

Afgifte-Lucht-Systeemkeuze

Kennisbank Bouwfysica

Auteurs: dr.ir. Peter van den Engel, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijsscher, ir. John van der Vliet

1 Algemeen

De systeemkeuze voor de klimaatregeling wordt in eerste instantie bepaald door datgene wat nodig is voor koeling, verwarming, luchtkwaliteit en vochtregeling. Verder beïnvloeden eisen de keuze en wel met betrekking tot energiezuinigheid, bedieningsgemak, individuele regelbaarheid, kosten (investering en exploitatie), flexibiliteit, aanpasbaarheid, betrouwbaarheid, geluidsproductie en - niet in de laatste plaats - de inpasbaarheid in het architectonische ontwerp. Technisch en economisch gezien zijn de eenvoudigste systemen meestal een goede en vaak zelfs de beste keuze (meest robuust).

De systeemkeuze ten behoeve van het architectonisch/bouwkundig ontwerp kan **indicatief** of **onderbouwd** worden bepaald. De indicatieve systeemkeuze vindt plaats op grond van een typering van de ruimte en de klimaatregeling. Een onderbouwde systeemkeuze vindt o.a. plaats op grond van een berekening van het vermogen. Of een indicatieve of onderbouwde systeemkeuze nodig of mogelijk is wordt bepaald door het stadium van het architectonisch ontwerp en - meer in het bijzonder - door de bouwkundige en bouwfysische gegevens waarover wordt beschikt en de gedetailleerdheid van die gegevens. Soms kan voor meer stadia met een indicatieve keuze worden volstaan, zoals bij standaardruimten met standardeisen.

2 Systeemindicatie op grond van ruimtetypering en systeemtypering

De systeemindicatie is bij het eerste Ruimtelijk Ontwerp nodig om te bepalen welke ruimte ruwweg nodig is voor centrale installaties, distributie-installaties (kanalen en leidingen) en eindapparaten. Een indicatie is mogelijk op grond van een typebenadering:

Klimaatregelsystemen zijn te typeren met de functie van de elementen waaruit ze bestaan, zie tabel 1. Ruimten zijn te typeren door aan te geven wat van het binnenklimaat wordt verwacht, zie tabel 2. Tabel 3 geeft voor diverse ruimtefuncties een ruimtetypering en een indicatie van het type klimaatregelsysteem dat in de praktijk in ten minste 80% van de gevallen wordt toegepast.

Uitgangspunt bij de systeemkeuze moet zijn:

- ventileer natuurlijk indien dit mogelijk is
- verwarm bij voorkeur met water
- indien koeling noodzakelijk is, koel zo veel mogelijk met water i.p.v. lucht

Indien 10 l/s (=36 m³/h) per persoon verse lucht wordt toegevoerd (toevoer 18, retour 25°C) kan hiermee 84 W worden gekoeld (zie vergelijking 1, elders in deze module). De 36 m³/h is ongeveer die hoeveelheid lucht die minimaal nodig is om een acceptabele luchtkwaliteit te realiseren. De 84 W is ongeveer evenveel als een mens - bij rustige bezigheden - zelf aan voelbare warmte afgeeft. Omdat veelal ook warmte van verlichting apparatuur en zon moet worden gekoeld wordt om te koelen al snel veel lucht toegevoerd, terwijl dit ook met water mogelijk is. Koelen met water is energetisch effectiever en vraagt om minder ruimte voor kanalen.

tabel 1 typering klimaatregelsystemen

Type elementen waaruit het systeem bestaat en de functies van die elementen

I	natuurlijke ventilatie (luchtverversing en natuurlijke koeling)
II	mechanische ventilatie (luchtverversing en natuurlijke koeling)
III	lokale (stralings-)verwarming
IV	centrale verwarming met radiatoren of convectoren
V	luchtverwarming
VI	vloerverwarming, vloerkoeling of betonkernactivering
VII	lokale koeling met een compacte koel-unit
VIII	“volledig lucht”-systeem (mechanische ventilatie + luchtkoeling/verwarming)
IX	“lucht/water”-systeem (mechanische ventilatie + waterkoeling/verwarming)
X	koelplafond / klimaatplafond
XI	na-verwarming in toevoerkanaal

tabel 2 ruimtetypering

Type Wat van de ruimte wordt verwacht

		temperatuur		luchtsnelheid	
		min.	max.	m/s	
A	bescherming tegen regen en wind (voorbeeld:abri)	--	--	--	
B	bescherming tegen regen en wind, vorstvrij (voorbeeld:wachruimte station)	5	--	--	
C	acceptabel voor lopende personen met kleding afgestemd op het buitenklimaat (voorbeeld:winkelpassage)	10	$\theta_e + 5$	< 0,5	
D	acceptabel voor zittende personen met kleding afgestemd op het buitenklimaat, tijdelijk verblijf (voorbeeld:overdekt terras)	12	$\theta_e + 5$	< 0,5	
E	acceptabel voor lopende personen met kleding afgestemd op het seizoen (voorbeeld:verkeersruimten in gebouw)	15	$\theta_e + 5$	< 0,5	
F	acceptabel voor zittende personen met kleding afgestemd op seizoen, verblijf max. 15 minuten (voorbeeld:koffiehoek in kantoorgebouw)	15	$\theta_e + 5$	< 0,25	
G	acceptabel voor zittende personen met kleding afgestemd op seizoen, verblijf max. 45 minuten (voorbeeld:kantine)	NV ¹⁾	18	$\theta_e + 3$ ²⁾	< 0,25
		MV	18	25 (90%) ³⁾	
H	acceptabel voor niet plaatsgebonden, zittende personen met kleding afgestemd op seizoen, verblijf enige uren (voorbeeld:bibliotheek)	NV	20	$\theta_e + 3$	< 0,25
		MV	20	25 (90%)	
I	acceptabel voor personen die lichte lichamelijke arbeid verrichten in aangepaste kleding, verblijf meerdere uren (voorbeeld:laboratorium)	NV	18	$\theta_e + 3$	< 0,25
		MV	18	24 (90%)	
J	acceptabel voor personen die middelzware arbeid verrichten in aangepaste kleding, verblijf meerdere uren (voorbeeld:constructiewerkplaats)	NV	15	$\theta_e + 3$	< 0,25
		MV	15	23 (90%)	
K	comfortabel voor niet plaatsgebonden, zittende personen met kleding afgestemd op seizoen, langdurig verblijf (voorbeeld:woonkamer)	NV	20	$\theta_e + 3$	< 0,25

L	comfortabel voor plaatsgebonden, zittende personen met kleding afgestemd op seizoen, langdurig verblijf (voorbeeld: kantoorvertrek)	NV 20 $\theta_e + 3$ MV 20 25 (95%)	< 0,15
M	beschermen van vochtgevoelige voorwerpen of of goederen (voorbeeld: museum, magazijn)	eisen afhankelijk van materialen	
N	bescherming van temperatuur- en vochtgevoelige processen (voorbeeld: plantenkas)	eisen afhankelijk van proces, stoffen of product	

¹⁾ verschillende eisen voor natuurlijke ventilatie (NV) en mechanische ventilatie (MV)

²⁾ dit zijn rekenwaarden bedoeld voor stationaire berekeningen

³⁾ percentage jaarlijkse verblijfstijd dat de ruimtetemperatuur beneden deze temperatuur moet blijven, bij ruimten zonder te openen ramen is het beter om geen overschrijding toe te staan

tabel 3 Klimaatregelsystemen, passend bij een bepaalde functie of ruimte

ruimtefunctie	ruimte typering	systeem typering ¹⁾	mechanische ventilatie	
			koeling	voud (h^{-1}) ²⁾
atrium	E/F/G/H	I+V, I+III of VI + VIII		2 - 30
aula	G	VIII+VI	vaak	5 - 8
bibliotheek	G/H	II+IV of VIII ³⁾	vaak	3 - 5
café / restaurant	G	II+IV+VII of VIII ⁴⁾	meestal	5 - 10
garage (reparatie)	J	I+V	soms	4 - 6
gang / verkeersruimte	E	II+IV		2 - 3
garderobe	E	II+IV		3 - 5
gehoorzaal / collegezaal	G	VIII	vaak	5 - 10
grootwinkelbedrijf	I	VIII	meestal	4 - 6
gymlokaal (school)	J	I+III of I+IV		2 - 6
hotelkamer	H	II+IV	soms	2 - 3
hotelloobby	G	II+IV of VIII	vaak	3 - 5
instructielokaal	G	VIII of II+IV+VII ⁵⁾	meestal	4 - 6
kantine	G	VIII	vaak	6 - 8
kantoor, koellast < 30 W/m ²	L	I+IV	nee	3 - 10
„ „ „ < 45 W/m ²	L	II + VI, IV + VIII	ja	2 - 6
„ „ „ < 75 W/m ²	L	II + VI of IX	ja	2 - 6
„ „ „ < 100 W/m ²	L	VIII+X	ja	4 - 6
kerk (oud)	G	V of V + VI		2 - 4
keuken (bedrijfs-)	J	VIII	meestal	15 - 20
laboratorium	I	VIII, IX of VIII+X ³⁾	vaak	6 - 15
magazijn	I	II+V	soms	2 - 4
„ vochtgevoelige stoffen	M	VIII + vochtregeling	vaak	2 - 5
museum (expositie)	M	VIII + vochtregeling	meestal	4 - 6
operatiekamer	J	VIII+X	meestal	15 - 20
parkeergarage	A	I of II		4 - 5 ⁶⁾
passage (winkel-)	C	I+V		15 - 30
serre	E	I+V of I+III		20 - 60
sporthal	J	II+V	soms	2 - 3
theater	G	VIII	meestal	5 - 8
terras overdekt buiten-	D	III		
terras in passage	D	III + ⁷⁾		

vergader ruimte	G	VIII, IX of VIII+X ³⁾	vaak	4 - 6
wachtruimte station	B	I+III		3 - 5
winkel	I	VIII of IX (+VII) ³⁾	meestal	6 - 8
woonkamer	K	I+IV of II+ IV of VI		2 - 4
zwembad	--	II+V+III		3 - 4

- 1) eerst genoemde combinatie komt het meest voor
 2) i.v.m. temperatuurbeheersing, hoogste waarde bij hoge thermische belasting
 3) bij grote transparantie van de gevel en/of hoge interne belasting
 4) bij grotere horecagelegenheden
 5) bij gebouwen zonder centrale koeling
 6) alleen ten behoeve van luchtverversing c.q. afvoer uitlaatgassen
 7) voorziening tegen tocht zoals plaatselijke verlaagd plafond, velum, parasols of iets dergelijks

3 Systeemkeuze op basis van warmtebehoefte (woningen e.d.)

Bij woonruimten en andere verblijfsruimten met een geringe interne warmtebelasting wordt de keuze van de klimaatregeling - naast de in hoofdstuk 1 genoemde aspecten - vooral bepaald door de maximale warmtebehoefte. Tabel 4 geeft een overzicht van het specifieke verwarmingsvermogen van verschillende systemen, afhankelijk van de hoogte van de ruimte en - bij luchtverwarming - van het ventilatievoud en de plaats van de luchttoevoer. De voor luchtverwarming aangegeven waarden zijn bepaald met vergelijking 2, elders in deze module. Andere waarden zijn ontleend aan handboeken. Een systeem komt voor keuze in aanmerking als het specifiek vermogen gelijk is aan of groter is dan de berekende specifieke warmtebehoefte van de ruimte. De tabel laat zien dat bij een geringe warmtebehoefte uit meer systemen kan worden gekozen dan bij een grote warmtebehoefte, maar ook dat een systeem met een gering specifiek verwarmingsvermogen, zoals vloerverwarming, niet in aanmerking komt bij ruimten met een grote warmtebehoefte.

tabel 4 Specifiek verwarmingsvermogen in W/m^2 vloeroppervlakte van verschillende systemen bij verschillende ruimtehoogten

systeem	ventilatievoud	netto ruimtehoogte in meter							
		h^{-1}	2,4	2,7	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
radiatoren/convectoren	1)	200	200	200	2)				
luchtverwarming $\Delta\theta = 20^\circ C$ 3)	4	65	70	80	95	110	135	160	
	6	95	110	120	140	160	200	240	
	10	160	180	200	230	270	335	400	
,, $\Delta\theta = 40^\circ C$ 4)	4	130	144	160	185	215	265	320	
	6	192	220	240	280	320	400	480	
	10	320	360	400	465	535	665	800	
vloerverwarming (staan/zitten)	1)	55/90	55/90	55/90	55/90	55/90	55/90	55/90	
plafondverwarming (staan/zitten)	1)	45/60	50/70	55/80	2)				

- 1) mogelijkheden en beperkingen worden bij de module afgifte verwarming besproken
 2) minder of niet geschikt voor hoge ruimten, bij lage ruimten het vermogen bij voorkeur beperken tot 60 W/m^2 (= een plafondtemperatuur van maximaal ca. 30°C bij een ruimtetemperatuur van 20°C)
 3) luchttoevoer vanuit plafond met tangentiale stroming
 4) luchttoevoer vanuit vloer en toevoer vanuit plafond met diffuse stroming

4 Systeemkeuze op basis van koelbehoefte (kantoren e.d.)

Bij kantoorvertrekken en vergelijkbare verblijfsruimten wordt de keuze van de klimaatregeling meestal bepaald door de koelbehoefte, wat niet betekent dat altijd mechanische koeling nodig is. Bij een specifieke koelbehoefte ("koellast") van minder dan 25 à 30 W/m² vloeroppervlakte kan onder bepaalde voorwaarden vaak worden volstaan met natuurlijke koeling of - als niet aan die voorwaarden wordt voldaan - met mechanische ventilatie met ongekoelde buitenlucht.

Tabel 5 geeft een overzicht van het specifieke koelvermogen van systemen en combinaties van systemen, afhankelijk van de hoogte van de ruimte en - bij luchtkoeling - van het ventilatievoud. De in deze tabel voor enkelvoudige systemen aangegeven vermogens zijn gebaseerd op de eerder besproken praktijkregels en - voor luchtkoeling - op de elders in deze module afgeleide formule. Voor combinaties van systemen is gebruik gemaakt van gegevens uit de literatuur. Hieruit blijkt dat het koelvermogen van combinaties vaak lager is dan de som van de vermogens van de enkelvoudige systemen.

Een systeem of combinatie komt voor keuze in aanmerking als het specifiek vermogen gelijk is aan of groter is dan de berekende specifieke koelbehoefte van de ruimte. De tabel laat zien dat bij een geringe koelbehoefte uit meer systemen en combinaties kan worden gekozen dan bij een grote koelbehoefte, maar ook dat een systeem met een gering specifiek koelvermogen, zoals VAV en CAV, niet in aanmerking komt bij ruimten met een grote koelbehoefte.

tabel 5 Specifiek koelvermogen in W/m² vloeroppervlakte van verschillende systemen en combinaties van systemen bij verschillende ruimtehoogten

systeem	ventilatievoud h ⁻¹	ruimtehoogte in meter						
		$\Delta\theta = 6\text{ }^{\circ}\text{C}$	2,4 8 °C	2,7 8 °C	3,0 10 °C	3,5 12 °C	4,0 12 °C	5,0 12 °C
A VAV of CAV ¹⁾	3	15²⁾	20	30	40	50	60	70
„	4	20	30	40	55	65	80	95
„	5	25	35	50	70	80	100	120
„	6	30	45	60	85	95	120	145
B kwelventilatie ³⁾	8	-	30	35	⁴⁾	⁴⁾	⁴⁾	⁴⁾
C inductie / fan-coil	10	50	75	100	140	160	200	240
D plafondkoeling ⁵⁾	-	60	60	60	60	60	60	60
E vloerkoeling ⁵⁾	-	20	20	20	20	20	20	20
F zuivere verdringing ⁶⁾	250	800	900	1000	1150	1350	1500	2000
A + D	2	70	75	80	90	90	100	110
„	3	75	80	90	100	110	120	130
„	4	80	90	100	115	125	140	155
„	6	85	100	100	140	155	180	205
B + D	8	-	80	85	⁴⁾	⁴⁾	⁴⁾	⁴⁾
C + D	10	90	100	100	140	160	200	240

¹⁾ Voor "volledig lucht"-systemen (A) tot 6-voudige ventilatie. Bij hogere ventilatievouden zijn deze systemen economisch niet verantwoord.

²⁾ Bij de cursief gedrukte waarden is met natuurlijke koeling te volstaan.

³⁾ $\Delta\theta$ max. 4 °C, bij hogere ruimten - afhankelijk van de ruimtelfunctie - eventueel meer.

⁴⁾ Hiervan is onvoldoende bekend.

⁵⁾ Deze systemen toepassen in combinatie met een systeem waarmee geventileerd wordt.

⁶⁾ Toepassing alleen in bijzondere ruimten.

5 Systeemkeuze op basis van verse luchtbehoefte (horecaruimten e.d.)

Als veel mensen gelijktijdig gebruik maken van ruimten met een relatief gering volume, zoals horecaruimten, gehoorzalen e.d., kan de verse luchtbehoefte maatgevend zijn voor de systeemkeuze. Zie Afgifte - koeling - globale en handberekeningen.

6 Luchtbehandeling

6.1 Systemen algemeen

Met "luchtbehandeling" worden installaties bedoeld die verschillende klimaatregelfuncties hebben. De kern bestaat uit mechanische ventilatie met luchtfiltering en verwarming, waaraan koeling en/of vochtregeling is toegevoegd. Er zijn centrale en decentrale systemen. De aanduiding "decentraal" gebruikt men meestal voor apparaten met alleen een elektrische voeding die zelf warmte en koude produceren. Bij "centrale" systemen zorgen centraal opgestelde ketels en koelmachines voor de productie van warm en gekoeld water dat via leidingen naar luchtbehandelingskasten en eindapparaten wordt getransporteerd.

6.2 "Airconditioning"

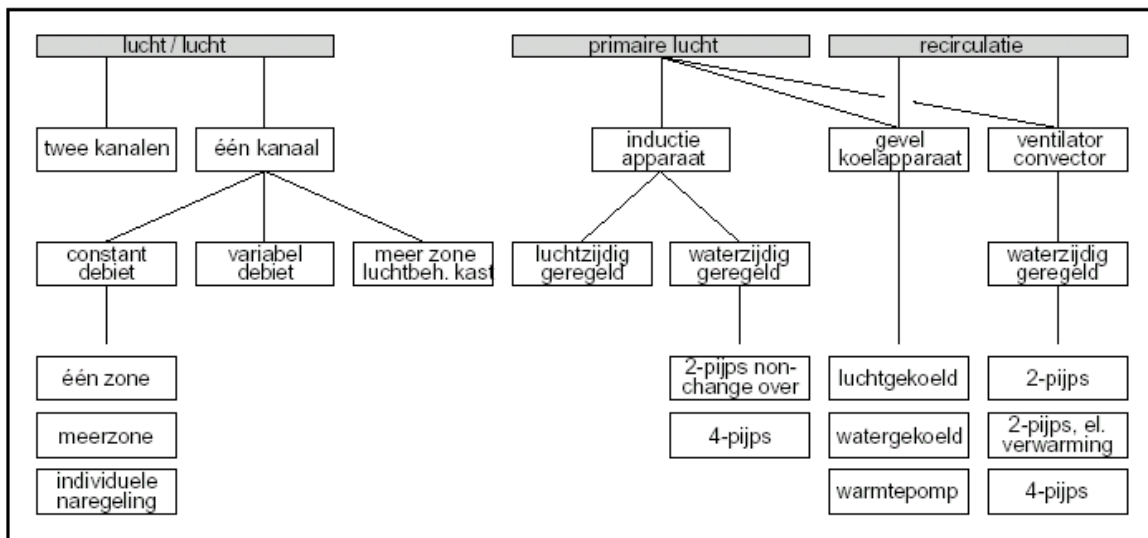
Aanvankelijk bestond in Nederland en andere Noord-Europese landen veel bezwaar tegen "**airconditioning**". Mede door berichtgeving over het "Sick Building Syndrome" bereikten de bezwaren halverwege de jaren '80 van de vorige eeuw hun hoogtepunt. Het betrof vooral grotere kantoorgebouwen met gesloten gevels en mechanische koeling waarin veel klachten voorkwamen. Aan die gebouwen bleek nogal wat te mankeren zodat veel klachten terecht waren. Echter, er bleef ook veel onduidelijk. Anno 2004 zijn er nog wel bezwaren maar over het geheel genomen wordt positiever over "airconditioning" gedacht, onder andere omdat men de voordelen meer is gaan waarderen, zoals betere regelbaarheid van het binnenklimaat. Inmiddels weten we dat veel klachten zijn te voorkomen door toepassing van te openen ramen en individueel te bedienen installaties en zonwering en vooral door gebouwen betere fysische eigenschappen te geven waardoor de rol van de installaties wordt beperkt. Anders dan in het verleden vaak werd gedacht hoeven te openen ramen geen nadelig effect te hebben op de klimaatregeling. Raamcontacten kunnen ervoor zorgen dat bij een geopend raam de installatie van de betreffende ruimte wordt uitgeschakeld en de klimaatregeling van andere vertrekken niet wordt verstoord.

6.3 Centrale systemen algemeen

Hier wordt op centrale systemen ingegaan met het accent op de afgifte van warme of koude lucht in de ruimte. Omdat lucht en water vaak zijn gecombineerd worden ook lucht/watersystemen besproken.

6.4 Lucht of water als medium

Figuur 1 geeft een schematisch overzicht van centrale luchtbehandelingssystemen



figuur 1 schematisch overzicht luchtbehandelingssystemen

De systemen worden vaak naar het eindapparaat genoemd en zijn in twee hoofdgroepen te verdelen:

- "volledig lucht"-systemen (ook wel aangeduid met "lucht/lucht" of "all-air")
- "lucht/water"-systemen

"Volledig lucht"-systemen zijn onder te verdelen in:

- twee kanalen systeem
- één kanaal systeem met:
 - meer zone luchtbehandelingskast
 - variabel debiet-systeem (VAV)
 - constant debiet met:
 - één zone systeem
 - meer zone systeem
 - individuele na-regeling

Tot de "lucht/water"-systemen behoren onder andere:

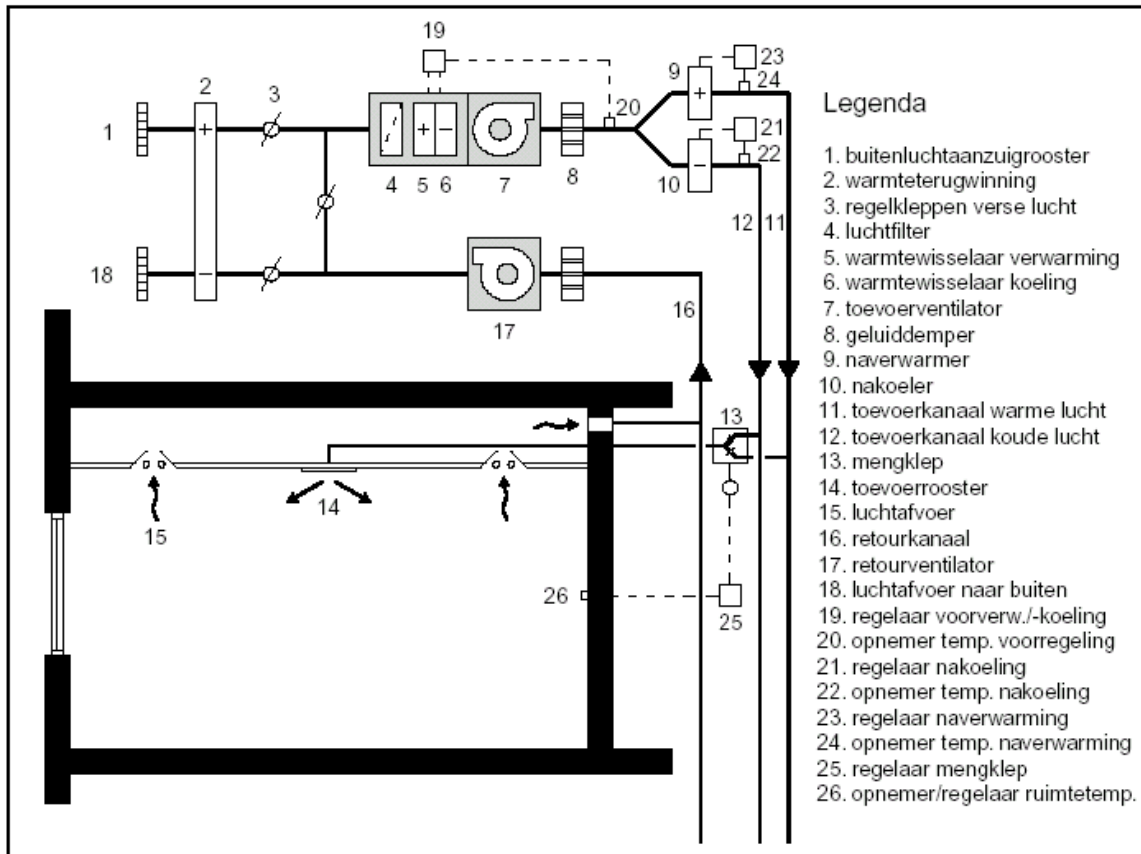
- ventilatorconvector-systeem ("fan coil")
- inductie-systeem

Bij "lucht/water"-systemen wordt een deel van het koel- of verwarmingsvermogen met water getransporteerd. Daardoor zijn de luchtkanalen kleiner dan bij "volledig lucht"-systemen en is voor die kanalen minder inbouwruimte nodig. Dit kan een kleinere verdiepingshoogte leiden, echter niet als de eindapparaten in verlaagde plafonds zijn ingebouwd. "Lucht/water"-systemen zijn gecompliceerder, onderhoudsgevoeliger, produceren meer geluid en zijn duurder in aanschaf dan "volledig lucht"-systemen.

Als vuistregel geldt dat "volledig lucht"-systemen economisch verantwoord zijn tot maximaal 5 à 6-voudige ventilatie. Bij extreem hoge gebouwen, waarbij moet worden gewoekerd met ruimte voor schachten en andere inbouwruimte, kan het omslagpunt lager liggen. Tabel 5 geeft een indicatie van het specifieke koelvermogen van systemen en combinaties van systemen, afhankelijk van het ventilatievoud en de hoogte van de ruimte.

6.5 “Volledig lucht”-systemen: “Twee-kanalen”-systeem

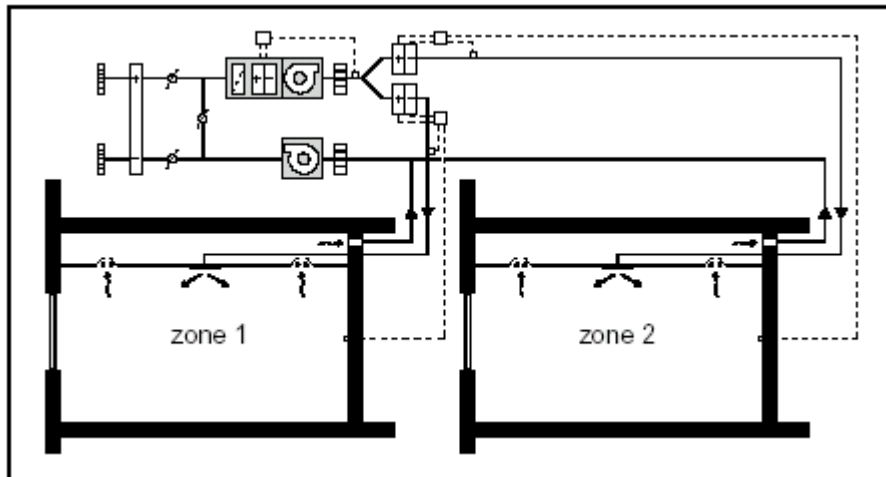
Dit systeem heeft aparte kanalen voor toevoer van warme en koude lucht. Afhankelijk van de behoefte wordt een hoeveelheid warme en koude lucht gemengd en naar de te klimatiseren ruimte gevoerd. Het mengpunt bevindt zich bij de ruimte. De luchthoeveelheden worden geregeld met kleppen in de kanalen (figuur 2). Het systeem heeft veel inbouwruimte nodig, het wordt niet vaak toegepast.



figuur 2 shema twee kanalen-systeem (verwarmingsleidingen niet getekend).

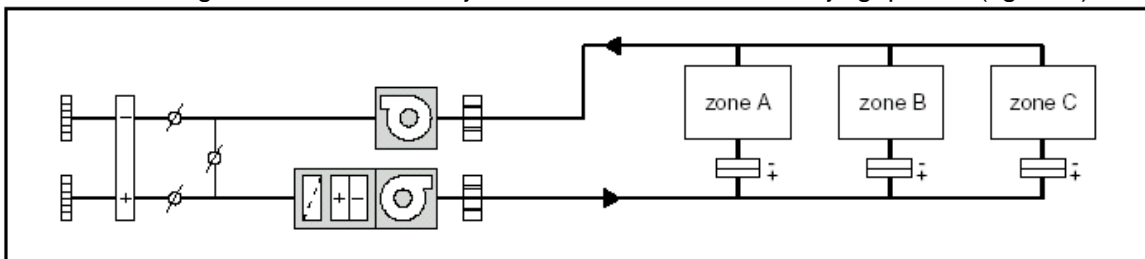
6.6 “Volledig lucht”-systemen: “Een kanaalsysteem”

Bij de "**meer zone luchtbehandelingskast**" wordt de luchttemperatuur in de luchtbehandelingskast voorgeregeld en per zone met aparte warmtewisselaars na-geregeld. Vanuit de luchtbehandelingsruimte gaan net zoveel toevoerkanalen het gebouw in als er zones zijn (figuur 3).



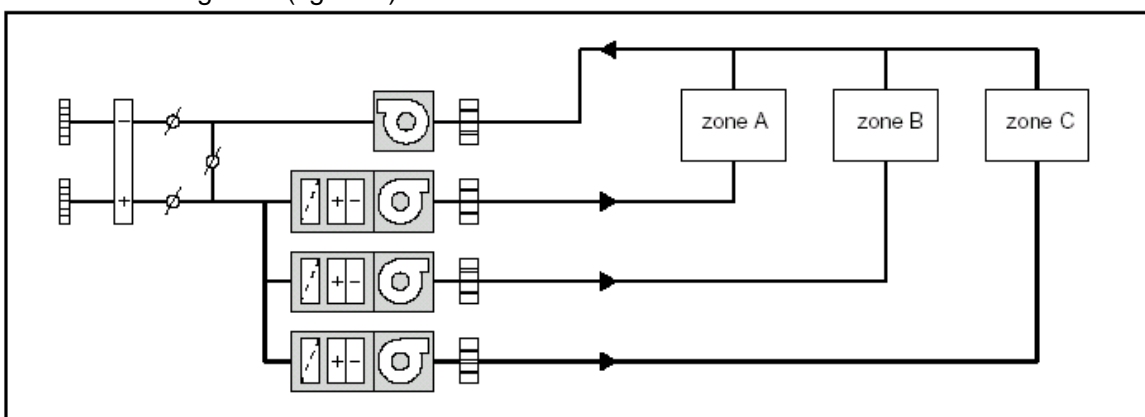
figuur 3 schema meerzone luchtbehandelingskast

Het retourkanaal van de zones wordt gecombineerd, wat tot energieverspilling kan leiden. Het "**meerzone/constant debiet**"-systeem is een variant waarbij de warmtewisselaars niet in de luchtbehandelingsruimte maar dichtbij de te klimatiseren ruimten zijn geplaatst (figuur 4).



figuur 4 schema meerzone / constant debietsysteem (weergave zonder regeling en verwarmingsleidingen)

Bij het "**één-zone/constant debiet**"-systeem is iedere ruimte een zone met een eigen luchtbehandelingskast (figuur 5).

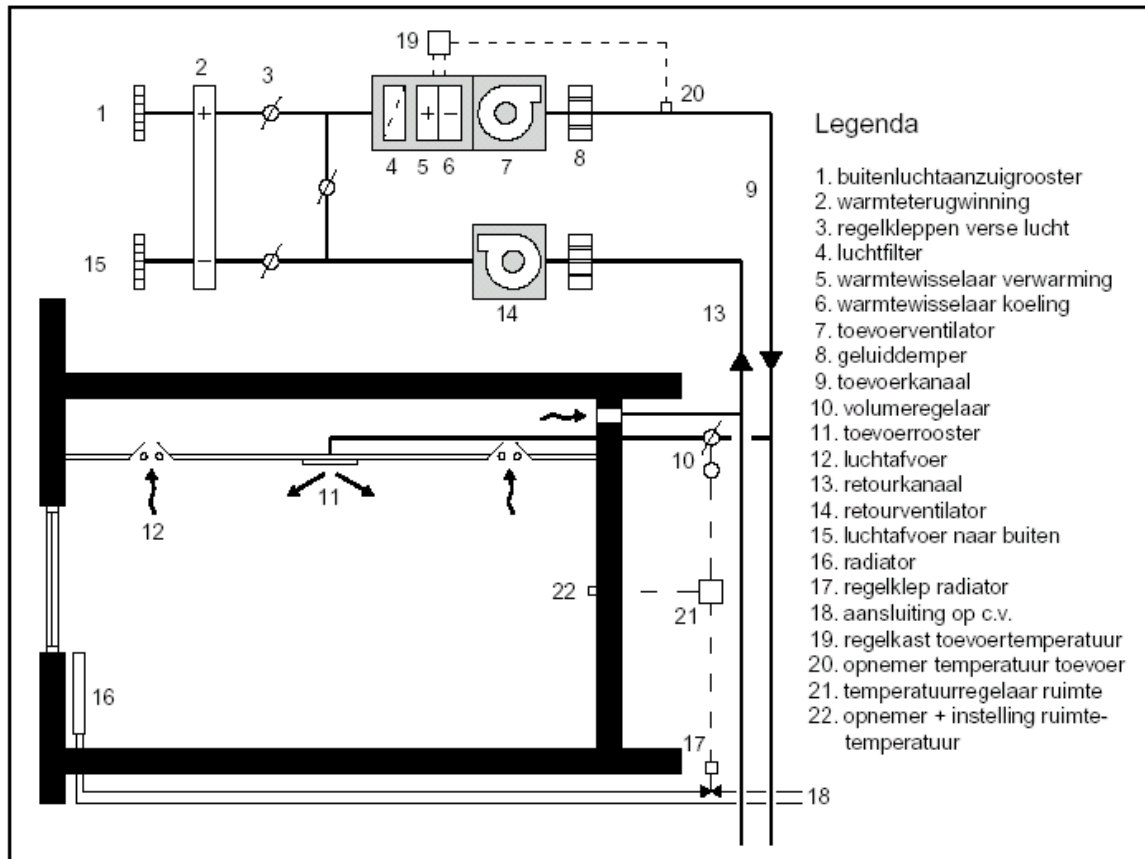


figuur 5 schema éénzone / constant debietsysteem (weergave zonder verwarmingsleidingen)

Het "**constant debiet met individuele na-regeling**"-systeem heeft een waterzijdige temperatuur-regeling en is de tegenhanger van het luchtzijdig geregelde "**variabel debiet**"-systeem. Deze twee veel toegepaste systemen worden in de volgende paragrafen met elkaar vergeleken.

6.7 Variabel debietsysteem (VAV)

Het variabel debiet systeem (figuur 6) is een luchtzijdig geregeld systeem dat is toe te passen als de belastingsverschillen tussen de ruimten klein zijn en de minimale koelbehoefte niet minder is dan 1/3 van de maximale koelbehoefte. Het regelbereik is mede afhankelijk van het type toevoerrooster.



figuur 6 schema Variabel Volumesysteem (VAV = Variable Air Volume); de verwarmingsleidingen zijn niet getekend

Een te kleine luchthoeveelheid kan het Coanda-effect verstoren, waardoor de luchtstroom loslaat van het plafond en tocht in de leefzone ontstaat. De minimale luchthoeveelheid is mede afhankelijk van de benodigde hoeveelheid verse lucht.

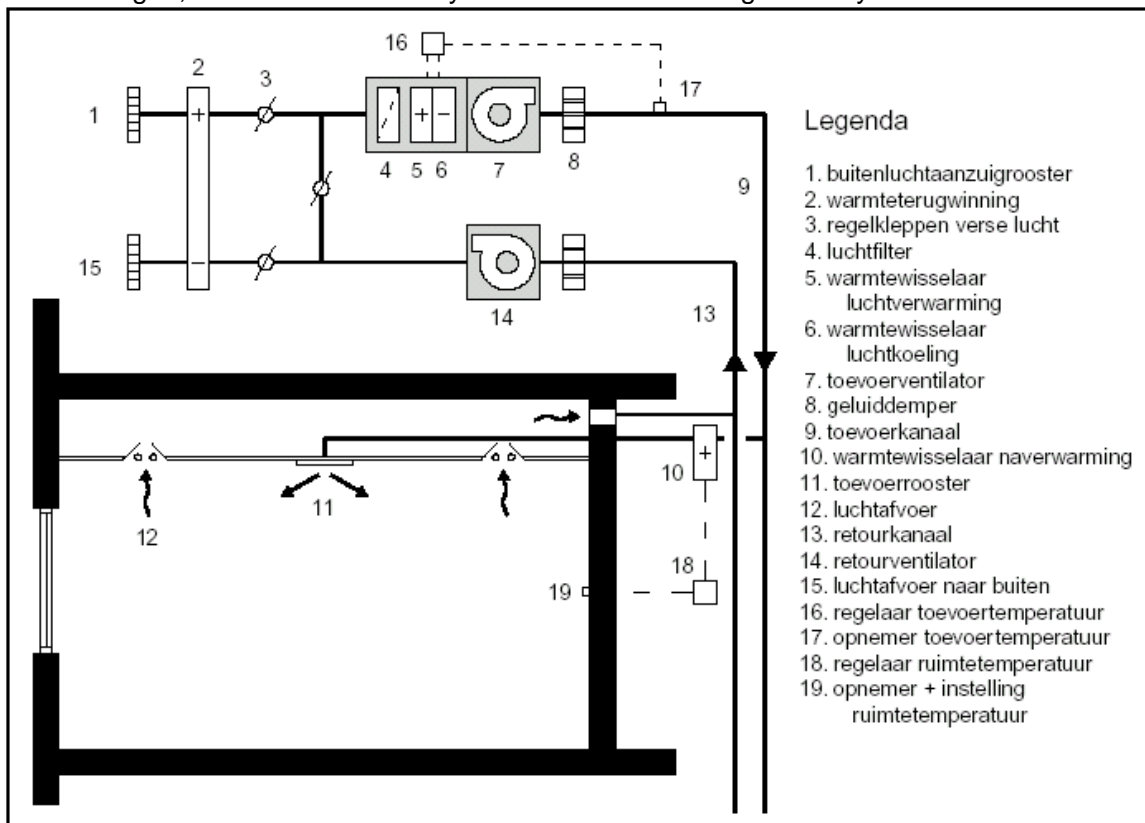
Een voordeel van het variabel debiet systeem is dat voorkomen kan worden dat het in niet-gebruikte verblijfsruimten te koud wordt als deze niet worden gebruikt. Hiermee wordt onnodig verwarmen tegengegaan. De hoeveelheid lucht wordt bij het ontbreken van koudevraag teruggeregeld, indien het systeem op temperatuur wordt gestuurd. Een andere optie is een variabel debiet systeem dat regelt op het CO₂-niveau in de ruimte (aanwezigheid). Hiermee kan meer op ventilatorenergie worden bespaard omdat naar behoefte lucht wordt toegevoerd. Meestal zijn er nog aparte lokale verwarmings- en/of koelvoorzieningen aanwezig, waardoor het toch nog mogelijk is dat (onnodig) gelijktijdig wordt verwarmd en gekoeld.

Veel hangt af van de regeling en het systeem: de setpoints (hoe dichterbij elkaar hoe energieonzuiver), de stooklijn (zo laag mogelijk als niet wordt gekoeld), voorkomen dat verwarmd water ineens wordt vervangen door gekoeld water (zoals bij het "change over" systeem kan gebeuren).

6.8 Constant debietsysteem (CAV)

Het constant debietsysteem (figuur 7) is bij groepen van ruimten toe te passen als de belastingverschillen tussen de ruimten klein zijn. Het is dan feitelijk een één-zone systeem. Zijn er belastingverschillen dan wordt de toevoertemperatuur meestal nageregeld met een warmtewisselaar in het toevoerkanaal. Dit heeft het risico van energieverpilling, meer nog dan bij het VAV-systeem.

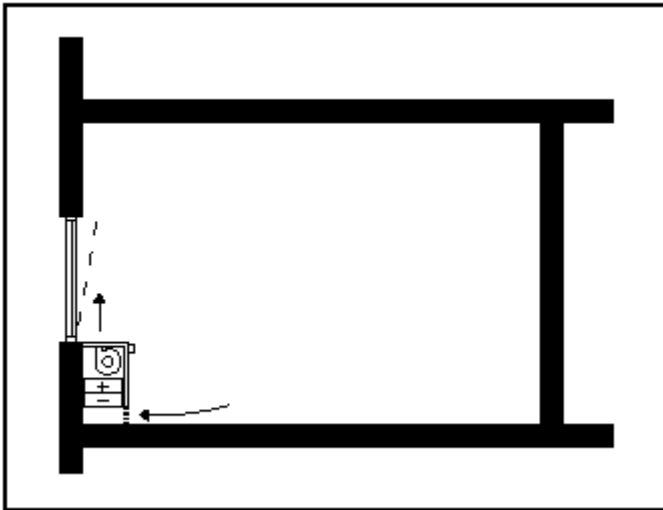
Na-verwarming en na-koeling samen (4-pijps-systeem) maken het systeem energetisch en wat betreft regelmogelijkheden bijna ideaal. Nadeel is dan alleen nog het relatief beperkte koelvermogen, een nadeel dat het systeem met alle "volledig lucht"-systemen deelt.



figuur 7 schema Constant Volume Systeem (CAV = Constant Air Volume) ; de verwarmingsleidingen zijn niet getekend

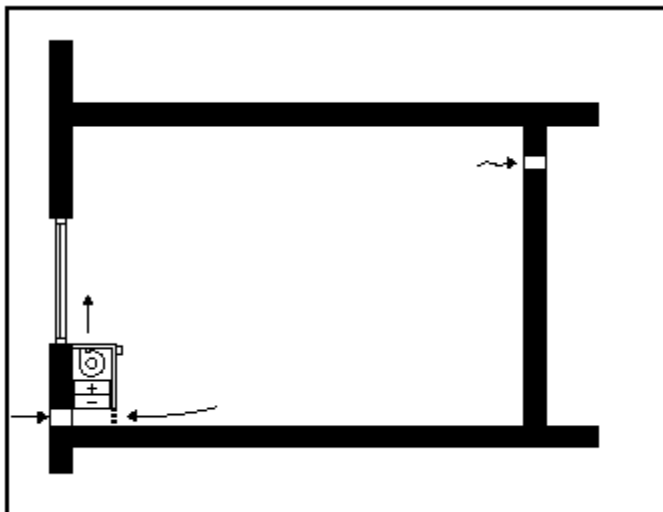
6.9 "Lucht/water"-systemen: ventilatorconvectoren ("Fan-Coil")

Ventilatorconvectoren zijn oorspronkelijk ontwikkeld om bij renovatie gebouwen eenvoudig van koeling te voorzien. De eenvoudigste apparaten hebben geen luchtkanalen nodig. De ventilator in het apparaat zorgt voor de luchtcirculatie in de ruimte. Met de "convector" (benaming voor de warmtewisselaar in het apparaat) wordt de door het apparaat stromende lucht verwarmd of gekoeld. Luchtverversing vindt plaats via te openen ramen (figuur 8).



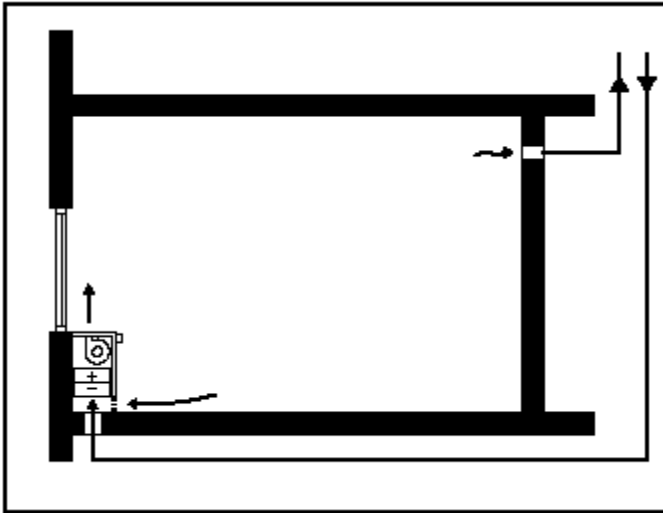
figuur 8 schema systeem met ventilatorconvectoren en te openen ramen

Het systeem is uit te breiden met een aansluiting op de buitenlucht (figuur 9):



figuur 9 schema met ventilatorconvectoren met aansluiting op de buitenlucht

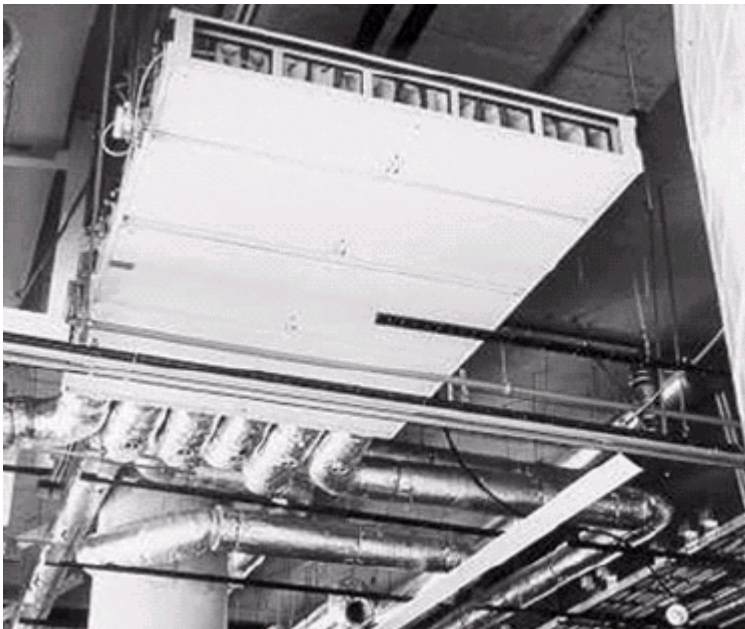
De hoeveelheid lucht die via het apparaat naar binnen stroomt, is afhankelijk van de hoeveelheid lucht die uit de ruimte wordt afgevoerd. Soms wordt de afvoer tot stand gebracht door gangen mechanisch op onderdruk te houden. In dat geval is de luchtverversing van de ruimte sterk afhankelijk van open en gesloten deuren en van de luchtstroming in de gangen. Beter is het daarom om de lucht per ruimte apart af te voeren. Een afvoervoorziening van condenswater van de koeler is meestal nodig (als gekoeld wordt tot onder het dauwpunt). Een verdere vervolmaking is het aansluiten van de ventilatorconvectoren op een kanalsysteem waarmee centraal voorbehandelde lucht wordt toegevoerd en verontreinigde lucht wordt afgevoerd (figuur 10). Dit wordt vaak bij nieuwbouwprojecten gedaan.



figuur 10 schema systeem met ventilatorconvectoren met aansluiting op centraal voorbehandelde buitenlucht

Doordat de hoeveelheid verse lucht de afmetingen van de kanalen bepaalt zijn de luchtkanalen van ventilatorconvectorsystemen meestal kleiner dan de kanalen van “volledig lucht”-systemen (uitgaande van een gelijk koelvermogen).

Ventilatorconvectoren zijn er in vensterbank- en in wanduitvoering. De wanduitvoering wordt ook wel onder het plafond gehangen. Verder zijn er apparaten voor inbouw in verlaagde plafonds waarop kanalen zijn aan te sluiten met een aantal toevoerroosters (figuur 11).

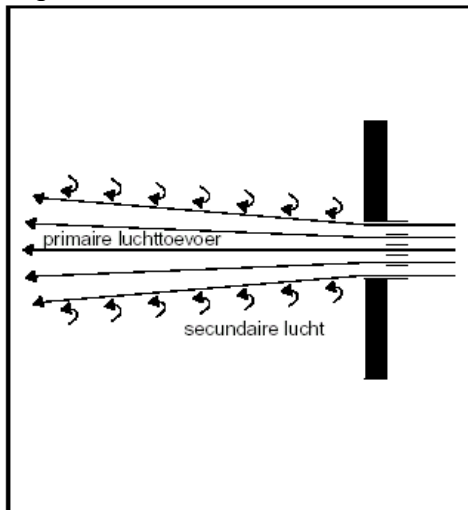


Figuur 11 Ventilatorconvector voor inbouw in het plafond

Ventilatorconvectoren hebben als nadeel dat ze geluid produceren. Het ventilatorgeluid neemt toe als de apparaten ouder worden en de ventilatoren door vuilafzetting in onbalans raken. Mede om dat te voorkomen hebben ventilatorconvectoren veel onderhoud nodig en moeten de filters regelmatig worden vervangen.

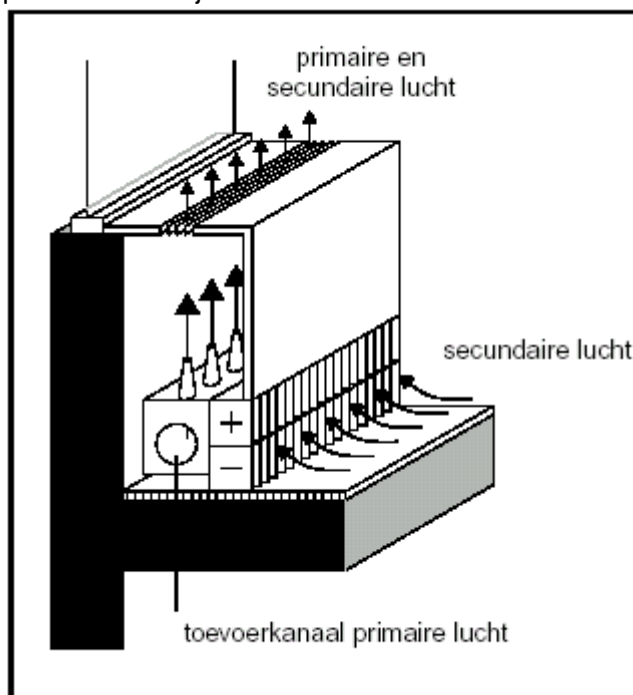
6.10 “Lucht/water”-systemen: inductiesystemen

Het verschijnsel inductie doet zich bij iedere (“primaire”) luchtstroom voor. Door onderdruk aan de grens van de luchtstroom wordt lucht uit de omgeving (“secundaire” lucht) aan- en meegezogen (figuur 12). Het verschijnsel is sterker naarmate de snelheid van de luchtstroom hoger is.



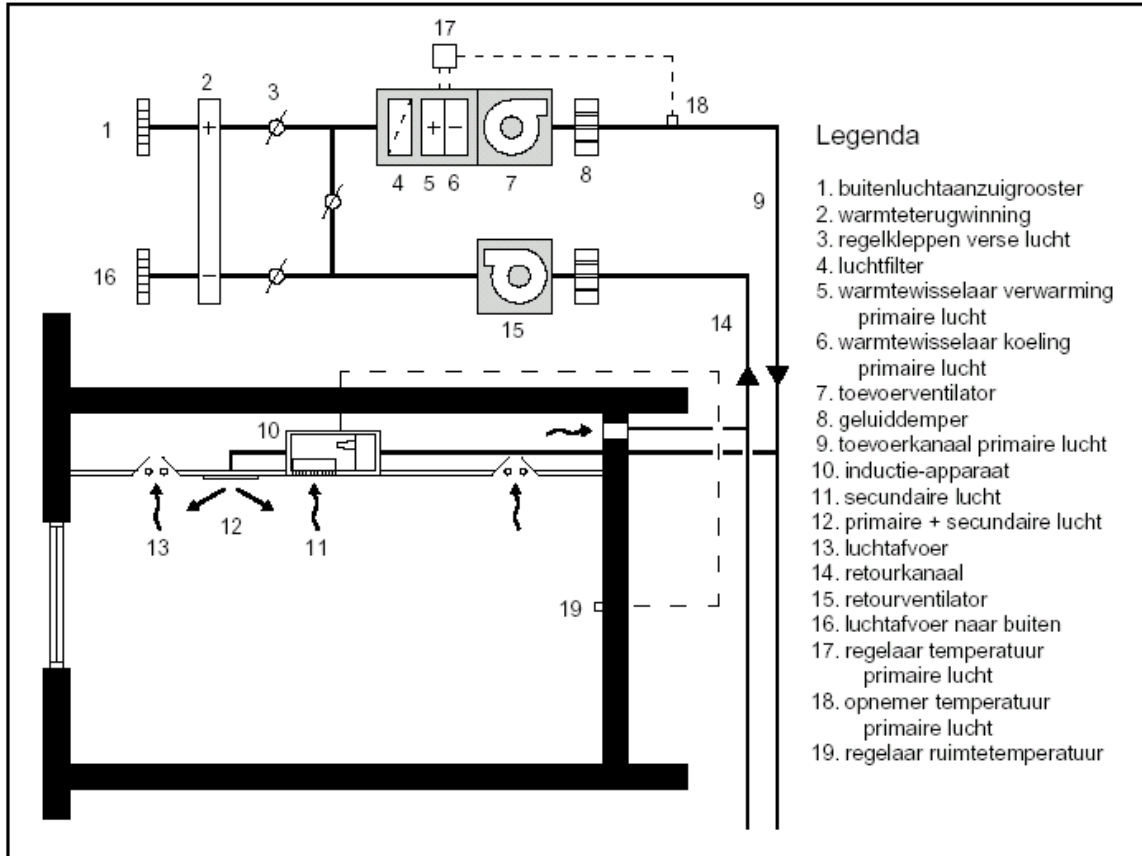
figuur 12 inductie-effect

Bij inductieapparaten wordt centraal voorbehandelde primaire lucht via kleine tuitjes (“nozzles”) met een hoge snelheid in een lufstkamer geblazen. Door inductie bij de lufstkroom van de tuitjes wordt secundaire lufk aangezogen. De secundaire lufk stroomt via een opening aan de onder- of zijkant van de lufstkamer naar de lufstkamer toe en passeert daarbij een warmtewisselaar die de lufk koelt of verwarmt (figuur 13).



figuur 13 inductie-apparaat

Het mengsel van primaire en secundaire lucht stroomt, voortgestuwd door de nozzles, via een opening in de blaasrichting van de nozzles naar de ruimte. Figuur 14 toont het schema van een luchtbehandelingssysteem met inductieapparaten.



figuur 14 principeschema systeem met inductie-apparaten

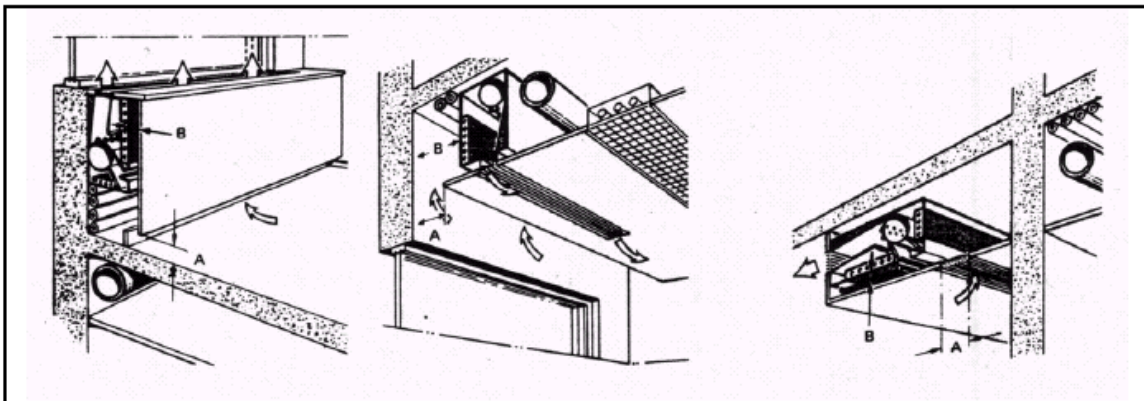
Een belangrijk voordeel van inductiesystemen - in vergelijking met ventilatorconvectoren - is het ontbreken van draaiende delen.

Een inductieapparaat brengt meer lucht in beweging dan de primaire hoeveelheid die via de nozzles wordt toegevoerd. We spreken van een "inductievoud" van 3 als de luchthoeveelheid die uit het apparaat stroomt 3 maal zo groot is als de primaire hoeveelheid. Een inductievoud van 3 à 4 is normaal voor de huidige generatie apparaten. Meer inductie is mogelijk maar gaat gepaard met een toename van het sissende geluid van de nozzles. Blijkt uit berekeningen dat voor de koeling van een ruimte 8-voudige luchttoevoer nodig is (8 maal het volume van de ruimte per uur), dan hoeft doorgaans niet meer dan 2 à 3-voud "primaire" lucht te worden toegevoerd. Het inductievoud is een eigenschap van het apparaat dat door beproeving is vast te stellen. Het inductievoud vermindert door luchtweerstand als gevolg van vervuilde filters en warmtewisselaars en kanalen en roosters die op het apparaat zijn aangesloten.

Inductieapparaten zijn oorspronkelijk ontwikkeld om in vensterbankkasten te worden ingebouwd en hun lucht via een rooster aan de bovenkant langs het raam in te blazen. Op dit systeem zijn later verschillende modificaties aangebracht, steeds om voorgaande versie te verbeteren. Hierdoor kennen we de volgende varianten, waarvan eigenlijk alleen de laatste nog wordt toegepast:

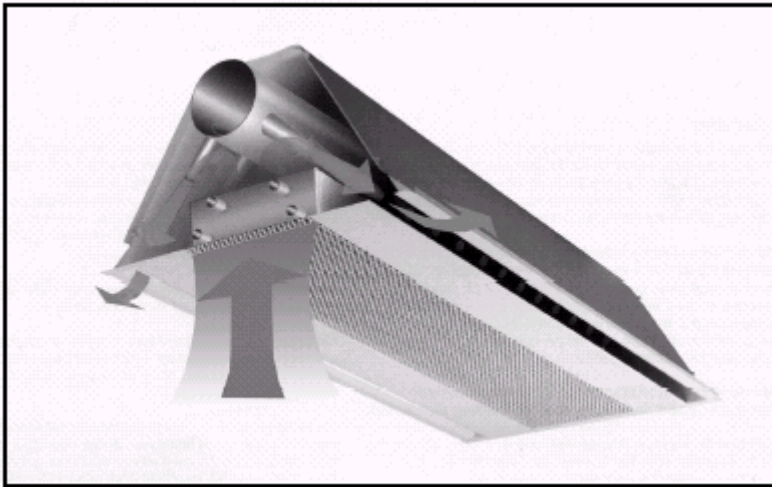
- twee-pijps - "Change Over"
- twee-pijps - "Non Change Over"
- drie-pijps
- vier-pijps

Het inductiesysteem heeft enige tijd minder in de belangstelling gestaan door de minder goede doorstroming en de te grote temperatuurverschillen en dode hoeken die in de ruimte ontstonden, maar ook door de opkomst van het eenvoudiger VAV-systeem, dat deze nadelen niet heeft. De minder goede doorstroming werd veroorzaakt doordat het mengsel van primaire en secundaire met een te lage snelheid in de ruimte werd gebracht. Verhoging van de snelheid, door de toevoer van meer primaire lucht, was mogelijk maar had een hinderlijk geluidsniveau tot gevolg. Door vervuiling van de warmtewisselaar en het filter nam de luchtsnelheid na verloop van tijd verder af. De vervuiling was vooral het gevolg van het aanzuigen van op de vloer liggend stof. Inmiddels is door de vraag naar meer koelvermogen de belangstelling voor het inductiesysteem weer toegenomen. "Volledig lucht"-systemen kunnen dit vermogen, binnen redelijke grenzen van kanaal-afmetingen, niet leveren. Verder is in de praktijk aangetoond dat door inductieapparaten hoog in de ruimte te plaatsen een betere doorstroming ontstaat en de apparaten bovendien minder vervuilen. Aanvankelijk werden hiervoor vensterbankunits gebruikt (figuur 15).



figuur 15 inductie-unit inbouwvoorbeelden

Inmiddels zijn apparaten ontwikkeld speciaal voor plafondbouw (figuur 16).



figuur 16 inductie-unit t.b.v. plafondinbouw

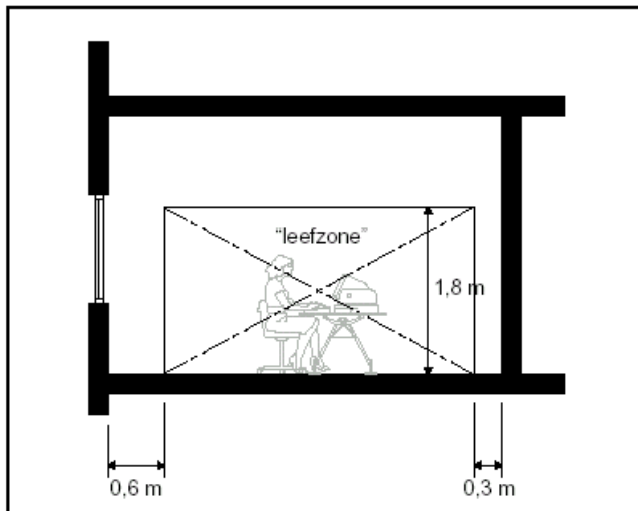
6.11 Combinaties van systemen

Met een combinatie van systemen, bij voorbeeld VAV + gekoeld of verwarmd plafond, is bij een netto ruimtehoogte van 2,7 m een specifiek koelvermogen van 100 W/m^2 vloeroppervlakte te realiseren. Meer vermogen is met geen enkele combinatie haalbaar, althans niet zonder overschrijding van de voor verblijfsruimten gebruikelijke comfortgrenzen. In tabel 5 is een overzicht gegeven van de specifieke vermogens van verschillende systemen en combinaties van systemen bij verschillende ruimtehoogten.

6.12 Toevoertemperatuur bij luchtkoeling

Bij luchtkoeling is de kans op tocht te beperken door het temperatuurverschil tussen de luchttoevoer en de ruimte niet te groot te nemen. Het maximaal mogelijke verschil is afhankelijk van de hoogte van de ruimte, de wijze van toevoer en de plaats van het toevoerpunt. Als geen eisen worden gesteld aan de luchtvochtigheid en in de ruimte weinig vochtontwikkeling plaatsvindt kan tabel 6 worden aangehouden. Deze tabel geldt voor verblijfsruimten met het luchttoevoerpunt buiten de "leefzone".

*NB **Leefzone** is de ruimte tussen de vloer en 1,8 m boven de vloer. Een strook van 0,3 m langs binnenwanden en 0,6 m langs buitenwanden valt buiten deze zone (zie figuur 17). Een buitenwand zonder ramen is als binnenwand te beschouwen.*



figuur 17 leefzone in een kantoor

Wordt een geringe temperatuurgradiënt nagestreefd, zoals in expositieruimten voor schilderijen, fabricageruimten voor temperatuurgevoelige meetinstrumenten, dan is het beter om geen groter temperatuurverschil toe te passen dan 8 °C. Bij lage toevoer, zoals bij kwelventilatie en verdringingsventilatie, is het aan te bevelen om het verschil te beperken tot maximaal 4 °C.

tabel 6 maximaal temperatuurverschil bij toevoer van gekoelde lucht

<u>hoogte van de ruimte</u>	<u>$\Delta\theta$</u>
m	°C
2,4	6
2,7	8
3,0	10
3,5	12
4,0	15

Koele lucht kan minder water bevatten dan warme lucht. Hierdoor wordt de absolute luchtvochtigheid in luchtgekoelde ruimten vaak laag, vooral als de lucht met een groot temperatuurverschil wordt toegevoerd. De luchtvochtigheid wordt minder laag als vochtontwikkeling in de ruimte plaatsvindt. In dat geval kan condensatie op toevoerroosters en oppervlakken in de directe omgeving van die roosters ontstaan. Veel installatieontwerpers beschouwen daarom 10 °C als het maximale temperatuurverschil waarmee gekoelde lucht kan worden toegevoerd. Als een bepaalde relatieve vochtigheid in de ruimte ontstaat of wordt nagestreefd is het maximaal mogelijke temperatuurverschil daarvan afhankelijk en gelden de waarden uit tabel 7.

tabel 7 maximaal temperatuurverschil bij toevoer van gekoelde lucht afhankelijk van relatieve vochtigheid

RV	$\Delta\theta$
%	$^{\circ}\text{C}$
30	18
40	14
50	11
60	8
70	5

6.13 Specifiek vermogen van systemen

"Specifiek vermogen" is hier gedefinieerd als het maximale verwarmings- of koelvermogen dat een klimaatregelsysteem kan leveren zonder dat tocht of onaangename temperatuurverschillen in de te klimatiseren ruimte ontstaat. Het specifieke vermogen wordt uitgedrukt in Watt per m^2 vloeroppervlakte. De in dit boek vermelde waarden zijn gebaseerd op laboratoriumonderzoek, metingen in de praktijk en ervaringscijfers. Blijf je bij de **globale** systeemkeuze beneden deze waarden en volg je de overige hier gegeven aanwijzingen op dan leg je daarmee de basis voor een uitwerking van het installatieontwerp (door installatieontwerpers) die tot een functioneel gebouw met een comfortabel binnenklimaat leidt.

In de praktijk - en in folders van leveranciers - zijn voorbeelden te vinden met hogere vermogens dan in dit boek aangegeven. Of de genoemde voorbeelden ook het gewenste comfort bieden blijft in de folders onbesproken, meestal omdat het niet of slechts beperkt is onderzocht. Wil je hogere vermogens dan de waarden die in dit boek zijn genoemd, dan is het aan te bevelen om door beproeving te onderzoeken of met die vermogens ook het gewenste comfort is te bereiken. Proeven zijn ook op hun plaats bij de toepassing van systemen in omstandigheden waarmee geen ervaringen bestaan. TNO, enkele adviesbureaus en fabrikanten van luchtverdeelapparatuur beschikken over klimaatkamers om deze proeven uit te voeren.

Een beproefde methode om het specifieke koelvermogen te vergroten is het toepassen van hogere ruimten. Dit is met de volgende afleiding aan te tonen.

Het koelvermogen van lucht is:

$$(1) \quad \Phi_k = q_v \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta\theta \quad (\text{W})$$

waarin:

q_v = volumestroom in m^3/s

ρ = dichtheid van lucht $\approx 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$

c = soortelijke warmte van lucht $\approx 1000 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

$\Delta\theta$ = temperatuurverschil tussen toevoer en afvoer in $^{\circ}\text{C}$

Het **specifieke** koelvermogen van het systeem bedraagt:

$$(2) \quad \Phi_{k,sp} = \Phi_k / A_{vl} \quad (\text{W}/\text{m}^2)$$

waarin:

A_{vl} = vloeroppervlakte van de ruimte in m^2

De volumestroom kan ook worden geschreven als:

$$(3) \quad q_v = n \cdot A_{vl} \cdot h / 3600 \quad (m^3/s)$$

waarin:

n = ventilatievoud in h^{-1}

A_{vl} = vloeroppervlakte van de ruimte in m^2

h = hoogte van de ruimte in m

Na substitutie leidt dit tot de vergelijking:

$$(4) \quad \Phi_{k,sp} = \frac{n \cdot A_{vl} \cdot h \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot \Delta\theta}{A_{vl} \cdot 3600} = \frac{n \cdot h \cdot \Delta\theta}{3} \quad (W/m^2)$$

Gezien de definitie van "specifiek koelvermogen" moet voor het ventilatievoud van verblijfsruimten $n = 10$ en voor het temperatuurverschil ($\Delta\theta$) de waarde uit tabel 6 of 7 worden ingevuld.

7 Luchtverversing

7.1. Natuurlijk of mechanisch?

Luchtverversing is mogelijk met natuurlijke of mechanische middelen of met een combinatie van beide. Het eenvoudigst is natuurlijke toe- en afvoer via te openen ramen. Natuurlijke afvoer kan ook via bouwkundige schachten of luchtkanalen plaatsvinden. In dat geval ontstaat een betere doorstroming van de ruimte dan bij afvoer via ramen en is het mogelijk om inpandige ruimten mee te ventileren. Natuurlijke en mechanische ventilatie zijn te combineren, bijvoorbeeld natuurlijke toevoer via ramen of roosters in de gevel en mechanische afvoer via een afvoerkanaal met daarin een ventilator. Vanzelfsprekend zijn ruimten ook uitsluitend mechanisch te ventileren door luchttoevoer en luchtafvoer beide via kanalen en ventilatoren te laten plaatsvinden.

Woonvertrekken, slaapkamers e.d. worden vrijwel zonder uitzondering van te openen ramen voorzien. Verse lucht komt via kleine klepramen of gevelroosters binnen en verontreinigde lucht wordt via keuken, toilet, badruimte en andere inpandige ruimten mechanisch afgevoerd. Woningen worden steeds vaker geheel mechanisch geventileerd. Warmte uit de afvoerlucht wordt gebruikt voor verwarming van de toevoerlucht. We noemen dit "gebalanceerde ventilatie". Te openen ramen worden dan alleen nog gebruikt voor extra ventilatie, bijvoorbeeld voor koeling in de zomer.

Er is een periode geweest dat te openen ramen voor utiliteitsgebouwen overbodig werden gevonden als die gebouwen mechanisch werden geventileerd. Onderzoek naar het "Sick Building Syndrome" heeft aangetoond dat in gebouwen met gesloten gevels gemiddeld meer hinder en gezondheidsklachten voorkomen dan in gebouwen met te openen ramen. Daarom krijgen verblijfsruimten in utiliteitsgebouwen tegenwoordig meestal te openen ramen. Het is

niet altijd mogelijk om deze ramen voor luchtverversing te gebruiken, bijvoorbeeld door lawaai of stank van verkeer of industrie. Ook kan het ventilatiebereik van te openen ramen te beperkt zijn, zoals bij diepe vertrekken. In die gevallen is mechanische ventilatie nodig.

7.2. Natuurlijke luchtverversing

De lucht in verblijfsruimten is via te openen ramen te verversen als:

- a. het ventilatievoud*) voor luchtverversing niet meer is dan 2 (anders ontstaan tochtklachten bij buitentemperaturen lager dan 12 °C),
- b. de van buiten komende lucht door een radiator, convector of luchtstroom tot ten minste 15-18 °C wordt verwarmd (hangt af van windsnelheid),
- c. de ruimte niet dieper is dan 2 maal de hoogte van de ruimte,
- d. open ramen geen onaanvaardbare geluidsbelasting of verontreiniging van de ruimtelucht (door verkeer of industrie) tot gevolg heeft.

*) "Ventilatievoud" is een aanduiding voor de mate waarin ruimten worden geventileerd. "Ventilatie-frequentie" en "luchtwisselingen per uur" betekenen hetzelfde. De dimensie is: m^3 lucht per uur per m^3 ruimte ($m^3/h.m^3 = h^{-1}$). "Circulatievoud" wordt wel gebruikt om aan te geven dat de lucht waarmee wordt geventileerd (voor een deel) geen verse buitenlucht is. Dit boek maakt dit onderscheid niet omdat apart wordt vermeld als het om luchtverversing gaat.

7.3 Bouwkundige voorzieningen en klimaatregeling

Met bouwkundige voorzieningen is het klimaat in gebouwen op "natuurlijke" wijze te beïnvloeden. Vaak is toepassing in combinatie met installatietechnische voorzieningen mogelijk. In het algemeen geldt dat bouwkundige voorzieningen robuuster zijn dan installaties en dat ze minder vaak disfunctioneren omdat ze niet afhankelijk zijn van draaiende delen, zoals pompen en ventilatoren. Ze hebben ook nadelen, zoals het niet constante effect door variërende invloeden van wind, buitentemperatuur en gebouwmassa. Het ontbreken van elektrische aandrijving heeft in beginsel een gunstige invloed op het energiegebruik. Er zijn echter ook voorbeelden waarbij elektrische aandrijving juist tot beperking van het energiegebruik leidt, zoals bij warmteterugwinning of lange termijn warmteopslag in de bodem. Vaak is het de combinatie van bouwkundige en installatie-technische voorzieningen die tot een optimum leidt.

7.4 Te openen ramen

Met te openen ramen zijn ruimten op een natuurlijke manier te ventileren en te koelen. Vaak worden te openen ramen toegepast in combinatie met mechanische afvoer en toevoerroosters in de gevel. De te openen ramen dienen dan alleen voor koeling of extra ventilatie na intensief gebruik van de ruimte. Om de kans op tocht te beperken moet het sluitmechanisme van de ramen een goede dosering van de ventilatie mogelijk maken. Dit is vooral van belang bij ramen die aan hoge winddrukken worden blootgesteld. Het is overigens een misvatting dat te openen ramen niet op grote hoogte zijn toe te passen. Voorbeelden uit de Verenigde Staten en Azië tonen dit aan. De China Bank in Hong Kong is 365 m hoog en heeft te openen ramen. Gevelbouwer Gartner tekende voor de detaillering van de ramen.

De winddruk op gevels is afhankelijk van de windsnelheid en turbulenties. Figuur x toont de windsnelheid in het vrije veld bij verschillende hoogten. In een bebouwde omgeving is de windsnelheid boven het maaiveld lager en neemt boven de bebouwing sterker toe. Bij een gebouw van 200 m benadert de windsnelheid op een hoogte van 25 m reeds de waarde van de snelheid op 200 m. Met andere woorden: als op de 7^e verdieping te openen ramen kunnen zitten dan kan dat op de 60^e verdieping ook. Hetzelfde geldt voor zonwering. Het gebouw van Bouwkunde heeft 14 verdiepingen en is voorzien van te openen ramen. Aan de NO-zijde van Bouwkunde staat een gebouw van Rijkswaterstaat. Het is 45 m hoog en heeft op alle verdiepingen te openen ramen en buitenzonwering.

Indien een gevel wordt voorzien van een tweede huidfaçade kan langdurig, vaak meer dan 60% van het jaar, nog natuurlijk worden geventileerd. E.e.a. hangt mede af van de hoogte van het gebouw, detaillering en de wijze van regeling van toe- en afvoerkleppen.

7.5 Mechanische ventilatie: voorkomen van tocht

Door ventilatie kan tocht ontstaan. De kans daarop is te beperken door:

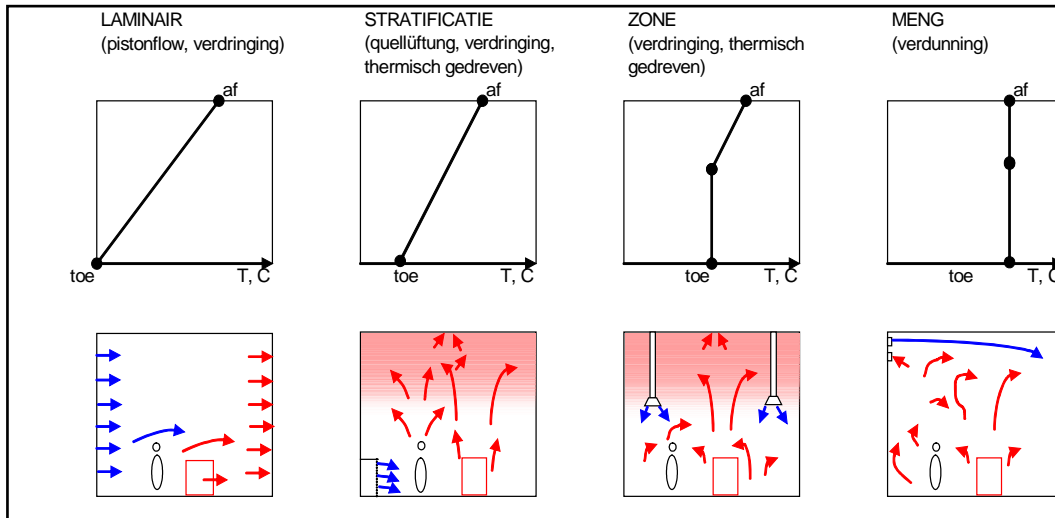
- de toevoertemperatuur niet te laag te kiezen (hangt mee af van b en c),
- de lucht op de juiste plaats en met het juiste snelheid toe- en af te voeren,
- te zorgen voor een dusdanige vorm van toevoer dat voldoende inductie van omringende warmere lucht plaatsvindt.

7.6 Mechanische ventilatie: luchtstromingspatronen

Bij mechanische ventilatie zijn verschillende luchtstromingspatronen te onderscheiden. Het belangrijkste verschil bestaat tussen **verdringings**-ventilatie en **verdunnings**-ventilatie.

Bij verdringingsventilatie is verder onderscheid mogelijk tussen de **zuivere** en **onzuivere** verdringing. **Kwel**-ventilatie is een vorm van onzuivere verdringing (kwel is afkomstig van Quelle = kwel of bron) deze vorm van ventilatie wordt ook wel gestratificeerde ventilatie genoemd, omdat de temperatuur veel invloed heeft op de vorm van de stroming. Zuivere verdringing wordt ook wel een piston flow of laminaire ventilatie genoemd. Systemen worden ook wel gecombineerd en dan wordt vaak gesproken van zonering (zie figuur 18 voor een helder beeld van het onderscheid).

Elk stromingspatroon en elke stromingsvorm heeft specifieke toepassingen. De toepassingsmogelijkheden zijn afhankelijk van de thermische belasting en van de afmetingen en functie van de ruimte.

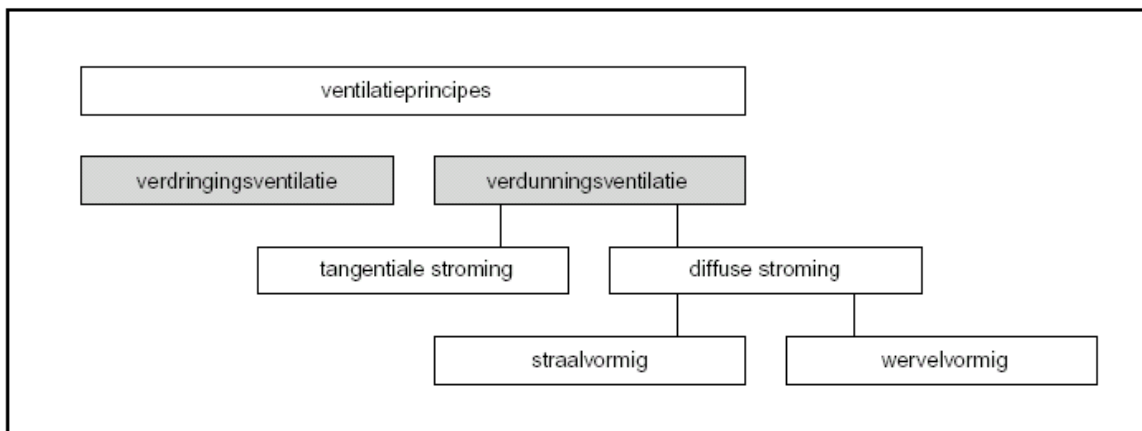


figuur 18 overzicht mogelijke ventilatiestrategieën; i de figuur (boven) is tevens aangegeven wat per ventilatiestrategie de kwaliteit van de ventilatie-effectiviteit is, d.w.z. de effectiviteit van de afvoer van vervuilde lucht

7.7 Verdunnings- of mengventilatie

Algemeen

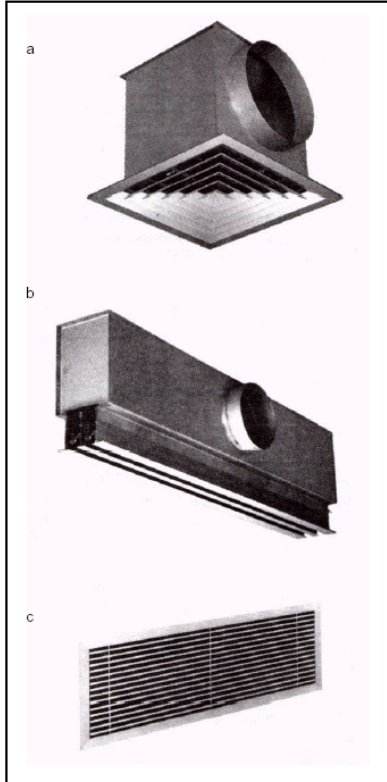
Bij verdunningsventilatie - de meest toegepaste ventilatievorm - wordt lucht met een relatief hoge snelheid (>2,0 m/s) toegevoerd. De turbulente toevoerstream brengt de ruimtelucht in beweging en mengt zich daarmee waardoor relatief geringe temperatuur- en concentratieverschillen ontstaan. Voor verblijfsruimten geldt bij dit type ventilatie als vuistregel dat het ventilatievoud tussen 2 en 10 moet liggen. Minder dan 2-voudige ventilatie geeft onvoldoende menging waardoor dode hoeken en temperatuurverschillen in de ruimte ontstaan. Meer dan 10-voudige ventilatie kan tot tocht leiden. Bij ruimten voor kort verblijf of waarin mensen meer in beweging zijn, zoals verkeersruimten en sportzalen, is het mogelijk om hogere ventilatievouden toe te passen, zie onder andere tabel 3. Bij verdunnings- of mengventilatie is het stromingspatroon **tangenciaal** of **diffuus**. De diffuse luchtstroming kan **straal**-vormig of **wervel**-vormig zijn (zie figuur 19).



figuur 19 uitwerking indeling ventilatieprincipes/luchtstromingspatronen

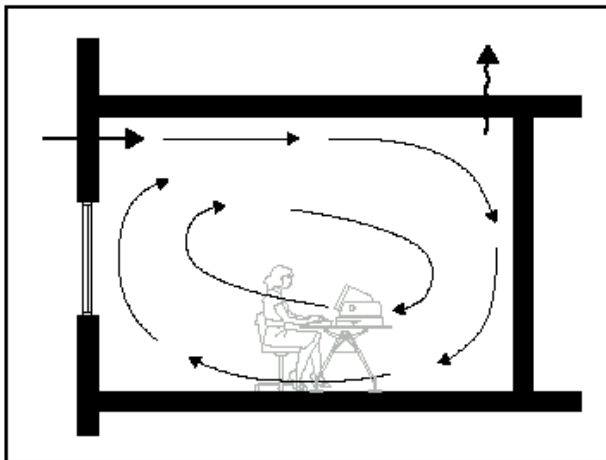
Tangentiale stroming

Bij deze vorm van verdunningsventilatie past men schoepenroosters, lijnroosters of plafonduitlaten toe (zie figuur 20).



figuur 20 toevoerluchtroosters: a plafonduitlaat (anemostaat), b. lijnrooster, c. schoepenrooster

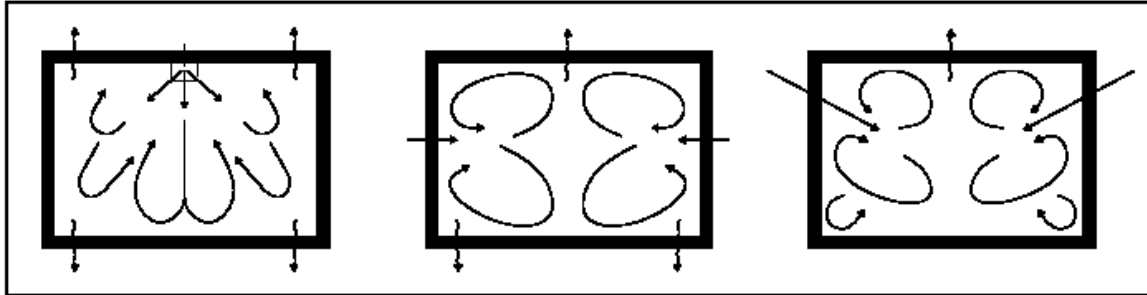
De toevoersnelheid is gemiddeld 2,5 m/s. Door de wijze van toevoer ontstaan walsvormige wervels met de hoogste lichtsnelheden langs plafond en wanden (zie figuur 21) en een lage snelheid (<0,15 m/s) in de leefzone. Om de lucht langs het plafond en de wanden te laten stromen wordt gebruik gemaakt van het "Coanda-effect". Dit effect beïnvloedt tevens de "worp" van het toevoerrooster.



figuur 21 tangentele stroming met walsvormige luchtwervels

Diffuse stroming

Bij diffuse stroming is de luchttoevoerstream op de ruimte gericht, zonder gebruik van het "Coanda-effect" (figuur 22).



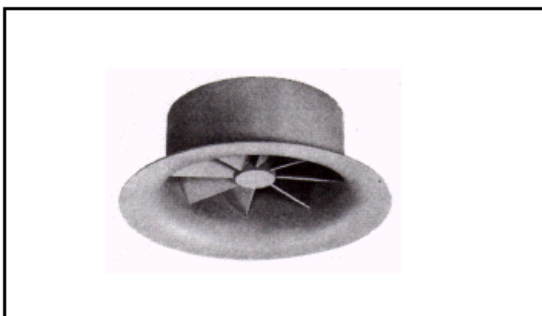
figuur 22 diffuse stroming

Voor voldoende luchtmenging en doorstroming van de ruimte past men bij hoge ruimten vaak "nozzles" toe (figuur 23). Dit zijn straalpijpvormige ornamenten waarmee lucht met een snelheid van 4 - 10 m/s wordt toegevoerd en een worp van 5 - 30 m wordt bereikt.



figuur 23 Nozzle of (inblaas)jet

Bij minder hoge ruimten past men dikwijls "wervelroosters" toe (figuur 24). Deze roosters geven de lucht in aanvang een axiale bewegingscomponent waardoor sneller menging ontstaat. Wervelroosters hebben een toevoersnelheid van 1,5 - 2,5 m/s en een worp van 2,5 - 5 m.



figuur 24 wervelrooster

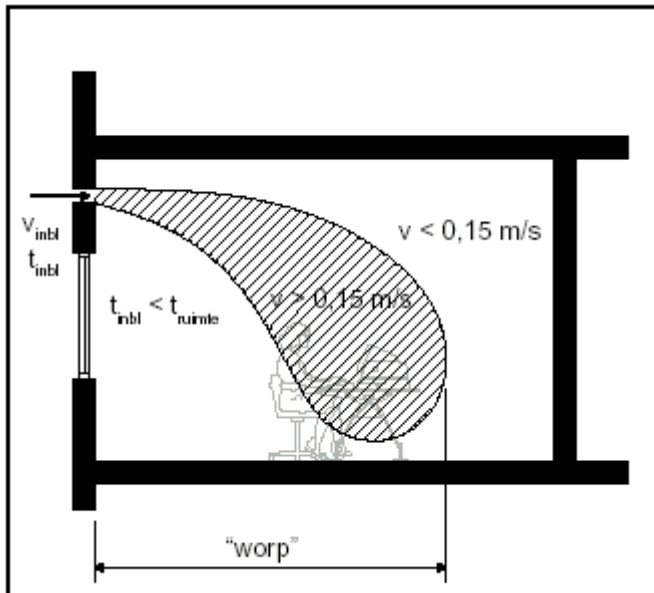
Plaats luchttoevoer en -afvoer

Om hinderlijke tocht te voorkomen moet bij tangentiële en diffuse stroming de lucht in het deel van de ruimte worden toegevoerd dat buiten de leefzone valt. De plaats van de afvoer is vaak minder kritisch omdat de invloed op de luchtstroming gering is. Ter illustratie: een kaars op 0,5 m afstand uitblazen kan, zuigen op die afstand heeft geen effect. Het laag afvoeren van lucht beperkt de temperatuurgradiënt en verbetert de doorstroming, maar kan tocht veroorzaken.

Hoog afvoeren van lucht heeft (alleen in het koelseizoen) als voordeel dat warme lucht sneller wordt afgevoerd.

Worp

Een koude luchtstroom heeft door zijn gewicht de neiging om naar beneden af te buigen (figuur 25).

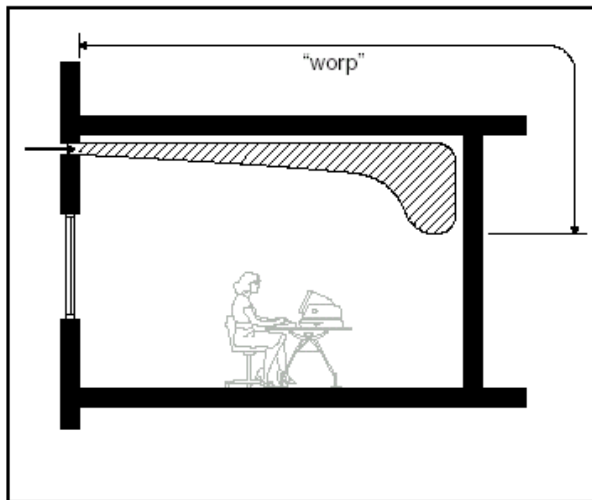


figuur 25 inblaas van koele lucht, worp

Dit is niet bezwaarlijk als het toevoerpunt hoog zit en de "worp" ervoor zorgt dat de luchtstroom geen tocht in de leefzone veroorzaakt. Met "worp" wordt de afstand bedoeld tussen het toevoerpunt en het punt waar de snelheid van de luchtstroom is afgenomen tot de tochtgrens (ca. 0,15 m/s). Met "luchtstroom" wordt de toegevoerde lucht bedoeld, voor zover deze zich voortbeweegt met een snelheid van meer dan 0,15 m/s. De worp is een eigenschap van luchtroosters die door beproeving wordt vastgesteld. Leveranciers vermelden dit gegeven in hun documentatie.

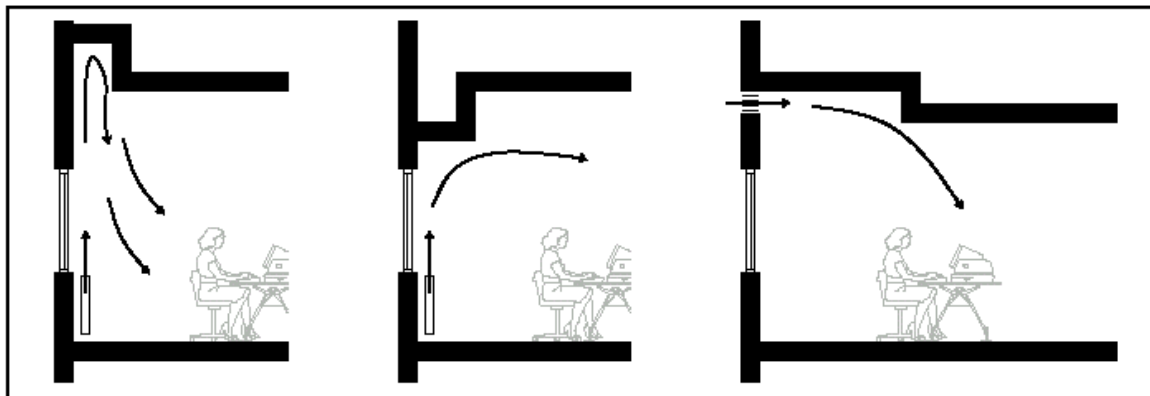
Coanda-effect

De worp van een rooster is te verlengen door de luchtstroom vlak langs en evenwijdig aan een wand of plafond toe te voeren (figuur 26).



figuur 26 Coanda-effect

Door onderdruk blijft de lucht aan dat vlak kleven. Dit zogenaamde "Coanda-effect" kan bij tangentiële stroming ervoor zorgen dat de luchtstroom om de leefzone wordt heengeleid. Obstakels, zoals "opbouw"-verlichtingsarmaturen, balken en verspringen in het plafond, kunnen het effect verstoren en de luchtstroom doen afbuigen waardoor in de leefzone tocht ontstaat (figuur 27).



Figuur 27 Verstoring coanda-effect

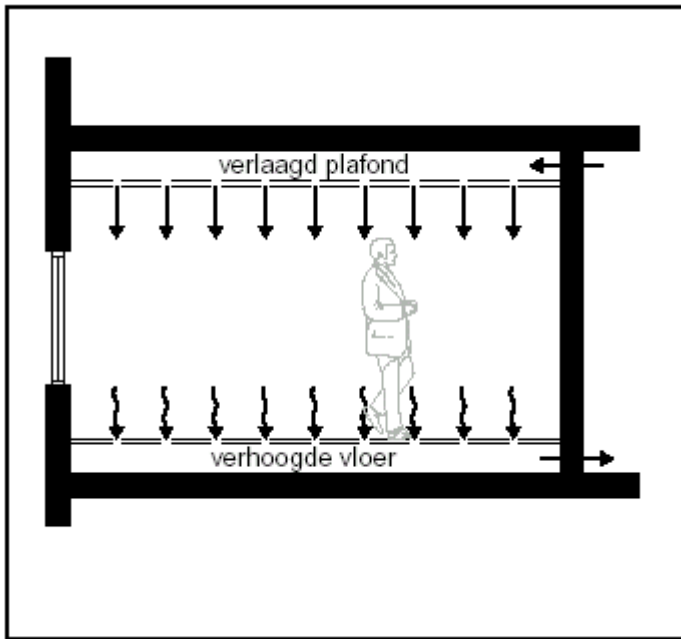
De keuze van het juiste toevoerrooster op de juiste plaats is een vraagstuk voor gespecialiseerde installatieontwerpers. Ook kan proefkameronderzoek nodig zijn. In plaats hiervan worden tegenwoordig ook wel 3-dimensionale stromingsmodellen gebruikt (CFD = Computational Fluid Dynamics). Hiermee kan in het ontwerpstadium een eerste indruk worden verkregen van de comfortrisico's die zich bij een bepaalde systeemkeuze kunnen voordoen. Het streven is natuurlijk wel om deze modellen dusdanig te verbeteren dat in de toekomst ook nauwkeurige voorspelling mogelijk zijn. Naarmate een ruimte complexer van vorm is, is dit lastiger.

7.8 Verdringingsventilatie

Zuivere verdringing ("laminar flow")

Bij verdringingsventilatie wordt lucht met een lage snelheid (<0,2 m/s) zo toegevoerd dat de lucht in de ruimte wordt weggeduwd zonder dat noemenswaardige menging plaatsvindt. Door deze laminaire stroming kunnen in de ruimte grote temperatuur- en concentratieverschillen

ontstaan. Dit verschijnsel is nuttig te gebruiken als de ruimte hoog is en warme vervuilde lucht zich boven in de ruimte kan verzamelen. Door lucht hoog af te voeren blijven de temperatuurverschillen binnen de leefzone gering. De meest zuivere vorm van verdringingsventilatie ontstaat als lucht gelijkmatig verdeeld via een geperforeerd plafond wordt toegevoerd en via een geperforeerde vloer wordt afgevoerd (figuur 28).

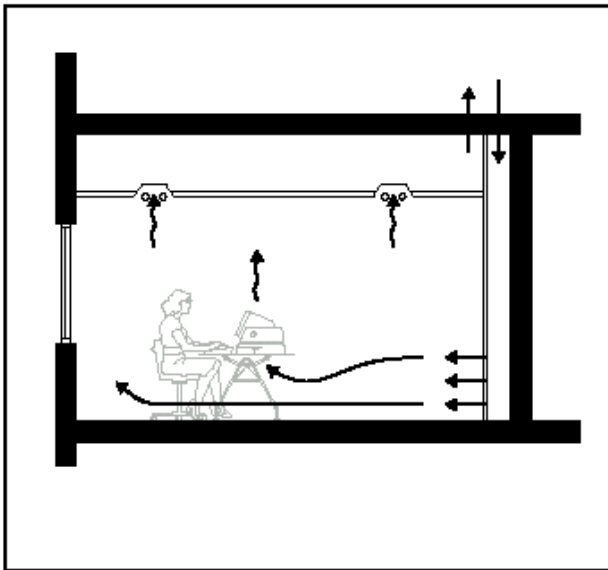


figuur 28 verdringingsventilatie
(zuivere vorm)

De lucht beweegt zich daarbij als een zuiger in een cilinder door de ruimte ("piston flow"). Met zuivere verdringing zijn ventilatievouden van 250 en meer haalbaar, zonder dat tocht ontstaat. Ook zijn er zeer hoge koelvermogens mee te realiseren (800 W/m^2 bij een ruimtehoogte van 3,5 m). Verdringingsventilatie wordt vaak toegepast in thermisch zwaar belaste ruimten, zoals computerzalen, of als extreem hoge eisen aan de luchtreinheid worden gesteld, zoals bij fabricage van micro-elektronische componenten en operatiekamers in ziekenhuizen.

Onzuivere verdringing (kwelventilatie, thermisch gedreven stroming, stratificatie)

Bij onzuivere verdringing vindt luchttoevoer en -afvoer minder verspreid plaats dan bij zuivere verdringing. Een veel toegepaste vorm is kwelventilatie ("quelluftung"). Hierbij stroomt koele lucht vanuit grote roosters - met een geperforeerd oppervlak - turbulentarm en met een lage snelheid de ruimte in waarna de lucht zich onder invloed van de zwaartekracht horizontaal over de vloer verspreidt (figuur 29).



figuur 29 onzuivere verdringing, stratificatie, kwelventilatie of thermisch gedreven ventilatie

Bij warmtebronnen (personen, apparatuur e.d.) ontstaat een stroming richting plafond, waar de lucht wordt afgevoerd. In de buurt van roosters kunnen tochtklachten ontstaan. Dit kan bij grote hoeveelheden toevoerlucht worden voorkomen als de luchttoevoersnelheid onder de 0,25 m/s blijft en de toevoerluchttemperatuur niet lager dan 20 °C is.

Ook kan bij dit systeem de temperatuurgradiënt in de ruimte minder comfortabel zijn (koude voeten en een warm hoofd). Bij verblijfsruimten met een hoogte van 2,7 m is het koelvermogen ca. 30 W/m² vloeroppervlakte, uitgaande van 8-voudige ventilatie en een temperatuurverschil tussen toevoer en afvoer van 4 °C. In combinatie met een koelplafond is 80 W/m² haalbaar. Bij ruimten voor kort verblijf (kantines e.d.) of waarin mensen in beweging zijn (verkeersruimten, sportzalen e.d.) is een hoger koelvermogen te realiseren. Voor turbulente luchttoevoer zijn ook slangen van textiel te gebruiken, deze worden meestal hoog in de ruimte aangebracht. Ten slotte kan hier op de wijze van luchttoevoer bij theaters e.d. worden gewezen als een vorm van onzuivere verdringing.

7.9 Hybride ventilatie

Hybride ventilatie is de combinatie van natuurlijke luchttoevoer en mechanische afvoer. Woningen worden doorgaans zo geventileerd. Als in de vakliteratuur over hybride ventilatie wordt gesproken bedoelt men meestal systemen met speciale gevelroosters die - met gebruikmaking van het coanda-effect - ervoor zorgen dat de buitenlucht langs het plafond stroomt en dieper in de ruimte dringt. De luchtsnelheid in dergelijke roosters is hoger dan in de roosters bij woningen. Om de luchtstroom beter te geleiden gebruikt men vaak aanvullend een geleideschoep, soms in de vorm van een gedeeltelijk verlaagd plafond (zie figuur 30). Verwarming van de ruimte vindt plaats met radiatoren of convectoren of met de geleideschoep uitgevoerd als stralingspaneel. Het beoogde voordeel van deze manier van ventileren is de geringere kans op tocht bij lage buitentemperaturen. De mogelijkheid om geen radiatoren te hoeven toe te passen wordt ook wel als voordeel genoemd. Met de geleideschoep/eilandplafond, uitgevoerd als stralingspaneel, is eveneens te koelen.



figuur 30 hybride ventilatie met eilandplafond dat koude toegevoerde lucht kan warmen of koelen; de langere verblijftijd van de toegevoerde lucht boven in de ruimte maakt dat de toevoerlucht zich beter met de warme omgevingslucht kan mengen

8 Integratie eind- of vertrekapparaten

8.1 Inbouw eindapparaten

Gevel

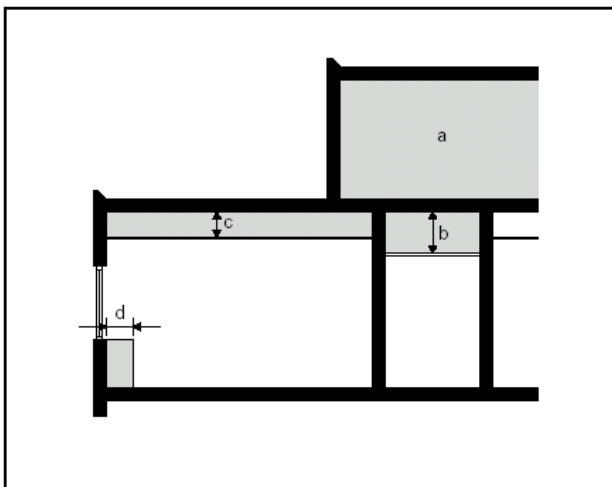
In tabel 8 is de horizontale ruimte aangegeven die globaal nodig is om de eindapparaten van de meest voorkomende klimaatregelsystemen in de gevelzone te kunnen plaatsen. Omdat er vaak vele mogelijkheden zijn, wat betreft de vorm van inductieapparaten, ventilatorconvectoren e.d. (lang, hoog en "ondiep" of kort, laag en "diep"), moet voor een nauwkeuriger vaststelling van de inbouwruimte de documentatie van leveranciers worden geraadpleegd.

tabel 8 inbouwruimte voor verschillende klimaatregelsystemen (zie figuur 31)

Installatie-systeem	vrije hoogte in gangplafond	vrije hoogte in plafond kantoren	verloren vloerstrook
	(b) m	(c) m ¹	(d) m
centrale verwarming	0,2	0,1	0,1
CV + mechanische ventilatie	0,4	0,2	0,1
"volledig lucht"-systeem	0,5	0,3	0,1
"lucht/water"-systeem	0,4	0,3 (0,5) ²	0,5 (0,0) ²

- 1) hierbij is geen rekening gehouden met ruimte voor de passage van aansluitkanalen en aansluit-dozen bij direct afgezogen verlichtingsarmaturen.
- 2) bij inbouw van units in plafond

NB Tabel 8 heeft betrekking op traditionele kantoorgebouwen met vertrekken aan weerszijde van een ten minste 2,1 m brede middengang. De hoofdkanalen en hoofdleidingen liggen daarbij in de ruimte boven het verlaagde plafond van de gang. De hiervoor aangegeven vrije hoogte is nodig om aftakkende leidingen en kanalen te kunnen laten kruisen met hoofd-leidingen en hoofdkanalen. Bij grote niet ingedeelde verdiepingsvloeren, zoals bij kantoor-tuinen, moet de gehele ruimte boven het verlaagde plafond een vrije hoogte moeten hebben zoals in tabel 8 voor het gangplafond is aangegeven.



figuur 31 inbouwruimte voor verschillende klimaatregelsystemen

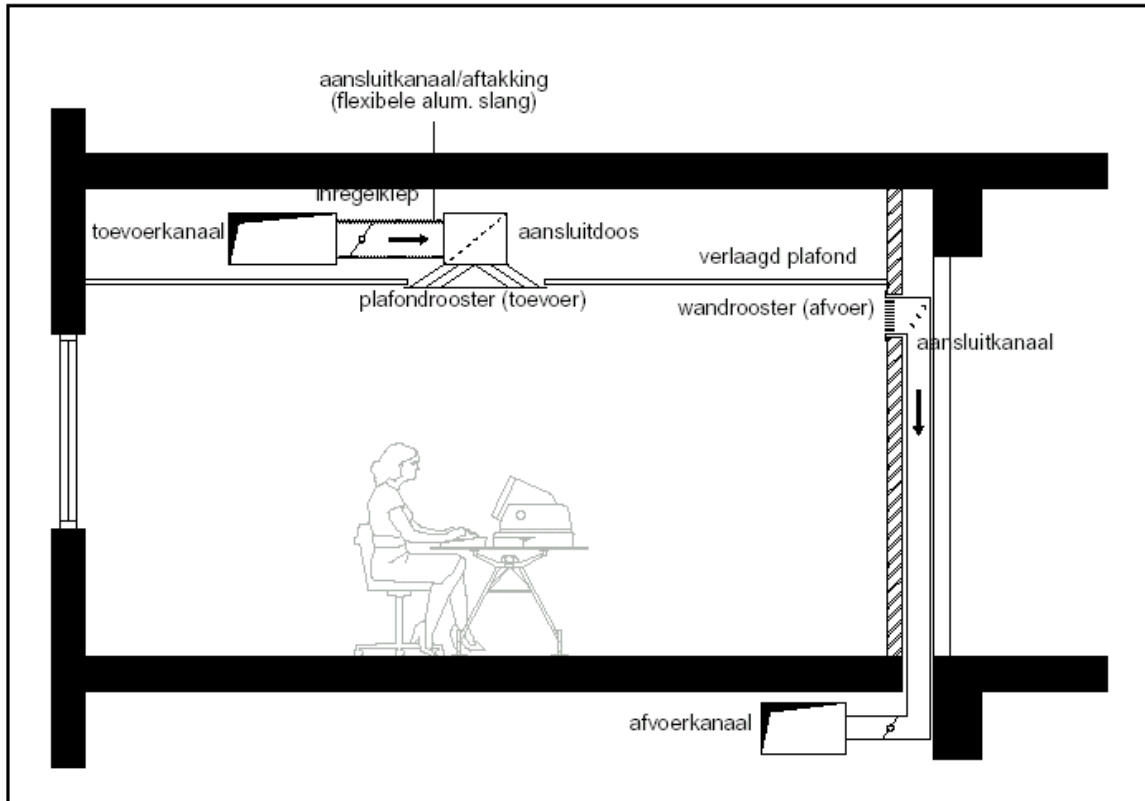
Vloer

De in tabel 8 aangegeven "verloren vloerstrook" voor inductieapparaten of ventilatorconvectoren, is ook een maat voor de inbouwhoogte van deze in een verlaagd plafond of een verhoogde vloer. Voor een nauwkeuriger vaststelling moeten de afmetingen van deze apparaten bekend zijn. Tot de eindapparaten behoren ook de regelaars, reduceerboxen, aansluitdozen e.d. die bij CAV- en VAV-systemen horen. De hoogte en breedte van deze installatiedelen zijn meestal niet veel groter dan de hoogte en breedte van de aansluitkanalen. Warmtewisselaars, zoals die bij CAV- en VAV-systemen voor naverwarming en -koeling worden gebruikt, hebben een hoogte en breedte die ca. 5 cm groter is dan de hoogte en breedte van de aansluitkanalen. Een nauwkeuriger bepaling van de afmetingen is slechts mogelijk als het vermogen bekend is en gebruik wordt gemaakt van de documentatie van leveranciers.

8.2 Roosters en roosteraansluitingen

De roosterafmetingen zijn af te leiden uit de volumestroom en de lichtsnelheid in het rooster. Tabel 3 geeft voor verschillende ruimten een indicatie voor de volumestroom. Bij tangentiële stroming is de lichtsnelheid over de bruto oppervlakte van het rooster gemiddeld 2,5 m/s. Bij wervelroosters is de snelheid 1,5 - 2,5 m/s en bij nozzles 4 - 10 m/s. Buitenluchtaanzuigroosters hebben een snelheid van maximaal 1,5 à 2,0 m/s en ze worden op ten minste twee meter boven het maaiveld geplaatst om te voorkomen dat bladeren en zwerfvuil wordt aangezogen.

Voor de aansluiting van roosters in verlaagde plafonds gebruikt men vaak rechthoekige aansluitdozen van verzinkte staalplaat en aluminium slangen. Het aansluiten van het rooster op de doos gaat met klemmen of schroeven. Wandroosters worden meestal met een haaks verloopstuk en stevige ronde of rechthoekige kanalen op het verdeelkanaal aangesloten (figuur 32).



figuur 32 aansluiting van plafond- en wandroosters

Aansluitdozen en verloopstukken moeten ervoor zorgen dat de luchtsnelheid - die in het aansluitkanaal nog 3 à 4 m/s is - wordt gereduceerd tot 2 à 3 m/s en bij de roosters de lucht goed over het roosteroppervlak wordt verdeeld. De hoogte van de aansluitdozen is meestal 0,05 à 0,1 m groter dan de diameter van de slang of de hoogte van het aansluitkanaal. In tabel 8 is bij de bepaling van de vrije hoogte van de ruimte boven het verlaagde plafond rekening gehouden met de afmetingen van aansluitdozen.