

Cahier

De hitte de baas

Koeling in zorginstellingen



College bouw
zorginstellingen

Eerder verschenen cahiers:

- **Domotica. Tips voor zorginstellingen (december 2006)**
- **Toegankelijk bouwen voor mensen met een zintuiglijke handicap of een allergie (februari 2005)**
- **Flexibel bouwen in de zorg – IFD-bouwen in de praktijk (november 2004)**
- **Qind – een nieuw evaluatieinstrument voor integrale gebouwkwaliteit (juni 2004)**
- **Multifunctioneel bouwen in de ouderenzorg (februari 2004)**
- **Het aanbesteden van werken (juni 2003)**

Cahiers kunnen - zolang de voorraad strekt – worden besteld via de website van het College bouw zorginstellingen (www.bouwcollege.nl). Ze zijn op deze site ook te downloaden.

Inhoudsopgave

Inleiding	3
I Definities en uitgangspunten	5
Behaaglijkheid	5
Behaaglijkheidsmodellen	5
Temperatuuroverschrijdingen	6
Temperatuuroverschrijdingsberekeningen	7
Het buitenklimaat	8
Open en gesloten gebouwen	9
II Te hoge binnentemperaturen voorkomen	11
III Vermindering risico's op uitdroging en/of oververhitting	13
IV Installatie concepten	15
Koude opwekking	15
Distributie	17
Afgiftesystemen	18
V Uitgangspunten berekeningen	27
Referentiegebouwen	27
Financiële uitgangspunten	27
Toegepaste koelconcepten	28
VI Resultaten	29
Toepasbaarheid koelconcepten	29
Beoordeling concepten	30
Bijlage	37
Literatuurlijst	39



Inleiding

Reeds vanaf het uitkomen van de eerste bouwmaatstaven heeft het bouwcollege aandacht besteed aan het binnenklimaat in verpleeghuizen. In een aantal onderzoeken, praktijkinventarisaties, enquêtes en rekenstudies bij verpleeghuizen is het bureau van het Bouwcollege gebleken dat het binnenklimaat in met name de zomer door het personeel en de bewoners als een probleem wordt ervaren. In 2002 heeft dit geresulteerd in het opnemen van de mogelijkheid tot het aanbrengen van koeling bij nieuwbouw in verpleeghuizen in de AWBZ-bouwmaatstaven.

De onmiskenbare verandering in het klimaat in Nederland, die leidt tot een stijging van de temperatuur, heeft ertoe geleid dat vanaf 2007 ook de financiële mogelijkheden om in nieuwbouw voor verzorgingshuizen koeling aan te brengen zijn verruimd.

Vanuit het veld bereikten en bereiken het Bouwcollege daarnaast vele vragen over de mogelijkheden voor koeling in bestaande zorggebouwen.

Eerder is reeds een overzicht samengesteld van organisatorische maatregelen die in verpleeg- en verzorgingshuizen uitgevoerd kunnen worden om de temperatuurstijging in de kamers zoveel mogelijk te beperken. In dit cahier wordt ook ingegaan op maatregelen welke bouwkundige en beperkte installatietechnische veranderingen met zich mee brengen.

In dit cahier zijn de mogelijkheden van het aanbrengen van koeling in zowel bestaande bouw als nieuwbouw weergegeven. Bij nieuwbouwprojecten is de keuze in principe vrij en kan koeling (vrijwel) altijd aangebracht worden. In bestaande bouw is de keuzevrijheid vaak beperkt en zijn niet alle mogelijkheden voor koeling ook werkelijk toepasbaar. In dit rapport zijn daarom bij elk concept de mogelijkheden en beperkingen aangegeven, zodat een goed beeld ontstaat van de mogelijkheden per gebouwsoort.

In hoofdstuk I wordt ingegaan op de theoretische achtergronden van begrippen als thermische behaaglijkheid en behaaglijkheidsmodellen, en op de wijze waarop deze begrippen kunnen worden gekwantificeerd.

Vervolgens worden verschillende installatieconcepten beschreven met de belangrijkste voor- en nadelen. Hierbij is zowel de wijze van opwekking, als de distributie en afgifte van koude beschreven.

Om de mogelijkheden in kaart te brengen zijn daarna de uitgangspunten geformuleerd. Hierbij is een aantal veel voorkomende gebouwtypen gedefinieerd en vastgelegd welke eisen gesteld worden aan een comfortabel binnenklimaat.

Tot slot is concreet gekeken naar de mogelijkheden die elk concept biedt in verschillende gebouwtypen en zijn de belangrijkste kengetallen weergegeven op gebied van investering en energiegebruik.



I Definities en uitgangspunten

Behaaglijkheid

Thermische behaaglijkheid of thermisch comfort kan als volgt worden gedefinieerd: *“Die toestand waarin de mens tevreden is over zijn thermische omgeving en geen voorkeur heeft voor een warmere of koudere omgeving”*.

Het binnenklimaat in een ruimte bepaalt – mede – de thermische behaaglijkheid van de personen in een ruimte.

Bij thermische behaaglijkheid speelt de warmtehuishouding van de mens een belangrijke rol. Deze warmte huishouding wordt beïnvloed door zogenaamde comfortparameters. Dit zijn de binnenklimaatparameters luchttemperatuur, gemiddelde stralingstemperatuur, luchtsnelheid en luchtvochtigheid, en parameters die de persoon zelf betreffen, activiteit en kleding.

Deze parameters samen bepalen of het thermisch binnenklimaat als comfortabel wordt ervaren.

Behaaglijkheidsmodellen

Om de warmtebalans van het lichaam te beschrijven zijn vele modellen ontwikkeld. Één van eenvoudigste en meest gebruikte modellen is dat van *Fanger*. Dit model, gebaseerd op een stationaire warmtebalans van de mens, gaat uit van voornoemde binnenklimaat- en persoonsgebonden parameters. Het vormt ook de basis van de internationale en de Nederlandse norm op het gebied van het binnenklimaat.

Fanger baseerde zijn model op een groot aantal metingen aan proefpersonen, die met bepaalde soorten kledingcombinaties gedurende enige uren in een ruimte verbleven. In deze ruimte werden de binnenklimaatparameters, zoals luchttemperatuur en luchtsnelheid, constant gehouden. Na afloop van hun verblijf dienden de proefpersonen op een schaal van 7

aan te geven hoe het klimaat werd ervaren.

(Hierbij is -3 = koud, -2 = koel, -1 = enigszins koel, 0 = neutraal, +1 = enigszins warm, +2 = warm, +3 = heet)

Het resultaat van het model van *Fanger*, de voorspelde gemiddelde uitspraak (PMV: Predicted Mean Vote) is een getal tussen -3 en +3 dat de gemiddelde thermische waardering van een grote groep mensen voorspelt. De individuele waardering kan afwijken van deze gemiddelde waardering.

Het voorspelde percentage ontevredenenen de (PPD: Predicted Percentage of Dissatisfied) geeft een voorspelling van het aantal personen dat ontevre-



Thermisch behaaglijk: soms verwarmen, soms koelen

den is over het klimaat. Indien de PMV tussen -0,5 en +0,5 ligt, wat betekent dat het aantal ontevredenen beneden de 10% ligt, wordt het binnenklimaat behaaglijk genoemd.

Temperatuuroverschrijdingen

Voor de beoordeling van het thermisch binnenklimaat in kantoren in de zomer, hanteert men in Nederland in het algemeen de richtlijnen van de Rijksgebouwendienst. Deze richtlijnen zijn gebaseerd op de comfortgrenzen van het model van *Fanger*, met dien verstande dat bij extreme meteorologische condities in beperkte mate van de aanbevolen waarde mag worden afgeweken. Deze zienswijze is erop gebaseerd dat de mens een zekere relatie met de buitentemperatuur als natuurlijk ervaart (als het buiten erg warm is mag het binnen ook wat warmer zijn) en installaties die worden ontworpen op extreme condities complexer en kostbaarder zijn.

De richtlijnen gaan uit van de eis dat gedurende minimaal 90% van de jaarlijkse werktijd de PMV binnen het algemeen ervaren behaaglijkheidsgebied ligt, tussen de -0,5 en +0,5. Dit betekent dat het maximale percentage van 10% ontevredenen binnen werktijd incidenteel zal worden overschreden.

In zorggebouwen dient voor de werktijd de verblijftijd gelezen te worden. Dat zijn $(7 \times 24 =) 168$ uur per week.

Naast deze TO (Temperatuur Overschrijding) methode is in een later stadium de GTO (Gewogen Temperatuur Overschrijding) methode ontwikkeld. Hierbij worden de uren met een kleine overschrijding licht gewogen terwijl die met grotere temperatuuroverschrijdingen zwaarder tellen.

In de figuur op bladzijde 7 zijn drie voorbeelden gegeven van de berekende binnentemperatuur als functie van de buitentemperatuur. Hieruit kan worden afgelezen wat men in verschillende situaties voor het binnenklimaat kan verwachten afhankelijk van de buitentemperatuur. De getrokken lijnen zijn voor de verschillende situaties de gemiddelde binnentemperatuur bij een bepaalde buitentemperatuur. De spreiding van de binnentemperatuur is aangegeven met de symbolen. De spreiding heeft een aantal oorzaken, bijvoorbeeld de intensiteit van de zonneshijn.

Het verschil tussen de drie voorbeelden is de mate van actieve koeling. Minder koeling resulteert in een groter aantal uren dat de temperatuur de behaaglijkheidsgrens overschrijdt. De behaaglijkheidsgrens is gedefinieerd met behulp van metingen aan wat mensen als een prettig klimaat ervaren. Onder normale omstandigheden komt een prettig binnenklimaat overeen met een maximale binnentemperatuur van $25,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Deze behaaglijkheidsgrens ($T_{\text{binnen}} = 25,5^\circ\text{C}$) is met de zwarte onderbroken horizontale lijn in de figuur aangegeven.

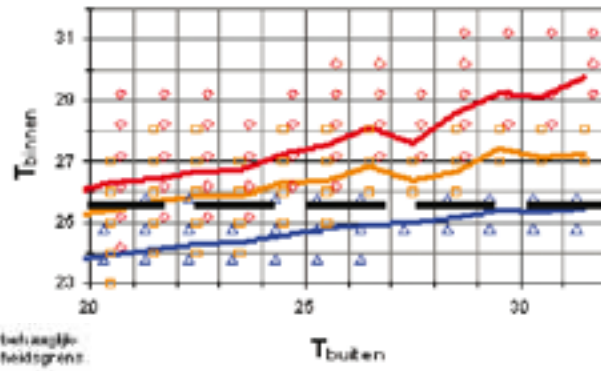
Een aantal uren per jaar komt de binnentemperatuur boven de behaaglijkheidsgrens uit. Deze uren kunnen worden geteld volgens de zojuist beschreven Gewogen Temperatuur Overschrijding (GTO) methode, waarbij uren dat het veel warmer is zwaarder meetellen.

In huishoudens is de grens van 300 GTO-uren acceptabel. Omdat bewoners van verpleeg- en verzorgingshuizen, net als in huishoudens, 24 uur per dag aanwezig zijn, is deze waarde aangehouden als de maxi-



Drie voorbeelden van de resulterende binnentemperaturen als functie van de optredende buitentemperatuur: onacceptabel warm binnenklimaat (rood), acceptabel binnenklimaat (oranje), en een binnenklimaat dat prima voldoet (blauw). De getrokken lijnen geven de gemiddelde binnentemperatuur aan, de symbolen van dezelfde kleur geven de spreiding aan. De onderbroken lijn is de behaaglijkheidsgrens.

(N.B. deze figuur is een indicatie; Hogere binnentemperaturen kunnen onder omstandigheden voor betreffende GTO-klasse optreden.)



maal toelaatbare overschrijding van de behaaglijkheidsgrens.

In de eerste situatie (prima, 3 GTO) blijft de binnentemperatuur bijna altijd onder de behaaglijkheidsgrens. Door de zeer lichte overschrijding is de bovengrens aangegeven voor een prima binnenklimaat, waar mensen zich voortdurend behaaglijk voelen.

In de tweede situatie (acceptabel, 300 GTO) is de overschrijdingsduur gelijk aan 300. Deze situatie geeft de grens aan waarbij het binnenklimaat nog acceptabel is.

Ter indicatie is ook nog een derde situatie (onacceptabel, 1000 GTO) aangegeven, waarin veel meer GTO-uren geteld zijn bij de berekening: 1000 GTO-uren. Dit resulteert in een onacceptabel warm binnenklimaat, veel warmer dan wat als comfortabel wordt ervaren.

Temperatuuroverschrijdingsberekeningen

Zoals hiervoor is toegelicht wordt in de praktijk vaak een zekere overschrijding van de op grond van de behaaglijkheidsgronden vastgestelde binnentemperatuur toegestaan. De mate van overschrijding en het aantal uren dat deze optreedt, worden beïnvloed door de interne en de externe thermische belasting. Door gebruik te maken van bouwkundige en regeltechnische mogelijkheden, zoals buitenzonwering, warmteopslag in de vloer, reflecterend glas, nachtventilatie, enzovoorts, kan de mate van overschrijding worden beïnvloed. Om in het ontwerpstadium van een gebouw de invloed van de verschillende mogelijkheden en maatregelen na te kunnen gaan en de ontwerpen te kunnen vergelijken is een gestandaardiseerde methode nodig. Hiervoor worden temperatuursimulatieberekeningen toegepast. Voor de temperatuuroverschrijdingsberekeningen moeten computerprogramma's gebruikt worden die gebaseerd zijn op zo nauwkeurig mogelijke rekenmodellen van de warmtehuishouding van het vertrek of de ruimte. D.w.z. het berekenen van de warmteoverdracht van de bouwkundige constructiedelen naar de lucht en omgekeerd, de warmtegeleiding in de constructie, de stralingsuitwisseling tussen de verschillende vlakken, de warmteaccumulatie in wanden, vloeren en plafonds en de ventilatie en infiltratie.

Om een dergelijke berekening te kunnen maken in de ontwerpfase van een gebouw zijn dus veel invoergegevens nodig.

- Afmetingen van vertrekken, raam- en deurgroottes, plaats van ramen en deuren, oriëntatie van de gevel.
- Bouwfysische gegevens van ramen, deuren, wanden, vloeren en plafonds (zoals warmtegeleiding, warmtecapaciteit, licht- en zonabsorptie en doorlatendheid).
- Ventilatie- en infiltratiehoeveelheden.
- Gebruiksafhankelijke keuzes zoals
 - Warmtebelasting door personen, verlichting en apparaten,
 - Schakelmomenten van zonwering en verlichting,
 - Bedrijfstijden en regelwijze van verwarming, eventuele koeling en ventilatie.

Achtergronden, uitgangspunten en gehanteerde definities bij temperatuursimulatieprogramma's zijn te vinden in ISSO publicatie 32

Het buitenklimaat

Om ieder uur de temperatuur in een ruimte te kunnen berekenen om daaruit de temperatuuroverschrijdingen te bepalen dient het hiervoor beschreven rekenmodel een interactie te hebben met het buitenklimaat. De zonnestralingsgegevens en de buitenluchttemperatuur worden daarbij ieder uur aan het rekenmodel toegevoegd en ieder uur wordt dan de optredende binnenluchttemperatuur berekend. Er is dus een klimaatbestand nodig dat een correcte gemiddelde waarde en een correcte verdeling van voorkomende frequenties heeft voor zonnestraling, temperatuur en vochtigheid, terwijl het bestand toch de normale dag- en sei-



Het tijdig schakelen van de buitenzonwering is essentieel voor het realiseren van een acceptabel binnenklimaat

zoensfluctuaties vertoont. Voor de bepaling van het aantal temperatuuroverschrijdingen wordt in het algemeen de zomer van 1964 gebruikt als zijnde een redelijk gemiddelde zomer over een periode van 15 jaar. De laatste jaren kenden een aantal zeer warme zomers. Vanuit het vakgebied komt dan ook de vraag naar voren of naast berekeningen van een gemiddelde zomer niet tevens berekeningen dienen te geschieden aan meer extreme zomerse situaties.

Indien een berekening wordt uitgevoerd voor een extra warme zomer, zoals deze in de afgelopen jaren enige malen is voorgekomen, kan het aantal overschrijdingen 30 % hoger liggen.

Open en gesloten gebouwen

Nu de begrippen temperatuuroverschrijding, temperatuuroverschrijdingsberekening en het buitenklimaat zijn toegelicht, wordt nogmaals ingegaan op het criterium behaaglijkheid

Er zijn de laatste jaren vanuit nationaal en internationaal onderzoek nieuwe inzichten ontstaan op het gebied van thermische adaptatie. Het is gebleken dat in niet-geklimatiseerde ruimtes de gebruikers hogere temperaturen acceptabel vinden dan op grond van de gangbare inzichten mag worden verwacht. Ervaringen, verwachtingen en beïnvloeding spelen hierbij een sleutelrol. Er zijn daarom nieuwe richtlijnen ontwikkeld voor het thermisch binnenklimaat waarbij rekening wordt gehouden met effecten van adaptatie. Het resultaat van dit onderzoek is vastgelegd in ISSO-publicatie 74.

De in Nederland gangbare TO en GTO-methode is gebaseerd op het model van *Fanger*. Dit model is ontwikkeld in een laboratorium, waarbij onder gecontroleerde omstandigheden de thermische omgeving werd gevarieerd en de thermische waardering van de proefpersonen werd geregistreerd. De proefpersonen konden zelf geen invloed op de thermische omgeving uitoefenen. De wereldwijde generalisatie van het PMV-model voor niet-geklimatiseerde ruimten is in wezen een oneigenlijke toepassing. Recente internationale veldonderzoeken hebben bevestigd dat het model van *Fanger* ook in de praktijk zou moeten worden beperkt tot het oorspronkelijke toepassingsgebied.

Het belangrijkste veldonderzoek laat zien dat mensen in gebouwen zonder mechanische koeling, met te openen ramen en eigen mogelijkheden om het thermisch binnenklimaat te beïnvloeden, een andere waardering van het binnenklimaat hebben dan het model van *Fanger* aangeeft. Met name in perioden met een hogere buitentemperatuur worden hogere binnentemperaturen geaccepteerd. Dit is het gevolg van de ervaringen van de gebouwgebruikers met het binnen- en buitenklimaat en de verwachtingen en voorkeuren die ze hierop baseren, gecombineerd met de mogelijkheden die zij hebben om zich actief aan de omgeving te kunnen aanpassen.

Deze methode wordt de ATB, de Adaptieve Thermische Behaaglijkheid genoemd.

Hierbij worden behaaglijkheidseisen die ontwikkeld zijn in geconditioneerde omstandigheden in een laboratorium, meer toepasbaar gemaakt op personen die zich in een meer natuurlijke woonomgeving bevinden. Gezien het experimentele stadium waarin deze richtlijnen nog verkeren wordt in dit cahier hier verder niet op ingegaan.



II Te hoge binnentemperaturen voorkomen

Er zijn verschillende manieren om het binnenklimaat te beheersen.

Als eerste zijn dat aandachtspunten waar in het ontwerp rekening gehouden moet worden, zowel bouwkundig als installatietechnisch.

Daarnaast is er een aantal punten van meer organisatorische aard. Wanneer een gebouw in gebruik is dient de organisatie bij (extreme) zomerse perioden een aantal maatregelen te treffen om te voorkomen dat het te snel opwarmt (hitteprotocol).

Bouwkundig

Vanuit het bouwkundige ontwerp zijn de volgende zaken van belang.

- Beperk het aantal gevelopeningen en dan met name van op het zuiden gerichte raampartijen.
- Zorg voor adequate zonwering, indien mogelijk buitenzonwering.
- Voer, daar waar zonwerende beglazing wordt toegepast, deze beglazing warmtreflecterend uit en niet warmteabsorberend.
- Zorg voor voldoende mogelijkheden voor (dwars-)ventilatie (Bijvoorbeeld door ramen en deuren tegen elkaar open te zetten. Dat kan in zorggebouwen echter tot ongewenste tochtklachten leiden).
- Beperk de warmtedoorgifte door gebouwen te voorzien van goede dak- en gevelisolatie.
- Beperk temperatuurschommelingen door gebouwen en ruimten voldoende massa te geven.
- Vermijd zo mogelijk grote glasoverkapte ruimten zoals atria. Als deze toch worden gerealiseerd, zouden ze geen verblijfsfunctie moeten krijgen. Een optimale natuurlijke ventilatie van deze ruimte, met gebruikmaking van de schoorsteenwerking, wordt wenselijk geacht.
- Pas zo mogelijk zelfventilerende daken toe, zoals pannendaken.

Installatietechnisch

Vanuit installatietechnische ontwerp zijn de volgende zaken van belang.

- Bij mechanische ventilatie moet worden voorkomen dat opgewarmde lucht wordt aangezogen. Dit kan bijvoorbeeld optreden indien de luchtaanzuigroosters geplaatst zijn direct boven een plat dak.



Platte daken zijn warme daken

- Reduceer de interne warmtelast door HF-verlichting en andere energiezuinige verlichting toe te passen.
- Zorg voor een centrale bediening van de zonwering.

Warme daken

Platte daken worden veelal uitgevoerd met dakleer. Dit materiaal is zwart en absorbeert alle zonnestraling. Er zijn materialen beschikbaar met een lichte kleur die als afdekking kunnen worden gebruikt en die de zonnestraling grotendeels reflecteren.

Ter illustratie. Een verpleeghuis uit de jaren 90 met topkoeling heeft met een zwart dak anderhalf keer zoveel gewogen overschrijdingsuren dan bij toepassing van een wit dak.

Organisatorische aandachtspunten

Verder kunnen zorginstellingen organisatorische maatregelen treffen. Dergelijke maatregelen behoren in een heet-weer protocol te zijn opgenomen.

Heet-weer protocol

In een heet-weer protocol (ook wel hitteprotocol genoemd) zijn alle maatregelen omschreven die ongewenst opwarmen van het gebouw voorkomen en de gevolgen daarvan voor cliënten en personeel beperken. Voorbeelden hiervan zijn

- het vroegtijdig weren van zoninstraling,
- het op een juiste wijze omgaan met (natuurlijke) ventilatiemogelijkheden,
- het gesloten houden van ramen en deuren als er sprake is van mechanische koeling van de ventilatielucht,
- het uitschakelen van de mechanische toevoer van lucht in perioden van grote hitte op het heetst van de dag,
- het uitschakelen van warmteproducerende apparatuur,
- het toepassen van temperatuurregistratie in kritische ruimten,
- het gebruik van specifieke aansturingprogramma's voor het mechanisch ventilatiesysteem en
- het gebruik van nachtventilatie, zodat het gebouw met koele nachtlucht wordt afgekoeld (zoals vrije koeling).

Wanneer bovengenoemde maatregelen niet volstaan kan worden gedacht aan het in meer of mindere mate toepassen van beperkte koeling, in het verleden ook wel topkoeling genoemd.

Betrek alle alternatieve mogelijkheden, waaronder ook betonkernactivering en warmte/koude opslag, bij de keuze voor maatregelen rond temperatuursbeheersing en weeg de voor- en nadelen van de verschillende opties goed tegen elkaar af.

III Vermindering risico's op uitdroging en/of oververhitting

Voor hulpverleners die dikwijls in een thuissituatie verzorging moeten bieden zijn door de Algemene Vereniging van Verpleegkundigen en Verzorgenden in 2006 richtlijnen opgesteld om risico's op uitdroging en/of oververhitting van patiënten te voorkomen (zie ook www.avvv.nl).

Maak een overzicht van alle cliënten die een verhoogd risico hebben

- Dit kunnen cliënten zijn die niet adequaat kunnen reageren op de situatie door hun beperkingen.
- Cliënten met specifieke aandoeningen als hartfalen, COPD of diabetes mellitus lopen extra risico's.
- Ook overgewicht en leeftijd verhogen het risico.

Zorg voor voldoende vochtinname

- Stimuleer mensen om voldoende te drinken. 2 tot 3 liter drinken is bij extreme warmte noodzakelijk.
- Geef cliënten inzicht in de hoeveelheid vocht die zij moeten drinken. Bijvoorbeeld door ze te stimuleren om tenminste twee mineraalwaterflessen van 1,5 liter per dag te leeg te drinken.
- Controleer indien mogelijk de urineproductie. Een productie van 1,5 liter per dag met een lichtgele kleur is een indicatie dat er voldoende wordt gedronken. Ook de frequentie waarmee een cliënt urineert vormt een indicatie. Informeer bijvoorbeeld wanneer cliënten voor het laatst hebben geürineerd.

Zorg voor afkoeling

- Stimuleer cliënten om zich luchtig te kleden.
- Zorg ervoor dat woningen zijn beschermd tegen invallend zonlicht.
- Stimuleer het gebruik van ventilatoren en airconditioners.



Stimuleer het gebruik van ventilatoren en airconditioners

Schakel mantelzorg in

- Doordring mantelzorgers van de noodzaak toezicht te houden op hun zorgafhankelijke naaste.
- Schakel bij het ontbreken van mantelzorgers personen in de directe omgeving van de cliënt in. Vraag hen om toe te zien dat alles goed gaat.
- Zorg er voor dat mantelzorgers goed zijn geïnstrueerd.

Wees creatief met zorgverleners

- Wees tijdens periodes van warmte extra creatief in de keuzes die je maakt. Zo kun je bijvoorbeeld overwegen om een half uur zorgverlening op te delen in één kwartier 's ochtends en één kwartier 's middags. Op die manier heb je meer mogelijkheden om de genoemde maatregelen toe te passen en te monitoren.
- Ook kun je overwegen om bepaalde onderdelen van de zorgverlening tijdelijk niet uit te voeren, om in plaats daarvan te zorgen dat de cliënt goed drinkt.
- Maak afspraken binnen je team hoe je de zorgverlening goed kunt aanpassen op de warmte.

Tot slot: ook de verzorgende dient voldoende te drinken!!



Zorg voor voldoende vochtinname

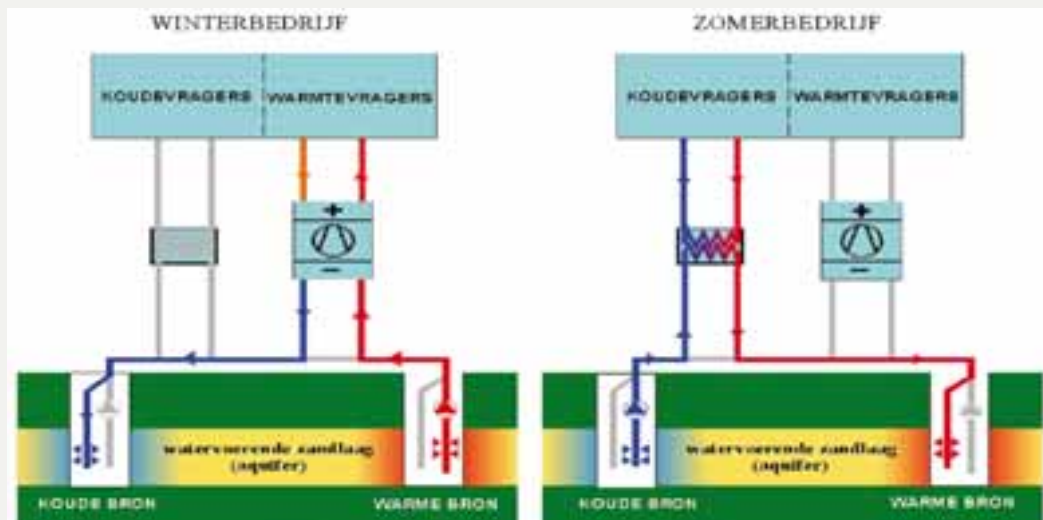
IV Installatieconcepten

In dit hoofdstuk worden de verschillende manieren beschreven waarop “koude” kan worden opgewekt, getransporteerd en afgegeven aan de ruimte. Ook worden de belangrijkste voor- en nadelen van de verschillende methoden opgesomd.

Koudeopwekking

Warmte- en Koudeopslag in de bodem

Bij warmte- en koudeopslag in de bodem (WKO) wordt gekoeld met water uit een bron (koude bron). De warmte die bij de koeling aan het gebouw wordt onttrokken wordt opgeslagen in de warme bron en in de winter gebruikt voor verwarming. In het grootste deel van Nederland is de bodem geschikt voor warmte- en koudeopslag. In grondwaterbeschermingsgebieden wordt over het algemeen geen WKO toegestaan.



Warmte- en koudeopslag in de bodem

Voordelen

++ Energiezuinig

Nadelen

- Hoge initiële investering
- Niet zondermeer geschikt voor traditionele verwarmingsinstallaties

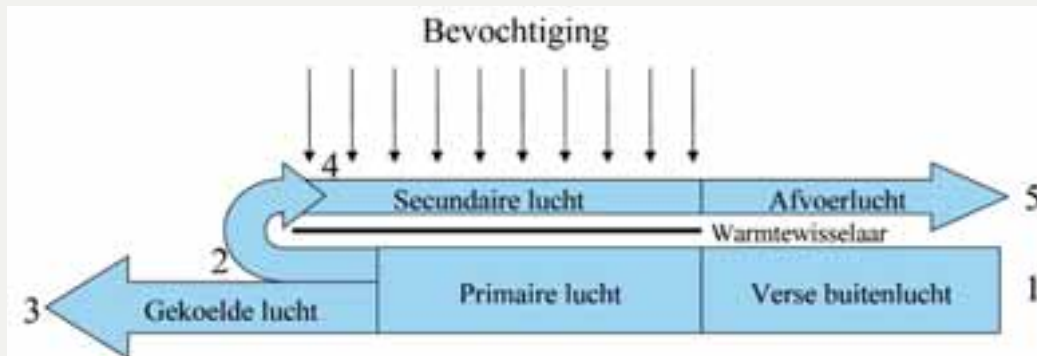
In de winter wordt het warme water uit de bron opgepompt en (e.v.t. via een warmtepomp) toegevoerd aan het gebouw (naar de radiatoren of aan de leidingen die in de vloer liggen) Het afgekoelde water wordt teruggepompt naar de koude bron. In de zomer periode gebeurt het omgekeerde.

Voorwaarde voor het kunnen toepassen van warmte- en koudeopslag in de bodem is dat het afgifte-systeem van het gebouw geschikt is voor laagtemperatuurverwarming en hoogtemperatuurkoeling.

Adiabatische koeling

Adiabatische koeling wordt ook wel dauwpuntskoeling genoemd. De koelende werking ontstaat door de verdamping van water. De bevochtigde lucht geeft de koude af aan de toevoerlucht en wordt naar buiten afgevoerd. De lucht kan worden afgekoeld tot minimaal circa 18 °C bij een buitentemperatuur van 30 °C. Bij een hoge luchtvochtigheid buiten is het koelvermogen beperkt omdat dan weinig of geen verdamping plaats vindt.

Als uitvoeringsvorm moet hierbij gedacht worden aan een wat grotere luchtbehandelingskast dan gebruikelijk.



Principe van adiabatische of dauwpuntskoeling

Voordelen

- + Energiezuinig
- + Geen koelmachines nodig
- + Lage onderhoudskosten

Nadelen

- Hoge initiële investering
- Prestatie afhankelijk van buitenomstandigheden.
Bij warm en drukkend weer onvoldoende koelvermogen.
- De toevoerlucht wordt alleen gekoeld en niet gedroogd.

Luchtgekoelde compressiemachine

De luchtgekoelde compressiekoelmachine onttrekt warmte aan een koelmedium en geeft deze warmte af aan de buitenlucht. Deze machine is de traditionele koelmachine zoals die op vele daken te zien is.

Het koelmedium kan bestaan uit water of koudemiddel. Op het verschil tussen deze media wordt nader ingegaan in het hoofdstuk distributie.



Compressiekoelmachine

Voordelen

- + Breed inzetbaar
- + Groot vermogen beschikbaar

Nadelen

- Hoog elektriciteitsverbruik
- Geluid (buiten)

Absorptie warmtepomp

Een absorptiewarmtepomp maakt gebruik van hoogwaardige restwarmte om hiermee koude of laagwaardige warmte op te wekken. Koudeopwekking met een absorptiewarmtepomp is energetisch alleen aantrekkelijk indien er sprake is van echte restwarmte uit bijvoorbeeld een industrieel proces. Bovendien dient de temperatuur hoog te zijn, circa 60 °C.

In de praktijk blijkt inpassing van een absorptiewarmtepomp maar beperkt mogelijk. In veel gevallen is zij gekoppeld aan warmte/krachtkoppeling (WKK). Deze vorm van koudeopwekking is daarmee zo projectspecifiek dat er hier niet verder op ingegaan wordt.

Distributie (van koude en warmte)

Er zijn drie veelgebruikte manieren van koude-(en warmte-)distributie.

- Watervoerende leidingen. Het afgegeven vermogen is een functie van de hoeveelheid water en het verschil in temperatuur tussen aanvoer en retour. Water heeft een relatief hoge soortelijke warmte. Water is de meest toegepaste energiedrager voor distributie van warmte en koude.
- Via luchtkanalen. De dichtheid van lucht is veel kleiner (1/1000) dan die van water én de soortelijke warmte is lager. Om een gelijke hoeveelheid warmte of koude te transporteren is daarom een veel groter volume lucht nodig dan in geval van water. Deze hoeveelheid is 1,5 tot 2 maal groter dan de hoeveelheid lucht die normaliter benodigd is voor ventilatie.
- Via koelleidingen met koelmiddel. Belangrijk verschil hierbij is dat gebruik wordt gemaakt van de verdampingswarmte van het koelmiddel. Bij het verdampen van een vloeistof komt veel energie vrij. De energiedichtheid is hierbij zeer groot.

Vergelijk de ervaring van een nat of een droog lichaam in de wind. Bij het verdampen van (in dit geval) water van de huid treedt een groter koelend effect op dan puur op basis van het verschil in temperatuur (droog lichaam).

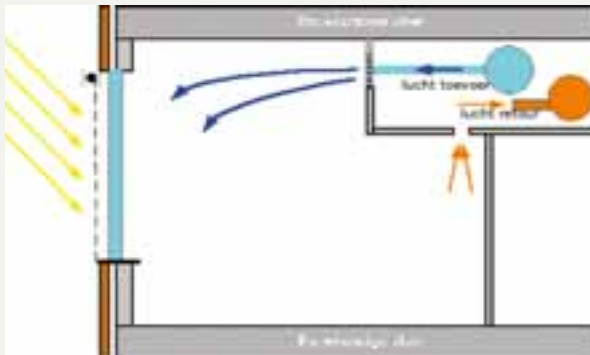
De onderstaande figuur illustreert de mogelijkheden tot inpassing van de genoemde energiedragers, water, lucht en koudemiddel.

De wijze van distributie is vaak een afgeleide van de koudeopwekking en het afgiftesysteem. Daar het afgiftesysteem medebepalend is voor de mogelijkheden tot inpassing wordt hier bij de beschrijving van de afgiftesystemen nader op ingegaan.

Afgiftesystemen

Afgifte door middel van ventilatielucht

Koelen met ventilatielucht is alleen mogelijk in geval van mechanische toevoer of gebalanceerde ventilatie. In een luchtbehandelingskast wordt de toevoerventilatielucht



Koeling met ventilatielucht



Indicatie ruimtebeslag distributiemedia: lucht, gekoeld water en koelmiddel

gekoeld. De gekoelde ventilatielucht wordt in de ruimten ingeblazen.

Het te behalen effect is met name afhankelijk van de hoeveelheid ventilatie: het zogenaamde ventilatievoud in luchtwisselingen per uur. Het vergroten van het koelvermogen van de lucht door deze op een lagere temperatuur in te blazen is over het algemeen niet mogelijk door condensvorming tegen de buitenzijde van de toevoerkanalen (niet dampdicht geïsoleerd) en het risico op tochtklachten.

Voordelen

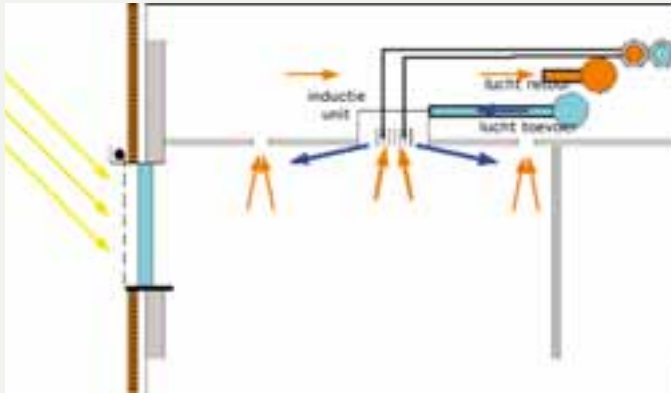
- + Vaak goed inpasbaar in bestaande luchtbehandelingskasten (indien voorbereid)
- + Beperkte investering
- + De lucht wordt niet alleen gekoeld maar ook gedroogd. Hierdoor kunnen personen gemakkelijker warme middelen transpiratie afvoeren.

Nadelen

- Beperkt vermogen afhankelijk van de ventilatiecapaciteit. Hiermee geschikt voor beperkte koeling.
- Geen individuele regeling zonder aanvullende hoge investeringen.
- Kans op tocht afhankelijk van de plaats van bestaande toeverroosters.

Afgifte door middel van inductie-units

Indien het ventilatievoud onvoldoende is om een voldoende koelend effect te bereiken kan het koelvermogen worden vergroot door het circulatievoud van de lucht in de vertrekken te vergroten met behulp van inductie-units. In een inductie-unit zit een convector die de meegezogen lucht afkoelt. Hiervoor dient wel een extra circulatienet voor gekoeld water naar de inductie-units te worden aangelegd.



Koeling middels inductie-units

Dit systeem is mogelijk in te passen in gebouwen met mechanische toevoer of gebalanceerde ventilatie met een te laag ventilatievoud voor koeling.

Voordelen

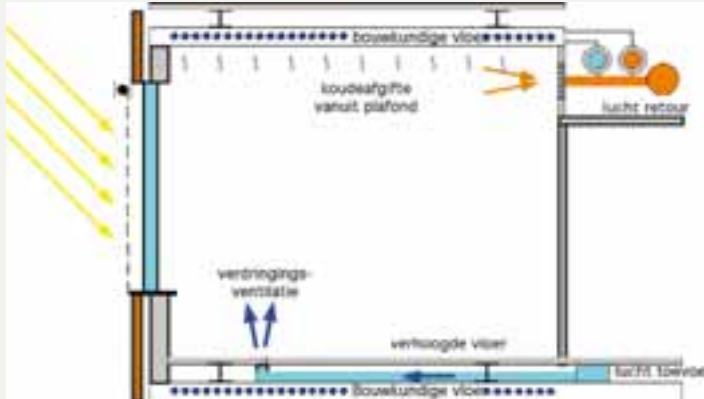
- + Koelen met beperkte luchttoevoer.
- + Individuele ruimteregeling mogelijk.
- + De lucht wordt niet alleen gekoeld maar ook gedroogd. Hierdoor kunnen personen gemakkelijker warmte middels transpiratie afvoeren.
- + Grotere vermogens mogelijk.

Nadelen

- Hogere investeringskosten.
- Grotere lucht(stof)verplaatsing in de ruimten.
- De plaats van de unit is kritisch ter voorkoming van tochtklachten.
- Hogere geluidsproductie
- De benodigde ruimte boven het plafond.

Afgifte door middel van betonkernactivering

Bij betonkernactivering vindt de warmte- en koudeafgifte plaats via leidingen in vloeren en plafonds. De warmte of koude wordt daarbij zowel door de vloer als ook door het plafond aan het vertrek afgegeven. Door gebruik te maken van de hele bouwmassa voor opslag van koude kan met een lager koelvermogen worden volstaan.



Koeling met betonkernactivering

Dit systeem is niet in te passen in bestaande gebouwen. De slangenregisters in het plafond dienen in de betonvloeren (in de fabriek) te worden opgenomen.

In bovenstaande figuur wordt de lucht via de vloer (met z.g.n. verdringingsventilatie in het vertrek gebracht). Er zijn ook oplossingen waarbij de lucht via het plafond of de zijwanden wordt toegevoerd aan het vertrek, zonder verhoogde vloer.

Voordelen

- + Zeer gelijkmatig klimaat.
- + Groot zelfregelend vermogen.
- + Comfortabel door combinatie van convectie- en stralingskoeling.
- + Vermogen voor koudeopwekking kan worden gereduceerd.
- + Hygiënisch door beperkte luchtverplaatsing.
- Geen aanvullende verwarmingslichamen vereist.

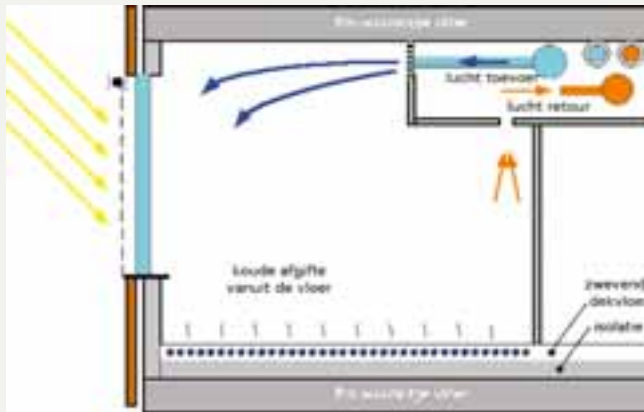
Nadelen

- Individuele regeling vraagt aanvullend afgiftesysteem.
- Ruimtelucht wordt niet ontvochtigd.

Afgifte door middel van vloerverwarming/koeling

Bij vloerverwarming/-koeling vindt de warmteafgifte plaats via de vloer. Dit systeem is in te passen in bestaande gebouwen bij ingrijpende renovatie. De vloerverwarmingsleidingen kunnen worden ingefreesd in een bestaande afwerkvloer (mits voldoende dik) of worden aangebracht in een nieuw aan te brengen afwerkvloer. De distributie vindt plaats door middel van watervoerende leidingen. Bij toepassing van vloerverwarming als hoofdverwarming zijn er aanvullende eisen aan de bouwfysica en het ventilatiesysteem.

Indien waterleidingen in een bestaande vloer zijn ingestort, is dit afgiftesysteem niet toe te passen in verband met legionellagevaar.



Vloerverwarming/vloerkoeling

Voordelen

- + Zeer gelijkmatig klimaat.
 - + Groot zelfregelend vermogen.
 - + Comfortabel door combinatie van convectie- en stralingskoeling.
 - + Vermogen voor koudeopwekking kan worden gereduceerd (met name indien geen zwevende dekvloer wordt toegepast).
 - + Hygiënisch door beperkte luchtverplaatsing.
- Geen aanvullende verwarmingslichamen vereist.

Nadelen

- Individuele ruimteregeling mogelijk maar het systeem reageert traag (1 á 2 uur).
- Ruimtelucht wordt niet ontvochtigd.
- Bij inpassing in bestaande bouw ingrijpende werkzaamheden, freeswerk en/of het niveau van de afwerkvloer komt hoger te liggen.

Afgifte door middel van klimaatplafond

Hierbij vindt afgifte plaats via een plafondsysteem met daarin slangenregisters. Dit systeem is in te passen in bestaande gebouwen. De distributie bestaat uit gekoeld waterleidingen. Het klimaatplafond kan tevens worden gebruikt voor verwarming. Dit stelt wel aanvullende eisen aan de bouwfysica en het ventilatiesysteem (Hoge isolatie waarde van de gevel om tocht langs de ramen te voorkomen).



Klimaatplafond

Voordelen

- + Hygiënisch door minimale luchtverplaatsing.
- + Mogelijk ontbreken van verwarmingslichamen in de ruimte (stofopeenhoping).

Nadelen

- Ruimtelucht wordt niet ontvochtigd. Aanvullende koeling/droging van ventilatielucht is daarom wenselijk.
- Hoge investering.

Afgifte middels ventilatorconvectors

Ventilatorconvectors, ook wel fancoils genoemd, komen in verschillende uitvoeringen voor. In de volgende afbeeldingen is een aantal opties weergegeven.

Deze Ventilatorconvectoren komen meestal voor als units met directe verdamping; als transportmedium wordt koudemiddel toegepast. Systemen kunnen variëren van splitunit-airconditioners tot en met VRV-systemen waarbij één compressiekoelmachine tot circa twintig binnenunits van koude voorziet.

Een splitunit bestaat uit een buitendeel en een binnendeel. Als energiedrager wordt een koudemiddel toegepast dat verdampt in de binneneunit en condenseert in de buitenunit.



Splitunit, bestaande uit een buiten- en een binneneunit (boven)



Splitunit: De binneneunit is in de hoek van de kamer zichtbaar

Een VRV-systeem (Variable Refrigerant Volume) bestaat uit één centrale buitenunit die door middel van een leidingsysteem is verbonden met meerdere binnenunits. Als energiedrager wordt in dit geval een koudemiddel toegepast dat verdampt (koelbedrijf) in de binnenunits. Met dit systeem is het mogelijk gelijktijdig te verwarmen en te koelen in verschillende vertrekken.



Overzicht van een VRV systeem met linksboven de centrale buitenunit (de koelmachine) en 8 binnenunits. De buitenunit staat buiten het gebouw. De binnenunits bevinden zich in de vertrekken.



VRV-systeem, Voorbeeld van een binnenunit



Ventilatorconvectoren voor koelen en/of verwarmen, wandmodel

Watervoerende ventilatorconvectoren zijn verkrijgbaar in wand- en plafondmodellen. In dit geval worden radiatoren vervangen door ventilatorconvectoren. De ventilatorconvectoren zuigt lucht uit de ruimte aan, koelt deze en blaast deze weer in. Het is ook mogelijk in plaats van binnenlucht (recirculatie) verse buitenlucht aan te zuigen door middel van een geveldoorvoer. De ventilatorconvectoren kunnen ook worden ingezet om lokaal de ventilatie te verbeteren.

De distributie van de koude vindt plaats door

middel van dampdicht geïsoleerde, watervoerende leidingen. Er dient dus naast het cv-net een extra leidingnet te worden aangelegd. Tevens moeten elektrische aansluitingen en condenswaterafvoeren worden opgenomen.

Voordelen

- + Individuele ruimteregeling mogelijk.
- + De lucht wordt niet alleen gekoeld maar ook gedroogd. Hierdoor kunnen personen gemakkelijker warmte middels transpiratie afvoeren.
- + Grotere vermogens mogelijk.
- + Zeer breed toepasbaar.

Nadelen

- Grotere kans op tocht door lage luchttemperaturen in combinatie met hogere lichtsnelheden.
- Geluidsproductie in de ruimte.
- Lucht wordt snel te droog.
- Grotere lucht(stof)verplaatsing in de ruimte.
- Regelmatig onderhoud aan filters nodig.

Afgifte middels mobiele airconditioners

Mobiele airconditioners combineren opwekking en afgifte in één mobiel apparaat. Ruimtelucht wordt aangezogen en deels gekoeld aan de ruimte toegevoerd. Het overige deel aangezogen lucht wordt met



Mobile airconditioner met doorvoer door de gevel



Mobiele airconditioners met slang door raam of gevel

de afgevoerde warmte naar buiten geblazen. Er dient een geveldoorvoer te worden gerealiseerd. De naar buiten afgevoerde hoeveelheid lucht moet ook weer worden toegevoerd. Dit gebeurt doorgaans in de vorm van warme buitenlucht. Deze vorm van koeling is daarmee minder efficiënt.

De unit is voorzien van een lekbak die regelmatig moet worden geleegd. Als alternatief kunnen deze units ook op een afvoer worden aangesloten. Nadeel hierbij kan zijn dat de stankafsluiter buiten de gebruiksperiode zal uitdrogen hetgeen tot stankoverlast leidt (onderhoud). Alternatief is de afvoer van het condenswater door de gevel naar buiten of het verdampen en het naar buiten te blazen.

Nadeel van deze mobiele units is dat geveldoorvoeringen nodig zijn. Worden deze niet gerealiseerd en wordt de afvoerslang uit het raam gehangen dan kan warmte buitenlucht eenvoudig in de ruimte toetreden. Daarnaast is de geluidsproductie aanzienlijk



Minisplitunit



Raam/muurairconditioner

Naast deze mobiele units bestaan er ook mobiele splitunits. Deze komen qua eigenschappen meer overeen met de ventilatorconvectors. De binnenunit wordt bijvoorbeeld voor de borstwering geplaatst en de buitenunit buiten tegen de gevel. De aansluitleidingen zijn plat uitgevoerd en lopen via een kier door een raamkozijn. Dit is niet bij alle ramen mogelijk.

Voordelen

- + Met minimale voorzieningen kan snel enige koeling worden gerealiseerd.

Nadelen

- Grotere kans op tocht door lage luchttemperaturen in combinatie met hogere lichtsnelheden;
- Geluidsproductie in de ruimte.
- Lucht wordt snel te droog.
- Grotere lucht(stof)verplaatsing in de ruimte.
- Regelmatig moeten legen van de lekbak (indien niet vast aangesloten)
- Regelmatig onderhoud aan filters nodig.



V Uitgangspunten voor de berekeningen

In dit en het volgende hoofdstuk worden de hiervoor beschreven installatieconcepten toegepast in een aantal “nieuwe” en “bestaande” gebouwen. De toepasbaarheid, de (on)mogelijkheden, de voor- en nadelen, de kosten en de comfortgevolgen worden besproken.

Referentiegebouwen

Er is een aantal varianten gedefinieerd van referentiegebouwen welke in de loop van de jaren in de verzorging en verpleging gebruikelijk waren. Deze zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Opgemerkt wordt hierbij dat alleen relatief nieuwe gebouwen worden beschouwd. Gebouwen uit de jaren '80 en daarvoor voldoen vaak functioneel niet meer en nieuwbouw is over het algemeen efficiënter dan verbouw/renovatie. Het blijft natuurlijk wel mogelijk om in dergelijke gebouwen koeling aan te brengen, maar om te voldoen aan de huidige ventilatie eisen zijn in veel gevallen ingrijpende verbouwingen noodzakelijk. De kosten hiervan kunnen dan ook alleen van geval tot geval bekeken worden.

	Nieuwbouw verpleeghuis	Nieuwbouw woon-/zorg-complex	Bestaand verpleeghuis na 2002	Bestaand verpleeghuis jaren '90	Bestaand verzorgingshuis jaren '90 (beperkte verdiepingshoogte)	Kleinschalige woonvorm van voor 2002
B.V.O. (m ²)	7.000	14.000	7.000	7.000	7.000	500
B.V.O. woning (m ²)	–	100 (75 woningen)	–	–	–	–
Verwarming	Warmtepomp	Warmtepomp	HR-ketel	VR-ketel	VR-ketel	HR-ketel
Warmte-afgifte	Ja	Ja	Radiatoren	Radiatoren	Radiatoren	Radiatoren
Koeling	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee
Ventilatie	Gebalanceerde ventilatie met 70% wtw	Gebalanceerde ventilatie met 70% wtw	Gebalanceerde ventilatie met 70% wtw	Mechanische toe- en afvoer	Natuurlijke ventilatie in combinatie met dakventilatoren	Gebalanceerde ventilatie met 70% wtw

Financiële uitgangspunten

Afschrijving en tarieven

Alle in het navolgende genoemde bedragen zijn in euro's en exclusief btw. De bedragen zijn (meer)investeringen op basis van een referentie- of bestaande installatie zonder koeling. Dit geldt voor zowel investeringen als onderhouds- en energiekosten.

Er wordt uitgegaan van een scenario waarbij rentevoet, stijging van energieprijzen en overige exploitatielasten gelijk zijn. Om tot een overzichtelijk vergelijk te komen, is hiervoor 0% aangehouden.

De volgende energietarieven zijn aangehouden.
Aardgas: 46,2 ct/m³.
Elektra: 10,5 ct/kWh (gemiddelde voor normaal- en laagtarief).

Toegepaste koelconcepten

Op basis van de omschreven concepten voor opwekking, distributie en afgifte is een aantal logische combinaties samengesteld die in dit rapport verder worden beschouwd.

Naam concept	Omschrijving
Geen koeling	Uitgangspunt voor bestaande bouw
Topkoeling met verhoogde ventilatie	Extra ventilatie met koeling van de ventilatielucht Distributie: lucht.
Dauwpuntskoeling	Extra ventilatie, koeling in luchtbehandelingskast via verdamping van water. Distributie: lucht.
Vloerkoeling	Vloerkoeling met daarnaast basisventilatie met koeling Distributie: water
Klimaatplafond	Klimaatplafond met daarnaast basisventilatie met koeling Distributie: water
Betonkernactivering	Betonkernactivering met daarnaast basisventilatie met koeling Distributie: water.
Ventilatorconvector	Lokale afgifte via koelconvector met ventilator in combinatie met basisventilatie met koeling Distributie: koudemiddel.
Inductie-unit	Lokale afgifte via inductie-unit in combinatie met basisventilatie met koeling. Distributie: water
Mobiele koelunit	Lokale afgifte via mobiele koelunit (mobiele airco)

N.B. koeling van de ventilatielucht wordt toegepast, voorzover mechanische luchtaanvoer van toepassing is. Bij de variant "bestaand verzorgingstehuis jaren '90 (beperkte verdiepingshoogte)" is geen koeling van de ventilatielucht toegepast vanwege natuurlijke aanvoer van ventilatielucht.

Met uitzondering van de concepten dauwpuntskoeling, ventilatorconvector en mobiele koelunit wordt voor alle concepten voor de koudeopwekking een compressiekoelmachine en WKO toegepast. Voor de WKO wordt de besparing berekend met als uitgangspunt dat de warmte die 's zomers in de bodem wordt opgeslagen in de winter wordt gebruikt voor ruimteverwarming middels een warmtepomp. De resulterende besparing op de energiekosten wordt telkens separaat aangeven.

VI RESULTATEN

In dit hoofdstuk is weergegeven welke koelconcepten toepasbaar zijn voor de verschillende gebouwen en wat de belangrijkste eigenschappen zijn van de verschillende koelconcepten.

Toepasbaarheid koelconcepten

Om te bepalen welke concepten toegepast kunnen worden in verschillende gebouwen, is gekeken naar de technische randvoorwaarden die de systemen stellen. Zo is het bijvoorbeeld bij een beperkte verdiepingshoogte niet mogelijk aanvullende kanalen aan te brengen.

Van de varianten die technisch mogelijk zijn, is het te verwachten koeffect uitgerekend. Dit is uitgedrukt in het aantal overschrijdingsuren dat resteert bij het toepassen van het koelconcept. Dit is weergegeven in de tabel op de volgende pagina.

Uit de tabel blijkt dat concepten met lokale koeling (vloerkoeling, betonkernactivering, inductie-unit, koelconvectoren en mobiele airco) een hoger thermisch comfort bieden dan topkoeling met verhoogde ventilatie bij een vergelijkbaar opgesteld koelvermogen (ongeveer 40 W/m²). Uiteraard biedt topkoeling met beperkte ventilatie een nog minder thermisch comfort, maar dit is alleen vanuit kostentechnisch oogpunt een interessante oplossing.

Verder heeft dauwpuntkoeling een vergelijkbaar thermisch comfort als topkoeling met verhoogde ventilatie. Dauwpuntkoeling heeft als voordeel het ontbreken van een koelmachine, alleen is de prestatie afhankelijk van de buitenomstandigheden: bij drukkend weer neemt de koelprestatie sterk af.







De koelconcepten met lucht als distributiemedium (topkoeling, adiabatische koeling) kunnen slechts een beperkt vermogen overdragen aan de ruimte. Dit is wel sterk afhankelijk van de inblaastemperatuur en het ventilatievoud. Deze zijn zo gekozen dat de kans op tochtklachten beperkt blijft. Daarnaast zou voor een lagere inblaastemperatuur en een hoger ventilatievoud ook veel meer koelvermogen moeten worden opgesteld dan nu het geval is.

Wat verder opvalt is dat combinaties van oude gebouwen en minder presterende koelconcepten minder GTO-uren hebben dan nieuwe gebouwen met dezelfde koelconcepten. In het voor- en naseizoen, als de temperatuur buiten nog niet erg hoog is en de zon fel schijnt, kan de binnentemperatuur fors oplopen door de felle zon. Als de warmte dan niet actief wordt weggekoeld door een goed presterend koelconcept, is het voordelig als de gebouwschil niet erg dicht is, zodat het overschot aan warmte makkelijk weglekt naar buiten.



Toepasbare koelconcepten in de woningtypes. De getallen representeren de GTO-uren, de kleuren en patronen zijn in de legenda uitgelegd.

	Geen koeling	Top-koeling met beperkte ventilatie	Top-koeling met verhoogde ventilatie	Dauwpunts-koeling	Vloer-koeling	Betonkern-activering	Klimaatplafond	Koel-convectoren	Inductie-unit	Mobiele koelunit
Nieuwbouw Verpleeghuis 7.000 m ²		862	165	186	12	0	0	0	0	
Nieuwbouw Woonzorg-complex 14.000 m ²		862	165	186	12	0	0	0	0	
Bestaand verpleeghuis na 2002	1598	660	155	174	20			0		33
Bestaand verpleeghuis jaren '90	1315	716	395	412	137			52		151
Bestaand verzorgingshuis jaren '90	1315				207			52		151
Kleinschalige woonvorm voor 2002	1315				137			52		151

Kleur Indicatie

-  Uitstekend thermisch binnenklimaat
-  Zeer acceptabel thermisch binnenklimaat
-  Acceptabel thermisch binnenklimaat
-  Warm binnenklimaat
-  Zeer warm binnenklimaat
-  Niet verder beschouwd: onvoldoende resultaat, onvoldoende inpassingsmogelijkheden et cetera

Patroon

-  Slechts mogelijk indien het bestaande ventilatiesysteem voldoende capaciteit heeft (ventilatievoud $\geq 3/\text{hr}$)
-  Slechts mogelijk indien reeds vloerverwarming aanwezig is of bij ingrijpende renovatie met hoge bijkomende bouwkundige kosten

Beoordeling concepten

De koelconcepten zijn vervolgens beoordeeld op de aspecten

- investeringskosten
 - bij toepassing van traditionele koude opwekking
 - bij toepassing van warmte- en koude opslag in de bodem
- energiekosten en
- onderhoudskosten

Investeringskosten

In de volgende tabel zijn de investeringskentallen voor de verschillende koelconcepten weergegeven.

Investeringskentallen koelconcepten traditionele koudeopwekking

	Top-koeling met beperkte ventilatie	Top-koeling met verhoogde ventilatie	Dauwpunts-koeling	Vloer-koeling	Betonkern-activering	Klimaatplafond	Inductie-unit	Koel-convectoren	VRV-systeem	Mobiele koelunit
	€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²
Nieuwbouw verpleeghuis 7000 m ²		42	57	27	39	134	69	124	118	
Nieuwbouw woon-/zorgcomplex 14.000 m ²		42	57	27	39	134	69	124	118	
Bestaand verpleeghuis na 2002	33	55	74	35				161	153	45-130
Bestaand verpleeghuis jaren '90	33	55	74	35				161	153	45-130
Bestaand verzorgingshuis jaren '90				35				161	153	45-130
Kleinschalige woonvorm voor 2002				35				161	153	45-130

- Niet nader beschouwd in verband met onvoldoende resultaat/hoge kosten etc.
- Alleen toepasbaar ingeval vloerverwarming aanwezig is of bij ingrijpende renovatie.
- Alleen toepasbaar indien er een ventilatiesysteem met voldoende capaciteit beschikbaar is.

Investeringskengetallen bij toepassing warmte- en koudeopslag in de bodem

	Top-koeling verhoog- de ventilatie	Vloer-koeling	Betonkern-activering	Klimaatplafond	Inductie-unit	Koel-convectoren (water)
	€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²
Nieuwbouw verpleeghuis 7.000 m ²	61	46	58	153	88	143
Nieuwbouw woon-/zorgcomplex 14.000 m ²	61	46	58	153	88	143
Bestaand verpleeghuis na 2002	80	60				186
Bestaand verpleeghuis jaren '90	80	60				186
Bestaand verzorgingshuis jaren '90		60				186
Kleinschalige woonvorm voor 2002						

■ Niet nader beschouwd in verband met onvoldoende resultaat/hoge kosten etc.

■ Alleen toepasbaar ingeval vloerverwarming aanwezig is of bij ingrijpende renovatie.

■ Alleen toepasbaar indien er een ventilatiesysteem met voldoende capaciteit beschikbaar is.

Energiekosten

De energiekosten voor koeling blijken voor de gebouwen van na 2002 vrijwel gelijk. Voor de gebouwen van voor 2002 is de koudevraag groter door de mindere kwaliteit van de bouw fysica en de hogere interne warmtelast. Deze interne warmtelast kan echter, afhankelijk van de technische staat en het gebruik van het gebouw, sterk variëren. Op basis van voorgaande is ervoor gekozen voor de energiekosten onderscheid te maken tussen gebouwen van na 2002 en van voor 2002.

Energiekosten koelconcepten voor gebouwen na 2002, traditionele koudeopwekking

Het blijkt dat het afgegeven koelvermogen bij de varianten met een kleinere temperatuuroverschrijding hoger is. Meer comfort betekent dus tevens een hoger energieverbruik.

Bij toepassing van topkoeling met beperkte ventilatie zal het energieverbruik circa 30 % lager uitkomen.

Energiekosten koelconcepten voor gebouwen voor 2002, traditionele koudeopwekking

Hier blijkt het energieverbruik voor de varianten met een acceptabel of goed thermisch binnenklimaat toe te nemen. Bij de variant met topkoeling neemt het energieverbruik nauwelijks toe maar zal de hogere warmtelast zich vertalen naar een hogere binnentemperatuur. Niet de interne warmtelast wordt weggekoeld, maar de warmte uit de aangezogen buitenlucht.

Energiekosten koelconcepten voor gebouwen voor en na 2002, bij toepassing WKO

De warmte die in de zomer aan het gebouw wordt onttrokken (koelen) wordt in de bodem opgeslagen en in de winter gebruikt voor verwarmen. Dit levert een besparing op de stookkosten. Dit is in de uiteindelijke beoordeling van de totale kosten bij een 15 jarige afschrijving verwerkt .

Ook hier geldt dat de oudere verpleeg- en verzorgingshuizen (met een hogere interne warmtelast door conventionele verlichting en minder oppervlak per bewoner), meer koelvraag en dus een hogere energievraag hebben.

Onderhoudskosten

Naast de energiekosten spelen ook de onderhoudskosten een belangrijke rol in de jaarlijkse exploitatiekosten. Deze zijn hieronder geraamd.

Onderhoudskosten koelconcepten

	Top-koeling	Top-koeling met verhoogde ventilatie	Dauwpunts-koeling	Vloer-koeling	Betonkern-activering	Klimaatplafond	Koel-convector	Inductie-unit	Mobiele koelunit
€/m ² /jaar	0,90	0,91	0,18	0,90	0,90	0,90	1,85	1,42	1,71

Totaal beoordeling

In de onderstaande tabel wordt een eindbeoordeling van de concepten weergegeven.

Hierbij is naast de kosten en de CO₂ uitstoot ook een beoordeling van binnenklimaat gerelateerde factoren betrokken.

Voor de energiekosten is uitgegaan van de gebouwen van na 2002. Er is onderscheid gemaakt tussen opwekking van koude met een compressiekoelmachine of via warmte/koude opslag in de bodem.

Totaaloverzicht koelconcepten bij toepassing van compressiekoelmachine als opwekking; Kosten zijn per vierkante meter b.v.o. Kosten zijn gebaseerd op een vijftienjarige periode.

	Top-koeling beperkte ventilatie	Top-koeling verhoogde ventilatie	Dauwpunts-koeling	Vloer-koeling	Betonkern-activering	Klimaatplafond	Inductie-unit	Koel-convector (water)	VRV-systeem	Mobiele koelunit
Totale kosten										
(€/m²/vijftien jaar)										
Nieuwbouw66		66	70	54	65	160	101	163	157	
Bestaande bouw	49	79	87	62				200	192	83-168
CO ₂ -uitstoot (kg/m ² /vijftien jaar)	14	57	55	74	68	68	58	60	60	66
Investering	++	0	0	++	+	--	-	--		0/-
Energiekosten	++	0	0	-	-	-	-	-	-	-
Onderhoudskosten	0	0	++	0	0	0	--	--	--	--
Thermisch Comfort	--	0	0/-- ¹⁾	+	++	++	++	++	++	+
Risico op tocht	0	0	+	++	++	++	--	--	--	---
Geluid	0	0	0	++	++	++	-	--	--	---
Hygiëne	0	0	0	++	++	+	--	--	--	--
Mogelijkheid tot inpassing bestaande bouw	+	0	0	-	---	-	-	-	+	++
Totaal beoordeling	0	0	0/-	++	++	--	--	--	-	0/-

Betekenis der symbolen: +++ uitstekend; ++ zeer goed; + goed; 0 matig; - slecht; -- zeer slecht; --- onacceptabel.

1) thermisch comfort vergelijkbaar met topkoeling verhoogde ventilatie, uitgezonderd bij drukkend weer (warm en vochtig)

Uit bovenstaande tabel valt op te maken dat vloerkoeling en betonkernactivering de beste totaalbeoordeling hebben voor nieuwbouw verzorg- en verpleeghuizen. Dit is voornamelijk het gevolg van een lage investering, terwijl ze een erg goed thermisch comfort leveren. Voor de bestaande bouw is van deze twee alleen vloerkoeling een optie. Voor de bestaande bouw voldoen, voor zover van toepassing, topkoeling met verhoogde ventilatie en dauwpuntskoeling ook prima. Mobiele koelunits zullen vooral toegepast worden in verzorgingshuizen uit de jaren '90 (waar geen koeling van de ventilatielucht mogelijk is), en in het algemeen voor tijdelijke oplossingen.

Als de investering een minder belangrijke rol speelt, zijn klimaatplafond, inductie-unit, VRV-systeem en koelconvector ook een goede oplossing om thermisch comfort te realiseren, voor zover deze koelconcepten toepasbaar zijn in een bepaalde variant. Voor de bestaande bouw is topkoeling met beperkte ventilatie de

goedkoopste oplossing, maar wel met een slecht thermisch comfort.

In onderstaande tabel wordt een beoordeling van de concepten met warmte-koude opslag weergegeven. Voor de energiekosten is uitgegaan van de gebouwen van na 2002. Voor gebouwen van 2002 moet er voor het koelconcept vloerkoeling ongeveer 4 €/m²/15 jaar van de totale kosten afgetrokken worden (vanwege de hogere energiebesparing op verwarming).

Totaaloverzicht koelconcepten bij toepassing van warmte-koude opslag (WKO) als opwekking; Kosten zijn per vierkante meter b.v.o. Kosten zijn gebaseerd op een vijftienjarige periode.

	Top-koeling verhoog- de ventilatie	Vloer-koeling	Betonkern-activering	Klimaatplafond	Inductie-unit	Koelconvector (water)
Totale kosten (€/m²/vijftien jaar)						
Nieuwbouw	77	44	57	152	97	159
bestaande bouw	96	58				202
CO ₂ uitstoot (kg/m ² /vijftien jaar)	25	-40	-37	-36	-31	-28
Investering	--	+	0	---	---	---
Energiekosten	++	+++	+++	+++	+++	+++
Onderhoudskosten	0	0	0	0	--	--
Thermisch comfort	0	+	++	++	++	++
Risico op tocht	0	++	++	++	--	--
Geluid	0	++	++	++	-	--
Hygiëne	0	++	++	+	--	--
Mogelijkheid tot inpassing bestaande bouw	0	-	---	-	-	-
Totaal beoordeling	0/-	++	++	-	-	-

Opgemerkt zij, dat de investeringskentallen uit voorgaande tabellen gebruikt in de totale kosten over vijftien jaar. Hiermee is impliciet aangenomen dat de investeringen een afschrijvingsperiode van vijftien jaar hebben, wat niet geheel correct is. Vijftien jaar is aan de voorzichtige kant, aangezien bijvoorbeeld voor WKO als opwekkingsmethode, de bronnen dertig jaar meekunnen. Ook afgiftesystemen als betonkernactivering en vloerkoeling hebben een langere afschrijvingsperiode als vijftien jaar. In de praktijk kunnen de totale kosten voor een koelconcept dus lager uitvallen, als gevolg van een langere afschrijvingsduur.

De investeringskosten voor een warmte-/koudopslag zijn gebaseerd op een gebouw van 7.000 m² b.v.o. De kleinschalige woonvorm heeft een te gering vloeroppervlak om een WKO systeem rendabel te kunnen

exploiteren. Voor een gebouw met een groter vloeroppervlak dan 7.000 m² b.v.o. zal de investering per m² afnemen.

De totaalbeoordeling in beide voorgaande tabellen komt grotendeels overeen: vloerkoeling en betonkernactivering presteren het beste in nieuw gebouwde verpleeg- en verzorgingshuizen, terwijl voor de bestaande bouw vloerkoeling de beste optie is, gevolgd door topkoeling met verhoogde ventilatie. Het onderling vergelijken van WKO met compressiekoelmachine als opwekkingsmethode valt voor koelconcepten met lokale koeling uit in het voordeel van WKO: hoewel de investering aanzienlijk hoger is betaalt WKO zich in vijftien jaar ruimschoots uit door de bespaarde energiekosten. Het concept topkoeling met verhoogde ventilatie presteert met WKO als opwekking minder goed dan met een koelmachine, omdat de besparing op energiekosten voor dit concept beduidend lager is dan voor concepten met lokale koeling. Dit is een direct gevolg van de lage koudevraag bij topkoeling in vergelijking met koelconcepten met lokale koeling, waardoor ook minder warmte wordt opgeslagen voor de winterperiode (wat in mindering wordt gebracht op de stookkosten).

Samenvattend: Wordt gekozen voor de beste totaalbeoordeling, dan hebben in de nieuwbouw betonkernactivering en vloerkoeling de beste papieren. Als deze twee koelconcepten onderling worden vergeleken, heeft betonkernactivering een hoger thermisch comfort (in de zomer), omdat de koudeoverdracht voor deze methode beter is, en heeft daarnaast het voordeel dat de koude uit het plafond komt en niet uit de vloer (geen kans op discomfort door koude voeten). Wel moet men rekening houden met een lager thermisch comfort in de wintersituatie, wat kan worden verholpen door op de begane grond vloerverwarming te installeren (op de verdiepingen is dit minder belangrijk, omdat de betonkernactivering ook enigszins warmte afgeeft door de (verhoogde) vloer, en omdat de verdiepingsvloeren niet in contact staan met koude benedenruimtes). De kosten voor betonkernactivering zijn wel hoger dan voor vloerkoeling, en ook moeten bij toepassing van betonkernactivering speciale maatregelen genomen worden voor de bovenste verdieping, aangezien de constructie berekend moet zijn op een dak + een betonlaag voor de betonkernactivering.

Ook voor de bestaande bouw is vloerkoeling een goede oplossing. Dit betekent wel dat vloerverwarming aanwezig moet zijn, of dat vloerkoeling/-verwarming als opbrenglaag moet worden aangebracht. Dit laatste systeem is aanzienlijk duurder dan de normale methode voor vloerverwarming/-koeling en is in dit onderzoek niet nader uitgezocht. Als vloerkoeling niet mogelijk is in de bestaande bouw, kan men ook denken aan topkoeling, of dauwpuntskoeling, waarbij topkoeling met verhoogde ventilatie te prefereren is boven topkoeling met beperkte ventilatie vanwege een beter thermisch comfort, terwijl dauwpuntskoeling vooral goed scoort op onderhoud.

Bijlage: Behaaglijkheid in de zorg

Het model van *Fanger* waarin behaaglijkheid wordt gedefinieerd en dat wereldwijd is aanvaard, is ontwikkeld in een laboratorium, waarbij onder gecontroleerde omstandigheden de thermische omgeving werd gevarieerd en de thermische waardering werd geregistreerd. De proefpersonen, studenten, konden zelf geen invloed uitoefenen op de thermische omgeving.

In de gezondheidszorg, en met name in de verpleeghuizen, is de leeftijd hoog en de gezondheidstoestand in de regel matig tot slecht (bedlegerig). De bewoners kunnen in de regel door de bedlegerigheid geen invloed uitoefenen op de thermische omgeving (het raam openen, dichterbij het raam gaan zitten).

Het blijkt dat aan deze groep personen nauwelijks onderzoek gedaan is of wordt naar de gewenste behaaglijkheid. In 1992 heeft het Cbz een onderzoek laten uitvoeren naar de behaaglijkheidscriteria die moeten gelden voor de groep oudere bedlegerige patiënten. Dit onderzoek behelsde een literatuuronderzoek alsmede het ontwikkelen van temperatuurcriteria op basis van de beperkte gegevens. De belangrijkste conclusies waren:

- Uit literatuuronderzoek blijkt dat de thermische weerstand van kleding bij bedlegerige verpleeghuisbewoners aanzienlijk hoger is dan bij mensen in normale woon- en werkomgeving. Door de thermisch isolerende werking van het bed is de effectieve thermische weerstand zeer hoog.
- Uit diverse studies is gebleken dat de theorie van *Fanger* in principe ook geldig is voor mensen met fysieke gebreken, zoals verpleeghuisbewoners. Aangezien thermische behaaglijkheid sterk samenhangt met de warmtehuishouding van de mens, ligt het in de lijn der verwachting dat de “normale theorie” niet zal kloppen wanneer de warmtehuishouding is verstoord, zoals bijvoorbeeld bij patiënten met een verhoogde lichaamstemperatuur.

Het model van *Fanger* kan worden gebruikt om de optimale operationele temperatuur (T_o) te voorspellen, die behoort bij een bepaalde waarde van de Predicted Mean Vote (PMV).

Opgemerkt moet worden dat deze voorspellingen gelden voor een zogenaamde predicted mean vote (PMV) range van -0.5 tot $+0.5$. Bij gezonde mensen komt dit overeen met een predicted percentage of dissatisfied (PPD) van 10%. Uit literatuur blijkt overigens dat bij gelijke PMV de PPD voor zieke mensen hoger is dan voor gezonde mensen.

- Het blijkt dat, indien de temperatuur beperkt blijft tot maximaal $25,5$ °C, de op simulaties gebaseerde voorspellingen ten aanzien van thermische behaaglijkheid van verpleeghuisbewoners gewaarborgd kunnen worden.

Een belangrijke conclusie hiervan is dat met name voor liggende patiënten de acceptabele temperatuur lager dient te zijn dan voor zittende en lopende patiënten, ten gevolge van de hoge thermische weerstand (clo-waarde). De helft van het huidoppervlak van een liggende patiënt is afgeschermd en thermisch goed geïsoleerd door het bed.

Berekeningen met het model van "Fanger"

Bij berekeningen met het "Fanger" model betekent dit dat een PMV waarde van 0.5 voor een liggende patiënt wordt bereikt bij 25.5 °C, voor een zittende patiënt bij 28 °C en voor een lopende patiënt bij 26 °C (ten gevolge van een verhoogd metabolisme).

Het meest risicovol zijn dus liggende verpleeghuispatiënten. Dat betekent dat wanneer voor hen een acceptabel klimaat kan worden gerealiseerd dit door andere, meer mobiele patiënten als meer acceptabel zal worden ervaren.

Literatuur

Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde(NTvG), d.d. 8 november 1997, getiteld "Toegenomen sterfte van verpleeghuispatiënten bij extreme buitenluchttemperatuur: toename groter bij hitte dan bij koude" van V.Borst, J.M.G.A. Schols en J.P. Mackenbach.

Borst, V. Hittebestendig?. Sterfte onder verpleeghuisbewoners tijdens hitteperioden. Scriptie in het kader van de opleiding tot verpleeghuisarts aan de Vrije Universiteit te Amsterdam Raamsdonkveer, mei 1996.

Thermische behaaglijkheid in verpleeghuizen. Signaleringsrapport. Rapportnummer 536 College bouw ziekenhuisvoorzienigen, 8 juli 2002

Rutten. Prof. Ir. P, Hensen. Doc. Dr. Ir. J. L. M. Thermische behaaglijkheid in verpleeghuizen in Nederland in de zomersituatie. 14 juni 2002. (Als bijlage in signaleringsrapport 536)
www.bouwcollege.nl

Schalkoort. T.A.J. TU Delft. Normen voor een acceptabel binnenklimaat. TVVL magazine mei 1994. Binnenmilieufactoren. Uitgave van Stichting Bouw Research. Rotterdam 1995

College bouw zorginstellingen, Dossier verpleeghuizen. TS.

Cox, Ir. C. W. J. Thermische behaaglijkheid ouderen. Overzichtsartikel met literatuurverwijzingen. TNO. maart 1991

't Hooft, Ir. E.N. Nieuwe Nederlandse comfortnormen nader bekeken. TVVL magazine 3/2005
ISSO 74: Nieuwe richtlijn beoordeling thermisch binnenklimaat, Adaptieve temperatuurgrenswaarden.

Kurvers, v.d. Linden,e.a. TVVL magazine 6/2005

Handboek Installatietechniek

Concepten voor koeling in verpleeg- en verzorgingshuizen. DWA installatie- en energieadvies, Bodegraven 8 mei 2007

Colofon

De hitte de baas
Koeling in zorginstellingen

Cahier C 09

College bouw zorginstellingen

Postbus 3056
3502 GB Utrecht
tel. 030 2983100
fax 030 2983299
e-mail: communicatie@bouwcollege.nl
W www.bouwcollege.nl

Contactpersonen

Henk Nicolaas (hj.nicolaas@bouwcollege.nl)

Foto's en illustraties

Pag's 2, 5, 6, 13, 14 copyright 2006 iStock International Inc.
Pag 16 copyright TNO, 2006. Pag 23 copyright Daikin Airconditioning Netherlands B.V.
Overige foto's en illustraties copyright College bouw zorginstellingen, 2007

Vormgeving en druk

Twin Design bv, Culemborg

© College bouw zorginstellingen, 2007

ISBN 978-90-8517-091-4

Prijs € 5,00

