gevarieerd.

#### Variatie op 'vormfactoren'

Uit de eerdere onderzoeken is gebleken dat de vorm van het gebouw grote invloed heeft op de MPG. Relevant bleken het aantal bouwlagen, de BVO per (woon)eenheid, de verhouding geveloppervlakte/BVO en de verhouding open/dichte gevel. De invloed van het aantal bouwlagen is al meegenomen in de set referentietypen. Naast het verschil in

<sup>18</sup> <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2019/06/11/kamerbrief-bij-voorhang-van-het-ontwerpbesluit-houdende-wijziging-van-het-bouwbesluit-2012-inzake-bijna-energieneutrale-nieuwbouw>

afmetingen per referentietype is er ten aanzien van de vormfactoren op 3 parameters gevarieerd, namelijk de BVO (BV), de verhouding geveloppervlakte versus BVO (GE) en het aandeel open delen in de gevel (OP). In figuur 3.2 zijn de parameters en de opties per parameter opgenomen (de kolommen staan los van elkaar en dienen niet horizontaal gelezen te worden). In bijlage 2 worden de parameters en opties toegelicht.

| NR            | BV   | GE        | OP   |
|---------------|------|-----------|------|
| Referentie    | BVO  | Gevel/BVO | Open |
| 1. Tussen S   | -50% | 0%        | -25% |
| 2. Tussen M   | -25% | +10%      | 0%   |
| 3. 2-1-kap M  | 0%   | +20%      | +25% |
| 4. Vrij L     | +25% | +50%      | +50% |
| 5. Woon M     | +50% |           | +75% |
| 6. Woon XL    |      |           |      |
| 7. Kantoor M  |      |           |      |
| 8. Kantoor XL |      |           |      |
| 9. Woon H     |      |           |      |

figuur 3.2: parameters en opties betreffende vormfactoren

### Variatie op 'materialisatie'

Naast de vorm is ook de materialisatie relevant voor de MPG. Hierbij is op 3 parameters gevarieerd, namelijk de bouwmethode (BO), de uitvoering (UI) en het energieconcept (EC). In figuur 3.3 zijn de parameters en de opties per parameter opgenomen. Ook hier is een toelichting op de parameters en opties in bijlage 2 te vinden.

| NR            | BO          | UI         | EC             |
|---------------|-------------|------------|----------------|
| Referentie    | Bouwmethode | Uitvoering | Energieconcept |
| 1. Tussen S   | be          | re         | ae             |
| 2. Tussen M   | kz          | du         | wa             |
| 3. 2-1-kap M  | st          | nd         | ae-s           |
| 4. Vrij L     | hs          |            | wa-s           |
| 5. Woon M     |             |            |                |
| 6. Woon XL    |             |            |                |
| 7. Kantoor M  |             |            |                |
| 8. Kantoor XL |             |            |                |
| 9. Woon H     |             |            |                |

| Optie | toelichting              |
|-------|--------------------------|
| be    | beton                    |
| kz    | kzs                      |
| st    | staal                    |
| hs    | hsb                      |
| re    | standaard                |
| du    | duurzaam                 |
| nd    | niet duurzaam            |
| ae    | all-electric             |
| ae-s  | all-electric, bb-schil   |
| wa    | warmtelevering           |
| wa-s  | warmtelevering, bb-schil |

figuur 3.3: parameters en opties betreffende materialisatie

### Combinatie van varianten Vormfactoren en Materialisatie

Meestal zullen de gebouwen op meerdere parameters afwijken van de standaard uitvoering. Door combinatie van alle opties neemt het aantal gebouwvarianten explosief toe. Bij de selectie van combinaties is gezocht naar combinaties die de representativiteit van de set vergroten. Hierbij is de invloed van minder courante uitvoeringen (vaak ook de 'uitbijters' in de MPG-scores) en afmetingen beperkt gehouden, door minder combinaties op te nemen. De aanpak bij het maken van combinaties is in bijlage 2 beschreven. Dit heeft geresulteerd in 1022 varianten bij woningen en woongebouwen en 496 varianten bij de kantoorgebouwen.

## 4 Berekeningen, resultaten en analyse

### 4.1 Aanpak berekeningen

Het uitwerken, invoeren en doorrekenen met GPR Bouwbesluit van bijna 1600 gebouwvarianten is budgettair en planningstechnisch gezien niet haalbaar. Ook omdat er bij varianten, waarbij de schil of installaties aangepast is, ook een energieberekening nodig was om de hoeveelheid PV-panelen en externe energielevering vast te stellen. Zowel bij de energie- als de milieuprestatieberekeningen is een aanpak gevolgd, die aanzienlijk efficiënter bleek dan het stuk voor stuk doorrekenen van elke gebouwvariant.

#### 4.1.1 Energieprestatieberekening met 'batchtool'

De variatie op vormfactoren betekent altijd dat de hoeveelheid externe energielevering en PV-panelen bijgesteld moest worden om aan de BENG-eisen te kunnen blijven voldoen. Om dit kloppend te krijgen was voor al deze gebouwvarianten een energieprestatierekening nodig. Hiertoe is een 'batch-tool' ontwikkeld, dat de laatst beschikbare versie<sup>19</sup> van het door NEN beheerde NTA-Validatietool als basis had. De hoeveelheden externe levering (kWh en MJ) en PV-panelen (m<sup>2</sup>) zijn bepaald door deze te 'fitten' met de BENG-eisen (elke variant moest minimaal voldoen aan de 3 BENG-criteria). Hierbij is gebruik gemaakt van de meest recente set BENG-eisen (figuur 4.1).

| nr Gebruiksfunctie    | BENG 1 [kWh/m <sup>2</sup> xjaar] |                               |                  | BENG 2 [kWh/m <sup>2</sup> xjaar] | BENG 3 [%] |
|-----------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------------|------------|
|                       | criterium                         | eis                           | eis              |                                   |            |
|                       | standaard bouwwijze               |                               | lichte bouwwijze |                                   |            |
| 1a Woongebouw         | Ais / Ag ≤ 1,83                   | ≤ 65                          | + 5              | ≤ 50                              | ≥ 40       |
|                       | 1,83 < Ais / Ag ≤ 3,00            | ≤ 55 + 30 x (Ais / Ag - 1,5)  | + 5              |                                   |            |
|                       | Ais / Ag > 3,00                   | ≤ 100 + 50 x (Ais / Ag - 3,0) | + 5              |                                   |            |
| 1e Andere woonfunctie | Ais / Ag ≤ 1,50                   | ≤ 55                          | + 5              | ≤ 30                              | ≥ 50       |
|                       | 1,50 < Ais / Ag ≤ 3,00            | ≤ 55 + 30 x (Ais / Ag - 1,5)  | + 5              |                                   |            |
|                       | Ais / Ag > 3,00                   | ≤ 100 + 50 x (Ais / Ag - 3,0) | + 5              |                                   |            |
| 6 Kantoorfunctie      | Ais / Ag ≤ 1,8                    | ≤ 90                          | -                | ≤ 40                              | ≥ 30       |
|                       | Ais / Ag > 1,8                    | ≤ 90 + 30 x (Ais / Ag - 1,8)  | -                |                                   |            |

figuur 4.1: BENG-criteria voor woon- en kantoorgebouwen<sup>20</sup> (bron: BZK, juni 2019)

#### 4.1.2 Milieuprestatieberekening met GPR Bouwbesluit

De MPG-berekeningen zijn uitgevoerd met het gevalideerde rekeninstrument GPR Bouwbesluit. Dit betekent met de bepalingmethode, versie 2.0<sup>21</sup> en de NMD2.3 als onderlegger (zie figuur 4.2).

<sup>19</sup> Rekentool NTA 8800 v1.26 06 06 2019

<sup>20</sup> <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2019/06/11/kamerbrief-bij-voorhang-van-het-ontwerpbesluit-houdende-wijziging-van-het-bouwbesluit-2012-inzake-bijna-energie neutrale-nieuwbouw>

<sup>21</sup> Bepalingmethode 'Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken' versie 2.0, november 2014, waarin is opgenomen het 'wijzigingsblad overgang naar ecoinvent v3.3 d.d. 1 juni 2017' en het 'wijzigingsblad "Aanwijzing welke constructies en installaties er in beschouwing moeten worden genomen bij het bepalen van de milieuprestatie van een gebruiksfunctie" d.d. 1 augustus 2017".

| MPG-KENGETALLEN                     | MILIEUEFFECTEN | MPG ELEMENTEN | UITGANGSPUNTEN |
|-------------------------------------|----------------|---------------|----------------|
| <b>Versie software en databases</b> |                |               |                |
| Versie GPR Bouwbesluit              |                |               | 1.1            |
| Versie Nationale Milieudatabase     |                |               | 2.3            |
| Versie GPR MPG rekenkern            |                |               | 1.1.6          |

*figuur 4.2: afdruk scherm Uitgangspunten in GPR Bouwbesluit*

Niet alle gebouwvarianten zijn in GPR Bouwbesluit ingevoerd en doorgerekend. Bij een groot aantal gebouwvarianten is de milieuprestatie berekend via een rekenexercitie in een spreadsheet:

- **Gebouwvarianten Materialisatie**  
Bij de combinatie van parameters bleek het vaak mogelijk een gecombineerd effect per bouwdeel te bepalen door de invloed van elke parameter (verhouding met en zonder de wijziging) met elkaar te vermenigvuldigen. Door sommatie over de bouwdelen is vervolgens de MPG bepaald.
- **Gebouwvarianten Vormfactoren**  
Bij de berekeningen met GPR Bouwbesluit kon worden volstaan met de berekeningen, waarbij bij alle vormfactoren de optie 0% was gekozen. De rest kon worden bepaald via de spreadsheet. Hierbij is eerst de invloed van de opties op de hoofdafmetingen bepaald. Binnen GPR Bouwbesluit zijn alle elementen gekoppeld aan deze hoofdafmetingen, de afmetingen van deze elementen schalen automatisch mee. Ook is elk in GPR Bouwbesluit onderscheiden bouwdeel gerelateerd aan één of meerdere hoofdafmetingen. De invloed van de opties kon hierdoor berekend worden door wijzigingen in hoofdafmetingen als factor te vermenigvuldigen met de MPG-score van het bouwdeel in de referentiesituatie. De sommatie over de bouwdelen leverde de MPG op.
- **Gebouwvarianten combinaties van Materialisatie en Vormfactoren**  
Hier bleek een vergelijkbare aanpak als bij Vormfactoren mogelijk. Dit omdat bij combinaties van parameters (binnen Materialisatie of bij combi's van Materialisatie en Vormfactoren) er geen onderlinge beïnvloeding is. Bij deze combinaties is een gecombineerd effect per bouwdeel bepaald door de invloed van elke parameter (verhouding met en zonder de wijziging) met elkaar te vermenigvuldigen. Waarna ook hier de MPG verkregen werd door sommatie over de bouwdelen.

## 4.2 Resultaten berekeningen

### 4.2.1 MPG-score varianten per type

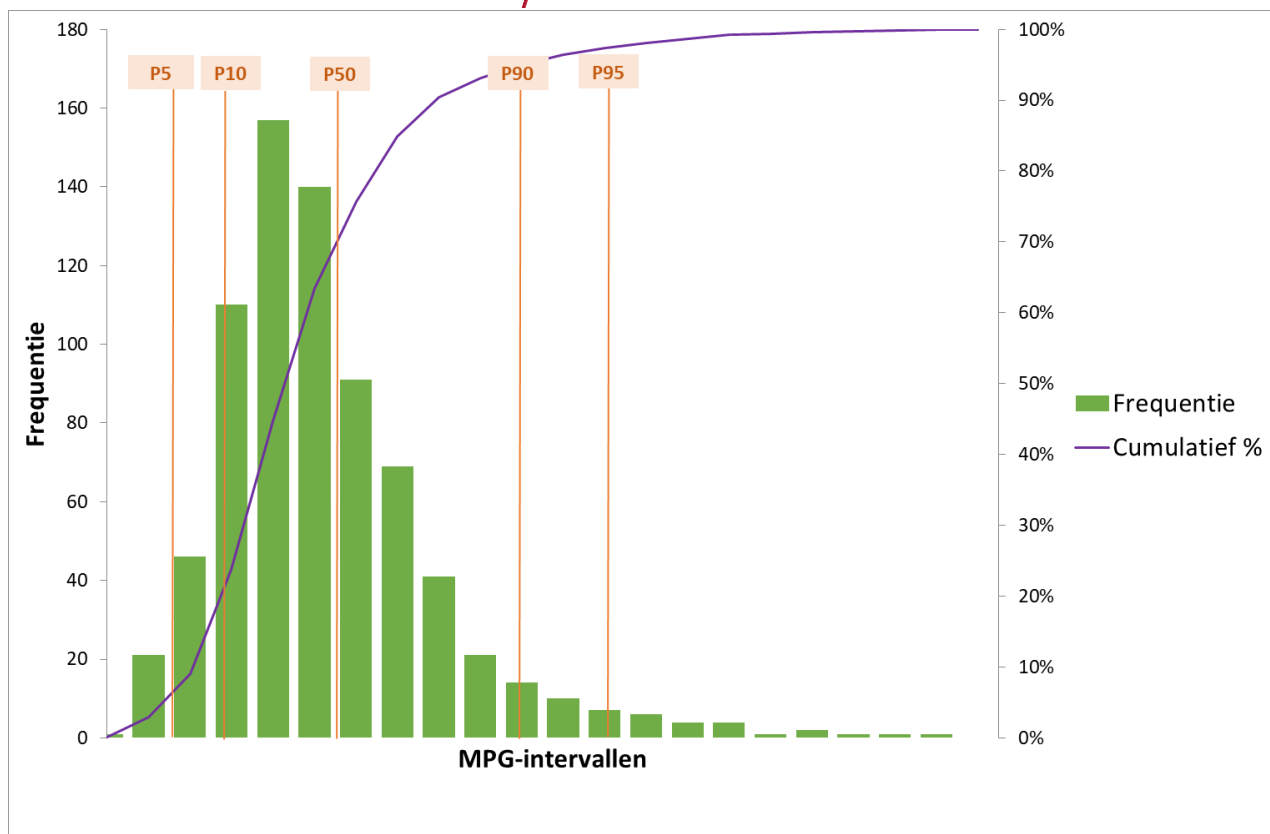
Per referentietype zijn alle in figuur B2 - 19 (bijlage 2) gegeven gebouwvarianten doorgerekend (per bouwdeel en gesommeerd tot MPG) en verzameld in een spreadsheet. Als voorbeeld de eerste 20 van de 153 varianten bij type 1, Tussen S (figuur 4.3).

| NR | BV   | GE   | OP   | BO | UI | EC | Combinatie van opties       |           | MPG en MKI per bouwdeel / element |         |          |         |        |          |           |           |        |        |        |
|----|------|------|------|----|----|----|-----------------------------|-----------|-----------------------------------|---------|----------|---------|--------|----------|-----------|-----------|--------|--------|--------|
|    |      |      |      |    |    |    | Variant                     | inderings | Vloeren                           | gconstr | Ge,dicht | Ge,open | Daken  | sta,over | Extern-el | extern-wa | PV     | Inbouw | MPG    |
| 1. | -50% | 0%   | 0%   | be | re | ae | 1.BV=-50%;GE=0%;OP=0%;BO=b  | 0,0208    | 0,0984                            | 0,0742  | 0,0819   | 0,0898  | 0,0511 | 0,0388   | 0,0670    | 0,0000    | 0,0000 | 0,0270 | 0,5490 |
| 1. | -50% | 0%   | -25% | be | re | ae | 1.BV=-50%;GE=0%;OP=-25%;BO  | 0,0208    | 0,0984                            | 0,0742  | 0,0891   | 0,0673  | 0,0511 | 0,0388   | 0,0667    | 0,0000    | 0,0000 | 0,0270 | 0,5334 |
| 1. | -50% | 0%   | +50% | be | re | ae | 1.BV=-50%;GE=0%;OP=+50%;BO  | 0,0208    | 0,0984                            | 0,0742  | 0,0676   | 0,1346  | 0,0511 | 0,0388   | 0,0675    | 0,0000    | 0,0000 | 0,0270 | 0,5801 |
| 1. | -50% | +10% | 0%   | be | re | ae | 1.BV=-50%;GE=+10%;OP=0%;BO  | 0,0208    | 0,0984                            | 0,0742  | 0,0901   | 0,0987  | 0,0511 | 0,0388   | 0,0675    | 0,0000    | 0,0000 | 0,0270 | 0,5667 |
| 1. | -50% | +10% | -25% | be | re | ae | 1.BV=-50%;GE=+10%;OP=-25%;E | 0,0208    | 0,0984                            | 0,0742  | 0,0980   | 0,0741  | 0,0511 | 0,0388   | 0,0672    | 0,0000    | 0,0000 | 0,0270 | 0,5496 |
| 1. | -50% | +10% | +50% | be | re | ae | 1.BV=-50%;GE=+10%;OP=+50%;I | 0,0208    | 0,0984                            | 0,0742  | 0,0744   | 0,1481  | 0,0511 | 0,0388   | 0,0681    | 0,0000    | 0,0000 | 0,0270 | 0,6010 |
| 1. | -50% | +20% | 0%   | be | re | ae | 1.BV=-50%;GE=+20%;OP=0%;BO  | 0,0208    | 0,0984                            | 0,0742  | 0,0983   | 0,1077  | 0,0511 | 0,0388   | 0,0681    | 0,0000    | 0,0000 | 0,0270 | 0,5844 |
| 1. | -50% | +20% | -25% | be | re | ae | 1.BV=-50%;GE=+20%;OP=-25%;E | 0,0208    | 0,0984                            | 0,0742  | 0,1069   | 0,0808  | 0,0511 | 0,0388   | 0,0678    | 0,0000    | 0,0000 | 0,0270 | 0,5658 |
| 1. | -50% | +20% | +50% | be | re | ae | 1.BV=-50%;GE=+20%;OP=+50%;I | 0,0208    | 0,0984                            | 0,0742  | 0,0812   | 0,1616  | 0,0511 | 0,0388   | 0,0687    | 0,0000    | 0,0000 | 0,0270 | 0,6218 |
| 1. | -25% | 0%   | 0%   | be | re | ae | 1.BV=-25%;GE=0%;OP=0%;BO=b  | 0,0208    | 0,0984                            | 0,0557  | 0,0614   | 0,0673  | 0,0511 | 0,0388   | 0,0600    | 0,0000    | 0,0000 | 0,0270 | 0,4805 |
| 1. | -25% | 0%   | -25% | be | re | ae | 1.BV=-25%;GE=0%;OP=-25%;BO  | 0,0208    | 0,0984                            | 0,0557  | 0,0668   | 0,0505  | 0,0511 | 0,0388   | 0,0598    | 0,0000    | 0,0000 | 0,0270 | 0,4688 |
| 1. | -25% | 0%   | +50% | be | re | ae | 1.BV=-25%;GE=0%;OP=+50%;BO  | 0,0208    | 0,0984                            | 0,0557  | 0,0507   | 0,1010  | 0,0511 | 0,0388   | 0,0604    | 0,0000    | 0,0000 | 0,0270 | 0,5039 |
| 1. | -25% | +10% | 0%   | be | re | ae | 1.BV=-25%;GE=+10%;OP=0%;BO  | 0,0208    | 0,0984                            | 0,0557  | 0,0676   | 0,0741  | 0,0511 | 0,0388   | 0,0604    | 0,0000    | 0,0000 | 0,0270 | 0,4938 |
| 1. | -25% | +10% | -25% | be | re | ae | 1.BV=-25%;GE=+10%;OP=-25%;E | 0,0208    | 0,0984                            | 0,0557  | 0,0735   | 0,0555  | 0,0511 | 0,0388   | 0,0602    | 0,0000    | 0,0000 | 0,0270 | 0,4810 |
| 1. | -25% | +10% | +50% | be | re | ae | 1.BV=-25%;GE=+10%;OP=+50%;I | 0,0208    | 0,0984                            | 0,0557  | 0,0558   | 0,1111  | 0,0511 | 0,0388   | 0,0608    | 0,0000    | 0,0000 | 0,0270 | 0,5195 |
| 1. | -25% | +20% | 0%   | be | re | ae | 1.BV=-25%;GE=+20%;OP=0%;BO  | 0,0208    | 0,0984                            | 0,0557  | 0,0737   | 0,0808  | 0,0511 | 0,0388   | 0,0608    | 0,0000    | 0,0000 | 0,0270 | 0,5071 |
| 1. | -25% | +20% | -25% | be | re | ae | 1.BV=-25%;GE=+20%;OP=-25%;E | 0,0208    | 0,0984                            | 0,0557  | 0,0802   | 0,0606  | 0,0511 | 0,0388   | 0,0606    | 0,0000    | 0,0000 | 0,0270 | 0,4931 |
| 1. | -25% | +20% | +50% | be | re | ae | 1.BV=-25%;GE=+20%;OP=+50%;I | 0,0208    | 0,0984                            | 0,0557  | 0,0609   | 0,1212  | 0,0511 | 0,0388   | 0,0613    | 0,0000    | 0,0000 | 0,0270 | 0,5351 |

figuur 4.3: voorbeeld - MPG-scores bij 20 van de 153 gebouwvarianten bij referentietype 1

De resultaten zijn vervolgens uitgezet in een frequentieverdeling, waarbij het bereik van de MPG-scores is opgedeeld in groot aantal klassen, en per klasse is bepaald hoeveel varianten in die klasse vallen. In figuur 4.4 is een voorbeeld van een frequentieverdeling te zien (NB: geen reële MPG-scores). Als ijkpunten zijn een aantal percentielwaarden aan de verdeling toegevoegd. De percentielwaarden geven de positie in de frequentieverdeling aan waarbij xx procent van de gebouwvarianten beter scoort en xx procent slechter.

- 5e-percentiel-waarde (p5)  
Dit is de MPG-score, waarbij 5% van de gebouwvarianten beter scoort en 95% slechter. Deze waarde geeft een indruk van wat maximaal haalbaar is (binnen het productaanbod in de NMD2.3).
- 10e-percentiel-waarde  
Dit is de MPG-score, waarbij 10% van de gebouwvarianten beter scoort en 90% slechter. Deze waarde geeft een indruk van wat een goede score is.
- 50e-percentiel-waarde, ook wel mediaan genoemd (p50)  
Dit is de MPG-score, waarbij 50% van de gebouwvarianten beter scoort en 50% slechter. Een voordeel van het werken met de mediaan ten opzichte van het gemiddelde is dat deze veel minder gevoelig is voor de enkele extreem hoge of lage waarden (de 'uitbijters').
- 90e-percentiel-waarde  
Dit is de MPG-score, waarbij 90% van de gebouwvarianten beter scoort en 10% slechter. Deze waarde geeft een indruk van de scores van de ongunstige woningvarianten.
- 95e-percentiel-waarde  
Dit is de MPG-score, waarbij 95% van de gebouwvarianten beter scoort en 5% slechter. Deze waarde geeft een indruk van de woningvarianten, die nog wel gebouwd zouden kunnen worden, maar dan erg slecht zullen scoren.



figuur 4.4: voorbeeld van een MPG-frequentieverdeling

In figuur 4.5 naast de laagste en de hoogste MPG-score ook de 5<sup>e</sup>, 10<sup>e</sup>, 50<sup>e</sup>, 90<sup>e</sup> en 95<sup>e</sup> percentielen bij type 1, Tussen S.

| Tussen S     |      | n=153 |
|--------------|------|-------|
| minimum      |      | 0,20  |
| percentielen | 0,05 | 0,24  |
|              | 0,10 | 0,31  |
|              | 0,50 | 0,51  |
|              | 0,90 | 0,68  |
|              | 0,95 | 0,74  |
| maximum      |      | 0,81  |

figuur 4.5: voorbeeld - percentielwaarden en de laagste en hoogste MPG-score bij type 1 (153 varianten)

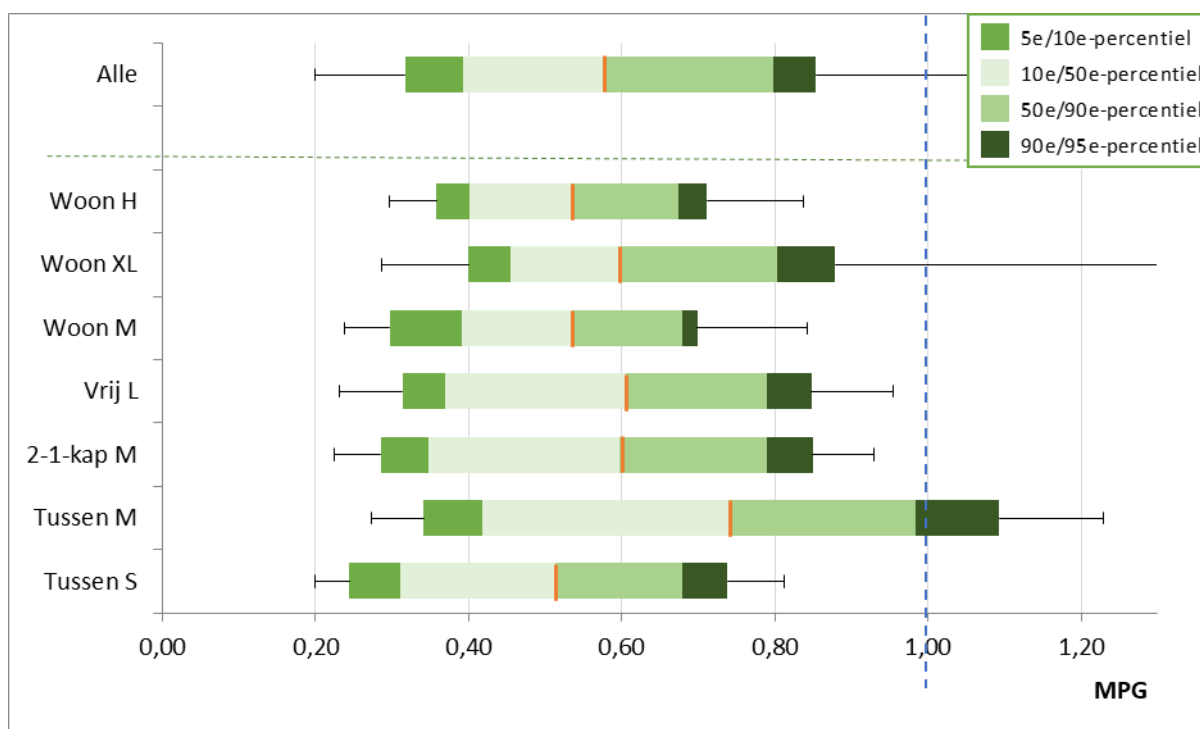
#### 4.2.2 MPG-score varianten woningen en woongebouwen

De percentielwaarden bij de 7 typen bij woningen en woongebouwen zijn bij elkaar gezet in een tabel (figuur 4.6). Ook de percentielwaarden van alle typen bij woningen en woongebouwen samen zijn opgenomen (kolom 'Alle'). In de tabel is bijvoorbeeld te zien dat de mediaan bij Tussen M (0,74) duidelijk ongunstiger is dan die bij Tussen S (0,51). Ook is te zien dat de hoogste waarde bij 'Alle' (1,68) afkomstig is uit de set gebouwvarianten bij Woon XL.

| Waarden        | Tussen S | Tussen M | 2-1-kap M | Vrij L | Woon M | Woon XL | Woon H | Alle |
|----------------|----------|----------|-----------|--------|--------|---------|--------|------|
| Laagste waarde | 0,20     | 0,27     | 0,22      | 0,23   | 0,24   | 0,29    | 0,30   | 0,20 |
| 5% percentiel  | 0,24     | 0,34     | 0,29      | 0,31   | 0,30   | 0,40    | 0,36   | 0,32 |
| 10% percentiel | 0,31     | 0,42     | 0,35      | 0,37   | 0,39   | 0,45    | 0,40   | 0,39 |
| Mediaan (50p)  | 0,51     | 0,74     | 0,60      | 0,61   | 0,54   | 0,60    | 0,53   | 0,58 |
| 90% percentiel | 0,68     | 0,98     | 0,79      | 0,79   | 0,68   | 0,80    | 0,67   | 0,80 |
| 95% percentiel | 0,74     | 1,09     | 0,85      | 0,85   | 0,70   | 0,88    | 0,71   | 0,85 |
| Hoogste waarde | 0,81     | 1,23     | 0,93      | 0,95   | 0,84   | 1,68    | 0,84   | 1,68 |

figuur 4.6: percentielwaarden en de laagste en hoogste MPG-score bij woningen en woongebouwen

De scores uit de tabel zijn gevisualiseerd in figuur 4.7 waarin per type en over alle typen een boxplot<sup>22</sup> is opgenomen. In de boxplot bevinden de waarden tussen de 5<sup>e</sup>-percentiel en 95<sup>e</sup>-percentiel zich in de box, en worden de waarden daarbuiten (dus <5<sup>e</sup> of >95<sup>e</sup>) weergegeven in de vorm van twee lijnen. Ter verduidelijking is de mediaan (50<sup>e</sup> percentiel) met een oranje lijn aangegeven.



figuur 4.7: boxplot op basis percentielwaarden (per type en alle typen woningen en woongebouwen)

In figuur 4.8 is te vinden wat het verschil is tussen de referentietypen en de waarden bij alle typen. Dit geeft een beeld van de typen die over het algemeen gunstiger of juist ongunstiger scoren. Hier is bijvoorbeeld te zien dat Tussen S over de hele linie gunstiger scoort (percentages zijn negatief). Opvallend is de ongunstige score van Tussen M met vooral ook veel uitschieters in negatieve zin (bij de hogere percentielwaarden). Dit komt door de zeer ongunstige verhouding tussen BVO en schil bij dit type (zie bijlage 1). Bij varianten met een klein BVO en/of niet duurzame uitvoering schieten de waarden

<sup>22</sup>Een boxplot (of doosdiagram) is een grafische weergave op basis van meetwaarden (percentielen) in een frequentieverdeling. Een boxplot is daarmee een weliswaar sterk vereenvoudigde, maar zeer bruikbare, voorstelling van de verdeling van de data.



omhoog. Bijzonder aan Woon XL zijn de kleine wooneenheden. Hierdoor is het lastiger de score omlaag te brengen dan bij bijvoorbeeld de grondgebonden woningen.

| Verschillen    | Tussen S | Tussen M | 2-1-kap M | Vrij L | Woon M | Woon XL | Woon H | Alle |
|----------------|----------|----------|-----------|--------|--------|---------|--------|------|
| 5% percentiel  | -23%     | 8%       | -10%      | -1%    | -6%    | 26%     | 13%    | 0%   |
| 10% percentiel | -21%     | 6%       | -12%      | -6%    | -1%    | 15%     | 2%     | 0%   |
| Mediaan (50p)  | -11%     | 28%      | 3%        | 5%     | -7%    | 3%      | -8%    | 0%   |
| 90% percentiel | -15%     | 23%      | -1%       | -1%    | -15%   | 1%      | -16%   | 0%   |
| 95% percentiel | -14%     | 28%      | -1%       | -1%    | -18%   | 3%      | -17%   | 0%   |

figuur 4.8: verschil in waarden per type ten opzichte van de waarden bij alle typen

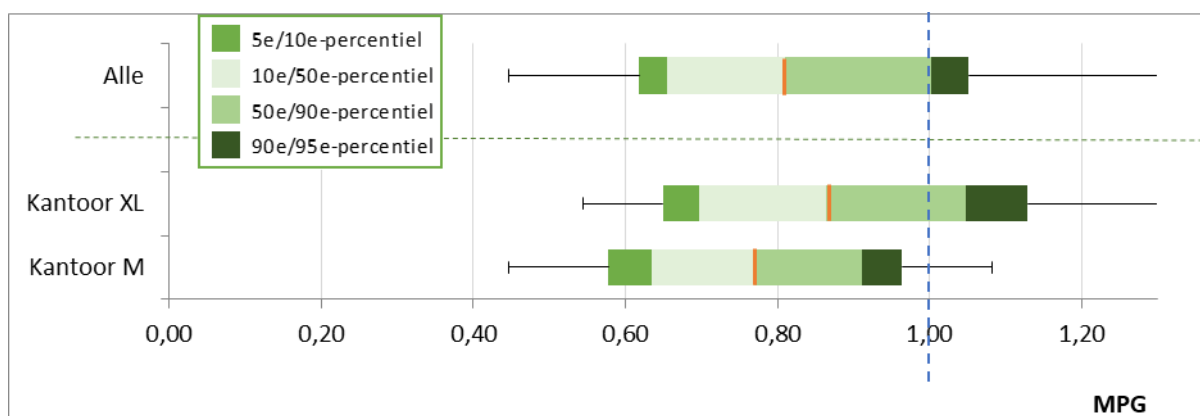
#### 4.2.3 MPG-score varianten kantoorgebouwen

De percentielwaarden bij de 2 typen bij kantoorgebouwen zijn net als bij woningen en woongebouwen bij elkaar gezet in een tabel (figuur 4.9). Ook de percentielwaarden van beiden typen bij kantoorgebouwen samen zijn opgenomen.

| Waarden        | Kantoor M | Kantoor XL | Alle |
|----------------|-----------|------------|------|
| Laagste waarde | 0,45      | 0,54       | 0,45 |
| 5% percentiel  | 0,58      | 0,65       | 0,62 |
| 10% percentiel | 0,63      | 0,70       | 0,65 |
| Mediaan (50p)  | 0,77      | 0,86       | 0,81 |
| 90% percentiel | 0,91      | 1,05       | 1,00 |
| 95% percentiel | 0,96      | 1,13       | 1,05 |
| Hoogste waarde | 1,08      | 1,36       | 1,36 |

figuur 4.9: percentielwaarden en de laagste en hoogste MPG-score bij kantoorgebouwen

De scores uit de tabel zijn weer gevisualiseerd in figuur 4.10 waarin per type en over alle typen een boxplot is opgenomen.



figuur 4.10: boxplot op basis percentielwaarden (per type en alle typen kantoorgebouwen)

In figuur 4.11 is weer te vinden wat het verschil is tussen het referentietypen en de waarden bij alle typen. Het grotere kantoor (zie bijlage 1) scoort ongunstiger, waarschijnlijk door de aanwezigheid van het overdekte atrium. De verschillen zijn over de hele lijn gelijk.

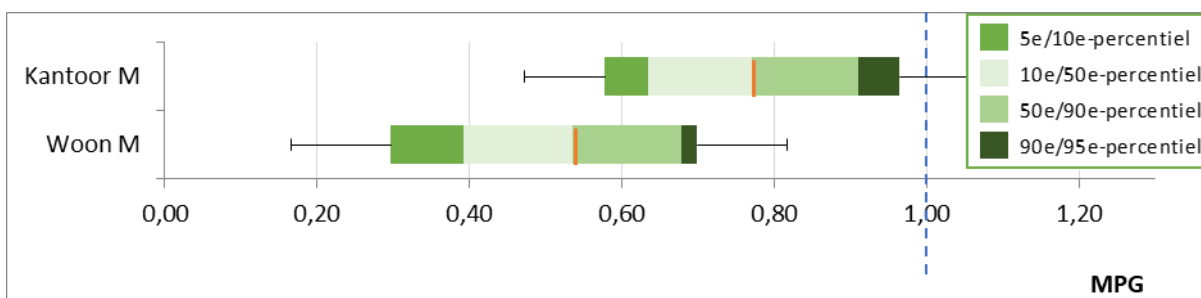
| Verschillen    | Kantoor M | Kantoor XL | Alle |
|----------------|-----------|------------|------|
| 5% percentiel  | -7%       | 5%         | 0%   |
| 10% percentiel | -3%       | 7%         | 0%   |
| Mediaan (50p)  | -5%       | 7%         | 0%   |
| 90% percentiel | -9%       | 5%         | 0%   |
| 95% percentiel | -8%       | 7%         | 0%   |

figuur 4.11: verschil in waarden per type ten opzichte van de waarden bij alle typen

Vergeleken met de woningen en woongebouwen zijn de MPG-scores over het gehele bereik meer dan 0,20 hoger (zie figuur 4.12). Eén van de verklaringen is de kortere default gebouwlevensduur (50 in plaats van 75 jaar) bij de varianten op type 7 en 8.

| Waarden        | Woon M | Kantoor M | verschil |
|----------------|--------|-----------|----------|
| Laagste waarde | 0,24   | 0,45      | 0,21     |
| 5% percentiel  | 0,30   | 0,58      | 0,28     |
| 10% percentiel | 0,39   | 0,63      | 0,24     |
| Mediaan (50p)  | 0,54   | 0,77      | 0,23     |
| 90% percentiel | 0,68   | 0,91      | 0,23     |
| 95% percentiel | 0,70   | 0,96      | 0,27     |
| Hoogste waarde | 0,84   | 1,08      | 0,24     |

figuur 4.12: waarden bij kantoorgebouwen vergeleken met die bij woningen en woongebouwen



figuur 4.13: vergelijking MPG-scores Kantoor M met Woon M (verschuiving mediaan: 0,23)

## 4.3 Gevoeligheidsanalyses

### 4.3.1 Aanpak gevoeligheidsanalyses

Bij de selectie van de gebouwvarianten, waarop de frequentieverdelingen zijn gebaseerd, is getracht een set vast te stellen die de komende nieuwbouw goed representeert. Bijzondere of extremere varianten zijn daarbij niet of beperkt meegenomen. Dit om te voorkomen dat ze het beeld van de kwaliteitsniveaus teveel beïnvloeden. Om toch zicht te krijgen in de mate waarin de kwaliteitsniveaus bij deze varianten afwijken van de standaard uitvoeringen, zijn een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Dit is meestal gebeurd door de MPG-scores bij de extreme of bijzondere varianten per type te vergelijken met de referentie. Ten behoeve van extra inzicht is de MPG hierbij opgesplitst naar de afzonderlijke bouwdelen.

De selectie van gevoeligheidsanalyses is deels gebaseerd op de analyse van de extremere varianten in de frequentieverdelingen beschouwd (zie bijlage 2). Dit leverde de volgende gevoeligheidsanalyses op:

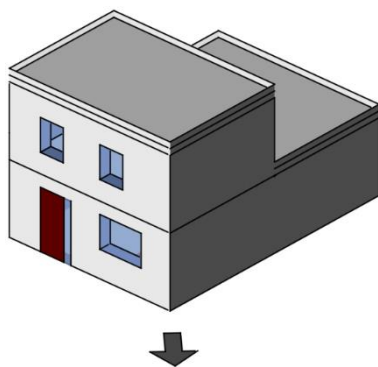
1. referentietype 2
2. extreem (on)gunstige materialisatie

Daarnaast waren er verzoeken vanuit onder andere de klankbordgroep, gericht op specifieke vraagstukken die in de bouwpraktijk leven. Dit leverde als extra gevoeligheidsanalyses op:

1. aardbevingsbestendigheid
2. energieconcept 'groen' gas
3. lengte funderingspalen
4. specifieke gebouwlevensduur
5. vergelijkingseenheid ( $m^2go$  versus  $m^2bvo$ )

#### 4.3.2 Gevoeligheid 1: referentietype 2

In de boxplot bij woningen en woongebouwen is te zien dat referentietype 2, Tussen M (figuur 4.14), een afwijkend patroon kent. Bij Tussen M zijn er relatief veel varianten met een hoge MPG. Een reden om Tussen M nader te beschouwen.

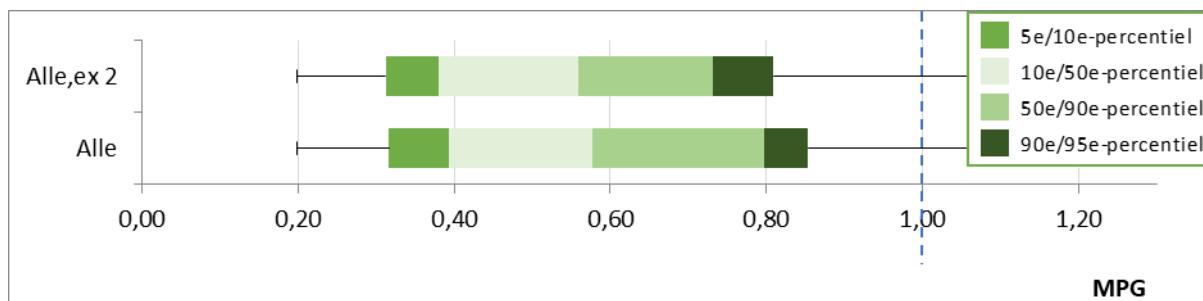


*figuur 4.14: type 2 - Woning, tussen, medium (plat dak)*

Tussen M blijkt een ongunstige vorm te hebben. Het is een relatief kleine woning ( $105 m^2$  BVO) met een relatief grote schil. Naar aanleiding hiervan een aantal kanttekeningen:

1. Net als type 1 betreft het een tussenwoning. Type 2 zou je ook kunnen beschouwen als een variant op type 1 met ongunstige vormfactoren. Ook bij de andere grondgebonden woningen is deze variatie denkbaar. Bij type 4, vrijstaand bijvoorbeeld in de vorm van een patiowoning bestaande uit één bouwlaag.
2. Bij het aanmaken van de varianten is al op de BVO (parameter BO) en de verhouding geveloppervlakte/BVO (parameter GE) gevarieerd. Eigenlijk zijn de varianten met de ongunstige vormfactoren, zoals de woning in figuur 4.14 en de patiowoning, dus al in de set gebouwvarianten opgenomen. Bij de varianten op type 2, waarbij bij BO en GE ongunstige opties zijn gekozen (bijvoorbeeld BO:-50% en GE:+20%) ontstaat een extreme variant. Dit gaat dan om een woning van  $53m^2$  BVO met een geveloppervlakte/BVO, die nog ongunstiger is dan die in figuur 4.14.
3. Bij de RVO-referenties wordt type 2 aangeduid als een levensloopbestendige woning. Dit is gezien de vergrijzing een type wat steeds meer gebouwd zal worden. Samen met de trend naar meer éénpersoons huishoudens zijn hele kleine woningen ( $53 m^2$  BVO) wel voorstelbaar. Dat geldt minder voor de ongunstige variatie op de compactheid (gevel/BVO-verhouding 20% groter). Zeker bij een tussenwoning is een nog minder compacte woning nauwelijks denkbaar.

De bovenstaande kanttekeningen zijn aanleiding geweest om een gevoeligheidsanalyse uit te voeren, waarbij een frequentieverdeling is opgesteld voor alle woningen en woongebouwen, exclusief de varianten op type 2. In figuur 4.15 is de op basis van die verdeling gemaakte boxplot vergeleken met de oorspronkelijke boxplot over alle typen, inclusief type 2.



figuur 4.15: boxplot op basis percentielwaarden alle typen woningen en woongebouwen, exclusief (boven) versus inclusief type 2 (onder)

Uit figuur 4.15 blijkt dat de keuze om type 2 niet mee te nemen een relevante invloed heeft op de frequentieverdeling. Vooral richting de hogere MPG-waarden (rechts in figuur 4.15) worden de percentielwaarden dan duidelijk lager (gunstiger). De 90e-percentiel-waarde verschuift daarbij van 0,80 naar 0,73, de 95e-percentiel-waarde van 0,85 naar 0,81.

Ook bij type 2 zijn er voldoende optimalisatiemogelijkheden, waarmee een hogere MPG door de ongunstige opties bij de vormfactoren BV en GE gecompenseerd kan worden. In figuur 4.16 zijn de varianten op type 2 met een MPG boven de vigerende grenswaarde van 1.0 weergegeven. Het betreft 15 van de 153 varianten bij type 2. Bij alle 15 varianten kan de score omlaag worden gebracht door te kiezen voor een duurzamere materialisatie (UI: du of zelfs du+) of gunstigere bouwmethode (BO: kz of hs). Vaak zijn ook gunstigere opties bij het aandeel open geveldelen en het energieconcept mogelijk.

| NR | BV   | GE   | OP   | BO | UI | EC | Variant                                     | MPG    |
|----|------|------|------|----|----|----|---------------------------------------------|--------|
| 2. | -50% | +20% | +50% | be | re | wa | 2.BV=-50%;GE=+20%;OP=+50%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,2297 |
| 2. | -50% | +10% | +50% | be | re | wa | 2.BV=-50%;GE=+10%;OP=+50%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,1833 |
| 2. | -50% | +20% | 0%   | be | re | wa | 2.BV=-50%;GE=+20%;OP=0%;BO=be;UI=re;EC=wa   | 1,1647 |
| 2. | -50% | 0%   | +50% | be | re | wa | 2.BV=-50%;GE=0%;OP=+50%;BO=be;UI=re;EC=wa   | 1,1369 |
| 2. | -50% | +20% | -25% | be | re | wa | 2.BV=-50%;GE=+20%;OP=-25%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,1292 |
| 2. | -50% | +10% | 0%   | be | re | wa | 2.BV=-50%;GE=+10%;OP=0%;BO=be;UI=re;EC=wa   | 1,1213 |
| 2. | -50% | +20% | +50% | be | nd | wi | 2.BV=-50%;GE=+20%;OP=+50%;BO=be;UI=nd;EC=wi | 1,1179 |
| 2. | -50% | +10% | -25% | be | re | wa | 2.BV=-50%;GE=+10%;OP=-25%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,0934 |
| 2. | -50% | 0%   | 0%   | be | re | wa | 2.BV=-50%;GE=0%;OP=0%;BO=be;UI=re;EC=wa     | 1,0803 |
| 2. | -50% | 0%   | -25% | be | re | wa | 2.BV=-50%;GE=0%;OP=-25%;BO=be;UI=re;EC=wa   | 1,0551 |
| 2. | -50% | +20% | 0%   | be | nd | wi | 2.BV=-50%;GE=+20%;OP=0%;BO=be;UI=nd;EC=wi   | 1,0403 |
| 2. | 0%   | 0%   | 0%   | be | nd | wi | 2.BV=0%;GE=0%;OP=0%;BO=be;UI=nd;EC=wi       | 1,0347 |
| 2. | -50% | 0%   | 0%   | be | nd | ae | 2.BV=-50%;GE=0%;OP=0%;BO=be;UI=nd;EC=ae     | 1,0298 |
| 2. | 0%   | 0%   | 0%   | be | nd | wa | 2.BV=0%;GE=0%;OP=0%;BO=be;UI=nd;EC=wa       | 1,0055 |
| 2. | -50% | +20% | -25% | be | nd | wi | 2.BV=-50%;GE=+20%;OP=-25%;BO=be;UI=nd;EC=wi | 1,0016 |

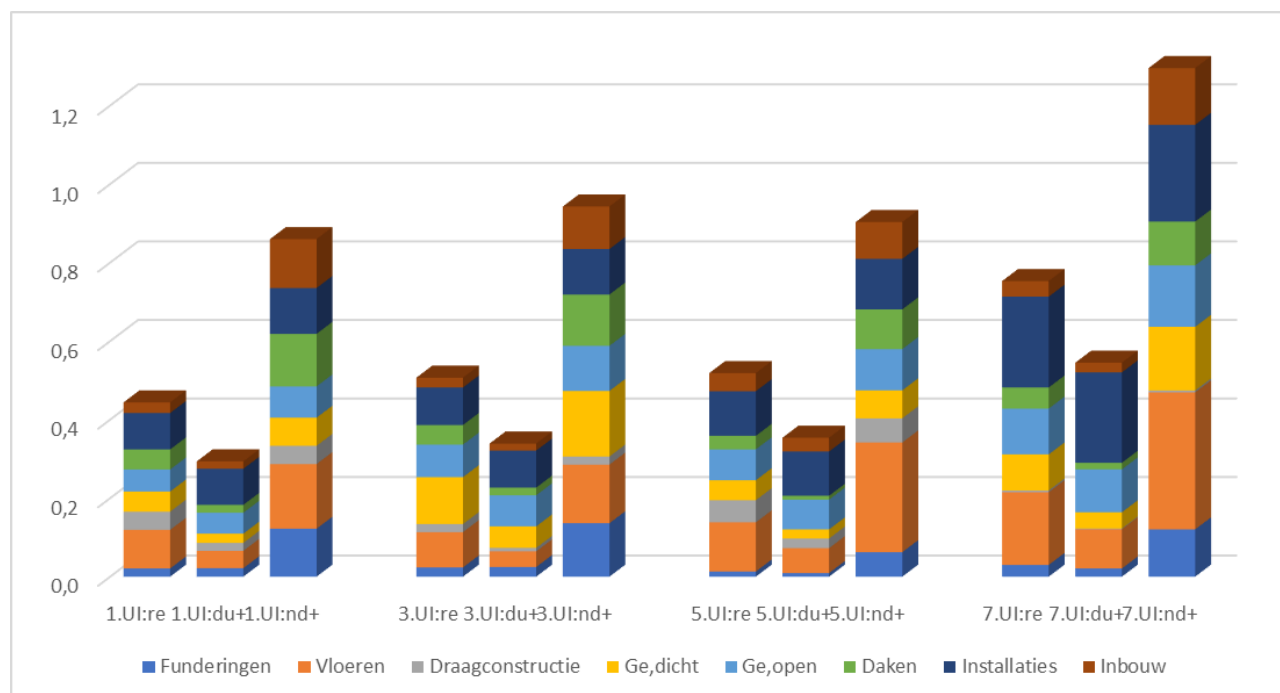
figuur 4.16: varianten op type 2 met een MPG boven de vigerende grenswaarde van 1.0

### 4.3.3 Gevoeligheid 2: extreem (on)gunstige materialisatie

Bij de parameter zijn de opties duurzaam (du) en niet duurzaam (nd) uitgewerkt. Hierbij zijn per element producten gekozen, die respectievelijk een gunstigere of ongunstigere MKI hebben. De producten moesten wel realistisch zijn binnen 'reguliere' projecten. In deze gevoeligheid is deze voorwaarde losgelaten en zijn extremere producten gekozen. figuur 4.17 en figuur 4.18 geven een beeld van de maximale spreiding als gevolg van de materialisatie. Richting de gunstige kant blijkt hiermee 30% winst te boeken. Vooral bij de grondgebonden typen blijkt dat een ongunstige materialisatie de MPG fors kan verhogen (bijna een verdubbeling bij type 1).

| UI-varianten | MPG    | tov ref |
|--------------|--------|---------|
| 1.UI:re      | 0,4438 | 0%      |
| 1.UI:du+     | 0,2936 | -34%    |
| 1.UI:nd+     | 0,8597 | 94%     |
| 3.UI:re      | 0,5068 | 0%      |
| 3.UI:du+     | 0,3390 | -33%    |
| 3.UI:nd+     | 0,9427 | 86%     |
| 5.UI:re      | 0,5184 | 0%      |
| 5.UI:du+     | 0,3538 | -32%    |
| 5.UI:nd+     | 0,9031 | 74%     |
| 7.UI:re      | 0,7528 | 0%      |
| 7.UI:du+     | 0,5450 | -28%    |
| 7.UI:nd+     | 1,2952 | 72%     |

figuur 4.17: referentie + varianten extreem duurzaam en extreem niet duurzaam bij de typen 1, 3, 5 en 7



figuur 4.18: referentie + varianten extreem duurzaam en extreem niet duurzaam bij de typen 1, 3, 5 en 7 (uitgesplitst naar bouwdeel)

#### 4.3.4 Gevoeligheid 3: aardbevingsbestendigheid

De aardgaswinning in Groningen heeft geleid tot een behoefte aan aardbevingsbestendige gebouwen. Bij deze gebouwen moeten, vergeleken met 'reguliere' gebouwen, extra voorzieningen getroffen worden, met mogelijk een ongunstige invloed op de MPG. Om inzicht te krijgen in die invloed is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

Er zijn meerdere strategieën denkbaar bij het realiseren van aardbevingsbestendige gebouwen. Op basis van alle opties zijn er voor type 3, 2-1-kap M, drie uitvoeringsvarianten opgesteld<sup>23</sup>.

1. Woning op schokdempers (base-isolation)

Het principe is dat de schokken met schokdempers worden opgevangen, waardoor de trillingen niet aan de boven-constructie worden doorgegeven. Met wat extra aandacht (vermijden kwetsbare punten) kan deze op de 'normale' wijze worden uitgevoerd. De ontkoppeling vraagt wel een zwaardere onderconstructie. Aanpassingen ten opzichte van de 2-1-kap in standaard uitvoering (beton + metselwerk) zijn:

- zwaardere fundering (funderingsbalken + gestorte werkvloer en constructieve vloer): 2,5 keer zo zwaar
- funderingspalen: 15% extra wapening
- schokdempers (stalen schalen met kogellagers): 80 kg per stuk (0,4 x 0,4 meter en 0,2 meter hoog), onder het gehele vloerveld
- casco: 10% extra wapening

2. Lichte bouwwijze

Het principe is meer flexibiliteit en minder belasting door het eigen gewicht. Opties zijn hout- en staalskeletbouw. De fundering en uitvoering van het skelet moeten iets zwaarder uitgevoerd worden met stevigere koppelingen. Verder net als bij 1 aandacht voor het vermijden van kwetsbare punten. De houtskeletbouwvariant is als uitgangspunt genomen, aangevuld met de volgende aanpassingen:

- funderingspalen: 15% extra wapening
- funderingsbalken: 15% extra wapening
- begane grond vloer: 5% extra beton
- casco: houtskeletbouw, 20% zwaarder uitgevoerd + 10% extra bevestigingsmaterialen

3. Robuuste bouwwijze

Het principe is hier juist een volledig stijf geheel (bunker). Alles wordt zwaarder uitgevoerd en elementen worden steviger gekoppeld (extra wapening). Aanpassingen ten opzichte van de 2-1-kap in standaard uitvoering (beton + metselwerk) zijn:

- funderingspalen: 20% extra wapening
- funderingsbalken: 2x zo zwaar
- betonwanden: 25 tot 30% dikker, 25 tot 30% extra wapening
- voor- en achtergevel zijn niet dragend en kunnen ingevuld worden met HSB-binnenblad, ook om de massa niet heel groot te laten worden

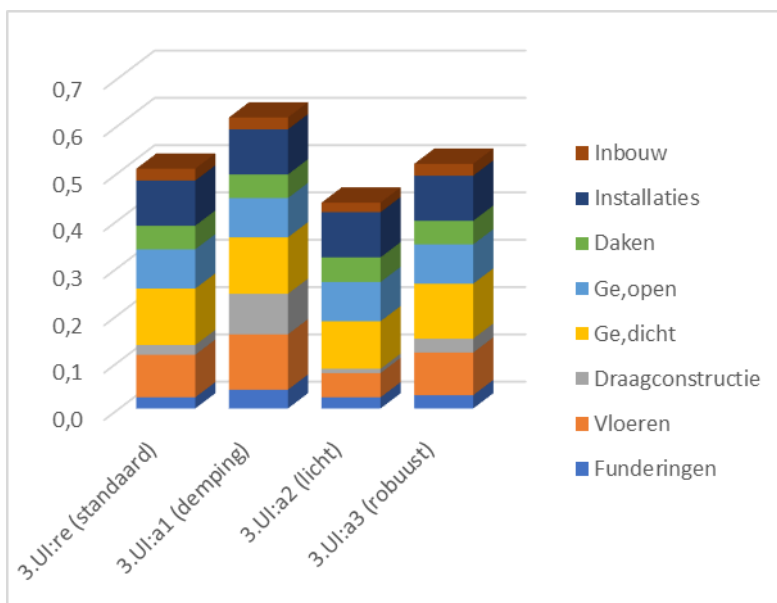
Bij alle varianten is standaard metselwerk nog steeds mogelijk. Dit omdat het metselwerk niet constructief is. Scheurtjes zijn daarom acceptabel.

In figuur 4.19 en figuur 4.20 is te zien dat de MPG vooral bij de uitvoeringsvariant met dempers relevant hoger uitvalt. Dit is vooral het gevolg van de grote hoeveelheid staal, dat in de dempers wordt toegepast. Ook bij de robuuste variant is de MPG hoger, waarbij het slechts een kleine verhoging betreft. De lichte variant lijkt op de uitvoeringsvariant houtskeletbouw (BO: hs), en heeft zelfs een lagere MPG dan de referentie uitvoering.

<sup>23</sup> Bron: telefonisch contact met Geveke Bouw & Ontwikkeling, een aannemer die veel ervaring heeft met aardbevingsbestendige gebouwen

| UI-varianten        | MPG    | tov ref |
|---------------------|--------|---------|
| 3.UI:re (standaard) | 0,5068 | 0%      |
| 3.UI:a1 (demping)   | 0,6151 | 21%     |
| 3.UI:a2 (licht)     | 0,4351 | -14%    |
| 3.UI:a3 (robuust)   | 0,5172 | 2%      |

figuur 4.19: referentie + 3 aardbevingsbestendige uitvoeringsvarianten op type 3



figuur 4.20: referentie + 3 aardbevingsbestendige uitvoeringsvarianten op type 3 (uitgesplitst naar bouwdeel)

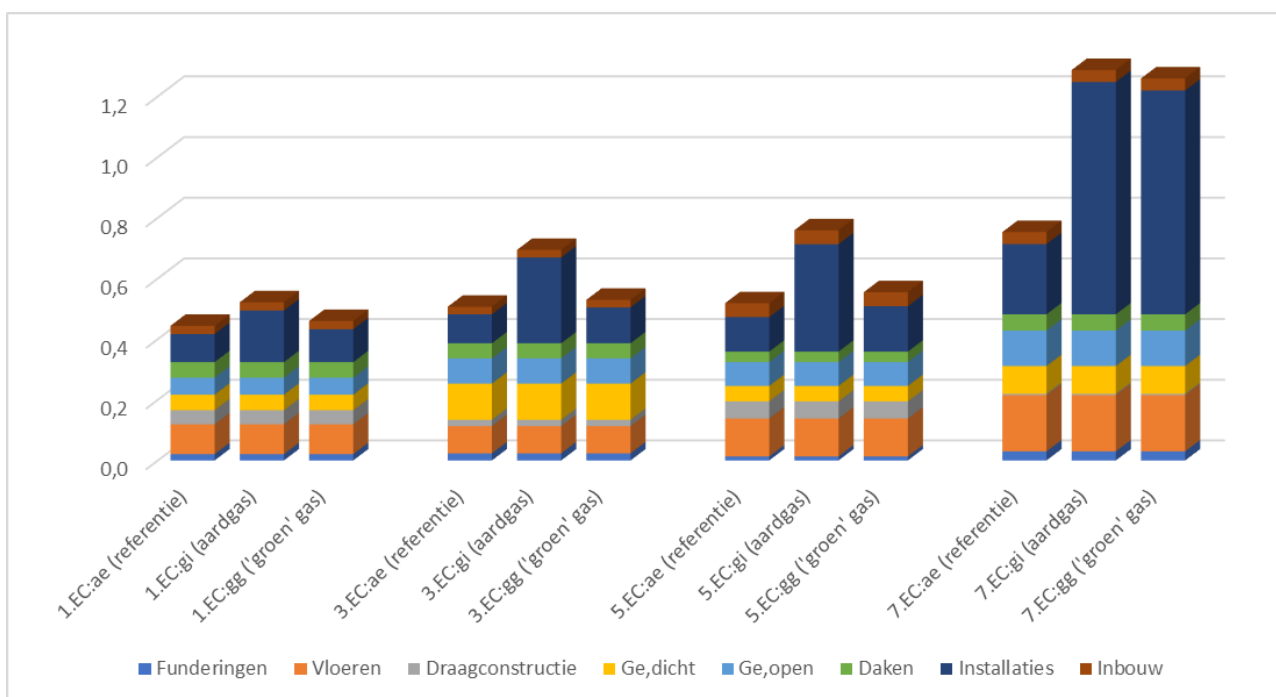
#### 4.3.5 Gevoeligheid 4: energieconcept ('groen') gas

In fase 0 zijn er 3 energieconcepten beschouwd, all-electric, warmtelevering en gas. Omdat ingezet wordt op gasloos voor de komende nieuwbouw, is het gas niet meegenomen in bij de set gebouwvarianten. Door de klankbordgroep is erop gewezen dat de rol van gas niet geheel over hoeft te zijn. Er ligt een goede infrastructuur. Mogelijk kan deze benut worden voor de toepassing van alternatieven voor aardgas, zoals waterstof- of biogas. In een gevoeligheidsanalyse is in beeld gebracht wat de invloed is op de MPG bij de inzet op 'groen' gas. Voor de volledigheid is ook aardgas meegenomen.

In figuur 4.21 en figuur 4.22 is te zien dat de MPG bij de keuze voor aardgas in plaats voor all-electric zeer fors stijgt. Wordt in plaats van aardgas voor 'groen' gas gekozen, dan is de stijging aanzienlijk minder. Opvallend is daarbij de 'groen' gas variant bij het kantoor. Dit komt doordat nog steeds een aanzienlijke hoeveelheid PV-panelen nodig is om aan de BENG-eisen te kunnen voldoen.

| EC-varianten          | MPG    | toV ref |
|-----------------------|--------|---------|
| 1.EC:ae (referentie)  | 0,4438 | 0%      |
| 1.EC:gi (aardgas)     | 0,5214 | 17%     |
| 1.EC:gg ('groen' gas) | 0,4596 | 4%      |
| 3.EC:ae (referentie)  | 0,5068 | 0%      |
| 3.EC:gi (aardgas)     | 0,6942 | 37%     |
| 3.EC:gg ('groen' gas) | 0,5295 | 4%      |
| 5.EC:ae (referentie)  | 0,5184 | 0%      |
| 5.EC:gi (aardgas)     | 0,7588 | 46%     |
| 5.EC:gg ('groen' gas) | 0,5545 | 7%      |
| 7.EC:ae (referentie)  | 0,7528 | 0%      |
| 7.EC:gi (aardgas)     | 1,2870 | 71%     |
| 7.EC:gg ('groen' gas) | 1,2591 | 67%     |

figuur 4.21: referentie + varianten aardgas en 'groen' gas bij de typen 1, 3, 5 en 7



figuur 4.22: referentie + varianten aardgas en 'groen' gas bij de typen 1, 3, 5 en 7 (uitgesplitst naar bouwdeel)

#### 4.3.6 Gevoeligheid 5: lengte funderingspalen

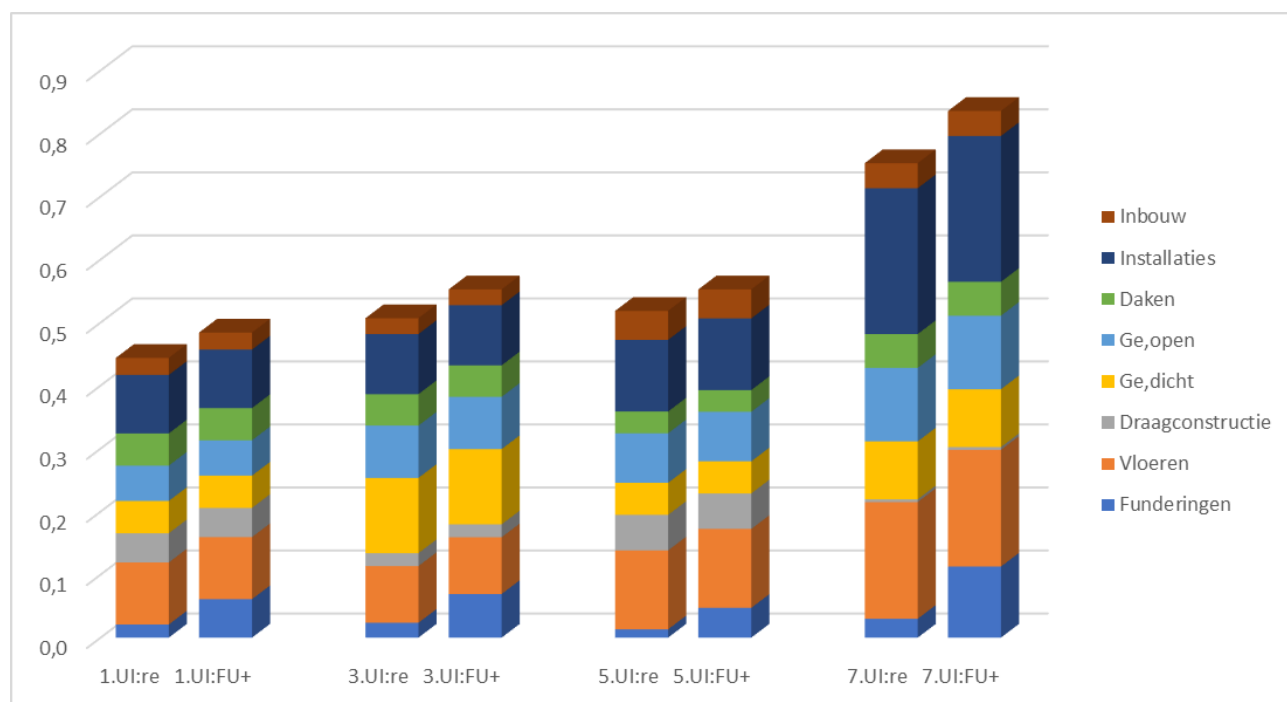
De bodemgesteldheid van de locatie heeft invloed op de eisen aan de fundering en daarmee de MPG. Om gevoel te krijgen voor deze invloed is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij voor de typen 1, 3, 5 en 7 varianten zijn aangemaakt met aanzienlijk langere funderingspalen (bij alle typen een factor 5, bijvoorbeeld 60 in plaats van 12 meter).



In figuur 4.23 en figuur 4.24 is te zien dat de variant met 5x langere palen ongeveer 10% hoger uitvalt. Dit een relevant verschil en iets om rekening mee te houden bij het bouwen op locaties, waarbij de stabiele ondergrond op grotere diepte ligt.

| UI-varianten | MPG    | toV ref |
|--------------|--------|---------|
| 1.UI:re      | 0,4438 | 0%      |
| 1.UI:FU+     | 0,4840 | 9%      |
| 3.UI:re      | 0,5068 | 0%      |
| 3.UI:FU+     | 0,5525 | 9%      |
| 5.UI:re      | 0,5184 | 0%      |
| 5.UI:FU+     | 0,5525 | 7%      |
| 7.UI:re      | 0,7528 | 0%      |
| 7.UI:FU+     | 0,8356 | 11%     |

figuur 4.23: referentie + variant met langere funderingspalen bij de typen 1, 3, 5 en 7



figuur 4.24: referentie + variant met langere funderingspalen bij de typen 1, 3, 5 en 7 (uitgesplitst naar bouwdeel)

#### 4.3.7 Gevoeligheid 6: specifieke gebouwlevensduur

Een parameter met grote invloed op de MPG is de gebouwlevensduur. Dit omdat de totale milieubelasting over de gebouwlevensloop (MKI) omgerekend wordt naar de belasting per jaar (en per m<sup>2</sup>bvo).

Met de parameter 'gebouwlevensduur' wordt nog weinig gedaan. Bij de meeste MPG-berekeningen worden de defaultwaarden van 75 jaar voor woningen en woongebouwen en 50 jaar voor utilitaire gebouwen aangehouden. Een belangrijke reden is dat het lastig is om goed onderbouwd van deze defaults af te wijken. Door W/E adviseurs is in 2013 een



eerst aanzet gemaakt voor een aanpak<sup>24</sup>. Deze aanpak is incidenteel gevolgd. Voor een brede toepassing en erkenning vraagt de aanpak een doorontwikkeling en meer draagvlak.

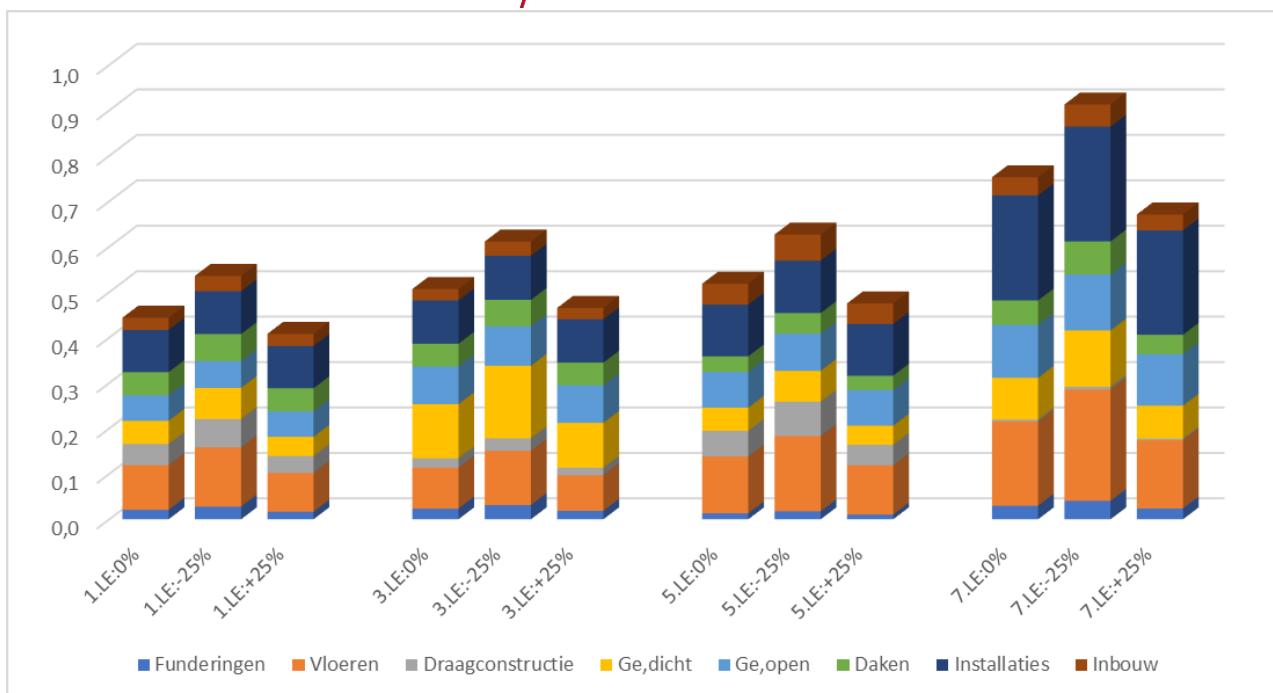
Gezien de invloed is ook voor de parameter levensduur een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hierbij zijn bij type 1 (Tussen M), type 3 (2-1-kap M), type 5 (Woon M) en type 7 (Kantoor M) varianten op de referentie uitvoeringen aangemaakt met een 25% kortere en 25% langere gebouwlevensduur. Dit betekent respectievelijk een gebouwlevensduur van 56 en 94 jaar bij woningen en woongebouwen en 37 en 63 jaar bij kantoorgebouwen.

In figuur 4.25 en figuur 4.26 is te zien dat de MPG bij een kortere gebouwlevensduur fors stijgt (meer dan 20%) en bij een langere gebouwlevensduur in mindere mate daalt (rond de 10%). De winst is lager dan veel mensen verwachten, doordat de winst alleen geboekt wordt bij lang cyclische elementen, zoals het casco. Bij de andere elementen betekent een langere gebouwlevensduur een evenredige toename in de onderhoud- en vervangingscycli.

| LE-varianten | MPG    | to ref |
|--------------|--------|--------|
| 1.LE:0%      | 0,4438 | 0%     |
| 1.LE:-25%    | 0,5358 | 21%    |
| 1.LE:+25%    | 0,4082 | -8%    |
| 3.LE:0%      | 0,5068 | 0%     |
| 3.LE:-25%    | 0,6114 | 21%    |
| 3.LE:+25%    | 0,4653 | -8%    |
| 5.LE:0%      | 0,5184 | 0%     |
| 5.LE:-25%    | 0,6268 | 21%    |
| 5.LE:+25%    | 0,4751 | -8%    |
| 7.LE:0%      | 0,7528 | 0%     |
| 7.LE:-25%    | 0,9129 | 21%    |
| 7.LE:+25%    | 0,6710 | -11%   |

*figuur 4.25: referentie + 2 levensduurvarianten op de typen 1, 3, 5 en 7*

<sup>24</sup> 'Richtsnoer Specifieke gebouwlevensduur; Aanvulling op de Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken(MPG)'; In opdracht van het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties; W/E adviseurs; Utrecht, oktober 2013



figuur 4.26: referentie + 2 levensduurvarianten op de typen 1, 3, 5 en 7 (uitgesplitst naar bouwdeel)

#### 4.3.8 Gevoeligheid 7: vergelijkingseenheid GO ipv BVO

Eén van de verschillen tussen BENG en MPG (zie hoofdstuk 2) betreft de vergelijkingseenheid. De energieprestatie wordt uitgedrukt per m<sup>2</sup>go (gebruiksoppervlakte) en de milieuprestatie per m<sup>2</sup>bvo (bruto vloer oppervlakte). Om die twee prestaties in samenhang te kunnen beschouwen, zouden ze ook in gelijke eenheden van effecten op emissies en grondstoffen moeten worden uitgedrukt.

De vergelijkingseenheid wordt ook wel functionele eenheid genoemd, wat verwijst naar puur de functie. Om de energieprestatie en de milieuprestatie op de vergelijkingseenheid 'gebruiksfunctie' uit te kunnen drukken is de GO beter passend dan de BVO. Je levert 1 m<sup>2</sup> woon/kantoorfunctie voor 1 jaar. De verhouding tussen de GO en de BVO zegt iets over de efficiëntie van het gebouw. Hoe dichter die bij elkaar liggen, hoe minder m<sup>2</sup> extra nodig zijn om de woonfunctie te kunnen faciliteren. In figuur 4.27 is een overzicht opgenomen van de BVO en GO per referentietype. Bij woningen met hellend dak is het verschil relatief groot, bij de kantoren juist klein.

| NR | Referentie | BVO      | GO       | GO tov BVO |
|----|------------|----------|----------|------------|
| 1. | Tussen S   | 146,0    | 110,1    | -25%       |
| 2. | Tussen M   | 105,0    | 87,1     | -17%       |
| 3. | 2-1-kap M  | 180,0    | 133,3    | -26%       |
| 4. | Vrij L     | 264,0    | 180,7    | -32%       |
| 5. | Woon M     | 109,5    | 92,0     | -16%       |
| 6. | Woon XL    | 43,1     | 35,2     | -18%       |
| 7. | Kantoor M  | 4.950,0  | 4.383,0  | -11%       |
| 8. | Kantoor XL | 26.255,0 | 23.892,0 | -9%        |
| 9. | Woon H     | 75,4     | 64,1     | -15%       |

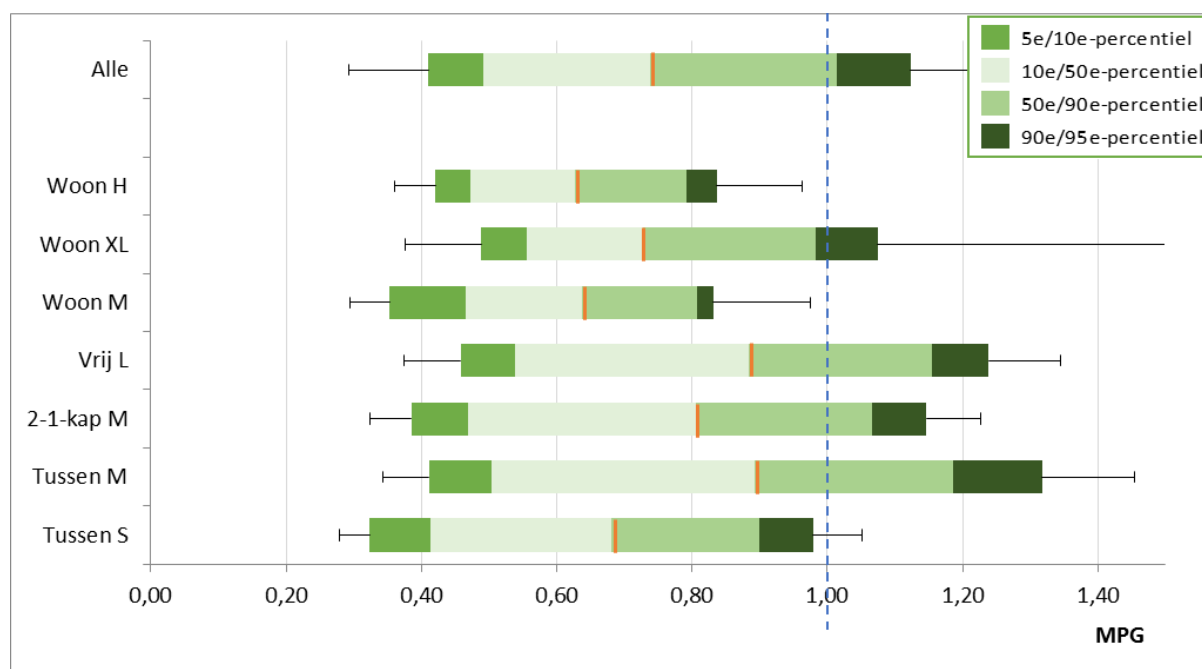
figuur 4.27: BVO, GO en verschil per referentietype

Om gevoel te krijgen voor de consequentie van de keuze voor de vergelijkingseenheid per m<sup>2</sup>bvo per jaar, is een extra gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de woningen en woongebouwen. In figuur 4.28 en figuur 4.29 zijn de resultaten te vinden voor woningen en woongebouwen, waarbij de MPG met de verhouding BVO/GO gecorrigeerd is. Dit weer in de boxplots per type en voor alle typen. In figuur 4.30 en figuur 4.31 is hetzelfde gedaan voor kantoorgebouwen.

Aangezien de GO altijd kleiner is dan de BVO zullen de scores logisch hoger zijn (delen door een kleiner getal). Bij het vaststellen van de grenswaarde met de GO als vergelijkingseenheid zal hier natuurlijk rekening mee gehouden moeten worden. Door een vergelijkingseenheid op basis van de GO in plaats van de BVO te hanteren vindt er een relevante verschuiving plaats tussen de referentietypen. De scores bij kantoorgebouwen komen dichterbij die van woningen en woongebouwen te liggen. Ook binnen de woningen en woongebouwen is een verschuiving te zien, de typen waarbij de verhouding tussen de BVO en de GO relatief groot is, zoals de Vrij L en 2-1-kap-M, scoren duidelijk ongunstiger.

| Waarden        | Tussen S | Tussen M | 2-1-kap M | Vrij L | Woon M | Woon XL | Woon H | Alle |
|----------------|----------|----------|-----------|--------|--------|---------|--------|------|
| Laagste waarde | 0,26     | 0,33     | 0,30      | 0,34   | 0,28   | 0,35    | 0,35   | 0,26 |
| 5% percentiel  | 0,32     | 0,41     | 0,39      | 0,46   | 0,35   | 0,49    | 0,42   | 0,41 |
| 10% percentiel | 0,41     | 0,50     | 0,47      | 0,54   | 0,47   | 0,56    | 0,47   | 0,49 |
| Mediaan (50p)  | 0,68     | 0,89     | 0,81      | 0,88   | 0,64   | 0,73    | 0,63   | 0,74 |
| 90% percentiel | 0,90     | 1,19     | 1,07      | 1,15   | 0,81   | 0,98    | 0,79   | 1,01 |
| 95% percentiel | 0,98     | 1,32     | 1,15      | 1,24   | 0,83   | 1,07    | 0,84   | 1,12 |
| Hoogste waarde | 1,08     | 1,48     | 1,25      | 1,40   | 1,00   | 2,05    | 0,99   | 2,05 |

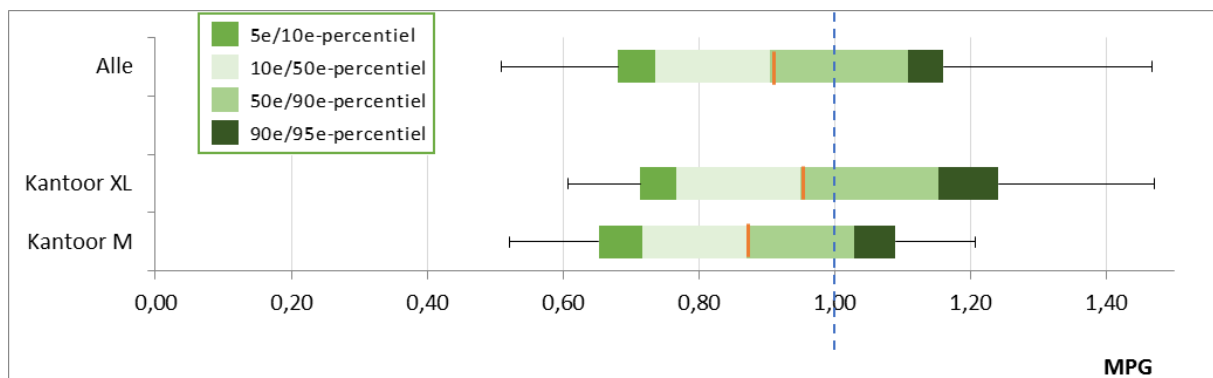
figuur 4.28: frequentieverdeling bij vergelijkingseenheid op basis van de GO per type en allen (woningen en woongebouwen)



figuur 4.29: frequentieverdelingen uit figuur 4.28 weergegeven in boxplots

| Waarden        | Kantoor M | Kantoor XL | Alle |
|----------------|-----------|------------|------|
| Laagste waarde | 0,50      | 0,60       | 0,50 |
| 5% percentiel  | 0,65      | 0,71       | 0,68 |
| 10% percentiel | 0,72      | 0,77       | 0,74 |
| Mediaan (50p)  | 0,87      | 0,95       | 0,90 |
| 90% percentiel | 1,03      | 1,15       | 1,11 |
| 95% percentiel | 1,09      | 1,24       | 1,16 |
| Hoogste waarde | 1,22      | 1,49       | 1,49 |

figuur 4.30: frequentieverdelingen bij vergelijkingseenheid op basis van de GO per type en allen (woningen en woongebouwen)



figuur 4.31: frequentieverdelingen met een oppervlakte in  $m^2go$  uit figuur 4.28 weergegeven in boxplots

#### 4.4 Mogelijke klassenindeling

Het onderzoek moet het inzicht geven in het niveau van de milieuprestaties van reguliere woningen, en woon- en kantoorgebouwen anno 2020. Met de resultaten in paragraaf 4.2 en de analyses in paragraaf 4.3 is aan deze doelstelling voldaan. Het ministerie van BZK kan dit inzicht gebruiken bij het vaststellen van een naar verwachting 'scherpere' grenswaarde dan de huidige 1.0.

Naast de grenswaarde in het Bouwbesluit zijn er ook bovenwettelijke eisen of streefniveaus denkbaar. Daarom zijn de inzichten ook gebruikt om voorstellen voor een klassenindelingen op te stellen. In 2014, waarbij dit ook is gebeurd, was aansluiting gezocht bij de labelsystematiek, zoals dat bij energiezuinigheid van apparaten en gebouwen gebruikelijk is.

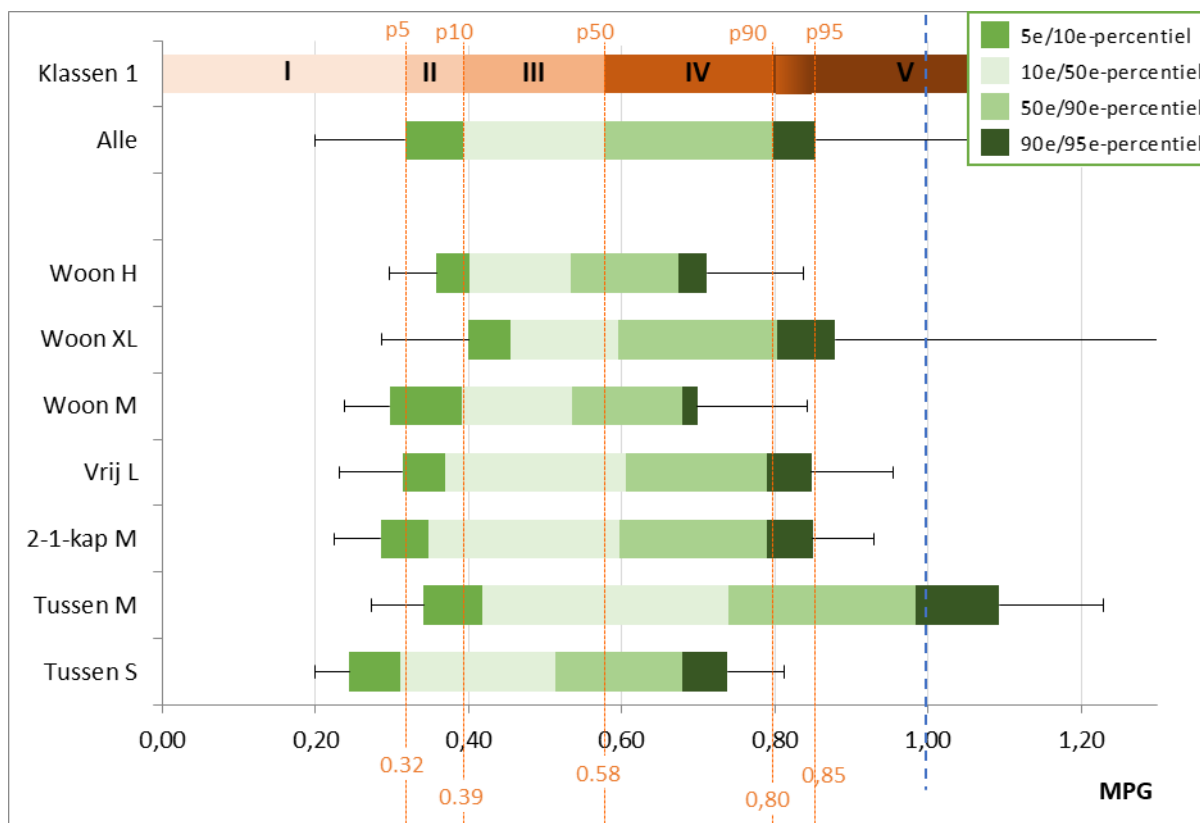
Bij het vaststellen van een doelmatige klassenindeling is naar een balans tussen de stimulans richting duurzamere (meer circulaire) gebouwen en het behoud aan diversiteit aan gebouwen. Net als in 2014 zijn er klassen, geordend van beter naar slechter, maar is er om verwarring met de energielabels te voorkomen gebruik gemaakt van andere kleuren en 'nummering'. In eerste instantie is net als in 2014 gebruik gemaakt van de percentielwaarden als klassengrenzen (optie 1). Door de klankbordgroep is verzocht 2 extra opties in beeld te brengen, waarbij de klassen een gelijke grootte (bereik in MPG-scores) hebben. Bij optie 2 is de mediaan als uitgangspunt genomen en zijn vandaaruit gelijke klassen opgebouwd. Bij optie 3 is het bereik van de 5<sup>e</sup> percentiel tot aan de mediaan opgedeeld in gelijke klassen, en het bereik van de mediaan tot het 95 percentiel met vergelijkbare klassen ingevuld. De klankbordgroep had een voorkeur voor de opties waarbij de klassen een gelijk grootte (MPG-bereik) hadden. Er was een lichte voorkeur voor optie 2, die daarom is opgenomen in de conclusies en aanbevelingen.

#### 4.4.1 Optie 1: klassengrenzen gebaseerd op percentielwaarden

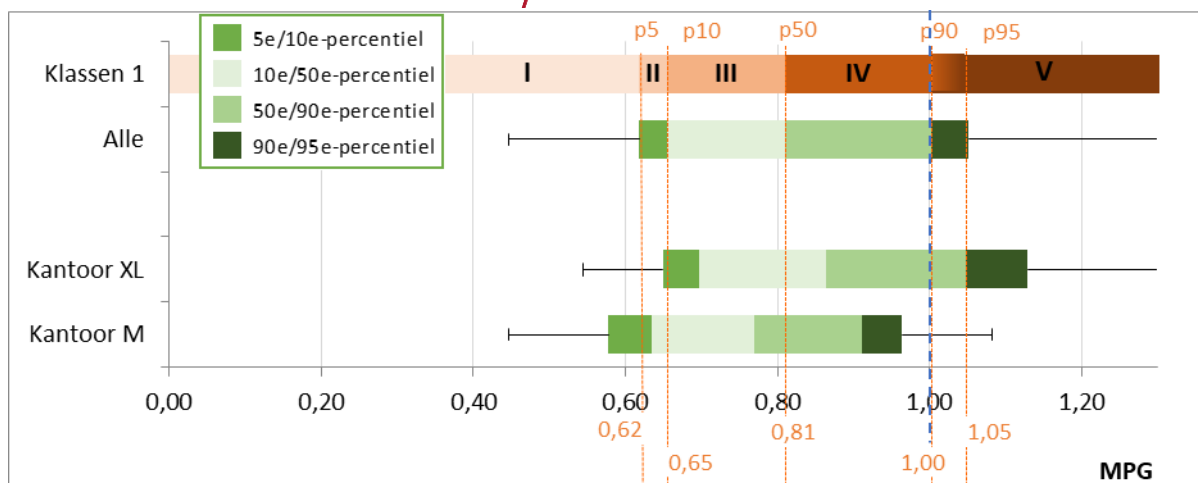
Bij optie 1 is de klassenindeling opgesteld met klassengrenzen die bepaald zijn op basis van percentielwaarden. Toegepast op de in dit onderzoek bepaalde frequentieverdeling levert dit de volgende klassengrenzen op:

- Grens A - B: op basis 5<sup>e</sup> percentiel bij 'Alle'. Dit betekent voor woon- en kantoorgebouwen respectievelijk 0,32 en 0,62
- Grens B - C: op basis 10<sup>e</sup> percentiel bij 'Alle'. Dit betekent voor woon- en kantoorgebouwen respectievelijk 0,39 en 0,65
- Grens C - D: op basis 50<sup>e</sup> percentiel bij 'Alle'. Dit betekent voor woon- en kantoorgebouwen respectievelijk 0,58 en 0,80
- Grens D - E: Hier zijn 2 suggestie gegevens:
  - op basis 90<sup>e</sup> percentiel bij 'Alle'. Dit betekent voor woon- en kantoorgebouwen respectievelijk 0,80 en 1,00
  - op basis 95<sup>e</sup> percentiel bij 'Alle'. Dit betekent voor woon- en kantoorgebouwen respectievelijk 0,85 en 1,05

Op basis van de bovenstaande klassengrenzen ontstaan de klassenindelingen woon- en kantoorgebouwen, zoals weergegeven in respectievelijk figuur 4.32 en figuur 4.33.



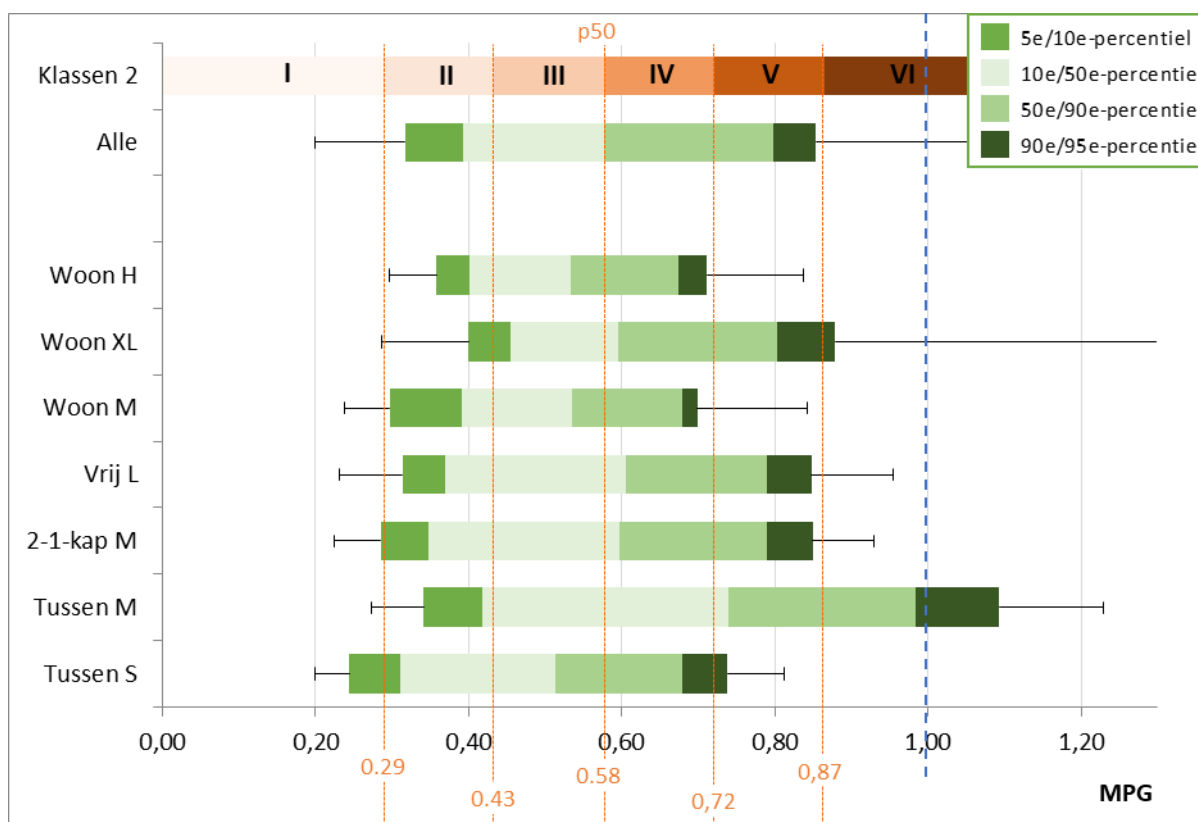
figuur 4.32: klassenindeling, optie 1 voor woningen en woongebouwen



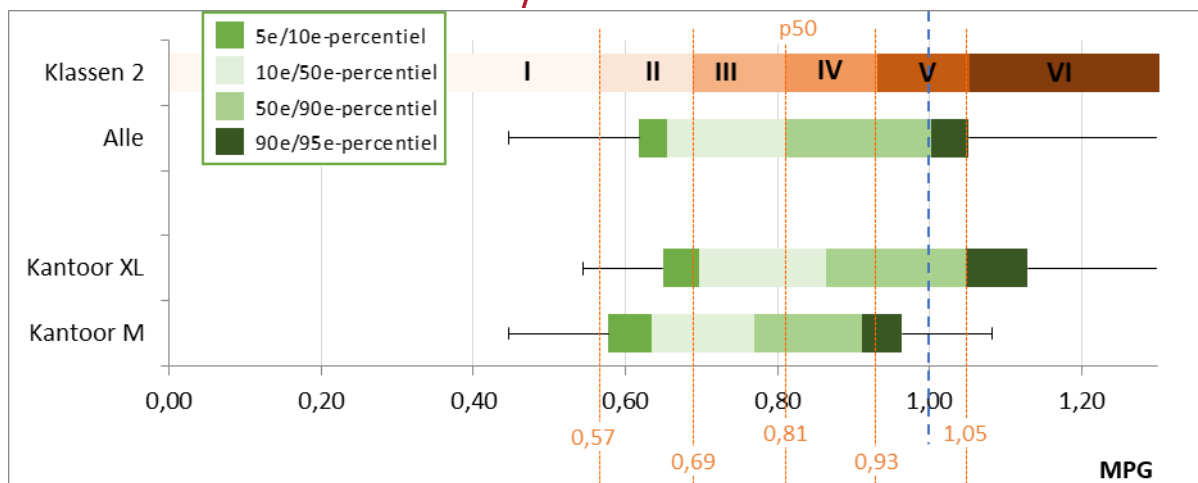
figuur 4.33: klassenindeling, optie 1 voor kantoorgebouwen

#### 4.4.2 Optie 2: klassengrenzen gebaseerd op gelijke klassen vanuit mediaan

Bij optie 2 is de mediaan als uitgangspunt genomen. Vervolgens zijn zes klassen verondersteld, 3 gunstiger dan de mediaan en 3 ongunstiger. Bij klassen II, III, IV en V is een gelijk bereik aangehouden, zodanig dat deze klassen ongeveer het bereik tussen de 5<sup>e</sup> en de 95<sup>e</sup> percentiel bij 'Alle' dekken (zie figuur 4.34 en figuur 4.35). Bij woningen en woongebouwen bleek een klassengrootte van 25% van de mediaan (0,58) het best passend (MPG-bereik per klasse van ongeveer 0,14). Bij kantoorgebouwen is een klassengrootte van 15% van de mediaan (0,81) aangehouden (MPG-bereik per klasse van ongeveer 0,12).

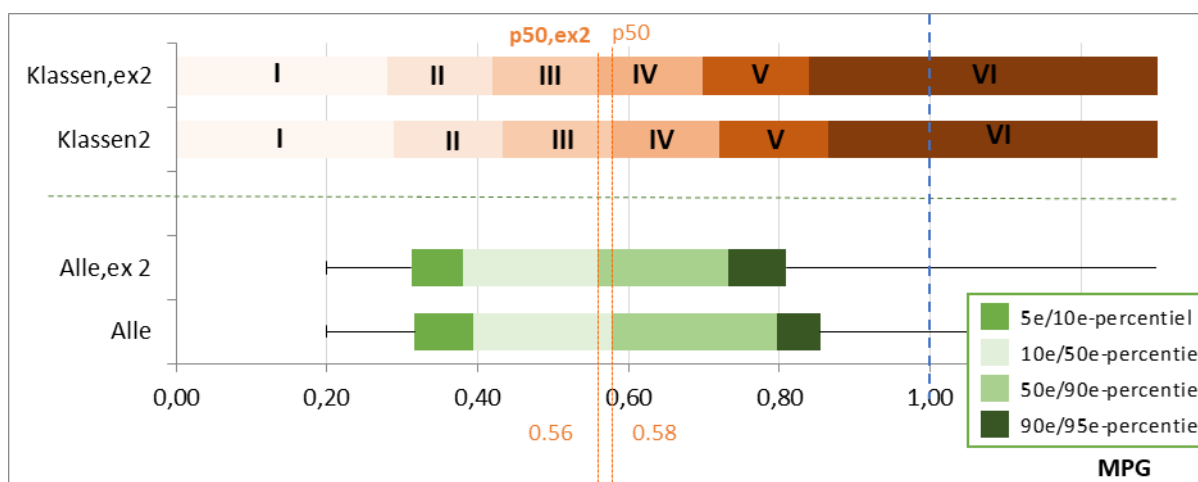


figuur 4.34: klassenindeling, optie 2 voor woningen en woongebouwen



figuur 4.35: klassenindeling, optie 2 voor kantoorgebouwen

In paragraaf 4.3.2 staan de resultaten van een gevoeligheidsanalyse op het al dan niet meenemen van type 2 beschreven. In figuur 4.36 is te zien de klassenindeling optie 2 getoond in het geval dat type 2 niet wordt meegenomen. De doorwerking in de klassenindeling blijkt beperkt. Dit doordat bij optie 2 de mediaan (p50) het uitgangspunt is, en deze anders dan de p90 en p95 minimaal gunstiger is (0,56 is in plaats van 0,58).

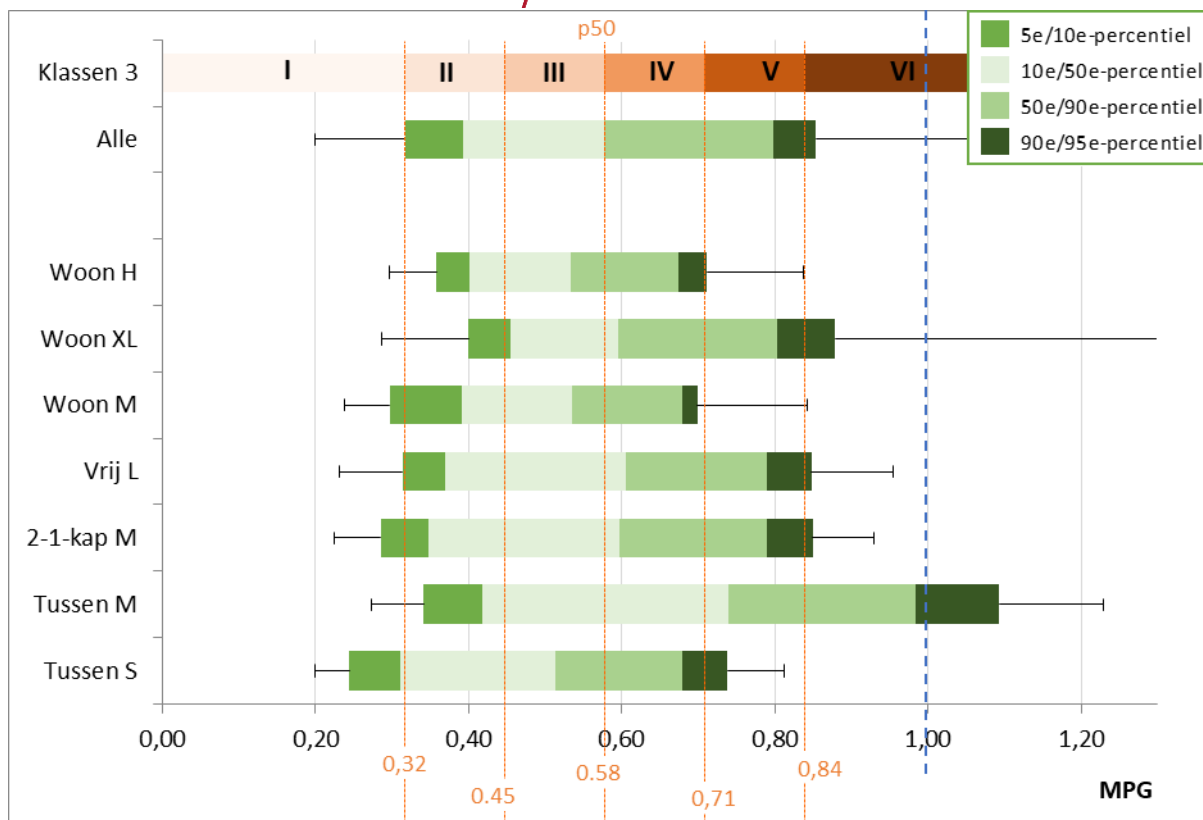


figuur 4.36: klassenindeling voor woningen en woongebouwen exclusief type 2

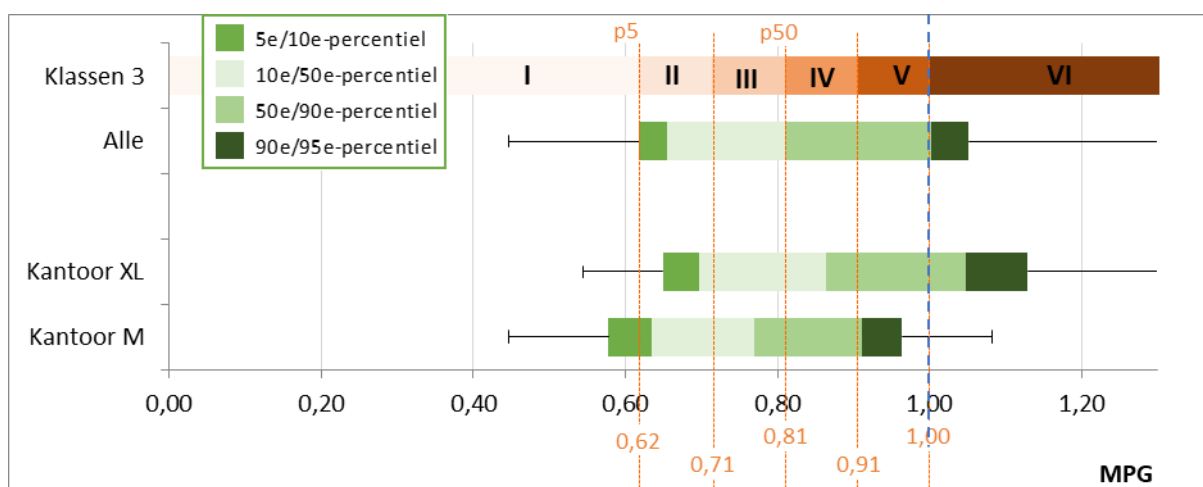
#### 4.4.3 Optie 3: klassengrenzen gebaseerd op gelijke klassen tussen 5<sup>e</sup>p en mediaan

Ook bij deze optie zijn 6 klassen verondersteld. Het bereik tussen de 5<sup>e</sup> percentiel en de mediaan als uitgangspunt genomen. Vervolgens is dit bereik opgedeeld in 2 gelijke klassen (II en III). Dezelfde klassengrootte is aangehouden voor de klassen (IV en V). Bij woningen en woongebouwen (figuur 4.37) bleek dit een MPG-bereik per klasse van 0,13 op te leveren. Bij kantoorgebouwen (figuur 4.38) leverde het een MPG-bereik per klasse van ongeveer 0,10 op.





figuur 4.37: klassenindeling, optie 3 voor woningen en woongebouwen



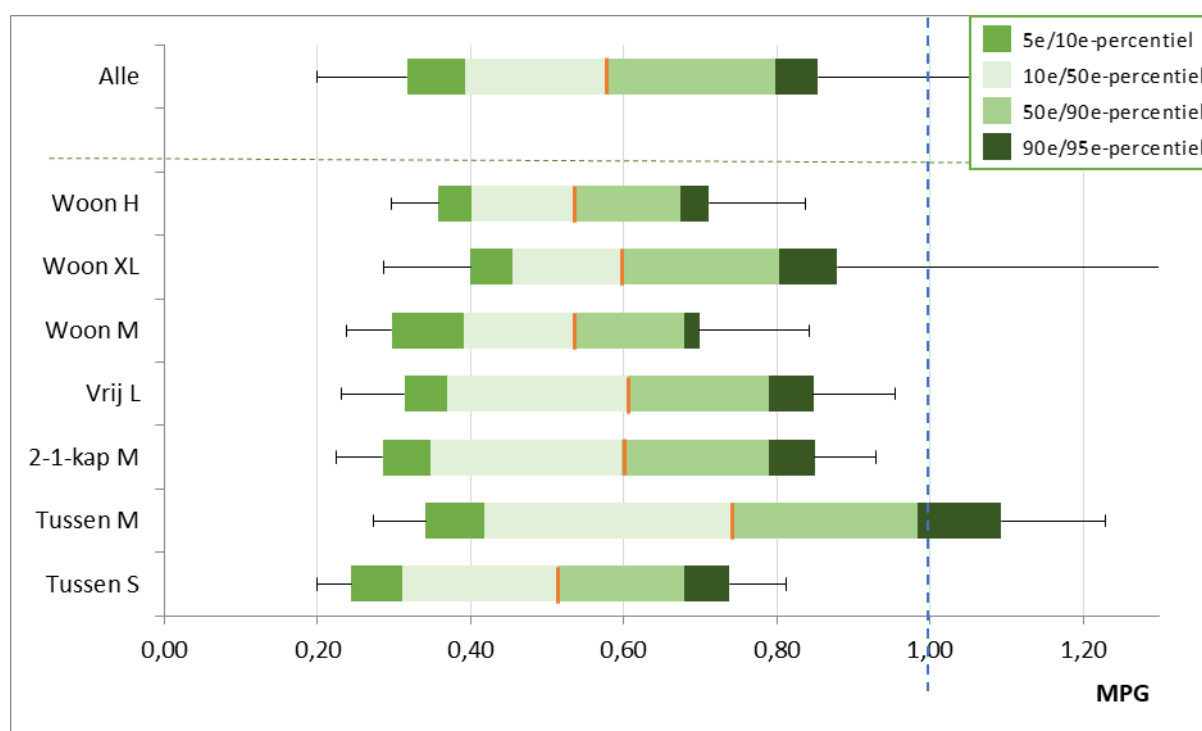
figuur 4.38: klassenindeling, optie 3 voor kantoorgebouwen

## 5 Conclusies en aanbevelingen

Het hoofddoel van het onderzoek is het bieden van inzicht in de te verwachte milieuprestaties van reguliere woningen, en woon- en kantoorgebouwen anno 2020. Het vaststellen van de grenswaarde is vervolgens een politiek proces, dat met het inzicht uit dit onderzoek als basis, nog moet gaan plaatsvinden.

### 5.1 Niveau van milieuprestaties bij woningen en woongebouwen anno 2020

In figuur 5.1 zijn de MPG-scores per type (9 stuks) en over alle woningen en woongebouwen (1022 varianten) te vinden. Met de blauwe stippellijn is de vigerende grenswaarde van 1.0 aangegeven. De MPG-scores van de gebouwvarianten zijn hierbij uitgezet in een frequentieverdeling. Deze is verbeeld in de vorm van een boxplot, waarbij bepaalde percentielwaarden als markeringspunt zijn aangehouden. De 5<sup>e</sup>-percentiel is het punt in de frequentieverdeling waarbij 5% van de gebouwvarianten een lagere MPG-score heeft en 95% een hogere. De 50<sup>e</sup>-percentiel is de mediaan (oranje), waarbij 50% van de gebouwvarianten een lagere score heeft en 50% een hogere.



figuur 5.1: MPG-scores per type en over alle woningen en woongebouwen (totaal 1022 varianten)

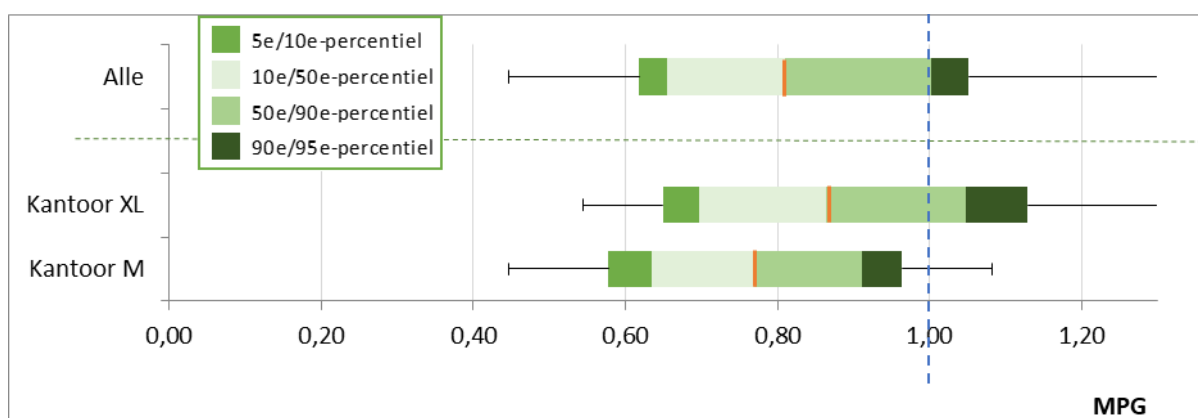
De resultaten zijn geanalyseerd. Ook zijn voor specifieke vraagstukken gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Dit heeft geleid tot de onderstaande constatering:

1. Gekeken naar alle woningen en woongebouwen (Alle) blijken deze, op een aantal uitzonderingen na, aan de vigerende grenswaarde van 1.0 te voldoen. Van de 1022 doorgerekende varianten, hebben er slechts 20 een MPG hoger dan 1.0.
2. Er zijn 6 parameters bekeken, die allen een relevante invloed blijken te hebben op de MPG. Daarmee zijn er voldoende optimalisatieopties (knoppen om in het ontwerpproces aan te draaien). Bij een ongunstige variatie op één of meerdere parameters, is de toename in MPG bij de andere parameters meestal voldoende te compenseren.

3. Een extra parameter (niet in frequentieverdeling meegenomen) is de gebouwlevensduur. Hoewel er afgeweken kan worden van de in de gevalideerde rekeninstrumenten aangehouden defaultwaarde, gebeurt dit in praktijk zelden. Dit bij gebrek aan een breedgedragen methode om een afwijking hiervan te kunnen onderbouwen.
4. Bij de bij 1 genoemde uitzonderingen gaat het vaak om varianten op het type 2, de levensloopbestendige tussenwoning. De basisvariant heeft bij type 2 al voor de MPG ongunstige ontwerpkenmerken; de woning heeft een ongunstige vorm en de BVO is beperkt (105 m<sup>2</sup>). Als er ook nog in ongunstige richting gevarieerd wordt, is een (fors) toenemende MPG logisch. Gelukkig is er ook bij dit type veel te compenseren door de gunstige ontwerpkeuzes bij de andere parameters. Minder dan 10% van de varianten bij dit type scoort slechter dan de huidige grenswaarde.
5. Type 2 zou beschouwd kunnen worden als variatie op type 1 (beide tussenwoningen). Deze variatie is ook bij de andere typen denkbaar, zoals een één-laagse patiowoning bij type 4 (vrijstaand). Deze varianten zijn eigenlijk al meegenomen door de variatie op de parameters BV en GE. Een extra variatie op de BVO is nog denkbaar (nog eens - 50% betekent een woning van 53 m<sup>2</sup>), de extra variatie op de compactheid (gevel/BVO-verhouding 20% groter) minder.
6. De gevoeligheidsanalyses laten zien dat de invloed van aardbevingsbestendig bouwen afhankelijk van het concept zowel negatief als positief (lichte skeletbouw) kan zijn. Ook de negatieve invloed lijkt te compenseren met de bij punt 2 genoemde opties. Wordt voor het energieconcept 'groen' gas gekozen, dan heeft dit bij woningen en woongebouwen een beperkte invloed op de MPG. Tenslotte blijkt dat een extreme funderingsdiepte (in analyse 60 meter) een relevante invloed (tot 10%) heeft op de MPG.
7. Als extra analyse zijn ook de MPG-niveaus bepaald in geval niet per m<sup>2</sup>bvo per jaar als vergelijkingseenheid gekozen zou zijn, maar per m<sup>2</sup>go per jaar. Dit zou in lijn zijn met de energieprestatieberekeningen, waarbij het gebruiksoppervlakte wordt gehanteerd. De scores zijn dan logisch hoger. De verschuiving is echter afhankelijk van de verhouding tussen de BVO en de GO. Bij de typen waar dit verschil relatief groot is, zoals de woningen met hellende daken, is de score relatief ongunstiger.

## 5.2 Niveau van milieuprestaties bij kantoorgebouwen anno 2020

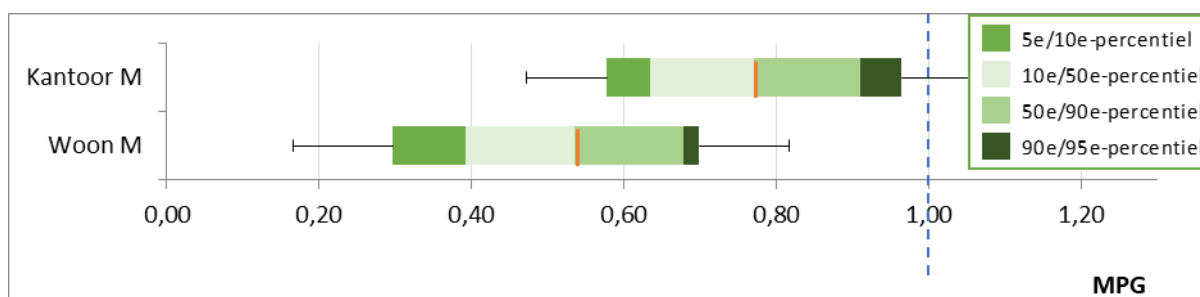
In figuur 5.2 is hetzelfde gedaan voor de kantoorgebouwen als in figuur 5.1 voor woningen en woongebouwen. Hier betreft het 2 typen en 496 gebouwvarianten. Van de 496 doorgerekende varianten, hebben er 52 een MPG hoger dan 1.0.



figuur 5.2: MPG-scores per type en over alle kantoorgebouwen (totaal 496 varianten)

Bij de kwaliteitsniveaus kantoorgebouwen zijn de kanttekeningen:

1. Gekeken naar alle kantoorgebouwen (Alle) dan blijkt het grootste deel (95%) aan de vigerende grenswaarde van 1.0 te voldoen.
2. Vergeleken met de woningen en woongebouwen zijn de MPG-scores over het gehele bereik meer dan 0,20 hoger (zie figuur 5.3). Eén van de verklaringen is de kortere default gebouwlevensduur (50 in plaats van 75 jaar), die bij de varianten op type 7 (Kantoor M) en type 8 (Kantoor XL) gehanteerd zijn.
3. De 6 parameters blijken ook bij kantoorgebouwen van invloed. Ook bij kantoorgebouwen zijn voldoende optimalisatiemogelijkheden beschikbaar.

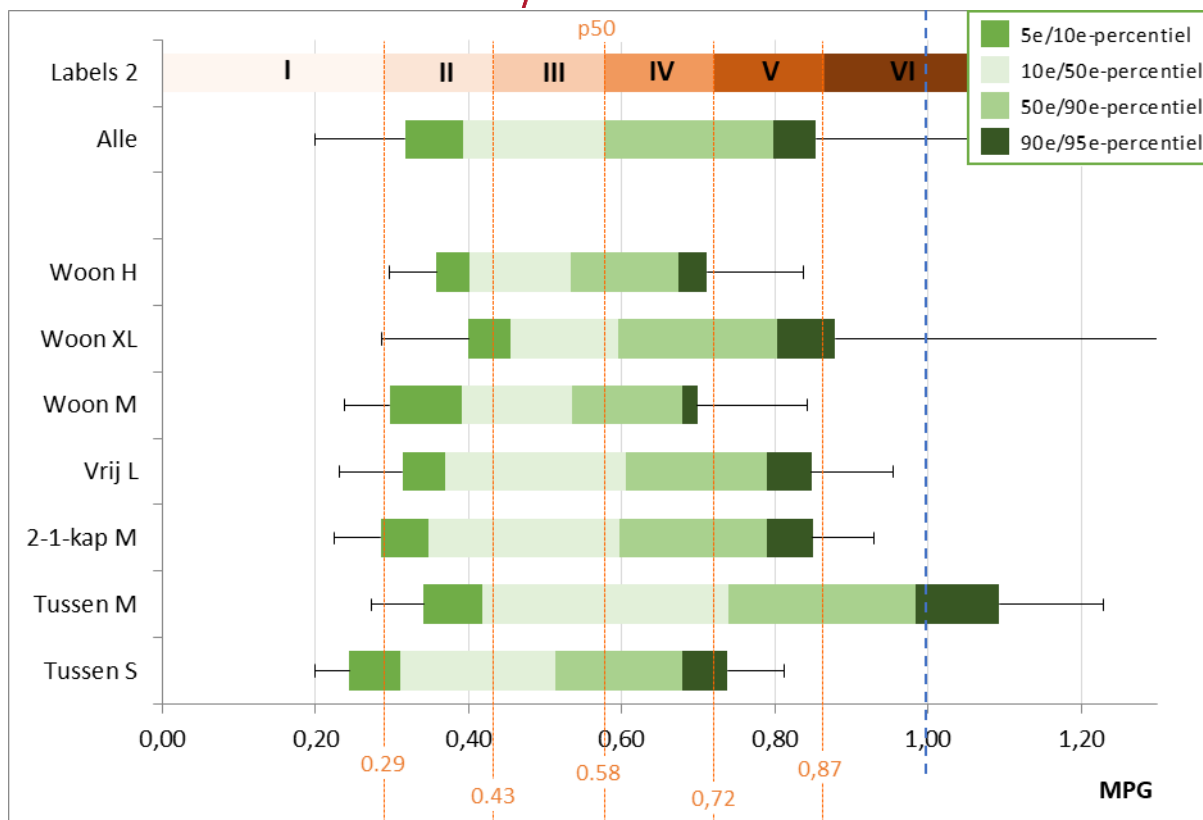


figuur 5.3: vergelijking MPG-scores Kantoor M met Woon M (verschuiving mediaan: 0,23)

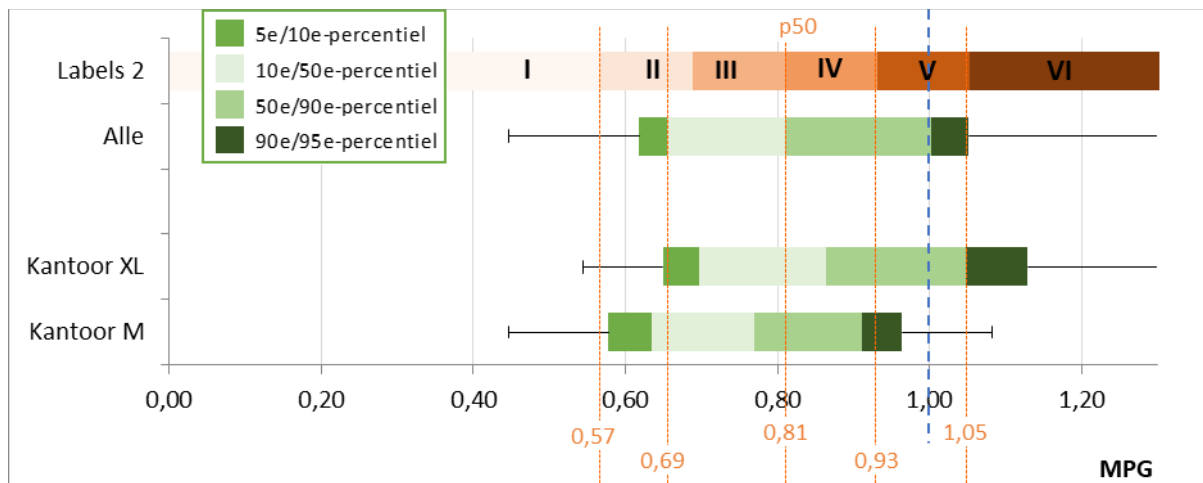
### 5.3 Suggestie voor een klassenindeling

De met dit onderzoek opgedane inzichten zullen worden gebruikt bij het vaststellen van de grenswaarde. De grenswaarde geldt als minimum, dat via het Bouwbesluit gewaarborgd wordt. Daarnaast zijn er ook bovenwettelijke eisen of streefniveaus denkbaar. Daarom zijn de inzichten ook gebruikt om voorstellen voor klassenindelingen op te stellen. In 2014, waarbij dit ook is gebeurd, was aansluiting gezocht bij de label-systematiek, zoals die bij energiezuinigheid van apparaten en gebouwen gebruikelijk is.

Ook nu zijn er klassen, geordend van beter naar slechter, maar is er om verwarring met de energielabels te voorkomen gebruik gemaakt van andere kleuren en 'nummering'. In figuur 5.4 is een klassenindeling voor woningen en woongebouwen te vinden. Hierbij is de mediaan als uitgangspunt genomen, waarna er 4 even grote klassen (MPG-bereik van 25% ten opzichten van de mediaan) zijn uitgezet, klassen II en III in gunstige richting en klasse IV en V in ongunstige richting. De rest valt in de klassen I (gunstigst) en VI (ongunstigst). Een vergelijkbare klassenindeling voor kantoorgebouwen is te zien in figuur 5.5. Het vaste MPG-bereik bij de klassen is hier 15%.

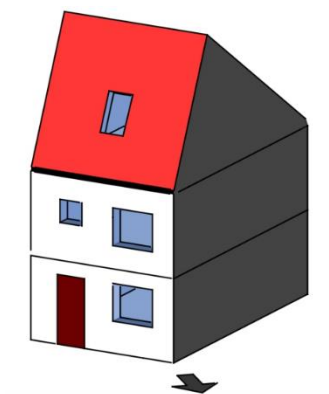


figuur 5.4: klassenindeling voor woningen en woongebouwen (op basis van mediaan)

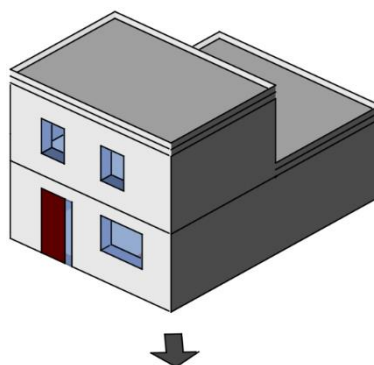


figuur 5.5: klassenindeling voor kantoorgebouwen (op basis van mediaan)

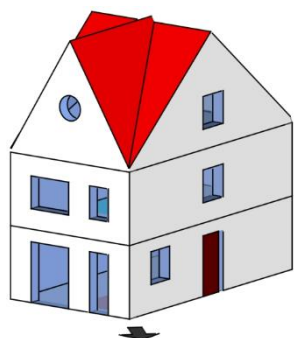
## Bijlage 1: Referentiegebouwen verbeeld



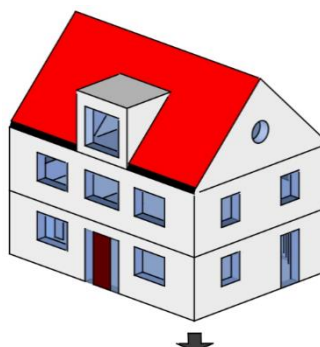
*figuur B1 - 1. Woning, tussen, small (hellend dak)*



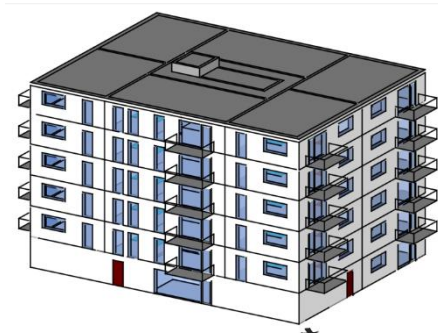
*figuur B1 - 2. Woning, tussen, medium (plat dak)*



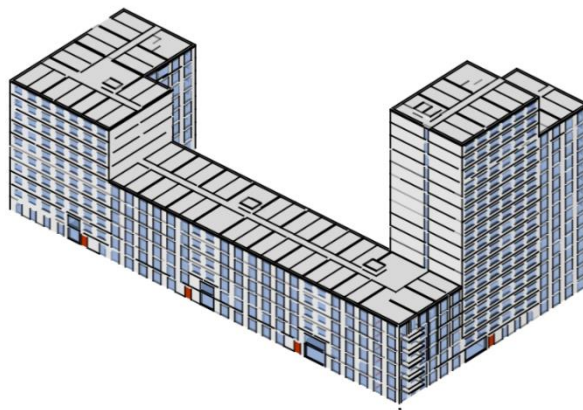
*figuur B1 - 3. Woning, hoek, medium*



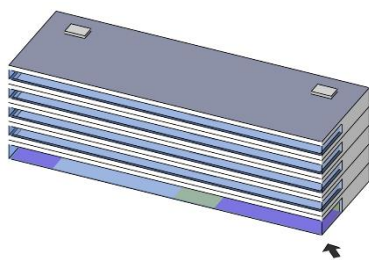
*figuur B1 - 4. Woning, vrij*



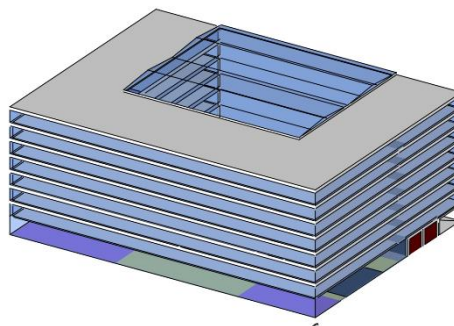
*figuur B1 - 5. Woongebouw, medium*



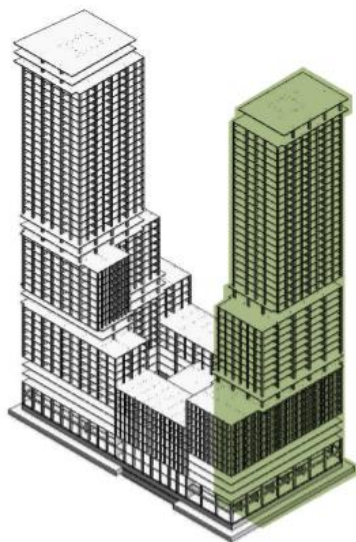
*figuur B1 - 6. Woongebouw large*



*figuur B1 - 7. Kantoorgebouw medium*



*figuur B1 - 8. Kantoorgebouw, extra large met atrium*



*figuur B1 - 9. Woontoren, extra hoog (groene deel)*

## Bijlage 2: Selectie gebouwvarianten

### Variatie op 'vormfactoren'

Uit de eerdere onderzoeken is gebleken dat de vorm van het gebouw grote invloed heeft op de MPG. Relevant bleken het aantal bouwlagen, de BVO per eenheid (BV), de verhouding geveloppervlakte/BVO (GE) en de verhouding open/dichte gevel (OP). De invloed van het aantal bouwlagen is al meegenomen in de set referentietypen. Naast het verschil in afmetingen per referentietype is er gericht op de vormfactoren op 3 parameters gevarieerd, namelijk BV, GE en OP.

### Bruto vloeroppervlakte (BV)

De ervaring leert dat de MPG toeneemt bij een afnemend BVO. Dit lijkt tegenstrijdig. Het klopt dan ook dat er bij een kleiner BVO minder materiaal nodig is, en de totale milieubelasting (MKI) dus kleiner is. Maar voor de milieuprestatie gebouw (MPG) wordt de MKI teruggerekend naar de vergelijkingseenheid per m<sup>2</sup>bvo per jaar. Bij een kleiner BVO betekent dat dus delen door een kleiner getal, en dus een grotere MPG.

Gebleken is ook dat het verband tussen de BVO en de MPG niet lineair is. Bij een kleiner wordend BVO neemt de MPG meer dan evenredig toe. Dit komt omdat er per m<sup>2</sup>bvo relatief veel wanden en voorzieningen nodig zijn. (Erg) kleine woningen, zoals studio's hebben dus een relatief ongunstige scores. Bij de parameter BV zijn er 5 opties, variërend van een 50% kleiner BVO tot een 50% groter BVO (zie figuur B2 - 1).

| BV               | BVO        | -50%      | -25%      | 0%      | +25%      | +50%      | aantal   |
|------------------|------------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|----------|
| NR               | Referentie | code      | code      | code    | code      | code      | per type |
| 1.               | Tussen S   | 1.BV=-50% | 1.BV=-25% | 1.BV=0% | 1.BV=+25% | 1.BV=+50% | 5        |
| 2.               | Tussen M   | 2.BV=-50% | 2.BV=-25% | 2.BV=0% | 2.BV=+25% | 2.BV=+50% | 5        |
| 3.               | 2-1-kap M  | 3.BV=-50% | 3.BV=-25% | 3.BV=0% | 3.BV=+25% | 3.BV=+50% | 5        |
| 4.               | Vrij L     | 4.BV=-50% | 4.BV=-25% | 4.BV=0% | 4.BV=+25% | 4.BV=+50% | 5        |
| 5.               | Woon M     | 5.BV=-50% | 5.BV=-25% | 5.BV=0% | 5.BV=+25% | 5.BV=+50% | 5        |
| 6.               | Woon XL    | 6.BV=-50% | 6.BV=-25% | 6.BV=0% | 6.BV=+25% | 6.BV=+50% | 5        |
| 7.               | Kantoor M  | 7.BV=-50% | 7.BV=-25% | 7.BV=0% | 7.BV=+25% | 7.BV=+50% | 5        |
| 8.               | Kantoor XL | 8.BV=-50% | 8.BV=-25% | 8.BV=0% | 8.BV=+25% | 8.BV=+50% | 5        |
| 9.               | Woon H     | 9.BV=-50% | 9.BV=-25% | 9.BV=0% | 9.BV=+25% | 9.BV=+50% | 5        |
| Aantal per optie |            | 9         | 9         | 9       | 9         | 9         |          |

figuur B2 - 1: opties bij parameter Bruto vloeroppervlakte (BV)

Bij een aantal referentietypen is 50% kleiner echt klein (zie figuur B2 - 2). Dit bijvoorbeeld als wooneenheden voor studenten, zoals die de komende tijd vooral in de grotere steden gebouwd worden. Bij de BVO gaat het om de BVO per (woon)eenheid. Bij de kantoorgebouwen is er uitgegaan van 1 eenheid.



| BV | BVO        | -50%   | -25%   | 0%     | +25%   | +50%   |  |
|----|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| NR | Referentie | code   | code   | code   | code   | code   |  |
| 1. | Tussen S   | 73,0   | 109,5  | 146,0  | 182,5  | 219,0  |  |
| 2. | Tussen M   | 52,5   | 78,8   | 105,0  | 131,3  | 157,5  |  |
| 3. | 2-1-kap M  | 90,0   | 135,0  | 180,0  | 225,0  | 270,0  |  |
| 4. | Vrij L     | 132,0  | 198,0  | 264,0  | 330,0  | 396,0  |  |
| 5. | Woon M     | 54,8   | 82,2   | 109,5  | 136,9  | 164,3  |  |
| 6. | Woon XL    | 21,5   | 32,3   | 43,1   | 53,8   | 64,6   |  |
| 7. | Kantoor M  | 2.475  | 3.713  | 4.950  | 6.188  | 7.425  |  |
| 8. | Kantoor XL | 13.128 | 19.691 | 26.255 | 32.819 | 39.383 |  |
| 9. | Woon H     | 37,7   | 56,5   | 75,4   | 94,2   | 113,0  |  |

figuur B2 - 2: BVO in m<sup>2</sup> per eenheid bij de opties bij parameter BV

### Gevel/BVO-verhouding

De gevel/BVO-verhouding zegt iets over de compactheid van het gebouw. Eerder onderzoek heeft uitgewezen dat de relatie tussen de gevel/BVO-verhouding en de MPG een rechtlijnig verband vertoont.

De referentiegebouwen zijn al vrij sober en hebben een efficiënte vorm. Het geveloppervlakte per m<sup>2</sup>bvo is dus relatief klein, wat gunstig is voor de MPG. De variatie is bij deze parameter daarom alleen in positieve richting doorgevoerd (zie figuur B2 - 3). Bij kantoorgebouwen wordt vaker voor een bijzondere gevelvorm gekozen. Daarom is bij deze referenties naast +10% en +20%, ook +50% als optie meegenomen.

| GE               | Gevel/BVO  | 0%      | +10%      | +20%      | +50%      |  | aantal   |
|------------------|------------|---------|-----------|-----------|-----------|--|----------|
| NR               | Referentie | code    | code      | code      | code      |  | per type |
| 1.               | Tussen S   | 1.GE=0% | 1.GE=+10% | 1.GE=+20% | -         |  | 3        |
| 2.               | Tussen M   | 2.GE=0% | 2.GE=+10% | 2.GE=+20% | -         |  | 3        |
| 3.               | 2-1-kap M  | 3.GE=0% | 3.GE=+10% | 3.GE=+20% | -         |  | 3        |
| 4.               | Vrij L     | 4.GE=0% | 4.GE=+10% | 4.GE=+20% | -         |  | 3        |
| 5.               | Woon M     | 5.GE=0% | 5.GE=+10% | 5.GE=+20% | -         |  | 3        |
| 6.               | Woon XL    | 6.GE=0% | 6.GE=+10% | 6.GE=+20% | -         |  | 3        |
| 7.               | Kantoor M  | 7.GE=0% | 7.GE=+10% | 7.GE=+20% | 7.GE=+50% |  | 4        |
| 8.               | Kantoor XL | 8.GE=0% | 8.GE=+10% | 8.GE=+20% | 8.GE=+50% |  | 4        |
| 9.               | Woon H     | 9.GE=0% | 9.GE=+10% | 9.GE=+20% | -         |  | 3        |
| Aantal per optie |            | 9       | 9         | 9         | 2         |  |          |

figuur B2 - 3: opties bij parameter Gevel/BVO (GE)

### Aandeel open geveldelen

Bij eerder onderzoek bleek dat 1 m<sup>2</sup> open gevel een ongunstigere MKI heeft dan 1 m<sup>2</sup> dichte gevel. Het verband bleek lineair. En dit betrof HR++ beglazing, bij triple glas, dat in de referentiegebouwen toegepast is, zal de negatieve invloed groter zijn. De variatie op het aandeel open gevel is in negatieve en positieve richting doorgevoerd (zie figuur B2 - 4). In negatieve richting is in verband met de daglichteis één beperkte stap aangehouden, en in positieve richting een forse stap van 50% meer open. Bij kantoorgebouwen wordt over het algemeen meer gevarieerd met de hoeveelheid glas in de gevel, en wordt ook vaak voor een grotendeels open gevel gekozen. Naast de opties -25% en +50% zijn daarom ook de opties +25% en +75% toegevoegd.

| OP               | Open       | -25%      | 0%      | +25%      | +50%      | +75%      | aantal   |
|------------------|------------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|
| NR               | Referentie | code      | code    | code      | code      | code      | per type |
| 1.               | Tussen S   | 1.OP=-25% | 1.OP=0% | -         | 1.OP=+50% | -         | 3        |
| 2.               | Tussen M   | 2.OP=-25% | 2.OP=0% | -         | 2.OP=+50% | -         | 3        |
| 3.               | 2-1-kap M  | 3.OP=-25% | 3.OP=0% | -         | 3.OP=+50% | -         | 3        |
| 4.               | Vrij L     | 4.OP=-25% | 4.OP=0% | -         | 4.OP=+50% | -         | 3        |
| 5.               | Woon M     | 5.OP=-25% | 5.OP=0% | -         | 5.OP=+50% | -         | 3        |
| 6.               | Woon XL    | 6.OP=-25% | 6.OP=0% | -         | 6.OP=+50% | -         | 3        |
| 7.               | Kantoor M  | 7.OP=-25% | 7.OP=0% | 7.OP=+25% | 7.OP=+50% | 7.OP=+75% | 5        |
| 8.               | Kantoor XL | 8.OP=-25% | 8.OP=0% | 8.OP=+25% | 8.OP=+50% | 8.OP=+75% | 5        |
| 9.               | Woon H     | 9.OP=-25% | 9.OP=0% | -         | 9.OP=+50% | -         | 3        |
| Aantal per optie |            | 9         | 9       | 2         | 9         | 2         |          |

figuur B2 - 4: opties bij parameter Open (OP)

### Gebouwvarianten op basis van 'vormfactoren'

De opties bij de 3 parameters bij 'Vormfactoren' zijn gecombineerd, wat uiteindelijk geresulteerd heeft in een set van 515 gebouwvarianten (zie figuur B2 - 5).

| Vormfactoren  | BV         | GE  | OP        |      |  | aantal   |
|---------------|------------|-----|-----------|------|--|----------|
| NR            | Referentie | BVO | Gevel/BVO | Open |  | per type |
| 1.            | Tussen S   | 5   | 3         | 3    |  | 45       |
| 2.            | Tussen M   | 5   | 3         | 3    |  | 45       |
| 3.            | 2-1-kap M  | 5   | 3         | 3    |  | 45       |
| 4.            | Vrij L     | 5   | 3         | 3    |  | 45       |
| 5.            | Woon M     | 5   | 3         | 3    |  | 45       |
| 6.            | Woon XL    | 5   | 3         | 3    |  | 45       |
| 7.            | Kantoor M  | 5   | 4         | 5    |  | 100      |
| 8.            | Kantoor XL | 5   | 4         | 5    |  | 100      |
| 9.            | Woon H     | 5   | 3         | 3    |  | 45       |
| Aantal totaal |            |     |           |      |  | 515      |

figuur B2 - 5: aantal gebouwvarianten op basis van Vormfactoren

### Variatie op 'materialisatie'

Naast het verschil in materialisatie per referentietype is er ten aanzien van de materialisatie op 3 parameters gevarieerd, namelijk de bouwmethode, de uitvoering en het energieconcept.

### Bouwmethode (BO)

Bij de parameter BO zijn er 4 opties, namelijk beton, kalkzandsteen, staal- en houtskeletbouw (zie figuur 3.3). Welke opties realistisch zijn, is per referentietype verschillend. Daarbij is realistisch 'streng' opgevat, incidenteel voorkomende situaties, zoals woongebouwen in HSB vallen hier niet onder. In figuur B2 - 6 zijn de per referentietype geselecteerde opties te vinden.

| BO               | Bouwmethode | be      | kz      | st      | hs      | aantal   |
|------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|----------|
| NR               | Referentie  | code    | code    | code    | code    | per type |
| 1.               | Tussen S    | 1.BO=be | 1.BO=kz | -       | 1.BO=hs | 3        |
| 2.               | Tussen M    | 2.BO=be | 2.BO=kz | -       | 2.BO=hs | 3        |
| 3.               | 2-1-kap M   | 3.BO=be | 3.BO=kz | -       | 3.BO=hs | 3        |
| 4.               | Vrij L      | 4.BO=be | 4.BO=kz | -       | 4.BO=hs | 3        |
| 5.               | Woon M      | 5.BO=be | 5.BO=kz | -       | -       | 2        |
| 6.               | Woon XL     | 6.BO=be | -       | 6.BO=st | -       | 2        |
| 7.               | Kantoor M   | 7.BO=be | -       | 7.BO=st | -       | 2        |
| 8.               | Kantoor XL  | 8.BO=be | -       | 8.BO=st | -       | 2        |
| 9.               | Woon H      | 9.BO=be | -       | 9.BO=st | -       | 2        |
| Aantal per optie |             | 9       | 5       | 4       | 4       |          |

*figuur B2 - 6: opties bij parameter Bouwmethode (BO)*

Bij de referentiegebouwen is de standaard bouwmethode beton (prefab, of in-het-werk-gestort). Bij de varianten op de bouwmethode is gebruik gemaakt van eerdere onderzoeken waarbij varianten op bouwmethoden naast elkaar zijn gezet:

- Voor de optie HSB is een variant op '3. 2-1-kap M' opgesteld. Hierbij is gebruik gemaakt van de verschillen tussen een variant in beton en een variant in houtskeletbouw, die beiden in een studie voor de NBvT<sup>25</sup> zijn opgesteld. De verhouding (beton versus HSB) in de MKI (NMD2.3) van de draagconstructie is gebruikt bij de andere referentietypen (de overige bouwdelen zijn ongewijzigd verondersteld).
- Voor de optie staal is gebruik gemaakt van het grote kantoor uit de set referentiegebouwen (opgesteld door DGMR), die SBK tot nu toe heeft gehanteerd voor het bieden van inzicht in de gevolgen van een nieuwe NMD-release. In tegenstelling tot bij de HSB-variant is hier niet eerst een staalskeletbouw-variant aangemaakt. De verhouding (beton versus staal, inclusief bekleding) in de MKI (NMD2.3) van de draagconstructie is direct gebruikt bij alle referentietypen, waarbij de optie staalskeletbouw is meegenomen (de overige bouwdelen zijn ongewijzigd verondersteld).

### **Uitvoering (UI)**

De bij de basisvarianten aangehouden uitvoering van referentiegebouwen geldt als de optie 're'. Per type zijn twee varianten aangemaakt, een variant met een materialisatie die duurzamer is dan bij de standaard uitvoering, en een variant met juist een minder duurzame materialisatie (zie figuur B2 - 7). Bij de parameter Uitvoering zijn bij alle referentietypen alle opties geselecteerd.

<sup>25</sup> 'Klimaatwinst door Bouwen in hout; onderzoek naar de potentie bij woningbouw'; in opdracht van Nederlandse Branchevereniging voor de Timmerindustrie (NBvT); W/E adviseurs, Utrecht, oktober 2016

| UI               | Uitvoering | re      | du      | nd      | aantal   |
|------------------|------------|---------|---------|---------|----------|
| NR               | Referentie | code    | code    | code    | per type |
| 1.               | Tussen S   | 1.UI=re | 1.UI=du | 1.UI=nd | 3        |
| 2.               | Tussen M   | 2.UI=re | 2.UI=du | 2.UI=nd | 3        |
| 3.               | 2-1-kap M  | 3.UI=re | 3.UI=du | 3.UI=nd | 3        |
| 4.               | Vrij L     | 4.UI=re | 4.UI=du | 4.UI=nd | 3        |
| 5.               | Woon M     | 5.UI=re | 5.UI=du | 5.UI=nd | 3        |
| 6.               | Woon XL    | 6.UI=re | 6.UI=du | 6.UI=nd | 3        |
| 7.               | Kantoor M  | 7.UI=re | 7.UI=du | 7.UI=nd | 3        |
| 8.               | Kantoor XL | 8.UI=re | 8.UI=du | 8.UI=nd | 3        |
| 9.               | Woon H     | 9.UI=re | 9.UI=du | 9.UI=nd | 3        |
| Aantal per optie |            | 9       | 9       | 9       |          |

figuur B2 - 7: opties bij parameter Uitvoering (UI)

Bij de duurzame materialisatie is per element bekeken of er een productkeuze is met een lagere MKI dan die van de standaard keuze, waarbij het product nog wel als gangbaar geldt. Er is zijn dus geen bijzondere/extreme keuzen gemaakt. Een vergelijkbare aanpak is gevolgd bij het opstellen van de niet-duurzame varianten. Om te voorkomen dat de frequentieverdeling in gunstig of ongunstige richting wordt getrokken is gezocht naar enig evenwicht in de afwijkingen per referentie (zie figuur B2 - 8).

| NR            | re   | du   | nd   |
|---------------|------|------|------|
| Referentie    | MPG  | MPG  | MPG  |
| 1. Tussen S   | 0,44 | 0,34 | 0,57 |
| 2. Tussen M   | 0,64 | 0,44 | 0,83 |
| 3. 2-1-kap M  | 0,51 | 0,37 | 0,68 |
| 4. Vrij L     | 0,52 | 0,38 | 0,70 |
| 5. Woon M     | 0,52 | 0,40 | 0,70 |
| 6. Woon XL    | 0,55 | 0,42 | 0,63 |
| 7. Kantoor M  | 0,75 | 0,58 | 0,87 |
| 8. Kantoor XL | 0,73 | 0,62 | 0,87 |
| 9. Woon H     | 0,51 | 0,45 | 0,68 |

figuur B2 - 8: invloed op MPG van variatie op parameter Uitvoering (UI)

### Energieconcept (EC)

Ten behoeve van kostenstudies heeft DGMR per referentiegebouwen drie energieconcepten uitgewerkt, namelijk aardgas, all-electric (warmtepomp) en warmtelevering. Gericht op de komende nieuwbouw is gasloos als uitgangspunt genomen, wat betekent dat de opties all-electric en warmtelevering resteren (figuur B2 - 9). Om gas (in 'groene' vorm, zoals waterstofgas of biogas) niet geheel te negeren, is gas wel in de gevoeligheidsanalyse meegenomen.

Bij de referenties is een zeer goede schil als uitgangspunt aangehouden (zie hoofdstuk 3). Onder het oude BENG-regime was het soms nog mogelijk om met een minder goed geïsoleerde schil te volstaan, maar in dat geval was er een forse hoeveelheid PV-panelen nodig, met een ongunstige invloed op de MPG. De bijgestelde BENG-eisen maken dat de compensatie door PV-panelen aanzienlijk minder is. Bij alle typen en energieconcepten zijn ook varianten aangemaakt met een minder goed schil (HR++-beglazing en isolatie volgens Bouwbesluit). Deze varianten zijn aangeduid met de toevoeging '-s'. Omdat het netto-effect (minder isolatie en HR++ i.p.v. triple beglazing versus meer PV-panelen en externe



elektriciteitslevering) beperkt bleek, zijn deze 's'-varianten per type eenmaal meegenomen en niet bij combinaties.

| EC               | Energieconcept | ae      | wa      | ae-s      | wa-s      | aantal   |
|------------------|----------------|---------|---------|-----------|-----------|----------|
| NR               | Referentie     | code    | code    | code      | code      | per type |
| 1.               | Tussen S       | 1.EC=ae | 1.EC=wa | 1.EC=ae-s | 1.EC=wa-s | 4        |
| 2.               | Tussen M       | 2.EC=ae | 2.EC=wa | 2.EC=ae-s | 2.EC=wa-s | 4        |
| 3.               | 2-1-kap M      | 3.EC=ae | 3.EC=wa | 3.EC=ae-s | 3.EC=wa-s | 4        |
| 4.               | Vrij L         | 4.EC=ae | 4.EC=wa | 4.EC=ae-s | 4.EC=wa-s | 4        |
| 5.               | Woon M         | 5.EC=ae | 5.EC=wa | 5.EC=ae-s | 5.EC=wa-s | 4        |
| 6.               | Woon XL        | 6.EC=ae | 6.EC=wa | 6.EC=ae-s | 6.EC=wa-s | 4        |
| 7.               | Kantoor M      | 7.EC=ae | 7.EC=wa | 7.EC=ae-s | 7.EC=wa-s | 4        |
| 8.               | Kantoor XL     | 8.EC=ae | 8.EC=wa | 8.EC=ae-s | 8.EC=wa-s | 4        |
| 9.               | Woon H         | 9.EC=ae | 9.EC=wa | 9.EC=ae-s | 9.EC=wa-s | 4        |
| Aantal per optie |                | 9       | 9       | 9         | 9         |          |

figuur B2 - 9: opties bij parameter Energieconcept (CE)

Bij de optie warmtelevering zal de voor de warmtelevering gebruikte bron per locatie verschillen. De bron heeft een relevante invloed op de MPG, omdat die onder andere bepalend is voor de hoeveelheid PV-panelen die nodig is om aan de BENG-eisen te kunnen voldoen. Omdat er geen sprake is van een specifieke locatie/bron, is voor de optie warmtelevering (optie 'wa' in figuur B2 - 10) een mix van een groene (25%) en grijze bron (75%) aangehouden. Bij de combinaties zijn er ook een aantal varianten op basis van 100% groen (optie 'wg') en 100% grijs (optie 'gi') meegenomen.

| Warmtelevering         |                |
|------------------------|----------------|
| wa                     | warmtelevering |
| mix van grijs en groen |                |
| bijdrage groen:        | 0,25           |
| wi                     | warmte,grijs   |
| wg                     | warmte,groen   |

figuur B2 - 10: optie warmtelevering (mix van groen en grijs)

Voor de rendementen per bron zijn de uitgangspunten voor de in figuur B2 - 11 genoemde variant 1 (grijs) en variant 3 (groen) aangehouden.

Voor de verschillende situaties voor warmtelevering zijn onderstaande uitgangspunten gehanteerd:

| Type warmte   | f <sub>p;del;dh/w</sub> | f <sub>p;ren;dh/w</sub> | T <sub>aanvoer/retour</sub> | Tapwater   | Verwarming |
|---------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------|------------|
| 0 forfaitair  | 0,90                    | 0                       | 70/40                       | afleverset | radiatoren |
| 1 STEG + Bio  | 0,57                    | 0,25                    | 70/40                       | afleverset | radiatoren |
| 2 AVI         | 0,43                    | 0,50                    | 70/40                       | afleverset | radiatoren |
| 3 AVI + Bio   | 0,303                   | 0,80                    | 70/40                       | afleverset | radiatoren |
| 4 Geothermie  | 0,40                    | 0,70                    | 70/40                       | afleverset | radiatoren |
| 5 WKO met TEO | 0,80                    | 0,45                    | 40/25                       | booster WP | LTV        |

figuur B2 - 11: uitgangspunten bij de diverse bronnen bij warmtelevering<sup>26</sup>

<sup>26</sup> Impact NTA8800; in opdracht van Lenteakkoord, themagroep warmtenetten; DGMR; Arnhem, 19 april 2019

## Gebouwvarianten op basis van 'Materialisatie'

De opties bij de 3 parameters bij 'Materialisatie' zijn gecombineerd, wat uiteindelijk geresulteerd heeft in een set van 264 gebouwvarianten (zie figuur B2 - 12).

| Materialisatie |            | BO          | UI         | EC             |  | aantal   |
|----------------|------------|-------------|------------|----------------|--|----------|
| NR             | Referentie | Bouwmethode | Uitvoering | Energieconcept |  | per type |
| 1.             | Tussen S   | 3           | 3          | 4              |  | 36       |
| 2.             | Tussen M   | 3           | 3          | 4              |  | 36       |
| 3.             | 2-1-kap M  | 3           | 3          | 4              |  | 36       |
| 4.             | Vrij L     | 3           | 3          | 4              |  | 36       |
| 5.             | Woon M     | 2           | 3          | 4              |  | 24       |
| 6.             | Woon XL    | 2           | 3          | 4              |  | 24       |
| 7.             | Kantoor M  | 2           | 3          | 4              |  | 24       |
| 8.             | Kantoor XL | 2           | 3          | 4              |  | 24       |
| 9.             | Woon H     | 2           | 3          | 4              |  | 24       |
| Aantal totaal  |            |             |            |                |  | 264      |

figuur B2 - 12: aantal gebouwvarianten op basis van Materialisatie

## Combinatie van varianten Materialisatie met varianten Vormfactoren

Door combinatie van parameters en opties bij Materialisatie en bij Vormfactoren neemt het aantal gebouwvarianten explosief toe. Bij de selectie van combinaties is gezocht naar combinaties die de representativiteit van de set vergroten. Hierbij is de invloed van minder courante uitvoeringen (vaak ook de 'uitbijters' in de MPG-scores) en afmetingen beperkt gehouden, door minder combinaties op te nemen.

## Selectie van te combineren parameters en opties

Er zijn 6 sets van combinaties opgesteld. Deze sets zijn puur gebruikt om te komen tot een goede selectie gebouwvarianten, ze hebben geen andere betekenis. Verdeeld over de 9 referentiegebouwen leveren de combinaties uiteindelijk 1581 gebouwvarianten op (zie figuur B2 - 19). De sets zijn:

- figuur B2 - 13: vormfactoren met energieconcepten  
Deze set betreft alle combinaties van de opties bij de 3 parameters bij Vormfactoren en de energieconcepten all-electric (optie 'ae') en warmtelevering (optie 'wa'). Bij de andere parameters bij Materialisatie zijn de default opties aangehouden.
- figuur B2 - 14: materialisatie  
Deze set betreft de combinatie van de opties bij de 3 parameters bij Materialisatie en de default opties bij Vormfactoren. Per type zijn er 2 combinaties verwijderd, die ook al bij de combinatieset 1 voorkomen.
- figuur B2 - 15: BVO en warmtelevering  
Deze set betreft de combinatie van de opties bij de parameter BV en de 'extremere' energieconcepten warmtelevering met 100% grijze bronnen (optie: 'wi') en 100% groene bronnen (optie: 'wg'). Bij de andere parameters bij Vormfactoren en Materialisatie zijn de default opties aangehouden.
- figuur B2 - 16: BVO en bouwmethode en uitvoering  
Deze set betreft de combinatie van de opties bij de parameter BV en de overige parameters bij Materialisatie, namelijk de bouwmethode en uitvoering. Per type zijn weer een aantal combinaties verwijderd, die ook al bij de eerdere combinatiesets voorkomen.
- figuur B2 - 17: Energieconcept met minder goede schil  
Deze set betreft de aanvulling met de varianten met een minder goed geïsoleerde

schil (HR++ beglazing en isolatie conform Bouwbesluit, extra PV-panelen en externe elektriciteitslevering).

6. figuur B2 - 18: Extremen

Deze set betreft de aanvulling met combinatie van juist veel gunstige of juist veel ongunstige opties bij de diverse parameters. Dit zijn dus de extremere gebouwvarianten, met naar verwachting een hele lage of hele hoge MPG. Per type zijn 8 extremere varianten opgenomen (in figuur B2 - 18 als voorbeeld de 8 extremere varianten voor type 1).

| Combinaties 1 |            | Vormfactoren |    |    | Materialisatie |    |    | Correctie | aantal   |
|---------------|------------|--------------|----|----|----------------|----|----|-----------|----------|
| NR            | Referentie | BV           | GE | OP | BO             | UI | EC | dubbel    | per type |
| 1.            | Tussen S   | 5            | 3  | 3  | 1              | 1  | 2  | 0         | 90       |
| 2.            | Tussen M   | 5            | 3  | 3  | 1              | 1  | 2  | 0         | 90       |
| 3.            | 2-1-kap M  | 5            | 3  | 3  | 1              | 1  | 2  | 0         | 90       |
| 4.            | Vrij L     | 5            | 3  | 3  | 1              | 1  | 2  | 0         | 90       |
| 5.            | Woon M     | 5            | 3  | 3  | 1              | 1  | 2  | 0         | 90       |
| 6.            | Woon XL    | 5            | 3  | 3  | 1              | 1  | 2  | 0         | 90       |
| 7.            | Kantoor M  | 5            | 4  | 5  | 1              | 1  | 2  | 0         | 200      |
| 8.            | Kantoor XL | 5            | 4  | 5  | 1              | 1  | 2  | 0         | 200      |
| 9.            | Woon H     | 5            | 3  | 3  | 1              | 1  | 2  | 0         | 90       |
|               |            |              |    |    |                |    |    |           | 1030     |

figuur B2 - 13: combinaties van BV, GE, OP en EC (totaal: 1030)

| Combinaties 2 |            | Vormfactoren |    |    | Materialisatie |    |    | Correctie | aantal   |
|---------------|------------|--------------|----|----|----------------|----|----|-----------|----------|
| NR            | Referentie | BV           | GE | OP | BO             | UI | EC | dubbel    | per type |
| 1.            | Tussen S   | 1            | 1  | 1  | 3              | 3  | 2  | 2         | 16       |
| 2.            | Tussen M   | 1            | 1  | 1  | 3              | 3  | 2  | 2         | 16       |
| 3.            | 2-1-kap M  | 1            | 1  | 1  | 3              | 3  | 2  | 2         | 16       |
| 4.            | Vrij L     | 1            | 1  | 1  | 3              | 3  | 2  | 2         | 16       |
| 5.            | Woon M     | 1            | 1  | 1  | 2              | 3  | 2  | 2         | 10       |
| 6.            | Woon XL    | 1            | 1  | 1  | 2              | 3  | 2  | 2         | 10       |
| 7.            | Kantoor M  | 1            | 1  | 1  | 2              | 3  | 2  | 2         | 10       |
| 8.            | Kantoor XL | 1            | 1  | 1  | 2              | 3  | 2  | 2         | 10       |
| 9.            | Woon H     | 1            | 1  | 1  | 2              | 3  | 2  | 2         | 10       |
|               |            |              |    |    |                |    |    |           | 114      |

figuur B2 - 14: combinaties van BO, UI en EC (totaal: 114)

| Combinaties 3 |            | Vormfactoren |    |    | Materialisatie |    |    | Correctie | aantal   |
|---------------|------------|--------------|----|----|----------------|----|----|-----------|----------|
| NR            | Referentie | BV           | GE | OP | BO             | UI | EC | dubbel    | per type |
| 1.            | Tussen S   | 5            | 1  | 1  | 1              | 1  | 2  | 0         | 10       |
| 2.            | Tussen M   | 5            | 1  | 1  | 1              | 1  | 2  | 0         | 10       |
| 3.            | 2-1-kap M  | 5            | 1  | 1  | 1              | 1  | 2  | 0         | 10       |
| 4.            | Vrij L     | 5            | 1  | 1  | 1              | 1  | 2  | 0         | 10       |
| 5.            | Woon M     | 5            | 1  | 1  | 1              | 1  | 2  | 0         | 10       |
| 6.            | Woon XL    | 5            | 1  | 1  | 1              | 1  | 2  | 0         | 10       |
| 7.            | Kantoor M  | 5            | 1  | 1  | 1              | 1  | 2  | 0         | 10       |
| 8.            | Kantoor XL | 5            | 1  | 1  | 1              | 1  | 2  | 0         | 10       |
| 9.            | Woon H     | 5            | 1  | 1  | 1              | 1  | 2  | 0         | 10       |
|               |            |              |    |    |                |    |    |           | 90       |

figuur B2 - 15: combinaties van BV en EC: opties wi en wg (totaal: 90)

| Combinaties 4 |            | Vormfactoren |    |    | Materialisatie |    |    | Correctie | aantal   |
|---------------|------------|--------------|----|----|----------------|----|----|-----------|----------|
| NR            | Referentie | BV           | GE | OP | BO             | UI | EC | dubbel    | per type |
| 1.            | Tussen S   | 5            | 1  | 1  | 3              | 2  | 1  | 6         | 24       |
| 2.            | Tussen M   | 5            | 1  | 1  | 3              | 2  | 1  | 6         | 24       |
| 3.            | 2-1-kap M  | 5            | 1  | 1  | 3              | 2  | 1  | 6         | 24       |
| 4.            | Vrij L     | 5            | 1  | 1  | 3              | 2  | 1  | 6         | 24       |
| 5.            | Woon M     | 5            | 1  | 1  | 2              | 2  | 1  | 4         | 16       |
| 6.            | Woon XL    | 5            | 1  | 1  | 2              | 2  | 1  | 4         | 16       |
| 7.            | Kantoor M  | 5            | 1  | 1  | 2              | 2  | 1  | 4         | 16       |
| 8.            | Kantoor XL | 5            | 1  | 1  | 2              | 2  | 1  | 4         | 16       |
| 9.            | Woon H     | 5            | 1  | 1  | 2              | 2  | 1  | 4         | 16       |
|               |            |              |    |    |                |    |    |           | 176      |

figuur B2 - 16: combinaties van BV, BO en UI (totaal: 176)

| Combinaties 5 |            | Vormfactoren |    |    | Materialisatie |    |    | Correctie | aantal   |
|---------------|------------|--------------|----|----|----------------|----|----|-----------|----------|
| NR            | Referentie | BV           | GE | OP | BO             | UI | EC | dubbel    | per type |
| 1.            | Tussen S   | 1            | 1  | 1  | 1              | 1  | 4  | 0         | 4        |
| 2.            | Tussen M   | 1            | 1  | 1  | 1              | 1  | 4  | 0         | 4        |
| 3.            | 2-1-kap M  | 1            | 1  | 1  | 1              | 1  | 4  | 0         | 4        |
| 4.            | Vrij L     | 1            | 1  | 1  | 1              | 1  | 4  | 0         | 4        |
| 5.            | Woon M     | 1            | 1  | 1  | 1              | 1  | 4  | 0         | 4        |
| 6.            | Woon XL    | 1            | 1  | 1  | 1              | 1  | 4  | 0         | 4        |
| 7.            | Kantoor M  | 1            | 1  | 1  | 1              | 1  | 4  | 0         | 4        |
| 8.            | Kantoor XL | 1            | 1  | 1  | 1              | 1  | 4  | 0         | 4        |
| 9.            | Woon H     | 1            | 1  | 1  | 1              | 1  | 4  | 0         | 4        |
|               |            |              |    |    |                |    |    |           | 36       |

figuur B2 - 17: varianten met minder goed geïsoleerde schil, aangeduide met 's' (totaal: 36)

| Combinatie 6: Extremere varianten            |   | Vormfactoren |      |      | Materialisatie |    |    |
|----------------------------------------------|---|--------------|------|------|----------------|----|----|
| Variant                                      |   | BV           | GE   | OP   | BO             | UI | EC |
| 1. BV=0%;GE=0%;OP=0%;BO=be;UI=nd;EC=wi       | 8 | 0%           | 0%   | 0%   | be             | nd | wi |
| 1. BV=-50%;GE=+20%;OP=0%;BO=be;UI=nd;EC=wi   |   | -50%         | +20% | 0%   | be             | nd | wi |
| 1. BV=-50%;GE=+20%;OP=-25%;BO=be;UI=nd;EC=wi |   | -50%         | +20% | -25% | be             | nd | wi |
| 1. BV=-50%;GE=+20%;OP=+50%;BO=be;UI=nd;EC=wi |   | -50%         | +20% | +50% | be             | nd | wi |
| 1. BV=0%;GE=0%;OP=0%;BO=hs;UI=du;EC=wg       |   | 0%           | 0%   | 0%   | hs             | du | wg |
| 1. BV=+50%;GE=0%;OP=0%;BO=hs;UI=du;EC=wg     |   | +50%         | 0%   | 0%   | hs             | du | wg |
| 1. BV=+50%;GE=0%;OP=-25%;BO=hs;UI=du;EC=wg   |   | +50%         | 0%   | -25% | hs             | du | wg |
| 1. BV=+50%;GE=0%;OP=+50%;BO=hs;UI=du;EC=wg   |   | +50%         | 0%   | +50% | hs             | du | wg |

figuur B2 - 18: combinaties van ongunstigste/ gunstigste opties (extremen) bij type 1 (totaal: 72)





| Combinaties |            | Sommatie over combinatiegroepen |        |        |        |        |        | aantal   |
|-------------|------------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| NR          | Referentie | com. 1                          | com. 2 | com. 3 | com. 4 | com. 5 | com. 6 | per type |
| 1.          | Tussen S   | 90                              | 16     | 10     | 24     | 4      | 8      | 152      |
| 2.          | Tussen M   | 90                              | 16     | 10     | 24     | 4      | 8      | 152      |
| 3.          | 2-1-kap M  | 90                              | 16     | 10     | 24     | 4      | 8      | 152      |
| 4.          | Vrij L     | 90                              | 16     | 10     | 24     | 4      | 8      | 152      |
| 5.          | Woon M     | 90                              | 10     | 10     | 16     | 4      | 8      | 138      |
| 6.          | Woon XL    | 90                              | 10     | 10     | 16     | 4      | 8      | 138      |
| 7.          | Kantoor M  | 200                             | 10     | 10     | 16     | 4      | 8      | 248      |
| 8.          | Kantoor XL | 200                             | 10     | 10     | 16     | 4      | 8      | 248      |
| 9.          | Woon H     | 90                              | 10     | 10     | 16     | 4      | 8      | 138      |
|             |            | 1030                            | 114    | 90     | 176    | 36     | 72     | 1.518    |

*figuur B2 - 19: alle combinaties, 1022 woningen en woongebouwen en 496 kantoorgebouwen*

## Bijlage 3: Analyse extreme varianten

### Varianten met extreem hoge MPG-scores

In figuur B3 - 1 en figuur B3 - 2 staan de gebouwvarianten, die de top20 vormen in ongunstige zin voor respectievelijk woningen en woongebouwen en kantoorgebouwen. Bij de woningen en woongebouwen scoort toevallig alleen de top20 boven de huidige grenswaarde van 1.0. De 21<sup>e</sup> gebouwvariant in de lijst heeft een MPG van 0,97. De hoogste score (van zowel de woningen en woongebouwen als de kantoorgebouwen) is 1,68. Dit betreft Woon XL (kleine studio's) met daarbij de opties een heel klein BVO, relatief veel gevel (niet compact), de bouwmethode beton, een niet duurzame materialisatie en warmtelevering op basis van fossiele bronnen.

Opvallend is de invloed van de BVO. Zoals bekend uit eerdere onderzoeken is het verband tussen de BVO en de MPG min of meer lineair tot een bepaalde BVO. Bij nog kleinere woningen neemt de MPG snel toe. Dit is grotendeels bepalend voor de top20. Het gaat om de al in basis kleinere typen (6 en 2) in combinatie met de ongunstige opties bij de parameter BV (BVO).

Deze invloed overtreft die van de andere vormfactoren GE en OP, aangezien ook de wat gunstigere opties in de top 20 voorkomen. Andere ongunstige opties blijken beton (be) bij de bouwmethode (BO), de niet duurzame materialisatie (nd) bij de uitvoering (UI) en warmtelevering (wi, en ook wel wa) bij het energieconcept (EC).

| NR | BV   | GE   | OP   | BO | UI | EC | Variant                                     | MPG    |
|----|------|------|------|----|----|----|---------------------------------------------|--------|
| 6. | -50% | +20% | 0%   | be | nd | wi | 6.BV=-50%;GE=+20%;OP=0%;BO=be;UI=nd;EC=wi   | 1,6778 |
| 6. | -50% | +20% | +50% | be | nd | wi | 6.BV=-50%;GE=+20%;OP=+50%;BO=be;UI=nd;EC=wi | 1,6775 |
| 6. | -50% | +20% | -25% | be | nd | wi | 6.BV=-50%;GE=+20%;OP=-25%;BO=be;UI=nd;EC=wi | 1,6634 |
| 6. | -50% | 0%   | 0%   | be | re | wi | 6.BV=-50%;GE=0%;OP=0%;BO=be;UI=re;EC=wi     | 1,5810 |
| 6. | -25% | 0%   | 0%   | be | re | wi | 6.BV=-25%;GE=0%;OP=0%;BO=be;UI=re;EC=wi     | 1,2571 |
| 2. | -50% | +20% | +50% | be | re | wa | 2.BV=-50%;GE=+20%;OP=+50%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,2297 |
| 2. | -50% | +10% | +50% | be | re | wa | 2.BV=-50%;GE=+10%;OP=+50%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,1833 |
| 2. | -50% | +20% | 0%   | be | re | wa | 2.BV=-50%;GE=+20%;OP=0%;BO=be;UI=re;EC=wa   | 1,1647 |
| 2. | -50% | 0%   | +50% | be | re | wa | 2.BV=-50%;GE=0%;OP=+50%;BO=be;UI=re;EC=wa   | 1,1369 |
| 2. | -50% | +20% | -25% | be | re | wa | 2.BV=-50%;GE=+20%;OP=-25%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,1292 |
| 2. | -50% | +10% | 0%   | be | re | wa | 2.BV=-50%;GE=+10%;OP=0%;BO=be;UI=re;EC=wa   | 1,1213 |
| 2. | -50% | +20% | +50% | be | nd | wi | 2.BV=-50%;GE=+20%;OP=+50%;BO=be;UI=nd;EC=wi | 1,1179 |
| 2. | -50% | +10% | -25% | be | re | wa | 2.BV=-50%;GE=+10%;OP=-25%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,0934 |
| 2. | -50% | 0%   | 0%   | be | re | wa | 2.BV=-50%;GE=0%;OP=0%;BO=be;UI=re;EC=wa     | 1,0803 |
| 2. | -50% | 0%   | -25% | be | re | wa | 2.BV=-50%;GE=0%;OP=-25%;BO=be;UI=re;EC=wa   | 1,0551 |
| 2. | -50% | +20% | 0%   | be | nd | wi | 2.BV=-50%;GE=+20%;OP=0%;BO=be;UI=nd;EC=wi   | 1,0403 |
| 2. | 0%   | 0%   | 0%   | be | nd | wi | 2.BV=0%;GE=0%;OP=0%;BO=be;UI=nd;EC=wi       | 1,0347 |
| 2. | -50% | 0%   | 0%   | be | nd | ae | 2.BV=-50%;GE=0%;OP=0%;BO=be;UI=nd;EC=ae     | 1,0298 |
| 2. | 0%   | 0%   | 0%   | be | nd | wa | 2.BV=0%;GE=0%;OP=0%;BO=be;UI=nd;EC=wa       | 1,0055 |
| 2. | -50% | +20% | -25% | be | nd | wi | 2.BV=-50%;GE=+20%;OP=-25%;BO=be;UI=nd;EC=wi | 1,0016 |

figuur B3 - 1: top20 ongunstig bij woningen en woongebouwen

| NR | BV   | GE   | OP   | BO | UI | EC | Variant                                     | MPG    |
|----|------|------|------|----|----|----|---------------------------------------------|--------|
| 8. | -50% | +50% | +75% | be | re | wa | 8.BV=-50%;GE=+50%;OP=+75%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,3577 |
| 8. | -50% | +50% | +50% | be | re | wa | 8.BV=-50%;GE=+50%;OP=+50%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,2834 |
| 8. | -50% | +20% | +75% | be | re | wa | 8.BV=-50%;GE=+20%;OP=+75%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,2288 |
| 8. | -50% | +50% | +25% | be | re | wa | 8.BV=-50%;GE=+50%;OP=+25%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,2099 |
| 8. | -50% | +10% | +75% | be | re | wa | 8.BV=-50%;GE=+10%;OP=+75%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,1857 |
| 8. | -25% | +50% | +75% | be | re | wa | 8.BV=-25%;GE=+50%;OP=+75%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,1849 |
| 8. | -50% | +50% | +75% | be | re | ae | 8.BV=-50%;GE=+50%;OP=+75%;BO=be;UI=re;EC=ae | 1,1823 |
| 8. | -50% | +20% | +50% | be | re | wa | 8.BV=-50%;GE=+20%;OP=+50%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,1692 |
| 8. | -50% | +20% | +50% | be | nd | wi | 8.BV=-50%;GE=+20%;OP=+50%;BO=be;UI=nd;EC=wi | 1,1683 |
| 8. | -50% | 0%   | +75% | be | re | wa | 8.BV=-50%;GE=0%;OP=+75%;BO=be;UI=re;EC=wa   | 1,1426 |
| 8. | -50% | +50% | 0%   | be | re | wa | 8.BV=-50%;GE=+50%;OP=0%;BO=be;UI=re;EC=wa   | 1,1360 |
| 8. | -50% | +10% | +50% | be | re | wa | 8.BV=-50%;GE=+10%;OP=+50%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,1311 |
| 8. | -25% | +50% | +50% | be | re | wa | 8.BV=-25%;GE=+50%;OP=+50%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,1282 |
| 8. | -50% | +50% | +50% | be | re | ae | 8.BV=-50%;GE=+50%;OP=+50%;BO=be;UI=re;EC=ae | 1,1122 |
| 8. | -50% | +20% | +25% | be | re | wa | 8.BV=-50%;GE=+20%;OP=+25%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,1082 |
| 8. | 0%   | +50% | +75% | be | re | wa | 8.BV=0%;GE=+50%;OP=+75%;BO=be;UI=re;EC=wa   | 1,0967 |
| 8. | -50% | 0%   | +50% | be | re | wa | 8.BV=-50%;GE=0%;OP=+50%;BO=be;UI=re;EC=wa   | 1,0913 |
| 8. | -25% | +20% | +75% | be | re | wa | 8.BV=-25%;GE=+20%;OP=+75%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,0863 |
| 7. | 0%   | +50% | +75% | be | re | wa | 7.BV=0%;GE=+50%;OP=+75%;BO=be;UI=re;EC=wa   | 1,0814 |
| 8. | -50% | +10% | +25% | be | re | wa | 8.BV=-50%;GE=+10%;OP=+25%;BO=be;UI=re;EC=wa | 1,0751 |

figuur B3 - 2: top20 ongunstig bij Kantoorgebouwen

Bij de kantoorgebouwen valt direct op dat vooral bij type 8 de slechtste scores voorkomen. Dit komt voor een belangrijk deel door het (glas)overkapte atrium. Verder blijken vooral de vormfactoren relevant. Dit ook omdat er ongunstigere opties waren dan bij de woningen en woongebouwen. Zowel de ongunstige opties bij de BVO (BV), gevel/b-verhouding (GE) als het aandeel open delen (OP) komen veel in de top20 voor. Opvallend dat niet duurzame materialisatie (nd) bij de uitvoering (UI) weinig voorkomt en UI dus blijkbaar minder relevant is dan de andere parameters.

## Varianten met extreem lage MPG-scores

In figuur B3 - 3 en

figuur B3 - 4 staan de gebouwvarianten, die de top20 vormen in gunstige zin voor respectievelijk woningen en woongebouwen en kantoorgebouwen.

| NR | BV   | GE | OP   | BO | UI | EC | Variant                                   | MPG    |
|----|------|----|------|----|----|----|-------------------------------------------|--------|
| 1. | +50% | 0% | -25% | hs | du | wg | 1.BV=+50%;GE=0%;OP=-25%;BO=hs;UI=du;EC=wg | 0,1987 |
| 1. | +50% | 0% | 0%   | hs | du | ae | 1.BV=+50%;GE=0%;OP=0%;BO=hs;UI=du;EC=ae   | 0,2010 |
| 1. | +50% | 0% | 0%   | hs | du | wg | 1.BV=+50%;GE=0%;OP=0%;BO=hs;UI=du;EC=wg   | 0,2082 |
| 1. | +25% | 0% | 0%   | hs | du | ae | 1.BV=+25%;GE=0%;OP=0%;BO=hs;UI=du;EC=ae   | 0,2082 |
| 3. | +50% | 0% | -25% | hs | du | wg | 3.BV=+50%;GE=0%;OP=-25%;BO=hs;UI=du;EC=wg | 0,2242 |
| 1. | +50% | 0% | +50% | hs | du | wg | 1.BV=+50%;GE=0%;OP=+50%;BO=hs;UI=du;EC=wg | 0,2272 |
| 4. | +50% | 0% | -25% | hs | du | wg | 4.BV=+50%;GE=0%;OP=-25%;BO=hs;UI=du;EC=wg | 0,2306 |
| 1. | +50% | 0% | 0%   | kz | du | ae | 1.BV=+50%;GE=0%;OP=0%;BO=kz;UI=du;EC=ae   | 0,2353 |
| 3. | +50% | 0% | 0%   | hs | du | ae | 3.BV=+50%;GE=0%;OP=0%;BO=hs;UI=du;EC=ae   | 0,2364 |
| 1. | -25% | 0% | 0%   | hs | du | ae | 1.BV=-25%;GE=0%;OP=0%;BO=hs;UI=du;EC=ae   | 0,2368 |
| 5. | +50% | 0% | -25% | kz | du | wg | 5.BV=+50%;GE=0%;OP=-25%;BO=kz;UI=du;EC=wg | 0,2375 |
| 3. | +50% | 0% | 0%   | hs | du | wg | 3.BV=+50%;GE=0%;OP=0%;BO=hs;UI=du;EC=wg   | 0,2387 |
| 5. | +50% | 0% | 0%   | kz | du | ae | 5.BV=+50%;GE=0%;OP=0%;BO=kz;UI=du;EC=ae   | 0,2411 |
| 1. | +25% | 0% | 0%   | kz | du | ae | 1.BV=+25%;GE=0%;OP=0%;BO=kz;UI=du;EC=ae   | 0,2427 |
| 5. | +50% | 0% | 0%   | kz | du | wg | 5.BV=+50%;GE=0%;OP=0%;BO=kz;UI=du;EC=wg   | 0,2444 |
| 5. | +25% | 0% | 0%   | kz | du | ae | 5.BV=+25%;GE=0%;OP=0%;BO=kz;UI=du;EC=ae   | 0,2468 |
| 3. | +25% | 0% | 0%   | hs | du | ae | 3.BV=+25%;GE=0%;OP=0%;BO=hs;UI=du;EC=ae   | 0,2469 |
| 4. | +50% | 0% | 0%   | hs | du | wg | 4.BV=+50%;GE=0%;OP=0%;BO=hs;UI=du;EC=wg   | 0,2493 |
| 5. | +50% | 0% | +50% | kz | du | wg | 5.BV=+50%;GE=0%;OP=+50%;BO=kz;UI=du;EC=wg | 0,2582 |
| 4. | +50% | 0% | 0%   | hs | du | ae | 4.BV=+50%;GE=0%;OP=0%;BO=hs;UI=du;EC=ae   | 0,2589 |

figuur B3 - 3: top20 gunstig bij woningen en woongebouwen

Voor de top20 in gunstige zin blijkt vooral ook de materialisatie van belang. Dit in de vorm van de duurzame optie (du) bij de uitvoering (UI) en houtskeletbouw (hs) en kalkzandsteen (kz) bij de bouwmethode (BO).

Bij de vormfactoren is ook hier de combinatie van het referentietype (typen 1, 3, 4) en het grotere BVO (BV) herkenbaar. Opvallend is dat alle top20 varianten de gunstigste optie 0% bij de gevel/BVO-verhouding hebben. Compactheid is blijkbaar ook erg relevant. Het aandeel open bij de gevels (OP) en het energieconcept (EC) lijken gezien de wisselende opties hier minder van invloed.

| NR | BV   | GE | OP   | BO | UI | EC | Variant                                   | MPG    |
|----|------|----|------|----|----|----|-------------------------------------------|--------|
| 7. | +50% | 0% | 0%   | st | du | ae | 7.BV=+50%;GE=0%;OP=0%;BO=st;UI=du;EC=ae   | 0,4465 |
| 7. | +25% | 0% | 0%   | st | du | ae | 7.BV=+25%;GE=0%;OP=0%;BO=st;UI=du;EC=ae   | 0,4530 |
| 7. | +50% | 0% | -25% | st | du | wg | 7.BV=+50%;GE=0%;OP=-25%;BO=hs;UI=du;EC=wg | 0,4613 |
| 7. | +50% | 0% | 0%   | st | du | wg | 7.BV=+50%;GE=0%;OP=0%;BO=hs;UI=du;EC=wg   | 0,4705 |
| 7. | -25% | 0% | 0%   | st | du | ae | 7.BV=-25%;GE=0%;OP=0%;BO=st;UI=du;EC=ae   | 0,4771 |
| 7. | +50% | 0% | 0%   | be | du | ae | 7.BV=+50%;GE=0%;OP=0%;BO=be;UI=du;EC=ae   | 0,4810 |
| 7. | +25% | 0% | 0%   | be | du | ae | 7.BV=+25%;GE=0%;OP=0%;BO=be;UI=du;EC=ae   | 0,4878 |
| 7. | +50% | 0% | +50% | st | du | wg | 7.BV=+50%;GE=0%;OP=+50%;BO=hs;UI=du;EC=wg | 0,4889 |
| 7. | -50% | 0% | 0%   | st | du | ae | 7.BV=-50%;GE=0%;OP=0%;BO=st;UI=du;EC=ae   | 0,5050 |
| 7. | -25% | 0% | 0%   | be | du | ae | 7.BV=-25%;GE=0%;OP=0%;BO=be;UI=du;EC=ae   | 0,5129 |
| 7. | -50% | 0% | 0%   | be | du | ae | 7.BV=-50%;GE=0%;OP=0%;BO=be;UI=du;EC=ae   | 0,5420 |
| 8. | +50% | 0% | -25% | st | du | wg | 8.BV=+50%;GE=0%;OP=-25%;BO=hs;UI=du;EC=wg | 0,5437 |
| 8. | +50% | 0% | 0%   | st | du | ae | 8.BV=+50%;GE=0%;OP=0%;BO=st;UI=du;EC=ae   | 0,5438 |
| 8. | +25% | 0% | 0%   | st | du | ae | 8.BV=+25%;GE=0%;OP=0%;BO=st;UI=du;EC=ae   | 0,5590 |
| 8. | +50% | 0% | 0%   | st | du | wg | 8.BV=+50%;GE=0%;OP=0%;BO=hs;UI=du;EC=wg   | 0,5683 |
| 7. | 0%   | 0% | 0%   | st | du | ae | 7.BV=0%;GE=0%;OP=0%;BO=st;UI=du;EC=ae     | 0,5778 |
| 7. | 0%   | 0% | 0%   | st | du | ae | 7.BV=0%;GE=0%;OP=0%;BO=st;UI=du;EC=ae     | 0,5778 |
| 7. | 0%   | 0% | 0%   | be | du | ae | 7.BV=0%;GE=0%;OP=0%;BO=be;UI=du;EC=ae     | 0,5780 |
| 7. | 0%   | 0% | 0%   | be | du | ae | 7.BV=0%;GE=0%;OP=0%;BO=be;UI=du;EC=ae     | 0,5780 |
| 8. | +50% | 0% | 0%   | be | du | ae | 8.BV=+50%;GE=0%;OP=0%;BO=be;UI=du;EC=ae   | 0,5820 |

figuur B3 - 4: top20 gunstig bij kantoorgebouwen

Het beeld komt bij kantoorgebouwen overeen met dat bij woningen en woongebouwen.