



Rijksdienst voor Ondernemend  
Nederland

# **BENG voorbeeldconcepten woningbouw**

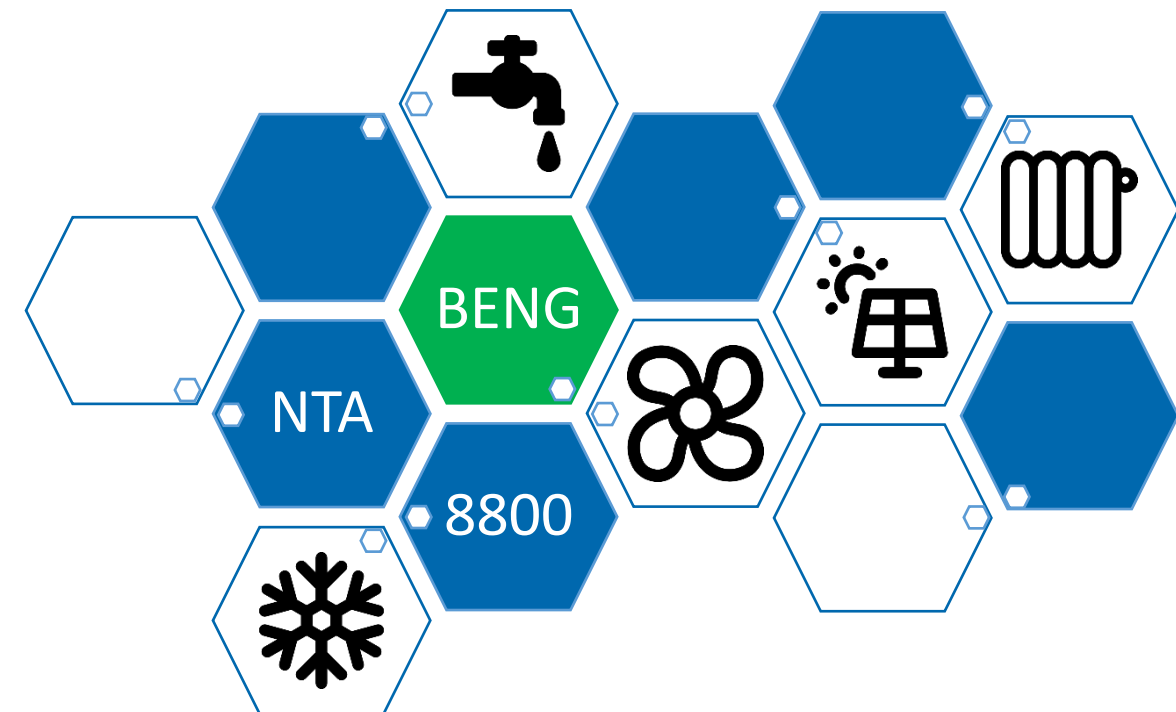
*In opdracht van het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties*

*>> Duurzaam, Agrarisch, Innovatief  
en Internationaal Ondernemen*

# BENG voorbeeldconcepten woningbouw

## Kennisoverdracht BENG

Status           definitief  
Versie           003  
Rapport         B.2017.1387.02.R001  
Datum           26 maart 2021



## Colofon

Opdrachtgever	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland Postbus 8242 3503 RE UTRECHT
Contactpersoon opdrachtgever	ing. P.H.R. van der Beesen MSc philippe.vanderbeesen@rvo.nl
Project Betreft Uw kenmerk	RVO / Voorbeelden BENG voor kennisoverdracht Voorbeeldberekeningen woningbouw -
Rapport Datum Versie Status	B.2017.1387.02.R001 26 maart 2021 003 definitief
Uitgevoerd door	DGMR Bouw B.V. Van Pallandtstraat 9-11 6814 GM Arnhem Postbus 153 6800 AD Arnhem
Contactpersoon	ir. R.M.M. (René) van der Loos 088 346 76 16 rlo@dgmr.nl
Auteur	ing. P. (Paulien) Guijt 088 346 76 21 pgu@dgmr.nl
Projectadviseur	ir. R.M.M. (René) van der Loos 088 346 76 16 rlo@dgmr.nl
2e lezer/secr.	RLO BDI/KME

## Inhoud

1. Inleiding	3
2. Voorbeeldconcepten	4
2.1 Referentiegebouwen	4
2.2 Concepten	5
2.3 Codering concepten	5
2.4 BENG-eisen en TO <sub>Juli</sub>	6
2.5 Resultaten basisconcepten	7
3. Maatregelen voor TO <sub>Juli</sub>	9
3.1 Hoekwoning M en vrijstaande woning L	9
3.2 Hoekwoning L Delft en vrijstaande woning M Herten.	9
4. Gevoeligheidsanalyse BENG 1	10
Bijlagen	
Bijlage 1	Resultaten basisconcepten
Bijlage 2	Resultaten aanpassingen in het kader van TO <sub>Juli</sub>
Bijlage 3	Resultaten gevoeligheidsanalyses BENG 1 bij basisconcepten
Bijlage 4	Uitgangspunten concepten en maatregelen (Excelbestand)

## 1. Inleiding

Vanaf 1 januari 2021 gelden er nieuwe eisen voor de energieprestatie van nieuwe gebouwen. In plaats van de energieprestatie-eisen uit te drukken in een EPC-waarde, komen de 'Bijna Energie Neutraal Gebouwd' (BENG)-indicatoren ervoor in de plaats. De BENG-indicatoren worden bepaald met de nieuw ontwikkelde NTA 8800 die als bepalingsmethode in plaats komt van NEN 7120.

Om marktpartijen inzicht te geven in de consequenties van de nieuwe bepalingsmethode en de nieuwe BENG-eisen, zijn in opdracht van RVO voorbeeldconcepten ontwikkeld en doorgerekend.

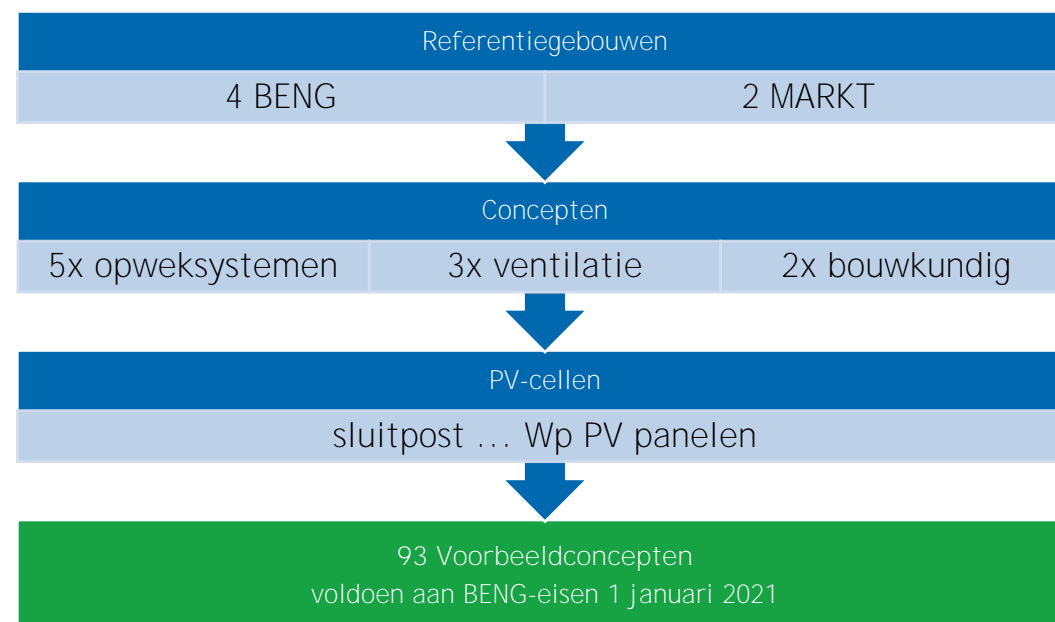
De kennisoverdracht naar de markt vraagt om doorgerekende voorbeeldconcepten van woningen en woongebouwen. Deze voorbeelden maken inzichtelijk met welke maatregelenpakketten de woningen aan de BENG-eisen kunnen voldoen. Naast de BENG-eisen is ook onderzocht of de woningen voldoen aan de  $TO_{juli}$  eis. Voor een aantal voorbeelden is de relatie met de huidige bepalingsmethode (NEN 7120) in beeld gebracht door ook de EPC (volgens NEN 7120) te bepalen.

Daarnaast is de impact in beeld gebracht van een aantal losse maatregelen op de indicator voor energiebehoefte (BENG 1) die in de NTA 8800 (ten opzichte van de handreiking BENG bij NEN 7120) een andere invulling heeft gekregen.

### Voorbeeldconcepten woningbouw

Bij de doorrekening van de concepten zijn zes verschillende woningtypen meegenomen.

Vier BENG-referentiegebouwen (drie grondgebonden en één woongebouw) en twee grondgebonden voorbeeldwoningen uit de markt. De verschillende grondgebonden woningen zijn doorgerekend met vijftien verschillende concepten en het woongebouw met achttien concepten.



In de concepten voor de grondgebonden woningen is onderscheid gemaakt in:

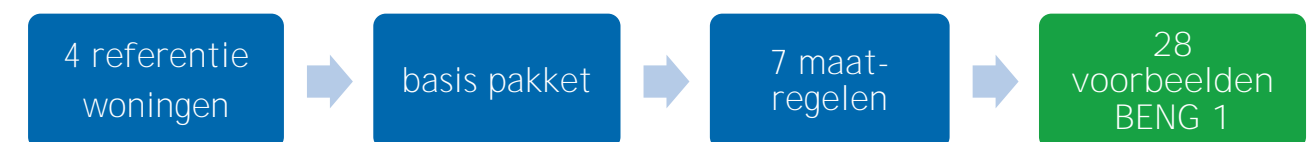
- Vijf verschillende warmte opweksystemen (in combinatie met warm tapwater en eventueel koeling).
- Twee typen warmtepompen, stadsverwarming (forfaitair en met een kwaliteitsverklaring) en biomassa.
- Drie ventilatiesystemen: mechanische afzuiging en balansventilatie (met en zonder CO<sub>2</sub>-regeling).
- Twee isolatieniveaus: Bouwbesluit+ en passiefhuis niveau.

Bij het woongebouw is er aanvullend gekeken naar een collectieve warmtepomp en naar elektrische verwarming in combinatie met elektrische doorstroomtoestellen voor warm tapwater.

Per concept is gekeken hoeveel PV-cellen nodig zijn om te voldoen aan de BENG 2 en 3-eisen. Hierbij is ook gecheckt of de beschikbare dakoppervlakte voor PV-panelen voldoende is. Voor de woningen zonder koeling is getoetst of de  $TO_{juli}$  indicator voldoet aan de Bouwbesluit eis ( $\leq 1.20$ ). Wanneer de woning niet voldeed aan de  $TO_{juli}$  eis is gekeken met welke maatregelen de woning alsnog aan de eis voor  $TO_{juli}$  kon voldoen. Bij twee woningtypes is voor een deel van de concepten een EPC-berekening gemaakt om een vergelijking te kunnen maken tussen de nieuwe BENG-eisen en de huidige EPC-eis.

### Gevoeligheidsanalyse BENG 1

Voor de vier BENG referentiegebouwen is in beeld gebracht wat de impact is van zes verschillende losse maatregelen en één combinatie van maatregelen op de energiebehoefte.



### Rekentools

Voor de berekening van de BENG-indicatoren is gebruik gemaakt van de validatietool NTA 8800 (versie v1.49 van 28 oktober 2020). In de tool is NTA 8800:2020 verwerkt en zijn aanpassingen meegenomen die gepubliceerd zijn in het interpretatiedocument dat beschikbaar is via NEN. De validatietool was tijdens het uitvoeren van het onderzoek nog in ontwikkeling en het kan niet uitgesloten worden dat er in de gebruikte validatietool nog (kleine) onvolkomenheden zitten.

De berekende EPC's zijn bepaald met het rekenprogramma ENORM versie 3.71.

## 2. Voorbeeldconcepten

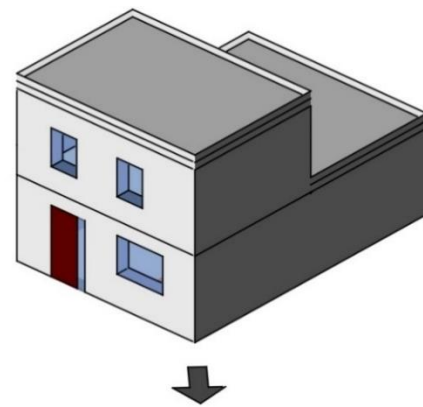
### 2.1 Referentiegebouwen

Bij de uitwerking van de concepten zijn zes verschillende woningtypen meegenomen. Vier BENG-referentiegebouwen en twee grondgebonden voorbeeldwoningen uit de markt.

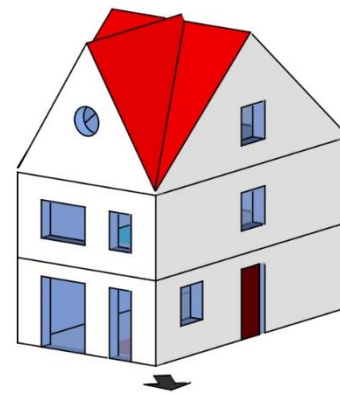
De standaard BENG-referentie tussenwoning S, hoekwoning M, vrijstaande woning L en woongebouw M zijn vrij compact en hebben een relatief beperkt glaspercentage. Om bij de uitwerking van de voorbeeldconcepten niet uit te gaan van een relatief optimaal voorbeeldgebouw is voor de tussenwoning gebruik gemaakt van de minder compacte levensloopbestendige BENG-referentie tussenwoning M met plat dak en voor het woongebouw van het minder compacte woongedeelte van het BENG-referentie combinatiegebouw L dat bestaat uit vijf bouwlagen met elk vier appartementen en vijf galerijwoningen.

Daarnaast is een oproep gedaan bij marktpartijen om voor het opstellen van de voorbeeldconcepten werkelijke projecten bij RVO aan te leveren. Hieruit zijn twee projecten naar voren gekomen:

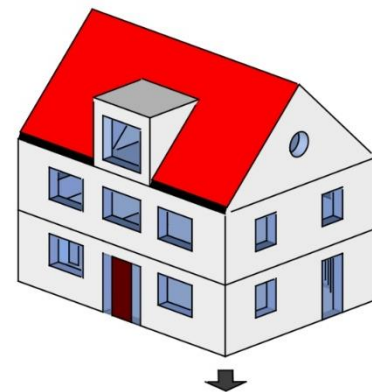
- Een ruime hoekwoning in een stedelijk blok in Delft - een project van FARO Architecten.
- Een particuliere vrijstaande HSB woning in Herten - aangeleverd door Isover.



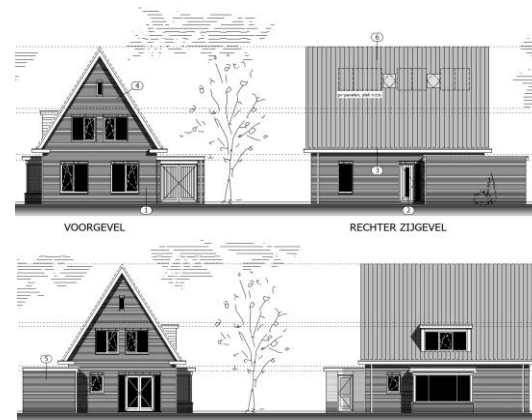
1 BENG tussenwoning M



2 BENG hoekwoning M



4 BENG vrijstaande woning L



5 MARKET vrijstaande woning M Herten

In onderstaande tabel zijn de algemene kenmerken van de verschillende gebouwen opgenomen. De compactheid van de gebouwen wordt uitgedrukt in de  $A_{15}/A_g$ -verhouding. Deze verhouding is ook bepalend voor de hoogte van de BENG 1 eis van de verschillende woningen. Het raampercentage (kozijn+glas) is uitgedrukt ten opzichte van het totale geveloppervlak. Bij de hoekwoning L in Delft is er sprake van een dakterras van circa 20 m<sup>2</sup> en een plat dak van 26 m<sup>2</sup>. Bij de tussenwoning M bedraagt het bovenste dak 27 m<sup>2</sup>.

De figuren geven een 3D-impressie van de verschillende gebouwen.

tabel 1: algemene kenmerken woningen

Herkomst	Type woning	$A_g$ [m <sup>2</sup> ]	$A_{15}/A_g$ [-]	$N_{woon}$ [-]	Raam [%]	Bouwlagen [-]	Bouwwijze [-]	$A_{dak}$ [m <sup>2</sup> (oriëntatie)]
1	BENG Tussenwoning M	87	2,03	1	21%	2	massief	27 + 33 plat
2	BENG Hoekwoning M	133	1,87	1	25%	3	massief	32 (ZW) - 16 (NO)
3	MARKT Hoekwoning L Delft	145	1,96	1	28%	4	massief	26 + 20 plat
4	BENG Vrijstaande woning L	181	2,14	1	27%	3	massief	51 (ZW) - 42 (NO)
5	MARKT Vrijstaande woning M Herten	146	1,96	1	32%	3	gemengd licht	31 (N) - 36 (Z)
6	BENG Woongebouw boven winkels	3883	0,99	45	31%	5	massief	817 plat



3 MARKET hoekwoning L Delft



6 BENG woongebouw boven winkels

## 2.2 Concepten

Voor de grondgebonden woningen zijn vijftien verschillende concepten doorgerekend, voor het woongebouw achttien concepten. De concepten zijn een samenstelling van installatietechnische en bouwkundige maatregelen. De PV-panelen vormen de sluitpost van de concepten om te voldoen aan de BENG 2 en 3-eisen.

In de concepten voor de grondgebonden woningen is onderscheid gemaakt in:

- Vijf verschillende warmte opweksystemen:
  - een combiwarmtepomp met bodemlussen, vrije koeling;
  - een combiwarmtepomp op buitenlucht;
  - stadsverwarming forfaitair, afleverset voor tapwater;
  - stadsverwarming met een kwaliteitsverklaring, afleverset voor tapwater;
  - houtpelletcombiwarmtepomp, primaire factor 0,5.
- Drie ventilatiesystemen: mechanische afzuiging en balansventilatie (met en zonder CO<sub>2</sub>-regeling).
- Twee isolatieniveaus: Bouwbesluit+ en passiefhuis niveau.

Bij het woongebouw zijn de warmte opweksystemen afwijkend. Er is onderscheid gemaakt in:

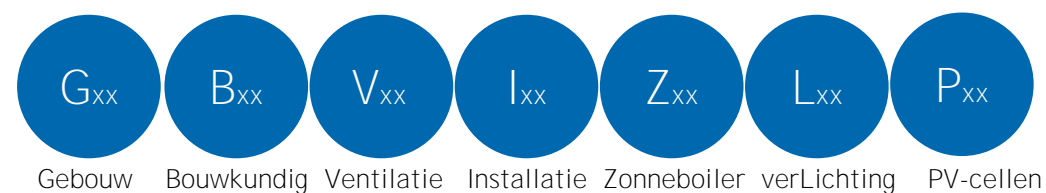
- Een collectieve warmtepomp met een boosterwarmtepomp voor warm tapwater, vrije koeling.
- Elektrische verwarming in combinatie met elektrische doorstroomtoestellen voor tapwater.
- Stadsverwarming forfaitair, afleverset voor tapwater.
- Stadsverwarming met een kwaliteitsverklaring, afleverset voor tapwater.
- Collectieve houtpelletketel voor verwarming (primaire factor 0) in combinatie met elektrische doorstroomtoestellen voor tapwater.

Aanvullend is voor twee concepten met een collectieve houtpelletketel het verschil in beeld gebracht van een primaire energiefactor van 0,5 in plaats van 0. Daarnaast is er één concept doorgerekend met een individuele combiwarmtepomp op een collectieve bron.

## 2.3 Codering concepten

Voor de verschillende gebouwen en maatregelen is gebruik gemaakt van een codering. Een toelichting op de codering is onderstaand opgenomen.

Opbouw van de totale codering van de concepten in onderdelen:



De uitgangspunten die zijn gehanteerd bij de maatregelen staan in bijlage 4 (Excelbestand) in verschillende tabbladen. Op het tabblad *Gebouwcodes*, zijn de complete coderingen voor de doorgerekende concepten weergegeven. Voor de verschillende maatregelen voor bouwkundig, installaties en ventilatie, staat in de volgende paragrafen nog een korte toelichting.

tabel 2: opties codering

Code onderdeel	Code	Omschrijving
Gebouw (G)	G11	BENG woning M hoek
	G12	BENG woning L vrij
	G13	BENG woning M tussen
	G60	BENG woongebouw (45 woningen)
	G61	MARKT woning L hoek
	G62	MARKT woning M vrij
Bouwkundig (B)	B10 en B12	Zie paragraaf 2.3.1 voor toelichting
Ventilatiesysteem (V)	V10-V12	Zie paragraaf 2.3.2 voor toelichting
Installatieconcept (verw/tap/koel) (I)	I11-I15	Grondgebonden woningen, zie bijlage 4 voor toelichting
	I21, I24-I28	Woongebouw (appartementen), zie bijlage 4 voor toelichting
Zonneboiler (Z)	Z10 en Z11	Geen en wel zonneboiler
Verlichting (L)	L99	Verlichting is niet van toepassing voor woningbouw
PV (P)	P99	Plat of hellend dak systeem, afhankelijk van bouwtype
Oriëntatie (O)	O10	Standaard (niet gedraaid)

### 2.3.1 Bouwkundig (B)

In bijlage 4 is op tabblad *RAPPORT B* specifieke informatie van elk bouwkundig pakket opgenomen. Het gaat op dit tabblad om de infiltratie, R<sub>c</sub>-waarden van de gesloten constructieonderdelen en U-waarden van de ramen en deuren. In onderstaande tabel staat een samenvatting van de uitgangspunten bij de 2 verschillende bouwkundige pakketten Bouwbesluit+ en passief. De R<sub>c</sub>-waarden van het pakket Bouwbesluit+ zijn aangepast conform de CEN-EPB normen.

tabel 3: uitgangspunten bouwkundige maatregelpakketten

Bouwkundig	R <sub>c</sub> vloer [m <sup>2</sup> K/W]	R <sub>c</sub> gevel [m <sup>2</sup> K/W]	R <sub>c</sub> dak [m <sup>2</sup> K/W]	U <sub>raam</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	infiltratie [dm <sup>3</sup> /s.m <sup>2</sup> ]	zonwering [-]	gn [-]
B10 Isolatie Bouwbesluit+	3,7	4,7	6,3	1,4	0,4	handmatig	0,6
B12 Isolatie passief	6,0	6,0	10,0	0,9	0,25	handmatig	0,5

Standaard zijn de gebouwen voorzien van buitenzonwering. Bij woningen met vrije koeling wordt uitgegaan van geen zonwering.

Voor het woongebouw is voor de lineaire warmteverliezen (koudebruggen) gerekend met de forfaitaire methode en voor de grondgebonden woningen met de uitgebreide methode. Voor de koudebruggen van de bouwkundige pakketten met isolatie op passief niveau zijn andere SBR-details, van het type T2 gehanteerd (zie bijlage 4 tabblad *RAPPORT KB* standaard en PAS).

### 2.3.2 Ventilatie (V)

Op tabblad *RAPPORT V* in bijlage 4 is specifieke informatie van de gehanteerde ventilatiesystemen opgenomen. Het gaat om het type ventilatiesysteem en bijbehorende instellingen, zoals luchtlekken, bypass aandeel en type ventilator. In de concepten zijn drie typen ventilatiesystemen voor de woningen meegenomen:

- Mechanische afzuiging met CO<sub>2</sub>-regeling (C4c).
- Gebalanceerd ventilatiesysteem met HR-WTW, zonder CO<sub>2</sub>-regeling (D2).
- Gebalanceerd ventilatiesysteem met HR-WTW en CO<sub>2</sub>-regeling (D5a).

In de concepten met isolatie op het Bouwbesluit+niveau is er zowel gebruik gemaakt van een ventilatiesysteem met mechanische afzuiging als van een gebalanceerd ventilatiesysteem zonder CO<sub>2</sub>-regeling. In de concepten met isolatie op passief niveau is naast een verlaagde infiltratie uitgegaan van het gebalanceerde ventilatiesysteem met CO<sub>2</sub>-regeling.

De samenvatting van de uitgangspunten bij de verschillende ventilatiesystemen is opgenomen in onderstaande tabel.

tabel 4: uitgangspunten ventilatiesystemen

	1	2	3
Ventilatie	Natuurlijke toevoer mechanische afvoer	Balansventilatie	Balansventilatie
Type	C4c	D2	D5a
Omschrijving	Luchtdrukgeregelde toevoer	WTW zonder zoning	Centrale WTW, CO <sub>2</sub> sturing meer zones
Ventilatiecapaciteit-	forfaitair	forfaitair	forfaitair
Luchtlekken ventilatiekanalen	LUKA C	LUKA C	LUKA C
Zomernacht-ventilatie	geen	geen	geen
WTW type/ bypass	nvt	kruisstroom 100% bypass	kruisstroom 100% bypass
WTW rendement		95%	95%
Isolatie toevoerkanal wtw	nvt	2 m geïsoleerd	2 m geïsoleerd

Voor de BENG-referentiewoningen is een inschatting gemaakt van het nominaal vermogen van de ventilatoren. Voor de werkelijk geïnstalleerde ventilatiecapaciteit is uitgegaan van forfaitaire debieten.

### 2.3.3 Installatieconcept (I)

Alle woningen en het woongebouw hebben installatieconcepten met een warmtepomp, stadsverwarming of een houtpelletketel. Voor het woongebouw zijn aanvullend elektrische verwarming, elektrische doorstroomtoestellen en boosterwarmtepompen voor warm tapwater meegenomen.

De concepten gaan over verwarming, tapwater en koeling. Gedetailleerde informatie over de pakketten is weergegeven in bijlage 4 tabblad *RAPPORT I*.

Belangrijke uitgangspunten zijn:

- Laagtemperatuur afgiftesystemen.
- Lengte en maximale lengte van distributiesysteem voor verwarming en koeling forfaitair berekend.
- Lengte van circulatiesysteem bij tapwater forfaitair berekend in het geval van voorraadvaten in het gebouw.
- Aantal toestellen bij verwarming voor alle gebouwen, één met uitzondering van de individuele toestellen in de woongebouwen. Bij woongebouw M (G60) zijn er 45 individuele toestellen aanwezig.
- Bij tapwater is het aantal toestellen afhankelijk van het installatieprincipe en het gebouw. Bij de grondgebonden woningen is dit één per woning. Voor de woongebouwen geldt dat individuele systemen per woning worden gerealiseerd.

- Bij de biomassa concepten wordt er voor grondgebonden woningen met een individuele ketel gerekend met een primaire energiefactor van 0,5 (de toestellen voldoen aan emissievereisten volgens NEN 7120:A1 bijlage O). Voor de collectieve houtpelletketel in het woongebouw is uitgegaan van een primaire energiefactor van 0 (activiteit valt onder Activiteitenbesluit). Voor twee concepten bij het woongebouw is gekeken naar de impact van een primaire energiefactor van 0,5.
- Bij stadsverwarming wordt in het geval van de kwaliteitsverklaringen gerekend met een primaire energiefactor van 0,5.

Koeling is meegenomen bij de concepten met een individuele of collectieve warmtepomp met een bodembron. Ook daar waar bouwkundige maatregelen onvoldoende waren om te voldoen aan TO<sub>Julii</sub>, is koeling met de luchtwarmtepomp of compressie koeling toegepast.

Bij stadsverwarming forfaitair is in een aantal concepten een aanvullende maatregel meegenomen:

- Bij de vrijstaande woningen een zonneboiler met een collector van 2,3 m<sup>2</sup> en een volume van 120 liter.
- Bij de overige gebouwen een douche WTW:
  - grondgebonden: verticale WTW, rendement 60%;
  - appartementen: horizontale WTW, rendement 40%.

Bij het woongebouw is de douche WTW ook toegepast bij een aantal concepten met elektrische doorstroomtoestellen voor warm tapwater.

In bijlage 1 is aangegeven welke concepten voorzien zijn van een douche WTW.

### 2.4 BENG-eisen en TO<sub>Julii</sub>

Vanaf 1 januari 2021 gelden de nieuwe BENG-eisen volgens de NTA 8800 in Nederland. De BENG 1 indicator is afhankelijk van de vorm en daarmee de compactheid van het gebouw. De compactheid wordt weergegeven met de verhouding tussen de verliesoppervlakte (A<sub>v</sub>) en de gebruiksoppervlakte (A<sub>g</sub>).

Naast de vorm is ook de bouwwijze van invloed op de hoogte van de eis. Voor lichte en gemengd lichte bouwconstructies (**interne warmtecapaciteit ≤ 180 kJ/m<sup>2</sup>.K**) is een 5 kWh/m<sup>2</sup> per jaar hogere BENG 1 indicator toegestaan dan bij massieve bouwconstructies.

In onderstaande tabel zijn de van toepassing zijnde BENG-eisen per voorbeeldgebouw weergegeven.

tabel 5: BENG-eisen en TO<sub>Julii</sub> eis voorbeeldwoningen

Herkomst	Type woning	A <sub>v</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>v</sub> /A <sub>g</sub> [-]	BENG 1 [kWh/m <sup>2</sup> .jr]	BENG 2 [kWh/m <sup>2</sup> .jr]	BENG 3 [%]	TO <sub>Julii</sub> [-]	Bouwwijze [-]
1	BENG Tussenwoning M	87	2,03	≤ 70,9	≤ 30	≥ 50	≤ 1,20	massief
2	BENG Hoekwoning M	133	1,87	≤ 66,2	≤ 30	≥ 50	≤ 1,20	massief
3	MARKT Hoekwoning L Delft	145	1,96	≤ 68,8	≤ 30	≥ 50	≤ 1,20	massief
4	BENG Vrijstaande woning L	181	2,14	≤ 74,1	≤ 30	≥ 50	≤ 1,20	massief
5	MARKT Vrijstaande woning M Herten	146	1,96	≤ 73,7	≤ 30	≥ 50	≤ 1,20	gemengd licht
6	BENG Woongebouw boven winkels	3883	0,99	≤ 65	≤ 50	≥ 40	≤ 1,20*	massief

Voor de gemengd lichte vrijstaande woning M in Herten is voor de interne warmtecapaciteit uitgegaan van het gemiddelde van een 'lichte' bouwwijze (houtskeletbouw met houtskeletbouw vloeren van 80 kJ/m<sup>2</sup>.K) en 'gemengd lichte' bouwwijze (houtskeletbouw met beton vloeren van 180 kJ/m<sup>2</sup>.K) met een rekenwaarde van 130 kJ/m<sup>2</sup>.K. In de houtskeletbouw woning is een niet massieve begane grondvloer en op de eerste verdieping een zwevende dekvloer. De ophoging van BENG 1 is voor deze woning meegenomen in tabel 5.

\* Bij het woongebouw geldt de  $TO_{juli}$  eis per appartement. De berekeningen worden uitgevoerd met de validatietool. In de tool wordt uitgegaan van een rekenzone model. Het woongebouw is dus in zijn geheel als een rekenzone ingevoerd. Het bepalen van de  $TO_{juli}$  indicator per appartement is hierdoor niet mogelijk. De toets aan de  $TO_{juli}$  eis voor de woningen in het woongebouw is in deze studie buiten beschouwing gelaten.

## 2.5 Resultaten basisconcepten

Per concept is bekeken hoeveel PV-cellen uitgedrukt in Wp nodig zijn om het concept te laten voldoen aan de BENG 2 en 3-eisen. In bijlage 1 zijn per woning en per doorgerekend concept de resultaten van de BENG- indicatoren,  $TO_{juli}$  indicator en de benodigde hoeveelheden PV weergegeven.

### BENG 1

Vrijwel alle concepten voldoen aan BENG 1. Alleen bij de praktijkprojecten, de hoekwoning L in Delft en de vrijstaande woning M in Herten wordt in het concept zonder buitenzonwering (het concept met een bodemwarmtepomp) niet voldaan. Bij de hoekwoning M in Delft voldoen de concepten met het Bouwbesluit+ isolatie pakket net aan de BENG 1 eis. Ook bij de vrijstaande woning M in Herten zitten de concepten met het Bouwbesluit+ isolatiepakket dicht tegen de BENG 1 eis aan.

De vrijstaande woning heeft een gemengd lichte bouwwijze. In de berekening is rekening gehouden met een interne warmtecapaciteit van  $130 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$ . Bij de BENG 1 eis is reeds rekening gehouden met de ophoging van de eis met  $5 \text{ kWh/m}^2$  (voor gebouwen met een interne warmtecapaciteit  $\leq 180 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$ ).

In de concepten met een bodemwarmtepomp is geen buitenzonwering meegenomen om de bodembron zoveel mogelijk te regenereren met beschikbare warmte uit de woning. Bij die concepten is de energiebehoefte volgens BENG 1 bij de meeste gebouwen enigszins lager dan bij de overige opwekconcepten waar wel buitenzonwering is meegenomen.

Bij de hoekwoning L in Delft en bij de vrijstaande woning M in Herten is er echter sprake van een hogere energiebehoefte wanneer er geen buitenzonwering wordt meegenomen. Dit wordt veroorzaakt doordat BENG 1 bestaat uit de optelsom van de warmtebehoefte en de koudebehoefte.

Bij het weglaten van de buitenzonwering wordt de koudebehoefte groter en de warmtebehoefte enigszins kleiner. Voor de BENG 1 indicator gaat het om de balans tussen deze effecten. Bij de tussenwoning M, de hoekwoning M, de vrijstaande woning L en het woongebouw is de toename van de koudebehoefte beperkt en daalt de BENG 1 indicator door het weglaten van buitenzonwering. Bij de hoekwoning L in Delft en bij de vrijstaande woning M in Herten stijgt de energiebehoefte door het weglaten van buitenzonwering. Beide woningen hebben een wat hoger raampercentage. De woning in Delft heeft vrijwel alle ramen op oost en zuidoost. Voor de vrijstaande woningen geldt bovendien dat dit een houtskeletbouwwooning is met een lage interne warmtecapaciteit van  $130 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$ .

Opgemerkt wordt dat bij een andere oriëntatie van de woningen het effect voor de verschillende woningen anders kan uitpakken.

### BENG 2 en BENG 3

Alle concepten voldoen aan de eisen voor BENG 2 en BENG 3 door het toepassen van voldoende PV panelen. Alleen bij het woongebouw is er bij het concept met mechanische afzuiging 170.000 Wp aan PV-panelen nodig. Dit komt overeen met ongeveer  $850 \text{ m}^2$  PV-panelen van  $200 \text{ Wp/m}^2$  terwijl het dakoppervlak (slechts)  $817 \text{ m}^2$  betreft. Momenteel zijn er ook PV panelen met een hogere opbrengst per vierkante meter beschikbaar. Wellicht dat hiermee invulling gegeven kan worden aan het benodigde opwekvermogen. Wanneer dat niet mogelijk is moet een deel van de PV dus op een andere positie geplaatst worden waar deze mogelijk minder opbrengt, zoals in de gevel. Mogelijk dat er echter ook mogelijkheden zijn voor overstekken met PV of voor een overkapping met PV elders op de kavel. Als alternatief kan er mogelijk gebruik worden gemaakt van de ontheffing voor BENG 3 in verband met locatie specifieke omstandigheden.

Bij de hoekwoning M bestaat het platte dak uit een dakterras en het platte dak van de dakopbouw. Het dak van de dakopbouw is maximaal circa  $26 \text{ m}^2$ . De hoeveelheden PV die nodig zijn bij stadsverwarming forfaitair in combinatie met het Bouwbesluit+ isolatiepakket passen niet zonder meer op het platte dak van de dakopbouw. Het beschikbare (netto) oppervlak voor PV is in belangrijke mate afhankelijk van de lengte-breedte verhouding van het dak, de uitvoering van de dakranden en de plaatsing van de dakdoorvoeren.

Bij de concepten individuele of collectieve warmtepompen kan in de meeste voorbeelden zonder de inzet van PV aan de eis voor BENG 2 en BENG 3 worden voldaan.

Ook bij het woongebouw met een collectieve houtpelletketel met een primaire factor van 0 is er geen PV nodig bij de concepten met isolatie op Bouwbesluit+ niveau.

Wanneer in het woongebouw wordt uitgegaan van isolatie op passiefhuis niveau daalt de warmtebehoefte van de woningen. De ingezette hoeveelheid hernieuwbare energie (houtpellets) daalt hierdoor ook waardoor het aandeel hernieuwbaar (BENG 3) onder de eis zakt. Bij dit concept met een lagere energiebehoefte is daardoor extra PV nodig. Deze situatie wordt veroorzaakt door de primaire factor van 0 voor dit opwekconcept.

In het geval dat er een primaire factor van 0,5 van toepassing is, is er bij alle concepten aanvullend PV nodig.

De benodigde hoeveelheid PV is bij de opwekconcepten met stadsverwarming forfaitair het hoogst. Bij de concepten met mechanische afzuiging (C4c) is in de meeste gevallen al een aanvullende energie-besparende maatregel meegenomen in de vorm van een zonneboiler bij de vrijstaande woningen of een douche WTW bij de overige woningen.

Bij de concepten met stadsverwarming forfaitair is de benodigde hoeveelheid PV in de meeste gevallen circa 2 tot 2,5 keer zo groot als bij stadsverwarming met een kwaliteitsverklaring. Bij het woongebouw is dit zelfs 3 tot 4 keer zo groot.

Bij de concepten waarbij BENG 3 bepalend is voor de eisen is de BENG3 indicator in bijlage 1 groen weergegeven.

### $TO_{juli}$

Voor alle grondgebondenwoningen met het concept bodemkoeling geldt dat er automatisch wordt voldaan aan de eis voor de risico op oververhitting ( $TO_{juli}$ ). Voor de andere concepten zien we per grondgebonden woning de volgende resultaten:

- tussenwoning M voldoet met alle concepten aan de eis;
- hoekwoning M voldoet alleen bij de bouwkundige pakketten met passieve isolatie net niet aan de eis ( $TO_{juli} = 1,22$ );
- hoekwoning L Delft voldoet bij alle concepten ruimschoots niet aan de eis ( $TO_{juli} > 2,50$ );
- vrijstaande woning L voldoet bij alle pakketcombinaties van Bouwbesluit +\_ isolatie en een ventilatiesysteemtype D2 net niet aan de eisen ( $TO_{juli} = 1,23$ );
- vrijstaande woning M Herten voldoet bij alle concepten ruimschoots niet aan de eis ( $TO_{juli} > 2,83$ ).

Uit de resultaten volgt dat bij de hoekwoningen en vrijstaande woningen aanvullende maatregelen nodig zijn om het risico op oververhitting te beperken. In hoofdstuk 3 laten we voor deze woningen zien wat de mogelijkheden zijn en welke invloed dit heeft op de andere BENG indicatoren.



#### BENG in relatie tot EPC

Om enig gevoel te krijgen hoe BENG zich verhoudt tot EPC zijn enkele voorbeelden uitgewerkt. Van de vrijstaande woning L en van een aantal concepten van het woongebouw is de EPC bepaald.

Bij de vrijstaande woning is de EPC bij de concepten met warmtepompen het hoogst. Zowel bij de concepten met de bodem, als de concepten met buitenlucht als bron, ligt het EPC-niveau net op of onder EPC 0,40. Bij de concepten met een houtpelletketel (primaire factor 0,5) ligt de EPC tussen 0,15 en 0,30.

**De concepten met stadsverwarming hebben de laagste EPC's. Bij toepassing van een kwaliteitsverklaring** voor de stadsverwarming ligt de EPC rond 0,20 en bij de forfaitaire rendementen voor de doorgerekende concepten tussen 0,07 en 0,17.

Bij het woongebouw zijn niet alle concepten doorgerekend. Voor dit gebouw zijn ten opzichte van de vrijstaande woning bovendien afwijkende concepten in beeld gebracht.

De hoogste EPC's van 0,50 of hoger zijn bij de concepten met elektrische doorstroomtoestellen voor warm tapwater. Voor verwarming is het opweksysteem daarbij een collectieve houtpelletketel of elektrische verwarming. Bij het concept met elektrische verwarming is dit echter alleen het geval in combinatie met balansventilatie zonder CO<sub>2</sub> regeling (D2). Ook het concept met de collectieve warmtepompen met een boosterwarmtepomp voor warm tapwater heeft een hoge EPC van 0,50.

De concepten met elektrische verwarming en een CO<sub>2</sub> geregeld ventilatiesysteem hebben een EPC van circa 0,40. De individuele combiwarmtepompbodem heeft met 0,44 een iets hogere EPC.

De concepten met stadsverwarming hebben de laagste EPC van circa 0,25. Het verschil tussen stadsverwarming forfaitair en met een kwaliteitsverklaring is ten opzichte van de vrijstaande woning beperkt.

Geconstateerd wordt dat de doorgerekende BENG-concepten per woningtype zowel hogere als lagere **EPC's hebben. Hierdoor lijkt het dat de BENG**-prestatie verschillend is voor deze concepten.

Omgekeerd kan echter ook gesteld worden dat de EPC-prestatie in het verleden verschillend was.

Daarbij moet in ogenschouw worden genomen dat de primaire factor voor elektriciteit is aangepast van 2,56 in de EPC-methode (volgens NEN7120) naar 1,45 voor BENG (volgens NTA8800). In de EPC-methode hadden all-electric concepten hierdoor een hoger fossiel energiegebruik wat zich uit in een hogere EPC.

### 3. Maatregelen voor TO<sub>juli</sub>

De indicator TO<sub>juli</sub> geeft aan of er een risico op oververhitting in de woningen is. In hoofdstuk 2 hebben we gezien dat met uitzondering van de tussenwoning alle grondgebonden woningen wel concepten kennen die niet voldoen aan TO<sub>juli</sub>. In dit hoofdstuk laten we zien met welke maatregelen we mogelijk wel kunnen voldoen aan de eisen voor TO<sub>juli</sub>. Wanneer de combinatie van maatregelen onvoldoende verlaging van de TO<sub>juli</sub> indicator voor het risico op oververhitting geeft, wordt in de berekeningen van deze woningen uitgegaan van aanvullende koeling.

Bij het onderzoek naar de TO<sub>juli</sub> indicator nemen we hoekwoning M en vrijstaande woning L samen en nemen we hoekwoning L Delft en vrijstaande woning M Herten samen om maatregelen te onderzoeken. De aangepaste concepten waarbij wordt voldaan aan de BENG 2 en 3 eis en de TO<sub>juli</sub>-eis zijn weergegeven in bijlage 2. De benodigde aanpassingen zijn in de onderstaande paragrafen beschreven.

#### 3.1 Hoekwoning M en vrijstaande woning L

Hoekwoning M en vrijstaande woning L hebben beide een aantal concepten die net niet voldoen aan de eis (TO<sub>juli</sub> = 1,22 en 1,23). Dit is wel bij verschillende pakketten. We hebben onderzocht welke maatregelen nodig zijn en de gewenste verlaging op het risico op oververhitting geven.

Hoekwoning M heeft een risico op oververhitting bij de passief pakketten. Deze pakketten zijn zeer energiezuinig en warmen via de directe zoninstraling in de zomer op. De woning heeft al zonwering. Het vergroten van de infiltratie leidt tot een verlaging van TO<sub>juli</sub> (naar 1,15), maar is geen voor de hand liggende aanpassing omdat hiermee afbreuk wordt gedaan aan de kwaliteit van de schil en het passief pakket. Andere mogelijkheden voor de verlaging van TO<sub>juli</sub> zijn deze woning voorzien van zomernachtventilatievoorzieningen. Daarnaast is het mogelijk om de woning te voorzien van koeling wat door het extra energiegebruik voor koeling weer effect heeft op de BENG 2 indicator. De woning voldoet echter nog aan de eisen.

Vrijstaande woning L heeft een risico op oververhitting bij de maatregelpakketten waarin Bouwbesluit+ isolatie, HR<sup>++</sup>-beglazing en een ventilatiesysteem D2 wordt gecombineerd. Bij deze woning zien we een verlaging van TO<sub>juli</sub> als wordt gekozen om de g-waarde van het glas iets te verlagen van 0,60 naar 0,55. De woning voldoet dan wel aan TO<sub>juli</sub> (met 0,98). De BENG-indicatoren veranderen hierdoor wel iets, maar voldoen nog steeds zonder aanvullende maatregelen.

#### 3.2 Hoekwoning L Delft en vrijstaande woning M Herten.

Beide woningen voldoen met alle concepten niet aan de TO<sub>juli</sub> eis. We hebben gezien dat er voor deze woningen projectspecifieke oplossingen toegepast moeten worden. Hierbij kun je denken aan verschillende g-waarden binnen één woning of zomernachtventilatievoorzieningen. Een andere mogelijkheid is de toepassing van koeling. In de berekeningen is een compressie koelmachine voor deze woningen meegenomen. Koeling in de NTA 8800 betekent extra energiegebruik. Er zijn dan extra PV-panelen nodig om dezelfde BENG 2 prestatie te behouden.

In bijlage 2 is een voorbeeldoverzicht opgenomen met de maatregelpakketten waarmee aan TO<sub>juli</sub> kan worden voldaan. De wijzigingen in de maatregelpakketten (ten opzichte van bijlage 1) zijn vetgedrukt. Ook de resultaten die veranderen (ten opzichte van bijlage 1) zijn vetgedrukt.

Opgemerkt wordt nog dat wanneer de woningen worden gedraaid of grotere/andere glasoppervlakten op andere oriëntaties hebben, de resultaten van de TO<sub>juli</sub> indicator er volledig anders uit kunnen zien. Hierdoor zijn er soms projectspecifieke maatregelen mogelijk om te voldoen aan TO<sub>juli</sub>.

#### 4. Gevoeligheidsanalyse BENG 1

Om inzicht te krijgen in de impact van verschillende maatregelen op BENG 1 voor woningbouw is in de gevoeligheidsanalyse een alternatieve aanpak gevolgd. Voor alleen de vier BENG referentie woningen (G11, G12, G13 en G60) is allereerst een basis maatregelenpakket opgesteld bestaande uit:

- Isolatiepakket Bouwbesluit+ ( $R_c$  Bouwbesluit+, HR++  $U_{raam}$  1,40 W/m<sup>2</sup>.K, infiltratie 0,40 l/s.m<sup>2</sup>).
- Buitenzonwering.
- Massieve bouwwijze.

Vervolgens zijn per gebouw de volgende zeven variaties doorgerekend ten opzichte van het basis maatregelenpakket:

- 1  $R_c$  8/8/10, triple glas  $U_{raam}$  0,90 W/m<sup>2</sup>.K.
- 2  $R_c$  8/8/10, triple glas  $U_{raam}$  0,90 W/m<sup>2</sup>.K en infiltratie 0,25 l/s.m<sup>2</sup>.
- 3 Geen buitenzonwering.
- 4 Gemengd lichte bouwwijze (HSB met holle betonvloer).
- 5 Oriëntatie kwart gedraaid (+90 graden).
- 6 50% open delen in plaats van 20-30%.
- 7 Combinatie van maatregel 3, 4 en 6.

In bijlage 3 zijn de resultaten van de BENG 1 gevoeligheidsanalyse opgenomen. Bij de beoordeling is niet gekeken naar het effect op TO<sub>juli</sub>.

Toelichting op de resultaten

- 1 Bij alle referentiewoningen leidt het extra isolatiepakket en triple glas tot een verlaging van BENG 1 met circa 7-10 kWh/m<sup>2</sup>.
- 2 Verlaging van de infiltratie leidt ten opzichte van de bovenstaande maatregel tot een verdere verlaging van BENG 1 met circa 2 kWh/m<sup>2</sup>.
- 3 Het weglaten van zonwering leidt tot een verlaging van de warmtebehoefte en een stijging van de koelbehoefte. Dit leidt tot een verlaging van de energiebehoefte van 1 tot 2 kWh/m<sup>2</sup>. Bij de resultaten van de voorbeeldconcepten was te zien dat de impact sterk kon verschillen afhankelijk van het woningtype en de bouwwijze. Bij deze maatregel is voor alle woningen uitgegaan van een massieve bouwwijze.
- 4 Het effect van een gemengd lichte bouwwijze varieert van een verhoging van 1,5 tot 2 kWh/m<sup>2</sup> bij het woongebouw en de hoekwoning tot een verhoging van 3,3 tot 4 kWh/m<sup>2</sup> bij de tussenwoning en de vrijstaande woning. Bij alle woningen is uitgegaan van buitenzonwering.
- 5 Het draaien van de woningen met 90 graden leidt tot een verhoging van BENG 1 met 0,5 tot 1,5 kWh/m<sup>2</sup>. In de oorspronkelijke situatie is de gevel met het grootste glasoppervlak van deze vier referentiewoningen georiënteerd op zuidwest. Door het draaien komt deze gevel op noordwest te liggen.
- 6 Door het toepassen van meer ramen (kozijn+glas) in de gevel neemt BENG 1 toe met circa 5 kWh/m<sup>2</sup> bij de tussenwoning en het woongebouw en met circa 10 tot 11 kWh/m<sup>2</sup> bij de hoekwoning en de vrijstaande woning. Er is uitgegaan van een totaal raampercentage van 50%. Het oorspronkelijke raampercentage is weergegeven in tabel 1 en varieerde van 21% voor de tussenwoning tot 31% voor het woongebouw.
- 7 De combinatie van maatregel 3 (geen buitenzonwering), maatregel 4 (gemengd lichte bouwwijze) en maatregel 7 (50% open delen) heeft een veel groter effect dan de afzonderlijke maatregelen bij elkaar. Het vergroten van het raamoppervlak en bij dat grotere raamoppervlak vervolgens geen zonwering toepassen versterkt natuurlijk het effect. Bij het woongebouw neemt BENG 1 toe met circa 13 kWh/m<sup>2</sup> en bij de tussenwoning met 23 kWh/m<sup>2</sup>. Bij de hoekwoning is dit zelfs 32 kWh/m<sup>2</sup> en bij de vrijstaande woningen 41 kWh/m<sup>2</sup>. De impact van een minder gunstige oriëntatie is hierin niet meegenomen. De impact van alleen het draaien van de woningen (maatregel 5) was beperkt, maar bij aangepaste omstandigheden voor raamoppervlak, interne warmtecapaciteit en/of zonwering kan dit effect beduidend groter zijn.

ir. R.M.M. (René) van der Loos  
DGMR Bouw B.V.

Bijlage 1

Titel Resultaten basisconcepten

woningtype	zonwering	verwarming	koeling	tapwater	isolatie	glas	U-glas	g-glas	infil	ventilatie	DWTW/ ZB	Wp PV	BENG1	BENG2	BENG3	TO <sub>juli</sub>	EPC*	toelichting
tussenwoning M (bouwwijze massief)	nee	WP bodem	bodem koeling	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	0	54,8	29,3	59%	0		
							1,4	0,6	0,4	D2	-	100	54,8	29,9	54%	0		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	200	45,6	23,2	52%	0		
	ja	WP buiten	nee	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	1.400	54,7	28,8	64%	0,84		
							1,4	0,6	0,4	D2	-	1.400	54,7	28,8	59%	0,97		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	1.000	45,6	26,7	50%	0,99		
	ja	SV forf	nee	SV forf	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	DWTW	2.800	54,7	28,8	56%	0,85		
							1,4	0,6	0,4	D2	-	2.400	54,7	27,0	53%	0,97		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	2.000	45,6	24,2	52%	0,99		
	ja	SV kwal (fpdel 0,5)	nee	SV kwal (fpdel 0,5)	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	1.200	54,7	30,0	59%	0,85		
							1,4	0,6	0,4	D2	-	1.100	54,7	28,8	57%	0,97		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	600	45,6	25,3	51%	0,99		
ja	Houtpellet (fpdel 0,5)	nee	houtpellet	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	2.100	54,7	28,7	68%	0,85			
						1,4	0,6	0,4	D2	-	1.800	54,7	29,0	64%	0,97			
				passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	900	45,6	29,4	53%	0,99			
hoekwoning M (bouwwijze massief)	nee	WP bodem	bodem koeling	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	0	59,2	28,2	62%	0		
							1,4	0,6	0,4	D2	-	0	59,2	29,9	55%	0		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	0	49,7	24,3	50%	0		
	ja	WP buiten	nee	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	1.700	59,6	29,1	64%	1,01		
							1,4	0,6	0,4	D2	-	1.600	59,6	30,0	59%	1,17		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	1.200	50,0	26,0	52%	1,22		
	ja	SV forf	nee	SV forf	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	DWTW	4.000	59,6	29,9	55%	1,02		
							1,4	0,6	0,4	D2	-	3.400	59,6	28,2	52%	1,17		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	2.800	50,0	23,9	51%	1,22		
	ja	SV kwal (fpdel 0,5)	nee	SV kwal (fpdel 0,5)	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	1.700	59,6	30,0	59%	1,02		
							1,4	0,6	0,4	D2	-	1.500	59,6	29,3	56%	1,17		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	900	50,0	24,4	52%	1,22		
ja	Houtpellet (fpdel 0,5)	nee	houtpellet	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	2.800	59,6	29,9	67%	1,01			
						1,4	0,6	0,4	D2	-	2.400	59,6	29,8	63%	1,17			
				passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	1.200	50,0	29,0	53%	1,22			
hoekwoning L Delft (bouwwijze massief)	nee	WP bodem	bodem koeling	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	0	74,5	29,5	69%	0		
							1,4	0,6	0,4	D2	-	200	74,5	29,4	67%	0		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	0	61,1	25,2	63%	0		
	ja	WP buiten	nee	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	2.400	66,5	26,0	70%	2,50		
							1,4	0,6	0,4	D2	-	2.400	66,5	25,4	67%	2,71		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	1.700	53,9	22,7	59%	3,19		
	ja	SV forf	nee	SV forf	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	DWTW	5.100	66,5	29,7	57%	2,50		
							1,4	0,6	0,4	D2	-	4.200	66,5	29,6	52%	2,71		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	3.300	53,9	24,5	51%	3,19		
	ja	SV kwal (fpdel 0,5)	nee	SV kwal (fpdel 0,5)	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	2.200	66,5	29,8	61%	2,50		
							1,4	0,6	0,4	D2	-	1.900	66,5	29,4	58%	2,71		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	1.000	53,9	24,9	52%	3,19		
ja	Houtpellet (fpdel 0,5)	nee	houtpellet	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	3.500	66,5	29,9	68%	2,50			
						1,4	0,6	0,4	D2	-	3.000	66,5	29,9	64%	2,71			
				passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	1.400	53,9	29,2	53%	3,19			

\* Om enig gevoel te krijgen hoe BENG zich verhoudt tot de EPC is van enkele concepten de EPC berekend.

C4c (CO2 sturing WK + S)      0      0      D2 (95% WTW)      D5a (95% WTW + CO2 sturing)

woningtype	zonwering	verwarming	koeling	tapwater	isolatie	glas	U-glas	g-glas	infil	ventilatie	DWTW/ ZB	Wp PV	BENG1	BENG2	BENG3	TO <sub>juli</sub>	EPC*	toelichting
vrijstaand L (bouwwijze massief)	nee	WP bodem	bodem koeling	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	0	67,3	28,2	66%	0	0,38	
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	100	67,3	29,5	61%	0	0,40	
	ja	WP buiten	nee	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	2.100	65,0	29,5	65%	1,08	0,38	
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	2.300	65,0	28,3	62%	1,23	0,39	
	ja	SV forf	nee	SV forf	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	ZB	5.900	65,0	29,6	60%	1,09	0,07	
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	5.300	65,0	26,8	60%	1,23	0,15	
	ja	SV kwal (fpdel 0,5)	nee	SV kwal (fpdel 0,5)	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	2.500	65,0	29,7	60%	1,09	0,18	
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	2.400	65,0	28,1	59%	1,23	0,20	
	ja	Houtpellet (fpdel 0,5)	nee	houtpellet	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	4.000	65,0	29,4	68%	1,09	0,16	
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	3.800	65,0	27,3	67%	1,23	0,20	
														≤ 74,1	≤ 30	≥ 50%		
	vrijstaand M Herten (bouwwijze gemengd licht)	nee	WP bodem	bodem koeling	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	100	80,0	29,7	70%	0	
passief						3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	200	80,0	30,0	67%	0		
ja		WP buiten	nee	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	2.200	72,1	26,1	70%	2,83		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	2.200	72,1	25,4	67%	3,04		
ja		SV forf	nee	SV forf	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	ZB	4.700	72,1	29,7	61%	2,84		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	3.800	72,1	29,8	56%	3,05		
ja		SV kwal (fpdel 0,5)	nee	SV kwal (fpdel 0,5)	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	2.100	72,1	29,2	62%	2,84		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	1.800	72,1	28,7	58%	3,05		
ja		Houtpellet (fpdel 0,5)	nee	houtpellet	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	3.300	72,1	29,3	69%	2,83		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	2.800	72,1	29,3	65%	3,05		
													≤ 73,7	≤ 30	≥ 50%			
woongebouw 45 won (bouwwijze massief)		nee	WP coll.	bodem koeling	booster WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	5.200	57,2	50,0	59%		0,50
	passief					3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	0	57,2	49,9	55%			
	ja	elektrische verwarming	nee	el doorstroom	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	DWTW	170.000	57,6	49,8	50%		0,40	Adak=817 m2
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	DWTW	112.000	57,6	48,5	40%		0,58	
	ja	SV forf	nee	SV forf	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	DWTW	85.000	49,1	36,3	40%		0,41	
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	DWTW	84.000	57,6	35,0	41%		0,22	
	ja	SV kwal (fpdel 0,5)	nee	SV kwal (fpdel 0,5)	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	98.000	57,6	41,6	41%		0,27	
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	DWTW	12.000	57,6	39,2	40%		0,27	
	ja	coll. houtpellet (fpdel 0)	nee	el doorstroom	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	8.000	57,6	45,7	40%		0,27	
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	8.400	49,1	30,7	40%		0,51	
	ja	coll. houtpellet (fpdel 0,5)	nee	el doorstroom	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	0	57,6	37,5	54%		0,51	
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	0	57,6	40,2	42%		0,57	fpdel 0,5 1
nee	WP bodem indiv.	bodem koeling	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	51.000	57,6	43,5	40%		0,57	fpdel 0,5 1	
				passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	49.000	49,1	33,7	40%		0,44	individueel combi	
													≤ 65	≤ 50	≥ 40%			

\* Om enig gevoel te krijgen hoe BENG zich verhoudt tot de EPC is van enkele concepten de EPC berekend.

C4c (CO2 sturing WK + SK)

D2 (95% WTW)

D5a (95% WTW + CO2 sturing)

Bijlage 2

Titel Resultaten aanpassingen in het kader van TO<sub>juli</sub>

woningtype	zonwering	verwarming	koeling	tapwater	isolatie	glas	U-glas	g-glas	infil	ventilatie	DWTW/ ZB	Wp PV	BENG1	BENG2	BENG3	TO <sub>juli</sub>	EPC*	toelichting	
tussenwoning M (bouwwijze massief)	nee	WP bodem	bodem koeling	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	0	54,8	29,3	59%	0	≤ 70,9	≤ 30	≥ 50%
							1,4	0,6	0,4	D2	-	100	54,8	29,9	54%	0			
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	200	45,6	23,2	52%	0			
	ja	WP buiten	nee	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	1.400	54,7	28,8	64%	0,84	≤ 70,9	≤ 30	≥ 50%
							1,4	0,6	0,4	D2	-	1.400	54,7	28,8	59%	0,97			
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	1.000	45,6	26,7	50%	0,99			
	ja	SV forf	nee	SV forf	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	DWTW	2.800	54,7	28,8	56%	0,85	≤ 70,9	≤ 30	≥ 50%
							1,4	0,6	0,4	D2	-	2.400	54,7	27,0	53%	0,97			
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	2.000	45,6	24,2	52%	0,99			
	ja	SV kwal (fpdel 0,5)	nee	SV kwal (fpdel 0,5)	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	1.200	54,7	30,0	59%	0,85	≤ 70,9	≤ 30	≥ 50%
							1,4	0,6	0,4	D2	-	1.100	54,7	28,8	57%	0,97			
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	600	45,6	25,3	51%	0,99			
ja	Houtpellet (fpdel 0,5)	nee	houtpellet	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	2.100	54,7	28,7	68%	0,85	≤ 70,9	≤ 30	≥ 50%	
						1,4	0,6	0,4	D2	-	1.800	54,7	29,0	64%	0,97				
				passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	900	45,6	29,4	53%	0,99				
hoekwoning M (bouwwijze massief)	nee	WP bodem	bodem koeling	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	0	59,2	28,2	62%	0	≤ 66,2	≤ 30	≥ 50%
							1,4	0,6	0,4	D2	-	0	59,2	29,9	55%	0			
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	0	49,7	24,3	50%	0			
	ja	WP buiten	nee	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	1.700	59,6	29,1	64%	1,01	≤ 66,2	≤ 30	≥ 50%
							1,4	0,6	0,4	D2	-	1.600	59,6	30,0	59%	1,17			
					passief	3v	0,9	0,5	0,3	D5a	-	1.200	50,7	26,3	52%	1,19			
	ja	SV forf	nee	SV forf	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	DWTW	4.000	59,6	29,9	55%	1,02	≤ 66,2	≤ 30	≥ 50%
							1,4	0,6	0,4	D2	-	3.400	59,6	28,2	52%	1,17			
					passief	3v	0,9	0,5	0,3	D5a	-	2.800	50,7	24,5	51%	1,19			
	ja	SV kwal (fpdel 0,5)	nee	SV kwal (fpdel 0,5)	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	1.700	59,6	30,0	59%	1,02	≤ 66,2	≤ 30	≥ 50%
							1,4	0,6	0,4	D2	-	1.500	59,6	29,3	56%	1,17			
					passief	3v	0,9	0,5	0,3	D5a	-	900	50,7	24,8	51%	1,19			
ja	Houtpellet (fpdel 0,5)	nee	houtpellet	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	2.800	59,6	29,9	67%	1,01	≤ 66,2	≤ 30	≥ 50%	
						1,4	0,6	0,4	D2	-	2.400	59,6	29,8	63%	1,17				
				passief	3v	0,9	0,5	0,3	D5a	-	1.200	50,7	29,5	52%	1,19				
hoekwoning L Delft (bouwwijze massief)	nee	WP bodem	bodem koeling	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	0	74,5	29,5	69%	0	≤ 68,8	≤ 30	≥ 50%
							1,4	0,6	0,4	D2	-	200	74,5	29,4	67%	0			
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	0	61,1	25,2	63%	0			
	ja	WP buiten	koeling wp	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	2.400	66,5	29,6	67%	0	≤ 68,8	≤ 30	≥ 50%
							1,4	0,6	0,4	D2	-	2.400	66,5	29,1	64%	0			
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	1.300	53,9	29,3	51%	0			
	ja	SV forf	compressie koeling	SV forf	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	DWTW	5.500	66,5	29,8	59%	0	≤ 68,8	≤ 30	≥ 50%
							1,4	0,6	0,4	D2	-	4.600	66,5	29,8	55%	0			
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	3.500	53,9	26,0	51%	0			
	ja	SV kwal (fpdel 0,5)	compressie koeling	SV kwal (fpdel 0,5)	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	2.600	66,5	29,9	63%	0	≤ 68,8	≤ 30	≥ 50%
							1,4	0,6	0,4	D2	-	2.300	66,5	29,5	59%	0			
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	1.200	53,9	26,3	52%	0			
ja	Houtpellet (fpdel 0,5)	compressie koeling	houtpellet	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	4.000	66,5	29,6	70%	0	≤ 68,8	≤ 30	≥ 50%	
						1,4	0,6	0,4	D2	-	3.600	66,5	28,9	67%	0				
				passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	1.800	53,9	29,6	55%	0				

\* Om enig gevoel te krijgen hoe BENG zich verhoudt tot de EPC is van enkele concepten de EPC berekend.

C4c (CO2 sturing WK + S) 0 0 D2 (95% WTW) D5a (95% WTW + CO2 sturing)



woningtype	zonwering	verwarming	koeling	tapwater	isolatie	glas	U-glas	g-glas	infil	ventilatie	DWTW/ ZB	Wp PV	BENG1	BENG2	BENG3	TO <sub>juli</sub>	EPC*	toelichting
vrijstaand L (bouwwijze massief)	nee	WP bodem	bodem koeling	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	0	67,3	28,2	66%	0		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	0	55,6	24,2	57%	0		
	ja	WP buiten	nee	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	2.100	65,0	29,5	65%	1,08		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	1.200	54,1	27,7	51%	1,17		
	ja	SV forf	nee	SV forf	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	ZB	5.900	65,0	29,6	60%	1,09		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	3.800	54,1	24,9	50%	1,17		
	ja	SV kwal (fpdel 0,5)	nee	SV kwal (fpdel 0,5)	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	2.500	65,0	29,7	60%	1,09		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	1.200	54,1	25,2	51%	1,17		
	ja	Houtpellet (fpdel 0,5)	nee	houtpellet	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	4.000	65,0	29,4	68%	1,09		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	1.600	54,1	29,6	52%	1,17		
														≤ 74,1	≤ 30	≥ 50%		
	vrijstaand M Herten (bouwwijze gemengd licht)	nee	WP bodem	bodem koeling	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	100	80,0	29,7	70%	0	
passief						3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	0	65,4	25,6	63%	0		
ja		WP buiten	koeling wp	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	2.500	72,1	29,8	68%	0		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	1.400	58,9	29,7	52%	0		
ja		SV forf	compressie koeling	SV forf	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	ZB	5.400	72,1	29,8	64%	0		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	3.400	58,9	26,9	52%	0		
ja		SV kwal (fpdel 0,5)	compressie koeling	SV kwal (fpdel 0,5)	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	2.800	72,1	29,3	65%	0		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	1.200	58,9	27,7	51%	0		
ja		Houtpellet (fpdel 0,5)	compressie koeling	houtpellet	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	4.000	72,1	29,7	70%	0		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	1.900	58,9	29,6	57%	0		
													≤ 73,7	≤ 30	≥ 50%			
woongebouw 45 won (bouwwijze massief)		nee	WP coll.	bodem koeling	booster WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	5.200	57,2	50,0	59%	0,50	
	passief					3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	0	48,6	43,5	54%			
	ja	elektrische verwarming	nee	el doorstroom	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	DWTW	170.000	57,6	49,8	50%	0,40	Adak=817 m2	
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	DWTW	85.000	49,1	36,3	40%	0,41		
	ja	SV forf	nee	SV forf	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	DWTW	98.000	57,6	41,6	41%	0,22		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	DWTW	64.000	49,1	26,8	41%			
	ja	SV kwal (fpdel 0,5)	nee	SV kwal (fpdel 0,5)	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	8.000	57,6	45,7	40%	0,27		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	8.400	49,1	30,7	40%			
	ja	coll. houtpellet (fpdel 0)	nee	el doorstroom	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	0	57,6	37,5	54%	0,51		
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	17.000	49,1	32,4	40%			
	ja	coll. houtpellet (fpdel 0,5)	nee	el doorstroom	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	D2	-	51.000	57,6	43,5	40%	0,57	fpdel 0,5 1	
					passief	3v	0,9	0,5	0,25	D5a	-	49.000	49,1	33,7	40%			
nee	WP bodem indiv.	bodem koeling	combi WP	Bouwbesluit+	HR++	1,4	0,6	0,4	C4c	-	0	57,2	29,1	59%	0,44	individueel combi		
													≤ 65	≤ 50	≥ 40%			

\* Om enig gevoel te krijgen hoe BENG zich verhoudt tot de EPC is van enkele concepten de EPC berekend.

C4c (CO2 sturing WK + SK)

D2 (95% WTW)

D5a (95% WTW + CO2 sturing)

Bijlage 3

Titel Resultaten gevoeligheidsanalyses BENG 1 bij basisconcepten

## GEVOELIGHEIDSANALYSE BENG1

isolatiepakket	zonwering	thermisch massa	orientatie	glaspercentage	BENG1	tov basis
tussenwoning M					<b>≤70,9</b>	
basis bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	ja	massief	basis	basis = 21%	57,2	0
1 Passief + Triple glas U0,9 + infil 0,4	ja	massief	basis	basis	49,6	-7,6
2 Passief + Triple glas U0,9 + infil 0,25	ja	massief	basis	basis	47,7	-9,5
3 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	nee	massief	basis	basis	55,4	-1,8
4 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	ja	HSB /betonvloer	basis	basis	60,5	3,3
5 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	ja	massief	kwart gedraaid	basis	58,6	1,5
6 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	ja	massief	basis	50%	61,9	4,7
7 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	nee	HSB /betonvloer	basis	50%	80,2	23,0
hoekwoning M					<b>≤66,2</b>	
basis bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	ja	massief	basis	basis = 25%	62,2	0
1 Passief + Triple glas U0,9 + infil 0,4	ja	massief	basis	basis	54,2	-8,1
2 Passief + Triple glas U0,9 + infil 0,25	ja	massief	basis	basis	52,2	-10,0
3 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	nee	massief	basis	basis	60,7	-1,6
4 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	ja	HSB /betonvloer	basis	basis	64,4	2,2
5 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	ja	massief	kwart gedraaid	basis	62,6	0,4
6 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	ja	massief	basis	50%	72,0	9,8
7 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	nee	HSB /betonvloer	basis	50%	93,0	30,8
vrijstaande woning L					<b>≤74,1</b>	
basis bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	ja	massief	basis	basis = 27%	67,5	0
1 Passief + Triple glas U0,9 + infil 0,4	ja	massief	basis	basis	57,8	-9,7
2 Passief + Triple glas U0,9 + infil 0,25	ja	massief	basis	basis	56,0	-11,6
3 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	nee	massief	basis	basis	66,8	-0,7
4 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	ja	HSB /betonvloer	basis	basis	71,5	3,9
5 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	ja	massief	kwart gedraaid	basis	68,1	0,5
6 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	ja	massief	basis	50%	78,9	11,4
7 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	nee	HSB /betonvloer	basis	50%	109,0	41,5
woongebouw 45 woningen					<b>≤65</b>	
basis bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	ja	massief	basis	basis =31%	60,5	0
1 Passief + Triple glas U0,9 + infil 0,4	ja	massief	basis	basis	53,7	-6,7
2 Passief + Triple glas U0,9 + infil 0,25	ja	massief	basis	basis	51,6	-8,9
3 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	nee	massief	basis	basis	58,9	-1,6
4 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	ja	HSB /betonvloer	basis	basis	62,0	1,5
5 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	ja	massief	kwart gedraaid	basis	61,1	0,7
6 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	ja	massief	basis	50%	65,3	4,9
7 bouwbesluit + HR glas U1,4 + infil 0,4	nee	HSB /betonvloer	basis	50%	73,0	12,5

Bijlage 4

Titel	Uitgangspunten concepten en maatregelen (Excelbestand)
-------	--

Dit is een publicatie van:

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

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

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | juni 2021  
Publicatienummer: RVO-140-2021/RP-DUZA

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

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