

## 5. LUCHTBEHANDELING

### 5.1 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.

### 5.2 "Airconditioning"

Aanvankelijk bestond in Nederland en andere Noord-Europese landen veel bezwaar tegen "**air-conditioning**". 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.

### 5.3 Decentrale systemen

#### 5.3.1 **Raamkoeler**

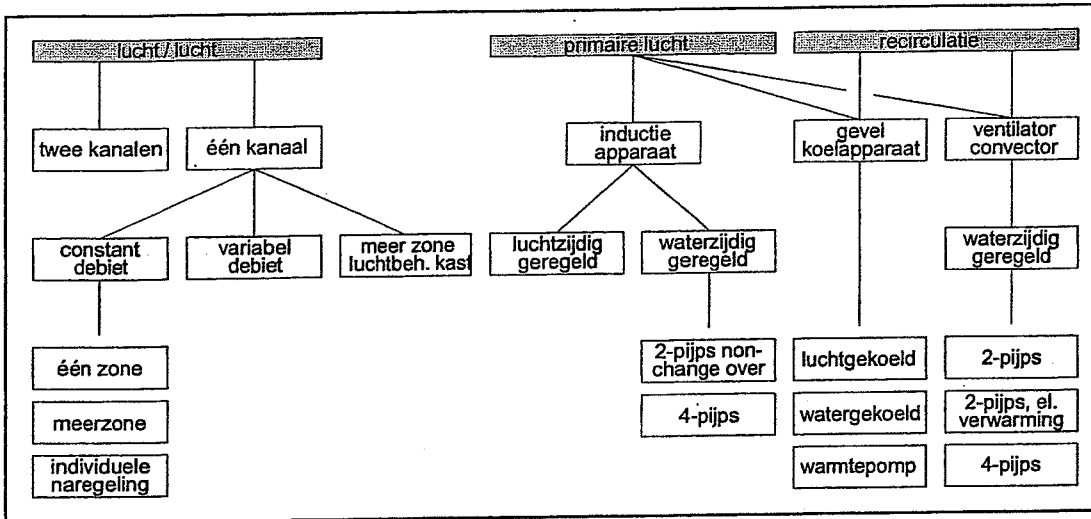
Het eenvoudigste decentrale koelsysteem is de zogenaamde "kamerkoeler". Dit compacte verplaatsbare apparaat bestaat uit een koelaggregaat een ventilator en een filter. Nadeel van dit apparaat is dat voor afvoer van warmte het apparaat met een slang op de buitenlucht moet zijn aangesloten. Kamerkoelers hebben een vermogen tot ongeveer 2 kW. Raamkoelers zijn iets groter en worden in ramen of buitenmuren gemonteerd. Ze hebben vermogens tot 7 kW en kunnen de ruimte met 0,1 tot 0,3 m<sup>3</sup>/s buitenlucht ventileren (figuur 5.1). Er zijn ook raamkoelers die door omschakeling als warmtepomp kunnen werken en de ruimte verwarmen. Ten opzichte van centrale systemen hebben raamkoelers voordelen: lage kosten en eenvoudige installatie en vervanging. Nadelen zijn: lawaai, hoog energiegebruik, onderhoudsgevoelig, vaak te droge lucht, tocht en verstoring van het gevelbeeld.

#### 5.3.2 **Gedeeld koelsysteem ("Split"-systeem)**

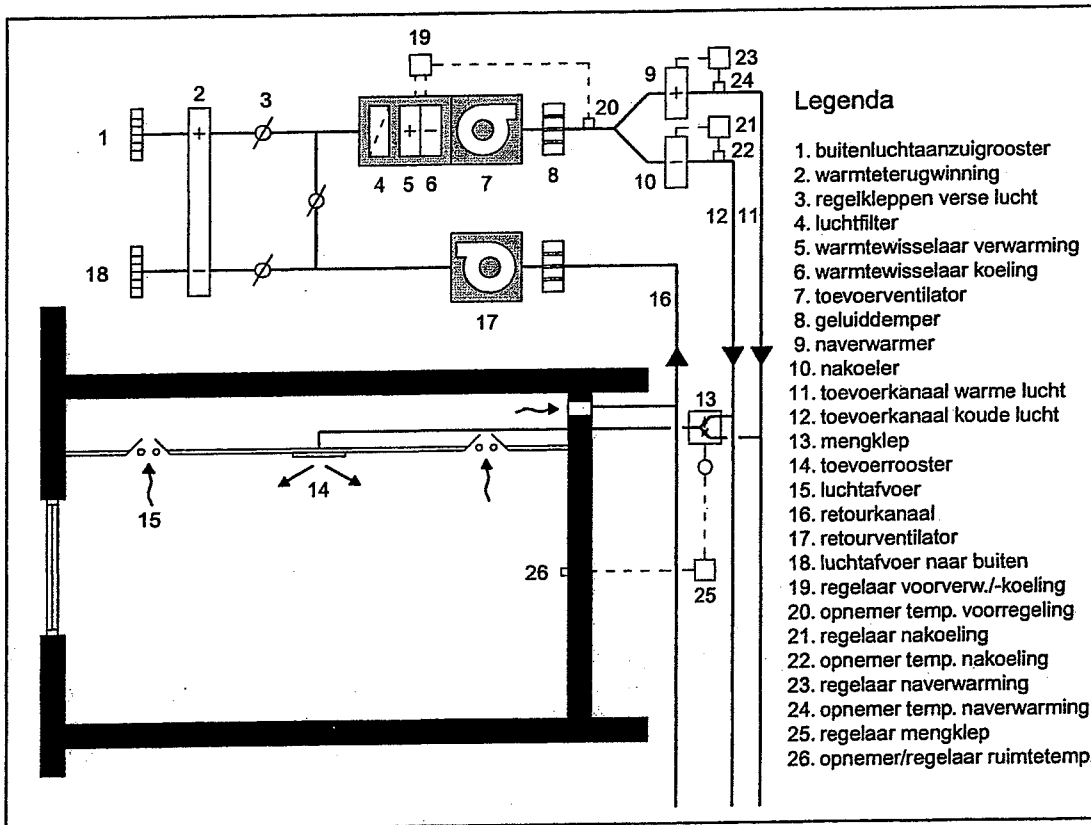
Het gedeelde koelsysteem - meestal aangeduid met "split"-systeem - bestaat uit een binnenunit (verdampers) en een buitenunit (condensor), zie figuur 5.2. De buitenunit, het meest lawaaiige deel, staat op het dak of op consoles tegen de buitengevel, hetgeen een minder fraai beeld kan opleveren. "Split"-units hebben koelvermogens van 5 tot 20 kW. Men past ze vaak toe om vergader-ruimten, werkplaatsen en winkels te koelen of als aanvulling op een klimaatregelsysteem met beperkt koelvermogen. Het grootste voordeel zijn de flexibele toepassingsmogelijkheden. Afgezien van het lawaai en het verstoren van het gevelbeeld heeft het gedeelde koelsysteem dezelfde nadelen als de raamkoeler.

#### 5.3.3 **"Packaged" koelunit**

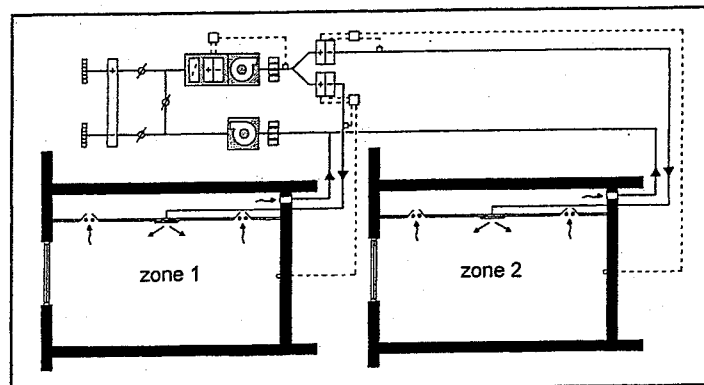
Een "packaged" koelunit is een grote raamkoeler waarop een kanaal met luchtroosters is aangesloten waarmee koele lucht over een aantal ruimten is te verdelen (figuur 5.3) De luchtverdeling



Schematisch overzicht luchtbehandelingsystemen - Figuur 5.5



Schema twee kanalen-systeem (verwarmingsleidingen niet getekend) - Figuur 5.6



Schema meerzone luchtbehandelingskast - Figuur 5.7

beperkt de kans op tocht en is een voordeel in vergelijking met de eerder besproken systemen. "Packaged" units zijn als "split"-systeem leverbaar en kunnen met een elektrisch verwarmingselement worden uitgerust of als warmtepomp werken. Ze hebben koelvermogens tot 20 kW. Er zijn grote "packaged" koelunits voor plaatsing op het dak (figuur 5.4) met vermogens tot 50 kW. Ze zijn te beschouwen als overgangsvorm tussen centrale en decentrale koelsystemen. Net als bij decentrale systemen is een koelaggregaat ingebouwd, met centrale systemen hebben ze gemeen dat ze meer klimaatregelfuncties hebben en ze de lucht via een kanalsysteem naar meer ruimten voeren.

## 5.4 Centrale systemen

### 5.4.1 **Lucht of water als medium**

Figuur 5.5 geeft een schematisch overzicht van centrale 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 6.5 geeft een indicatie van het specifieke koelvermogen van systemen en combinaties van systemen, afhankelijk van het ventilatievoud en de hoogte van de ruimte. In de volgende paragrafen worden de belangrijkste systemen toegelicht.

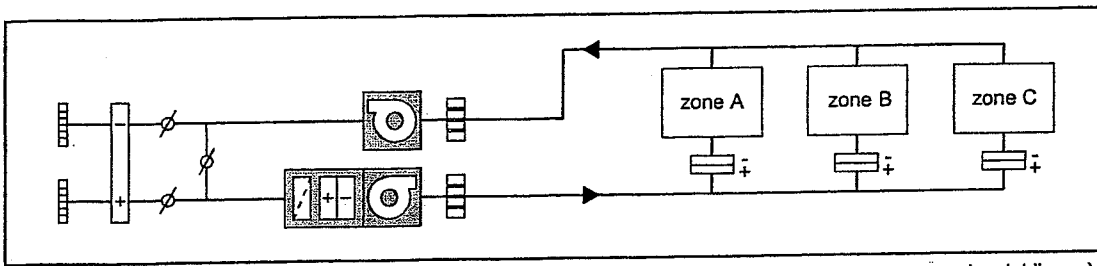
### 5.4.2 **"Volledig lucht"- systemen**

#### 5.4.2.1 *"Twee-kanalen"-systeem*

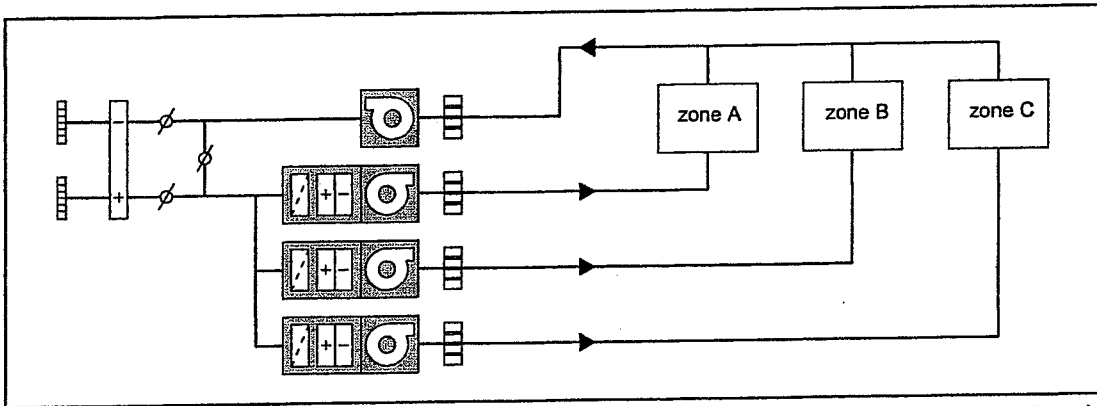
Dit systeem heeft aparte kanalen voor toevoer van warme en koele lucht. Afhankelijk van de behoefte wordt een hoeveelheid warme en koele lucht gemengd en naar de te klimatiseren ruimte gevoerd. Het mengpunt bevindt zich bij de ruimte. De luchthoeveelheden worden geregeld met kleppen in de kanalen (figuur 5.6). Het systeem heeft veel inbouwruimte nodig, het wordt niet vaak toegepast.

#### 5.4.2.2 *"Één kanaal"-systemen*

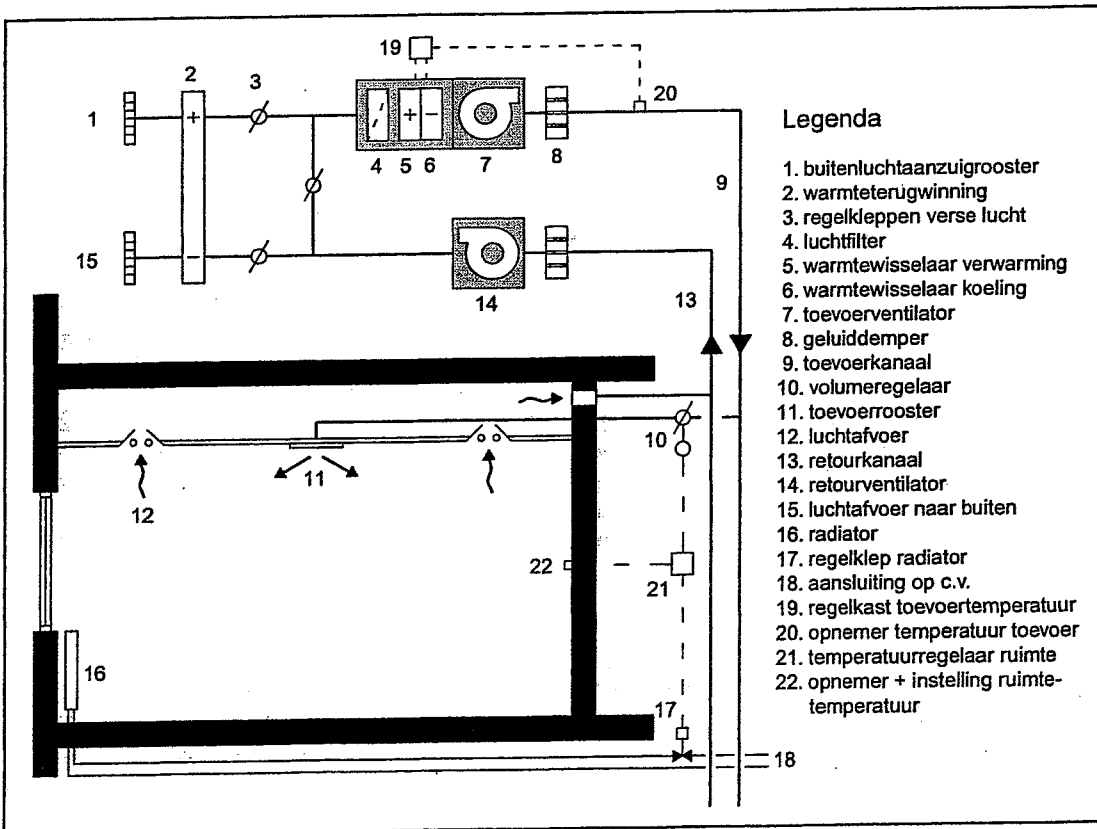
Bij de **"meer zone luchtbehandelingskast"** wordt de luchttemperatuur in de luchtbehandelingskast voorgeregeld en per zone met aparte warmtewisselaars na-geregeld. Vanuit de luchtbehandelingsruimte gaan net zoveel toevoerkanalen het gebouw in als er zones zijn (figuur 5.7). Het retourkanaal van de zones wordt gecombineerd, wat tot energieverstopping kan leiden. Het



Schema meerzone / constant debiet-systeem (weergave zonder regeling en verwarmingsleidingen) - Figuur 5.8



Schema éénzone / constant debiet-systeem (weergave zonder regeling en verwarmingsleidingen) - Figuur 5.9



Schema Variabel Volume Systeem (VAV) (verwarmingsleidingen niet getekend) - Figuur 5.10

"meerzone/constant debiet"-systeem is een variant waarbij de warmtewisselaars niet in de luchtbehandelingsruimte maar dichtbij de te klimatiseren ruimten zijn geplaatst (figuur 5.8). Bij het "één-zone/constant debiet"-systeem is iedere ruimte een zone met een eigen luchtbehandelingskast (figuur 5.9).

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

#### 5.4.2.3 Variabel debiet systeem (VAV)

Het variabel debiet systeem (figuur 5.10) 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. 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. Kan de luchthoeveelheid bij een vraag naar minder koeling niet worden terug geregeld dan wordt de ruimte te koud en is na-verwarming nodig (met een radiator onder het raam of een na-verwarmer in het toevoerkanaal). Gelijktijdig koelen en verwarmen leidt tot energieverstopping, een belangrijk nadeel van het VAV-systeem. Het systeem wordt vaak toegepast omdat het eenvoudig en goedkoop is. De luchtbehandelingskast en de hoofdkanalen zijn kleiner dan die van het CAV-systeem en het gevolg van de maximale gelijktijdige vraag naar koeling van verschillende ruimten samen die vaak niet meer is dan 70 à 80%.

#### 5.4.2.4. Constant debiet systeem (CAV)

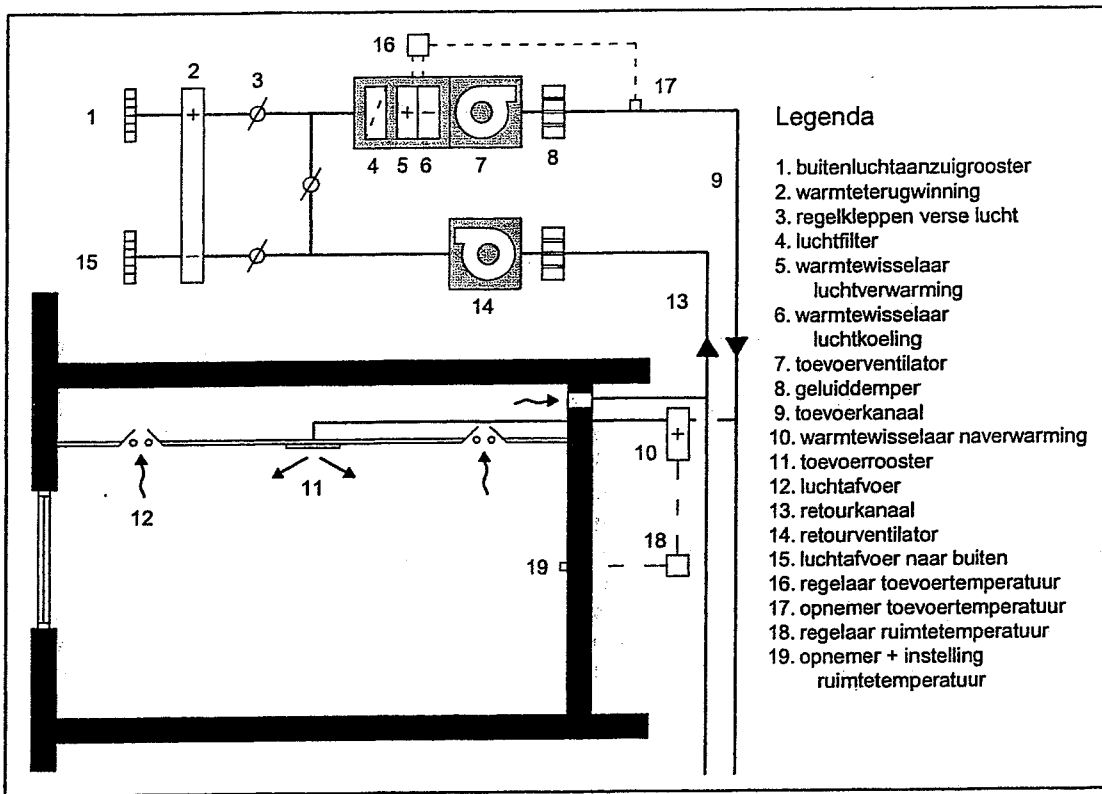
Het constant debiet systeem (figuur 5.11) is bij groepen van ruimten toe te passen als de belastingverschillen tussen de ruimten klein zijn. Het is dan feitelijk een één-zone systeem. Zijn er belastingverschillen dan moet de toevoertemperatuur met worden na-geregeld met een warmtewisselaar in het toevoerkanaal. Dit leidt echter tot energieverstopping, 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.

### 5.4.3 "Lucht/water"-systemen

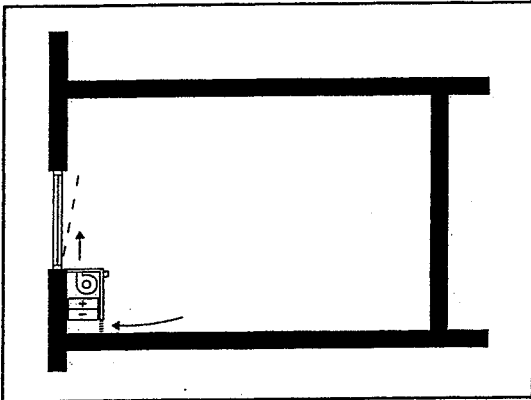
#### 5.4.3.1 Ventilatorconvectoren ("fan coil")

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 5.12a). Het systeem is uit te breiden met een aansluiting op de buitenlucht (figuur 5.12b). 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 verdere vervolmaking is het aansluiten van de ventilatorconvectoren op een kanalsysteem waarmee centraal voorbehandelde lucht wordt toegevoerd en verontreinigde lucht wordt afgevoerd (figuur 5.12c). Dit wordt vaak bij nieuwbouwprojecten gedaan. 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).

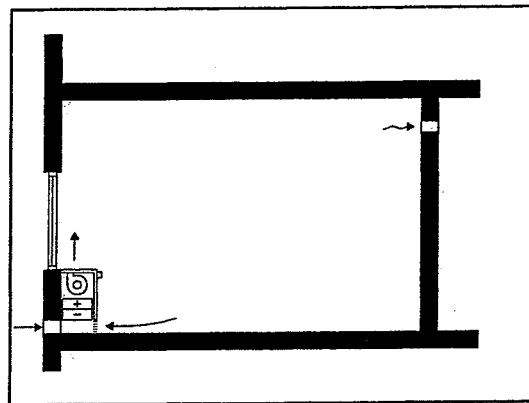
Ventilatorconvectoren zijn er in vensterbank- en in wanduitvoering. De wanduitvoering wordt ook wel onder het plafond gehangen. Verder zijn er apparaten voor inbouw in verlaagde plafonds waarop kanalen zijn aan te sluiten met een aantal toevoerroosters (figuur 5.13 en 5.14). Ventilatorconvectoren hebben 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.



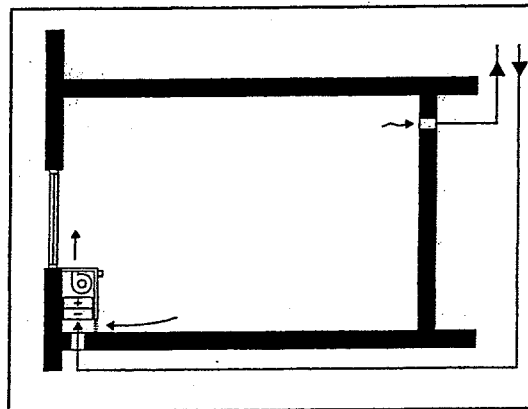
Schema Constant Volume System (CAV) (verwarmingsleidingen niet getekend) - Fig 5.11



Schema systeem met ventilatorconvectoren en te openen ramen - Figuur 5.12a



Schema systeem met ventilatorconvectoren met aansluiting op buitenlucht - Figuur 5.12b



Schema systeem met ventilatorconvectoren met aansluiting op centraal voorbehandelde verse lucht - Figuur 5.12c

#### 5.4.3.2 Inductie-systemen

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 5.15). Het verschijnsel is sterker naarmate de snelheid van de luchtstroom hoger is.

Bij inductieapparaten wordt centraal voorbehandelde primaire lucht via kleine tuitjes ("nozzles") met een hoge snelheid in een luchtkamer geblazen. Door inductie bij de luchtstroom van de tuitjes wordt secundaire lucht aangezogen. De secundaire lucht stroomt via een opening aan de onder- of zijkant van de luchtkamer naar de luchtkamer toe en passeert daarbij een warmtewisselaar die de lucht koelt of verwarmt (figuur 5.16). 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 5.17 toont het schema van een luchtbehandelingssysteem met inductieapparaten. 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.

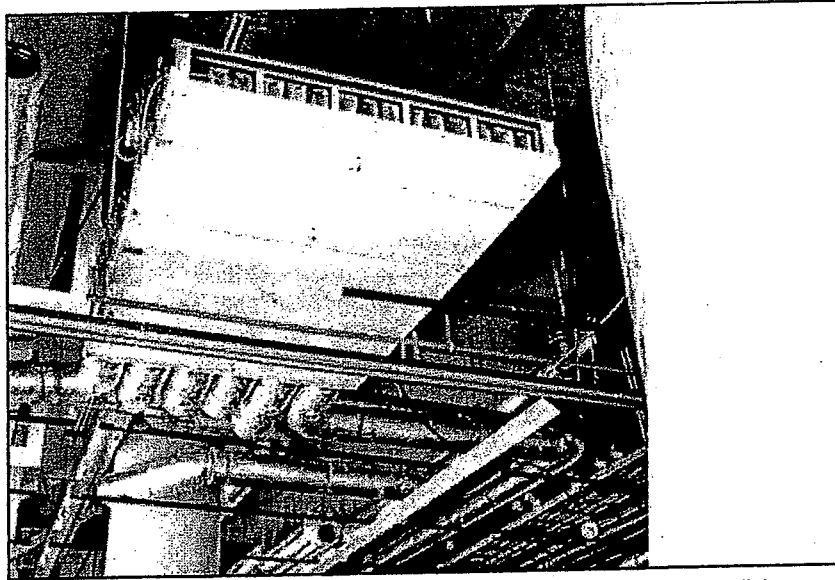
Inductieapparaten zijn oorspronkelijk ontwikkeld om in vensterbankkasten te worden ingebouwd en hun lucht via een rooster aan de bovenkant langs het raam in te blazen. Op dit systeem zijn later verschillende modificaties aangebracht, steeds om voorgaande versie te verbeteren. Hierdoor kennen we de volgende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

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

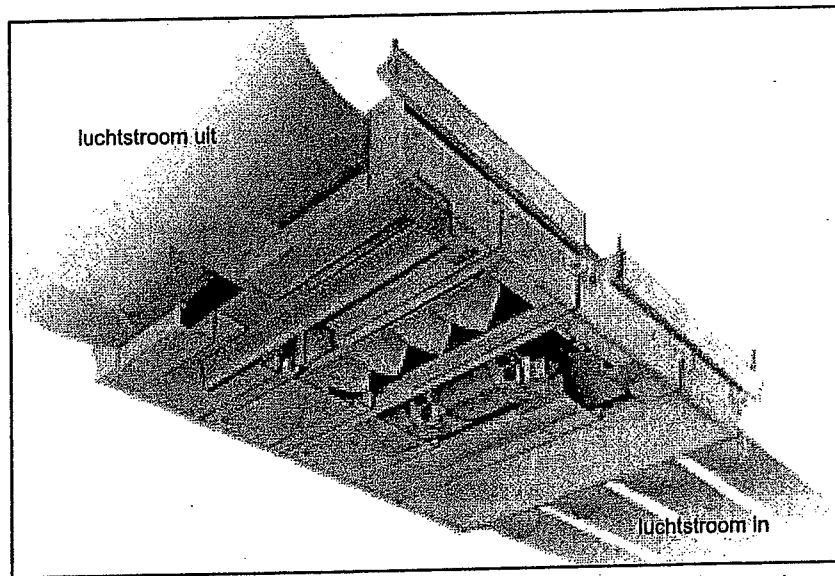
Het inductiesysteem heeft enige tijd minder in de belangstelling gestaan door de minder goede doorstroming en de te grote temperatuurverschillen en dode hoeken die in de ruimte ontstonden, maar ook door de opkomst van het eenvoudiger VAV-systeem, dat deze nadelen niet heeft. De minder goede doorstroming werd veroorzaakt doordat het mengsel van primaire en secundaire lucht 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 kanaalafmetingen, 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 5.18). Inmiddels zijn apparaten ontwikkeld speciaal voor plafondinbouw (figuur 5.19).

#### 5.4.4 Combinaties van systemen

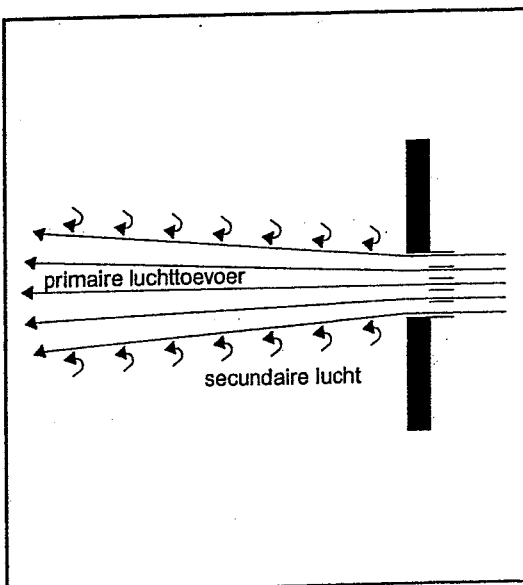
Met een combinatie van systemen, bijvoorbeeld VAV + gekoeld plafond, is bij een netto ruimtehoogte van 2,7 m een specifiek koelvermogen van 100 W/m<sup>2</sup> vloeroppervlakte te realiseren. Meer vermogen is met geen enkele combinatie haalbaar, althans niet zonder overschrijding van de voor verblijfsruimten gebruikelijke comfortgrenzen. In tabel 6.5 is een overzicht gegeven van de specifieke vermogens van verschillende systemen en combinaties van systemen bij verschillende ruimtehoogten.



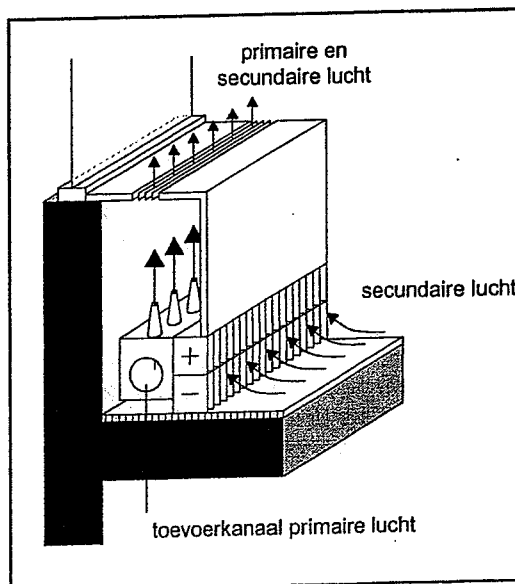
Ventilatorconvector, plafondinbouw - Figuur 5.13



Ventilatorconvector (fan-coil) met aansluiting op buitenlucht en meerdere roosters - Figuur 5.14



Inductie-effect - Figuur 5.15



Inductie-apparaat - Figuur 5.16

## 5.5 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<sup>2</sup> 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. In paragraaf 4.4.3.1 is er reeds op gewezen dat technisch veel mogelijk is. 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:

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

waarin:

$q_v$  = volumestroom in m<sup>3</sup>/s

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

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

$\Delta\theta$  = temperatuurverschil tussen toevoer en afvoer in °C

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

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

waarin:

$A_{vl}$  = vloeroppervlakte van de ruimte in m<sup>2</sup>

De volumestroom kan ook worden geschreven als:

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

waarin:

$n$  = ventilatievoud in h<sup>-1</sup>

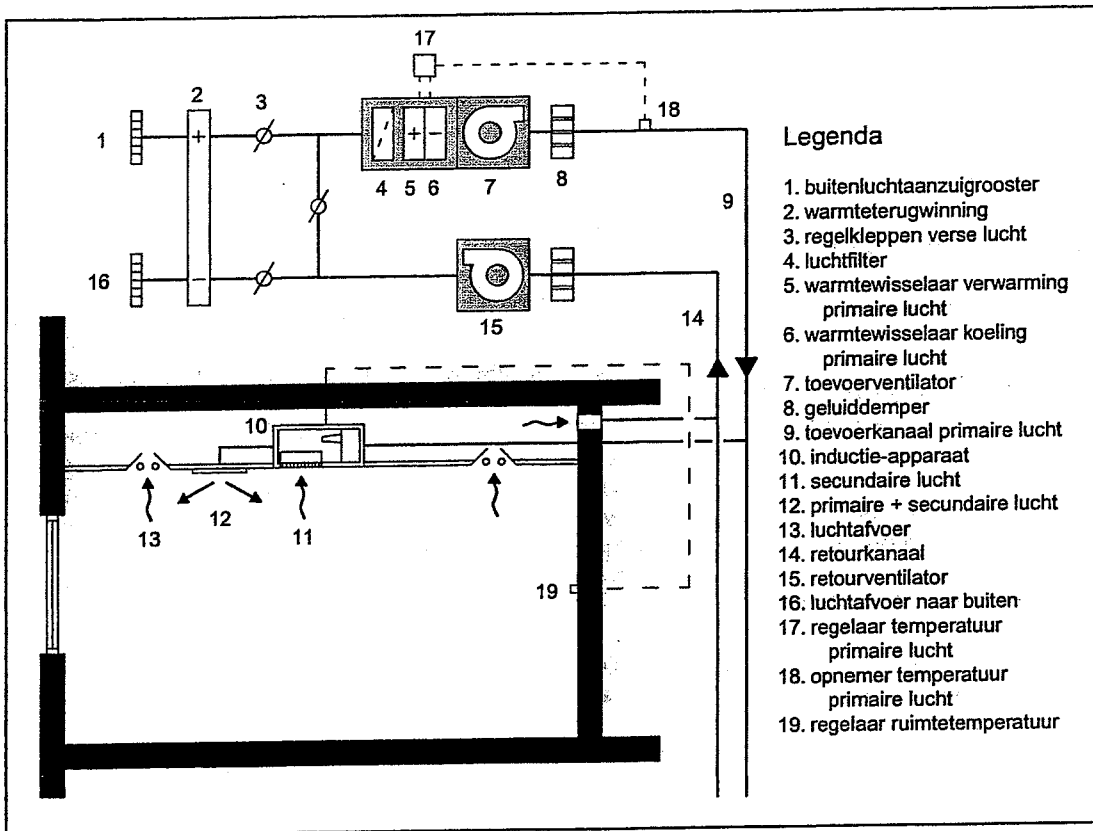
$A_{vl}$  = vloeroppervlakte van de ruimte in m<sup>2</sup>

$h$  = hoogte van de ruimte in m

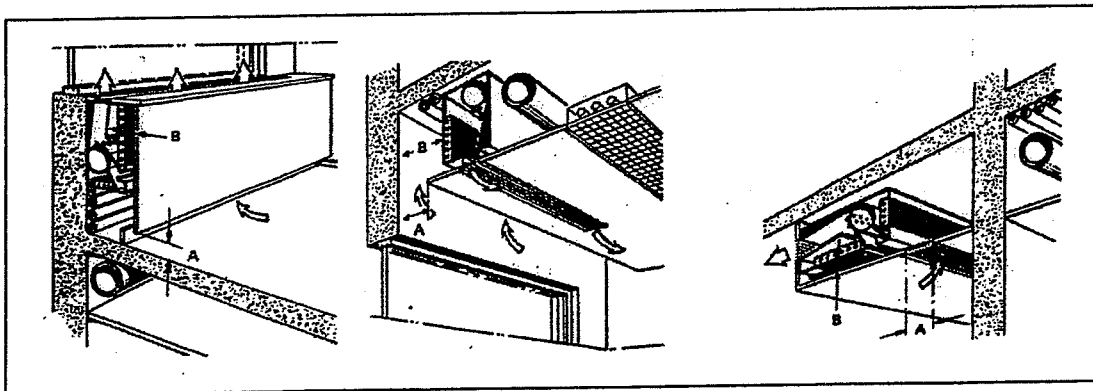
Na substitutie leidt dit tot de vergelijking:

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

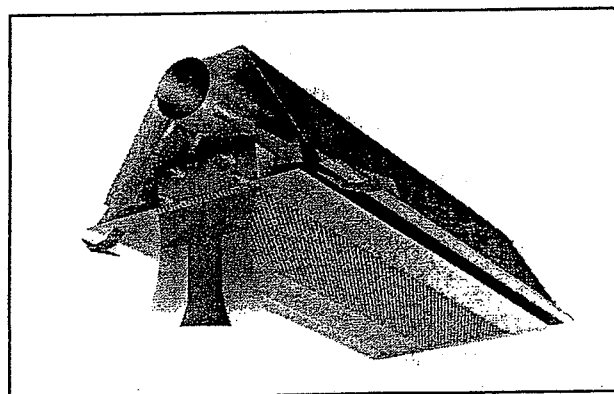
Gezien de definitie van "specifiek koelvermogen" moet voor het ventilatievoud van verblijfsruimten  $n = 10$  en voor het temperatuurverschil ( $\Delta\theta$ ) de waarde uit tabel 4.5 of 4.6 worden ingevuld.



Principeschema systeem met inductie-apparaten - Figuur 5.17



Inductie-unit inbouwvoorbeelden - Figuur 5.18



Inductie-unit t.b.v. plafondbouw - Figuur 5.19