



Agentschap NL
Ministerie van Binnenlandse Zaken
en Koninkrijksrelaties

Pilot effect klimaatverandering op energiegebruik en besparingsconcepten bij woningen

TU Delft, Faculteit Bouwkunde, afdeling Architectural
Engineering + Technology, groep Bouwfysica
in opdracht van Agentschap NL

*>> Als het gaat om duurzaamheid,
innovatie en internationaal*

Colofon

Projectnaam Pilot effect klimaatverandering op energiegebruik en besparingsconcepten bij woningen
Projectnummer MO11110006
Versienummer 15 maart 2012
Contactpersoon ir. J.D. van Rijn
Agentschap NL

Aantal bijlagen 5
Auteurs dr. ir. W.H. van der Spoel
ir. E.R. van den Ham

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking met:
TU Delft, Faculteit Bouwkunde, afdeling Architectural Engineering + Technology, groep Bouwfysica
www.bk.tudelft.nl

Hoewel dit rapport met de grootst mogelijke zorg is samengesteld kan Agentschap NL geen enkele aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele fouten.

Inhoud

Samenvatting	3
1 Inleiding	5
2 Doelstelling en werkwijze.....	7
2.1 Doelstellingen	7
2.2 Werkwijze en afbakening	7
3 Scenario's voor klimaatverandering	9
3.1 KNMI klimaatscenario's.....	9
3.2 Klimaatgegevens.....	12
4 Beschrijving woningen en gebruik	15
4.1 Eigenschappen woningen	16
4.2 Gebruik van de woningen.....	18
5 Energiegebruik voor verwarming en koeling.....	23
5.1 Simulatieprogramma	23
5.2 Berekeningsuitgangspunten.....	24
5.3 Resultaten primair energiegebruik	25
5.4 Analyse	32
5.5 Discussie en conclusies.....	33
6 Thermisch comfort in de zomer.....	37
6.1 Berekeningsuitgangspunten.....	37
6.2 Resultaten	38
6.3 Conclusies	41
7 Besparingsconcepten bij klimaatverandering	43
8 Conclusies en aanbevelingen	45
8.1 Conclusies	45
8.2 Aanbevelingen voor nader onderzoek.....	46
Bijlage 1: Referentiewoningen	47
Bijlage 2: Berekening specifiek werkzame massa.....	54
Bijlage 3: GIW richtlijnen TO-berekeningen	55
Bijlage 4: Berekeningsresultaten energiegebruik	57
Bijlage 5: Berekeningsresultaten overschrijdingsuren.....	61

Samenvatting

In opdracht van Agentschap NL is door de afdeling Bouwtechnologie van de faculteit Bouwkunde van de Technische Universiteit Delft een pilot-onderzoek uitgevoerd naar het effect van klimaatverandering op het energiegebruik voor verwarming en koeling in woningen, alsmede het risico van oververhitting in de zomer. Deze grootheden zijn met een dynamisch rekenmodel voor drie verschillende typen woningen bepaald voor het huidige klimaat en voor een verwacht klimaat in 2050. De volgende woningtypen zijn beschouwd:

- Jaren '80 tussenwoning, zonder maatregelen
- Jaren '80 tussenwoning met bouwkundige maatregelen tot energielabel A
- Nieuwbouw tussenwoning met EPC=0,4

Voor het klimaat in 2050 zijn de vier klimaatscenario's 2006 van het KNMI gebruikt. Van deze vier scenario's zijn volgens het KNMI de twee warmste scenario's het meest waarschijnlijk.

Uit de modelberekeningen volgt dat het energiegebruik voor ruimteverwarming door de buitentemperatuurstijging zal afnemen. In het meest milde scenario G is de gemiddelde afname van het energiegebruik voor verwarming 11%, terwijl in het warmste scenario W+ sprake is van een daling van 27%. Daar tegenover staat dat het energiegebruik voor ruimtekoeling zal toenemen; van 43% in scenario G tot 200% in scenario W+.

Indien de primaire opwekkingsrendementen voor verwarming en koeling elkaar niet teveel ontlopen, hetgeen het geval is bij gangbare actieve klimatiseringssystemen, zal de totale primaire energievraag bij de jaren '80 woningen afnemen. Bij een energiezuinige, goed geïsoleerde nieuwbouwwoning kan het totale primaire energiegebruik voor ruimteklimateer, voor de onderzochte systemen, echter toenemen met maximaal 40% ten opzichte van het huidige gebruik.

Desondanks heeft het in 2050 nog steeds zin om woningen thermisch goed te isoleren. Door betere isolatie wordt er winst behaald op de warmtevraag, terwijl de koudevraag er nauwelijks door wordt beïnvloed.

Beperking van de koudevraag en/of besparing op de koudeopwekking zal een belangrijker rol gaan spelen in het energetisch ontwerp van woningen. Maar met de thans beschikbare technieken voor passieve koeling van gebouwen blijft het goed haalbaar om ook in 2050 bij een W/W+ klimaatscenario een acceptabel thermische binnenklimaat in de zomer de bewerkstelligen, uitgaande van maximaal 300 overschrijdingsuren van de 27 °C grens.

1 Inleiding

Onder invloed van Nederlands en EU beleid wordt in Nederland veel aandacht besteed aan het (grootschalig) zeer energiezuinig maken van woningen. Zo verlangt de recast van de EPBD dat vanaf 2020 nieuwbouwwoningen bijna energieneutraal zijn. Vanuit dit kader worden technische maatregelen en concepten ontwikkeld en geïmplementeerd. Tegelijkertijd verandert ons klimaat. Die verandering heeft (grote) invloed op het energiegebruik van woningen en het binnenklimaat in de Nederlandse gebouwen. De omvang van deze effecten op energiegebruik en binnenklimaat is niet bekend, maar kunnen van invloed zijn op nu te kiezen concepten.

In dit pilot-onderzoek naar het effect van klimaatverandering is een rekenstudie uitgevoerd voor drie verschillende typen woningen. Voor deze woningen is het energiegebruik en thermisch binnenklimaat bepaald in het huidige klimaat en een verwacht klimaat in 2050.

2 Doelstelling en werkwijze

2.1 Doelstellingen

Doel van de pilot is om voor de Nederlandse woningvoorraad zicht te krijgen op de invloed van de stijgende buitentemperatuur op

- de ruimtewarmtevraag
- het risico op oververhitting en de noodzaak tot koeling
- de ruimtekoudevraag

in relatie tot te voeren beleid ten aanzien van nu te kiezen bouwkundige en installatietechnische concepten.

2.2 Werkwijze en afbakening

In de rekenstudie is gebruik gemaakt van drie verschillende woningtypen, gebaseerd op een referentie tussenwoning van AgentschapNL:

- Jaren '80 tussenwoning, zonder maatregelen
- Jaren '80 tussenwoning met bouwkundige maatregelen tot label A
- Nieuwbouw tussenwoning met EPC=0,4

De ruimtewarmtevraag van deze woningen verschillen aanzienlijk. Met deze keuze wordt een redelijke representatieve set voor de Nederlandse woningvoorraad beoogd. Een uitgebreide analyse van te onderzoeken typen woningen valt buiten de scope van de studie.

Van genoemde typen woningen is met een dynamisch rekenmodel de jaarlijkse warmte- en koudebehoefte op ruimteniveau voor de gehele woning berekend, voor het huidige klimaat en voor 4 klimaatscenario's in 2050. Tevens is voor deze vijf klimaatscenario's het thermisch binnenklimaat in de zomer bepaald in geval er geen actieve koeling aanwezig is.

Daarnaast is een beperkte gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor enkele parameters waarvan een invloed op de energievraag en/of het thermisch binnenklimaat kan worden verwacht.

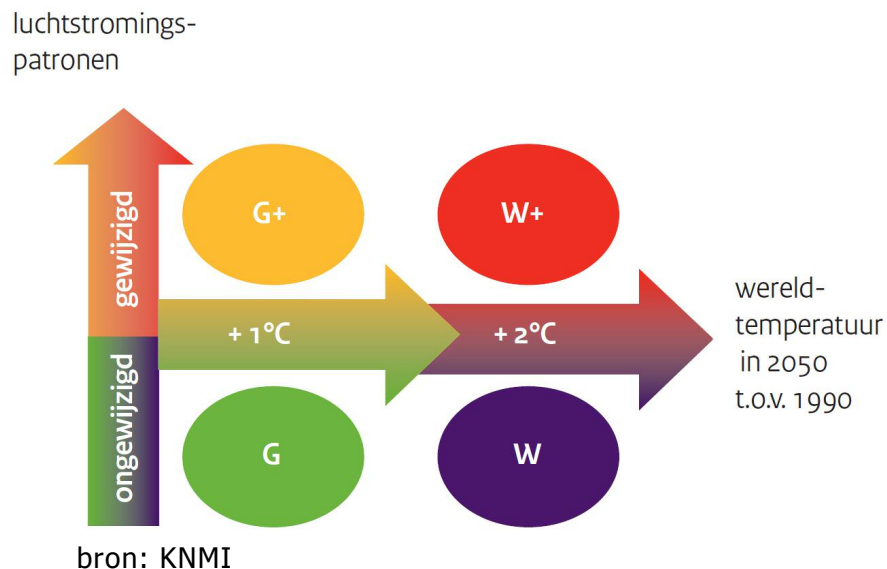
Om de invloed van de installatie uit te sluiten, zijn de warmte- en koudebehoefte in eerste instantie op ruimteniveau bepaald. Pas bij de analyse van de concepten wordt ingegaan op het effect van (primaire) rendementen van de installatie.

3 Scenario's voor klimaatverandering

3.1 KNMI klimaatscenario's

In 2006 heeft het KNMI de meest recente klimaatscenario's voor Nederland en omgeving gepresenteerd¹. Deze klimaatscenario's zijn min of meer de vier hoekpunten waarbinnen we verwachten dat ons toekomstig klimaat zich zal ontwikkelen tot 2050 en 2100. De veranderingen in 2100 zijn in de scenario's tweemaal zo groot als in 2050.

De scenario's verschillen in de mate waarin de mondiale temperatuur stijgt en de mate waarin de luchtstromingspatronen boven Nederland. De W en W+ scenario's kenmerken zich door een sterke toename van de wereldgemiddelde temperatuur, terwijl die in de G en G+ scenario's gematigd is. Bij de G+ en W+ scenario's zorgt een verandering in de luchtstroming boven de Atlantische oceaan en West-Europa voor extra warme en natte winters, terwijl de zomers extra warm en droog zijn. Bij de G en W scenario's is de invloed van veranderingen in de luchtstroming klein.



Figuur 3.1

De vier scenario's laten een opwarming zien rond 2050 variërend van 0,9 °C tot 2,3 °C in de winter en van 0,9 °C tot 2,8 °C in de zomer. Deze getallen zijn ten opzichte van het basisjaar 1990 (het gemiddelde tussen 1976 en 2005).

¹ KNMI, 2006. Klimaat in de 21^{ste} eeuw. Vier scenario's voor Nederland. Brochure. KNMI, De Bilt.

De scenario's voor 2050 zijn representatief voor het klimaat in de periode rond dat jaar (tussen 2036 en 2065).

In tabel 3.1 is een overzicht gegeven van de veranderingen per scenario en per seizoen voor de tijdhorizon 2050. Gegevens over neerslag en wind zijn voor dit onderzoek niet van belang

Tabel 3.1

		G	G+	W	W+
	Wereldwijde temperatuurstijging	+1°C	+1°C	+2°C	+2°C
	Verandering in luchtstromingspatronen	nee	ja	nee	ja
Winter					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,1°C	+1,8°C	+2,3°C
	koudste winterdag per jaar	+1,0°C	+1,5°C	+2,1°C	+2,9°C
	warmste winterdag per jaar	+0,8°C	+0,9°C	+1,6°C	+1,7°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+4%	+7%	+7%	+14%
	aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	0%	+1%	0%	+2%
	10-daagse neerslaghoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+4%	+6%	+8%	+12%
	hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar	0%	+2%	-1%	+4%
Lente					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,2°C	+1,8°C	+2,6°C
	koudste lentedag per jaar	+1,0°C	+1,4°C	+2,0°C	+2,8°C
	warmste lentedag per jaar	+1,0°C	+1,5°C	+2,0°C	+2,9°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	+1%	+6%	+3%
	aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	-1%	-3%	-2%	-5%
	dagelijkse neerslaghoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+9%	+5%	+18%	+11%
	10-daagse neerslaghoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+6%	+3%	+12%	+7%
Zomer					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,4°C	+1,7°C	+2,8°C
	koudste zomerdag per jaar	+0,9°C	+1,1°C	+1,7°C	+2,3°C
	warmste zomerdag per jaar	+1,0°C	+1,9°C	+2,1°C	+3,8°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-10%	+6%	-19%
	aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	-2%	-10%	-3%	-19%
	dagelijkse neerslaghoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+13%	+5%	+27%	+10%
	referentie verdamping	+3%	+8%	+7%	+15%
Herfst					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,3°C	+1,8°C	+2,7°C
	koudste herfstdag per jaar	+1,0°C	+1,3°C	+2,0°C	+2,6°C
	warmste herfstdag per jaar	+1,0°C	+1,8°C	+2,0°C	+3,6°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-3%	+6%	-6%
	aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	-1%	-5%	-1%	-11%
	dagelijkse neerslaghoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+9%	+6%	+18%	+12%
	10-daagse neerslaghoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+6%	+3%	+12%	+5%

bron: KNMI

Een samenvatting van de belangrijkste veranderingen per scenario voor tijdshorizon 2050 zijn weergegeven in tabel 3.2.

Tabel 3.2

G	Gematigd	1°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 geen verandering in luchtstromingspatronen in West Europa
G+	Gematigd +	1°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 + winters zachter en natter door meer westenwind + zomers warmer en droger door meer oostenwind
W	Warm	2°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 geen verandering in luchtstromingspatronen in West Europa
W+	Warm +	2°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 + winters zachter en natter door meer westenwind + zomers warmer en droger door meer oostenwind

bron: KNMI

Naast de buitenluchttemperatuur, zijn ook de veranderingen in zonnestraling van belang voor het energiegebruik van een gebouw. De KNMI'06 klimaatscenario's geven echter geen informatie over de mogelijke veranderingen in de zonneschijnduur. In het KNMI klimaatschetsboek² wordt wel vermeld dat Nederland in het overgangsgebied ligt tussen Zuid-Europa, waar de bewolgingsgraad afneemt, en Noord-Europa, waar de bewolgingsgraad toeneemt. In de meeste seizoenen is de verandering van de zonneshijn naar verwachting klein. Alleen in de G+ en W+ scenario's neemt het aantal regendagen in de zomer af met 10% à 19% en wordt als gevolg een toename van het aantal uren zonneshijn verwacht. Voor dit pilotonderzoek worden veranderingen in zonneshijnduur echter niet meegenomen.

In 2009 heeft het KNMI een publicatie³ uitgegeven met een evaluatie van de '06 scenario's in het licht van wetenschappelijke ontwikkelingen. De conclusie was dat de scenario's niet zijn achterhaald en dat ook volgens de huidige inzichten de vier KNMI'06 scenario's samen de meest waarschijnlijke veranderingen in Nederland beschrijven met bijbehorende onzekerheden. Desalniettemin brachten de onderzoeksresultaten brengen wel meer tekening in welke scenario's meer waarschijnlijk zijn. De lagere temperatuurveranderingen in de G/G+ scenario's zijn minder waarschijnlijk dan de hogere temperatuurveranderingen in de W/W+ scenario's.

² Klimaatschetsboek Nederland; het huidige en toekomstige klimaat. KNMI, 2009.

³ Klimaatverandering in Nederland; aanvullingen op de KNMI'06 scenario's. KNMI, juli 2009.

3.2 Klimaatgegevens

Ten behoeve van de dynamische berekeningen met een gebouwsimulatieprogramma zijn uurlijkse waarden nodig van buitenluchttemperatuur en straling.

Ten eerste is een keuze gemaakt voor het referentieklimaat. Daartoe is gebruik gemaakt van de uurlijkse klimaatgegevens conform NEN 5060:2009 bijlage A2. Deze klimaatgegevens zijn ontworpen voor energetische berekeningen van gebouwen. Ook de nieuwe energieprestatienorm NEN 7120:2011 verwijst ernaar.

Deze klimaatgegevens zijn ook gebruikt om het thermisch binnenklimaat in de zomer te berekenen. De NEN 5060:2009 verwijst voor dit doel weliswaar naar separate klimaatreeksen, maar hier is voor dezelfde klimaatreeks gekozen. De volgende overwegingen hebben hiertoe geleid:

- Het GIW heeft in 2007 richtlijnen gepubliceerd voor temperatuuroverschrijdingsberekeningen. Deze richtlijnen, die in dit onderzoek zoveel mogelijk worden gevolgd (zie 6.2.1), schrijven voor om klimaatjaar 1964 te gebruiken. Het is de vraag in hoeverre 1964 als representatief mag worden beschouwd wanneer voor de energetische berekeningen het jaar 1990 als referentie geldt.
- In een afstudeerrapport van TU Eindhoven⁴ zijn o.a. berekeningen gedaan met zowel klimaatjaar 1964 als NEN 5060/A2. Hieruit blijkt dat het aantal overschrijdingsuren voor beide klimaatbestanden vrijwel gelijk is. Tevens laat het zien dat het aantal overschrijdingsuren met de NEN5060/B2 klimaatgegevens voor TO-berekeningen veel hoger ligt dan met klimaatjaar 1964 en/of NEN5060/A2.

Om bovengenoemde redenen is besloten om NEN5060/A2 ook voor de temperatuuroverschrijdingberekeningen te gebruiken.

⁴ Robuustheid voor klimaatvariaties. J.E.J. Evers, Faculteit Bouwkunde TU Eindhoven, maart 2009.

3.2.1 Uurlijkse klimaatgegevens voor 2050

Om uurlijkse waarden te verkrijgen voor het jaar 2050 is gebruik gemaakt van het KNMI transformatieprogramma⁵ voor tijdreeksen. Dit programma zet historische temperatuurreksen op dagbasis om in een reeks die past bij het klimaat onder één van de vier KNMI'06 klimaatscenario's voor een bepaalde tijdshorizon. Dit programma houdt er expliciet rekening mee dat de gemiddelden anders kunnen veranderen dan de extremen.

Voor het samenstellen van de klimaatbestanden voor de vier scenario's is als volgt tewerk gegaan.

1. In het transformatieprogramma voor temperatuur is De Bilt als station gekozen en 1990 als tijdhorizon (geen transformatie). Dit geeft de dagelijkse temperatuur in De Bilt van 1976 t/m 2005.
2. In het programma voor temperatuur is De Bilt als station gekozen en is voor de vier scenario's de tijdreeks bepaald met als tijdhorizon het jaar 2050 (60 jaar later ten opzichte van het referentiejaar 1990). Dit geeft de dagelijkse temperatuur in De Bilt van 2036 t/m 2065 voor de vier scenario's.
3. Voor elke dag in de periode van 1976 t/m 2005 is met bovenstaande gegevens de temperatuurverhoging naar een tijdhorizon 60 jaar later bepaald voor de vier scenario's.
4. De uurwaarden in elke maand in NEN5060/A2 betreffen gemeten klimaatgegevens gedurende een maand in het tijdvak tussen 1986 en 2004. Voor elke dag in NEN5060/A2 is met behulp van het resultaat van stap 3 nagegaan wat de temperatuurverhoging is bij een bepaald klimaatscenario (bijvoorbeeld: 21 september in NEN5060/A2 betreft meetdata van 21 september 1992).
5. Per dag in NEN5060/A2 is bij elke uurwaarde de betreffende temperatuurverhoging opgeteld om de temperatuur te verkrijgen bij een bepaald klimaatscenario.

Op deze wijze zijn voor alle vier scenario's de temperatuurgegevens van NEN5060/A2 getransformeerd. De transformatie houdt overigens in dat de temperatuurverhoging voor elke 24 uur van een dag hetzelfde is. De grootte van de dagfluctuatie van de temperatuur verandert er derhalve niet door.

De overige klimaatgegevens (wind, neerslag, zon) zijn niet getransformeerd maar gekopieerd.

⁵ http://climexp.knmi.nl/scenarios_monthly/

4 Beschrijving woningen en gebruik

In de berekeningen is gebruik gemaakt van drie verschillende woningtypen, alle gebaseerd op een referentie tussenwoning van AgentschapNL:

- woning 1: Jaren '80 tussenwoning, oorspronkelijk
- woning 2: Jaren '80 tussenwoning met bouwkundige maatregelen tot label A
- woning 3: Nieuwbouw tussenwoning met EPC=0,4

De ruimtewarmtevraag van de drie woningen verschilt aanzienlijk. Met deze keuze wordt een set verkregen die qua energiegebruik voor ruimteverwarming/koeling vergelijkbaar is met een aanzienlijk deel van de Nederlandse woningvoorraad. Een uitgebreidere analyse van te onderzoeken typen woningen in relatie tot de woningvoorraad viel buiten de scope van de studie.

Voor alle woningen en klimaatscenario's zijn drie soorten berekeningen uitgevoerd met elk hun eigen uitgangspunten:

- bepaling van de warmtebehoefte
- bepaling van de koudebehoefte
- bepaling van het thermisch binnenklimaat in de zomer indien geen actieve koeling aanwezig is (temperatuuroverschrijdingsberekening)

Eerst wordt in § 4.1 de eigenschappen van de woningen, los van het berekeningstype, beschreven. Vervolgens wordt in § 4.2 ingegaan op het gemodelleerde gebruikersgedrag, afhankelijk van het berekeningstype.

4.1 Eigenschappen woningen

Hieronder zullen de eigenschappen per woningtype worden beschreven. In bijlage 1 zijn deze overzichtelijk per woning samengevat.

4.1.1 Jaren '80 woning, oorspronkelijk

Voor de bouwkundige eigenschappen van de Jaren '80 woning is uitgegaan van de 'Agentschap NL rijwoning gebouwd in de periode 1975 en 1991⁶. De isolatiewaarde van de gevels en het dak bedraagt $1,3 \text{ m}^3\text{K/W}$ terwijl de begane grondvloer nog ongeïsoleerd is. Op de begane grond is er standaard dubbel glas aanwezig, op de verdieping niet. De woning is volledig natuurlijk geventileerd.

Luchtdoorlatendheid

Voor de luchtdoorlatendheid van de gebouwschil is uitgegaan van $q_{v10,spec} = 1,0 \text{ dm}^3/\text{m}^2/\text{s}$. Deze waarde is gebaseerd op een schatting van de gemiddelde luchtdoorlatendheid van een tussenwoning in deze bouwperiode. De verversing met buitenlucht als gevolg van deze luchtlekkage is bepaald met de nieuwe norm NEN8088-1:2011. Hieruit volgt een tijdgemiddeld luchtdebiet van $14 \text{ dm}^3/\text{s}$ voor de gehele woning (aangenomen gebruiksoppervlakte 140 m^2)

Thermisch werkzame massa

De opbouw van de constructiematerialen is zodanig samengesteld dat de specifiek werkzame massa (SWM)⁷ 50 kg/m^2 bedraagt, ofwel een thermisch middelzware woning. In bijlage 2 is de berekening van de SWM gegeven.

⁶ Voorbeeldwoningen 2011; Bestaande bouw. AgentschapNL, januari 2011.

⁷ Voor definitie SWM zie ISSO publicatie 32 Uitgangspunten temperatuursimulatieberekeningen

4.1.2 Jaren '80 woning, besparingspakket naar label A

Bouwkundige maatregelen die nodig zijn om een beter energielabel te verkrijgen zijn gegeven in de publicatie voorbeeldwoningen van AgentschapNL⁶. De bouwkundige maatregelen voor label A en label B zijn identiek. De label A woning heeft echter zonnepanelen en een zonnecollector. Beide installatietechnische componenten hebben echter geen invloed op de ruimtewarmtevraag, ruimtekoudevraag en het thermisch binnenklimaat en zijn derhalve niet relevant voor de huidige studie.

In de label A jaren '80 woning is de R_c -waarde van de beganegrondvloer, de gevel en het dak verbeterd naar $2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$. Daarnaast is in de gehele woning HR++ glas geplaatst en is de U-waarde van de voordeur verbeterd naar $2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Voor het overige is de woning identiek aan de oorspronkelijke staat, o.a. de luchtdichtheid en SWM.

4.1.1 Nieuwbouwwoning EPC=0,4

De geometrie van de EPC=0,4 woning is gebaseerd op de AgentschapNL referentie tussenwoning 2007. Om een EPC van 0,4 te verkrijgen zijn de isolatiewaarden van de gebouwschil verbeterd ten opzichte van deze referentie:

R_c -waarde gevel	4,0	$\text{m}^2\text{K/W}$
R_c -waarde dak	6,0	$\text{m}^2\text{K/W}$
R_c -waarde begane grondvloer	4,0	$\text{m}^2\text{K/W}$
U-waarde ramen	1,0	$\text{W/m}^2\text{K}$
U-waarde voordeur	1,4	$\text{W/m}^2\text{K}$

Ventilatie

De woning is voorzien van een mechanisch balansventilatiesysteem met warmteterugwinning. Voor het terugwinrendement is 83% aangehouden. Deze waarde komt overeen met de forfaitaire waarde volgens PHPP-NL voor een WTW-unit met een volgens Nederlandse normen gemeten rendement van 95%. In de berekeningen is de bypass van de WTW-unit in werking als de ventilatietoevoerluchttemperatuur hoger is dan $15 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.1.2 Luchtdoorlatendheid

Voor de luchtdoorlatendheid van de gebouwschil is uitgegaan van $q_{v10,spec} = 0,35 \text{ dm}^3/\text{m}^2/\text{s}$. Dit is een relatief lage waarde maar in de praktijk goed realiseerbaar. Het passiefhuisniveau is ruim een factor 2 beter (luchtdichter). De vervissing met buitenlucht als gevolg van luchtlekkage volgens NEN8088-1:2011 bedraagt $4,2 \text{ dm}^3/\text{s}$ voor de gehele woning (aangenomen gebruiksoppervlakte 120 m^2).

Beglazing

De ZTA-waarde van de beglazing bedraagt 50%.

Thermisch werkzame massa

De nieuwbouwwoning wordt gekenmerkt door SWM van $50 \text{ kg}/\text{m}^2$, zie bijlage 2 voor de berekening.

4.1.3 Algemeen

Voor alle woningvarianten geldt dat het effect van koudebruggen niet in de simulatieberekeningen is opgenomen.

4.2 Gebruik van de woningen

De volgende aspecten worden (deels) bepaald door bewonersgedrag:

- thermostaatstand
- te openen ramen (spuien)
- ventilatiedebiet
- interne warmteproductie
- zonwering

In deze paragraaf wordt toegelicht welke waarden hiervoor zijn aangehouden in de berekeningen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen enerzijds berekeningen voor bepaling van de verwarmings- en koelingsenergie, en anders voor bepaling van het thermisch binnenklimaat in de zomer indien geen actieve koeling aanwezig is (temperatuuroverschrijdingsberekening)

4.2.1 Berekeningen warmtebehoefte

Thermostaatstand

Voor de thermostaatstand van de woonzone (begane grond) en slaapzone (1^e verdieping) zijn voor zover mogelijk waarden aangehouden conform NEN5128/E.4, zie tabel 4.1.

Tabel 4.1 Thermostaatstanden conform NEN5128

Tijd h	'Woonzone' °C	'Slaapzone' °C	
		2 dagen per week	5 dagen per week
van 7 tot 17	19,0	19,0	16,0
van 17 tot 23	21,0	21,0	16,0
van 23 tot 7	16,0 ^a	16,0 ^a	14,0 ^a

Een beperking van het simulatieprogramma betreft echter de mogelijkheid om slechts 2 standen per ruimte in te voeren, terwijl in de norm sprake is van 3 verschillende standen voor de woonkamer en 4 verschillende standen voor de slaapzone. Daarin is in de berekeningen enigszins tegemoet gekomen door de verwarming tussen 7 en 23 uur geheel uit te schakelen. Bij de simulatieberekeningen zijn de in tabel 4.2 gegeven thermostaatstanden aangehouden.

Tabel 4.2 Thermostaatstanden bij simulatieberekeningen

Tijd h	Woonzone °C	Slaapzone °C	
		weekend	door de week
van 7 tot 17	19	17	17
van 17 tot 23	21	21	17
van 23 tot 7	uit	uit	uit

Te openen ramen (spuiventilatie)

- *Jaren '80 woningen*

Voor bepaling van de spuiventilatie is uitgegaan van de nieuwe norm NEN8088-1:2011. Voor de jaren '80 woningen dient een tijdgemiddeld luchtdebiet ten gevolge van spuien (te openen ramen) gedurende het stookseizoen van 8,4 dm³/s te worden aangehouden.

De som van het luchtdebiet door lekkage en spuien bedraagt $22,4 \text{ dm}^3/\text{s}$. Bij een vrije verdiepingshoogte van $2,4 \text{ m}$, komt dit overeen met een ventilatievoud van $0,24 \text{ h}^{-1}$ voor de gehele woning. In de rekenmodellen voor het energiegebruik is van deze constante waarde uitgegaan gedurende het gehele klimaatjaar.

- *Nieuwbouwwoning EPC=0,4*

Volgens NEN8088-1:2011 dient voor de nieuwbouwwoning een tijdgemiddeld luchtdebiet ten gevolge van spuien (te openen ramen) gedurende het stookseizoen van $9,6 \text{ dm}^3/\text{s}$ te worden aangehouden (hoger dan bij de jaren '80 woning ten gevolge van een mechanisch balansventilatiesysteem)

De som van luchtlekkage en spuien bedraagt $13,8 \text{ dm}^3/\text{s}$. Bij een vrije verdiepingshoogte van $2,6 \text{ m}$, komt dit overeen met een ventilatievoud van $0,16 \text{ h}^{-1}$ voor de gehele woning.

Ventilatie-debiet

Voor het ventilatie-debiet is voor alle woningen uitgegaan van een constante waarde van $0,36 \text{ dm}^3/\text{m}^2/\text{s}$ voor de begane grond en verdieping. Deze waarde wordt in NEN5128:2004 voorgeschreven voor een systeem met mechanische afvoer en voor een niet-regelbaar systeem met mechanische toe- en afvoer. Voor een natuurlijk ventilatiesysteem geeft NEN5128:2004 slechts een waarde voor de som van de ventilatie door roosters en te openen ramen. Indien zou worden gesplitst in de twee componenten, is verondersteld dat de ventilatie door roosters $0,36 \text{ dm}^3/\text{m}^2/\text{s}$ bedraagt. Voor de spui-ventilatie is nu niet het restant gebruikt, maar is NEN8088-1:2011 gevolgd.

De zolder is in het rekenmodel niet geventileerd.

Interne warmteproductie

De uurlijkse waarden conform NEN5128:2004/E.7 zijn gebruikt voor de totale interne warmteproductie (personen, apparatuur, verlichting), zie tabel 4.3.

Tabel 4.3 Interne warmteproductie

Tijd h	'Woonzone' W/m^2	'Slaapzone' W/m^2	
		2 dagen per week	5 dagen per week
van 7 tot 17	8,0	2,0	1,0
van 17 tot 23	20,0	4,0	1,0
van 23 tot 7	2,0	6,0	6,0

Zonwering

Er zijn berekeningsvarianten uitgevoerd zonder en met zonwering. Bij de varianten met zonwering zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- buitenzonwering op de begane grond
- geen zonwering op de verdieping (slaapkamers)
- zontransmissiecoëfficiënt doek 10%
- zonwering in gebruik als voldaan wordt aan
 - tijdstip tussen 8:00 en 18:00 uur
 - zonbelasting op gevel $>300 \text{ W/m}^2$

4.2.2 Berekeningen koudebehoefte

Voor de koudebehoefteberekeningen zijn dezelfde uitgangspunten gehanteerd als voor de warmtebehoefteberekeningen, behalve met betrekking tot spuiventilatie door te openen ramen, en uiteraard de thermostaatstand voor koeling. De koelcapaciteit is toereikend om de gewenste temperatuur te bereiken. Alle ruimten in de woning zijn voorzien van koeling, behalve de zolder.

Thermostaatstand

In alle ruimten is een constante thermostaatstand voor koeling van $23,5 \text{ }^\circ\text{C}$ gebruikt.

Te openen ramen (spuiventilatie)

Verondersteld wordt dat bewoners bij een te hoge binnentemperatuur, en mits de buitentemperatuur lager is dan de binnentemperatuur, de ramen openen om overtollige warmte te lozen (vrije koeling). Voor dit gedrag is aangenomen dat

- ramen worden geopend bij een binnentemperatuur $>22 \text{ }^\circ\text{C}$. In het simulatieprogramma worden de ramen weer gesloten als de binnentemperatuur $<22 \text{ }^\circ\text{C}$.

In het rekenmodel is geen beperking opgelegd m.b.t. het tijdstip, derhalve ook vrije koeling in de nachtelijke uren. Deze aannamen voor de vrije koeling hebben betrekking op een zeer bewust ventilatiegedrag.

Voor het spuiventilatievoud bij geopende ramen wordt een constante waarde van 4 h^{-1} aangehouden. Dit geldt voor alle ruimten op de begane grond en de verdieping. Deze ventilatie is extra ten opzichte van de reeds gemodelleerde ventilatiecomponenten (roosters, spuien en luchtlekkage).

4.2.3 Temperatuuroverschrijdingsberekeningen

Thermostaatstand

Zie berekeningen verwarmingsenergie (4.2.1).

Te openen ramen (spuiventilatie)

Bij de temperatuuroverschrijdingsberekeningen worden de ramen geopend onder dezelfde voorwaarden als bij de koelenergieberekeningen. Het spuiventilatievoud wordt echter door het simulatieprogramma zelf berekend. Dit betekent dat bij weinig wind de spuiventilatie lager is dan bij veel wind. In de berekeningen is aangenomen dat 5% van het raamoppervlak kan worden geopend. Om het effect van een bebouwde omgeving in rekening te brengen is de windfactor op 20% gesteld. Met deze instellingen wordt een typisch spuiventilatievoud bij geopende ramen gevonden van 4 h^{-1} .

Ventilatiedebit

Zie berekeningen verwarmingsenergie (4.2.1).

Interne warmteproductie

De interne warmteproductie is bepaald conform de GIW richtlijnen voor temperatuuroverschrijdingsberekeningen, zie bijlage 3. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen apparatuur, verlichting en personen.

Zonwering

Zie berekeningen verwarmingsenergie (4.2.1).

5 Energiegebruik voor verwarming en koeling

Voor de drie typen woningen zijn met een dynamisch rekenmodel voor het huidige klimaat en voor de 4 klimaatscenario's in 2050 de volgende grootheden bepaald:

- warmtevraag
- koudevraag

Om de invloed van de installatie uit te sluiten, zijn de warmte- en koudevraag in het rekenmodel op ruimteniveau bepaald. Pas bij de analyse van de concepten wordt het effect van (primaire) rendementen van de installatie verwerkt.

Voor elk berekeningstype is een beperkte gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor enkele parameters waarvan een invloed op het energiegebruik kan worden verwacht.

5.1 Simulatieprogramma

De berekeningen zijn uitgevoerd met het softwareprogramma DesignBuilder 3.0. De rekenkern wordt gevormd door EnergyPlus 6.0. In feite is DesignBuilder niets anders dan een 'third-party' pre/postprocessor voor EnergyPlus. De user-interface van DesignBuilder is deels grafisch gebaseerd en de hiërarchische opbouw van de invoergegevens maakt het uitvoeren variantberekeningen overzichtelijk. Bij een simulatie worden de invoergegevens omgeschreven naar een inputdatafile voor EnergyPlus, wordt de berekening door de EnergyPlus rekenkern uitgevoerd, en wordt de data in de outputdatafile door DesignBuilder omgezet in voor de gebruiker eenvoudig interpreteerbare informatie.

EnergyPlus is geen commerciële software maar een initiatief van de US Department of Energy. Bij de ontwikkeling wordt veel aandacht besteed aan validatie⁸. Het programma wordt wereldwijd veelvuldig door onderzoekers gebruikt⁹.

Validatie van DesignBuilder is minder prominent dan van EnergyPlus. Omdat het meer een 'doorgeefluik' is, is het wellicht minder relevant, maar bij dat doorgeven kunnen uiteraard ook fouten optreden.

⁸ http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_testing.cfm

⁹ http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_research.cfm

Een manier om de kwaliteit van berekeningsresultaten te toetsen, is een vergelijking maken met andere simulatiesoftware. Binnen het kader van dit onderzoek was dit echter niet mogelijk.

5.2 Berekeningsuitgangspunten

5.2.1 Bouwkundige varianten

Naast de 5 klimaatscenario's en 3 woningtypen, zijn de volgende bouwkundige varianten berekend:

Oriëntatie achtergevel	Zuidwest / Zuidoost
Zonwering	Wel / Geen

5.2.2 Warmte- en koudeopwekking varianten

Voor de opwekking van warmte en koude zijn twee systemen beschouwd:

- Een conventioneel systeem met HR-ketel voor de warmteopwekking en koeling met een compressiekoelmachine:
 - Opwekking- en systeemrendement verwarming 90%
 - COP koeling 3
 - Rendement elektriciteitsopwekking 40%
- Een warmtepompsysteem met warmte- en koudeopslag in de bodem, met een laag temperatuur verwarmingssysteem en hoog temperatuur koelsysteem:
 - COP verwarming 6
 - COP koeling 5
 - Rendement elektriciteitsopwekking 40%

5.2.3 Energiegebruik voor warmtapwater

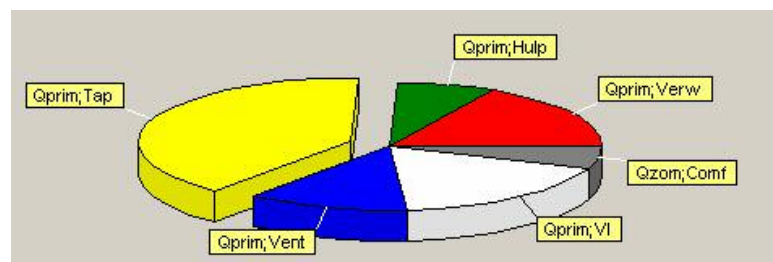
Het energiegebruik voor warmtapwater is buiten beschouwing gelaten omdat de klimaatveranderingsscenario's zeer weinig of geen effect hebben op de warmtebehoefte voor warmtapwater. Bij de nieuwbouwwoning is het warmtapwaterverbruik ongeveer gelijk aan het energiegebruik voor ruimteverwarming.

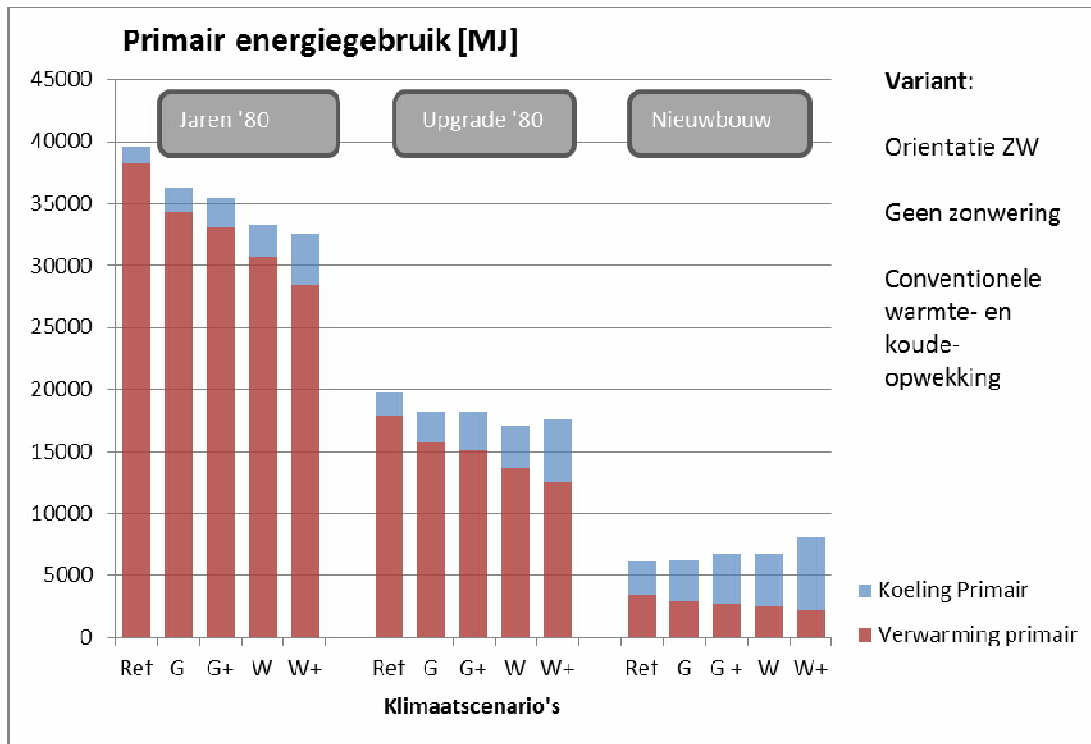
5.3 Resultaten primair energiegebruik

In bijlage 4 is het resultaat van de simulatieberekeningen gegeven voor een aantal varianten, waarbij het woningtype, de oriëntatie en de zonwering is gevarieerd.

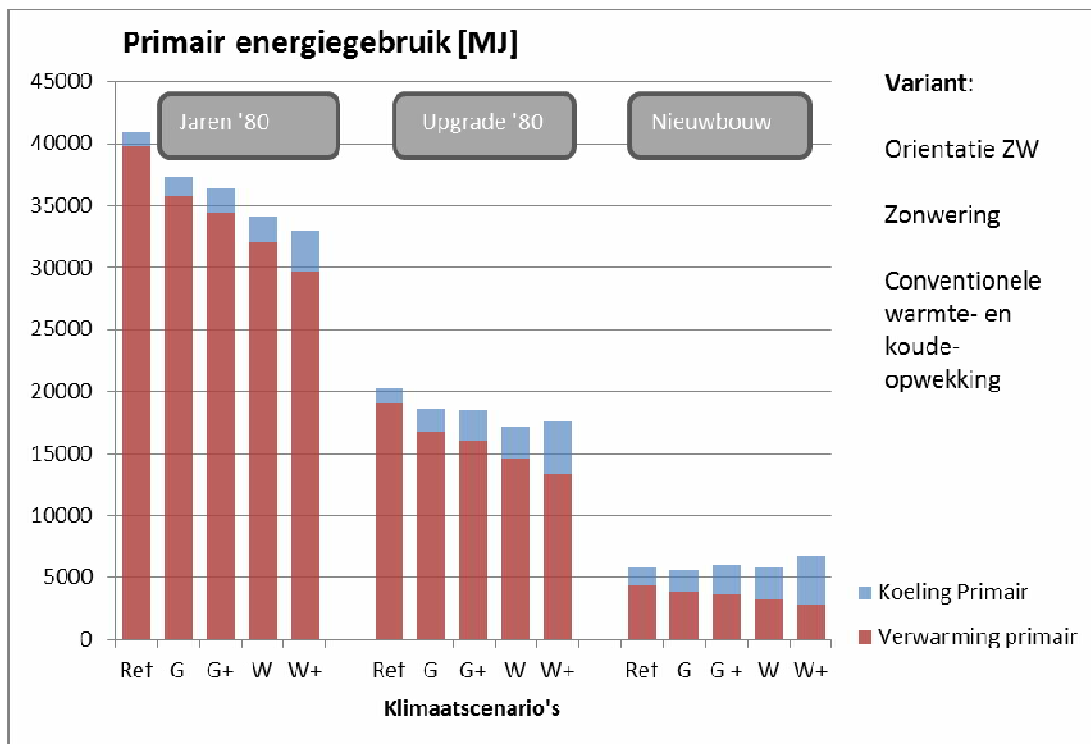
Uit de simulatieberekeningen komt de behoefte voor ruimteverwarming en ruimtekoeling. Gebruik makend van de opwekkingsrendementen voor de verschillende systemen als genoemd in § 5.2.2 wordt de netto behoefte omgerekend naar een primair energiegebruik. In de volgende figuren zijn de berekeningsresultaten weergegeven:

- In de figuren 5.1 t/m 5.6 is het primair energiegebruik voor verwarming en koeling weergegeven, voor verschillende varianten. In deze figuren is steeds het primair energiegebruik per woning in MJ per jaar uitgezet tegen de verschillende klimaatscenario's Ref, G, G+, W en W+.
- In de figuren 5.7 en 5.8 is de procentuele afname van het energiegebruik voor verwarming gegeven. Deze is onafhankelijk van het verwarmingssysteem.
- In de figuren 5.9 en 5.10 is de procentuele toename van het energiegebruik voor koeling gegeven. Deze is onafhankelijk van het koelsysteem.
- Voor situaties met toepassing van zowel verwarming als koeling is in figuur 5.11 en 5.12 de procentuele verandering in het primaire energiegebruik gegeven voor de twee verschillende opwekkingssystemen. Hierbij moet worden opgemerkt dat het energiegebruik voor warmtapwater en het overige huishoudelijke elektriciteitsverbruik buiten beschouwing is gelaten. De procentuele verandering van het totale primaire energiegebruik is dus aanmerkelijk kleiner.
- Ter informatie is hieronder een taartpunt-diagram weergegeven van het primair energiegebruik van de EPC = 0,4 woning met HR-107 ketel met 80% opwekkrendement voor warmtapwater. Het primair energiegebruik voor warmtapwaterbereiding bedraagt circa 15000 MJ per jaar. Deze berekening is gemaakt met het NPR 5129 programma.

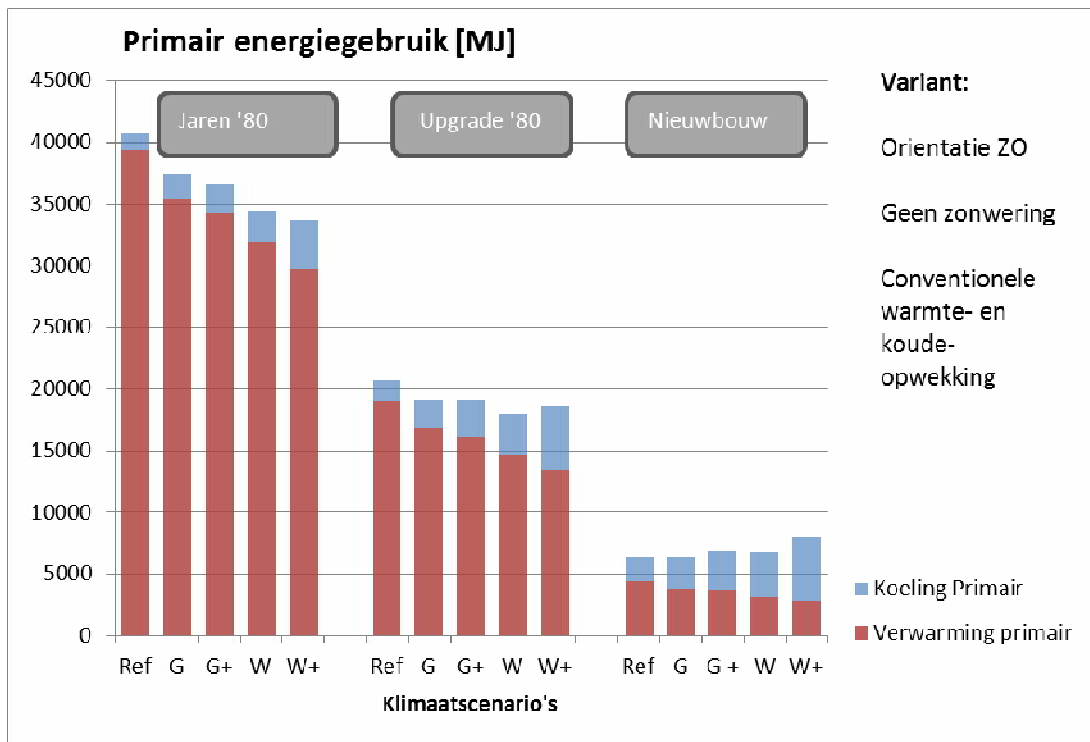




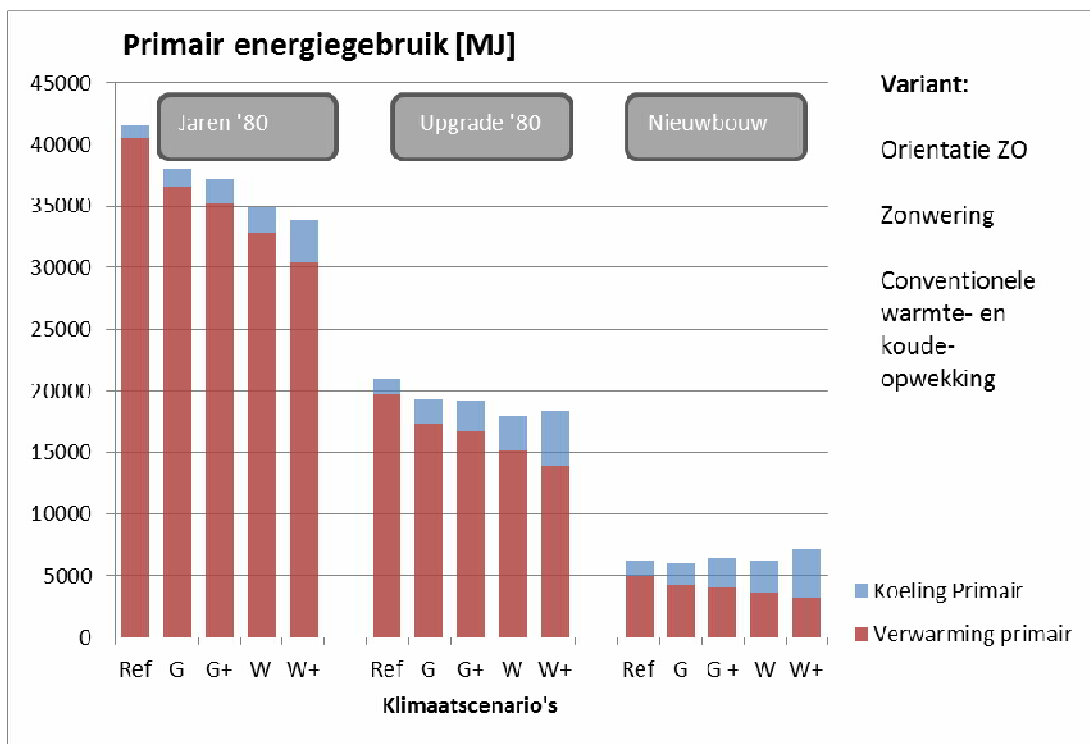
Figuur 5.1 Primair energiegebruik bij orientatie ZW, geen zonwering en conventioneel systeem



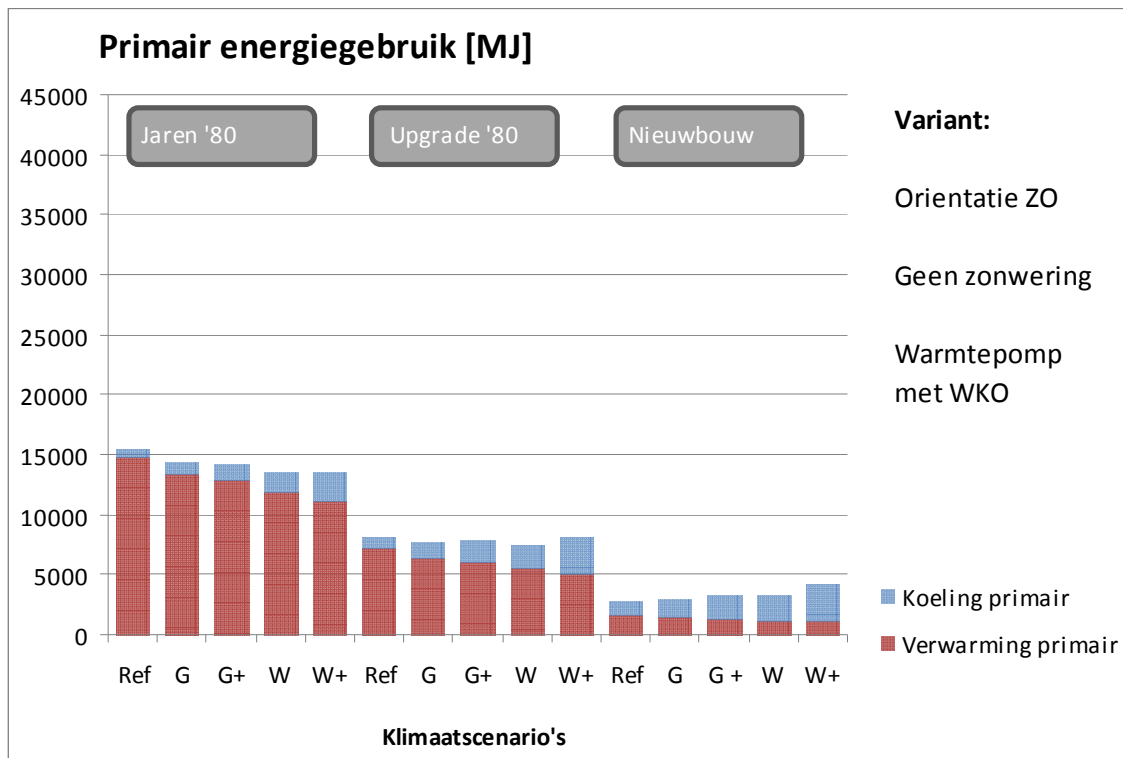
Figuur 5.2 Primair energiegebruik bij orientatie ZW, wel zonwering, conventioneel systeem



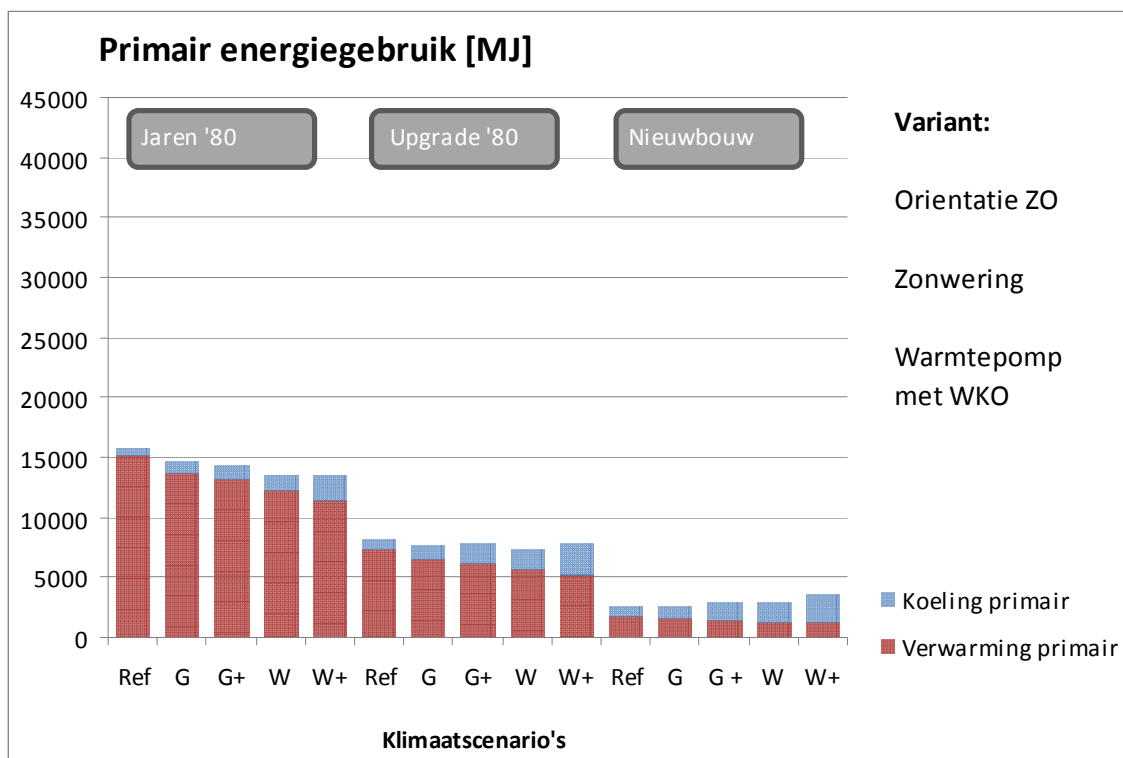
Figuur 5.3 Primair energiegebruik bij orientatie ZO, geen zonwering, conventioneel systeem



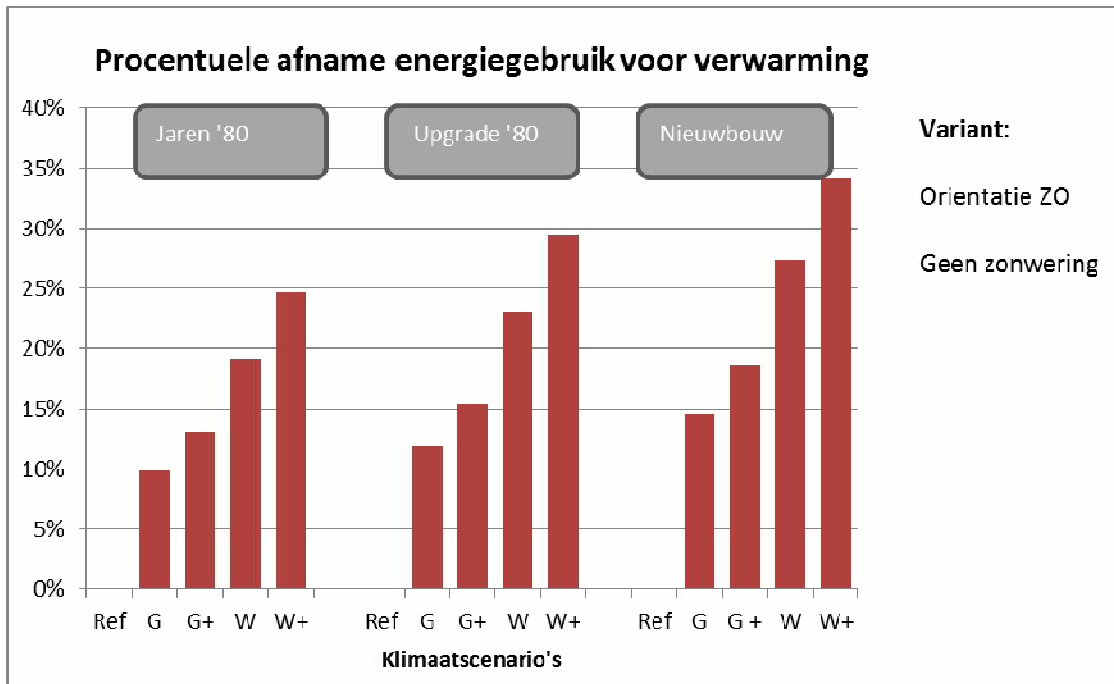
Figuur 5.4 Primair energiegebruik bij orientatie ZO, wel zonwering, conventioneel systeem



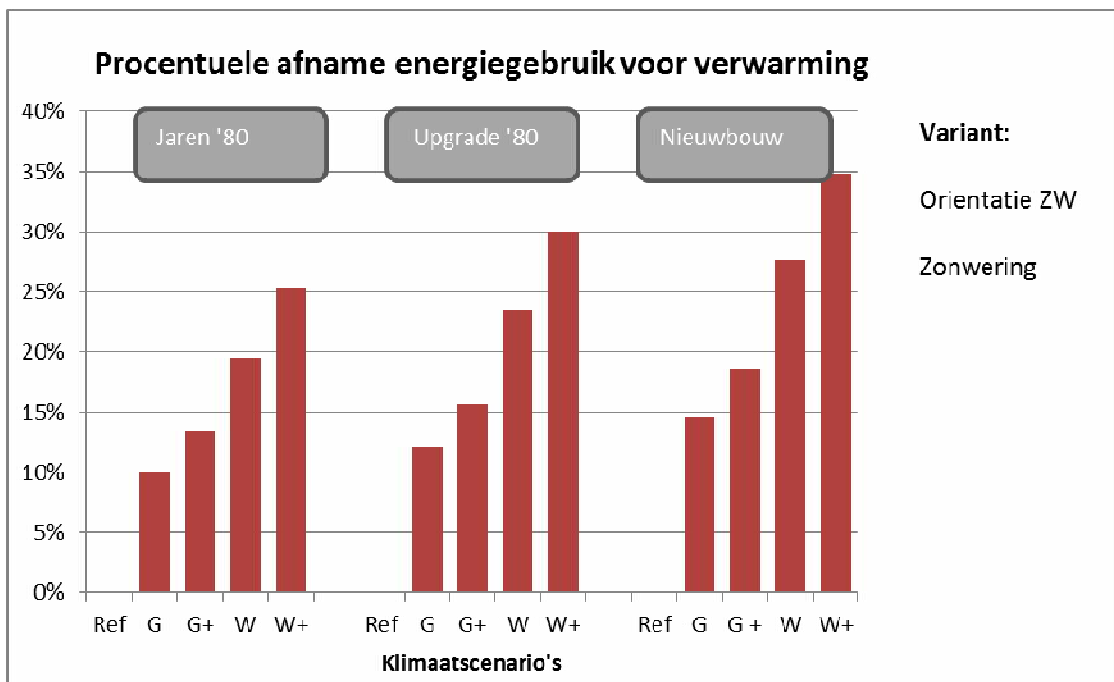
Figuur 5.5 Primair energiegebruik bij orientatie ZO, geen zonwering, WKO systeem



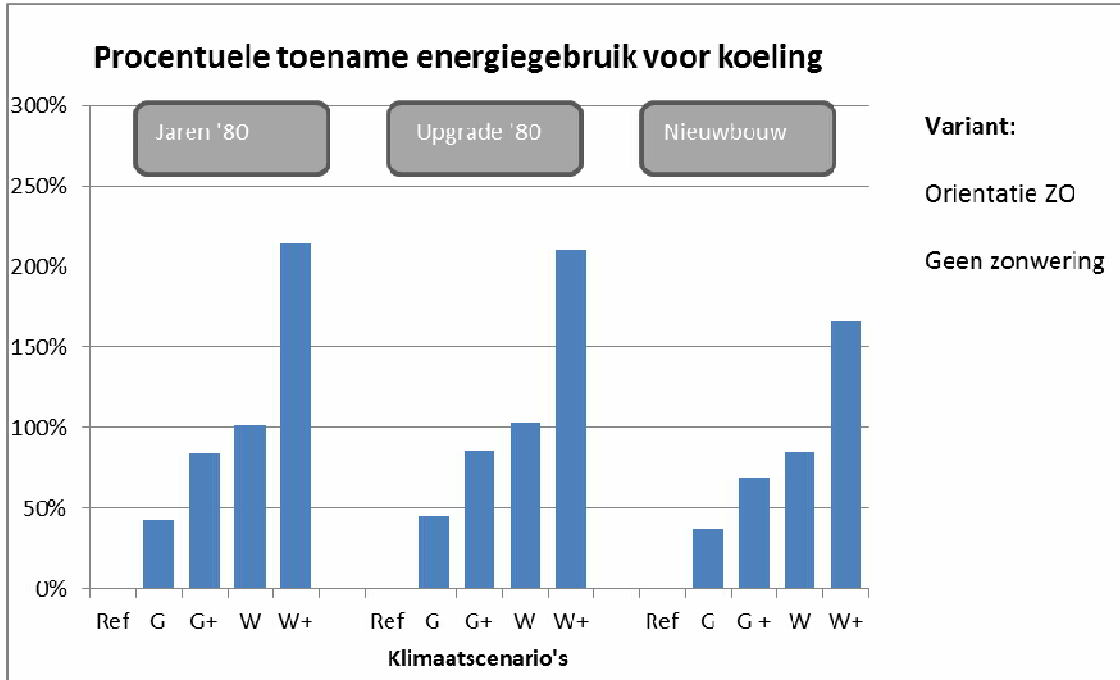
Figuur 5.6 Primair energiegebruik bij orientatie ZO, wel zonwering, WKO systeem



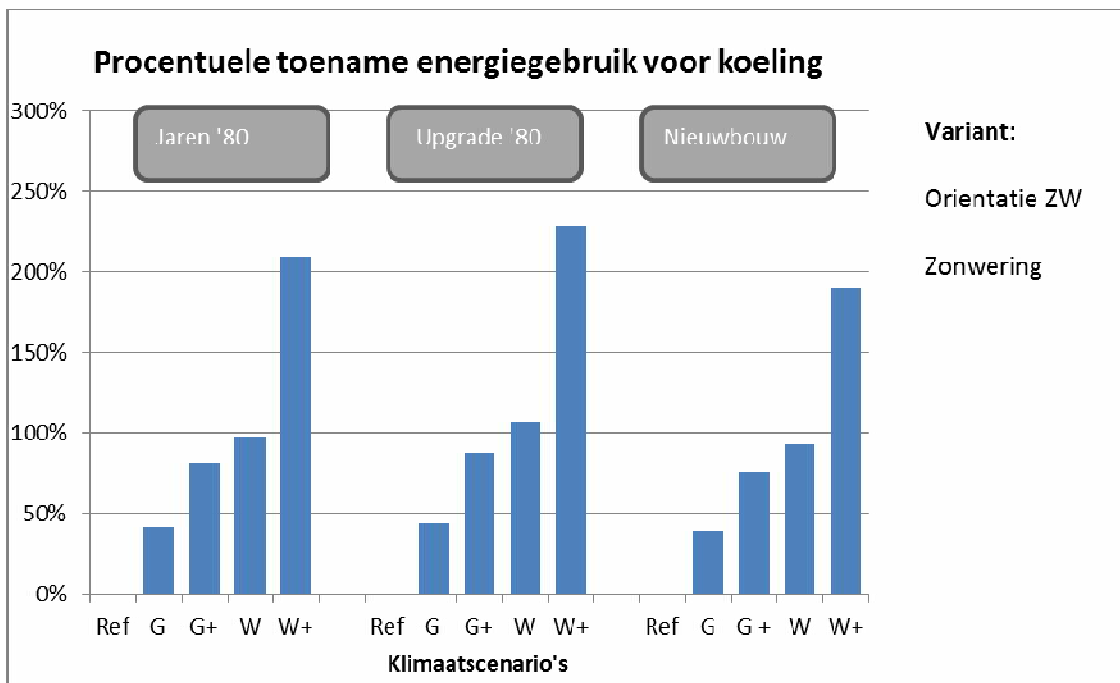
Figuur 5.7 Procentuele afname verwarmingsenergie bij orientatie ZO, geen zonwering



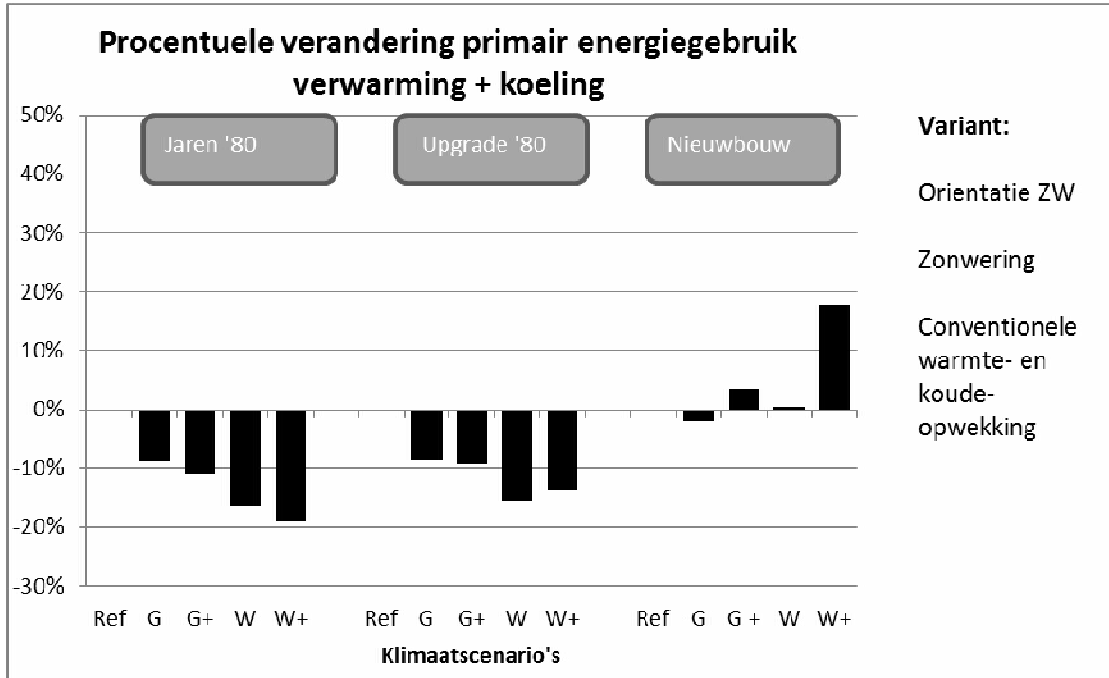
Figuur 5.8 Procentuele afname verwarmingsenergie bij orientatie ZW, wel zonwering



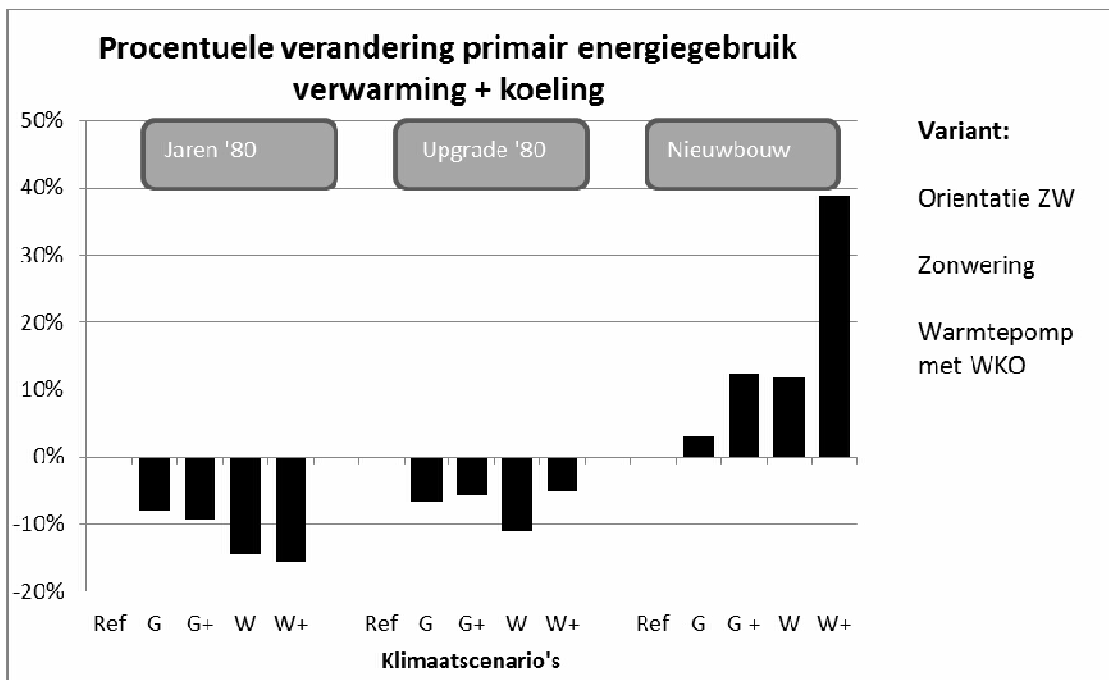
Figuur 5.9 Procentuele toename koelenergie bij orientatie ZO, geen zonwering



Figuur 5.10 Procentuele toename koelenergie bij orientatie ZW, wel zonwering



Figuur 5.11 Procentuele verandering primair verbruik bij conventioneel systeem



Figuur 5.12 Procentuele verandering primair verbruik bij WKO systeem

NB Primair energiegebruik alleen voor verwarming en koeling , dus exclusief warmtapwater en overig elektrisch verbruik

5.4 Analyse

De figuren 5.1 t/m 5.4 laten voor een systeem met conventionele warmte- en koude-opwekking zien wat het effect is van verschillende oriëntatie (ZO of ZW) en van al dan niet gebruik van zonwering. Uit de onderlinge vergelijking van de figuren 5.1 en 5.3 resp. 5.2 en 5.4 blijkt dat het effect van de oriëntatie ondergeschikt is aan het effect van de klimaatscenario's. Kanttekening daarbij is dat het beglazingsoppervlak in de voor- en achtergevel van de onderzochte woningen vrijwel gelijk is. Mogelijk dat het effect van de oriëntatie klein is als gevolg van deze symmetrie.

Uit een vergelijking van de figuren 5.1 en 5.2 resp. 5.3 en 5.4 blijkt dat toepassing van zonwering zoals te verwachten een afname van het primair energiegebruik voor koeling te zien geeft, en dat de tendens van het effect van de klimaatverandering bij de varianten met en zonder zonwering hetzelfde is.

Uit een vergelijking van de figuren 5.3 en 5.5 resp. 5.4 en 5.6 blijkt dat met toepassing van een warmtepompsysteem met WKO het primair energiegebruik met meer dan een factor 2 afneemt, en ook hier is de tendens van het effect van de klimaatverandering bij de verschillende opwekkingsystemen hetzelfde.

Zoals te zien in de figuren 5.7 en 5.8 leiden alle klimaatscenario's bij alle onderzochte woningtypes tot een verlaging van het energiegebruik voor verwarming. Het effect neemt geleidelijk toe van scenario G t/m W+. In de figuren 5.9 en 5.10 wordt zichtbaar dat alle klimaatscenario's leiden tot een verhoging van de energie benodigd voor koeling. Opvallend daarbij is dat bij scenario W+ de toename extra groot is.

Bij de interpretatie van de resultaten moet steeds zowel het absolute als het relatieve effect in beschouwing worden genomen. Het absolute effect is het grootst bij de Jaren '80 woning, het relatieve effect is bij de nieuwbouwwoning het grootst, maar het absolute effect is veel kleiner dan bij de Jaren '80 woning.

Het effect van de klimaatverandering moet ook worden beschouwd in relatie tot de jaarlijkse weersinvloeden. In de periode van 1970 tot 2010 lag het aantal gewogen graaddagen per jaar tussen 2600 en 3500 met een gemiddelde van 3000¹⁰. Dit is een spreiding van +/- 15%. De spreiding in het aantal koeldagen van jaar tot jaar is veel groter. Het aantal koeldagen in De Bilt was in de periode 1970 tot 2010 gemiddeld 80 met een spreiding tussen 11 en 200. Het maximum ligt 150% boven het gemiddelde.

¹⁰ <http://www.kwa.nl/content/graaddagen-en-koeldagen>

5.5 Discussie en conclusies

5.5.1 Energiegebruik voor verwarming

Voor de vier onderzochte klimaatveranderingsscenario's is het effect op het energiegebruik voor verwarming in tabel 5.1 samengevat.

Tabel 5.1 Procentuele afname energiegebruik voor verwarming

<i>Woningtype</i>	Klimaatscenario			
	G	G+	W	W+
Jaren '80	10%	13%	18%	25%
Upgrade jaren '80	12%	16%	23%	29%
Nieuwbouw	14%	18%	27%	33%
Gemiddeld	11%	14%	20%	27%

Het gemiddelde is berekend als het naar warmtebehoefte gewogen gemiddelde van de drie woningtypes.

In het minst extreme scenario G is de gewogen gemiddelde afname van het energiegebruik voor verwarming 11% en dat loopt op tot 27% bij het meest extreme scenario W+.

Het effect van de scenario's W en W+ is duidelijk groter dan de maximale jaarlijkse variatie van de graaddagen over de afgelopen 40 jaar. Het effect van de scenario's G en G+ valt nog binnen de bandbreedte van de jaarlijkse fluctuaties over de laatste 40 jaar. Anders gezegd: de klimaatscenario's G en G+ zijn op te vangen binnen de marges van de thans gebruikelijke klimatiseringsconcepten, voor de scenario's W en W+ kan het zinvol zijn om te onderzoeken of de klimatiseringsconcepten aangepast kunnen worden.

5.5.2 Energiegebruik voor koeling

Voor de vier onderzochte klimaatveranderingsscenario's is het effect op het energiegebruik voor koeling in tabel 5.2 samengevat. Voor situaties zonder koeling kan worden gekeken naar het effect op het thermisch comfort in de zomer dat in hoofdstuk 6 wordt beschreven.

Tabel 5.2 Procentuele toename energiegebruik voor koeling

woningtype	Klimaatscenario			
	G	G+	W	W+
Jaren '80	45%	80%	90%	210%
Upgrade jaren '80	45%	80%	100%	210%
Nieuwbouw	40%	65%	75%	175%
Gemiddeld	43%	75%	90%	200%

Het gemiddelde is berekend als het gemiddelde van de drie woningtypes.

In het minst extreme scenario G is de gewogen gemiddelde toename van het energiegebruik voor koeling 43% en dat loopt op tot 200% bij het meest extreme scenario W+.

Het effect van scenario W+ is duidelijk groter dan de maximale jaarlijkse variatie van de koeldagen over de afgelopen 40 jaar. Het effect van de overige scenario's valt nog binnen de bandbreedte van de jaarlijkse fluctuaties van de koeldagen over de laatste 40 jaar.

Opgemerkt moet worden dat het absolute energiegebruik voor koeling erg gevoelig is voor de aanname met betrekking tot vrije koeling door te openen ramen. Indien geen vrije koeling wordt toegelaten, ligt de absolute koudevraag een ongeveer factor 1,3, 2,1 en 2,8 hoger voor respectievelijk de jaren '80, jaren '80 upgrade en nieuwbouwwoning. De koudevraag is uiteraard ook gevoelig voor de thermostaatstand. Over de invloed van gebruikersgedrag op de koudevraag is (in Nederland) niet veel bekend. Van belang is te onderkennen dat de hierboven gepresenteerde waarden voor de koudevraag gepaard gaan met grote onzekerheden, waarbij het gebruikersgedrag een grote rol speelt.

5.5.3 Totaal energiegebruik

Bij woningtype jaren '80 en jaren '80 upgrade leiden alle klimaatveranderingsscenario's tot een verlaging van het primair energiegebruik ook als dit leidt tot een toename van het energiegebruik voor koeling.

Bij het woningtype "niewbouw EPC=0,4" is het energiegebruik voor ruimteverwarming al zeer gering en leidt, onder gegeven aannamen, de toename van de koudebehoefte bij de klimaatveranderingsscenario's per saldo tot een toename van het primaire energiegebruik.

6 Thermisch comfort in de zomer

Naast energiegebruik voor verwarming en koeling, is het thermisch binnenklimaat in de zomer berekend indien er geen actieve koeling aanwezig is. Deze berekeningen zijn uitgevoerd met dezelfde software als gebruikt voor de energieberekeningen, zie § 5.1.

Ook nu is een beperkte gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor enkele parameters waarvan een invloed op het thermisch binnenklimaat kan worden verwacht.

6.1 Berekeningsuitgangspunten

6.1.1 Bouwkundige varianten

Naast de 5 klimaatscenario's en 3 woningtypen, zijn de volgende bouwkundige varianten berekend:

Orientatie achtergevel	Zuidwest / Zuidoost
Zonwering bgg	Wel / Geen

6.1.2 Prestatiecriteria

De volgende prestatiecriteria zijn bepaald:

- Aantal overschrijdingsuren van de 25,5 °C en 27,0 °C grenswaarde. De grenswaarde van 27,0 °C is conform de berekeningsuitgangspunten van het GIW en komt globaal overeen met een PMV 0,5. Het GIW houdt als criterium aan dat het aantal overschrijdingsuren van PMV 0,5 niet meer dan 300 mag zijn. De 25,5 °C is ter informatie gegeven en is een grenswaarde die doorgaans voor verpleeginstellingen wordt gebruikt.
- Aantal overschrijdingsuren van de 80% en 90% adaptieve temperatuur grenswaarde (ATG)¹¹

¹¹ ISSO 74.

Deze criteria zijn bepaald voor de volgende ruimten:

- woonkamer op de begane grond
- slaapkamer aan de voorzijde op de 1e verdieping
- slaapkamer aan de achterzijde op de 1e verdieping

6.2 Resultaten

In bijlage 5 is het resultaat van de simulatieberekeningen gegeven voor een aantal varianten, waarbij het woningtype, de oriëntatie en de zonwering is gevarieerd.

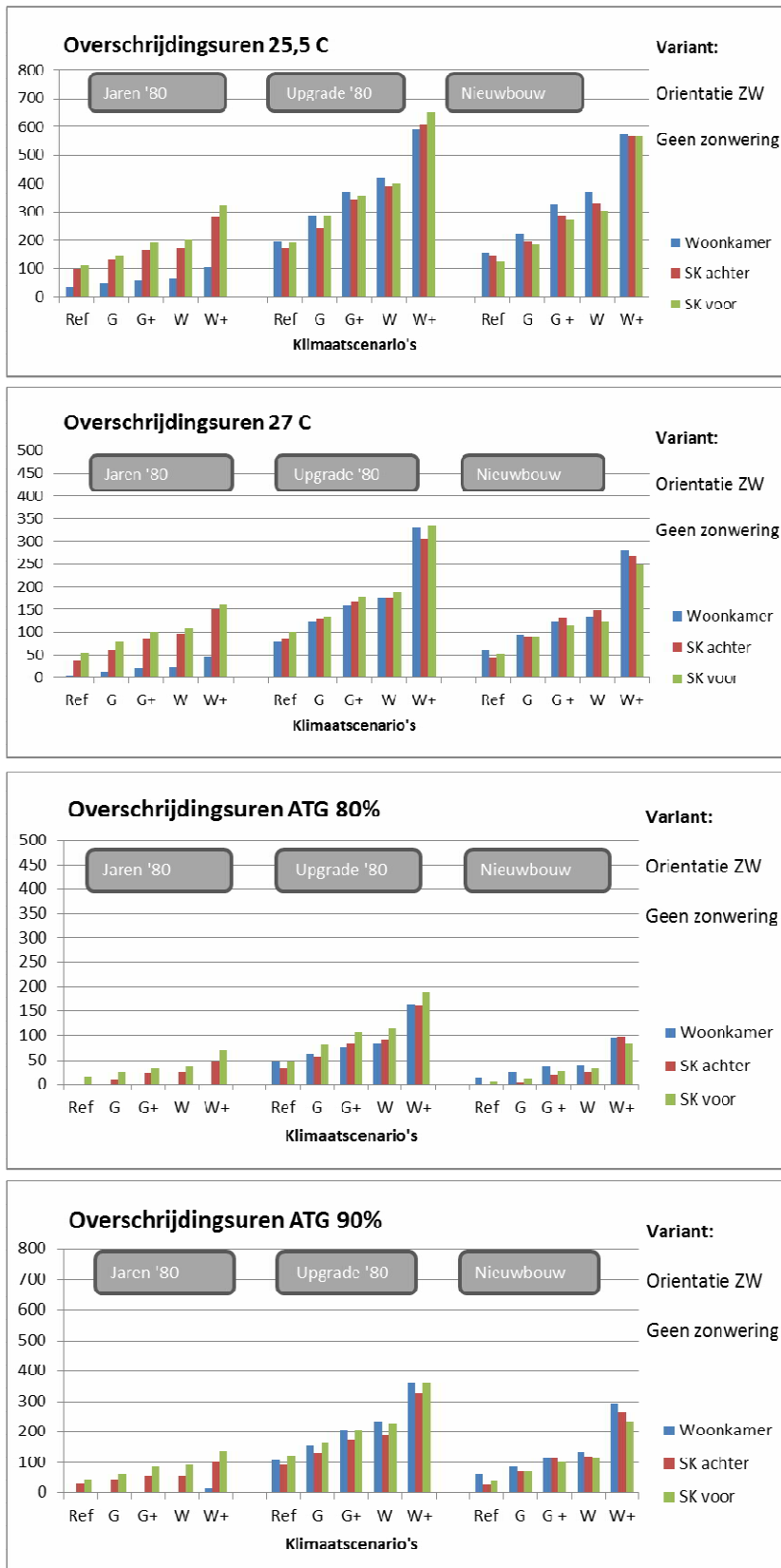
In de figuren 6.1 en 6.2 zijn de overschrijdingsuren weergegeven voor verschillende varianten. In deze figuren is steeds het aantal overschrijdingsuren uitgezet tegen de verschillende klimaatveranderingsscenario's Ref, G, G+, W en W+.

In figuur 6.1 a t/m d zijn voor een variant met oriëntatie ZW zonder zonwering de overschrijdingsuren voor respectievelijk 25,5 °C, 27,0 °C en ATG 80% en 90% weergegeven. Hieruit blijkt dat de ATG overschrijdingsuren hetzelfde beeld te zien geven als de overschrijdingsuren van 25,5 en 27,0 °C. De overschrijding van 27,0 °C komt overeen met de parameter die het GIW hanteert voor de bepaling van de overschrijdingsuren (PMV = +0,5). Daarom is er voor gekozen om de overschrijdingsuren van 27,0 °C als maatgevende comfortparameter aan te houden.

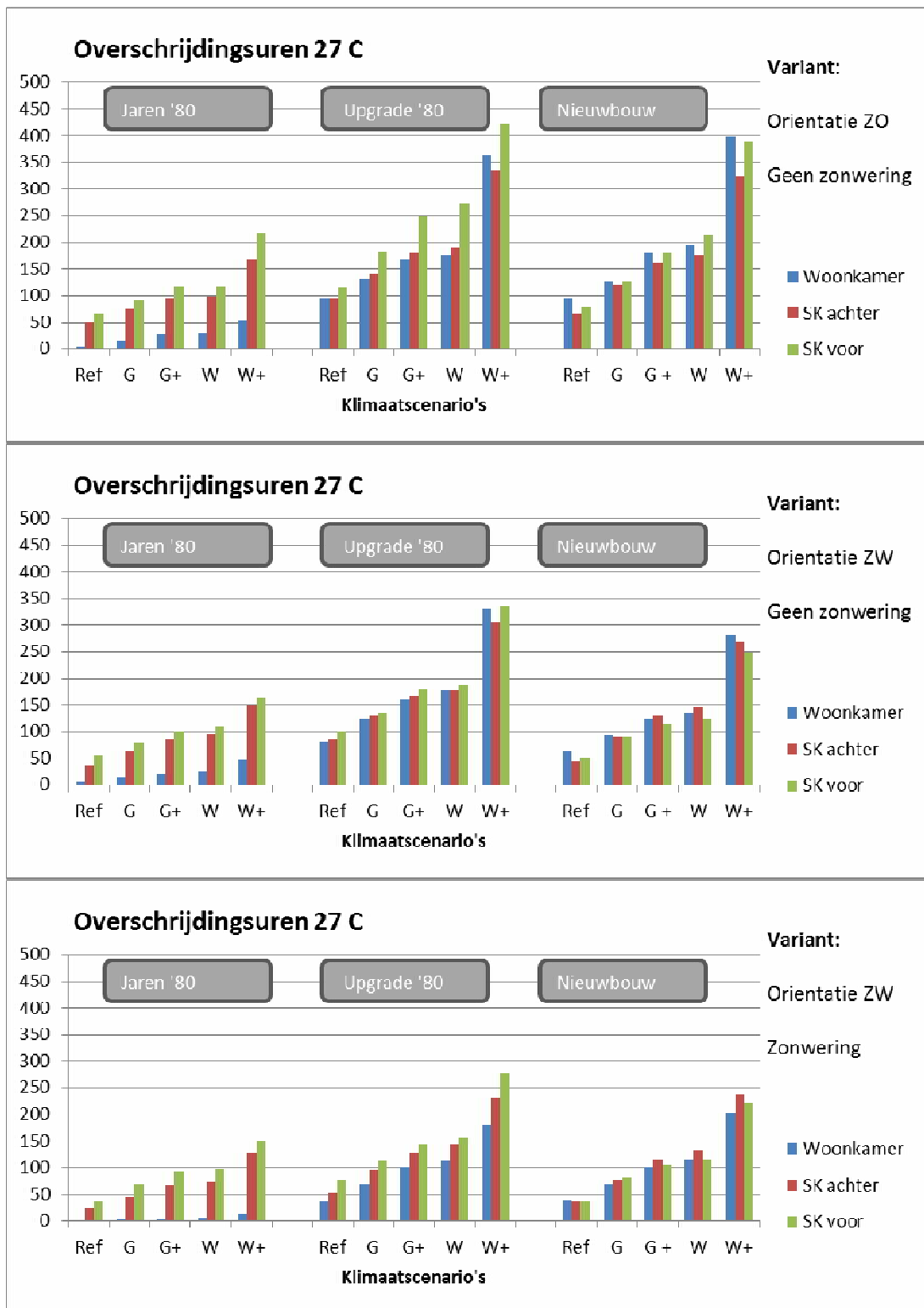
Verder blijkt uit figuur 6.1 a t/m d dat de verschillende vertrekken globaal hetzelfde beeld te zien geven. Opvallend is wel dat bij de Jaren '80 woning het thermisch binnenklimaat in de woonkamer aanzienlijk beter is dan in de slaapkamers. Dit verschil tussen ruimten onderling is bij de andere 2 woningtypen vrijwel niet aanwezig. Waarschijnlijk heeft dit te maken met een vereenvoudigde modellering van de grond onder de begane grondvloer. In het simulatieprogramma wordt op 0,5 m diepte in de grond een constante temperatuur van 14 °C aangehouden, waardoor er bij een ongeïsoleerde beganegrondvloer een constant warmteverlies optreedt. Aangeraden wordt voorzichtig om te gaan met de resultaten voor de woonkamer van de oorspronkelijke jaren '80 woning.

In de figuren 6.2 a t/m c zijn de overschrijdingsuren van 27,0 °C gegeven voor de woonkamer op de begane grond bij verschillende varianten van oriëntatie en zonwering.

Opgemerkt moet worden dat resultaten gevoelig zijn voor de aanname met betrekking tot vrije koeling door te openen ramen. Indien geen vrije koeling wordt toegelaten liggen de waarden typisch een factor 1,5 hoger.



Figuur 6.1a t/m d: Vergelijking overschrijdingsuren verschillende comfortcriteria, oriëntatie ZW, geen zonwering.



Figuur 6.2 a t/m c: Overschrijdingsuren 27,0 °C grens voor oriëntatie ZO/ZW en wel/geen zonwering bgg.

6.3 Conclusies

Het aantal TO-uren van de 27,0 °C grens voor de woonkamer is in het huidige klimaat voor alle woningtypen zonder zonwering 50 à 100 uur per jaar. Gegeven de veelgehoorde klacht van bewoners van energiezuinige woningen dat het binnen te warm is in de zomer, zou men overigens hogere waarden verwachten.

De klimaatveranderingsscenario's geven een toename van de temperatuuroverschrijdingen te zien. Bij een W klimaatscenario stijgt dit naar circa 150 à 200 uur, en bij een W+ klimaatscenario naar 300 à 400 uur per jaar. Met zonwering op de bgg liggen deze waarden ongeveer een factor 1,5 lager. Wordt geen vrije koeling door te openen ramen gemodelleerd, dan liggen de waarden een factor 1,5 hoger.

Met name bij goed geïsoleerde woningen (jaren '80 upgrade en nieuwbouw) kan het W+ klimaatscenario leiden tot overschrijding van het GIW comfort-criterium (300 TO-uren van 27,0 °C grens).

7 Besparingsconcepten bij klimaatverandering

Op basis van de resultaten van dit onderzoek is de invloed op nu te kiezen bouwkundige en installatietechnische concepten geanalyseerd. Hierbij wordt aangenomen dat in 2050 eerder sprake zal zijn van een W/W+ klimaatscenario dan van een G/G+ scenario³. Verder richt het zich in eerste instantie op nieuwbouwwoningen.

Een eerste constatering is dat de warmtebehoefte zal afnemen door de hogere buitentemperaturen. Bij het W+ klimaatscenario (circa 2,5 °C warmer dan nu) bedraagt deze afname voor een EPC=0,4 woning 1/3^e van de huidige warmtebehoefte, overeenkomend met een afname van de warmtebehoefte van 1100 à 1800 MJ. De grote relatieve afname is een gevolg van het gegeven dat een dergelijke nieuwbouwwoning grotendeels door interne en externe warmtebronnen op temperatuur wordt gehouden. Pas bij een buitentemperatuur lager dan circa 12 °C is verwarming nodig.

Daartegenover staat een toename van de koudebehoefte, mits koeling aanwezig uiteraard. De toename bedraagt in het W+ klimaatscenario typisch circa 3600 MJ, redelijk onafhankelijk van het woningtype. Mits de primaire conversiefactoren voor ruimteverwarming en koeling elkaar niet ver ontlopen, is het totale primaire energiegebruik van een nieuwbouwwoning in 2050 bij een W+ klimaatscenario 10% tot 40% hoger dan in het huidige klimaat. Ook voor het G+ en W klimaatscenario wordt een verhoging tot 13% verwacht.

De vraag rijst of we er niet verstandig aan zouden doen om thermisch minder goed geïsoleerde woningen te gaan bouwen. Het antwoord daarop is echter ontkennend. De koudevraag neemt ten opzichte van nu weliswaar toe als gevolg van een warmer klimaat, maar deze toename is vrijwel onafhankelijk van de thermische isolatie van de woning. Met andere woorden, door beter te isoleren wordt er winst behaald op de warmtevraag terwijl de koudevraag amper verandert. Netto is er sprake van energiebesparing.

Beperking van de koudevraag en/of besparing op de koude-opwekking zal en prominentere rol krijgen in het energetisch ontwerp van woningen. In de G+/W/W+ klimaatscenario's is de koudebehoefte mogelijk al groter dan de warmtebehoefte. Overigens moet opgemerkt dat de totale warmtebehoefte van een woning in vrijwel alle gevallen aanzienlijk groter zal blijven dan de koudebehoefte omdat warm tapwaterverwarming een relatief grote post is in de energiebalans van een woning. Ook bij concepten als WKO, waarbij over een jaar genomen energiebalans in de bodem moet optreden, zal in de zomer nog additioneel warmte moeten worden gewonnen uit de omgeving.

De volgende passieve maatregelen leiden tot een lagere koudevraag van een woning:

- Vrije koeling door spuiventilatieopeningen. Dit principe is uitgangspunt bij het ontwerp van passiefhuizen. De koeling dient inbraakveilig te kunnen geschieden. Vrije koeling gedurende de nacht is extra interessant vanwege afwezigheid van mensen (tochtklachten) en het grotere temperatuurverschil tussen binnen en buiten. Door spuiventilatieopeningen op verschillende hoogten in de gebouwschil, en voldoende mogelijkheden voor de lucht om door een woning van beneden naar boven te stromen, wordt ventilatie door thermische trek gestimuleerd. Dit soort systemen werken bij voorkeur automatisch.
- Het effect van vrije koeling door spuiventilatie wordt versterkt door de thermische massa van een woning. Thermisch zware woningen hebben derhalve het meeste baat van vrije koeling
- 'Vrije' koeling met behulp van het mechanische ventilatiesysteem. De eventuele WTW-unit moet worden 'bypassed'. Het ventilatiedebiet van een mechanisch systeem is veelal kleiner dan van natuurlijke spuiventilatie, maar draagt een steentje bij.
- 'Vrije' koeling met behulp van vloer/wandkoeling. Bij warmtepompsystemen met de bodem of grondwater als bron kan direct worden gekoeld zonder tussenkomst van de warmtepomp en is alleen pompenergie nodig.
- Er komen thans mechanische ventilatiesystemen op de markt die op basis van indirecte verdampingskoeling een luchtuittretemperatuur bewerkstelligen onder de natte bol temperatuur¹². Indien toch al sprake is van een ventilator en warmtewisselaar, kan deze toevoeging als een passieve maatregel worden gezien.
- Buitenzonwering. Automatische zonwering zal naar verwachting een grotere besparing geven dan handbediende. Indien de gehele woning wordt voorzien van buitenzonwering, is de oriëntatie (wat betreft de koudevraag) niet van belang.
- Een meer exotische maatregel die nog niet op de markt is betreft adaptieve isolatie van de niet-doorzichtige gebouwschil¹³.

Met behulp van passieve maatregelen, die weinig tot geen energie vergen, is het goed haalbaar om ook in 2050 bij een W/W+ klimaatscenario een acceptabel thermische binnenklimaat in de zomer te bewerkstelligen.

¹² Oxycom

¹³ Passive cooling using adaptable insulation. TU Delft, januari 2008. SenterNovem project number: 0268-05-04-02-012

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

Voor de vier onderzochte klimaatveranderingsscenario's is het effect op het energiegebruik voor ruimteverwarming in tabel 5.1 samengevat. In het minst extreme scenario G is de gewogen gemiddelde afname van het energiegebruik voor verwarming 11% en dat loopt op tot 27% bij het meest extreme scenario W+.

Het effect op het energiegebruik voor koeling is voor de onderzochte systemen in tabel 5.2 samengevat. In het minst extreme scenario G is de gewogen gemiddelde toename van het energiegebruik voor koeling 43% en dat loopt op tot 200% bij het meest extreme scenario W+.

Voor een klimatiseringssysteem met verwarming+koeling leiden alle klimaatveranderingsscenario's per saldo tot een verlaging van het primair energiegebruik voor woningtype "jaren '80" en "jaren '80 upgrade". Bij het woningtype "nieuwbouw EPC=0,4" is er echter, vanwege de al zeer lage warmtebehoefte, een toename van het primaire energiegebruik. In het W+ klimaatscenario's kan deze toename ten opzichte van het referentieklimaat tot 40% bedragen.

Het heeft in 2050 nog steeds zin om woningen thermisch goed te isoleren. De koudevraag van een woning blijkt namelijk weinig afhankelijk van de mate van thermische isolatie. Door betere isolatie wordt er winst behaald op de warmtevraag.

Indien geen actieve koeling aanwezig is, kan in 2050 met behulp van passieve maatregelen voor de onderzochte woningen in de woonkamer een thermische binnenklimaat in de zomer worden verkregen dat voldoet aan het comfortcriterium van maximaal 300 overschrijdingsuren van de 27,0 °C grens.

8.2 Aanbevelingen voor nader onderzoek

Naar verwachting zal in de toekomst beperking van de koudevraag een grotere rol krijgen in het energetisch ontwerp van woningen. Een effectieve passieve maatregel is vrije (nacht)koeling door spuiventilatieopeningen. De thermische trek die 's nachts aanwezig is kan worden benut middels spuiventilatieopeningen op verschillende hoogten in de gebouwschil. Voorwaarde is dat er in de woning geen grote beperking van de luchtstroming optreedt. Een analyse en berekeningsmethodiek voor nachtelijke spuiventilatie is ontwikkeld door het Passivhaus Instituut in Duitsland¹⁴. Nader onderzoek naar de toepassing en effectiviteit van deze passieve koelmethode, in combinatie met woningeigenschappen als de thermische massa en gebruikersgedrag, voor de Nederlandse situatie wordt aanbevolen.

De koudevraag van een woning is, wellicht nog meer dan de warmtevraag, sterk afhankelijk van het gebruikersgedrag. Hiervoor zijn in het onderzoek aannamen gedaan; de omvang van het onderzoek liet geen gevoeligheidsanalyse toe. Om een betere schatting te kunnen geven van het energiegebruik voor koeling, wordt aanbevolen om onderzoek te verrichten naar het gebruikersgedrag met betrekking tot koeling van de verschillende ruimten in een woning. De resultaten van een dergelijk onderzoek zijn ook waardevol voor WKO-projecten waarbij een goede schatting van de koudebehoefte in het ontwerpstadium van belang is in relatie tot de energiebalans van de bodem.

¹⁴ Protokollband Nr. 22: Lüftungsstrategien für den Sommer. Passivhaus Institut

Bijlage 1: Referentiewoningen

Jaren '80 tussenwoning

6.4 Rijwoning

Gebouwd in de periode 1975-1991



De rijwoningen die zijn gebouwd in de periode 1975-1991, vertegenwoordigen met 879.000 woningen, 12,9% van de Nederlandse woningvoorraad. Zo'n 61% is in eigendom van de bewoner, ongeveer 34% wordt in de sociale sector verhuurd en 5% in de particuliere sector.

De woningen die in deze categorie vallen hebben vaak 4 tot 5 kamers, verdeeld over 3 woonlagen. De woningen worden met name bewoond door 35-64 jarigen (73%). De woningen worden bewoond door alleenstaanden (20%) en tweepersoons huishoudens, zowel met (43%) als zonder (28%) kinderen. Kenmerkend aan deze bouwperiode is dat de systeembouw zich steeds verder ontwikkelt. Hierbij valt vooral te denken aan wanden en gevels die van prefab-beton of gietbouw gemaakt worden. Nieuw in deze periode zijn betonvloeren

met isolatie. De systeembouw ontwikkelt zich verder door de introductie van prefab betonnen puin en systeemdaken.

Oorspronkelijke energetische niveau

De eisen aan de energetische kwaliteit van nieuwbouwwoningen zijn verhoogd in 1975 (Rc 1,3 m²K/W voor dak en dichte gevel), in 1979 (dubbele beglazing woonvertrek), in 1983 (Rc 1,3 m²K/W begane grondvloer) en in 1988 (Rc 2,0 m²K/W voor dak en dichte gevel). Vooral de woningen uit het eerste deel van deze periode werden naar huidige nieuwbouw maatstaven niet erg goed geïsoleerd. Opvallend in deze bouwperiode was dat de energetische eisen van woningen in de sociale huursector hoger waren dan die van de andere woningen. Zo moesten sociale huurwoningen in de woonvertrekken al vanaf 1975 worden voorzien van dubbelglas. Toch werd dubbelglas in ruime mate toegepast bij alle woningen. Daarnaast werd bij veel woningen vooral de vloer beter geïsoleerd dan vereist. Centrale verwarming met een VR-ketel werd op grote schaal toegepast.

Huidige energetische niveau van deze woningen

Vrijwel alle woningen hebben centrale verwarming. De HR-combiketel komt het meeste voor (HR107 44% en HR100 19%). Een kleiner deel van de woningen heeft een andere ketel (CR 3%, VR 26%), wordt nog lokaal verwarmd (1%) of is aangesloten op stadsverwarming (warmtelevering derden 5%). Naast combiketels worden vrijwel geen andere toestellen als elektrische boilers, gasboilers of keukengeisers gebruikt voor de bereiding van warmtapwater. Het aandeel keukenboilers is 12%.

Een deel van de woningen is al vanaf de oplevering voorzien van dubbelglas. Dit deel van het glasoppervlak zal niet snel door HR glas worden vervangen. Het aandeel dubbelglas is groot (69% van het glasoppervlak). Een behoorlijk deel van het glasoppervlak van deze woningen is nog steeds enkelglas (21% van het glasoppervlak). Het aandeel HR glas is 10%. Alle dichte geveldelen zijn geïsoleerd, alleen is het isolatieniveau in de meeste gevallen niet erg hoog. Het grootste deel van de woningen is voorzien van mechanische ventilatie (53%). Daarnaast komt vooral natuurlijke ventilatie voor (44%) en beperkt balansventilatie met warmteterugwinning (2%). Alle woningen zijn voorzien van kierdichting.

Jaren '80 tussenwoning, oorspronkelijk

ENERGETISCH NIVEAU

pakket maatregelen

oorspronkelijk

ALGEMEEN

type woning	tussenwoning
type dak	hellend
aantal bewoners (-)	3,0
gebruiksoppervlak (m ²)	106,0
serre	-

BOUWKUNDIG

	begrenzing	ZTA	oppervlak	Rc	U-waarde
	[-]	[-]	[m ²]	[m ² K/W]	[W/m ² K]
begane grondvloer	kruipruimte/grond	-	51,0	0,52	1,28
plat dak	buiten	-	-	-	-
hellend dak	buiten	-	68,6	1,30	0,64
voor-/achtergevel					
gesloten	buiten	-	40,6	1,30	0,64
enkelglas	buiten	0,8	9,7	-	5,20
dubbelglas	buiten	0,7	9,7	-	2,90
HR++glas	buiten	0,6	-	-	-
zijgevel					
gesloten	buiten	-	-	-	-
enkelglas	buiten	0,8	-	-	-
dubbelglas	buiten	0,7	-	-	-
HR++glas	buiten	0,6	-	-	-

NB oriëntatie glas is oost/west

VENTILATIE

ventilatiesysteem	naam
type warmteterugwinning	natuurlijke ventilatie
eigen waarde rendement warmteterugwinning	geen
gelijkstroomventilatoren	-
kierdichting	nee
	nee

Overige uitgangspunten jaren '80 woning oorspronkelijk

Bouwkundig

- zadeldak
- verdeling glas 50/50 bgg en 1^e verd., en 50/50 voor- en achtergevel
- dubbel glas op begane grond, enkel glas op de verdieping
- bgg is in rekenmodel 1 zone, 1^e verdieping ingedeeld in 2 zones, zolder is 1 zone
- beukmaat 5,4 m, diepte 10,7 m
- U-waarde verdiepingsvloeren 2,0 W/m²K
- U-waarde deur 4 W/m²K
- $q_{v10,spec} = 1,0 \text{ dm}^3/\text{m}^2/\text{s}$
- koudebruggen niet gemodelleerd

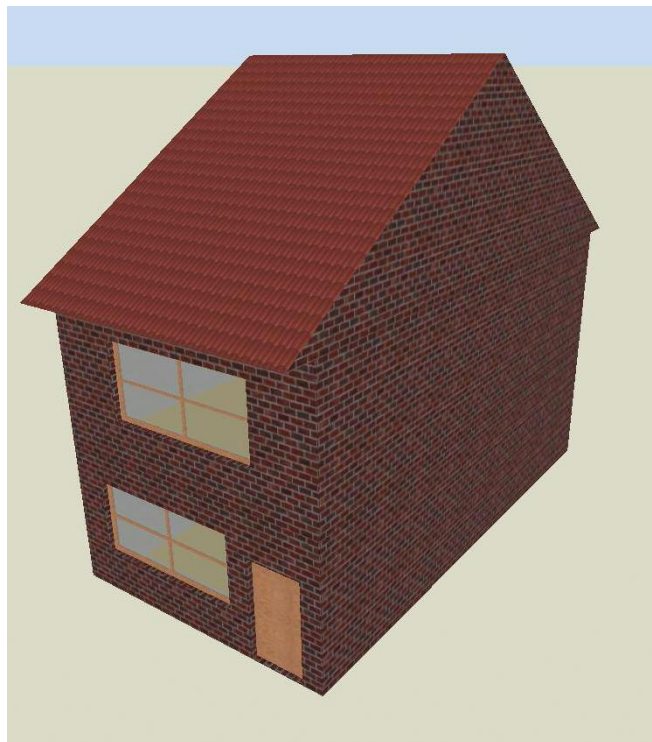
Installaties

- bgg en verdieping verwarmd
- ventilatie conform NEN 5128 gesteld op constant $0,36 \text{ dm}^3/\text{m}^2/\text{s}$
- zolder niet verwarmd, geen ventilatie
- thermostaatstand woonzone (bgg) en slaapzone (1^e verd) conform NEN5128 E.4 voor zover mogelijk

Overige

- interne warmtelast conform NEN5128 E.7
- zolder geen interne warmtelast
- constante luchtverversing van $0,24 \text{ h}^{-1}$ door infiltratie en spuien, conform NEN 8088-1:2011

In onderstaande figuur is een visualisatie van de jaren '80 woning gegeven door de gebouwsimulatiesoftware. Door de zijmuren vindt in het rekenmodel geen warmtetransport plaats.



Jaren '80 woning 'upgrade', besparingspakket label A

ENERGETISCH NIVEAU

pakket maatregelen

besparingspakket

ALGEMEEN

type woning	tussenwoning
type dak	hellend
aantal bewoners (-)	3,0
gebruiksoppervlak (m2)	106,0
serre	-

BOUWKUNDIG

	begrenzing	ZTA	oppervlak	Rc	U-waarde
	[-]	[-]	[m2]	[m2K/W]	[W/m2K]
begane grondvloer	kruipruimte/grond	-	51,0	2,53	0,36
plat dak	buiten	-	-	-	-
hellend dak	buiten	-	68,6	2,53	0,36
voor-/achtergevel					
gesloten	buiten	-	40,6	2,53	0,36
enkelglas	buiten	0,8	-	-	-
dubbelglas	buiten	0,7	-	-	-
HR++glas	buiten	0,6	19,3	-	1,80
zijgevel					
gesloten	buiten	-	-	-	-
enkelglas	buiten	0,8	-	-	-
dubbelglas	buiten	0,7	-	-	-
HR++glas	buiten	0,6	-	-	-

NB oriëntatie glas is oost/west

VENTILATIE

ventilatiesysteem	naam
type warmteterugwinning	natuurlijke ventilatie
eigen waarde rendement warmteterugwinning	geen
gelijkstroomventilatoren	-
kierdichting	nee
	nee

De bouwkundige maatregelen voor een besparingspakket naar label A is dezelfde als naar label B. De label A woning heeft zonnepanelen en een zonnecollector. Beide installatietechnische componenten hebben geen invloed op de warmtevraag, koudevraag en het thermisch binnenklimaat.

Overige uitgangspunten jaren '80 woning upgrade

Dezelfde overige uitgangspunten zijn gehanteerd als voor de oorspronkelijke jaren '80 woning, echter U-waarde deur 2 W/m²K.

Nieuwbouwwoning EPC=0,4

De geometrie van de EPC=0,4 woning is gebaseerd op de AgentschapNL referentie tussenwoning 2007.



Isolatie gebouwschil EPC=0,4 woning

Om een EPC van 0,4 te verkrijgen zijn de isolatiewaarden van de gebouwschil verbeterd ten opzichte van de referentiewoning:

R _c -waarde gevel	4	m ² K/W
R _c -waarde dak	6	m ² K/W
R _c -waarde begane grondvloer	4	m ² K/W
U-waarde ramen	1	W/m ² K
U-waarde voordeur	1,4	W/m ² K

Overige uitgangspunten EPC=0,4 woning

Bouwkundig

- ZTA ramen 0,5
- $q_{v10;spec} = 0,3 \text{ dm}^3/\text{m}^2/\text{s}$
- bgg is in rekenmodel 1 zone, 1^e verdieping ingedeeld in 2 zones, zolder is 1 zone
- U-waarde verdiepingsvloeren 2,0 W/m²K
- koudebruggen niet gemodelleerd

Installaties

- bgg en verdieping verwarmd
- mechanische balansventilatie, WTW rendement 83%
- ventilatie conform NEN 5128 gesteld op constant 0,36 dm³/m²/s
- zolder niet verwarmd, geen ventilatie
- thermostaatstand woonzone (bgg) en slaapzone (1^e verd) conform NEN5128 E.4 voor zover mogelijk

Overige

- interne warmtelast conform NEN5128 E.7
- zolder geen interne warmtelast
- constante luchtverversing van 0,16 h⁻¹ door infiltratie en spuien, conform NEN 8088-1:2011

In onderstaande figuur is een visualisatie van de EPC=0,4 woning gegeven door de gebouwsimulatiesoftware. Door de zijmuren vindt in het rekenmodel geen warmtetransport plaats.



Bijlage 2: Berekening specifiek werkzame massa

Jaren'80 woning

jaren '80 woning								
bepaling SWM in kg/m ²								
laag	constr	f	d	rho	A	SWM per bouwlaag	SWM totaal	
bgg	vloer	0.7	0.06	2000	50.94	4278.96	62.80	50.2
bgg	voorgevel	1	0.06	2000	9.91	1189.2		
bgg	achtergevel	1	0.06	2000	9.91	1189.2		
bgg	zijwanden	1	0.006	700	57.16	240.072		
bgg	plafond	1	0.06	1700	50.94	5195.88		
bgg	ramen/deuren	0	0	0	13.72	0		
bgg	-	0	0	0	0	0		
verd	vloer	0.7	0.06	1700	50.94	3637.116		
verd	voorgevel	1	0.06	2000	9.91	1189.2		
verd	achtergevel	1	0.06	2000	9.91	1189.2		
verd	zijwanden	1	0.006	700	57.16	240.072		
verd	plafond	1	0.06	1700	50.94	5195.88		
verd	ramen/deuren	0	0	0	9.32	0		
verd	tussenwanden	1	0.006	700	29.16	122.472		
zolder	vloer	0.7	0.06	1700	50.94	3637.116	30.83	
zolder	voorgevel	1	0.018	900	34.6	560.52		
zolder	achtergevel	1	0.018	900	34.6	560.52		
zolder	zijwanden	1	0.006	700	39.6	166.32		
zolder		0	0	0	0	0		
zolder		0	0	0	0	0		
zolder		0	0	0	0	0		
zolder		0	0	0	0	0		

Nieuwbouwwoning EPC=0,4

nieuwbouw EPC=0,4								
bepaling SWM in kg/m ²								
laag	constr	f	d	rho	A	SWM per bouwlaag	SWM totaal	
bgg	vloer	0.7	0.06	2000	42.66	3583.44	59.10	49.5
bgg	voorgevel	1	0.06	2000	8.71	1045.2		
bgg	achtergevel	1	0.06	2000	3.97	476.4		
bgg	zijwanden	1	0.006	700	50.88	213.696		
bgg	plafond	1	0.06	1700	42.66	4351.32		
bgg	ramen/deuren	0	0	0	14.74	0		
bgg	-	0	0	0	0	0		
verd	vloer	0.7	0.06	1700	42.66	3045.924		
verd	voorgevel	1	0.06	2000	8.5	1020		
verd	achtergevel	1	0.06	2000	8.5	1020		
verd	zijwanden	1	0.006	700	50.88	213.696		
verd	plafond	1	0.06	1700	42.66	4351.32		
verd	ramen/deuren	0	0	0	10.424	0		
verd	tussenwanden	1	0.05	550	27.44	754.6		
zolder	vloer	0.7	0.06	1700	49	3498.6	31.95	
zolder	voorgevel	1	0.018	900	30.23	489.726		
zolder	achtergevel	1	0.018	900	30.23	489.726		
zolder	zijwanden	1	0.006	700	35.36	148.512		
zolder		0	0	0	0	0		
zolder		0	0	0	0	0		
zolder		0	0	0	0	0		
zolder		0	0	0	0	0		

Bijlage 3: GIW richtlijnen TO-berekeningen

Bron: GIW/ISSO-publicatie 2007.

Interne warmtelast personen en verlichting

Verwijzend naar tabel 1 worden de navolgende criteria gegeven:

Verlichting	Aan te houden voor de verlichting 12 W/m ² .
Interne warmtelast personen	Aan te houden voor een hoofdslaapkamer c.q ouderslaapkamer 100 W per vertrek.
	Aan te houden voor overige slaapkamers 6 W/m ² met een minimum van 50 W en een maximum van 100 W.
	Aan te houden voor de woonkamer 8,3 W/m ² tot 30m ² daarboven aan te houden 2 W per m ² .
	Aan te houden voor de keuken 10,4 W/m ² met een minimum van 93 W.
	Aan te houden voor de overige vertrekken 10,4 W/m ² .
	Toelichting: de berekende interne warmtelast voor personen mag worden gecorrigeerd met het vermelde percentage in tabel 1.
Voorbeeld correctiefactor	Een woonkamer is 31 m ² wat voor de interne warmtelast voor personen geeft van $(30 \text{ m}^2 \times 8,3 \text{ W/m}^2) + (1 \text{ m}^2 \times 2 \text{ W/m}^2) = 251 \text{ W}$. De invoer voor het tijdsblok tussen 8.00 - 9.00 uur is 30 % van 251 W = 75 W.

Bij een open keuken dient een fictieve wand te worden getrokken t.b.v. de berekening.

Interne warmtelast apparatuur

Tabel 1 geeft een overzicht van de minimaal aan te houden interne warmtelast.

Uren >	06-08	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	24-02	02-04	04-06	
Woonkamer													
Apparatuur (W.)	55	125	125	100	150	100	150	100	150	150	55	55	55
Verlichting (%)	0	100	15	0	0	0	0	35	100	100	0	0	0
Personen (%)	0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	0	0	0
Rekentijd													
Keuken													
Apparatuur (W.)	175	425	275	175	425	325	625	325	225	325	175	175	175
Verlichting (%)	0	100	15	0	0	0	0	35	100	100	0	0	0
Personen (%)	0	15	15	15	15	15	15	15	15	15	0	0	0
Rekentijd													
Slaapkamer													
Apparatuur (W.)	125	125	25	25	25	25	125	25	25	25	25	25	25
Verlichting (%)	25	10	0	0	0	0	25	0	0	25	0	0	0
Personen (%)	50	50	50	50	50	0	35	0	0	50	50	50	50
Rekentijd													
Badkamer													
Apparatuur (W.)	25	150	55	25	55	25	25	150	25	55	25	25	25
Verlichting (W.)	0	80	50	0	50	0	0	80	0	50	0	0	0
Personen (W.)	0	55	40	0	40	0	0	55	0	40	0	0	0
Rekentijd													
Werkkamer / hobby													
Apparatuur (W.)	25	90	90	90	90	90	90	90	90	25	25	25	25
Verlichting (W.)	0	50	50	50	25	50	25	50	50	50	0	0	0
Personen (W.)	0	35	35	35	35	35	35	35	35	35	0	0	0
Rekentijd													

Bijlage 4: Berekeningsresultaten energieverbruik

Tabel A.4.1 Warmte en koudevraag woningtype Jaren '80 basis

Woningtype	Klimaat	Orientatie	Zonwering	Warmtebehoefte (kWh/a)	Koudebehoefte (kWh/a)
jaren80basis	Ref	ZW	Nee	9546	446
jaren80basis	Ref	ZO	Nee	9845	428
jaren80basis	G	ZW	Nee	8580	627
jaren80basis	G	ZO	Nee	8878	610
jaren80basis	G+	ZW	Nee	8265	799
jaren80basis	G+	ZO	Nee	8562	789
jaren80basis	W	ZW	Nee	7676	870
jaren80basis	W	ZO	Nee	7970	862
jaren80basis	W+	ZW	Nee	7120	1348
jaren80basis	W+	ZO	Nee	7413	1346
jaren80basis	Ref	ZW	Ja	9943	362
jaren80basis	Ref	ZO	Ja	10130	340
jaren80basis	G	ZW	Ja	8945	513
jaren80basis	G	ZO	Ja	9136	495
jaren80basis	G+	ZW	Ja	8613	657
jaren80basis	G+	ZO	Ja	8807	649
jaren80basis	W	ZW	Ja	8004	715
jaren80basis	W	ZO	Ja	8199	710
jaren80basis	W+	ZW	Ja	7418	1122
jaren80basis	W+	ZO	Ja	7613	1140

Tabel A.4.2 Warmte en koudevraag woningtype Jaren '80 upgrade

Woningtype	Klimaat	Orientatie	Zonwering	Warmtebehoefte (kWh/a)	Koudebehoefte (kWh/a)
Jaren80upgr	Ref	ZW	Nee	4486	584
Jaren80upgr	Ref	ZO	Nee	4763	551
Jaren80upgr	G	ZW	Nee	3934	818
Jaren80upgr	G	ZO	Nee	4195	800
Jaren80upgr	G+	ZW	Nee	3772	1030
Jaren80upgr	G+	ZO	Nee	4029	1025
Jaren80upgr	W	ZW	Nee	3418	1128
Jaren80upgr	W	ZO	Nee	3666	1123
Jaren80upgr	W+	ZW	Nee	3124	1702
Jaren80upgr	W+	ZO	Nee	3359	1709
Jaren80upgr	Ref	ZW	Ja	4768	424
Jaren80upgr	Ref	ZO	Ja	4926	433
Jaren80upgr	G	ZW	Ja	4192	610
Jaren80upgr	G	ZO	Ja	4344	639
Jaren80upgr	G+	ZW	Ja	4022	795
Jaren80upgr	G+	ZO	Ja	4171	841
Jaren80upgr	W	ZW	Ja	3650	875
Jaren80upgr	W	ZO	Ja	3798	927
Jaren80upgr	W+	ZW	Ja	3337	1390
Jaren80upgr	W+	ZO	Ja	3476	1466

Tabel A.4.3 Warmte en koudevraag woningtype Nieuwbouw EPC 0,4

Woningtype	Kli- maat	Orienta- tie	Zonwe- ring	Warmtebehoefte (kWh/a)	Koudebehoef- te (kWh/a)
Nieuw- bouw,SWM50	Ref	ZW	Nee	870	869
Nieuw- bouw,SWM50	Ref	ZO	Nee	1101	642
Nieuw- bouw,SWM50	Ref	ZW	Ja	1107	448
Nieuw- bouw,SWM50	Ref	ZO	Ja	1228	421
Nieuw- bouw,SWM50	G	ZW	Nee	733	1117
Nieuw- bouw,SWM50	G	ZO	Nee	940	880
Nieuw- bouw,SWM50	G	ZW	Ja	946	626
Nieuw- bouw,SWM50	G	ZO	Ja	1056	602
Nieuw- bouw,SWM50	G +	ZW	Nee	696	1326
Nieuw- bouw,SWM50	G +	ZO	Nee	896	1086
Nieuw- bouw,SWM50	G +	ZW	Ja	901	788
Nieuw- bouw,SWM50	G +	ZO	Ja	1009	770
Nieuw- bouw,SWM50	W	ZW	Nee	614	1438
Nieuw- bouw,SWM50	W	ZO	Nee	799	1188
Nieuw- bouw,SWM50	W	ZW	Ja	801	865
Nieuw- bouw,SWM50	W	ZO	Ja	904	845
Nieuw- bouw,SWM50	W+	ZW	Nee	549	1962
Nieuw- bouw,SWM50	W+	ZO	Nee	725	1711
Nieuw- bouw,SWM50	W+	ZW	Ja	722	1302
Nieuw- bouw,SWM50	W+	ZO	Ja	822	1294

Bijlage 5: Berekeningsresultaten overschrijdingsuren

Tabel A.5.1

Overschrijdingsuren
Woningtype
Jaren '80 basis

Woningtype	Klimaat	Orientatie	Zonworing	Woonkamer			Slaapkamer achter			Slaapkamervoor					
				ATG90%	ATG80%	25,5 grams	27 grams	ATG90%	ATG80%	25,5 grams	27 grams	ATG90%	ATG80%	25,5 grams	27 grams
Jaren'80basis Ref	ZW	ZW	Nee	0	0	33	7	30	2	97	37	41	15	111	56
Jaren'80basis Ref	ZO	ZW	Nee	4	0	38	5	39	13	101	50	62	33	126	67
Jaren'80basis G	ZW	ZW	Nee	0	0	49	13	41	11	131	62	63	24	149	79
Jaren'80basis G	ZO	ZW	Nee	5	0	52	15	54	19	144	75	80	42	185	91
Jaren'80basis G+	ZW	ZW	Nee	7	0	61	21	56	22	163	86	86	32	189	101
Jaren'80basis G+	ZO	ZW	Nee	7	0	74	27	64	28	177	95	97	53	247	117
Jaren'80basis W	ZW	ZW	Nee	2	0	67	25	58	24	174	95	93	35	203	109
Jaren'80basis W	ZO	ZW	Nee	7	0	75	30	69	34	187	99	112	54	222	117
Jaren'80basis W+	ZW	ZW	Nee	12	0	102	47	100	49	280	150	137	70	323	162
Jaren'80basis W+	ZO	ZW	Nee	13	2	115	58	115	57	289	167	192	83	411	216
Jaren'80basis Ref	ZW	ZW	Ja	0	0	11	0	9	0	75	24	30	9	100	38
Jaren'80basis Ref	ZO	ZW	Ja	0	0	15	4	21	0	114	44	46	15	130	69
Jaren'80basis G	ZW	ZW	Ja	0	0	26	5	33	6	141	66	63	21	163	93
Jaren'80basis G	ZO	ZW	Ja	0	0	30	7	35	5	154	73	67	24	187	97
Jaren'80basis G+	ZW	ZW	Ja	0	0	30	7	35	5	154	73	67	24	187	97
Jaren'80basis W	ZW	ZW	Ja	0	0	70	14	73	26	232	128	119	49	285	149
Jaren'80basis W+	ZW	ZW	Ja	0	0	70	14	73	26	232	128	119	49	285	149
Jaren'80basis W+	ZO	ZW	Ja	0	0	70	14	73	26	232	128	119	49	285	149

Tabel A.5.2

Overschrijdingsuren
Woningtype
Jaren '80 upgrade

Woningtype	Klimoot	Orientatie	Zonwering	Woonkamer			Slaapkamer achter			Slaapkamer voor				
				ATG90%	ATG50%	25,5 grens	27 grens	ATG30%	ATG30%	ATG80%	25,5 grens	27 grens	ATG90%	ATG80%
Jaren'80 upgr	Ref	ZW	Nee	105	49	194	81	91	123	86	123	47	191	101
Jaren'80 upgr	Ref	ZO	Nee	114	52	190	96	112	124	94	124	72	277	116
Jaren'80 upgr	G	ZW	Noc	155	62	285	124	131	153	129	165	80	284	136
Jaren'80 upgr	G	ZO	Nee	170	77	296	131	153	174	141	174	117	378	183
Jaren'80 upgr	G+	/W	Nee	201	76	311	151	174	214	168	214	108	356	178
Jaren'80 upgr	G+	ZO	Nee	215	93	421	157	189	227	180	227	164	475	250
Jaren'80 upgr	W	ZW	Nee	233	85	419	177	186	227	176	227	115	402	188
Jaren'80 upgr	W	/O	Nee	234	100	460	176	214	253	190	253	183	527	272
Jaren'80 upgr	W+	ZW	Noc	362	164	591	330	326	366	306	362	189	651	337
Jaren'80 upgr	W+	ZO	Nee	415	173	647	354	354	432	335	432	292	760	423
Jaren'80 upgr	Ref	ZW	Ja	32	7	119	38	43	52	52	83	26	162	77
Jaren'80 upgr	Ref	ZO	Ja	53	11	157	70	78	95	95	123	46	227	114
Jaren'80 upgr	G	ZW	Ja	74	20	204	138	108	128	128	152	68	303	144
Jaren'80 upgr	G+	ZO	Ja	84	24	230	114	120	144	144	163	80	330	157
Jaren'80 upgr	W	/W	Ja	141	60	435	150	227	231	231	271	135	565	277
Jaren'80 upgr	W+	ZO	Ja	141	60	435	150	227	231	231	271	135	565	277
Jaren'80 upgr	W+	/O	Ja	141	60	435	150	227	231	231	271	135	565	277

Tabel A.5.3

Overschrijdingsuren
Woningtype
Nieuwbouw EPC 0,4

Woningtype	Klimaat	Orientatie	Zonwering	Woonkamer			Slaapkamer achter			Slaapkamer voor					
				ATG90%	ATG80%	ATG50%	ATG90%	ATG80%	ATG50%	ATG90%	ATG80%	ATG50%			
Nieuwbouw	Ref	ZO	Nee	64	14	156	64	34	0	146	45	34	6	176	51
Nieuwbouw	Ref	ZO	Nee	164	19	229	95	58	12	174	67	94	27	205	78
Nieuwbouw	Ref	ZW	Ja	32	C	126	40	18	0	131	36	29	3	117	38
Nieuwbouw	Ref	ZO	Ja	79	21	157	63	47	5	156	53	65	20	176	63
Nieuwbouw	G	ZW	Nee	87	25	223	94	72	5	196	90	70	12	183	90
Nieuwbouw	G	ZO	Nee	228	70	346	128	118	30	240	121	165	41	325	126
Nieuwbouw	G	ZW	Ja	47	5	168	68	47	1	186	78	51	8	177	81
Nieuwbouw	G	ZO	Ja	107	24	240	98	86	15	277	98	177	35	240	104
Nieuwbouw	G+	ZW	Nee	116	87	327	124	112	19	287	132	101	27	271	116
Nieuwbouw	G+	ZO	Nee	281	90	466	180	163	55	356	162	234	76	420	180
Nieuwbouw	G+	ZW	Ja	66	14	244	103	87	7	256	115	85	15	244	107
Nieuwbouw	G+	ZO	Ja	154	41	352	132	132	31	295	143	185	47	381	156
Nieuwbouw	W	ZW	Nee	134	39	370	135	122	25	329	147	115	32	304	125
Nieuwbouw	W	ZO	Nee	306	105	507	195	175	59	374	175	263	91	481	215
Nieuwbouw	W	ZW	Ja	80	15	288	115	101	14	249	131	46	18	274	115
Nieuwbouw	W	ZO	Ja	172	48	401	143	148	41	335	158	214	56	429	177
Nieuwbouw	W+	ZW	Nee	291	95	573	232	202	97	508	209	234	84	507	249
Nieuwbouw	W+	ZO	Nee	468	219	726	358	326	137	509	323	449	213	749	388
Nieuwbouw	W+	ZW	Ja	183	43	484	204	224	75	541	239	200	72	535	222
Nieuwbouw	W+	ZO	Ja	336	104	600	253	281	126	559	287	398	169	681	347