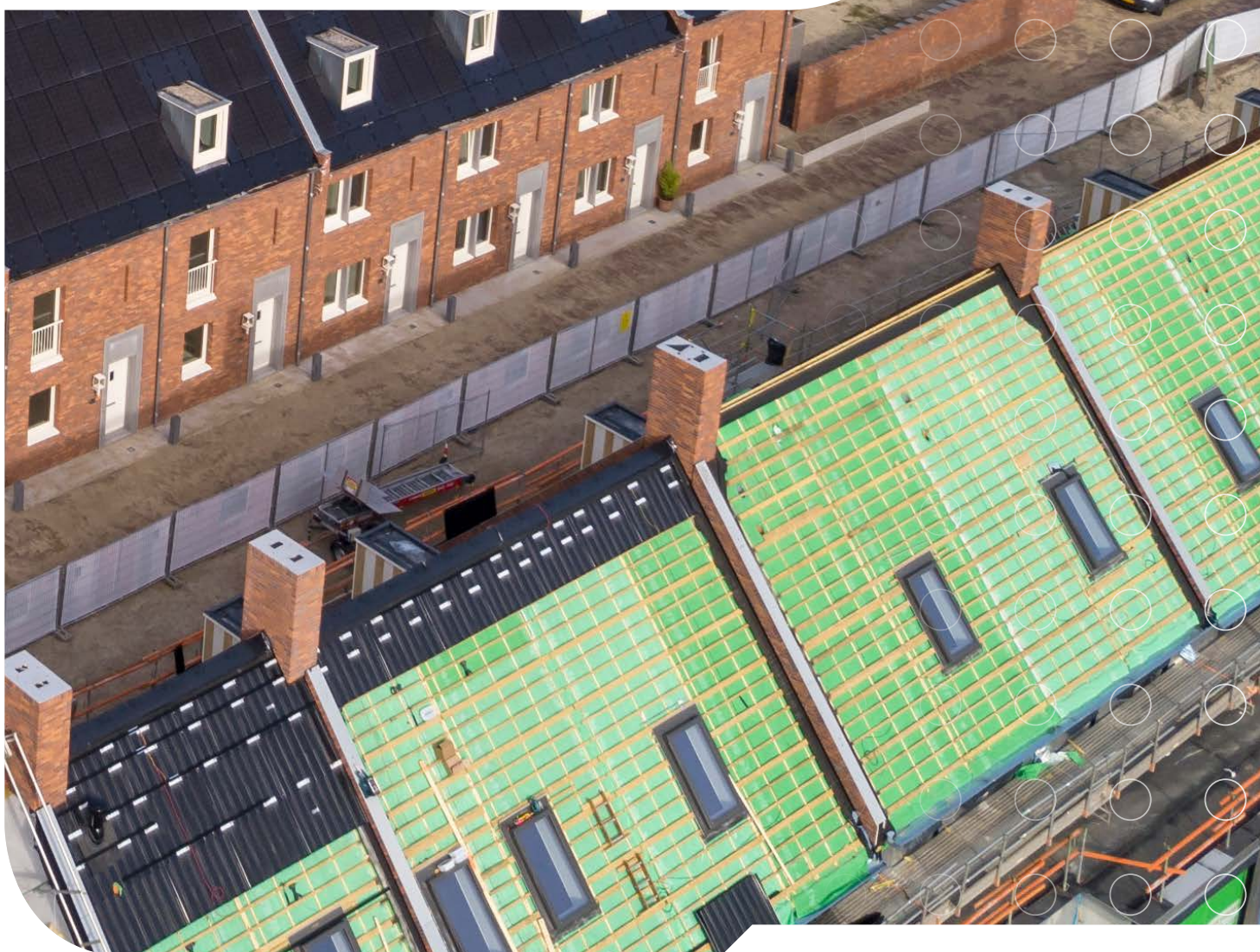




Comfortbeleving in goed geïsoleerde woningen met ventilatiesysteem C en lage temperatuurverwarming



Oprichtgever

UNETO-VNI

Contactpersoon

Fred Vos

Auteur(s)

DWA

Disclaimer

UNETO-VNI heeft veel zorg besteed aan de samenstelling van deze uitgave. Desondanks kunnen er fouten en/of onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. UNETO-VNI en de rapporteur zijn niet aansprakelijk voor de gevolgen van fouten en/of onvolledigheden.

@ UNETO-VNI, Zoetermeer 2016

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, film, elektronisch, op geluidsband of op welke andere wijze ook en evenmin in een retrieval systeem worden opgeslagen zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van UNETO-VNI.

De inhoud van deze publicatie is met de grootst mogelijke zorgvuldigheid samengesteld. Toch kan het risico van onduidelijkheden of onjuistheden niet geheel worden vermeden. UNETO-VNI sluit iedere aansprakelijkheid uit voor zowel de schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze gegevens, als schade die zou kunnen ontstaan als gevolg van onvolledigheden, onjuistheden of onvolkomenheden in deze publicatie.

UNETO-VNI

Bredewater 20
Postbus 188
2700 AD Zoetermeer
T 070 325 06 50
E info@uneto-vni.nl
W www.uneto-vni.nl

Inhoudsopgave

1	Samenvatting	5
1.1	Conclusie/advies	7
2	Inleiding	8
2.1	Aanleiding	8
2.2	Doel	8
2.3	Leeswijzer	8
3	Lokaal discomfort ten gevolge van zeer lage temperatuurverwarming	9
3.1	Algemene comfortbeleving	9
3.2	Oorzaken lokaal discomfort	9
3.2.1	Algemeen	9
3.2.2	Toevoer van koude buitenlucht	10
3.2.3	Koudeval	11
3.2.4	Te grote stralingsasymmetrie (koudestraling)	11
3.2.5	Contacttemperatuur vloer	11
3.2.6	Te grote verticale temperatuurgradiënt	12
3.3	Richtlijnen ter voorkoming van lokaal discomfort	12
3.3.1	Toevoer van koude buitenlucht	12
3.3.2	Koudeval	12
3.3.3	Koudestraling	14
3.3.4	Contacttemperatuur vloer	14
3.4	Samenvatting	15
4	Lokaal discomfort ten gevolge van een ventilatiesysteem	16
4.1	Oorzaken	16
4.1.1	Te lage inblaastemperaturen	16
4.1.2	Slechte positionering van gevelroosters	16
4.1.3	Te hoge luchtsnelheden	16
4.2	Richtlijnen ter voorkoming van discomfort	17
4.2.1	Te lage inblaastemperaturen	17
4.2.2	Slechte positionering van gevelroosters	19
4.3	Samenvatting	21
5	Systeemconcepten	22
5.1	Beschrijving concepten	22
5.1.1	Afgiftesystemen	22
5.1.2	Ventilatiesystemen	22
5.2	Overzicht concepten	23
5.3	Beoordeling systeemconcepten	24
6	Praktijkervaringen in redelijk goed geïsoleerde woningen	26
6.1	Vloerverwarming	26
6.2	Ventilatiesysteem	27
6.3	Samenvatting	28
7	Praktijkervaringen in zeer goed geïsoleerde woningen	29
7.1	Opzet verkenning	30
7.2	Ervaringen bewoners	30
7.3	Eerste analyses	31

8	Metingen in woningen	32
8.1	Lokaal discomfort door toetreding koude buitenlucht via natuurlijke toevoerroosters	32
8.2	Lokaal discomfort door koudeval langs glaspartij in de gevel	32
	Bijlage I Leefzone	34
	Bijlage II Praktijkmetingen per woning	35
	Bijlage III Referenties	41

1 Samenvatting

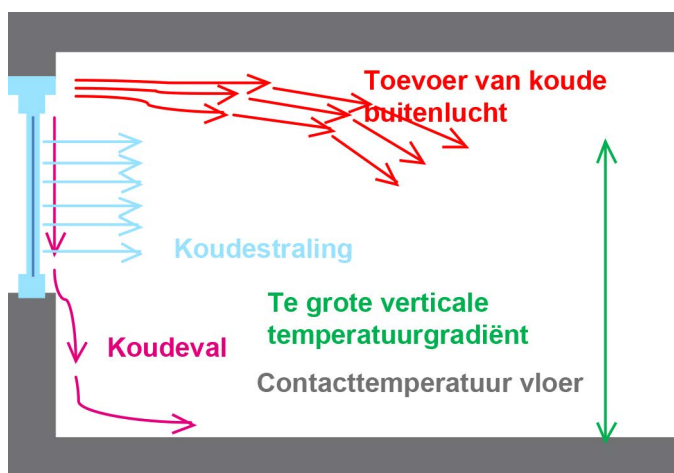
Vanuit de Werkgroep Warmtepompen is de behoefte gedefinieerd om inzicht te krijgen in de beschikbare gegevens met betrekking tot de mogelijkheden en onmogelijkheden voor gevelventilatie, op basis van natuurlijke toevoer en mechanische afvoer (ventilatiesysteem C), in combinatie met (zeer) lage temperatuurverwarming (ZLTV). Inzicht is wenselijk omdat gevelventilatie volop wordt toegepast. Maar naarmate de gevel beter geïsoleerd wordt, is de invloed van de koude instromende lucht steeds meer van invloed op het comfort. Gefundeerde informatie ontbreekt om opdrachtgevers goed te informeren en te adviseren over de consequenties van toepassing van natuurlijke gevelventilatie in combinatie met ZLTV.

In opdracht van UNETO-VNI heeft DWA een literatuuronderzoek gestart om de installatiebedrijven en hun potentiële opdrachtgevers te informeren en adviseren over de voorwaarden, aandachtspunten en (on)mogelijkheden van de toepassing van natuurlijke gevelventilatie, in combinatie met zeer lage temperatuurverwarming. Daarnaast zijn praktijkervaringen geïnterpreteerd, is een aanvullend indicatief praktijkonderzoek uitgevoerd en zijn indicatieve praktijkmetingen uitgevoerd om het effect te verkennen van de combinatie van goed geïsoleerde woningen in combinatie met natuurlijke toevoerroosters en vloerverwarming.

Natuurlijke gevelventilatie in combinatie met vloerverwarming leveren in een aantal gevallen comfortproblemen op. Deze comfortproblemen hebben voornamelijk te maken met lokaal discomfort in de ruimte. De oorzaak van lokaal discomfort kan liggen in één van de volgende aspecten:

- + te hoge luchtsnelheden of snelheidsfluctuatie (tocht) door:
 - toevoer van koude buitenlucht;
 - koudelucht.
- + te grote stralingsasymmetrie (koudestraling);
- + contacttemperatuur van de vloer te laag of te hoog;
- + te grote verticale temperatuurgradiënt;
- + temperatuurfuctuaties.

Bovengenoemde aspecten zijn in de onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 1.1 Oorzaken van lokaal discomfort

De mate van lokaal discomfort van de genoemde aspecten is afhankelijk van verschillende factoren en kan op verschillende manieren voorkomen worden. In Tabel 1.1 zijn per aspect richtlijnen weergegeven om lokaal discomfort zoveel mogelijk te voorkomen. De richtlijnen zijn met een kleur gearceerd. Deze arcering geeft het risico op lokaal discomfort aan bij toepassing van de richtlijn.

Doorzaken lokaal discomfort ten gevolge van het toepassen van zeer lage temperatuurverwarming	Richtlijnen ter voorkoming van discomfort ¹
Toevoer van koude buitenlucht	
- Te lage inblaasttemperatuur	Het plaatsen van radiatoren of convectoren onder de gevelroosters. Het toepassen van warmteterugwinning uit de ventilatielucht (ventilatiesysteem D).
- Slechte positionering van gevelroosters	Gevelroosters plaatsen op tenminste 1,8 meter boven het vloerniveau.
- Inblaassnelheid	Het toepassen van winddrukgestuurde gevelroosters. Het toepassen van elektronisch gestuurde gevelroosters.
Koudeval	Toepassen glas met laag U-waarde/ beperken glashoogte, zodat $U_{glas-hglas} < 3$. Toepassen bouwkundige maatregelen om luchtstroom op meerdere plaatsen te onderbreken. Het plaatsen van radiatoren met voldoende vermogen om koudeval op te vangen. Het toepassen van randzones en een luspatroon voor vloerverwarming.
Koudestraling	Stralingsasymmetrie lager dan 10K voor een koud raam. In praktijk wordt hier aan voldaan.
Contacttemperatuur vloer	Contacttemperatuur vloer tussen 19 en 26°C. Uitzonderingen vormen de randzones en de badkamer, waar de maximale temperatuur 29°C mag bedragen.
Te grote verticale temperatuurgrediënt	Voldoen aan de eisen met betrekking tot luchtsnelheid, inblaashoogte en luchttemperatuur.
¹ Arcering geeft het risico op lokaal discomfort aan: - Groen: kleine kans op lokaal discomfort; - Geel: aanwezige kans op lokaal discomfort; - Oranje: grote kans op lokaal discomfort; - Rood: zeer grote kans op lokaal discomfort.	

Tabel 1.1 Oorzaken en richtlijnen ter voorkoming van lokaal discomfort ten gevolge van het toepassen van zeer lage temperatuurverwarming in combinatie met een ventilatiesysteem met natuurlijke toevoer (ventilatiesysteem A, C)

Lokaal discomfort is bij natuurlijke gevelventilatie in combinatie met ZLTV nooit helemaal te voorkomen. Vooral bij extremere buitencondities (lage buitentemperatuur, hoge windbelasting) is er een aanwezige kans op lokaal discomfort, ondanks het goed toepassen van richtlijnen. Door het toepassen van de richtlijnen, vermindert de kans op discomfort echter aanzienlijk. Uit onderzoeksresultaten in een klimaatkamer blijkt bijvoorbeeld dat door toepassing van elektronische gevelroosters, de luchtsnelheid in 87% van de klimaatkamer onder de 0,2 m/s blijft, dit in tegenstelling tot de winddrukgestuurde gevelroosters (76%) en open-/dicht gevelroosters (32%).

Vervolgens zijn diverse systeemconcepten met zeer lage temperatuurverwarming in combinatie met verschillende typen ventilatiesystemen beoordeeld op binnenklimaat, kans op lokaal discomfort, risico foutgebruik en investering. De resultaten zijn in tabel 1.2 weergegeven.

Er zijn onderzoeken uitgevoerd naar de gebruikerservaringen van bewoners bij verschillende ventilatiesystemen en afgiftesystemen. Alleen is het bijzonder lastig om de gebruikerservaringen aan een bepaald bouwkundig-/installatietechnisch onderdeel of systeemconcept te koppelen, omdat het vaststellen van de precieze oorzaak bijzonder lastig is. Desondanks zijn de volgende aspecten van belang bij het succesvol toepassen van natuurlijke gevelventilatie in combinatie met zeer lage temperatuurverwarming:

- + werken volgens de richtlijnen;
- + informatievoorziening aan de (toekomstige) bewoner.

Het werken volgens de geldende richtlijnen levert bij bouw- en installatiebedrijven structureel minder klachten op. Daarnaast blijkt uit onderzoek dat 90% van de voorkomende installatietechnische klachten te voorkomen zijn door volgens de richtlijnen te werken. Het verdient daarom sterk de aanbeveling om deze richtlijnen te volgen. Verder blijkt dat het op een juiste wijze informeren van de bewoner over zijn systeemconcept de tevredenheid van het systeemconcept vergroot in de gebruiksfase. Er wordt dan ook aanbevolen om in een vroeg stadium de gebruiker te informeren over de werking, de voor- en nadelen van het systeemconcept en tijdens de oplevering uitleg te geven

Nr.	Type	Binnenklimaat bij goed functionerend systeem ¹	Kans op lokaal discomfort	Risico fout gebruik
A.1	Standaard	😊	Zeer groot	Groot
A.2a-c	Winddrukgestuurd	😊😊	Groot	Groot
C.1	Standaard	😊	Zeer groot	Groot
C.2a-c	Winddrukgestuurd	😊😊	Groot	Groot
C.3a	Tijdsturing op afvoer	😊😊😊	Groot	Gemiddeld
C.3b	Winddrukgestuurd, tijdsturing in woonkamer en open keuken	😊😊😊	Groot	Gemiddeld
C.3c	Tijdsturing op toe- en afvoer	😊😊😊	Aanwezig	Gemiddeld
C.4a	Winddrukgestuurd, CO ₂ -sturing in woonkamer en open keuken	😊😊😊😊	Groot	Gemiddeld
C.4b	CO ₂ -sturing indirect op toevoer per verblijfsruimte	😊😊😊😊	Aanwezig	Gemiddeld
C.4c	Winddrukgestuurd, CO ₂ -sturing op afvoer per verblijfsruimte	😊😊😊😊	Groot	Gemiddeld

¹Meer punten = beter binnenklimaat.

Tabel 1.2 Beoordeling systeemconcepten met vloerverwarming in combinatie met verschillende ventilatievoorzieningen

over het gebruik van het systeem. Dit aangevuld met het overhandigen van een gebruikershandleiding/gebruiksaanwijzing geschreven op het niveau van de bewoner.

1.1 Conclusie/advies

Verschillende partijen uit de bouwsector hebben geconstateerd dat bewoners van zeer goed geïsoleerde woningen met een warmtepomp en vloerverwarming hun thermostaat circa 1 graad hoger instelden dan ze deden in hun vorige huis met radiatoren en een hr-cv-ketel. Dit bleek ook het geval te zijn met soortgelijke woningen die voorzien zijn van een hr-cv-ketel en vloerverwarming als hoofdafgiftesysteem. Naar aanleiding van deze constatering zijn indicatieve onderzoeken uitgevoerd om het effect van een hogere temperatuurinstelling (en daarmee een hoger energiegebruik voor ruimteverwarming) in zeer goed geïsoleerde woningen te verkennen. Dit betreft een indicatief onderzoek, waarbij de onderzoeksgroep erg beperkt was. De resultaten geven echter wel een richting aan, maar vergen zeker nog verder onderzoek.

Evaluatie van de resultaten van de indicatieve onderzoeken:

- + natuurlijke toevoer van ventilatielucht zorgt voor een forse verslechtering van de ervaren comfortbeleving in het gebied binnen een straal van drie tot vier meter vanaf het toevoerrooster, ook als de vloer warm is (circa 25°C);
- + bij een positie recht onder een niet instelbaar inblaasrooster van een balansventilatiesysteem worden ook al snel comfortklachten benoemd, zelfs als de vloer warm is (omdat de inblaastemperatuur zeker 2-3°C lager is dan de ruimtetemperatuur, het is namelijk een mix-temperatuur van de woonkamer en de slaapkamers);
- + bij inactiviteit in de buurt van de dichte gevel wordt genoemd dat er koude afstraalt van de gevel. Bij glas is dat nog een factor erger (in combi met een koudeval langs wat hogere ramen);
- + door de goede isolatie hoeft niet zoveel warmte toegevoerd te worden. Hierdoor zijn afgiftesystemen maar een beperkt deel van de tijd actief, waardoor momenten ontstaan waarbij de stralingscomponent van de gevel en het glas onvoldoende gecompenseerd wordt door de hogere warmtestraling en dus een gevoel van discomfort ontstaat. Mogelijk speelt ook de contacttemperatuur van de vloer hierbij een rol;
- + verhoging van de ruimtetemperatuur naar 21°C (in plaats van de genormeerde ruimtetemperatuur van 20°C) lijkt gewenst met het oog op de comfortbeleving van de bewoners.

2 Inleiding

2.1 Aanleiding

Vanuit de Werkgroep Warmtepompen is de behoefte gesignaleerd om inzicht te krijgen in de beschikbare gegevens met betrekking tot de mogelijkheden en onmogelijkheden voor gevelventilatie op basis van natuurlijke toevoer en mechanische afvoer (ventilatiesysteem C), in combinatie met ZLTV. Inzicht is wenselijk omdat gevelventilatie volop wordt toegepast. Maar naarmate de gevel beter geïsoleerd wordt, is de invloed van de koude instromende lucht steeds meer van invloed op het comfort. Gefundeerde informatie ontbreekt om opdrachtgevers goed te informeren en te adviseren over de consequenties van toepassing van natuurlijke gevelventilatie in combinatie met ZLTV.

2.2 Doel

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te geven in de randvoorwaarden voor het succesvol toepassen van natuurlijke gevelventilatie in combinatie met ZLTV. Aan de hand van deze rapportage kunnen installatiebedrijven potentiële opdrachtgevers informeren en adviseren over de voorwaarden, aandachtspunten en (on)mogelijkheden van de toepassing van natuurlijke gevelventilatie in combinatie met ZLTV.

2.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 4 wordt de algemene comfortbeleving van de gebruiker beschreven met de parameters die daar invloed op hebben. Daarbij is ook aangegeven op welke wijze de algemene comfortbeleving voorspeld kan worden. Daarnaast wordt ingegaan op lokaal discomfort, die kan ontstaan bij het gebruik van een zeer laagtemperatuur-afgiftesysteem, zoals vloerverwarming. De aandachtspunten en de voorwaarde om dit discomfort te voorkomen zijn hierin weergegeven.

In hoofdstuk 5 worden de aandachtspunten van lokaal discomfort bij toepassing van verschillende gevelventilatiesystemen weergegeven. In dit hoofdstuk zijn ook randvoorwaarden en richtlijnen weergegeven om lokaal discomfort te voorkomen.

In hoofdstuk 6 zijn systeemconcepten samengesteld met verschillende combinaties van laagtemperatuurafgiftesystemen en ventilatiesystemen. Deze systeemconcepten zijn uitgewerkt op algemene comfortbeleving, kans op lokaal discomfort, investeringen en energiegebruik.

In hoofdstuk 7 zijn de praktijkervaringen van bewoners en installateurs weergegeven bij toepassing van vloerverwarming en natuurlijke toevoer van ventilatielucht. Ervaringen die bijdragen aan het zo goed mogelijk toepassen van natuurlijke gevelventilatie in combinatie met ZLTV, zijn weergegeven.

In hoofdstuk 8 worden de resultaten gepresenteerd van een indicatief onderzoek naar aanleiding van de constatering (van verschillende partijen uit de bouwsector) dat bewoners van zeer goed geïsoleerde woningen met een warmtepomp met vloerverwarming, hun thermostaat circa 1 graad hoger instelden dan ze deden in hun vorige huis met radiatoren en een hr-cv-ketel. Dit bleek ook het geval te zijn met soortgelijke woningen die voorzien zijn van een hr-cv-ketel en vloerverwarming als hoofdafgiftesysteem. Naar aanleiding van deze constatering zijn indicatieve onderzoeken uitgevoerd om het effect van een hogere temperatuurinstelling (en daarmee een hoger energiegebruik voor ruimteverwarming) in zeer goed geïsoleerde woningen te verkennen.

3 Lokaal discomfort ten gevolge van zeer lage temperatuurverwarming

In dit hoofdstuk is beschreven op welke wijze de algemene comfortbeleving in een bepaalde ruimte vooraf kan worden ingeschat. Vervolgens zijn de oorzaken beschreven van lokaal discomfort ten gevolge van toepassing van zeer lage temperatuurverwarming en worden er richtlijnen weergegeven om lokaal discomfort te voorkomen.

3.1 Algemene comfortbeleving

Om de algemene comfortbeleving vooraf in een bepaalde ruimte te voorspellen kan gebruik worden gemaakt van behagelijkheidsmodellen. Het meest gebruikte behagelijkheidsmodel in Nederland is het behagelijkheidsmodel van Fanger. Aan de hand van de parameters, luchttemperatuur, gemiddelde stralingstemperatuur, luchtsnelheid, luchtvochtigheid, warmteweerstand kleding en de warmteontwikkeling in de persoon (metabolisme) wordt de voorspelde gemiddelde Predicted Mean Vote (PMV) berekend. Deze PMV is een getalswaarde van tussen de -3 en +3, waarbij bij -3 de gebruikers het binnenklimaat als koud ervaren en bij +3 als heet ervaren. Een PMV van tussen de -0,5 en +0,5 wordt als thermisch behaaglijk gezien. Dit komt overeen met een ontevredenheidspercentage van kleiner dan 10%.

Het is mogelijk dat het voorspelde percentage ontevreden in praktijk hoger ligt. De reden is dat bij het behagelijkheidsmodel van Fanger de PMV-waarde betrekking heeft op de warmtebalans van het totale lichaam. Lokaal discomfort bij een specifiek deel van het lichaam wordt hierin niet meegenomen. Juist lokaal discomfort kan bij zeer laag temperatuurverwarming problemen geven. In paragraaf 4.2 wordt verder ingegaan op de oorzaken van lokaal discomfort.

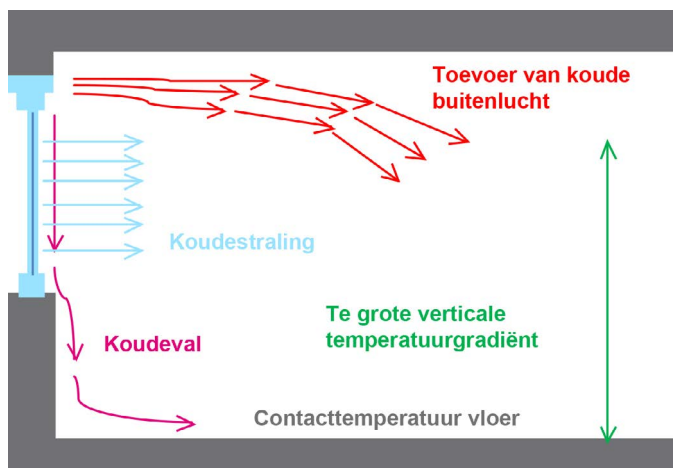
3.2 Oorzaken lokaal discomfort

3.2.1 Algemeen

Gebruikers kunnen in een ruimte lokaal discomfort ervaren, terwijl behagelijkheidsmodellen het binnenklimaat als 'behaaglijk' bestempelen. De oorzaken kunnen liggen in één van de volgende aspecten:

- + te hoge luchtsnelheden of snelheidsfluctuaties (tocht) door:
 - toevoer van koude buitenlucht;
 - koudeval;
- + te grote stralingsasymmetrie (koudestraling);
- + contacttemperatuur van de vloer te laag of te hoog;
- + te grote verticale temperatuurgradiënt;
- + temperatuurfluctuaties.

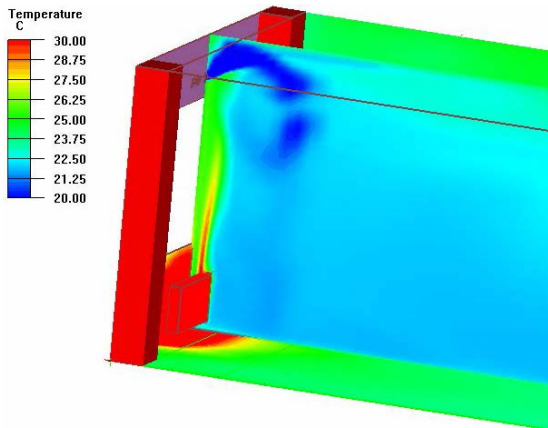
In de volgende figuur zijn de aspecten visueel weergegeven.



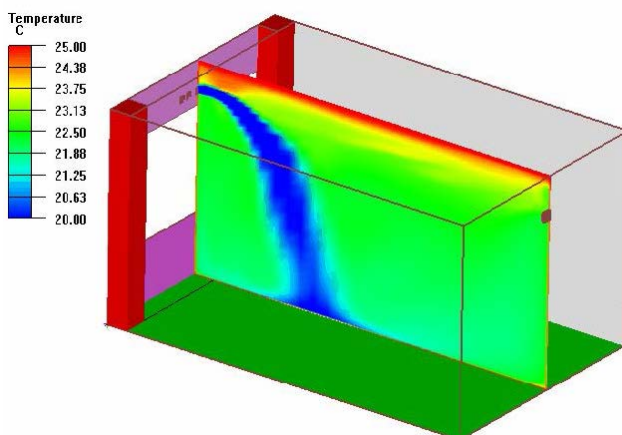
Figuur 3.1 Oorzaken van lokaal discomfort

3.2.2 Toevoer van koude buitenlucht

De mate van lokaal discomfort ten gevolge van het toevoeren van koude buitenlucht is afhankelijk van het toegepaste ventilatiesysteem en het type afgiftesysteem voor ruimteverwarming. Lokaal discomfort in relatie tot het ventilatiesysteem is in hoofdstuk 4 en 5 beschreven. In Figuur 3.2 en Figuur 3.3 is het lokaal discomfort visueel weergegeven bij zeer lage temperatuurverwarming (vloerverwarming) en bij hoogtemperatuur radiatoren in combinatie met het toevoeren van buitenlucht van 5°C via gevelroosters.



Figuur 3.2 Visualisatie van lokale temperaturen bij natuurlijke ventilatie in combinatie met hoogtemperatuur radiatoren (CFD-berekening), de buitentemperatuur is 5°C



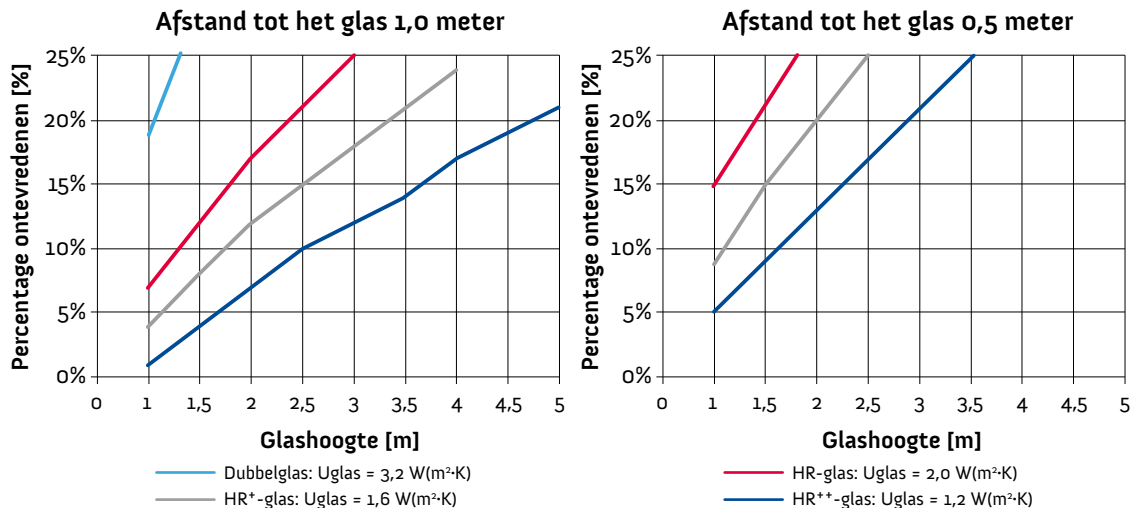
Figuur 3.3 Visualisatie van lokale temperaturen bij natuurlijke ventilatie in combinatie met vloerverwarming (CFD-berekening), de buitentemperatuur is 5°C

In Figuur 3.3 is te zien dat het toevoeren van koude buitenlucht met ongeregelde gevelroosters in combinatie met zeer lage temperatuurverwarming comfortproblemen met zich meebrengt door de lage luchttemperatuur in combinatie met de hoge lichtsnelheid. Bij toepassing van hoogtemperatuur radiatoren zijn er veel minder comfortproblemen, zie Figuur 3.2.

Uit de voorgaande figuren kan ook verondersteld worden dat goed geïsoleerde woningen een hoger risico hebben op comfortklachten bij het toevoeren van koude buitenlucht, dan slecht geïsoleerde woningen. De radiatoren van goed geïsoleerde woningen hebben namelijk een lager geïnstalleerd vermogen en zullen minder uur in bedrijf zijn.

3.2.3 Koudeval

Koudeval ontstaat doordat bij lage buitentemperaturen het glas afkoelt, waardoor er een neerwaartse (koude) luchtstroom ontstaat. De grootte van deze luchtstroom en daarmee samenhangende tochtklachten is afhankelijk van de isolatiegraad van het glas en de hoogte van glas. In Figuur 3.4 is het percentage ontevredenen als functie van de glashoogte weergegeven, waarbij de afstand tot het glas respectievelijk 1,0 meter en 0,5 meter bedraagt.



Figuur 3.4 Percentage ontevredenen als functie van de glashoogte, waarbij de afstand tot het glas respectievelijk 1,0 meter en 0,5 meter bedraagt (informatie afkomstig uit ISSO-publicatie 49 en ISSO-publicatie 85)

In Figuur 3.4 is de afstand van de gebruiker tot het glas respectievelijk 1,0 en 0,5 meter. Een afstand van 1,0 meter is conform de definitie van de leefzone (zie bijlage I). Echter bij woningen dient te worden afgevraagd of één meter tot het glas moet worden aangehouden. In praktijk plaatsen mensen namelijk hun bank of stoel dicht tegen het glas. Om deze reden is het percentage ontevredenen als functie van glashoogte ook bij een afstand van 0,5 meter weergegeven.

3.2.4 Te grote stralingsasymmetrie (koudestraling)

Stralingsasymmetrie is het verschil tussen vlakstralingstemperatuur in twee tegengestelde richtingen. Discomfort ten gevolge van een te grote stralingsasymmetrie kan in theorie voorkomen bij een koud plafond, bij een warm plafond, bij een koude wand of bij een warme wand. In praktijk levert de stralingsasymmetrie van een koud plafond en een warme wand geen problemen op. Dit zelfde geldt voor een koude wand (bijvoorbeeld glas in de buitengevel). Al is er in de NEN-EN-ISO7730 wel een richtlijn, te weten: 'Aanbevolen om een stralingsasymmetrie lager dan 10 K aan te houden voor een koud raam (met betrekking tot een klein verticaal vlakje op 0,6 meter boven de vloer).'

3.2.5 Contacttemperatuur vloer

De contacttemperatuur van een vloer met vloerverwarming is afhankelijk van de leidingafstand, dikte van de leidingen, stroomsnelheid, aanvoertemperatuur en type vloerbedekking. De contacttemperatuur zelf levert in de praktijk geen problemen op, omdat hiervoor duidelijke richtlijnen zijn.

De warmteafgifte, die een relatie heeft met de contacttemperatuur van de vloer, kan wel algemene comfortproblemen opleveren, zoals een te koude ruimte. Dit kan voorkomen als er tijdens het ontwerp gerekend wordt met een ander type vloerbedekking dan er door de bewoner wordt neergelegd. In Tabel 3.1 zijn de warmteweerstanden weergegeven van verschillende vloerafwerkingen.

Materiaal	Dikte [mm]	Warmteweerstand (Rb) [(m ² ·K)/W]
Tegels/plavuizen	5	0,001
Eiken parket direct verlijmd	10	0,05
Kurkparket direct verlijmd	6	0,07
Laminaat (zonder ondervloer)	8	0,07
Tapijt voor vloerverwarming	7	0,01
Ondertapijt	5-7	0,2
Zwaar tapijt ¹	7	0,15

¹Bij gebruik van ondertapijt wordt de warmteweerstand veel groter.

Tabel 3.1 Warmteweerstand vloerafwerking (bron: ISSO-publicatie 49)

3.2.6 Te grote verticale temperatuurgradiënt

De verticale temperatuurgradiënt, het temperatuurverschil tussen de voeten en het hoofd, is afhankelijk van de luchtsnelheid in de leefzone en wijze waarop de ventilatielucht met de ruimtelucht wordt vermengd. Volgens de ISSO 92 levert de verticale temperatuurgradiënt geen problemen op wanneer aan de eisen van luchtsnelheid, inblaashoogte en temperatuur wordt voldaan.

3.3 Richtlijnen ter voorkoming van lokaal discomfort

3.3.1 Toevoer van koude buitenlucht

Richtlijnen ter voorkoming van lokaal discomfort door het ventilatiesysteem, zijn in paragraaf 4.2 weergegeven per type ventilatiesysteem.

3.3.2 Koudeval

Lokaal discomfort ten gevolge van koudeval kan op de volgende manieren worden voorkomen:

- + toepassen van glas met lage warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde);
- + het beperken van de glashoogte;
- + toepassing van bouwkundige maatregelen om de luchtstroom te onderbreken;
- + het plaatsen van radiatoren of convectoren onder het raam;
- + het toepassen van randzones.

Toepassen van glas met een lage warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde)/het beperken van de glashoogte

Figuur 3.4 geeft weer dat het percentage koudeklachten ten gevolge van koudeval afhankelijk is van de U-waarde en van de glashoogte. Om comfortklachten ten gevolge van koudeval te voorkomen kan de volgende richtlijn worden aangehouden:

$U_{\text{glas}} \cdot h \leq 3$ waarin:

U_{glas} = de warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde) van het glas is W/(m²·K)

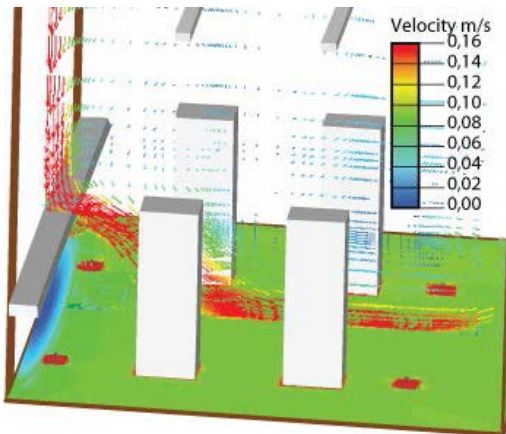
h = de glashoogte (m)

Deze richtlijn komt uit de ISSO-publicatie 85 en is erop gebaseerd dat er minder dan 20% klagers zijn op een 0,5 meter afstand van het glas. Uiteraard is het ook belangrijk dat een goed isolerend kozijn wordt toegepast, zodat de combinatie van glas en kozijn samen ook een lage warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde) voor het totale raam geeft.

Toepassing van bouwkundige maatregelen om de luchtstroom te onderbreken

De mate van lokaal discomfort bij koudeval is onder andere afhankelijk van de glashoogte. Hoe hoger het glas, hoe groter de neerwaartse luchtstroom, hoe meer discomfort koudeval veroorzaakt. Een oplossing is om de neerwaartse luchtstroom op verschillende hoogte te onderbreken, waardoor er meerdere kleinere luchtstromingen ontstaan. Deze kleinere neerwaartse luchtstromingen mengen zich sneller dan één grote luchtstroom, wat een positieve invloed heeft op het comfort. Een mogelijkheid om de luchtstroom te onderbreken is het plaatsen van vensterbanken.

In Figuur 3.5 zijn de luchtstromingen van een vertrek weergegeven, waarbij HR⁺⁺-glas in combinatie met een vensterbank is toegepast. Hierbij bedraagt de glashoogte 4,0 meter en de buitentemperatuur -10°C.

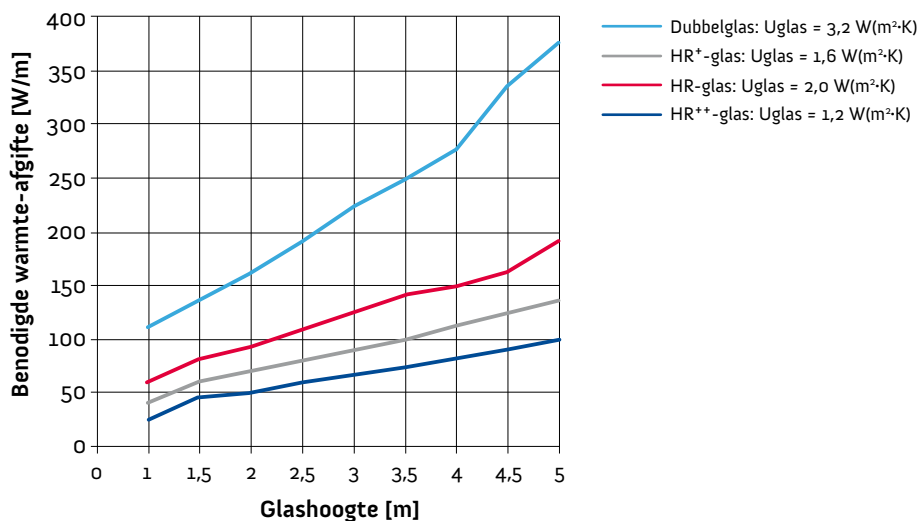


Figuur 3.5 Koudeval die door vensterbank verstoord wordt en het vertrek wordt ingeleid (bron ISSO-publicatie 85)

Uit de voorgaande figuur blijkt dat de koudeval door de brede vensterbank verstoord wordt en dat deze het vertrek wordt ingeleid. Het verstoren van koudeval op meerdere hoogtes levert minder comfortklachten op dan wanneer de luchtstroom niet verstoord wordt en er één grote koude luchtstroom ontstaat.

Het plaatsen van radiatoren of convectoren onder het raam

Klachten ten gevolge van koudeval kunnen worden wegegenomen door het plaatsen van radiatoren of convectoren onder het raam. De radiatoren/convectoren zorgen er namelijk voor dat er een warme luchtstroom naar boven ontstaat die zich vervolgens mengt met de koudeluchtstroom ten gevolge van koudeval. In Figuur 3.6 is een richtlijn weergegeven voor het benodigde afgiftevermogen van de radiator om lokaal discomfort en gevolgen van koudeval te voorkomen.



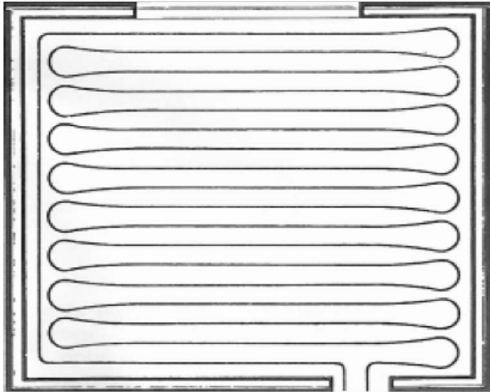
Figuur 3.6 Richtlijn voor benodigde warmteafgifte in W/m ter voorkoming van koudeval (bron: Cursus TVVL luchtbehandelingstechniek)

Het plaatsen van radiatoren of convectoren heeft wel een aantal gevolgen, te weten:

- + meestal een verhoging van de aanvoertemperatuur tot gevolg (lager rendement verwarmingsinstallatie);
- + extra ruimtebeslag;
- + extra investeringen.

Het toepassen van randzones

Om koudeval te voorkomen, kunnen er randzones van vloerverwarming langs de buitenwanden worden toegepast. Dit betekent dat er langs de buitengevel een kleinere buisafstand wordt toegepast ten opzichte van de rest van de ruimte. Dit heeft tot gevolg dat er een hogere vloertemperatuur gerealiseerd wordt ter plaatse van de buitengevel. Deze hogere temperatuur kan (gedeeltelijk) comfortklachten ten gevolge van koudeval voorkomen. Het voorkomen van koudeval kan verder versterkt worden door het gebruik te maken van het 'luspatroon' (zie Figuur 3.7) in plaats van het 'slakkenhuispatroon' (zie Figuur 3.8).



Figuur 3.7 Luspatroon voor vloerverwarming, waarbij het warmste water op de koudste plaats is



Figuur 3.8 Vloerverwarming gelegd volgens het 'slakkenhuis-patroon', wat een gelijkmatige vloertemperatuur tot gevolg heeft

3.3.3 Koudestraling

Koudestraling is in de praktijk in de woning geen oorzaak van discomfort. Aan de gestelde richtlijn uit de NEN-EN-ISO 7730 wordt in praktijk voldaan, te weten: aanbevolen wordt om de stralingsasymmetrie lager dan 10 K aan te houden voor een koud raam (met betrekking tot een klein verticaal vlakje op 0,6 meter boven de vloer).

3.3.4 Contacttemperatuur vloer

Om discomfort ten gevolge van een te lage of een te hoge contacttemperatuur van de vloer te voorkomen, dient de contacttemperatuur van de vloer tussen de 19°C en 26°C te liggen. In een aantal gevallen kan hiervan worden afgeweken, zoals bij een badkamer en/of randzones aan de gevel. In deze gevallen mag de temperatuur maximaal 29°C bedragen om geen lokaal discomfort op te leveren.

Om koudeproblemen in de ruimte te voorkomen ten gevolge van een te lage warmteafgifte, dient de bewoner goed geïnformeerd te worden over de mogelijke vloerafwerkingen die hij kan toepassen. Daarnaast dient uitgelegd te worden wat de gevolgen zijn bij toepassing van een zwaar tapijt.

3.3.5 Te grote verticale temperatuurgradiënt

Discomfort ten gevolge van een te grote verticale temperatuurgradiënt is volgens de ISSO 92 te voorkomen door te voldoen aan de eisen met betrekking tot luchtsnelheid, inblaashoogte en temperatuur.

3.4 Samenvatting

In Tabel 3.2 zijn de oorzaken van lokaal discomfort ten gevolge van het toepassen van zeer lage temperatuurverwarming weergegeven met daarbij de richtlijnen op welke wijze het voorkomen kan worden. De richtlijnen zijn met een kleur gearceerd. Deze arcering geeft aan het risico op lokaal discomfort bij toepassing van de richtlijn.

Orzaken lokaal discomfort ten gevolge van het toepassen van zeer lage temperatuurverwarming	Richtlijnen ter voorkoming van discomfort ¹
Toevoer van koude buitenlucht	Toepassen geschikt ventilatiesysteem, zie paragraaf 4.3
	Toepassen HT-radiatoren
Koudeval	Toepassen glas met laag U-waarde/beperken glashoogte, zodat $U_{\text{glas}} \cdot h_{\text{glas}} \leq 3$
	Toepassen bouwkundige maatregelen om luchtstroom op meerdere plaatsen te onderbreken
	Het plaatsen van radiatoren met voldoende vermogen om koudeval op te vangen
	Het toepassen van randzones en een luspatroon voor vloerverwarming.
Koudestraling	Stralingsasymmetrie lager dan 10K voor een koude raam. In praktijk wordt hier aan voldaan.
Contacttemperatuur vloer	Contacttemperatuur vloer tussen 19 en 26°C. Uitzonderingen vormen de randzones en de badkamer, waar de maximale temperatuur 29°C mag bedragen.
Te grote verticale temperatuurgradiënt	Voldoen aan de eisen met betrekking tot luchtsnelheid, inblaashoogte en luchttemperatuur.
¹ Arceering geeft het risico op lokaal discomfort aan: - Groen: kleine kans op lokaal discomfort; - Geel: aanwezige kans op lokaal discomfort - Oranje: grote kans op lokaal discomfort; - Rood: zeer grote kans op lokaal discomfort.	

Tabel 3.2 Oorzaken en richtlijnen ter voorkoming van lokaal discomfort ten gevolge van het toepassen van zeer lage temperatuurverwarming

4 Lokaal discomfort ten gevolge van een ventilatiesysteem

In dit hoofdstuk zijn de oorzaken beschreven van lokaal discomfort in relatie tot het ventilatiesysteem en worden er richtlijnen weergegeven om discomfort te voorkomen.

4.1 Oorzaken

In paragraaf 3.2 zijn de oorzaken beschreven van lokaal discomfort in combinatie met zeer lage temperatuurverwarming. Eén van genoemde aspecten betreft de toevoer van koude buitenlucht, wat betrekking heeft op het type ventilatiesysteem. In Figuur 3.3 is het lokaal discomfort weergegeven bij een ventilatiesysteem met natuurlijke toevoer in combinatie met vloerverwarming en lage buitentemperaturen. De oorzaken van het lokaal discomfort zijn:

- + te lage inblaastemperaturen;
- + slechte positionering van gevelroosters;
- + te hoge lichtsnelheden.

4.1.1 Te lage inblaastemperaturen

De koude luchtstroom die in de winter ontstaat bij het toevoeren van buitenlucht via de gevelroosters kan comfortproblemen met zich meebrengen. Deze comfortproblemen ontstaan vooral wanneer de koude luchtstroom onvoldoende mengt met de binnenlucht en daardoor onvoldoende opwarmt. In Figuur 3.3 is dit visueel weergegeven.

4.1.2 Slechte positionering van gevelroosters

Een slechte positionering van de gevelroosters kan de oorzaak zijn van discomfort bij de gebruiker. In de rapportage 'IEA ECBCS Annex 27 Handbook' is er een beoordeling gegeven op thermisch comfort bij een gevelrooster, die op drie verschillende hoogtes is geplaatst. Deze beoordeling is gebaseerd op laboratoriummetingen en is overgenomen in Tabel 4.1.

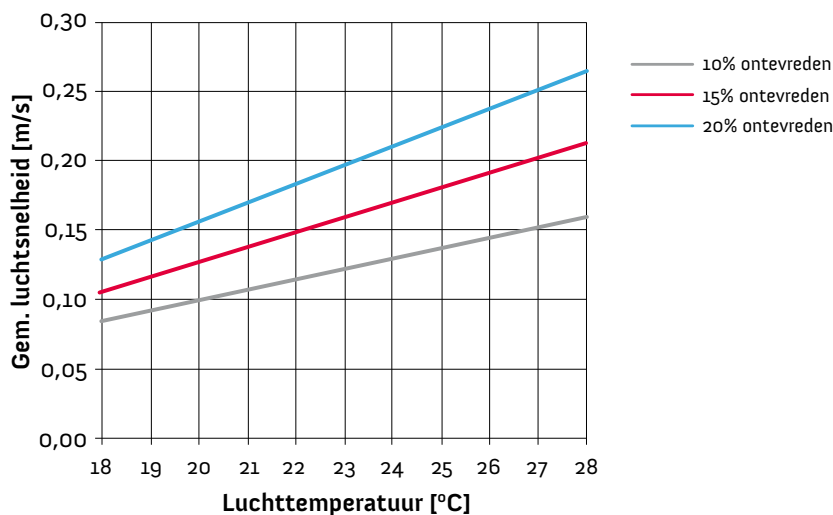
Omschrijving			Toevoerluchttemperatuur [°C]						
Type rooster	Hoogte-positionering [mm]	Ventilatie-debiet [dm ³ /s]	-15	-10	-5	0	5	10	15
Horizontaal rooster	1.900	10	--	-	-	0	+	+	++
Verticaal rooster	1.425	10	--	--	--	--	--	-	-
Horizontaal rooster	950	10	--	--	--	--	--	-	-
Horizontaal rooster	1.900	4	--	-	-	-	+	++	++
Verticaal rooster	1.425	4	--	--	--	--	-	-	-
Horizontaal rooster	950	4	--	--	--	--	-	-	0

++ = Thermisch comfort is zeer goed: in 100-95% van de verblijfsruimte is het percentage ontevreden kleiner dan 15%
+ = Thermisch comfort is goed: in 95%-85% van de verblijfsruimte is het percentage ontevreden kleiner dan 15%
0 = Thermisch comfort is voldoende: in 85%-75% van de verblijfsruimte is het percentage ontevreden kleiner dan 15%
- = Thermisch comfort is matig: in 75%-50% van de verblijfsruimte is het percentage ontevreden kleiner dan 15%
-- = Thermisch comfort is onvoldoende: in 50%-0% van de verblijfsruimte is het percentage ontevreden kleiner dan 15%

Tabel 4.1 Thermisch comfort bij een gevelrooster (500x200mm) op basis van natuurlijke toevoer

4.1.3 Te hoge lichtsnelheden

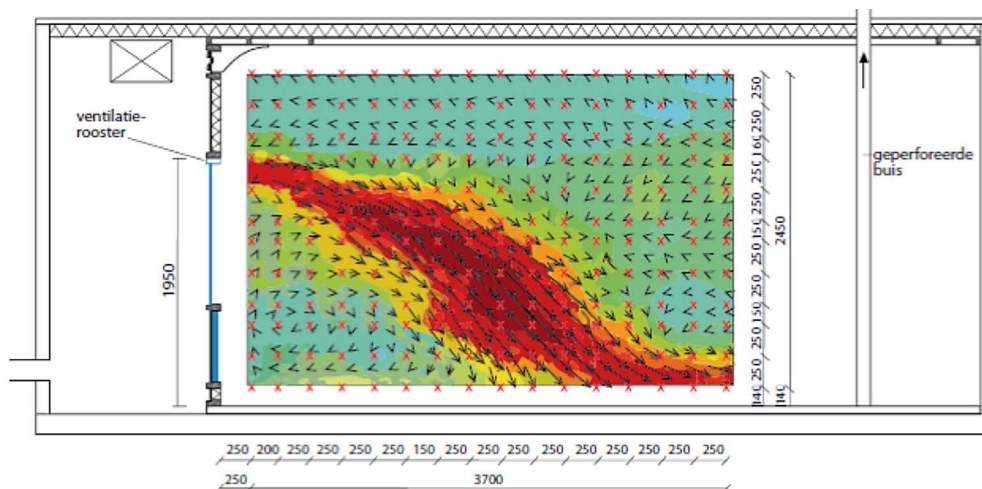
Hoge lichtsnelheden kunnen voornamelijk bij de ontblote lichaamsdelen, zoals hoofd en nek comfortklachten met zich meebrengen. De mate van deze comfortklachten is afhankelijk van de temperatuur van de luchtstroom, de fluctuaties van de lichtsnelheid en de gemiddelde lichtsnelheid van de luchtstroom. In Figuur 4.1 is het percentage ontevreden weergegeven bij de gemiddelde lichtsnelheid als functie van de luchttemperatuur.



Figuur 4.1 Percentage ontevreden bij de gemiddelde luchtsnelheid als functie van de luchttemperatuur (bron: Handboek installatietechniek, uitgegeven door ISSO)

Uit de voorgaande figuur blijkt dat hoe lager de luchtsnelheid, hoe meer tevreden er zijn en dat bij hogere luchttemperaturen ook hogere luchtsnelheden toelaatbaar zijn.

In het kader van het EOS DEMO Clusterproject 'innovatieve ventilatiesystemen' heeft Cauberg-Huygen metingen verricht in een klimaatkamer met betrekking tot natuurlijke toevoer in relatie tot het thermisch comfort. In Figuur 4.2 is het stromingspatroon weergegeven van een standaard (ongeregeld) gevelrooster, waarbij de windsnelheid 5 m/s bedraagt.



Figuur 4.2 Stromingspatroon ongeregeld gevelrooster bij een windsnelheid van 5 m/s (bron: ISSO-publicatie 92, metingen verricht door Cauberg-Huygen)

Uit de voorgaande figuur blijkt dat er lokaal discomfort ontstaat bij toepassing van ongeregelde gevelroosters in combinatie met een lage buitentemperatuur (0°C) en een hoge inblaassnelheid (5 m/s).

4.2 Richtlijnen ter voorkoming van discomfort

4.2.1 Te lage inblaastemperaturen

Te lage inblaastemperaturen kunnen op de volgende manieren worden voorkomen:

- + het plaatsen van radiatoren of convectoren onder de gevelroosters;
- + het toepassen van warmteterugwinning uit de ventilatielucht.

Het plaatsen van radiatoren of convectoren onder de gevelroosters

Het plaatsen van laagtemperatuurradiatoren of convectoren onder het gevelrooster zal het discomfort van de gebruiker doen verminderen.

De invloed van de radiator op het comfort is afhankelijk van verschillende aspecten, zoals:

- + de isolatiewaarde van de woning;
- + het stookgedrag van de bewoners;
- + de convectieve stroming die de radiator levert in relatie tot de hoeveelheid toegevoerde buitenlucht.

De isolatiewaarde van de woning

Het plaatsen van een radiator onder een gevelrooster levert bij goed geïsoleerde woningen meer problemen op dan bij slecht geïsoleerde woningen. De reden is dat bij een slecht geïsoleerde woning de radiator meer in bedrijf is, waardoor de radiator een langer deel van de tijd de inblaaslucht opwarmt. Hierbij zijn de eventuele extra comfortklachten ten gevolge van de slechte gevel niet meegenomen.

Het stookgedrag van de bewoners

Het stookgedrag van de bewoner heeft op dezelfde wijze invloed op het comfort. Indien de bewoner een hogere binnentemperatuur preferereert zal de radiator meer in bedrijf zijn, waardoor er minder comfortproblemen zullen ontstaan bij de toevoer van verse buitenlucht.

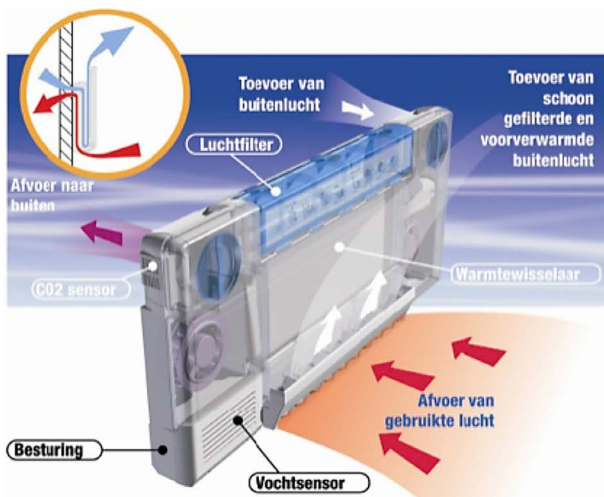
De convectieve stroming van de radiator/convector

Een radiator in bedrijf zorgt voor een omhooggaande convectieve stroming. De grootte van deze stroming is afhankelijk van de grootte van de radiator, de cv-watertemperatuur en de luchttoevoer. Indien de convectieve stroming te klein is, kan deze de neerwaartse stroming ten gevolge van de koude buitenlucht niet compenseren met alle comfortklachten van dien. In Figuur 3.6 is af te lezen wat de benodigde warmte-afgifte is van de radiator om alleen de koudeval te compenseren. Het benodigde vermogen om het discomfort ten gevolge van een te lage inblaastemperatuur te compenseren, dient fors hoger te zijn.

Het toepassen van warmteterugwinning uit de ventilatielucht

Lage inblaastemperaturen zijn te voorkomen door het gebruik van warmteterugwinning uit de ventilatielucht. Aandachtspunt is dat het toepassen van warmteterugwinning een ventilatiesysteem D vereist. Dit betekent dat de lucht mechanisch dient te worden toe- en afgevoerd. Dit kan zowel centraal als decentraal worden uitgevoerd. In deze rapportage wordt niet verder ingegaan op ventilatiesysteem D.

Figuur 4.3 Decentrale ventilatie met warmteterugwinning, wordt



niet verder uitgewerkt in deze rapportage

4.3 Samenvatting

In Tabel 4.3 zijn de oorzaken van lokaal discomfort ten gevolge van het toepassen van zeer lage temperatuurverwarming weergegeven met daarbij de richtlijnen op welke wijze het voorkomen kan worden. De richtlijnen zijn met een kleur gearceerd. Deze arcering geeft aan het risico op lokaal discomfort bij toepassing van de richtlijn.

Oorzaken lokaal discomfort ten gevolge van het toepassen van een ventilatiesysteem met natuurlijke toevoer	Richtlijnen ter voorkoming van discomfort ¹
Te lage inblaastemperatuur	Het plaatsen van radiatoren of convectoren onder de gevelroosters.
	Het toepassen van warmteterugwinning uit de ventilatielucht (ventilatiesysteem D).
Slechte positionering van gevelroosters	Gevelroosters plaatsen op tenminste 1,8 meter boven het vloerniveau.
Inblaassnelheid	Het toepassen van winddrukgestuurde gevelroosters.
	Het toepassen van elektronisch gestuurde gevelroosters.
¹ Arcering geeft het risico op lokaal discomfort aan: - Groen: kleine kans op lokaal discomfort; - Geel: aanwezige kans op lokaal discomfort - Oranje: grote kans op lokaal discomfort; - Rood: zeer grote kans op lokaal discomfort.	

Tabel 4.3 Oorzaken en richtlijnen ter voorkoming van lokaal discomfort ten gevolge van het toepassen van een ventilatiesysteem met natuurlijke toevoer (ventilatiesysteem A, C)

5 Systemconcepten

In dit hoofdstuk worden de systeemconcepten samengesteld en beoordeeld op risico discomfort, energiegebruik, investering en epc.

5.1 Beschrijving concepten

Elk systeemconcept bestaat uit een afgiftesysteem voor ruimteverwarming en een ventilatiesysteem. In paragraaf 5.1.1 zijn de verschillende afgiftesystemen voor ruimteverwarming beschreven en in paragraaf 5.1.2 zijn de hoofdventilatiesystemen met de mogelijke varianten beschreven.

5.1.1 Afgiftesystemen

In de woningbouw wordt onderscheid gemaakt in de volgende afgiftesystemen voor ruimteverwarming:

- + vloerverwarming;
- + convectoren;
- + radiatoren.

Bij het samenstellen van de systeemconcepten is alleen vloerverwarming als afgiftesysteem meegenomen. Vloerverwarming is namelijk het enige afgiftesysteem in de woningbouw dat geschikt is voor zeer lage temperatuurverwarming (aanvoertemperatuur $<35^{\circ}\text{C}$).

5.1.2 Ventilatiesystemen

Hoofdsystemen

Ventilatiesystemen kunnen worden ingedeeld in vier hoofdsystemen:

- + ventilatiesysteem A: ventilatievoorziening met natuurlijke toe- en afvoer;
- + ventilatiesysteem B: ventilatievoorziening met mechanisch toevoer en natuurlijke afvoer;
- + ventilatiesysteem C: ventilatievoorziening met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer;
- + ventilatiesysteem D: ventilatievoorziening met mechanische toe- en afvoer.

Deze rapportage heeft alleen betrekking op de ventilatiesystemen met natuurlijke toevoer (ventilatiesysteem A en C), omdat deze systemen vooral in combinatie met zeer laagtemperatuurafgiftesystemen lokaal discomfort veroorzaken.

Systeemvarianten

Algemeen

Elk hoofdsysteem bestaat vervolgens uit meerdere ventilatiesysteemvarianten. Deze varianten onderscheiden zich op een aantal aspecten:

- + type rooster;
- + type regeling;
- + zonerings.

Type gevelroosters

Er bestaan grofweg drie verschillende type gevelroosters voor een ventilatiesysteem met natuurlijke toevoer, te weten: een standaard ongeregeld rooster, een winddrukgestuurde gevelrooster, een elektronisch gestuurde gevelrooster. Het nadeel van een standaard ongeregeld rooster is dat het ventilatiedebiet door het rooster afhankelijk is van de winddruk op de buitengevel. Mechanische winddrukgestuurde gevelroosters en een elektronisch gestuurde gevelroosters hebben dit nadeel niet. Bij deze roosters wordt de doorlaat van het rooster mechanisch of elektrisch gestuurd. Het voordeel van elektrische sturing is dat dit rooster individueel kan worden aangestuurd met een regeling, wat vooral energetische voordelen heeft.

Type sturing

Ventilator en elektronisch gestuurde roosters kunnen met een regeling worden aangestuurd. In de woningbouw zijn de volgende sturingen gangbaar:

- + handmatige sturing (een standenschakelaar);
- + tijdsturing;
- + sensorregeling (CO₂-sensor/vochtsensor)

Bij tijdsturing wordt op ingestelde tijden het afzuigebiet van de ventilator verhoogd of verlaagd en bij elektronische gestuurde roosters worden deze meer open en of meer dicht gestuurd.

Bij sensorregeling worden de ventilator en de elektronisch gestuurde roosters gestuurd op binnenluchtkwaliteit in de woonkamers, slaapkamer (CO₂-concentratie) en luchtvochtigheid in de badkamer.

Zonering

Bij een aantal ventilatiesysteemvarianten wordt een woning opgedeeld in meerdere ventilatiezones, zoals een woonzone en een slaapzone. Het voordeel hiervan is dat er alleen in de zones waar gebruikers aanwezig zijn geventileerd hoeft te worden. Dit heeft een energiebesparing tot gevolg in vergelijking met een ventilatiesysteem zonder zonering.

5.2 Overzicht concepten

De concepten zijn samengesteld aan de hand van de indeling die in de NEN8088-1:2011¹ wordt gehanteerd. Hierbij is vloerverwarming, als enige type zeer lage temperatuurafgiftesysteem voor ruimteverwarming aan toegevoegd. In Tabel 5.1 zijn de concepten weergegeven.

Systeem	Omschrijving	Type rooster	Type regeling
Systeem A: ventilatievoorziening met natuurlijke toe- en afvoer			
A.1	Standaard	Standaard rooster	Handmatig
A.2a-c	Winddrukgestuurd	Mechanisch winddrukgestuurd	Handmatig
Systeem C: ventilatievoorziening met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer			
C.1	Standaard	Standaard rooster	Handmatig
C.2a-c	Winddrukgestuurd	Standaard rooster	Handmatig
C.3a	Tijdsturing op afvoer	Standaard rooster	Tijdgestuurd
C.3b	Winddrukgestuurd, tijdsturing in woonkamer en open keuken	Mechanisch winddrukgestuurd	Tijdgestuurd
C.3c	Tijdsturing op toe- en afvoer	Elektronisch gestuurd	Tijdgestuurd
C.4a	Winddrukgestuurd, CO ₂ -sturing in woonkamer en open keuken	Mechanisch winddrukgestuurd	CO ₂ -gestuurd
C.4b	CO ₂ -sturing indirect op toevoer per verblijfsruimte	Elektronisch gestuurd	CO ₂ -gestuurd
C.4c	Winddrukgestuurd, CO ₂ -sturing op afvoer per verblijfsruimte	Mechanisch winddrukgestuurd	CO ₂ -gestuurd

Tabel 5.1 Overzicht concepten met vloerverwarming als afgiftesysteem

¹ Ventilatie en luchtdoorlatendheid van gebouwen - Bepalingsmethode voor de toevoerluchttemperatuur gecorrigeerde ventilatie- en infiltratieluchtvolumestromen voor energieprestatieberekeningen - Deel 1: Rekenmethode

5.3 Beoordeling systeemconcepten

In paragraaf 5.2 zijn de systeemconcepten samengesteld. Deze systeemconcepten zijn vervolgens in Tabel 5.2 beoordeeld op de volgende aspecten:

- + binnenklimaat bij goed functionerend systeem;
- + kans op lokaal discomfort;
- + risico foutgebruik;
- + indicatieve investering bij een tussenwoning.

Binnenklimaat bij een goed functionerend systeem

Wat een gebruiker ervaart aan binnenklimaat is van vele factoren afhankelijk (onder andere: kwaliteit buitengevel, type ventilatiesysteem, type afgiftesysteem). Bij de bepaling van de systeemconcepten is gekozen om het type ventilatiesysteem te wisselen. Bij de beoordeling van het binnenklimaat is dit dan ook als enige variabele meegenomen. Daarnaast is er bij de beoordeling van uitgegaan dat de systeemconcepten conform de geldende richtlijnen zijn gemonteerd.

Wordt de luchtkwaliteit van het systeem goed beoordeeld en is er geen kans op koudeval, dan ontvangt het concept vijf punten voor binnenklimaat. Aspecten die een negatieve invloed hebben krijgen de volgende puntaftek:

- + inblaas van koude lucht met CO₂-regeling: -1 punt;
- + inblaas van koude lucht met tijdssturing: -2,0 punten;
- + inblaas van koude lucht met winddrukgestuurde roosters: -3,0 punten;
- + inblaas van koude lucht met open-/dicht roosters: -4,0 punten.

Dit wordt als volgt gevisualiseerd:

- + ventilatiesysteem: 5 punten = zeer goed = 😊😊😊😊😊;
- + ventilatiesysteem: 4 punten = goed = 😊😊😊😊;
- + ventilatiesysteem: 3 punten = voldoende = 😊😊😊;
- + ventilatiesysteem: 2 punten = matig = 😊😊;
- + ventilatiesysteem: 1 punt = matig = 😊.

Kans op lokaal discomfort

Bij de beoordeling van de kans op lokaal discomfort is er van uitgegaan dat de systeemconcepten gebouwd zijn conform de geldende richtlijnen die in hoofdstuk 3 zijn weergegeven ter voorkoming van lokaal discomfort. De oorzaak van lokaal discomfort heeft dus betrekking op het type ventilatiesysteem met bijbehorende roosters. De systemen zijn als volgt beoordeeld:

- + kans op lokaal discomfort: zeer groot (toepassing van open-/dicht gevelroosters);
- + kans op lokaal discomfort: groot (toepassing van winddrukgestuurde gevelroosters);
- + kans op lokaal discomfort: aanwezig (toepassing van elektronisch gestuurde gevelroosters);
- + kans op lokaal discomfort: klein (toepassen van gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning).

Risico foutgebruik

Een ventilatiesysteem kan goed zijn ontworpen en doordacht. Echter wanneer de gebruiker het ventilatiesysteem op een verkeerde wijze gebruikt, kan dit negatieve invloed hebben op het energiegebruik en of het binnenklimaat. Het risico op foutgebruik van het ventilatiesysteem heeft te maken met de mate van voorlichting aan bewoner maar ook het type ventilatiesysteem. Bij sommige ventilatiesystemen is het risico op foutgebruik hoger, dan bij andere systemen. Bijvoorbeeld bij systeemconcept 'CO₂-sturing indirect op toevoer per verblijfsruimte' (Ventilatiesysteem D.4b) is het risico op foutgebruik veel kleiner dan bij natuurlijke toevoer en mechanisch afvoer (Ventilatiesysteem C.1), waarin de gebruiker de standenschakelaar op de minimale stand kan zetten.

De volgende indeling is gehanteerd bij de beoordeling van het risico op foutgebruik:

- + groot: risico op foutgebruik door de gebruiker is groot;
- + gemiddeld: risico op foutgebruik door de gebruiker is gemiddeld;
- + klein: risico op foutgebruik door de gebruiker is klein.

Hoe groter het risico op foutgebruik, hoe belangrijker de informatievoorziening naar de gebruiker is.

Investingering

Per systeemconcept zijn alleen de indicatieve investeringen van het ventilatiesysteem weergegeven voor een nieuwbouwwoning. Deze investeringen zijn projectmatig vastgesteld, omvatten zowel materiaalkosten als arbeidskosten en hebben betrekking op de volgende onderdelen (indien in het ventilatieconcept toegepast):

- + gevelroosters;
- + gevelunits inclusief voeding;
- + luchtkanalen;
- + afzuigventielen;
- + afzuigunit;
- + standenschakelaars inclusief bedrading;
- + CO₂-sensor/tijdsturing inclusief bedrading.

De vermelde indicatieve investeringen hebben een prijspeil 2012 en kunnen in werkelijkheid afwijken door het gebruik van andere fabrikanten, afwijkende eigenschappen van de woning.

Beoordeling systeemconcepten

In Tabel 5.2 is een beoordeling weergegeven van de systeemconcepten met vloerverwarming in combinatie met verschillende ventilatievoorzieningen.

Nr.	Type ventilatiesysteem conform de NEN8088-1:2011	Binnenklimaat bij goed functionerend systeem ¹	Kans op lokaal discomfort	Risico fout gebruik	Indicatie investeringskosten t.o.v. de referentie ²
Systeem A: ventilatievoorziening met natuurlijke toe- en afvoer					
A.1	Standaard	😊	Zeer groot	Groot	Referentie
A.2a-c	Winddrukgestuurd	😊😊	Groot	Groot	Vergelijkbaar met ref.
Systeem C: ventilatievoorziening met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer					
C.1	Standaard	😊	Zeer groot	Groot	1,5 * ref.
C.2a-c	Winddrukgestuurd	😊😊	Groot	Groot	1,5 * ref.
C.3a	Tijdsturing op afvoer	😊😊😊	Groot	Gemiddeld	1,5 * ref.
C.3b	Winddrukgestuurd, tijdsturing in woonkamer en open keuken	😊😊😊	Groot	Gemiddeld	1,5 * ref.
C.3c	Tijdsturing op toe- en afvoer	😊😊😊	Aanwezig	Gemiddeld	2,5 * ref.
C.4a	Winddrukgestuurd, CO ₂ -sturing in woonkamer en open keuken	😊😊😊😊	Groot	Gemiddeld	2 * ref.
C.4b	CO ₂ -sturing indirect op toevoer per verblijfsruimte	😊😊😊😊	Aanwezig	Gemiddeld	3 * ref.
C.4c	Winddrukgestuurd, CO ₂ -sturing op afvoer per verblijfsruimte	😊😊😊😊	Groot	Gemiddeld	3,5 * ref.
¹ Meer punten = beter binnenklimaat.					
² Indicatieve investeringen voor een tussenwoning voor het ventilatiesysteem (exclusief vloerverwarming).					

Tabel 5.2 Beoordeling systeemconcepten met vloerverwarming in combinatie met verschillende ventilatievoorzieningen

6 Praktijkervaringen in redelijk goed geïsoleerde woningen

Uit de hoofdstukken 3 en 4 blijkt dat er verschillende aspecten zijn, die lokaal discomfort kunnen veroorzaken bij een systeemconcept met natuurlijke toevoer in combinatie met zeer lage temperatuurverwarming. In de praktijk is het tijdens de inspectie al lastig om de precieze oorzaak van de comfortproblemen van de bewoners te achterhalen. Dit betekent dat het bijzonder lastig is om gebruikerservaringen aan een bepaald systeemconcept of nog beter aan een bepaalde gebouwaspect of gebruikersaspect te koppelen. In dit hoofdstuk worden gebruikerservaringen van onderzoeken gepresenteerd, waarbij dus afgevraagd moet worden of dit per definitie gekoppeld mag worden aan het betreffende systeem.

Aandachtspunt hierbij is dat het in dit hoofdstuk gaat om woningen die redelijk goed geïsoleerd zijn:

- + EPC ligt tussen 1,0 en 0,6,
- + Rc-waarde van gevel en vloer: tussen 2,5 en 3,0 m²K/W,
- + Glas: Hr⁺⁺-glas (U_w = 1,65 W/m²K),
- + Infiltratie [q_v;10;kar/m²]: 1,0 tot 0,625 (waarde overgenomen uit de EPC-berekening, dus niet gemeten).

Dit betekent dat de gevelkwaliteit voldoende is om de ruimtes te verwarmen op basis van afgifte via vloerverwarming (als hoofdverwarming). De transmissie is echter nog dusdanig dat de vloerverwarming bij koudere buitencondities relatief vaak in bedrijf is om de ruimtes op temperatuur te houden.

6.1 Vloerverwarming

Er zijn weinig onderzoeken bekend naar gebruikservaringen van vloerverwarming bij bewoners. DWA installatie- en energieadvies heeft in opdracht van Uneto-VNI in 2006 een onderzoek uitgevoerd naar de praktijkervaringen van installatieconcepten voor de woningbouw. Vanuit de ervaringen uit dit onderzoek zijn verschillende artikelen gepubliceerd in bijvoorbeeld de 'Verwarming en Ventilatie', 'Energy magazine', 'Duurzaam bouwen'. Dit onderzoek heeft plaatsgevonden onder 32 bewoners, waarbij 21 enquêtes zijn geretourneerd en onder een aantal medewerkers van installatiebedrijven. Onderstaande praktijkervaringen zijn op dit onderzoek gebaseerd.

Volgens de richtlijnen werken

Uit het onderzoek blijkt dat bouw- en installatiebedrijven structureel minder klachten hebben wanneer zij werken volgens de richtlijnen, zoals de ISSO-richtlijnen. Daarnaast blijkt dat 90% van de klachten met installaties kunnen worden voorkomen, wanneer volgens de richtlijnen wordt gewerkt. Dit betekent niet dat tochtklachten voor 90% kan worden voorkomen. Dit onderzoek heeft betrekking op alle installaties en ook systeemconcepten met gebalanceerde ventilatie.

Informatievoorziening aan de (toekomstige) bewoner

Algemeen

Uit het onderzoek blijkt dat de tevredenheid van de installatie mede afhankelijk is van de informatievoorziening aan de bewoner. Deze informatievoorziening heeft betrekking op zowel de keuze van het systeemconcept voor de bouw als de informatievoorziening tijdens de oplevering van de woning.

Informatievoorziening voor de bouw

Informatievoorziening voor de bouw van de woning heeft voornamelijk betrekking op het helder communiceren van de voordelen, nadelen en aandachtspunten van het systeemconcept. Bij een systeemconcept met zeer lage temperatuurverwarming en natuurlijke toevoer kan gedacht worden aan de volgende voordelen, nadelen en aandachtspunten:

- + voordelen:
 - vloerverwarming neemt in de kamer geen ruimte in;
 - gelijkmatige verdeling van de warmteafgifte in een ruimte;

- zeer lage aanvoertemperaturen mogelijk, wat een hoger opwekkingsrendement / lagere energiekosten tot gevolg heeft bij vooral duurzame warmte-opwekkers;
- mogelijkheid tot koeling.
- + nadelen:
 - lokaal discomfort, vooral bij extremere buitencondities en windbelasting;
 - trager verwarmingssysteem in vergelijking met radiatoren;
 - afwezigheid van een voelbare warmtebron. Bewoners kunnen hun spullen niet voorverwarmen of laten drogen op een radiator.
 - geen warmteterugwinning uit de ventilatielucht.
- + aandachtspunten:
 - type vloerafwerking;
 - geen / beperkt nachtverlaging.

Bovenstaande punten zijn voorbeelden en dienen voor de bewoners verder uitgewerkt te worden.

Informatievoorziening tijdens de oplevering

Tijdens de oplevering is het van belang dat er een duidelijke gebruikershandleiding en gebruiksinstructies is voor het gebruik van de installaties. Deze stukken dienen geschreven te zijn op het niveau van de bewoner en bij voorkeur tijdens de oplevering te worden doorgenomen. Indien hier voldoende aandacht aan wordt gegeven, dan blijkt dat de bewoner een stuk tevredener is over zijn installatie.

Thermische comfortbeleving

Uit de enquêtes van de bewoners blijkt dat de ervaringen wisselend zijn wat betreft de thermische comfortbeleving. Van de bewoners met vloerverwarming vindt een deel de constante temperatuur erg behaaglijk. Echter een ander deel mist de aanwezigheid van een zichtbare stralingsbron, waardoor vloerverwarming negatiever wordt beoordeeld.

Verder blijkt uit de enquêtes van de bewoners dat vloerverwarming en natuurlijke toevoer tochtproblemen veroorzaken. Onbekend hierbij is wat voor type gevelroosters er bij deze bewoners zijn geïnstalleerd en op welke wijze dit beoordeeld moet worden.

Ook is tijdens interviews met medewerkers van installatiebedrijven naar voren gekomen dat door toepassing van drukgestuurde roosters tochtproblemen grotendeels te voorkomen zijn. Onbekend is hoe de medewerkers tot dit inzicht zijn gekomen.

6.2 Ventilatiesysteem

Tocht

Er zijn verschillende onderzoeken, die zich richten op de kwaliteit van ventilatiesystemen in de woningen met de bijbehorende gebruikerservaringen. In Tabel 6.1 en Tabel 6.2 is de gebruikerservaring van 'tocht' weergegeven van de geënuquêteerde huishoudens van twee verschillende onderzoeken.

Tochthinder subjectief afkomstig van ramen of roosters	Natuurlijke toevoer, mechanische afvoer	Balansventilatie	Totaal
Geen hinder	16 (33%)	38 (75%)	54
Wel hinder	32 (67%)	13 (25%)	45
Totaal	48	51	99

Tabel 6.1 Aantallen woningen met tocht door luchttoevoer via roosters volgens geënuquêteerden (bron: Gezondheid en ventilatie in woningen in Vathorst)

Ervaren tocht per ventilatiesysteem	Natuurlijke toevoer, mechanische afvoer	Balansventilatie	Totaal
Nooit of soms	118 (85%)	136 (93%)	254
Ja, vaak (elke week) (n)	21 (15%)	11 (7%)	32
Totaal	139	147	286

Tabel 6.2 Ervaren tocht (bron: Kwaliteit van mechanische ventilatiesystemen in nieuwbouw eengezinswoningen en bewonersklachten)

Beide onderzoeken hebben betrekking op nieuwbouwwoningen en type ventilatiesysteem C en D. Onbekend is echter welk afgiftesysteem in de woning is toegepast en onder welke omstandigheden de gebruiker tocht ervaart. Gebruikers ervaren meer tochtthinder bij lage buitentemperatuur, dan bij hoge buitentemperaturen.

Uit de tabellen kan wel geconcludeerd worden dat een ventilatiesysteem op basis van natuurlijke toevoer meer hinder veroorzaakt, dan een ventilatiesysteem met balansventilatie en warmteterugwinning.

Thermisch comfortbeleving

Uit het onderzoek in Vathorst is verder naar voren gekomen dat de gemeten luchttemperatuur en de gemeten luchtvochtigheid van een ventilatiesysteem met natuurlijke toevoer gelijk is aan een ventilatiesysteem met gebalanceerde ventilatie. Deze metingen in samenhang met de gebruikerservaringen suggereren dat de gebruikers lokaal discomfort ervaren, wat daadwerkelijk anders is dan de algemene thermische comfortbeleving in een ruimte.

Communiceren met bewoners

Een aanbeveling uit het onderzoek Vathorst is dat de tekortkomingen in de onderzochte woningen te verhelpen zijn door onder andere het informeren van en communiceren met de bewoners. In relatie tot het toepassen van een ventilatiesysteem met natuurlijke toevoer in combinatie met laagtemperatuurverwarming, verdient het aanbeveling om de (toekomstige) bewoner voor de keuze van het systeemconcept goed te informeren over de gevolgen in de gebruiksfase (bijvoorbeeld dat er lokaal discomfort kan optreden, wanneer de bank direct onder of in het verlengde van een gevelrooster wordt geplaatst). De bewoner ook te informeren over de werking van het ventilatiesysteem en de gevolgen van bepaalde handelingen. Een voorbeeld hierbij is dat wanneer een gevelrooster sluit, de kans op tocht bij de andere roosters toeneemt door de toename van het luchtdebiet over de resterende geopende roosters. Het af te zuigen ventilatiedebiet moet namelijk ook de woning in worden gezogen.

6.3 Samenvatting

Uit de onderzoeken naar gebruikerservaringen van de bewoners met natuurlijke toevoer en/of in combinatie met zeer lage temperatuurverwarming, blijkt dat het niet eenvoudig is om de ervaringen van de bewoner toe te schrijven aan een bepaald bouwkundig, installatietechnisch onderdeel of systeemconcept. Uit de hoofdstukken 3 en 4 is ook gebleken dat lokaal discomfort verschillende oorzaken kan hebben. Desondanks zijn de volgende aspecten van belang bij succesvol toepassen van natuurlijke gevelventilatie in combinatie met zeer lage temperatuurverwarming:

- + werken volgens de richtlijnen;
- + informatievoorziening aan de (toekomstige) bewoner.

Werken volgens de richtlijnen

Uit onderzoek is naar voren gekomen dat 90% van de voorkomende installatietechnische klachten, te voorkomen zijn door volgens de richtlijnen te werken. Als de bouw- en installatiebedrijven werken volgens de geldende richtlijnen, hebben ze ook structureel minder klachten. De geldende richtlijnen staan in het bouwbesluit en de ISSO-publicatie beschreven. Richtlijnen specifiek voor het minimaliseren van lokaal discomfort bij toepassing van natuurlijke toevoer en vloerverwarming zijn ook in paragraaf 3.3 en paragraaf 4.2 weergegeven.

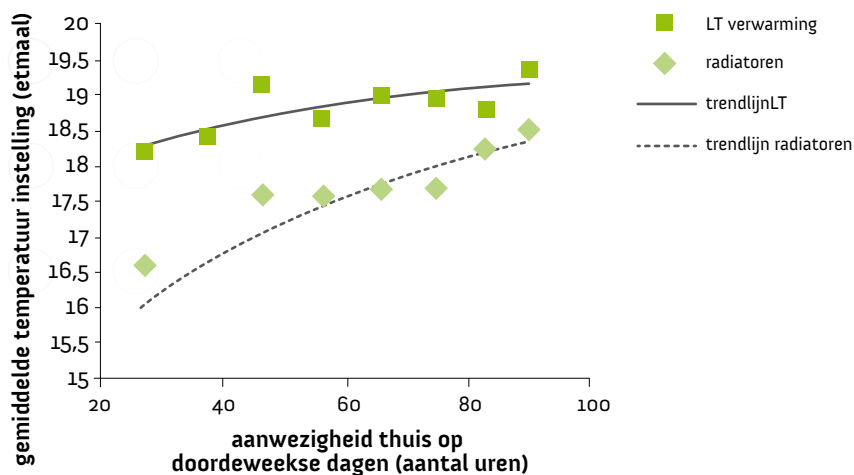
Informatievoorziening aan de (toekomstige) bewoner

De (toekomstige) bewoner laat zijn tevredenheid van het systeemconcept mede afhangen van wat hij weet van het systeem. Een goede informatievoorziening naar de bewoner toe, voor de bouw en tijdens de oplevering, verhoogt de tevredenheid tijdens de gebruikperiode. Het wordt dan ook sterk aanbevolen om de werking, voordelen, nadelen en aandachtspunten van het systeemconcept in een vroeg stadium uit te leggen. Daarnaast verdient het de voorkeur om gebruikershandleiding en gebruiksinstructies te schrijven op het niveau van de bewoner en deze te overhandigen en uit te leggen tijdens de oplevering van de woning.

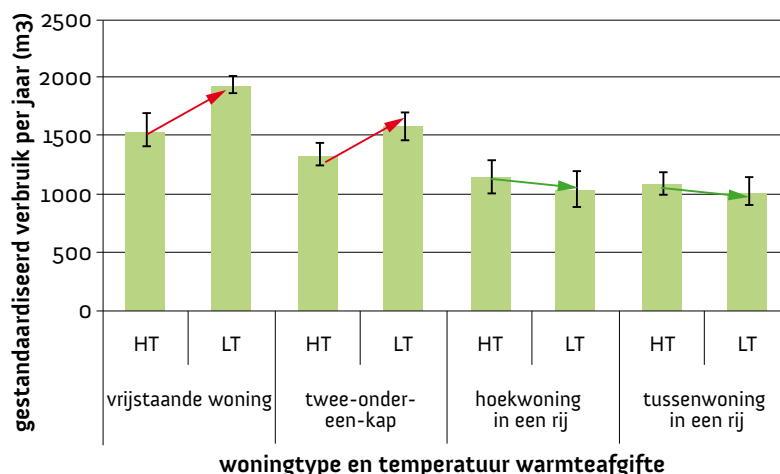
7 Praktijkervaringen in zeer goed geïsoleerde woningen

In hoofdstuk 6 zijn praktijkervaringen weergegeven met redelijk goed geïsoleerde woningen. In de periode 2012 tot 2016 is door meerdere partijen uit de bouwsector geconstateerd dat bewoners van zeer goed geïsoleerde woningen met een warmtepomp met vloerverwarming hun thermostaat circa 1 graad hoger instelden dan zij deden in hun vorige huis met radiatoren en een hr-cv-ketel. De vraag was of dit het gevolg is van het rebound-effect (wij zijn toch zuinig, dus kan/mag het wel ietsje warmer zijn, net zoals de spaarlamp die gemiddeld langer en vaker aan was dan de conventionele gloeilamp) of heeft dit te maken met een vorm van comfortbeleving? Later bleek dat dit ook het geval is met soortgelijke woningen die voorzien van een hr-cv-ketel en vloerverwarming als hoofdafgiftesysteem.

In het rapport 'Evaluatie EPC-aanscherping woningen' (Rigo, april 2010) stonden ook opmerkelijke figuren over de relatie tussen de gemiddelde temperatuurinstelling en het afgiftesysteem (zie onderstaande figuren).



Figuur 7.1 Gemiddelde temperatuurinstelling naar aanwezigheid in huis, onderscheiden voor woningen met Lt-verwarming en woningen met radiatoren (bron: rapport Rigo, april 2010)



Figuur 7.2 Gasverbruik in eengezinswoningen bij twee verschillende typen afgiftesystemen, gecontroleerd voor woningtype, woninggrootte, en type ventilatiesysteem (bron: rapport Rigo, april 2010)

Naar aanleiding van deze constatering zijn indicatieve onderzoeken uitgevoerd om het effect van een hogere temperatuurinstelling (en daarmee een hoger energiegebruik voor ruimteverwarming) in zeer goed geïsoleerde woningen te verkennen.

7.1 Opzet verkenning

Indicatief onderzoek in woningen, waarbij de bewoners gevraagd is om tijdens de onderzoeksperiode een logboek bij te houden.

- + Totaal zes woningen (bewoners jonger dan vijftig jaar, deels met kinderen).
- + Woningen gebouwd tussen 2010 en 2014.
- + Vloerverwarming als hoofdverwarming (tijdens onderzoek).
- + Twee woningen met warmtepomp (zonder aanvullende radiatoren) en vier woningen met cv-ketel (waarvan twee met aanvullende radiatoren, de aanwezige radiatoren zijn tijdens de evaluatie uitgeschakeld).
- + Vijf woningen voorzien van ventilatiesysteem C en één woning van ventilatiesysteem D (met inblaasroosters waarmee alleen het debiet ingesteld kan worden); de woning met ventilatiesysteem D was voorzien van een cv-ketel zonder aanvullende radiatoren op de begane grond.
- + Buitentemperaturen tijdens evaluatieperiode: -5°C (nacht) tot $+5^{\circ}\text{C}$ (overdag).
- + Bewoners hebben een logboek bijgehouden voor hun waarde-oordeel wat betreft comfortbeleving (gevraagd is om dit gedurende het onderzoek door dezelfde persoon te laten invullen).

Het betreft woningen die beter geïsoleerd zijn dan de woningen die in hoofdstuk 6 zijn genoemd. Karakteristieken van deze woningen:

- + EPC ligt tussen 0,8 en 0,
- + Rc-waarde van gevel en vloer: $> 3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$,
- + Glas: Hr⁺⁺-glas ($U_w = 1,65 \text{ W/m}^2\text{K}$),
- + Infiltratie [$q_v;10;kar/m^2$]: 0,625 tot 0,40 (waarde overgenomen uit de EPC-berekening, dus niet gemeten).

De bewoners is gevraagd om op bepaalde momenten een waardering te geven van hun persoonlijke beleving van het comfortniveau. De bewoners konden de volgende waardering geven (van goed naar minder goed):

- + zeer comfortabel;
- + comfortabel;
- + redelijk comfortabel;
- + matig comfortabel;
- + oncomfortabel.

7.2 Ervaringen bewoners

Verschillende situaties zijn beoordeeld bij verschillende zitposities.

Zitpositie in het midden van de woonkamer

- + Tkamer = 19°C en Tvloer = circa 25°C : comfortabel.
- + Tkamer = 20°C en Tvloer = circa 20°C : matig/redelijk comfortabel.
- + Tkamer = 21°C en Tvloer = circa 21°C : comfortabel.
- + Tkamer = 21°C en Tvloer = circa 25°C : (zeer) comfortabel.

Zitpositie in het midden van de woonkamer (in combinatie met een elektrisch convectorkachelkje dat aan is)

- + Het kachelkje wordt in het algemeen als erg plezierig ervaren omdat de luchttemperatuur snel stijgt (in een goed geïsoleerde woning) en een warm oppervlak aanwezig is dat als behaaglijk wordt ervaren.
- + Tkamer = 19°C en Tvloer = circa 25°C (en de elektrische kachel aan): (zeer) comfortabel.
- + Tkamer = 19°C en Tvloer = circa 20°C (en de elektrische kachel aan): (redelijk) comfortabel.
- + Tkamer = 20°C en Tvloer = circa 20°C is (en de elektrische kachel aan): (zeer) comfortabel.

Zitpositie direct naast een blinde muur (goed geïsoleerde gevel met Rc-waarde $> 3,5$)

- + Tkamer = 19°C en Tvloer = circa 25°C : redelijk comfortabel.
- + Tkamer = 21°C en Tvloer = circa 21°C : redelijk comfortabel.

Zitpositie direct bij een groot raam (HR⁺⁺ glas)

- + Tkamer = 19°C en Tvloer = circa 25°C : redelijk comfortabel; oppervlaktetemperatuur meubels wordt als koud ervaren.
- + Tkamer = 20°C en Tvloer = circa 20°C : oncomfortabel.
- + Tkamer = 21°C en Tvloer = 21°C : matig comfortabel.

Algemene bevindingen

- + Bij echte koude buitencondities (de vloer is de hele dag warm op 24/25°C):
 - zitpositie in het midden van de woonkamer: comfortabel;
 - zitpositie direct naast een blinde muur (goed geïsoleerde gevel met Rc-waarde > 3,5): redelijk comfortabel;
 - zitpositie direct bij een groot raam (HR++ glas): matig comfortabel.
- + Natuurlijke toevoer van ventilatielucht en Tvloer = circa 25°C: oncomfortabel in het gebied binnen een straal van drie tot vier meter vanaf toevoerrooster.
- + Recht onder het inblaasrooster van een balansventilatiesysteem en Tvloer = circa 25°C: matig comfortabel (inblaasttemperatuur is minimaal 2°C lager dan de ruimtetemperatuur en bij een niet verwarmde bovenverdieping minimaal 2°C lager dan de ruimtetemperatuur).

7.3 Eerste analyses

Dit betreft een indicatief onderzoek, waarbij de onderzoeksgroep erg beperkt was. De resultaten geven echter wel een richting aan, maar vergen zeker nog verder onderzoek.

Evaluatie

- + Natuurlijke toevoer van ventilatielucht zorgt voor een forse verslechtering van de ervaren comfortbeleving in het gebied binnen een straal van drie tot vier meter vanaf toevoerrooster. Ook als de vloer warm is (circa 25°C).
- + Bij een positie recht onder het inblaasrooster van een balansventilatiesysteem worden ook al snel comfortklachten benoemd zelfs als de vloer warm is (omdat de inblaasttemperatuur zeker 2-3°C lager is dan de ruimtetemperatuur, het is namelijk een mix-temperatuur van de woonkamer en de slaapkamers).
- + Bij inactiviteit in de buurt van de dichte gevel wordt genoemd dat er koude afstraalt van de gevel. Bij glas is dat nog een factor erger (in combinatie met een koudeval langs wat hogere ramen).
- + Door de goede isolatie hoeft niet zoveel warmte toegevoerd te worden. Hierdoor zijn afgiftesystemen maar een beperkt deel van de tijd actief, waardoor momenten ontstaan waarbij de stralingscomponent van de gevel en het glas onvoldoende gecompenseerd wordt door de hogere warmtestraling en dus een gevoel van discomfort ontstaat. Mogelijk speelt ook de contacttemperatuur van de vloer hierbij een rol.
- + Verhoging van de ruimtetemperatuur naar 21°C (in plaats van de genormeerde ruimtetemperatuur van 20°C) lijkt gewenst met het oog op de comfortbeleving van de bewoners.

8 Metingen in woningen

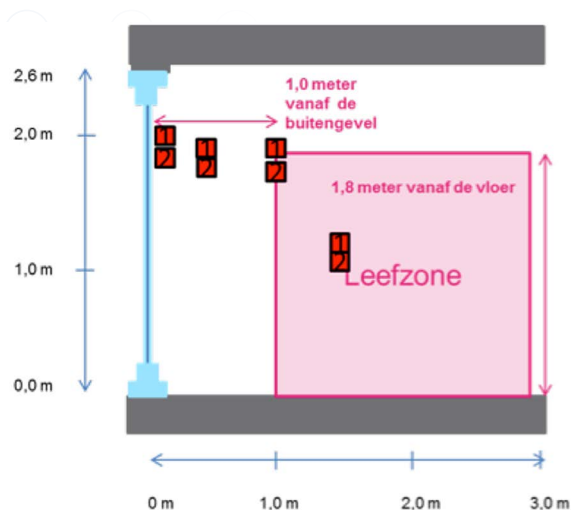
Er zijn metingen in drie woningen uitgevoerd om het comfortaspect van natuurlijke toevoerroosters en de koudeval langs een hoog raam in beeld te brengen onder verschillende condities. In twee woningen is het comfortniveau bepaald bij de toevoer van koude buitenlucht via natuurlijke toevoerroosters (bij de derde woning was het niet mogelijk om dit te doen, omdat deze woning voorzien is van balansventilatie) en in alle drie de woningen is de koudeval langs het glasoppervlak bepaald. Het comfortniveau is gekarakteriseerd op basis van de zogenaamde 'draught rate'. Dit geeft, op basis van een genormaliseerde meting, het percentage mensen weer dat ontevreden is over de ongewenste lokale afkoeling van het lichaam door luchtbeweging (combinatie van luchtsnelheid en luchttemperatuur).

De resultaten staan weergegeven in bijlage II.

8.1 Lokaal discomfort door toetreding koude buitenlucht via natuurlijke toevoerroosters

Onderstaande figuur geeft het overallbeeld weer van de meetresultaten in de twee woningen. Het nummer in het blokje geeft het woningnummer weer en de kleur is een maat voor de draught rate:

- + Rood: verwachte hoge discomfort beleving
- + Geel/oranje: verwachte beleving van discomfort
- + Groen: verwachte lage beleving van discomfort



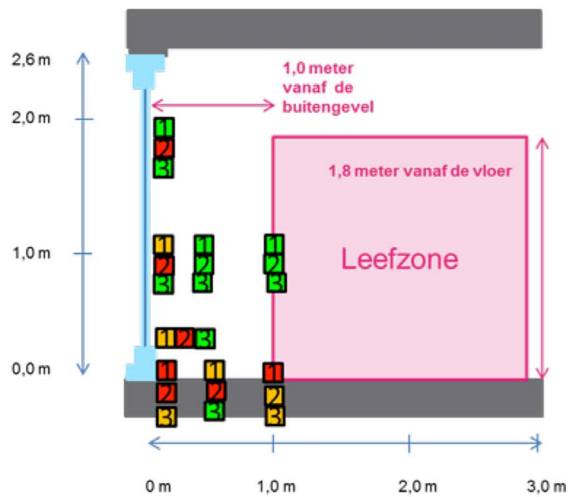
Figuur 8.1 Overallbeeld meetresultaten in de twee woningen

De metingen ondersteunen de ervaringen dat er sprake is van discomfort door toetreding van koude ventilatielucht via de natuurlijke toevoerroosters bij lagere buitencondities.

8.2 Lokaal discomfort door koudeval langs glaspartij in de gevel

Onderstaande figuur geeft het overallbeeld weer van de meetresultaten direct langs de gevel in de drie woningen. Het nummer in het blokje geeft het woningnummer weer en de kleur is een maat voor de draught rate:

- + Rood: verwachte hoge discomfort beleving;
- + Geel/oranje: verwachte beleving van discomfort;
- + Groen: verwachte lage beleving van discomfort.



Figuur 8.2 Overallbeeld meetresultaten direct langs de gevel in de drie woningen

De resultaten zijn onvoldoende eenduidig om conclusies aan te verbinden. Het lijkt dat de koudeval direct langs het raam niet direct ervaren wordt, maar dat deze zich met name manifesteert dicht bij de vloer. Dit lijkt ook bevestigd te worden door onderstaande infraroodopname. Het aantal metingen is echter onvoldoende om zwaarwegende conclusies aan te verbinden, Verder onderzoek is gewenst.

De volgende figuur laat het temperatuurverloop op de haakse wand van het raam zien, gemaakt met een IR-toestel. Het raam is inclusief kozijn 2,30 meter hoog en heeft geen roosters. Dit betekent dat de afkoeling van de haakse wand wordt veroorzaakt door infiltratie of koudeval. Gezien het steeds breder worden van het kleurverloop naar beneden is het aannemelijk om dit als koudeval te karakteriseren.



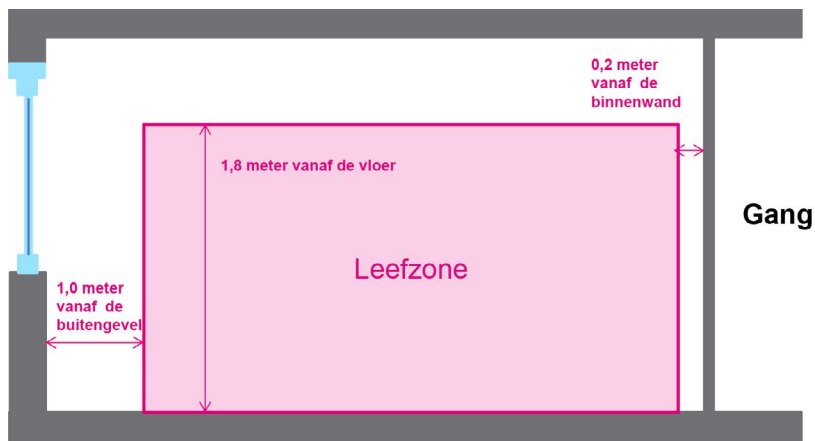
Figuur 8.3 Temperatuurverloop op de haakse wand van het raam

Bijlage I Leefzone

De leefzone is een gebied in een ruimte, waarin personen worden geacht te verblijven bij normaal gebruik van de ruimte. De leefzone is een gebied, die voldoet aan de volgende aspecten:

- + 1,0 meter vanaf de buitengevel;
- + 0,2 meter vanaf de binnenwanden die het verblijfsgebied omgrenzen;
- + 1,8 meter vanaf de vloer.

In onderstaande figuur is dit visueel weergegeven.



Figuur 0.1 Leefzone

Bijlage II Praktijkmetingen per woning

Woning 1

Omschrijving

- + Opnametijdstip: woensdag 13 maart 2013 tussen 6.00 en 9.00 uur;
- + Buitentemperatuur: -3°C;
- + Binnentemperatuur: 18-19°C, tenzij anders is vermeld;
- + Type woning: tussenappartement;
- + Bouwjaar woning: 2010;
- + Afgiftesysteem: convectoren voor ruimteverwarming, deze staan niet onder het raam.
- + Ventilatiesysteem: natuurlijke toevoer via winddrukgestuurde roosters en mechanische afzuiging (Ventilatiesysteem C2a);

- + Hoogte gevelrooster: 2 meter;
- + Aantal roosters: 2 roosters van 47 cm in de woonkamer;
- + Hoogte kozijn inclusief glas: 2,30 meter.



Metingen toevoer van koude buitenlucht

Bij deze woning zijn de volgende drie metingen verricht:

- + mechanische afzuiging maximaal en verwarming uit;
- + mechanische afzuiging maximaal en verwarming aan;
- + mechanische afzuiging stand 2 en verwarming aan.

Mechanische afzuiging maximaal en verwarming uit

Door de combinatie koud weer en geen verwarming aan, daalde de temperatuur gedurende de meting naar 16°C.

Hoogte vanaf de grond (m)	Afstand vanuit het raam (m)	Temperatuur (°C)	Snelheid (m/s)	Draught Rating (DR) %
2	0,1	7,3	2	100%
1,9	0,5	12,9	0,4	100%
1,9	1	13	0,4	100%
1,2	1,5	14,2	0,3	73%

Tabel 0.1 Mechanische afzuiging maximaal en verwarming uit

Mechanische afzuiging maximaal en verwarming aan

Hoogte vanaf de grond (m)	Afstand vanuit het raam (m)	Temperatuur (°C)	Snelheid (m/s)	Draught Rating (DR) %
2	0,1	8	1,8	100%
1,9	0,5	14,9	0,3	70%
1,9	1	17	0,2	36%
1,2	1,5	18	0,2	34%

Tabel 0.2 Mechanische afzuiging maximaal en verwarming aan

Mechanische afzuiging stand 2 en verwarming aan

Hoogte vanaf de grond (m)	Afstand vanuit het raam (m)	Temperatuur (°C)	Snelheid (m/s)	Draught Rating (DR) %
2	0,1	7,8	1	100%
1,9	0,5	18,3	0,3	58%
1,2	1	18,3	0,3	58%

Tabel 0.3 Mechanische afzuiging maximaal en verwarming aan

Koudeval

De resultaten van de koudeval metingen zijn hieronder weergegeven.

Hoogte vanaf de grond (m)	Afstand vanuit het raam (m)	Temperatuur (°C)	Snelheid (m/s)	Draught Rating (DR) %
1,9	0,1	17,4	0,02	0%
1,1	0,1	17,5	0,1	13%
0,2	0,1	17,3	0,1	13%
0,1	0,1	17,3	0,15	24%
1,1	0,5	18,2	0,03	0%
1,1	1	18,2	0,03	0%
0,1	0,5	17,8	0,12	17%
0,1	1	17,6	0,14	21%

Tabel 0.4 Mechanische afzuiging maximaal en verwarming aan

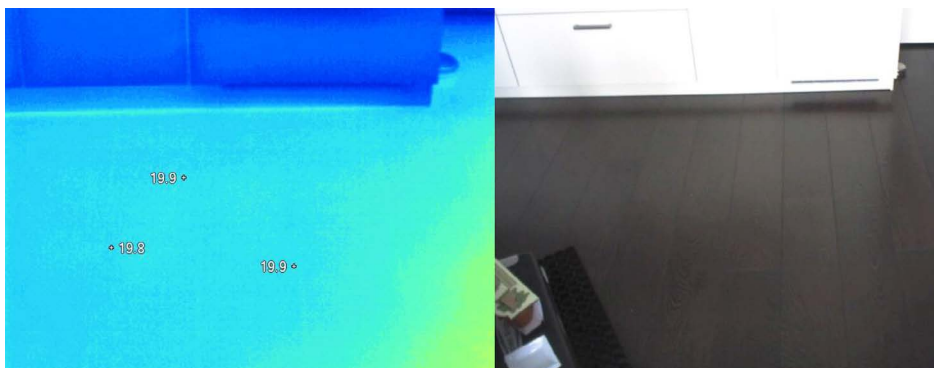
De volgende figuur laat het temperatuurverloop op de haakse wand van het raam gemaakt met een IR-toestel. Het raam is inclusief kozijn 2,30 meter hoog en heeft geen roosters. Dit betekent dat de afkoeling van de haakse wand wordt veroorzaakt door infiltratie of koudeval. Gezien het steeds breder worden van het kleurverloop naar beneden is het aannemelijk om dit als koudeval te bestempelen.



Figuur 0.1 Temperatuurverloop op de haakse wand van het raam

Contacttemperatuur van de vloer

In onderstaande foto's is de vloertemperatuur weergegeven.



Uit metingen blijkt dat de vloertemperatuur 19,9°C is. Hiermee levert de vloer geen discomfort op.

Woning 2

Omschrijving

- + Opnametijdstip: woensdag 13 maart 2013 tussen 12.00 en 14.00 uur;
- + Buitentemperatuur: 3°C;
- + Binnentemperatuur: 18,5-19,5°C;
- + Type woning: rijtjeswoning (tussen);
- + Bouwjaar woning: 2012;
- + Afgiftesysteem: vloerverwarming;
- + Ventilatiesysteem: natuurlijke toevoer via winddrukgestuurde roosters en mechanische afzuiging (Ventilatiesysteem C2a);
- + Hoogte gevelrooster: 2,5 meter;
- + Aantal roosters: 1 rooster in de woonkamer;
- + Hoogte kozijn inclusief glas: 2,4 meter.



Metingen toevoer van koude buitenlucht

Bij deze woning zijn de volgende drie metingen verricht:

- + mechanische afzuiging maximaal en verwarming aan;
- + mechanische afzuiging stand 2 en verwarming aan.

Mechanische afzuiging maximaal en verwarming aan

Hoogte vanaf de grond (m)	Afstand vanuit het raam (m)	Temperatuur (°C)	Snelheid (m/s)	Draught Rating (DR) %
2	0,1	17,4	0,7	100%
1,7	0,5	18,8	0,08	8%
1,1	0,5	19,1	0,1	12%
1,1	1	19,4	0,14	19%
1,7	1	19,5	0,14	19%
1,7	2	19,1	0,25	43%
1,1	2	19,2	0,3	54%

Tabel 0.5 Mechanische afzuiging maximaal en verwarming aan

Mechanische afzuiging stand 2 en verwarming aan

Hoogte vanaf de grond (m)	Afstand vanuit het raam (m)	Temperatuur (°C)	Snelheid (m/s)	Draught Rating (DR) %
1,7	2	19,4	0,06	4%
1,7	1,3	19,5	0,2	31%
1,1	0,5	19,7	0,15	20%
1,1	1	19,9	0,15	20%
1,1	1,5	19,9	0,2	30%
1,1	2	19,9	0,1	11%

Tabel 0.6 Mechanische afzuiging maximaal en verwarming aan

Koudeval

De resultaten van de koudeval metingen zijn hieronder weergegeven.

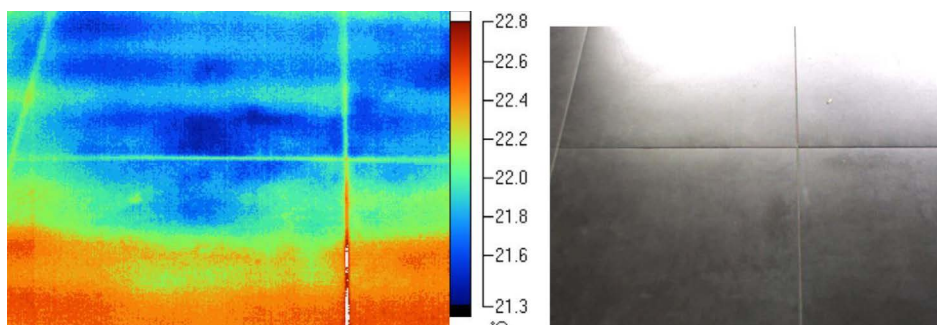
Hoogte vanaf de grond (m)	Afstand vanuit het raam (m)	Temperatuur (°C)	Snelheid (m/s)	Draught Rating (DR) %
2,3	0,1	18,7	0,15	22%
2,1	0,1	18,6	0,2	32%
0,2	0,1	18,7	0,2	32%
0,1	0,5	19	0,15	21%
0,1	1	19,3	0,1	11%
1,1	1	19,6	0,04	0%
1,1	0,5	19,8	0,04	0%
2,3	0,1	18,7	0,15	22%

Tabel 0.7 Mechanische afzuiging maximaal en verwarming aan

Er is geen IR-foto beschikbaar voor de koudeval van deze woning. De zon stond namelijk voor een deel op deze gevel.

Contacttemperatuur van de vloer

In onderstaande foto's is de vloertemperatuur weergegeven.



Uit metingen blijkt dat de vloertemperatuur gemiddeld 22,0°C is. Hiermee levert de vloer geen discomfort op.

Woning 3

Omschrijving

- + Opnametijdstip: woensdag 28 maart 2013 tussen 8.30 en 9.30 uur;
- + Buitentemperatuur: -0,7°C;
- + Binnentemperatuur: 16,5-17,5°C;
- + Type woning: rijtjeswoning (tussen);
- + Bouwjaar woning: onbekend;
- + Afgiftesysteem: radiatoren;
- + Ventilatiesysteem: gebalanceerde ventilatie met warmterugwinning (ventilatiesysteem D.2b);
- + Hoogte gevelrooster: niet van toepassing;
- + Aantal roosters: geen roosters in de gevel;
- + Hoogte kozijn inclusief glas: 2,0 meter.

Metingen toevoer van koude buitenlucht

In de woning is een gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinning opgenomen. Hierdoor zijn er geen metingen uitgevoerd voor de toevoer van koude buitenlucht.



Koudeval

De resultaten van de koudeval metingen zijn hieronder weergegeven.

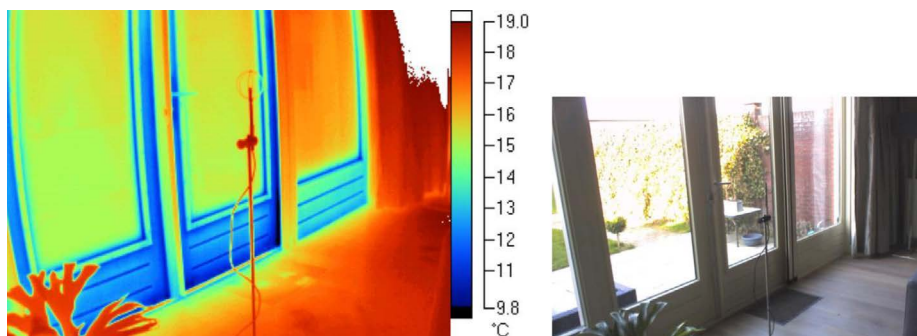
Hoogte vanaf de grond (m)	Afstand vanuit het raam (m)	Temperatuur (°C)	Snelheid (m/s)	Draught Rating (DR) %
1,9	0,1	17,5	0,04	0%
0,9	0,1	17,6	0,03	0%
0,2	0,1	17,6	0,07	6%
0,1	0,1	17,6	0,1	13%
1,1	0,5	17,5	0,02	0%
1,1	1	17,5	0,03	0%
0,1	0,5	17,6	0,12	10%
0,1	1	17,3	0,1	13%

Tabel 0.8 Mechanische afzuiging maximaal en verwarming aan

Er is geen IR-foto beschikbaar voor de koudeval van deze woning. De ramen staan namelijk niet haaks op de buitengevel.

Contacttemperatuur van de vloer

In onderstaande foto's is de vloertemperatuur weergegeven.



De contacttemperatuur van de vloer varieert bij deze woning van 14,5°C tot 16,6°C. De 14,5°C is op 10 cm afstand van de gevel en 16,6°C is op een afstand van 1,0 meter van de gevel. Hiermee levert de vloer discomfort op. Echter er dient gerealiseerd te worden dat de binnentemperatuur tussen de 16,5 en 17,5°C bedraagt. De verwachting is dat bij een hogere, comfortabele binnentemperatuur, de vloer geen discomfort oplevert.

Bijlage III Referenties

Dijken F van, AC Boerstra (2011) *Onderzoek naar de kwaliteit van ventilatiesystemen in nieuwbouw eengezinswoningen. BBA Binnenmilieu*

ISSO (2011), *ISSO-publicatie 85: Thermisch actieve vloeren, Stichting ISSO*

ISSO (2009), *ISSO-publicatie 92: Ventilatiesystemen met decentrale toevoer en centrale afvoer in woningen en woongebouwen, Stichting ISSO*

Roijen E (2009) *Nieuw onderzoek naar natuurlijke luchttoevoer met laag temperatuur verwarming. ISSO ThemaTech/Cauberg-Huygen*

TVVL (2009), *Cursus TVVL luchtbehandelingstechniek, TVVL*

Duijm F, Hady M, Ginkel J van, Bolscher GH ten (2007) *Gezondheid en ventilatie in woningen Vathorst GGD Eemland*

DWA installatie- en energieadvies (2006) *Inventarisatie energie- efficiënte en comfortabele concepten voor de woningbouw. DWA installatie- en energieadvies*

Wisse CJ (2006) *Inzet van CFD voor beter ontwerp van het binnenklimaat Stedebouw & architectuur/DWA installatie- en energieadvies*

ISSO (2004), *ISSO-publicatie 49: Vloer- /wandverwarming, vloer- /wandkoeling, Stichting ISSO*

Mansson LG (2002) *IEA ECBCS Annex 27 Evaluation and Demonstration of Domestic Ventilation Systemes International Energy Agency*

Jongeneel WP, Bogers RP, Kamp I van (2011) *Kwaliteit van mechanische ventilatiesystemen in de nieuwbouw eengezinswoningen en bewonersklachten Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu*

ISSO (2002) *Handboek installatietechniek, Stichting ISSO*

www.uneto-vni.nl