

W/E rapport

Implicaties aanscherping BENG1

*Consequenties van scherpere eis BENG1 op $E_{H;nd}$,
BENG2, BENG3, TO_{juli} , $CO_{2(eq)}$ en MPG*

Implicaties aanscherping BENG1

*Consequenties van scherpere eis BENG1 op $E_{H;nd}$,
BENG2, BENG3, TO_{juli} , $CO_{2(eq)}$ en MPG*

Opdrachtgever

Lente-akkoord
Postbus 620, 2270 AP, Voorburg

Bezoekadres: Westeinde 28, Voorburg
Contactpersoon: ir. Claudia Bouwens
T 070 337 03 36| M 06 53 27 28 99| E cb@lente-akkoord.nl

Opdrachtnemer

W/E adviseurs
Jan van Hooffstraat 8^E, 5611 ED Eindhoven

Contactpersoon: Pieter Nuiten
T 040 - 235 8450 | M 06 – 2239 6192| E nuiten@w-e.nl

KvK: S 41172371 | BTW: NL 00 48 41 554 B01 | Triodos: NL06 TRIO 0198 3526 11

Projectnummer

W/E 30501



Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Aanleiding	3
1.2	Aanpak onderzoek	3
1.3	Leeswijzer	3
2	Varianten en uitgangspunten	4
2.1	Varianten	4
2.2	Uitgangspunten berekeningen	7
2.2.1	Energieprestatie	7
2.2.2	Milieuprestatie	8
3	Resultaat	10
3.1	BENG 1-2-3	10
3.2	BENG 1 en TO _{juli}	13
3.3	Netto warmtebehoefte $E_{H,nd}$	17
3.4	MPG	19
3.5	CO _{2(eq)} voor energie en materiaalgebruik	21
4	Conclusies en aanbevelingen	23
	Bijlage 1 Klankbordgroep/themagroep	25
	Bijlage 2 Resultaten	26



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Sinds 1 januari 2021 gelden BENG-eisen, als opvolger van de EPC, voor nieuwe gebouwen. Bij verschillende gemeenten¹ leeft de wens de BENG-eisen aan te scherpen, door lagere grenswaarden te stellen aan BENG1/BENG2 (energiebehoefte voor verwarmen en koelen / primaire fossiele energie) en een hogere aan BENG3 (aandeel hernieuwbare energie). Met de komst van de Omgevingswet (waarschijnlijk per 1 juli 2022) krijgen alle gemeenten de mogelijkheid om lokaal strengere eisen te stellen.

Aanscherpen van de BENG-grenswaarden heeft ook consequenties voor andere relevante indicatoren. In dit onderzoek is onderzocht wat de gevolgen zijn van een scherpere BENG1-eis voor de hoogte van de netto warmtebehoefte $E_{H;nd}$, BENG2, BENG3, TO_{juli} , $CO_{2(eq)}$ en MPG. BENG1 is gekozen als aangrijpingspunt omdat een scherpere BENG1 doorwerkt in BENG2/BENG3 maar ook direct van invloed is op TO_{juli} . Bovendien wordt BENG1 niet beïnvloed door installatietechnische parameters, een scherpere BENG1-eis is dus niet 'op te lossen' met meer zonnepanelen, waar dat bij BENG2/BENG3 wel het geval is.

W/E richt zich in dit onderzoek op grondgebonden woningen die representatief worden geacht voor de huidige seriematige woningbouw. Parallel heeft Nieman RI een gelijk onderzoek uitgevoerd voor gestapelde woningen. In deze studies is niet gekeken naar de kosten van de door te rekenen varianten, ook is niet gekeken naar wat een kostenoptimaal niveau zou zijn.

1.2 Aanpak onderzoek

In samenspraak met het Lente-akkoord, Nieman RI en een klankbordgroep (Lente-akkoord, diverse ontwikkelaars en gemeenten, zie Bijlage 1) zijn woningvarianten en te analyseren resultaten gekozen. Basis voor de varianten zijn woningen die representatief worden geacht voor de huidige seriematige woningbouw. De materialisatie sluit hier op aan. De woningvarianten zijn doorgerekend conform de NTA8800 met behulp van Uniec 3.0² en Bepalingsmethode 'Milieuprestatie Bouwwerken' versie 1.0, juli 2020 (MPG3.0). Uit de berekeningen resulteren de BENG1-2-3, netto warmtebehoefte $E_{H;nd}$, BENG2, BENG3, TO_{juli} , $CO_{2(eq)}$ en MPG.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de bouwstenen beschreven: de gekozen woningen en ontwerpvarianten. Daar volgen in hoofdstuk 3 de belangrijkste resultaten en bevindingen. Hoofdstuk 4 sluit af met conclusies en aanbevelingen.

¹ Zie bijvoorbeeld <https://www.amsterdam.nl/wonen-leefomgeving/beng-nieuwe-manier-bouwen/>

² Berekeningen zijn gemaakt in juni 2021 met versie 3.0.13.2

2 Varianten en uitgangspunten

2.1 Varianten

Voor het onderzoek zijn berekeningen gemaakt voor verschillende grondgebonden woningtypes (geometrieën) met een aantal varianten/uitvoeringen. De basisberekeningen (NTA8800 en MPG3.0) worden representatief geacht voor de huidige seriematige woningbouw, waarbij wordt voldaan aan de BENG1-2-3 eisen.

Van alle berekeningen wordt als resultaat gegeven: BENG1-2-3, netto warmtebehoefte $E_{H,nd}$, TO_{juli} , MPG, CO_{2eq} (uit energie en materiaal conform NTA8800 en NMD3.0).

Hieronder is beschreven hoe de woningen en varianten er globaal uitzien. Er is niet gevarieerd in de installaties voor ruimteverwarming, tapwater en/of ventilatie. Zonnepanelen zijn toegepast indien nodig voor het halen van de BENG2- en/of BENG3-eis.

Tabel 2.1 Overzicht van doorgerekende varianten

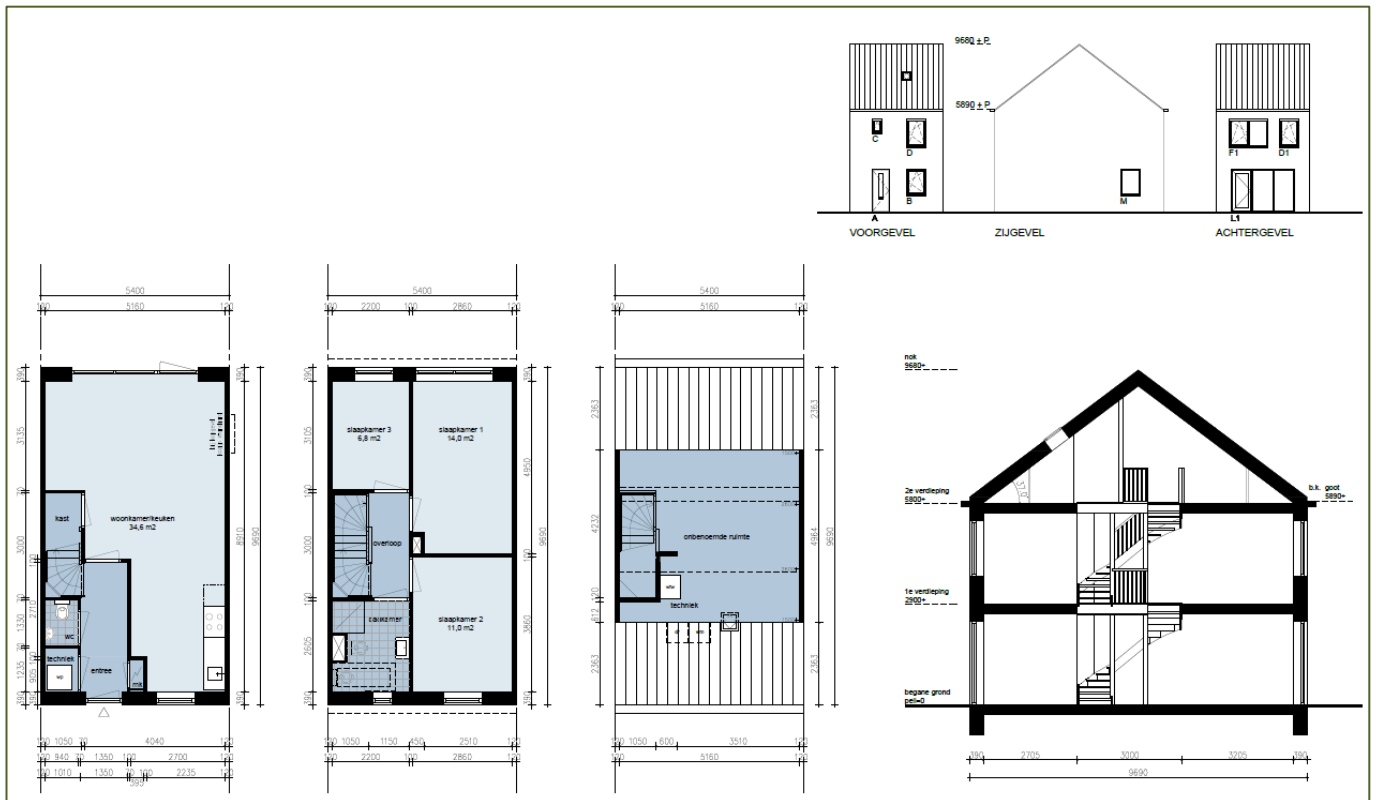
Basis	Geometrie	Casco	qw;10	th.brug.	vloer	gevel	dak	Uraam	ggl	Udeur	Screens	ZNV	Overstek	Voorgevel	Zonering	PV, tussen	PV, eind
1 Tussenwoning basis	basis	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	geen	geen	geen	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
Geometrie																	
2a Meer glas	meer glas	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	geen	geen	geen	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
2b Erker	erker	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	geen	geen	geen	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
2c Uitbouw	uitbouw	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	geen	geen	geen	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
2d Dakkapel	dakkapel	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	geen	geen	geen	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
Casco																	
3a Hout, forf., bakst.	basis	hout forf.	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	geen	geen	geen	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
3b Hout, bijlage B, bakst.	basis	hout det.	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	geen	geen	geen	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
3c Hout, bijlage B, houtbekl.	basis	hout det.	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	geen	geen	geen	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
Isolatie - tussen																	
4a Tussen iso	basis	steen	0,4	detail	5,0	6,0	7,0	1,2	0,60	1,6	geen	geen	geen	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
4b Tussen iso + ggl=0,45	basis	steen	0,4	detail	5,0	6,0	7,0	1,2	0,45	1,6	geen	geen	geen	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
4c Tussen iso + ggl=0,30	basis	steen	0,4	detail	5,0	6,0	7,0	1,2	0,30	1,6	geen	geen	geen	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
4d Tussen iso + triple glas	basis	steen	0,4	detail	5,0	6,0	7,0	0,8	0,45	1,4	geen	geen	geen	NO	1 zone	330 Wp	0 Wp
4e Tussen iso + screens	basis	steen	0,4	detail	5,0	6,0	7,0	1,2	0,60	1,6	donker	geen	geen	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
Isolatie - passief																	
5a Passief iso	basis	steen	0,15	detail	10	10	10	0,8	0,45	1,4	geen	geen	geen	NO	1 zone	330 Wp	330 Wp
5b Passief iso + ggl=0,30	basis	steen	0,15	detail	10	10	10	0,8	0,30	1,4	geen	geen	geen	NO	1 zone	330 Wp	0 Wp
5c Passief iso + screens	basis	steen	0,15	detail	10	10	10	0,8	0,45	1,4	donker	geen	geen	NO	1 zone	330 Wp	330 Wp
Zomerschil																	
6a Zonw. glas	basis	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,30	1,6	geen	geen	geen	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
6b Zonw. glas ggl=0,30 + znv. 1zijdig	basis	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,30	1,6	geen	enkel	geen	NO	1 zone	0 Wp	330 Wp
6c Zonw. glas ggl=0,30 + znv 2zijdig	basis	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,30	1,6	geen	dubbel	geen	NO	1 zone	0 Wp	330 Wp
6d Screens	basis	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	donker	geen	geen	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
6e Screens + znv 1zijdig	basis	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	donker	enkel	geen	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
6f Screens + znv 2zijdig	basis	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	donker	dubbel	geen	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
6g Overstekken	basis	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	geen	geen	ZO-Z-ZW	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
6h znv 1zijdig	basis	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	geen	enkel	geen	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
6i znv 2zijdig	basis	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	geen	dubbel	geen	NO	1 zone	0 Wp	0 Wp
Oriëntatie voorgevel																	
7a Zuidoost	basis	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	geen	geen	geen	ZO	1 zone	0 Wp	0 Wp
7b Noordwest	basis	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	geen	geen	geen	NW	1 zone	0 Wp	0 Wp
7c Zuidwest	basis	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	geen	geen	geen	ZW	1 zone	0 Wp	0 Wp
Zonering																	
8a Twee rekenzones	basis	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	geen	geen	geen	NO	2 zones	0 Wp	0 Wp
8b Twee rekenzones (bg)	basis	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	geen	geen	geen	NO	BG	0 Wp	0 Wp
8c Twee rekenzones (verd. 1+2)	basis	steen	0,5	detail	3,7	4,7	6,3	1,6	0,60	1,6	geen	geen	geen	NO	1e + 2e	0 Wp	0 Wp

1. Basisberekeningen

Er zijn drie verschillende woningtypen/geometrieën beschouwd. Varianten zijn alleen doorgerekend voor de tussen- en eindwoning.

- Tussenwoning langskap beukmaat 5,40 meter $A_g = 124 \text{ m}^2$ $A_{I_s}/A_g = 1,32$
- Eindwoning langskap beukmaat 6,00 meter $A_g = 138 \text{ m}^2$ $A_{I_s}/A_g = 1,80$
- Woning met sterk afwijkende geometrie: levensloopbestendige tussenwoning langskap beukmaat 6,30 meter $A_g = 103 \text{ m}^2$ $A_{I_s}/A_g = 1,75$

Onderstaande figuren geven de plattegronden en doorsnedes van de tussenwoning. De eindwoning is vergelijkbaar maar iets breder.



Figuur 1 Plattegronden en doorsnedes tussenwoning

Uitgangspunten op hoofdlijnen

- Steenachtig casco (prefab beton).
- Oriëntatie van de voorgevel op noordoost.
- Isolatiewaarden thermische schil conform minimeisen Bouwbesluit
 - R_c -waarden = 3,7 / 4,7 / 6,3 $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ voor vloer / gevel / dak.
 - HR⁺⁺-glas met $U_{w(\text{indow})} = 1,6 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, $g_{gl} = 0,6$ / $U_{d(\text{eur})} = 1,6$
 - Geen zonwerend glas, geen zonwering en geen zomernachtventilatie.
- Infiltratie $q_{v,10} = 0,5 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$.
- Lineaire koudebruggen gedetailleerd.
- De woning wordt beschouwd als één rekenzone.
- Installaties:
 - Elektrische combiwarmtepomp bron buitenlucht voor ruimteverwarming en tapwater.
 - Gebalanceerde mechanische ventilatie met mechanische luchttoe- en afvoer D2.
 - Geen zonnepanelen.



2. Effect geometrie

Van de tussen- en de eindwoningen zijn vier aanvullende geometrieën doorgerekend:

- a) Verhouding gevel oppervlak open/dicht: meer glasoppervlakte.
- b) Erker.
1m diep en 3,1m breed, gesitueerd aan de voorgevel.
- c) Uitbouw.
2,4m diep en 5,4m of 6,0 breed afhankelijk van beukmaat woning, gesitueerd aan de achtergevel.
- d) Dakkapel.
2m diep en 3m breed, gesitueerd aan het achter dakvlak, aangevuld met een klein dakvenster aan het voor dakvlak.

Bij de varianten die hieronder beschreven worden beschouwen we alleen de basisgeometrie, dus niet de combinatie met meer glas, uitbouw, erker of dakkapel.

3. Effect casco

Casco uitgevoerd in hout variant:

- Begane grond vloer en fundering: beton (gelijk aan steenachtige variant).
- Verdiepingsvloeren: CLT + zandcementdekvloer.
- Wonningscheidende wanden: CLT.
- Gevels binnenblad: HSB.
- Varianten gevels buitenblad: baksteen metselwerk en houten gevelbekleding.
- Dak: prefab houten dakelementen (gelijk aan steenachtige variant).

Relevant voor BENG1-2-3 en TO_{juli} is uiteindelijk de thermische capaciteit van het gebouw.

- a) Forfaitair $180 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ (Tabel 7.10 NTA8800) met een baksteen metselwerk buitenblad.
- b) Berekend conform bijlage B NTA8800 (tussenwoning $249 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ en eindwoning $240 \text{ kJ/m}^2\text{K}$) met een baksteen metselwerk buitenblad.
- c) Berekend conform bijlage B NTA8800 (tussenwoning $249 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ en eindwoning $240 \text{ kJ/m}^2\text{K}$) met houten gevelbekleding.

4. Effect bouwkundige schil 'winter', isolatie op 'tussenniveau'

Maatregelen die vooral effect hebben op het beperken van de warmtebehoefte in de winter. Voor alle varianten geldt:

- $R_c = 5,0 / 6,0 / 7,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ voor vloer / gevel / dak.
- Lineaire koudebruggen gedetailleerd (Ψ -waarden gelijk aan basisuitvoering).
- Infiltratie $q_{v,10} = 0,4 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$.

Daarnaast gelden de volgende waarden:

- a) $U_d = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, HR++ glas $U_w = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{gl} = 0,60$.
- b) $U_d = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, HR++ glas $U_w = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{gl} = 0,45$ (tussen ZO-ZW).
- c) $U_d = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, HR++ glas $U_w = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{gl} = 0,30$ (tussen ZO-ZW).
- d) $U_d = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, Triple glas $U_w = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{gl} = 0,45$.
- e) $U_d = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, HR++ glas $U_w = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{gl} = 0,60$ en zwarte/donkere screens tussen ZO-ZW.

5. Effect bouwkundige schil 'winter', isolatie op 'passiefhuisniveau'

Maatregelen die vooral effect hebben op het beperken van de warmtebehoefte in de winter. Voor alle varianten geldt:

- $R_c = 10 \text{ m}^2\text{K/W}$ voor vloer / gevel / dak.
- Lineaire koudebruggen gedetailleerd (Ψ -waarden gelijk aan basisuitvoering).
- Infiltratie $q_{v,10} = 0,15 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$.

Daarnaast gelden de volgende waarden:

- a) $U_d = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, Triple glas $U_w = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{gl} = 0,45$.
- b) $U_d = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, Triple glas $U_w = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{gl} = 0,30$ (tussen ZO-ZW).



- c) $U_d = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, Triple glas $U_w = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{gl} = 0,45$ en zwarte/donkere screens tussen ZO-ZW.

6. Effect bouwkundige schil 'zomer'

Maatregelen die vooral effect hebben op het beperken van de koudebehoefte in de zomer. Bouwkundige uitgangspunten als beschreven bij 'Basis', maar met de variaties:

- Zonwerend glas, $g_{gl} = 0,30$ (tussen ZO-ZW).
- Zonwerend glas, $g_{gl} = 0,30$ (tussen ZO-ZW) met éézijdige zomernachtventilatie.
- Zonwerend glas, $g_{gl} = 0,30$ (tussen ZO-ZW) met tweezijdige zomernachtventilatie.
- Zonwering, zwarte/donkere screens (tussen ZO-ZW).
- Zonwering, zwarte/donkere screens (tussen ZO-ZW) met éézijdige zomernachtventilatie.
- Zonwering, zwarte/donkere screens (tussen ZO-ZW) met tweezijdige zomernachtventilatie.
- Overstekken 1,3m diep op achtergevel, 0,8m diep op zijgevel (tussen ZO-ZW).
- éézijdige zomernachtventilatie
- tweezijdige zomernachtventilatie

Bij éézijdige zomernachtventilatie is een zomernachtventilatielukkig van $0,71 \text{ m}^2$ toegepast, bij tweezijdige zomernachtventilatie is dit uitgebreid met een zomernachtventilatielukkig van $0,77 \text{ m}^2$. In verband met de daglichttoetreding wordt een deel van de dichte geveldelen uit de basisuitvoeringen vervangen voor de zomernachtventilatielukken. De lukken hebben een lagere isolatie waarde dan de dichte gevel, waardoor de gemiddelde U-waarde van de gebouwschil omhoog gaat.

7. Effect oriëntatie

De voorgevel van de basiswoningen ligt op noordoost. Als variatie is de woning gedraaid, met de voorgevel op:

- Zuidoost.
- Noordwest.
- Zuidwest.

8. Effect zonering

De basiswoning is beschouwd als één rekenzone (gebied met gelijke installaties en gelijke thermische capaciteit). De TO_{juli} -eis wordt gesteld op niveau van een rekenzone, terwijl de BENG-eisen gelden per woonfunctie. Verdeling in meerdere rekenzones moet onder sommige omstandigheden, maar mag altijd. Er is een variant doorgerekend waarbij de woning in 2 zones is onderverdeeld (BG / verdiepingen). Dat geeft 3 sets resultaten:

- Gehele woning, 2 zones samen.
- 1 zone: begane grond.
- 1 zone: eerste en tweede verdieping.

2.2 Uitgangspunten berekeningen

2.2.1 Energieprestatie

Voor bepaling van BENG1-2-3, netto warmtebehoefte $E_{H,nd}$, TO_{juli} en CO_2 emissie door operationeel energiegebruik van de varianten zijn energieberekeningen opgesteld conform NTA8800. Deze energieberekeningen zijn opgesteld in softwareprogramma Uniec3, versie 3.0.13.2.

Uitgangspunten geometrie, installaties, gebouwmassa t.b.v. interne warmtecapaciteit, isolatiewaarden, luchtdichtheid, lineaire koudebruggen, zonwerende maatregelen, oriëntaties en verdeling zonering staan in de voorgaande paragraaf beschreven.



Het aantal zonnepanelen is afgestemd op het voldoen aan de BENG2- en BENG3-eisen. In sommige gevallen is dan slechts één paneel nodig om aan de eisen te voldoen. Dat is echter geenszins een pleidooi om dan ook woningen met één paneel te bouwen.

CO₂-emissie

De CO₂-emissie door operationeel energiegebruik is exclusief indirecte emissies. Er is gerekend met de forfaitaire waarden uit NTA 8800, zie Tabel 2.2. Voor aardgas correspondeert dit met 1,79 kg/m³.

In de toekomst zal de CO₂-emissie van de elektriciteitsopwekking in Nederland gaan dalen door grootschaliger toepassing van wind- en zonne-energie³. Dat verwachte effect is niet verdisconteerd. Het kentel uit de NTA8800 is de verwachting voor 2020 uit de Nationale Energieverkenning 2017.

Tabel 2.2 CO₂-emissiekentallen uit NTA8800+A1:2020

Tabel 5.3 — CO₂-emissiecoëfficiënten, $K_{CO_2,ci}$, per soort brandstof

Energiedrager (ci)	Aangeleverde energie $K_{CO_2,del,ci}$ kg/kWh	Op eigen perceel gebruikte zelf geproduceerde energie $K_{CO_2,per,us,ci}$ ^a kg/kWh	Geëxporteerde energie $K_{CO_2,exp,ci}$ kg/kWh
Elektriciteit (el)	0,34	0,34	0,34
Aardgas (gas)	0,183	N.v.t.	N.v.t.
Stookolie (oil)	0,260	N.v.t.	N.v.t.
Biomassa (bm) voor met een vaste biomassa gestookte kachels en ketels die vallen onder het Activiteitenbesluit	0,0 ^c	N.v.t.	N.v.t.

2.2.2 Milieuprestatie

Voor bepaling van MPG scores en CO_{2eq} uit materiaalgebruik zijn Milieuprestatie Gebouw (MPG) berekeningen opgesteld conform MPG3.0. De MPG berekeningen zijn opgesteld in GPR Materiaal versie 5.2.0 met gebruik van de productendatabase d.d. 28 mei 2021 van de Nationale Milieudatabase versie 3.0 (NMD3.0).

Afbakening gebouw

De MPG geeft de volgende afbakening mee:

- de buitenkant van de uitwendige scheidingsconstructie van het gebouw met alle daar binnen gelegen relevante elementen;
- alle constructieonderdelen en installaties waaraan overige technische voorschriften van het Bouwbesluit zijn verbonden;
- dit betreft ook de niet-gebouwgebonden installatiesystemen, die nodig zijn voor het functioneren van een aangewezen gebruiksfunctie;
- dit is voor woningen inclusief elektriciteitsleidingen en aarding;
- verlichting is bij de functie wonen uitgesloten, uitgezonderd de gemeenschappelijke ruimten;
- installaties, zoals voor communicatie, rook- en brandmelding, voorkomen van criminaliteit en veilig onderhoud blijven buiten beschouwing;
- buiten het gebouw gelegen aansluitingen op nutsvoorzieningen (tot aan het aansluitpunt), zoals buitenriolering en aansluitingen op externe energieleveringen moeten wel meegenomen worden;
- dat geldt ook voor de buiten de kavel gelegen systeemonderdelen voor externe energielevering voor zover deze ten dienste staat van het voldoen aan de energieprestatie.

³ <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2020>



Materialisatie

Voor de materialisatie is uitgegaan van de huidige veelal gebruikte materialen voor woningbouw. Voor de basisuitvoering is uitgegaan van een casco van prefab beton, traditionele opbouw van gevels en prefab houten dakelementen. Afwijkende varianten zijn de varianten uitgevoerd in hout. De materialisatie volgt de uitgangspunten als beschreven in paragraaf 2.1. Er is in de MPG gebruik gemaakt van een mix van categorie 1, 2 en categorie 3 producten. Voor beton en HSB is cat.2 gebruikt, voor CLT cat.1 (Derix XLAM), voor zonnepanelen en triple glas is cat. 3 gebruikt.

Geometrie, isolatiewaarden, glastypen, installaties en externe energielevering zijn conform de energieberekeningen. Voor externe energielevering is het elektriciteitsgebruik op de meter voor de gebouwgebonden installaties aangehouden minus de eventuele elektriciteitsopwekking door zonnepanelen.

CO₂-emissie

De MPG bepaalt de milieuprestatie op basis van 11 milieueffecten (19 milieu-impactcategorieën per 01-01-2021⁴). Klimaatverandering/ Global Warming Potential, uitgedrukt in CO₂-equivalenten⁵, valt hieronder.

In de MPG wordt de milieubelasting als gevolg van de materialisatie van het gas- en elektriciteitsnetwerk mee genomen. Hoewel ook het operationeel energiegebruik een invoerparameter is voor de MPG-berekening, telt de directe CO₂-emissie ten gevolge van dat gebruik (verbranden van aardgas of andere fossiele brandstoffen, in de woning of in een elektriciteitscentrale) niet mee in de MPG.

Het totale milieueffect voor de MPG wordt berekend over een periode van 75 jaar (forfaitaire aanname gebouwlevensduur woningen). De emissie is (anders dan bij energie) niet jaarlijks gelijk. Een groot deel van de emissie vindt plaats bij de winning van grondstoffen en de productie/transport van bouwmaterialen. Negatieve (vermeden) emissies kunnen optreden op het einde van de levensduur van het materiaal/gebouw. In dit rapport zijn de emissies over de gebouwlevensduur van 75 jaar opgeteld en gedeeld door 75 om deze beter te kunnen vergelijken met de CO₂-emissie door operationeel energiegebruik. Ook bij de MPG is geen rekening gehouden met een verwachte vergroening van energie die nodig is voor het winnen, produceren en transporteren van bouwmaterialen. Naar verwachting zal dat leiden tot lagere milieubelasting.

⁴ Het resultaat van de MPG-berekening is een milieuprofiel. Tot eind 2020 bestond dit profiel nog uit 11 milieu-impactcategorieën volgens de EN 15804. Eén van de milieu-impactcategorieën was het broeikasemissie/klimaatverandering, met als eenheid kg CO₂-equivalent (kg CO₂-eq).

In 2019 is de EN 15804 gewijzigd en qua methodiek gesynchroniseerd met de LCA-methodiek van de PEF (Product Environmental Footprint). Hierdoor bestaat het milieuprofiel vanaf 01-01-2021 (volgens de EN15804+A2) uit 19 milieu-impactcategorieën, waaronder 4 deelscores voor Klimaatverandering.

⁵ Naast koolstofdioxide (CO₂) worden ook andere broeikasgassen meegeteld. Dit zijn lachgas (N₂O, distikstofoxide), methaan (CH₄) en de fluorhoudende gassen (F-gassen). Om de invloed van de verschillende broeikasgassen te kunnen optellen, worden de uitstootcijfers omgerekend naar CO₂-equivalent. De omrekening is gebaseerd op het Global Warming Potential (GWP) – dat is de mate waarin een gas bijdraagt aan het broeikasemissie.

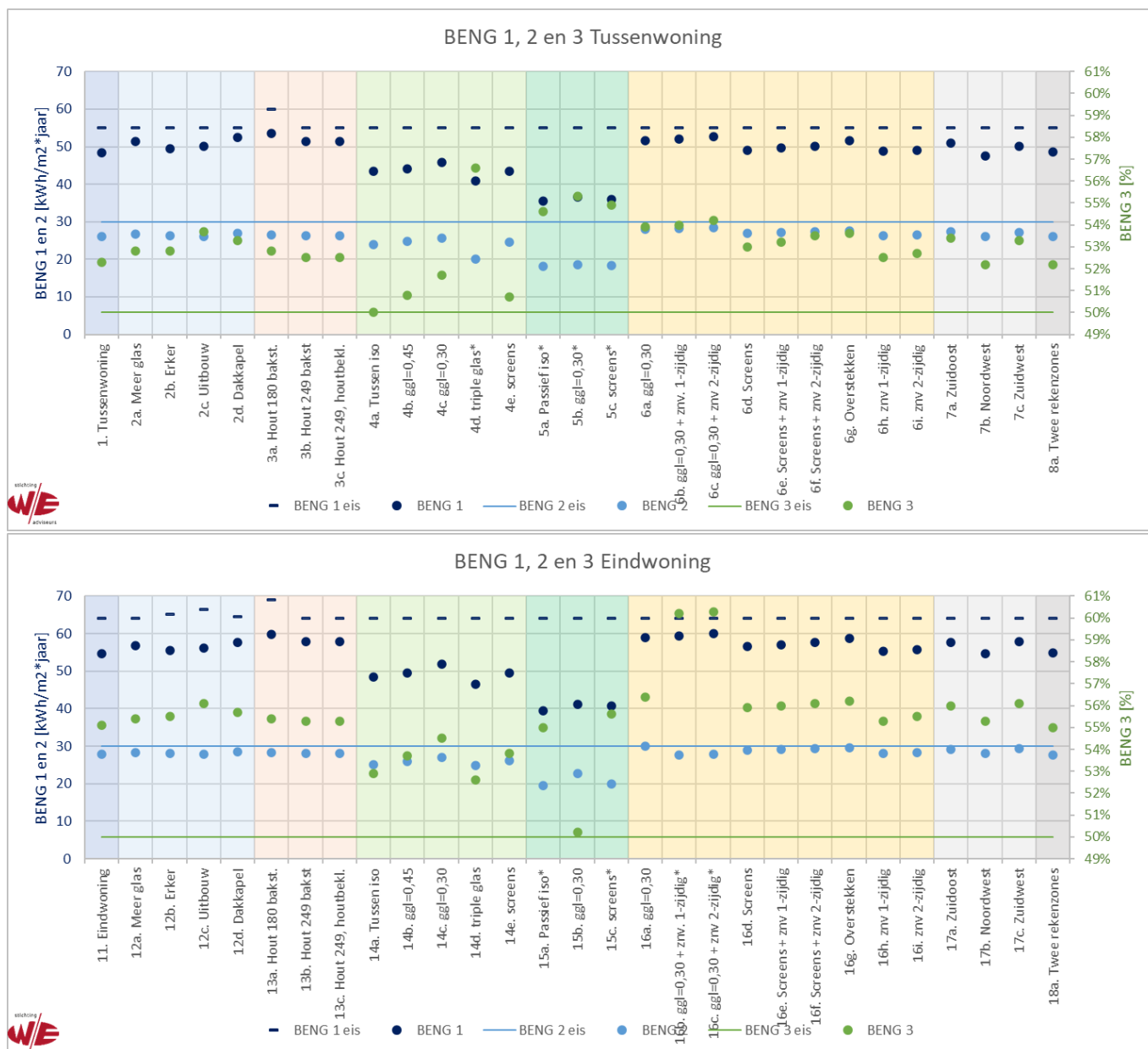
3 Resultaat

In de hier na volgende paragrafen worden de resultaten van de berekeningen gepresenteerd en besproken. De variantnummers corresponderen met de typering in Tabel 2.1. Voor de tussenwoning zijn het nummers 1-9, voor de eindwoning 11-19 en voor de levensloopbestendige woning nummer 21.

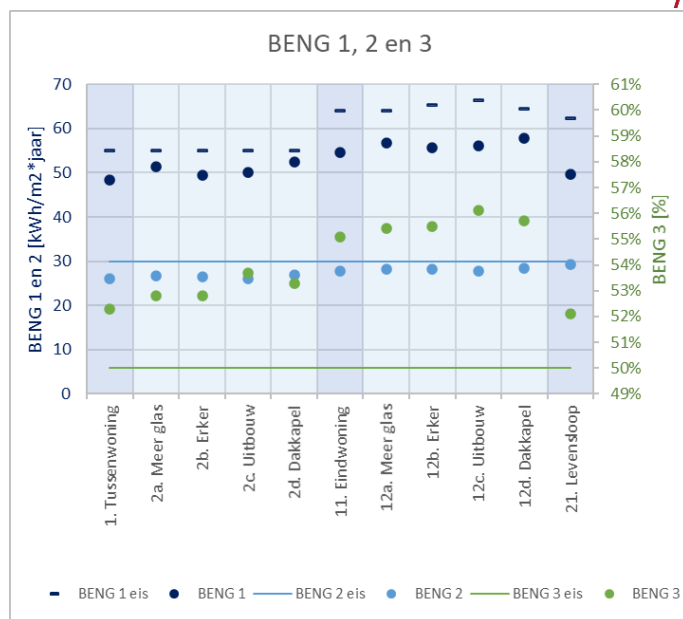
De sets met varianten hebben in deze tabel en de hiernavolgende figuren telkens (ongeveer) dezelfde kleurstelling. Bijlage 2 geeft de resultaten van de doorgerekende varianten in tabelvorm.

3.1 BENG 1-2-3

Figuur 3.1 en Figuur 3.2 geven de resultaten voor BENG 1, 2, 3 voor de tussen-, eind- en levensloopbestendige woning.



Figuur 3.1 BENG 1-2-3 eisen en resultaten voor tussen- en eindwoning.



Figuur 3.2 BENG 1-2-3 voor geometrievarianten tussen- en eindwoning en levensloopbestendige woning

Let op: * bij variant betekent dat 1 zonnepaneel is toegevoegd t.b.v. BENG 2 en/of BENG3.

Let op: De rechter y-as voor BENG3 loopt van 49% tot 61%, begint dus niet op 0%.

BENG1-eisen

- BENG1 is de energiebehoefte voor verwarmen én koelen, waarbij wordt gerekend met voorgeschreven ventilatiesysteem C1.
- Bij de tussenwoning is de BENG1-eis bij elke variant gelijk, met uitzondering van de hout-variant met forfaitaire bepaling interne warmtecapaciteit ($\leq 180 \text{ kJ/m}^2\text{K}$).
- Bij de eindwoning is de BENG1-eis in de basis hoger dan bij de tussenwoning (wegens verhouding $A_{\text{verlies}}/A_{\text{gebruik}} > 1,50$). De BENG1-eis bij de varianten met erker, uitbouw en dakkapel en wederom de hout-variant met forfaitaire bepaling interne warmtecapaciteit hebben een wat hogere BENG1-eis dan de basis eindwoning.
- De tussenwoning zit iets dichterbij de grenswaarde dan de eindwoning.
- We komen in de volgende paragraaf nog terug op het verschillende effect op de warmte- en koudebehoefte.

BENG2 en BENG3-eisen

- De BENG2 en BENG3-eisen zijn voor alle grondgebonden woningen gelijk.
- Bij enkele varianten met een hogere thermische weerstand van de gebouwschil en/of zonnwerende voorzieningen is 1 zonnepaneel toegevoegd om te voldoen aan BENG 2 en/of BENG3. Bij de meeste gebouwen is de BENG2-eis bepalend geweest voor het ontwerp. Deze waarde zit het dichtst tegen de grenswaarde van $30 \text{ kWh/m}^2\text{.jaar}$ aan. Merk op dat een extra zonnepaneel leidt tot een lagere/betere waarde voor BENG2 en een hogere/betere voor BENG3, minder CO_2 -uitstoot door energiegebruik, maar ook tot een hogere waarde voor de MPG en tot meer CO_2 -uitstoot door materiaalgebruik.

Basis

- Alle woningen voldoen in de basis aan de drie BENG-eisen.

Geometrie

- Als alleen de geometrie varieert en alle andere eigenschappen gelijk zijn, is alleen de verhouding tussen verlies- en gebruiksoppervlakte bepalend, en de onderlinge verhouding tussen vloer, gevel, dak, raam en deur.
- De varianten op de geometrie hebben bij zowel de tussen- als eindwoning hogere BENG1-waarden dan de basis uitvoering, waar bij de varianten 'Meer glas' en



'Dakkapel' de hoogste stijging laten zien. De varianten voldoen nog steeds aan de BENG-eisen, hoewel er voor de tussenwoning met dakkapel weinig ruimte overblijft.

- De levensloopbestendige woning zit qua geometrie (verhouding verlies-/gebruiksoppervlakte) dicht bij de eindwoning. Door een relatief laag transmissieverlies (lage gemiddelde U-waarde) liggen de BENG-resultaten echter dicht bij de tussenwoning.

Casco

- De BENG1-eis voor de tussen- en eindwoning is bij de hout-variant 5 kWh/m² hoger dan de standaard BENG1-eis, vanwege de interne warmtecapaciteit van 180 kJ/m².K (forfaitaire bepaling NTA8800). Deze hout-variant laat ook de hoogste BENG1-waarde zien bij de tussenwoning, en één van de hoogste BENG1-waarden bij de eindwoning, die in beide gevallen ongeveer 5 kWh/m² hoger is dan in de basis.
- Als bij de hout-varianten de interne warmtecapaciteit is bepaald volgens bijlage B van de NTA8800, blijkt dat ze niet voldoen aan het criterium om een hogere grenswaarde te krijgen (gemiddelde specifieke interne warmtecapaciteit van 180 kJ/m².K of minder). De woningen hebben dan een iets hogere BENG1 dan de basis uitvoering, maar lager dan de 'lichte' houtvariant.

Bouwkundige schil 'winter'

- Bij de tussen- en eindwoning scoren de isolatieniveaus 'tussen' en 'passiefhuis' op BENG1 substantieel beter dan de basis. De BENG1 van 'tussenniveau' is gemiddeld ca. 5 kWh/m² lager dan de BENG1 van de basis. De BENG1 van 'passiefhuisniveau' is gemiddeld ca. 12 tot 14 kWh/m² lager dan de BENG1 van de basis.
- Bij beide woningen resultaten de 'passiefhuis' varianten zonder zonwerende maatregelen in de laagste BENG1 van de doorgerekende varianten. De tussenwoning heeft een BENG1 van ca. 35,5 kWh/m², de eindwoning een BENG1 van ca. 39,4 kWh/m². Let wel, deze woningen voldoen niet aan de TO_{juli}-eis.

Bouwkundige schil 'zomer'

- De zonwerende varianten hebben een hogere BENG1-waarde dan in de basisuitvoering en komen daarmee minder ver onder de BENG1-eis te liggen.
- Varianten met een lagere g_{gl}-waarde hebben een iets hogere BENG1-waarde dan varianten met screens of overstekken.

Oriëntatie

- In de basisuitvoering is de voorgevel georiënteerd op noordoost en de achtergevel op zuidwest. De resultaten van varianten met een andere oriëntatie laten zien dat de voorgevel op noordwest (achtergevel op zuidoost) een vergelijkbare BENG1-waarde heeft met de basisuitvoering. De varianten met de voorgevel op zuidoost (achtergevel op noordwest) en de voorgevel op zuidwest (achtergevel op noordoost) hebben een BENG1 van ca. 3 kWh/m² hoger.

Zonering

- Het uitsplitsen van de woning in 2 rekenzones resulteert in vergelijkbare BENG1-2-3 resultaten als in de basisuitvoering waarbij is gerekend met 1 rekenzone. BENG1-2-3 worden bepaald op gebouwniveau, het verdelen in meerdere rekenzones zal wel resulteren in andere resultaten wat betreft TO_{juli}.

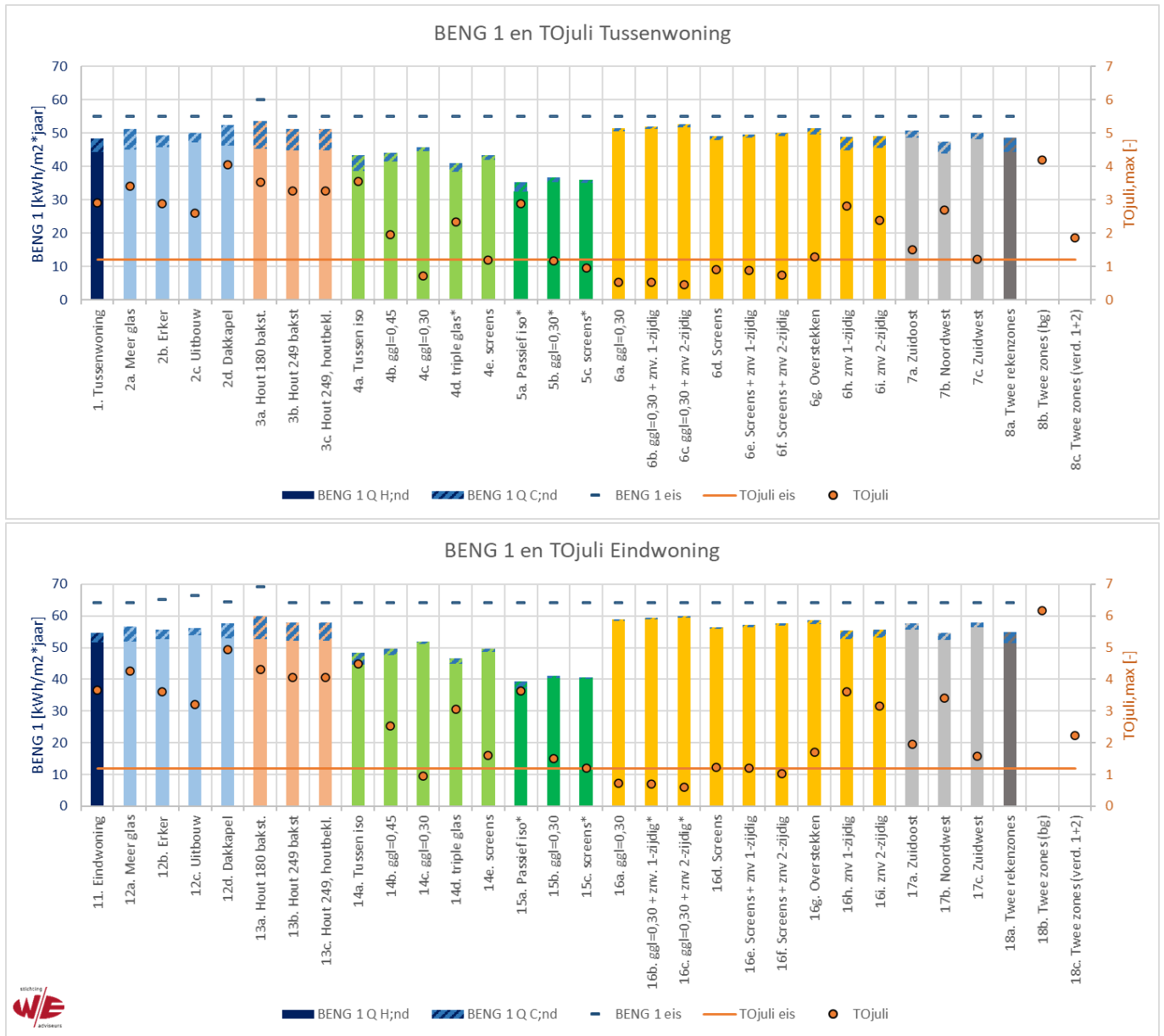
Conclusies BENG 1-2-3

De hier doorgerekende woningtypen voldoen in de basisvariant aan de drie energetische BENG-eisen. Variatie in bouwkundige schil, casco, geometrie, oriëntatie zijn mogelijk binnen de huidige grenswaarden in het Bouwbesluit. In een enkel geval is een aanvullend zonnepaneel nodig om aan de eisen te voldoen.

3.2 BENG 1 en TO_{juli}

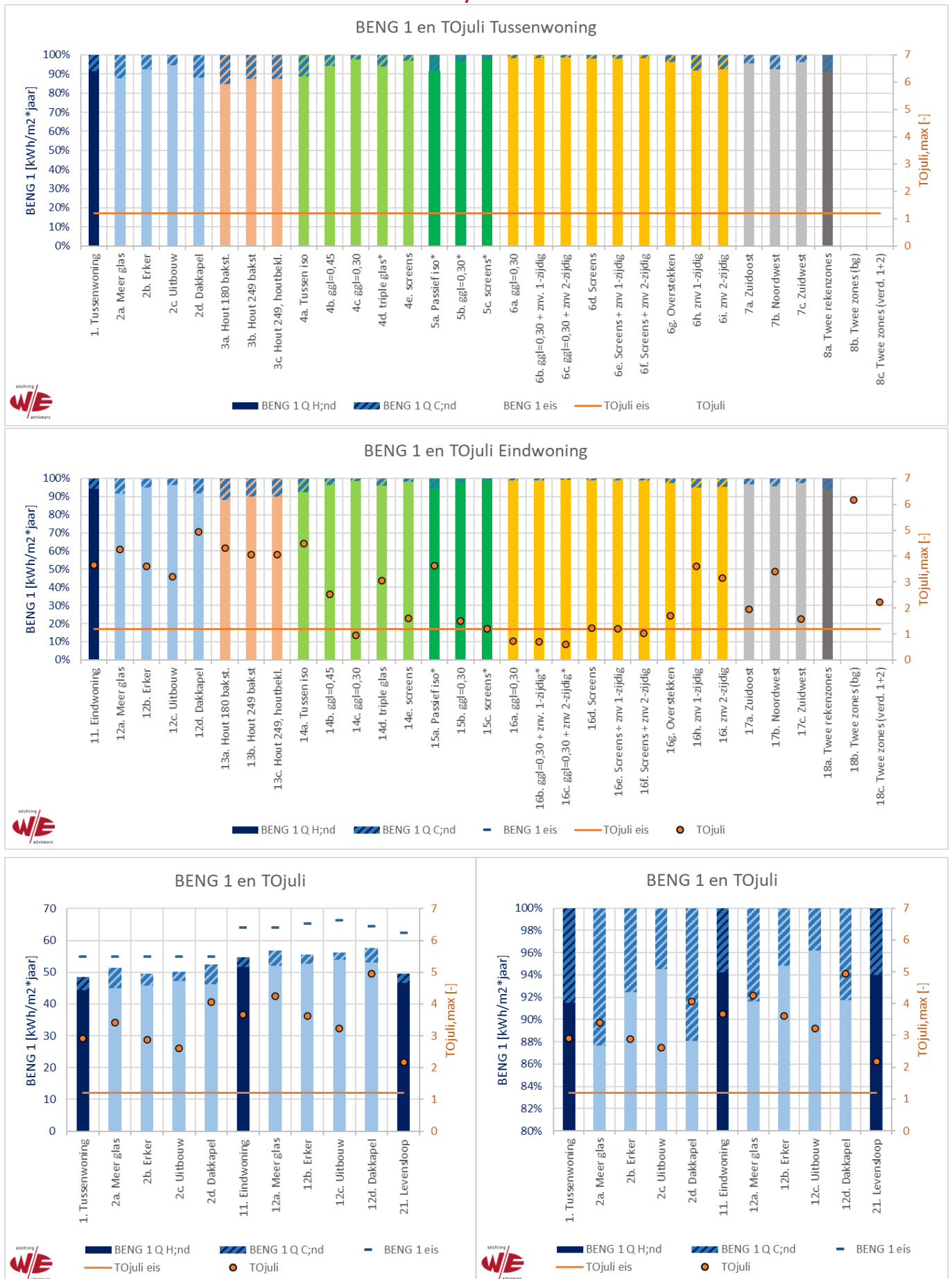
Figuur 3.3 en Figuur 3.4 BENG1, verhouding deel voor verwarming en een deel voor koeling.

geven de resultaten voor BENG 1 en TO_{juli}. Het resultaat voor BENG1 is hierbij opgesplitst naar een deel voor verwarming en een deel voor koeling.



Figuur 3.3 BENG1 en TO_{juli} eisen en resultaten voor tussen- en eindwoning.

Het resultaat voor BENG1 is opgedeeld in een deel voor verwarming en een deel voor koeling.



Figuur 3.4 BENG1, verhouding deel voor verwarming en een deel voor koeling.



Basis

- De BENG1-waarde in de basisuitvoering is opgebouwd uit ca. 93% voor verwarming en 7% voor koeling. De TO_{juli} voldoet niet aan de eis van maximaal 1,2. De tussenwoning heeft een TO_{juli} van ca. 2,9, de eindwoning een TO_{juli} van 3,67.

Geometrie

- De varianten op de geometrie hebben een hogere BENG1 dan de basisuitvoeringen. Varianten 'Meer glas' en 'Dakkapel' hebben naast de hogere BENG1-waarde ook hogere TO_{juli} -waarden.
- De variant met meer glas heeft een hogere energiebehoefte in de winter (wegens gemiddeld lagere U-waarde) maar ook een hogere energiebehoefte in de zomer (wegens meer zontoetreding).
- De levensloopbestendige woning heeft een TO_{juli} die lager is dan voor de tussen- en eindwoning, door het relatief lage glaspercentage.

Casco

- Ook de houten varianten hebben naast de hogere BENG1 een hogere TO_{juli} . Ook stijgt het aandeel voor koeling in BENG1 naar 10 tot 15% van de totale energiebehoefte voor verwarmen en koelen.

Bouwkundige schil 'winter'

- Bij toepassing van bouwkundige schil 'tussenniveau' (Rc-waarden, geen aanpassing in open geveldelen), daalt ten opzichte van de basisuitvoering de BENG 1 maar stijgt het aandeel voor koeling en de TO_{juli} wel iets. Verbetering van het glas (lagere g_{gl} -waarde en/of U-waarde) en/of toepassing van screens zorgen wel voor een verlaging van TO_{juli} , waarbij de varianten met HR++ glas en $g_{gl}=0,30$ de woning ook aan de TO_{juli} -eis laten voldoen.
- De 'passiefhuis' varianten zijn standaard doorberekend met triple-glas met $g_{gl}=0,45$. Alhoewel de BENG1 een stuk lager is dan bij de basisuitvoering, is de TO_{juli} vergelijkbaar met de basisuitvoering. Toepassing van zonwerend glas en/of screens laat de 'passiefhuis' varianten (bijna) voldoen aan de TO_{juli} -eis.

Bouwkundige schil 'zomer'

- De BENG1 is in de zonwerende varianten hoger dan in de basisuitvoering. Wel voldoen –met uitzondering van de varianten met overstekken- de zonwerende varianten aan de TO_{juli} -eis, waarbij de varianten met zonwerend glas een iets hogere BENG1 en een iets lagere TO_{juli} hebben dan de varianten met screens.
- Bij deze zomernachtventilatie varianten is een deel van de dichte geveldelen uit de basisuitvoeringen vervangen voor zomernachtventilatieluiken. De luiken hebben een lagere isolatie waarde dan de dichte gevel, waardoor de gemiddelde U-waarde van de gebouwschil omhoog gaat. De energiebehoefte voor verwarming stijgt iets meer dan de daling van de energiebehoefte voor koeling, resulterend in een hogere gesommeerde BENG1.
- Varianten met zomernachtventilatie bovenop het zonwerend glas of de screens resulteren in een minimale stijging van BENG1 en daling van TO_{juli} .
- Voor de varianten met overstekken is uitgegaan van een diepte van de overstek/luifel van $1,3m^1$ boven de schuifpui op de begane grond én bij de dakgoot op de verdieping. Deze diepte is minimaal benodigd om de overstekken/luifels als over overstek in de NTA8800 berekening toe te kunnen kennen. Desondanks voldoen deze varianten niet aan de TO_{juli} -eis.
- Triple glas zorgt door een lagere U-waarde (minder warmteverlies) voor een lagere (betere) BENG1 (variant 4b versus 4d), maar wel voor een hogere koudebehoefte en ook hogere TO_{juli} .
- Het aandeel voor koeling in BENG1 daalt naar 1 tot 4% van de totale energiebehoefte voor verwarmen en koelen.



Oriëntatie

- De resultaten van de varianten met een gewijzigde oriëntatie ten opzichte van de basisuitvoering laten zien dat deze een substantieel effect kunnen hebben op TO_{juli}. Varianten met de voorgevel op zuidoost (achtergevel op noordwest) en op zuidwest (achtergevel op noordoost) laten zien dat TO_{juli} een stuk dichterbij de buurt van de TO_{juli}-eis komt.

Zonering

- Merk op dat de TO_{juli}-eis wordt gesteld met rekenzone, BENG-eisen per woning.
- Ten opzichte van de BENG1-2-3 verschilt de TO_{juli} bij de varianten met 2 rekenzones wel ten opzichte van de basisuitvoering met 1 rekenzone. De begane grond-zone scoort aanzienlijk slechter dan de verdiepingen. Dat komt doordat de begane grondvloer veel meer glas heeft.

Conclusie BENG1 en TO_{juli}

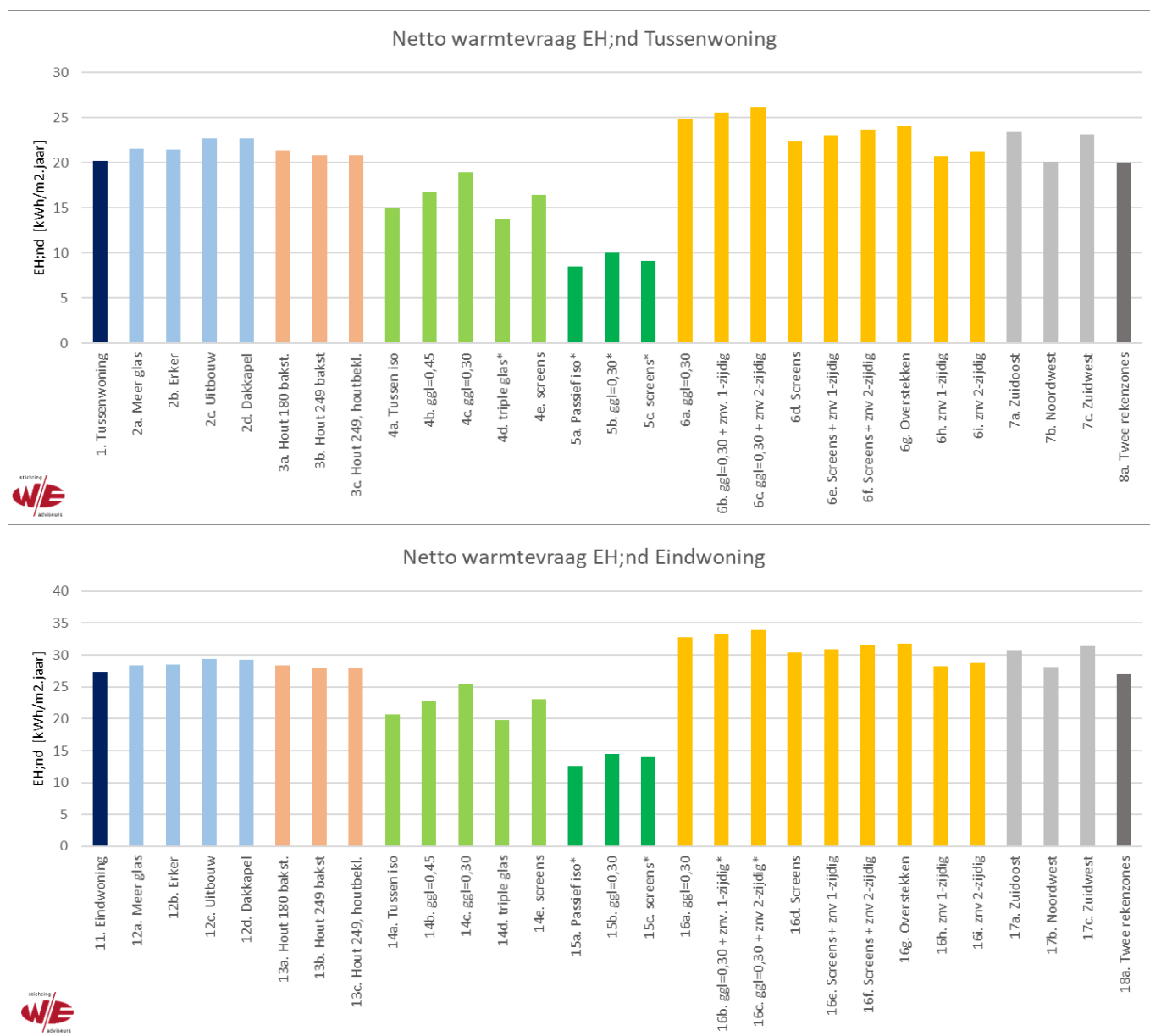
- Het aandeel verwarming is in BENG1 veruit dominant over het aandeel koeling.
- Er is geen direct verband tussen de hoogte van BENG1 en TO_{juli}.
- Als de warmtebehoefte in de winter wordt beperkt, daalt de vraag voor verwarming, maar stijgt de vraag voor koeling. BENG1 daalt, dus de winst in de winter is groter dan het verlies in de zomer. De toegenomen koudebehoefte zorgt wel voor een stijging van TO_{juli}.
- Het effect van zonwerend glas op TO_{juli} is aanzienlijk, terwijl het effect op BENG1 beperkt blijft tot een lichte stijging.

3.3 Netto warmtebehoefte $E_{H,nd}$

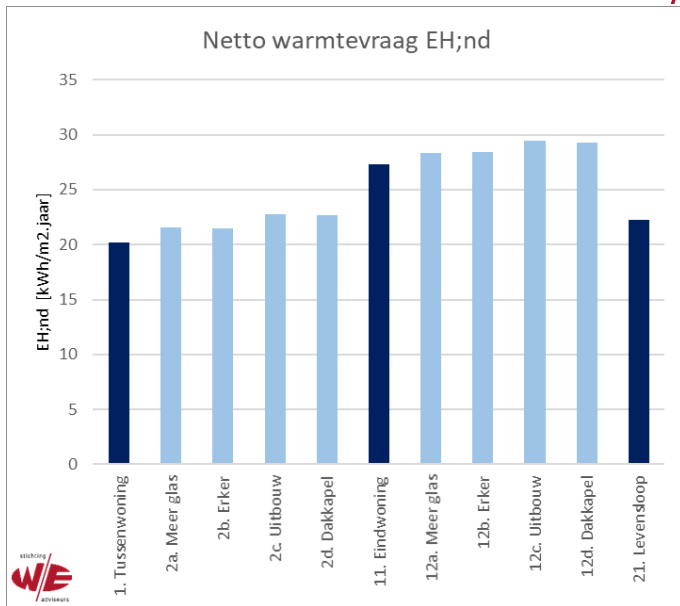
Een belangrijk (tussen)resultaat van de NTA8800-berekeningen is de netto warmtebehoefte (of -vraag) per m^2 gebruiksoppervlakte. Deze indicator wordt gebruikt voor het vaststellen van de energieprestatievergoeding en wordt gebruikt als 'standaard' in de ambities van het Klimaatakkoord voor de gebouwde omgeving.

BENG1 is de energiebehoefte voor verwarmen én koelen, waarbij wordt gerekend met voorgeschreven ventilatiesysteem C1. De netto warmtebehoefte onderscheidt zich van BENG1 omdat hier de koudebehoefte niet is meegenomen. Daarnaast wordt er bij bepaling van de netto warmtebehoefte gerekend met de werking van het werkelijke ventilatiesysteem.

Onderstaande figuren laten de netto warmtebehoefte zien voor de doorgerekende varianten.



Figuur 3.5 Netto warmtebehoefte $E_{H,nd}$ in kWh/m^2 voor tussen- en eindwoning.



Figuur 3.6 Netto warmtebehoefte $E_{H;nd}$ in kWh/m² voor geometrievarianten tussen- en eindwoning en levensloopbestendige woning

We zagen hiervoor al dat de energiebehoefte voor verwarmen vaak veel groter is dan de energiebehoefte voor koelen. Het is dan ook niet verbazingwekkend dat het effect van de varianten op $E_{H;nd}$ ongeveer gelijk is aan het effect op BENG1.

Standaard

In het Klimaatakkoord⁶ wordt de waarde voor de 'standaard' gedifferentieerd naar woningtype (eengezins/meergezins) en bouwjaar (voor/na 1945). De eis voor eengezinswoningen van ná 1945 is een $E_{H;nd} = 45$ kWh/m² voor woningen met een verhouding $A_{ls}/A_g < 1,00$. Voor minder compacte woningen loopt $E_{H;nd}$ op, vergelijkbaar met (maar niet gelijk aan) de hogere grenswaarde voor BENG 1 voor nieuwe gebouwen. De hier beschouwde woningen voldoen allen ruimschoots aan de 'standaard'.

Energieprestatievergoeding

Grenswaarden voor de energieprestatievergoeding⁷ liggen aanzienlijk ambitieuzer dan de 'standaard'. Hoewel de EPV in eerste aanleg bedoeld was voor all-electric woningen zijn er ook mogelijkheden voor woningen die zijn aangesloten op een gas- dan wel een warmtenet (al dan niet hernieuwbare warmte). Er is hier geen sprake van een oplopende grenswaarde bij hogere waarden voor A_{ls}/A_g .

Per 1 juli 2021 is de EPV-regeling met terugwerkende kracht gewijzigd⁸, en wordt de EPV weer vastgesteld met NEN 7120. Het is niet mogelijk op basis van de NTA 8800-berekeningen die hier zijn uitgevoerd een uitspraak te doen over het wel/niet voldoen van de varianten aan deze NEN 7120-grenswaarden.

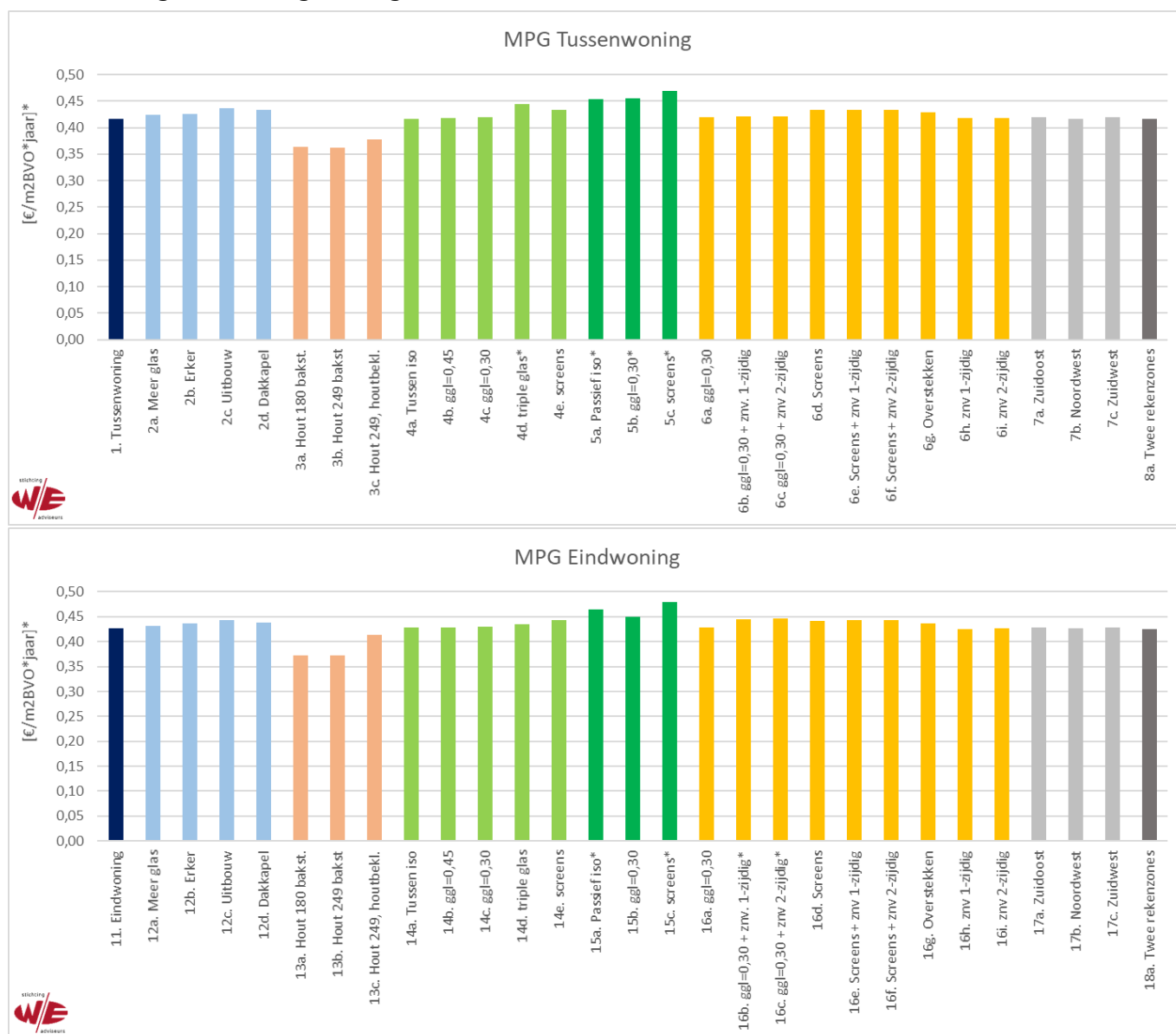
⁶ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2021/03/18/kamerbrief-standaard-voor-woningisolatie>

⁷ Besluit 1 januari 2021 tot en met 30 juni 2021 [https://wetten.overheid.nl/BWBR0038456/2021-01-01/Besluit vanaf 1 juli 2021](https://wetten.overheid.nl/BWBR0038456/2021-01-01/Besluit%20vanaf%201%20juli%202021) [https://wetten.overheid.nl/BWBR0038456/2021-07-01/Regeling 1 januari 2021 tot en met 30 juni 2021](https://wetten.overheid.nl/BWBR0038456/2021-07-01/Regeling%201%20januari%202021%20tot%20en%20met%2030%20juni%202021) [https://wetten.overheid.nl/BWBR0038455/2021-01-01/Regeling vanaf 1 juli 2021](https://wetten.overheid.nl/BWBR0038455/2021-01-01/Regeling%20vanaf%201%20juli%202021) <https://wetten.overheid.nl/BWBR0038455/2021-07-01>

⁸ Kamerbrief d.d. 28 juni 2021 https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2021Z11997&did=2021D25956

3.4 MPG

Figuur 3.7 en Figuur 3.8 geven de resultaten voor MPG.



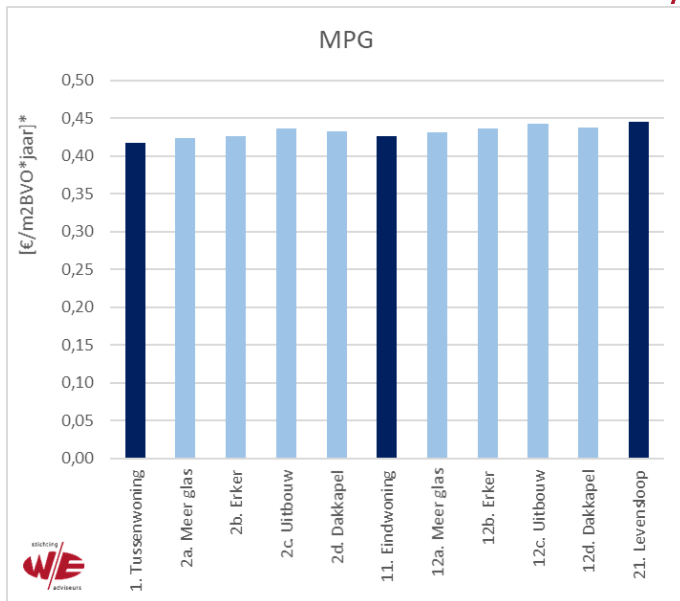
Figuur 3.7 MPG resultaten voor tussen- en eindwoning.

MPG-eis

- De MPG varieert tussen de 0,36 en 0,48 en voldoen hiermee ruim aan de Bouwbesluit eis (maximaal 0,8 vanaf 1 juli 2021). Dat lijkt getalsmatig mogelijk niet zo groot, maar is wel een verschil van -25% (of +33% als je uitgaat van de 0,36). Als de varianten met een ander casco buiten beschouwing worden gelaten varieert de MPG tussen 0,42 en 0,48.
- Het berekend operationeel energiegebruik (m^3 gas, kWh elektriciteit, GJ warmte) wordt in de MPG meegenomen als maat voor het materiaalgebruik van de energienetwerken. Als de berekende energiegebruiken iets wijzigen ten opzichte van de basis, is ook de MPG iets anders.

Geometrie

- Andere geometrieën leiden tot iets hogere MPG-scores, door meer materiaalgebruik en door hoger energiegebruik.



Figuur 3.8 MPG resultaten voor geometrievarianten tussen- en eindwoning en levensloopbestendige woning

Casco

- De houten varianten scoren het meest gunstig van alle varianten.

Bouwkundige schil 'winter' / 'zomer'

- Meer isoleren (tussenniveau) geeft een iets hogere MPG. De passiefwoningen scoren daarentegen de hoogste MPG-waarden.
- Let wel, er is bij een beperkt aantal varianten enkel één zonnepaneel toegevoegd om te voldoen aan de BENG-eisen. Bij toepassing van meer zonnepanelen stijgt de MPG-score vanwege de relatief hoge milieulast van zonnepanelen.

Oriëntatie en Zonering

- Andere oriëntatie en zonering hebben geen effect op het materiaalgebruik binnen de MPG. Omdat de berekende energiegebruiken iets wijzigen ten opzichte van de basis, is ook de MPG iets anders.

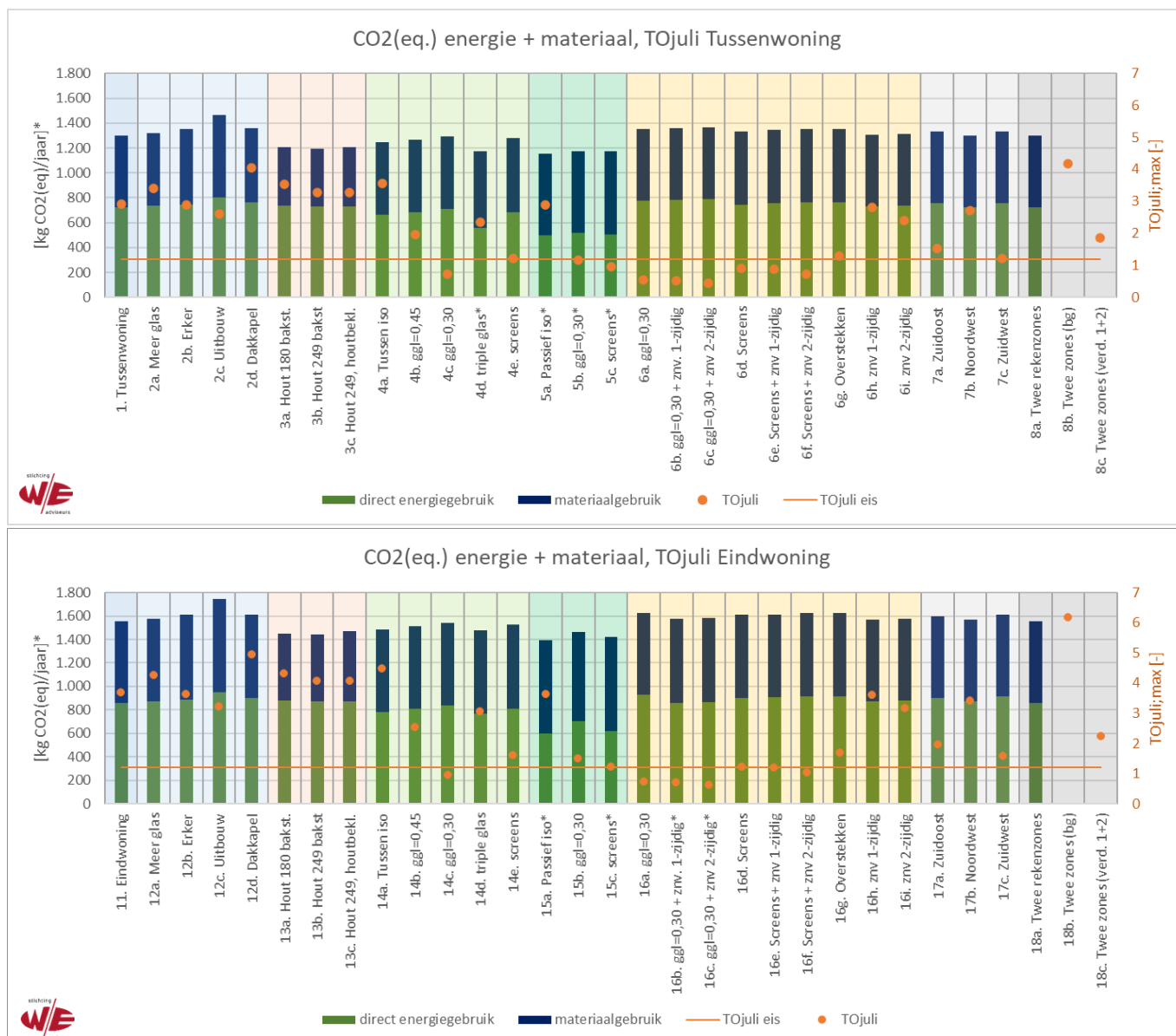
Conclusies

Op basis van deze berekeningen lijkt de MPG-grenswaarde geen belemmering te zijn voor aanscherping van de BENG-eisen.

Terzijde: Voor een aanscherping van de MPG is ook een verdere uitbreiding nodig van de Nationale Milieudatabase (NMD) met meer categorie 1 en 2 productkaarten (getoetste data volgens NMD-toetsingsprotocol door onafhankelijke, gekwalificeerde derde partij), en mogelijkheden als het toepassen van hergebruikte producten en effect van losmaakbare verbindingen op de afval/hergebruik/recycling-scenario's. Producten als drievoudig glas en (tot voor kort) zonnepanelen zijn enkel als categorie 3 productkaarten beschikbaar. Deze producten hebben een relatief hoge milieulast, en er wordt vanwege de generieke categorie 3 data ook nog een opslag van 30% toegekend op de milieulast. De verwachting is dat de NMD de komende jaren steeds meer aangevuld zal worden met getoetste productkaarten, en dat er mogelijkheden komen voor toekenning hergebruik van producten en het toevoegen van kenmerken voor losmaakbaarheid. Verdere aanscherping van de MPG-eis in het Bouwbesluit zal vermoedelijk producenten aanzetten tot het ontwikkelen van meer circulaire producten en het in het kaart brengen van de milieulast in productkaarten.

3.5 CO_{2(eq)} voor energie en materiaalgebruik

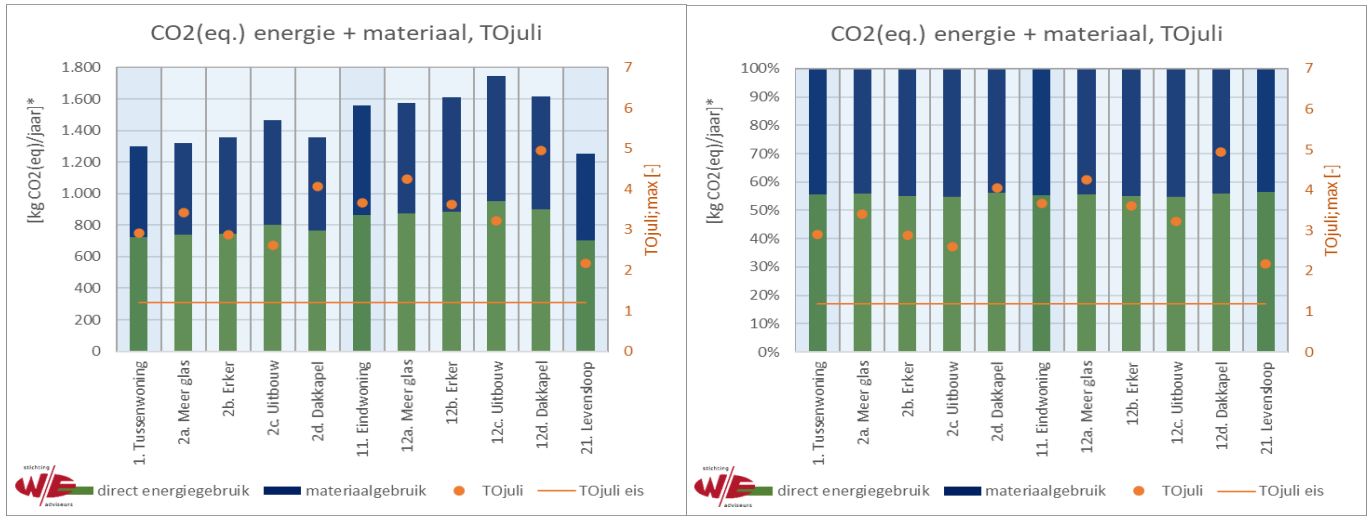
Figuur 3.9 en Figuur 3.10 geven de resultaten voor de CO_{2(eq)} zien van het energie- en materiaalgebruik en de TO_{juli} waarden. De kg CO₂ is per woning per jaar, dus niet teruggerekend naar per m² vloeroppervlakte. De CO₂-emissie door energiegebruik is de emissie door operationeel energiegebruik exclusief indirecte emissies, en afgeleid uit de NTA8800 (zie 2.2.2). De CO₂-equivalenten is een resultaat uit de MPG-berekening, waarbij als uitgangspunt een gebouwlevensduur van 75 jaar is aangehouden. Hierin is inbegrepen de CO_{2(eq)} van de productie-, bouw-, gebruiks-(incl. onderhoud en vervangingen), sloop- en verwerkingsfase en de lasten en baten buiten de systeemgrens van het bouwwerk (hergebruik, recycling en terugwinning). De CO_{2(eq)} door materiaalgebruik over de gebouwlevensduur van 75 jaar is gedeeld door 75 jaar (afschrijving per jaar) om deze vergelijkbaar te kunnen maken met de CO₂-emissie door operationeel energiegebruik. Toekomstige verduurzaming van het elektriciteitsnet (kg CO₂ < 0,34 per kWh elektriciteit) en van materialen/producten is niet in de analyse meegenomen.



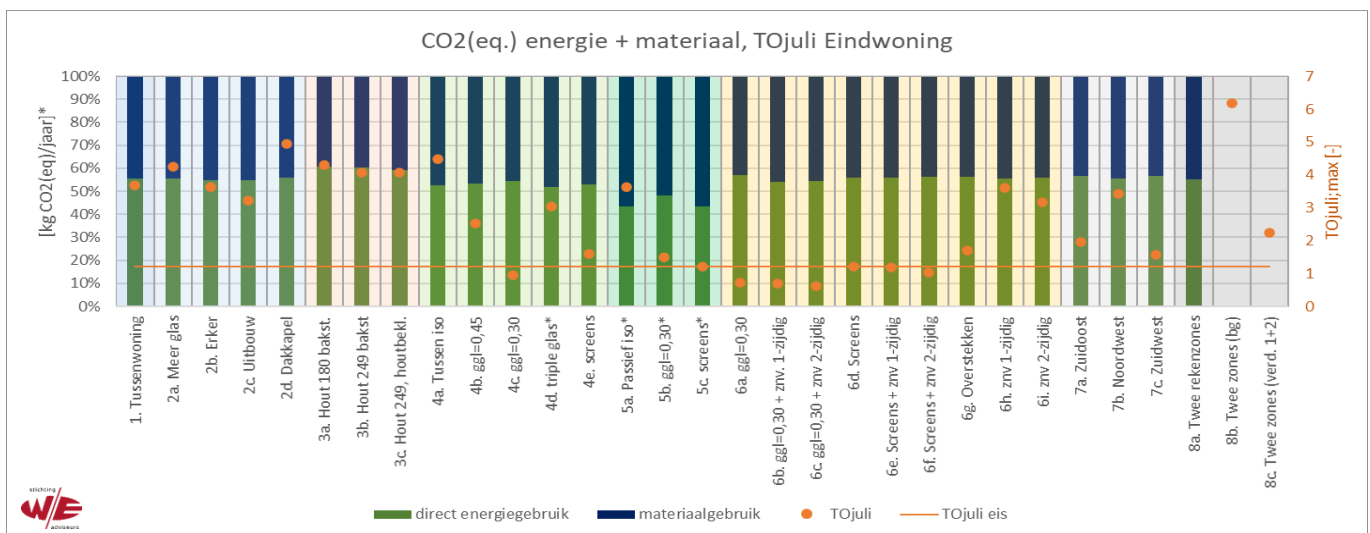
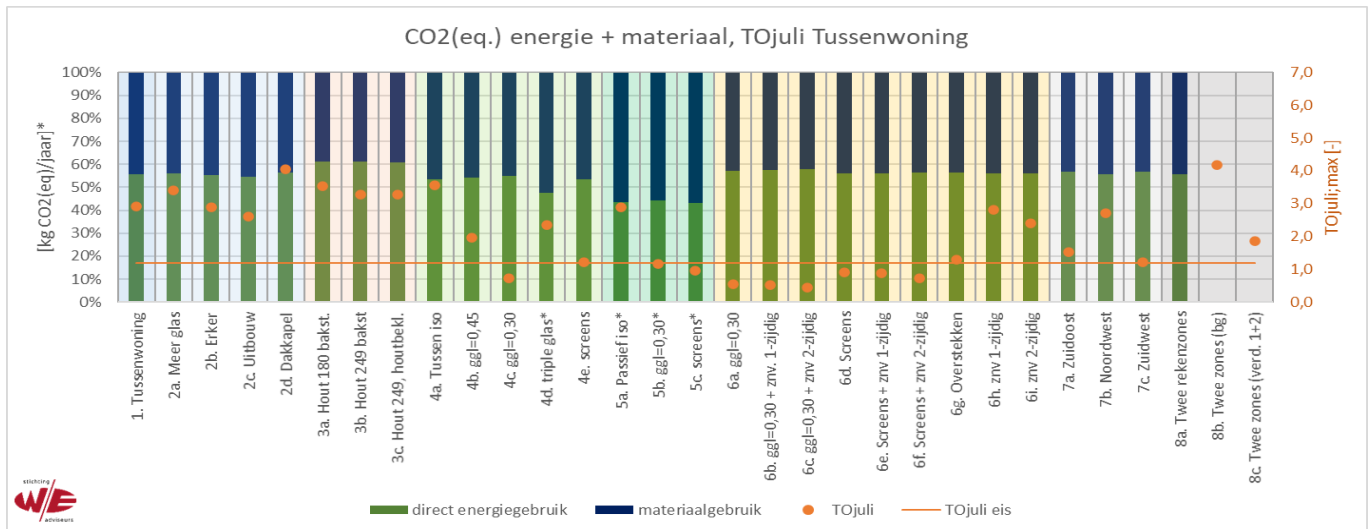
Figuur 3.9 CO_{2(eq)} door energie en materiaalgebruik totale woning per jaar en TO_{juli}

Varianten met een houten casco en de passiefhuishoningen stoten de laagste hoeveelheid gesommeerde CO_{2(eq)} emissie uit (gerekend met een gebouwlevensduur van 75 jaar). Bij de houten varianten is de CO_{2(eq)} emissie door materiaalgebruik lager dan de basisuitvoering en bij de passiefwoningen is de CO₂ emissie door energiegebruik lager dan de

basisuitvoering. Opties op geometrie en zonwerende uitvoeringen hebben een wat hogere gesommeerde CO_{2(eq)} uitstoot. Figuur 3.11 geeft de verhoudingen in CO_{2(eq)} emissie door energie en materiaalgebruik, waarbij het aandeel CO_{2(eq)} emissie door materiaalgebruik zo'n 40 tot 60% van de totale CO_{2(eq)}, een substantieel aandeel dus.



Figuur 3.10 CO_{2(eq)} door energie en materiaalgebruik totale woning per jaar en TO_{juli} voor geometrievarianten tussen- en eindwoning, en levensloopbestendige woning



Figuur 3.11 Verhouding CO_{2(eq)} door energie en materiaalgebruik en TO_{juli}



4 Conclusies en aanbevelingen

Bij deze conclusies moet in gedachten worden gehouden dat we hier de resultaten bekijken van enkele voorbeelden van seriematige, grondgebonden nieuwbouwwoningen. Resultaten kunnen niet zonder meer worden geëxtrapoleerd naar alle nieuwe (grondgebonden/gestapelde) woningen. Voor de varianten telt dat er steeds één of een beperkt aantal aspecten is gewijzigd ten opzichte van de basisuitvoering. Resultaten kunnen niet zomaar bij elkaar opgeteld worden, de combinatie van aspecten is iets anders dan de som van de resultaten. Er is ook niet gekeken naar kosten en niet naar de praktische haalbaarheid.

BENG1-2-3

- De hier doorgerekende woningtypen voldoen in de basisvariant aan de drie energetische BENG-eisen. Variatie in bouwkundige schil, casco, geometrie, oriëntatie zijn mogelijk binnen de huidige grenswaarden in het Bouwbesluit. In een enkel geval is een aanvullend zonnepaneel nodig om aan de eisen te voldoen. Er blijft in alle gevallen nog dakvlak beschikbaar voor het opwekken van elektriciteit voor huishoudelijk gebruik. De rekenresultaten geven aan dat voor de hier doorgerekende woningen lagere waarden voor BENG 1 worden gehaald dan vereist in het Bouwbesluit. Er is wel een duidelijke ondergrens aan de waarde van BENG1 (bij deze woningen zo'n 35 tot 40 kWh/m²).
- Let wel op dat BENG1 wordt bepaald met een voorgeschreven ventilatiesysteem C1, dat in praktijk in nieuwbouw niet meer wordt toegepast. De warmte- en koudebehoefte met het werkelijke ventilatiesysteem valt lager uit.
- Het is te kort door de bocht om te stellen dat de eis voor alle woningen dan ook scherper kan. Voor niet-seriematige woningbouw, voor woningen met een andere vormfactor, voor luxere woningen (meer glas) zou dat anders uit kunnen vallen. Deze verkenning geeft wel aan dat een scherpere BENG1 eis niet onmogelijk is en dat wellicht op projectniveau (denk gronduitgifte, tenders) maatwerk mogelijk is. Het zelfde geldt voor de eisen aan BENG2 en BENG3. Houdt wel rekening met bouwmethode (interne warmtecapaciteit) en vormfactor (verhouding verlies- en gebruiksoppervlakte).

TO_{juli}

- De eis aan TO_{juli} is lastiger om te halen. Er is een verband met de berekende behoefte voor koeling, maar niet met BENG1.
- Als meer wordt geïsoleerd, daalt de vraag voor verwarming, maar stijgt de vraag voor koeling. BENG1 daalt, dus de winst in de winter is groter dan het verlies in de zomer. (Qua energiebehoefte, het kan anders uitpakken voor de daarvoor benodigde (primaire) energie). De toegenomen koudebehoefte zorgt wel voor een stijging van TO_{juli}.
- Het effect van zonwerend glas op TO_{juli} is aanzienlijk, terwijl het effect op BENG1 beperkt blijft tot een lichte stijging.
- Zonwerende maatregelen zijn nodig bij afwezigheid actieve koeling om aan TO_{juli} te voldoen.
- Ook bij woningen die voorzien zijn van een actief koelsysteem of aangesloten zijn op een koudenet loont het de moeite om ook te ontwerpen op de zomersituatie om de koelbehoefte (en daarmee de inzet van het koelsysteem) te beperken.

BENG1 & TO_{juli}

- Het verhogen van de isolatiewaarde van de thermische schil leidt tot een lagere warmtevraag en een hogere koudevraag. Per saldo daalt de energievraag. Ook TO_{juli} stijgt hierdoor.



- Lagere waarden voor BENG1 kunnen gehaald worden door hogere isolatiewaarden en beter isolerend glas. Combinatie met zonwerend glas ($g_{gl} = 0,3$) en (donkere/zwarte) screens zorgen dat ook TO_{juli} aan de eis voldoet. Exacte voorwaarden zijn wel afhankelijk van geometrie en oriëntatie.
- Ontwerpen op de zomersituatie zorgt voor een lagere koudevraag en lagere TO_{juli} , dus minder risico op oververhitting. Ook in situaties waar een actief koelsysteem aanwezig is, heeft dat voordelen: Het energiegebruik door het koelsysteem wordt zo immers beperkt.

MPG

- De MPG-eis uit het Bouwbesluit (vanaf 1 juli 2021, $< 0,80$) wordt overal ruimschoots gehaald. Op basis van deze berekeningen lijkt de MPG-grenswaarde geen belemmering te zijn voor aanscherping van de BENG-eisen. Met als kanttekening dat nauwelijks zonnepanelen (met een relatief hoge milieubelasting) zijn toegepast.

CO₂

- De totale CO₂-emissie door energie- en materiaalgebruik is, gezien over een forfaitaire levensduur van 75 jaar, en zonder rekening te houden met het moment of locatie van uitstoot, en zonder rekening te houden met ontwikkelingen in CO₂-emissie van energievoorziening en materiaalwinning en -transport. De totale emissie is het laagste bij de varianten met een CLT-casco en die met passiefhuisisolatie. Beter isoleren leidt dus netto tot een lagere CO₂-emissie over de levensduur van de woning. Andere geometrieën (uitbouw, dakkapel) scoren juist slechter.
- Het voordeel van CLT-casco is dat de uitstoot bij productie lager is, voor passiefhuisisolatie dat de jaarlijkse uitstoot lager is. Een punt van aandacht bij de integrale afweging van varianten is het moment (nu of de toekomst) van uitstoten. Het tijdsaspect zou in de afweging moeten worden meegenomen.

Overall

Op projectniveau kan het mogelijk zijn om lagere grenswaarden voor BENG1 voor te schrijven of na te streven. Een te strenge eis kan leiden tot beperken van ontwerp mogelijkheden.

Aanscherpen van BENG1 heeft gevolgen voor de warmte- én de koudebehoefte van woningen. Deze dienen altijd in samenhang beschouwd te worden.



Bijlage 1 Klankbordgroep/themagroep

Naam	Organisatie	E-mailadres
Claudia Bouwens	Lente-akkoord	c.bouwens@neprom.nl
Theo Smits	Heijmans	tsmits@heijmans.nl
Jos de Vries	BPD	j.vries@bpd.nl
Benedikt Marschütz	Gemeente Heerhugowaard	B.Marschutz@heerhugowaard.nl
Richard Ruijtenbeek	Gemeente Amsterdam	r.ruijtenbeek@amsterdam.nl
Cees Groot	Gemeente Amsterdam	cees.groot@amsterdam.nl
Marleen Sanders	Gemeente Amersfoort	M.Sanders@amersfoort.nl
Dirk Breedveld	Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties	dirk.breedveld@minbzk.nl
Ruud Geerligts	RVO	ruud.geerligts@rvo.nl
Henk Bouwmeester	Henk Bouwmeester	info@henkbouwmeester.com
Harm Valk	Nieman RI	h.valk@nieman.nl
Marit Cornelisse	Nieman RI	m.cornelisse@nieman.nl
Elianne Niyongabo-Paulussen	W/E adviseurs	paulussen@w-e.nl
Pieter Nuiten	W/E adviseurs	nuiten@w-e.nl



Bijlage 2 Resultaten

Variant					Resultaten BENG berekening							Resultaten MPG-berekening			
Nr.	Naam variant eenvoudig	Gebruiksoppervlakte Op [m ²]	Verliesoppervlakte Als [m ²]	Bruto vloeroppervlakte [m ²]	BENG 1 eis [kWh/m ² *jaar]	BENG 1 - Q H;nd [kWh/m ² *jaar]	BENG 1 - Q C;nd [kWh/m ² *jaar]	BENG 1 - energiebehoefte [kWh/m ² *jaar]	BENG 2 - primaire fossiele energie [kWh/m ² *jaar]	BENG 3 - aandeel hernieuwbare energie [%]	Netto warmtevraag E;nd [kWh/m ² *jaar]	TOjuli;max [-]	CO ₂ -emissie energie [kg/jaar]	MPG [€/m ² BVO*jaar]	CO ₂ eq. materiaal [kg CO ₂ eq/jaar]
1	Tussenwoning	118,30	156,62	157	55,00	44,29	4,11	48,41	26,07	52,3%	20,17	2,91	723	0,417	576
2a	Meer glas	118,30	156,62	157	55,00	45,04	6,34	51,39	26,63	52,8%	21,56	3,41	739	0,424	581
2b	Erker	120,60	165,79	161	55,00	45,73	3,72	49,46	26,40	52,8%	21,50	2,88	746	0,426	607
2c	Uitbouw	131,19	191,17	170	55,00	47,32	2,74	50,06	26,08	53,7%	22,71	2,61	802	0,437	665
2d	Dakkapel	121,30	164,00	157	55,00	46,23	6,26	52,50	26,84	53,3%	22,74	4,06	763	0,433	594
3a	Hout 180 bakst.	118,30	156,62	157	60,00	45,40	8,19	53,59	26,61	52,8%	21,36	3,54	738	0,363	466
3b	Hout 249 bakst	118,30	156,62	157	55,00	44,77	6,58	51,35	26,36	52,5%	20,80	3,28	731	0,362	464
3c	Hout 249, houtbekl.	118,30	156,62	157	55,00	44,77	6,58	51,35	26,36	52,5%	20,80	3,28	731	0,378	474
4a	Tussen iso	118,30	156,62	157	55,00	38,64	4,85	43,49	23,99	50,0%	14,92	3,56	665	0,417	582
4b	ggl=0,45	118,30	156,62	157	55,00	41,51	2,56	44,07	24,70	50,8%	16,74	1,96	685	0,418	582
4c	ggl=0,30	118,30	156,62	157	55,00	44,67	1,09	45,77	25,15	51,7%	18,95	0,73	709	0,420	582
4d	triple glas*	118,30	156,62	157	55,00	38,48	2,51	40,99	20,56	56,6%	13,81	2,35	559	0,444	615
4e	screens	118,30	156,62	157	55,00	42,09	1,33	43,43	24,58	50,7%	16,50	1,21	682	0,433	595
5a	Passief iso*	118,30	156,62	157	55,00	32,43	3,01	35,45	18,04	54,6%	8,48	2,88	500	0,454	652
5b	ggl=0,30*	118,30	156,62	157	55,00	35,42	1,25	36,67	18,64	55,3%	10,01	1,17	517	0,455	654
5c	screens*	118,30	156,62	157	55,00	35,09	0,84	35,93	18,29	54,9%	9,18	0,95	507	0,469	665
6a	ggl=0,30	118,30	156,62	157	55,00	50,62	0,92	51,54	27,92	53,9%	24,90	0,54	774	0,420	577
6b	ggl=0,30 + znv. 1-zijdig	118,30	156,62	157	55,00	51,23	0,85	52,08	28,17	54,0%	25,53	0,53	781	0,421	578
6c	ggl=0,30 + znv 2-zijdig	118,30	156,62	157	55,00	51,85	0,75	52,60	28,42	54,2%	26,17	0,45	788	0,421	577
6d	Screens	118,30	156,62	157	55,00	48,01	1,12	49,13	26,92	53,0%	22,40	0,92	747	0,434	589
6e	Screens + znv 1-zijdig	118,30	156,62	157	55,00	48,62	1,09	49,71	27,17	53,2%	23,03	0,89	754	0,434	590
6f	Screens + znv 2-zijdig	118,30	156,62	157	55,00	49,23	0,95	50,19	27,43	53,5%	23,66	0,74	761	0,434	589
6g	Overstekken	118,30	156,62	157	55,00	49,72	1,88	51,60	27,56	53,6%	24,02	1,30	764	0,429	589
6h	znv 1-zijdig	118,30	156,62	157	55,00	44,88	3,99	48,88	26,29	52,5%	20,73	2,82	729	0,418	577
6i	znv 2-zijdig	118,30	156,62	157	55,00	45,47	3,65	49,13	26,52	52,7%	21,32	2,40	736	0,418	577
7a	Zuidoost	118,30	156,62	157	55,00	48,61	2,31	50,92	27,33	53,4%	23,40	1,52	758	0,419	577
7b	Noordwest	118,30	156,62	157	55,00	44,00	3,52	47,52	26,02	52,2%	20,15	2,70	723	0,417	576
7c	Zuidwest	118,30	156,62	157	55,00	48,15	1,98	50,14	27,26	53,3%	23,12	1,22	755	0,419	577
8a	Twee rekenzones	118,30	156,62	157	55,00	44,30	4,32	48,62	26,00	52,2%	20,00		721	0,417	576
8b	Twee zones (bg)	46,73		52,33								4,19			
8c	Twee zones (verd. 1+2)	71,57		104,65								1,86			
11	Eindwoning	131,97	238,09	183	64,12	51,53	3,14	54,68	27,86	55,1%	27,34	3,67	862	0,426	694
12a	Meer glas	131,97	238,09	183	64,12	52,03	4,77	56,80	28,28	55,4%	28,36	4,25	875	0,432	700
12b	Erker	134,27	247,26	186	65,25	52,69	2,89	55,58	28,14	55,5%	28,44	3,62	886	0,437	727
12c	Uitbouw	146,29	275,05	198	66,41	53,98	2,12	56,11	27,79	56,1%	29,42	3,22	953	0,443	790
12d	Dakkapel	134,97	245,47	183	64,56	52,97	4,76	57,73	28,45	55,7%	29,30	4,95	900	0,438	713
13a	Hout 180 bakst.	131,97	238,09	183	69,12	52,76	7,16	59,92	28,34	55,4%	28,39	4,30	877	0,373	570
13b	Hout 249 bakst	131,97	238,09	183	64,12	52,14	5,74	57,89	28,14	55,3%	27,95	4,07	871	0,373	570
13c	Hout 249, houtbekl.	131,97	238,09	183	64,12	52,14	5,74	57,89	28,14	55,3%	27,95	4,07	871	0,413	596
14a	Tussen iso	131,97	238,09	183	64,12	44,71	3,65	48,36	25,19	52,9%	20,62	4,48	779	0,428	704
14b	ggl=0,45	131,97	238,09	183	64,12	47,75	1,87	49,62	26,05	53,7%	22,81	2,53	806	0,429	704
14c	ggl=0,30	131,97	238,09	183	64,12	51,12	0,69	51,82	27,06	54,5%	25,41	0,96	837	0,430	705
14d	triple glas	131,97	238,09	183	64,12	44,78	1,82	46,61	24,86	52,6%	19,82	3,05	769	0,435	711
14e	screens	131,97	238,09	183	64,12	48,67	0,92	49,59	26,12	53,8%	23,04	1,59	808	0,443	718
15a	Passief iso*	131,97	238,09	183	64,12	37,20	2,15	39,36	19,45	55,0%	12,57	3,63	602	0,465	788
15b	ggl=0,30	131,97	238,09	183	64,12	40,35	0,83	41,19	22,74	50,2%	14,52	1,50	704	0,450	762
15c	screens*	131,97	238,09	183	64,12	40,22	0,51	40,74	19,98	55,6%	13,93	1,21	618	0,480	802
16a	ggl=0,30	131,97	238,09	183	64,12	58,31	0,60	58,92	29,98	56,4%	32,74	0,72	928	0,429	696
16b	ggl=0,30 + znv. 1-zijdig*	131,97	238,09	183	64,12	58,86	0,59	59,45	27,68	60,2%	33,30	0,70	856	0,445	723
16c	ggl=0,30 + znv 2-zijdig*	131,97	238,09	183	64,12	59,41	0,55	59,97	27,91	60,3%	33,87	0,61	863	0,447	722
16d	Screens	131,97	238,09	183	64,12	55,83	0,72	56,55	29,03	55,9%	30,35	1,22	898	0,442	709
16e	Screens + znv 1-zijdig	131,97	238,09	183	64,12	56,37	0,71	57,08	29,25	56,0%	30,91	1,19	905	0,443	709
16f	Screens + znv 2-zijdig	131,97	238,09	183	64,12	56,92	0,66	57,59	29,48	56,1%	31,47	1,03	912	0,443	710
16g	Overstekken	131,97	238,09	183	64,12	57,41	1,39	58,80	29,62	56,2%	31,84	1,69	917	0,437	707
16h	znv 1-zijdig	131,97	238,09	183	64,12	52,58	2,73	55,32	28,20	55,3%	28,21	3,60	873	0,425	695
16i	znv 2-zijdig	131,97	238,09	183	64,12	53,11	2,55	55,67	28,42	55,5%	28,75	3,17	879	0,427	694
17a	Zuidoost	131,97	238,09	183	64,12	55,72	1,91	57,64	29,19	56,0%	30,72	1,96	903	0,428	696
17b	Noordwest	131,97	238,09	183	64,12	52,36	2,38	54,74	28,17	55,3%	28,12	3,42	872	0,426	694
17c	Zuidwest	131,97	238,09	183	64,12	56,52	1,39	57,91	29,47	56,1%	31,43	1,58	912	0,428	696
18a	Twee rekenzones	131,97	238,09	183	64,12	51,47	3,37	54,84	27,71	55,0%	26,95		857	0,425	694
18b	Twee zones (bg)	52,08		61								6,18			
18c	Twee zones (verd. 1+2)	79,89		122								2,23			
21	Levensloop	102,96	179,69	138	62,36	46,63	2,97	49,61	29,19	52,1%	22,28	2,17	705	0,446	546