

Voorbeeldoplossingen

Kennisbank Bouwfysica

Auteurs: dr. E. Prendergast (moBius consult), dr.ir. Peter van den Engel,

1 Woningen

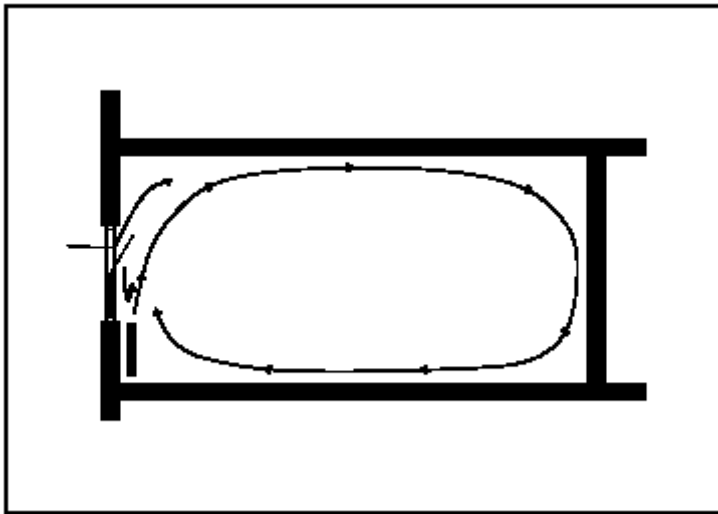
Luchtverversing vindt bij nieuwe woningen meestal plaats met ventilatieroosters in combinatie met mechanische afzuiging, dan wel met gebalanceerde mechanische ventilatie met warmteterugwinning. In de zomer moet warmteterugwinning worden uitgeschakeld om onnodige opwarming van de woning te voorkomen. De warmtewisselaar moet daarom worden voorzien van een "bypass". Koeling van woningen vindt meestal plaats met te openen ramen. Ook bij gebalanceerde ventilatie zijn dezelfde te openen delen noodzakelijk.

Bij natuurlijke toevoer vindt de toevoer plaats via de gevel in de verblijfsruimten en afvoer vindt plaats in de natte ruimten. Het is belangrijk dat overstortvoorzieningen (spleet onder de deuren) worden aangebracht. De ventilatie-efficiency is over het algemeen goed.

Bij mechanische toevoer, is het belangrijk dat er voldoende afstand is in een ruimte tussen toevoer en afvoer (meestal naar de gangzone). In de praktijk blijkt dit vaak niet te gebeuren, omdat de kanalen dan over een grote afstand horizontaal moeten worden ingestort. Er bestaat dan een risico dat zogenaamde "kortsluiting" plaatsvindt: verse toevoerlucht wordt direct weer afgezogen. De ventilatie-efficiency is dan slecht, mede omdat de ventilatie meestal vanwege geluidshinder (ventilator- en stromingsgeluid) en om energie te besparen, in de laagste stand wordt gezet

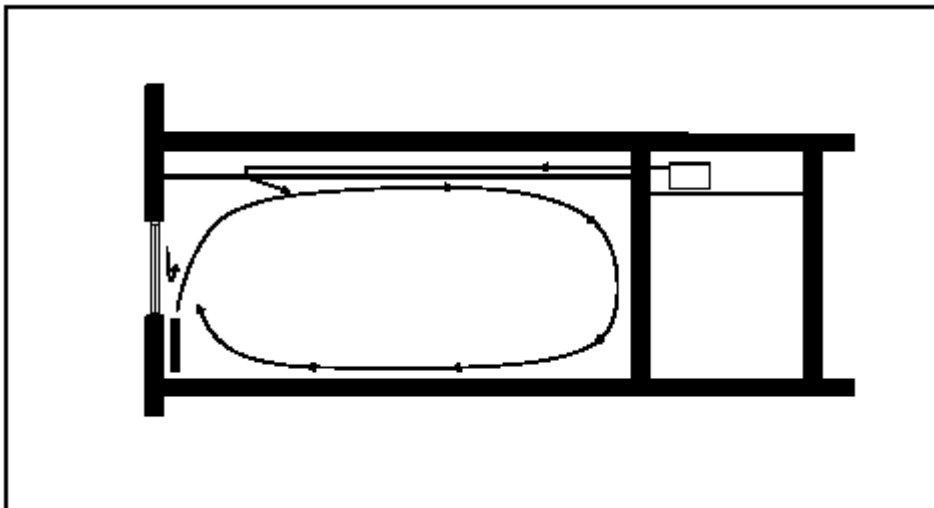
2 Kantoren

Een conventioneel kantoorvertrek (breedte x diepte x hoogte = 3,6 x 5,4 x 2,7m) wordt meestal door één of twee personen gebruikt. Een traditionele systeemkeuze, die nog steeds kan voldoen, is: verwarming met radiatoren in combinatie met natuurlijke ventilatie via gevelroosters en natuurlijke koeling via te openen ramen. Dit is een bruikbare oplossing als het gebouw voldoende thermische massa heeft, niet meer dan één gevel voor 30% uit ramen met buitenzonwering bestaat, niet meer dan twee computers worden gebruikt en de ramen open kunnen zonder hinder door stank of lawaai van verkeer of industrie (figuur 1). Om tocht te voorkomen moeten de roosters zo hoog mogelijk zijn aangebracht en per meter niet meer dan circa 15 dm³/s doorlaten.



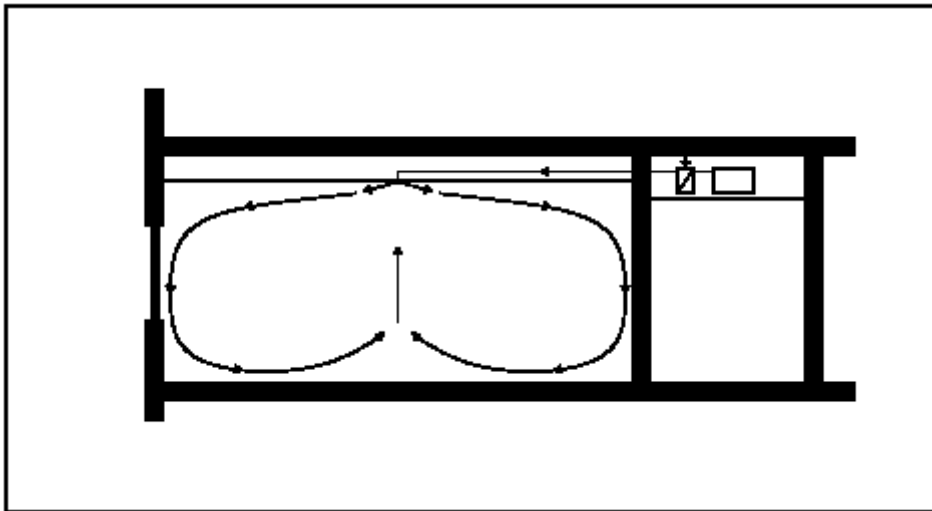
figuur 1 standaard kantoorvertrek met radiatorverwarming en natuurlijke ventilatie.

Kunnen de ramen niet open (wat zo veel mogelijk moet worden vermeden) dan moet - als aanvulling op dit systeem - mechanische ventilatie worden toegepast (figuur 2).



figuur 2 kantoorvertrek met radiatorverwarming en met mechanische luchttoevoer met een lijnrooster

Indien geen radiator wordt toegepast voor verwarmen, maar bijvoorbeeld een combinatie van laagtemperatuurverwarming en geklimatiseerde lucht, ontstaat een ander stromingspatroon (zie figuur 3). Het is belangrijk dat de gevel voldoende geïsoleerd en voldoende luchtdicht is, om koudeklachten en tochtklachten te voorkomen.



figuur 3 kantoorvertrek met goede gevelisolatie en plafonduitlaat of tweezijdig uitblazend lijnrooster

Bij toepassing van betonkernactivering wordt meestal een vergelijkbaar systeem als in figuur 3 toegepast. Alleen worden er dan geen verlaagde plafonds aangebracht en wordt de vereiste geluiddemping mede verzorgd door bijvoorbeeld eilandplafonds of baffles. De hoeveelheid toegevoerde lucht wordt afgestemd op het aantal personen, aangezien koeling ook via gekoeld water in de omringende vlakken plaatsvindt.

3 Scholen

Met de huidige ventilatie-eisen voor schoollokalen, is het moeilijk om met gevelroosters voldoende lucht tochtvrij toe te voeren, tenzij er gekozen wordt voor systemen die zorgen voor optimale menging en opwarming vlak na de toevoer. Een systeem met mechanische toe- en afvoer met warmteterugwinning wordt het meest toegepast. Vanwege de grote luchthoeveelheid, wordt de lucht op verschillende plaatsen in het lokaal toegevoerd, bij voorkeur via wervelroosters in het verlaagde plafond. Omdat de geluidisolatie naar de gang belangrijk is, is afzuiging door de lichtarmaturen via het plenum een veel gebruikte oplossing. Akoestische dempers tussen het plenum van de gang en van het lokaal zijn meestal noodzakelijk. Om het energiegebruik van ventilatoren en voor het verwarmen van lucht te beperken, is het zinvol om de ventilatie op basis van aanwezigheid te sturen. In scholen wordt vaak geen koeling toegepast, zodat goede zonwering en minimaal 4 m² geheel vrij te openen delen gewenst is.

4 Winkels

Bij winkels wordt meestal uitgegaan van een zo breed mogelijke variatie die in het pand kan worden gehuisvest. Het is gebruikelijk winkelcentra te voorzien van leidingen en kanalen waarmee standaard een ruime hoeveelheid warmte, koude en lucht kan worden toe- en afgevoerd. Mechanische ventilatie met warmteterugwinning is de standaard bij nieuwe winkels.

Bij winkels in winkelcentra kunnen zeer uiteenlopende koelbehoeften voorkomen. De koelbehoefte is vooral hoog als veel halogeenlampen worden gebruikt. Halogeenlampen

worden gebruikt als spotverlichting. Fluorescentielampen (TL) hebben een goede kleurweergave Tegenwoordig zijn voor beiden ook goede LED-alternatieven beschikbaar. Vaak worden in de winkels aanvullende decentrale koelunits geplaatst.

5 Musea

Om onvervangbare cultuur- en natuurhistorische voorwerpen vele eeuwen onaangetast te kunnen bewaren, moet het klimaat en de verlichting in opslag- en expositieruimten vaak aan strenge eisen voldoen. Verf, doek en lijsten van olieverfschilderijen bij voorbeeld zijn gevoelig voor vocht en moeten worden bewaard bij een relatieve luchtvochtigheid van $55 \pm 5\%$. Ook houten voorwerpen, zoals beelden en meubelen, vragen een vergelijkbare niet te vochtige en niet te droge atmosfeer.

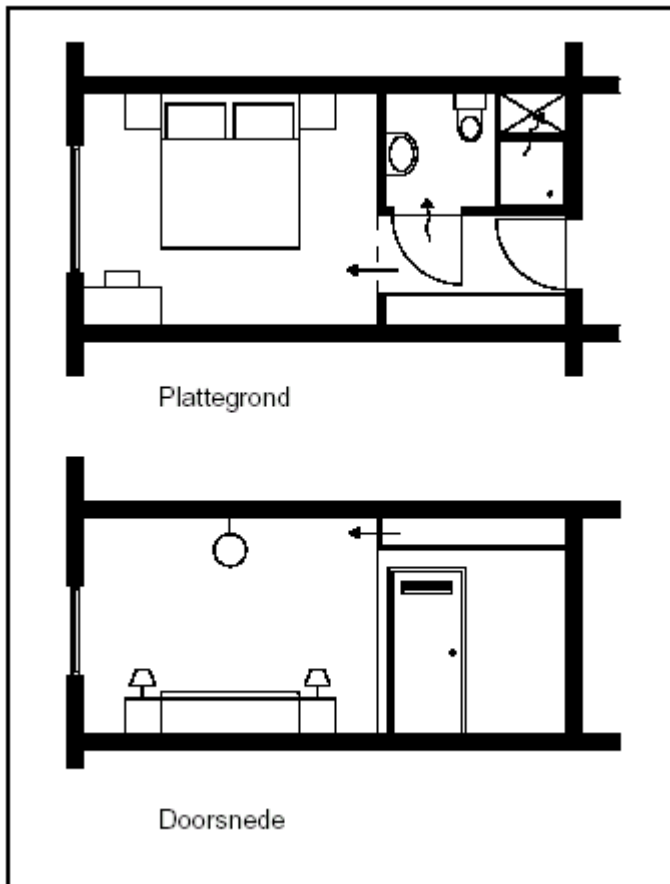
Lucht met een temperatuur van $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en een relatieve vochtigheid (RV) van 55% geeft bij een temperatuurverhoging van $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ een RV-verlaging van 5% . In een ruimte met een gemiddelde temperatuur van $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en een verticale temperatuurgradiënt van $1^{\circ}\text{C}/\text{m}$ verandert de RV daardoor $5\%/m$. In die situatie kunnen schilderijen van meer dan 2 meter hoogte zich nooit geheel in het voorgeschreven thermische klimaat bevinden. Daarbij komt dat het onmogelijk is om de temperatuur zo te regelen dat deze ter plaatse van het midden van alle schilderijen altijd de vereiste waarde heeft. Om die reden moet bij schilderijen een klimaatregeling worden toegepast die een zo klein mogelijke temperatuurgradiënt geeft, zoals verdunningsventilatie. Verdringingsventilatie of kwelventilatie komen om deze reden niet in aanmerking. Transparante ruimten met veel direct zonlicht leiden vaak tot een grote temperatuurgradiënt en daardoor grote verschillen in relatieve vochtigheid. Dat maakt transparante ruimten slechts geschikt voor een aantal expositiedoelen.

Buitenlucht bevat stof, roetdeeltjes en etsende verontreinigingen, zoals zwaveloxiden. Ook bezoekers verontreinigen de lucht. Aan expositieruimten voor schilderijen, textiel en metalen voorwerpen worden luchtreinheidseisen gesteld. Aan die eisen kan worden voldaan met mechanisch ventilatie met fijnfiltering. Natuurlijke ventilatie is ongeschikt voor musea.

6 Hotels

Aan hotelkamers worden dezelfde eisen gesteld als aan woon/slaapvertrekken. Hotelkamers krijgen vaak elk een badruimte met daarin een bad of douche, wastafel en toilet. De badruimte bevindt zich dan meestal direct naast de hal/garderobe bij de toegangsdeur.

Badruimten van naast elkaar gelegen kamers worden vaak naast elkaar gesitueerd om het aantal schachten te beperken. Vaak vindt mechanische ventilatie plaats. De lucht wordt in de kamer ingeblazen. Lucht stroomt vanuit de kamer via een spleet onder of een rooster in de deur naar de badruimte. (figuur 5).



figuur 5 voorbeeld van een hotelkameroplossing met mechanische luchttoe- en afvoer, luchtverwarming en luchtkoeling

Omdat hiermee een kamer snel opgewarmd kan worden, wordt ook vaak voor luchtverwarming gekozen. In het verlaagd plafond in de hal wordt de verwarmingsunit en eventueel een koelunit geplaatst. In het verticale deel van het verlaagde plafond tussen hal en kamer wordt de lucht horizontaal ingeblazen, in de richting van de gevel. Het bed moet zo worden geplaatst dat gasten niet op de tocht komen te liggen.

Naast de kamers, heeft een hotel ook andere gebruiksfuncties als een keuken, restaurant vergaderzalen en dergelijke. Hiervoor gelden aparte ventilatie-eisen.

7 Restauratie / renovatie

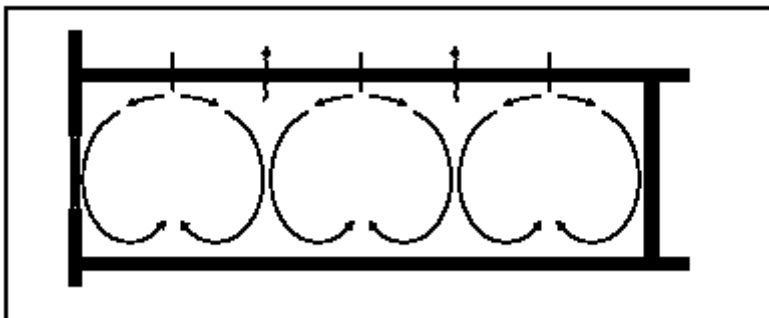
Bij monumentale gebouwen, waarbij een verbouwing als restauratie moet worden opgevat, mag in de regel weinig aan het aanzien veranderen. Buitenzonwering is meestal taboe en originele details, zoals balkenplafonds, moeten vaak zichtbaar blijven. Ingrepen moeten meestal ook reversibel zijn. Voor het creëren van horizontale inbouwruimte voor leidingen en luchtkanalen kan aan verhoogde vloeren worden gedacht. Als voor dit doel een verdiepingsvloer wordt verhoogd kan dit zowel voor de bovenliggende als voor de onderliggende ruimten inbouwruimte bieden. Is weinig schachtruimte beschikbaar dan kan met lambriseringen verticale inbouwruimte worden gemaakt. Ondanks deze mogelijkheden is bij restauratieprojecten vaak onvoldoende ruimte te creëren om alle installaties in te bouwen die op grond van moderne criteria gewenst zijn. Het is belangrijk om aan de orde te stellen die

eisen niet te hoog. Is het bij voorbeeld nodig om te eisen dat de hoogste gebruiksbelasting bij de hoogste ontwerpbuitentemperatuur wordt gehaald? Bewoners en publiek accepteren het vaak als vanzelfsprekend dat het klimaat in monumentale gebouwen niet aan moderne comforteisen voldoen.

De opvattingen over de zichtbaarheid van installaties bij monumentale panden verschillen. Sommigen vinden dat installaties een toevoeging zijn waarvan het onvermijdelijk is dat die worden gezien. Ze accepteren de installaties, laten ze zien als duidelijk afwijkend element van het historische pand. Anderen willen de installaties zo veel mogelijk uit het zicht hebben. Met name bij eindapparaten is dat lastig. Een donkerbruin schoepenrooster is valt minder op dan een witte, maar is nog altijd zichtbaar.

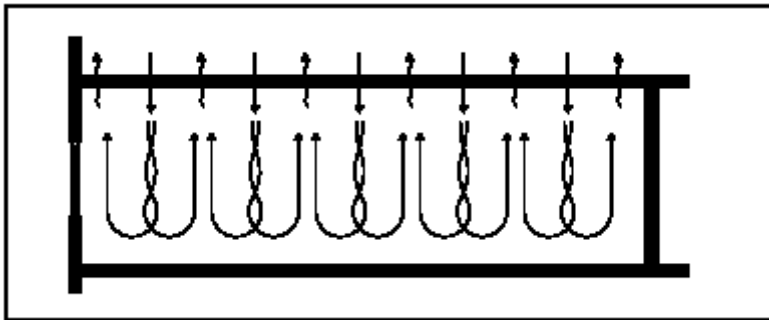
8 Grote ruimtes

Om een gelijkmatige temperatuur van een grote ruimte te realiseren, wordt bij voorkeur de ruimte in verticale richting geventileerd. Plaatsing van toevoer- en afvoerroosters in het plafond is daarbij het gunstigst omdat de inrichtingsmogelijkheden van de ruimte dan niet worden beperkt. Toevoerroosters in de vloer hebben, voor zover ze zich in de leefzone bevinden, als nadeel dat het temperatuurverschil waarmee lucht kan worden toegevoerd (bij koeling maximaal 4 °C) geringer is dan bij toevoer vanuit het plafond. Om een gelijk koelvermogen te bereiken moet via vloerroosters vaak twee maal zoveel gekoelde lucht worden toegevoerd als via plafondroosters. Daarnaast is vervuiling van de roosters in de vloer een risico. Als toevoerroosters in het plafond, kunnen horizontaal langs het plafond inblazende lijnroosters of "anemostaten" worden gebruikt (figuur 6).



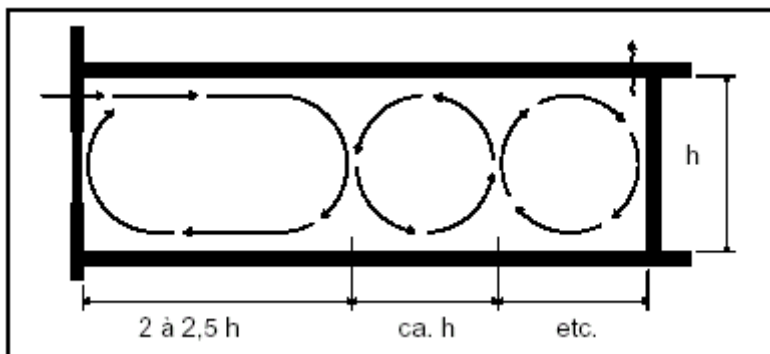
figuur 6 verticaal georiënteerde ventilatie met anemostaten of lijnroosters

Bij ruimten van > 3,5m hoog zijn verticaal naar beneden blazende wervelroosters zeer bruikbaar (figuur 7). Dit is vooral van belang als de toegevoerde lucht warmer is dan de omgevingslucht. Indien de toegevoerde lucht koeler is dan de omgevingslucht zal deze makkelijker "vanzelf" naar beneden komen, als gevolg van het gewichtsverschil. Om die reden hebben instelbare roosters vaak de voorkeur. Deze worden bijvoorbeeld toegepast op de luchthaven Schiphol met ruimtehoogten van circa 8 m. indien de toevoerlucht altijd koeler is dan de omgevingslucht (bijvoorbeeld altijd 18 °C) en omdat de ruimte niet met lucht wordt verwarmd, dan is verticaal inblazen niet nodig.



figuur y verticaal georiënteerde ventilatie met wervelroosters

Eventueel kan via de wand (of bij natuurlijke toevoer via de gevel) lucht worden toegevoerd. Het stromingsbereik (de worp) van wandroosters is echter beperkt. Daardoor ontstaan in uitgestrekte relatief lage ruimten (<3,0 m) bij dwarsventilatie met wandroosters primaire, secundaire en tertiaire wervels (figuur 8).



figuur 8 dwarsventilatie van relatief lage ruimten met grote vloeroppervlakten

Als de roosters goed zijn gedimensioneerd en geplaatst, hoeft dit niet tot tocht te leiden. Wel kan door interne warmtebelasting een horizontaal temperatuurverschil ontstaan, waardoor het in de ruimte op enige afstand vanaf de toevoerroosters steeds warmer en benauwder wordt.

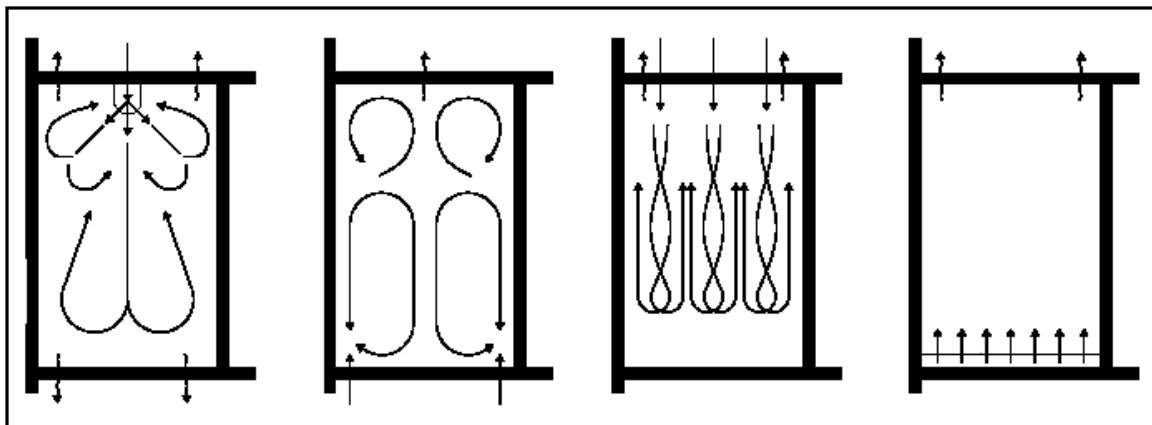
9 Hoge ruimtes

Door dichtheidsverschillen van warme en koele lucht ontstaan temperatuurverschillen; de verticale gradiënt is vaak 0,5 tot 1,0 °C/m. Daardoor kan bij hoge ruimten de temperatuur op plafondhoogte veel hoger zijn dan op vloerhoogte. Dit verschijnsel is nuttig te gebruiken, zoals bij kwel- en verdringingsventilatie. Er zijn ook nadelen, zoals de beperkte bruikbaarheid van hoger gelegen delen van de ruimte. Een ander verschijnsel dat zich bij hoge ruimten voordoet is tocht over de vloer door koudeval langs wanden die koeler zijn dan de lucht in de ruimte. Bij koeling ontstaat langs relatief warme wanden en ter plaatse van warmtebronnen een convectiestroom omhoog. Deze stroom stimuleert dat op andere vlakken of plaatsen lucht naar beneden gaat en zorgt eveneens voor tocht over de vloer.

Omdat verschillende luchtstromingen ontstaan, zijn bij hoge ruimten aparte voorzieningen nodig voor verwarming en koeling. Gebruik kan worden gemaakt van thermische invloeden voor het verlengen van de verticale worp, bijvoorbeeld door warme lucht laag of koele lucht hoog toe te voeren.

Uitgangspunt moet evenwel zijn om temperatuurverschillen tussen de verschillende vlakken zo veel mogelijk te voorkomen: dus niet te koud in de winter en niet te warm in de zomer. De temperatuur van de omringende oppervlakken moet zo dicht mogelijk bij de ruimtetemperatuur komen. Dit om oncontroleerbare luchtstromingen zo veel mogelijk te voorkomen.

Hoge ruimten kunnen van verdringingsventilatie worden voorzien als ze thermisch goed zijn geïsoleerd en zoninstraling en interne warmtebelasting beperkt zijn. De koele of warme lucht kan gelijkmatig verspreid vanuit de vloer worden toegevoerd en hoog worden afgevoerd. De ruimte leent zich dan ook goed voor een wat lang verblijf. Figuur 9 toont verschillende wijzen van luchttoevoer en -afvoer.



figuur 9 klimaatbeheersing bij hoge ruimtes, voorbeelden van luchttoevoer en -afvoer

Voor het op temperatuur brengen en houden van hoge ruimten die als tijdelijke verblijfruimte dienen is vloerverwarming gunstig, omdat:

- Vloerverwarming de temperatuurgradiënt positief beïnvloedt: Warme voeten en een koel hoofd.
- De meeste stralingswarmte daar is waar personen verblijven.

Voor de verwarming van hoge ruimten, zoals sportzalen, veilinghallen, fabriekshallen, en dergelijke worden ook wel hoog geplaatste stralingspanelen toegepast. Dit is minder gunstig vanwege het "warm hoofd en koude voeten"-effect en de hoge benodigde temperaturen.

10 Glasoverkapte ruimtes

Grote/hoge glasoverkapte ruimten, zoals die in Nederland en qua klimaat vergelijkbare landen worden gebouwd, zijn meestal niet geschikt voor langdurig verblijf. Het is zelfs al lastig om ze aan de klimaatseisen van verkeersruimten in gebouwen te laten voldoen. Daarom is het beter om aan dergelijke ruimten lagere eisen te stellen of ze een andere bestemming te geven. Door eisen en mogelijkheden op elkaar af te stemmen zijn glasoverkapte ruimten aanvaardbaar te maken voor beperkte of tijdelijke gebruiksdoelen. Om de kans op klachten te beperken moet met de opdrachtgever en - als dat mogelijk is met toekomstige bewoners - zorgvuldig overleg plaatsvinden over de gebruiksmogelijkheden. Atria met alleen glas in het dak zijn minder problematisch dan ruimtes met eveneens glazen gevels.

Naast de comfortproblemen die aan "gewone" hoge ruimten kleven komen bij hoge glasoverkapte ruimten als extra complicatie de lagere thermische isolatie

(verwarmingsprobleem) en grote zonbelasting (koelprobleem). Een geringe thermische isolatie zorgt bij hoge verticale glasvlakken in de winter voor koudeval. Een krachtige warme luchtstroom vanuit de vloer langs het glas kan de koudeval beperken, maar veroorzaakt ook een tochtstroom over de vloer in de richting van de gevel. Feitelijk leidt elke vorm van luchttoevoer tot meer luchtstroming en kans op tocht.

Accepteert men enige tocht en temperatuurverschillen dan is het mogelijk om in serres een voor verkeersruimten aanvaardbare temperatuur van minimaal 10 à 12 °C te bereiken met beperkte bouwkundige middelen als enkel glas en beperkte verwarming.

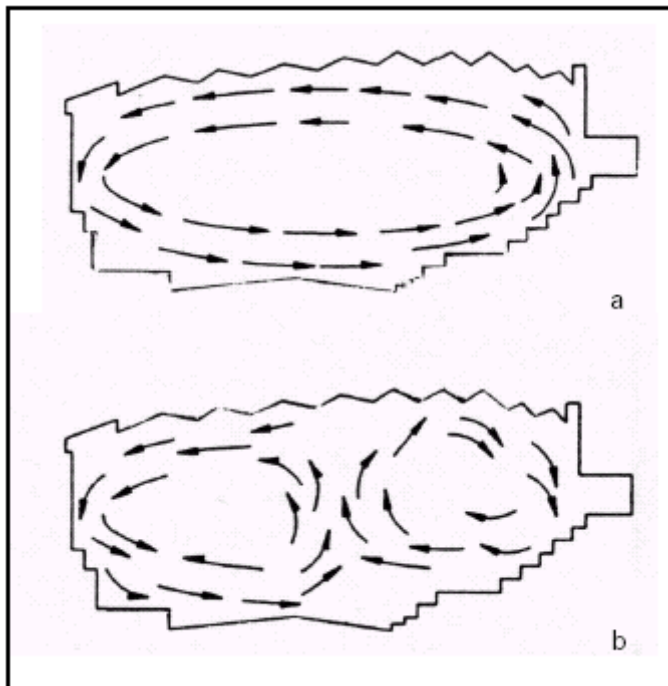
Doorgaans is het niet verantwoord om zonbelaste glazen ruimtes te koelen, anders dan op een natuurlijke manier. De benodigde hoeveelheid buitenlucht is in dat geval echter zo groot dat enige tocht onvermijdelijk is. Tocht acceptierend, kan in de zomer een *aanvaardbaar* klimaat worden gerealiseerd als de luchttemperatuur niet meer dan 3-5 °C boven de buitentemperatuur komt. Voor de spuiventilatie zijn openingen laag in de gevel in combinatie met openingen in het dakvlak het beste. Om ervoor te zorgen dat luchtbewegingen niet te sterk tot de serrevloer doordringen mogen de gevelopeningen niet te laag zitten en moeten deze klein van oppervlak zijn. Hoger gelegen openingen moeten zo worden gesitueerd dat mensen niet te dicht in de buurt daarvan komen, bij voorbeeld bij loopbruggen en bordessen. Hoe minder zonbelasting plaatsvindt, hoe lager de benodigde ventilatiehoeveelheid.

Indien het glasoppervlak wordt beperkt, er voldoende zonwering is en de schil rond de ruimte goed wordt geïsoleerd, is het evenwel mogelijk om ook van atria een gebied voor langdurig verblijf te maken. Een voorbeeld is de hal van de Beta-faculteit in Utrecht. Voor dit type ruimten is evenwel altijd uitvoerig vooronderzoek met gebouwsimulatieprogramma's nodig. Ook dan blijft er nog onzekerheid over het werkelijke comfort.

11 Bijeenkomstruimtes

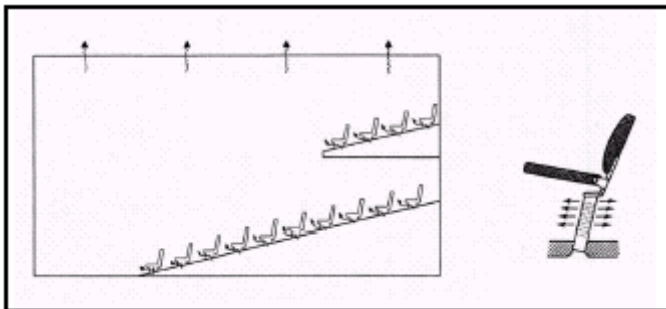
11.1 Theater

Theaterzalen zijn doorgaans hoog, Dit heeft als voordeel dat boven in de zaal een buffer met verse lucht aanwezig is. Omdat de luchtbuffer onvoldoende is voor een langdurige hoge zaalbezetting, is mechanische ventilatie nodig. In het verleden werden de toevoerroosters van theaters meestal in de wanden of het plafond aangebracht. Ondanks een zorgvuldige plaatsing bleek steeds tocht te ontstaan. Dit is, naast de hoogte van de ruimte, mede toe te schrijven aan de hoge interne warmtebelasting en de vaak ongelijkmatige zaalbezetting. Door de warmtebelasting van het publiek - en de convectiestroom die daarvan het gevolg is - kan een luchtstroming ontstaan die het beoogde stromingspatroon overheerst. Figuur 10 laat het verschil zien tussen een vol amfitheater (a) en hetzelfde theater met gedeeltelijke bezetting (b).



figuur 10 luchtstroming in een theater als gevolg van de thermische belasting van het publiek

Bij moderne theaterzalen voert men de verse lucht vaak laag en met een geringe snelheid toe, bij voorbeeld via de poot of rugleuning van fauteuils of via vloerroosters onder de fauteuils. De lucht wordt hoog afgevoerd, bij voorbeeld via de verlichtingsarmaturen. Dit is een onzuivere vorm van verdringingsventilatie (figuur 11).



figuur 11 theaterzaal met luchttoevoer via fauteuilpoten

Vanwege de lage plaats van de luchttoevoer mag de toevoertemperatuur niet meer dan circa 4 °C onder de zaaltemperatuur liggen en niet lager zijn dan ca. 20 °C. Anders ontstaan klachten over koude voeten. Ook dit systeem is niet zonder problemen. Door de verticale temperatuurgradiënt is het hoger in de zaal – bij voorbeeld ter plaatse van balkons - vaak warmer. Om die reden wordt dit systeem bij zeer grote zalen wel gecombineerd met variabele luchttoevoer via hoog in de ruimte geplaatste wervelroosters of nozzles. De luchttoevoer wordt in dat geval per rooster of per groep roosters geregeld op basis van de bezetting. Bij theaters en vergelijkbare zalen wordt meestal 35 m³/h verse lucht per persoon toegevoerd en wordt in de pauzes extra geventileerd. Meer luchttoevoer kan nodig zijn om de zaal voldoende te koelen (6- tot 8-voud). Indien de zaal niet in gebruik is moet deze ook niet te veel afkoelen. Een aanvullend verwarmingssysteem kan gewenst zijn als de zaal bijvoorbeeld aan de buitenlucht grenst.

11.2 Multifunctionele zalen

Zalen voor toneel, film, sport, feesten en dergelijke kunnen nooit voor alle toepassingen even goed worden geklimatiseerd, althans niet met een enkelvoudig systeem. Luchttoevoer, zoals bij theaters, kan vaak niet omdat de zaalvloer voor een aantal functies volledig beschikbaar en vlak moet zijn. Door de mogelijkheid van een grote bezetting is een systeem met toe- en afvoerroosters in het plafond, eventueel aangevuld met lage afvoer (wand- of vloerroosters), het best denkbare. Verticaal naar beneden blazende wervelroosters zijn meestal een goede keus. Voor het bij lage buitentemperaturen op temperatuur brengen en - bij geringe bezetting - op temperatuur houden van de zaal is vloerverwarming een goede aanvulling op dit systeem. In welke mate mechanische koeling nodig is, hangt af van de maximale bezetting, de thermische massa van de zaal en van de temperatuureisen die bij verschillende bezettingen worden gesteld.

11.3 Sportzaal

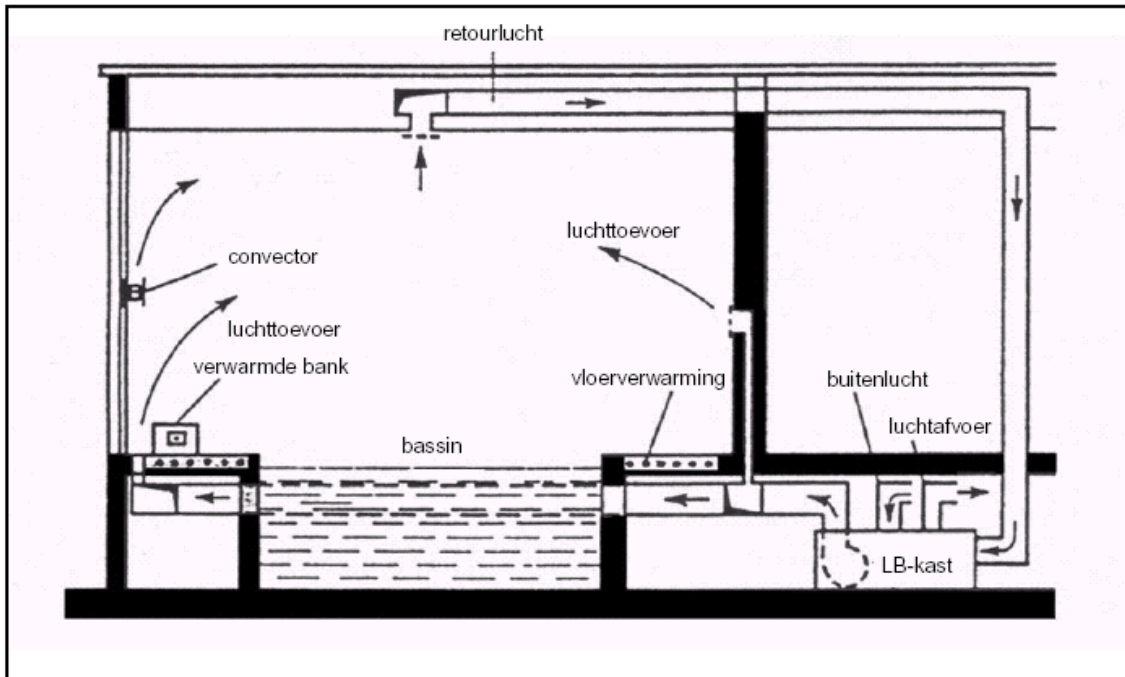
Het klimaat in sportzalen moet voor sporters en ook vaak voor toeschouwers aanvaardbaar zijn. Actieve sporters prefereren een lagere temperatuur dan toeschouwers. Sportzalen bij het onderwijs zijn meestal voorzien van te openen ramen en verwarming met radiatoren. Om te voorkomen dat sporters zich eraan verwonden zijn radiatoren vaak in ondiepe nissen geplaatst. Soms wordt luchtverwarming toegepast, in zijn eenvoudigste vorm bestaande uit een of meer vrij opgehangen indirect gestookte luchtverwarmers. Vloerverwarming is duurder en komt daarom minder vaak voor.

Verwarming die het meest tegemoetkomt aan de temperatuurbehoefte van sporters en toeschouwers is stralingsverwarming. Bij stralingsverwarming kan, bij gelijkblijvend comfort, een lagere luchttemperatuur worden toegepast dan bij luchtverwarming. Dat is gunstig omdat bewegende sporters meer afkoeling van de koelere lucht ondervinden dan stilzittende toeschouwers. Bij tribunes kan plaatselijk meer warmte worden toegevoerd. Stralingsverwarming voor sportzalen kan bestaan uit een *middelhoog*- of een *laag*-temperatuursysteem. Bij middelhoge-temperatuur-systemen gebruikt men smalle stralingspanelen bestaande uit stevige metalen platen die aan watervoerende buizen zijn gelast. Bij lage-temperatuursystemen worden grote delen van het plafond als verwarmingsplafond uitgevoerd. Omdat deze plafonds bestaan uit dunne metalen platen of stroken zijn ze kwetsbaarder.

In Nederland is mechanische koeling voor sportzalen niet gebruikelijk. Sportzalen bij het onderwijs zijn meestal voorzien van hoog geplaatste klepramen waarmee, door ze tegen elkaar open te zetten, de temperatuur in de zomer redelijk is te beheersen. Tocht is daarbij niet uit te sluiten. Zalen van commerciële sportcomplexen met veel bezoekers hebben meestal wel mechanische koeling. Koeling van dergelijke ruimten is mogelijk met toevoer- en afvoerroosters in het plafond. De luchtstroom mag niet op de toeschouwers zijn gericht en moet zo fijnmazig mogelijk zijn verdeeld. Horizontale luchttoevoer met nozzles in de wanden wordt ook wel toegepast, maar is - door de grotere kans op tocht - minder gunstig en bij sommige sporten, zoals badminton, ongewenst.

12 Zwembaden

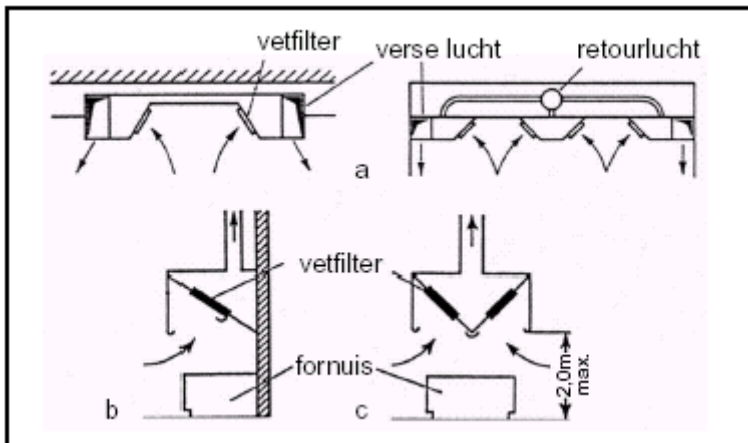
De ventilatie bij zwembaden is met name gericht op het afvoeren van de uit het zwembad verdampende water. Om de kans op condensatie op ramen en wanden te beperken worden zwembaden doorgaans ten minste 3-voudig geventileerd. Bij lage buitentemperaturen wordt de toevoerlucht verwarmd, bij hoge buitentemperaturen niet. (figuur 12).



figuur 12 klimaatbeheersing in zwembaden

13 Grootkeuken

In bedrijfskeukens ontstaat veel warmte en vocht. Bovendien komen vette dampen en kookluchtjes vrij. Warmte en vocht kunnen een thermische belasting vormen. De beste methode om deze belasting te beperken is het plaatsen van de afvoer zo dicht mogelijk bij de bron (zoals kooktoestellen en vaatwassers). Doordat warmte en vocht zeer wisselend vrijkomen, zou een installatie gebaseerd op de maximale warmte- en vochtproductie zeer omvangrijk worden. Met een bufferruimte, zoals een grote wasemkap boven een kookgroep (figuur 13), kan de omvang worden beperkt.



figuur 13 ventilatie van bedrijfskeukens

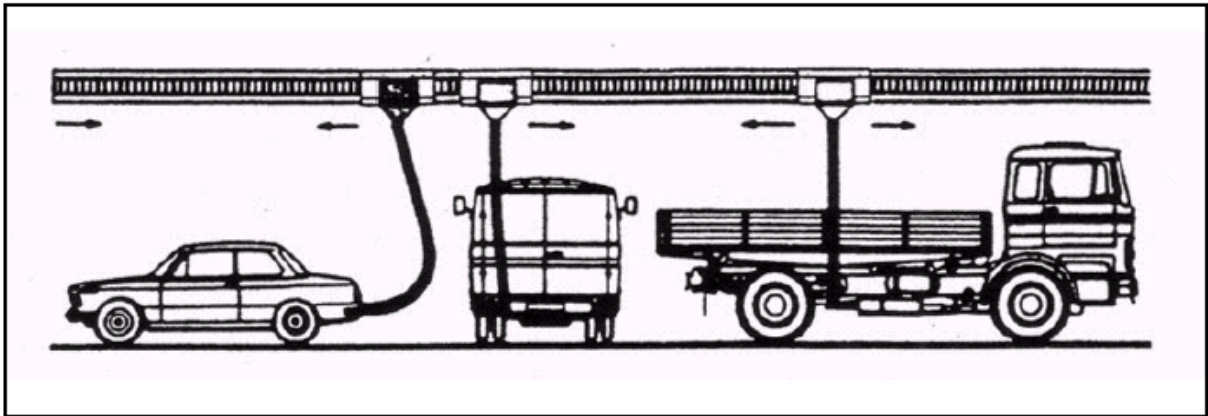
De ruimte boven de leefzône kan als buffer worden beschouwd voor de warmte en stoom die verspreid in de keuken vrijkomt of aan de wasemkap ontsnapt. Bedrijfskeukens moeten om die reden ten minste 3,0 m hoog zijn.

Afhankelijk van de warmte- en vochtbelasting worden bedrijfskeukens 15- tot 20-voudig geventileerd. Bij verblijfsruimten zouden dergelijke ventilatievouden tot tochtklachten leiden. Bij keukens gebeurt dit minder snel omdat keukenpersoneel veel in beweging is en bovendien meer accepteert. Toevoer van grote luchthoeveelheden via open ramen zou tocht veroorzaken. Daarom is bij grotere keukens mechanische ventilatie altijd en mechanische koeling vaak nodig. De benodigde verse lucht wordt vaak langs de rand van een afzuigkap toegevoerd om te voorkomen dat kooklucht zich verspreidt (figuur 13a); hierbij vindt ook warmteterugwinning plaats. Om verspreiding in het pand te voorkomen, wordt in keukens meer lucht afgevoerd dan toegevoerd.

14 Industrieruimtes

Bij industriële ruimten moet de klimaatregeling op de processen zijn gericht. Industriële processen kunnen hoge eisen stellen aan het thermische klimaat en de luchtreinheid. De productie van micro-elektronische componenten in zogenaamde "clean rooms" is hiervan een goed voorbeeld.

Anderzijds kunnen processen de ruimte thermisch en chemisch zwaar belasten. Deze belasting is het meest effectief te bestrijden door warmte en verontreinigingen zo dicht mogelijk bij de bron af te voeren. Een goed voorbeeld is de afvoer van uitlaatgassen in garagebedrijven. Bij proefdraaiende auto's wordt de uitlaat met een slang aangesloten op een centraal afvoersysteem (figuur 14).



figuur 14 directe afvoer van uitlaatgassen bij proefdraaien

Een ander voorbeeld is verdringingsventilatie in veilinggebouwen waarmee roetdeeltjes van vrachtwagens worden afgevoerd. Dit wordt gedaan als bronafzuiging niet mogelijk is.

In industriële ruimten heerst vaak een ruw klimaat. Afhankelijk van de aard van de processen en de aard van de benodigde werkzaamheden, worden andere eisen aan het binnenklimaat en de ventilatie gesteld. Het voert te ver om hier in te gaan op alle aspecten van een geïntegreerd ontwerp van industriële gebouwen met hun processen en klimaatinstallaties.

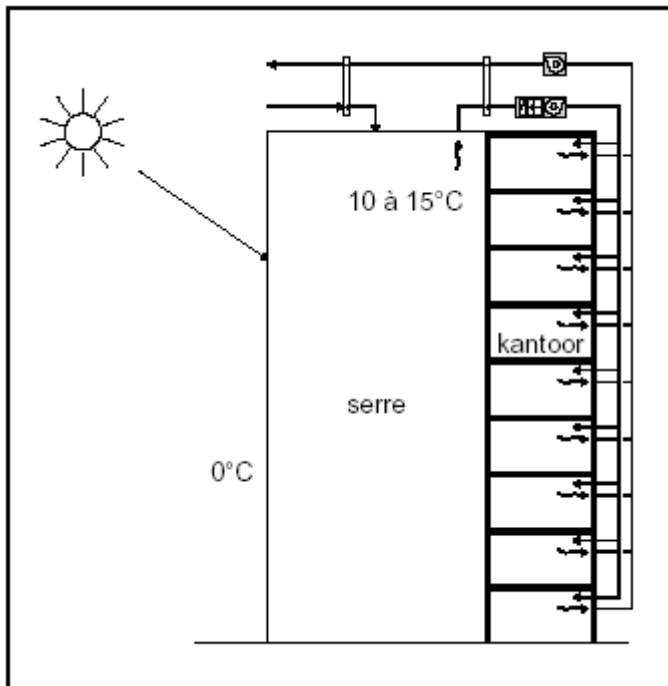
Bij datacentra speelt de thermische belasting van de computers en dataopslag de hoofdrol. Hiervoor zijn speciale oplossingen bedacht zoals gangen tussen de stellingen met computers waarin koele lucht wordt toegevoerd, waarnaast zich gangen bevinden waarin warme lucht wordt afgevoerd. De tendens bestaat om met zo hoog mogelijke temperatuur en zo veel mogelijk met buitenlucht te koelen en gebruik te maken van warmteterugwinning. Dit wordt gedaan om zo veel mogelijk koel- en verwarmingsenergie te besparen,

15 Gekoppelde ruimtes

In veel moderne gebouwen zijn ruimten op een bepaalde manier aan elkaar gekoppeld. Het gaat te ver om hier daar in detail op in te gaan. Om een idee te geven hoe een ventilatieconcept voordeel kan realiseren van gekoppelde ruimtes worden twee voorbeelden gegeven.

Koppeling van ruimten kan plaats vinden via de klimaatinstallatie. Hierbij kan gedacht worden aan het gebruik van lucht die vanuit de ene ruimte wordt afgevoerd om er een andere ruimte mee te ventileren, te verwarmen of te koelen. Een voorbeeld is een hoog kantoorgebouw met een grote hoge serre zoals in figuur 15.

Dit principe is bij het Nederlandse ministerie voor zaken betreffende huisvesting, de ruimtelijke ordening en het beheer van het milieu in Den Haag toegepast.

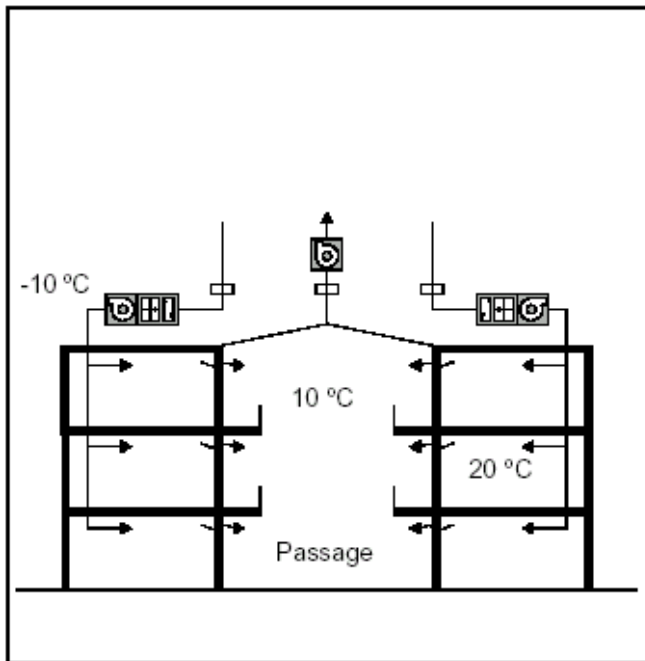


figuur 15 koppeling ruimten met een serre en de klimaatinstallatie

De koppeling via de installatie dient om de voor de kantoren benodigde verse lucht in de winter te kunnen voorverwarmen met in de serres geabsorbeerde zonnewarmte. Hiermee wordt passieve zonnewarmte geogst uit de serre. Belangrijk hierbij is dat de serre zelf in principe geen verblijfsgebied mag zijn, omdat (volgens het Bouwbesluit) verse lucht niet via een verblijfsgebied mag worden toegevoerd¹.

In figuur 16 lopen de ventilatiestromen omgekeerd aan het voorgaande voorbeeld. Lucht wordt toegevoerd in de verblijfsruimten en wordt afgevoerd via de passage of het atrium. Hierbij wordt het atrium dus geklimatiseerd met de lucht uit de verblijfsruimten. Omdat het atrium een verkeersruimte is, is dat toegestaan en is dus geen additionele verwarming of ventilatie noodzakelijk. Bij moderne installaties vindt eveneens warmteterugwinning uit de afvoerlucht uit het atrium plaats (een voorbeeld hiervan is het Deltion college in Zwolle).

¹ Indien kan worden aangetoond - met bijvoorbeeld een CO₂-berekening - dat de luchtkwaliteit in de verblijfsgebieden toch aan de Bouwbesluiteisen voldoet, kan evenwel van deze eis worden afgeweken (gelijkwaardigheidsverklaring).



figuur 16 koppeling verblijfsruimten (kantoren/winkels) met een passage of atrium