



RAADGEVENDE INGENIEURS

Nieman

Bouwfysica, -techniek en -regelgeving

BENG GESTAPELDE BOUW

Samenvatting onderzoeksresultaten

BENG GESTAPELDE BOUW

Samenvatting onderzoeksresultaten

Lente-akkoord

Postbus 620
2270 AP Voorburg



Vertegenwoordigd door: Mevrouw ir. C. Bouwens

Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V.

Vestiging Zwolle
Postbus 40147
8004 DC Zwolle
T 038 – 467 00 30
zwolle@nieman.nl
www.nieman.nl



Uitgevoerd door: De heer ing. A.F. Kruithof
De heer ir. H.J.J. Valk

Referentie: 20160121 / 3446
Status: definitief
Datum: 5 juli 2016

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1 Inleiding	1
Hoofdstuk 2 Praktijkprojecten	3
2.1 Projectkenmerken	3
2.2 Basisconcept	5
2.3 BENG-indicatoren	7
2.4 Ontwerpkenmerken	10
2.5 Verbeterd concept	12
2.6 Meerkosten	8
Hoofdstuk 3 Gevoeligheidsanalyse	9
3.1 Analyse ontwerpaspecten	9
3.1.1 <i>Analyse praktijkprojecten</i>	9
3.1.2 <i>Effect glasoppervlakte</i>	12
3.1.3 <i>Effect hoogte gebouw</i>	13
3.1.4 <i>Effect oriëntatie</i>	14
3.1.5 <i>Conclusie</i>	14
3.2 Invloed aanpassingen 'energiebehoefte'	15
3.3 Invloed installatietechnische aanpassingen	17
3.3.1 <i>Verwarming / tapwater</i>	17
3.3.2 <i>Ventilatie</i>	18
Hoofdstuk 4 Conclusie	20

Hoofdstuk 1 Inleiding

Nieman Raadgevende Ingenieurs heeft in opdracht van Lente-akkoord onderzoek verricht naar de consequenties van de voorlopige BENG-eisen op gestapelde woningbouw. De resultaten daarvan zijn besproken tijdens de bijeenkomsten van de themagroep 'gestapelde bouw' en zijn in deze rapportage opgenomen.

Aanleiding

In de EPBD recast is vastgelegd dat vanaf 2020 alle nieuwe gebouwen bijna energieneutraal moeten zijn. Voor overheidsgebouwen geldt deze eis al vanaf 2018. Deze ambitie ligt in lijn met de aanscherpingen in de afgelopen en toekomstige jaren, zie figuur 1. In Nederland wordt bijna energieneutraal ingevuld door het stellen van BENG-eisen. In de kamerbrief van 2 juli 2015 over de 'voortgang energiebesparing gebouwde omgeving' zijn voorlopige eisen vastgelegd om de markt te informeren over het voorgenomen beleid. Voor woningen en woongebouwen gelden de volgende voorlopige eisen:

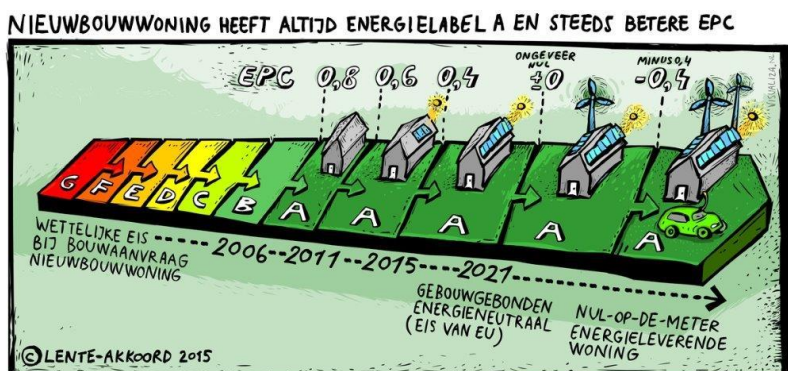
- De maximale energiebehoefte van $\leq 25 \text{ kWh/m}^2$ gebruiksoppervlakte per jaar;
- Het maximale primaire (fossiele) energiegebruik van $\leq 25 \text{ kWh/m}^2$ gebruiksoppervlakte per jaar;
- Het minimale aandeel hernieuwbare energie van $\geq 50\%$.

Deze voorlopige eisen zijn ontstaan naar aanleiding van de 'Variantenberekening voor eisen aan BENG' van DGMR d.d. 23 februari 2015 en de rapportage 'Hernieuwbare energie in bijna energieneutrale gebouwen' van Hamerlink consulting d.d. 21 mei 2015.

Vanuit de deelnemers van de themagroep gestapelde bouw zijn praktijkprojecten aangedragen om inzicht te krijgen in de haalbaarheid en het effect van gebouwen en installatietechnische maatregelen op de BENG-uitkomst. Deze projecten zijn onder het EPC-regime ontwikkeld en gerealiseerd. De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van NEN 7120 en de handreiking BENG.

Onder gestapelde bouw worden (woning)bouwprojecten verstaan met minimaal vijf lagen, waarbij één project een uitzondering vormt aangezien die vier laags is. In deze rapportage wordt de gestapelde bouw als 'hoogbouw' omschreven.

Naast de analyse van de hoogbouw is er tevens een vergelijking gemaakt met grondgebonden eengezinswoningen. Hiervoor zijn diverse ontwerptechnische verschillen tussen hoogbouw en eengezinswoningen in kaart gebracht net als de BENG-indicatoren.



Figuur 1: Routekaart energetische eisen en ambitie

Doel onderzoek

Het doel van het onderzoek is om inzicht te geven in de invloed van verschillende parameters die effect hebben op de uitkomst van BENG-indicatoren voor hoogbouw projecten. Daarnaast wordt inzicht gegeven in verschillen tussen hoogbouw en grondgebonden woningen, voor zowel ontwerptechnische kenmerken als voor de uitkomsten van de BENG-indicatoren.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de praktijkprojecten beschreven die in dit onderzoek zijn gebruikt. De invloed van het ontwerp, bouwkundige en installatietechnische kenmerken op de BENG-indicatoren wordt aan de hand van een gevoeligheidsanalyse in hoofdstuk 3 beschreven. Daarbij wordt ook een vergelijking tussen hoogbouw en eengezinswoningen gemaakt.

Hoofdstuk 2 Praktijkprojecten

2.1 Projectkenmerken

De deelnemers van de themagroep 'gestapelde bouw' van de Lente-akkoord hebben vijf voorbeeldprojecten aangeleverd. De project- en energiekenmerken van die projecten zijn in dit hoofdstuk weergegeven. Daarnaast zijn in dit hoofdstuk de hoek- en tussenwoning (eengezinswoning) beschreven die gebruikt zijn voor de vergelijking van de gestapelde bouw met grondgebonden eengezinswoningen.

Tabel 1: Projectkenmerken

Project + projectkenmerken	Karakteristiek	Visualisatie
1. Metrostationslocatie Postjesweg te Amsterdam	Aantal bouwlagen: 13 Hoogte dak: 40 m Gebruiksoppervlak: 10.984 m ² EPC: 0,18 10 woon-werk app. + 84 appartementen (cf. EPC)	
2. @home Amstelkwartier te Amsterdam	Aantal bouwlagen: 22 Hoogte dak: 73 m Gebruiksoppervlak: 9.593 m ² (excl. com. plint) EPC: 0,0 160 appartementen	
3. Coendersbuurt Nieuw Delft	Aantal bouwlagen: 4 Hoogte dak: 13 m Gebruiksoppervlak: 735 m ² EPC: 0,40 7 appartementen	
4. Houthaven blok 2 te Amsterdam	Aantal bouwlagen: 9 Hoogte dak: 28,5 m Gebruiksoppervlak: 3924 m ² EPC: 0,13 26 appartementen (hoogbouw, excl. kadewoningen)	
5. Project B	Aantal bouwlagen: 7 Hoogte dak: 21 m Gebruiksoppervlak: 2397 m ² EPC: 0,38 47 appartementen (cf. EPC)	

Eengezinswoningen: hoek- en tussenwoning

Tussenwoning met thermische schil niveau Bouwbesluit, cv-ketel, natuurlijke toevoer en mechanische afvoer en PV aan één dakzijde.

EPC hoekwoning: 0,24







EPC tussenwoning: 0,20



2.2 Basisconcept

De referentieprojecten verschillen in geometrie, oriëntatie, bouwkundige en installatietechnische eigenschappen en daarmee dus ook in EPC-uitkomst. De belangrijkste bouwkundige en installatietechnische kenmerken van de projecten zijn in tabel 2 opgenomen. In tabel 3 is het resultaat opgenomen van de ontvangen EPC-berekening op de BENG-indicatoren.

Tabel 2: Energetische eigenschappen - basisconcept

Projecten	EPC	Aantal Bouwlagen	Aantal woningen / appartementen	R _c -waarden			U-waarde raam 	Infiltratie 	Ψ-waarden 	Opwekking 	Ventilatie 	Zonne-energie 
				vloer	gevel	dak						
Hoogbouw	-	-										
1. Metrostationslocatie Postjesweg te Amsterdam	0,18	13	94	4,5	6,5	6,0	1,25	0,22	Forfaitair	Ext. wl.	WTW + CO ₂	111.000 Wp – Z 18.500 Wp - NW
2. @home Amstelkwartier te Amsterdam	0,00	22	160	5,0	6,0	8,0	0,90	0,50	Forfaitair	Ext. wl.	MV + CO ₂	Dak: 109.820 Wp – Z Gevel: 369.070 Wp – O/W/ZO
3. Coendersbuurt Nieuw Delft	0,40	4	7	4,0	4,5	6,0	1,10	0,42	Forfaitair	WKO	WTW	5.880 Wp - Z
4. Houthaven blok 2 te Amsterdam	0,13	9	26	3,5	4,5	6,0	1,30	0,42	Uitgebreid	Ext. wl.	MV + CO ₂	40.736 Wp – ZO 33.440 Wp - NW
5. Project B	0,38	7	47	3,5	4,5	6,0	1,36	0,42	Uitgebreid	Ext. wl.	MV + CO ₂	12.784 Wp - ZO
Eengezinswoningen												
Hoekwoning	0,24	3	1	3,5	5,2	6,0	1,45	0,40	Uitgebreid	Ketel	MV + CO ₂	2.224 Wp O
Tussenwoning	0,20	3	1	3,5	5,2	6,0	1,45	0,40	Uitgebreid	Ketel	MV + CO ₂	2.224 Wp O

Legenda

WKO: warmtepomp, bron: bodem

ext. wl.: externe warmtelevering

Ketel: HR107 combiketel

MV: natuurlijke toevoer & mechanische afvoer

WTW: gebalanceerde ventilatie

CO₂: ventilatiesysteem voorzien van CO₂-sturing



De praktijkprojecten zijn niet representatief voor wat betreft de opwekking van de warmte voor ruimteverwarming en warm tapwater; in vier van de vijf projecten is sprake van externe warmtelevering. Het effect van een andere warmteopwekker is berekend, de resultaten daarvan zijn in hoofdstuk 3 opgenomen.

De praktijkprojecten zijn voor wat betreft het ontwerp wel representatief voor de gestapelde woningproductie die met name in grote steden plaats vindt.

2.3 BENG-indicatoren

Op basis van de ontvangen EPC-berekeningen zijn de BENG-indicatoren bepaald. Het resultaat van de projecten op de BENG-uitkomst is in tabel 3 en de daaropvolgende grafieken opgenomen. Daarnaast is in tabel 3 de EPC en de absolute hoeveelheid bruto hernieuwbare energie weergegeven. Dat laatste is gedaan om een betere vergelijking tussen de praktijkprojecten te kunnen maken; het percentage hernieuwbare energie is mede afhankelijk van de uitkomst van BENG-indicator 2 'Primaire fossiele energie'. De bepaling van het percentage hernieuwbare energie is als volgt:

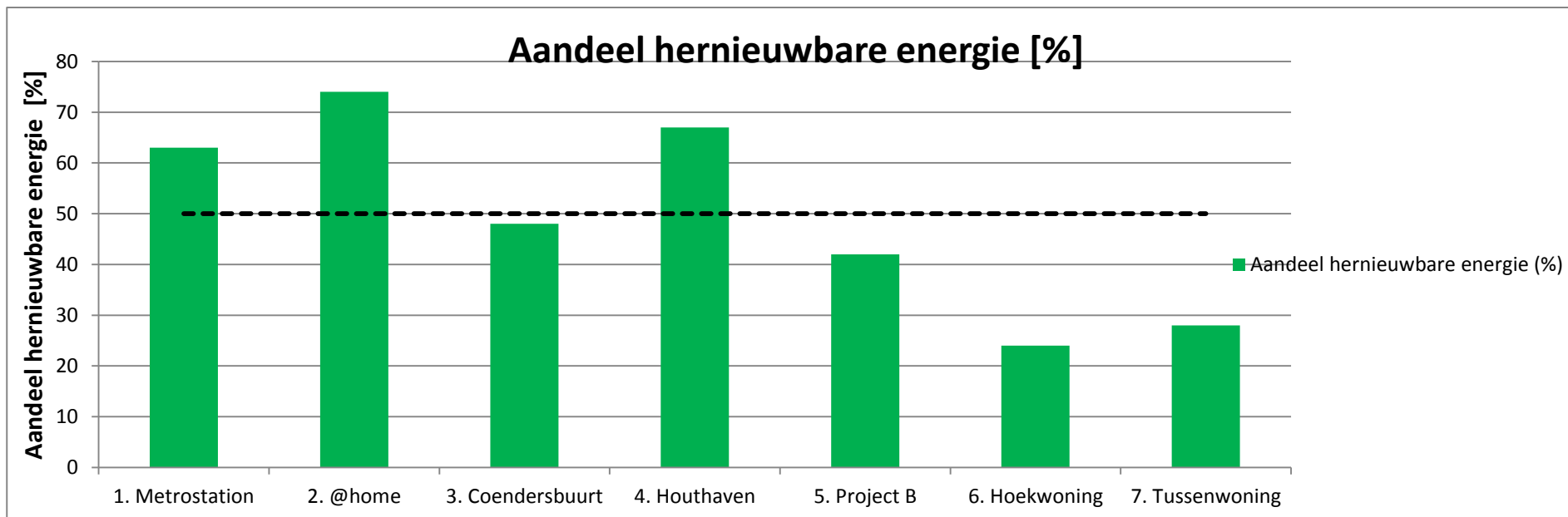
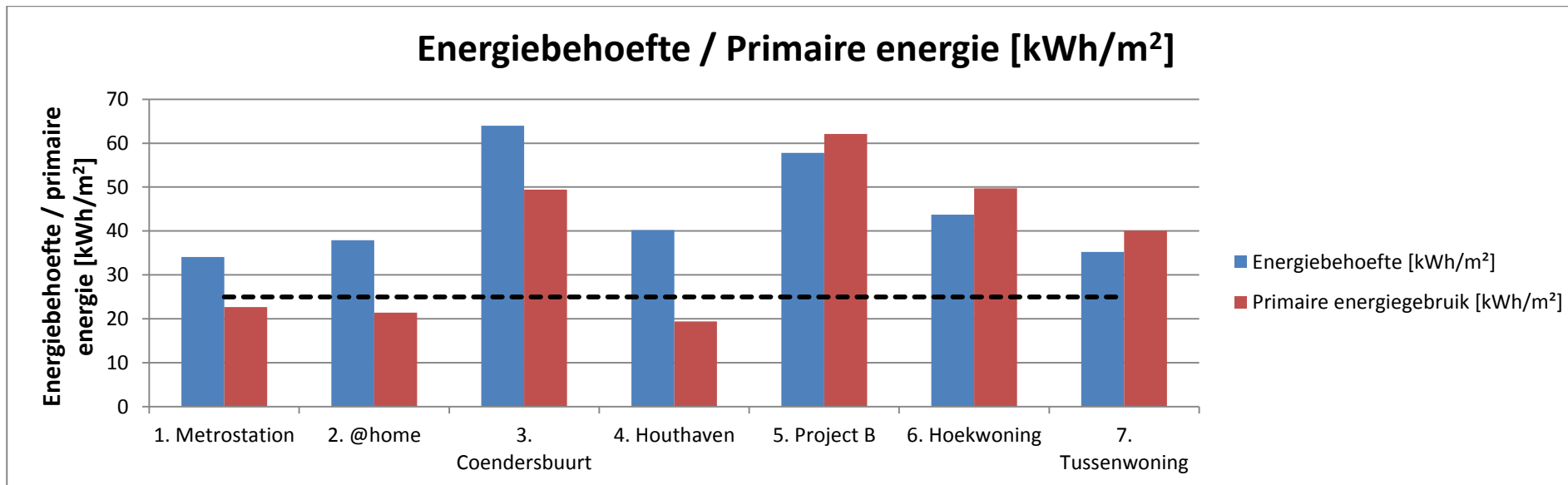
$$\text{aandeel hernieuwbare energie} = \frac{\text{bruto hernieuwbare energie}}{(\text{primaire fossiele energie} + \text{bruto hernieuwbare energie})} \times 100\%$$

Tabel 3: Rekenresultaten BENG - basisconcept

Projecten	EPC	Energiebehoefte	Primair fossiele energie	Hernieuwbare energie in %	Hernieuwbare energie in kWh/m ²
		≤ 25 kWh/m ² .j	≤ 25 kWh/m ² .j	≥ 50%	kWh/m ²
1. Metrostationslocatie Postjesweg te Amsterdam	0,18	34,1	22,7	63	39,4
2. @home Amstelkwartier te Amsterdam	0,00	37,9	21,4	74	61,8
3. Coendersbuurt Nieuw Delft	0,40	64	49,4	48	46,2
4. Houthaven blok 2 te Amsterdam	0,13	40,2	19,4	67	40,0
5. Project B	0,38	57,8	62,1	42	44,2
Eengezinswoningen:					
Hoekwoning	0,24	43,7	49,7	24	15,6
Tussenwoning	0,20	35,2	40,1	28	15,6

groen gearceerd: voldoet aan BENG-eisen

De resultaten van de eengezinswoningen zijn ter informatie toegevoegd en worden in paragraaf 3.2 gebruik in de vergelijking tussen hoogbouw en eengezinswoningen.



Analyse rekenresultaten

De praktijkprojecten zijn onder het EPC-regime ontwikkeld en zijn ook op basis van de EPC-eisen ontwikkeld. Daarom is het niet verwonderlijk dat niet aan (alle) BENG-eisen wordt voldaan.

De praktijkprojecten verschillen in ontwerp, bouwkundige en installatietechnische kenmerken. Opmerkelijk is dat vier van de vijf hoogbouwprojecten gebruik maakt van stadsverwarming, dat is niet representatief voor de Nederlandse hoogbouw. Het effect van andere warmte-opwekkers is berekend, de resultaten daarvan zijn in hoofdstuk 3 opgenomen.

BENG 1: Energiebehoefte

Aan de maximale energiebehoefte voldoet geen van de praktijkprojecten. Door de gekozen grenswaarde voor BENG indicator 1 blijkt dit de grootste uitdaging om aan te kunnen voldoen. Bij de bepaling van de energiebehoefte zijn de volgende aspecten van invloed:

- geometrie
- oriëntatie
- thermische schil: glas, isolatiewaarde, luchtdichtheid
- type ventilatiesysteem, inclusief regeling

BENG 2: Primair fossiel energiegebruik

De uitkomst van BENG-indicator 2 vertoont de grootste overeenkomst met de huidige EPC-berekening. Het primair fossiel energiegebruik wordt naast de (primaire) energiegebruiken ook bepaald door de energieopwekking en het rendement daarvan; de opbrengst van bijvoorbeeld PV-panelen wordt hierbij in mindering gebracht op het energiegebruik. Een aantal van de praktijkprojecten voldoet al aan de BENG-eis 2, dat zijn de projecten waarbij stadsverwarming is toegepast. In de huidige handreiking voor het bepalen van de BENG-indicatoren is aangegeven dat er bij warmtelevering vanuit gegaan mag worden dat 49% van de warmtelevering afkomstig is uit een hernieuwbare bron. De betreffende netten beschikken daarmee dus over een kwaliteitsverklaring waaruit blijkt dat de warmte deels duurzaam opgewekt wordt.

BENG 3: Aandeel hernieuwbare energie

De hoeveelheid hernieuwbare energie wordt in de projecten niet alleen door de PV-panelen bepaald. Ook de warmteopwekker speelt daarbij een belangrijke rol: zowel bij de collectieve warmtepompen als bij de stadverwarming levert deze een aandeel. Op basis van de resultaten lijkt het aandeel hernieuwbare energie goed realiseerbaar. Belangrijk daarbij is echter wel de gekozen warmte opwekker. Bij hoogbouw in combinatie met een gasconcept is het minimale aandeel hernieuwbare energie een belangrijk aandachtspunt; het aandeel duurzaam moet dan volledig door PV worden gerealiseerd.

2.4 Ontwerpkenmerken

Om de uitkomsten van de BENG-resultaten te kunnen analyseren is inzicht in het ontwerp benodigd. Daarom is een aantal ontwerpkenmerken van de projecten vastgesteld. Deze kenmerken hebben voornamelijk invloed op de uitkomst van BENG-indicator 1 'Energiebehoefte'.

De volgende ontwerpkenmerken zijn vastgesteld:

- Transparantie van het gebouw: oppervlakteverhouding open delen / gebouwschil;
- Compactheid van het gebouw: oppervlakteverhouding schil / gebruiksoppervlak.
Met de schil wordt het totaal van (begane grond-)vloer, dak en geveleppervlakte bedoeld;
- Oriëntatie.

De ontwerpkenmerken zijn in tabel 4 weergegeven. In hoofdstuk 3 is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij de energieconcepten van alle praktijkprojecten gelijk zijn gesteld. Op basis van die uitkomsten is een analyse gemaakt van de invloed van ontwerpkenmerken.

Tabel 4: Ontwerpkenmerken

	1. Metrostationslocatie	2. @home Amstelkwartier	3. Coendersbuurt	4. Houthaven	5. Project B	6. Eengezinswoning (hoekwoning)	7. Eengezinswoning (tussenwoning)
Energiebehoefte [kWh/m ²]	34,1	37,9	64,0	40,2	57,8	43,7	35,2
% open delen	47%	23%	49%	49%	42%	13%	25%
Verhoudingsgetal (schil/GO)	1,0	0,8	1,6	0,8	1,4	2,1	1,5

Oriëntatie: verdeling geveleppervlak over de oriëntaties

N	15%	-	7%	-	-	49%	-
NO	-	0%	2%	10%	23%	-	-
O	34%	26%	26%	-	-	26%	50%
ZO	-	2%	30%	40%	26%	-	-
Z	16%	6%	-	-	-	-	-
ZW	-	37%	7%	10%	25%	-	-
W	34%	9%	8%	-	-	26%	50%
NW	-	19%	21%	40%	26%	-	-

Analyse verschil hoogbouw – grondgebonden eengezinswoningen

Transparantie van het gebouw

De gevels van de eengezinswoningen hebben doorgaans een lager percentage transparante delen dan hoogbouw. Het wordt mede door de overige project specifieke kenmerken bepaald of dat een voordeel is of niet. Hierbij zijn aspecten als oriëntatie en de thermische kwaliteit van de constructies bepalend; de thermische kwaliteit van dichte delen is beter dan die van transparante delen. Op basis daarvan is een hoge mate van transparantie ongunstig. Daar staat tegenover dat een hoge mate van transparantie kan betekenen dat de verwarmingsbehoefte daalt als gevolg van de opwarming door zoninstraling, en dat heeft op zijn beurt veelal een negatief gevolg voor de koelbehoefte (zomercomfort). Er moet dus projectgericht gezocht worden naar de juiste balans.

In hoofdstuk 3 is voor één van de praktijkprojecten weergegeven wat het effect op de uitkomst van BENG indicator 1 'Energiebehoefte' is van het wijzigen van de transparantie van de gevel.

Compactheid van het gebouw

Hoogbouw is compacter dan eengezinswoningen. Dat blijkt uit het verhoudingsgetal schil / gebruiksoppervlak. Een compact gebouw is gunstig voor de uitkomst van de energiebehoefte (BENG-indicator 1). Dat blijkt ook uit de gevoeligheidsanalyse in hoofdstuk 3 waarbij het effect van het wijzigen van de gebouwhoogte voor een van de praktijkprojecten is bepaald.

2.5 Verbeterd concept

In geen van de projecten wordt direct aan alle drie de BENG-indicatoren voldaan, dat was ook niet het doel toen de projecten ontwikkeld werden. Om een indruk te geven van de extra maatregelen die nodig zijn om aan de BENG-eisen te kunnen voldoen is voor de vijf praktijkprojecten bepaald met welke verbetermaatregelen er aan de BENG-eisen kan worden voldaan. Hierbij zijn uitsluitend bouwkundige en installatietechnische wijzigingen doorgevoerd, er zijn geen ontwerpwijzigingen doorgevoerd.

Lineaire thermische bruggen

Voor hoogbouw is het gangbaar om het effect van lineaire thermische bruggen forfaitair te bepalen. Dat betekent dat er een toeslag in rekening wordt gebracht om het warmteverlies via aansluitdetails in rekening te brengen. Voor drie van de vijf praktijkprojecten is het effect van de lineaire thermische bruggen forfaitair bepaald. In de andere twee praktijkprojecten is van alle aansluitdetails de lengte en het warmteverlies bepaald, het warmteverlies via lineaire thermische bruggen is daarmee dus 'uitgebreid' bepaald. Het voordeel hiervan is dat er doorgaans sprake is van een EPC-reductie, mits het warmteverlies in de details wordt beperkt. Dat betekent bijvoorbeeld het voorkomen van 'houten rekjes' boven ramen en ter plaatse van de verdiepingsvloeren. Het nadeel van uitgebreid rekenen is dat het arbeidsintensief is en er aanvullende informatie benodigd is over het warmteverlies in de aansluitdetails.

In de verbetermaatregelen van de projecten die forfaitair zijn berekend is het effect op de BENG-indicatoren bepaald op het moment dat er geen warmteverlies door de aansluitdetails in rekening wordt gebracht (Ψ -waardes zijn niet ingevoerd). Daarmee wordt dus te gunstig gerekend; eigenlijk zou de lengte en het warmteverlies van de aansluitdetails ingevoerd moeten worden om het warmteverlies in de aansluitdetails mee te rekenen. Om de hiervoor genoemde nadelen (arbeidsintensief, aanvullende informatie benodigd) is dat niet gedaan.

Op het moment dat het warmteverlies in de aansluitdetails wordt beperkt, dan ligt de energiebehoefte naar verwachting tussen de uitkomst van de berekening waarbij forfaitair wordt gerekend en de uitkomst van de berekening waarbij geen warmteverlies door aansluitdetails in rekening wordt gebracht.

Metrostationslocatie Postjesweg te Amsterdam

Het project 'Metrostationslocatie' is aangesloten op de stadsverwarming, daarnaast zijn PV-panelen toegepast. Deze beide bepalen in grote mate dat er aan de minimale hoeveelheid hernieuwbare energie wordt voldaan en dat de maximale hoeveelheid primaire fossiele energiegebruik niet wordt overschreden. De energiebehoefte van 34,1 kWh/m² overschrijdt de maximale energiebehoefte van 25 kWh/m² wel, ondanks de relatief lage U-waarde voor de ramen (verbeterde HR-beglazing) en de gebalanceerde ventilatie met CO₂-sturing in elke verblijfsruimte.

Mogelijkheden om de energiebehoefte te beperken zijn het toepassen van triple glas en het specificeren van het warmteverlies via lineaire thermische bruggen en het toepassen van zonwering op de buitengevel op het westen en zuiden.

De aanvullende maatregelen en het effect daarvan op de BENG-indicatoren is in de volgende tabel weergegeven.

Tabel 5: Aanvullende maatregelen 'Metrostationslocatie'

Aanvullende maatregel	Energiebehoefte	Primair fossiele energie	Hernieuwbare energie
Voorlopige eis	$\leq 25 \text{ kWh/m}^2$	$\leq 25 \text{ kWh/m}^2$	$\geq 50\%$
Basisuitkomst	34,1 kWh/m ²	22,7 kWh/m ²	63%
+ U-waarde 1,25 → 1,0 W/m ² K	29,2 kWh/m ²	20,4 kWh/m ²	64%
+ Ψ-waardes niet ingevoerd *	24,0 kWh/m ² *	17,0 kWh/m ²	66%
+ Toepassen zonwering op de buitengevel west en zuid *	21,1 kWh/m ² *	16,1 kWh/m ²	67%
* De werkelijke energiebehoefte is hoger op het moment dat de werkelijke Ψ-waardes worden ingevoerd			

@home Amstelkwartier te Amsterdam

@home Amstelkwartier kenmerkt zich door de grote hoeveelheid elektriciteitsopwekking, zoveel dat er al direct aan de BENG-eisen 'primair fossiele energie' en 'hernieuwbare energie' wordt voldaan. Aan de maximale energiebehoefte wordt nog niet voldaan, ondanks de toepassing van triple glas en de warmteweerstanden die hoger zijn dan de huidige bouwbesluiteisen.

Om de energiebehoefte te beperken is gerekend met een verdere verbetering van de luchtdichtheid van het gebouw en het verlagen van de zontoetreding (lagere ZTA of g-waarde / zonwering). Het effect van lineaire thermische bruggen is in de basisberekening forfaitair bepaald, naar verwachting wordt een lagere energiebehoefte berekend op het moment dat de werkelijke lineaire thermische bruggen (Ψ-waardes) worden ingevoerd.

De aanvullende maatregelen en het effect daarvan op de BENG-indicatoren is in de volgende tabel weergegeven.

Tabel 6: Aanvullende maatregelen '@home Amstelkwartier'

Aanvullende maatregel	Energiebehoefte	Primair fossiele energie	Hernieuwbare energie
Voorlopige eis	$\leq 25 \text{ kWh/m}^2$	$\leq 25 \text{ kWh/m}^2$	$\geq 50\%$
Basisuitkomst	37,9 kWh/m ²	21,4 kWh/m ²	74%
+ Infiltratie ($q_{v,10, \text{kar}}$ -waarde) van 0,5 naar 0,42 dm ³ /s.m ² (forfaitaire rekenwaarde)	35,6 kWh/m ²	19,9 kWh/m ²	75%
+ verlagen ZTA-waarde van 0,6 naar 0,4	35,4 kWh/m ²	20,8 kWh/m ²	75%
+ zonwering op de gevel ZW, W, ZO	34,3 kWh/m ²	20,5 kWh/m ²	75%
+ verlagen $q_{v,10}$ waarde van 0,42 naar 0,25 dm ³ /s.m ²	28,7 kWh/m ²	17,0 kWh/m ²	78%
+ Ψ -waardes niet ingevoerd *	22,6 kWh/m ² *	13,3 kWh/m ²	81%
* De werkelijke energiebehoefte is hoger op het moment dat de werkelijke Ψ -waardes worden ingevoerd			

In dit project wordt er aan BENG-indicator 1 voldaan met de toepassing van natuurlijke toevoer – mechanische afvoer. Door de grote gebouwhoogte leidt het toepassen van gebalanceerde ventilatie tot een hogere energiebehoefte (BENG 1) en een hoger primair fossiel energiegebruik (BENG 2). De reden hiervan is de grote kanaallengte tussen de toevoer van verse lucht en de WTW-unit.

Coendersbuurt Nieuw Delft

Met het basisconcept van de Coendersbuurt voldoen geen van de drie BENG-indicatoren aan de voorlopige BENG-eisen. In eerste instantie zijn verbetermaatregelen bepaald om aan de eisen aan de maximale energiebehoefte te kunnen voldoen. In de basissituatie is de energiebehoefte vrij hoog, 64,0 kWh/m² ondanks de relatief lage U-waarde voor ramen en het gebalanceerde ventilatiesysteem. Dat de energiebehoefte vrij hoog is wordt mede verklaard door de ontwerpkenmerken: het is geen compact gebouw en het gebouw is vrij transparant met een ongunstige oriëntatie. Dat heeft ook zijn weerslag op de maatregelen die getroffen moeten worden om aan de BENG-eisen te kunnen voldoen; die zijn omvangrijk.

Om de energiebehoefte te beperken wordt de thermische schil verder verbeterd, zelfs tot passief bouwen niveau, de sturing van het ventilatiesysteem wordt geoptimaliseerd (CO₂-sturing in elke verblijfsruimte) en de zontoetreding wordt beperkt (verlagen ZTA-waarde en toepassen zonwering). Het effect van lineaire thermische bruggen is in de basisberekening forfaitair bepaald, naar verwachting wordt een lagere energiebehoefte berekend op het moment dat de werkelijke lineaire thermische bruggen (Ψ -waardes) worden ingevoerd.

Met de getroffen maatregelen wordt weliswaar aan de maximale energiebehoefte voldaan maar aan de maximale primaire fossiele energiegebruik en het minimale aandeel hernieuwbare energiegebruik wordt nog niet voldaan. Om de tweede en derde BENG-indicator ook te laten voldoen moeten er een aantal extra PV-panelen toegepast.

De aanvullende maatregelen en het effect daarvan op de BENG-indicatoren is in de volgende tabel weergegeven.

Tabel 7: Aanvullende maatregelen 'Coendersbuurt Nieuw Delft'

Aanvullende maatregel	Energiebehoefte	Primair fossiele energie	Hernieuwbare energie
Voorlopige eis	$\leq 25 \text{ kWh/m}^2$	$\leq 25 \text{ kWh/m}^2$	$\geq 50\%$
Basisuitkomst	64,0 kWh/m ²	49,4 kWh/m ²	48%
+ U-waarde 1,1 → 1,0 W/m ² K	62,8 kWh/m ²	48,6 kWh/m ²	48%
+ verlagen ZTA-waarde van 0,5 naar 0,4	54,1 kWh/m ²	49,9 kWh/m ²	48%
+ Toepassen zonwering ZO/ZW/W	45,0 kWh/m ²	47,6 kWh/m ²	50%
+ verlagen q _{v,10} waarde van 0,42 naar 0,25 dm ³ /s.m ²	43,0 kWh/m ²	46,5 kWh/m ²	49%
+ Ψ-waardes niet ingevoerd *	35,4 kWh/m ² *	41,8 kWh/m ²	46%
+ CO ₂ -sturing in elke VR *	33,7 kWh/m ² *	39,6 kWh/m ²	47%
+ R _c -waarde 6,0 vloer/gevel en dak 8,0 m ² K/W *	31,9 kWh/m ² *	38,5 kWh/m ²	46%
+ Passiefhuis niveau: R _c -waarde vloer/gevel/dak 10,0 m ² K/W, U-waarde raam/deur 0,8 W/m ² K/, q _{v,10} waarde 0,15 dm ³ /s.m ² *	27,8 kWh/m ² *	34,4 kWh/m ²	43%
+ verlagen ZTA-waarde van 0,5 naar 0,3 *	20,8 kWh/m ² *	35,4 kWh/m ²	44%
+ 20,8 m ² PV (13 PV-panelen) extra *	20,8 kWh/m ² *	24,3 kWh/m ²	57%
* De werkelijke energiebehoefte is hoger op het moment dat de werkelijke Ψ-waardes worden ingevoerd			

Houthaven blok 2 te Amsterdam

Het basisconcept van Houthaven blok 2 presteert beter dan de huidige EPC-grenswaarde van 0,40; de EPC-uitkomst is namelijk 0,13. Door de externe warmtelevering (49% aandeel is hernieuwbaar) en de toepassing van PV-panelen wordt zonder aanvullende maatregelen voldaan aan de BENG-eisen 'primair fossiele energie' en 'hernieuwbare energie'. Om aan de BENG-eis 'Energiebehoefte' te voldoen zijn aanvullende maatregelen vastgesteld: het

verlagen van de U-waarde van de ramen (toepassing triple glas), het verbeteren van de luchtdichtheid en het toepassen van zonwering. Daarnaast is gekozen voor een ander ventilatiesysteem: gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning en met CO₂-sturing in elke verblijfsruimte. Een belangrijk aspect bij de warmteterugwinning is de kanaallengte tussen buiten en de WTW-unit. Er is rekening gehouden met de toevoer van ventilatielucht via een verticale schacht.

De aanvullende maatregelen en het effect daarvan op de BENG-indicatoren is in de volgende tabel weergegeven.

Tabel 8: Aanvullende maatregelen 'Houthaven blok 2'

Aanvullende maatregel	Energiebehoefte	Primair fossiele energie	Hernieuwbare energie
Voorlopige eis	≤ 25 kWh/m ²	≤ 25 kWh/m ²	≥ 50%
Basisuitkomst	40,2 kWh/m ²	19,4 kWh/m ²	67%
+ U-waarde 1,3 → 1,0 W/m ² K	36,2 kWh/m ²	17,3 kWh/m ²	69%
+ verlagen q _{v,10} waarde van 0,42 naar 0,25 dm ³ /s.m ²	33,0 kWh/m ²	15,5 kWh/m ²	70%
+ Gebalanceerde ventilatie met WTW met CO ₂ -sturing in elke VR (gemiddelde lengte toevoerkanaal tussen buiten en WTW: 15 m)	27,3 kWh/m ²	11,5 kWh/m ²	73%
+ Toepassen zonwering ZO	24,3 kWh/m ²	11,2 kWh/m ²	74%

Project B

Geen van de drie BENG-indicatoren voldoen met het basisconcept aan de eisen. In eerste instantie zijn aanvullende maatregelen getroffen om de energiebehoefte te beperken. Daarbij moet worden gedacht aan het verbeteren van de thermische kwaliteit en het optimaliseren van de zontoetreding. Door rekening te houden met gebalanceerde ventilatie daalt de energiebehoefte weliswaar maar het primaire fossiele energiegebruik stijgt.

Er is in de basisberekening uitgegaan van het invoeren van de werkelijke lengtes van de lineaire thermische bruggen. Daarbij is uitgegaan van conservatieve warmteverliezen via aansluitdetails (Ψ -waardes), extra aandacht bij de detaillering maakt een verder verlaging van deze waardes mogelijk. Om aan de BENG-eisen 'primair fossiel energie' en 'hernieuwbare energie' te kunnen voldoen zijn er, buiten het opwekken van energie, geen voor de hand liggende opties. Voor de hoeveelheid extra energieopwekking, met 250 m² PV-panelen, is op het dak geen plaats. Om die benodigde energieopwekking toch te kunnen realiseren kan worden gedacht aan PV-panelen tegen de gevel, of energieopwekking in de omgeving. Het is niet nader onderzocht of dat haalbare opties zijn.

De aanvullende maatregelen en het effect daarvan op de BENG-indicatoren is in de volgende tabel weergegeven.

Tabel 9: Aanvullende maatregelen 'Project B'

Aanvullende maatregel	Energiebehoefte	Primair fossiele energie	Hernieuwbare energie
Voorlopige eis	$\leq 25 \text{ kWh/m}^2$	$\leq 25 \text{ kWh/m}^2$	$\geq 50\%$
Basisuitkomst	57,8 kWh/m ²	62,1 kWh/m ²	42%
+ Van HR ⁺⁺ naar triple glas (U-waarde 1,1 -> 0,6 W/m ² K)	53,2 kWh/m ²	59,9 kWh/m ²	41%
+ Verlagen ZTA-waarde triple glas (ZTA van 0,6 naar 0,4)	45,1 kWh/m ²	51,5 kWh/m ²	46%
+ Toepassen zonwering ZO/ZW	41,1 kWh/m ²	48,3 kWh/m ²	47%
+ Infiltratie ($q_{v,10;kar}$ -waarde) van 0,42 naar 0,25 dm ³ /s.m ²	38,2 kWh/m ²	46,6 kWh/m ²	48%
+ Gebalanceerde ventilatie met WTW met CO ₂ -sturing	29,5 kWh/m ²	49,4 kWh/m ²	42%
+ Rc-waarde 6,0 vloer/gevel en dak 8,0 m ² K/W	27,1 kWh/m ²	48,0 kWh/m ²	42%
+ lineaire warmteverliezen cf. SBR-details	24,9 kWh/m ²	45,9 kWh/m ²	42%
+ 250 m ² PV extra	24,9 kWh/m ²	23,9 kWh/m ²	68%

2.6 Meerkosten

Voor drie van de vijf hoogbouwprojecten zijn door de deelnemers de meerkosten bepaald om te komen tot BENG. De vergelijking is bij twee projecten opgesteld ten opzichte van een situatie die voldoet aan een EPC van $\leq 0,4$. Bij één project zijn de meerkosten bepaald ten opzichte van EPC 0,0.

Tabel 10: Meerkosten BENG-varianten

Project	Meerkosten totaal per appartement	Meerkosten (€/m ² gebruiksoppervlak)
Meerkosten BENG-variant ten opzichte van EPC $\leq 0,4$		
Houthaven blok 2 te Amsterdam	€ 18.327,70	€ 107,81 / m ²
Project B	€ 9.229,94	€ 126,44 / m ²
Meerkosten BENG-variant ten opzichte van EPC = 0		
@home Amstelkwartier te Amsterdam	€ 3.291,20	€ 38,72 / m ²

De meerkosten zijn inclusief 21% BTW.

Hoofdstuk 3 Gevoeligheidsanalyse

3.1 Analyse ontwerpaspecten

3.1.1 Analyse praktijkprojecten

De energieconcepten van de praktijkprojecten zijn niet gelijk. Dat blijkt uit tabel 2. Hierdoor zijn de uitkomsten onderling niet goed te vergelijken. Om een betere vergelijking te kunnen maken tussen de praktijkprojecten onderling zijn de energieconcepten van de praktijkprojecten geharmoniseerd. Daarbij zijn de uitgangspunten van het praktijkproject 'Project B' als basis gehanteerd met de volgende opmerkingen:

1. Het effect van de lineaire thermische bruggen is forfaitair doorgerekend;
2. Er is in de berekening geen rekening gehouden met elektriciteitsopwekking door PV-panelen;
3. De oriëntatie van de praktijkprojecten is niet aangepast.

De belangrijkste kenmerken van het geharmoniseerde energieconcept zijn in tabel 11 weergegeven.

Tabel 11: Referentie vier woningtypen

Bouwkundig	Installatietechnisch
RC vloer: 3,5 m ² K/W	Externe warmtelevering
RC gevel: 4,5 m ² K/W	LT-vloerverwarming
RC dak: 6,0 m ² K/W	C4c. ZR-roosters + CO ₂ -sturing op afvoer in elke verblijfsruimte
U _{raam} : 1,36 W/m ² K, ZTA: 0,6	Geen PV-panelen
Lineaire warmteverliezen: forfaitair	
Verbeterde infiltratie: 0,42 dm ³ /s.m ²	

De uitkomsten van de BENG-indicatoren met de geharmoniseerde uitgangspunten zijn in tabel 12 weergegeven. Daarbij zijn tevens de ontwerpkenmerken zoals in hoofdstuk 2 beschreven van de praktijkprojecten weergegeven.

Tabel 12: Vergelijking geharmoniseerde praktijkprojecten

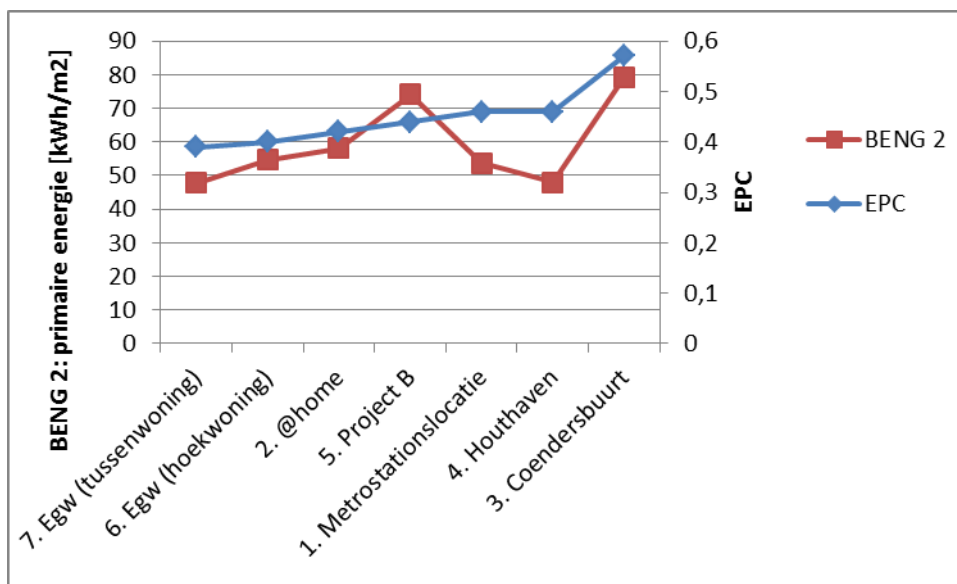
	1. Metrostationslocatie (aangepast)	2. @home Amstelkw. (aangep.)	3. Coendersbuurt (aangepast)	4. Houthaven (aangepast)	5. Project B (aangepast)	6. Eengezinswoning (hoekwoning)	7. Eengezinswoning (tussenwoning)
EPC	0,46	0,42	0,57	0,46	0,44	0,40	0,39
BENG 1: Energiebehoefte [kWh/m ²]	38,4	36,4	76,7	43,1	59,3	50,9	39,3
BENG 2: Primaire fossiele energie [kWh/m ²]	53,6	58,1	79,1	47,9	74,2	54,7	47,7
BENG 3: Hernieuwbare energie [%]	37	40	32	38	35	47	38
Verhoudingsgetal (schil/GO)	1,0	0,8	1,6	0,8	1,4	2,1	1,5
% open delen	47%	23%	49%	49%	42%	13%	25%

Om een beter inzicht in de rekenresultaten te geven is een aantal van de resultaten uit tabel 12 gecombineerd in een grafiek weergegeven. Het gaat daarbij om aspecten die elkaar beïnvloeden of die aan elkaar te koppelen zijn.

In figuur 2 is de uitkomst van de EPC van de praktijkprojecten van laag naar hoog weergegeven. Daarnaast is het verloop van BENG-2 'Primair fossiel energiegebruik' weergegeven. De relatie tussen de EPC en BENG 2 is groot maar niet lineair. Een verklaring daarvoor is dat:

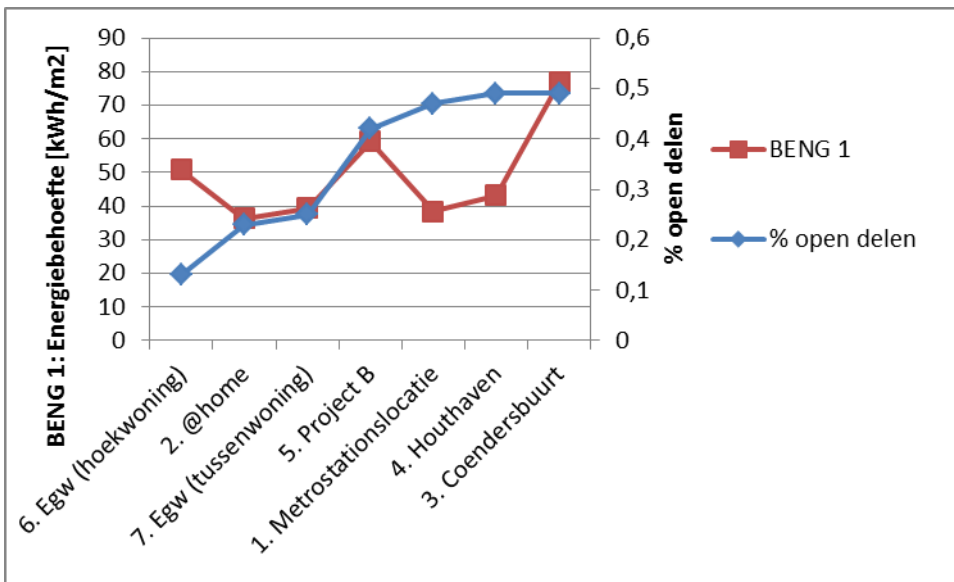
- De uitkomst van de EPC-berekening beïnvloed wordt door het berekende energiegebruik en het energiebudget (dat bepaald wordt door het aantal woningen, gebruiksoppervlak en verliesoppervlak);
- De uitkomst van BENG 2 wordt bepaald door het berekende energiegebruik en de gebruiksoppervlakte;
- Het berekende energiegebruik is in de EPC-berekening en de BENG-berekening niet gelijk; dit betreft bijvoorbeeld een verschil in verlichting dat in de BENG-berekening niet wordt meegewogen.

Figuur 2: relatie EPC en BENG 2



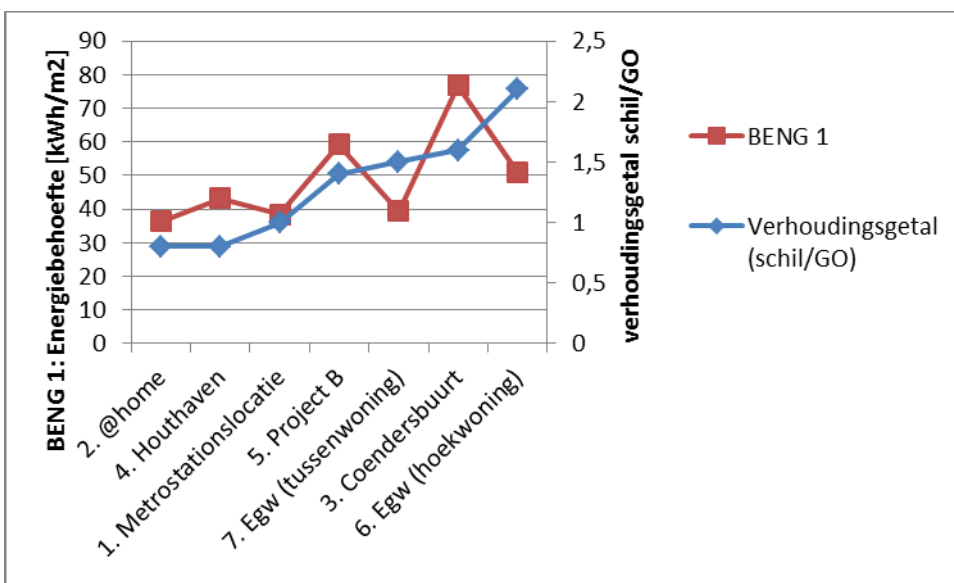
De mate van transparantie van de gevel is in figuur 3 van laag naar hoog uitgezet. Daarnaast is de energiebehoefte (BENG 1) in de grafiek weergegeven. Het verloop van beide waarden is niet direct te koppelen. Naast het percentage open delen in de gevel zijn andere ontwerpaspecten van invloed op de uitkomst van BENG-indicator 1. Denk daarbij aan de oriëntatie van het gebouw, de oriëntatie van de openingen en de compactheid van het gebouw.

Figuur 3: % open delen en BENG 1



In figuur 4 is voor de praktijkprojecten het verhoudingsgetal (schil / GO) van laag naar hoog uitgezet. De energiebehoefte (BENG 1) volgt het verhoudingsgetal niet exact. Er zijn naast het verhoudingsgetal (schil / GO) zoals hiervoor ook gezegd andere aspecten die de uitkomst van BENG-indicator 1 mede bepalen.

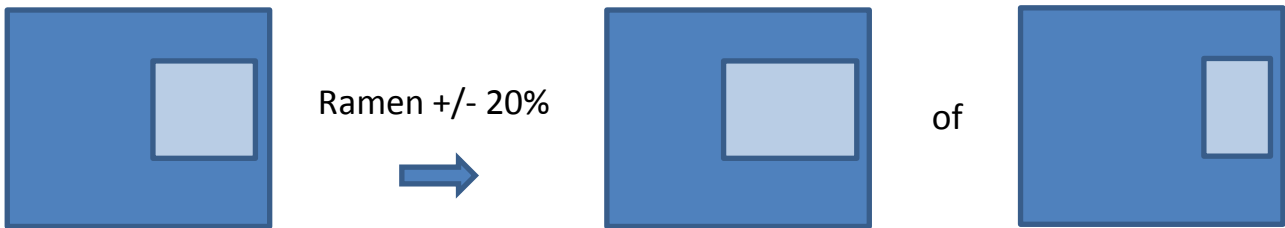
Figuur 4: relatie verhoudingsgetal schil/GO en BENG 1



3.1.2 Effect glasoppervlakte

Uit de vorige paragraaf blijkt dat het niet goed mogelijk is om van verschillende praktijkprojecten één gebouwkenmerk te beoordelen en de invloed daarvan op de uitkomst van de energiebehoefte vast te stellen. Daarom is er binnen één praktijkproject een analyse uitgevoerd.

Om inzicht te kunnen geven in het effect van wijzigingen in de transparantie van de gevel is van het praktijkproject 'Project B' gevarieerd in glasoppervlak. De invloed daarvan op de energiebehoefte is bepaald.



Figuur 5: Aanpassen raamoppervlak

Tabel 13: Effect aanpassen raamoppervlak

	5. Project B	5. Project B (+20% raamoppervlak)	5. Project B (-20% raamoppervlak)
Energiebehoefte [kWh/m ²]	57,8	67,0	49,5
% open delen	42%	51%	34%

Voor het praktijkproject 'Project B' geldt dat het beperken van het percentage ramen in de gevel leidt tot een beperking van de energiebehoefte. Deze conclusie kan niet worden veralgemeniseerd voor alle hoogbouw, dat blijkt ook uit figuur 3 waarbij voor de praktijkprojecten de relatie tussen de transparantie en de energiebehoefte is weergegeven. Aspecten die daarbij een rol spelen:

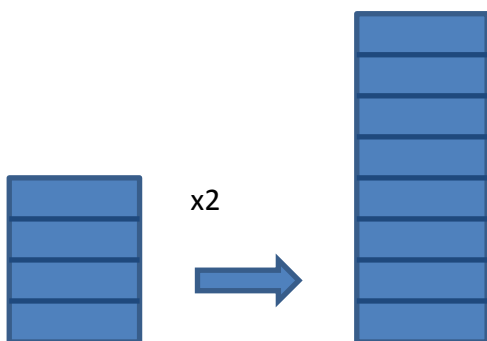
- Verhouding van de warmtebehoefte ten opzichte van de koudebehoefte;
- Oriëntatie van het gebouw;
- Transparantie van de gevels;
- Verdeling van de transparante delen over de verschillende oriëntaties.

3.1.3 Effect hoogte gebouw

Uit paragraaf 3.1.1 blijkt dat het niet goed mogelijk is om van verschillende praktijkprojecten één gebouwkenmerk te beoordelen en de invloed daarvan op de uitkomst van de energiebehoefte vast te stellen. Daarom is er binnen een praktijkproject een analyse uitgevoerd.

Om inzicht te kunnen geven in het effect van wijzigingen in de compactheid van het gebouw is van het praktijkproject 'Project B' gevarieerd in het aantal bouwlagen; die is verdubbeld. De invloed daarvan op de energiebehoefte is bepaald.

Figuur 6: Aanpassen compactheid gebouw



Tabel 14: Effect aanpassen compactheid

	5. Project B	5. Project B (verdubbeling hoogte)
Energiebehoefte [kWh/m ²]	57,8	55,3
Verhoudingsgetal (schil/GO)	1,4	1,1

Voor het praktijkproject 'Project B' geldt dat een compacter gebouw (gunstiger verhouding schil/GO) leidt tot een beperking van de energiebehoefte. Die conclusie kan niet worden veralgemeniseerd, dat blijkt uit figuur 4 waarbij de compactheid van de praktijkprojecten gekoppeld is aan de uitkomst van de energiebehoefte.

3.1.4 Effect oriëntatie

Het effect van het wijzigen van de oriëntatie is weergegeven in tabel 15. De resultaten zijn vastgesteld met het geharmoniseerd energieconcept zoals beschreven in paragraaf 3.1.1. De energiebehoefte van de basisoriëntatie is weergegeven, vervolgens is de energiebehoefte van de meest gunstige en de minst gunstige oriëntatie en de spreiding van de energiebehoefte in de tabel opgenomen.

Tabel 15: Effect aanpassen oriëntatie

	1. Metrostationslocatie	2. @home Amstelkwartier	3. Coendersbuurt	4. Houthaven	5. Project B	6. Eengezinswoning (hoekwoning)	7. Eengezinswoning (tussenwoning)
Energiebehoefte [kWh/m ²]	38,4	36,4	76,7	43,1	59,3	50,9	39,3
Uitkomst meest gunstige oriëntatie	34,1	33,7	64,7	38,8	56,7	45,3	34,0
Uitkomst minst gunstige oriëntatie	38,9	36,7	76,8	45,0	61,1	50,9	39,3
Spreiding energiebehoefte a.g.v. draaien gebouw [ΔkWh/m ² : min-max]	4,8	3,0	12,1	6,2	4,4	5,6	5,3

Het valt op dat de spreiding van de meest- en minst gunstige tussen de praktijkprojecten groot is; van 3,0 kWh/m² tot 12,1 kWh/m².

Het verschil tussen de meest gunstige en minst gunstige oriëntatie binnen een project wordt groter op het moment dat er sprake is gebouwen dat een- of tweezijdig (tegenover elkaar gelegen) georiënteerd is.

3.1.5 Conclusie

Uit de vergelijking van de praktijkprojecten blijkt dat niet één ontwerpaspect bepalend is voor de energiebehoefte. De combinatie van ontwerpaspecten zoals de compactheid van het gebouw, de oriëntatie en de transparantie van de gevel zijn samen bepalend voor de energiebehoefte van een gebouw. Aandacht voor het gebouwo ontwerp is benodigd om een omvangrijk maatregelenpakket op componentniveau (thermische kwaliteit, luchtdichtheid, ventilatiesysteem e.d.) te voorkomen.

Algemeen kan worden gesteld dat een compact gebouw de energiebehoefte beperkt. Wat het effect is van het verhogen van de mate van transparantie kan niet algemeen worden gesteld; dat effect is project specifiek en wordt bepaald door de warmte- en koudebehoefte van het gebouw.

3.2 Invloed aanpassingen 'energiebehoefte'

Het effect van een aantal verbetermaatregelen op de BENG-indicator 1 (energiebehoefte) is bepaald voor het praktijkproject 'Project B'. Daarbij zijn maatregelen 'gestapeld' om vast te kunnen stellen welke aanvullende maatregelen er nodig zijn om aan de voorlopige BENG-eisen te kunnen voldoen.

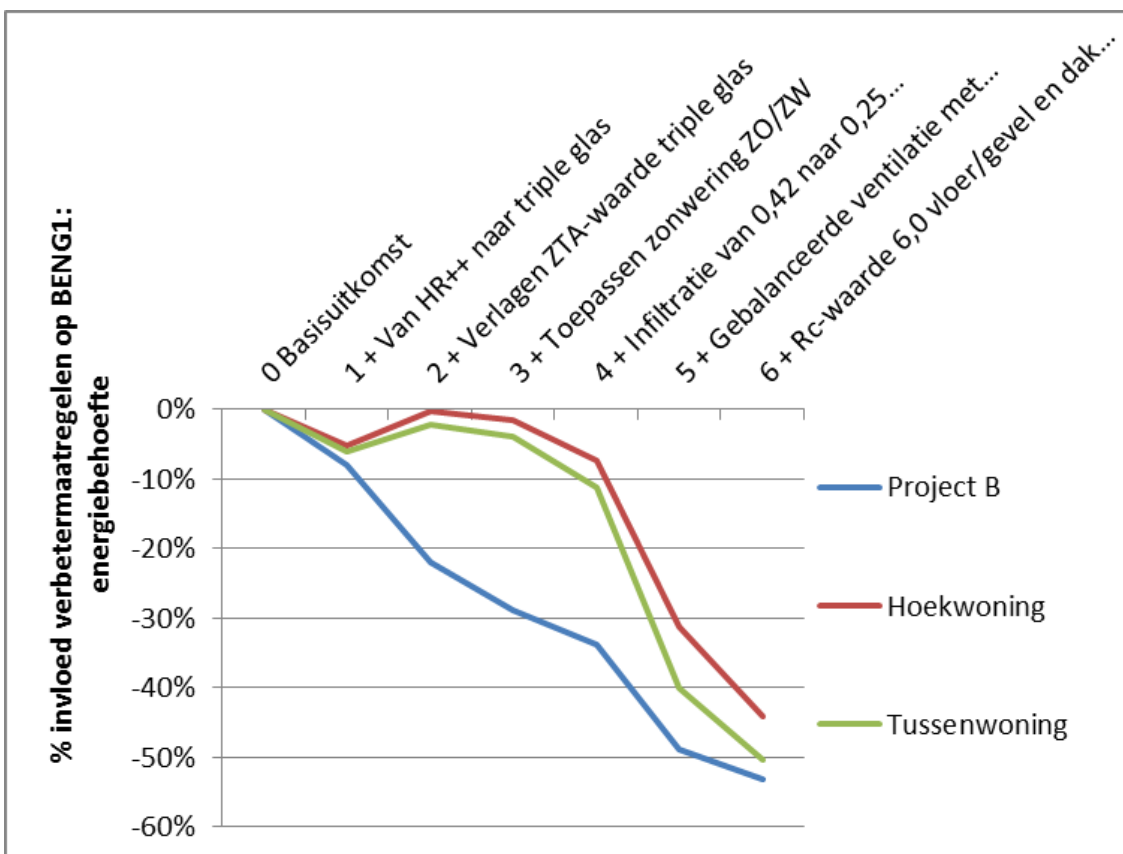
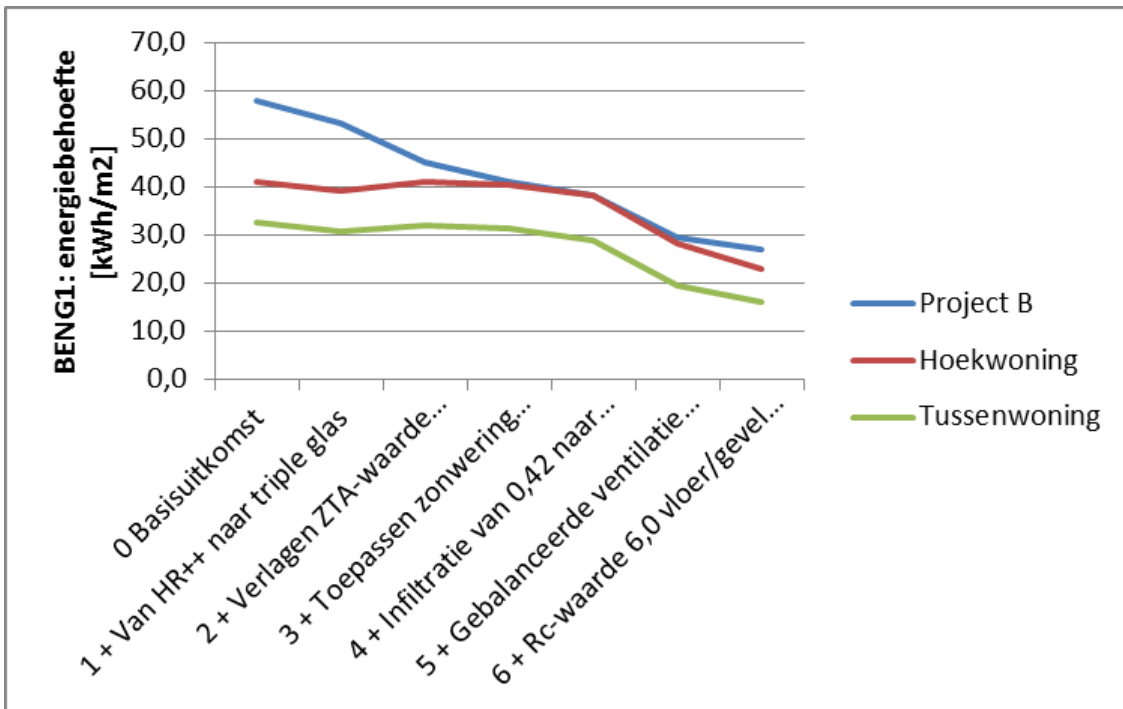
Om inzicht te geven in het verschil tussen 'Project B' en de eengezinswoningen die beschouwd zijn is het effect van de verbetermaatregelen ook voor de eengezinswoningen doorgerekend. Daarbij zijn de bouwkundige en installatietechnische uitgangspunten van beide projecten eerst gelijk getrokken; de uitgangspunten van 'Project B' zijn op de eengezinswoningen geprojecteerd.

De rekenresultaten zijn in de volgende tabel weergegeven. De resultaten zijn vervolgens ook in grafiekvorm weergegeven.

Tabel 16: vergelijking effect verbetermaatregelen

	Project B		Hoekwoning (voorgevel: oost)		Tussenwoning (voorgevel: oost)	
	BENG 1		BENG 1		BENG 1	
	[kWh/m ²]	[%]*	[kWh/m ²]	[%]*	[kWh/m ²]	[%]*
0. Basisuitkomst	57,8	-	41,1	-	32,7	-
1. + Van HR ⁺⁺ naar triple glas (U-waarde 1,1 -> 0,6 W/m ² K)	53,2	-8%	39,0	-5%	30,7	-6%
2. + Verlagen ZTA-waarde triple glas (ZTA van 0,6 naar 0,4)	45,1	-22%	41,0	0%	32,0	-2%
3. + Toepassen zonwering ZO/ZW	41,1	-29%	40,5	-1%	31,4	-4%
4. + Infiltratie van 0,42 naar 0,25 dm ³ /s.m ²	38,2	-34%	38,1	-7%	29,0	-11%
5. + Gebalanceerde ventilatie met WTW met CO ₂ -sturing	29,5	-49%	28,3	-31%	19,6	-40%
6. + Rc-waarde 6,0 vloer/gevel en dak 8,0 m ² K/W	27,1	-53%	23,0	-44%	16,2	-50%
7. optimalisatie detaillering (Ψ-waardes)	24,9	-57%	-	-	-	-

* Procentuele verbetering t.o.v. de basis



Het valt op dat het effect van de verbetermaatregelen voor 'Project B' en de eengezinswoningen aanzienlijk verschilt. De wijzigingen in de ramen (thermische kwaliteit, beperking zoninstraling) hebben voor de eengezinswoningen een beperkte invloed, anders dan voor 'Project B'. De projectspecifieke kenmerken (oriëntatie, glasoppervlak) zijn daarbij belangrijke invloedsfactoren.

Voor de variantberekening in tabel 16 geldt steeds dat energiebehoefte voor de hoogbouw groter is dan de energiebehoefte van de eengezinswoningen.

3.3 Invloed installatietechnische aanpassingen

Voor het praktijkproject 'Project B' is van een aantal installatietechnische wijzigingen het effect op de uitkomst van de BENG-indicatoren bepaald. Deze aspecten zijn niet voor de eengezinswoningen doorgerekend; een vergelijking met de eengezinswoningen wordt in deze rapportage niet gemaakt. Voor de invloed van installatie-componenten op eengezinswoningen wordt verwezen naar het parallel uitgevoerde onderzoek voor de ZEN-werkgroep 'BENG-eisen'.

3.3.1 Verwarming / tapwater

Er is gevarieerd in de wijze waarop de warmte wordt geleverd voor ruimteverwarming en warm tapwater. De doorgerekende concepten zijn:

- Warmtelevering / stadsverwarming (basisconcept): hierbij is in overeenstemming met de handreiking BENG er vanuit gegaan dat 49% van de warmte die geleverd wordt duurzaam is.
- HR-107 combiketel.
- WKO: warmte- koudeopslag met het rendement van een individuele warmtepomp;
- Booster warmtepomp: een collectieve warmtepomp met een booster-warmtepomp per appartement. De wijze waarop het rendement van dit installatieconcept bepaald moet worden volgens de NEN 7120 is (nog) niet vastgesteld. In de praktijk zal het rendement vergelijkbaar zijn met dat van het WKO-concept; die waardes zijn dan ook overgenomen;
- Biomassa: voor het bepalen van de BENG-indicatoren met biomassa is gebruik gemaakt van een kwaliteitsverklaring die voor de NEN 7120 is opgesteld door TNO. Deze verklaring gaat ervan uit dat er geen primair fossiel energiegebruik plaats vindt voor het leveren van de warmte, dat betekent dat er geen energiegebruik in rekening wordt gebracht voor het leveren van de warmte voor de ruimteverwarming en warm tapwater (behoudens de hulpenergie die hiervoor nodig is). Deze rekenmethodiek staat ter discussie en zal nog wijzigen.

Tabel 17: BENG-indicatoren diverse (installatie)concepten

	BENG 1: Energiebehoefte	BENG 2: Primaire fossiele energie	BENG 3: Hernieuwbaar
Verwarming / warm tapwater			
Basis: Project B (warmtelevering)	57,8 kWh/m ²	62,1 kWh/m ²	42%
HR-107 combiketels	57,8 kWh/m ²	98,2 kWh/m ²	4%
WKO	57,8 kWh/m ²	43,5 kWh/m ²	57%
Booster warmtepomp	57,8 kWh/m ²	43,5 kWh/m ² (copy WKO)	57% (copy WKO)
Biomassa	57,8 kWh/m ²	15,3 kWh/m ²	85%

Het concept met een HR-107 combiketel heeft een zeer negatief effect op de uitkomst van het primaire fossiele energiegebruik en het aandeel hernieuwbaar. Om BENG-indicator 2 en 3 te laten voldoen ligt de toepassing van PV-panelen voor de hand, hiervoor is echter onvoldoende (dak)vlak voor beschikbaar. Hierdoor is een concept met een HR-107 combiketel niet meer haalbaar.

Alternatieven voor de ketel zijn echter niet altijd allemaal goed mogelijk. Bij die alternatieven kan worden gedacht aan een WKO (ongeschikte bodemgesteldheid), biomassa (beperkte beschikbaarheid biomassa) en duurzame warmtelevering (niet altijd beschikbaar).

3.3.2 Ventilatie

Het ventilatiesysteem heeft invloed op de energiebehoefte (BENG 1) en het primaire fossiele energiegebruik (BENG 2). Omdat het aandeel hernieuwbaar gekoppeld is aan het primaire fossiele energieverbruik heeft het ventilatiesysteem ook invloed op het aandeel hernieuwbaar (BENG 3). Het primaire fossiele energiegebruik (BENG 2) wordt ook door het energieverbruik door ventilatoren beïnvloed.

Tabel 18: BENG-indicatoren diverse ventilatie-varianten

	EPC	BENG 1: Energiebehoefte	BENG 2: Primaire fossiele energie	BENG 3: Hernieuwbaar
Ventilatie				
Basisuitkomst (C4c: CO ₂ systeem met extra CO ₂ sensoren + ZR-roosters+ afzuiging per ruimte)	0,38	57,8 kWh/m ²	62,1 kWh/m ²	42%
(5) C2a: ZR-comfort roosters, geen sturing afvoer ventilatielucht	0,41	67,9 kWh/m ²	68,7 kWh/m ²	42%
(6) C4a: ZR-comfort roosters, CO ₂ sturing afvoer ventilatielucht in de woonkamer	0,39	59,8 kWh/m ²	63,7 kWh/m ²	42%
(7) D2b2: Gebalanceerd met WTW, geen sturing	0,42	56,5 kWh/m ²	70,4 kWh/m ²	36%
(8) D4b: Gebalanceerd met WTW, 2-zone tijdregeling	0,42	55,2 kWh/m ²	69,8 kWh/m ²	36%
(9) D5a: Gebalanceerd met WTW, 2-zone CO ₂ regeling (CO ₂ sensor per VR)	0,41	53,5 kWh/m ²	68,9 kWh/m ²	36%
Opmerking: bij gebalanceerde ventilatie is gerekend met een kanaallengte van 5 meter tussen buiten en het WTW-toestel. De kanaallengte kan een aanzienlijk effect hebben op de uitkomsten.				

De energiebehoefte daalt naar mate het ventilatiedebiet beter wordt aangepast op de ventilatiebehoefte van bewoners; een goed gestuurd ventilatiesysteem leidt tot een lage(re) energiebehoefte.

De energiebehoefte van een goed gestuurd ventilatiesysteem C (met luchttoevoer via roosters) is nog iets hoger dan de warmtebehoefte met een ongestuurd gebalanceerd ventilatiesysteem met WTW.

Wat opvalt is dat het primaire fossiel energiegebruik juist stijgt bij het wijzigen van het ventilatiesysteem met ventilatieroosters naar gebalanceerde ventilatie, in lijn met de uitkomst van de EPC-berekening, door de tweede ventilator.

Effect individuele verbetermaatregel

Het effect van een individuele verbetermaatregel (de Δ kWh/m²) wordt niet alleen door de verbetermaatregel alleen bepaald. Het effect hangt ook af van de overige kenmerken (ontwerp, bouwkundige en installatietechnische kenmerken). Dat kan goed worden geïllustreerd aan de hand van het effect van gebalanceerde ventilatie. Dat is in tabel 16 berekend. Verbetermaatregel 5 in de tabel is het toepassen van gebalanceerde ventilatie. Dat heeft een effect van 8,7 kWh/m². Dezelfde verbetermaatregel is in tabel 18 voor hetzelfde doorgerekend, ten opzichte van de basisberekening is dan het effect 'slechts' 4,3 kWh/m². Het gaat daarbij dus om hetzelfde project en dezelfde verbetermaatregel. Wat wel verschilt is de U_w -waarde, ZTA-waarde, zonwering, infiltratie. Die beïnvloeden het effect van de verbetermaatregel dus in grote mate.

Hoofdstuk 4 Conclusie

Nieman Raadgevende Ingenieurs heeft in opdracht van Lente-akkoord onderzoek verricht naar het effect van BENG-eisen voor gestapelde bouw. De resultaten daarvan zijn besproken tijdens de bijeenkomsten van de themagroep 'gestapelde bouw' en zijn in deze rapportage opgenomen. Daarbij is stil gestaan bij het verschil tussen hoogbouw (minimaal vijf bouwlagen) en eengezinswoningen. De conclusies worden hierna per BENG-indicator weergegeven.

Praktijkprojecten

Om het effect van de eisen aan de BENG-indicatoren te kunnen beoordelen zijn door de deelnemers praktijkprojecten aangedragen. In totaal zijn vijf gestapelde woningbouwprojecten beoordeeld. Een van de praktijkprojecten bestaat uit vier bouwlagen, de overige hebben minimaal vijf bouwlagen. Daarnaast is een grondgebonden hoek- en tussenwoning beschouwd om het verschil tussen hoogbouw en eengezinswoningen te kunnen analyseren.

BENG 1 - energiebehoefte

Uit de analyse van de praktijkprojecten blijkt dat het voldoen aan de voorlopige eisen aan de energiebehoefte het grootste knelpunt is. Een goed ontwerp (oriëntatie, compactheid, transparantie) is een randvoorwaarde en daarnaast is er in de voorbeeldprojecten een omvangrijk maatregelenpakket benodigd om aan de eis te kunnen voldoen. Daarbij moet worden gedacht aan:

- de toepassing van triple glas;
- het optimaliseren van aansluitdetails; beperken warmteverlies en uitgebreid invoeren van lineaire thermische bruggen en het beperken van het luchtdoorlatendheid;
- het verhogen van de warmteweerstand ten opzichte van bouwbesluiteisen;
- het optimaliseren van de zontoetreding; toepassen zonwering, en verlagen ZTA-waarde;
- het optimaliseren van het ventilatiesysteem.

Ontwerpkenmerken / vergelijking hoogbouw - eengezinswoningen

Als hoogbouw en eengezinswoningen met elkaar vergeleken worden dan valt op dat:

- Hoogbouw doorgaans compacter is dan een eengezinswoning;
- Bij hoogbouw een hoger percentage van de gevel transparant is dan bij eengezinswoningen.

Het eerste punt valt in het voordeel van de hoogbouw uit. Het wordt door de project specifieke kenmerken bepaald in hoeverre het tweede aspect in het nadeel van de hoogbouw is. Dat wordt mede bepaald door de oriëntatie van het gebouw en de verhouding tussen de warmte- en koelbehoefte van het gebouw. Niettemin blijkt uit de vergelijking tussen een hoogbouwproject en een (referentie) eengezinswoning dat de hoogbouw aanzienlijk slechter scoort:

De bouwkundige en installatietechnische uitgangspunten van een van de praktijkprojecten en die van de eengezinswoningen zijn gelijk gesteld. Op basis van de gevoeligheidsanalyse die vervolgens is uitgevoerd blijkt dat de energiebehoefte (BENG 1) van het hoogbouwproject altijd hoger is dan die van de eengezinswoningen. Belangrijkste oorzaak daarvan is het aanzienlijk grotere aandeel glas in de gebouwschil. Daarnaast blijkt dat het effect van een verbetermaatregelen project specifiek is en ook afhankelijk is van de uitgangspunten van de basisberekening.

Uit de onderlinge vergelijking van de hoogbouw praktijkprojecten blijkt dat niet één ontwerpaspect bepalend is voor de energiebehoefte. De combinatie van ontwerpaspecten zoals de compactheid van het gebouw, de oriëntatie en de transparantie van de gevel zijn samen bepalend voor de energiebehoefte van een gebouw. Aandacht voor het gebouwwontwerp is benodigd om een omvangrijk / niet haalbaar maatregelenpakket op componentniveau (thermische kwaliteit, luchtdichtheid, ventilatiesysteem e.d.) te voorkomen.

Voor een praktijkproject variantberekeningen opgesteld waaruit blijkt dat:

- Een compacter gebouw gunstig is voor de beperking van de energiebehoefte;
- Het verlagen van de mate van transparantie van de gevel over het algemeen leidt tot beperking van de energiebehoefte.

Vooraf voor het tweede punt is project specifiek. Dat komt dan door verschillen in de oriëntatie en de verdeling van de transparante delen over de verschillende gevels.

BENG 2 – primair fossiel energiegebruik

De uitkomst van het primaire fossiele energiegebruik is van de drie BENG-indicatoren het beste te vergelijken met de uitkomst van de EPC-berekening. Tegelijk blijkt dat een directe relatie niet goed te leggen is tussen de uitkomsten van de EPC-berekening en de tweede BENG-indicator.

Van een aantal warmte-opwekkers is het effect op de BENG-indicatoren bepaald. Daaruit blijkt dat een concept met een HR-107 combiketel een zeer negatief effect heeft op de uitkomst van het primaire fossiele energiegebruik en het aandeel hernieuwbaar. Om BENG-indicator 2 en 3 te laten voldoen ligt de toepassing van PV-panelen voor de hand, hiervoor is echter onvoldoende (dak)vlak beschikbaar. Hierdoor is een concept met een gasketel in de hoogbouw bij de invoering van de BENG-eisen niet meer haalbaar. Alternatieven voor de combiketel zijn niet altijd allemaal goed mogelijk. Bij die alternatieven kan worden gedacht aan een warmte koude opslag met een warmtepomp 'WKO' (ongeschikte bodemgesteldheid), biomassa (beperkte beschikbaarheid biomassa) en duurzame warmtelevering (niet altijd beschikbaar).

Bij de analyse van het effect van een ventilatiesysteem op de uitkomst van de BENG-indicatoren valt een aantal zaken op:

- Het verbeteren van de sturing van het ventilatiesysteem leidt tot een verlaging van de energiebehoefte (BENG 1);
- De energiebehoefte van een goed (CO₂) gestuurd ventilatiesysteem met ventilatieroosters is iets hoger dan een gebalanceerd ventilatiesysteem met WTW zonder sturing.
- Het primaire fossiele energiegebruik (BENG 2) van een gebalanceerd ventilatiesysteem met WTW is hoger dan dat van een goed (CO₂) gestuurd ventilatiesysteem met ventilatieroosters. Dat kan verklaard worden door een hoger energiegebruik voor ventilatoren en de grote kanaallengte (van toevoer tot WTW-unit).

BENG 3 – hernieuwbare energie

Bij hoogbouw is de toepassing van uitsluitend PV-panelen onvoldoende om invulling te geven aan de minimale aandeel hernieuwbare energie. Dat heeft te maken met het beperkte oppervlak om PV-panelen te plaatsen.

Alternatieven zijn beschikbaar; bijvoorbeeld WKO, biomassa of duurzame warmtelevering. Zoals eerder aangegeven zijn deze alternatieven niet altijd mogelijk.

Eindconclusie

Bij de hoogbouwprojecten die geanalyseerd zijn is het voldoen aan BENG-indicator 1 'energiebehoefte' zeer uitdagend. Een uitgebreid aanvullend maatregelenpakket is benodigd om aan de eis te kunnen voldoen.

De eisen aan het primair fossiele energiegebruik (BENG 2) en het minimale aandeel hernieuwbare energie (BENG 2) leidt er toe dat een concept met een gasketel in de hoogbouw niet meer haalbaar is. Mogelijke alternatieven zijn WKO (warmtepomp), biomassa of een (duurzame) warmtelevering.

Tenslotte

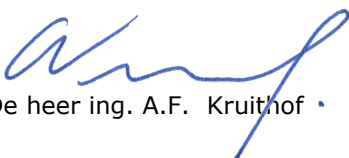
De resultaten van het onderzoek zijn gebaseerd op basis van de vijf aangeleverde praktijkprojecten. De maatregelen die benodigd zijn om te kunnen voldoen aan de (voorlopige) BENG-eisen zijn voor die praktijkprojecten bepaald. Daarnaast is van een groot aantal aspecten het individuele effect bepaald. Uit de analyses kunnen eerste algemene conclusies worden getrokken. Desalniettemin zijn er tussen de projecten onderling ook (grote) verschillen geconstateerd, bijvoorbeeld in de ontwerpkenmerken maar ook in de benodigde aanvullende maatregelen om aan de BENG-eisen te kunnen voldoen. Opvallend is dat de effecten van individuele verbetermaatregelen (de $\Delta kWh/m^2$) sterk worden beïnvloed door de overige projectkenmerken zoals het ontwerp, de bouwkundige en installatietechnische kenmerken.

Voor drie van de vijf hoogbouwprojecten zijn door de deelnemers de meerkosten bepaald om te komen tot BENG. De vergelijking is bij twee projecten opgesteld ten opzichte van een situatie die voldoet aan een EPC van $\leq 0,4$. Daarbij zijn de meerkosten € 108 – 126 / m^2 gebruiksoppervlak (incl. 21% BTW). Bij één project zijn de meerkosten bepaald op € 39 / m^2 gebruiksoppervlak (incl. 21% BTW) ten opzichte van EPC 0,0.

In de financiële beoordeling is niet alleen de meer-investering van belang, ook de exploitatielasten (onderhoud, vervanging, energielasten) spelen een belangrijke rol in die analyse.

Zwolle, 5 juli 2016

Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V.



De heer ing. A.F. Kruijthof



De heer ir. H.J.J. Valk



RAADGEVENDE INGENIEURS

Nieman

Bouwfysica, -techniek en -regelgeving

Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V.

Vestiging Utrecht

Atoomweg 400
Postbus 40217
3504 AA Utrecht
T 030-241 34 27

Vestiging Zwolle

Dr. Van Lookeren -
Campagneweg 16
Postbus 40147
8004 DC Zwolle
T 038-467 00 30



NI LID
INGENIEURS

In 't Hart van de Bouw