



Luchtverdeling via een verhoogde vloer



Technisch rapport KT-30

**In samenwerking met:**

De rapportage van dit onderzoek is uitgevoerd door ing. Harry Bruggema van Peutz, in opdracht van de werkgroep KT30 van TVVL.

De werkzaamheden aan deze rapportage zijn mogelijk gemaakt door financiële ondersteuning van:

- TVVL
- Stichting Promotie Installatietechniek (PIT)
- TROX
- Peutz
- Eco klima

Werkgroep

De rapportage werd begeleid door een werkgroep, bestaande uit:

Harry Bruggema	Peutz (rapporteur)
Bryam Zegwaard	Trox
Noor Schellens	Eco Klima
Wim Hijmissen	Brink Climate Systems
Ron Houtenbos	Induventus
Marco Hofman	ISSO
Willem Sterkenburg	KlimaatSERVICE Holland
Ben van Ruiten	Solid Air
Marcel van Ingen	Techniplan
Michiel van Bruggen	De Energiemanager (projectleider)

**Auteur :**

Harry Bruggema

Datum:

25 maart 2019



INHOUDSOPGAVE

Blz.

SAMENVATTING	4
HOOFDSTUK 1 - Begrippen	6
HOOFDSTUK 2 - Inleiding	8
Inleiding	8
HOOFDSTUK 3 - Luchtverdeling in de ruimte bij ventilatie vanuit de vloer	11
Luchttoevoer vanuit het plafond of vanuit de vloer	11
2.2 Effectiviteit luchtverdeling in de ruimte bij toevoer vanuit de vloer	13
2.2.1 Thermische verdringing (vanuit de wand)	13
3.1.1 LVV en verwarmen	17
3.1.2 Temperatuurverloop volgens VDI 3804:200917	
Ventilatie-effectiviteit en invloed op de benodigde luchthoeveelheid	18
3.1.3 Definities	18
3.1.4 Ventilatie-effectiviteit bij verdringing	19
Invloed op de ventilatiehoeveelheid en de koellast	21
3.1.5 Ventilatiehoeveelheid en luchtkwaliteit	21
3.1.6 Warmtebelasting	21
HOOFDSTUK 4 - 3 Luchtransport via een verhoogde vloerconstructie	22
Inleiding	22
Drukval en luchtverdeling	23
Luchtdoorlatendheid plenum	24
4.1.1 Bouwkundige lekkage = naar overige ruimten en buitenlucht	24
4.1.2 Vloerlekkage = lekkage naar de verblijfsruimte	24
4.1.3 Eisen	25
4.1.4 Controlemethoden	25
Thermische aspecten	26
Reinheid plenum	26
Plenumontwerp	26
Keuzeaspecten	27
HOOFDSTUK 5 - 4 Beschikbare systemen/componenten	29
Vloersystemen	29
5.1.1 Paneelvloer	29
5.1.2 Holte vloer	29
5.1.3 Overige systemen	30
Luchttoevoerroosters	30
5.1.4 Utiliteitsgebouwen	30
5.1.5 Thermisch hoogbelaste technische ruimten	31
5.1.6 Woon- en zorggebouwen	31
Overige componenten	32
HOOFDSTUK 6 - Toepasbaarheid bij ventileren, verwarmen en koelen	33
Wat is de doelstelling?	33
Benodigde installatiefuncties	33
Toepassingsgebied	33
Mogelijke verstoringen	33
6.1.1 Versturende factoren vanuit het installatieconcept	34
6.1.2 Versturende factoren in de ruimte	34
Matrix installatiecombinaties	35



HOOFDSTUK 7 - Luchtkwaliteit	37
Wettelijke eisen en comforteisen	37
Invloed ventilatie-effectiviteit.....	37
Rekenmethode volgens NEN-EN 15251.....	37
HOOFDSTUK 8 - Thermische behaaglijkheid	38
Inleiding.....	38
Relevante comforteisen NEN-EN-ISO 7730:2005.....	38
Begrippen	38
8.1.1 Eisen 38	
Comfortparameters bij ventilatie vanuit de vloer	39
8.1.2 Luchtsnelheid, turbulentiegraad en Draught Rate 39	
8.1.3 Temperatuuraspecten 40	
Aanbeveling directe (roostervrije) zones.....	40
Een recente, andere benadering.....	41
HOOFDSTUK 9 - Geluidaspecten van vloerconstructie en installatie	42
Akoestische aspecten.....	42
Vloerconstructie	42
9.1.1 Luchtgeluidisolatie 42	
9.1.2 Contactgeluidisolatie 43	
Installatiecomponenten	44
HOOFDSTUK 10 - Brandaspecten	45
HOOFDSTUK 11 - Uitvoeringsaspecten, twee praktijkvoorbeelden.....	46
Inleiding.....	46
Verhoogde vloer met kanaalsysteem (Wingvloer).....	46
Verhoogde vloer als toevoerplenum	47
HOOFDSTUK 12 - Beschikbare literatuur	49
Recent onderzoek	50
Samenvatting	50
Relevante aspecten	50
Rekenmodel en beoordelingscriterium	51
Bruikbaarheid	51
Literatuur	52





SAMENVATTING

De publicatie gaat in op:

- de luchtverdeling in de ruimte. Hierbij worden de hiervoor reeds samengevatte concepten beschreven. De factoren die invloed hebben op de ventilatie-effectiviteit worden beschreven alsmede de gevolgen hiervan bij het dimensioneren van de installaties;
- het luchttransport via een verhoogde vloer. De drie al genoemde plenumconcepten worden besproken, er worden eisen gesteld aan de plenumkwaliteit en er worden controlemethoden genoemd. Ook wordt ingegaan op o.a. thermische aspecten en op de factoren die van invloed kunnen zijn op de keuze van een plenumconcept;
- beschikbare concepten/systemen/componenten. Gangbare systemen/componenten voor verhoogde vloeren worden besproken, alsmede typen toevoerroosters;
- toepassingsgebied: ventileren, verwarmen, koelen. Welke combinaties van functies zijn mogelijk en welke installatiecomponenten passen daarbij? Hoe wordt voorkomen dat de ventilatie-effectiviteit lager is dan gewenst;
- luchtkwaliteit. Wat zijn (wettelijke) eisen en welke invloed heeft de ventilatie-effectiviteit hierop.
- thermische behaaglijkheid. Na een overzicht van begrippen en gangbare eisen wordt ingegaan op de specifieke aandachtspunten met betrekking tot comfort: het inbrengen van de ventilatielucht direct in de leefzone en de gewenste temperatuurgradiënt. Ook wordt een beoordeling gegeven van een recent in de literatuur omschreven comfortmodel;
- geluidaspecten van vloerconstructie en installatie. Hierbij wordt ingegaan op bouwkundige en installatietechnische geluidaspecten;
- brandaspecten worden in een kort overzichtje van aandachtspunten behandeld;
- uitvoeringsaspecten worden behandeld door middel van twee projectvoorbeelden;
- enige beschikbare literatuur.

Enkele conclusies

Bij de keuze van luchtverdeling via de verhoogde vloer (LVV) moeten al vroeg in het ontwerpproces vrijwel onomkeerbare keuzes worden gemaakt met betrekking tot gebouw en installaties.

Indien bij LVV wordt gekozen voor een inblaassysteem met een verdringend principe kan door de verhoogde ventilatie-effectiviteit worden bespaard op ventilatievolume en energie. Ook is het gebruik van vrije koeling door de iets hogere inblaastemperatuur over een langere periode mogelijk.

De wijze van verwarmen en koelen kunnen een negatieve invloed hebben op de ventilatie-effectiviteit en vragen derhalve om een goede afweging. Dit geldt ook voor de positionering van de inblaasroosters t.o.v. de werkplekken.

Naast de in voorliggende publicatie verstrekte informatie is er behoefte aan bijvoorbeeld een ISSO-publicatie met rekenmethoden voor het ontwerp.

Gangbare comfortmodellen sluiten niet helemaal aan op deze wijze van ventilatie.

Nader onderzoek naar de volgende aspecten verdient aanbeveling:

- luchtdoorlatendheid plenum en vloer: kunnen de LUKA-eisen conform klasse A wel een goed uitgangspunt zijn indien een lagere toetsingsdruk van bijvoorbeeld 50 Pa wordt



gehanteerd? Of dient de toelaatbare luchtlekkage te worden gedefinieerd als een maximaal percentage van het ventilatiedebiet, bijvoorbeeld 5 of 10 %?

- emissie en reinheid in het plenum: wat is de emissie van de in het plenum aanwezige bekabeling? Dient deze bij voorkeur in gesloten goten te worden gelegd, of zijn open goten ook acceptabel?



HOOFDSTUK 1 - BEGRIPPEN

Directe zone

(Cilindervormige) zone rond een inblaasrooster waarbinnen de luchtsnelheid niet voldoet aan de gevraagde comfortcriteria. Zit- (of sta)plaatsen binnen deze zone moeten daarom worden vermeden om comfortklachten te vermijden.

IFD

Afkorting van Industrieel, Flexibel en Demontabel. Een bouwtechniek met een geïntegreerde benadering van modulair ontwerpen en bouwen. Hierbij wordt rekening gehouden met mogelijke veranderingen in gebouwen, door ze zoveel mogelijk samen te stellen uit industrieel vervaardigde bouwcomponenten. (bron: Joost de Vree.nl)

Inductie

Het effect bij een inblaasopening dat door de onderdruk die ontstaat door de snelheid van de inblaasstraal lucht uit de ruimte wordt aangezogen en wordt gemengd in de inblaasstraal.

Luchtverdeling via Verhoogde Vloer (LVV)

Ventilatiesysteem waarbij de ventilatielucht, al dan niet via kanalen, onder de (vlakke) verhoogde vloer door het gebouw wordt getransporteerd en van daaruit aan de verblijfsruimte wordt toegevoerd. De in deze publicatie gebruikte afkorting is de 'vertaling' van het in de Engelstalige literatuur gebruikte begrip UFAD (Under Floor Air Distribution); zie UFAD.

Mengend ventilatiesysteem

Ventilatiesysteem waarbij de ingeblazen schone lucht vrijwel volledig wordt gemengd met de vervuilde ruimtelucht. De vervuiling in de ruimtelucht wordt hierdoor verdund.

Nuldrukplenum

Luchtverdeelsysteem waarbij het plenum wordt gebruikt voor luchttransport zonder dat er sprake is van een overdruk in het plenum ten opzichte van de te ventileren ruimte.

Overdrukplenum

Luchtverdeelsysteem waarbij het plenum wordt gebruikt voor luchttransport en er sprake is van een overdruk in het plenum ten opzichte van de te ventileren ruimte.

Plenum

Ruimte tussen een constructievloer en een verhoogde vloer (of verlaagd plafond) die kan worden gebruikt voor luchttransport en het aanbrengen van luchtkanalen, leidingen en bekabeling.

Stratificatie

Gelaagdheid die in de ruimtelucht ontstaat ten gevolge van thermische effecten. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen thermische gelaagdheid (verticale temperatuur- gradiënt) en gelaagdheid van vervuilende stoffen.

Stratificatiehoogte SH

Hoogte in een ruimte waar de onderste, weinig gemengde, luchtzone wordt gescheiden van de bovenste wel gemengde zone. Onder de stratificatiehoogte is veelal sprake van een verticale temperatuurgradiënt. Boven SH is de temperatuur door de menging meer gelijkmatig.



TAC

Afkorting van Task/Ambient Conditioning. Taakgerichte ventilatie, waarbij met name een bepaald deel van de ruimte geconditioneerd wordt ten behoeve van thermische behaaglijkheid of processen.

Under Floor Air Distribution (UFAD)

Ventilatiesysteem waarbij de ventilatielucht, al dan niet via kanalen, onder de verhoogde vloer door het gebouw wordt getransporteerd en van daaruit aan de verblijfsruimte wordt toegevoerd. Zie ook LVV.

Ventilatie-effectiviteit (VE) e

De mate waarin een ventilatiesysteem de in een ruimte benodigde ventilatie weet te realiseren. Er wordt onderscheid gemaakt tussen:

- effectiviteit met betrekking tot temperatuur e_Q ;
- effectiviteit met betrekking tot het verwijderen van vervuiling e_c .

Bij een volledig mengend ventilatiesysteem is de effectiviteit 1. Bij verdringing vanuit de vloer 1,2.

Verblijfszone of leefzone

Gedeelte van een verblijfsgebied waarbij de ruimte gelegen binnen 1 m van een uitwendige scheidingsconstructie, binnen 0,2 m van een inwendige scheidingsconstructie en hoger gelegen dan 1,8 m boven de vloer buiten beschouwing blijft. (Bouwbesluit 2012)

Verdringend ventilatiesysteem

Ventilatieprincipe waarbij de koele ventilatielucht, die met lage snelheid aan de ruimte wordt toegevoerd, de vervuilde ruimtelucht, mede geholpen door het thermisch effect van warmtebronnen, uit de ruimte verdrijft.

Worp

De afstand die de lucht na het verlaten van een inblaasopening aflegt totdat de snelheid beneden een bepaalde waarde (bijvoorbeeld 0,25 m/s) is gedaald.

Worphoogte (WH)

Hoogte boven een inblaasrooster waarbij de eindsnelheid in de straal zodanig is dat de inductiewerking nog maar gering of verwaarloosbaar is. (Circa 0,25 m/s).

HOOFDSTUK 2 - INLEIDING

2.1 Inleiding

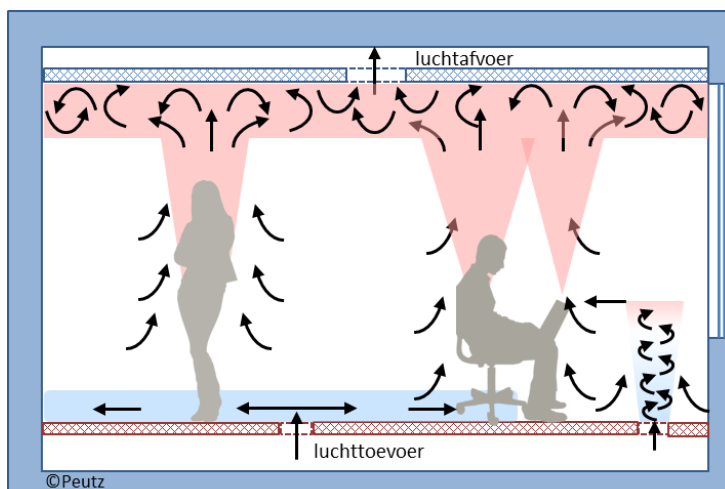
Deze publicatie gaat over het toepassen van ventilatie vanuit de vloer van een ruimte. Daarbij is het uitgangspunt dat er sprake is van een vlakke verhoogde vloer en dat de ruimte onder de vloer wordt gebruikt voor de luchtverdeling. In het Engels wordt gesproken over Under Floor Air Distribution (UFAD); zie literatuur 1a. Deze term wordt in deze publicatie vertaald met LVV: Luchtverdeling via een Verhoogde Vloer.

Bij een installatieconcept met ventilatie vanuit de verhoogde vloer zijn er twee specifieke punten die wezenlijk afwijken van andere ventilatieconcepten:

- de wijze van luchttoevoer naar de ruimte en de invloed hiervan op de luchtverdeling en gradiëntwerking in de ruimte;
- de manier van luchttransport in het gebouw.

Luchtverdeling in de ruimte bij ventilatie vanuit de vloer

Bij ventilatiesystemen met luchtverdeling vanuit het plafond is veelal sprake van een (volledig) mengend systeem. Bij ventilatie vanuit de vloer zijn er verschillende mogelijkheden; zie Figuur 1.



Figuur 1: Principe ventileren vanuit de vloer.

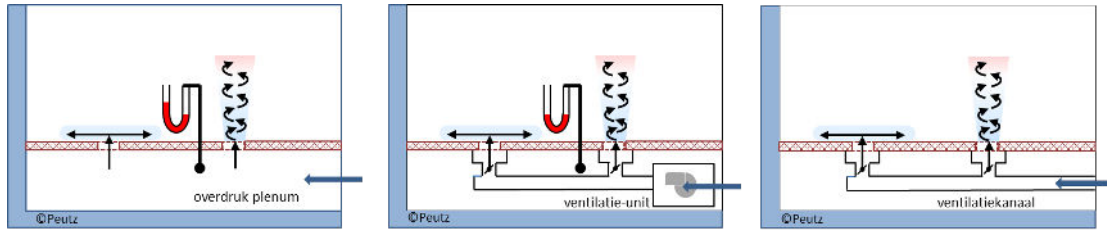
De lucht kan met lage snelheid en lage inductiewerking¹ worden toegevoerd (links in Figuur 1) zodat er sprake is van *verdringing*¹ in de ruimte. Hierbij wordt de luchtbeweging in de ruimte met name bepaald door de aanwezige warmtebronnen in het vertrek. De lucht stijgt langzaam op van vloer naar plafond en wordt hoog afgezogen. Er ontstaat hierbij in de verblijfszone vrijwel geen menging van de koele verse ventilatielucht met de warme vervuilde ruimtelucht. Er kunnen ook vloerroosters worden toegepast die een duidelijke *worp*¹ hebben, meer inductie veroorzaken en gericht in de ruimte blazen, bijvoorbeeld om mogelijke koudeval bij een gevel te voorkomen (rechts in de figuur). Hierdoor ontstaat er in de ruimte meer menging, maar er kan sprake blijven van een zekere stratificatie. Deze twee systemen leiden tot verschillende luchtsnelheden en menging in de ruimte en ook tot een verschillende *ventilatie-effectiviteit*¹. Ze vragen daarom vooraf een bewuste selectie, omdat de keuze van invloed is op de benodigde primaire, verse, luchthoeveelheid.

¹ Zie voor cursief weergegeven woorden de begrippenlijst.



Luchttransport via een verhoogde vloerconstructie

Bij het gebruik van de ruimte onder de verhoogde vloer voor het luchttransport zijn er verschillende mogelijkheden; zie Figuur 2.



Figuur 2: Methoden van luchtverdeling: overdrukplenum (links), nuldrukplenum (midden) en luchtkanalen (rechts).

Allereerst een overdrukplenum, zodat de lucht door de druk zich verdeelt in het gebouw en door het drukverschil uit de toevoerroosters stroomt; links in Figuur 2. Ook kan een nul-druk plenum worden gebruikt zodat de lucht met ventilatorunits uit het plenum moet worden gezogen om aan de ruimte te worden toegevoerd; midden in Figuur 2.

Tenslotte kan het plenum worden gebruikt om een volledige luchtkanalsysteem aan te brengen; rechts in Figuur 2.

Elk systeem heeft eigen aandachtspunten met betrekking tot bijvoorbeeld luchtlekages, thermische uitwisseling van de ventilatielucht met de (beton)vloer, de toelaatbare luchttemperatuur, uitvoeringsaspecten, onderhoud en kosten.

Aanleiding en toepassingsgebied

Ventilatie uit vloerroosters wordt al vele jaren toegepast. Te denken valt aan theaters, maar ook steeds vaker kantoren. Er zijn meerdere redenen denkbaar om ventilatie uit de vloer toe te passen in plaats van traditionele ventilatietoepassingen (zoals plafondroosters). Zo kunnen vloerventilatiesystemen voor een optimale doorspoeling van de ruimte zorgen, waardoor met iets minder ventilatie hetzelfde bereikt wordt. Ook kan optimaal gebruik van de ruimte een rol spelen, zoals bij "open" stalen IFD-vloeren, waar kanalen in de vloer kunnen worden aangelegd en zodoende ruimte boven verlaagde plafonds niet of beperkt nodig is. Hierdoor kan de gebouwhoogte beperkt worden.

Naast de mogelijkheden en voordelen, dienen er ook randvoorwaarden geformuleerd te worden bij het toepassen van ventilatie uit vloerroosters. Hierbij spelen onder andere het risico op tocht bij hogere ventilatievouden, beschikbaar koelvermogen en indeelbaarheid een rol. Er is in Nederland, voor zover bekend, geen ontwerprichtlijn die de toepassing en do's en don'ts van ventilatie uit vloerroosters beschrijft. Alleen ISSO/Rehva-publicatie 900 (verdringingsventilatie in niet-industriële toepassing) besteedt enige aandacht aan vloerroosters; zie literatuur 3c.

Omdat steeds meer contracten worden afgesloten op basis van prestaties, is het van belang om al in een vroeg stadium van een ontwerptraject, in bijvoorbeeld het Schets Ontwerp (SO) of Voorlopig Ontwerp (VO), zekerheid te hebben betreffende de te behalen prestatie van deze vorm van ventilatie. Als immers de VO-fase voorbij is kan de keuze voor ventilatie uit de vloer vrijwel niet meer worden teruggedraaid zonder het volledige ontwerp van het gebouw te herzien.



Doelstelling en projectgroep

De doelstelling en opzet van het onderzoek zijn gebaseerd op een TVVL-projectvoorstel. Doel van het onderzoek is het opstellen van een fabrikantonafhankelijke ontwerprichtlijn die wordt vormgegeven door samenwerking van kennisorganisaties, installateurs en leveranciers. Hiertoe is een projectgroep gevormd waarin specifieke kennis vanuit het vakgebied is vertegenwoordigd. De projectgroep was als volgt samengesteld:

- Brink Climate Systems; fabrikant, de heer Wim Hijmissen;
- Eco Klima; leverancier, mevrouw Noor Schellens;
- Induventus; adviseur industrieel, de heer Ron Houtenbos;
- ISSO; kennisorganisatie, de heer Marco Hofman (corresponderend);
- KlimaatSERVICE Holland; installateur, de heer Willem Sterkenburg;
- Peutz; adviseur, de heer Harry Bruggema (rapporteur);
- Solid Air; leverancier, de heer Ben van Ruiten;
- Techniplan; adviseur, de heer Marcel van Ingen;
- Trox Nederland; leverancier, de heer Bryam Zegwaard;
- TVVL; opdrachtgever publicatie, de heer Michiel van Bruggen.

Realisatie doelstelling en mogelijk vervolg

De publicatie gaat met name over het ventilatieaspect en beoogt niet een leidraad voor de keuze van verhoogde vloeren te zijn. Tijdens het schrijven van de publicatie bleek dat er een aanzienlijke hoeveelheid informatie beschikbaar is, met name van ASHRAE en VDI. Deze informatie is te veel om te worden samengevat in voorliggende publicatie en dient ook grotendeels te worden omgewerkt naar de Nederlandse situatie.

Voorliggende publicatie geeft een korte introductie op het onderwerp en signaleert de belangrijkste aandachtspunten. Met behulp van de met name Engels- en Duitstalige genoemde literatuur kan de lezer zich verder verdiepen en bekwamen in het onderwerp.

Van een echte ontwerprichtlijn is daardoor nog geen sprake. Voorliggende publicatie kan wel als aanzet gehanteerd worden voor het verder uitwerken tot een ontwerp- en uitvoeringsrichtlijn, zoals bijv. een ISSO-publicatie.



HOOFDSTUK 3 - LUCHTVERDELING IN DE RUIMTE BIJ VENTILATIE VANUIT DE VLOER

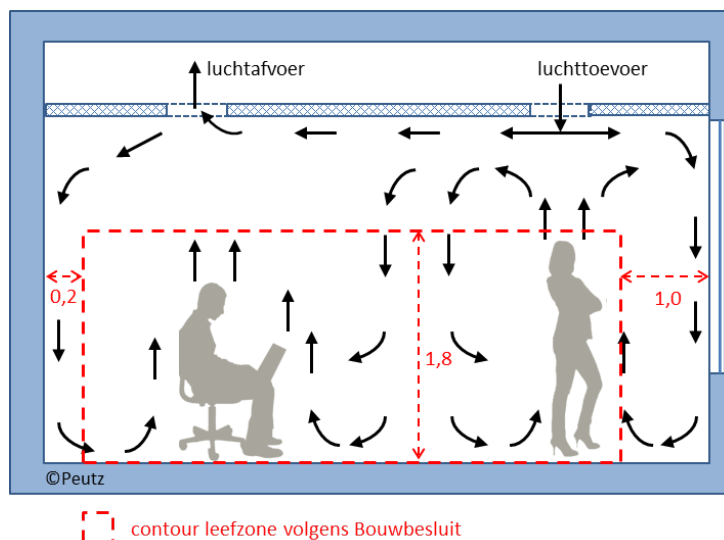
3.1 Luchttoevoer vanuit het plafond of vanuit de vloer

In dit hoofdstuk worden eigenschappen van luchtverdeling vanuit de vloer vergeleken met bekende(re) systemen:

- mengventilatie vanuit het plafond;
- verdringingsventilatie vanuit de wand.

Luchtverdeling in de ruimte bij mengventilatie vanuit het plafond

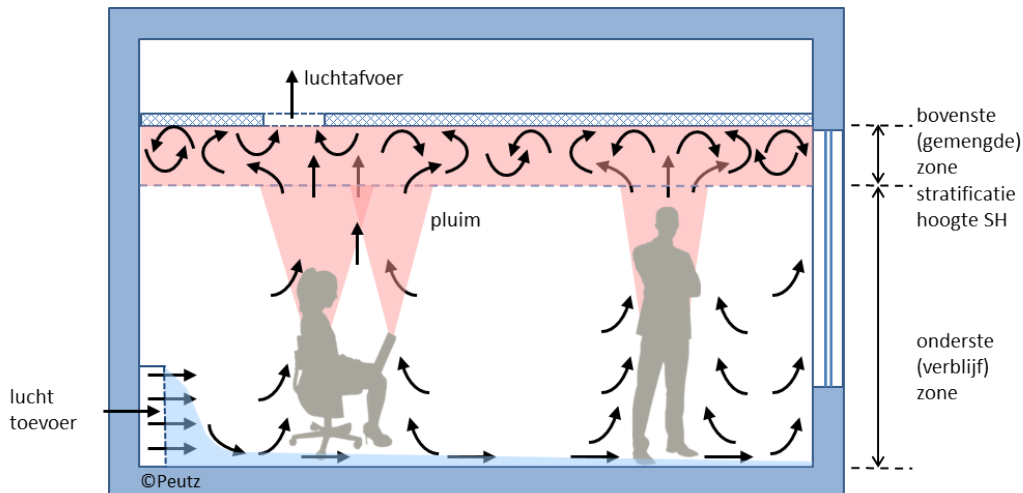
Bij traditionele ventilatiesystemen met luchtverdeling vanuit het plafond is veelal sprake van een (volledig) mengend systeem; zie Figuur 3. Hierbij wordt er voor gezorgd dat de verse ventilatielucht door middel van inductie volledig mengt met de in de ruimte aanwezige (vervuilde) lucht. De vervuiling in de lucht wordt hierbij verdund tot een acceptabele concentratie. Deze 'verdunde' lucht wordt via het afzuigstelsel afgevoerd. De verse lucht wordt buiten de *verblijfszone* in de ruimte gebracht om comfortklachten te voorkomen. Voordat de lucht in de nabijheid van de ruimtegebruikers, dus in de verblijfszone, komt dienen temperatuur en snelheid zich ten gevolge van de menging te hebben aangepast tot een comfortabel niveau.



Figuur 3: Luchtverdeling mengventilatie vanuit plafond, met contour leefzone Bron: ASHRAE UFAD

Luchtverdeling in de ruimte bij verdringingsventilatie

Om de principes van luchtverdeling bij ventilatie vanuit de vloer goed te kunnen begrijpen wordt eerst het principe van verdringingsventilatie in een situatie zonder verhoogde vloer toegelicht; zie Figuur 4. De koele lucht wordt laag in de ruimte toegevoerd en verdeelt zich over de vloer. Door de thermische werking van warmtebronnen (personen en apparatuur) ontstaan thermische pluimen die de verse lucht vanaf de vloerzone meenemen en bij de warmtebronnen warmte en afvalstoffen afvoeren tot boven in de ruimte. Boven in de ruimte ontstaat een zone met warme en verontreinigde lucht. De lucht uit deze zone stroomt idealiter niet meer terug in de leefzone. Hierdoor ontstaat een hogere ventilatie-effectiviteit dan bij een mengsysteem.



Figuur 4: Luchtverdeling in een ruimte bij verdringingsventilatie Bron: ASHRAE UFAD

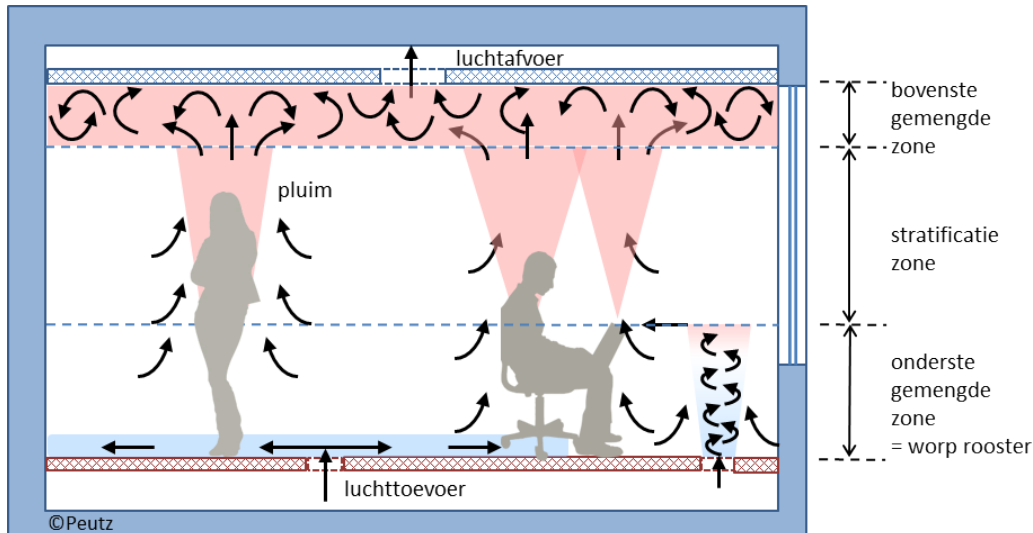
De hoogte van een pluim wordt bepaald door de sterkte van de warmtebronnen en de thermische stratificatie (gelaagdheid) in de ruimte. Als gevolg van inductie neemt de luchthoeveelheid in de pluim toe met de hoogte. De pluim eindigt bij een fysieke begrenzing, zoals het plafond, of wanneer de temperatuur in de pluim gelijk wordt aan de omgevingslucht. Het niveau van de onderzijde van de bovenste zone wordt de stratificatiehoogte (SH) genoemd. Dit is de hoogte waar de som van de luchthoeveelheid in alle pluimen gelijk is aan de hoeveelheid toevoerlucht.

Luchtverdeling in de ruimte bij ventilatie vanuit de vloer

Bij ventilatie vanuit de vloer zijn er verschillende mogelijkheden; zie ook Figuur 5.

De lucht kan met lage snelheid en geen of geringe inductiewerking worden toegevoerd zodat er sprake is van verdringing in de ruimte; links in Figuur 5. Hierbij wordt de luchtbeweging in de ruimte met name bepaald door de aanwezige warmtebronnen in het vertrek. De lucht stijgt langzaam op van vloer naar plafond en wordt hoog afgezogen. Er ontstaat hierbij vrijwel geen menging van de koele verse ventilatielucht met de warme vervuilde ruimtelucht. De situatie is vergelijkbaar met die in Figuur 4.

Ook worden roosters toegepast die wel een duidelijke verticale worp hebben, meer inductie veroorzaken en gericht in de ruimte blazen, bijvoorbeeld om mogelijke koudeval bij een gevel te voorkomen; rechts in Figuur 5. Hierdoor ontstaat er in de ruimte meer menging, maar er kan sprake blijven van een zekere stratificatie.



Figuur 5: Ventilatie vanuit de vloer. Links: verdringend. Rechts: gedeeltelijk mengend. Bron: ASHRAE UFAD

Deze twee systemen leiden tot verschillende luchtsnelheden en menging in de ruimte en daardoor ook tot een verschillende ventilatie-effectiviteit. Ze vragen daarom vooraf een bewuste selectie, omdat de keuze van invloed is op de benodigde primaire luchthoeveelheid en eventueel het te installeren koelvermogen.

Ventileren vanuit de vloer biedt ook de mogelijkheid tot taakgerichte ventilatie (TAC Task/Ambient Conditioning). Hierbij wordt met name een bepaald deel van de ruimte geconditioneerd ten behoeve van thermische behaaglijkheid of processen. Het is mogelijk om de luchthoeveelheid aan te passen aan de behoefte van de gebruiker.

3.2 Effectiviteit luchtverdeling in de ruimte bij toevoer vanuit de vloer

3.2.1 Thermische verdringing (vanuit de wand)

De belangrijkste doelstelling bij verdringingsventilatie is het verbeteren van de luchtkwaliteit in de verblijfszone ten opzichte van mengsystemen. Thermische verdringing is met name effectief wanneer vervuilingbronnen zijn gekoppeld met warmtebronnen (personen, printers). De warmte stijgt op en verdwijnt grotendeels zonder de verblijfszone te verstoren. Een goed ontworpen verdringingssysteem voorziet de ruimtegebruikers direct van verse lucht zonder dat ook ruimtezones zonder warmtebronnen moeten worden geconditioneerd. Hierdoor kan met een lager ventilatiedebiet worden volstaan dan bij volledige menging.

Bij een klassiek verdringingssysteem wordt de lucht laag in de ruimte, direct in de verblijfszone, toegevoerd met een temperatuur van 16 – 18 °C. Soms zijn lagere temperaturen mogelijk, bijvoorbeeld bij kortstondige aanwezigheid of in industriële ruimten. De toegevoerde lucht wordt door de geringe menging maar beperkt opgewarmd en blijft koeler dan de lucht hoger in de verblijfszone. Door de wijze van inblazen met een lage snelheid heeft de lucht weinig 'stuwkracht'. Maar door de lagere temperatuur verdeelt de lucht zich in de ruimte onder de warmere hoger aanwezige lucht, net zoals water zich zou verdelen over de vloer.

De warmtebronnen in de ruimte veroorzaken een pluim van opstijgende lucht, mits deze niet wordt verstoord door luchtstroming in de ruimte. Zoals al is aangegeven stijgt de pluim tot de fysieke grenzen van de ruimte (bijvoorbeeld het plafond) of tot een warme luchtlaag. In de pluim wordt lucht vanuit de ruimte bijgemengd. De afmetingen van de pluim nemen hierdoor toe en de temperatuur in de pluim daalt. De hoogte van de pluim is afhankelijk van de kracht



van de warmtebron en de thermische gelaagdheid in de ruimte. In de pluim worden uitgedemde lucht, geurstoffen en dergelijke afgevoerd naar de warmere bovenste zone in de ruimte en verdelen deze stoffen zich niet in de onderste (verblijf)zone.

In de ruimte ontstaan, bij echte thermische verdringing, twee boven elkaar gelegen zones, gescheiden door de Stratificatie Hoogte SH:

- in de onderste zone vindt vrijwel geen menging plaats. Onderin stroomt de koele lucht in een laagdikte van 100 – 150 mm richting de warmtebronnen;
- boven de stratificatiehoogte ontstaat door menging een zone met een gelijkmatige temperatuur. Wanneer door de pluimen getransporteerde lucht deze zone bereikt zal deze lucht niet meer terugzakken in de onderste zone. Hierdoor ontstaat een verbeterde ventilatie-effectiviteit.

In het ontwerp wordt een optimaal effect bereikt indien de stratificatiehoogte past bij de hoogte van de verblijfszone: minimaal ca 1,2 m bij voornamelijk zittende personen en ca 1,8 m voor staande personen.

3.2.2 LVV koelbedrijf

Wijze van luchttoevoer

De meeste ventilatieroosters die bij LVV worden toegepast zorgen voor een gedeeltelijk mengend inblaaspatroon; zie Figuur 5 in § 3.1. Het belangrijkste verschil tussen LVV-systemen en echte thermische verdringing is de wijze waarop de ventilatielucht aan de ruimte wordt toegevoerd. Bij LVV-systemen wordt de lucht via kleinere toevoeropeningen met hogere snelheid in de ruimte gebracht. Ook kan er sprake zijn van invloed van de ruimtegebruikers op de wijze van inblazen.

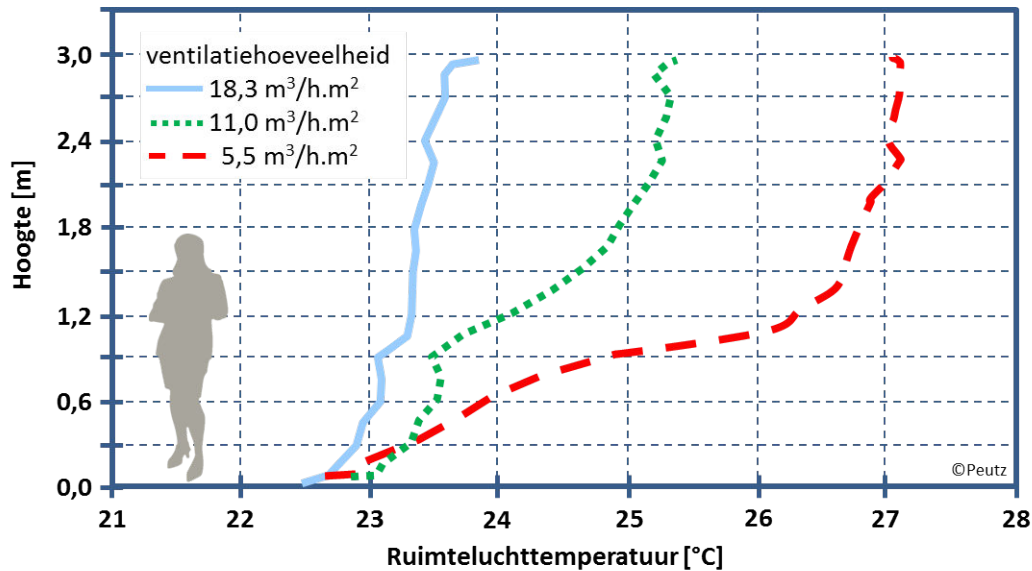
Doordat de ventilatielucht met meer kracht wordt toegevoerd wijzigt de onderste luchtlaag in de ruimte ten opzichte van thermische verdringing ten gevolge van meer turbulentie en menging; zie rechts in Figuur 5. De temperatuur boven de vloer wordt hoger en de gradiëntwerking in de ruimte wijzigt, verder dan de directe invloed van de toevoeropeningen.

De figuur toont de karakteristieke luchtverdeling in een kantoorruimte bij een LVV-systeem:

- drie onderscheiden thermische zones, gescheiden door twee karakteristieke hoogten:
- de worphoogte (WH, in Engelse literatuur throw height TH) van de roosters;
- de stratificatiehoogte (SH), zoals bij thermische verdringing.

Beheersing stratificatie

Het beheersen en optimaliseren van de stratificatie bij LVV-systemen is beslissend bij het systeemontwerp en systeemdimensionering, de energie-efficiency tijdens gebruik en het thermisch comfort. De stratificatiehoogte SH hangt primair af van de ventilatiehoeveelheid en de kracht van de warmtebronnen.



Figuur 6: De invloed van de ventilatiehoeveelheid op het temperatuurprofiel bij gelijkblijvende warmtelast. Bron: ASHRAE UFAD.

Figuur 6 toont het verticale temperatuurverloop in een ruimte bij een laboratoriumexperiment met een constante warmtebelasting van 56 W/m^2 . De luchthoeveelheid met een inblaastemperatuur van 18°C vanuit de vloer is hierbij gevarieerd. De grafiek laat het volgende zien:

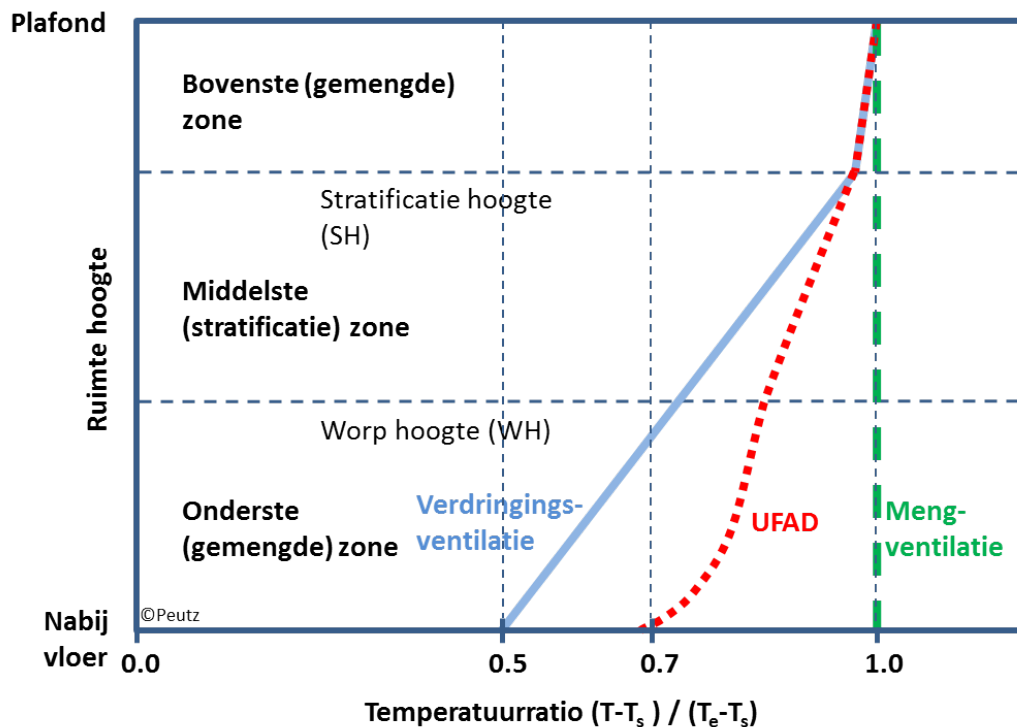
- bij de hoogste luchthoeveelheid (blauwe lijn) ontstaat een geringe temperatuurgradiënt: tussen voeten ($0,1 \text{ m}$) en hoofd ($1,1 \text{ m}$) kleiner dan 1 K . Er wordt blijkbaar teveel lucht toegevoerd;
- bij de laagste luchthoeveelheid (rode lijn) is de verticale temperatuurgradiënt hoger dan de veelal als maximaal gewenste waarde van 3 K (zie ook §8);
- de middelste luchthoeveelheid (groene lijn) zorgt voor balans tussen de warmtebelasting en de luchthoeveelheid. De grafiek toont dat bij de reductie van de luchthoeveelheid t.o.v. de blauwe lijn met 40% , de temperatuurgradiënt tot hoofdhoogte bij een zittend persoon slecht ca $0,5 \text{ K}$ toeneemt.

Geconcludeerd wordt dat:

- het verhogen van de ventilatiehoeveelheid of het verlagen van de warmtebelasting zal zorgen voor een grotere SH en daarmee voor een betere luchtkwaliteit en een geringere temperatuurgradiënt in de verblijfszone;
- het verlagen van de ventilatiehoeveelheid of het verhogen van de belasting zal zorgen voor een geringere SH. In de verblijfszone zal daarmee de luchtkwaliteit en de ventilatie-effectiviteit afnemen en de temperatuurgradiënt toenemen. Dit resulteert in een vermindering van het thermische comfort, maar er wordt wel bespaard op ventilatie-energie.

Temperatuurprofiel inblaasconcepten

Figuur 7 toont en vergelijkt karakteristieke temperatuurprofielen voor het ASHRAE UFAD luchtverdelingsmodel, thermische verdringing en mengventilatie. De temperatuurprofielen zijn representatief voor een normale gebruikssituatie en willen de essentiële verschillen tussen en overeenkomsten van de drie concepten laten zien. Aanvullende informatie staat in § 3.2.4.



Figuur 7: Vergelijking karakteristieke temperatuurprofielen voor het LVV luchtverdelingsmodel, thermische verdringing en mengventilatie volgens ASHRAE UFAD

Het LVV-profiel is gebaseerd op de ruimtetemperaturen buiten de directe invloed van de roosters. Het profiel kan sterk variëren door de invloed van de luchthoeveelheid. In figuur 2.5 is verticaal de ruimtehoogte uitgezet en horizontaal de temperatuurratio. Hierbij is T de ruimtetemperatuur als functie van de hoogte, T_s de toevoertemperatuur op vloerniveau en T_e de afzuigtemperatuur op plafondniveau. Het lineaire profiel voor verdringing is gebaseerd op de veel gehanteerde 50 % vuistregel waarbij is aangenomen dat de temperatuur nabij de vloer het gemiddelde is van de toevoer- en afzuigtemperatuur. Aangenomen is dat op de stratificatiehoogte (SH) de profielen samenvallen. Zolang de worphoogte (WH) van de toevoerroosters minder is dan de stratificatiehoogte (SH) vallen de temperatuurprofielen boven SH samen, uitgaande van een zelfde verhouding tussen ruimtebelasting en toevoervolume. Het derde profiel (mengventilatie) gaat uit van een uniforme goed gemengde ruimte waarbij de ruimtetemperatuur overal gelijk is aan de afzuigtemperatuur.

Onderste gemengde zone

Van deze onderste, gemengde, zone, die grenst aan de vloer, varieert de hoogte in relatie met het uitblaaspatroon (worp) van de toevoeropeningen. De lucht in deze zone is relatief goed gemengd door de luchtstralen met een hoge snelheid nabij de roosters. De bovenzijde van de zone valt ongeveer samen met een eindsnelheid in de straal van 0,25 m/s. Bij persoonlijke ventilatie (TAC Task/Ambient Conditioning) kan de invloed afwijken.

De hogere menging in deze zone resulteert in een temperatuurratio van 0,5 – 0,8 nabij de vloer, zodat de gradiëntwerking daalt t.o.v thermische verdringing. Volgens ASHRAE Standard 62.1 (literatuur 1b) mag bij koelbedrijf een ventilatie-effectiviteit van 1,2 worden gehanteerd indien de inblaassnelheid niet hoger is dan 0,25 m/s op 1,4 m hoogte, gelijkwaardig aan thermische verdringing. Is de inblaassnelheid hoger dan moet een ventilatie-effectiviteit van 1 worden gehanteerd bij koelbedrijf.



Middelste (gelaagde) zone

Deze gelaagde zone is de overgang tussen de onderste en bovenste zone in de ruimte. Net als in de onderste zone bij thermische verdringing wordt in deze zone de luchtbeweging volledig bepaald door de drijvende krachten van de pluimen van de convectieve warmtebronnen. De invloed van de inblaasroosters is niet meer aanwezig. De temperatuurgradiënt nadert daardoor die bij thermische verdringing. De middelste zone is alleen aanwezig wanneer de worphoogte kleiner is dan de stratificatie hoogte ($WH < SH$).

Bovenste gemengde zone

De bovenste gemengde zone is gevuld met warme lucht die wordt afgegeven door de opstijgende warmtepluimen in de ruimte. Hoewel de luchtsnelheid in deze zone vrij laag is, is de temperatuur door de menging gelijkmatig dankzij de pluimen die door de laag er onder breken. De zone gedraagt zich vergelijkbaar met de bovenste zone bij thermische verdringing mits de luchtstralen van de roosters niet door de stratificatiehoogte SH breken. Wanneer de toevoerluchthoeveelheid groter is dan het volume van de warmtepluimen komt de bovenste gemengde zone niet tot stand. De ruimte moet dan gemodelleerd worden met behulp van de onderste twee zones.

3.2.3 LVV en verwarmen

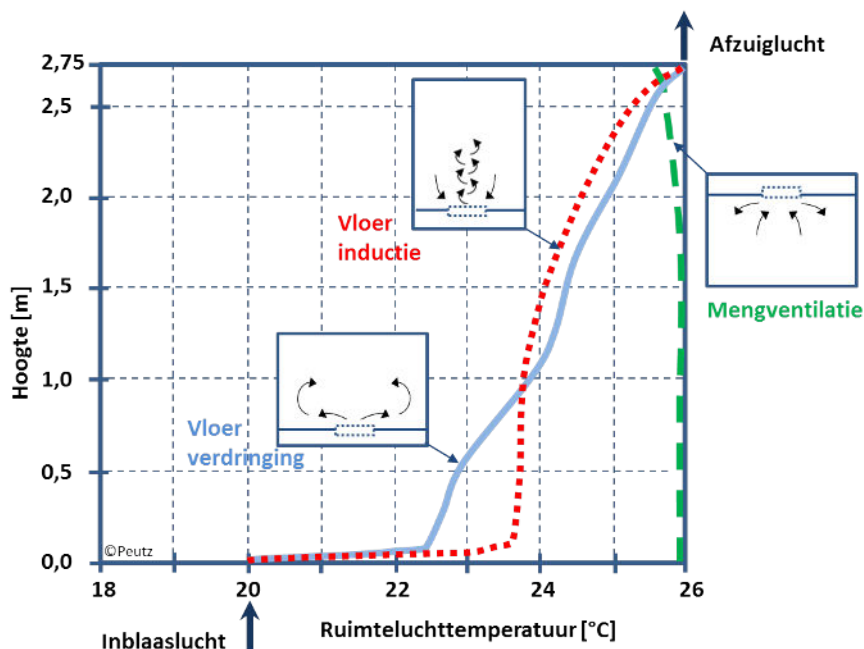
Volgens de ASHRAE UFAD-publicatie is verwarming veelal maar in een beperkt aantal situaties nodig:

- in gevelzones en op de bovenste verdieping;
- in (en direct na) perioden met een lage bezetting (nacht, weekend).

Effectieve verwarmingssystemen voorkomen dat door warme lucht de thermische traagheid van de betonvloer wordt aangesproken. Mogelijke oplossingen zijn het via kanalen op fan-coilunits aansluiten van roosters, lage temperatuur stralingspanelen of convectoren. In § 6 wordt nader ingegaan op de toepasbaarheid van verwarmingssystemen. Hoofdstuk 5 van de ASHRAE UFAD publicatie geeft informatie over systemen en methoden om de gevelzone bij de toepassing van LVV-systemen te verwarmen.

3.2.4 Temperatuurverloop volgens VDI 3804:2009

Ook VDI 3804:2009 geeft informatie over temperatuurstratificatie. In Figuur 8 is voor drie installatieconcepten het temperatuurverloop in de ruimte weergegeven. De concepten zijn niet identiek aan die in Figuur 7. De figuur gaat uit van een inblaastemperatuur van 20 °C en een afzuigtemperatuur van 26 °C.



Figuur 8: Karakteristiek verticaal temperatuurverloop in de ruimte voor verschillende ventilatieconcepten volgens VDI 3004:2009

Bij een volledig mengend systeem is een temperatuur in de leefzone van 26 °C gehanteerd, met een lichte daling nabij het plafond t.g.v. het inblaassysteem.

Bij inblaas vanuit de vloer, verdringend of enigszins mengend, wordt voor het onderste gedeelte van de leefzone een temperatuur van ruim 22,5 – 23,5 °C op vloerniveau gehanteerd, oplopend tot ca 24 °C op 1,1 m hoogte.

In § 3.3.1. is op basis van deze uitgangspunten de ventilatie-effectiviteit geanalyseerd.

3.3 Ventilatie-effectiviteit en invloed op de benodigde luchthoeveelheid

3.3.1 Definities

De mate waarin een ventilatiesysteem de in een ruimte benodigde ventilatie weet te realiseren noemen we de Ventilatie-effectiviteit (VE) ev. Er kan hierbij nog onderscheid worden gemaakt tussen de effectiviteit met betrekking tot het verwijderen van vervuiling e_c en de effectiviteit met betrekking tot temperatuur e_θ .

De effectiviteit met betrekking tot het verwijderen van vervuiling wordt als volgt gedefinieerd:

$$e_c = (c_e - c_s) / (c_i - c_s) \quad [-] \quad (1)$$

Met:

c_e = concentratie afzuiglucht [ppm]

c_s = concentratie toevoerlucht [ppm]

c_i = concentratie leefzone [ppm]

Voor de effectiviteit met betrekking tot temperatuur geldt:

$$e_\theta = (\theta_e - \theta_s) / (\theta_i - \theta_s) \quad [-] \quad (2)$$

Met:

θ_e = temperatuur afzuiglucht [°C]

θ_s = temperatuur toevoerlucht [°C]

θ_i = temperatuur leefzone [°C]

Als hierna gesproken wordt over de ventilatie-effectiviteit, dan heeft dat betrekking op de temperatuureffectiviteit.



3.3.2 Ventilatie-effectiviteit bij verdringing

Bij een volledig mengend ventilatiesysteem is de ventilatie-effectiviteit $e = 1$. Maar wat is e bij verdringing? In de literatuur vinden we verschillende waarden voor deze ventilatie-effectiviteit:

NPR CR 1752:1999 Ventilatie van gebouwen - Ontwerpcriteria voor de binnenomstandigheden
Tabel F1 van deze richtlijn geeft informatie over de ventilatie-effectiviteit bij verschillende ventilatieconcepten; zie Figuur 9.

De figuur geeft duidelijk inzicht in de invloed van het verschil tussen de inblaastemperatuur en ruimtetemperatuur op de effectiviteit. Bij een hoog inblazend mengventilatiesysteem met een ondertemperatuur (koelen) wordt een ventilatie-effectiviteit e_v van 0,9 – 1 vermeld.

Mengventilatie		Mengventilatie		Verdringingsventilatie	
Temperatuur verschil toevoer/ademzone $\theta_s - \theta_i$ [°C]	Ventilatie Effectiviteit ϵ [-]	Temperatuur verschil toevoer/ademzone $\theta_s - \theta_i$ [°C]	Ventilatie Effectiviteit ϵ [-]	Temperatuur verschil toevoer/ademzone $\theta_s - \theta_i$ [°C]	Ventilatie Effectiviteit ϵ [-]
<0	0,9-1	<-5	0,9	<0	1,2-1,4
0-2	0,9	-5 - 0	0,9 - 1	0-2	0,7-0,9
2-5	0,8	>0	1	>2	0,2-0,7
>5	0,4-0,7				

Figuur 9: Waarden voor ventilatie-effectiviteit bij verschillende ventilatieconcepten volgens tabel F1 van NPR CR 1752:

Bij verdringingsventilatie wordt bij laag toevoeren met een ondertemperatuur een e van 1,2 – 1,4 vermeld. Deze effectiviteit neemt af naarmate de inblaastemperatuur toeneemt. Er is uitgegaan van een gelijkmatig in de ruimte verdeelde warmtebelasting.

VDI 3804:2009 Raumlufttechnik Bürogebäude (VDI-Lüftungsregeln)

In Figuur 10 is een deel van de informatie overgenomen uit figuur 2 van deze richtlijn. Ter vergelijking is ook hier verdringingsventilatie vanuit de vloer naast mengventilatie vanuit het plafond gezet. Hierbij zijn de volgende afkortingen gehanteerd:

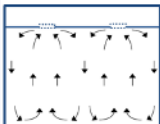
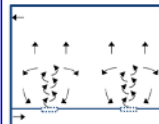
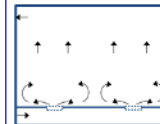
- plafond MV-1: mengventilatie met enkelvoudige inblaasrichting;
- plafond MV-2: mengventilatie met 2- of meervoudige inblaasrichting;
- vloer MVV: combinatie van mengventilatie en verdringing;
- vloer VV: verdringingsventilatie.

Hier wordt voor ventilatie vanuit het plafond met een ondertemperatuur een effectiviteit e_v van 1,0 vermeld. Bij verdringing vanuit het plafond, niet opgenomen in figuur 2.6, wordt $e_v = 1,2$. Bij echte verdringing vanuit de vloer wordt $e_v = 2$ aangegeven. Is er sprake van een combinatie van verdringing en menging dan bedraagt $e_v = 1,5$. Figuur 2 in de richtlijn bevat ook zinvolle informatie met betrekking tot maximale koellast en toelaatbare temperatuurverschillen. Ook deze zijn weergegeven in Figuur 10.



Op basis van de informatie in figuur 2.6 is de ventilatie-effectiviteit berekend volgens (literatuur 2) en weergegeven in figuur 2.9

ISSO/Rehva publicatie 900:2004 – Verdringingsventilatie in niet-industriële toepassingen
Deze publicatie geeft geen éénduidige waarden voor verdringing vanuit de vloer.

Plaats toevoer	Plafond		Vloer	
Type stroming	MV-1	MV-2	MVV	VV
Luchtstromingspatroon				
Maximale koellast [W/m²]	≤ 60	≤ 100	≤ 100	≤ 40
Temperatuurverschil toevoerlucht – ruimtelucht op 1,1 m hoogte [K]	-3 tot -5	-8 tot -12	-6 tot -8	-1 tot -3
Temperatuurverschil toevoerlucht – afvoerlucht [K]	-3 tot -5	-8 tot -12	-8 tot -12	-2 tot -7
Ventilatie-effectiviteit [-]	1	1	1,5	2
Type inblaasrooster	tangentiaal (spleet)	wervel of hooginducerende spleet	vloerwervel	sokkel of rond
				©Peutz

Figuur 10: Ontwerpinformatie ontleend aan figuur 2 VDI 3804:2009

ASHRAE UFAD-guide:2013

Zoals eerder vermeld wordt voor mengventilatie een effectiviteit $e = 1$ aangegeven, voor verdringing vanuit de vloer $e = 1,2$. Als aan ASHRAE 62.1 (literatuur 1b) ontleend criterium wordt gehanteerd dat de worp kleiner is dan 1,45 m bij een snelheid van 0,25 m/s. Hier wordt een duidelijk criterium gegeven dat kan worden gehanteerd bij de roosterselectie.

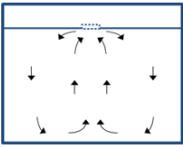
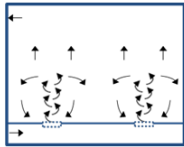
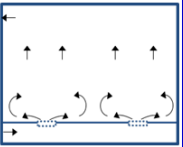
Keuze TVVL-publicatie

Voor deze TVVL-publicatie wordt aanbevolen uit te gaan van de laatstgenoemde gegevens:

- bij verdringing ($v < 0,25$ m/s op 1,45 m): $e = 1,2$;
- bij menging of indien niet aan bovengenoemd criterium wordt voldaan: $e = 1,0$.

Dit sluit het beste aan bij UFAD-publicatie en NPR-CR 1752. De waarden in de VDI-richtlijn zijn ten opzicht van de andere publicaties wezenlijk hoger.



Plaats toevoer		Plafond	Vloer	
Type stroming		Meng ventilatie	Vloer inductie	Vloer verdringing
Luchtstromingspatroon				
luchttemperaturen conform figuur 2.5				
θ_s temperatuur toevoerlucht [°C]		20,0	20,0	20,0
θ_i temperatuur leefzone 1,1 m [°C]		26,0	23,8	24,0
θ_e temperatuur afzuiglucht [°C]		25,5	26,0	26,0
ϵ_{θ} ventilatie-effectiviteit [-]		$(25,5-20)/(26-20)=0,92$	$(26-20)/(23,8-20)=1,6$	$(26-20)/(24-20)=1,5$
		©Peutz		

Figuur 11: Berekening ventilatie-effectiviteit gebaseerd op gegevens in Figuur 8.

3.4 Invloed op de ventilatiehoeveelheid en de koellast

3.4.1 Ventilatiehoeveelheid en luchtkwaliteit

Ventilatiennormen en richtlijnen zijn veelal gebaseerd op mengsystemen. Vaak wordt bij het ontwerp niet uitgegaan van de bouwbesluiten, maar van een hogere luchthoeveelheid per persoon. Dit kan uit het oogpunt van duurzaamheid zijn, maar ook zeker wanneer de koeling via de ventilatielucht wordt geleverd. Dan zal het koelvermogen bepalend zijn. Bij het gebruik van een systeem met een hogere ventilatie-effectiviteit zou de primaire luchthoeveelheid kunnen worden gereduceerd; zie echter ook § 3.4.2. Verlaging tot onder het niveau van het bouwbesluit wordt ontraden.

3.4.2 Warmtebelasting

De ASHRAE UFAD-publicatie geeft aan dat hoewel de warmtebelasting in ruimten met LVV-systemen (of thermische verdringing) ten opzichte van mengsystemen in het algemeen weinig verschilt, het benodigde koelvermogen in de ruimte wel wezenlijk kan verschillen. De mate waarin temperatuurstratificatie in een ruimte tot stand komt bepaalt het aandeel van de convectieve warmtelast dat op natuurlijke wijze wordt afgevoerd en geen invloed heeft op het comfort van de ruimtegebruikers. Deze hoeveelheid warmte mag bij het dimensioneren van het koelvermogen dat via de ventilatielucht aan de ruimte moet worden geleverd buiten beschouwing blijven. Wel moet deze hoeveelheid warmte worden afgevoerd door de luchtbehandelingsinstallatie.

Het verlagen van de koellast kan aanleiding zijn om de inblaastemperatuur te verhogen. Dat biedt volgens ISSO/Rehva publicatie 900 (Literatuur 3c) interessante mogelijkheden voor het langduriger benutten van vrije koeling. Hou hierbij echter rekening met de eventuele opwarming van de lucht in het vloerplenum; zie § 4.4. Ook kan er bij een hogere inblaastemperatuur minder ontvochtigd worden, wat een nadelig effect op de luchtkwaliteit kan hebben.

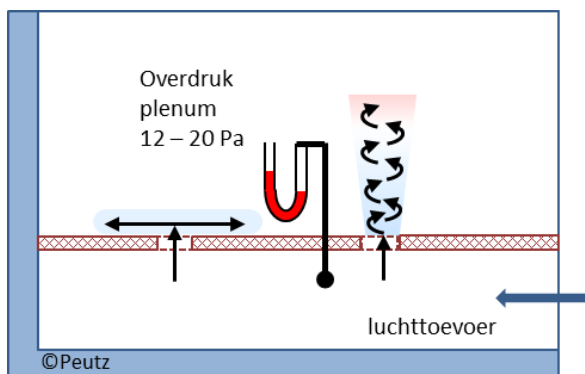
HOOFDSTUK 4 - 3LUCHTTTRANSPORT VIA EEN VERHOOGDE VLOERCONSTRUCTIE

4.1 Inleiding

Bij het gebruik van de ruimte onder de verhoogde vloer voor het luchttransport zijn er verschillende mogelijkheden:

Overdrukplenum

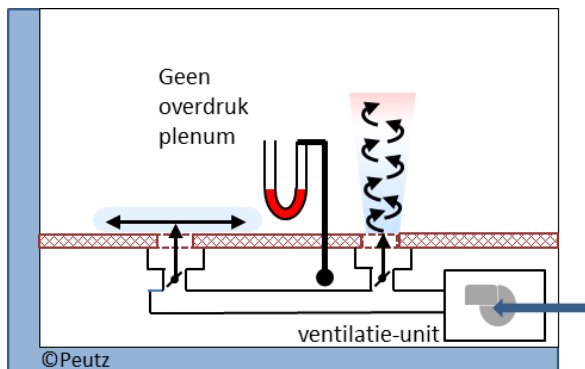
Hierbij wordt door de centrale luchtbehandelingsinstallatie gezorgd voor een overdruk onder de vloeren. De overdruk ten opzichte van de omgeving bedraagt veelal circa 12 – 20 Pa. Door dit drukverschil verdeelt de lucht zich in het vloerplenum door het gebouw en stroomt door het drukverschil uit de toevoerroosters. Zie Figuur 12.



Figuur 12: Principe overdrukplenum

Nul-drukplenum

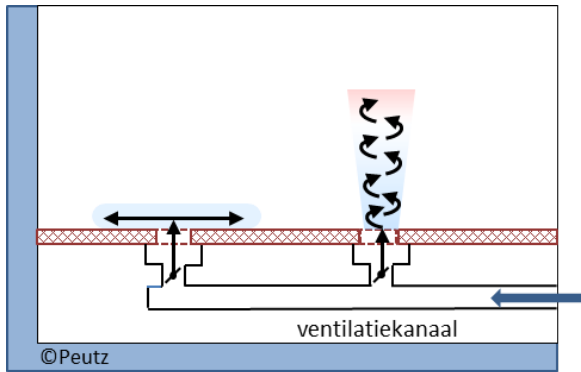
Hierbij wordt wel centraal lucht in het plenum geblazen, maar zonder dat een overdruk wordt gerealiseerd. De lucht wordt met ventilatorunits uit het plenum gezogen en aan de ruimte toegevoerd. In zo'n unit kan ook nakoeling of naverwarming aanwezig zijn. Zie Figuur 13. De units vragen een plenumhoogte van minimaal circa 0,35 m. Is er plaatselijk te weinig hoogte beschikbaar dan moet naar een alternatieve opstelling worden gezocht. De roosters kunnen individueel of met meerdere tegelijk via een plenumbox worden aangesloten.



Figuur 13: Principe nul-drukplenum

Plenum als installatiezone

Het plenum wordt in dit geval voorzien van een volledige luchtkanalensysteem. Figuur 14 Het ontwerp van dit systeem is vergelijkbaar met de situatie waarbij de leidingen in een plafondplenum zijn opgenomen.



Figuur 14: Principe plenum als installatiezone met luchtkanaal

Praktijksituaties

Elk systeem heeft eigen aandachtspunten met betrekking tot bijvoorbeeld drukverdeling, luchtlekages, thermische uitwisseling van de ventilatielucht met de (beton)vloer, de toelaatbare luchttemperatuur, onderhoud en kosten. Op een aantal aspecten wordt ingegaan. In de praktijk kan een combinatie van drukplenum en 'nul'-druk wenselijk zijn:

- een drukplenum voor de basisventilatie;
- op plaatsen waar meer lucht nodig is (vergaderen) kan met een ventilatie-unit meer lucht uit het plenum worden gehaald.

Een volumeregeling op basis van de druk in het plenum zorgt ervoor dat alle roosters voldoende lucht krijgen.

4.2 Drukval en luchtverdeling

Rond de voedingspunten waar de lucht vanuit de schacht aan het vloerplenum wordt toegevoerd treedt het grootste drukverlies op. Door de uittredesnelheid en de inductiewerking die hierdoor kan ontstaan kunnen roosters dicht bij de aansluiting zelfs lucht aanzuigen, terwijl roosters die iets verder liggen veel te veel lucht uitblazen. De roosters die nog verder weg liggen ontvangen daardoor te weinig lucht. Dit alles kan opgelost worden door een zorgvuldig ontwerp van het voedingspunt. Bijvoorbeeld door een geperforeerde korf rond of een stuk textiele luchtverdeelsslang op de aansluiting te plaatsen.

Voor het verder goed functioneren van met name het systeem met overdruk in het plenum is het van belang dat een zekere gelijkmatigheid in plenumdruk ontstaat. Normaliter ontstaan, net als in luchtkanalen, drukverschillen tussen het begin en het einde van een inblaaszone. Deze drukverschillen worden veroorzaakt door onder andere:

- de wrijvingsverliezen t.g.v. de luchtstroming. Deze zijn evenredig met het kwadraat van de snelheid. De verliezen worden dus extra verlaagd wanneer bij gelijkblijvende doorsnede de luchthoeveelheid en daarmee de luchtsnelheid aan het einde van een zone afneemt. Een gelijkmatige drukverdeling kan dus alleen gerealiseerd worden als de luchtsnelheid in het plenum laag is. De wrijvingsweerstand is mede afhankelijk van de ruwheid van de betonvloer en de vloerpanelen;
- obstructies in het plenum: kabelgoten en kabelverdeelboxen, elektra-aansluitingen, bouwkundige obstructies, vizels, steunprofielen en stabiliteitsprofielen van de verhoogde vloerconstructie;
- plenum lekkage; zie § 4.3.

Voor de berekening van het drukverloop in het plenum kan gebruik worden gemaakt van de principes die worden gehanteerd bij de berekening van luchtkanalen. Aanbevolen wordt de luchtsnelheid in het plenum te beperken tot 1 – 2 m/s. Voor de hydraulische diameter kan 2x de plenumhoogte worden aangehouden.



Voor het instellen van het juiste debiet van de luchtroosters dienen deze te zijn voorzien van een volumeregeling, hoewel bij een goed ontworpen plenum, met een gelijkmatige druk, een volumeregeling niet nodig zou zijn.

Het openen van de vloer voor onderhoud, aanpassen bekabeling etc heeft direct invloed op de luchtverdeling. Door het compartimenteren van het plenum en het gebruik van constantvolume regelaars per compartiment wordt meer grip op de luchtverdeling verkregen.

Systemen met een nuldrukplenum zijn minder gevoelig voor verstoringen. De ventilatorunits echter vragen een hogere investering, ook in aansluitkosten en energiegebruik en produceren geluid. De centrale units kunnen echter lichter worden gedimensioneerd.

4.3 Luchtdoorlatendheid plenum

Ongecontroleerde luchtuitwisseling tussen plenum en de verblijfsruimte, andere ruimten in het gebouw of de buitenlucht moet worden geminimaliseerd.

4.3.1 Bouwkundige lekkage = naar overige ruimten en buitenlucht

Deze lekkages zijn het gevolg van onvoldoende kwaliteit van de afdichtingen van het plenum naar de omgeving.

Hierbij worden onderscheiden:

- bouwkundige afdichtingen:
- gevelaansluitingen, zoals naden van betonelementen, spouwen;
- betonvloeraansluitingen en de aansluiting gevel/betonvloer;
- dilataties in betonvloer of gevel;
- aansluiting binnenwanden op de betonvloer;
- overbrugging hoogteverschillen, start of beëindiging verhoogde vloer;.
- installatietechnische afdichtingen:
- schachtaansluitingen;
- leidingdoorvoeren;
- elektrische en data-aansluitingen, mantelbuizen, wandcontactdozen, aansluit- en verdeelboxen etc.

Ten gevolge van deze lekkages kunnen problemen met de drukbeheersing ontstaan hetgeen kan leiden tot discomfort, maar ook tot condensatieproblemen, energieverliezen en geluidproblemen.

4.3.2 Vloerlekkage = lekkage naar de verblijfsruimte

Lekkages naar de ruimte behoeven, mits beperkt in omvang niet direct tot problemen te leiden, maar dienen zoveel mogelijk te worden beperkt, ook om akoestische problemen te voorkomen.

Hierbij worden onderscheiden:

- verhoogde vloer:
- onderlinge aansluiting panelen;
- afdichting tussen panelen;
- vloerafwerking en bijvoorbeeld verspringen naden vloerpanelen en vloerafwerking;
- vloeraansluitingen:
- aansluiting op de gevel, ook ter plaatse van gevelelementnaden en dilatatievoegen;
- aansluitingen op binnenwanden en rond kolommen;
- dilataties;
- installatietechnische afdichtingen:
- leidingdoorvoeren;
- elektrische en data-aansluitingen, mantelbuizen, wandcontactdozen, thermostaten, aansluit- en verdeelboxen etc.



4.3.3 Eisen

Met betrekking tot de gebouwmhulling

Er dienen eisen te worden gesteld aan de maximale luchtlekkage bij een bepaald drukverschil. Deze kunnen worden ontleend aan het Handboek Bouwfysische Kwaliteit Gebouwen van de NVBV 2018; Literatuur 5, § 4.5 Luchtdoorlatendheid. Aanbevolen wordt uit te gaan van minimaal kwaliteitsniveau goed.

Met betrekking tot het plenum

Voor zo ver bekend zijn er geen concrete eisen beschikbaar. Het toepassen van de LUKA-eisen volgens het Kwaliteitshandboek Luchtkanaalsystemen 2017 (§ 3.11.2), zie literatuur 6, zijn in combinatie met de daar gehanteerde toetsingsdrukken niet realistisch; zie Figuur 15. De Luka-eisen die uitgaan van een luchtlekkage per m² wandoppervlak worden aangegeven in l/s.m² en zijn aangevuld met waarden in m³/h.m².

Statische druk ©Peutz	maximaal lekverlies							
	Klasse A		Klasse B		Klasse C		Klasse D	
	[l/s.m ²]	[m ³ /h.m ²]	[l/s.m ²]	[m ³ /h.m ²]	[l/s.m ²]	[m ³ /h.m ²]	[l/s.m ²]	[m ³ /h.m ²]
[Pa]								
500	1,53	5,51	0,51	1,84				
1000			0,80	2,88	0,27	0,97	0,089	0,32
1250					0,31	1,12	0,103	0,37
1500					0,35	1,26	0,116	0,42
2000					0,42	1,51	0,14	0,50

Figuur 15: Tabel met toelaatbare luchtlekkage en toetsingsdruk conform de LUKA-eisen, inclusief waarden in m³/h.m².

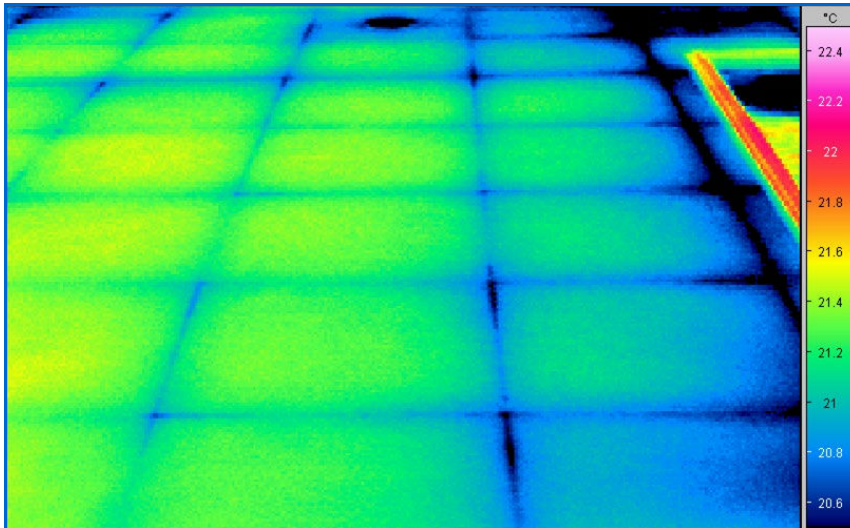
Het verdient aanbeveling te onderzoeken of de eisen conform klasse A wel een goed uitgangspunt kunnen zijn bij een lagere toetsingsdruk van bijvoorbeeld 50 Pa. Een andere benadering kan worden gekozen door de toelaatbare luchtlekkage te definiëren in een maximaal percentage van het ventilatiedebiet. Welk percentage dat moet zijn, bijvoorbeeld 5 of 10 %, dient nader te worden bepaald.

4.3.4 Controlemethoden

Er zijn kwalitatieve methoden beschikbaar waarbij weliswaar geen inzicht gekregen in de exacte lekkage, maar er wordt wel informatie verkregen waar lekkages optreden. Methoden die vooral geschikt zijn om lekkages tussen vloerplenum en de ruimte te inventariseren zijn:

- een rookproef met overdruk in het plenum;
- thermografie, met overdruk in het plenum; zie Figuur 16

Daarnaast is er de kwantitatieve methode waarbij met bijvoorbeeld een blowerdoorsysteem een deel van het vloerplenum op druk kan worden gezet. Hierbij dienen de ventilatieroosters (of de sparingen hiervoor) en het toevoersysteem te worden dicht gezet. Vervolgens kan de luchtlekkage bij de gewenste voordruk worden bepaald.



Figuur 16: Thermografische opname verhoogde vloer. De naden waar lekkage optreedt tekenen zich kouder (blauw) af. (info Peutz)

4.4 Thermische aspecten

Door het toepassen van LVV wordt gestreefd naar thermische stratificatie in een ruimte. Dat betekent dat de afgezogen lucht een wezenlijk hogere temperatuur kan hebben dan bij mengventilatie. Wordt afgezogen middels een plafondplenum dan strijkt deze warme lucht langs de onderzijde van de betonvloer. Wordt dan aan de bovenzijde van deze vloer de koele ventilatielucht toegevoerd dan kan, zeker bij lange trajecten, een wezenlijke warmte-uitwisseling plaatsvinden en warmt de koele ventilatielucht op voordat deze de ruimte bereikt. Ook vindt warmte-uitwisseling plaats via de vloerpanelen en is er de invloed van de warmtecapaciteit van betonvloer en vloerpanelen. Hiermee dient in de ontwerpfase rekening te worden gehouden.

4.5 Reinheid plenum

Omdat het plenum als toevoerkanal voor verse ventilatielucht wordt gebruikt dient aandacht te worden gegeven aan de reinheid. Punten van aandacht zijn o.a.:

- gebruik een stofbindend middel op de betonvloer;
- voorkom vervuiling tijdens de bouw en zorg voor reiniging voor de ingebruikname;
- kies een stofbindende onderafwerking van de vloerpanelen, zodat het loslaten van stof in de ventilatielucht wordt voorkomen;
- kies roosters met vuilvangers, zodat vuil wordt opgevangen en eenvoudig kan worden verwijderd.

Punten van nader onderzoek

De volgende vragen dienen door middel van nader onderzoek te worden beantwoord:

- wat is de emissie van de in het plenum aanwezige bekabeling?
- dienen kabels, uit oogpunt van reinheid en emissie, bij voorkeur in gesloten goten te worden gelegd, of zijn open goten ook acceptabel.

4.6 Plenumontwerp

Bij het ontwerp van de luchtverdeling in het plenum dient rekening te worden gehouden met de volgende thermische aspecten:

- de gewenste inblaasttemperatuur;
- de toevoertemperatuur naar het plenum;
- de opwarming/afkoeling van de lucht in het plenum.



Op basis van deze aspecten kan de toelaatbare verblijftijd van de lucht in het plenum worden beoordeeld en kan met behulp van de snelheid in het plenum de maximale afstand tussen luchttoevoer naar het plenum en luchtinlaat in de ruimten worden bepaald.

Daarnaast dient een goede analyse te worden gemaakt van waar de warmtebelasting optreedt en welk koelvermogen (en luchtdebiet) daar voor nodig is.

Voeding van het vloerplenum kan plaatsvinden vanuit een centraal punt maar ook vanuit kanalen die in de middenzone of langs de gevels worden gelegd. Dit laatste kan het voordeel hebben dat wanneer de koellast bij de gevel het hoogst is er sprake is van een geringe opwarming van de ventilatielucht voordat deze de ruimte instroomt. De voedingskanalen kunnen echter ook terdege voor obstructie zorgen in het plenum.

Overige belangrijke factoren die van invloed zijn op het ontwerp:

- akoestische aspecten; zie § 9;
- brandtechnische aspecten; zie § 10.

4.7 Keuzeaspecten

In deze paragraaf wordt een aanzet gegeven tot het maken van een keuze van het luchtverdeelsysteem. Hiertoe worden in de tabel in Figuur 17 een aantal relevante aspecten benoemd en beoordeeld. Zoals al is aangegeven in § 4.1 is het in de praktijk goed mogelijk en soms ook noodzakelijk om tot een combinatie van verschillende principes te komen.

Toelichting:

- geluidisolatie tussen ruimten: wanneer een goede geluidisolatie tussen ruimten gewenst is betekent dit dat er niet alleen een goede barrière onder de wanden moet worden aangebracht, maar ook geluiddempende voorzieningen op de roosters. Dit brengt extra weerstand met zich mee, terwijl de effectiviteit soms beperkt is;
- grote variatie in warmtebelasting: Wanneer er in bepaalde zones, bijvoorbeeld langs een gevel, of in een vergaderruimte, meer koelvermogen nodig is, dient de ventilatiehoeveelheid te worden verhoogd. Let er hierbij ook op of er door een mogelijk grotere afstand tot de schacht sprake is van extra opwarming van de toevoerlucht in het plenum. Er is bij een overdrukplenum sprake van een min of meer constante druk, zodat meer of grotere roosters moeten worden toegepast.

Luchtverdeelsysteem Keuzeaspect	overdruk plenum	nuldruk plenum	kanalen in plenum
Geluidisolatie tussen ruimten	-	0	+
Grote variatie in warmtebelasting	-	+	+
Grote variatie in ventilatievraag			
Compartimentering	-	-	+
Beperkte plenumhoogte	0	-	0
Flexibiliteit indeling	0	-	0*
Laag energiegebruik	-	0	-
			©Peutz

+ goed mogelijk

0 mogelijk, bij * mits in het ontwerp voorzien

- niet goed mogelijk

Figuur 17: Keuzeaspecten luchtverdeelsysteem in plenum



Dit kan conflicteren met de beschikbare ruimte en de comfortuitgangspunten, zodat roosters te dicht bij personen moeten worden aangebracht;

- grote variatie in ventilatievraag: in bepaalde zones, bijvoorbeeld in een vergaderruimte, dient de ventilatiehoeveelheid te worden verhoogd. Er is bij een overdrukplenum sprake van een constante druk, zodat meer of grotere roosters moeten worden toegepast. Dit kan conflicteren met de beschikbare ruimte en de comfortuitgangspunten, zodat roosters te dicht bij personen moeten worden aangebracht;
- compartimentering: indien om brandtechnische of akoestische redenen compartimenteringen nodig zijn en bijvoorbeeld het aanbrengen van brandkleppen noodzakelijk is, dient een open plenum plaatselijk te worden dichtgezet. Het aanbrengen van bijvoorbeeld brandwerende doorvoeren is het eenvoudigst voor een gekanaliseerd systeem, maar plaatsing onder een wand is ook mogelijk;
- beperkte plenumhoogte: wanneer er maar een gering plenumhoogte kan worden gerealiseerd is het de vraag of er bij een nuldrukplenum wel apparatuur kan worden gevonden die in het plenum past; zie ook bij flexibiliteit. Bij luchtkanalen kan de keuze voor platte kanalen nodig zijn;
- flexibiliteit indeling: Bij een overdrukplenum kan bij een juiste keuze van de componenten sprake zijn van een goede flexibiliteit in het verplaatsen van de toevoerroosters wanneer de ruimte-indeling (plaats werkplekken) wordt gewijzigd. Dit geldt met name indien de functie op een vloerveld gelijk is. Moeten op een kantoortuin vergaderruimten worden toegevoegd met een hogere ventilatiebehoefte en specifieke eisen aan de geluidisolatie dan moet een aanvullende installatie worden gemaakt. Mits goed voorbereid is dit ook mogelijk met een goed ontworpen LVV-systeem met kanalen in het plenum. Dit lijkt daarom het meest flexibel en je voorkomt lokale ventilatie-units (en het hierdoor geproduceerde geluid). Het vraagt om vooraf goed nadenken over de positie van het kanaalwerk en het vereist voldoende plenumhoogte.
- energiegebruik: Het verschil in transportenergie tussen de systemen wordt beperkt geacht. Wellicht gaat bij een kanaalsysteem door een hogere weerstand wat meer energie verloren. Wat zeker een verschil kan opleveren is dat bij een overdrukplenum meer energie via lekkages verloren kan gaan.



HOOFDSTUK 5 - 4 BESCHIKBARE SYSTEMEN/COMPONENTEN

5.1 Vloersystemen

5.1.1 Paneelvloer

Een vloerconstructie, zie Figuur 18 bestaat uit vizels, dempingsplaatjes en paneel.



Figuur 18: Principe opbouw verhoogde vloer: vizels, dempingsplaatjes en paneel (Foto PBS)

Vloerpanelen

Afmetingen standaard $l \times b = 0,6 \times 0,6$ m, dikte ca 20 – ca 50 mm, veelal ca 30 – ca 40 mm. Het kernmateriaal kan bestaan uit spaanplaat of vezelversterkt calciumsulfaat (anhydriet). Dit laatste materiaal is zwaarder en heeft een positief effect op de geluidisolatie. De keuze van het materiaal en de dikte van de panelen zijn ook van invloed op het brandgedrag. De randen zijn vaak voorzien van een kunststof afwerking.

De panelen kunnen aan de onderzijde aanvullend zijn voorzien van een staalplaat of aluminiumfolie. Bij de toepassing van ventilatie via het vloerplenum dient de onderzijde van de plaat te zijn afgewerkt om de afgifte van stofdeeltjes in de ventilatielucht te voorkomen. Voor de bovenzijde is afwerking mogelijk door middel van pvc, tapijt, linoleum, HPL en dergelijke of bijvoorbeeld keramische tegels. De afwerking heeft veelal afmetingen van $0,5 \times 0,5$ m, zodat de naden verspringen ten opzichte van de paneelnaden. Dit kan een gunstig, reducerend, effect hebben op de luchtdoorlatendheid.

Vizels

De panelen worden of direct, of via steunprofielen, op instelbare vizels gelegd die gesteld en gefixeerd worden op de constructievloer. De vrije hoogte van het plenum dat hierdoor ontstaat kan variëren van ca 0,05 - 2,0 m. Voor de stabiliteit worden de vizels, afhankelijk van de plenumhoogte, gekoppeld. Wordt het plenum gebruikt voor ventilatie, dan is een plenumhoogte van 0,3 - 0,5 m gebruikelijk. De panelen kunnen direct of met behulp van contactgeluidreducerende kunststof plaatjes op de vizels worden gelegd.

Aarding

Afhankelijk van de toepassing dient aandacht te worden besteed aan de elektrische koppeling van de panelen t.b.v aarding.

5.1.2 Holte vloer

Een holtevloer is qua opbouw vergelijkbaar met een panelenvloer, maar er worden voor de vloer grotere platen met veer en groef gebruikt die onderling worden verlijmd. Hierop kan bijvoorbeeld nog een gietvloer worden aangebracht. De vloer is geschikt voor natte ruimten.

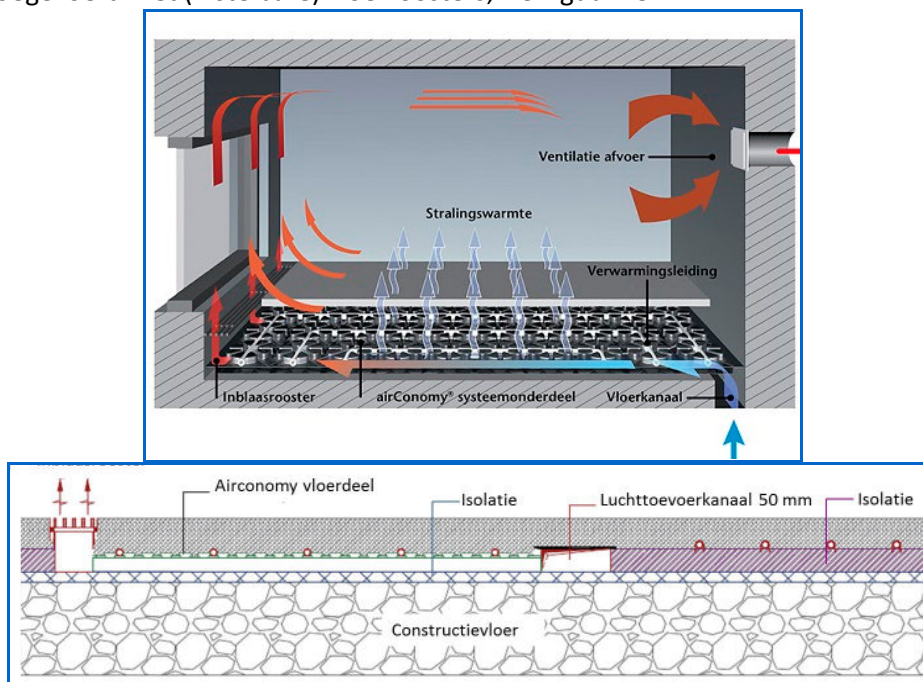
5.1.3 Overige systemen

IFD-vloer

Een vloerconstructie volgens het principe van Industrieel en Flexibel en Demontabel bouwen kan bestaan uit een onder- en bovenvloer waartussen ruimte voor leidingen bestaat. Voor de constructie worden staalprofielen gebruikt.

Vloerverwarming met noppenvloerkanaal

De klimaatvloer is een distributiesysteem van verwarming, koeling en ventilatie. De verwarming en koeling vindt plaats via het vloerleidingnet. Via de noppenplaatcassettes en vloerkanalen wordt verse lucht onder de vloerleidingen doorgevoerd en aan de ruimte toegevoegd. Doordat de vloerleidingen over de noppenplaatcassettes lopen, wordt de lucht voorverwarmd of voorgekoeld. Over het geheel wordt een afwerkvloer aangebracht. Het aantal holle noppenplaten wordt bepaald aan de hand van het benodigde ventilatiedebiet en/of de koelbehoefte in de ruimte. Het overige deel van de vloer wordt opgevuld met isolatie en eveneens voorzien van vloerleidingen. Op de constructievloer worden met behulp van noppenplaten luchtkanalen gecreëerd met een hoogte van 40 mm.. De lucht wordt aan de ruimte toegevoerd met (instelbare) vloerroosters; zie Figuur 19.



Figuur 19: Gecombineerde vloerverwarming en ventilatie in het airconomy systeem. Afbeelding Eco Klima

Vloerverwarming met luchtkanaal

Op de constructievloer worden tussen, op isolatiemateriaal aangebrachte noppenplaten voor het monteren van vloerverwarmingsleidingen, metalen luchtkanalen gelegd, met een hoogte van 50 mm. De leidingen voor de vloerverwarming lopen door over de luchtkanalen. Over het geheel wordt een afwerkvloer gestort. De lucht wordt aan de ruimte toegevoerd met (instelbare) vloerroosters.

5.2 Luchttoevoerroosters

5.2.1 Utiliteitsgebouwen

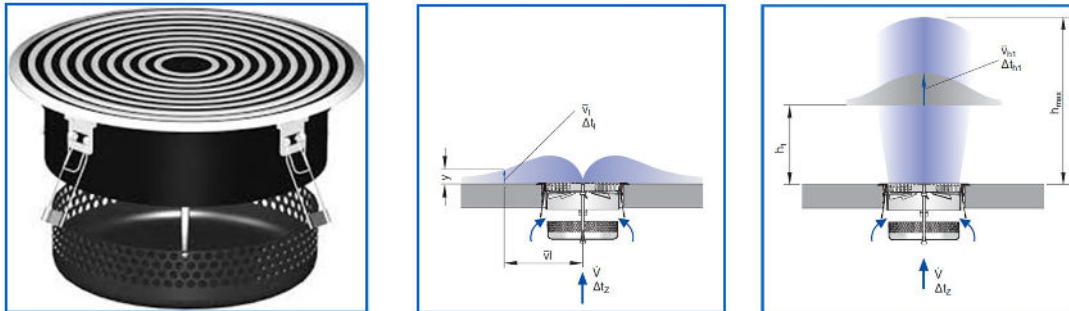
In kantoorruimten en ruimten met vergelijkbare comforteisen worden de volgende roostertypen toegepast:

- verdringingsroosters: deze roosters blazen de lucht nagenoeg horizontaal uit over de vloer. Ook bij deze roosters moet worden gelet op de eventuele inductiewerking;



- inducerende roosters: deze roosters blazen de lucht verticaal in de ruimte;
- instelbare roosters, waarmee een bepaald uitblaasp patroon kan worden ingesteld; zie Figuur 20.

Ronde, vierkante of langwerpige uitvoeringen in kunststof, staal of aluminium zijn mogelijk en de roosters kunnen zijn voorzien van luchtregelaars en vuilvangers.

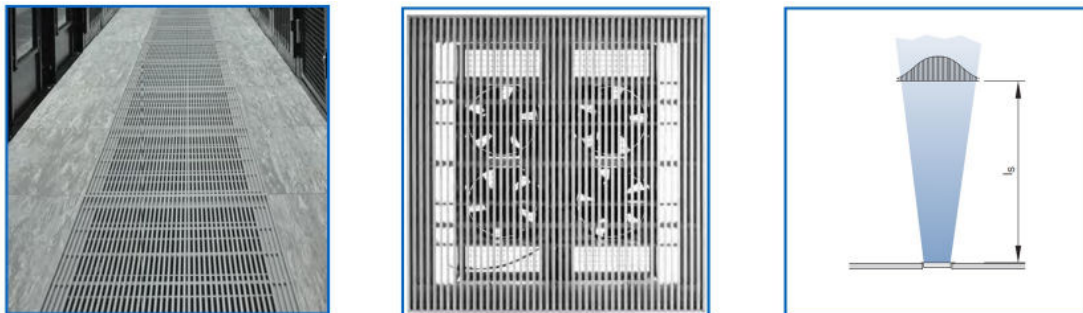


Figuur 20: Vloerrooster met vuilvanger en instelbaar inblaasp patroon. (Info Trox)

5.2.2 Thermisch hoogbelaste technische ruimten

In ruimten met een hoge thermische belasting, zoals serverruimten, en waar geen specifieke eisen aan thermische behaaglijkheid worden gesteld maar vooral aan een hoge luchtopbrengst, kunnen de volgende roosters worden toegepast:

- geperforeerde platen;
- metalen rasters;
- al dan niet voorzien van volume regelaars of boosterventilatoren; zie Figuur 21.



Figuur 21: Hoog volume rooster met boosterventilatoren. (Info Trox).

Ook kunnen ventilatie- en koelunits worden geleverd die passen in het modulaire vloersysteem.

5.2.3 Woon- en zorggebouwen

In deze gebouwen wordt vaak gekozen voor langwerpige, veelal inducerende, spleetroosters, bijvoorbeeld geplaatst nabij de gevel.



Figuur 22: Lamellenrooster en spleetrooster.



5.3 Overige componenten

De volgende componenten zijn in principe² beschikbaar voor toepassing in vloerconstructies:

- constant- of variabel volume regelaars;
- ventilatorunits, uit te voeren met (beperkte!) naverwarming of nakoeling;
- temperatuurregelingen. Bij verdringing vraagt de plaats van de temperatuuropnemer extra aandacht.

De vrije hoogte van het plenum is een wezenlijk aandachtspunt bij het ontwerp indien wordt gekozen voor het aanbrengen van luchtkanalen, volumeregelaars en ventilatorunits in het vloerplenum.

² Op de Nederlandse markt lijkt de keuze nog gering, maar op de wereldmarkt is meer te vinden, zie literatuur 8.



HOOFDSTUK 6 - TOEPASBAARHEID BIJ VENTILEREN, VERWARMEN EN KOELEN

6.1 Wat is de doelstelling?

Bij het ontwerp van een installatie met ventilatie vanuit de vloer is het belangrijk een keuze te maken ten aanzien van de beoogde ventilatie-effectiviteit. Zoals eerder aangegeven is bij een ontwerp waarbij een duidelijke stratificatie optreedt die een systeem met thermische verdringing benadert een ventilatie-effectiviteit VE van 1,2 mogelijk. Hierdoor is reductie op de toevoerluchthoeveelheid mogelijk. Hierbij zijn de volgende voordelen te realiseren:

- minder luchttransport, dus compactere installaties;
- energiebesparing met betrekking tot koeling van de primaire lucht en ventilator vermogen;
- minder risico van tocht in de leefzone.

Ook wordt met een hogere luchttemperatuur ingeblazen, waardoor over een langere periode vrije koeling kan worden benut. Opgemerkt wordt dat de totale warmtebelasting wel door de installatie moet worden afgevoerd hetgeen dus leidt tot een hogere retourtemperatuur.

6.2 Benodigde installatiefuncties

Naast ventilatie zal door de gebouwinstallaties veelal ook gekoeld en verwarmd moeten worden. Bij diepe ruimten kan de warmtevraag zich voornamelijk concentreren in de gevelzone. Verschillende verwarmingsconcepten zijn mogelijk, maar de risico's van verstoring van met name het verdringingsconcept met $VE = 1,2$ zijn terdege aanwezig; zie ook § 6.4.

Wanneer verwarming voornamelijk tijdens aanwarmen, dus buiten werktijd, noodzakelijk is, is de lagere VE op dat moment minder belangrijk.

Concepten zonder of met geringe risico's zijn:

- stralingsplafond: bij verwarming wordt ca 80 % van het vermogen door middel van straling overgedragen en ca 20 % door middel van convectie. Aanbevolen wordt rekening te houden met een reductie van het afgegeven vermogen van ca 20 % doordat de convectieve afgifte niet ten goede komt aan de ruimte maar in de bovenste mengzone wordt afgezogen;
- radiatoren met een hoog aandeel straling in de gevelzone;
- convectoren in de gevelzone ter compensatie van koudeval

De ASHRAE UFAD publicatie geeft een groot aantal installatiecombinaties; zie literatuur 1a.

6.3 Toepassingsgebied

De geraadpleegde temperatuur geeft de volgende informatie:

VDI 3804:2009 Raumlufttechnik Bürogebäude (VDI-Lüftungsregeln) geeft de volgende informatie:

- gemengde ventilatie ($VE = 1,5$)³: maximale koellast: $\leq 100 \text{ W/m}^2$, ondertemperatuur inblaas: -6 - -8 K, temperatuurverschil toevoer – afzuig: 8 – 12 K;
- verdringingsventilatie ($VE = 2,0$)³: maximale koellast: $\leq 40 \text{ W/m}^2$, ondertemperatuur inblaas: -1 – -3 K, temperatuurverschil toevoer – afzuig: 2 – 7 K.

Het gaat hierbij dus alleen om koeling.

6.4 Mogelijke verstoringen

Indien het uitgangspunt is dat in de ruimte een zekere stratificatie ontstaat, zodat mag worden uitgegaan van een verhoogde ventilatie-effectiviteit zijn er verschillende versturende factoren mogelijk:

- factoren met betrekking tot het installatieconcept;

³ De VDI-richtlijn geeft een wezenlijk hogere ventilatie-effectiviteit aan dan de ASHRAE UFAD-publicatie.



- factoren in de ruimte.

6.4.1 Versturende factoren vanuit het installatieconcept

Foutieve roosterselectie

- te grote worp, groter dan 1,45 m bij een snelheid van 0,25 m/s, zodat $TH > SH$ ($VE_e = 1$);
- te forse inductie en dus te sterke menging ($VE_e = 1$);
- te weinig inductie, zodat de inblaasttemperatuur moet worden verhoogd om comfortklachten te voorkomen.

Verwarmen vanuit de vloer

- verwarmen met lucht, zodat de stratificatie wordt doorbroken. VE kan kleiner worden dan 1 ($VE_e = 0,7$). Wanneer dit voornamelijk tijdens aanwarmen buiten werktijd gebeurt, is de lagere VE op dat moment minder belangrijk;
- verwarmen met de vloer: ISSO 900/Rehva (literatuur 3c) geeft aan dat indien de vloer niet warmer wordt dan ca 25 °C dit goed te combineren valt met verdringingsventilatie. Dit beperkt het af te geven vermogen ten opzichte van standaard vloerverwarming wezenlijk.

Koelen vanuit het plafond

- een koelplafond draagt ca 40 % van het vermogen over door middel van convectie. Zeker bij plafonds met een verhoogde convectieve overdracht zal sprake zijn van het verstoren van de gelaagdheid ($VE_e = 1$);
- passieve koelconvectoren zullen de (extra) warme lucht uit de bovenste zone aanzuigen en gekoeld in de ruimte brengen. Hierdoor ontstaat een doorbreking van de stratificatie en wordt in feite minder effectief gekoeld ($VE_e = 1$). Wanneer een dergelijke unit nabij een wand of de gevel wordt geplaatst is het effect wellicht beheersbaar. Zie ook de ASHRAE UFAD publicatie (literatuur 1a).

6.4.2 Versturende factoren in de ruimte

Warmtebronnen

Bij verdringing vanuit de wand kunnen sterke warmtebronnen die zich niet dicht bij personen bevinden zorgen voor de afvoer van verse lucht, zonder dat deze ten goede komt aan de in de ruimte aanwezige personen. Ook het opwarmen van de vloer door zoninstraling kan een dergelijk effect hebben. Bij het gelijkmatiger inblazen vanuit de vloer is deze invloed wellicht kleiner, maar vraagt wel aandacht.

Gevel en binnenzonwering of lichtwering

- luchtinfiltratie en koudeval kunnen een verstoring geven van de verdeling van de lucht op vloerniveau of de verticale temperatuuropbouw verstoren;
- sterke convectieve stroming bij warme binnenzonwering en lichtwering die resulteert in een circulatiestroming in de ruimte;
- te openen geveldelen die zorgen voor dwarsventilatie;
- grote open ruimten met drukverschillen tussen gebouwdelen, waardoor dwarsstromingen ontstaan.



6.5 Matrix installatiecombinaties

Combinatie ventilatie vanuit de vloer met	ventilatie-effectiviteit	
	VE e = 1	VE e = 1,2
Verwarmen		
Luchtverwarming via de vloer	+	–*
Vloerverwarming		
– oppervlaktetemperatuur ≤ 25 °C	+	–**
– oppervlaktetemperatuur > 25 °C		
Verwarmingsplafond	+	+
Radiatoren	+	–*
Convectoren	+	–*
Koelen		
		©Peutz
Luchtkoeling via de vloer	+	+
Vloerkoeling	+	+
Koelplafond	+	–
Passieve koelconvector	+	–
Ventilatorconvector	+	–

+ mogelijk, – niet mogelijk

* wanneer alleen tijdens aanwarmen verwarming nodig is kan een lagere VE acceptabel zijn

** wanneer maar beperkte verwarmingscapaciteit nodig is, is vloerverwarming acceptabel doordat een groot deel van capaciteit via straling geleverd wordt

Figuur 23: Matrix installatiecombinaties

De matrix in Figuur 23 geeft een overzicht van mogelijke en niet gewenste installatiecombinaties en de invloed op de ventilatie-effectiviteit VE.

Het effect van diverse parameterveranderingen op de ventilatie-effectiviteit is weergegeven in 0

geen invloed op ventilatie-effectiviteit

– beperkte afname

– – grote afname

+ beperkte toename

++ grote toename

* niet te verwarren met de reeds hogere inblaastemperatuur t.o.v. mengsystemen

Figuur 24.

Parameter verandering	invloed op ventilatie-effectiviteit
©Peutz	
Verdringend rooster / horizontaal uitblazend rooster / verticaal uitblazend rooster met indringdiepte < 1,45 m	0
Indringdiepte verticaal uitblazend rooster > 1,45 m	--
Meer roosters (zelfde diameter)	++
Hogere inblaastemperatuur	--*
Hogere koellast	+
Verwarming i.p.v. koeling	--
Groter totaal debiet	--

0 geen invloed op ventilatie-effectiviteit

– beperkte afname

– – grote afname

+ beperkte toename

++ grote toename

* niet te verwarren met de reeds hogere inblaastemperatuur t.o.v. mengsystemen

Figuur 24: Invloedsfactoren op de ventilatie-effectiviteit



In de tabel is te zien dat veel parameterveranderingen leiden tot een daling van de ventilatie-effectiviteit. Een belangrijk voordeel van het verdringingsconcept gaat daarbij dan verloren.



HOOFDSTUK 7 - LUCHTKWALITEIT

In de voorgaande paragrafen is al het nodige geschreven dat te maken heeft met luchtkwaliteit. Een deel van de informatie in de volgende paragrafen vormt daardoor wellicht een herhaling.

7.1 Wettelijke eisen en comforteisen

Het bouwbesluit stelt eisen aan de minimale ventilatiehoeveelheid. Deze eisen zijn met name gebaseerd op gezondheidsaspecten. Veelal worden hogere luchthoeveelheden gehanteerd om een betere luchtkwaliteit te realiseren. Deze kunnen gebaseerd zijn op Arbo-richtlijnen, zoals AI 24:2013 of NEN-EN 15251 (onlangs opgevolgd door NEN-EN 16798-1). Bij uitgangspunten volgens het bouwbesluit is voor kantoren een ventilatiedebiet van 23,4 m³/h per persoon gewenst en 14,4 m³/h per persoon voor vergaderruimten. In AI 24 wordt voor klasse B uitgegaan van 45 m³/h per persoon. Bij beoordelingssystemen ten behoeve van de duurzaamheid van een gebouw kunnen afwijkende eisen worden gehanteerd.

7.2 Invloed ventilatie-effectiviteit

In § 3.3.2 is voorgesteld om voor deze TVVL-publicatie uit te gaan van:

- bij verdringing ($v < 0,25$ m/s op 1,45 m): $e = 1,2$;
- bij menging of indien niet aan bovengenoemd criterium wordt voldaan: $e = 1,0$.

Omdat ventilatierichtlijnen veelal zijn gebaseerd op mengventilatie kan in principe het ventilatiedebiet worden gereduceerd. Aanbevolen wordt vooralsnog niet onder de wettelijke eisen te dimensioneren. Indien dit wel wordt gewenst dient, naar verwachting, een gelijkwaardigheidsverklaring te worden overlegd.

7.3 Rekenmethode volgens NEN-EN 15251.

Bij deze rekenmethode, die ook wordt aanbevolen in literatuur 5 (NVBV) is het mogelijk om op basis van de geurbelasting een dimensionerende berekening uit te voeren.

Bij ventileren vanuit de vloer doen zich hierbij de volgende vragen voor:

- op welke wijze dient de emissie van in het plenum aanwezige bekabeling en dergelijke in rekening te worden gebracht;
- er wordt ingeblazen op vloerniveau. Welke gevolgen heeft dit in verband met de reinheid van de vloerbedekking voor de luchtkwaliteit?



HOOFDSTUK 8 - THERMISCHE BEHAAGLIJKHEID

8.1 Inleiding

In de volgende paragrafen wordt, na een overzichtje van relevante begrippen, eerst ingegaan op gangbare comfort eisen volgens NEN-EN-ISO 7730:2005 en in hoeverre die toepasbaar zijn bij ventileren vanuit de vloer. Vervolgens komt recent onderzoek aan de orde dat uitgaat van een andere benadering.

8.2 Relevante comforteisen NEN-EN-ISO 7730:2005

8.3 Begrippen

Voor het beoordelen van thermisch comfort zijn met name de volgende begrippen relevant:

Metabolisme

De door het lichaam afgegeven energie [W/m^2 of met]. Voor kantoorwerk, een lichte zittende activiteit: $70 \text{ W}/\text{m}^2 = 1,2 \text{ met}$.

Clo- waarde

De warmteweerstand of thermische isolatie van de kleding I_{cl} [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ of clo]
Voor zomerkleding met korte mouw: $0,08 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W} = 0,5 \text{ clo}$. Er kan ook rekening worden gehouden met de bijkomende warmteweerstand van een gestoffeerde bureaustoel.

Operatieve temperatuur

De uniforme temperatuur van een (thermisch zwarte) omgeving waarin een persoon dezelfde hoeveelheid warmte zou uitwisselen door straling en convectie als in de niet-uniforme werkelijke omgeving. De operatieve temperatuur is afhankelijk van de luchttemperatuur, de luchtsnelheid en de stralingstemperatuur en is een goede indicatie voor de temperatuur beleving [$^{\circ}\text{C}$].

PMV

Predicted Mean Vote: voorspelde gemiddelde uitspraak over de beleving van het comfort op een 7 punts schaal: -3 = te koud; 0 = neutraal; +3 = te warm [-].

PPD

Predicted Percentage of Dissatisfied: voorspelde percentage van ontevreden. Bij een optimale PMV-waarde van 0, is het PPD altijd nog 5%.

DR

Draught Rate: percentage ontevreden t.g.v. tocht (draught): beoordelingscriterium dat rekening houdt met luchttemperatuur, luchtsnelheid en turbulentie-intensiteit [%].

Turbulentie-intensiteit

Quotiënt van de standaardafwijking van de luchtsnelheid en de gemiddelde waarde van de luchtsnelheid; maat voor luchtsnelheidsvariaties [-] of [%].

RV

Relatieve luchtvochtigheid: actuele hoeveelheid vocht in de lucht gerelateerd aan de maximale hoeveelheid vocht in de lucht [%].

8.3.1 Eisen

Voor het formuleren van criteria kunnen uitgangspunten worden ontleend aan:

- NEN-EN ISO 7730:2005. Hierin worden (informatief) drie kwaliteitscategorieën genoemd, A, B en C. Veelal wordt klasse B gebruikt



- NEN-EN 15251:2007. Hierin worden (informatief) vier kwaliteitscategorieën genoemd: I t/m IV. De categorieën I t/m III komen overeen met A t/m C in NEN-EN ISO 7730. Categorie II wordt voor standaard situaties aanbevolen als een normaal verwachtingsniveau. (de norm is onlangs opgevolgd door NEN-EN 16798-1);
- Arbo Informatie AI-24: Binnenmilieu, 3e druk 2013. Deze richtlijn baseert zich op de twee genoemde normen en hierin wordt eveneens uitgegaan van binnenklimaatklasse B (goed).

De gegevens uit NEN-EN-ISO 7730:2005 zijn voor kantoor- en vergaderruimten in utiliteitsgebouwen samengevat in Figuur 25. In de tabel zijn zowel het toelaatbaar geachte voorspelde percentage ontevreden aangegeven, alsmede de concrete grenswaarden.

Keuzeaspect		categorie A	categorie B	categorie C
PPD	[%]	< 6	< 10	< 15
PMV	[-]	$-0,2 < PMV < +0,2$	$-0,5 < PMV < +0,5$	$-0,7 < PMV < +0,7$
DR	[%]	< 10	< 20	< 30
Verticale temperatuurgradiënt 1,1 – 0,1 m	[%] [°C]	< 3 < 2	< 5 < 3	< 10 < 4
Vloertemperatuur	[%] [°C]	< 10 19 – 29	< 10 19 – 29	< 15 17 – 31
stralingstemperatuur asymmetrie	[%]	< 5	< 5	< 10
– warm plafond	[°C]	< 5	< 5	< 7
– koele wand	[°C]	< 10	< 10	< 13
– koel plafond	[°C]	< 14	< 14	< 18
– warme wand	[°C]	< 23	< 23	< 35
Operatieve temperatuur	[°C]	$24,5 \pm 1,0$	$24,5 \pm 1,5$	$24,5 \pm 2,5$
– zomer (koelen)	[°C]	$22,0 \pm 1,0$	$22,0 \pm 2,0$	$22,0 \pm 3,0$
– winter (verwarmen)				
Maximale gemiddelde luchtsnelheid				
– zomer (koelen)	[m/s]	0,12	0,19	0,24
– winter (verwarmen)	] [m/s]	0,10	0,16	0,21

Figuur 25: Comfortcriteria NEN-EN-ISO 7730:2005

Bij het opstellen van de waarden voor de maximale luchtsnelheid zijn in de norm de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- er is uitgegaan van een turbulentie-intensiteit van 40 % en een luchttemperatuur die gelijk is aan de operatieve temperatuur;
- voor de RV is uitgegaan van 60 % in de zomer en 40 % in de winter;
- de laagste waarde uit de temperatuurranges zijn gehanteerd.

De eerste regels in de tabel betreffende PPD, PMV en DR, hebben betrekking op de beleving van het lichaam als geheel. De verdere regels hebben betrekking op plaatselijk discomfort.

8.4 Comfortparameters bij ventilatie vanuit de vloer

8.4.1 Luchtsnelheid, turbulentiegraad en Draught Rate

Bij mengventilatie vanuit het plafond heeft de ventilatielucht tijd en ruimte om bijvoorbeeld door middel van inductie ondertemperatuur en snelheid af te bouwen voordat de leefzone



wordt bereikt. Bij ventileren vanuit de vloer wordt de lucht direct in de leefzone ingebracht. Dat stelt eisen aan de luchtsnelheid en de luchttemperatuur, zeker op de verblijfposities van personen.

De toelaatbare luchtsnelheid is, uitgaande van de beoordeling op basis van Draught Rate, normaliter afhankelijk van de luchttemperatuur en de Turbulentie-intensiteit van de lucht. Op basis van diverse metingen is geconstateerd dat bij ronde vloerroosters het gedrag afhankelijk is van met name de volgende factoren:

- fabricaat en type;
- het ingestelde uitblaaspatroon: horizontaal of verticaal;
- de luchthoeveelheid;
- de luchttemperatuur.

Vooral in de directe nabijheid van het rooster kunnen lage temperaturen en/of hoge luchtsnelheden optreden. In het algemeen is de Turbulentie-intensiteit iets lager dan bij mengventilatie.

Er dient dus een zorgvuldige selectie te worden gemaakt die, zo nodig, door metingen wordt getoetst. Zie ook § 8.4.

Bij de selectie dient zeker te worden beoordeeld, ook bij een horizontaal uitblazend rooster, of er sprake is van een sterke inductie. Dit in verband met de gewenste ventilatie-effectiviteit.

8.4.2 Temperatuuraspecten

Luchttemperatuurverloop (gradiëntwerking)

In tegenstelling tot de situatie bij mengventilatie wordt een duidelijke gradiëntwerking in de ruimte nagestreefd; zie de temperatuurprofielen in Figuur 6 t/m Figuur 8. Maar de gradiënt in de leefzone moet wel worden beheerst. Een goed uitgangspunt lijkt te worden gekozen om uit te gaan van een temperatuurverschil van 3 K tussen 0,1 en 1,1 m hoogte. Dit komt overeen met NEN-EN-ISO 7730:2005.

Toelaatbare inblaastemperatuur

Zoals hierboven reeds is aangegeven stroomt de toevoerlucht direct in de leefzone. Om comfortklachten te voorkomen wordt conform VDI 3804:2009. aanbevolen de inblaastemperatuur bij niet inducerende roosters te beperken tot circa 3 K onder de gewenste luchttemperatuur op 1,1 m hoogte. Bij inducerende roosters, waarbij door inductiewerking de temperatuur snel toeneemt kan een lagere inblaastemperatuur worden toegelaten, 6 – 8 K onder de luchttemperatuur. Bij een ruimtetemperatuur van 25 °C dient de inblaastemperatuur vanuit het rooster ca 22 °C te bedragen bij niet inducerende roosters en 18-19 °C bij inducerende roosters.

Hierbij doet zich een vreemd dilemma voor. Wanneer aan het begin van de dag wordt gestart met een lage ruimtetemperatuur van bijvoorbeeld 21 °C is een inblaastemperatuur van circa 18 °C toelaatbaar. Indien bij het toenemen van de ruimtetemperatuur de inblaastemperatuur meeloopt met de ruimtetemperatuur ontstaat geen extra koelvermogen, terwijl dat voor het beheersen van de ruimtetemperatuur juist wel wenselijk is. Daarom wordt aanbevolen de ondertemperatuur flexibel, maar weloverwogen, te hanteren.

8.5 Aanbeveling directe (roostervrije) zones

Op die plaatsen in een ruimte waar langdurig verblijf wordt verwacht, wordt aanbevolen directe of roostervrije zones te voorzien; zie ook de begrippenlijst. Dit zijn denkbeeldige cilinders rond de toevoerroosters waarbinnen de luchtsnelheid hoger is dan 0,2 m/s. Zit- of staposities ten behoeve van werk- of vergaderplekken binnen die zone moeten worden voorkomen.

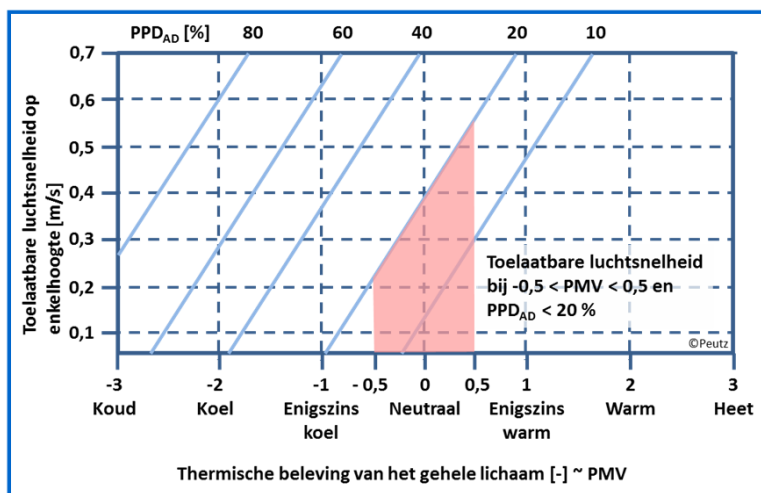


Tochtklachten ten gevolge van hoge lichtsnelheid of lage temperatuur worden hierdoor vermeden. De vorm en spreiding van de roosters bepalen in eerste instantie de grenzen van deze zones. Als er sprake is van individuele regelbaarheid kunnen hogere snelheden acceptabel of zelfs wenselijk zijn.

8.6 Een recente, andere benadering

In de in bijlage I genoemde literatuur a) en b) wordt verslag gedaan van recent onderzoek naar thermische behaaglijkheid op enkelniveau.

Op basis van klimaatkameronderzoek met proefpersonen is er een model ontwikkeld voor het voorspeld percentage ontevreden met betrekking tot enkel-tocht (PPD_{AD}).



Figuur 26: Toelaatbare lichtsnelheid op enkelhoogte als functie van de thermische beleving van het gehele lichaam bij lichte kleding (< 0,7 Clo) volgens Literatuur b) in Bijlage I. [m/s]

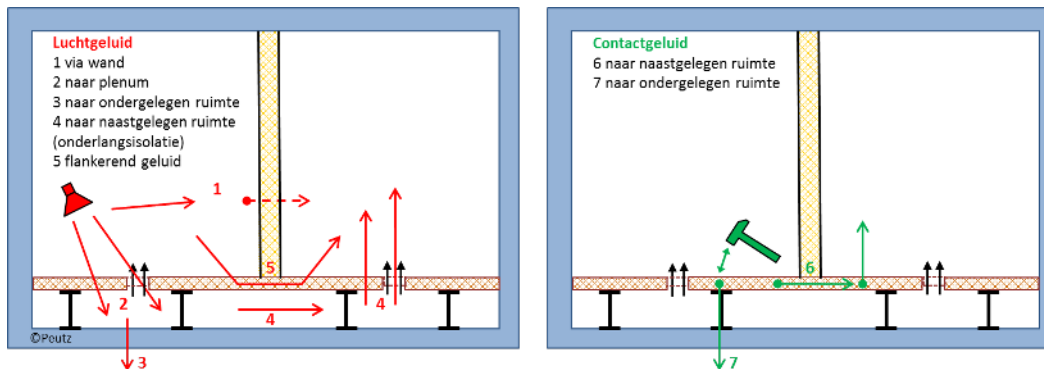
Na een korte samenvatting wordt aangegeven wat de mogelijkheden en risico's van deze benadering zijn. Hierbij wordt geconcludeerd dat het moeilijk te beoordelen is hoe betrouwbaar het nieuwe model is. Kijk je naar de grafiek dan is er langs de 20 % lijn sprake van een hoge toelaatbare lichtsnelheid, namelijk van ca 0,2 – 0,5 m/s.

Het tweede artikel heeft forse kritiek op een deel van de huidige comforteisen in NEN-EN-ISO 7730. Deze kritiek wordt in Nederland nog niet breder gedragen. Daarom is de informatie uit de artikelen alleen informatief opgenomen in de bijlage.

HOOFDSTUK 9 - GELUIDASPECTEN VAN VLOERCONSTRUCTIE EN INSTALLATIE

9.1 Akoestische aspecten

Bij het ontwerp van een installatieconcept met ventileren vanuit de vloer dient aandacht te worden gegeven aan zowel bouwkundige als installatietechnische akoestische aspecten. De relevante aandachtspunten zijn weergegeven in Figuur 27. Hierbij is uitgegaan van een doorlopend plenum met de wand op de vloer.



Figuur 27: Wegen van geluidtransmissie bij een verhoogde vloer met open plenum: links luchtgeluid, rechts contactgeluid

In de figuur zijn de volgende geluidtransmissiewegen weergegeven:

Luchtgeluid (rood)

- direct via de wand (1);
- van de ruimte naar het plenum. Zowel via de vloerconstructie als via de installatie-openingen naar het plenum (2);
- via het plenum naar de ondergelegen ruimte (3);
- via het plenum naar de naastgelegen ruimte, zowel via de vloerconstructie als via de installatie-openingen naar het plenum (4);
- de combinatie van 2 en 4 wordt de onderlangs isolatie genoemd;
- flankerend geluid dat wordt doorgegeven via de vloer (5).

Contactgeluid (groen)

- direct via de vloer die doorloopt onder de wand (6);
- via de vloerconstructie, de vizels en de betonvloer naar de ondergelegen ruimten (7).

In de volgende paragrafen wordt hier kort op ingegaan. Deze publicatie is geen richtlijn voor het ontwerpen van een verhoogde vloer. Daarvoor wordt verwezen naar specifieke literatuur. Ook worden geen eisen opgenomen omdat deze specifiek zijn voor een projectsituatie.

9.2 Vloerconstructie

9.2.1 Luchtgeluidisolatie

De luchtgeluidisolatie wordt bepaald door onder meer de volgende factoren:

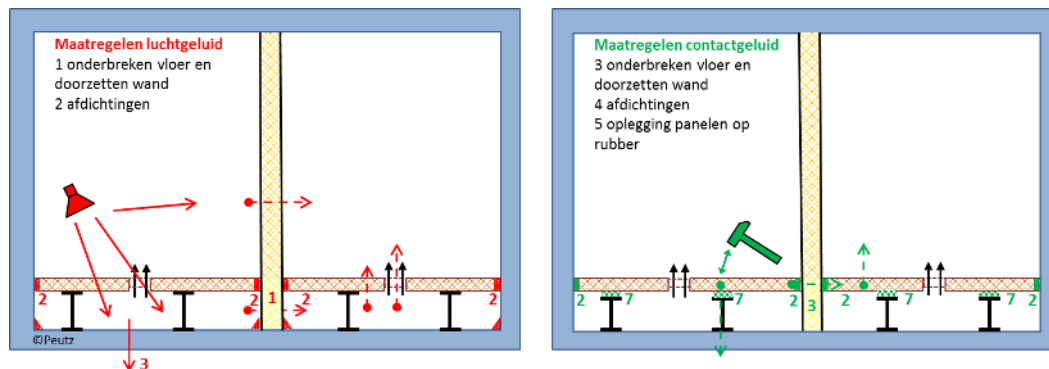
- geluidisolatie van de vloer. Van invloed zijn de geluidisolatie van de panelen en de vloerafwerking en de invloed van naden/kieren tussen vloerpanelen en aansluitingen op wanden, gevel of kolommen. Bij vloerventilatie vormen de luchttoevoerroosters onderbrekingen waaraan terdege aandacht moet worden besteed.
- geluidisolatie van de onderliggende vloerconstructie. Dit is van belang bij de verticale geluidisolatie. Ook de plafondconstructie in de ondergelegen ruimte speelt een rol.



- geluidisolatie in het plenum naar de naastgelegen ruimten. door het aanbrengen van barrières (zie Figuur 28) of het laten doorlopen van de scheidingswand tot op de betonvloer en daarbij zorg te dragen voor goede afdichtingen kan deze isolatiewaarde worden verhoogd (zie Figuur 29);
- bij flankerende geluidoverdracht ontstaat een vermindering van de geluidisolatie doordat de vloer aan de ene zijde van de wand wordt aangestraald en een deel van het geluid aan de andere zijde weer afgeeft. Het laten doorlopen van de wand tot op de betonvloer en het daarbij door middel van schuimband beperken van de koppeling tussen verhoogde vloer en wand verbetert de situatie.



Figuur 28: Onder de wand doorlopende vloer met geluidbarrière. Foto PBS



Figuur 29: Verbetermogelijkheden lucht- en contactgeluidisolatie

Het zal duidelijk zijn dat akoestische maatregelen een wezenlijke belemmering voor de luchtverdeling onder de vloer kunnen betekenen.

9.2.2 Contactgeluidisolatie

Factoren die van invloed zijn op de contactgeluidisolatie zijn onder meer:

- de vloerafwerking: hard of zacht;
- de massa en de stijfheid van de vloerpanelen;
- de koppeling van de panelen aan de vizzels en van de vizzels aan de betonvloer. Het gebruik van rubberen matjes kan deze koppeling reduceren en de contactgeluidisolatie verbeteren; zie Figuur 29;
- het doorlopen van de vloer onder de wand. Door het onderbreken van de vloer en de directe koppeling van de vloer aan de wand door middel van (luchtdicht) schuimband te voorkomen neemt de contactgeluidisolatie toe.



9.3 Installatiecomponenten

Evenals bij andere installatieconcepten dient aandacht te worden besteed aan onder meer de volgende aspecten:

- geluid van de centrale installaties. Dit betreft het geluid van bijvoorbeeld luchtbehandelingskasten en stromingsgeluid in schachten en aansluitingen. Het geluid verspreidt zich via het plenum en zal vanaf de schachten afnemen;
- luchtstromingsgeluid: dit geluid ontstaat door de luchtsnelheid en de aanwezigheid van obstructies in het plenum, zoals brandkleppen, maar ook vernauwingen ten gevolge van kabelgoten, ondersteunings- en verstijvingsconstructies van de vloer of eventuele luchtkanalen etc. Door de in het algemeen hogere geluidisolatie van een verhoogde vloer t.o.v. plafonds is in het plenum een hogere luchtsnelheid dan boven plafonds toelaatbaar.
- geluid van installatiecomponenten in de vloer of in het vloerplenum. Voor een deel zal dit geluid veroorzaakt kunnen worden door luchtstroming, zoals bij de toevoerroosters, volume regelaars en dergelijke. Maar wanneer sprake is van een nuldrukplenum zijn in het plenum decentrale ventilatorunits aanwezig of dienen de installaties op een andere wijze te worden voorzien, waarbij ook aandacht moet worden gegeven aan geluidaspecten;
- de reducerende invloed van roosters op de geluidisolatie van de vloer in de ruimte en de invloed hiervan op overspraak tussen ruimten en installatiegeluid vanuit het plenum. Door de juiste selectie van componenten (luchtsnelheid) en het opnemen van geluiddempende voorzieningen kunnen deze aspecten worden beheerst. Tijdig voorzien van de noodzaak is belangrijk; zie § 11.
- storende geluiden ten gevolge van de overdruk in het plenum bij kleine lekkages(sisgeluid).



HOOFDSTUK 10 - BRANDASPECTEN

Vooralsnog worden alleen enkele aspecten benoemd:

- brandwerendheid van de gebruikte materialen en componenten, ook in het vloerplenum;
- de te hanteren brandklassen, met aandacht voor vluchtwegen;
- brandcompartimentering en het laten doorlopen van de wanden ter plaatse van een brandscheiding;
- het beoordelen van het apart sprinkleren van de ruimte onder de verhoogde vloer.

HOOFDSTUK 11 - UITVOERINGSASPECTEN, TWEE PRAKTIJKVOORBEELDEN

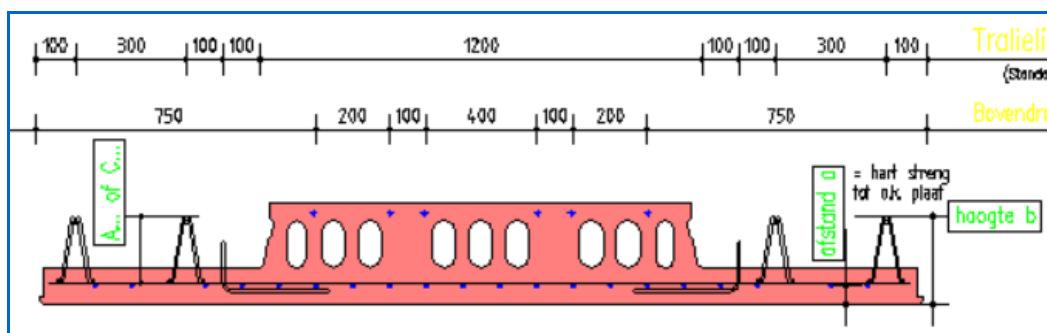
11.1 Inleiding

Vloerventilatie is op verschillende manieren en met verschillende vloertypen mogelijk. Vanuit de praktijk worden een aantal aandachtspunten meegegeven. We kijken hierbij naar de volgende toepassingen:

- wingvloeren met kanaalwerk aangesloten op de roosters;
- verhoogde vloer als plenum voor toevoer.

11.2 Verhoogde vloer met kanaalsysteem (Wingvloer)

Het klimaatconcept bestaat uit Wingvloeren met betonkernactivering. Deze prefab betonvloer lijkt op een combinatie van een kanaalplaat vloer en een breedplaatvloer. Naast het kanaalplaatgedeelte bevinden zich twee 'vleugels' met de dikte van een breedplaat, waardoor ruimte voor installaties ontstaat. In de verhoogde vloer zijn nagenoeg alle installaties aangebracht zoals verwarmings- en koelleidingen, toevoerkanalen, sprinklerleidingen, elektrotechnische voorzieningen.



Figuur 30: Doorsnede en maatvoering Wingvloerelement

De Wingvloeren liggen in de lengterichting van het gebouw. De verdiepte strook die zo ontstaat door twee aansluitende wings(vleugels), geeft ruimte om in de lengterichting de hoofdleidingen en –kanalen aan te brengen. Haaks daarop zijn aftakkingen aangebracht voor verwarming, koeling, elektra, en sprinkler. Hierbij is gebruik gemaakt van ronde sparingen in het hoge deel van de wingvloer. De sparingsmaat in dit hoge deel is beperkt en het aantal is gelimiteerd. De aftakkingen van de luchtkanalen zijn boven het hoge deel aangebracht in de verhoogde vloer. De vloerroosters die zijn toegepast zijn van het fabricaat Trox en zijn vast aangesloten op de luchtkanalen.

Belangrijke aandachtspunten:

- de engineering dient in een vroeg stadium van dusdanig niveau te zijn, dat sparingen in vloeren kunnen worden opgegeven. De relatief beperkte ruimte maakt de engineering complex. Dit vergt dan ook tijd. Als tijdens een traditioneel proces van aanbesteden een installateur wordt geselecteerd op basis van bestektekeningen, dan wringt dit. De aannemer wil zo snel mogelijk beginnen en vloeren bestellen. De installateur heeft meer dan anders tijd nodig om de complexe installatie te engineeren en voorzieningen op te geven;
- in het hoge deel van de Wingvloer zijn maar beperkt sparingen mogelijk in zowel aantal als diameter;
- doordat er betonkernactivering in de onderlaag van de vloer zit, kan er niet diep geboord worden. Dit dient bij iedereen op de bouw bekend te zijn;
- tijdens de bouw is de Wingvloer geen vlakke vloer aan de bovenkant. Dit vraagt extra aandacht i.v.m. de veiligheid;
- doordat alle installaties in de vloer moeten, zit je elkaar regelmatig in de weg;



- stof en vuil vallen vanwege de zwaartekracht naar beneden, bovenop de installaties;
- kanaalmonden moeten dus afgeplakt worden om vuil in de kanalen te voorkomen;
- regelapparatuur zit in het stof, ook regelkleppen, VAV-regelaars e.d. Het is voor de goede werking dus zeer van belang dat er goed wordt afgeschermd;
- als een kanaal te breed is om overheen te stappen, dan wordt er bovenop gestaan met indeuken tot gevolg. Vanwege volle vloeren werden kanalen zelfs als looppad gebruikt;
- dit geldt ook voor andere installatiedelen: isolatie wordt kapot getrapt, verbindingen gaan stuk enz. Er ontstaat zo forse schade aan installaties tijdens de bouw. Helaas ontbreekt het respect voor elkaars werk nogal eens;
- de positie van de vloerroosters is in dit geval vrij vast en naderhand moeilijk te wijzigen. De ruimte in de 'Wings' is beperkt en de roosters zijn aangesloten. In de praktijk belemmert dit de indelingsvrijheid met als gevolg dat kasten bovenop roosters staan en dat mensen een rooster onder hun stoel hebben. Naast het feit dat dit niet comfortabel is, is het ook niet fijn om telkens met je stoel over een rooster te rijden;
- het dichtzetten van wanden onder de vloer vanwege overspraak is nagenoeg ondoenlijk omdat de vloer niet vlak is.

11.3 Verhoogde vloer als toevoerplenum

Voor een project is een Technisch Ontwerp gemaakt met klimaatplafonds voor de verwarming en de koeling.

De lucht wordt aan de kantoren toegevoerd via het plenum van de verhoogde vloer. Centraal bij de schacht wordt de lucht in het plenum geblazen. In de toevoer zit een VAV-regelaar. De lucht wordt eveneens centraal via een wandrooster retour gezogen. Een deel van de toegevoerde lucht stroomt via een geluiddempend rooster over naar het atrium. Deze lucht wordt hoog in het atrium afgezogen en draagt zo bij aan de conditionering van het atrium. Middels een klimaatkamertest is inmiddels aangetoond dat de installatie qua comfort voldoet aan de gestelde eisen. Het ontwerp van het plenum en met name het plaatsen van vergaderruimten op de vloeren is iets wat momenteel aandacht vraagt..



Figuur 31: Klimaatkamer met vloerroosters(rechts)(foto Peutz)

Er zijn verschillende aandachtspunten vastgesteld:

- omdat de vloer als toevoerplenum gebruikt wordt, is het van belang dat voordat de verhoogde vloer gesloten wordt, de ruwe betonvloer stofvrij wordt gemaakt;
- de drukopbouw in het plenum is belangrijk voor een goede werking. De afwerking van vloerranden vraagt dan ook aandacht om zodoende een luchtdicht plenum te krijgen;
- de verhoogde vloer zelf dient eveneens voldoende luchtdicht te zijn. Luka klasse A lijkt hierin een goed uitgangspunt;



- er ontstaat drukverschil (2 Pa) tussen een punt dichtbij de toevoer en een punt aan het eind van het plenum. De roosterselectie verdient dan ook goede aandacht en bepaald moet worden of een afwijking wordt geaccepteerd, of dat het instellen van alle roosters noodzakelijk is;
- als een plenum voldoende hoog is, is het een idee om voor de drukverdeling gebruik te maken van een luchtverdeelslang onder de vloer. Hiermee kan de druk veel gelijkmatiger worden opgebouwd bij grote vloervelden. Kanaalwerk kan ook, maar is duurder en kost meer tijd om aan te brengen. Voordeel van een verdeelslang is dat deze in een vrij laat stadium aangebracht kan worden;
- op het moment dat er ergens een vergaderruimte wordt gemaakt met wanden die doorlopen boven plafond en onder de vloer, ontstaat daar weerstand. Het gevolg kan zijn dat de lucht onvoldoende toestroomt in de ruimte, omdat de weerstand van toevoer en retour overstort te veel is;
- het blijkt in de praktijk nagenoeg onmogelijk om een geluiddemper te plaatsen voor overspraak via de overstroomvoorziening die ook nog eens een lage weerstand heeft;
- om de toevoer in gesloten vergaderruimten te borgen is ondersteuningsventilatie nodig. Afhankelijk van de beschikbare hoogte zal daar een oplossing voor gevonden moeten worden
- een plenum van minimaal 250-300 mm is nodig om op lokaal niveau ook wat met boosterventilatoren en kanaalwerk te kunnen doen. Minder ruimte beperkt zeer de keuze van ventilatoren en de mogelijkheid om kanaalwerk te verslepen;
- om te kunnen voldoen aan de gewenste inrichting waarbij vergaderruimten worden geplaatst op grote velden kantoortuin, blijkt dat met name vanwege de geluidsisolatie een combinatie ontstaat tussen een overdrukplenum, nuldrukplenum en kanaalwerk onder de vloer. Meerdere vergaderruimten worden gevoed middels een ventilatiekast die op de vloer wordt geplaatst. Vervolgens wordt elke ruimte ontsloten middels kanaalwerk onder de vloer, voorzien van een VAV-regeling;
- om te kunnen regelen op luchthoeveelheid zijn er twee mogelijkheden:
 - centraal met VAV, waarbij de luchthoeveelheid in de gehele zone afneemt. Omdat de druk daarbij ook afneemt kan niet worden gegarandeerd dat alle roosters evenveel lucht doen. De kans is dus aanwezig dat nabij luchttoevoer naar het plenum meer lucht wordt ingeblazen dan aan het eind van het plenum;
 - regeling per rooster. Met VAV op elk rooster kan het debiet worden verhoogd of verlaagd. Voordeel is dat de druk wordt gehandhaafd, doordat de luchtbehandelingskast op druk regelt. Nadeel is dat elk rooster van een klep moet worden voorzien. Als (financiële)oplossing zou ook 50% van het aantal roosters voorzien kunnen worden van een VAV-regelaar. Er kan dan geregeld worden tussen 50 en 100% luchtdebiet;
- in de praktijk blijkt dat het ontbreken van een kanaalsysteem op de verdiepingsvloer, te leiden tot een weinig flexibele installatie. Er kan slecht worden ingespeeld op plaatselijk meer of minder luchtbehoefte. Daarbij moet extra aandacht worden gegeven aan luchtdichtheid, lokale ventilatievoorzieningen, extra geluiddempende voorzieningen, ook in de vloer. Dit leidt tot een meer dan gemiddelde aandacht voor installaties gedurende de verschillende ontwerpstadia. Daarbij bleek de ruimtewinst beperkt omdat er evengoed verwarming, koeling, kabelgoten en sprinklerinstallaties nodig blijven boven het plafond.



HOOFDSTUK 12 - BESCHIKBARE LITERATUUR

Enkele voorbeelden

1a. *ASHRAE UFAD Guide*(ontwerp) en *UFAD O & M Guide*(beheer en onderhoud). ASHRAE 2013.

1b. *ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*

ASHRAE 2016.

www.ashrae.org

2. *VDI 3804 Raumlufttechnik - Bürogebäude (VDI-Lüftungsregeln)* 2009. www.vdi.de

3. *Rehva*. www.rehva.eu

3.a *No.01: Displacement ventilation in non-industrial premises*

3.b *No.02: Ventilation effectiveness*

3.c *ISSO/Rehva-publicatie 900 Verdringingsventilatie in niet-industriële toepassingen*. Dit is de vertaling van de onder 3.a genoemde publicatie. www.isso.nl

4. *CBE Center for the Built Environment University of California*

Informatie en ontwerptools. www.cbe.berkeley.edu

5. *NVBV Handboek Bouwfysische Kwaliteit Gebouwen van de NVBV 2018*

www.nvbv.org/handboek-bouwfysische-kwaliteit-gebouwen/

6. *Luka Kwaliteitshandboek*

www.luka.nl

7. *Isso Handboek*

8. *Documentatie van leveranciers*, zoals op www.priceindustries.com



12.1 Recent onderzoek

In literatuur a) en b) wordt verslag gedaan van recent onderzoek naar thermische behaaglijkheid op enkelniveau. Na een korte samenvatting wordt aangegeven wat de mogelijkheden en risico's van deze benadering zijn.

Samenvatting

Literatuur a)

Tocht wordt gedefinieerd als ongewenste lokale convectieve koeling. Bestaande tocht-risico modellen, die zijn ontwikkeld in de jaren '70, richten zich op luchtbeweging bij de nek. Het doel van de huidige studie is om experimenteel het risico van tocht bij onbedekte enkels van vrouwen te evalueren. Aanleiding is het huidige wijdverspreide gebruik van verdringingsventilatie en ondervloer luchtverdeelsystemen en veranderingen in kledinggebruik. Dertig vrouwelijke universiteitsstudenten namen deel aan negen dubbelblinde gerandomiseerde tests. De proefpersonen droegen sandalen en de onderbenen, enkels en voeten waren onbedekt. De blootstelling aan het binnenklimaat is uitgevoerd in een klimaatkamer die lijkt op een kantooromgeving. De operationele temperatuur op 1,1 m boven de vloer werd op 24,1 °C gehouden. De gemeten luchtsnelheden bij de enkels varieerden tussen 0,16 en 0,59 m/s en de luchttemperatuur bij de enkels varieerde tussen 18,0 en 21,7 °C.

Subjectieve antwoorden werden verkregen om de volgende parameters te beoordelen: thermische aanvaardbaarheid, comfort, voorkeur en beleving, acceptatie en voorkeur luchtbeweging, lokaal thermische beleving en comfort, en waargenomen luchtkwaliteit. De onderzochte personen bleken meer gevoelig voor enkel-tocht dan verwacht. Voor alle geteste omstandigheden, vonden tussen 20 en 37% van de proefpersonen de algemene thermische omgeving niet acceptabel, terwijl tussen 23 en 57% van de proefpersonen de luchtbeweging bij de enkels onaanvaardbaar vonden. Deze ontevredenheidspercentages zijn hoger dan die van internationale, Amerikaanse en Europese normen, wat de noodzaak aangeeft om een tocht-risicomodel te ontwikkelen voor verdringingsventilatie en vloerventilatiesystemen.

Literatuur b)

Tocht is ongewenste lokale convectieve koeling. Het tocht-risicomodel (Draught Rating) van Fanger et al. (Energy and buildings 12, 21-39, 1988) schat het percentage mensen dat ontevreden is met luchtbeweging als gevolg van onderkoeling van de nek. Er is geen model voor het voorspellen van tocht op enkelniveau, wat meer relevant is voor luchtverdeelsystemen waarbij gelaagdheid ontstaat zoals bij ondervloer luchtverdeling (LVV) en verdringingsventilatie (DV).

Er is een model ontwikkeld voor het voorspelde percentage ontevreden met betrekking tot enkel-tocht (PPDAD) op basis van laboratoriumexperimenten met 110 studenten. Hierbij is het effect op enkel-tocht beoordeeld van verschillende combinaties van luchtsnelheid (nominaal bereik: 0,1-0,6 m/s), temperatuur (nominaal bereik: 16,5-22,5 °C), turbulentie-intensiteit (bij enkels), sekse en kledingisolatie (<0.7 clo; onderbenen onbedekt en bedekt). De resultaten laten zien dat de thermische beleving van het hele lichaam en de luchtsnelheid bij de enkels de bepalende parameters zijn die van invloed zijn op tocht. De zittende proefpersonen accepteerden een verticale temperatuurgradiënt van maximaal 8 °C tussen de enkels (0,1 m) en het hoofd (1,1 m) bij een neutrale thermische beleving van het lichaam als geheel, 5 °C (!) meer dan het maximaal aanbevolen verschil in bestaande normen. Het ontwikkelde enkel-tocht model kan worden geïmplementeerd in thermisch comfort en testnormen voor luchtverdeelapparatuur.

Relevante aspecten



In het eerste artikel (a) geven de schrijvers aan dat in ASHRAE 55:2013 geen Turbulentie-Intensiteit en Draught Rating meer bevat, omdat het destijds door Fanger c.s. uitgevoerde onderzoek wellicht wel goed aansluit bij de West-Europese situatie maar niet bij de Amerikaans of Aziatische. Ze concluderen dat de tochtklachten op enkel niveau veel ernstiger worden ervaren dan verwacht, met hoge tot zeer hoge percentages ontevreden.

Voor koelbedrijf tenderen de schrijvers naar hogere ruimtetemperaturen, waardoor energiebesparing mogelijk is. Ze concluderen dat op basis van dit onderzoek geen richtlijnen zijn te geven, maar dat meer onderzoek gewenst is.

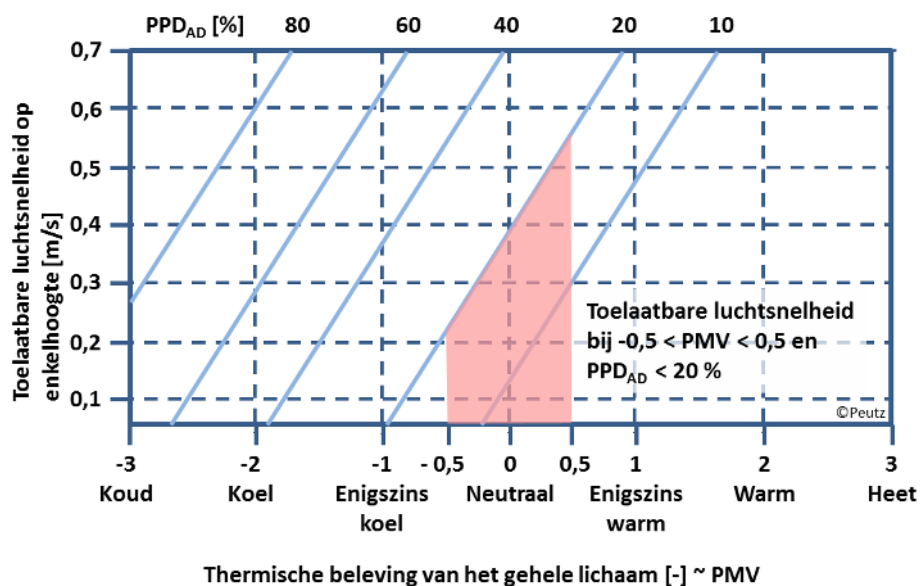
In het tweede artikel (b), dat een vervolg is op het eerste artikel, is het meetplan verder uitgewerkt en er zijn aanvullende metingen gedaan. Het bevat een betere beschrijving van eerder onderzoek met betrekking tot een kritische benadering van de Draught Rating. Aangegeven wordt dat het destijds door Fanger c.s. uitgevoerde onderzoek waarop de DR-waarde is gebaseerd, te beperkt zou zijn geweest en niet bij de juiste condities is uitgevoerd (te koel). Het artikel levert derhalve forse kritiek op bestaande comfort modellen. Naast de al genoemde kritiek op de Draught Rating, zouden ook de bestaande eisen aan de verticale temperatuurgradiënt herzien dienen te worden. In plaats van de huidige verticale temperatuurgradiënt van bijvoorbeeld 3 K/m zou dit naar 5-8 K/m mogen gaan.

Rekenmodel en beoordelingscriterium

Voor het beoordelen van het risico van tochtklachten bij enkels wordt een rekenmodel ontwikkeld waarbij de inputparameters bestaan uit de thermische beleving van het lichaam als geheel, hierbij wordt uitgegaan van de PMV-index, en de luchtsnelheid ter plaatse van de enkels; zie het diagram in figuur I.1 dat is opgenomen in een addendum op ASHRAE 55.

Bruikbaarheid

Het is moeilijk te beoordelen hoe betrouwbaar het nieuwe model is. Kijk je naar de grafiek dan is er langs de 20 % ontevreden lijn sprake is van een hoge toelaatbare luchtsnelheid, namelijk van ca 0,2 – 0,5 m/s. De artikelen geven in elk geval een interessant inkijkje in actueel onderzoek.



Figuur 32: Toelaatbare luchtsnelheid op enkelhoogte als functie van de thermische beleving van het gehele lichaam bij lichte kleding (< 0,7 Clo) volgens Literatuur b). [m/s]

Het tweede artikel, dat is geïmplementeerd in de ASHRAE Standard heeft forse kritiek op een deel van de huidige comforteisen in NEN-EN-ISO 7730.



Bij navraag is gebleken dat deze kritiek in Nederland nog niet breder wordt gedragen.

Daarom is de informatie uit de artikelen en het PPDAD-model alleen informatief opgenomen in deze bijlage van voorliggende publicatie.

Literatuur

a) *Sensation of draft at uncovered ankles for women exposed to displacement ventilation and underfloor air distribution systems.*

Auteurs: Stefano Schiavon, Dongyun Rim, Wilmer Pasut en William W. Nazaroff; CBE Berkeley USA. Publicatie: Building and Environment 2015; 96: pag 228-236.

b) *Predicted percentage dissatisfied with ankle draft.*

Auteurs: S. Liu, S. Schiavon, A. Kabanshi, en W. W. Nazaroff; CBE Berkeley USA.

