



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Bijna energieneutrale gebouwen

Invloed gebouwgeometrie op de BENG-indicatoren

In opdracht van het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties



Bijna energieneutrale gebouwen

Invloed gebouwgeometrie op de BENG-indicatoren

Rapportnummer D 3116-3-RA d.d. 24 januari 2018



Bijna energieneutrale gebouwen

Invloed gebouwgeometrie op de BENG-indicatoren

opdrachtgever Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland (RVO)
rapportnummer D 3116-3-RA
datum 24 januari 2018
referentie JE/MvB/JMa/D 3116-3-RA
verantwoordelijke ir. J.A. Eijsackers
opsteller ir. M. van Beek
 +31 79 3470365
 m.vanbeek@peutz.nl

peutz bv, postbus 696, 2700 ar zoetermeer, +31 79 347 03 47, zoetermeer@peutz.nl, www.peutz.nl
kvk 12028033, opdrachten volgens DNR 2011, lid NLingenieurs, btw NL.004933837B01, ISO-9001:2008

mook -zoetermeer - groningen - düsseldorf -dortmund -berlijn -leuven -parijs -lyon

Inhoudsopgave

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Inleiding | 5 |
| 2 | Knelpunten | 7 |
| 2.1 | Knelpunten BENG1: energiebehoefte | 7 |
| 2.2 | Knelpunten BENG2: primair fossiel energiegebruik | 7 |
| 2.3 | Knelpunten BENG3: aandeel hernieuwbare energie | 8 |
| 3 | Onderzoeksmethodiek | 9 |
| 3.1 | Plan van aanpak | 9 |
| 3.2 | Gebruikte EPC-berekeningen | 9 |
| 3.3 | Onderzochte parameters | 10 |
| 3.4 | Genetische algoritmes | 11 |
| 4 | Oplossingsrichtingen | 13 |
| 4.1 | Oplossingsrichting 1: Verdere differentiatie BENG-eisen | 13 |
| 4.2 | Oplossingsrichting 2: Introduceren grenswaarden | 14 |
| 4.3 | Oplossingsrichting 3: Eisen afhankelijk van compactheid | 14 |
| 4.4 | Oplossingsrichting 4: Eisen afhankelijk van slankheid | 15 |
| 4.5 | Oplossingsrichting 5: Persoonsbenadering | 15 |
| 5 | Analyse verdere differentiatie BENG-eisen | 17 |
| 5.1 | Woningbouw | 17 |
| 5.2 | Utiliteitsbouw | 19 |
| 5.3 | Samenvatting conclusie verdere differentiatie BENG-eisen | 21 |
| 5.4 | Mogelijke aanpassing BENG-eisen | 21 |
| 6 | Analyse introduceren grenswaarden | 23 |
| 6.1 | Woningbouw | 23 |
| 6.2 | Utiliteitsbouw | 25 |
| 6.3 | Samenvatting conclusie introduceren grenswaarden | 28 |
| 7 | Analyse eisen afhankelijk van compactheid | 29 |
| 7.1 | Woningbouw | 29 |
| 7.2 | Utiliteitsbouw | 31 |
| 7.3 | Samenvatting conclusies eisen afhankelijk van compactheid | 33 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 7.4 | Mogelijke aanpassing BENG-eisen | 34 |
| 7.5 | Illustratieve uitwerking mogelijke aanpassing BENG-eisen | 36 |
| 8 | Analyse eisen afhankelijk van slankheid | 39 |
| 8.1 | Woningbouw | 39 |
| 8.2 | Utiliteitsbouw | 41 |
| 8.3 | Samenvatting conclusie eisen afhankelijk van slankheid | 43 |
| 8.4 | Mogelijke aanpassing BENG-eisen | 43 |
| 9 | Mogelijke oplossingen in relatie tot knelpunten | 45 |
| 9.1 | BENG1: energiebehoefte | 45 |
| 9.2 | BENG2: primair fossiel energiegebruik | 46 |
| 9.3 | BENG3: aandeel hernieuwbare energie | 46 |
| 10 | Aanbevelingen | 48 |
| 10.1 | BENG1: energiebehoefte | 48 |
| 10.2 | BENG2: primair fossiel energiegebruik | 49 |
| 10.3 | BENG3: aandeel hernieuwbare energie | 50 |

1 Inleiding

Om de energetische kwaliteit van nieuwe gebouwen te kunnen toetsen wordt momenteel de Energieprestatiecoëfficiënt (EPC) berekend conform NEN7120 en getoetst aan de eisen in het Bouwbesluit 2012. In Europa is afgesproken dat men in stappen naar een energieneutraal gebouwde omgeving toewerkt. Voorgenomen stap daarbij is het opvolgen van de EPC-eisen door BENG-eisen (Bijna Energie Neutrale Gebouwen).

In Nederland is vooralsnog gekozen voor het vaststellen van de energetische kwaliteit van bijna energieneutrale gebouwen middels een drietal afzonderlijke BENG-indicatoren. De drie BENG-indicatoren zijn:

- BENG1: Energiebehoefte [kWh/m².jr];
- BENG2: Primair fossiel energiegebruik [kWh/m².jr];
- BENG3: Aandeel hernieuwbare energie [%].

Door RVO is een handreiking opgesteld waarin de bepalingsmethode van de BENG-indicatoren is beschreven. Globaal worden de BENG-indicatoren als volgt bepaald:

- BENG1: Voor het bepalen van de energiebehoefte wordt de energiebehoefte voor verwarming en koeling opgeteld. Voor utiliteitsgebouwen telt tevens de energiebehoefte voor verlichting mee.
- BENG2: Het primair fossiel energiegebruik is een optelsom van het primair energiegebruik voor verwarming, koeling, warmtapwaterbereiding en ventilatoren. Voor utiliteitsgebouwen telt ook het primair energiegebruik voor verlichting en (indien aanwezig) voor bevochtiging mee. Voor zowel woningen als utiliteitsgebouwen geldt dat, als er PV-panelen of andere hernieuwbare energiebronnen aanwezig zijn, de opgewekte energie van het primair energiegebruik wordt afgetrokken.
- BENG3: Het aandeel hernieuwbare energie wordt bepaald door de hoeveelheid hernieuwbare energie te delen door het totaal van hernieuwbare energie en primair fossiel energiegebruik.

De voorgenomen niveaus van de eisen zijn voor de verschillende gebouwfuncties in onderstaande tabel weergegeven. Hierbij geldt dat voor gebouwen met een mix aan gebruiksfuncties gewogen eisen van toepassing zijn naar rato van de gebruiksoppervlakte.

t1.1 Voorgenomen niveaus voor de verschillende gebouwfuncties

| Gebouwfunctie | 1 – Energiebehoefte | 2 – Primair fossiel energiegebruik | 3 – Aandeel hernieuwbare energie |
|--------------------------|--------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| | [kWh/m ² .jr] | [kWh/m ² .jr] | [%] |
| Woningen en woongebouwen | 25 | 25 | 50 |
| Utiliteitsgebouwen | 50 | 25 | 50 |
| Onderwijsgebouwen | 50 | 60 | 50 |
| Gezondheidszorggebouwen | 65 | 120 | 50 |

De BENG-indicatoren met bovengenoemde voorgenomen eisen zijn reeds enige tijd in gebruik. Uit de ervaringen die met het gebruik zijn opgedaan, zijn meerdere knelpunten naar voren gekomen. Door RVO zijn knelpunten verzameld die zijn aangedragen door marktpartijen of die met eigen onderzoek van RVO zijn vastgesteld. De verzamelde knelpunten zijn opgenomen op de zogenoemde issuelijst.

Een aantal issues staat met elkaar in verband en is het gevolg van het feit dat in de BENG-rekensystematiek de relatie ontbreekt tussen het energiegebruik en de gebruiksoppervlakte en/of de verliesoppervlakte¹. Meerdere reeds bekende issues (gebouwworm, hoogbouw, scholen en tiny houses) zijn door RVO gecombineerd tot één overkoepelend issue, te weten: "Invloed gebouwgeometrie op haalbaarheid BENG-eisen". Voorliggende rapportage behandelt het in dit kader door Peutz uitgevoerde onderzoek teneinde oplossingsrichtingen voor dit issue in kaart te brengen.

In hoofdstuk 2 wordt allereerst ingegaan op de geconstateerde knelpunten in relatie tot het issue gebouwgeometrie. De onderzochte oplossingsrichtingen worden beschreven in hoofdstuk 3 en de onderzoeksmethodiek in hoofdstuk 4. Na de analyse van de resultaten in hoofdstuk 5 tot en met 8 wordt in hoofdstuk 9 beschouwd of de knelpunten met de in kaart gebrachte mogelijke oplossingsrichtingen worden opgelost. Tot slot wordt in hoofdstuk 10 afgesloten met de aanbevelingen voor het uitwerken van de oplossingsrichtingen naar een concrete beschrijving zoals in de handreiking BENG.

1 In de dimensieloze EPC wordt het energiegebruik wel gerelateerd aan de gebruiksoppervlakte en verliesoppervlakte. In de EPC-methodiek leidt de geometrie van een gebouw daarom niet tot knelpunten.

2 Knelpunten

Door RVO zijn knelpunten verzameld die gerelateerd zijn aan het issue gebouwgeometrie en die ontstaan bij de introductie van de BENG-indicatoren en de huidige voorgenomen eisen. De knelpunten zijn door marktpartijen aangedragen of met eigen onderzoek van RVO vastgesteld. In dit hoofdstuk worden per BENG-indicator de knelpunten behandeld.

2.1 Knelpunten BENG1: energiebehoefte

- Aan gebouwtypen met een relatief grote oppervlakte gebouwschil ten opzichte van vloeroppervlakte worden dermate hoge eisen aan de gebouwschil gesteld om de voorgenomen eis te halen dat het praktisch onrealistisch is, voorbeelden zijn:
 - kleine woningen $< 50 \text{ m}^2$ (tiny houses);
 - bungalows met één bouwlaag;
 - kleine utiliteitsgebouwen.
- Bij grotere gebouwen is een lage energiebehoefte (kWh/m^2) eenvoudiger realiseerbaar dan bij kleine gebouwen. Kleine gebouwen hebben immers een relatief grote verliesoppervlakte en daardoor een relatief hoge energiebehoefte voor verwarming en koeling. Ook heeft elk gebouw een bepaalde basis energiebehoefte. Bij kleinere gebouwen resulteert dit in een hogere waarde voor BENG1.
- Voor woongebouwen met meer dan 5 bouwlagen is het relatief gezien moeilijker te voldoen aan BENG1 dan voor een eengezinswoning. Dit heeft andere oorzaken dan bovenstaande categorieën, hier speelt mee dat er in appartementen veel glas wordt gebruikt en er relatief veel koudebruggen zijn door uitkragingen, zoals balkons.
- Hoekwoningen hebben ten opzichte van tussenwoningen een grotere verliesoppervlakte in verhouding tot de vloeroppervlakte en zijn daardoor bepalend voor de benodigde maatregelen voor een gehele rij woningen. In de praktijk zal immers alleen worden gevarieerd met bijvoorbeeld extra PV-panelen of een douche-WTW ten opzichte van de hoekwoning; maatregelen die geen invloed hebben op BENG1.
- Rotatie van woningen heeft een significant effect op de energiebehoefte. Met name bij de galerijflat kan de energiebehoefte toenemen met 20 – 50%.

2.2 Knelpunten BENG2: primair fossiel energiegebruik

- De volgende gebouwtypen kunnen niet aan BENG2 voldoen door het relatief hoge warmtapwaterverbruik en hulpenergie voor verwarming ten opzichte van de vloeroppervlakte:
 - kleine woningen $< 50 \text{ m}^2$ vloeroppervlakte (tiny houses);
 - woningen met kleine wooneenheden (studentenwoningen).
- Gebouwen met een relatief klein dakoppervlakte hebben veel moeite met het opwekken van genoeg duurzame energie die meetelt bij BENG2, zeker wanneer geen warmtepomp (WKO, warmtepomp lucht/water open bron, warmtepomp water/water gesloten bron) kan worden toegepast. Dit speelt onder andere een rol bij binnenstedelijke hoge woontorens.

- Ook op BENG2 heeft de rotatie van woningen een significant effect. Dit is met name bij de galerijflat het geval doordat de energiebehoefte met 20 – 50% kan toenemen, maar het effect van rotatie op het aandeel hernieuwbare energie zeer gering is. Dit laatste omdat het zonne-energiesysteem op platte daken altijd zon-georiënteerd opgesteld kan worden.

2.3 Knelpunten BENG3: aandeel hernieuwbare energie

- Gebouwen met een relatief kleine (benutbaar) dakoppervlakte kunnen moeilijk voldoen aan BENG3 doordat er te weinig ruimte voor PV-panelen is. Dit geldt met name voor hoge gebouwen (utiliteit en woningen) van meer dan 5 bouwlagen.
- Bij woongebouwen en bij meerlaagse utiliteitsgebouwen is hierdoor het aandeel hernieuwbare energie in sterke mate afhankelijk van de inzet van wel/geen warmtepomp en/of inzet externe warmtelevering (beide zijn locatieafhankelijk, en in het geval van warmtelevering is ook het type opwekker bepalend).
- Verlagen van de energievraag voor warmte en koude maakt het moeilijker om aan BENG3 te voldoen. Bijvoorbeeld het voorzien van een WKO-installatie in een woning is voldoende om aan BENG3 te voldoen indien de energievraag voor warmte- en koude groot is. Als de warmte- en koudevraag echter wordt verlaagd, neemt het aandeel overige energievraag toe (verlichting is hierbij een belangrijke post) waarin de WKO niet kan voorzien. Door het verlagen van de energievraag kan het moeilijker worden om te voldoen aan de eis die gesteld wordt aan het aandeel hernieuwbare energie.

3 Onderzoeksmethodiek

Doelstelling van het onderzoek is oplossingsrichtingen voor het issue "Invloed gebouwgeometrie op haalbaarheid BENG-eisen" in kaart te brengen en te bepalen in hoeverre de oplossingsrichtingen de in hoofdstuk 2 genoemde knelpunten kunnen oplossen. In voorliggend hoofdstuk wordt de hiertoe gevolgde methodiek omschreven.

3.1 Plan van aanpak

Als eerste stap zijn mogelijke oplossingsrichtingen in kaart gebracht. Hiertoe is een groot aantal EPC-berekeningen uit praktijkprojecten die de afgelopen jaren door Peutz zijn geadviseerd, beschouwd.

Van deze EPC-berekeningen is een groot aantal parameters gedestilleerd en onderzocht welke verbanden hiertussen gevonden kunnen worden. Bij het zoeken naar verbanden is in eerste instantie gebruik gemaakt van genetische algoritmes, zie ook paragraaf 3.4. Op basis hiervan is bepaald welke oplossingsrichtingen kansrijk zijn om nader te onderzoeken. Bij het nadere onderzoek is een groot aantal grafieken vervaardigd op basis waarvan is beschouwd of de oplossingsrichtingen de knelpunten kunnen oplossen.

3.2 Gebruikte EPC-berekeningen

Om te onderzoeken of de beschreven oplossingsrichtingen mogelijk zijn, is gebruik gemaakt van de EPC-berekeningen en de berekeningen van de BENG-indicatoren van daadwerkelijke projecten zonder deze voor dit onderzoek aan te passen. Hierbij zijn ook variantstudies meegenomen die uitgevoerd zijn in ontwerptrajecten, waarbij is gevarieerd in maatregelen om aan de eisen te voldoen. Indien nodig zijn de rekenbestanden wel omgezet naar de nieuwste versie van de rekensoftware om ook de BENG-indicatoren te kunnen berekenen. Alle EPC-berekeningen zijn verricht met software gebaseerd op de NEN 7120 (Enorm versie V3.60 en Uniec2 versie 2.2).

3.2.1 Woningbouw

Voor woningbouw zijn circa 765 EPC-berekeningen gebruikt. Deze dataset bevat een afspiegeling van projecten die de laatste vier jaar door Peutz zijn uitgevoerd. Om een analyse van de data mogelijk te maken bezitten de projecten een verscheidenheid aan eigenschappen. De dataset bevat onder andere de volgende type woningen:

- grondgebonden woningen en woongebouwen;
- grondgebonden woningen met een gebruiksoppervlakte tussen 15 m² en 328 m²; gemiddeld 123 m²; standaarddeviatie² 32 m²; 5^e-percentiel 96 m²; 95^e-percentiel 173 m².

2 Toelichting statistische termen:

- standaarddeviatie: een rekenkundige maat voor de spreiding van de getallen rondom het gemiddelde;
- 5^e percentiel: 5% van de data is kleiner is of gelijk aan deze waarde;
- 95^e percentiel: 95% van de data is kleiner is of gelijk aan deze waarde.

- appartementen met een gebruiksoppervlakte per woning tussen 30 m² en 188 m², hierbij is de gebruiksoppervlakte van het woongebouw gedeeld door het aantal appartementen; gemiddeld 80 m²; standaarddeviatie 26 m²; 5^e-percentiel 30 m²; 95^e-percentiel 124 m²;
- woongebouwen met maximaal 5 bouwlagen en met 6 bouwlagen of meer;
- hoogte woongebouwen variërend tussen 3 m en 176 m; 5^e-percentiel 9,3 m; 95^e-percentiel 114 m²;
- woningen met ventilatiesysteem C en woningen met ventilatiesysteem D;
- woningen waarvan de resultaten van de EPC-berekeningen variëren tussen -0,48 [-] en +0,95 [-]; 5^e-percentiel -0,31 [-]; 95^e-percentiel 0,59 [-];
Opgemerkt wordt dat de huidige EPC-eis < 0,4 [-] betreft. Er zijn derhalve ook projecten beschouwd die niet (meer) aan de huidige eis voldoen.
- woningen waarvan de resultaten voldoen aan NOM en EPV;
- woningen met en zonder PV-panelen;
- woningen met variatie in mate van thermische isolatie;
- vrijstaande woningen, hoekwoningen en tussenwoningen.

3.2.2 Utiliteitsbouw

Voor utiliteitsbouw zijn circa 115 EPC-berekeningen gebruikt. Deze dataset bevat een afspiegeling van projecten die de laatste vier jaar door Peutz zijn uitgevoerd. Om een analyse van de data mogelijk te maken bezitten de projecten een verscheidenheid aan eigenschappen. De dataset bevat onder andere de volgende type gebouwen:

- panden met een gebruiksoppervlakte van 185 m² tot circa 70.000 m²; 5^e-percentiel 612 m²; 95^e-percentiel 35.500 m²;
- panden met hoogte variërend tussen 4,8 m en 105 m; 5^e-percentiel 7 m; 95^e-percentiel 78 m;
- panden waarvan de resultaten van de EPC-berekeningen variëren tussen E/E: -0,28 [-] en +1,9 [-]; 5^e-percentiel 0,0 [-]; 95^e-percentiel [-];
- panden met en zonder PV-panelen;
- panden met variatie in mate van thermische isolatie;
- panden met een kantoor-, sport-, onderwijs-, bijeenkomst-, logies- en winkelfunctie.

3.3 Onderzochte parameters

Om mogelijke oplossingsrichtingen in kaart te brengen zijn van het grote aantal EPC-berekeningen van de praktijkprojecten de volgende parameters beschouwd:

- BENG1-indicator;
- BENG2-indicator;
- BENG3-indicator;
- vloeroppervlakte per woning of per utiliteitsgebouw (A_g);
- verliesoppervlakte thermisch schil (A_{is}) bepaald conform NEN7120 paragraaf 6.7;
- dakoppervlakte (A_d);
- aantal bouwlagen en gebouwhoogte;

- grondgebonden / niet grondgebonden woningen;
- gebruiksfuncties utiliteit;
- resultaat energieprestatieberekening conform NEN7120 (EPC [-] voor woningbouw en $E_{\text{Ptot}}/E_{\text{P;adm;tot;nb}}$ [-] voor utiliteitsbouw).

Bij het onderzoek worden de resultaten van de BENG-indicatoren gehanteerd zoals momenteel gegenereerd door de EPC-software (Uniec2 versie 2.2 en Enorm versie V3.60).

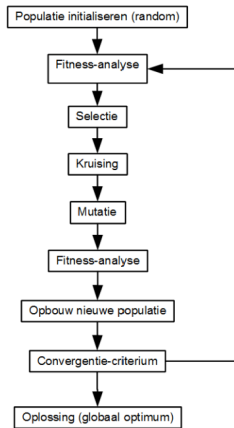
3.4 Genetische algoritmes

Genetische algoritmes worden over het algemeen gebruikt om complexe optimalisatieproblemen op te lossen. Deze algoritmes zijn met name geschikt voor complexe problemen waar klassieke optimalisatiealgoritmes geen betrouwbare oplossing kunnen genereren.

Genetische algoritmes volgen in beginsel een evolutionaire principe. Een populatie (set chromosomen (oplossingen) convergeert door kruising en mutatie naar de sterkste (beste) genenpoel (oplossingenset). Er wordt gestart met een set van willekeurige oplossingen. Elke oplossing wordt onderworpen aan een fitness-analyse. Vervolgens worden willekeurig twee oplossingen gekozen, waarbij de oplossing met hogere fitness een grotere kans heeft gekozen te worden. Deze twee oplossingen worden gekruist, bijvoorbeeld 50% van de ene oplossing wordt gecombineerd met 50% van de andere oplossing. De posities van kruising worden willekeurig gekozen. Vervolgens wordt gekeken of de nieuwe oplossing een hogere fitness heeft dan de oude oplossingen. Wanneer dit het geval is, wordt met grote waarschijnlijkheid de nieuwe oplossing opgenomen in de nieuwe populatie. Met kleine kans wordt een minder fitte oplossing doorgelaten, met als doel de oplossingsruimte langer af te tasten. Dit laatste, het aftasten van de oplossingsruimte, wordt ook gedaan door willekeurige mutaties. Een mutatie in de oplossing vindt plaats met een bepaalde kans. Deze kans wordt hier afhankelijk van de totale fitheid van de populatie genomen. In het begin is de kans op mutatie 100%, maar naarmate de totale populatie aan fitness wint, neemt de mutatiekans af (naar bijvoorbeeld circa 2%). Dit heeft het effect dat in het begin een groot deel van de oplossingsruimte efficiënt wordt afgetast en de oplossingenset niet te snel convergeert, om te voorkomen dat een lokaal optimum wordt gevonden in plaats van het globale optimum.

In afbeelding f3.1 is een schematische weergave van een genetisch algoritme gegeven. Er zijn meerdere vormen van genetische algoritmes mogelijk, bijvoorbeeld verschillend in wanneer gekruist of gemuteerd wordt. Voor elk probleem kan een passend algoritme worden gedefinieerd, waarbij de principes worden gevolgd zoals hierboven beschreven.

f3.1 Schematische weergave van een genetisch algoritme



Om inzicht te krijgen in de verbanden tussen de BENG-indicatoren en de gebouwparameters wordt gebruik gemaakt van een eerste orde benadering waarin de coëfficiënten $\{a_i\}$ met behulp van een genetisch algoritme worden bepaald in de vergelijking $B = \sum_i a_i x_i$, waarin B de representatieve functie van een BENG-indicator is en $\{x_i\}$ gebouwparameters zijn. Door alle parameters te normeren geeft de coëfficiënt a_i de relevantie weer van het verband tussen een BENG-indicator en x_i . Met verschillende combinaties van gebouwparameters wordt de R^2 -waarde berekend waarmee wordt bepaald hoe goed de overeenkomst is tussen de fitfunctie B en de werkelijke BENG-indicator in de dataset. Door in de set $\{x_i\}$ zowel geometrische parameters op te nemen als ontwerpparameters, wordt expliciet het effect van gebouwgeometrie bepaald, op basis waarvan wordt vastgesteld welke oplossingsrichting het meest kansrijk is.

4 Oplossingsrichtingen

Door middel van het gebruik van genetische algoritmes zijn mogelijke oplossingsrichtingen in kaart gebracht. In dit hoofdstuk worden de oplossingsrichtingen beschreven en is tevens aangegeven welke grafieken zijn vervaardigd om deze te kunnen analyseren.

4.1 Oplossingsrichting 1: Verdere differentiatie BENG-eisen

In de voorgenomen BENG-eisen wordt onderscheid gemaakt in de volgende vier categorieën:

- Woningen
- Kantoren / zorg zonder bedgebied / cel / logies / winkel / sport / bijeenkomst
- Zorg met bedgebied
- Onderwijs

De eerste oplossingsrichting is het verder differentiëren van de BENG-eisen. Bij de verdere differentiatie wordt het onderscheiden van meerdere categorieën bouwtypen als oplossingsrichting verondersteld, waardoor eisen worden verkregen die beter aansluiten op specifieke gebouwkenmerken. Beschouwd worden de volgende categorieën:

- Woningbouw
 - grondgebonden woningen;
 - niet grondgebonden woningen;
 - niet grondgebonden woningen tot en met 5 bouwlagen (≤ 4 verdiepingen) en 6 of meer bouwlagen (>4 verdiepingen);
 - niet grondgebonden woningen hoger dan 70 m.
- Utiliteitsbouw
 - bouwlagen;
 - utiliteitsgebouwen met 1 bouwlaag;
 - utiliteitsgebouwen met 2 tot en met 5 bouwlagen;
 - utiliteitsgebouwen met meer dan 5 bouwlagen (>4 verdiepingen);
 - gebouwen met onderwijsfunctie;
 - gebouwen met andere gebruiksfuncties (uitgezonderd gezondheidszorg³).

Ten behoeve van de analyse zijn de resultaten voor BENG1, BENG2 en BENG3 in grafieken uitgezet waarbij de genoemde categorieën inzichtelijk zijn gemaakt. De onderzochte projecten zijn hierbij in willekeurige volgorde weergegeven. Bijlage 1 geeft deze grafieken voor woningbouw en bijlage 2 voor utiliteitsbouw. Hoofdstuk 5 behandelt de analyse.

³ Ziekenhuizen zijn expliciet uitgesloten van het onderzoek voor onderhavig issue in de vraagstelling door RVO

Om vast te kunnen stellen of bepaalde verbanden al dan niet veroorzaakt worden door het resultaat van de energieprestatieberekening zijn tevens figuren weergegeven waarbij de splitsing in het resultaat van de energieprestatieberekening inzichtelijk is gemaakt.

4.2 Oplossingsrichting 2: Introduceren grenswaarden

Bij het introduceren van grenswaarden wordt gedacht aan een onderverdeling in gebouwgrootte. Hierbij worden bijvoorbeeld afzonderlijke eisen gesteld aan gebouwen met een gebruiksoppervlakte tot 100 m² en voor gebouwen met een gebruiksoppervlakte groter dan 100 m².

Binnen oplossingsrichting 2 wordt derhalve gezocht naar het introduceren van grenswaarden waarbij de eis afhankelijk wordt van de gebruiksoppervlakte (A_g). Hiertoe zijn de resultaten voor BENG1, BENG2 en BENG3 in grafieken uitgezet tegen de gebruiksoppervlakte A_g . Bijlage 3 geeft deze grafieken voor woningbouw en bijlage 4 voor utiliteitsbouw, waarbij tevens de splitsing in het resultaat van de energieprestatieberekening inzichtelijk is gemaakt. Hoofdstuk 6 behandelt de analyse.

4.3 Oplossingsrichting 3: Eisen afhankelijk van compactheid

Binnen de huidige eisen wordt het energiegebruik van een gebouw per m² gebruiksoppervlakte beschouwd [kWh/m²]. Andere gebouweigenschappen hebben geen invloed op de gestelde eisen, maar wel op de hoogte van de berekeningsresultaten van de BENG-indicatoren. Binnen deze oplossingsrichting wordt het meenemen van de compactheid van gebouwen in de eisen onderzocht.

De berekende energiebehoefte (BENG1) is met name afhankelijk van de volgende aspecten:

- transmissieverlies. Dit verlies is afhankelijk van thermische eigenschappen en oppervlakte van een gebouwschil.
- ventilatieverlies. Dit verlies is afhankelijk van het type ventilatiesysteem en de gekozen regeling (bijvoorbeeld CO₂-sturing). Hierbinnen is het ventilatiedebiet mede afhankelijk van de gebruiksoppervlakte.

Omdat de thermische eigenschappen en oppervlakte van een gebouwschil van grote invloed zijn op het resultaat van de berekening van BENG1, is onderzocht of het meenemen van de oppervlakte van de gebouwschil in de BENG-eisen knelpunten zoals omschreven in hoofdstuk 2.1 kan oplossen.

Binnen de bepalingsmethode neemt de energiebehoefte immers toe, indien de oppervlakte van de gebouwschil toeneemt. Binnen oplossingsrichting 3 wordt gezocht naar het introduceren van grenswaarden waarbij de eis afhankelijk wordt van de verhouding tussen de verliesoppervlakte en de gebruiksoppervlakte (A_{is}/A_g), de compactheid van een gebouw. Beide parameters die onderdeel vormen van de compactheid (A_{is} en A_g) worden reeds in berekeningen van de NEN7120 meegenomen.

Hiertoe zijn de resultaten voor de BENG-indicatoren in grafieken tegen deze verhouding A_{is}/A_g uitgezet. Deze zijn opgenomen in bijlage 5 en 6 voor respectievelijk woningbouw en utiliteitsbouw, waarbij tevens de splitsing in het resultaat van de energieprestatieberekening inzichtelijk is gemaakt. Hoofdstuk 7 behandelt de analyse.

4.4 Oplossingsrichting 4: Eisen afhankelijk van slankheid

Binnen deze oplossingsrichting wordt het meenemen van de slankheid van gebouwen in de eisen onderzocht.

Het aandeel hernieuwbare energie wordt conform de handreiking BENG bepaald door:

- opbrengst PV;
- opbrengst warmtepomp minus het energiegebruik van de warmtepomp;
- opbrengst zonneboiler (voor zowel tapwater als ruimteverwarming);
- opbrengst biomassa ketels / WKK.

Teneinde een voldoende groot aandeel hernieuwbare energie te realiseren, dienen één of meerdere van deze maatregelen getroffen te worden. Het beschikbaar zijn van de mogelijkheid voor het toepassen van zonne-energiesystemen (bijvoorbeeld PV-panelen en/of zonneboilers) is daarbij mede afhankelijk van de dakoppervlakte van het gebouw.

Binnen oplossingsrichting 4 wordt onderzocht of het introduceren van grenswaarden, waarbij de eis afhankelijk wordt van de verhouding tussen de dakoppervlakte en de gebruiksoppervlakte (A_d/A_g), de slankheid van het gebouw, knelpunten zoals omschreven in hoofdstuk 2.3 kan oplossen. Hiertoe zijn de resultaten voor de BENG-indicatoren in grafieken tegen deze verhouding A_d/A_g uitgezet. Deze zijn opgenomen in bijlage 7 en 8 voor respectievelijk woningbouw en utiliteitsbouw, waarbij tevens de splitsing in het resultaat van de energieprestatieberekening inzichtelijk is gemaakt. Hoofdstuk 8 behandelt de analyse.

4.5 Oplossingsrichting 5: Persoonsbenadering

Door Peutz is een vijfde oplossingsrichting aangedragen. Deze oplossingsrichting gaat uit van een persoonsbenadering. De gedachte hierachter is dat niet een vierkante meter gebouw energie gebruikt, maar de gebruiker in dat gebouw. Denk daarbij aan het verwarmen en koelen van het gebouw, het gebruik van warmtapwater, het voldoende ventileren en het gebruik van de verlichting. Al deze energieposten hebben een sterkere correlatie met het aantal aanwezige personen in het gebouw dan met het aantal vierkante meters van het gebouw. Met name bij utiliteitsbouw is het aandeel energie voor ventilatie (verwarmen, koelen en ventilatoren) sterk gerelateerd aan het aantal aanwezige personen, zeker wanneer er sprake is van vraagsturing.

Stel dat iedere gebruiker een vast energiebudget krijgt. Het is dan gunstig het aantal gebruikers in een compact gebouw (gebouwworm) te optimaliseren. Hierdoor daalt het absolute energiegebruik en worden efficiënte gebouwen energetisch gewaardeerd. Bij

utiliteitsgebouwen is vanuit het Bouwbesluit al bekend voor hoeveel gebruikers het gebouw wordt ontwikkeld. Veel eisen in het Bouwbesluit zijn gekoppeld aan het aantal personen. Dit is onder andere het geval voor Afdeling 3.6 Luchtverversing en Afdeling 2.12 Vluchtroutes. Naast deze eisen in het Bouwbesluit, dient bij de Gebruiksmelding het aantal personen waarvoor het pand bestemd is opgegeven te worden. De persoonsbenadering sluit daar dus goed bij aan.

Bij woningbouw zou een forfaitair aantal personen op basis van de grootte van de woning vastgesteld kunnen worden, bijvoorbeeld woningen kleiner dan 40 m² één persoon, woningen tot 80 m² twee personen en grotere woningen vier personen. Zo krijgt ook een studentenwoning of tiny house voldoende energiebudget om gerealiseerd te kunnen worden. Voor een grote villa zullen meer maatregelen genomen moeten worden om te voldoen, bijvoorbeeld in de vorm van PV op het dak.

De persoonsbenadering belooft efficiënt en compact bouwen. Hiermee wordt tevens het absolute energiegebruik gereduceerd en wordt de milieubelasting van bouwmaterialen en grondgebruik beperkt. De persoonsbenadering en het vaste energiebudget per persoon past ook goed in de methode van de ecologische voetafdruk en de bewustwording van gedrag op energiegebruik. Het is een sterk communicatiemiddel en legt de nadruk op het individu.

Omdat deze benadering (nog) niet aansluit bij de uitgangspunten en werkwijze van de EPBD is deze oplossingsrichting vooralsnog niet verder onderzocht.

5 Analyse verdere differentiatie BENG-eisen

In voorliggend hoofdstuk wordt oplossingsrichting 1: het verder differentiëren van de BENG-eisen, behandeld. Ten behoeve van de analyse zijn grafieken gemaakt voor BENG1, BENG2 en BENG3 waarbij de totale dataset op verschillende wijzen is gesplitst. De grafieken zijn opgenomen in bijlage 1 en 2. De belangrijkste grafieken worden ook hierna getoond.

5.1 Woningbouw

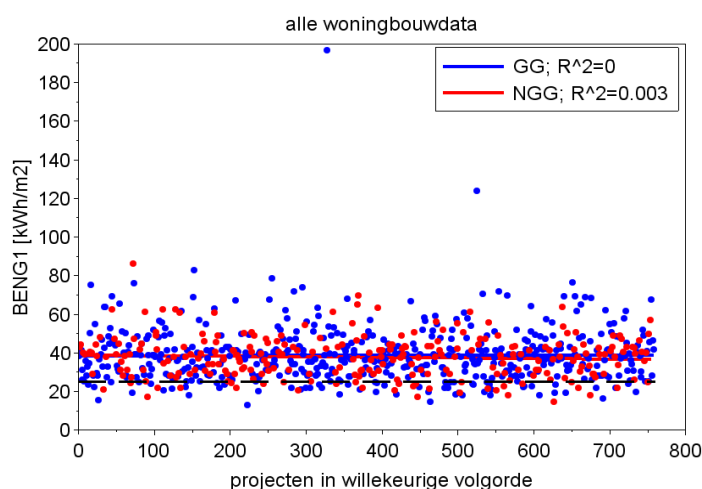
Voor woningbouw zijn de volgende categorieën van de dataset van 765 berekeningen vergeleken:

- grondgebonden woningen versus niet grondgebonden woningen;
- niet grondgebonden woningen t/m 5 bouwlagen versus 6 of meer bouwlagen;
- niet grondgebonden woningen tot 70 m versus 70 m of hoger.

5.1.1 Analyse BENG1 en BENG2

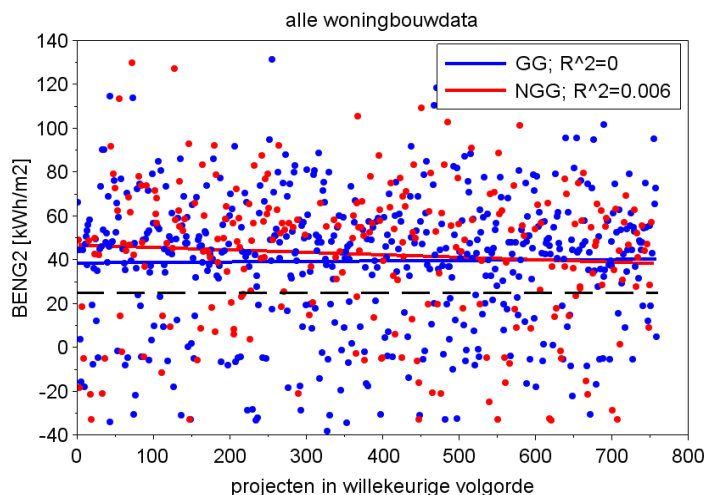
De grafieken voor BENG1 laten geen correlatie⁴ zien tussen het splitsen van de berekeningen in deze categorieën en het resultaat van BENG1, onderstaande figuur f5.1 is hiervan een voorbeeld. Ook voor BENG2 is dit het geval, zie figuur f5.2. In deze figuren en de figuren in de bijlage is te zien dat de punten voor grondgebonden en voor niet grondgebonden woningen door elkaar liggen en geen duidelijke splitsing opleveren. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat er geen verband is tussen de hoogte van BENG1 en BENG2 enerzijds en diverse categorieën gebouwtypen anderzijds.

f5.1 BENG1 – differentiatie grondgebonden woningen versus niet grondgebonden woningen



4 De weergegeven waarde voor R^2 geeft de mate van correlatie weer tussen de getekende lijn en de weergegeven punten. R^2 ligt daarbij tussen 0 en 1. Indien alle met de regressielijn voorspelde waarden overeenstemmen met de werkelijke waarden, dan is $R^2 = 1$. Indien $R^2 = 0$ is er geen sprake van correlatie.

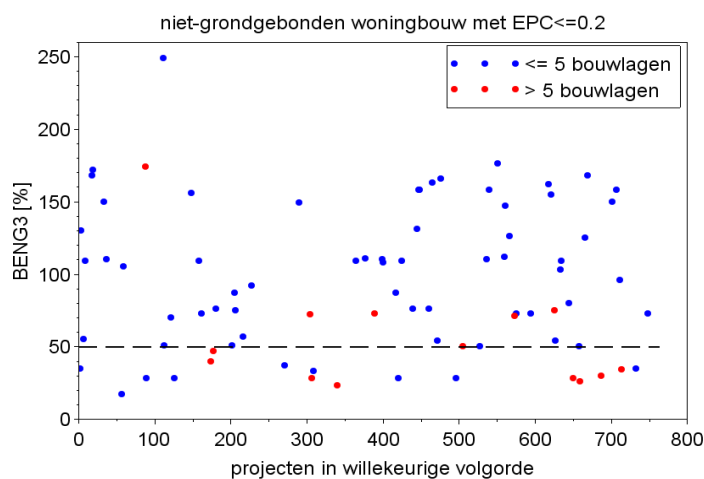
f5.2 BENG2 – differentiatie grondgebonden woningen versus niet grondgebonden woningen



5.1.2 Analyse BENG3

Uit een nadere analyse van de resultaten voor BENG3, zoals weergegeven in onderstaande figuur, komt naar voren dat bij de beschouwde woningbouwprojecten met 6 of meer bouwlagen een combinatie van technieken van duurzame opwekking nodig is om aan de voorgenomen BENG3-eis te kunnen voldoen.

f5.3 BENG3 – differentiatie op basis van aantal verdiepingen



Vanuit technisch oogpunt is het mogelijk meerdere technieken van duurzame opwekking te combineren. Echter kunnen er andere redenen zijn waardoor bepaalde technieken van duurzame opwekking niet mogelijk zijn, waaronder:

- er zijn diverse binnenstedelijke gebieden waarbij verplicht aangesloten dient te worden op het warmtenet van de betreffende gemeente. In het ontwerp kan geen invloed worden uitgeoefend op de duurzaamheid van de opwekking van dat warmtenet;

- de mogelijkheid tot het toepassen van een water-water warmtepomp (bron grondwater of bodem) is eveneens afhankelijk van de locatie. Op een groeiend aantal locaties is de bodemopbouw niet geschikt voor het toepassen hiervan ofwel zijn de bronnen reeds in gebruik door andere projecten;
- bij het toepassen van een lucht-water warmtepomp dient de verdamper (inclusief ventilator) buiten geplaatst te worden. Hiervoor is ruimte op het dak benodigd. Daarbij komt dat de verdamper/ventilator geluid produceert, hetgeen in dichtbebouwde gebieden tot overschrijding van de geluidseisen kan leiden;
- vanwege de emissies bij het verbranden van biomassa en de eisen aan emissies in binnenstedelijk gebied, is ook biomassa niet op alle locaties toepasbaar;
- indien de dakoppervlakte relatief gering is, hetgeen het geval is bij woongebouwen met 5 of meer verdiepingen, is er relatief minder ruimte voor PV-panelen en zonnecollectoren;
- PV-panelen kunnen ook in de gevel worden aangebracht. De opbrengst hiervan kan echter beperkt worden door beschaduwning door andere gebouwen. Dit hoeft voor de energieprestatieberekening niet meegenomen te worden, maar kan PV-panelen in de gevel in de praktijk wel onrendabel maken.

Er wordt derhalve geconstateerd dat de toepasbaarheid van diverse maatregelen voor het duurzaam opwekken van energie locatiegebonden is. Het aanbrengen van zonne-energiesystemen (bijvoorbeeld PV-panelen) is niet locatie gebonden en is in diverse gevallen de enige optie. Indien dit het geval is, blijkt dat woongebouwen met 5 of meer verdiepingen in meerdere situaties niet kunnen voldoen aan de eis voor BENG3. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat er een verband bestaat tussen het aantal bouwlagen en de hoogte van BENG3 voor woningbouw.

5.2 Utiliteitsbouw

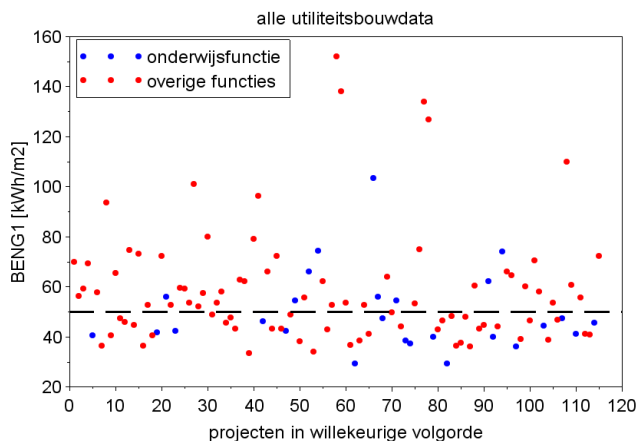
Voor utiliteitsbouw zijn de volgende categorieën van de dataset van circa 115 berekeningen beschouwd:

- bouwlagen;
 - utiliteitsgebouwen met 1 bouwlaag (alleen begane grond);
 - utiliteitsgebouwen met 2 tot en met 5 bouwlagen (1 t/m 4 verdiepingen);
 - utiliteitsgebouwen met 6 of meer bouwlagen (5 of meer verdiepingen);
- gebouwen met onderwijsfunctie;
- gebouwen met andere gebruiksfuncties (uitgezonderd gezondheidszorg).

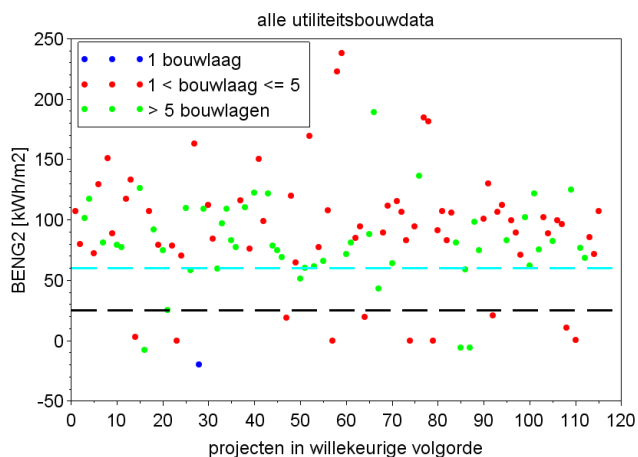
5.2.1 Analyse BENG1, BENG2 en BENG3

Voor utiliteitsgebouwen laten de grafieken voor BENG1, BENG2 en BENG3 geen correlatie zien tussen de splitsing van de berekeningen in deze categorieën en de resultaten van de BENG-indicatoren. Figuren f5.4 tot en met f5.6 zijn enkele voorbeelden van de grafieken die in bijlage 2 zijn weergegeven, waaruit dit naar voren komt.

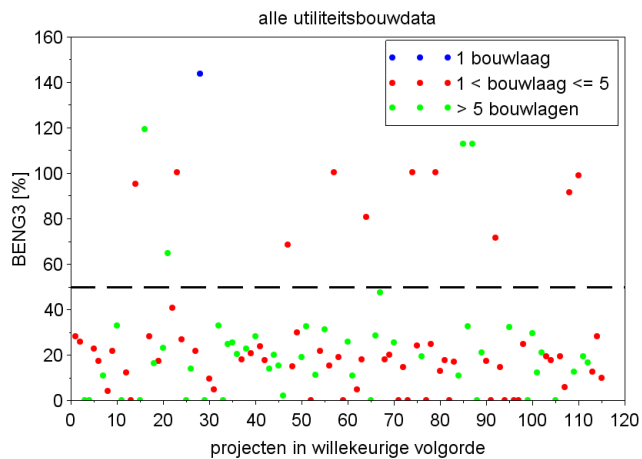
f5.4 BENG1 – differentiatie op basis van gebruiksfunctie



f5.5 BENG2 – differentiatie op basis van bouwlagen



f5.6 BENG3 – differentiatie op basis van aantal bouwlagen



Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat er geen verband bestaat tussen de hoogte van BENG1, BENG2 en BENG3 enerzijds en diverse categorieën gebouwtypen anderzijds.

Wel wordt ook hierbij geconstateerd dat de toepasbaarheid van diverse maatregelen voor het duurzaam opwekken van energie locatiegebonden is, zoals voor woningbouw beschreven in paragraaf 5.1.2. Het aanbrengen van zonne-energiesystemen (bijvoorbeeld PV-panelen) is niet locatie gebonden en is in diverse gevallen de enige optie. De relatief beschikbare dakoppervlakte bepaald dan of er voldaan kan worden aan de eis voor BENG3. Er wordt echter geen verband gevonden met het aantal bouwlagen voor utiliteitsgebouwen.

5.3 Samenvatting conclusie verdere differentiatie BENG-eisen

Op basis van de analyse van de data wordt geconcludeerd dat er geen verband tussen de hoogte van BENG1 en BENG2 enerzijds en diverse categorieën gebouwtypen voor woningbouw en utiliteitsbouw anderzijds.

Voor BENG3 blijkt dat bij de beschouwde woningbouwprojecten met 6 of meer bouwlagen een combinatie van technieken van duurzame opwekking nodig is om aan de voorgenomen BENG3-eis te kunnen voldoen. Of meerdere technieken kunnen worden toegepast wordt deels bepaald door de locatie. Het aanbrengen van zonne-energiesystemen (bijvoorbeeld PV-panelen) is niet locatie gebonden en is in diverse gevallen de enige optie. Indien dit het geval is, blijkt dat woongebouwen met 5 of meer verdiepingen in meerdere situaties niet kunnen voldoen aan de eis voor BENG3. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat er een verband bestaat tussen het aantal bouwlagen en de hoogte van BENG3 voor woningbouw.

Uit de analyse voor utiliteitsgebouwen komt geen direct verband tussen het aantal bouwlagen en BENG3 naar voren. Wel geldt ook voor utiliteitsbouw dat de toepasbaarheid van diverse maatregelen voor het duurzaam opwekken van energie locatiegebonden is. Er wordt echter geen verband gevonden met het aantal bouwlagen voor utiliteitsgebouwen.

5.4 Mogelijke aanpassing BENG-eisen

Zoals hierboven aangegeven is er een verband gevonden tussen het aantal bouwlagen en de hoogte van BENG3 voor woningbouw. Door dit verband in de eisen te verwerken, wordt mogelijk een oplossing gevonden voor een deel van de knelpunten.

Het gevonden verband betreft dat bij woongebouwen met 6 of meer bouwlagen (5 of meer verdiepingen) een lagere waarde voor BENG3 wordt behaald.

Teneinde dit verband in het Bouwbesluit te kunnen verwerken wordt de volgende mogelijk aanpassing voor het criterium voorgesteld:

- $BENG3 > \beta_1$ (bijvoorbeeld 50%) Voor woongebouwen tot en met 4 verdiepingen
- $BENG3 > \beta_2$ (bijvoorbeeld 25%) Voor woongebouwen met 5 of meer verdiepingen

Dit kan in navolging van de eisen in Afdeling 2.2 van het Bouwbesluit (sterkte bij brand) bij benadering ook als volgt worden geschreven:

- $BENG3 > \beta_1$ (bijvoorbeeld 50%) Voor gebouwen met een woonfunctie met een vloer van een gebruiksgebied niet hoger dan 15 m boven meetniveau
- $BENG3 > \beta_2$ (bijvoorbeeld 25%) Voor overige gebouwen met een woonfunctie

Ook kan overwogen worden de eis voor BENG3 voor alle gebouwen te verlagen:

- $BENG3 > \beta_2$ (bijvoorbeeld 25%) Voor alle gebouwen

6 Analyse introduceren grenswaarden

Binnen oplossingsrichting 2 wordt gezocht naar het introduceren van grenswaarden waarbij de eis afhankelijk wordt van de gebruiksoppervlakte (A_g). Bijlage 3 en 4 geven de grafieken weer die gebruikt zijn bij de analyse ten behoeve van deze oplossingsrichting.

6.1 Woningbouw

6.1.1 Analyse BENG1

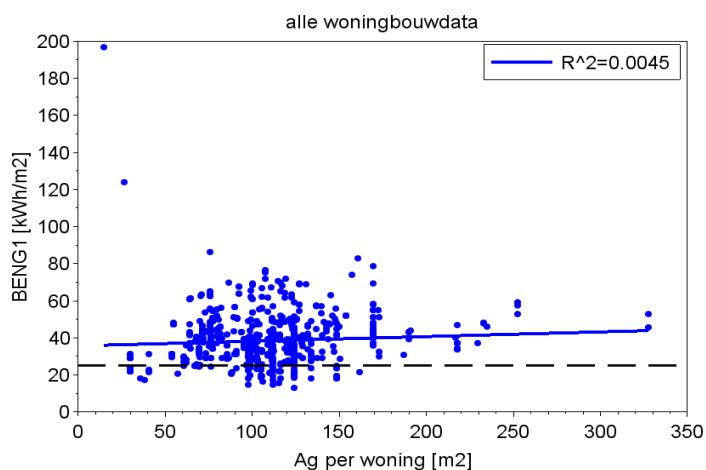
De grafiek voor BENG1 laat geen correlatie zien tussen de gebruiksoppervlakte en de BENG1-indicator (R^2 zeer laag). Wel valt op dat een tweetal projecten een zeer hoge BENG1 waarde hebben, zie figuur f6.1. Dit betreft twee tiny houses.

Dit heeft naar verwachting de volgende oorzaak:

Een woning heeft een bepaalde basis energiebehoefte, voor bijvoorbeeld warm tapwater, die niet afhankelijk is van de gebruiksoppervlakte en die niet gecompenseerd kan worden door duurzame opwekking. Daarnaast is er de energiebehoefte die afhankelijk is van de thermische schil van de woning. De tiny houses zijn vrijstaande woningen, met een in verhouding zeer grote oppervlakte van de schil.

Het aandeel van de energiebehoefte dat gerelateerd is aan de thermische schil in BENG1 is daarbij maatgevend. Derhalve wordt er geen verband gevonden tussen de hoogte van BENG1 en de gebruiksoppervlakte. Naar verwachting levert het introduceren van een grenswaarde gerelateerd aan de gebruiksoppervlakte geen oplossing voor de knelpunten van BENG1.

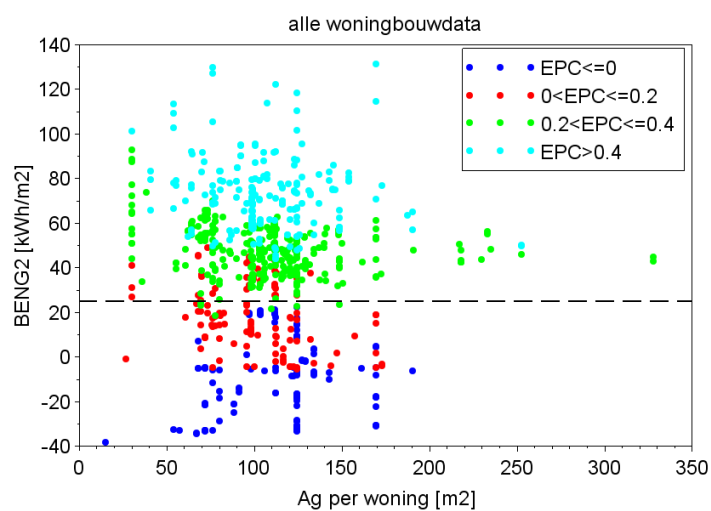
f6.1 Resultaat BENG1 als functie van gebruiksoppervlakte woningen



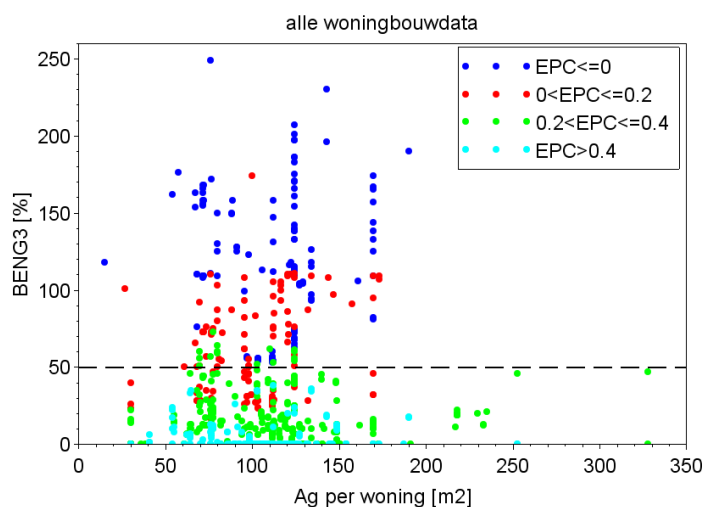
6.1.2 Analyse BENG2 en BENG3

De grafieken voor BENG2 en BENG3 laten eveneens nagenoeg geen correlatie zien tussen de gebruiksoppervlakte en de resultaten van de BENG-indicatoren. Wel komt duidelijk het verband met het resultaat van de EPC-berekening naar voren zoals te zien in figuur f6.2 en f6.3.

f6.2 Resultaat BENG2 als functie van gebruiksoppervlakte woningen gesorteerd op EPC



f6.3 Resultaat BENG3 als functie van gebruiksoppervlakte woningen gesorteerd op EPC



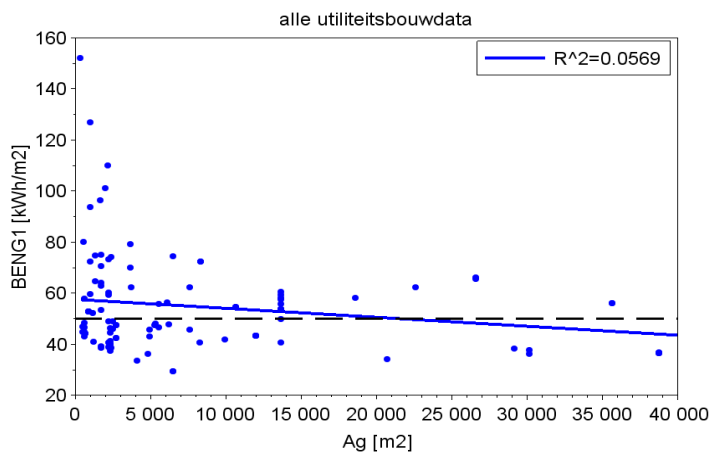
Op basis hiervan kan niet worden geconcludeerd dat het introduceren van grenswaarden gerelateerd aan de gebruiksoppervlakte bijdraagt aan het oplossen van het beschouwde issue. Mogelijk wordt bij de kostenoptimaliteitsstudie wel een verband gevonden.

6.2 Utiliteitsbouw

6.2.1 Analyse BENG1

Ook voor utiliteitsbouw laat de grafiek voor BENG1 zien dat diverse kleinere projecten relatief hoge waarden voor BENG1 hebben, hetgeen naar verwachting dezelfde oorzaken heeft als beschreven bij woningbouw. Verder wordt er geen correlatie gevonden tussen de hoogte van de indicator en de gebruiksoppervlakte (R^2 zeer laag). Ook voor utiliteitsbouw wordt derhalve geconcludeerd dat het introduceren van een grenswaarde gerelateerd aan de gebruiksoppervlakte geen oplossing voor de knelpunten van BENG1 levert.

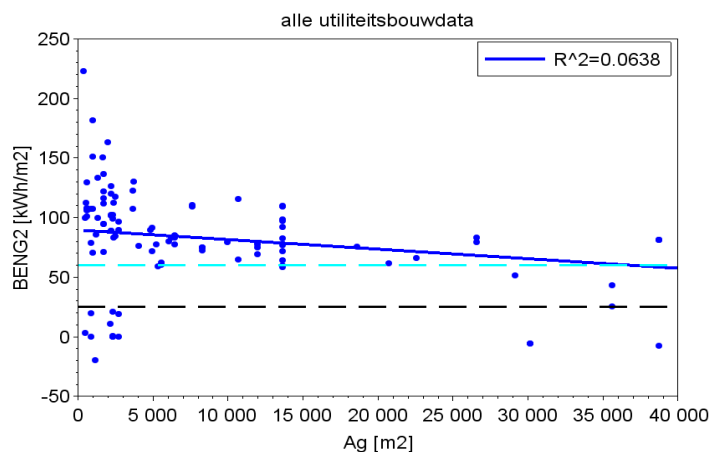
f6.4 Resultaat BENG1 als functie van gebruiksoppervlakte utiliteitsgebouwen ($E/E < 1,5$ [-])



6.2.2 Analyse BENG2

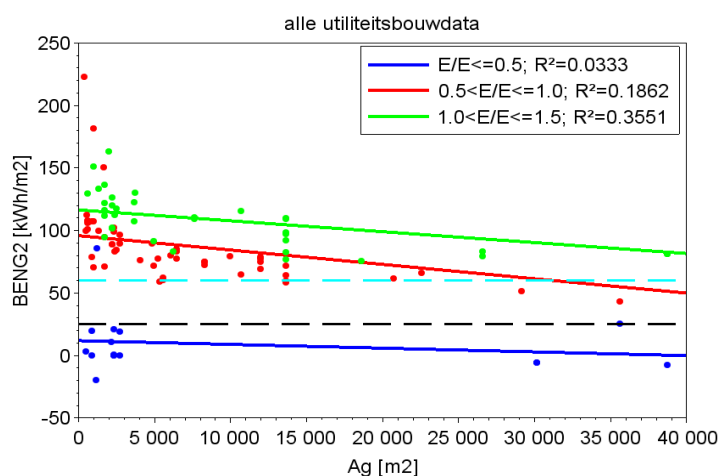
De grafiek voor BENG2 laat een zelfde beeld zien als beschreven bij BENG 1.

f6.5 Resultaat BENG2 als functie van gebruiksoppervlakte utiliteitsgebouwen ($E/E < 1,5$ [-])



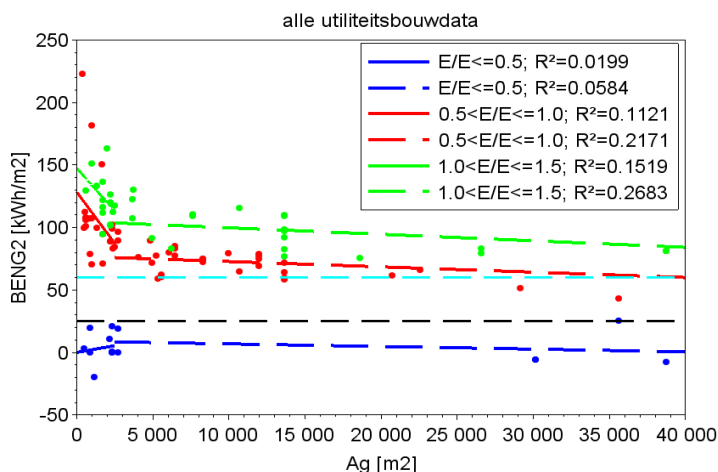
Indien de data wordt gesorteerd voor het resultaat van de EPC-berekening is in figuur f6.6 te zien dat het resultaat voor BENG2 hoger is bij kleinere gebruiksoppervlakten. Met name voor de projecten waarvan de gebruiksoppervlakte kleiner is dan circa 2.500 m² worden hogere waarden voor BENG2 gevonden dan bij projecten met een grotere gebruiksoppervlakte.

f6.6 Resultaat BENG2 als functie van gebruiksoppervlakte utiliteitsgebouwen gesorteerd op E/E



De meest waarschijnlijke verklaring voor de toename van het resultaat van BENG2 bij projecten kleiner dan 2.500 m², is dat in de berekening van de EPC conform NEN7120 een correctie voor de verliesoppervlakte plaatsvindt indien de verliesoppervlakte kleiner is dan ($A_{i,s} <$) 2.000 m². Deze correctie resulteert in een lagere waarde voor E/E bij een bepaald berekend energiegebruik. Bij een grotere verliesoppervlakte speelt de correctiefactor geen rol. Bij de beschouwde projecten komt een verliesoppervlakte van 2.000 m² overeen met een gebruiksoppervlakte van circa 1.000 m² à 2.500 m². Onderstaande figuur geeft de trendlijnen weer, waarbij een splitsing is gemaakt bij 2.500 m² gebruiksoppervlakte.

f6.7 Resultaat BENG2 als functie van gebruiksoppervlakte utiliteitsgebouwen gesorteerd op E/E, splitsing bij 2.500 m²



Het blijkt dat het resultaat van BENG2 voor projecten met een gebruiksoppervlakte groter dan 2.500 m² (nagenoeg) niet afhankelijk is van de gebruiksoppervlakte. Voor kleinere projecten met een minder goed resultaat van de EPC-berekening ($E/E > 0,5$), is dit wel het geval.

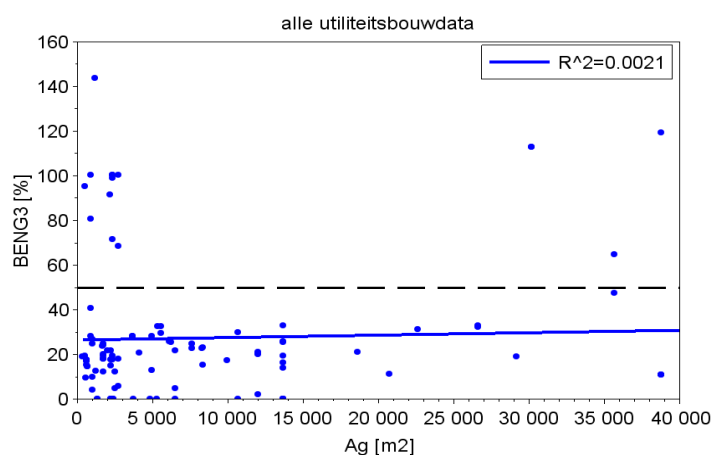
De hogere waarden voor BENG2 bij gebouwen met een kleinere gebruiksoppervlakte zijn zoals aangegeven naar verwachting het gevolg van de correctie voor de gebouwschil in de huidige EPC-berekening en zijn niet gerelateerd aan de relatieve toename van het energiegebruik. Door de correctie in de EPC-berekening zijn bij die beoordelingsmethodiek minder maatregelen nodig bij kleinere gebouwen dan wanneer er geen correctie zou plaatsvinden.

Wellicht is het gewenst deze correctie mee te nemen in de BENG-eisen. In dat kader wordt opgemerkt dat het meer voor de hand ligt de correctie op basis van de verliesoppervlakte in de aanpassing te betrekken in plaats van de gebruiksoppervlakte, aangezien de correctie plaatsvindt op basis van de verliesoppervlakte. Deze mogelijke oplossingsrichting wordt in hoofdstuk 7 nader onderzocht.

6.2.3 Analyse BENG3

De grafiek van BENG3 laat geen correlatie zien tussen de gebruiksoppervlakte en de resultaten van de BENG-indicator.

f6.8 Resultaat BENG3 als functie van gebruiksoppervlakte utiliteitsgebouwen ($E/E < 1,5$ [-])



Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat er geen verband bestaat tussen de hoogte van BENG3 en de gebruiksoppervlakte.

6.3 Samenvatting conclusie introduceren grenswaarden

Voor woningbouw komt uit de analyse naar voren dat niet geconcludeerd kan worden dat het introduceren van grenswaarden waarbij de eis afhankelijk wordt van de gebruiksoppervlakte (A_g) een bijdrage levert aan het oplossen van knelpunten die gerelateerd zijn aan de geometrie.

Bij utiliteitsgebouwen wordt een verband gevonden tussen BENG2 en de gebruiksoppervlakte bij gebouwen kleiner dan circa 2.500 m². Dit wordt naar verwachting veroorzaakt door de correctie op basis van de oppervlakte van de gebouwschil in de huidige EPC-berekening en is niet gerelateerd aan de relatieve toename van het energiegebruik. Door de correctie in de EPC-berekening zijn bij die beoordelingsmethodiek minder maatregelen nodig bij kleinere gebouwen dan wanneer er geen correctie zou plaatsvinden.

Wellicht is het gewenst deze correctie mee te nemen in de BENG-eisen. In dat kader wordt opgemerkt dat het meer voor de hand ligt de correctie op basis van de verliesoppervlakte in de aanpassing te betrekken in plaats van de gebruiksoppervlakte, aangezien de correctie plaatsvindt op basis van de verliesoppervlakte. Deze mogelijke oplossingsrichting wordt in hoofdstuk 7 nader onderzocht.

7 Analyse eisen afhankelijk van compactheid

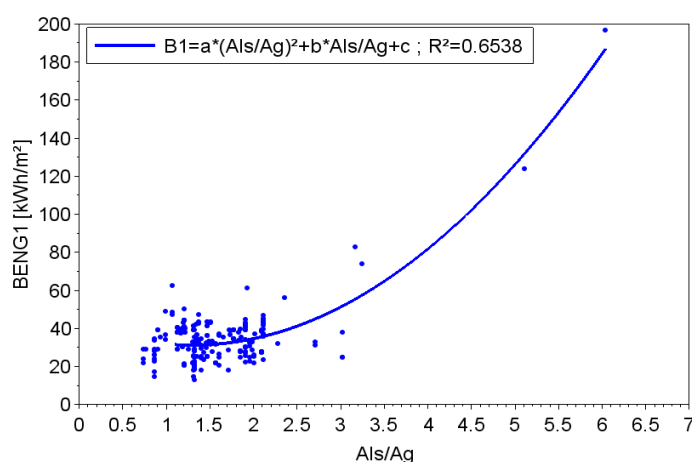
Binnen oplossingsrichting 3 wordt gezocht naar het introduceren van grenswaarden waarbij de eisen afhankelijk worden van de verhouding tussen de oppervlakte van de gebouwschil en de gebruiksoppervlakte (A_{is}/A_g), de compactheid van het gebouw. De grafieken zijn weergegeven in bijlage 5 en 6.

7.1 Woningbouw

7.1.1 Analyse BENG1

De grafiek waarin de resultaten van de BENG1-indicator zijn uitgezet tegen de compactheid laat een stijgende lijn zien ($R^2 = \pm 0,65$), waarbij een kwadratisch verband wordt gevonden. Hierbij zijn de projecten met $EPC < 0,2 [-]$ beschouwd.

f7.1 Resultaat BENG1 als functie van compactheid woningen ($EPC < 0,2 [-]$)



Dit heeft naar verwachting de volgende oorzaak:

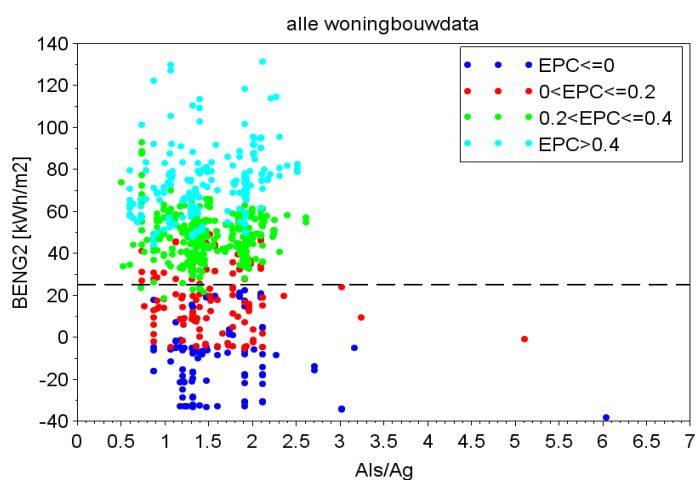
Een belangrijk onderdeel van de BENG1-indicator is het energiegebruik voor verwarmen. Deze wordt voor een groot deel bepaald door het transmissieverlies welke weer afhankelijk is van de oppervlakte van de gebouwschil. Indien de oppervlakte van de gebouwschil relatief groot is ten opzichte van de gebruiksoppervlakte, zoals bijvoorbeeld bij hoekwoningen of vrijstaande woningen, wordt een hogere waarde voor BENG1 gevonden.

Geconcludeerd wordt dat er een verband bestaat tussen de hoogte van BENG1 enerzijds en de compactheid van het gebouw anderzijds.

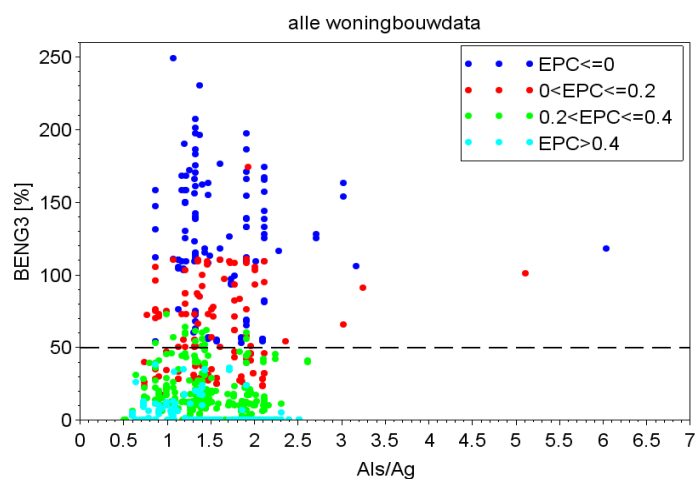
7.1.2 Analyse BENG2 en BENG3

De grafieken voor BENG2 en BENG3 laten nagenoeg geen correlatie zien tussen de compactheid en de resultaten van de BENG-indicatoren. Wel komt duidelijk het verband met het resultaat van de EPC-berekening naar voren zoals te zien in figuur f6.2 en f6.3.

f7.2 Resultaat BENG2 als functie van compactheid woningen gesorteerd op EPC



f7.3 Resultaat BENG3 als functie van compactheid woningen gesorteerd op EPC



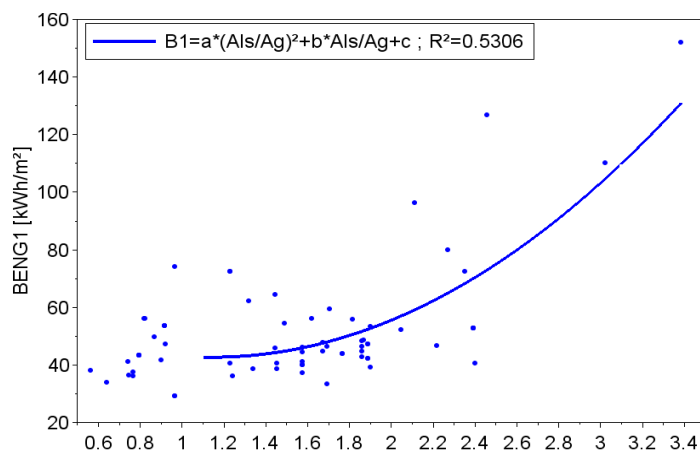
Op basis hiervan kan niet worden geconcludeerd dat het introduceren van grenswaarden gerelateerd aan de compactheid bijdraagt aan het oplossen van het beschouwde issue voor BENG2 en BENG3 voor woningbouw.

7.2 Utiliteitsbouw

7.2.1 Analyse BENG1

Ook voor utiliteitsbouw laat de grafiek waarin de resultaten van de BENG1-indicator zijn uitgezet tegen de compactheid een stijgende lijn zien ($R^2 = \pm 0,53$), waarbij een kwadratisch verband wordt gevonden. Hierbij zijn de projecten met $E/E < 1,0$ [-] beschouwd.

f7.4 Resultaat BENG1 als functie van compactheid utiliteitsgebouwen ($E/E < 1,0$ [-])

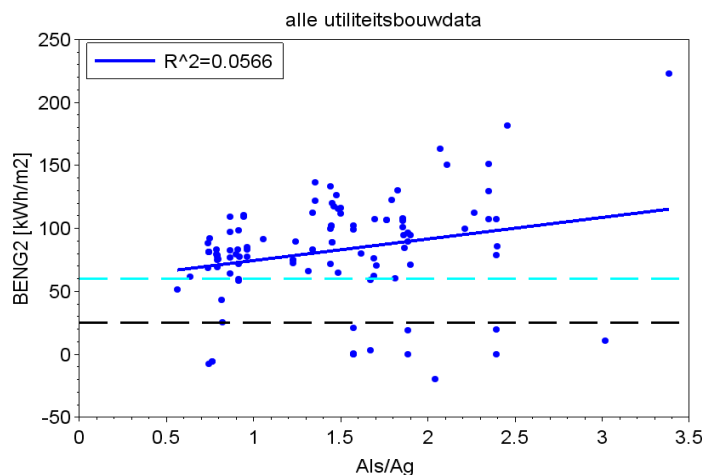


Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat er een verband bestaat tussen de hoogte van BENG1 en de compactheid van het gebouw.

7.2.2 Analyse BENG2

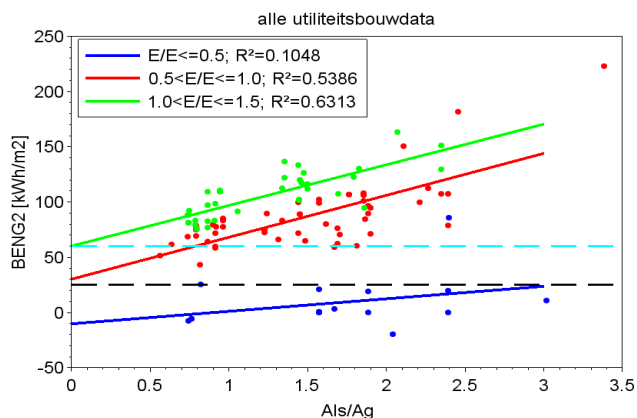
De grafiek voor BENG2 laat een stijgende lijn zien bij afname van de compactheid (hogere waarde voor A_{is}/A_g) van de beschouwde gebouwen.

f7.5 Resultaat BENG2 als functie van compactheid utiliteitsgebouwen ($E/E < 1,5$ [-])



Indien de data wordt gesorteerd voor het resultaat van de EPC-berekening is in figuur f7.6 eveneens te zien dat het resultaat voor BENG2 hoger is bij minder compacte gebouwen.

f7.6 Resultaat BENG2 als functie van compactheid utiliteitsgebouwen gesorteerd op E/E



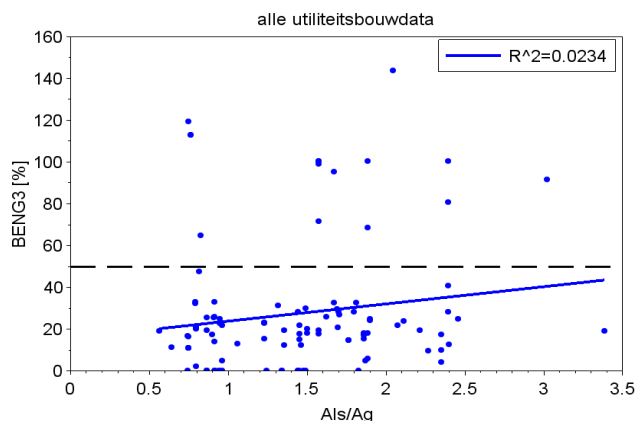
Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat er een verband bestaat tussen BENG2 en de compactheid van het gebouw. Daarnaast blijkt dat er een duidelijk verband bestaat tussen de hoogte van de EPC en de hoogte van BENG2. Hierbij wordt opgemerkt dat bij lagere waarden voor E/E het verband tussen het resultaat van BENG2 en de compactheid minder sterk is.

Vooruitlopend op de analyse in hoofdstuk 9.2 wordt opgemerkt dat het gevonden verband eventueel in de BENG criteria kan worden verwerkt door de eisen afhankelijk te maken van de compactheid. Er is echter geen knelpunt aangedragen die met deze aanpassing wordt verholpen.

7.2.3 Analyse BENG3

De grafiek voor BENG3 laat geen correlatie zien tussen de compactheid en de resultaten van de BENG-indicator.

f7.7 Resultaat BENG3 als functie van compactheid utiliteitsgebouwen ($E/E < 1,5 [-]$)



Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat er geen verband bestaat tussen de compactheid en BENG3.

7.3 **Samenvatting conclusies eisen afhankelijk van compactheid**

7.3.1 **BENG1**

De resultaten laten voor zowel woningbouw als utiliteitsbouw een verband zien tussen de BENG1 en de compactheid van het gebouw. Op basis van dit gevonden verband wordt geconcludeerd dat het introduceren van grenswaarden, waarbij de eis voor BENG1 afhankelijk wordt van de compactheid van het gebouw, mogelijk bijdraagt aan het oplossen van diverse knelpunten.

Ons inziens heeft dit het volgende voordeel:

Door de eis mede afhankelijk te maken van de verhouding tussen de oppervlakte van de gebouwschil en de gebruiksoppervlakte ontstaat de mogelijkheid te stimuleren dat ook de gebouwen met een relatief kleine gebouwschil, zoals tussenwoningen, met een lage energiebehoefte moeten worden ontworpen. Indien namelijk een eis met een vaste waarde wordt geïntroduceerd die het mogelijk houdt dat hoekwoningen en vrijstaande woningen (met een zekere inspanning) aan de eis kunnen voldoen, zal de eis voor tussenwoningen zeer gemakkelijk haalbaar zijn waardoor bij dat type woning (nagenoeg) geen maatregelen nodig zijn om aan de criteria te voldoen.

Het aantal woningen met een relatief kleine gebouwschil, zoals rijtjeswoningen en appartementen, is echter groot in de totale gebouwvoorraad. Dit type woning heeft daardoor een groot effect op de totale energiebehoefte van woningen in Nederland. Het stellen van een eis die het niet nodig maakt dat ook voor dit type woning aanvullende maatregelen nodig zijn, doet dan ook afbreuk aan de ambitie om de totale energiebehoefte van Nederland te verlagen. Het aantal tiny houses en villa's is in verhouding immers gering en het stellen van een zeer strenge eis voor dat type woning draagt slechts in beperkte mate bij aan het verlagen van de nationale energiebehoefte.

Deze oplossingsrichting biedt tevens sturingsmogelijkheden om de energiebehoefte van Nederland te verminderen, waarbij ook beïnvloed kan worden hoeveel maatregelen verschillende woningtypen moeten nemen om aan de eisen te voldoen.

7.3.2 **BENG2**

Uit de analyse van de data blijkt dat het resultaat van BENG2 voor utiliteitsgebouwen een verband toont met de compactheid van het gebouw. Voor woningbouw komt dit verband niet naar voren.

Minder compacte utiliteitsgebouwen hebben een hogere waarde voor BENG2. Dit kan worden verdisconteerd door de eis voor BENG2 afhankelijk te maken van de compactheid van het gebouw. Vooruitlopend op de analyse in hoofdstuk 9.2 wordt opgemerkt dat er

echter geen knelpunt is aangedragen die met deze aanpassing wordt verholpen. Derhalve wordt gesteld dat geen aanpassingen aan de criteria nodig zijn.

7.3.3 BENG3

Voor BENG3 wordt geen verband gevonden met de compactheid en kan niet worden geconcludeerd dat het introduceren van grenswaarden gerelateerd aan de compactheid bijdraagt aan het oplossen van het beschouwd issue voor BENG3.

7.4 Mogelijke aanpassing BENG-eisen

Zoals hierboven aangegeven is een mogelijke oplossing voor een deel van de knelpunten het introduceren van grenswaarden waarbij de eis voor BENG1 afhankelijk wordt van de compactheid van het gebouw. Beide parameters die onderdeel vormen van de compactheid (A_{is} en A_g) worden reeds in berekeningen van de NEN7120 meegenomen.

Teneinde deze oplossingsrichting in het Bouwbesluit te kunnen verwerken worden de hierna beschreven opties voorgesteld.

7.4.1 Mogelijke aanpassing criterium BENG1 optie 1

Optie is het opnemen van een eis in het Bouwbesluit in de vorm van een lineair verband. Op deze wijze wordt het gevonden kwadratische verband vereenvoudigd in de regelgeving opgenomen. Welk verloop de grafiek exact dient te krijgen, is onderdeel van het vaststellen van de hoogte van de eis middels de kostenoptimaliteitsstudie.

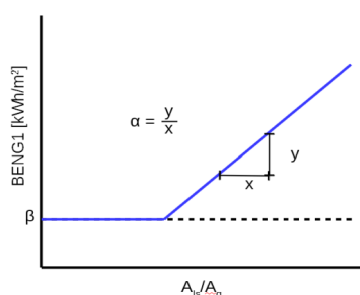
Door voor verschillende waarden van de compactheid (A_{is}/A_g) de hoogte van de eis te bepalen, volgt het verloop van de grafiek. Hierbij is het van belang een keuze te maken in de gewenste mate van vereenvoudiging. Hieronder zijn drie opties weergegeven met toenemende mate van complexiteit.

– Optie 1a

$BENG1 < \beta_1$ [kWh/m²] indien A_{is}/A_g kleiner of gelijk is aan c_1 [-]

$BENG1 < \alpha * A_{is}/A_g + \beta_2$ [kWh/m²] indien A_{is}/A_g groter is dan c_1 [-]

f7.8 Optie 1a eis BENG1 als functie van compactheid gebouw – lineair verband met 1 knik en eerste deel vlak

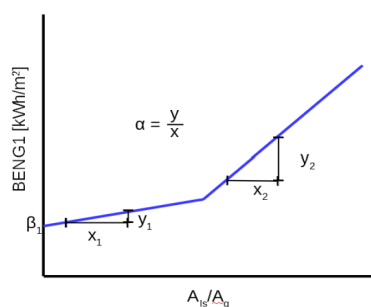


– Optie 1b

$BENG1 < \alpha_1 * A_{is}/A_g + \beta_1$ [kWh/m²] indien A_{is}/A_g kleiner of gelijk is aan c_1 [-]

$BENG1 < \alpha_2 * A_{is}/A_g + \beta_2$ [kWh/m²] indien A_{is}/A_g groter is dan c_1 [-]

f7.9 Optie 1b eis BENG1 als functie van compactheid gebouw – lineair verband met 1 knik



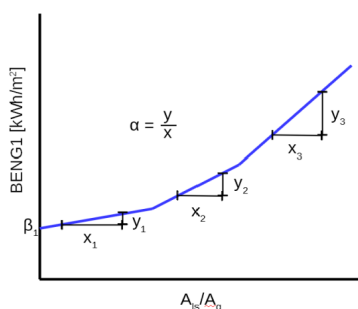
– Optie 1c

$BENG1 < \alpha_1 * A_{is}/A_g + \beta_1$ [kWh/m²] indien $A_{is}/A_g \leq c_1$ [-]

$BENG1 < \alpha_2 * A_{is}/A_g + \beta_2$ [kWh/m²] indien $c_1 < A_{is}/A_g \leq c_2$ [-]

$BENG1 < \alpha_3 * A_{is}/A_g + \beta_3$ [kWh/m²] indien $A_{is}/A_g > c_2$ [-]

f7.10 Optie 1c eis BENG1 als functie van compactheid gebouw – lineair verband met 2 maal een knik



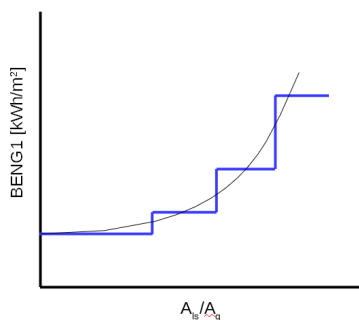
Deze wijze van formuleren van de eis sluit in vereenvoudigde vorm aan bij het verband dat is gevonden tussen de compactheid van het gebouw en de hoogte van BENG1. Hierbij geldt dat optie 1c beter aansluit dan de meer vereenvoudigde optie 1a. Tevens biedt optie 1c de meeste mogelijkheden om beleidsmatig te sturen op het gewenste inspanningsniveau om aan de eis te voldoen, aangezien de verschillende coëfficiënten α en β in de tijd veranderd kunnen worden. Daar tegenover staat dat optie 1a eenvoudiger op te nemen is in het Bouwbesluit dan optie 1c.

7.4.2 Mogelijke aanpassing criterium BENG1 optie 2

In plaats van het in optie 1 voorgestelde verband tussen de compactheid van een gebouw en de eis voor BENG1 kan gekozen worden voor het getrapt stellen van een eis voor BENG1, zie figuur f7.11. Deze optie is vergelijkbaar met de wijze waarop in het huidige Bouwbesluit eisen worden gesteld aan de loopafstanden ten behoeve van vluchten.

- BENG 1 < xx [kWh/m²] indien $A_{1s}/A_g < c_1$ (bijv. 1,0)
- BENG 1 < xx [kWh/m²] indien $A_{1s}/A_g < c_2$ (bijv. 1,5)
- BENG 1 < xx [kWh/m²] indien $A_{1s}/A_g < c_3$ (bijv. 2,0)
- BENG 1 < xx [kWh/m²] indien $A_{1s}/A_g < c_4$ (bijv. 4,0)
- BENG 1 < xx [kWh/m²] indien $A_{1s}/A_g \geq c_4$

f7.11 Optie 2: eis BENG1 als functie van compactheid gebouw – getrapt



Hierbij wordt opgemerkt dat het in getrapte vorm stellen van een eis ertoe kan leiden dat een kleine wijziging in het ontwerp van het gebouw resulteert in een verandering van de eis.

7.5 Illustratieve uitwerking mogelijke aanpassing BENG-eisen

Om een eerste beeld te vormen van de invulling van de in de vorige paragraaf beschreven mogelijke aanpassingen, is op basis van de beschouwde projecten ter illustratie een voorbeeld invulling van de eisen opgesteld voor opties 1a en 1b.

Opgemerkt wordt dat hierbij niet is beschouwd welke maatregelen (met bijbehorende kosten) in de projecten zijn doorgevoerd. Ook zal de hoogte van het resultaat van BENG1 naar verwachting wijzigen als gevolg van de keuzes die gemaakt worden om de andere issues op te lossen. De beschreven invullingen van de grenswaarden zijn dan ook slechts ter illustratie bedoeld. Welk verloop de grafiek exact dient te krijgen, is onderdeel van het vaststellen van de hoogte van de eis middels de kostenoptimaliteitsstudie.

7.5.1 Illustratieve uitwerking BENG1 optie 1a

Zoals in paragraaf 7.4.1 beschreven is het een optie om de eis in het Bouwbesluit in de vorm van een lineair verband op te nemen. Op deze wijze wordt het gevonden kwadratische verband vereenvoudigd in de regelgeving opgenomen. Optie 1a betreft een lineair verband met 1 knik en waarbij het eerste deel van de grafiek vlak loopt:

$$\begin{aligned} \text{BENG1} < \beta & \quad [\text{kWh/m}^2] & \text{indien } A_{1s}/A_g \text{ kleiner of gelijk is aan } c_1 [-] \\ \text{BENG1} < \alpha * A_{1s}/A_g + \beta & \quad [\text{kWh/m}^2] & \text{indien } A_{1s}/A_g \text{ groter is dan } c_1 [-] \end{aligned}$$

Op basis van de beschouwde projecten is een eerste aanzet tot de invulling van deze formules opgesteld. Hiertoe zijn de waarden voor de coëfficiënten α en β en de positie van de knik c_1 indicatief bepaald op basis van de beschouwde EPC-berekeningen.

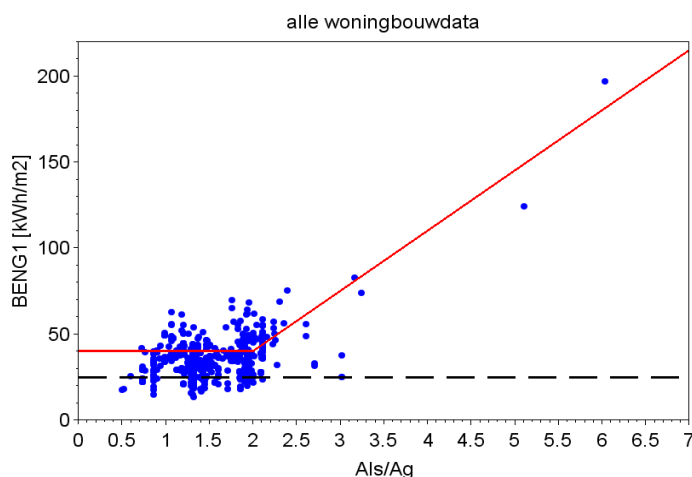
Hierbij is de hoogte van de eis zodanig gekozen dat circa 70% van de woningbouwprojecten met een EPC < 0,4 [-] en circa 70% van de utiliteitsbouwprojecten met een E/E < 1,0 [-] aan de grenswaarde voldoet. Daarnaast zijn de waarden voor α en β zodanig gekozen dat dit gehele getallen betreft (veelvoud van 5) en dat de lijnen bij het knikpunt c_1 op elkaar aansluiten. Het knikpunt c_1 is daarbij bepaald op basis van de beschouwde dataset en als een veelvoud van 0,1.

Woningbouw

BENG1 < 40 [kWh/m²] indien A_{is}/A_g kleiner of gelijk is aan 2,0 [-]

BENG1 < 35 * A_{is}/A_g - 30 [kWh/m²] indien A_{is}/A_g groter is dan 2,0 [-]

f7.12 Optie 1: eis BENG1 als functie van compactheid woningbouw – indicatief

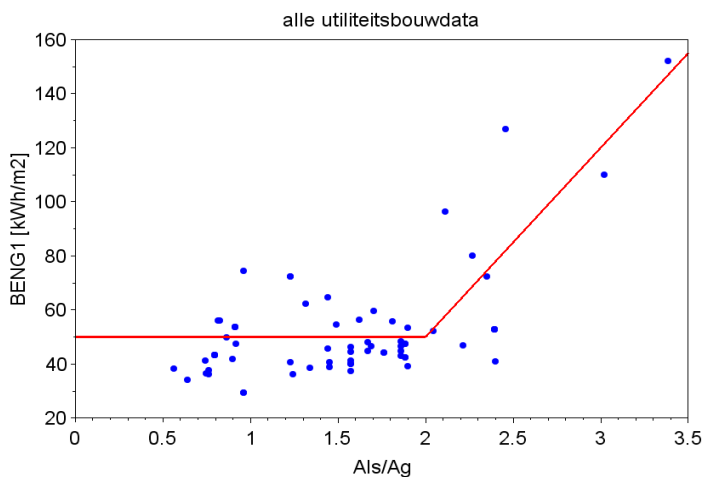


Utiliteitsbouw

BENG1 < 50 [kWh/m²] indien A_{is}/A_g kleiner of gelijk is aan 2,0 [-]

BENG1 < 70 * A_{is}/A_g - 90 [kWh/m²] indien A_{is}/A_g groter is dan 2,0 [-]

f7.13 Optie 1: eis BENG1 als functie van compactheid utiliteitsbouw – indicatief



7.5.2 Illustratieve uitwerking BENG1 optie 1b

Optie 1b betreft een lineair verband met 1 knik:

$$\text{BENG1} < \alpha_1 * A_{i_s}/A_g + \beta_1 \text{ [kWh/m}^2\text{]} \quad \text{indien } A_{i_s}/A_g \text{ kleiner of gelijk is aan } c_1 \text{ [-]}$$

$$\text{BENG1} < \alpha_2 * A_{i_s}/A_g + \beta_2 \text{ [kWh/m}^2\text{]} \quad \text{indien } A_{i_s}/A_g \text{ groter is dan } c_1 \text{ [-]}$$

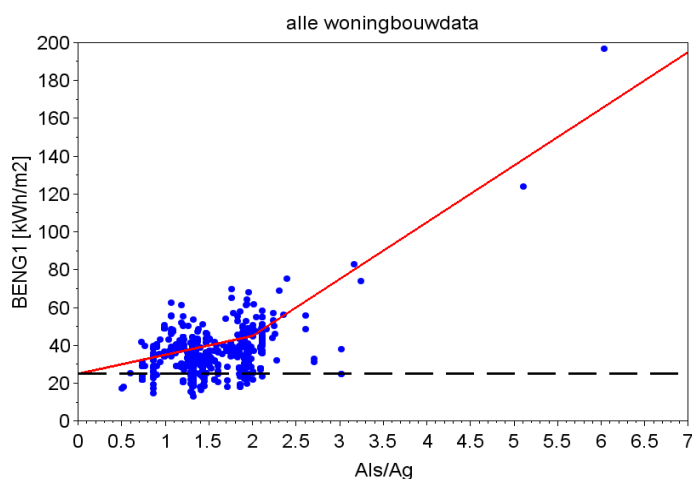
Ook voor deze optie is op basis van de beschouwde projecten ter illustratie een eerste aanzet tot de invulling van deze formules opgesteld.

Woningbouw

$$\text{BENG1} < 10 * A_{i_s}/A_g + 25 \text{ [kWh/m}^2\text{]} \quad \text{indien } A_{i_s}/A_g \text{ kleiner of gelijk is aan } 2,0 \text{ [-]}$$

$$\text{BENG1} < 30 * A_{i_s}/A_g - 15 \text{ [kWh/m}^2\text{]} \quad \text{indien } A_{i_s}/A_g \text{ groter is dan } 2,0 \text{ [-]}$$

f7.14 Optie 1: eis BENG1 als functie van compactheid woningbouw – indicatief

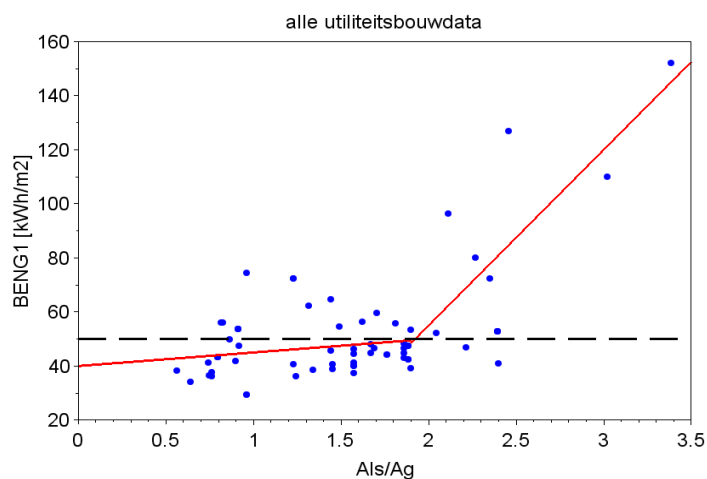


Utiliteitsbouw

$$\text{BENG1} < 5 * A_{i_s}/A_g + 40 \text{ [kWh/m}^2\text{]} \quad \text{indien } A_{i_s}/A_g \text{ kleiner of gelijk is aan } 1,9 \text{ [-]}$$

$$\text{BENG1} < 65 * A_{i_s}/A_g - 75 \text{ [kWh/m}^2\text{]} \quad \text{indien } A_{i_s}/A_g \text{ groter is dan } 1,9 \text{ [-]}$$

f7.15 Optie 1: eis BENG1 als functie van compactheid utiliteitsbouw – indicatief



8 Analyse eisen afhankelijk van slankheid

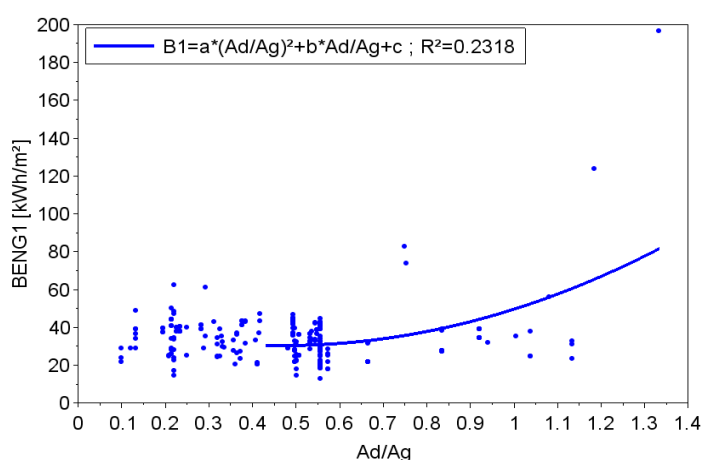
Binnen oplossingsrichting 4 wordt gezocht naar het introduceren van grenswaarden waarbij de eis voor BENG3 afhankelijk wordt van de verhouding tussen de dakoppervlakte en de gebruiksoppervlakte (A_d/A_g), de slankheid van het gebouw. De grafieken zijn weergegeven in bijlage 7 en 8.

8.1 Woningbouw

8.1.1 Analyse BENG1

De grafiek waarin de resultaten van de BENG1-indicator zijn uitgezet tegen de slankheid laat een stijgende lijn zien ($R^2 = \pm 0,23$), waarbij een kwadratisch verband wordt gevonden. Hierbij zijn de projecten met $EPC < 0,2$ [-] beschouwd.

f8.1 Resultaat BENG1 als functie van slankheid woningen ($EPC < 0,2$ [-])

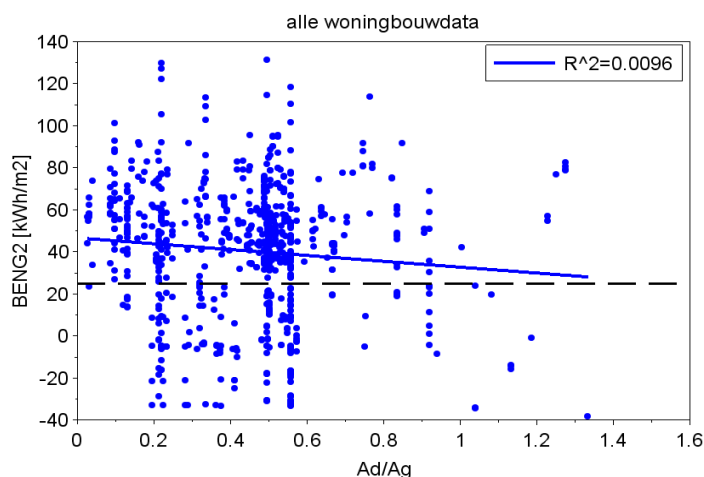


Het verband is echter minder sterk dan het verband dat gevonden is tussen BENG1 en de compactheid van de woningen. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat het introduceren van grenswaarden waarbij de eis voor BENG1 afhankelijk wordt van de compactheid van de woning, niet aanvullend bijdraagt aan het oplossen van diverse knelpunten.

8.1.2 Analyse BENG2

De grafiek voor BENG2 laat geen correlatie zien tussen de slankheid van woningen en de resultaten van de BENG-indicatoren, zie figuur f8.2.

f8.2 Resultaat BENG2 als functie van slankheid woningen

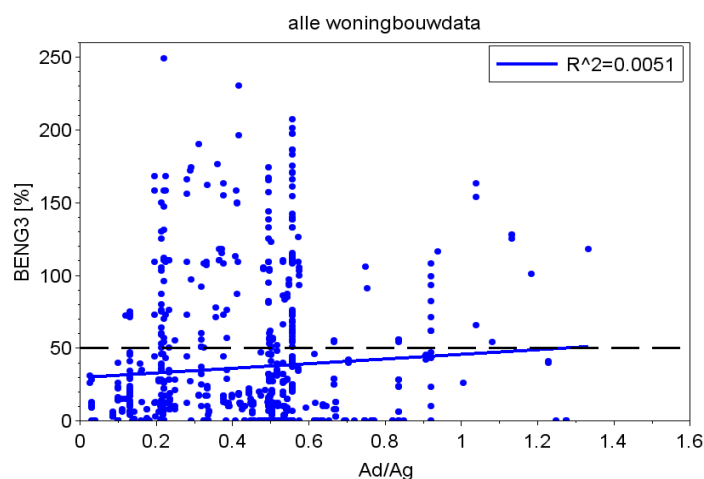


Op basis hiervan kan niet worden geconcludeerd dat het introduceren van grenswaarden gerelateerd aan de slankheid bijdraagt aan het oplossen van het beschouwde issue voor BENG2 voor woningbouw.

8.1.3 Analyse BENG3

De grafiek waarin de resultaten van de BENG3-indicator zijn uitgezet tegen de slankheid van woningen laat geen correlatie zien. Wel blijkt dat nagenoeg alle relatief slanke projecten $A_d/A_g < 0,2$ [-] niet aan de eis voor BENG3 voldoen.

f8.3 Resultaat BENG3 als functie van slankheid woningen



Dit heeft naar verwachting de volgende oorzaak:

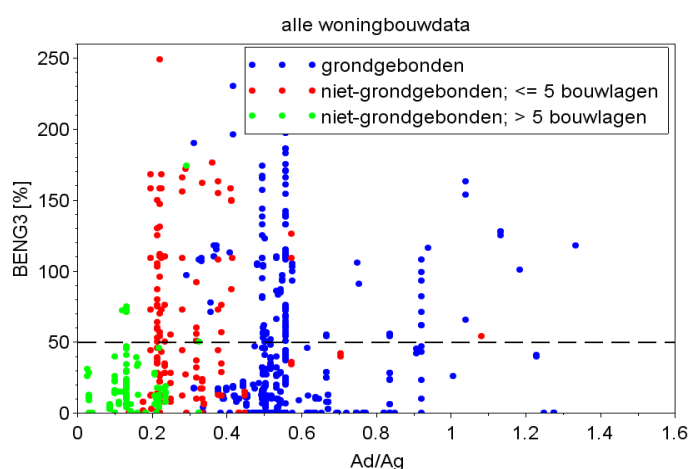
Bij gebouwen met een relatief kleine dakoppervlakte ten opzichte van de gebruiksoppervlakte is een combinatie van technieken van duurzame opwekking nodig om aan de BENG3-eis te kunnen voldoen. Of meerdere technieken kunnen worden toegepast wordt deels bepaald door de locatie. Het aanbrengen van zonne-energiesystemen (bijvoorbeeld

PV-panelen) is niet locatie gebonden en is in diverse gevallen de enige optie. Indien dit het geval is, blijkt dat woongebouwen met een verhouding A_d/A_g kleiner dan 0,2 in meerdere situaties niet kunnen voldoen aan de eis voor BENG3.

Dit komt overeen met de geconstateerde verwachte oorzaak bij oplossingsrichting 1, waarbij is aangegeven dat bij woongebouwen met 6 of meer bouwlagen een combinatie van technieken van duurzame opwekking nodig is om aan de BENG3-eis te kunnen voldoen.

Dat deze constatering overeenkomen, komt doordat uit de analyse (zie onderstaande figuur en tevens de laatste figuur in bijlage 7) blijkt dat bij de onderzochte woongebouwen met 6 of meer bouwlagen de verhouding tussen dakoppervlakte en gebruiksoppervlakte (A_d/A_g) kleiner is dan 0,2 [-]. Mogelijk speelt hierbij mee dat bij woongebouwen vanaf 6 bouwlagen (= 5 verdiepingen) in de regel liftinstallaties en andere installaties op het dak worden gepositioneerd waardoor de benutbare dakoppervlakte sterk afneemt.

f8.4 BENG3 versus slankheid en versus aantal verdiepingen



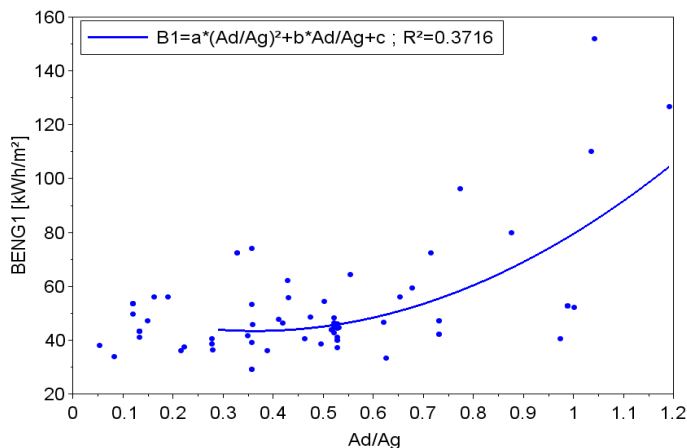
Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat er een verband bestaat tussen de slankheid en de hoogte van BENG3 voor woningbouw.

8.2 Utiliteitsbouw

8.2.1 Analyse BENG1

De grafiek waarin de resultaten van de BENG1-indicator zijn uitgezet tegen de slankheid van utiliteitsgebouwen laat een stijgende lijn zien ($R^2 = \pm 0,37$), waarbij een kwadratisch verband wordt gevonden.

f8.5 Resultaat BENG1 als functie van slankheid utiliteitsgebouwen ($E/E < 1,0 [-]$)

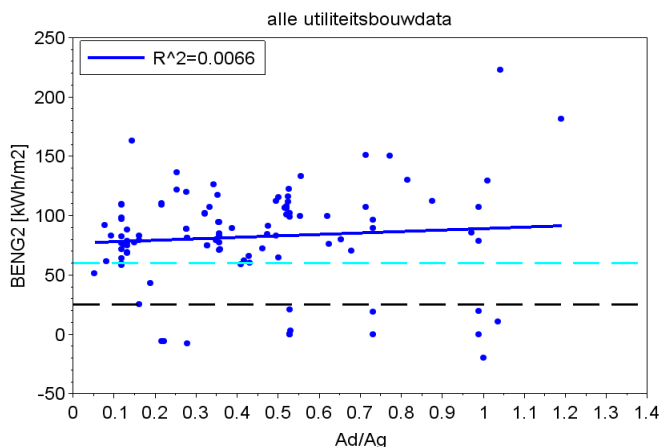


Het verband is echter minder sterk dan het verband dat gevonden is tussen BENG1 en de compactheid van het gebouw. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat het introduceren van grenswaarden, waarbij de eis voor BENG1 afhankelijk wordt van de compactheid van het gebouw, niet aanvullend bijdraagt aan het oplossen van diverse knelpunten.

8.2.2 Analyse BENG2

De grafiek voor BENG2 laat ook voor utiliteitsgebouwen geen correlatie zien tussen de slankheid en de resultaten van de BENG-indicator.

f8.6 Resultaat BENG2 als functie van slankheid utiliteitsgebouwen



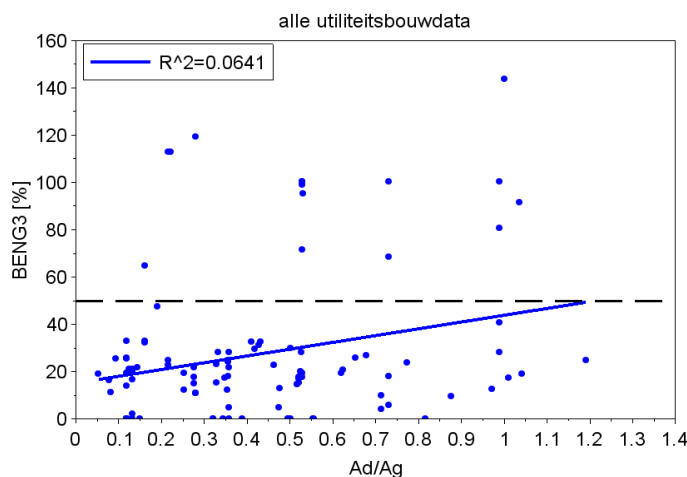
Op basis hiervan kan niet worden geconcludeerd dat het introduceren van grenswaarden gerelateerd aan de slankheid bijdraagt aan het oplossen van het beschouwde issue.

8.2.3 Analyse BENG3

De grafiek waarin de resultaten van de BENG3-indicator zijn uitgezet tegen de slankheid laat voor utiliteitsgebouwen geen correlatie zien, zie figuur f8.7. Ook bij projecten waarbij de

verhouding tussen dakoppervlakte en gebruiksoppervlakte relatief klein is wordt in diverse gevallen aan de voorgenomen eis voor BENG3 voldaan.

f8.7 Resultaat BENG3 als functie van slankheid utiliteitsgebouwen



Echter ook hierbij wordt geconstateerd dat de toepasbaarheid van diverse maatregelen voor het duurzaam opwekken van energie locatiegebonden is. Dit kan er ook voor slanke utiliteitsgebouwen, waarbij de verhouding tussen de dakoppervlakte en de gebruiksoppervlakte (A_d/A_g) klein is, toe leiden dat niet voldaan kan worden aan BENG3.

8.3 Samenvatting conclusie eisen afhankelijk van slankheid

Voor zowel woningbouw als utiliteitsbouw volgt uit de resultaten dat er een verband bestaat tussen de slankheid en BENG3. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat het splitsen van de eis voor BENG3 op basis van de verhouding tussen de dakoppervlakte en de gebruiksoppervlakte, de slankheid van het gebouw, mogelijk een oplossing voor een deel van de knelpunten kan leveren. Voor BENG1 en BENG2 biedt het introduceren van grenswaarden op basis van de slankheid hieraan geen (aanvullende) bijdrage.

8.4 Mogelijke aanpassing BENG-eisen

Zoals hierboven aangegeven is een mogelijke oplossing voor een deel van de knelpunten het splitsen van de eis voor BENG3 op basis van de slankheid van gebouwen.

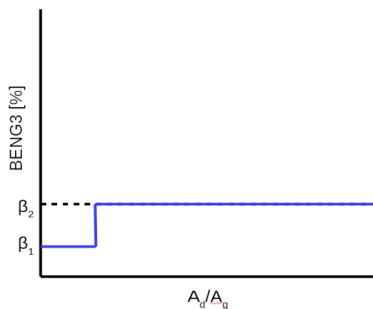
– Mogelijke aanpassing criterium BENG3 optie 1

Optie hiervoor is het opnemen van een eis in het Bouwbesluit in de volgende vorm:

- $BENG3 > \beta_1$ (bijvoorbeeld 25%) Voor gebouwen waarvan de verhouding tussen dakoppervlakte en gebruiksoppervlakte (A_d/A_g) kleiner is dan 0,2 [-]

$BENG3 > \beta_2$ (bijvoorbeeld 50%) Voor overige gebouwen

f8.8 Optie 1: eis BENG3 als functie van slankheid gebouw – getrapt



Hierbij wordt op getrapte wijze een eis aan BENG3 gesteld, waarbij de knik op basis van de analyse zoals beschreven in paragraaf 8.1.3 wordt gelegd bij A_d/A_g van 0,2 [-].

Zoals ook in paragraaf 7.4.2 aangegeven kan het in getrapte vorm stellen van een eis er toe leiden dat een kleine wijziging in het ontwerp van het gebouw resulteert in een relatief grote verandering van de eis. Derhalve wordt de hierna beschreven alternatieve mogelijk aanpassing aangedragen.

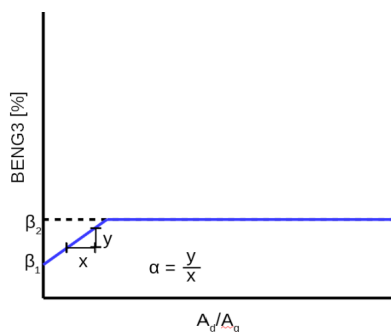
– Mogelijke aanpassing criterium BENG3 optie 2

In plaats van het in optie 1 voorgestelde getrapte verband tussen de slankheid van een gebouw en de eis voor BENG3 kan gekozen worden voor het in de volgende vorm stellen van de eis:

- $BENG3 > \alpha * A_d/A_g + \beta_1$ (bijvoorbeeld $125 * A_d/A_g + 25$) Indien $A_d/A_g < 0,2$ [-]
- $BENG3 > \beta_2$ (bijvoorbeeld 50%) Voor overige gebouwen

Hierbij wordt de knik eveneens gelegd bij A_d/A_g van 0,2 [-]. Indien voor β_1 een waarde van 25% wordt aangehouden en voor β_2 een waarde van 50%, dient voor α een waarde van 125 aangehouden te worden om de lijnen bij het snijpunt aan te laten sluiten.

f8.9 Optie 2: eis BENG3 als functie van slankheid gebouw – lineair



– Mogelijke aanpassing criterium BENG3 optie 3

Ook kan overwogen worden de eis voor BENG3 voor alle gebouwen te verlagen:

- $BENG3 > \beta$ (bijvoorbeeld 25%) Voor alle gebouwen

9 Mogelijke oplossingen in relatie tot knelpunten

In voorliggend hoofdstuk wordt beschouwd in hoeverre de voorgestelde mogelijke aanpassingen oplossingen bieden voor de in hoofdstuk 2 beschreven knelpunten.

9.1 BENG1: energiebehoefte

De voorgestelde mogelijke aanpassing betreft:

- het BENG1-criterium afhankelijk maken van de compactheid van het gebouw.

Hieronder is per knelpunt aangegeven of deze verholpen wordt door de voorgestelde mogelijke aanpassing:

- Aan gebouwtypen met een relatief grote oppervlakte gebouwschil ten opzichte van vloeroppervlakte worden dermate hoge eisen gesteld aan de gebouwschil om de voorgenomen eis te halen dat het praktisch onrealistisch is.
→ wordt opgelost door de eis afhankelijk te maken van de compactheid van het gebouw.
- Bij grotere gebouwen is een lage energiebehoefte eenvoudiger realiseerbaar dan bij kleine gebouwen.
→ wordt eveneens opgelost met de voorgestelde mogelijke aanpassing.
- Voor woongebouwen met meer dan 5 bouwlagen is het relatief gezien moeilijker te voldoen aan BENG1 dan een eengezinswoning, doordat er in appartementen veel glas wordt gebruikt en er relatief veel koudebruggen zijn door uitkragingen, zoals balkons.
→ wordt niet opgelost. Dit knelpunt wordt ook niet herkend. Middels goede detaillering kunnen koudebruggen worden voorkomen en het al dan niet toepassen van veel glas is een ontwerpkeuze die losstaat van het aantal bouwlagen van een woongebouw.
- Hoekwoningen zijn bepalend voor de benodigde maatregelen voor een gehele rij woningen.
→ wordt (deels) opgelost door de eis afhankelijk te maken van de compactheid van het gebouw. Daarmee wordt immers gestimuleerd dat ook bij het ontwerp van tussenwoningen extra maatregelen getroffen dienen te worden om de energiebehoefte te verlagen.
- Rotatie van woningen heeft een significant effect op de energiebehoefte. Met name bij de galerijflat kan de energiebehoefte toenemen met 20 – 50%.
→ wordt niet opgelost. Het is ons inziens ook wenselijk het ontwerp af te stemmen op de oriëntatie.

9.2 BENG2: primair fossiel energiegebruik

De voorgestelde mogelijke aanpassing betreft:

- het BENG2-criterium afhankelijk maken van de compactheid van het gebouw.

Hieronder is per knelpunt aangegeven of deze verholpen wordt door de voorgestelde mogelijke aanpassingen:

- Kleine woningen en kleine wooneenheden kunnen niet aan BENG2 voldoen door het relatief hoge warmtapwaterverbruik, hulpenergie voor verwarming en zomercomfort ten opzichte van de vloeroppervlakte.
→ dit knelpunt wordt niet herkend uit de data. Mogelijk zijn de kosten om te voldoen voor dat type woningen wel relatief hoog. Dit dient te volgen uit de kostenoptimaliteitstudie. Eventueel kan gekozen worden voor BENG2 een minimum budget voor het energiegebruik te introduceren.
- Gebouwen met een relatief kleine dakoppervlakte hebben veel moeite met het opwekken van genoeg duurzame energie dat meetelt bij BENG2.
→ ook dit wordt niet herkend uit de data, maar eveneens kan dit aspect uit de kostenoptimaliteitstudie naar voren komen.
- Ook op BENG2 heeft de rotatie van woningen een significant effect.
→ wordt niet opgelost. Het is ons inziens ook wenselijk het ontwerp af te stemmen op de oriëntatie.

Uit de analyse van de data blijkt dat het resultaat van BENG2 voor utiliteitsgebouwen een verband toont met de compactheid van het gebouw. Minder compacte gebouwen hebben daarbij een hogere waarde voor BENG2. Met de voorgestelde mogelijke aanpassing kan dit in de eisen worden meegenomen. Er is echter geen knelpunt aangedragen die met deze aanpassing wordt verholpen.

9.3 BENG3: aandeel hernieuwbare energie

De voorgestelde mogelijke aanpassing betreft:

- Het BENG3-criterium afhankelijk maken van het aantal bouwlagen van woongebouwen dan wel van de slankheid van het gebouw.

Hieronder is per knelpunt aangegeven of deze verholpen wordt door de voorgestelde mogelijke aanpassing:

- Gebouwen met een relatief kleine (benutbare) dakoppervlakte kunnen moeilijk voldoen aan BENG3 doordat er te weinig ruimte voor zonne-energiesystemen is.

- wordt voor woongebouwen opgelost door de eis afhankelijk te maken van de slankheid en/of van het aantal verdiepingen van woongebouwen. Bij utiliteitsgebouwen wordt dit knelpunt niet herkend in de beschouwde data.
- Bij woongebouwen en bij meerlaagse utiliteitsgebouwen is het aandeel hernieuwbare energie in sterke mate afhankelijk van de inzet van wel/geen warmtepomp en/of inzet externe warmtelevering (beide zijn locatieafhankelijk, en in het geval van warmtelevering is ook het type opwekker bepalend).
 - wordt voor woongebouwen grotendeels opgelost door de eis afhankelijk te maken van het aantal bouwlagen of van de slankheid. Bij utiliteitsbouw is het inzetten van de genoemde technieken over het algemeen mogelijk en treedt dit knelpunt niet op.
- Verlagen van de energievraag voor warmte en koude maakt het moeilijker om aan BENG3 te voldoen.
 - wordt niet opgelost. Dit knelpunt speelt met name als er relatief weinig PV-panelen toegepast kunnen worden. Derhalve wordt het knelpunt wel voor een belangrijk deel opgelost met de voorgestelde aanpassingen.

10 Aanbevelingen

In Nederland is vooralsnog gekozen voor het vaststellen van de energetische kwaliteit van bijna energieneutrale gebouwen middels een drietal afzonderlijke BENG-indicatoren. Deze BENG-indicatoren zijn met voorgenomen eisen reeds enige tijd in gebruik. Uit de ervaringen die met het gebruik zijn opgedaan, zijn meerdere knelpunten naar voren gekomen. Door Peutz is de overkoepelend issue “Invloed gebouwgeometrie op haalbaarheid BENG-eisen” onderzocht teneinde oplossingsrichtingen voor dit issue in kaart te brengen.

Bij het onderzoek is gebruik gemaakt van een groot aantal EPC-berekeningen uit praktijkprojecten die de afgelopen jaren door Peutz zijn geadviseerd. Voor woningbouw zijn circa 765 EPC-berekeningen gebruikt en voor utiliteitsbouw circa 115 EPC-berekeningen. Op basis van analyse van deze berekeningen worden voor de drie BENG-indicatoren de hierna beschreven aanpassing aangedragen, teneinde de knelpunten op te lossen.

10.1 BENG1: energiebehoefte

10.1.1 Beschrijving aanbevolen aanpassingen

Belangrijkste knelpunt voor BENG1 is dat aan bouwtypen met een relatief grote oppervlakte gebouwschil (verliesoppervlakte) ten opzichte van vloeroppervlakte dermate hoge eisen aan de gebouwschil worden gesteld om de voorgenomen eis te halen dat het praktisch onrealistisch is.

Om dit knelpunt en de andere knelpunten van BENG1 op te lossen wordt aanbevolen het BENG1-criterium afhankelijk te maken van de compactheid van het gebouw. De compactheid van het gebouw betreft de verhouding tussen de verliesoppervlakte (A_{is}) en de gebruiksoppervlakte (A_g). Beide parameters die onderdeel vormen van de compactheid (A_{is} en A_g) worden reeds in berekeningen van de NEN7120 meegenomen.

Ons inziens heeft dit het volgende voordeel:

Door de eis mede afhankelijk te maken van de verhouding tussen de oppervlakte van de gebouwschil en de gebruiksoppervlakte ontstaat de mogelijkheid te stimuleren dat ook de gebouwen met een relatief kleine gebouwschil, zoals tussenwoningen, met een lage energiebehoefte moeten worden ontworpen. Indien namelijk een eis met een vaste waarde wordt geïntroduceerd die het mogelijk houdt dat hoekwoningen en vrijstaande woningen (met een zekere inspanning) aan de eis kunnen voldoen, zal de eis voor tussenwoningen zeer gemakkelijk haalbaar zijn waardoor bij dat type woning (nagenoeg) geen maatregelen getroffen behoeven te worden om aan de criteria te voldoen.

Het aantal woningen met een relatief kleine gebouwschil, zoals rijtjeswoningen en appartementen, is echter groot in de totale bouwvoorraad. Dit type woning heeft daardoor een groot effect op de totale energiebehoefte van woningen in Nederland.

Het stellen van een eis die het niet nodig maakt dat ook voor dit type woning aanvullende maatregelen nodig zijn, doet dan ook afbreuk aan de ambitie om de totale energiebehoefte van Nederland te verlagen. Het aantal tiny houses en villa's is in verhouding immers gering en het stellen van een zeer strenge eis voor dat type woning draagt slechts in beperkte mate bij aan het verlagen van de nationale energiebehoefte.

Deze oplossingsrichting biedt tevens sturingsmogelijkheden om de energiebehoefte van Nederland te verminderen, waarbij ook beïnvloed kan worden hoeveel maatregelen verschillende woningtypen moeten nemen om aan de eisen te voldoen.

10.1.2 Nadere uitwerking formulestructuur voor de aanbevolen aanpassing

Teneinde de beschreven aanpassingen in het Bouwbesluit te kunnen verwerken wordt de volgende optie voorgesteld:

- $BENG1 < \alpha_1 * A_{i,s}/A_g + \beta_1$ [kWh/m²] indien $A_{i,s}/A_g$ kleiner of gelijk is aan c_1 [-]
- $BENG1 < \alpha_2 * A_{i,s}/A_g + \beta_2$ [kWh/m²] indien $A_{i,s}/A_g$ groter is dan c_1 [-]

Dit betreft een benadering van het gebleken kwadratische verband tussen de compactheid van het gebouw en het resultaat van BENG1. Tevens biedt deze wijze van formuleren mogelijkheden om beleidsmatig te sturen op het gewenste inspanningsniveau om aan de eis te voldoen, aangezien zowel de coëfficiënt α als β in de tijd veranderd kan worden.

De hoogte van de grenswaarde voor BENG1 kan ons inziens bepaald worden door binnen de kostenoptimaliteitsstudie voor compacte referentiegebouwen (kleine waarde $A_{i,s}/A_g$) en voor niet compacte gebouwen (grote waarde voor $A_{i,s}/A_g$) in kaart te brengen welke waarden voor BENG1 gevonden worden met diverse pakketten aan maatregelen. Hiertoe dienen naar verwachting nieuwe referentiegebouwen geformuleerd te worden. Hierbij is het van belang dat ook de gekozen oplossingsrichtingen voor de overige issues die van invloed zijn op de bepalingsmethodiek voor BENG1 zijn verdisconteerd.

10.2 BENG2: primair fossiel energiegebruik

10.2.1 Beschrijving aanbevolen aanpassingen

Uit de analyse van de data blijkt dat voor utiliteitsgebouwen een verband wordt gevonden tussen BENG2 en de gebruiksoppervlakte bij gebouwen kleiner dan circa 2.500 m² als gevolg van een correctie voor de oppervlakte van de gebouwschil in de huidige EPC-berekening. Door de correctie in de EPC-berekening, zijn bij die beoordelingsmethodiek minder maatregelen nodig bij kleinere gebouwen dan wanneer er geen correctie zou plaatsvinden. Mogelijk is deze keuze gebaseerd op de kostenoptimaliteitsstudie. Wellicht is het gewenst deze correctie mee te nemen in de BENG-eisen. In dat kader wordt opgemerkt dat het meer voor de hand ligt de correctie op basis van de verliesoppervlakte in de aanpassing te betrekken in plaats van de gebruiksoppervlakte, aangezien de correctie plaatsvindt op basis van de verliesoppervlakte.

Dit sluit aan bij het gebleken verband tussen het resultaat van BENG2 voor utiliteitsgebouwen en de compactheid van het gebouw, de verhouding tussen de oppervlakte van de gebouwschil en de gebruiksoppervlakte. Minder compacte gebouwen hebben daarbij een hogere waarde voor BENG2. Dit kan worden verdisconteerd door de eis voor BENG2 afhankelijk te maken van de compactheid van het gebouw.

Er is echter geen knelpunt aangedragen die met deze aanpassing wordt verholpen. Op basis hiervan wordt aanbevolen geen wijzigingen in de voorgenomen formulering van de eis voor BENG2, in de vorm van een vaste waarde, door te voeren.

Hierbij wordt opgemerkt dat zeer kleine gebouwen ($A_g < 100 \text{ m}^2$) niet in het onderzoek zijn beschouwd.

10.3 BENG3: aandeel hernieuwbare energie

10.3.1 Beschrijving aanbevolen aanpassingen

Voornaamste knelpunt bij BENG3 is dat gebouwen met een relatief kleine (benutbare) dakoppervlakte moeilijk voldoen aan de eis doordat er te weinig ruimte voor PV-panelen is. Wel kan in dat geval voldaan worden door andere technieken van duurzame opwekking toe te passen.

Vanuit technisch oogpunt is het mogelijk meerdere technieken van duurzame opwekking te combineren. Er kunnen echter andere redenen zijn waardoor bepaalde technieken van duurzame opwekking niet mogelijk zijn.

- Zo zijn er diverse binnenstedelijke gebieden waarbij verplicht aangesloten dient te worden op het warmtenet van de betreffende gemeente. In het ontwerp kan geen invloed worden uitgeoefend op de duurzaamheid van de opwekking van dat warmtenet;
- De mogelijkheid tot het toepassen van een water-water warmtepomp (bron grondwater of bodem) is eveneens afhankelijk van de locatie. Op een groeiend aantal locaties is de bodemopbouw niet geschikt voor het toepassen hiervan ofwel zijn de bronnen door andere projecten reeds in gebruik;
- Bij het toepassen van een lucht-water warmtepomp dient de verdamper (inclusief ventilator) buiten geplaatst te worden. Hiervoor is ruimte op het dak benodigd. Daarbij komt dat de verdamper/ventilator geluid produceert, hetgeen in dichtbebouwde gebieden tot overschrijding van de geluidseisen kan leiden;
- Vanwege de emissies bij het verbranden van biomassa en de eisen aan emissies in binnenstedelijk gebied, is ook biomassa niet op alle locaties toepasbaar;
- Indien de dakoppervlakte relatief gering is, hetgeen het geval is bij woongebouwen met 5 of meer verdiepingen, is er relatief minder ruimte voor PV-panelen en zonnecollectoren;
- PV-panelen kunnen ook in de gevel worden aangebracht. De opbrengst hiervan kan echter beperkt worden door beschaduwing door andere gebouwen. Dit hoeft voor de energieprestatieberekening niet meegenomen te worden, maar kan PV-panelen in de gevel in de praktijk wel onrendabel maken.

Gebouwen met een relatief kleine (benutbare) dakoppervlakte kunnen daardoor in meerdere situaties niet voldoen aan de eis voor BENG3, hetgeen met name door de locatie wordt bepaald.

Om dit knelpunt op te lossen kan het BENG3-criterium afhankelijk worden gemaakt van de slankheid van het gebouw.

10.3.2 Nadere uitwerking formulestructuur voor de aanbevolen aanpassing

Teneinde de beschreven aanpassingen voor BENG3 in het Bouwbesluit te kunnen verwerken wordt de volgende optie voorgesteld:

- $BENG3 > \alpha * A_d/A_g + \beta_1$ Indien $A_d/A_g < 0,2$ [-]
 $BENG3 > \beta_2$ Voor overige gebouwen

Dit betreft een benadering van het gebleken verband tussen de slankheid van het gebouw en het resultaat van BENG3.

Dit rapport bevat 51 pagina's en 8 bijlagen.

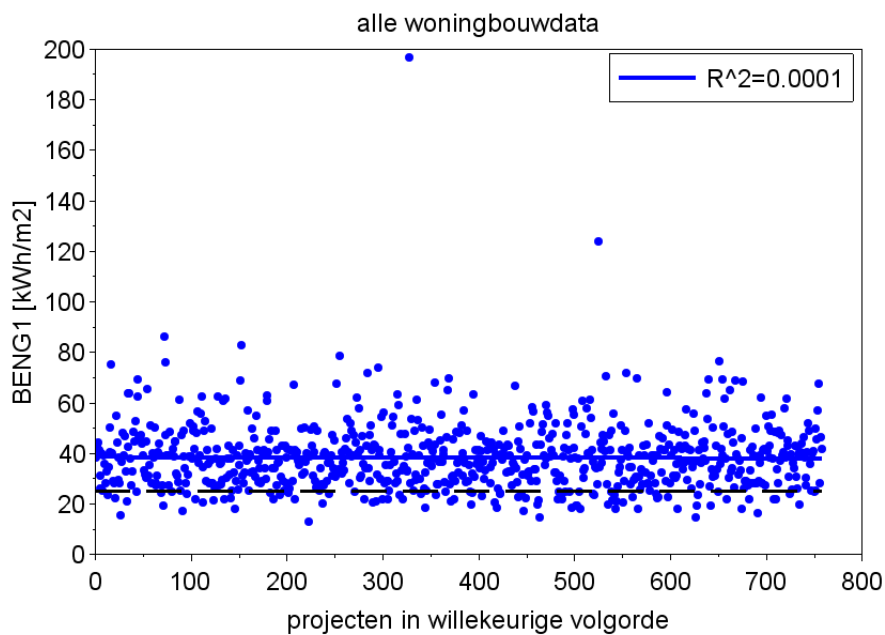
Zoetermeer,



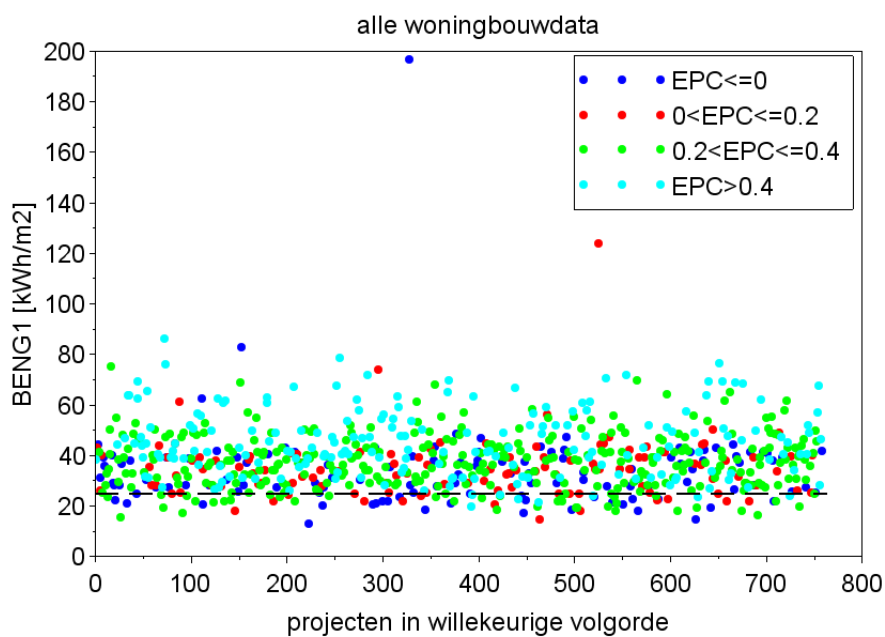
Bijlage 1

Oplossingsrichting 1 - Woningbouw

BENG1 – alle woningbouwdata



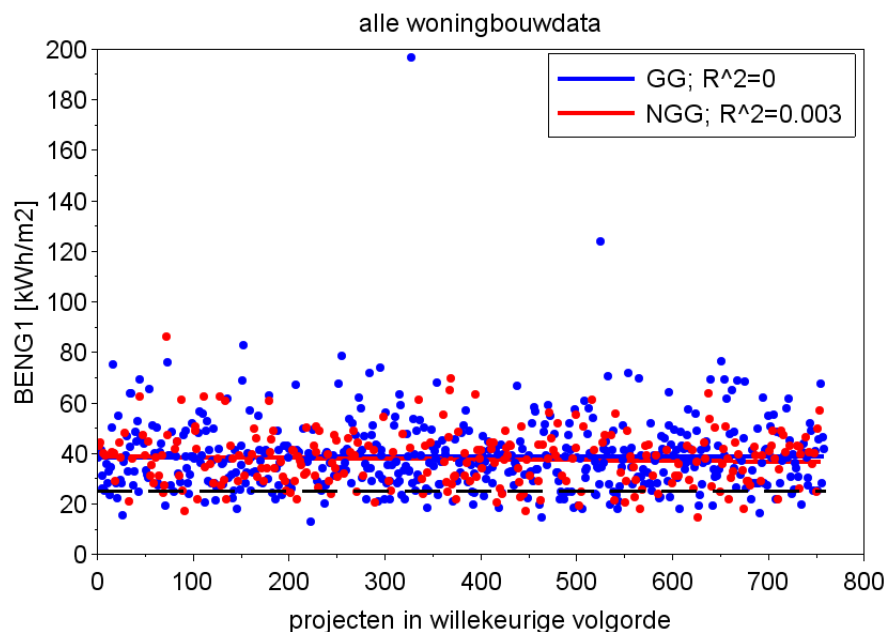
BENG1 – alle woningbouwdata gesorteerd o.b.v. EPC resultaat



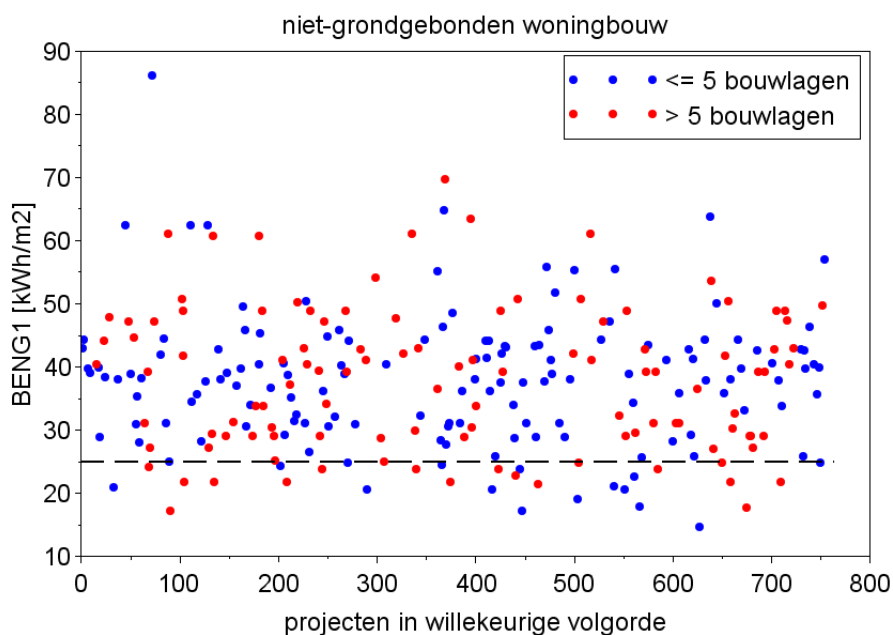
Bijlage 1

Oplossingsrichting 1 - Woningbouw

BENG1 – differentiatie grondgebonden en niet grondgebonden woningen



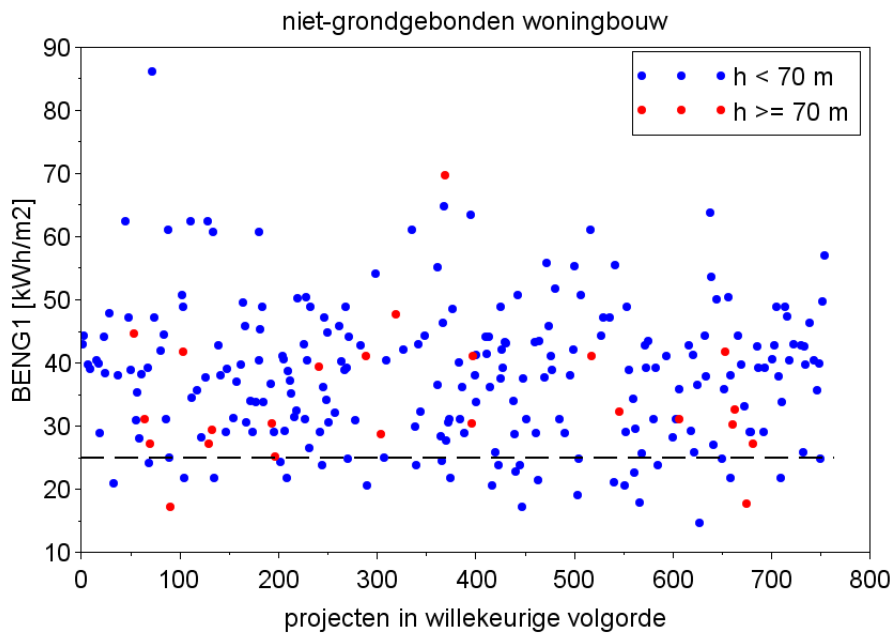
BENG1 – verdere differentiatie niet grondgebonden woningen o.b.v. verdiepingen



Bijlage 1

Oplossingsrichting 1 - Woningbouw

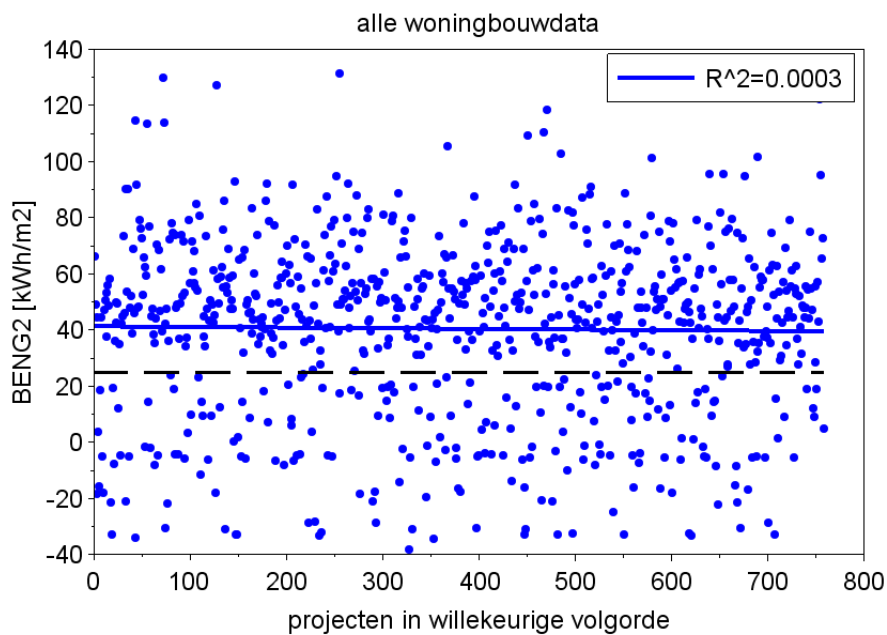
BENG1 – verdere differentiatie niet grondgebonden woningen o.b.v. gebouwhoogte



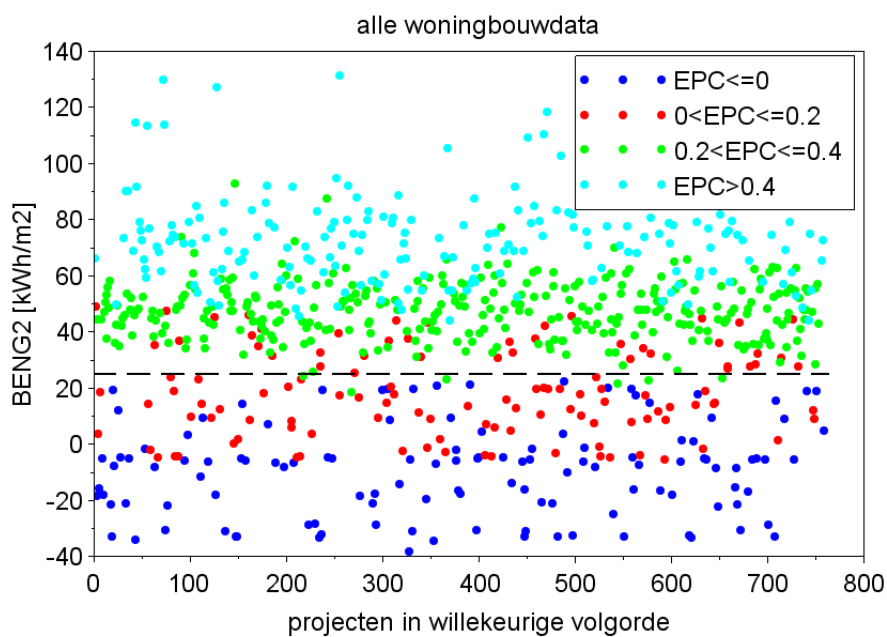
Bijlage 1

Oplossingsrichting 1 - Woningbouw

BENG2 – alle woningbouwdata



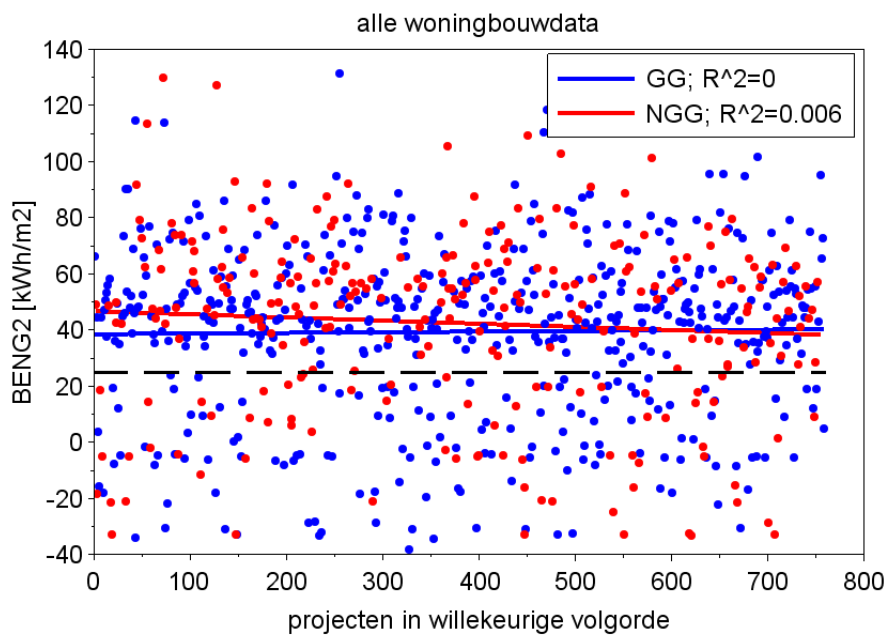
BENG2 – alle woningbouwdata gesorteerd o.b.v. EPC resultaat



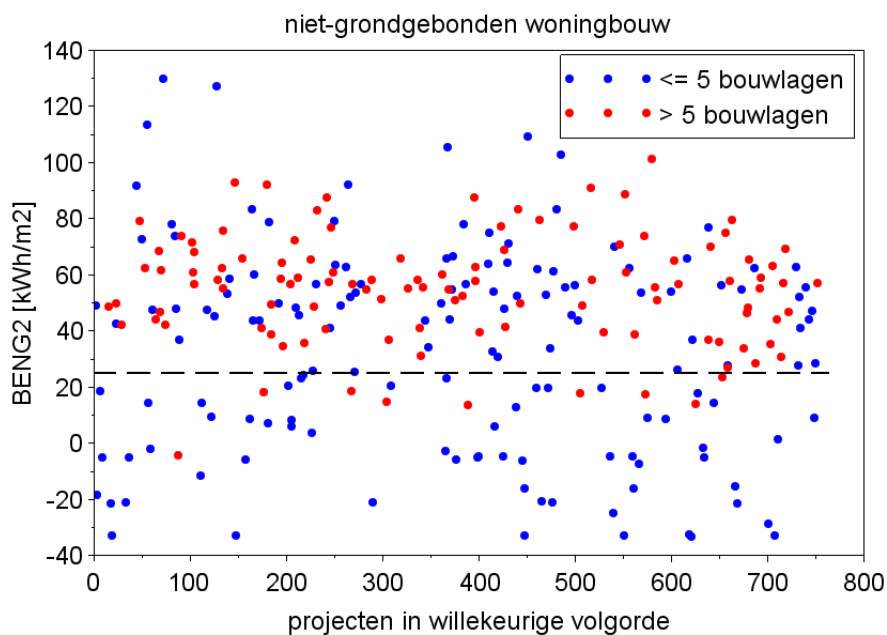
Bijlage 1

Oplossingsrichting 1 - Woningbouw

BENG2 – differentiatie grondgebonden en niet grondgebonden woningen



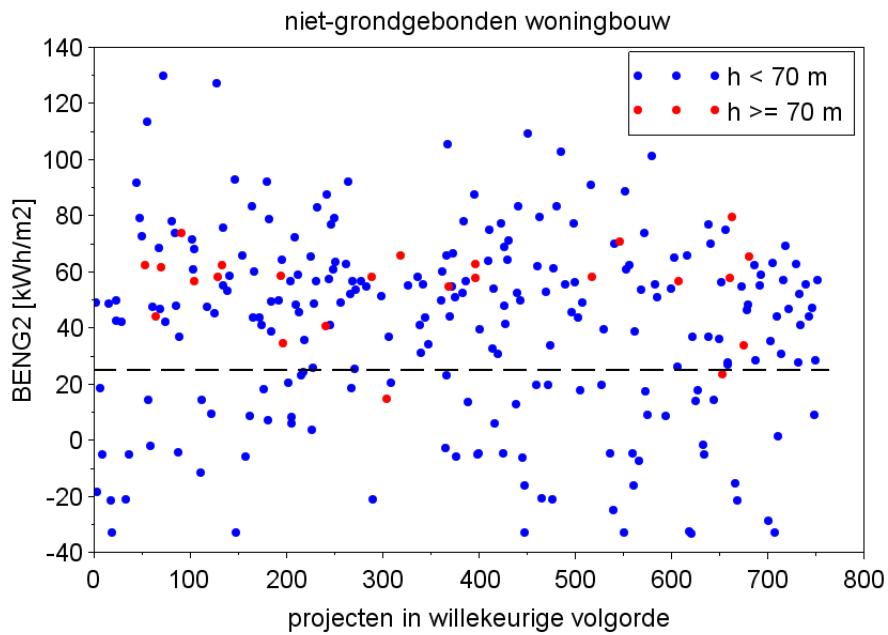
BENG2 – verdere differentiatie niet grondgebonden woningen o.b.v. verdiepingen



Bijlage 1

Oplossingsrichting 1 - Woningbouw

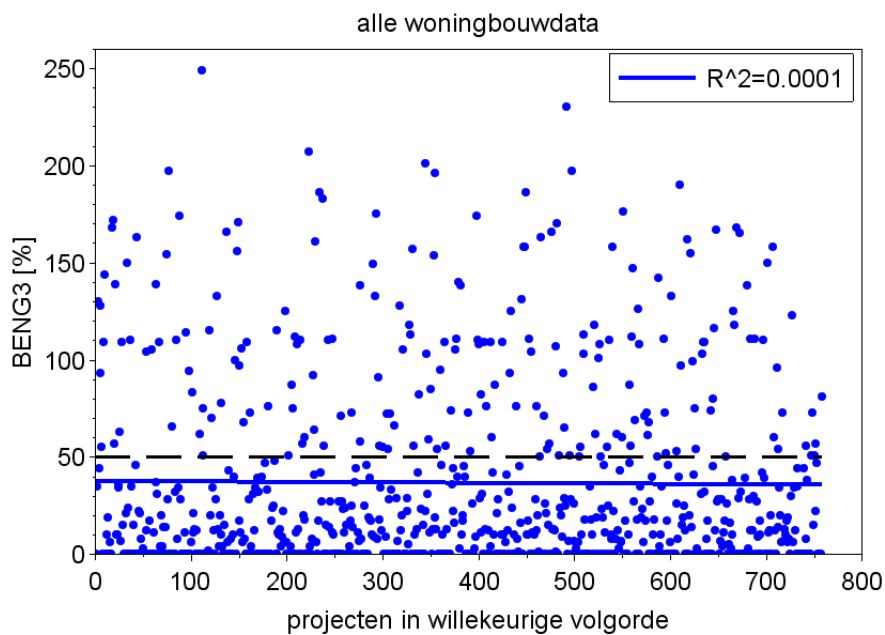
BENG2 – verdere differentiatie niet grondgebonden woningen o.b.v. gebouwhoogte



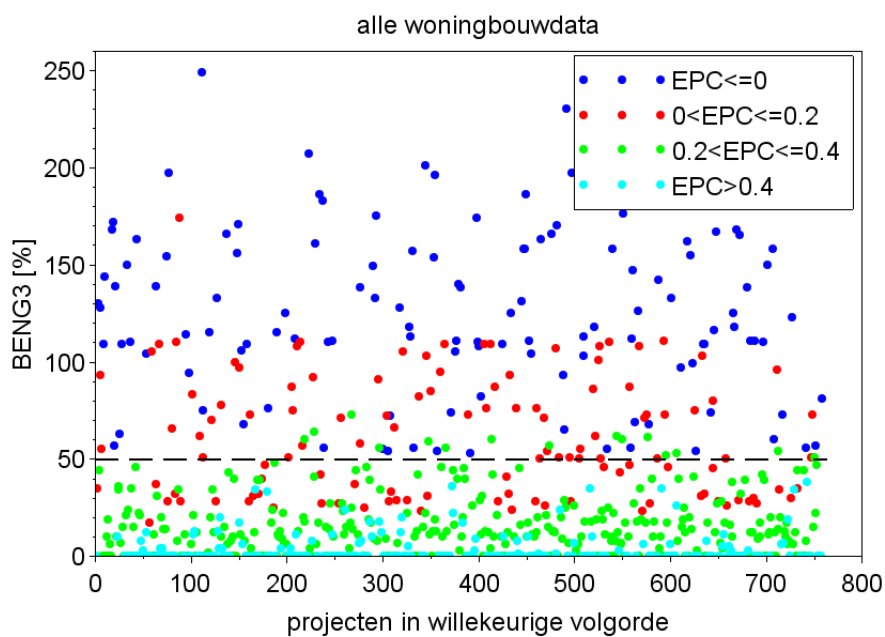
Bijlage 1

Oplossingsrichting 1 - Woningbouw

BENG3 – alle woningbouwdata



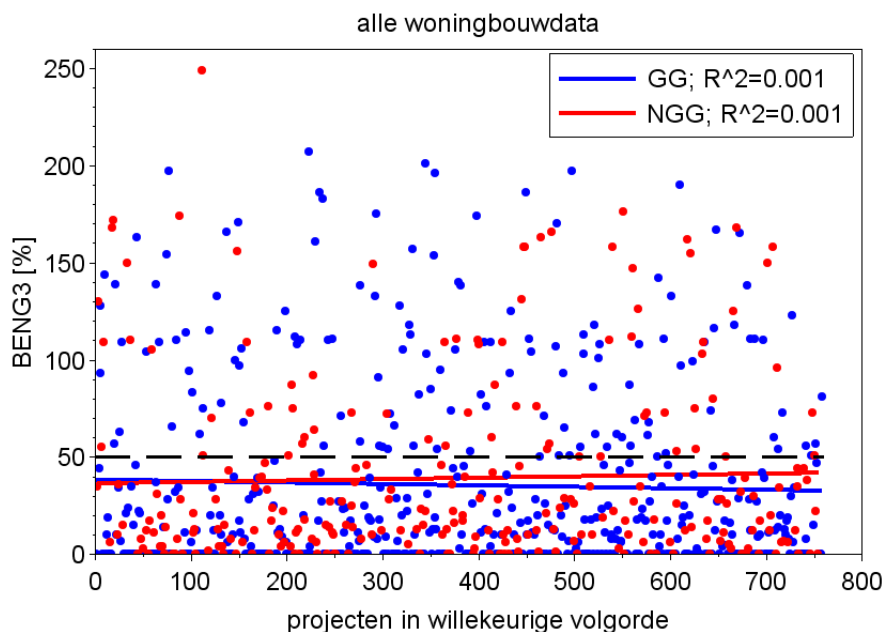
BENG3 – alle woningbouwdata gesorteerd o.b.v. EPC resultaat



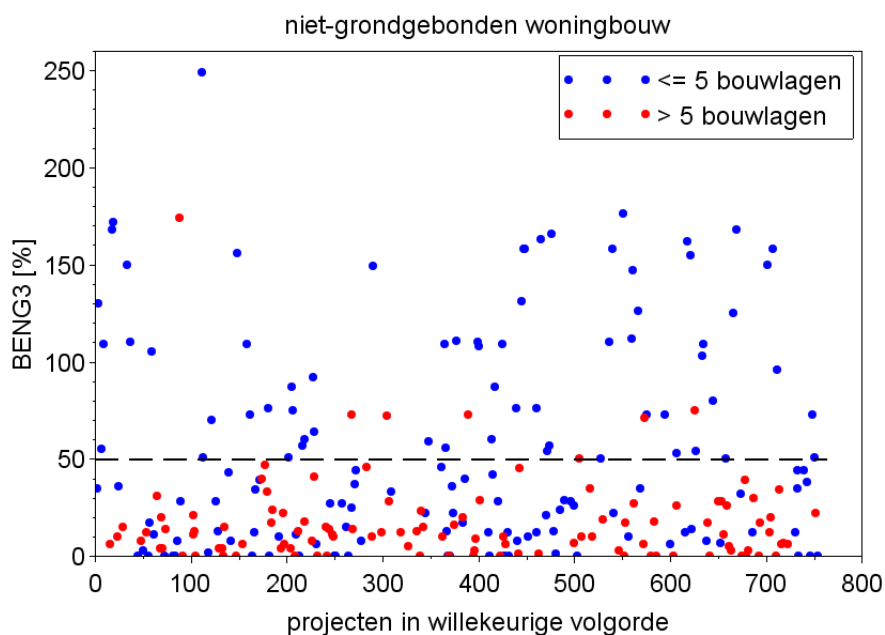
Bijlage 1

Oplossingsrichting 1 - Woningbouw

BENG3 – differentiatie grondgebonden en niet grondgebonden woningen



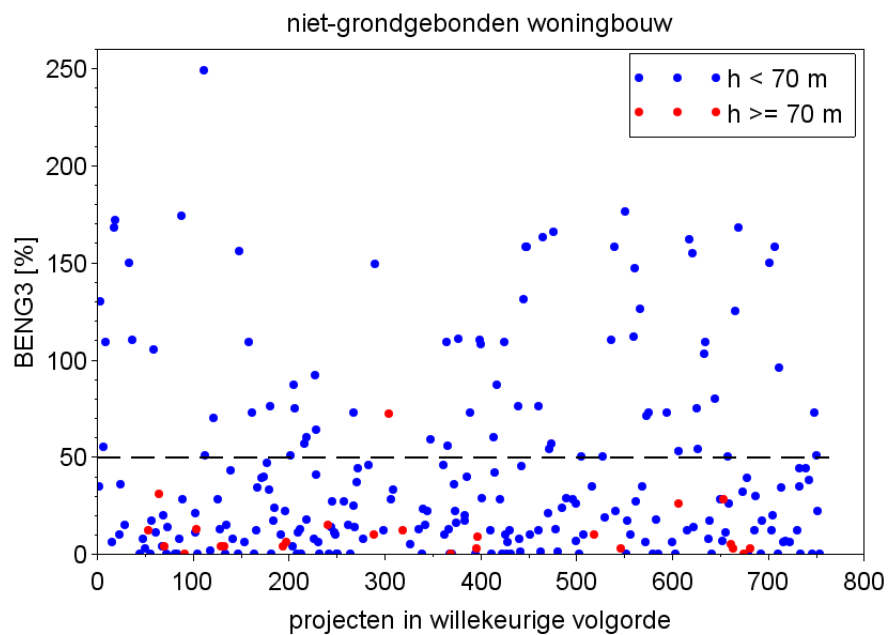
BENG3 – verdere differentiatie niet grondgebonden woningen o.b.v. verdiepingen



Bijlage 1

Oplossingsrichting 1 - Woningbouw

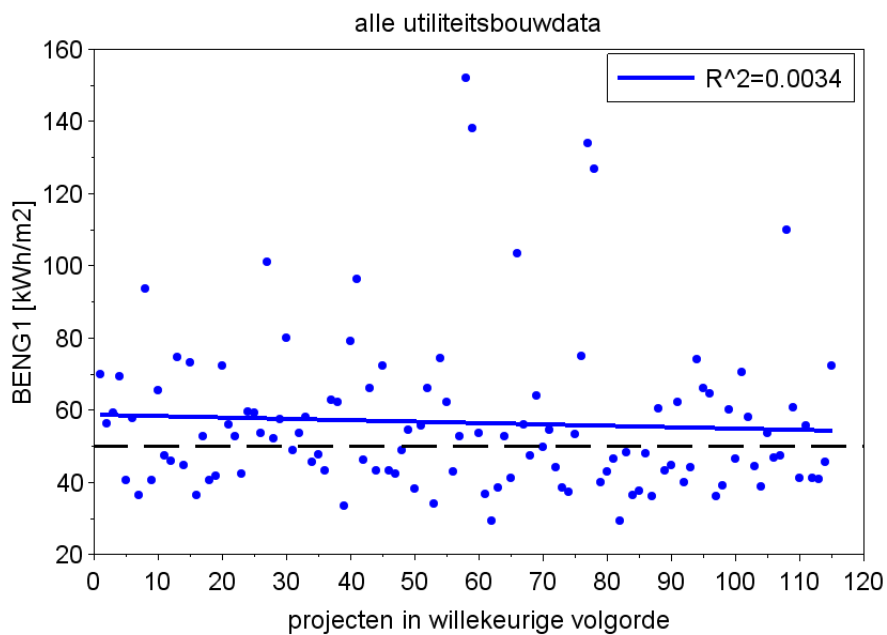
BENG3 – verdere differentiatie niet grondgebonden woningen o.b.v. gebouwhoogte



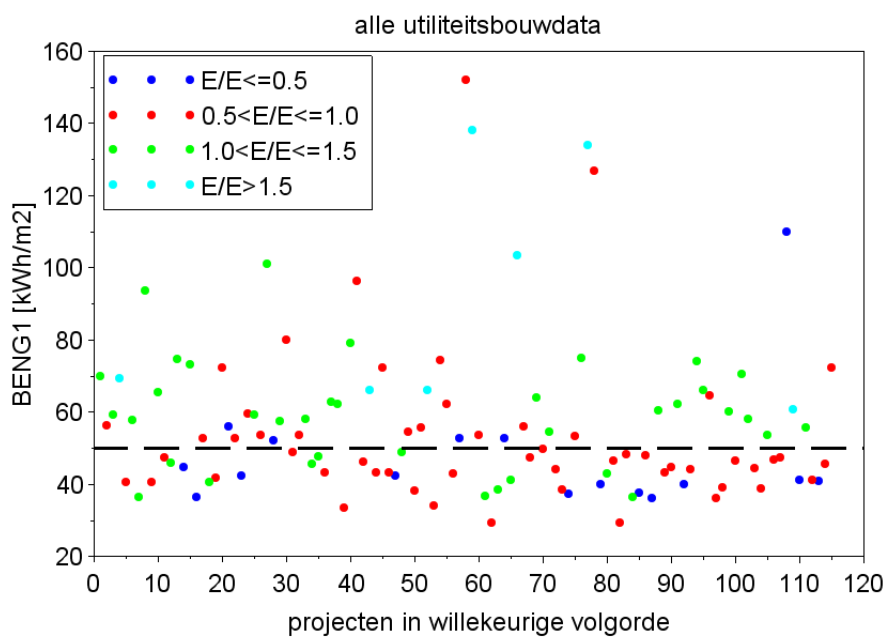
Bijlage 2

Oplossingsrichting 1 - Utiliteitsbouw

BENG1 – alle utiliteitsbouwdata



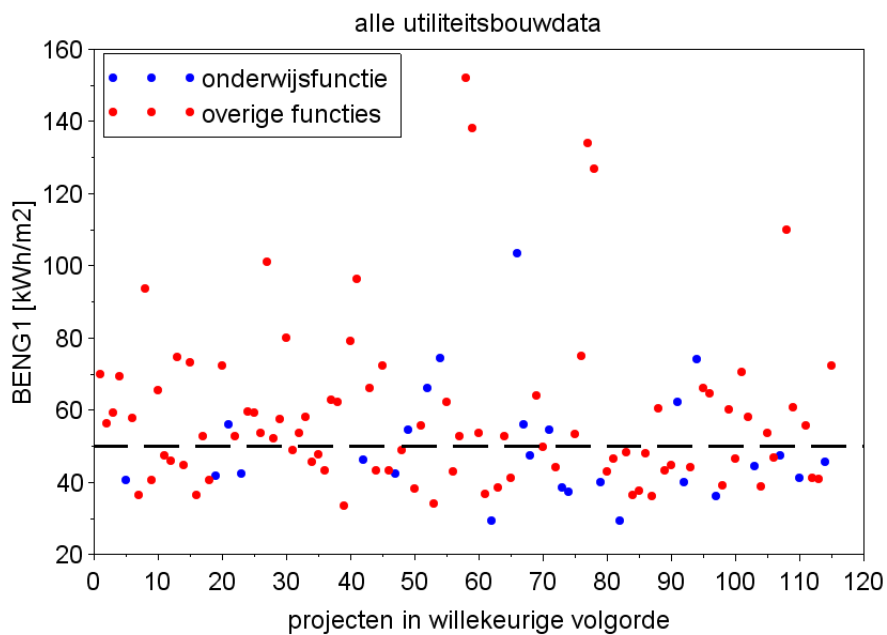
BENG1 – alle utiliteitsbouwdata gesorteerd o.b.v. EPC resultaat



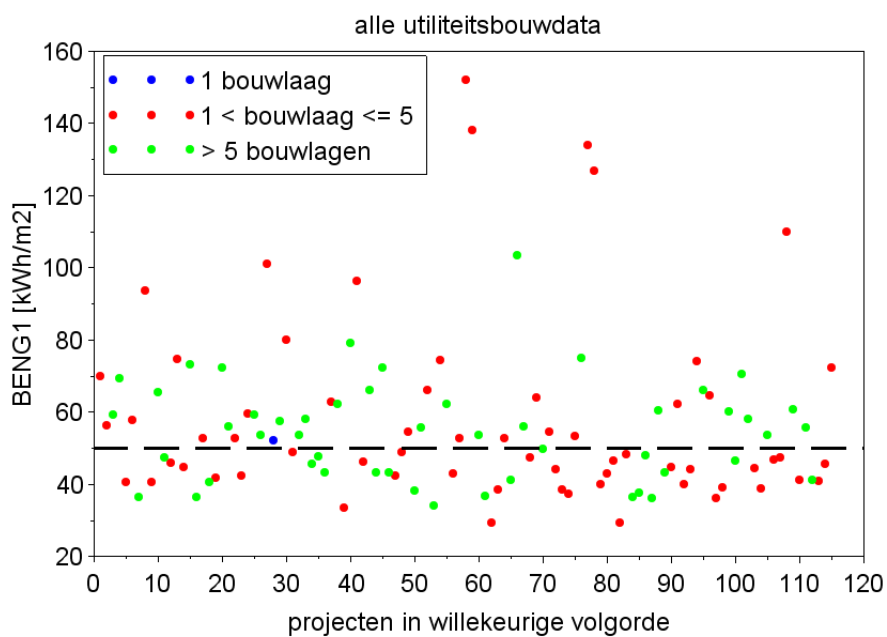
Bijlage 2

Oplossingsrichting 1 - Utiliteitsbouw

BENG1 – differentiatie o.b.v. onderwijsfunctie



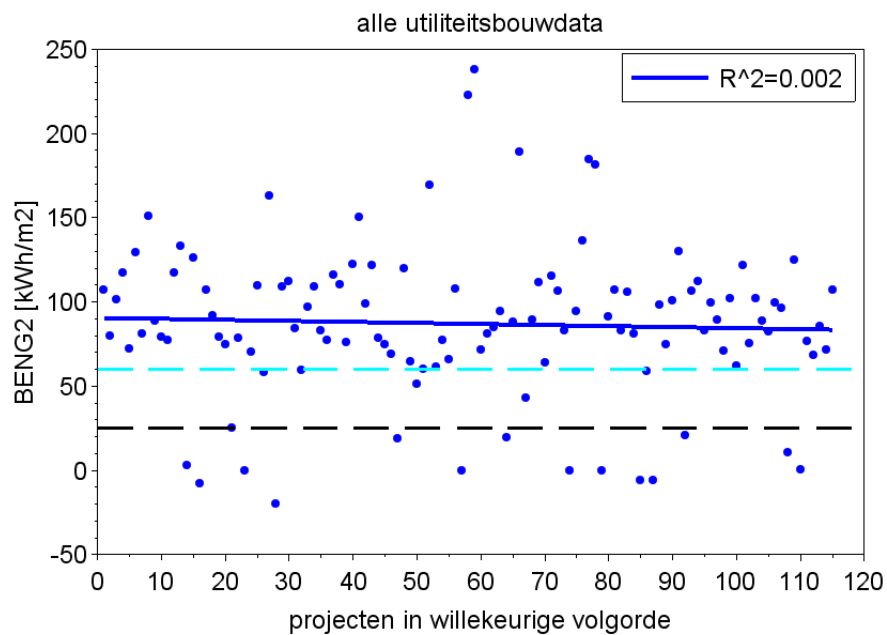
BENG1 – differentiatie o.b.v. aantal bouwlagen



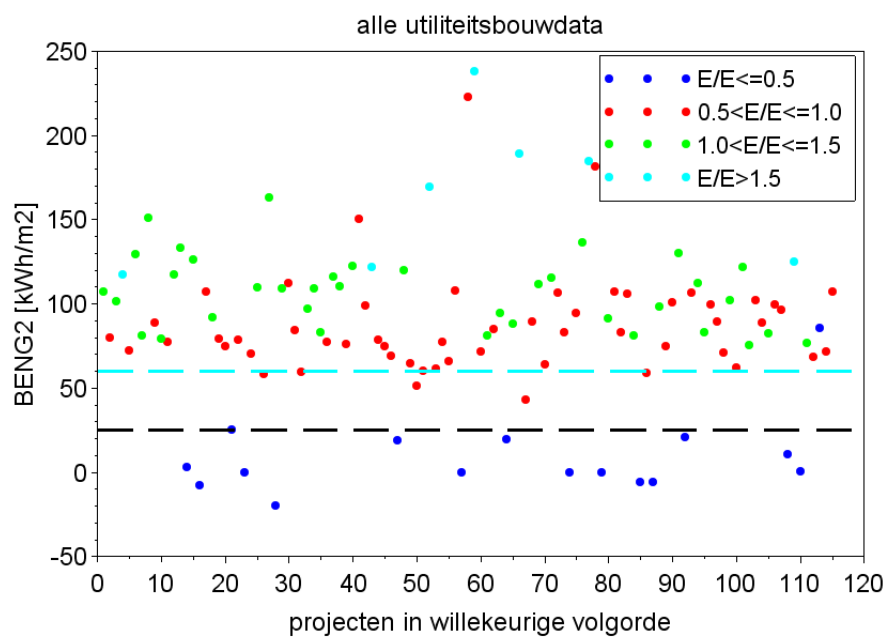
Bijlage 2

Oplossingsrichting 1 - Utiliteitsbouw

BENG2 – alle utiliteitsbouwdata



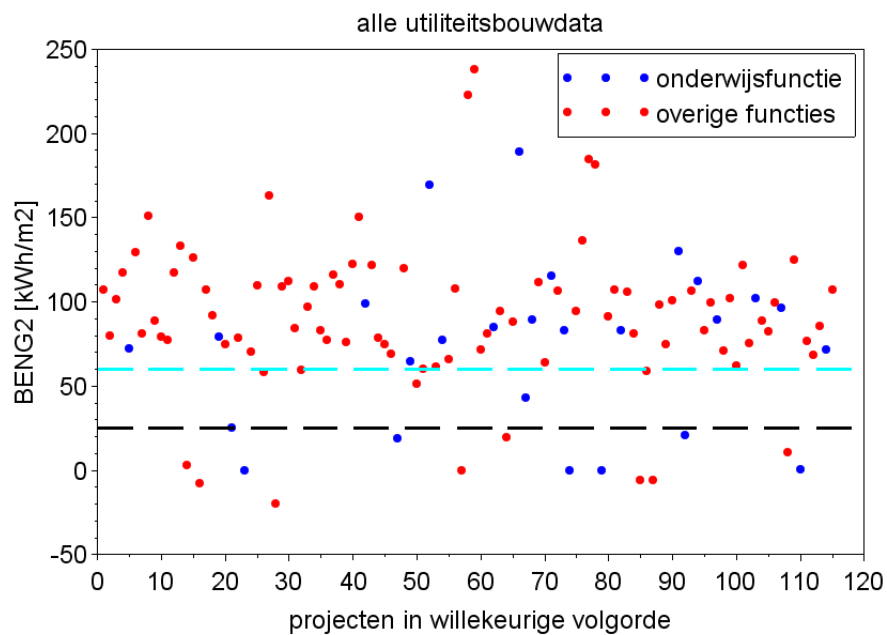
BENG2 – alle utiliteitsbouwdata gesorteerd o.b.v. EPC resultaat



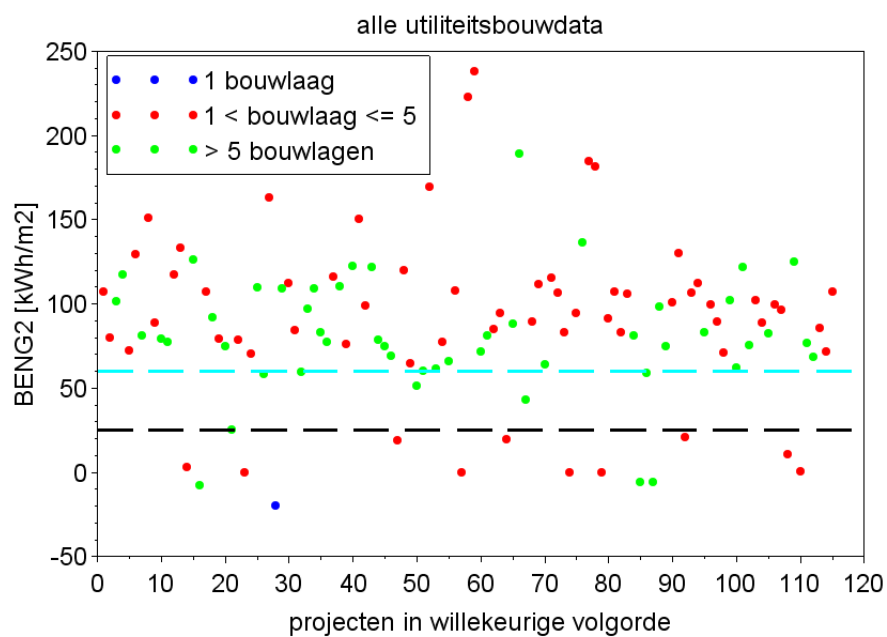
Bijlage 2

Oplossingsrichting 1 - Utiliteitsbouw

BENG2 – differentiatie o.b.v. onderwijsfunctie



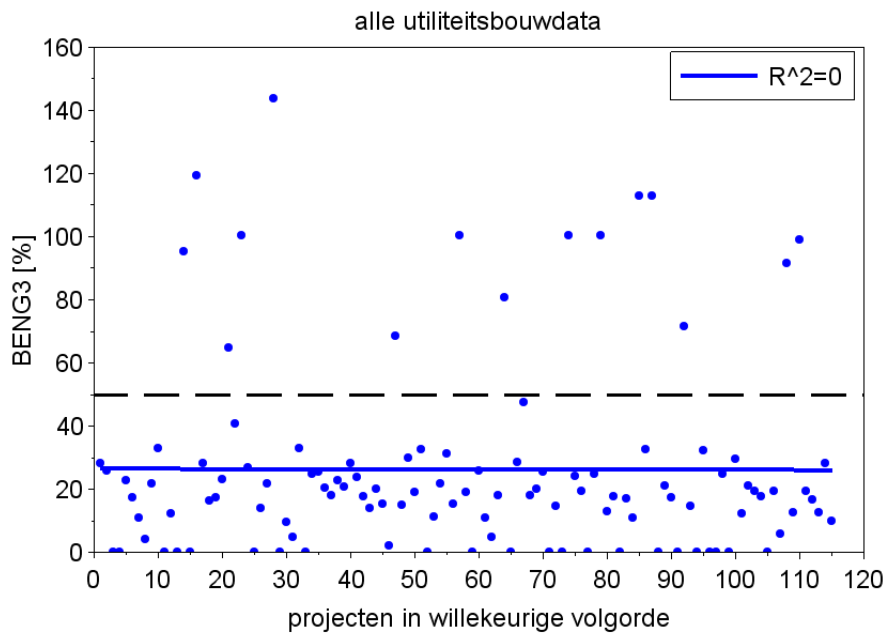
BENG2 – differentiatie o.b.v. aantal bouwlagen



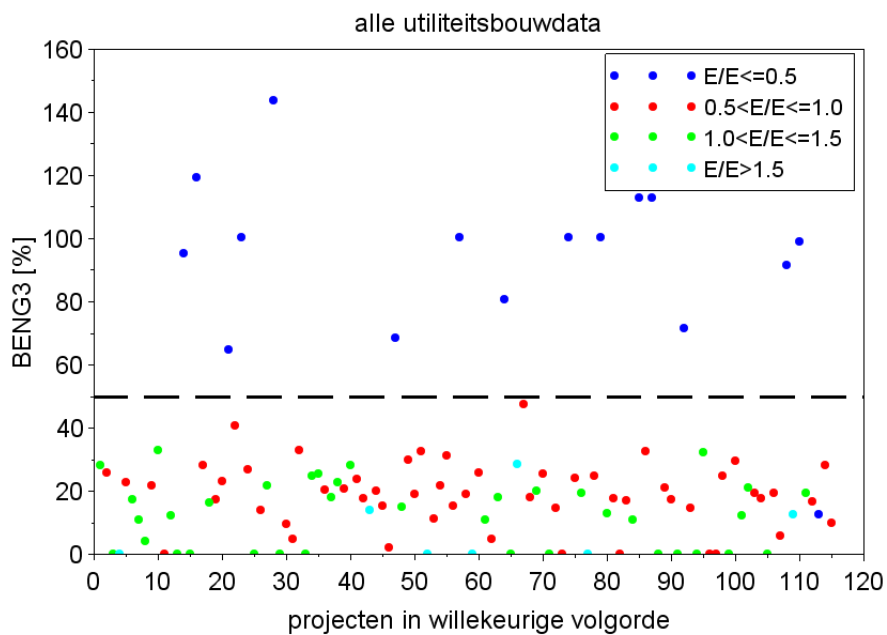
Bijlage 2

Oplossingsrichting 1 - Utiliteitsbouw

BENG3 – alle utiliteitsbouwdata



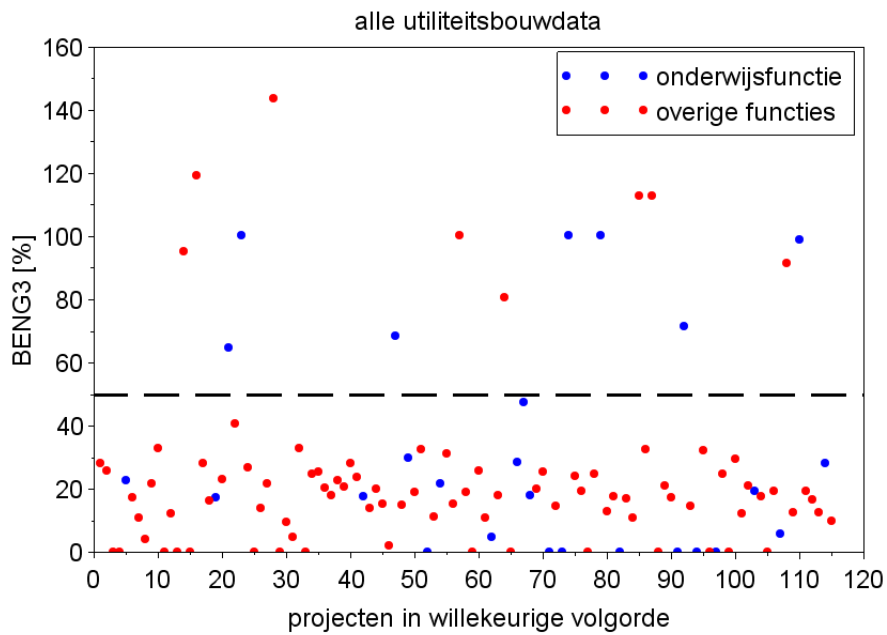
BENG3 – alle utiliteitsbouwdata gesorteerd o.b.v. EPC resultaat



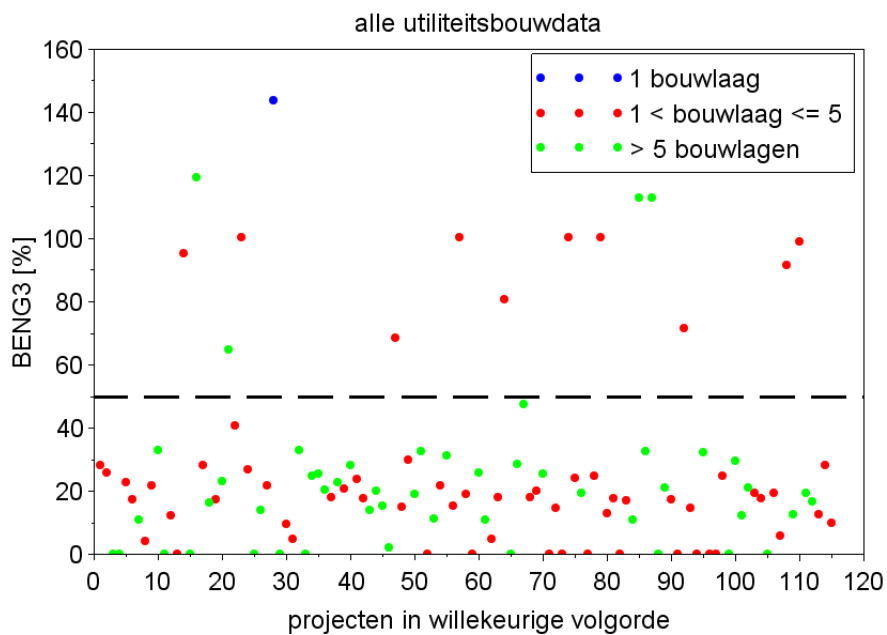
Bijlage 2

Oplossingsrichting 1 - Utiliteitsbouw

BENG3 – differentiatie o.b.v. onderwijsfunctie



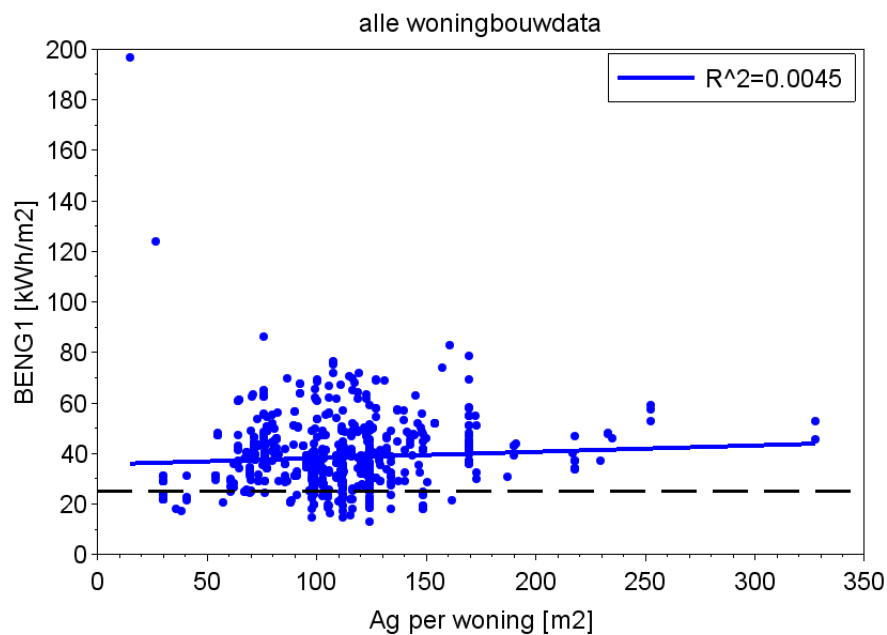
BENG3 – differentiatie o.b.v. aantal bouwlagen



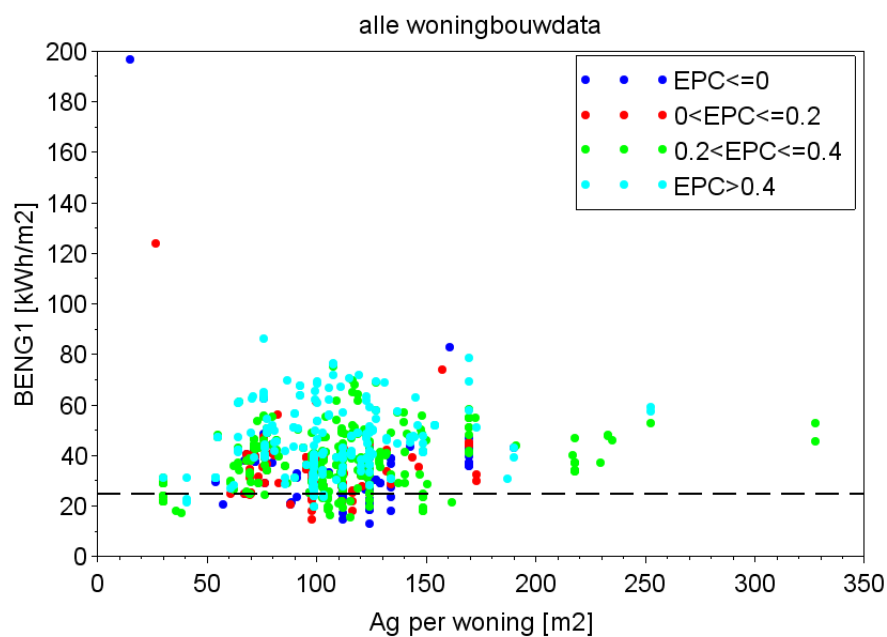
Bijlage 3

Oplossingsrichting 2 - Woningbouw

BENG1 – alle woningbouwdata



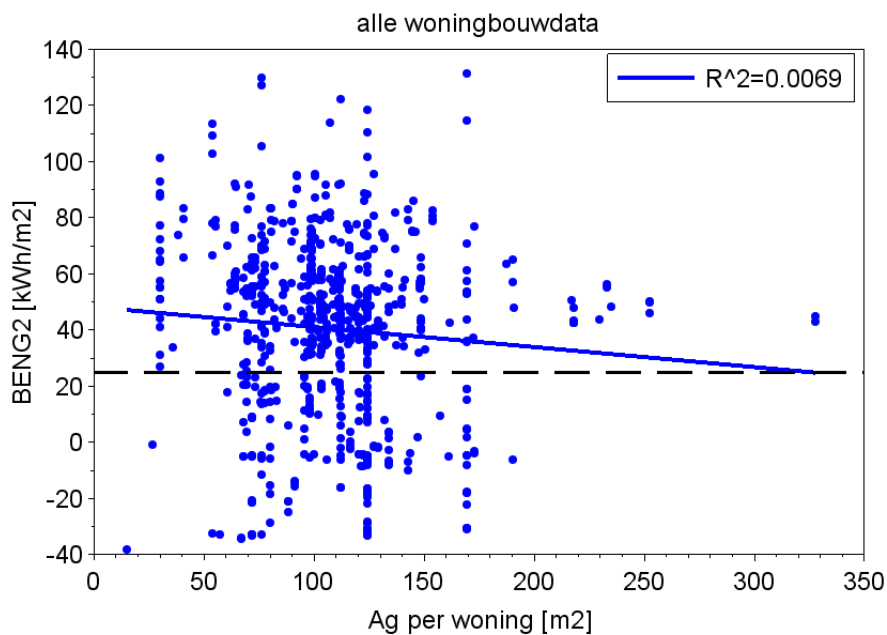
BENG1 – alle woningbouwdata gesorteerd o.b.v. EPC resultaat



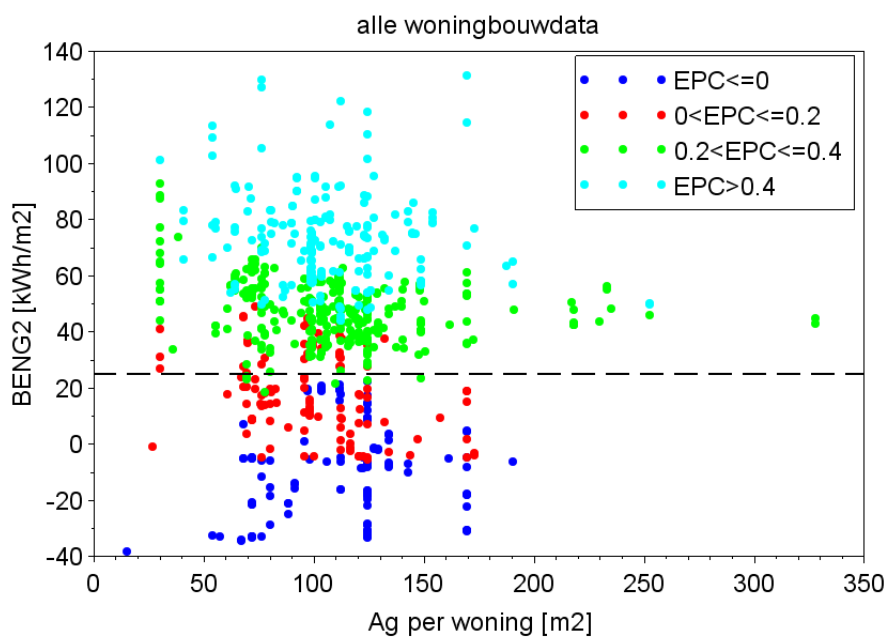
Bijlage 3

Oplossingsrichting 2 - Woningbouw

BENG2 – alle woningbouwdata



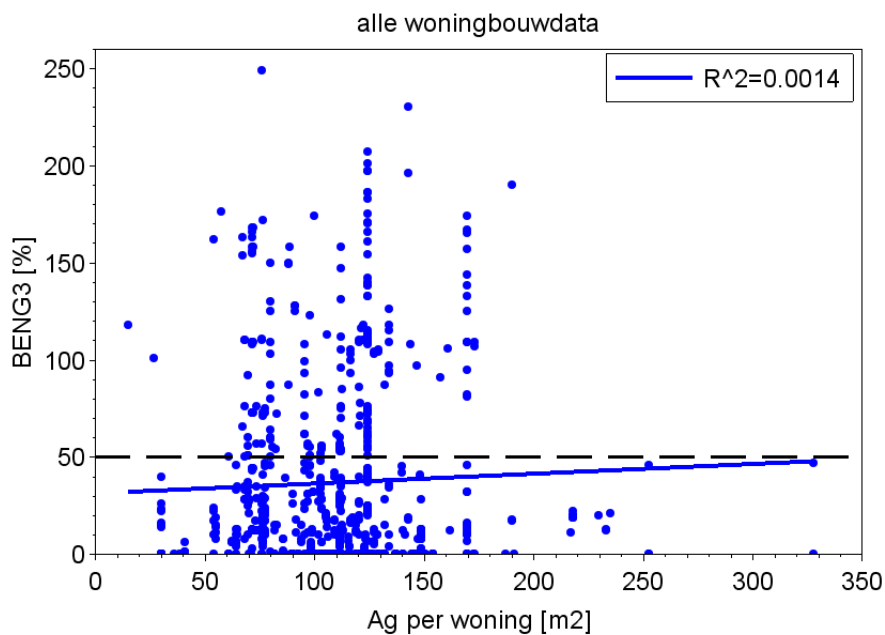
BENG2 – alle woningbouwdata gesorteerd o.b.v. EPC resultaat



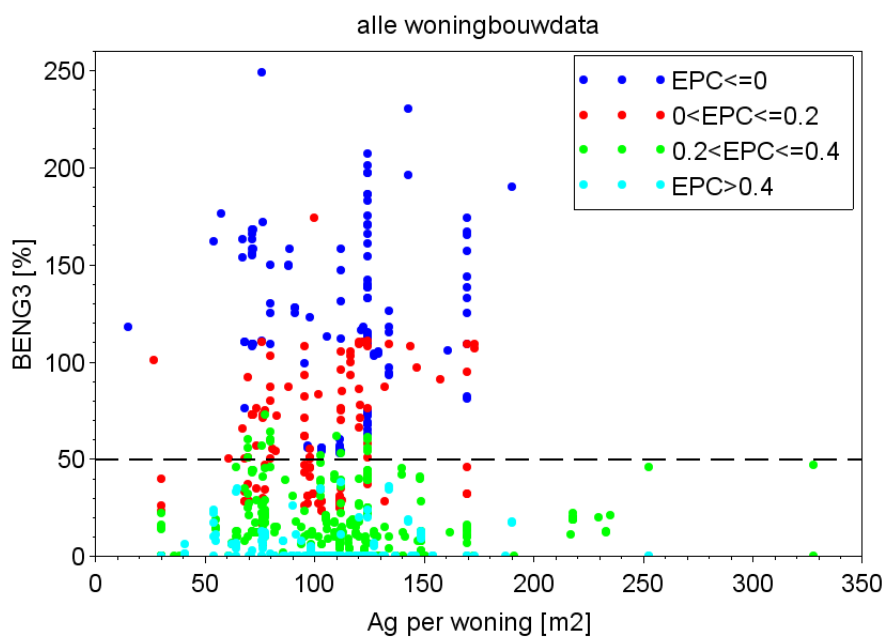
Bijlage 3

Oplossingsrichting 2 - Woningbouw

BENG3 – alle woningbouwdata



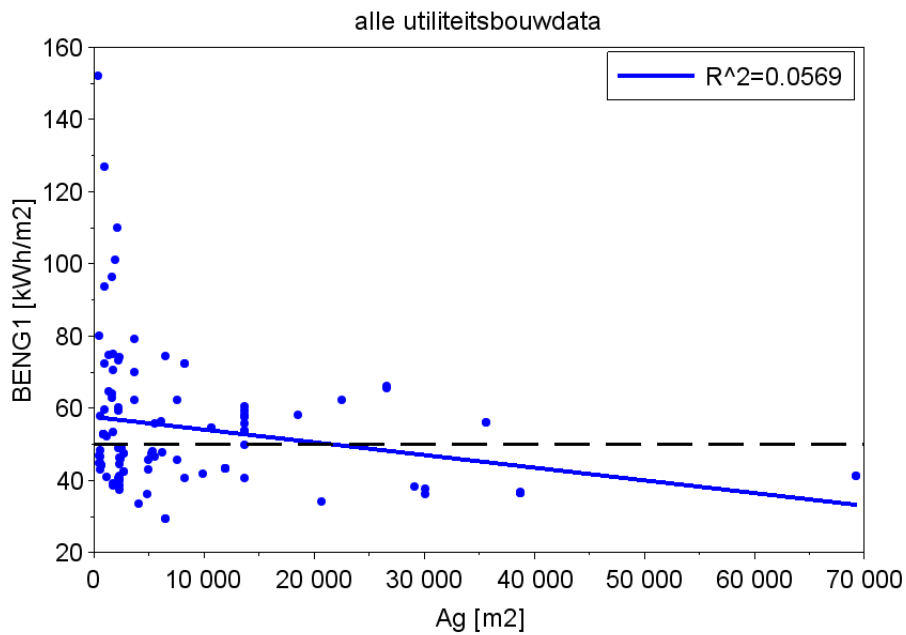
BENG3 – alle woningbouwdata gesorteerd o.b.v. EPC resultaat



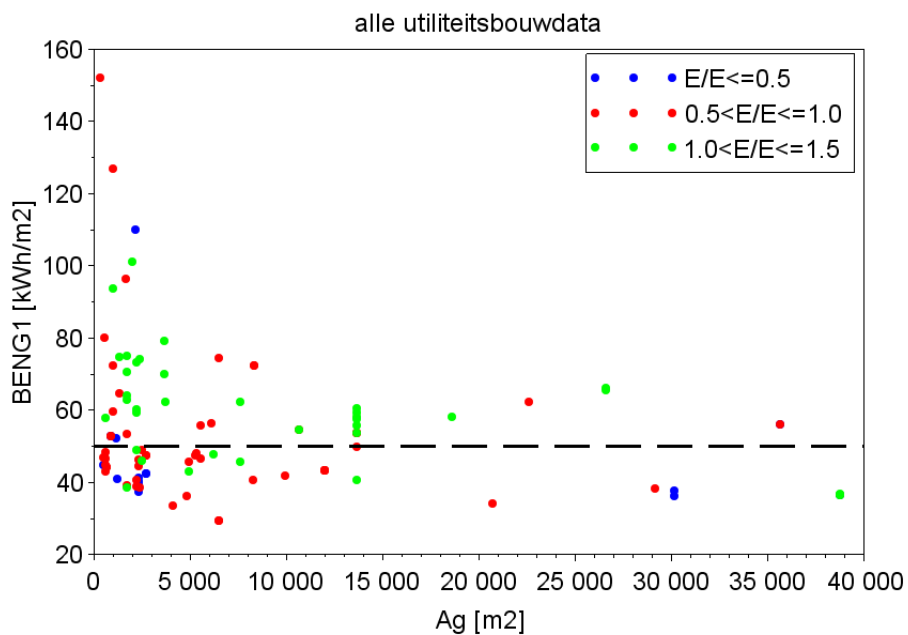
Bijlage 4

Oplossingsrichting 2 - Utiliteitsbouw

BENG1 – alle utiliteitsbouwdata



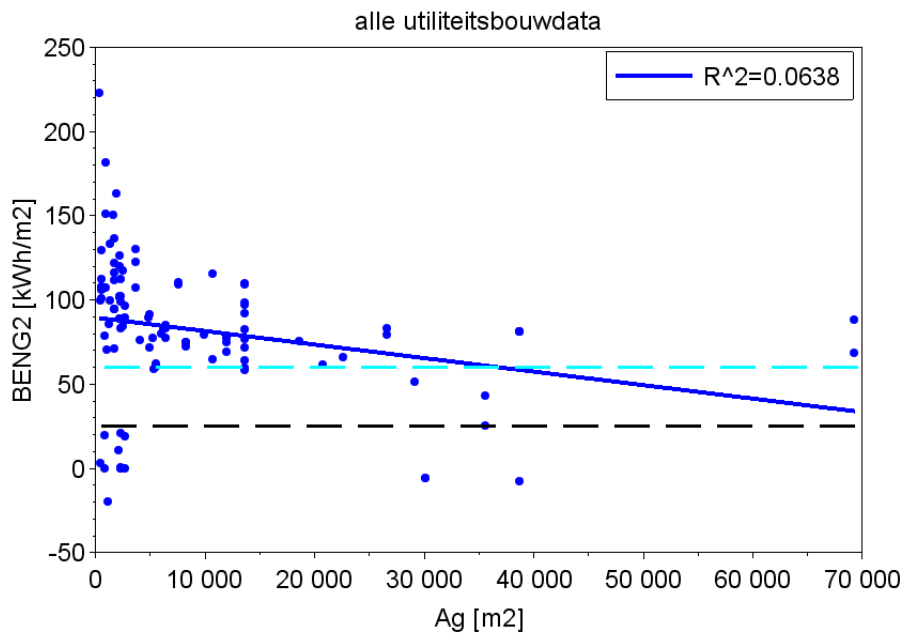
BENG1 – alle utiliteitsbouwdata gesorteerd o.b.v. E/E resultaat



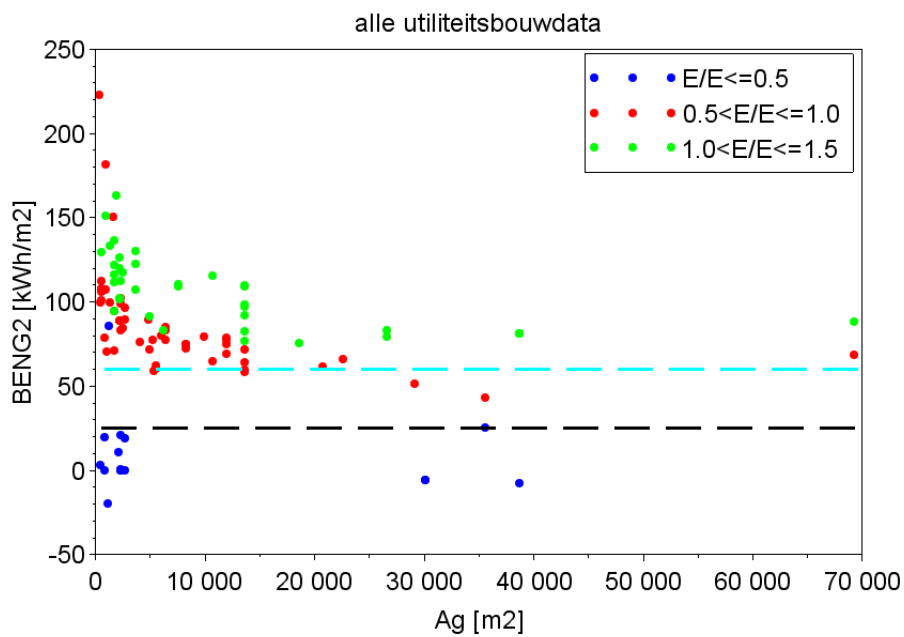
Bijlage 4

Oplossingsrichting 2 - Utiliteitsbouw

BENG2 – alle utiliteitsbouwdata



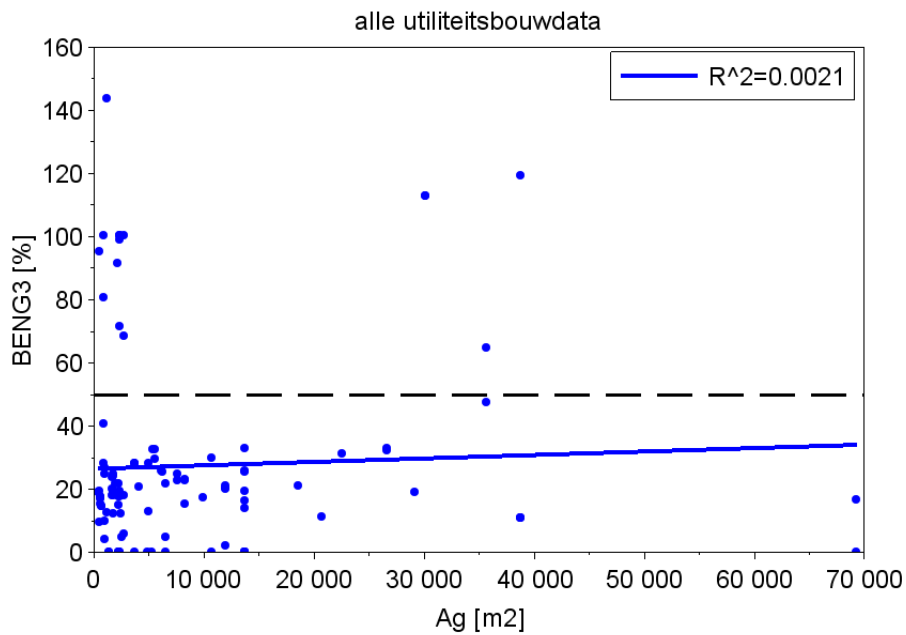
BENG2 – alle utiliteitsbouwdata gesorteerd o.b.v. E/E resultaat



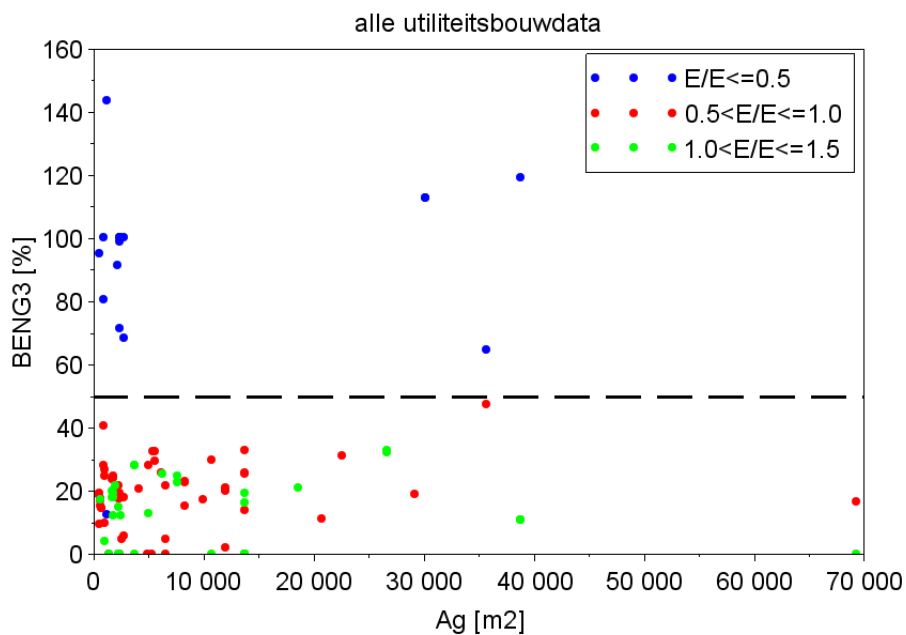
Bijlage 4

Oplossingsrichting 2 - Utiliteitsbouw

BENG3 – alle utiliteitsbouwdata



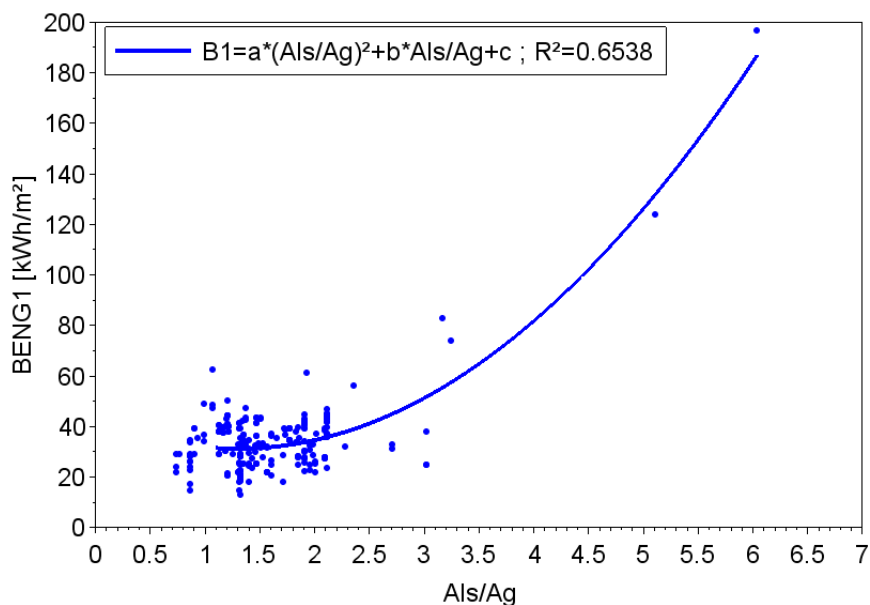
BENG3 – alle utiliteitsbouwdata gesorteerd o.b.v. E/E resultaat



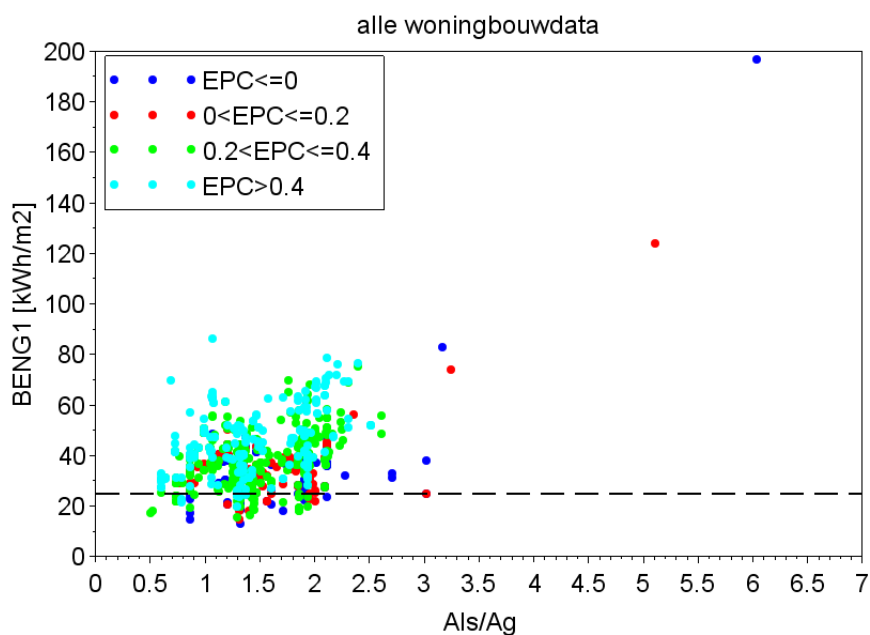
Bijlage 5

Oplossingsrichting 3 - Woningbouw

BENG1 – alle woningbouwdata



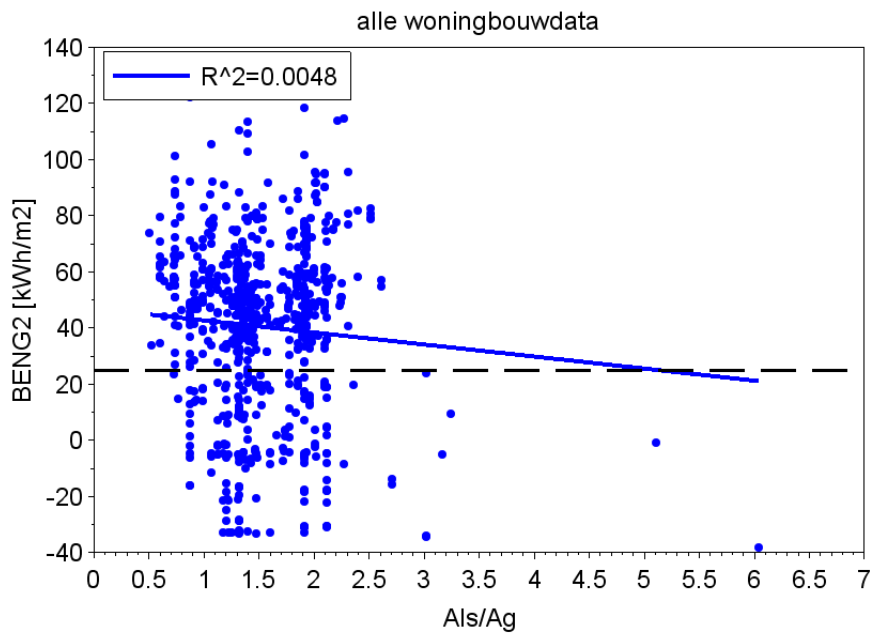
BENG1 – alle woningbouwdata gesorteerd o.b.v. EPC resultaat



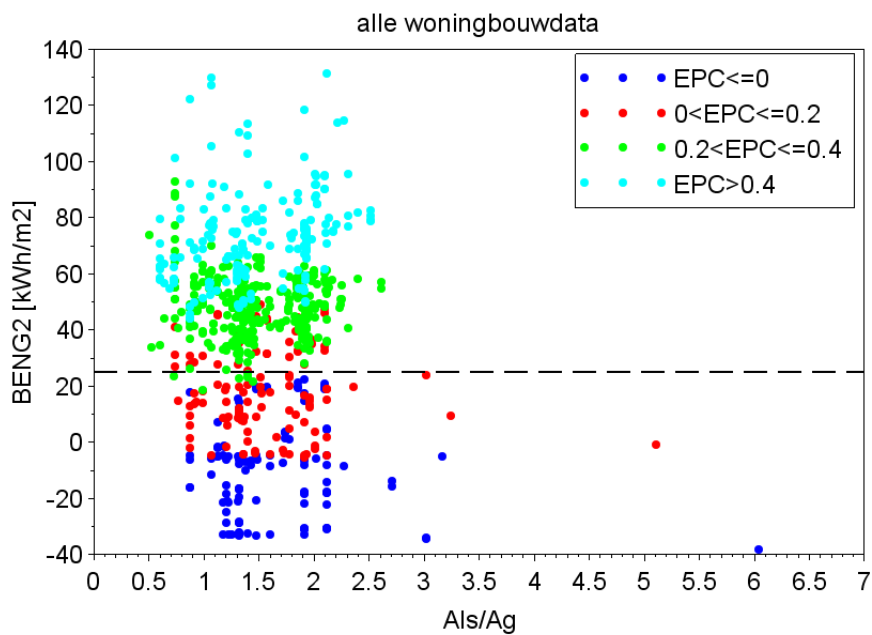
Bijlage 5

Oplossingsrichting 3 - Woningbouw

BENG2 – alle woningbouwdata



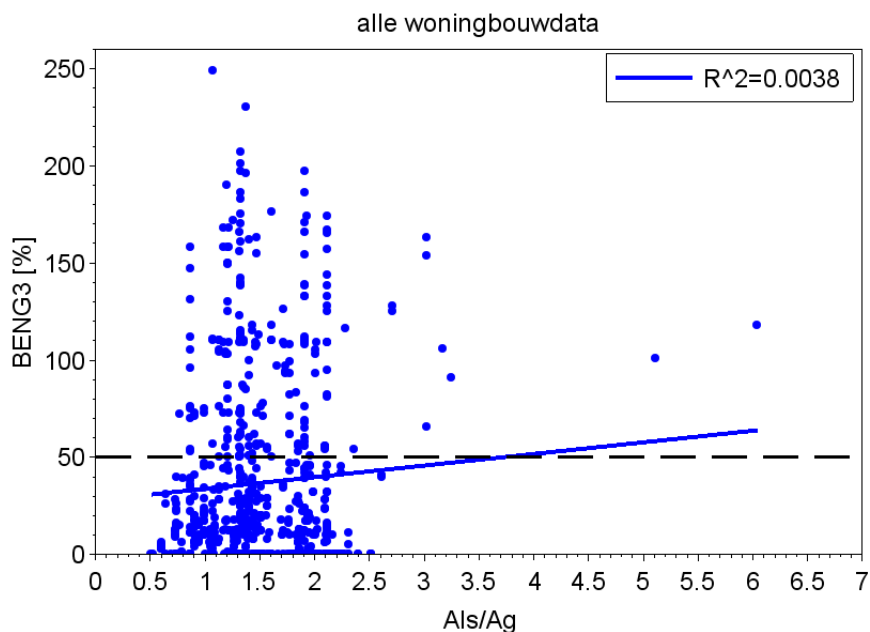
BENG2 – alle woningbouwdata gesorteerd o.b.v. EPC resultaat



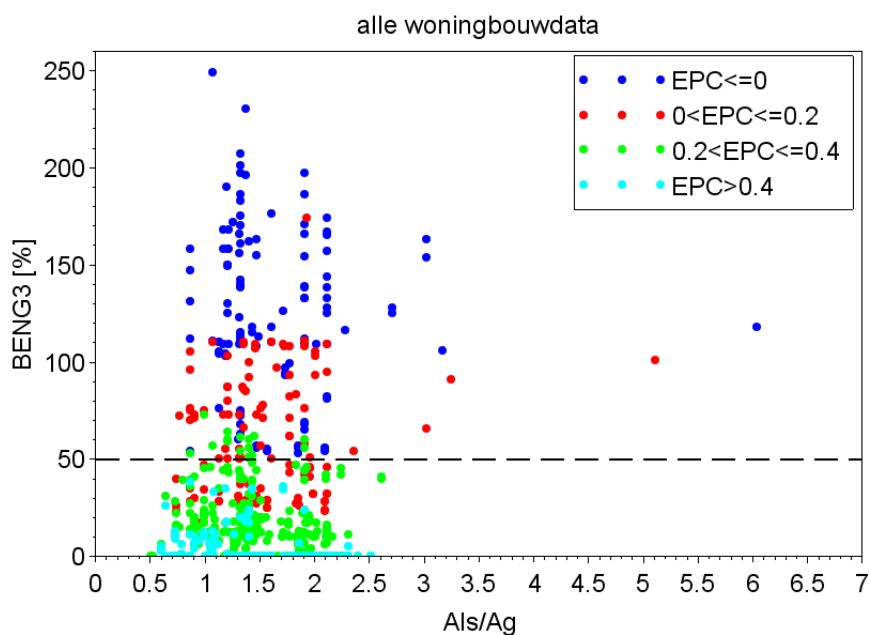
Bijlage 5

Oplossingsrichting 3 - Woningbouw

BENG3 – alle woningbouwdata



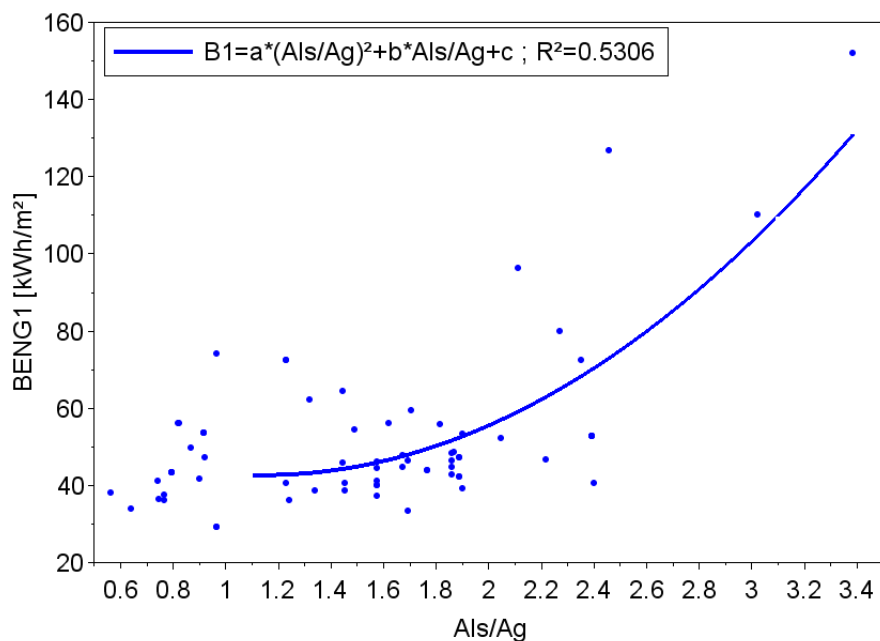
BENG3 – alle woningbouwdata gesorteerd o.b.v. EPC resultaat



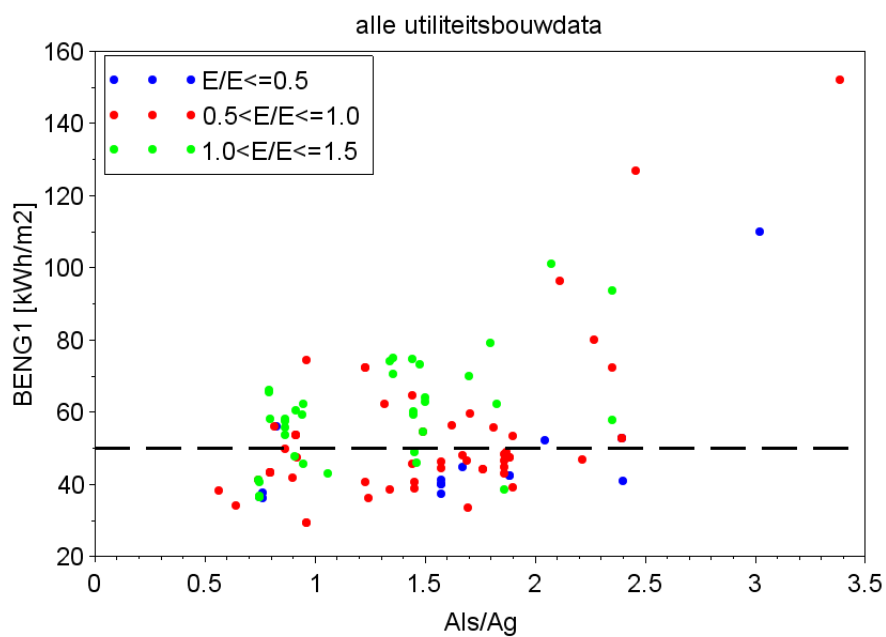
Bijlage 6

Oplossingsrichting 3 - Utiliteitsbouw

BENG1 – alle utiliteitsbouwdata



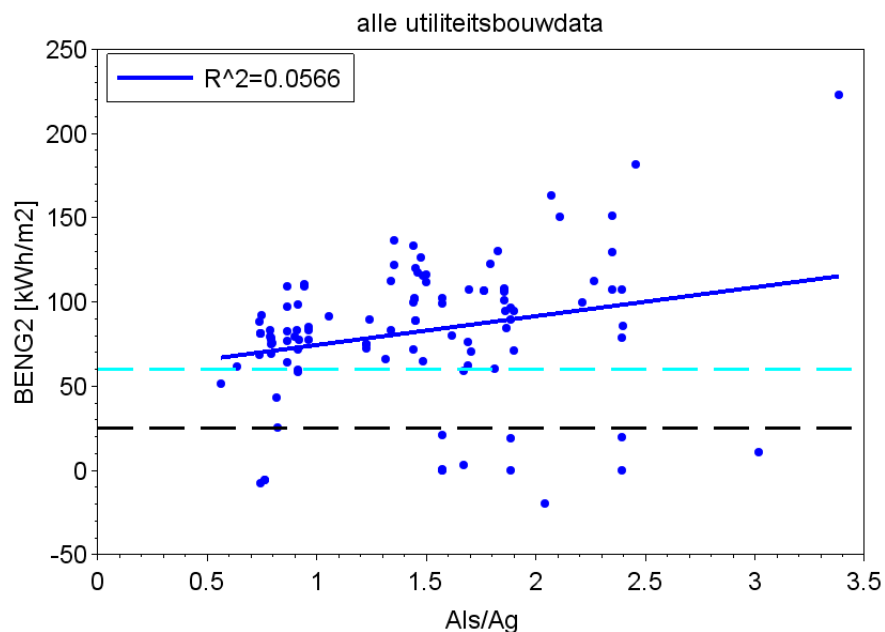
BENG1 – alle utiliteitsbouwdata gesorteerd o.b.v. E/E resultaat



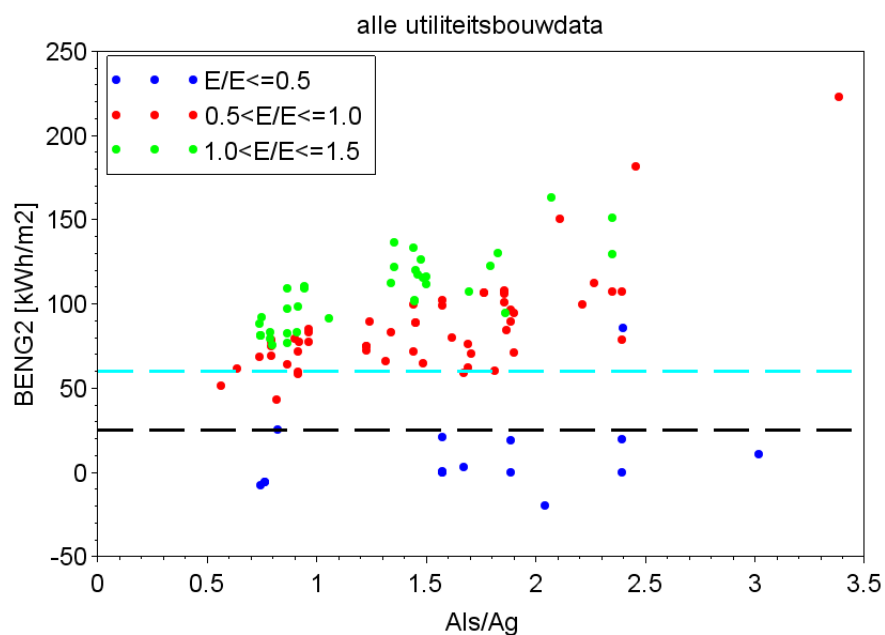
Bijlage 6

Oplossingsrichting 3 - Utiliteitsbouw

BENG2 – alle utiliteitsbouwdata



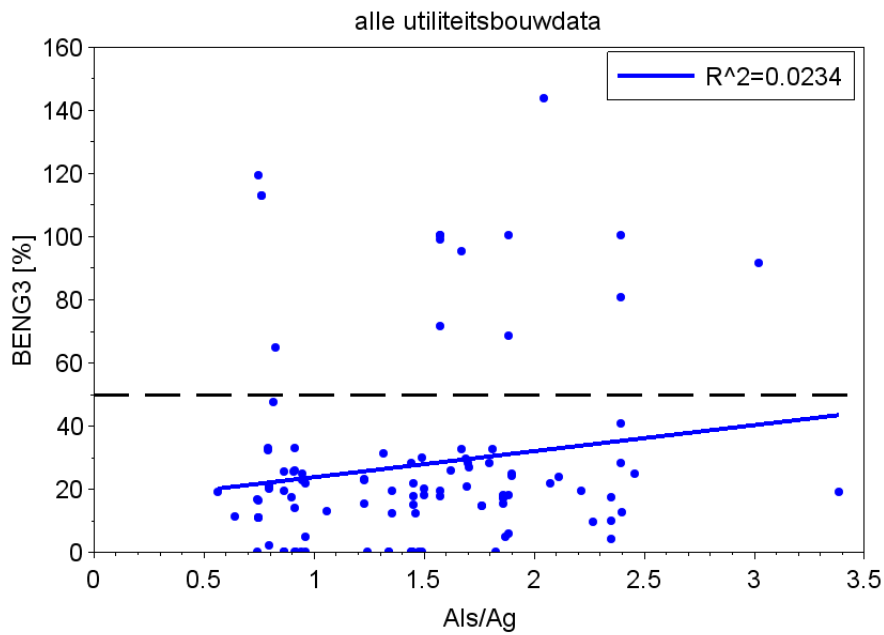
BENG2 – alle utiliteitsbouwdata gesorteerd o.b.v. E/E resultaat



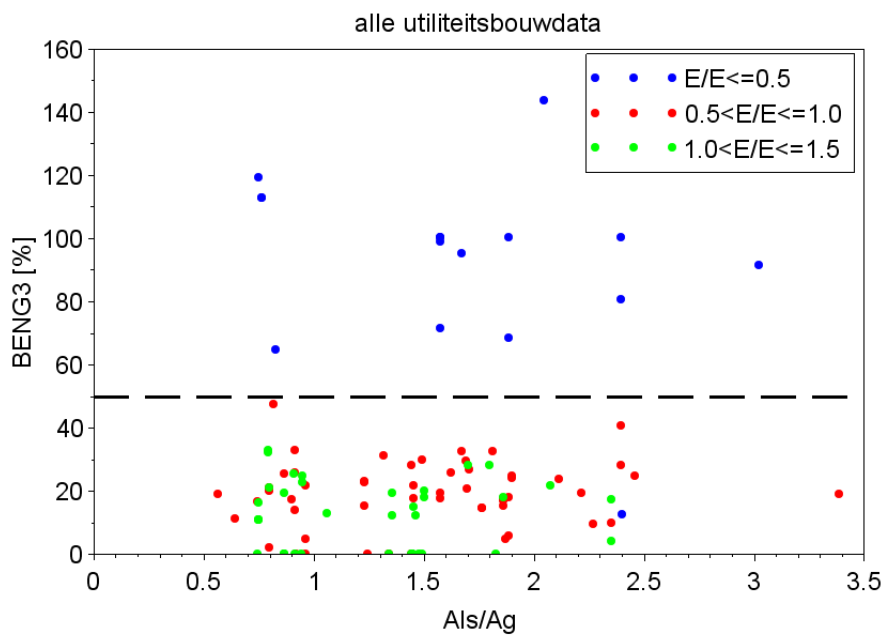
Bijlage 6

Oplossingsrichting 3 - Utiliteitsbouw

BENG3 – alle utiliteitsbouwdata



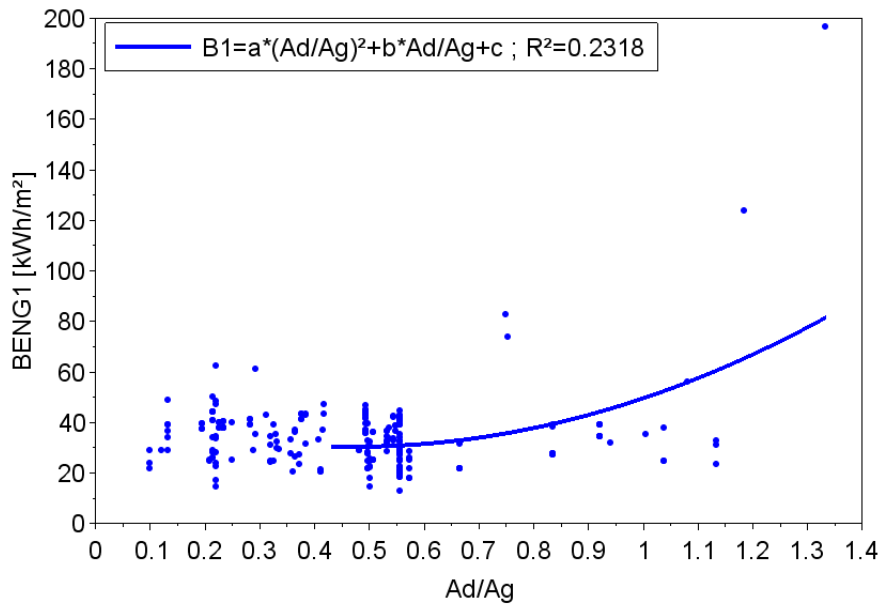
BENG3 – alle utiliteitsbouwdata gesorteerd o.b.v. E/E resultaat



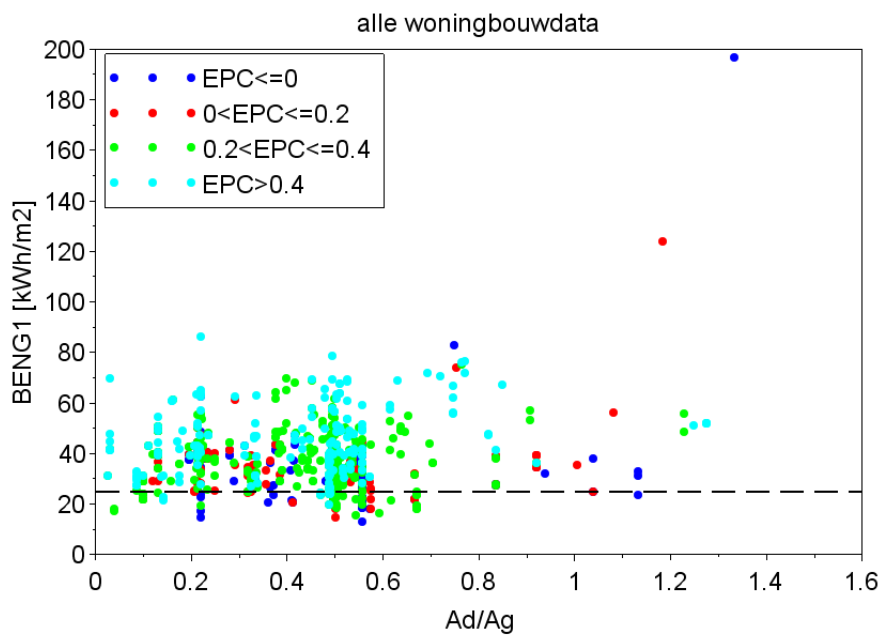
Bijlage 7

Oplossingsrichting 4 - Woningbouw

BENG1 – alle woningbouwdata



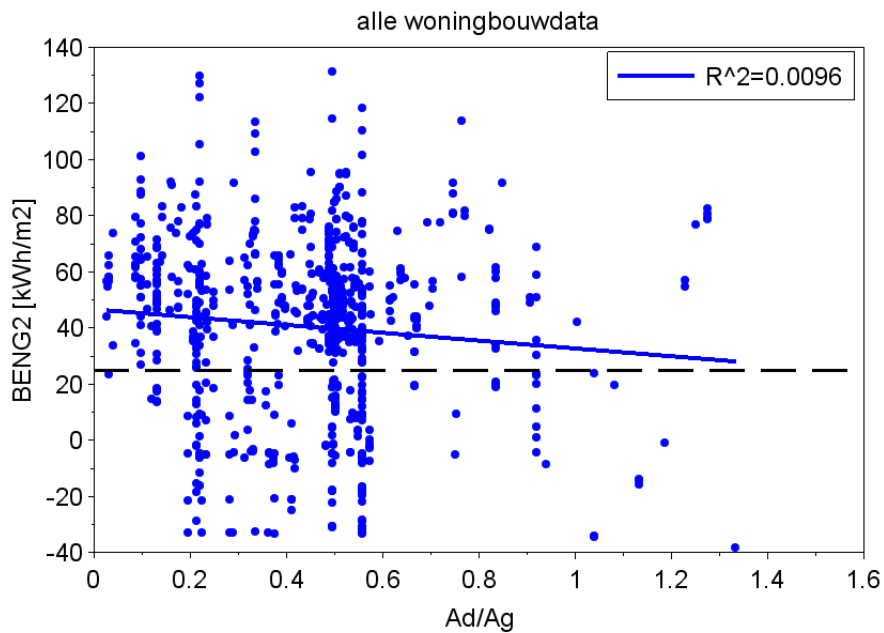
BENG1 – alle woningbouwdata gesorteerd o.b.v. EPC resultaat



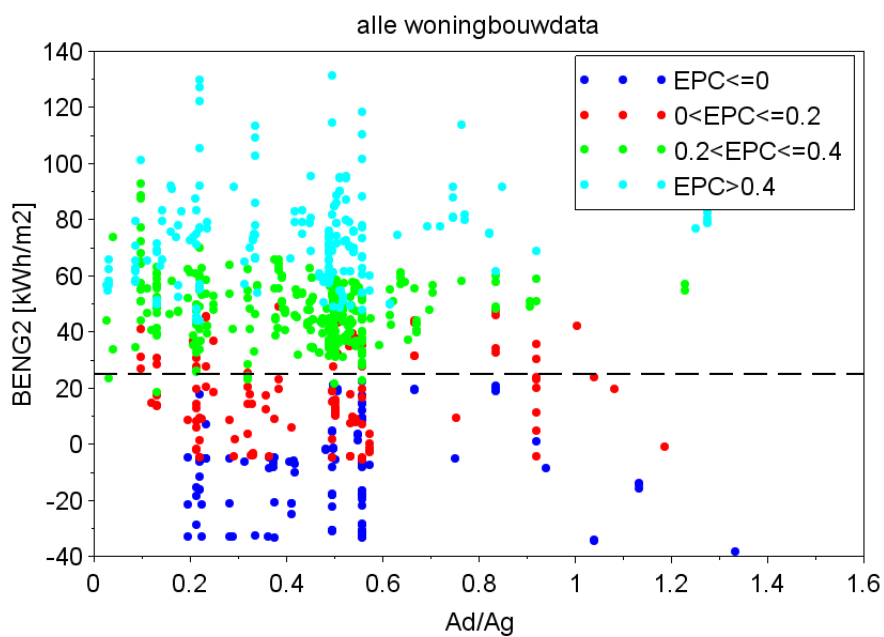
Bijlage 7

Oplossingsrichting 4 - Woningbouw

BENG2 – alle woningbouwdata



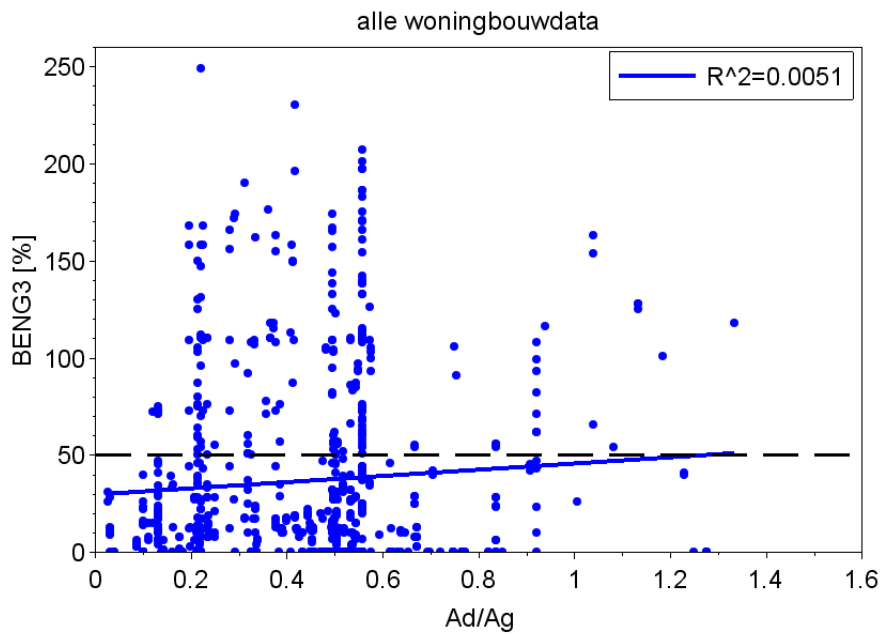
BENG2 – alle woningbouwdata gesorteerd o.b.v. EPC resultaat



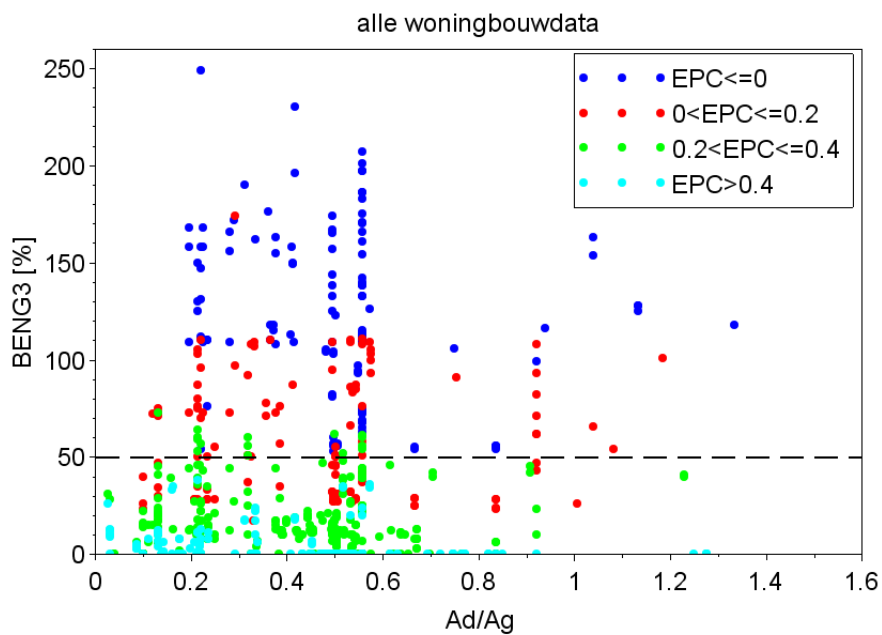
Bijlage 7

Oplossingsrichting 4 - Woningbouw

BENG3 - alle woningbouwdata



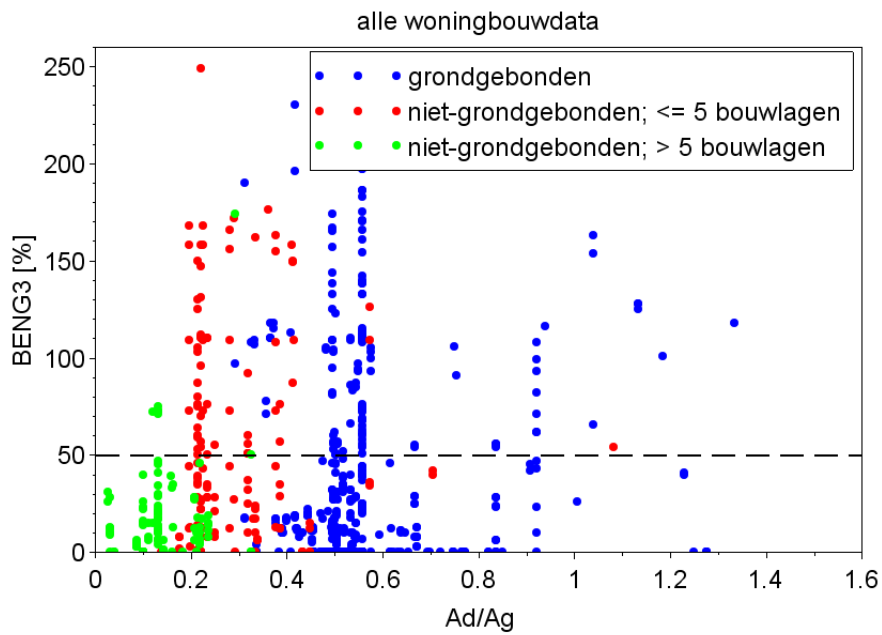
BENG3 - alle woningbouwdata gesorteerd o.b.v. EPC resultaat



Bijlage 7

Oplossingsrichting 4 - Woningbouw

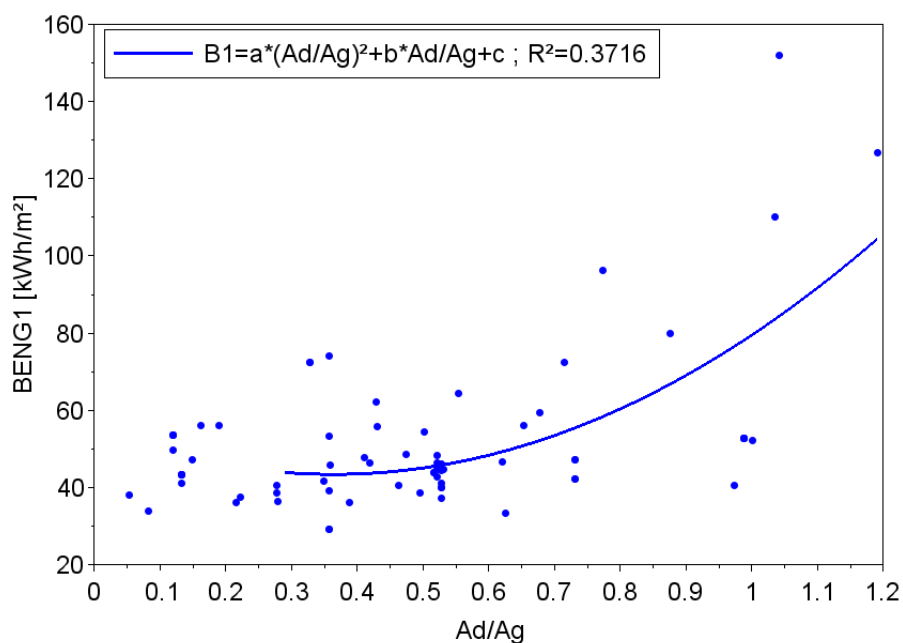
BENG3 - alle woningbouwdata



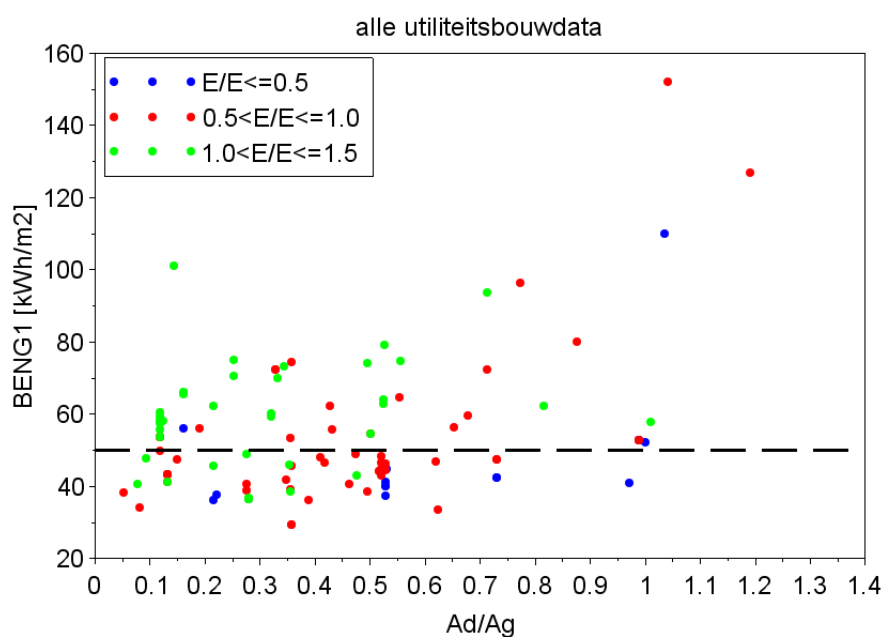
Bijlage 8

Oplossingsrichting 4 - Utiliteitsbouw

BENG1 – alle utiliteitsbouwdata



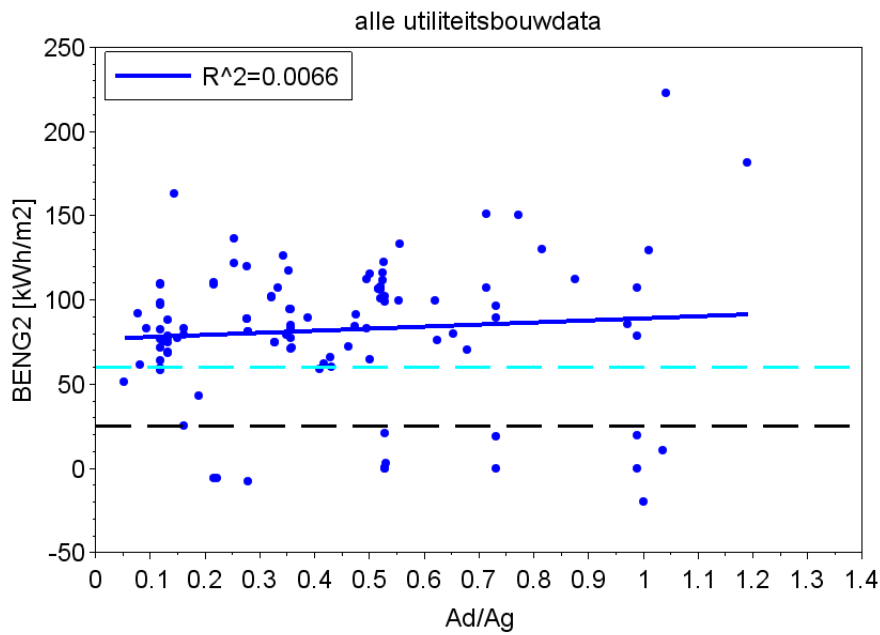
BENG1 – alle utiliteitsbouwdata gesorteerd o.b.v. E/E resultaat



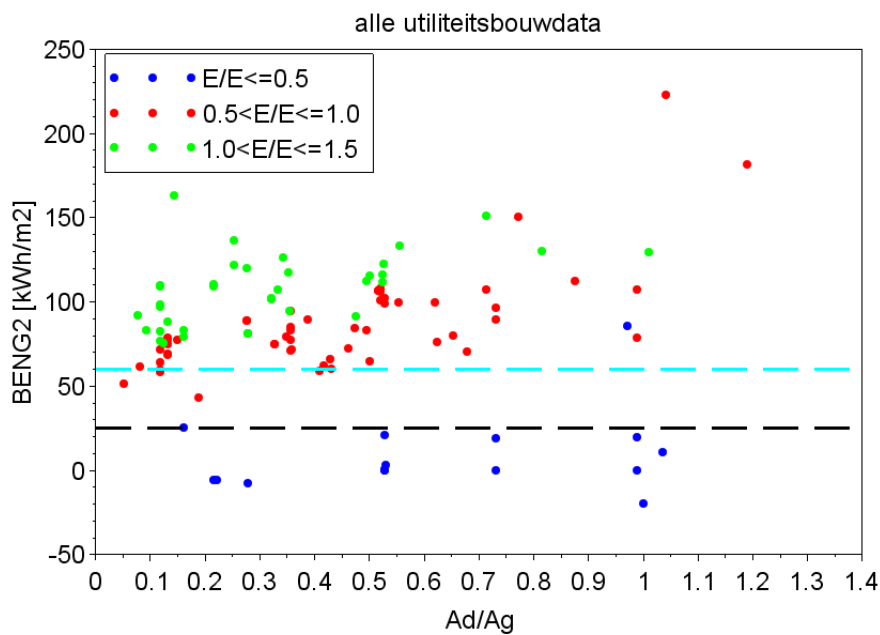
Bijlage 8

Oplossingsrichting 4 - Utiliteitsbouw

BENG2 – alle utiliteitsbouwdata



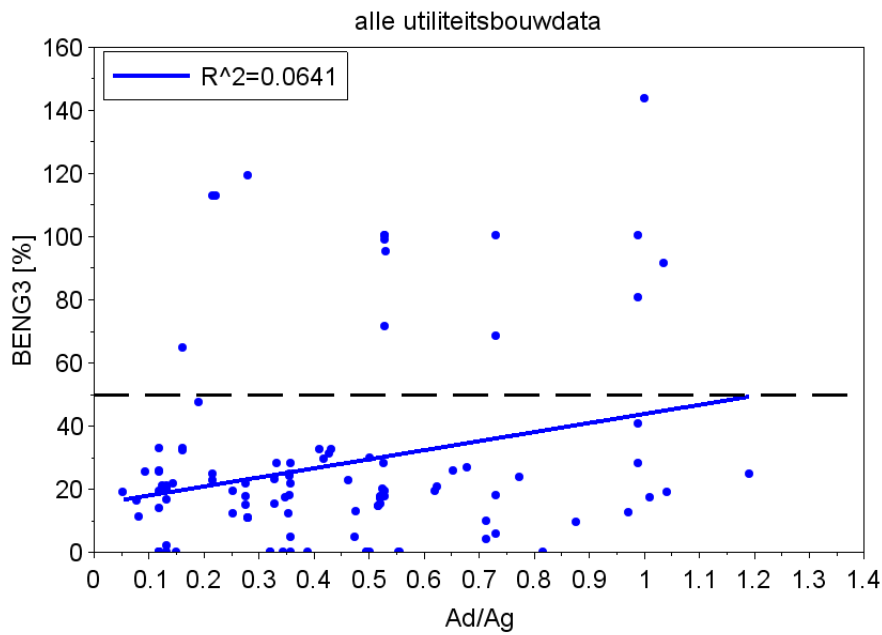
BENG2 – alle utiliteitsbouwdata gesorteerd o.b.v. E/E resultaat



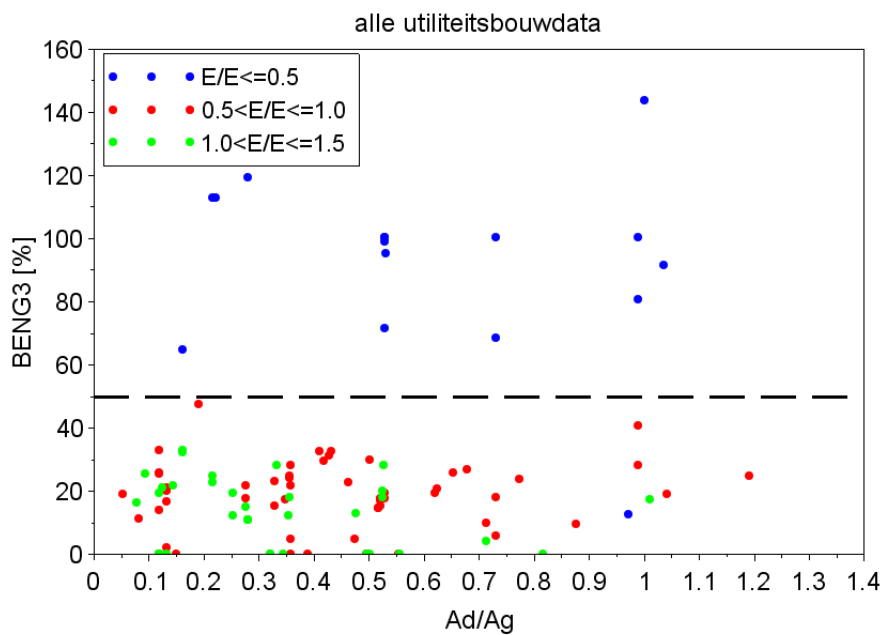
Bijlage 8

Oplossingsrichting 4 - Utiliteitsbouw

BENG3 – alle utiliteitsbouwdata



BENG3 – alle utiliteitsbouwdata gesorteerd o.b.v. E/E resultaat



Dit is een publicatie van:

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Croeselaan 15 | 3521 BJ Utrecht
Postbus 8242 | 3503 RE Utrecht
T +31 (0) 88 042 42 42
E klantcontact@rvo.nl
www.rvo.nl

Deze publicatie is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | maart 2018
Publicatienummer: RVO-046-1801/RP-DUZA

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl) stimuleert duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet- en regelgeving. RVO.nl werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie.

RVO.nl is een onderdeel van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.