



Expert Review “Standaard en Streefwaarden”

Eindrapport



Colofon

Opdrachtgever

Ministerie van Binnenlandse zaken
Ruimte en Wonen
Postbus 20011 | 2500 EA Den Haag

Uitvoering

EnergyGO
Ampèrestraat 3b | 1817DE Alkmaar
www.energygo.nl

Rapport

Auteur:	ir. Bart Roossien
Co-reader:	Marcel Elswijk MSc
Correspondentie:	info@energygo.nl
Projectnummer:	A660.312
Versie:	25 mei 2020
Status:	Eindrapport versie 1.0

Inhoudsopgave

1.	Introductie	6
2.	Feedback	7
2.1	Classificatie niveaus	7
2.2	Verlichting	7
2.3	Methodiek datafilter	8
2.4	Interpretatie verband warmtevraag vs compactheid en vloeroppervlak	8
2.4.1	Netto warmtevraag berekening	8
2.5	Isoleren en vloeroppervlak	10
3.	Analyse uitgangspunten	11
3.1	Uitgangspunten isolatiewaarden	11
3.1.1	Keuze ventilatiesysteem woningen < 1925	11
3.1.2	Keuze ventilatiesysteem woningen 1925-1995	11
3.1.3	Isolatie gevel niveau 4	12
3.1.4	Isolatie dak niveau 4	13
3.1.5	Isolatie vloer appartementen	13
3.1.6	Kierdichtheid niveau 4	13
3.1.7	Samenvatting	13
3.2	Uitgangspunten comfortniveau	14
3.2.1	Samenvatting	16
3.3	Uitgangspunt klimaatdata	16
3.3.1	Buitentemperatuur	17
3.3.2	Zoninstraling	19
3.3.3	Windsnelheid	21
3.3.4	Conclusies	22
3.4	Uitgangspunt koudste dag van het jaar	22
3.4.1	Temperatuur	22
3.4.2	Windsnelheid	24
3.4.3	Conclusie	25
3.5	Uitgangspunten ventilatie	25
3.5.1	Conclusie	27
3.6	Uitgangspunten warmtecapaciteit	27
3.6.1	Noodzaak tot nachtverlaging	27
3.6.2	Thermische massa	28
3.6.3	Opwarmtijd	29
3.6.4	Discussie	29
4.	Expert opinion	31
4.1	Standaarden afhankelijk van bouwjaar en woningtype	31
4.1.1	Gebouwgeometrie	31
4.1.2	Bouwbesluiten	34

4.1.2.1	Afgiftesysteem.....	35
4.1.3	Spouw	35
4.1.4	Discussie/Samenvatting	36
4.2	Hebben hogere streefwaardes meerwaarde?.....	37
4.2.1	Gesloten geveldelen.....	37
4.2.2	Open geveldelen.....	40
4.2.3	Infiltratie.....	41
4.2.4	Samenvatting	42
4.3	Verschillende streefwaarden voor verschillende bouwdelen.....	43
4.3.1	Deuren	44
4.3.2	Gevels	44
4.3.3	Bijzondere bouwdelen	45
4.3.4	Samenvatting	45
4.4	Verschillende streefwaarden per bouwdeel	46
4.4.1	Samenvatting	47
4.5	Is isoleren naar de standaard aardgasvrij-ready?.....	48
4.5.1	Samenvatting	49
4.6	De hoogte van de standaard in relatie tot warmtenetten	50
4.6.1	Samenvatting	51
4.7	Statisch versus dynamisch rekenmodel.....	52
4.7.1	Koelvraag	53
4.7.2	Discussie/Conclusie	53
4.8	Risico's op vocht en schimmel	55
4.8.1	Overige vochtproblemen.....	56
4.8.2	Conclusie.....	56
4.9	Risico's op oververhitting	57
4.9.1	Samenvatting	57

1. Introductie

Een onderdeel van het Klimaatakkoord is het vaststellen van een standaard en streefwaarden voor bestaande Nederlandse woningen. Het gaat dan om o.a. de isolatie waarden van schildelen en kierdichting. Zij zullen als advies richting wooneigenaren worden gegeven hoe zij (spijtvrij) maatregelen kunnen treffen om voorbereid te zijn op een duurzame en aardgasvrije toekomst.

De standaard en streefwaarden zijn opgesteld door een begeleidingscommissie. Ingenieursbureau Nieman heeft een (tussen)rapport opgesteld waarin de mogelijke niveaus van de standaard en streefwaarden zijn onderzocht o.a. aan de hand van zestien woningklassen en het effect op de netto warmtevraag. Daarnaast is gekeken naar het effect van de aanvoertemperatuur op het vermogen van het warmteafgiftesysteem om de woning comfortabel te houden.

Het Ministerie van Binnenlandse Zaken heeft EnergyGO gevraagd om een analyse van de uitgangspunten in het tussenrapport van Nieman te maken en om een Expert Opinion te geven op basis van een review van het tussenrapport.

In hoofdstuk 2 zijn generieke opmerkingen en analyses opgenomen met betrekking tot het rapport van Nieman. In hoofdstuk 3 is de analyse van de uitgangspunten beschreven. De Expert Opinion met betrekking tot een aantal vragen vanuit de Begeleidingscommissie en het Ministerie van Binnenlandse zaken is opgenomen in hoofdstuk 4.

Vanwege de verscheidenheid aan vragen en analyses, zijn conclusies getrokken per analyse/vraagstuk en terug te vinden in de desbetreffende paragraaf.

2. Feedback

In dit hoofdstuk is de feedback, de opmerkingen en een nadere toelichting gegeven op het rapport van Nieman welke niet passen binnen een van de andere hoofdstukken.

2.1 Classificatie niveaus

In het rapport van Nieman zijn er vijf niveaus gedefinieerd:

- Niveau 0: De huidige situatie
- Niveau 1: De oorspronkelijke situatie
- Niveau 2: Ondergrens gangbare verbeteringen
- Niveau 3: Bovengrens gangbare verbeteringen
- Niveau 4: Vergaande verbetermaatregelen.

De niveaus staan niet in chronologische volgorde, omdat niveau 1 voor niveau 0 komt. EnergyGO raakte, bij het lezen van het rapport van Nieman, hier geregeld door in verwarring. De verwarring ontstaat doordat niveau 0 in de resultaten (bijv. figuur 4) is geplaatst tussen niveau 1 en niveau 2. De verwarring ontstaat doordat het huidige niveau (0) tussen de oorspronkelijke situatie (1) en de ondergrens van gangbare verbeteringen (2) is gesteld. In de figuren 4 t/m 7 is echter terug te vinden dat het geregeld voorkomt dat niveau 0 een lagere warmtevraag heeft dan niveau 2. Niveau 0 zou in die gevallen dan tussen niveau 2 en niveau 3 thuishoren.

Aanbeveling is om de niveaus op een andere wijze te classificeren en/of de resultaten op andere wijze te presenteren.

2.2 Verlichting

Op pagina 11 schrijft Nieman dat de netto warmtevraag niet afhangt van de verlichting. In de praktijk draagt verlichting bij aan de interne warmtewinst van de woning en daarmee aan een verlaging van de netto warmtevraag.

Wat Nieman waarschijnlijk bedoelt, is dat binnen de rekenmethodiek NTA8800 verlichting niet als aparte interne warmtewinst wordt meegenomen, dat verlichting onderdeel is van de (forfaitaire) waarde voor de interne warmtewinst waar de NTA8800 mee rekent.

Het verdient de aanbeveling om expliciet te noemen dat de netto warmtevraag niet afhangt van de verlichting alleen als gevolg is van de wijze waarop de NTA8800 rekent.

2.3 Methodiek datafilter

Op pagina 28 in paragraaf 4.3.2 geeft Nieman aan dat er uitschieters in de resultaten zitten, waarschijnlijk als gevolg van onjuiste data in de WoOn 2012 dataset. Nieman heeft deze uitschieters weg gefilterd.

Het zou wenselijk zijn dat wordt aangegeven met welke methode deze uitschieters zijn weg gefilterd en hoeveel datapunten dit waren, zodat er een transparante (statistische) verantwoording is.

2.4 Interpretatie verband warmtevraag vs compactheid en vloeroppervlak

In hoofdstuk 4 van het Nieman rapport, is de netto warmtevraag per vloeroppervlak (in kWh/m²) uitgezet tegen de gebouwcompactheid (verhouding verliesoppervlak/vloeroppervlak) en weergegeven in figuur 2, rechts. De bepaalde correlatie is systematisch verder toegepast in het rapport en gebruikt als onderdeel voor het vaststellen van de standaardwaarde. Echter, de grondslag (causaliteit) van de correlatie ontbreekt. Deze grondslag is relevant voor het interpreteren van de scatterplots in het rapport.

2.4.1 Netto warmtevraag berekening

De netto warmtevraag (in kWh) is het verschil tussen het warmteverlies en warmtewinsten. Er zijn drie vormen van warmteverlies: transmissie door de constructiedelen (ramen, gevels, vloer, dak), infiltratie (kieren) en ventilatie. Er zijn twee warmtewinsten: interne warmtewinst en zonstraling:

$$Q_{netto} = Q_{transmissie} + Q_{infiltratie} + Q_{ventilatie} - (Q_{instraling} + Q_{warmtelast})$$

Transmissieverliezen zijn ruwweg te berekenen volgens:

$$Q_{transmissie} = \Delta T \sum U_i A_{ts,i}$$

Waarbij ΔT het verschil is tussen binnen en buitentemperatuur, U_i de transmissiefactor van het constructiedeel en $A_{ts,i}$ het verliesgevend oppervlak van het constructiedeel. Dit is te herschrijven tot:

$$Q_{transmissie} = \Delta T \langle U \rangle A_{ts} = f_{transmissie} A_{ts}$$

Waarbij $\langle U \rangle$ het gewogen gemiddelde transmissiefactor is.

Infiltratieverliezen worden berekend aan de hand van de Qv10 waarde, welke per eenheid vloeroppervlak is uitgedrukt (dm³/s/m²). Infiltratieverliezen kan daardoor geschreven worden als:

$$Q_{infiltratie} = f_{infiltratie} A_g$$

Waarbij gebouw- en klimaat specifieke informatie in $f_{infiltratie}$ is opgenomen.

Het verlies door ventilatie is proportioneel met het product van de ventilatievoud het volume van de woning. Het volume van de woning wordt weer bepaald door het vloeroppervlak. Ventilatieverliezen kunnen daarom ruwweg geschreven worden als:

$$Q_{ventilatie} = f_{ventilatie} A_g$$

De warmteopdracht van instraling is proportioneel met het percentage glas dat in de woning zit, oftewel een percentage van het verliesgevend oppervlak. De warmteopbrengst door instraling kan daarom benaderd worden door:

$$Q_{instraling} = f_{instraling} A_{lt}$$

De interne warmtewinst is in de NTA8800 een forfaitaire waarde die per vloereenheid wordt gegeven. De warmteopbrengst door de interne warmtewinst kan daarom geschreven worden als.

$$Q_{warmtelast} = f_{warmtelast} A_g$$

Een substitutie van bovenstaande vergelijkingen leidt tot:

$$Q_{netto} = f_{transmissie} A_{ls} + f_{infiltratie} A_g + f_{ventilatie} A_g - (f_{instraling} A_{lt} + f_{warmtelast} A_g)$$

Delen door het vloeroppervlak levert op:

$$\frac{Q_{netto}}{A_g} = f_{transmissie} \frac{A_{ls}}{A_g} + f_{infiltratie} + f_{ventilatie} - f_{instraling} \frac{A_{ls}}{A_g} - f_{warmtelast}$$

Vereenvoudigd levert dit op:

$$\frac{Q_{netto}}{A_g} = [f_{transmissie} - f_{instraling}] \frac{A_{ls}}{A_g} + [f_{infiltratie} + f_{ventilatie} - f_{warmtelast}]$$

$$\frac{Q_{netto}}{A_g} = a \frac{A_{ls}}{A_g} + b$$

Dit betekent dat als gebouw- en klimaat specifieke data constant is, er een lineaire correlatie ligt tussen de netto warmtevraag per vloereenheid en de compactheid van de woning. Aangezien klimaatdata in de NTA8800 voor elke woning gelijk is, zijn alleen gebouwkarakteristieken (U, Rc, Qv10 en ventilatievoud, en het percentage glas) die bepalen of de lineaire vergelijking standhoudt.

Dit is een belangrijke conclusie, welke helpt bij de interpretatie van de scatterplots die Nieman heeft gemaakt, waarin de netto warmtevraag per vloereenheid tegen de compactheid is uitgezet. Hoe beter de lineaire fit in de scatterplot, hoe meer de woningkarakteristieken op elkaar lijken. Figuur 2 (rechts) zegt daarom dat de karakteristieken van de berekende woningen vergelijkbaar zijn en niet zozeer dat er een verband is tussen compactheid en netto warmtevraag per vloereenheid (want die volgt uit de bouwfysica).

Aanvullend is geconcludeerd dat de netto warmtevraag per vloeroppervlak (in kWh/m²) uitgezet tegen het vloeroppervlak (figuur 2, links) geen grondslag heeft. De aanwezigheid van deze grafiek leidt alleen tot verwarring.

2.5 Isoleren en vloeroppervlak

Het isoleren van de woning vanuit de binnenzijde leidt tot verlies van nuttig vloeroppervlak. Dit heeft effect op de specifieke netto warmtevraag en compactheid van de woning.

Neem als voorbeeld een typische rijtjeswoning met 100 m² vloeroppervlak, een netto warmtevraag van 14.000 kWh/jaar en een verliesoppervlak van 175 m². De specifieke netto warmtevraag is dan 140 kWh/m²/jaar en de compactheidsfactor 1,75.

Stel dat de woning vanaf de buitenzijde wordt geïsoleerd zodat de netto warmtevraag 4.000 kWh/jaar is. De specifieke netto warmtevraag is dan 40 kWh/m²/jaar en de compactheidsfactor (A_{Is}/A_g) is nog steeds 1,75.

Als de woning vanaf de binnenzijde wordt geïsoleerd zodat de netto warmtevraag 4.000 kWh/jaar is, dan gaat dit ten koste van het vloeroppervlak. Stel dat 5% van het vloeroppervlak hierdoor verloren gaat. Het vloeroppervlak bedraagt daardoor na isolatie nog 95 m². De specifieke netto warmtevraag komt dan op 42 kWh/m²/jaar en de compactheidsfactor wordt 1,84.

Het rapport van Nieman maakt niet duidelijk of er rekening mee gehouden is dat het vloeroppervlak kleiner zou kunnen worden door isolatiemaatregelen. Het is wenselijk dat hier wel rekening mee gehouden wordt als de resultaten uit het rapport in de toekomst tegen praktijkresultaten aan worden gelegd.

3. Analyse uitgangspunten

Dit hoofdstuk analyseert een aantal uitgangspunten die zijn gekozen om de netto warmtevraag en benodigde warmtecapaciteit te bepalen voor de verschillende isolatiemaatregelpakketten.

3.1 Uitgangspunten isolatiewaarden

Nieman heeft vijf isolatieniveaus gedefinieerd: het originele niveau zoals opgeleverd bij de bouw (niveau 1), het huidige niveau (niveau 0) en drie renovatieniveaus in oplopende zwaarte (niveau 2, 3 en 4).

In deze paragraaf is kwalitatief gekeken naar de uitgangspunten in niveau 2, 3 en 4. Gezien het groot aantal combinaties van woningtypen (16) en niveaus (3) en veel overeenkomsten is dit puntsgewijs geanalyseerd.

3.1.1 Keuze ventilatiesysteem woningen < 1925

Woningen met bouwjaar < 1925 hebben op niveau 2 en niveau 3 dezelfde kierdichtheid ($3,4 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$) als op niveau 1. Er wordt ten opzichte van niveau 1 een ventilatiesysteem type C4a (natuurlijke toevoer, mechanische afvoer met CO₂ sturing) geïnstalleerd in de woning. Door de relatieve slechte kierdichtheid (en hoge infiltratievoud) is mechanische ventilatie ten behoeve van CO₂ waarschijnlijk niet noodzakelijk. Mogelijk is er wel behoefte aan ventilatie voor het afvoeren van vocht, omdat er minder vocht via de (beter geïsoleerde) schildelen afgevoerd kan worden.

Het aanleggen van centraal mechanische afzuiging in een bestaande woning is complex en zorgt voor veel overlast. EnergyGO ziet deze maatregel dan ook niet als een 'gangbare maatregel ondergrens'. Het plaatsen van ventilatieroosters en/of het afzuigen in de natte ruimte(n) met behulp van decentrale ventilatoren zou voor deze woninggroep de voorkeur hebben.

3.1.2 Keuze ventilatiesysteem woningen 1925-1995

Woningen met bouwjaar 1925-1965 en 1965-1995 hebben op niveau 2 en niveau 3 een ventilatiesysteem type C4a (natuurlijke toevoer, mechanische afvoer met CO₂ sturing) geïnstalleerd in de woning.

In tegenstelling tot woningen met bouwjaar < 1925, is de kierdichtheid bij deze categorie gebouwen wel verbeterd, waardoor de noodzaak voor ventilatie ontstaat. Het aanleggen van centraal mechanische afzuiging blijft ook in deze woningen een complexe aangelegenheid, waardoor het de vraag is of dit wel als gangbare ondergrens (niveau 2) gezien kan worden.

Voor deze twee woninggroepen zou het de voorkeur hebben om voor de ondergrens (niveau 2) te kiezen voor meer natuurlijke ventilatie, waarbij alleen in natte ruimte (decentraal) mechanisch wordt geventileerd.

3.1.3 Isolatie gevel niveau 4

Alle woningen in de bouwjaarcategorieën < 1925, 1925-1965, en 1965-1995 worden op niveau 4 voorzien van 260 mm isolatie op de geveldelen, die leidt tot een R_c waarde van 6 m²K/W. Daarbij is niet duidelijk of deze isolatiemaatregel wordt toegepast ten opzichte van de originele/huidige situatie (niveau 0/1), of dat deze isolatiemaatregel volgt nadat de maatregelen op niveau 3 zijn genomen.

Als de maatregelen van niveau 4 toegepast worden op de situatie in niveau 0/1, dan bestaat er een risico dat een eigenaar die reeds op niveau 2 of 3 zit, niet spijt-vrij naar niveau 4 kan renoveren.

Als de maatregelen van niveau 4 toegepast worden nadat een woning reeds op niveau 3 is gebracht, ontstaat er een mismatch tussen de maatregel en de R_c sprong. Voor woningen gebouwd < 1925, is de R_c sprong voor een gevel van niveau 3 naar 4 van 0,19 m²K/W naar 6 m²K/W. Voor woningen gebouwd tussen 1965-1995 is deze sprong van 1,79 m²K/W naar 6 m²K/W. Hoewel de sprong kleiner is voor de woningen gebouwd tussen 1965-1995, is de maatregel (260 mm isolatie) hetzelfde.

Een nadere toelichting is wenselijk hoe de maatregelen in niveau 4 gezien moeten worden in relatie tot de andere niveaus .

Een aanvullend aandachtspunt (niveau 3 → niveau 4) is de toepassingswijze van 260 mm isolatie. Zeker bij woningen < 1925 is er weinig ruimte om vanaf de buitenzijde te isoleren. Deze woningen staan veelal in oudere, smallere straten opgesteld, waardoor er onvoldoende publieke ruimte (kavelgrens) is om er een nieuwe gevel tegenaan te zetten. Daarnaast zijn veel van deze woningen onderdeel van een beschermd stadsgezicht, waardoor er geen wijzigingen aan de buitenzijde gemaakt kunnen worden.

Isoleren aan de binnenzijde (260 mm plus afwerking per gevelzijde) betekent dat respectievelijk voor een doorsnee tussenwoning en voor een hoekwoning een gebruikersoppervlak verkleining van zo'n 5-10% en 12-15%. Een grote vraag daarbij is of het verkleinen van het vloeroppervlak acceptabel zal zijn voor wooneigenaren, zeker gezien vloeroppervlak in Nederland relatief veel waard is.

Voor woningen gebouwd tussen 1965 en 1995 speelt dit probleem minder. Ten eerste omdat door de geïsoleerde spouw de isolatiedikte minder is, waardoor er ook minder vloeroppervlak verloren gaat. Ten tweede omdat er veelal voldoende publieke ruimte of (voor)tuin beschikbaar is om eventueel vanuit de buitenzijde te isoleren.

3.1.4 Isolatie dak niveau 4

Alle woningen in de bouwjaarcategorieën < 1925, 1925-1965, en 1965-1995 worden op niveau 4 voorzien van 350 mm isolatie op de dakdelen, die leidt tot een Rc waarde van 8 m²K/W. Daarbij is niet duidelijk of deze isolatiemaatregel wordt toegepast ten opzichte van de originele/huidige situatie (niveau 0/1), of dat deze isolatiemaatregel volgt nadat de maatregelen op niveau 3 zijn genomen. Als de maatregelen van niveau 4 toegepast worden op de situatie in niveau 0/1, dan bestaat er een risico dat een eigenaar die reeds op niveau 2 of 3 zit, niet spijt-vrij naar niveau 4 kan renoveren. Daarnaast leidt 350 mm isolatie tot een sterke reductie van de beschikbare binnenruimte of tot een noodzakelijke verhoging van het dak aan de buitenzijde.

Twee nadere toelichtingen zijn wenselijk. De eerste is hoe de maatregelen in niveau 4 gezien moeten worden in relatie tot de andere niveaus. De tweede luidt hoe de begeleidingscommissie denkt dat deze maatregelen in de praktijk genomen kunnen worden.

3.1.5 Isolatie vloer appartementen

Voor appartementen uit de bouwjaar categorieën < 1925, 1925-1965 en 1965-1995 is de vloer geïsoleerd in zowel niveau 2, 3 en 4.

Appartementencomplexen en portiekflats hebben veelal een kelder met fietsenbergingen semi-bovengronds of geheel bovengronds. De onderste rij woningen rust dan op deze kelder. De kelder is doorgaans laag, waardoor er geen ruimte is om te isoleren. Een nadere toelichting van de begeleidingscommissie is raadzaam hoe zij denkt de genoemde isolatiemaatregelen in de praktijk te kunnen behalen.

3.1.6 Kierdichtheid niveau 4

Alle woningcategorieën en -typen streven op niveau 4 een kierdichtheid van $qv_{10}=0,4$ dm³/sm² na. Dit is een zeer ambitieus niveau en praktijkcases met o.a. (renovatie) nul-op-de-meter woningen laten zien dat het uitermate lastig is om deze kierdichtheid te behalen.

Een nadere toelichting hoe de begeleidingscommissie denkt dat deze maatregelen in de praktijk genomen kunnen worden zou wenselijk zijn.

3.1.7 Samenvatting

- De aanbeveling is om voor woningen gebouwd < 1925 op niveaus 2 en 3 te kiezen voor een ventilatiesysteem met natuurlijke toevoer in plaats van een C4a systeem, eventueel aangevuld met decentrale mechanische afvoer in de natte ruimten.
- De aanbeveling is om voor woningen gebouwd tussen 1925 en 1965 op niveau 2 te kiezen voor een ventilatiesysteem met natuurlijke toevoer in plaats van een C4a systeem, aangevuld met decentrale mechanische afvoer in de natte ruimten.

- De aanbeveling is om voor alle woningen uit alle bouwjaarklassen te (her)overwegen of de genoemde streefwaarden in de praktijk wel haalbaar zijn en of deze ambities wel spijtvrij aansluiten op de streefwaarden in niveau 2 en 3

3.2 Uitgangspunten comfortniveau

Nieman beschrijft in tabel 10 de uitgangspunten voor de binnentemperatuur ten behoeve van (thermisch) comfort in de woning.

Comfortniveau is een lastig onderwerp waar in het verleden veel onderzoek naar gedaan is door o.a. Fanger (Fanger model) en John B Pierce Foundation ('Pierce Two-Node model). Hoewel het te ver gaat in dit rapport om deze modellen in detail te beschrijven is er 1 specifiek aspect met betrekking tot thermisch comfort interessant om nader te beschouwen: de binnenmuurtemperatuur.

De werkelijke comforttemperatuur, die een persoon in een ruimte beleeft, is in een sterke vereenvoudiging van de empirische resultaten van Fanger voor ongeveer 50% bepaald door de luchttemperatuur en 50% door de stralingstemperatuur van de omliggende vlakken (plafond, muren, ramen, radiatoren, meubels, gevels), aangenomen dat er (vrijwel) geen luchtstroming is. Het Pierce Two-node model komt op (ongeveer) dezelfde conclusie uit. ISSO 51 (formule 2.4) hanteert de 'operatieve temperatuur en ligt in lijn met deze bevinding.

Gegeven, een matig geïsoleerde woning met een gemiddelde $R_c = 1 \text{ m}^2\text{K/W}$, waarbij de luchtlaag aan de binnenzijde van de woning een R_c heeft van $0,1 \text{ m}^2\text{K/W}$. De isolerende werking door de luchtlaag tegen de buitenzijde van de muur is verwaarloosd. Als het buiten $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ en binnen $20 \text{ }^\circ\text{C}$ is, dan is de oppervlaktetemperatuur van de binnen muren gemiddeld $17,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Gaan we tevens uit dat ongeveer 5% van het binnen oppervlak voorzien is van radiatoren met een temperatuur van $80 \text{ }^\circ\text{C}$, dan is de effectieve temperatuur

$$50\% \times [95\% \times 17,3 \text{ }^\circ\text{C} + 5\% \times 80 \text{ }^\circ\text{C}] + 50\% \times 20 \text{ }^\circ\text{C} = 20,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Is de woning nu geïsoleerd zodat de gemiddelde $R_c = 4 \text{ m}^2\text{K/W}$ dan is de temperatuur van de muren gemiddeld $19,2 \text{ }^\circ\text{C}$. Door de betere isolatie gaat de benodigde warmtecapaciteit naar beneden, waardoor de radiator temperatuur naar bijvoorbeeld $50 \text{ }^\circ\text{C}$ kan. De effectieve temperatuur is dan:

$$50\% \times [95\% \times 19,2 \text{ }^\circ\text{C} + 5\% \times 50 \text{ }^\circ\text{C}] + 50\% \times 20 \text{ }^\circ\text{C} = 20,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

De temperatuurbeleving blijft dus vrijwel gelijk of neemt zelfs iets toe. Hiermee kan gesteld worden dat de setpoint voor de thermostaat ten behoeve van comfort niet verhoogd of verlaagd hoeft te worden.

Bovenstaande geldt overigens niet als het afgiftesysteem wordt vervangen door een vloer, wand of plafondverwarmingssysteem (of een andere vorm van afgifte met een groot oppervlak, zoals infrarood panelen), omdat de oppervlakteverhoudingen van muren/afgiftesysteem dan niet meer 95%/5% zijn. Hierdoor zal de temperatuur van het

afgiftesysteem zwaarder wegen in de berekening, waardoor de effectieve temperatuur toeneemt. Gevolg is dat gebruikers veelal de thermostaat lager zetten, zodat de effectieve temperatuur gelijk blijft. Stel dat vloerverwarming 30% van het totale oppervlak omvat:

$$50\% \times [70\% \times 19.2\text{ °C} + 30\% \times 28\text{ °C}] + 50\% \times 20\text{ °C} = 20,9\text{ °C}$$

En voor een lagere binnentemperatuur:

$$50\% \times [70\% \times 17.3\text{ °C} + 30\% \times 28\text{ °C}] + 50\% \times 18\text{ °C} = 20,3\text{ °C}$$

Een studie van TNO, RIGO en Van Beek laat bijvoorbeeld zien dat de meeste bewoners een verbetering van de binnentemperatuur waarnemen na renovatie¹.

In een onderzoek² naar comfortbeleving in geïsoleerde woningen met vloerverwarming is geconcludeerd dat de gemiddelde thermostaattemperatuur 1 °C hoger is. Dit lijkt in tegenspraak met bovenstaande theorie en onderzoek. Het onderzoek geeft echter een aantal belangrijke oorzaken van de stijging van de thermostaatsetpoint: aanwezigheid van asymmetrische stralingsoppervlakken (doordat bijv. niet alle bouwdelen even zwaar zijn geïsoleerd) en de aanwezigheid van natuurlijke ventilatie door roosters met koudeval als gevolg. Dit zijn aspecten die bij renovatie vermeden zouden moeten worden.

De bovenstaande constatering is geprojecteerd op de uitgangspunten die Nieman heeft gekozen met betrekking tot binnenruimtetemperatuur. Deze uitgangspunten zijn in het rapport terug te vinden in tabel 10 en tevens hieronder weergegeven. Hierbij is de gewenste ruimtetemperatuur na isolatie (niveau 3 en 4) hoger dan in de oorspronkelijke situatie (niveau 1).

	Temperatuur t.b.v. berekening niveau 1		Temperatuur t.b.v. beoogde situatie	
	bouwjaarklassen <1965	bouwjaarklassen >1965	niveau 3	niveau 4
woonkamer/keuken	20°C	20°C	21°C	22°C
Slaapkamer	16°C	20°C	21°C	22°C
Badkamer	16°C	22°C	22°C	22°C
Gang/overloop	16°C	18°C	18°C	18°C
Toilet	16°C	18°C	18°C	18°C
Zolder/berging	16°C	18°C	18°C	18°C

Tabel 10: gehanteerde binnentemperaturen warmteverliesberekening

Hiervoor zijn twee argumenten gebruikt:

1

<https://www.bewonerscommunicatie.com/index.php/2016/03/10/monitoringsresultaten-bewonerstevredenheid/>, figuur 4.

2

<https://www.technieknederland.nl/stream/rapport-comfortbeleving-in-goed-geinsoleerde-woningen>

- Er wordt gebruik gemaakt van lage(re) temperatuur verwarming, waardoor er minder stralingswarmte is.
- De gehele woning heeft een temperatuur van minimaal 18 °C.

Gegeven het rekenvoorbeeld van de effectieve temperatuur, leidt het eerste argument niet noodzakelijk tot een verhoging van de binnentemperatuur.

Het tweede argument heeft wel grondslag. In een slecht geïsoleerde woning fungeren de binnenmuren ook als isolatie. Een ruimte zal door de slechte isolatie van de buitengevel snel warmte verliezen. Doordat de binnenmuren ook zekere mate van isolerende werking hebben, zal er onvoldoende warmte vanuit naastgelegen (warme) ruimten komen. In goed geïsoleerde woningen is het warmteverlies naar buiten toe laag, waardoor ruimten onderling sneller in balans komen. Hierdoor is het logisch dat in slecht geïsoleerde woningen meer en grotere verschillen zitten tussen ruimtetemperaturen dan in een goed geïsoleerde woning. De uitsplitsing in niveau 1 is daarmee ook logisch.

Het jaargemiddelde van de buitentemperatuur in de wintermaanden is 6,0 °C, waardoor het gemiddelde temperatuurverschil met een woonkamertemperatuur van 20 °C, 14 K betreft. De netto warmtevraag is (ongeveer) evenredig met dit temperatuurverschil. Een verhoging van de binnentemperatuur met 1 °C of 2 °C levert een verhoging van de netto warmtevraag van 7% respectievelijk 14% op.

Voor zover onderzocht reikt, lijkt er onvoldoende aanleiding te zijn om de binnentemperatuur met 1 °C of 2 °C te verhogen in relatie tot de consequenties (een warmtevraag die 7% tot 14% hoger is) te verantwoorden. EnergyGO acht daarom volgende uitgangspunten voor niveau 3 en 4 realistischer.

Ruimte	Niveau 3	Niveau 4
Woonkamer/keuken	20 °C	20 °C
Slaapkamer	20 °C	20 °C
Badkamer	22 °C	22 °C
Gang/Overloop	18 °C	18 °C
Toilet	18 °C	18 °C
Zolder/berging	18 °C	18 °C

3.2.1 Samenvatting

- Het advies is voor zowel niveau 3 als niveau 4 om de comforttemperatuur in de woonkamer, keuken en slaapkamer te verlagen naar 20 °C.

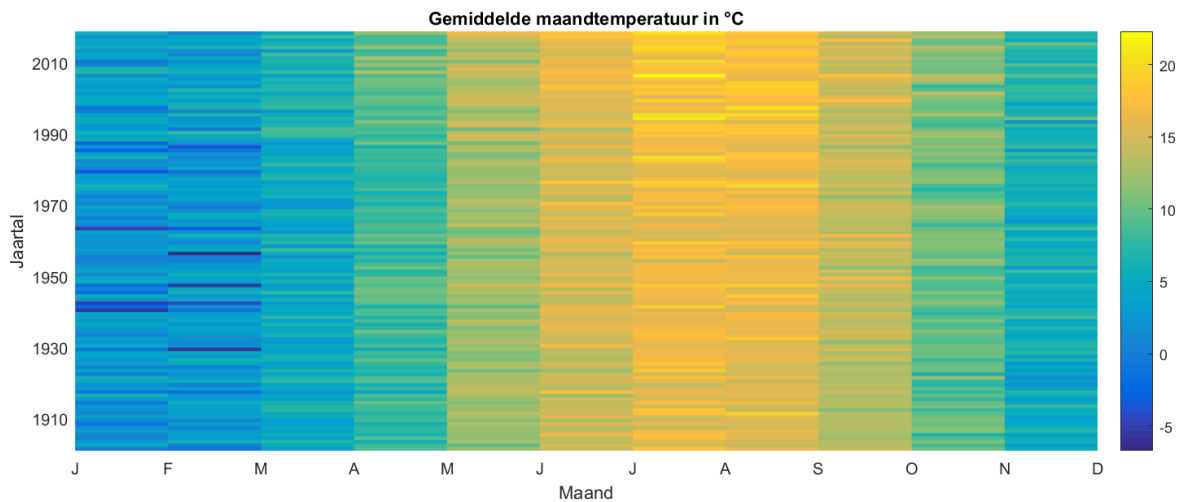
3.3 Uitgangspunt klimaatdata

Voor het bepalen van de netto warmtevraag is door Nieman uitgegaan van de klimaatdata in de NTA8800:2019-06, welke weergegeven zijn in hoofdstuk 17. In deze paragraaf is ingezoomd op drie onderdelen van de klimaatdata: de buitentemperatuur, de windsnelheid en de zoninstraling op een horizontaal vlak. De zoninstraling op hellende vlakken is, vanwege de complexiteit ervan, in dit rapport buiten beschouwing gelaten. Er is

aangenomen dat de uitgangspunten van de zoninstraling op een horizontaal vlak aannemelijk zijn, dit ook geldt voor alle hellende vlakken.

3.3.1 Buitentemperatuur

Ter illustratie is de gemiddelde maandtemperatuur zoals gemeten door het meetstation De Bilt voor de afgelopen 119 jaar (1901-2019) weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Gemiddelde maandtemperatuur voor de periode 1901-2019 (Meetstation De Bilt).

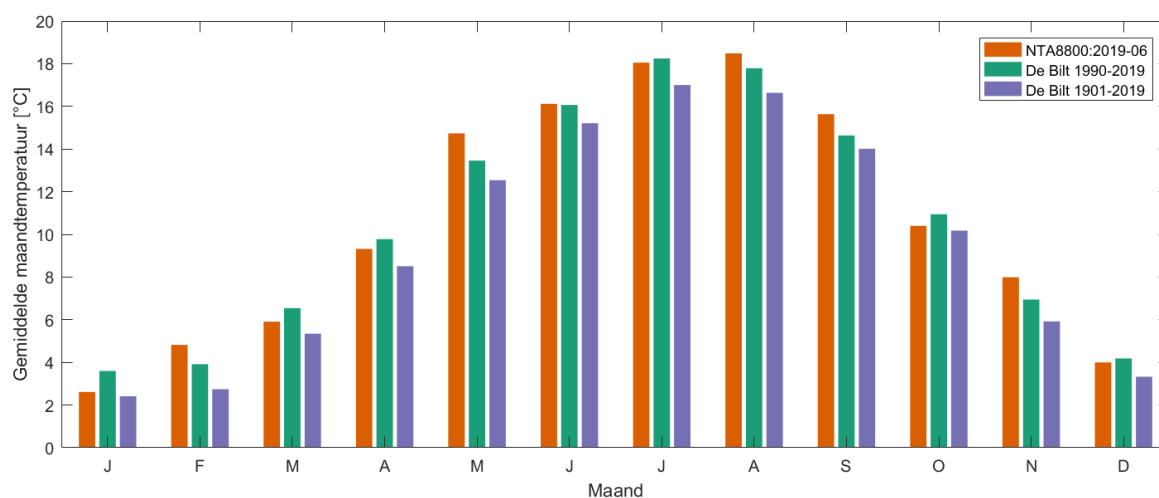
Om een vergelijking te maken met de NTA 8800 zijn de gemiddelde maandtemperaturen van de volgende bronnen weergegeven in Tabel 1 en gevisualiseerd in Figuur 2.

- De NTA 8800:2019-06, tabel 17.1, pag. 641
- Het gemiddelde van de afgelopen 119 jaar (1901-2019) volgens de meetdata van KNMI-station De Bilt.
- Het gemiddelde van de afgelopen 30 jaar (1990-2019) volgens de meetdata van KNMI-station De Bilt.

In de tabel staat ook het (gewogen) jaargemiddelde en het gewogen gemiddelde van de zomermaanden (april t/m september) en wintermaanden (oktober t/m maart).

Tabel 1: Vergelijking van gemiddelde buitentemperatuur per maand.

Maand	NTA8800	30-jarig gemiddelde	119-jarig gemiddelde
Januari	2,61 °C	3,60 °C	2,41 °C
Februari	4,82 °C	3,92 °C	2,74 °C
Maart	5,91 °C	6,54 °C	5,34 °C
April	9,32 °C	9,78 °C	8,50 °C
Mei	14,73 °C	13,46 °C	12,54 °C
Juni	16,12 °C	16,07 °C	15,21 °C
Juli	18,05 °C	18,24 °C	17,00 °C
Augustus	18,48 °C	17,79 °C	16,63 °C
September	15,63 °C	14,63 °C	14,01 °C
Oktober	10,40 °C	10,94 °C	10,18 °C
November	7,99 °C	6,95 °C	5,92 °C
December	4,00 °C	4,18 °C	3,33 °C
Jaargemiddelde	10.70 °C	10.54 °C	9.53 °C
Zomermaanden	15.42 °C	15.02 °C	14.00 °C
Wintermaanden	5.96 °C	6.05 °C	5.02 °C



Figuur 2: Vergelijking van gemiddelde maandtemperatuur.

Het spreekt voor zich dat het 30-jarige gemiddelde door de globale klimaatverandering bijna een graad hoger ligt dan de het 119-jarig gemiddelde. Het 30-jarig gemiddelde is daardoor een betere referentie dan het 119-jarig gemiddelde.

Hoewel de temperaturen per maand tussen het 30-jarige gemiddelde en de NTA8800 nog wel eens verschillen, is de gemiddelde temperatuur gedurende de wintermaanden met elkaar vergelijkbaar. Het belangrijkste verschil zitten in de maanden januari (0,99 °C) en februari (-0,90 °C), welke elkaar uiteindelijk opheffen.

De NTA8800 overschat de buitentemperatuur in de zomer, waardoor er mogelijk meer netto ruimteteoeling wordt berekend, dan op dit moment werkelijk nodig is. Dit zou in de toekomst, door opwarming in de steden mogelijk veranderen. Koeling is echter buiten scope van deze analyse.

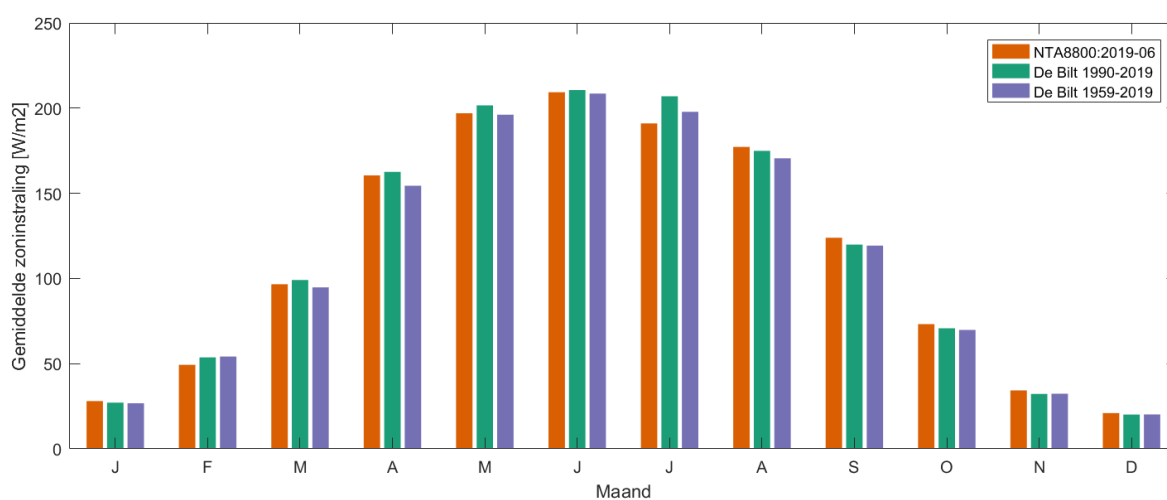
In het algemeen hiermee gezegd: de buitentemperatuur data in de NTA8800 is realistisch voor het huidige winterklimaat in Nederland.

3.3.2 Zoninstraling

Uit dezelfde dataset als gebruikt in paragraaf 3.3.1 is ook de globale zoninstraling op een horizontaal vlak (gericht op de lucht) te bepalen, waarbij eenzelfde vergelijking als met de buitentemperatuur is gemaakt. Het betreft hierbij de periode 1959-2019. In de periode 1901-1958 is door het meetstation De Bilt geen zoninstraling gemeten. De resultaten staan in Tabel 2 en Figuur 3.

Tabel 2: Vergelijking van gemiddelde zonninstraling per maand over alle uren.

Maand	NTA8800	30-jarig gemiddelde	60-jarig gemiddelde
	Alle waarden in W/m ²		
Januari	28,0	27,1	26,8
Februari	49,3	53,7	54,2
Maart	96,6	99,	94,8
April	160,5	162,5	154,4
Mei	197,0	201,6	196,1
Juni	209,3	210,6	208,5
Juli	191,0	206,9	197,8
Augustus	177,2	174,9	170,5
September	123,9	119,9	119,3
Oktober	73,2	70,8	69,8
November	34,3	32,2	32,4
December	21,0	20,1	20,2



Figuur 3: Vergelijking van gemiddelde zonninstraling.

De NTA8800 en het gemiddelde over de afgelopen 30 jaar komen alle maanden overeen, behalve de maand juli. In die maand onderschat de NTA8800 de zonninstraling met 5% ten opzichte van het huidige klimaat. Dit heeft echter alleen impact op de netto koelvraag en niet de netto warmtevraag.

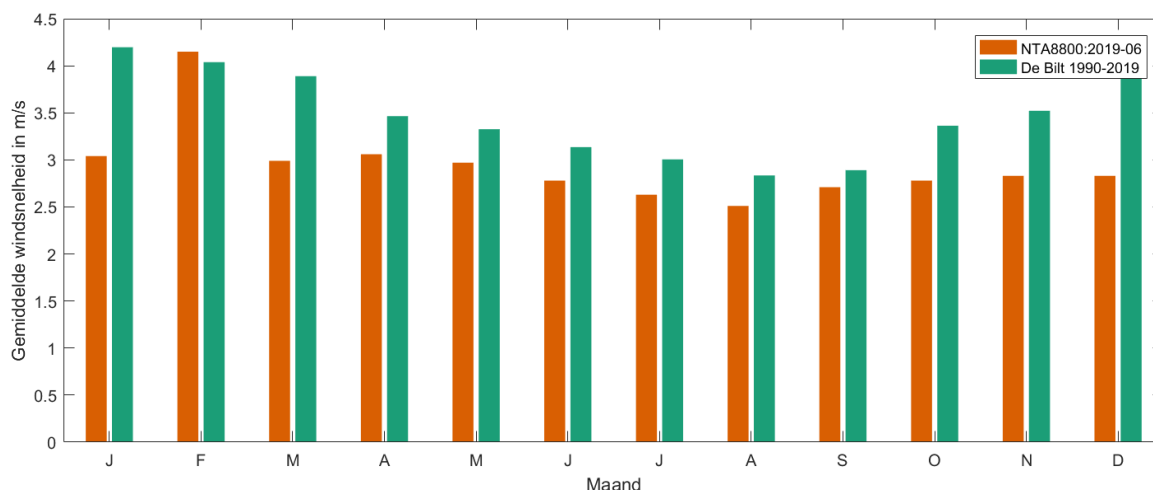
In het algemeen kan hiermee gezegd worden dat de zonninstralingsdata in de NTA8800 realistisch is voor het huidige winterklimaat in Nederland.

3.3.3 Windsnelheid

Uit dezelfde dataset als gebruikt in paragraaf 3.3.1 is ook de gemiddelde windsnelheid te bepalen, waarbij eenzelfde vergelijking als met de buitentemperatuur is gemaakt. Daarbij is alleen gekeken naar de periode 1990-2019 omdat het meetstation De Bilt (mogelijk) door de jaren heen verschillende meetmethodieken heeft gehanteerd. De resultaten staan in Tabel 3 en Figuur 4.

Tabel 3: Vergelijking van gemiddelde windsnelheid per maand.

Maand	NTA8800	30-jarig gemiddelde
Januari	3,04 m/s	4,20 m/s
Februari	4,15 m/s	4,04 m/s
Maart	2,99 m/s	3,89 m/s
April	3,06 m/s	3,47 m/s
Mei	2,97 m/s	3,33 m/s
Juni	2,78 m/s	3,14 m/s
Juli	2,63 m/s	3,01 m/s
Augustus	2,51 m/s	2,83 m/s
September	2,71 m/s	2,89 m/s
Oktober	2,78 m/s	3,36 m/s
November	2,83 m/s	3,52 m/s
December	2,83 m/s	3,95 m/s



Figuur 4: Gemiddelde windsnelheid.

De NTA8800 onderschat de gemiddelde windsnelheid ten opzichte van wat er gemeten is in de afgelopen 30 jaar. Hierdoor vindt er mogelijk een onderschatting plaats van het warmteverlies als gevolg van infiltratie en ventilatie.

3.3.4 Conclusies

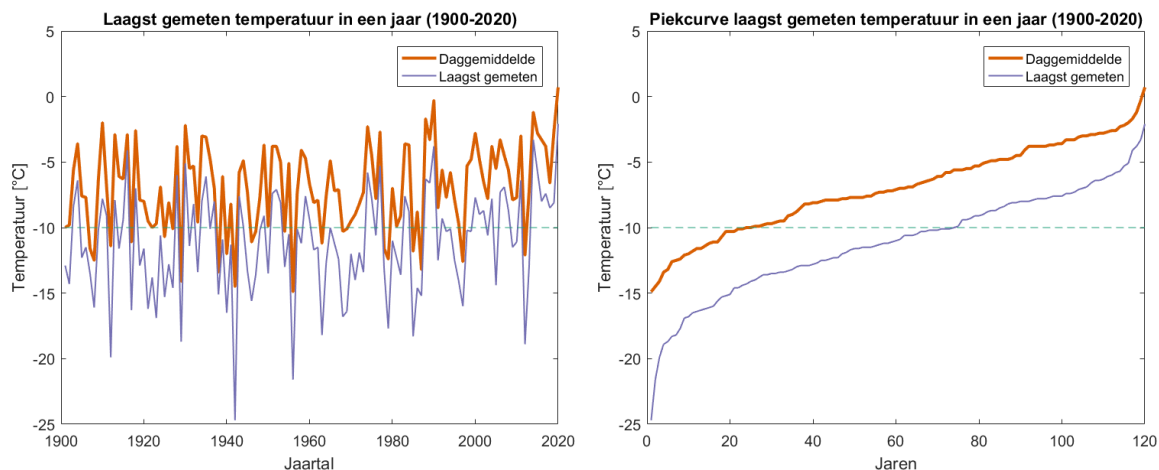
- De uitgangspunten in de NTA8800 met betrekking tot de buitentemperatuur in relatie tot de netto warmtevraag is acceptabel.
- De uitgangspunten in de NTA8800 met betrekking tot de (horizontale) zoninstraling in relatie tot de netto warmtevraag is acceptabel.
- De uitgangspunten in de NTA8800 met betrekking tot de windsnelheid in relatie tot de netto warmtevraag levert mogelijk een (kleine) onderschatting van de netto warmtevraag op.
- De uitgangspunten in de NTA8800 leiden mogelijk tot een verkeerde inschatting van de netto koudevraag op.

3.4 Uitgangspunt koudste dag van het jaar

Voor het bepalen van de warmteafgiftecapaciteit in een woning is, conform de ISSO 51 uitgegaan van een worstcase klimaat scenario met een (gemiddelde) buitentemperatuur van $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ en een windsnelheid van 5 m/s .

3.4.1 Temperatuur

Ter illustratie is de koudste dag in het jaar zoals gemeten door het meetstation De Bilt voor de afgelopen 119 jaar weergegeven in Figuur 5. Per jaar is voor de koudste dag de gemiddelde dagtemperatuur weergegeven (bruin), alsook de laagste momentaan gemeten temperatuur (paars). Deze data is weergegeven in tijdchronologische order en als piek-curve.

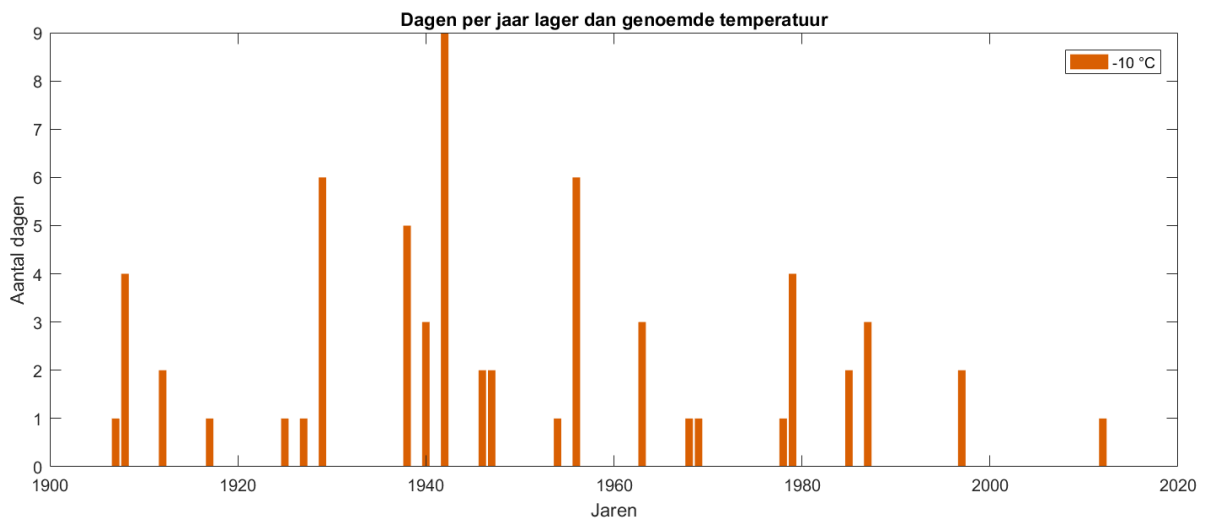


Figuur 5: Temperatuur van de koudste dag per jaar in chronologische volgorde (links) en als piek-curve (rechts).

Het daggemiddelde is belangrijker dan de laagst gemeten temperatuur. Dit heeft twee redenen. Als eerste hebben woningen, vanwege hun (thermische) massa een zekere mate van traagheid, waardoor het comfort niet direct beïnvloed wordt. Als tweede vinden de lage temperaturen doorgaans 's nachts plaats, wanneer de binnentemperatuur als gevolg van nachtverlaging ook lager is.

In de afgelopen 120 jaar was in 19,2% (23) van de jaren tenminste 1 dag waarbij de gemiddelde dagtemperatuur onder de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ lag. Kijkend naar alleen de afgelopen 30 jaar, dan ligt dit percentage op 6,7% (2).

Interessant is het aantal dagen dat de gemiddelde dagtemperatuur onder de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ lag. Dit is weergegeven in Figuur 6. Zowel het aantal dagen dat het kouder is dan $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, als de frequentie waarin dit voorkomt neemt door de jaren heen af. Volgens het KNMI is dit grotendeels toe te kennen aan de globale verandering van het klimaat als gevolg van CO_2 -emissies.

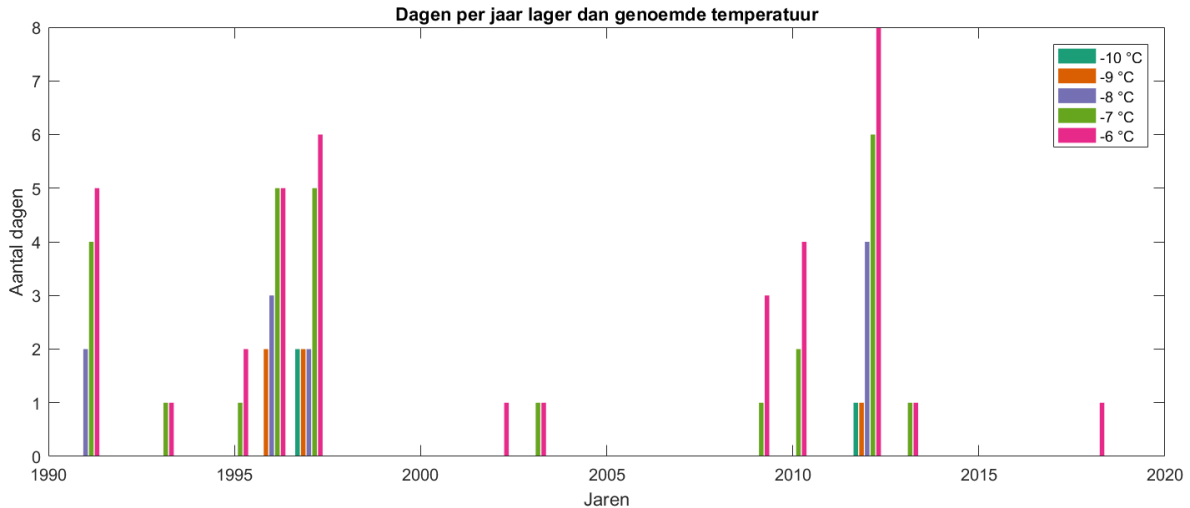


Figuur 6: Aantal dagen in een jaar waarbij de gemiddelde dagtemperatuur lager dan $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ lag.

Om de vraag te bepalen wat een acceptabele 'worst case' scenario is, zijn een aantal zaken die in overweging genomen moeten worden:

1. Wat de kans is dat er een slechter scenario dan de 'worst case' scenario ontstaat, waardoor de woning (mogelijk) niet meer comfortabel te krijgen is.
2. De impact van de parameters van de 'worst case' scenario op de dimensionering van het warmteafgiftesysteem.
3. Verlaging van de warmtetoeslag factor. De opwarmtoeslag is een opslag op het warmteafgifte capaciteit om te garanderen dat de woning binnen een bepaalde tijd (ISSO 51 stelt 2 uur) opgewarmd kan worden van de nachtverlagingstemperatuur naar de dagtemperatuur. Een opwarmtoeslag verhoogd de capaciteit van het warmteafgiftesysteem. Als de nachtverlaging tijdens 'worst case' scenario's niet wordt toegepast, is de opwarmcapaciteit beschikbaar om de warmteverliezen te compenseren.

Uit Figuur 6 blijkt dat dat de kans dat een scenario slechter dan $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ontstaat in de komende decennia verder zal afnemen. De vraag is dan ook of een temperatuur hoger dan $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ als "worst case" scenario kan volstaan. Figuur 7 presenteert naast de hogere referentietemperaturen ook het aantal dagen waarbij de gemiddelde dagtemperatuur lager is dan de referentietemperatuur, voor de afgelopen 30 jaar.



Figuur 7: Aantal dagen waarbij de gemiddelde dagtemperatuur lager ligt dan de referentietemperatuur.

In onderstaande tabel staan het totaal aantal dagen gedurende de periode 1990-2019 weergegeven dat de gemiddelde dagtemperatuur onder de genoemde waarde komt.

Threshold (°C)	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5
Aantal dagen	0	2	3	3	5	11	27	38	62

Daaruit is op te maken dat tussen -10 °C en -7 °C het aantal dagen sterk toeneemt. Een temperatuur van -9 °C ook nog acceptabel zou kunnen zijn, maar een hogere threshold temperatuur zal veel vaker tot overschrijding van de 'worst case' scenario' zal leiden.

Daar komt bovenop dat de impact op de grootte van het afgiftesysteem beperkt is. De benodigde capaciteit is lineair met het verschil tussen de binnen- en buitentemperatuur. Aangenomen dat de "worst case" scenario -10 °C is en de gewenste binnentemperatuur 20 °C, levert dit een temperatuurverschil van 30 °C op. Een wijziging van 1 °C van de "worst case" scenario naar -9 °C verlaagd de benodigde warmtecapaciteit met iets meer dan 3%.

De keuze van de binnentemperatuur (tussen verschillende bewoners al snel variërend tussen 18 °C en 23 °C) heeft daarmee een grotere impact op de benodigde capaciteit voor het warmteafgiftesysteem.

Hieruit is op te maken dat een "worst case" scenario voor een gemiddelde dagtemperatuur van -10 °C een prima uitgangspunt is. Het iets "betere" uitgangspunt van -9 °C levert weinig extra voordeel op.

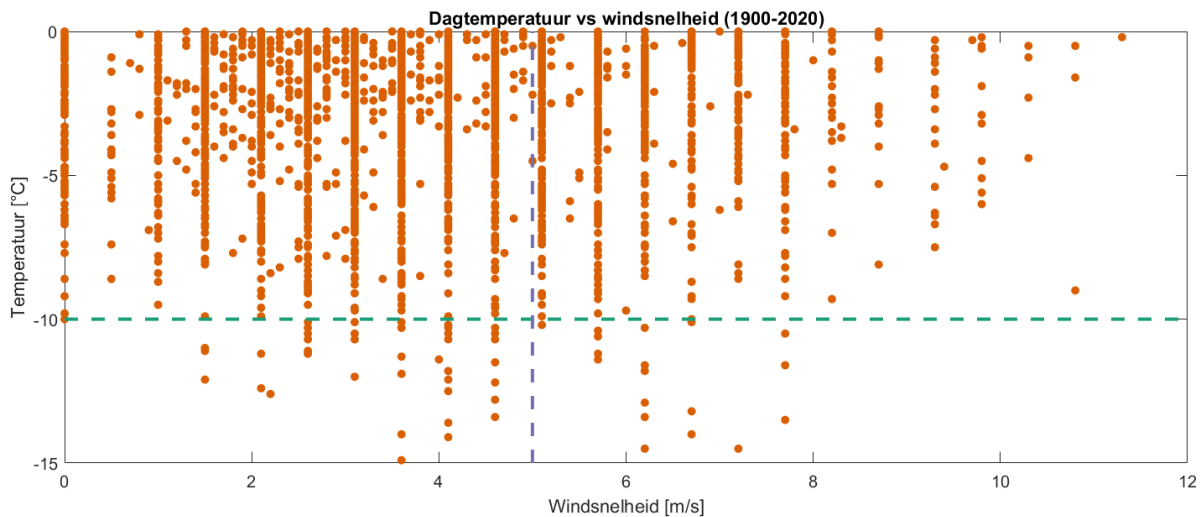
3.4.2 Windsnelheid

De relatie tussen de daggemiddelde buitentemperatuur en de windsnelheid is weergegeven in Figuur 8. 71% van de windsnelheden bij daggemiddelde buitentemperaturen < -10 °C liggen beneden de 5 m/s. In de afgelopen 30 jaar is het

helemaal niet voorgekomen dat de windsnelheid boven de 5 m/s lag bij een daggemiddelde buitentemperatuur lager dan -10 °C. De hoogst gemeten snelheid was 4 m/s.

Bij een referentietemperatuur van -9 °C is in de afgelopen 30 jaar tweemaal een windsnelheid gemeten van boven de 5 m/s (beiden 6 m/s) en driemaal een snelheid onder de 5 m/s.

Een "worst case" scenario met een windsnelheid van 5 m/s is daarmee een realistische aanname.



Figuur 8: Scatterplot van daggemiddelde temperatuur vs gemiddelde windsnelheid.

3.4.3 Conclusie

De conclusie is dat een daggemiddelde buitentemperatuur van -10 °C en een windsnelheid van 5 m/s een realistisch uitgangspunt is voor de "worst case" scenario voor het bepalen van de benodigde warmteafgiftecapaciteit.

3.5 Uitgangspunten ventilatie

Ventilatie is een uitermate lastig onderwerp, iets dat ook duidelijk wordt door de bijna 100 pagina's in de NTA8800 waarin de ventilatierekenmethodiek beschreven staat.

Belangrijk is om het uiteindelijke doel van ventilatie in gedachte te houden: het verwijderen van CO₂ (als gevolg van personen en bijv. koken) en vocht (personen, koken, natte ruimten) uit de woning, aangevuld met het verwijderen van ongewenste of ongezonde chemicaliën (bijv. nare geurtjes en dampen).

Het bouwbesluit stelt minimumeisen aan de voorzieningen voor ventilatie (NEN 1087). Dit zegt echter weinig over de gemiddelde ventilatiestroom. Een van de uitdagingen met het bepalen van de hoeveelheid luchtventilatie die er plaatst vindt, is dat deze sterk afhangt van de gebruiker, zowel in de term van hoeveelheid (activiteit in de woning) als de wijze waarop (veel/weinig spuien, kierdichtheid, ventilatiestand). De uitdaging daarbij is om te

bepalen wat een gemiddeld gebruikersgedrag daarin is. Er is niet af te leiden welke uitgangspunten de NTA8800 hierin heeft gemaakt.

Een ander aspect dat (tegenwoordig) een rol speelt in ventilatie zijn (slimme) regelingen, zoals zelfregelende ventilatieroosters en CO₂-gestuurde ventilatie-installaties. Deze verminderen het totaal aan geventileerde luchtvolume (en verlaagd daarmee de netto warmtevraag). De mate van vermindering hangt ook hier weer sterk af van bewonersgedrag, en ook de 'effectiviteit' of 'slimheid' van de regeling. Ook hier is niet duidelijk op welke wijze de NTA8800 dit heeft vertaald naar de gehanteerde rekenfactoren. (f_{ctrl}).

Het is daarom kwantitatief lastig te stellen of de NTA8800 op juiste wijze de hoeveelheid ventilatielucht (en de daarbij behorende warmteverliezen) berekend. Kwalitatief valt er wel het een en ander over op te merken.

Opvallend is het hoge detailniveau waarop soms wordt gerekend. Zo wordt de externe druk bepaald (formule 11.1) waarin de windsnelheid een kwadratische rol speelt. Vervolgens wordt de massabalans opgelost (formule 11.14) en uiteindelijk de werkelijke luchtstroom (formule 11.19), waarbij er een niet-lineair verband is met het drukverschil.

Daartegenover staat dat de 'tijdstappen' in de berekening op maandbasis zijn. Gevolg is dat inputdata gemiddelde zijn over een maand, zoals de windsnelheid, waardoor er tussen de maanden relatief weinig verschil zit (zie o.a. Tabel 3). Gezien de niet-lineariteit van de gehanteerde formules 11.1 en 11.19, gaat door het wegmiddelen van de fluctuaties in temperatuur en windsnelheid veel detail verloren.

Dit is ook terug te zien in sommige formules. Bij het bepalen van de luchtdichtheid (formule 11.4) is wel gecorrigeerd voor de temperatuur van de lucht, echter niet voor de absolute luchtdruk, terwijl deze laatste relatief gezien net zoveel impact heeft als de temperatuur op de luchtdichtheid.

Verder lijkt het op een aanname dat de ventilatie gelijk verdeeld is over de dag. De vraag is echter of dit het geval is, juist 's nachts zijn mensen thuis en moet er worden geventileerd, waarbij in de vroege ochtend en/of avond er een hoogtepunt is om vocht weg te ventileren als gevolg van het douchen. Ook eventueel extra spuien van de slaapkamers vindt doorgaans in de vroege ochtend plaats. Dit gebruikersgedrag zorgt ervoor dat het zwaartepunt van ventileren tijdens de koude momenten van de dag plaats vindt. Het is onduidelijk of de NTA8800 hier ook rekening mee heeft gehouden bij het vaststellen van de rekenfactoren. Zo niet, dan kan het zijn dat de netto warmtevraag wordt onderschat.

Een ander aspect dat niet duidelijk naar voren komt in de NTA8800 is de rol van kierdichtheid/infiltratie. In moderne woningen is het doel om de kierdichtheid zo hoog mogelijk te krijgen en daarmee een zo laag mogelijke infiltratie te bewerkstelligen. De nadruk in dit soort woningen ligt dus op ventilatie. Bij oudere (bijv. vooroorlogse) woningen is de kierdichtheid laag, en zijn oorspronkelijk geen ventilatievoorzieningen zoals rooster geplaatst. De luchtkwaliteit werd in deze woningen "gereguleerd" door de

infiltratie en het spuien. De vraag is dus of oudere woningen op juiste wijze worden meegenomen in de NTA8800, omdat "geen ventilatiesysteem" geen optie lijkt te zijn. De netto warmtevraag kan daardoor in deze woningen worden overschat.

3.5.1 Conclusie

De rekenmethodiek in de NTA8800 is moeilijk te doorgronden, waardoor het lastig is om vast te stellen of de warmteverliezen ten gevolge van ventilatie voor alle type en categorie bestaande en gerenoveerde woningen op de juiste wijze zijn bepaald. Een aantal keuzes in de rekenmethodiek over het detailniveau in sommige formules is opmerkend en wekt mogelijk schijnzekerheid op.

3.6 Uitgangspunten warmtecapaciteit

De warmteafgifte capaciteit compenseert de warmteverliezen van de woning. Het afgiftesysteem heeft in deze situatie geen extra capaciteit om de woning versneld op te warmen, de zogenaamde opwarmtoeslag.

De extra capaciteit om een woning op te warmen is noodzakelijk als er nachtverlaging wordt toegepast. In de ochtend zal dan in korte tijd de woning opgewarmd moeten worden om de verliezen gedurende nacht te compenseren. In een worstcase scenario moeten alle verliezen worden gecompenseerd, omdat er 's nachts niet verwarmd is. In slecht geïsoleerde woningen, of woningen met een lage thermische massa, zal de verwarming ook 's nachts aanslaan, omdat de binnentemperatuur onder de minimale nachtverlagingstemperatuur komt. In de ochtend hoeft dan slechts een deel van de nachtverliezen te worden gecompenseerd. In ISSO 51 staat in tabel 3.7 het vermogen dat nodig is om de nachtverliezen te compenseren.

In deze paragraaf wordt puntsgewijs op een aantal aspecten van de opwarmtoeslag ingegaan.

3.6.1 Noodzaak tot nachtverlaging

Nachtverlaging is een middel om de netto warmtevraag van een woning, en daarmee het energiegebruik, te reduceren. De warmteverliezen in een woning zijn proportioneel aan de binnentemperatuur en buitentemperatuur.

Stel dat de gewenste temperatuur binnen 20 °C en de buitentemperatuur 5 °C, een verschil van 15 °C. Indien er nachtverlaging van 3 K wordt toegepast, is het verschil 12 K. Gezien de proportionaliteit met de netto warmtevraag, daalt de warmtevraag daardoor met ongeveer 20%. Dit is daarmee een uitermate effectieve energiebesparingsmaatregel voor slecht geïsoleerde gebouwen.

Goed geïsoleerde gebouwen verliezen echter veel minder warmte, waardoor de temperatuur in de woning ook veel minder daalt. ISSO 51 zelf stelt dat zeer goed geïsoleerde woningen een afkoeling hebben van 1 K. De reductie van de warmtevraag is daardoor veel kleiner. Daar komt bij dat bij het opwarmen van de woning de

verwarmingsinstallatie vaak minder efficiënt is. Bij goed geïsoleerde woningen kan daardoor de energiebesparing ten gunste van nachtverlaging grotendeels tenietgedaan worden.

Woningen met trage afgiftesystemen, zoals vloerverwarming en betonkernactivering, gebruiken al geen nachtverlaging. Het afgiftesysteem is te traag om de gewenste temperatuursfluctuatie (dag/nacht) te kunnen volgen.

De vraag is of nachtverlaging wel een uitgangspunt zou moeten zijn bij goed geïsoleerde woningen zoals in niveau 4.

3.6.2 Thermische massa

De thermische massa van de woning bepaalt onder andere de snelheid waarmee de temperatuur in de woning daalt als gevolg van warmteverliezen, en ook de snelheid waarmee deze weer opgewarmd kan worden door het verwarmingssysteem. De thermische massa zit niet alleen in de muren, maar ook in tussenvloeren en -plafonds het meubilair en spullen in de woning.

ISSO 51 maakt met betrekking tot de opwarmtoeslag onderscheidt tussen twee type woningen: woningen met een lichte constructie (houtskelet of deels-massief) en zware constructies (grotendeels of geheel massief). Voor lichte constructies wordt (bij 2 uur opwarmtijd) een thermische massa van teruggerekend (ongeveer) $50 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ gehanteerd en voor zware constructies (ongeveer) $80 \text{ kJ/m}^2\text{K}$. Daarbij geldt: hoe lichter de constructie, hoe lager de opwarmtoeslag. Er is namelijk meer warmte nodig om zware constructies met eenzelfde temperatuur op te warmen dan lichte constructies.

Alleen massa binnen de thermische schil (isolatie) classificeert als thermische massa. Deze massa draagt actief bij aan het vasthouden van de warmte, omdat deze een relatief hoge warmte uitwisseling heeft met de binnenlucht en een lage warmte uitwisseling naar buiten toe. De temperatuur van de massa binnen de thermische schil zal willen convergeren naar de binnenluchttemperatuur.

Het is daarom van belang om rekening te houden met de wijze waarop is geïsoleerd. Bij het isoleren van de buitenzijde (bijv. nieuwe gevel tegen de bestaande, dakverhoging, vloerisolatie in kruipruimte), telt de bestaande massa mee als thermische massa. Bij isolatie vanuit de binnenzijde (bijv. tegen de gevel aan of tussen de dakspanten), zal alleen de afwerking (bijv. voorzetplaat meetellen in de thermische massa. Bij spouwmuurisolatie telt alleen de binnenmuur mee.

Een massieve woning die vanuit de binnenzijde wordt geïsoleerd, verliest dus heel veel thermische massa. Ondanks dat de woning zelf massief is, is de thermische massa na renovatie laag, mogelijk zelfs lager dan dat ISSO 51 hanteert met $50 \text{ kJ/m}^2\text{K}$. Daardoor zou ook de opwarmtoeslag lager kunnen zijn dan wat ISSO 51 definieert.

Andersom, een woning met een spouwmuur die aan de buitenzijde wordt geïsoleerd, krijgt het buitenblad erbij als thermische massa. De thermische massa neemt daardoor toe.

Hierdoor is de temperatuurdaling in de woning gedurende nachtverlaging minder, waardoor het ook in de ochtend nog relatief comfortabel is. Hierdoor is er minder noodzaak om de woning snel op temperatuur te krijgen. Ook hier zou de opwarmtoeslag lager kunnen zijn dan wat ISSO 51 definieert.

3.6.3 Opwarmtijd

ISSO 51 schrijft een standaard opwarmtijd van 2 uur voor. In slecht geïsoleerde woningen betekent dit dat een woning in 2 uur van bijv. 17 °C naar 20 °C wordt opgewarmd. Dat is ook noodzakelijk, omdat 17 °C onvoldoende comfort biedt.

Een goed geïsoleerde woning is aan het begin van de ochtend misschien 19 °C. Vraag is in hoeverre deze temperatuur niet acceptabel als comfortniveau en of een langere periode van opwarmen (bijv. 4 uur) gerechtvaardigd is.

Daar komt bij dat bij goed geïsoleerde woningen de opwarmtoeslag alleen nodig is in de "worst case" scenario (-10 °C buitentemperatuur, 5 m/s windsnelheid). In meer gematigde gevallen is er sowieso afgiftecapaciteit over om de woning op te warmen.

Neem als voorbeeld een standaard RVO voorbeeldtussenwoning (106 m²), eind jaren 60 en renoveren deze tot niveau 3. Het specifiek warmteverlies van deze woning is ongeveer 150 W/K. In de "worst case" scenario is er sprake van een temperatuurverschil tussen binnen en buiten van 30 °C. Het verliezend vermogen bedraagt daarmee 4,5 kW.

Volgens de ISSO 51 dient een opwarmtoeslag er te zijn van 21 W/m² (lichte constructie, 2 uur opwarmtijd, 3 K overbruggen), oftewel 2,2 kW.

Stel nu dat de buitentemperatuur 0 °C is. Het verliezend vermogen bedraagt dan 3 kW minder. Er is dus al 1,5 kW 'over' van de reguliere capaciteit voor de benodigde 2,2 kW.

In geval dat deze woning verder wordt gerenoveerd tot niveau 4, dan is het specifiek warmteverlies ongeveer 73 W/K. Het verliezend vermogen bedraagt bij buitentemperaturen van -10 °C en 0 °C respectievelijk 2,2 kW en 1,5 kW. ISSO 51 geeft een opwarmtoeslag van (licht, 2 uur, 1,5 K) 10 W/m², ofwel 1.060 W op.

Beide voorbeelden tonen aan dat er op normale winterdagen al zo'n 60% van de opwarmtoeslag beschikbaar is in de basisafgiftecapaciteit, die is gedimensioneerd op de "worst case" scenario.

Een lagere opwarmtoeslag voor een goed geïsoleerde woning zal daardoor niet direct een impact hebben op het comfort van de bewoner. Wanneer een "worst case" scenario dreigt, bestaat er dan nog de mogelijkheid om geen nachtverlaging toe te passen. Gezien de woning goed geïsoleerd is en het beperkt aantal keren dat dit voorkomt, heeft dit vrijwel geen effect op de netto warmtevraag.

3.6.4 Discussie

Voorgaande aspecten laten zien dat voor goede geïsoleerde woningen:

- Nachtverlaging veel minder effectief is als besparingsmaatregel, waardoor er veel minder 'noodzaak' voor is. Een lagere opwarmtoeslag is daardoor mogelijk.
- Bij trage afgiftesystemen is al afgestapt van nachtverlaging.
- De thermische massa bij renovatie kan toenemen (buitenisolatie) of afnemen (binnenisolatie). In beide gevallen is er iets voor te zeggen om een lagere opwarmtoeslag te hanteren.
- In normale situaties is de extra opwarmcapaciteit al beschikbaar, doordat het afgiftesysteem is uitgelegd op de "worst case" scenario.

ISSO 51 compenseert al deels voor betere isolatie, doordat deze rekening houdt dat de woning minder ver afkoelt.

Hoewel buiten scope van dit onderzoek, is het van belang om in het achterhoofd te houden dat de berekende warmteafgiftecapaciteit ook effect heeft op de warmtebron. Een te hoog berekende warmteafgiftecapaciteit betekent dat een warmtepomp of warmtenetaansluiting te groot kan worden ontworpen. Bij lage en zeer lage temperatuur warmtenetten kunnen de kosten daardoor oplopen. Er moeten namelijk grotere leidingen worden aangelegd. Dit heeft effect op het financiële rendement van het warmtenet. Overdimensionering dient daarom worden voorkomen.

De afweging is of een lagere opwarmtoeslag berekend conform ISSO 51 risico's met zich mee brengt in het comfort. De huidige berekeningen van Nieman laten zien dat in veel woningen een tekort aan afgiftevermogen is als de afgiftetemperatuur flink naar beneden gaat.

Het rapport van Nieman rekent voor niveau 1 met een nachtverlaging van 2 °C en een opwarmtijd van 2 uur en wijkt daarmee af van ISSO 51, welke bij matig tot slecht geïsoleerde woningen uit gaat van een nachtverlaging van 3 °C. Gevolg is dat het warmteafgiftecapaciteit op niveau 1 wordt onderschat. Gevolg is dat de berekende afnames bij niveau 3 en 4 in tabel 11 mogelijk te laag zijn.

Het rapport geeft niet aan met welke nachtverlaging er wordt gerekend voor de niveaus 3 en 4. Gezien het beperkte isolatieniveau van alle woningen op niveau 3 en het ontbreken van een ventilatiesysteem met WTW, is een nachtverlaging van 2 °C realistisch.

EnergyGO is van mening dat bij niveau 4, nachtverlaging geen zinvolle bijdrage heeft aan energiebesparing en dat niet meenemen van een opwarmtoeslag meer voordeel met zich mee brengt voor de rest van het systeem (warmtebron, infrastructuur).

4. Expert opinion

Dit hoofdstuk analyseert de gevolgen van de gekozen uitgangspunten en eventuele aanpassingen van deze uitgangspunten.

4.1 Standaarden afhankelijk van bouwjaar en woningtype

Nieman heeft de standaard en streefwaarden opgedeeld in 16 woning categorieën, bestaande uit elke combinatie van 4 woningtypen en 4 bouwjaarintervallen.

Voor woningtypen is gekozen voor:

- (Rijtjes)tussenwoning
- Hoekwoning en/of 2-onder-1-kap woning
- Vrijstaande woning
- Appartement of galerijwoning.

Voor bouwjaarintervallen is gekozen voor:

- < 1925
- 1925-1965
- 1965-1995
- > 1995

De vraag vanuit de begeleidingscommissie is of dit nu een goede categorisering is van de woningen. In deze paragraaf zijn een aantal verschillende aspecten behandeld die bepalend zijn voor deze categorisering, waarna deze vraag is beantwoord.

4.1.1 Gebouwgeometrie

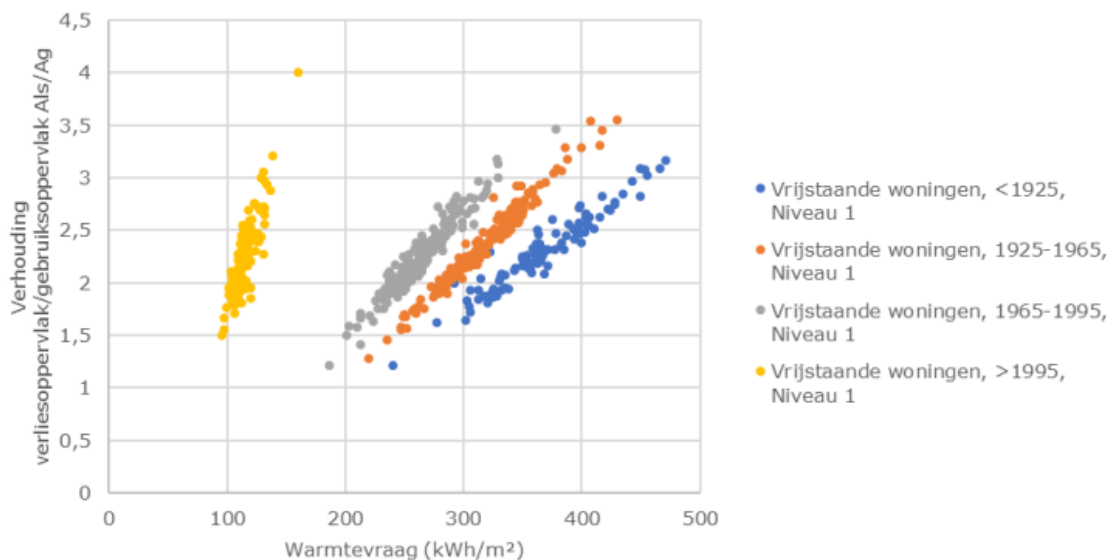
Een van de methoden om te analyseren of de combinatie van woningtypen en bouwjaren passend gekozen zijn, is kijken naar de gebouwgeometrie. Gebouwgeometrie is de verhoudingen in dakoppervlak, grondoppervlak, gesloten geveldelen en open geveldelen van een gebouw.

Neem bijvoorbeeld een "typische" Nederlandse rijtjeswoning: Een rechthoek als grondoppervlak van ongeveer 5 meter breed en 9 meter lang, twee verdiepingen hoog, en een derde verdieping ("zolder") bestaande uit 45° schuin dak. Op de begane grond een groot raam voor en achter, en op de eerste verdieping kleinere slaap- en badkamerramen. Dit type woning is door de jaren heen weinig veranderd.

In paragraaf 2.4 is afgeleid dat er een lineair verband bestaat tussen de compactheid en netto warmtevraag van een woning, indien de gebouwgeometrie en de isolatiewaarden (ongeveer) constant zijn.

Nieman heeft in verschillende scatterplots de compactheid en netto warmtevraag per woningcategorie en per niveau bepaald. Aangezien alle niveaus (met uitzondering van niveau 0 – huidige situatie) uit gaan van forfaitaire waarden voor de isolatie, zijn de isolatiewaarden constant. Dat betekent dat als er een lineair verband is tussen de compactheid en netto warmtevraag, ook de geometrie van de woningen overeenkomt. Er kan dan geconcludeerd worden dat de woningen in de categorie vergelijkbaar zijn en de categorie goed gekozen is.

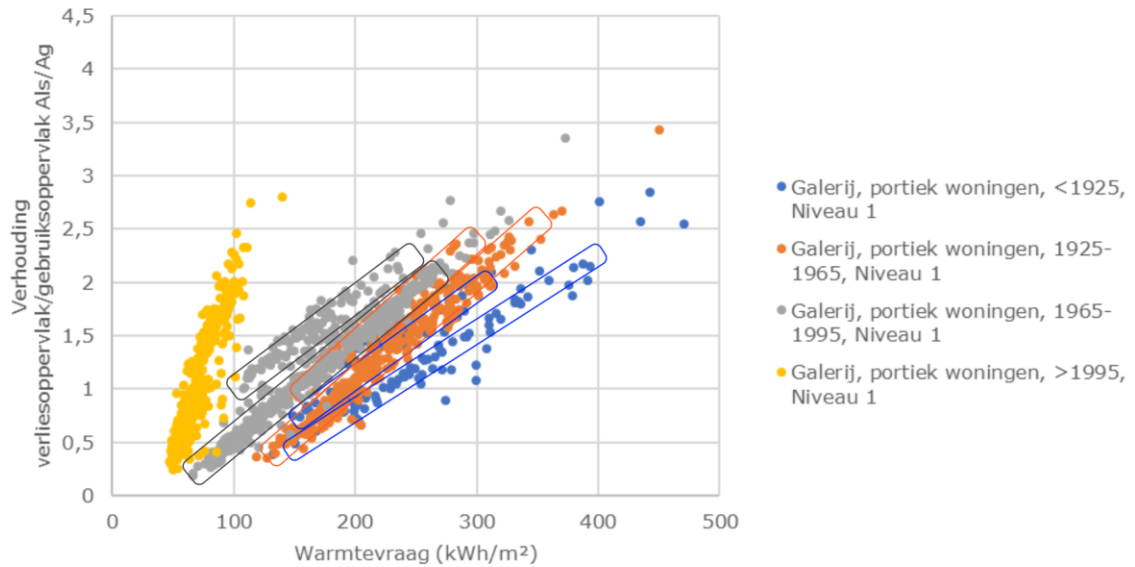
Een goed voorbeeld van bovenstaande redenering is te weergegeven in figuur 43 in het rapport van Nieman en hieronder in Figuur 9. Deze figuur is ook hieronder weergegeven. Voor de vrijstaande woningen zijn de vier bouwjaar categorieën weergegeven voor isolatieniveau 1 in de vorm van een scatterplot. De compactheid (op de verticale as) staat uitgezet tegenover de specifieke netto warmtevraag (op de horizontale as). Per kleur liggen de punten (vrijwel) op een rechte lijn, waarmee een lineair verband is tussen compactheid en warmtevraag. Daarmee kan geconcludeerd worden dat de gebouwgeometrie van de woningen binnen een bouwjaarinterval vrijwel gelijk zijn.



Figuur 43: netto warmtevraag: vrijstaande woningen, niveau 1

Figuur 9: Netto warmtevraag van vrijstaande woningen op niveau 1 (figuur 43 uit Nieman rapport).

Nieman heeft voor de andere drie woningtypen eenzelfde soort scatterplots gemaakt. De hoekwoningen en tussenwoningen geven een vergelijkbaar resultaat als de vrijstaande woningen. De portiek/galerijwoningen zijn echter afwijkend. De scatterplot hiervan is te vinden in Figuur 10.



Figuur 48: netto warmtevraag: galerij, portiekwoningen, niveau 1

Figuur 10: Netto warmtevraag van galerij/portiek woningen op niveau 1 (figuur 48 uit Nieman rapport met groeperingen van de datapunten door EnergyGO).

Voor drie van de bouwjaarintervallen (< 1925, 1925-1965 en 1965-1995) lijken er steeds twee groepen punten aanwezig te zijn welke op een lijn liggen. Deze zijn in hun respectievelijke kleur omcirkeld.

Met betrekking tot de periode 1925-1965 is dit goed te verklaren: na de Tweede Wereldoorlog is door de grote woningnood het ontwerp en bouwwijze van galerij/portiek woningen veranderd (bijvoorbeeld: Bijlmerflats) en gericht op systeembouw. Dit in tegenstelling tot jaren 30 gestapelde bouw, welke een geometrie had die meer leek op een rijtjeswoning met meerdere verdiepingen. Een uitsplitsing van deze twee is mogelijk raadzaam.



Figuur 11: Hoogbouw uit 1930 (links) en 1950 (rechts).

Tussen 1965 en 1995 is het type hoogbouw ook veranderd. Tot halverwege jaren 70 werd gecontinueerd met het naoorlogse concept van voornamelijk galerijflats. Dit is ook goed te zien in de scatterplot, waarbij een van de oranje curves (periode 1925-1965) overlapt met een van de grijze curves (periode 1965-1995).

In de loop van de jaren '70 en begin jaren '80 lag de focus weer op laagbouw ("bloemkoolwijken"), waarna eind jaren 80 de taboe op hoogbouw weer verdween. Deze tweedeling in de periode 1965-1995 lijkt de tweedeling van de grijze punten te verklaren.

Met betrekking tot de bouwjaren < 1925 is het vinden van een verklaring, zonder over de werkelijke data de beschikking, lastig. Pakhuizen in Amsterdam die nu als appartementencomplex fungeren, dateren bijvoorbeeld al uit de 17^{de} eeuw.

4.1.2 Bouwbesluiten

Sinds 1995 zijn er minimumeisen voor de energieprestatie van nieuwe woningen. Deze eisen zijn door de jaren aangescherpt (o.a. 2003, 2008, 2012 en 2015), waarbij met name in de afgelopen 10 jaar flinke sprongen zijn gemaakt richting (bijna) energieneutrale (EPC=0) woningen.

De categorie woningen met bouwjaar > 1995 omvatten daardoor een brede variëteit aan woningen, waarbij in 20 jaar tijd de Rc waarden vrijwel zijn verdubbeld en U-waarden en kierdichtheid gehalveerd.

Nieman gaat uit dat alle woningen gebouwd na 1995 voldoen aan het bouwbesluit uit 1995 (Figuur 12), ook de (veel beter geïsoleerde) woningen die in 2019 zijn gebouwd.

Dit vormt echter geen probleem in het advies voor standaard en streefwaarden, omdat:

- De standaard en streefwaarden voor gesloten geveldelen op alle niveaus (dus ook niveau 4) gelijk zijn aan het bouwbesluit van 1995. Woningen gebouwd na 1995 hoeven dus geen isolatiemaatregelen te nemen om de hoogste streefwaarde te behalen.
- Streefwaarden (niveau 4) voor open geveldelen is wel aangescherpt. Het betreft hier een renovatie die (relatief) eenvoudig uit te voeren is, waarbij de nieuwere woningen in de periode 1995-2020 al reeds aan deze streefwaarden zullen voldoen en de oudere woningen uit deze periode vanuit noodzakelijk onderhoud hier een natuurlijk moment voor krijgen.
- Op niveau 3 en niveau 4 wordt de kierdichtheid aangescherpt. Ook hier geldt dat deze maatregel in de "oudere" woningen uit de periode 1995-2020 relatief makkelijk uit te voeren is, en nieuwere woningen reeds voldoen.

	Tussenwoning	2 [^] 1 kap	Vrijstaande woning	Appartement
Bouwjaar >1995				
Begane grond vloer	$R_c = 2,50 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 2,50 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 2,50 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 2,50 \text{ m}^2\text{K/W}$
Gevel	$R_c = 2,50 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 2,50 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 2,50 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 2,50 \text{ m}^2\text{K/W}$
Paneel	$R_c = 2,50 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 2,50 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 2,50 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 2,50 \text{ m}^2\text{K/W}$
Plat/hellend dak	$R_c = 2,50 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 2,50 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 2,50 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 2,50 \text{ m}^2\text{K/W}$
Ramen	$U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
Deuren	$U_d = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_d = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_d = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_d = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
Infiltratie	$q_{v,10} = 0,4 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$	$q_{v,10} = 0,4 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$	$q_{v,10} = 0,4 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$	$q_{v,10} = 0,4 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$
Ventilatiesysteem	Systeem D2 ¹⁾	Systeem D2 ¹⁾	Systeem D2 ¹⁾	Systeem D2 ¹⁾

¹⁾ Toelichting ventilatiesystemen:

- Ventilatiesysteem D2 houdt in: Mechanische toevoer, mechanische afvoer, met warmteterugwinning (WTW), zonder zonerings

Tabel 6: Rekenwaarden - Niveau 4

Figuur 12: Rekenwaarden voor bouwjaar > 1995 op niveau 4. (Tabel 6 uit het rapport van Nieman).

Vanuit een standaard en streefwaardenperspectief is het groeperen van alle woningen gebouwd na 1995 te verantwoorden, waarbij nieuwere woningen al reeds zullen voldoen aan de meest ambitieuze streefwaarden (niveau 4).

4.1.2.1 Afgiftesysteem

Bij het onderwerp afgiftesysteem is een kanttekening bij te plaatsen.

Woningen na 2005 zijn veelal ontworpen om met lagere aanvoertemperaturen (< 50 °C) te verwarmen. Daarnaast is in het afgelopen decennium in steeds meer woningen deels of geheel vloerverwarming gekomen. Deze woningen kunnen zonder aanpassingen aan isolatie of afgiftesysteem met nog lagere aanvoertemperaturen (< 40 °C) verwarmd worden en zelfs koelen in de zomer.

De berekeningen van Nieman met betrekking tot aanvoertemperaturen en afgiftesystemen gaan er echter van uit dat alle woningen, gebouwd na 1995, op niveau 1 worden verwarmd met 80 °C. Dit lijkt niet realistisch, waardoor er een te negatief beeld ontstaat van de haalbaarheid om met lage temperaturen de woning te kunnen verwarmen.

4.1.3 Spouw

Sinds 1918 zijn veel woningen gebouwd met een spouw, in eerste instantie met als doel het verminderen van vochtdoorslag, maar na de Tweede Wereldoorlog ook met als doel om de energieprestatie van de woning te verbeteren. Vanaf 1960 is een spouw verplicht. Vanaf 1995 dient de spouw ook wettelijk te worden geïsoleerd.

Tot 1945 was de spouwbreedte veelal niet meer dan 30mm, vanaf 1945 is een spouwbreedte van 50mm veelvoorkomend, vanaf 1970 is dit 70mm en vanaf 1985 100mm.

Om een spouw goed en kosteneffectief te kunnen isoleren, is een spouwbreedte van 50mm wenselijk. Een spouw met een breedte tussen de 30 en 50 mm is minder gemakkelijk te

isoleren. Vooraf moet de spouw eerst goed leeggemaakt worden, waaronder het verwijderen van overtollig mortel aan de binnenzijde van het buitenblad. Hier zijn extra kosten aan verbonden.

4.1.4 Discussie/Samenvatting

Uit bovenstaande aspecten volgt dat:

- Gestapelde bouw gecategoriseerd kan worden in drie perioden:
 - Voor 1945 (een mix van typen, soms enkele eeuwen oud zoals pakhuizen)
 - 1945-1975 (portiek- en galerijflats)
 - Vanaf 1975, en effectief na 1990, omdat in de periode 1975-1990 weinig hoogbouw is gebouwd.
- Qua isolatiemaatregelen die gericht zijn op het isoleren van een spouw er drie bouwperiodes onderscheiden kunnen worden:
 - Voor 1945 (geen of smalle spouw)
 - 1945-1995 (met een spouw die geïsoleerd kan worden)
 - Na 1995 (met een spouw die reeds geïsoleerd is).
- Qua afgiftesysteemtemperaturen 3 categorieën de onderscheiden zijn
 - Voor 1995 (80 °C)
 - 1995-2005 (< 80 °C)
 - Na 2005 (50 °C)

Het voorstel is dan om de volgende vier bouwjaarcategorieën te hanteren voor de berekeningen. Voor het maken van beleids- en subsidieprogramma's zou er nog voor gekozen kunnen worden om de bouwjaarcategorieën 1946-1975 en 1976-1995 samen te trekken, omdat de maatregelen die in deze woningen worden aanbevolen vergelijkend zijn.

- ≤ 1945
- 1946-1975
- 1976-1995
- > 1995

Voor de afgiftetemperatuur op niveau 1 (oplevering) wordt geadviseerd het volgende te hanteren voor de aanvoertemperatuur:

- 80 °C (≤ 1995)
- 65 °C (> 1995)

4.2 Hebben hogere streefwaardes meerwaarde?

In deze paragraaf is geanalyseerd of de streefwaarden in niveau 4 de hoogst haalbaar waarde zijn die praktisch bereikt kunnen worden en of een beter niveau een eventueel noemenswaardige energetische, comfort of financiële winst oplevert.

4.2.1 Gesloten geveldelen

De mate van warmteverlies door transmissie door gesloten geveldelen, zoals muren, daken en vloeren wordt weergegeven in warmteweerstandscoefficiënt R_c (m^2K/W).

Gegeven een geveldeel van $1 m^2$ met een R_c waarde van $1,0 m^2K/W$, een buitentemperatuur van $5 ^\circ C$ en een binnentemperatuur van $20 ^\circ C$. Het warmteverlies door dit geveldeel is dan gelijk aan $1 \times (20 - 5) / 1,0 = 15 W$.

Wordt dit geveldeel geïsoleerd met bijvoorbeeld 35 mm steenwol ($\lambda = 0,035 W/m/K$), dan neemt de R_c waarde toe met $1,0 m^2K/W$ tot $R_c = 2,0 m^2K/W$. Het warmteverlies is dan $1 \times (20 - 5) / 2,0 = 7,5 W$. Een verdubbeling van de R_c waarde levert (theoretisch) een halvering van het warmteverlies op. Een $R_c = 4 m^2K/W$ heeft dus een warmteverlies van $3,75 W$ (de helft van $7,5 W$).

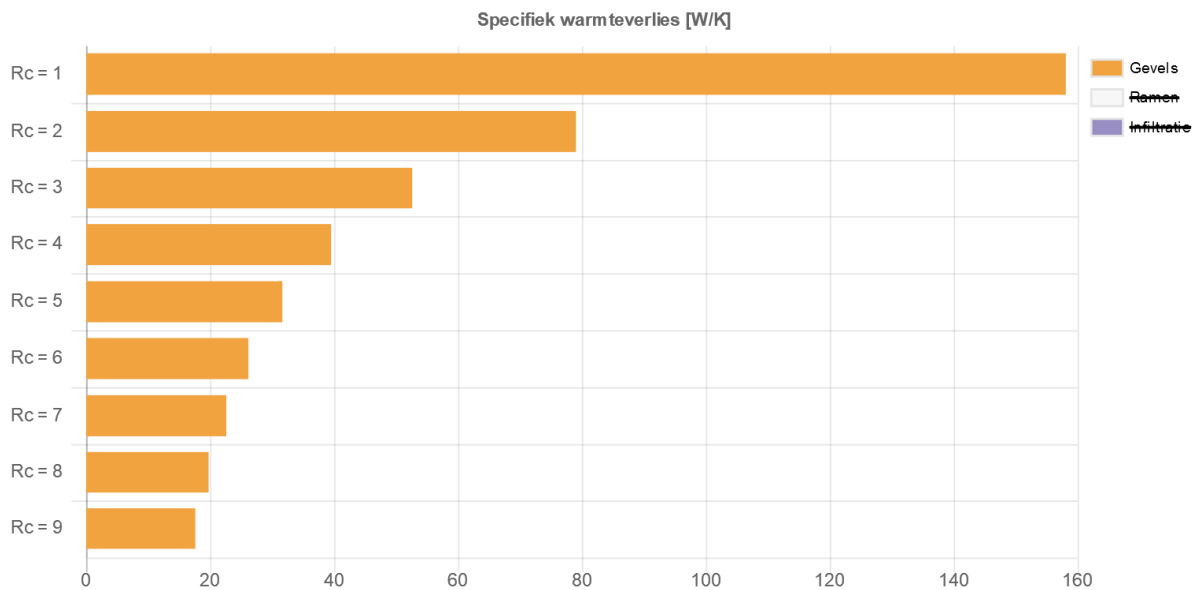
Bij het bepalen van de netto warmtevraag speelt echter ook de interne warmteproductie (als gevolg van zoninstraling, apparaten en personen) een belangrijke rol. Stel dat de interne warmteproductie $3 W$ is. In bovenstaande voorbeeld is de netto warmtevraag (vermogen) dan als volgt:

Rc waarde (m^2K/W)	1.0	2.0	4.0
Warmteverlies (W)	15	7,5	3,75
Netto warmtevermogen (W)	12	4,5	0,75

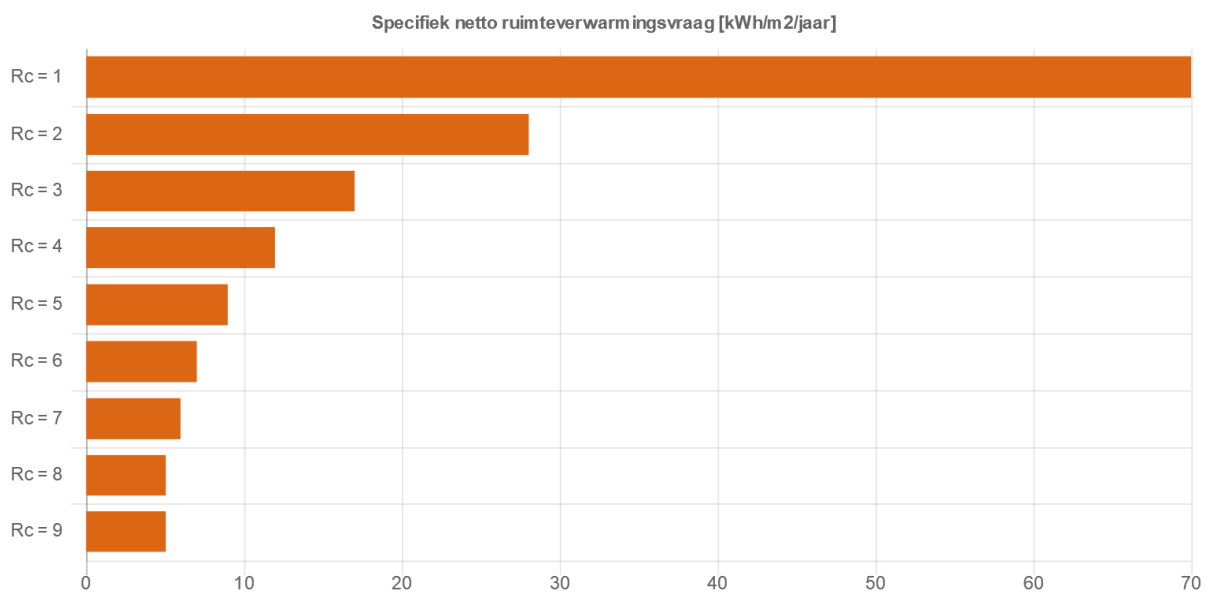
Hoewel het warmteverlies halveert bij een verdubbeling van de isolatiewaarde, neemt het benodigde warmtevermogen met veel meer dan de helft af. Bij een $R_c = 4 m^2K/W$ is het netto warmtevermogen bijna 0. Het verhogen van de R_c waarde levert dan (vrijwel) niets meer op.

Om dit beter uit te beelden zijn warmtevraagberekeningen uitgevoerd. Er is uitgegaan van een gemiddelde jaren 60 rijtjeswoning, welke reeds kierdicht ($0,4 dm^3/s/m^2$) is en over goed geïsoleerde beglazing beschikt. De R_c -waarde van de gesloten geveldelen (dak, vloer, en muren) zijn gevarieerd. In Figuur 13 is het specifiek warmteverlies van de gesloten geveldelen weergegeven. Op de verticale as staat de R_c waarde voor de geveldelen. De R_c waarde is in stappen van $1 m^2K/W$ berekend oplopend van $1 m^2K/W$ tot en met $9 m^2K/W$. Op de horizontale as staat het specifieke warmteverlies van de gesloten geveldelen. Dit is een gebouwkarakteristiek waarin weers- en gebruiksinvloeden geen impact op hebben. Het specifiek warmteverlies halveert bij een verdubbeling van de R_c -waarde, zoals in de vorige alinea reeds was geconcludeerd. Zo is het specifiek warmteverlies bij een R_c van $1 m^2K/W$ (bijna) $160 W/K$ en bij een R_c van $2 m^2K/W$, (bijna) $80 W/K$, een halvering van het warmteverlies. Bij een R_c van $4 m^2K/W$ is het specifiek

warmteverlies (bijna) 40 W/K en bij een Rc van 8 m²K/W (bijna) 20 W/K. Weer een halvering.



Figuur 13: Specifiek warmteverlies voor de gesloten geveldelen van een typisch Nederlandse rijtjeswoning voor verschillende Rc waarden voor de gesloten geveldelen.



Figuur 14: Netto warmtevraag van een typisch Nederlandse rijtjeswoning met goede kierdichting ($Q_v=0.4 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$) en geïsoleerd glas/kozijn ($U= 1 \text{ W}/\text{m}^2/\text{K}$ voor verschillende Rc waarden voor de gesloten geveldelen.

In Figuur 14 is de specifieke netto warmtevraag in kWh/m² weergegeven voor de verschillende isolatiewaarden. Er is geen rekening gehouden met eventuele vermindering van vloeroppervlak als gevolg van binnenisolatie (paragraaf 2.5). Het effect van de interne warmteproductie zorgt ervoor dat de netto warmtevraag bij relatief kleine Rc waarde sneller daalt dan het specifieke warmteverlies, bij hoge Rc waarde het effect van gevelisolatie vrijwel nihil. Zo is de warmtevraag bij een Rc van 1 m²K/W (ongeveer) 70 kWh/m²/jaar en bij een Rc van 2 m²K/W, (ongeveer) 28 kWh/m²/jaar, een reductie van 60%. Bij een Rc van 4 m²K/W is de warmtevraag (ongeveer) 12 kWh/m²/jaar en bij een Rc van 8 m²K/W (ongeveer) 6 W/K, een reductie van 50%.

Hieruit zou geconcludeerd kunnen worden dat isoleren met $R_c > 5$ m²K/W weinig en $R_c > 8$ m²K/W geen meerwaarde heeft. Dit is geen harde conclusie, omdat de grens waarbij isoleren geen significante bijdrage meer heeft aan het reduceren van de netto warmtevraag verschilt per woning.

De kosteneffectiviteit van een goede streefwaarde, hangt van vele factoren af. Om de R_c met 1 m²K/W te verhogen is ongeveer 35mm steenwol nodig. Die 35mm steenwol is dus nodig om van een $R_c = 1$ m²K/W naar een $R_c = 2$ m²K/W te komen, en ook om van een $R_c = 6$ m²K/W naar een $R_c = 7$ m²K/W te gaan. De 35mm extra isolatie levert bij slecht geïsoleerde woningen dus meer besparing op de netto warmtevraag dan bij goed geïsoleerde woningen, terwijl de (materiele) kosten gelijk zijn.

Daar komt nog bij dat vloeroppervlak een waarde heeft. Wordt de woning van binnenuit geïsoleerd, dan zal het verlies aan vloeroppervlak als gevolg van de eerste 35mm isolatie minder zwaar wegen dan de vijfde 35mm (17,5 cm). Vloeroppervlak is in Nederland relatief waardevol, waardoor er belemmeringen kunnen ontstaan om te isoleren tot de streefwaarden als deze te hoog worden gekozen.

Het is raadzaam bij het vaststellen van de streefwaarden de tijdslijn waarin het behalen van de streefwaarden wordt beoogd mee te nemen en ook de ruimte in deze tijdslijn om te innoveren. Het relatieve nieuwe Kooltherm, op basis van resolschuim, heeft bijvoorbeeld een betere isolatiewaarde dan het eerdergenoemde steenwol, waardoor 21 mm Kooltherm dezelfde isolatiewaarde heeft als 35 mm steenwol. Andere technieken, zoals vacuümpanelen en aerogelisolatie kunnen met nog minder dikte isoleren. Innovatie kan leiden tot dunnere, en net zo effectieve, isolatiematerialen tegen mogelijk lagere kosten. Wat vandaag niet kan, kan over 10 jaar misschien wel.

Tegenover de kosten van isoleren staan de kosten om de warmte te produceren en (eventueel) te distribueren om de netto warmtevraag in te vullen. Voor elektrische oplossingen (bijvoorbeeld een warmtepomp) zal een hogere netto warmtevraag ook een grotere warmtepomp vereisen, en dus hogere investeringskosten.

Ook warmtenetten worden groter en kostbaarder bij een hogere netto warmtevraag, omdat leidingen en pompen groter uitgevoerd worden. Daarnaast is de impact van een hogere netto warmtevraag op de kosten van een warmtenet bij lage temperatuur warmtenetten groter dan bij hoge temperatuur warmtenetten. Dit terwijl juist lage temperatuur warmtenetten eenvoudiger te verduurzamen zijn. Door minder te isoleren

kunnen daardoor mogelijk barrières tot het verder verduurzamen van de warmteopwekking (met bijvoorbeeld oppervlaktewater) ontstaan.

Hoewel het isoleren van de geveldelen boven een bepaalde streefwaarden op een gegeven moment niet kosteneffectief is vanuit een bouwkundig perspectief (d.w.z. de 'terugverdiëntijd' van isoleren), kan het (extra) isoleren wel leiden tot een verlaging van de kosten voor de gehele warmteketen. Belangrijk hierin is de kosten integraal te bekijken, inclusief (potentiele) warmteopwekkers en distributienetten.

EnergyGO is van mening dat een R_c waarde tussen de 5 en 8 m^2K/W als streefwaarde op papier de meeste waarde biedt, bekeken vanuit de gehele keten van warmteopwekker, distributie en afgifte. Kanttekening daarbij is dat er wel vanuit wordt gegaan dat er nog een innovatieslag gaat plaatsvinden in isolatiemateriaal en kosteneffectief renoveren. Het uitblijven van deze innovatie kan leiden dat deze R_c waarde in de praktijk te ambitieus bevonden zal worden.

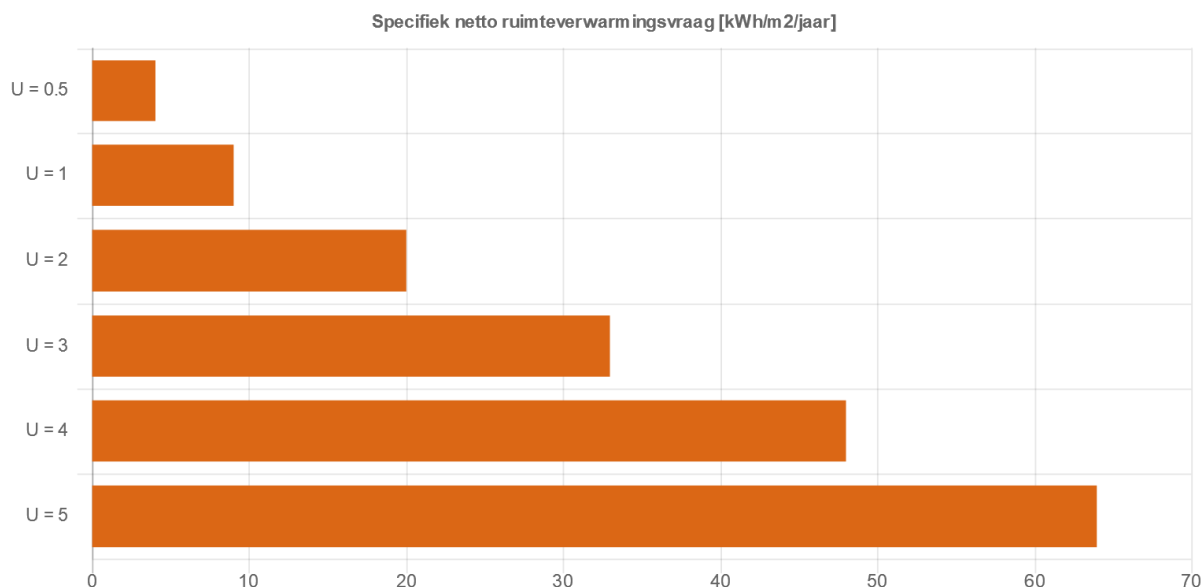
4.2.2 Open geveldelen

De isolatiewaarde van "open" geveldelen zoals ramen, raamkozijnen en deuren is uitgedrukt in een U waarde, welke equivalent is aan $1/R_c$. Standaard dubbele beglazing heeft bijvoorbeeld een U waarde van 3 $W/m^2/K$. Het equivalent is een R_c waarde van 0,33 m^2K/W

Kozijnen en beglazing hebben een veel lagere isolatiewaarde. De best isolerende beglazing op dit moment verkrijgbaar, triple glas (2 x 12 mm spouw), heeft een U-waarde van 0,5 $W/m^2 \cdot K$. Dit is equivalent aan een R_c -waarde van 2 m^2K/W . Gecombineerd met een goed isolerend kozijn, komt de U-waarde uit op (ongeveer) 1 $W/m^2 \cdot K$.

Deze isolatiewaarde is relatief laag ten opzichte van de isolatiewaarde van gesloten geveldelen. De interne warmtewinst speelt daarom nauwelijks een rol in de reductie van de netto warmtevraag als gevolg van het isoleren van het glas en kozijn. Sterker nog, isolerende beglazing laat doorgaans (iets) minder zonlicht door, waardoor de warmtewinst ook iets afneemt.

Het effect van een lagere U waarde voor de open geveldelen is weergegeven in Figuur 15. Duidelijk te zien is dat ook bij lage U-waarde ($\leq 1 W/m^2/K$) de reductie op de netto ruimteverwarmingsvraag nog altijd significant is.



Figuur 15: Netto warmtevraag van een typisch Nederlandse rijtjeswoning met goede kierdichting en geïsoleerde gesloten geveldelen voor verschillende U-waarden voor de open geveldelen.

EnergyGO is van mening dat een U streefwaarden zoals Nieman die heeft voorgesteld voor ramen (1,0 W/m²/K) en deuren (1,4 W/m²/K) realistisch en waardevol is. Een nog lagere U-waarde biedt meerwaarde in de reductie van de warmtevraag en heeft als voorwaarde dat er voldoende innovatie plaats vindt om deze ook praktisch en kosteneffectief toe te kunnen passen.

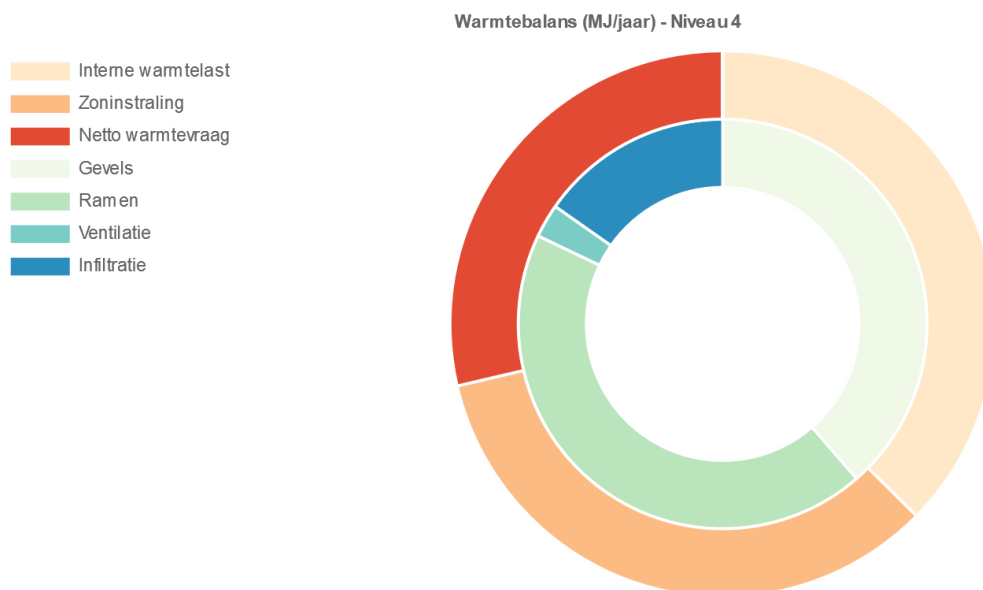
4.2.3 Infiltratie

Belangrijke factor in het bepalen van de streefwaarde voor kierdichting is wat in de praktijk haalbaar is. Een zeer goede kierdichte woning (passief huis) heeft een kierdichtheid van $qv_{10} = 0,15 \text{ dm}^3/\text{m}^2/\text{s}$. Voor een woning van 100 m² hebben de kieren dan gezamenlijk een oppervlak dat gelijk staat aan een rechthoek van ongeveer 18 x 2 cm groot, kleiner dan een standaard brievenbus.

Tot dusver is in de praktijk gebleken dat bij renovatie het uitermate lastig is om de waarde van $0,15 \text{ dm}^3/\text{m}^2/\text{s}$ te behalen. Het is de vraag of dit in de toekomst daadwerkelijk kosteneffectief haalbaar is. Nul-op-de-meter renovaties tussen 2010 en 2015 hebben laten zien dat een waarde van $0,4 - 0,5 \text{ dm}^3/\text{m}^2/\text{s}$ ambitieus en haalbaar is.

Kierdichting is echter wel een belangrijke factor in het reduceren van de netto warmtevraag en daarom zou de streefwaarde zo laag mogelijk moeten zijn als praktisch haalbaar. De streefwaarde van $0,4 \text{ dm}^3/\text{m}^2/\text{s}$ die Nieman voorstelt ziet EnergyGO ook als de best haalbare waarde die nog realistisch is.

Bij een $R_c = 6 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ voor de gesloten geveldelen en een $U = 1 \text{ W}/\text{m}^2/\text{K}$ voor de open geveldelen, maakt infiltratie bij een $qv_{10} = 0,4 \text{ dm}^3/\text{m}^2/\text{s}$ voor ongeveer 15% deel uit van de totale warmteverliezen (binnencirkel) in een gemiddelde Nederlandse rijtjeswoning, zoals weergegeven in Figuur 16. De buiten cirkel van de warmtebalans is de warmtewinst.



Figuur 16: Warmtewinst (buitencirkel) en warmteverlies (binnencirkel) per categorie in een geïsoleerde typische Nederlandse rijtjeswoning. Bron: Energeyes rekensoftware

4.2.4 Samenvatting

- Een R_c tussen de 6 en 8 m^2K/W voor de gesloten geveldelen (dak, vloer, muren) is de hoogste streefwaarde welke nog waarde toevoegt. Innovatiestimulatie is mogelijk nodig om deze streefwaarde in de praktijk kosteneffectief en met minimaal verlies in woonoppervlak te kunnen toepassen.
- Een U -waarde van 1,0 $W/m^2/K$ voor glas met kozijn is de hoogste streefwaarde welke op dit moment praktisch haalbaar is.
- Een U -waarde van 1,4 $W/m^2/K$ voor deuren is een realistische streefwaarde welke nog waarde toevoegt.
- Een kierdichting van $qv_{10} = 0,4 \text{ dm}^3/m^2/s$ lijkt in de praktijk bij renovatie op dit moment het maximaal haalbare.

In het algemeen onderschrijft EnergyGO de waarden die Nieman heeft voorgesteld voor niveau 4 als maximaal (nuttig) haalbare streefwaarde.

4.3 Verschillende streefwaarden voor verschillende bouwdelen

De vraag vanuit de begeleidingscommissie is of de 8 bouw- en installatiedelen die zijn gehanteerd door Nieman voldoende uitsplitsing is van het werkelijk aantal bouw- en installatiedelen die (mogelijk) in of op een woning gevonden wordt. Een belangrijke afweging in dit vraagstuk is de complexiteit in beleid die veel verschillende streefwaarden met zich meebrengt tegenover de praktische haalbaarheid van één streefwaarde voor meerdere type bouwdelen. Dit is een uitermate lastige afweging.

Nieman hanteert acht verschillende streefwaarden voor de verschillende bouw en installatiedelen.

Bouwjaar 1965-1995

Begane grond vloer	$R_c = 0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$
Gevel	$R_c = 0,35 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 0,35 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 0,35 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 0,35 \text{ m}^2\text{K/W}$
Paneel	$R_c = 0,23 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 0,23 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 0,23 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 0,23 \text{ m}^2\text{K/W}$
Plat/hellend dak	$R_c = 0,35 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 0,35 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 0,35 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_c = 0,35 \text{ m}^2\text{K/W}$
Ramen	$U_w = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_w = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_w = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_w = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$
Deuren	$U_d = 3,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_d = 3,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_d = 3,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_d = 3,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
Infiltratie	$q_{v,10} = 3,0 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$	$q_{v,10} = 3,6 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$	$q_{v,10} = 4,2 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$	$q_{v,10} = 1,8 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$
Ventilatiesysteem	Systeem C4a ¹⁾	Systeem C4a ¹⁾	Systeem C4a ¹⁾	Systeem C4a ¹⁾

Als voorbeeld, bij een lage streefwaarde kan een schuin dak relatief eenvoudig van binnenuit worden geïsoleerd door isolatiemateriaal tussen de dakspanten te plaatsen. Een plat dak (meestal een omgekeerd of warm dak) vereist dat de isolatie van buitenaf wordt aangelegd, met uiteindelijk een nieuwe laag dakbedekking. De kosten en inspanning tussen deze twee daken zijn zeer verschillend. Wordt er gekozen voor een hoge streefwaarde, dan zal ook het schuine dak van buiten geïsoleerd moeten worden. Het ophogen van een schuin dak is een kostbaarder en een complexere aangelegenheid dan voor een plat dak. Aanvullend, het is makkelijker om een plat dak van een flatgebouw op te hogen, dan een plat dak van een dakkapel of uitbouw.

Er zijn veel verschillende bouwdelen. Een niet uitputtende selectie:

- Vloer (begane grond)
- Gesloten gevel aan de buitenlucht
- Gesloten gevel aan een onverwarmde ruimte (bijv. bijkeuken/schuur of galerij)
- Schuin dak (zadeldak, maar ook varianten zoals mansardedak en schilddak)
- Plat dak
- (Vul)panelen boven deuren en boven/onder ramen
- Ramen met kozijn
- Dakkapel(wangen)
- Dakopbouw
- Erker
- Lichtkoepel

- Uitbouw (met eigen vloer en dak)
- Toegangsdeuren vanuit buiten (voor deur/tuin deur)
- Toegangsdeuren vanuit een binnenruimte (galerij of hal)
- Balkondeuren

4.3.1 Deuren

De voor deur, achter deur, tuin deur(en) en balkon(deuren) spelen vrijwel allemaal dezelfde rol in de energiebalans: zij vormen een barrière tussen de binnenlucht en de buitenlucht. Gezien het oppervlak van deze deuren ($\sim 2 \text{ m}^2/\text{deur}$) is het wenselijk dat zij geïsoleerd worden. Voor al deze type deuren zijn geïsoleerde varianten verkrijgbaar die voldoen aan de gestelde standaard en streefwaarden.

Een bijzondere deur is de toegangsdeur naar een appartement, welke vanuit een (gesloten) galerij of hal bereikbaar is. Deze type deur zorgt voor een barrière tussen de binnenlucht en de onverwarmde lucht in de hal/galerij. De temperatuur van de onverwarmde lucht in de hal/galerij zal in de wintermaanden hoger zijn dan de buitenlucht. Het effect van een geïsoleerde deur op de netto warmtevraag is daardoor relatief kleiner, en daarmee ook de financiële prikkel.

De isolatiewaarde van goed geïsoleerde deuren ($U = 1,4 \text{ W/m}^2/\text{K}$) is nog altijd relatief laag ten opzichte van bijvoorbeeld een gevel of een dak. Daarnaast hebben deuren een relatief groot oppervlak ($2 - 2,5 \text{ m}^2$). Een typische geïsoleerde deur heeft nog altijd een specifiek warmteverlies van zo'n $3,0 \text{ W/K}$. Ter vergelijking, een dak met oppervlak van 36 m^2 en een R_c van $6 \text{ m}^2\text{K/W}$ heeft een specifiek warmteverlies dat slechts twee keer zo groot is dan de deur.

Een goed geïsoleerde deur heeft daarom altijd meerwaarde, ook al is de deur geplaatst in een onverwarmde ruimte. Voor alle toegangsdeuren kunnen daarom dezelfde standaard en streefwaarden worden gehanteerd.

4.3.2 Gevels

Er zit een wezenlijk verschil tussen gesloten geveldelen die grenzen aan de buitenlucht en geveldelen die aansluiten aan een onverwarmde ruimte. De onverwarmde ruimte is in de wintermaanden warmer dan de buitenlucht, waardoor verliezen lager zullen zijn. Belangrijker is het type gevel grenzend aan de onverwarmde ruimte. Daar waar een gevel grenzend aan de buitenlucht bijvoorbeeld zou kunnen beschikken over een spouw die nog geïsoleerd kan worden, kan de gevel grenzend aan de onverwarmde ruimte bijvoorbeeld een enkelsteens muur zijn. De isolatiemaatregelen om een standaard of streefwaarde te behalen verschillen daardoor.

Het bouwbesluit hanteert voor nieuwbouwwoningen voor geveldelen grenzend aan de buitenlucht en geveldelen grenzend aan een onverwarmde ruimte dezelfde R_c waarde.

Vanuit dit perspectief zou het logisch zijn om de twee verschillende type geveldelen onder dezelfde noemer te plaatsen, met de kanttekening dat de isolatiemethode mogelijk verschilt.

4.3.3 Bijzondere bouwdelen

Bijzondere bouwdelen, zoals een uitbouw, opbouw, dakkapel, erker en aangesloten bijgebouw zijn er in vele vormen en varianten. Het bouwbesluit voor nieuwbouw stelt isolatie-eisen aan deze bouwdelen die gelijk of vrijwel gelijk zijn aan de reguliere (dak, gevel, raam, vloer) bouwdelen.

Afweging die gemaakt moet worden of bestaande objecten van deze bouwdelen praktisch gezien kosteneffectief geïsoleerd kunnen worden tot de standaard en streefwaarden van de reguliere bouwdelen, of dat zij een eigen onderdeel worden binnen de standaard en streefwaarden.

Of een bouwdeel geïsoleerd kan worden hangt van woning tot woning af. Dakkapellen zijn bijvoorbeeld doorgaans lastig na te isoleren. De grote verscheidenheid maakt het ook lastig om een standaard en streefwaarde vast te stellen. De grotere bouwdelen (zoals een aanbouw) bestaan op hun beurt weer uit kleinere bouwdelen (gevel, dak, vloer, ramen). Daarnaast zal er nooit een uitputtende lijst ontstaan waarin alle type bouwdelen zijn omvat.

Daarin zit de crux. Er zijn zodanig veel 'bijzondere' bouwdelen met elk weer sub-bouwdelen dat het ondoenlijk is om voor deze allemaal in een standaard en streefwaarde vast te leggen.

Standaard en streefwaarden als hulpmiddel om een woning (spijtloos) te renoveren zijn een indicatie van de te behalen isolatiewaarde. Enige vrijheid daarin of de gevel van een dakkapel als 'gevel' of als 'paneel' wordt aangemerkt zou dan mogelijk moeten zijn. Het uiteindelijke doel is zodanig isoleren dat de woning zonder verdere isolatiemaatregelen kosteneffectief van het aardgas af kan.

In geval dat de standaard en streefwaarden een wettelijke verplichting zijn, is het noodzakelijk een zekere mate van flexibiliteit en vrijstelling/uitzondering toe te staan, zodat wooneigenaren niet worden geconfronteerd met onmogelijke isolatie uitdagingen.

4.3.4 Samenvatting

De door Nieman opgestelde lijst met 8 bouwdelen met verschillende streefwaarden wordt door EnergyGO gezien als een realistische uitsplitsing. Verdere uitsplitsing leidt tot complexiteit en het opstellen van een uitputtende lijst is haast een ondoenlijke zaak.

Wel belangrijk is dat er voldoende flexibiliteit of (bij wettelijke verplichting) vrijstelling/uitzondering mogelijk is als een (bijzonder) bouwdeel niet praktisch en kosteneffectief naar de gewenste standaard of streefwaarde geïsoleerd kan worden.

4.4 Verschillende streefwaarden per bouwdeel

In navolging van paragraaf 4.3 is een ander vraagstuk of voor een bouwdeel verschillende streefwaarden gehanteerd moet worden, bijvoorbeeld een andere streefwaarde voor dakisolatie van binnenuit dan bij het renoveren van het gehele dak

Om bij het dak te blijven, de dikte van de dakspanten limiteert meestal de mate van binnenisolatie dat mogelijk is. Bij een schuin dak zal er op een gegeven moment onvoldoende ruimte aan de binnenzijde zijn voor dikkere isolatie. Voor een hogere isolatiewaarde is dan isolatie aan de buitenkant noodzakelijk.

Voor geveldelen speelt dit in veel mindere mate. Isoleren vanuit de binnenzijde kan dezelfde isolatiewaarde halen als isoleren vanuit de buitenzijde. Er zijn hierin geen technische belemmeringen. Echter, binnen isolatie verkleint het vloeroppervlak van de woning. Zoals in paragraaf 4.2 reeds is aangegeven heeft het vloeroppervlak ook een waarde, zowel emotioneel als financieel. Hierdoor ontstaat er een zachte limiet op de dikte van de binnenisolatie, welke van woning tot woning kan verschillen. Techniek kan hierin deels een oplossing vormen door beter isolerende materialen te ontwikkelen waardoor de benodigde dikte van het isolatiemateriaal afneemt.

Welstandsregels en bouwen buiten de rooilijn kunnen buitenisolatie beperken aan de voorgevel. Dit geldt in mindere mate voor de achtergevel.

Bij ramen speelt dit veel minder. Het vervangen van dubbel glas door HR++ glas is eenvoudig en kan vrijwel altijd in het bestaande kozijn. Voor triple glas is mogelijk een nieuw kozijn nodig, welke op dat moment sowieso wenselijk is vanwege de betere isolatiewaarde van het nieuwe kozijn.

In zekere mate zijn er echter al verschillende streefwaarden per bouwdeel door Nieman opgesteld, middels het systeem van niveaus. Uit de isolatiewaarde is duidelijk op te maken dat voor niveau 2 en 3 is gekozen voor relatief eenvoudige isolatiemaatregelen, zoals spouwmuurisolatie en isoleren van het dak aan de binnenzijde, terwijl niveau 4 ambitieuzere streefwaarden stelt.

Het vraagstuk of er meerdere streefwaarden per bouwdeel nodig zijn, afhankelijk van de gekozen oplossing, is daardoor eigenlijk alleen van toepassing op niveau 4. Zoals reeds eerder aangegeven, zijn de streefwaarden in niveau 4 technisch haalbaar, al zijn er mogelijk niet-technische barrières, voor zowel isoleren vanuit de binnenzijde en buitenzijde.

Op het moment dat niveau 4 een verplichting zou worden voor alle wooneigenaren, dan is het ook noodzakelijk dat alle wooneigenaren de beschikking hebben over 1 oplossing welke

niet gehinderd wordt door niet-technische barrières. Anders ontstaat er een verplichting welke voor sommige wooneigenaren onredelijk veel impact heeft op hun woning (bijvoorbeeld significant verlies van vloeroppervlak). Op dat moment wordt het wenselijk dat streefwaarden praktisch haalbaar zijn, waardoor de noodzaak ontstaat om meerdere streefwaarden per bouwdeel te hanteren. Dit is anders als niveau 4 als aanbevolen streefwaarden wordt gehanteerd. Er is dan geen verplichting, en wel een wenselijkheid om tot dit niveau te renoveren. Wooneigenaren met woningen welke reeds een acceptabel oplossing kennen, zijn vrij de maatregelen nemen. Voor wooneigenaren met woningen waarvoor bestaande oplossingen nog niet acceptabel zijn creëren een potentiële markt en stimuleren daarmee technische en procesmatige innovatie voor nieuwe oplossingen, bijvoorbeeld dunnere binnenisolatie. Vanuit dit perspectief is 1 streefwaarde voor een bouwdeel voldoende.

4.4.1 Samenvatting

EnergyGO is van mening dat zolang niveau 4 geen verplichting is, maar een vrijwillig doel, het niet nodig is om meerdere streefwaarden per bouwdeel te definiëren. Dit geeft keuzevrijheid in de (technische) oplossing en stimuleert de innovatie van nieuwe oplossingen.

Bij een verplichting van niveau 4 zijn meerdere streefwaarden per bouwdeel wel noodzakelijk om te zorgen dat alle wooneigenaren in de praktijk in alle redelijkheid maatregelen kunnen nemen.

Standaard/streefwaarden in niveau 2 en 3 zijn zodanig realistisch, dat er in principe geen belemmeringen zijn om deze te behalen en meerdere streefwaarden per bouwdeel dan ook niet noodzakelijk zijn.

4.5 Is isoleren naar de standaard aardgasvrij-ready?

Een van de motieven voor het opstellen van standaard en streefwaarden is dat eigenaren hun woning kunnen voorbereiden om van de energiebron aardgas af te stappen. Dit vraagt andere oplossingen voor de ruimteverwarming en het bereiden van tapwater en koken. Dit onderzoek gaat alleen in op de ruimteverwarming. Oplossingen voor tapwater bereiden en koken is een los vraagstuk buiten scope.

Eén van de vraagstukken is de isolatiegraad van de woning. Is de standaard voldoende om de woning op een later moment aardgasvrij te maken, of bestaat er een risico dat gebouwdelen opnieuw moeten worden aangepakt.

Op papier zijn oplossingen te vinden die een woning aardgasvrij kunnen maken, zonder dat er geïsoleerd hoeft te worden. Denk bijvoorbeeld aan groen gas in een cv-ketel. In de praktijk zal er zeer waarschijnlijk onvoldoende groen gas zijn om heel Nederland, laat staan heel Europa te voorzien.

Het isolatiegraad vraagstuk staat blijkbaar in een veel breder perspectief namelijk: een volledige (duurzame) energievoorziening, inclusief bronnen, conversie, transport, distributie en afgifte.

EnergyGO is daarbij van mening dat de te nemen uitdaging op dit vlak eerder van sociaaleconomische en beleidsmatige aard zijn en niet zo zeer van technische aard.

Een volledig theoretische exercitie waarin woningen niet worden geïsoleerd en waarvan ruimteverwarming wel wordt verduurzaamd:

Er zijn 7,5 miljoen woningen in Nederland met een gemiddelde netto ruimteverwarmingsvraag van 35 GJ per jaar. Stel dat we in Nederland alle woningen op een hoog-temperatuur warmtenet aansluiten, dat wordt gevoed uit hoog temperatuur ondergrondse opslag (bijv. het principe van Ecovat). De warmteopslag is met elektrische elementen verwarmd, enkel gevoed uit zonnepanelen. Een hectare grond kan ongeveer 1 MWp aan zonnepanelen kwijt, welke 1 GWh per jaar opleveren. Rekening houdend met zo'n 30% opslag en distributieverliezen is er in totaal zo'n 1.100 km² aan grond nodig om alle zonnepanelen kwijt te kunnen. Dat is een oppervlak ter grootte van het IJsselmeer. Zonder woningen te isoleren is elke woning duurzaam verwarmd. Totale kosten zijn ruwweg 1,2 biljoen euro³, zo'n 160 duizend euro per woning. Let wel, dit is zonder de verduurzaming van tapwater en kookgas en zonder de verduurzaming van niet-woongebouwen zoals kantoren.

In paragraaf 4.2 is aangetoond dat bij slecht geïsoleerde woningen een kleine sprong in de R_c -waarde al een grote impact heeft op de netto warmtevraag. Als de typische rijtjeswoning uit deze paragraaf een sprong maakt van $R_c = 1 \text{ m}^2\text{K/W}$ naar $R_c = 2 \text{ m}^2\text{K/W}$

³ Ruwweg 500 miljard voor warmtenet + 300 miljard voor warmteopslag + 100 miljard voor zon + 200 miljard inpolderen IJsselmeer + 100 miljard elektriciteitsinfrastructuur

(zonder dat open geveldelen of kierdichting wordt aangepast), daalt de netto warmtevraag met zo'n 30% en daarmee ook de kosten in bovenstaande theoretische exercitie.

Het isoleren van woningen zorgt ervoor dat de totale maatschappelijke kosten van de gehele energietransitie aanzienlijk lager worden. Of en waar een omslagpunt ligt tussen isoleren en energiebron/distributie is minder gemakkelijk te kwantificeren.

Een ander aspect om mee te nemen is de financierbaarheid en verdeling van kosten. Wooneigenaren in oudere woningen moeten mogelijk meer kosten maken om de standaard en streefwaarden te behalen dan wooneigenaren van nieuwere woningen. Deze ongelijkheid kan ertoe leiden dat wooneigenaren, die mogelijk veel kosten moeten maken om te isoleren liever kiezen voor investeringen die over de gehele maatschappij worden verdeeld. Er zijn beleidsmatige methoden om deze ongelijkheid weg te nemen, door bijvoorbeeld wooneigenaren die hogere kosten moeten maken om de streefwaarde te behalen meer subsidie of financieringsconstructies te geven. De kosten voor verduurzaming worden dan middels de algemene middelen (belastingen) meer verdeeld over de maatschappij.

Daarnaast zijn er beleidsmatige aspecten. In bovenstaande exercitie is er aangenomen dat het IJsselmeer wordt ingepolderd, iets wat vanuit vele niet-technisch-economische invalshoeken als onwenselijk beschouwd zou kunnen worden. Ook bijvoorbeeld een wens om niet of minder afhankelijk te zijn van buitenlandse energiebronnen (bijvoorbeeld zonneparken in de Sahara, waterstof uit Dubai). Deze beleidsmatige keuzes beperken de beschikbaarheid van energiebronnen, waardoor vraagreductie een noodzaak wordt om alsnog 100% aardgasvrij te kunnen worden.

Vanuit een technisch oogpunt is isoleren geen voorwaarde om alle woningen in Nederland aardgasvrij te krijgen. Vanuit economische, beleidsmatige, ruimtelijke ordening en maatschappelijke acceptatie speelt isoleren wel een belangrijke rol. Een integrale benadering is daarbij onontbeerlijk, vanwege de wisselwerking tussen de mate van isolatie (vraagreductie) en de duurzame warmtebronnen en infrastructuur die de warmtevraag gaan invullen.

4.5.1 Samenvatting

EnergyGO is van mening dat vanuit een technisch oogpunt, aardgasvrij verwarmen altijd bereikbaar is, ook zonder te isoleren. Vanuit een financieel en beleidsmatig perspectief is het isoleren van woningen wel wenselijk. De mate van isoleren, d.w.z. de gewenste standaard en streefwaarden, hangen af van de beleidsmatige keuzes die worden gemaakt, waarbij een integrale benadering van het gehele warmtesysteem nodig is.

4.6 De hoogte van de standaard in relatie tot warmtenetten

Een belangrijk aspect van de standaard en streefwaarden is woningen gereed maken voor warmtenetten met lagere aanvoertemperaturen (70 °C, 50 °C of lager). De vraag daarbij is of de door Nieman voorgestelde standaard en streefwaarden voldoende zijn om woningen op deze warmtenetten aan te kunnen sluiten zonder dat het comfort verloren gaat.

Standaard en streefwaarden hebben impact op twee factoren: de totale netto warmtevraag per jaar van de woning en het vermogen aan warmte dat geleverd moet worden om de woning op temperatuur te houden.

Het afgiftesysteem bepaalt het vermogen waarmee warmte afgegeven wordt aan de woning bij een gegeven (water)aanvoertemperatuur. Hoe lager de temperatuur, hoe minder vermogen hetzelfde afgiftesysteem levert. Er zijn meer afgiftesystemen (groter oppervlak) nodig zijn.

Als deze temperatuur lager is dan de aanvoertemperatuur van de cv-ketel waarmee de bestaande woning voorheen werd verwarmd, neemt het vermogen van het bestaande afgiftesysteem af. Er zijn dan twee opties: meer/groter afgiftesysteem installeren of het benodigde warmtevermogen verminderen door te isoleren.

Isoleren is vanuit dit perspectief geen noodzaak omdat een alternatief mogelijk is namelijk, het vergroten van het afgiftesysteem. Er ligt hier dus een relatie tussen de aanvoertemperatuur, de standaard/streefwaarde voor isolatie en de grootte van het afgiftesysteem. De uiteindelijke afweging is financieel en organisatorisch (gedoe factor), waarbij er gekeken moet worden naar drie aspecten: afgiftesysteem, warmtebron, warmtenetwerk.

Een lagere aanvoertemperatuur betekent een groter afgiftesysteem, of verlaging van de vermogensvraag, of een combinatie van beide maatregelen. Vanuit de woning gezien is deze afweging een kosten-baten analyse: welke investering levert het meeste op. Daarbij levert isolatie ook nog een besparing op de energierekening op. Verwachting is daardoor dat isolatie bij slecht geïsoleerde woningen veel kosten effectiever is dan het vergroten van het afgiftesysteem. Waar deze grens precies ligt is zonder een uitgebreide gevoeligheidsanalyse niet te zeggen. EnergyGO schat in dat isolatiemaatregelen t/m niveau 3 kosten effectiever zullen zijn om de vermogensvraag te reduceren dan het vergroten van het afgiftesysteem.

In de financiële afweging zijn de kosten van de warmtebron een variabele. Op dit moment zijn veel hoge temperatuur (> 70 °C) warmtebronnen relatief goedkoop, omdat zij voortkomen uit restwarmte uit (fossiele) verbranding, zoals warmtekrachtcentrales (WKK/STEG) en afvalverbrandingsinstallaties. Verwachting is dat deze bronnen op de langere termijn (> 10 jaar) minder beschikbaar zullen zijn, waardoor de kosten voor het genereren van hoogtemperatuur warmte kostbaarder zal worden. Op dit moment is er wel

veel laagtemperatuur restwarmte beschikbaar. Daarnaast is de verwachting dat de vraag naar koude ook toe zal nemen, waardoor meer uitwisseling tussen koudevraag en laagtemperatuur warmtevraag mogelijk is. Vanuit een kostenperspectief, duurzaamheid en beschikbaarheid van warmtebronnen is een lagere aanvoertemperatuur wenselijk.

Daarnaast zijn er de kosten voor het warmtenetwerk. Een belangrijke factor in deze kosten is het piekvermogen dat het netwerk moet transporteren. Een hoger vermogen betekent grotere of meer onderstations en dikkere leidingen. Voor warmtenetten met lagere temperaturen is dit effect sterker dan bij warmtenetten met hogere temperaturen, omdat de aanvoertemperatuur en retourtemperatuur dichter bij elkaar liggen (de "Delta-T"), waardoor er meer water verpompt moet worden om hetzelfde vermogen te leveren. De enige manier om het piekvermogen van het warmte netwerk te reduceren is door de vermogensvraag van woningen naar beneden te brengen door te isoleren, waarbij er een balans gevonden zal moeten worden tussen de kosten voor isolatie en de kosten voor het warmtenet. In dit balanceren zitten enkele split incentives. De belangrijkste zijn

- Gebouwbeheerder versus warmtebedrijf
- Warmtenetwerk versus elektriciteitsnet
- Warmtelevering versus stedelijke ruimte
- Gebouweigenaar versus gebouwgebruiker

Praktijkervaringen met laagtemperatuur warmtenetten (< 40 °C) in Nederland leren dat een woning minimaal energielabel B en bij voorkeur energielabel A heeft om een business case voor het warmtebedrijf rond te krijgen, zonder dat de energierekening van de wooneigenaren stijgen.

4.6.1 Samenvatting

De hoogte van de standaard om een bepaalde warmtenet aanvoertemperatuur te kunnen ondersteunen komt dus niet zozeer voort uit de reductie in warmtevraag, maar uit de optimalisatie van systeemkosten, inclusief infrastructuur en bron. Waar het optimum ligt is een uitermate complexe berekening die per wijk zal verschillen.

De inschatting van EnergyGO is dat isoleren tenminste tot en met niveau 3 vanuit het oogpunt van systeemkosten wenselijk zou zijn. Praktijkervaring met lage temperatuur warmtenetten leert dat een kosteneffectieve business case alleen haalbaar is met woningen met energielabel B en A.

4.7 Statisch versus dynamisch rekenmodel

Nieman heeft de warmtevraagberekeningen uitgevoerd met behulp van de BENG-rekenmethodiek zoals gedefinieerd in NTA8800:2019-06. Deze rekenmethodiek is een statische rekenmethodiek. Een vraag vanuit de begeleidingscommissie is of een dynamische rekenmethodiek meer houvast kan bieden.

Een statische rekenmethodiek is een berekening waarbij er uitgegaan wordt dat in elke tijdsperiode uitgegaan wordt van een evenwichtssituatie. In andere woorden, de berekening in een tijdsperiode is volledig onafhankelijk van (de resultaten van) de berekening in een andere tijdsperiode.

De NTA8800 rekt met 12 tijdsperiode (de 12 maanden). Het is mogelijk om voor een willekeurige maand (bijv. maart) de netto warmtevraag bepalen, zonder dat een van de andere maanden (bijv. en februari) doorgerekend hoeft te worden.

Bij een dynamisch model is dit niet het geval. Er is van nature geen evenwicht binnen de tijdsperiode, waardoor resultaten uit eerdere tijdsperioden doorwerken in de volgende tijdsperiode. Het berekenen van de netto warmtevraag van maand maart kan dan alleen als ook de maanden januari en februari berekend zijn.

Een dynamisch model is complexer, vereist vaak meer input en is daardoor ook gevoeliger voor fouten of onnauwkeurigheden in de input ("garbage in is garbage out"). Het gebruik van een dynamisch model moet dus wel een doel hebben, anders heeft een statisch model vanuit eenvoud de voorkeur.

Er zijn verschillende statische (bijv. NEN7120, NTA8800) en dynamische (Energyeyes, TRNSYS) rekenmodellen om gebouwen thermisch (warmte en/of koude vraag) te modeleren. Belangrijke aspecten in dynamische modellen zijn het meenemen van het gebruikersgedrag en nauwkeuriger berekeningen van de zoninstraling.

Het ontbreken van gedragsaspecten in de NEN7120 berekening heeft een duidelijke impact op de nauwkeurigheid van de warmtevraagberekeningen. OTB/TU Delft heeft in een studie in 2014⁴ bijvoorbeeld geconcludeerd dat voor label F/G woningen de warmtevraag door de NEN7120 wordt overschat ten opzichte van de praktijk en voor label A/B woningen wordt onderschat. De ervaringen van EnergyGO met TRNSYS en het eigen Energyeyes is dat door het meenemen van gebruikersgedrag een resultaat wordt behaald dat dicht bij de werkelijkheid ligt. Bij het adviseren van individuele wooneigenaren is dit uitermate belangrijk, omdat beoogde maatregelen moeten passen bij de woonstijl van de bewoners.

⁴ <https://www.rekenkamer.amsterdam.nl/content/uploads/2014/11/OTB-TU-Delft-Relatie-tussen-huishoudenskenmerken-en-gedrag-energielabel-en-werkelijk-energiegebruik.pdf>

Zoninstraling is een ander aspect die in statische modellen lastig is te modelleren. Effecten als een koude lente dag (verwarming noodzakelijk) met een stevig namiddagzonnetje (passieve verwarming van de woning door de zon, geen verwarming meer noodzakelijk) is in statische modellen alleen mee te nemen met behulp van correctiefactoren. Dit leidt tot onnauwkeurigheden. Hoe groter de rol van zoninstraling bij het verwarmen van de woning, hoe groter de gevoeligheid in deze onnauwkeurigheid. Goed geïsoleerde woningen zijn dus veel gevoeliger voor rekenfouten met betrekking tot zoninstraling dan slecht geïsoleerde woningen.

Het geluid uit de markt dat EnergyGO kreeg met betrekking tot de NEN7120 klonk dat de rekenmethodiek moeite heeft om de effecten van zoninstraling op een goed geïsoleerde woning goed mee te nemen, waardoor onnauwkeurigheden ontstonden. De NTA8800 is een nieuwe norm en er zijn nog relatief weinig berekeningen die aan de praktijk getoetst kunnen worden. Zoninstraling zal een aandachtspunt worden.

Daarentegen is de NEN7120 een effectief beleidsmiddel gebleken om een energieprestatie op eenduidige en uniforme wijze toe te kennen aan een woning.

4.7.1 Koelvraag

Aanvullend daarop is het bepalen van de koelvraag. Goed geïsoleerde woningen hebben doorgaans meer koudevraag, omdat warmte in de zomermaanden niet goed weg kan. De warmte komt de woning voornamelijk binnen via zoninstraling. Koelvraag was in de NEN7120 een onderbelicht punt. In de NTA8800 is hier wel aandacht voor. Echter de ervaring ontbreekt nog of de rekenmethodiek voldoende nauwkeurig is om koelvraag te kunnen bepalen.

De ervaring van EnergyGO met koellastberekeningen in Energyeyes leert dat gebruikersgedrag en management van zoninstraling, bijvoorbeeld door ramen/deuren 's nachts te openen en zonwering toe te passen, een grote gevoeligheid hebben in de uiteindelijke koelvraag. De rekenregels om dit gedrag in een model mee te nemen passen niet in een statisch model.

4.7.2 Discussie/Conclusie

De uiteindelijke vraag of een statisch of dynamisch model gekozen zou moeten worden komt neer op het doel van de berekening. In toepassing van een prestatie indicator zal een statisch model voldoende houvast bieden. Om het werkelijke energiegebruik van een woning te bepalen zal echter al snel overgestapt moeten worden naar een dynamisch model, zodat gebruikersgedrag daarin opgenomen kan worden.

De toename van het isolatieniveau van woningen resulteert in een belangrijkere rol van de zoninstraling in zowel het bepalen van de warmtevraag en koudevraag. Zoninstraling is een component die alleen dynamisch goed is te simuleren.

Indien gekozen wordt voor een statisch model voor het verder doorrekenen van de standaard en streefwaarden wordt geadviseerd de impact van zoninstraling in de NTA8800 te monitoren of deze voldoende met de praktijk overeenkomt en eventueel te corrigeren.

4.8 Risico op vocht en schimmel

De begeleidingscommissie wil weten hoe de risico's op vocht en schimmel bij toepassing van de standaard en/of (enkele) streefwaarden verkleint kunnen worden.

Bronnen voor vocht in de woning zijn:

- De buitenlucht die deels of geheel verzadigd is met water.
- Koken op aardgas. De verbranding van 1 m³ aardgas levert ongeveer 1,8 liter water(damp) op. Bij gemiddeld kookgedrag wordt er ongeveer 0,1 m³ aardgas per dag in korte tijd verbruikt om te koken. Dit levert in de keuken in verhoging van het vochtgehalte in de lucht op.
- Kookvocht. Vocht dat verdampt bij het koken (van groenten)
- Natte ruimten. In een badkamer zorgt de douche en het bad voor warme, waterverzadigde lucht.
- Was en droogruimte, met name als er een wasrek staat.
- Aanwezigheid van personen via de longen (uitademen) en zweten. De hoeveelheid hangt af van het aantal personen en fysieke inspanning die zij doen.

De hoeveelheid waterdamp dat lucht kan opnemen is afhankelijk van de temperatuur. Hoe lager de temperatuur, hoe minder waterdamp de lucht kan vasthouden (condensatie). Als de temperatuur van lucht met waterdamp daalt, wordt er een punt bereikt waarbij de lucht niet langer al het waterdamp kan vasthouden. Dit noemen we het dauwpunt. Bij verdere daling van de luchttemperatuur zal de overtollige waterdamp in water(druppels) worden omgezet. Dit leidt tot mist en neerslag op oppervlakken.

Lucht dat slechts deels verzadigd is kan lokaal op een koude muur afkoelen. Als de muur een temperatuur heeft lager dan het dauwpunt, ontstaat vocht op de muur. Vocht- en schimmelproblemen ontstaat als dit geregeld gebeurt.

Ventileren (mechanisch en infiltratie) voorkomt vochtproblemen. De mate van infiltratie (kierdichtheid) neemt af doordat een woning deels of geheel wordt geïsoleerd. De luchtcirculatie en vochtafvoer is hierdoor minder en de hoeveelheid vocht neemt toe. Het dauwpunt komt daardoor (gemiddeld) hoger te liggen, waardoor er eerder condensatie op koude bouwdelen zal plaatsvinden. Het risico op vochtproblemen neemt daardoor toe.

Dit risico wordt versterkt als niet alle bouwdelen worden geïsoleerd, of als er koudebruggen blijven bestaan. Hierdoor is er een grotere kans dat er bouwdelen zijn met temperaturen onder het dauwpunt, waardoor condensatie optreedt.

Risico's worden gemitigeerd door:

- (extra) afzuiging te plaatsen in vochtproducerende ruimten, zoals de badkamer en keuken
- (koude) bouwdelen en koudebruggen te isoleren
- Mechanische of balansventilatie toe te passen, eventueel met ontvochtiging.
- Mechanische- en balansventilatie (CO₂ en ook vocht gestuurd geregeld).

- De binnentemperatuur in de woning voldoende hoog te houden

Belangrijk daarbij is dat deze mitigerende maatregelen voor, of tegelijkertijd met isolerende maatregelen genomen moeten worden. Ventilatie moet in orde zijn voordat kierdichtheid bereikt wordt. Bij een goed renovatieplan worden risico's op vocht- en schimmelproblemen voldoende afgedekt, waardoor isoleren niet zal leiden tot meer problemen.

Aanvullend zullen bewoners ook juist geïnstrueerd moeten worden over het juist bedienen van ventilatiesystemen. Aandachtspunt daarbij is dat ventilatiesystemen voldoende stil zijn, zodat bewoners deze 's nachts niet volledig uitzetten. Locatie van de ventilatiebox(en) niet naast de slaapkamer(s) en eventueel kanaaldempers gebruiken. Tevens is het van belang dat bewoners ook de juiste middelen krijgen, bijvoorbeeld om balansventilatie tot 30 minuten na het douchen op stand 3 te laten draaien en dan (automatisch) terug te schakelen naar stand 2 of 1. Deze systemen zijn al op de markt, maar worden veelal niet standaard meegeleverd.

4.8.1 Overige vochtproblemen

Optrekkend vocht uit de grond langs de muren kan ook tot vochtproblemen en schimmel leiden. Daarnaast kan de buitengevel poreus zijn geworden waardoor deze doorslaat. Dit zijn vochtproblemen die geregeld bij oudere gebouwen voorkomen. Hoewel deze problemen niet ontstaan bij renovatie, verdienen zij wel aandacht. Zij kunnen de isolerende werking van aangebracht isolatiemateriaal sterk verminderen doordat het materiaal vochtig wordt. Bij een renovatie is het dan ook van belang dat deze vochtproblemen ook worden geadresseerd.

4.8.2 Conclusie

Vocht en schimmel vormen geen probleem na het isoleren van de woning, zolang de volgende maatregelen ook worden genomen:

- Voor of tijdens de renovatie voldoende (mechanische) ventilatie te plaatsen.
- Alle bouwdelen isoleren, inclusief koudebruggen, zodat er geen koude muren in de woning zijn.
- Gebruikers de middelen, gemak en kennis te geven in het beheersen van luchtkwaliteit. Zorg dat zij weten hoe het (mechanisch) ventilatiesysteem bediend wordt.

Bestaande vochtproblemen door bijvoorbeeld optrekkend vocht of doorslaande gevels moeten eerst worden aangepakt voordat er wordt geïsoleerd.

4.9 Risico's op oververhitting

Oververhitting van een woning treedt op bij een binnentemperatuur boven de 25 °C. In beperkte mate accepteren gebruikers (en ook landelijke normen) binnentemperaturen boven de 25 °C . Het doel is daarom niet om de binnentemperatuur beneden de 25 °C te houden, maar om het aantal (gewogen) uren dat er oververhitting plaatsvindt beperkt te houden.

Naarmate woningen beter geïsoleerd worden, neemt het risico op oververhitting toe. De warmte die in de binnenmuren trekt kan door het isolatiemateriaal er moeilijk weer uit, waardoor deze warmte in de woning blijft hangen.

Het is daarom belangrijk dat bij het isoleren van de woning ook voldoende gekeken wordt naar de mogelijke toekomstige binnentemperatuur in de zomermaanden en dat afdoende maatregelen genomen worden om de binnentemperatuur te kunnen reguleren. Het risico op oververhitting kan sterk gereduceerd worden door:

- Het toepassen van een bypass op een balansventilatiesysteem. Hierbij is het uitermate belangrijk dat bewoners begrijpen hoe deze bypass werkt en (eventueel) moeten instellen.
- Het toepassen van (automatische) zonwering, bij voorkeur aan de buitenzijde van zonzvangende ramen.
- De mogelijkheid om ramen en deuren op koele moment tegen elkaar open te kunnen zetten.
- Eventueel het toevoegen van koeling aan de ventilatielucht, bijvoorbeeld met behulp van een (kleine) warmtepomp of adiabatische (kanaal)koeler. Het vermogen van deze systemen zijn beperkt, maar kunnen net het verschil maken.

Als met bovenstaande maatregelen nog steeds een grote mate van oververhitting verwacht wordt, is actieve koeling in de woning noodzakelijk met behulp van bijvoorbeeld (split-unit) airco systemen. Warmtepompen (lucht/lucht, lucht/water of water/water) in woningen die aardgasvrij gemaakt worden kunnen meestal ook koelen. Belangrijk is dan wel om de juiste afgiftesystemen te gebruiken om de koude ook daadwerkelijk aan de woning af te geven.

4.9.1 Samenvatting

Door isolatie kan de warmte lastiger uit de woning. Warmte wordt voornamelijk gegenereerd door zoninstraling. Door het toepassen van zonwering (bij voorkeur aan de buitenzijde) kan voorkomen worden dat de woning opwarmt.

Aanvullend kunnen er een aantal verkoelende maatregelen worden getroffen, zoals een bypass op het ventilatiesysteem.

In uitzonderlijke gevallen zal actieve koeling nodig zijn met behulp van bijvoorbeeld een kanaalkoeler, warmtepomp (in aardgasvrije woningen) of air conditioner.